平成 28 年度　エネルギー関連施設における活断層の工学的研究会

報告書

平成 29 年 8 月

一般財団法人エンジニアリング協会
地下開発利用研究センター

＜　目　次　＞

1. はじめに …………………………………………………………………… 1
1.1 活動方針 …………………………………………………………………… 1
1.2 実施体制 …………………………………………………………………… 1
1.3 平成 28 年度の活動状況 ……………………………………………………… 1
2. 活断層の基本情報の整理 ……………………………………………………… 2
2.1 各種の指針・規定類の整理 …………………………………………………… 2
2.1.1 国内の原子力関連施設の指針・規定類 ……………………………………… 2
2.1.2 国内の他のエネルギー関連施設の指針・規定類 ……………………………… 7
2.1.3 国内のエネルギー関連施設以外の指針・規定類 ……………………………… 10
2.1.4 土木学会地震工学委員会によるガイドライン等 ……………………………… 15
(1) 土木構造物耐震設計ガイドライン（案）－耐震基準作成のための手引き－（土木学会，2001） …………………………………………………… 15
(2) 「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書（土木学会，2008） …………………………………………………… 17
(3) 地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案）（土木学会，2011） …………………………………………………… 19
(4) 性能設計体系における土木構造物の耐震設計事例集（土木学会，2014） …… 21
2.1.5 海外の活断層に関する指針・規定類 ……………………………………… 24
(1) 指針・規定類の分類 …………………………………………………… 24
(2) 海外の指針・規定類の概要 …………………………………………………… 25
2.2 主断層（震源断層），分岐断層，副断層等の区分に関する考え方の整理 ………… 29
2.2.1 原子力安全推進協会（2013） …………………………………………… 29
2.2.2 Treiman(2009) …………………………………………………… 30
2.2.3 山崎晴雄（2016） …………………………………………………… 31
2.2.4 原子力規制委員会(2013b；2013c) ………………………………………… 31
2.2.5 地震調査研究推進本部（2013） …………………………………………… 32
2.2.6 まとめ …………………………………………………… 33
2.3 過去に地表地震断層が出現した地震における断層変位量の整理 …………………… 35
2.3.1 2016 年熊本地震（布田川－日奈久断層帯） ………………………………… 35
(1) 地震の概要 …………………………………………………… 35
(2) 地震における断層変位 …………………………………………………… 35
(3) 副断層の分布と変位量 …………………………………………………… 35
2.3.2 2014 年長野県北部地震（神城断層） ……………………………………… 41

(1) 地震の概要 …… 41
(2) 地震における断層変位…… 41
(3) 副断層の分布と変位量…… 41
2.3.3 2011 年福島県浜通り地震（井戸沢断層，湯ノ岳断層） …… 44
(1) 地震の概要 …… 44
(2) 地震における断層変位…… 45
(3) 副断層の分布と変位量…… 47
2.3.4 2008 年岩手・宮城内陸地震 …… 48
(1) 地震の概要 …… 48
(2) 地震における断層変位…… 48
(3) 副断層の分布と変位量…… 48
2.3.5 2004 年新潟県中越地震（小平尾断層，六日市盆地西縁断層） …… 51
(1) 地震の概要 …… 51
(2) 地震における断層変位…… 52
(3) 副断層の分布と変位量…… 56
2.3.6 2000 年鳥取県西部地震 …… 56
(1) 地震の概要 …… 56
(2) 地震における断層変位…… 57
(3) 副断層の分布と変位量…… 60
2.3.7 1995 年兵庫県南部地震（野島断層） …… 61
(1) 地震の概要 …… 61
(2) 地震における断層変位…… 61
(3) 副断層の分布と変位量…… 63
2.3.8 1984 年長野県西部地震 …… 64
(1) 地震の概要 …… 64
(2) 地震における断層変位…… 65
2.3.9 1978 年伊豆大島近海地震（稲取断層帯） …… 65
(1) 地震の概要 …… 65
(2) 地震における断層変位…… 65
(3) 副断層の分布と変位量…… 66
2.3.10 1948 年福井地震（福井断層，福井東側断層） …… 68
(1) 地震の概要 …… 68
(2) 地震における断層変位…… 68
(3) 副断層の分布と変位量…… 68
2.3.11 1945 年三河地震（深溝断層，横須賀断層） …… 71

(1) 地震の概要 ………………………………………………………………………… 71
(2) 地震における断層変位…………………………………………………………… 71
(3) 副断層の分布と変位量…………………………………………………………… 73
2.3.12 1943年鳥取地震（鹿野断層，吉岡断層） …………………………………… 75
(1) 地震の概要 ………………………………………………………………………… 75
(2) 地震における断層変位…………………………………………………………… 76
(3) 副断層の分布と変位量…………………………………………………………… 78
2.3.13 1930年北伊豆地震（丹那断層） ……………………………………………… 79
(1) 地震の概要 ………………………………………………………………………… 79
(2) 地震における断層変位…………………………………………………………… 79
(3) 副断層の分布と変位量…………………………………………………………… 79
2.3.14 1927年北丹後地震（郷村断層，山田断層） ………………………………… 83
(1) 地震の概要 ………………………………………………………………………… 83
(2) 地震における断層変位…………………………………………………………… 83
(3) 副断層の分布と変位量…………………………………………………………… 87
2.3.15 まとめ ……………………………………………………………………………… 88
2.4 活断層の一般像・平均像の整理 …………………………………………………… 90
2.4.1 地震調査研究推進本部による主要活断層の諸元……………………………… 90
2.4.2 活断層の長さ……………………………………………………………………… 99
2.4.3 1回のずれの量 …………………………………………………………………100
2.4.4 平均活動間隔……………………………………………………………………101
2.4.5 最新活動時期……………………………………………………………………106
2.4.6 まとめ……………………………………………………………………………… 111
2.5 敦賀・東通・志賀地点の敷地内断層の整理……………………………………… 111
2.5.1 日本原子力発電敦賀地点 ………………………………………………………113
2.5.2 東北電力東通地点 ………………………………………………………………115
2.5.3 北陸電力志賀地点 ………………………………………………………………117
2.6 経験式による活断層の1回の変位量（ずれの量） ……………………………119
3. 断層変位による被害事例と対策事例……………………………………………………121
3.1 国内の被害事例 ………………………………………………………………………121
3.1.1 トンネルの被害……………………………………………………………………121
(1) 丹那トンネル ……………………………………………………………………121
(2) 稲取トンネル ……………………………………………………………………123
(3) 葛根田発電所水路トンネル……………………………………………………124
(4) 御岳発電所導水路トンネル……………………………………………………125

(5) 山陽新幹線六甲トンネル……126
3.1.2 橋梁の被害……127
(1) 1995 年兵庫県南部地震の明石海峡大橋への影響……127
3.1.3 2016 年熊本地震による被害……129
(1) 熊本地震の概要……129
(2) 熊本地震に伴って出現した地表地震断層（産業技術総合研究所，2016）……129
(3) 俵山トンネル被害……131
(4) 大切畑ダム被害（長谷川ほか，2016）……132
(5) 橋梁被害（高見ほか，2016）……134
3.2 海外の被害事例……136
3.2.1 ダムの被害事例……136
3.2.2 台湾・集集地震による被害……136
(1) 建物の被害（土木学会，2015）……137
(2) ダムの被害（大町，2000）……139
(3) 橋梁の被害……140
3.2.3 トルコ・コジャエリ地震による被害（土木学会，2015）……142
(1) 建物の被害……142
(2) ダムの被害……144
(3) 橋梁の被害……144
3.2.4 トルコ北西部デュズジエ地震による被害（土木学会，2015）……144
3.3 断層変位に対する対策事例……146
3.3.1 地表地震断層に対する工学的な姿勢・対策……146
3.3.2 ダムの事例……148
3.3.3 石油パイプラインの事例（山口，2008）……151
3.3.4 送水管の事例（地盤工学会，2002）……153
3.3.5 リニアモーターカー高架橋の断層対策（常田，2015）……154
3.3.6 鉄道シールドトンネルに対する断層変位対策（畔取ほか，2008）……154
3.3.7 活断層を通過する太田和配水幹線築造工事（猪狩，1996）……156
3.3.8 活断層を通過する神戸市の大容量送水管（浜村ほか，2010）……157
3.3.9 可とうセグメント……158
3.3.10 損傷制御型鋼製セグメント……159
3.3.11 中央新幹線における断層変位対策……160
3.3.12 活断層に近接または交差する新幹線トンネルの断層対策……160
(1) 国土交通省鉄道局……160
(2) ＪＲ東日本……161

3.3.13 鉄道・道路における断層変位対策のヒアリング結果 …………………………162
3.3.14 新神戸駅の事例（池田，1971） ……………………………………………162
3.3.15 断層直上での構造物破壊のメカニズム（八尾・村山，2012） ………………164
3.4 断層変位に対する考え方と工学的な対策……………………………………………166
4. 断層変位による影響評価…………………………………………………………………174
4.1 震源断層による地表面への影響評価………………………………………………174
4.1.1 数値解析による評価 ………………………………………………………………174
(1) 断層全体をモデル化した理論解・数値解……………………………………174
(2) 表層をモデル化した解析（土木学会（2015）から抜粋） ……………………176
4.1.2 模型実験による評価 ………………………………………………………………177
4.2 地表面の変位による構造物への影響評価…………………………………………177
4.2.1 ダム…………………………………………………………………………………177
(1) ダム-断層連成系の三次元動的解析…………………………………………177
(2) 賀祥ダム地盤の変位解析………………………………………………………178
4.2.2 橋梁…………………………………………………………………………………179
(1) 道路のサービス水準……………………………………………………………179
(2) 変位対策の考え方………………………………………………………………180
(3) 新設橋梁における検討事例……………………………………………………180
(4) 断層交差角度に着目した橋梁の性能評価（安西ほか，2010） ………………182
4.2.3 地中構造物…………………………………………………………………………183
(1) 数値解析による評価……………………………………………………………183
(2) 模型実験による評価……………………………………………………………186
4.2.4 トンネル……………………………………………………………………………188
4.2.5 原子力発電所………………………………………………………………………189
(1) 断層変位の評価方法……………………………………………………………189
(2) 断層変位による建物･構築物の試解析 …………………………………………190
(3) 断層変位による原子力発電所建屋のフラジリティ評価 ………………………191
4.2.6 高レベル放射性廃棄物処分における人工バリア挙動評価……………………192
(1) 実験概要 …………………………………………………………………………192
(2) 解析概要 …………………………………………………………………………194
4.2.7 フィルダムコアのせん断変形試験 ………………………………………………194
5. まとめと今後の課題………………………………………………………………………197
5.1 A グループ ……………………………………………………………………………197
5.1.1 主断層，分岐断層，副断層等の関係 ……………………………………………197
5.1.2 副断層の性状調査…………………………………………………………………197

5.1.3 副断層の変位量……198
5.1.4 今後活動する可能性がある断層の評価基準……198
5.1.5 文献に基づく断層の長さと変位量……199
5.1.6 今後の課題……199
5.2 B グループ……199
5.2.1 各種構造物における活断層の取り扱い……199
5.2.2 断層変位による被害事例および評価事例の追加調査……200
5.2.3 今後の課題……200

添付資料－１　国内原子力施設における活断層の基本情報
添付資料－２　各種構造物における考慮すべき断層と工学的評価の現状

平成 28 年度「エネルギー関連施設における活断層の工学的研究会」

委員名簿

No.		氏　名	会社名	所属・役職
1	委員長	平松　晋一	応用地質(株)	執行役員　技術本部　副本部長
2	副委員長	塩﨑　功	(株)安藤・間	技術本部　技術研究所　首席研究員
3	ｱﾄﾞﾊﾞｲｻﾞｰ	小島　圭二	地圏空間研究所	代表（東京大学名誉教授）
4	ｱﾄﾞﾊﾞｲｻﾞｰ	徳永　朋祥	国立大学法人東京大学	大学院新領域創成科学研究科　教授
5	委員	杉本　敏哉	(株)安藤・間	土木事業本部　副本部長
6	委員	村上　雅紀	応用地質(株)	エネルギー事業部　地震地質部　主担
7	委員	奥澤　康一	(株)大林組	技術本部　技術研究所　地盤技術研究部 副主任研究員
8	委員	浜田　友康	鹿島建設(株)	土木設計本部　技師長
9	委員	森口　安宏	川崎地質(株)	首都圏事業本部　地盤部　部長
10	委員	結城　則行	川崎地質(株)	戦略企画本部　技術企画部　部長
11	委員	吉田　淳	ｻﾝｺｰｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ(株)	解析技術部　技師長
12	委員	江戸川　修一	清水建設(株)	土木技術本部　地下空間統括部長
13	委員	淡路　動太	清水建設(株)	土木技術本部　地下空間統括部　主査
14	委員	今村　聡	大成建設(株)	技術センター　副センター長
15	委員	松浦　一樹	(株)ﾀﾞｲﾔｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	顧問
16	委員	向山　和成	(株)ﾀﾞｲﾔｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	ジオエンジニアリング事業本部　調査役
17	委員	緒方　信一	中央開発(株)	ソリューションセンター　川口オフィス　所長
18	委員	細矢　卓志	中央開発(株)	ソリューションセンター　地質部　次長
19	委員	池田　孝夫	日揮(株)	国内インフラプロジェクト本部　原子力・環境プロジェクト部　チーフエンジニア
20	委員	門　万寿男	日揮(株)	国内インフラプロジェクト本部　原子力・環境プロジェクト部 OSMOS グループ　グループリーダー
21	事務局	上田　正人	(一財)ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ協会	地下開発利用研究センター　技術開発部 研究主幹
22				
23				

1. はじめに

1.1 活動方針

原子力発電所の断層破砕帯に関する原子力規制委員会の見解や断層の活動性の議論などが，我が国のエネルギー安定供給に大きな問題をなげかけている．自然現象を相手に“もの”とくに重要構造物をつくる上で重要なのは，ハザードになる現象を明らかにして，遭遇する可能性を把握すること，そして被害を許容できる限度に留めることである．断層の活動性に関しても，単に活断層の「ある，なし」を議論しても，ハザード／安全性の大小は判断できない．それ故，この問題に関しては，エンジニアの集団である当協会の賛助会員の関心も高く，工学的な観点から何か貢献したいと言う要望が強い．このため，当協会の強みであるエネルギー関連施設の設計で，活断層がどのように検討されてきたかについて，まずは広く情報を収集する．また工学的な観点からこれらをまとめることは，社会的にも意義が大きいと考える．このような現状を踏まえて，研究成果を社会に情報発信することとする．

1.2 実施体制

〇参加企業：応用地質㈱（委員長），㈱安藤・間（副委員長），㈱大林組，鹿島建設㈱，川崎地質㈱，サンコーコンサルタント㈱，清水建設㈱，大成建設㈱，㈱ダイヤコンサルタント，中央開発㈱，日揮㈱，11 社

〇A グループ（地質コンサルタント）と B グループ（建設・プラント）の２グループで作業を分担

〇アドバイザー：地圏空間研究所，東京大学

1.3 平成 28 年度の活動状況

平成 28 年度の活動状況を表 1.3-1 に示す.

表 1.3-1　平成 28 年度の活動状況

年月日	会　議　名	活　動　内　容
2016 年 5 月 9 日	第 1 回研究会	平成 27 年度報告書内容確認 平成 28 年度活動方針確認
2016 年 6 月 13 日	第 1 回幹事会	研究会日程調整と審議内容の検討
2016 年 7 月 6 日	第 2 回研究会	作業グループ分けと作業内容の確認
2016 年 9 月 12 日	第 2 回幹事会	グループ毎の作業進捗確認
2016 年 9 月 20 日	第 3 回研究会	土木学会,原子力学会の活断層に関する最近の話題確認
2016 年 10 月 6 日	第 3 回幹事会	活断層の評価手法，影響評価の整理
2016 年 10 月 25 日	第 1 回グループ会議	活断層評価グループの作業進捗確認
2016 年 12 月 20 日	第 4 回研究会	活断層評価，影響評価作業の進捗確認 活断層認定方法，総合的評価検討
2017 年 1 月 31 日	第 4 回幹事会	活断層評価の取りまとめ
2017 年 3 月 13 日	第 2 回グループ会議	活断層評価グループの整理結果確認
2017 年 3 月 31 日	第 5 回研究会	平成 28 年度報告書（案）確認 平成 29 年度活動方針確認

2. 活断層の基本情報の整理

2.1 各種の指針・規定類の整理

地震国であるわが国では，原子力関連施設に関して，重要な土木施設・構造物の安全性を確保するため，地震・活断層の評価や取り扱い方を定めている指針・規定類が存在する．一方，原子力関連施設以外の施設に関しては，地震・活断層に対する取扱いの現状があまり知られていない．そこで，国内の原子力関連施設のほか，他のエネルギー関連施設，エネルギー関連施設以外の一般土木構造物に関して，活断層の用語・定義，認定基準，工学的な対応方針がどのようになっているのか，文献調査を行い整理した．併せて土木学会地震工学委員会によるガイドラインについても整理し，また，海外の活断層に関する指針・規定類についても文献を収集した．

2.1.1 国内の原子力関連施設の指針・規定類

国内の原子力関連施設の指針・規定類について収集・整理した．収集・整理した指針・規定類を表 2.1-1 に示す．表 2.1-1 の No.9～No.13 の指針・規定類については，活断層の定義，活断層の認定基準，工学的な対応方針・対応策，調査範囲，調査方法などを添付資料ー 1 として整理した．

原子力発電所の審査対象となる「耐震設計上考慮すべき活断層」の認定基準については，表 2.1-2 に示すように変遷している．1977 年以前は認定基準が策定されておらず，1978 年にはじめて認定基準が整備され（旧基準），その後 2006 年に改訂（改定旧基準）が行われ，2011 年の福島第一原子力発電所の事故を教訓に，2013 年に新基準が策定された．各時期における認定基準を以下に示す．また，全国の発電炉の申請時期と認定基準の関係を整理して，表 2.1-3 に示す．

① 基準なし（1977 年以前）

1960 年代から 70 年代前半にかけては，断層活動により地震が発生するという概念が確立されておらず, サイトごとに委員会形式で議論して設計地震動を設定している．基礎岩盤の断層変位については想定していない．

この時期に審査した原子炉は 29 基あり，そのうち 16 基は廃炉が決定している．

② 旧基準（1978～2005 年）

原子力安全委員会（1978）は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」において，基準地震動 S1（設計用最強地震）および S2（設計用限界地震）に対応する「活断層」を定義した．このうち設計用限界地震（S2）を発生させる断層としては，「5 万年前以降活動したもの」とした．これは，米国原子力規制委員会（NRC）の基準を参考にしたものと推察される．重要な建物・構築物の基礎岩盤に関しては，変位・変形がないことを前提としており，断層変位は想定していない．

この基準で審査した原子炉は 32 基あり，うち 1 基（島根 3 号）は建設中である．

③ 改訂旧基準（2006 年～2012 年）

原子力安全委員会（2006）は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」において，「耐震設計上考慮する活断層」という用語を用い，その定義を「後期更新世以降の活動が否定できないもの」とした．認定基準としては，「最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができる」としている．日

本電気協会（2007）は「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2007」において，「最終間氷期とは，酸素同位体ステージ（MIS）5a～5e に相当する後期更新世の高海水準期の時代を言う」と記載している．MIS5a～5e は，年代的には概ね 7 万年～13 万年前に相当する．旧基準と同様，基礎岩盤に耐震設計上考慮する断層がないことが前提となっている．

この基準で審査した原子炉は 2 基（大間，東電東通 1 号）で，いずれも建設中である．

④ 新基準（2013 年～）

原子力規制委員会（2013a）は「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」において，「将来活動する可能性のある断層等」という用語を用い，その定義を「後期更新世以降の活動が否定できない断層等」とし，年代を約 12～13 万年前以降（MIS5e に限定）とした．また，MIS5e 以降の活動が判断できない場合は，約 40 万年前（中期更新世）まで遡って調査することとした．さらに，「将来活動する可能性のある断層等には，震源として考慮する活断層のほか，地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え，支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面も含む」とし，地震を発生させる活断層だけではなく，地震活動に伴う副次的な断層や地すべりなどの重力で生じる変位・変形までを対象とする断層に含めた．

新基準で審査した原子炉はなく，設置許可申請中の 4 基（敦賀 3 号・4 号，上関 1 号，川内 3 号）は，この基準で審査を受けることになる．

表 2.1-1　原子力発電所の耐震設計に関する指針・基準類

番号	文献名（指針・手引き）	発行年月日		機関名	基準区分
1	原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1970	昭和 45 年 10 月	1970	日本電気協会	基準なし
2	原子力発電所の地質，地盤に関する安全審査手引き	昭和 53 年 8 月 23 日	1978	原子炉安全専門審査会	旧基準
3	発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針	昭和 53 年 9 月 29 日	1978	原子力委員会	
4	発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針	昭和 56 年 7 月 20 日	1981	原子力安全委員会	
5	原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987	昭和 62 年 8 月	1987	日本電気協会	
6	発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針	平成 18 年 9 月 19 日	2006	原子力安全委員会	改定 旧基準
7	原子力発電所耐震設計技術指針　基準地震動策定・地質調査編　JEAG4601-2007	平成 19 年 9 月	2007	日本電気協会	
8	活断層等に関する安全審査の手引き（平成 22 年 12 月 16 日廃止）	平成 20 年 6 月 20 日	2008	原子力安全委員会	
9	発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き	平成 22 年 12 月 16 日	2010	原子力安全委員会	
10	実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則	平成 25 年 6 月 28 日	2013	原子力規制委員会	新基準
11	実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈	平成 25 年 6 月 19 日	2013	原子力規制委員会	
12	敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド	平成 25 年 6 月 19 日	2013	原子力規制委員会	
13	原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-20XX		20XX	日本電気協会	

表 2.1-2　原子力発電所の審査対象断層の認定基準の変遷

審査時期	断層の名称	対象となる断層	認定基準（年代）	調査範囲	調査手法	工学的対応
基準なし （～1977 年）		断層により地震が発生する自然観が確立されていない.		（実質的には半径 30 kmの調査を実施？）	（実質的には下記調査を実施？）	サイトごとに地震動を設定 （基礎岩盤の変位は想定していない.）
旧基準 （1978-2005 年）	活断層 考慮すべき活断層	地震を発生させる活断層	5 万年	半径 30 km	文献調査 地震観測 空中写真判読 地表地質調査	岩盤に支持させる. （基礎岩盤の変位は想定していない.） 地震動(S1・S2)を考慮
改訂旧基準 （2006-2012 年）	耐震設計上考慮する活断層	同上	後期更新世(最終間氷期，MIS5≒7～13 万年）	半径 30 km 文献調査は半径 100 km	上記調査＋ 変動地形学的調査 地球物理学的調査	基礎岩盤に耐震設計上考慮する断層がないことが前提 十分な支持性能の地盤に設置 地震動(Ss)を考慮
新基準 （2013 年～）	将来活動する可能性のある断層	地震を発生させる活断層 地震活動に伴って永久変位が生じる断層 支持地盤まで変位・変形が及ぶ地すべり面	後期更新世(12～13 万年，MIS5e に限定）	同上？	同上	変位が生ずるおそれがない（将来活動する可能性のある断層がない）地盤に設置

注 1）改訂旧基準の調査範囲：30 km，100 kmの調査範囲外であっても，敷地に影響を与える可能性のある断層が存在する場合は，調査範囲を広げて調査を実施

注 2）MIS：海洋酸素同位体ステージ，酸素同位体比による過去の気温に基づいたステージ区分，新しい順に間氷期に奇数番号，氷期に偶数番号を付与

注 3）新基準の認定基準：MIS5e 以降の活動性が判断できない場合には，約 40 万年前（中期更新世）以降まで遡って調査

表 2.1-3　発電炉の審査時期一覧

	会社	発電炉	炉型	出力	申請	許可	着工	運転	廃炉	現状
1	原子力機構	JPDR	BWR	12			1961	1963	1976	廃炉
2	日本原電	東海	GCR	166	1959	1959	1961	1966	1998	廃炉
3	日本原電	敦賀1	PWR	357	1965	1966	1967	1970	2015	廃炉
4	関西電力	美浜1	PWR	340	1966	1966	1967	1970	2015	廃炉
5	東京電力	福島第1-1	BWR	460	1966	1966	1967	1971	2012	廃炉
6	関西電力	美浜2	PWR	500	1967	1968	1968	1972	2015	廃炉
7	東京電力	福島第1-2	BWR	784	1967	1968	1969	1974	2012	廃炉
8	関西電力	高浜1	PWR	826	1969	1969	1970	1974		
9	中国電力	島根1	BWR	460	1969	1969	1970	1974	2015	廃炉
10	東京電力	福島第1-3	BWR	784	1969	1970	1970	1976	2012	廃炉
11	原子力機構	ふげん	ATR	165	1970	1970	1970	1979	2003	廃炉
12	東北電力	女川1	BWR	524	1970	1970	1971	1984		
13	関西電力	高浜2	PWR	826	1970	1970	1971	1975		
14	九州電力	玄海1	PWR	559	1970	1970	1971	1975	2015	廃炉
15	中部電力	浜岡1	BWR	540	1970	1970	1971	1976	2009	廃炉
16	東京電力	福島第1-5	BWR	784	1971	1971	1971	1978	2014	廃炉
17	関西電力	美浜3	PWR	826	1971	1972	1972	1976		
18	関西電力	大飯1	PWR	1175	1971	1972	1972	1979		
19	関西電力	大飯2	PWR	1175	1971	1972	1972	1979		
20	東京電力	福島第1-4	BWR	784	1971	1972	1972	1978	2012	廃炉
21	日本原電	東海第2	BWR	1100	1971	1972	1973	1978		
22	東京電力	福島第1-6	BWR	1100	1971	1972	1973	1979	2014	廃炉
23	四国電力	伊方1	PWR	566	1972	1972	1973	1977	2016	廃炉
24	中部電力	浜岡2	BWR	840	1972	1973	1973	1978	2009	廃炉
25	東京電力	福島第2-1	BWR	1100	1972	1974	1975	1982		
26	九州電力	玄海2	PWR	559	1974	1976	1976	1981		
27	四国電力	伊方2	PWR	566	1975	1977	1977	1982		
28	東京電力	柏崎刈羽1	BWR	1100	1975	1977	1978	1985		
29	九州電力	川内1	PWR	890	1976	1977	1978	1984		
30	東京電力	福島第2-2	BWR	1100	1976	1978	1979	1984		
31	東京電力	福島第2-3	BWR	1100	1978	1980	1980	1985		
32	東京電力	福島第2-4	BWR	1100	1978	1980	1980	1987		
33	関西電力	高浜3	PWR	870	1978	1980	1980	1985		
34	関西電力	高浜4	PWR	870	1978	1980	1980	1985		
35	九州電力	川内2	PWR	890	1978	1980	1981	1985		
36	中部電力	浜岡3	BWR	1100	1978	1981	1982	1987		
37	日本原電	敦賀2	PWR	1160	1979	1982	1982	1987		
38	原子力機構	もんじゅ	FBR	280	1980	1983	1985			建設中
39	東京電力	柏崎刈羽2	BWR	1100	1981	1983	1983	1990		
40	東京電力	柏崎刈羽5	BWR	1100	1981	1983	1983	1990		
41	中国電力	島根2	BWR	820	1981	1983	1984	1989		
42	北海道電力	泊1	PWR	579	1982	1984	1984	1989		
43	北海道電力	泊2	PWR	579	1982	1984	1984	1991		
44	九州電力	玄海3	PWR	1180	1982	1984	1985	1994		
45	九州電力	玄海4	PWR	1180	1982	1984	1985	1997		
46	四国電力	伊方3	PWR	890	1984	1986	1986	1994		
47	東京電力	柏崎刈羽3	BWR	1100	1985	1987	1987	1993		
48	東京電力	柏崎刈羽4	BWR	1100	1985	1987	1987	1994		
49	関西電力	大飯3	PWR	1180	1985	1987	1987	1991		
50	関西電力	大飯4	PWR	1180	1985	1987	1987	1993		
51	中部電力	浜岡4	BWR	1137	1986	1988	1988	1993		
52	北陸電力	志賀1	BWR	540	1987	1988	1988	1993		
53	東北電力	女川2	BWR	825	1987	1989	1989	1995		
54	東京電力	柏崎刈羽6	ABWR	1356	1988	1991	1991	1996		
55	東京電力	柏崎刈羽7	ABWR	1356	1988	1991	1991	1997		
56	東北電力	女川3	BWR	825	1994	1996	1996	2002		
57	東北電力	東通1	BWR	1100	1996	1998	1998	2005		
58	中部電力	浜岡5	ABWR	1380	1997	1998	1999	2005		
59	北陸電力	志賀2	ABWR	1206	1997	1999	1999	2006		
60	北海道電力	泊3	PWR	912	2000	2003	2003	2009		
61	中国電力	島根3	ABWR	1373	2000	2005	2005			建設中
62	電源開発	大間	ABWR	1385	1999	2008	2008			建設中
63	東京電力	東通1	ABWR	1385	2006	2010	2011			建設中
64	日本原電	敦賀3	APWR	1538	2004					準備中
65	日本原電	敦賀4	APWR	1538	2004					準備中
66	中国電力	上関1	ABWR	1373	2009					準備中
67	九州電力	川内3	APWR	1590	2011					準備中

No.1～29:基準なし, No.30～61:旧基準, No.62-63:改定旧基準, No.64～67:新基準

2.1.2 国内の他のエネルギー関連施設の指針・規定類

国内の原子力施設以外のエネルギー関連施設に関しては，ダム等の重要構造物に活断層が及ぼす影響について長年に亘って検討されており，1984 年に「ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針（案）」（建設省河川局開発課，1984）が示され，個々のダムにおいて建設前に活断層の調査が行われている．また，その他の重要な地下設備についても，個々に事前の検討がなされている．

建設省河川局開発課（1984）における活断層の取り扱いを表 2.1-4 に示す．建設省河川局開発課（1984）では，地質時代の第四紀（約 200 万年前～現在）に地表に変位を生じたことのある断層を「第四紀断層」と定義し，①文献により第四紀断層と指摘されているもの，②地形調査により断層変位地形の認められる線状模様，③地表踏査等により第四紀に変位を与えていることが確認された断層を，第四紀断層あるいはその疑いのある断層として取り扱い，①最終活動時期が 10,000 年前以降の断層，②最終活動時期が 10,000 年前～30,000 万年前の断層で，かつ長さが長いもの（10km 程度以上の長さをもつ断層），③第四紀後期に繰り返し活動した規模の大きい断層（阿寺断層，跡津川断層のようなものを想定）を，要注意な第四紀断層として取り扱っている．要注意な第四紀断層がダム敷に存在する場合は，調査結果を総合的に判断して，ダム位置の変更を含む適切な措置をとるものとしている．文献調査はダム位置から半径 50km，地形調査はダム位置から半径 10km，地質地表踏査はダム敷近傍（ダム敷およびその周囲 300m 以内の区域）および地形調査の結果特に必要と考えられる範囲について調査が行われる．

一方，ダム以外の施設については，産業保安各法令で電気，ガスなどの関連設備に関して耐震基準が定められているが，活断層に対する規制は現時点では定められていない．産業保安法令で求められている耐震基準を表 2.1-5 に，発電設備および送変電設備の耐震基準の変遷を表 2.1-6 に示す．

表 2.1-4　建設省河川局開発課（1984）におけるダム建設における活断層の取扱い

断層の名称	第四紀断層（地質時代の第四紀（約 200 万年前～現在）に地表に変位を生じたことのある断層）
対象となる断層	要注意な第四紀断層
認定基準（年代）	①最終活動時期が 10,000 年前以降の断層，②最終活動時期が 10,000 年前～30,000 万年前の断層で，かつ長さが長いもの（10km 程度以上の長さをもつ断層），③第四紀後期に繰り返し活動した規模の大きい断層（阿寺断層，跡津川断層のようなものを想定）
調査手法と調査範囲	<u>文献調査はダム位置から半径 50km</u>，<u>地形調査はダム位置から半径 10km</u>，<u>地質踏査はダム敷近傍</u>（<u>ダム敷およびその周囲 300m 以内</u>の区域）および地形調査の結果特に必要と考えられる範囲
工学的対応	要注意な第四紀断層がダム敷に存在する場合は，<u>ダム位置の変更を含む適切な措置をとる</u>．

表 2.1-5　産業保安法令で求められる耐震基準（経済産業省，2013）

法律	対象設備	求める耐震レベル	地域係数
高圧ガス保安法	・高圧ガス製造施設 （石油コンビナートの塔、貯槽、配管等） ※高圧ガス設備等耐震設計基準（告示）より。	（レベル1）有害な変形等が残留せず、かつ、当該耐震設計構造物内の高圧ガスの気密性が保持されること。等 （レベル2）耐震設計構造物内の高圧ガスの気密性が保持されること。等 （毒性ガス又は可燃性ガスを扱う設備のうち、量及び事業所の境界線までの距離の条件を満たすものについて適用。）	高圧法の告示で地域係数を指定。 （地域区分は、建築基準法をベースに、東海地震に対応して関東から中部の太平洋岸地域をかさ上げ） （ガス工作物、電気工作物については、民間の指針で規定。地域区分は高圧法と同一。）
ガス事業法	・ガス工作物 （ガス発生設備、貯槽、高圧ガス導管等） ※高圧ガス保安法の基準に準じた民間指針より。		
電気事業法	・火力発電設備 （LNG貯槽等） ※高圧ガス保安法の基準に準じた民間指針より。		
	・水力発電設備（ダム） ※発電用水力設備に関する技術基準を定める省令、発電用水力設備の技術基準の解釈について（内規）より。河川法体系の基準に準拠	（レベル1）ダム堤体に作用する荷重による応力が、使用するコンクリートごとにそれぞれの許容応力を超えてはならない。 （レベル2）「その地域における最大級の地震動」に応じて、「ダムの貯水機能が維持されるとともに、生じた損傷が修復可能な範囲にとどまること」を要求。 （強制法規はないが、耐震性能の照査を推奨。）	（レベル1のみ） 解釈基準で地域係数を指定。 （地域区分は建築基準法と同一。）
	①変電設備 ※日本電気協会「変電所等における電気設備の耐震設計指針」より。 ②送電設備、配電設備 ※設計基準は電気設備の技術基準を定める省令第32条。その他、平成7年資源エネルギー庁（当時）「電気設備防災対策検討会」における検討より。	（レベル1）個々の設備に重大な支障が生じないこと。 （レベル2）著しい（長期的かつ広範囲）供給支障が生じないよう、代替性の確保、多重化等により総合的にシステムの機能が確保されること。	全国一律

表 2.1-6　発電設備および送変電設備の耐震基準の変遷（日本建設業連合会，2014）

年代	主な地震	一般土木構造物	水力発電施設関連	火力発電施設関連	原子力発電施設関連	送変電施設関連
1920年 (大正9年)	1923 関東地震	1926 道路構造に関する細則案 【耐震設計の導入】				
1930年 (昭和5年)	1933 三陸沖地震	1939 鋼道路橋設計示方書案 【震度法 k_H=0.1～0.4】				
1940年 (昭和15年)	1945 三河地震 1946 南海地震					
1950年 (昭和25年)	1952 十勝沖地震	1956 鋼道路橋設計示方書 【地盤別、地域別に k_H を9種類に分類】	1957 ダム設計基準[日本大ダム会議]			
1960年 (昭和35年)	1960 チリ地震 1964 新潟地震	1969 海岸保全施設築造基準第2回改定[農水省, 水産庁, 運輸省, 建設省] 【津波に対して規定】	1960 水門鉄管技術基準(2005年第5回改訂) 1965 発電用水力設備に関する技術基準を定める省令[通産省]	1965 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令[通産省]	1965 発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令[通産省]（2013年最終改正） 1966 東海発電所運転開始(日本初の商業用原子炉)	1965 発電用電気設備に関する技術基準を定める省令[通産省]（2009年最終改正）
1970年 (昭和45年)	1978 宮城県沖地震	1971 道路橋耐震設計指針 【修正震度法, 液状化判定】 1977 新耐震設計法(案)[建設省] 1979 港湾の施設の技術上の基準･同解説[運輸省]	1976 河川管理施設等構造令（2013年最終改正）	1979 LNG地上式･地下式貯槽指針	1978 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針[原子力安全委員会]	
1980年 (昭和55年)	1983 日本海中部地震	1980 道路橋示方書 V耐震設計編 【動的解析の導入】		■JEAC3605-1983 火力発電所の耐震設計指針	1981 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針改訂[原子力安全委員会] ■JEAG 4601-1984 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 □1985 原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法 ■JEAG 4601-1987 原子力発電所耐震設計技術指針	■JEAG 5003-1980 変電所等における電気設備の耐震対策指針 1984 UHV送電用鉄塔・基礎耐震設計指針・解説[東京電力]
1990年 (平成2年)	1993 北海道南西沖地震	1990 道路橋示方書 V耐震設計編 【地震時保有水平耐力法】			■JEAG 4601-1991 原子力発電所耐震設計技術指針 追補版 □1992 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル	
1995年 (平成7年)	1995 兵庫県南部地震	1995 兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様 1996 道路橋示方書 V耐震設計編 【内陸直下型地震の考慮】	1995 電気設備防災対策検討会[原子力安全･保安院]　【耐震性能区分・確保すべき耐震性】 1997 発電用水力設備に関する技術基準を定める省令[通産省]（2013年最終改正） 1997 発電用水力設備の技術基準の解釈[通産省]	1997 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令[通産省]（2013年最終改正） 1997 発電用火力設備の技術基準の解釈[通産省] ■JEAC3605-1999 火力発電所の耐震設計規程 1999 LNG地下タンク躯体の構造性能照査指針[土木学会]		1997 発電用電気設備に関する技術基準を定める省令[通産省]（2012年最終改正） 1997 発電用電気設備の技術基準の解釈[通産省]
2000年 (平成12年)	2000 鳥取県西部地震	2001 土木構造物の耐震設計ガイドライン(案)[土木学会] 2002 土木・建築にかかる設計の基本[国交省] 2002 道路橋示方書 V耐震設計編 【性能規定型】		2002 LNG地上式･地下式貯槽指針(一次改訂)	□2002 原子力発電所の津波評価技術 □2002 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針	
2005年 (平成17年)	2007 新潟中越沖地震	2005 津波避難ビル等に係るガイドライン[内閣府]	2005 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説[国交省] 2007 河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説[国交省]	■JEAC3605-2009 火力発電所の耐震設計規程（第4回改定）	□2005 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針［改訂版］ 2006 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針改訂[原子力安全委員会] ■JEAC 4601-2008 原子力発電所耐震設計技術規程 ■JEAG 4601-2008 原子力発電所耐震設計技術指針 □2008 原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン	
2010年 (平成22年)	2011 東北地方太平洋沖地震	2011 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（新ガイドライン） 2012 道路橋示方書 V耐震設計編 【プレート境界型大規模地震の見直し】 2012 港湾の施設の技術上の基準･同解説（部分改訂）[国交省]	2011 東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書[消防庁] 2012 水力発電設備の耐震性能照査マニュアル[経産省] 2012 原子力安全･保安部会 電力安全小委員会 電気設備地震対策ワーキンググループ報告書[原子力安全･保安院] 2012 河川構造物の耐震性能照査指針・解説[国交省] 2012 国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル[農水省]	2012 LNG地上式･地下式貯槽指針(二次改訂)	2012 原子炉等規制法（改正炉規法）公布 □2012 原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン2012 2013 実用発電用原子炉に係る新規性基準[原子力規制委員会]	■JEAG 5003-2010 変電所等における電気設備の耐震設計指針

■：一般社団法人 日本電気協会　　□：公益社団法人 土木学会原子力土木委員会

2.1.3 国内のエネルギー関連施設以外の指針・規定類

国内のエネルギー関連施設以外（道路，鉄道など）についても，考慮すべき断層，工学的評価の方法について，指針･規定類にどのように記述されているかを調査した．エネルギー関連施設を含めてその結果を添付資料－２に示すとともに，表 2.1-7～表 2.1-9 に断層変位の取り扱いと調査範囲の部分を抜粋・整理した．

原子力関連施設とダム以外の構造物では，活断層の取り扱いに関して詳細に記述されている指針・規定類は少ない．関連する記述があるのは，表 2.1-7～表 2.1-9 に示すように，地下構造物，新幹線トンネル，鉄道構造物，パイプライン，水道，下水道の指針・規定類だけである．

この中で，断層変位に対する対策を明示しているのは，地下構造物，新幹線トンネル，鉄道構造物，パイプライン，水道である．新幹線トンネルでは，具体的に活断層交差箇所から前後 100m 区間に対して対策工を実施するとしているが具体的な方法は記述されていない．新幹線以外の鉄道構造物では，断層の調査範囲が記述されているが，すべての断層を避けることは困難であるとしている．

下水道は，断層を避けることが基本であるが，避けられない場合には，震後において構造物の機能を代替するシステムや復旧方策などを検討しておくとしている．

鉄道総合技術研究所（2004）「基礎構造物の耐震設計マニュアル（Q&A）」には，「地表断層変位の影響について」という項目があり，「活断層位置が明確で地上構造物が活断層と交差する場合には，単純桁化，桁座拡幅などの落橋防止対策の強化，構造物の高強度化などの対策が考えられる．また，断層変位に対しては，設計的な対応だけでなく，交通システムの代替性などのソフト面からの対策も併せて考慮する」と述べられている．このように，鉄道構造物に関しては，地震発生による破局的な状態の回避，検査・点検や代替交通システムなど，全体機能の早期回復を目指した対策が主になっている．

また，山新幹線新神戸駅は，基礎の直下に活断層の可能性が高い諏訪山断層が存在していることが知られていたが，トンネルとトンネルの間のわずかな明かり区間に計画されており，断層を避けることができなかったため，駅部分の高架橋構造物を構造的に独立した 3 つの部分に分割し，断層が変位しても崩壊しないような構造で設計・建設されている（3. 3. 14 項を参照）．

道路橋に関しては，日本道路協会（2012）「道路橋示方書・同解説Ｖ耐震設計編」に，地震の影響として“地震時地盤変位”を考慮しなければならないとされているが，その主旨は地震動によって地盤が変位することについての考慮であり，断層変位については特に触れられていない．「上部構造端部の遊間」「桁かかり長」についての記述の中に，「ノックオフ構造や大変位吸収システムのように，大地震時に実質的に遊間を確保できるような構造もあるので，必要に応じて検討するのがよい．」との記述があるのみである．

日本道路協会（2015）「道路橋示方書・同解説 Ｖ耐震設計編に関する参考資料」には，断層変位についての記述があるが，「（地震のマグニチュードと最大断層変位量との関係式を）工学的に利用する際には大きなばらつきを有している点に留意する必要

がある」と述べるにとどまっている．

盛土工，切土工・斜面安定工に関しては，日本道路協会による道路土工盛土工指針（2010），同切土工・斜面安定工指針（2009）がある．地震動による変状や崩壊を対象としており，断層変位に関する記述は認められない．

道路トンネルに関しても，日本道路協会による道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（2003）があるが，断層に関しては「地質的弱線」として表記されるにとどまっている．

既往文献としては，土木構造物全般に関して常田（2004），橋梁に関して松永・大塚（2009），児玉・原田ほか（2012）らがあるが，さらなる研究の進展が求められる．

表 2.1-7　各種構造物における断層変位の取り扱いと調査範囲(1)

構造物	断層変位の取り扱い	調査の範囲	指針・規定類
石油・ガス貯蔵施設（地上）	地震動に対する耐震設計を規定しており，断層変位に関する記述はない． 地震動の設定において活断層の有無を考慮している指針がある．	調査範囲の記述なし	・高圧ガス設備等耐震設計基準(告示 515 号 S56.10，告示 236 号 H23.12) ・製造設備等耐震設計指針,2012.3 ・高圧ガス導管耐震設計指針,2013.4
高圧ガス導管	考慮すべき断層に関する記述はない．	調査範囲の記述なし	・高圧ガス導管耐震設計指針，JGA 指-206-13，日本ガス協会，2013
石油・ガス貯蔵施設（地下空洞）	考慮すべき断層に関する記述はない． 堅固な岩盤中に建設する貯油槽については，掘削による岩盤の安定性に問題がなければ耐震設計計算は省略してよいとされている．	調査範囲の記述なし．	・岩盤タンクの安全確保に関する調査報告書，土木学会，1986.9 ・水封式燃料地下貯蔵施設技術指針，電気事業連合会，1980.3
地下構造物（全般）（対策を明示）	考慮すべき断層に関する記述はない． 断層変位を予測し，十分な技術的対策を施すことは困難であることが多いのが現状． 断層による影響変位量を吸収する構造あるいは追従する構造により技術的に対処． 技術的な対処が困難な場合は，拡幅やダブルルート化などのシステムとしての対応，復旧期間短縮のためのソフト的対応，構造物の位置やルートの見直し，被害が発生した場合の代替策等で対処．	調査範囲の記述なし．	・土木構造物耐震設計ガイドライン（案）－耐震基準作成のための手引きー，土木学会，2001.9 ・地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案），土木学会，2011.9
トンネル（新幹線以外）	考慮すべき断層に関する記述はない．	調査範囲の記述なし．	・トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説，土木学会，2006.7
トンネル（新幹線）（対策を明示）	活断層と交差する場合には，ハード・ソフト面で対策． 確実度 I かつ活動度 B 以上の活断層と交差している新幹線トンネルを対象とし，活断層交差箇所から前後 100m 区間に対して対策工を実施する．	調査範囲の記述なし．	・既設山岳トンネル地震対策・震災復旧マニュアル（案），鉄道総合技術研究所，2010.11
鉄道構造物（調査範囲を明示）	線状構造物である鉄道の路線選定を行う場合，すべての活断層を把握し，かつ避けることは困難である．	資料調査の範囲は，線路から 20～30km の幅の範囲，詳細調査は線路から 10km の範囲を基本とし，構造物の重要度を考慮して決定する．	・鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計，国土交通省鉄道局監修，鉄道総合研究所編，2012.9
鉄道の基礎構造物（対策を明示）	地上構造物が活断層と交差する場合には，単純桁化，桁座拡幅などの落橋防止対策の強化，構造物の高強度化などの対策が考えられる．また，断層変位に対しては，設計的な対応だけでなく，交通システムの代替性などソフト面からの対策も併せて考慮する必要がある．	調査範囲の記述なし	・基礎構造物の耐震設計マニュアル(Q&A)，鉄道総合技術研究所，2004.4

表 2.1-8　各種構造物における断層変位の取り扱いと調査範囲(2)

構造物	活断層の取り扱い	調査の範囲	指針・規定類
高規格道路	「地表地震断層の出現や大規模な地すべりに関する調査・評価法について，今後の調査研究の進展に応じて適切に対応していく必要がある．」としている．	調査範囲の記述なし	・道路橋示方書・同解説　V 耐震設計編，日本道路協会，2012.3
高規格道路	橋梁の耐震設計：道路橋示方書Ｖの規定による．土工建設編では，高盛土・大規模盛土についてのみ地震時の安定計算方法が示されている．トンネル建設編では，耐震に関する記述はない．	調査範囲の記述なし	・設計要領第二集橋梁建設編，東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社，2016
橋梁	道路橋の現行耐震設計基準では，断層変位に関する具体的な規定はないので，本小委員会で検討. 基本方針として，「変位吸収（追従）性能の高い構造形式」，「支間の長大化と効果的な断層線との交差角設定」，「変位吸収（追従）性能の高い部材断面」，「桁かかり長，落橋防止装置の適切な組み合わせ」，「震後の復旧シナリオ作成」を挙げている.	調査範囲の記述なし	・「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書，土木学会，2008.7
ダム（避けることと調査範囲を明示）	要注意な第四紀断層がダム敷に存在する場合は，ダム位置の変更を含む適切な措置をとる.	地質踏査はダム敷近傍（ダム敷およびその周囲 300m 以内の区域）および地形調査の結果特に必要と考えられる範囲	・ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針（案），建設省河川局開発課，1984
ダム（避けることと調査範囲を明示）	特に注意すべき第四紀断層がダムサイトを通過することが明らかとなった場合には，当該ダムサイトを候補地から除外. ダムサイト直近を通過する場合には，下流地域の社会条件，候補地選定の自由度等を総合的に検討し，ダムサイトとしての適否を決定.	■計画調査(第 1 段階) ・文献調査：ダム位置から半径 50km ・地形調査：ダム位置から半径 10km ■計画調査(第 2 段階) ダムサイト近傍の未確定の第四紀断層に沿う連続部分で調査に必要な範囲 ■計画調査(第 3 段階) ダムサイト直近を通る確実度の高い第四紀断層の連続部分を挟み，調査に必要な範囲	・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」基準書･技術書[共通編]，農林水産省農村振興局，2003
堤防・河川構造物	考慮すべき断層に関する記述はない.	調査範囲の記述なし.	・河川砂防技術基準（案）同解説 1997 調査編 1997；2005 計画編；1997 設計編ＩⅡ ・河川堤防の構造検討の手引き，国土技術研究センター，2002
港湾施設	考慮すべき断層に関する記述はない.	調査範囲の記述なし.	・港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，2007

表 2.1-9　各種構造物における断層変位の取り扱いと調査範囲(3)

構造物	活断層の取り扱い	調査の範囲	指針・規定類
放射性廃棄物処分施設（避けることを明示）	・高レベル処分：活断層が施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれる. ・中深度処分：断層活動による施設の力学的な破壊の影響が想定される地点には設置しない. ・浅地中トレンチ処分，浅地中ピット処分：廃棄物埋設地は，変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない.	HLW：全国規模の文献調査から開始するが，具体的な調査範囲は明示されていない. LLW：調査範囲の記述なし	・特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律，2000.6 ・第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則，2013.12 ・余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方，2010.4
パイプライン（対策を明示）	考慮すべき断層に関する記述はない. ・導管の有害な伸縮が生じるおそれのある箇所には，告示で定めるところにより当該有害な伸縮を吸収する措置を講じなければならない.	調査範囲の記述なし.	・石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令，2011.12
パイプライン（対策を明示）	考慮すべき断層に関する記述はない. ・屋外タンクの設置地盤は，岩盤の断層，切土及び盛土にまたがるもの等すべりを生ずるおそれのあるものであってはならない. ・導管には，有害な伸縮を吸収するための措置を講じなければならない.	調査範囲の記述なし.	・石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示，2015.4
水道（対策を明示）	地域特性，水道施設の重要度に応じて，以下に示す地盤変位等を考慮するものとする. １．埋設管路と構造物との接続部に発生する相対変位 ２．断層近傍における高レベルの地盤変位・地盤歪み（⇒耐震性能の高い管路を使用） ３．断層横断部における断層変位（⇒想定される断層変位に対応可能な変形性能を埋設管路に確保させる方法，被害が発生した場合のバックアップルートを確保する方法）	調査範囲の記述なし.	・水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版，日本水道協会，2009
下水道（避けることが基本）	断層は「避ける」ことを基本とし，避けられない場合には，震後において構造物の機能を代替するシステムや復旧方策などを検討しておく.	調査範囲の記述なし.	・下水道施設耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2014
共同溝	考慮すべき断層に関する記述はない.	調査範囲の記述なし.	・共同溝設計指針，日本道路協会，1986.3

2.1.4 土木学会地震工学委員会によるガイドライン等

(1) 土木構造物耐震設計ガイドライン（案）－耐震基準作成のための手引き－（土木学会，2001）

土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会では，2001 年に「土木構造物耐震設計ガイドライン（案)」を公表している．本ガイドラインでは，耐震設計を行う構造物として，橋梁（基礎構造物を含む)，抗土圧構造物，盛土，地中構造物，ダム，タンク，埋設管および港湾構造物を規定し，「８章 構造物の耐震性能の照査」において，各種構造物における断層変位への対応策が示されている．その内容を取りまとめた結果を表 2.1-10 に示す．地震動による影響評価の考え方は記述されているが，断層変位による影響に関しては，地中構造物に対して「拡幅やダブルルート化などのシステムとしての対応」や，「復旧期間短縮のためのソフト的対応」を示すのみである．

表 2.1-10 土木構造物耐震設計ガイドライン（案）における断層変位への対応策

対象構造物	断層変位への対応策
橋梁等構造物 抗土圧構造物 盛土	耐震性能について記述されているが，断層変位については記述されていない．
地中構造物	地中構造物に影響を及ぼす地盤変状として，断層変位が挙げられている．ただし，その対応に関しては，以下のように記述されている． ・「地滑りや断層変位に関しても，その発生位置や変位量の定量的な評価に基づく照査を行うことが望ましいが，これらについては，十分な精度で予測できない，もしくは，十分な技術的対策を施すことが困難であることが多いのが現状である．そのような場合には，拡幅やダブルルート化などのシステムとしての対応や，復旧期間短縮のためのソフト的対応に関する照査を行い，その影響を評価してもよい．」 ・「断層部を通過する線状地中構造物において，構造物の寸法以上の変位が想定される場合など，現段階では技術的に対応困難な場合に関する照査については，システム全体としての耐震性能を照査しておくのがよい．」
ダム	「わが国においては，第四紀断層が存在しないことがダムサイト選定条件のひとつとなっているため，断層変位に伴う構造的な損傷は考慮していない．」としている．
地下タンク 埋設管 港湾構造物	耐震性能について記述されているが，断層変位については記述されていない．

（土木学会（2001）を基に作成）

本ガイドラインは，設計入力地震動に対して構造物に要求される性能を明確にし，その耐震性能を満足するか否かを照査する体系としたものである．以下に「８章 構造

物の耐震性能の照査」からダムに関する記述を抜粋する．構造物の安全性を担保するための基準値を示すのではなく，いずれも性能を規定するという考え方になっている．

8.6 ダム
8.6.1 ダムの耐震性能の設定
　ダムの機能としては，水を貯える貯水機能，水を利用するための取水機能，洪水調節のための放流機能などがある．したがって，ダムの耐震性能については，想定される地震動に対して，これらの機能が保持されるように設定する必要がある．

【解説】

　ダムの地震時安全性に対する社会的要求度は，自然条件や社会条件などの状況に応じて変化するものと考えられる．環太平洋地震帯の中でも複数のプレートが複雑に交錯するエリアに位置し，国土が狭い上に可住地面積が少なく，河川流域の土地利用が高密度に進んでいる我が国においては，万が一，ダムが地震によって決壊した場合には，その下流域において重大な二次災害が派生する潜在的危険性が高い．そのため，ダムは，地震時安全性に対する社会的要求度が非常に高い土木構造物であると位置付けられる．

　ダムの機能としては，貯水機能を基本として，取水･利水機能，洪水調節･放流機能等がある．そのため，ダムの耐震性能に関しては，ダム堤体および基礎岩盤のように，ダム本体の地震時安全性に直接的に関連する事項のみならず，洪水吐や取水塔などの付属設備の安全性およびダム全体としての使用性能も含めて，総合的に設定することが必要である．ここでは，ダムの耐震性能について，ダムに要求される最も基本的な機能である，貯水機能が保持されることに着目して，つぎの 2 つの耐震性能を設定する．

　①耐震性能Ⅰ：地震によって構造的な損傷が生じないこと．

　②耐震性能Ⅱ：地震によって構造的な損傷が生じた場合でも，構造的な損傷が修復可能であり，ダムの貯水機能が保持されること（具体的な要件としては，解説表 8.6.1-1 に例示）

　レベル 1 地震動に対しては，耐震性能Ⅰを，レベル 2 地震動に対しては，地震時の堤体および基礎岩盤の損傷過程や損傷様式を考慮した上で耐震性能Ⅱを満足するものとする．

　なお，わが国においては，第四紀断層が存在しないことがダムサイト選定条件のひとつとなっているため，断層変位に伴う構造的な損傷は考慮していない．

解説表 8.6.1-1 耐震性能Ⅱに関してダムの貯水機能が保持されるための要件

ダムの種類	要件
コンクリートダム	・ダムが，転倒･滑動しないこと． ・堤体および基礎岩盤に貫通クラックが生じないこと． ・ダムが，決壊に至らないこと．
フィルダム	・遮水壁および基礎岩盤に貫通するクラックが生じないこと． ・貯水が，堤体を越流しないこと． ・ダムが，決壊に至らないこと．

(2) **「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書（土木学会，2008）**

橋梁がどの程度の断層変位に耐えうるのかがほとんど検討されてこなかったことを踏まえ，土木学会地震工学委員会の「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」が 2008 年に取りまとめた報告書である．本報告書は，１章「断層変位を考慮した地震動の考え方」，２章「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計」，３章「断層変位への対策方法」，４章「橋梁形式毎の検討」の４つの章で構成されている．以下に各章の記述概要を示す．

(i) **第１章：断層変位を考慮した地震動の考え方**

本小委員会では断層変位と慣性力を同時に橋梁モデルに作用させた時刻歴応答解析を行い，断層直上の橋梁の挙動を把握することを試みている．断層変位と慣性力を同時に考慮するためには，断層を含む地盤～橋梁系をモデル化して断層変位に伴う地盤と橋梁の震動を解析する方法と，橋梁モデルの支点部分に残留変位の異なる変位波形を入力する方法が考えられるが，本小委員会では後者を採用しており，残留変位の異なる 2 種類以上の変位波形を用意する必要があった（残留変位の差を断層変位とみなす）．以上を踏まえ，本章では，断層変位を考慮に入れた橋梁の動的解析に必要な，残留変位を伴う変位時刻歴波形を作成した．

(ii) **第２章：断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計**

道路橋の現行耐震設計基準では，地震による地盤の揺れ（地震動）のみを対象としており，断層変位の考慮に関する具体的な規定はないのが現状である．断層変位を考慮した新設橋梁や耐震補強に関する設計事例，研究事例は極めて少ないが，具体的な研究事例として, JCI 九州支部の委員会報告, および常田の研究を紹介するとともに, それらの事例における設計フローを示している．

本章では，2.2 節「計画・耐震設計の基本方針」において，断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する基本方針として以下が示されている．

<u>修復性（復旧性）を考慮すると橋梁に比べ土構造物などが望ましい場合が多い</u>と考えられるが，やむを得ず橋梁とする場合は，以下の点に留意するのがよい．

・<u>変位吸収（追従）性能の高い構造形式</u>を採用する．
・<u>支間の長大化</u>を検討するとともに，<u>効果的な断層線との交差角</u>を設定する．
・<u>変位吸収（追従）性能（変形性能）の高い部材断面</u>とするが，過大な部材断面とならないよう適切なデバイスの採用を検討する．
・桁かかり長，落橋防止装置の適切な組み合わせにより効果的な<u>落橋防止システム</u>を構築する．
・震後の<u>復旧シナリオ</u>を作成する．

(iii) **第３章：断層変位への対策方法**

断層変位への対策方法として,「デバイスによる方法」,「橋全体としての対策の基本思想」, デバイスによる方法の「解析例」を示している. デバイスによる方法としては, 「免震支承」,「制震ダンパー」,「ダンパー＋ゴム支承」,「すべり支承＋ゴム支承」,「ケーブル」が例示されている.

(iv) 第４章：橋梁形式毎の検討

本報告書の主要部分である．鋼橋，コンクリート橋それぞれについて「桁橋」，「ラーメン橋」，「アーチ橋」，「斜張橋」の 4 つの橋梁形式のモデル橋を対象に，1 章で作成した変位波形を用いて動的解析を行っている．残留変位量の異なる二つの変位波形を組み合わせることで，断層変位を考慮している．対象橋梁ごとの解析諸条件の比較を表 2.1-11 に示す.

表 2.1-11　対象橋梁ごとの解析諸条件の比較（土木学会，2008）

対象橋梁		使用ソフトウェア	断層の設定 位置	断層の設定 方向（静的解析時）	断層の設定 想定断層変位量（動的解析時）	変位の入力部位	速度、加速度の同時入力	仮想材の設定（図-2.3.3参照）	解析法
桁橋	ＰＣ７径間連続中空床版橋	TDAPⅢ	中央径間	橋軸 橋軸直角	橋軸・直角方向とも約1m	フーチング底面	なし	なし	微小変位
	鋼５径間連続鈑桁橋	RESP-T	中央径間	橋軸 橋軸直角	橋軸・直角方向とも約1.3m	地盤ばね先端	あり	考慮	有限変位
ラーメン橋	ＰＣ３径間連続ラーメン箱桁橋	TDAPⅢ	中央径間	橋軸＋鉛直の合成方向 (30度ピッチ) 橋軸直角	1.8m、3.9mの2パターン 橋軸方向は橋脚の開閉の2パターン考慮	直接基礎を支持する地盤ばね端部（静的解析） フーチング天端（基礎固定）（動的解析）	なし	なし	微小変位
	鋼３径間連続ラーメン箱桁橋	DYNA2E	中央径間	橋軸(横ずれ) 直角(横ずれ) 鉛直（縦ずれ） の直交6方向	橋軸：0.3m 直角：1m 鉛直：1.8m	地盤ばね先端	なし	なし	微小変位
アーチ橋	上路式ＲＣ固定アーチ橋	TDAPⅢ	中央径間	橋軸(横ずれ) 直角(横ずれ) 鉛直（縦ずれ） の直交6方向 および 橋梁と角度をもつ横ずれ (22.5度ピッチ)	橋軸方向で3.9m アーチアバットの開閉2パターン	橋台およびアーチアバットのフーチング下面	なし	考慮	微小変位
	上路式ＲＣ固定アーチ橋	自作	中央径間	同上	同上	支点（支承位置）	なし	なし	微小変位
	上路式鋼逆ローゼ橋	EPASS/USSP	中央径間	橋軸，直角，鉛直の3方向	橋軸方向で1m アーチ開閉2パターン	支点（支承位置）	なし	なし	有限変位
	中路式鋼ローゼ橋	TDAPⅢ	中央径間	橋軸	橋軸方向で1m アーチ開閉2パターン	支点（支承位置）	なし	考慮	微小変位
斜張橋	３径間連続PC斜張橋	TDAPⅢ	橋軸：中央径間 直角：中央，側径間	橋軸，直角，鉛直の3方向 および 橋軸と角度をもつ縦ずれ (22.5度ピッチ)	橋軸・直角とも約4m	橋脚は杭基礎をモデル化したばね、橋台はフーチング底面	なし	考慮	微小変位
	３径間連続鋼斜張橋	Midas/Civil	中央径間	橋軸，直角，鉛直の3方向 および 橋軸と角度をもつ縦ずれ，横ずれ	橋軸・直角とも0.3，1.8，3.9mの3パターン	地盤ばね先端	あり（変位を含めて強制外力に変換）	なし	微小変位

(3) 地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案）（土木学会，2011）

土木学会地震工学委員会地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会が作成した「地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案）」では，8.9 節の「断層変位の対策」として以下のように記述している．

> 活断層調査などにより地表地震断層の存在が想定され，それを横断して構造物を建設せざるを得ない場合は，構造物の応答に影響する変位量を予測し，その規模に応じて，影響変位量を吸収する構造あるいは追従する構造により技術的に対処する．
> ここで，影響変位量が大きく，そのままの構造では技術的な対処が困難な場合は，構造物の位置やルートの見直し，影響変位量を低減する構造および地表地震断層の変位による被害が発生した場合の代替策などにより対処する．

【解説】

構造物の計画や設計に関係する主な地表地震断層（以下，地震断層）の特性は 3 つに区分できる．

① 断層変位量（横ずれ変位量，水平傾斜ずれ変位量）

② 断層線の方向（＝構造物の軸方向との交差角）

③ 断層の傾斜角

構造物の応答に影響する変位量（以下，影響変位量）とは，上記の①による地震断層

層自身の変位量（以下，発生変位量）の場合もあるが，②あるいは③に関係して構造物と地震断層との相対的な位置関係から決まる変位量（例えば，橋軸方向の変位量）を意味する．

地震断層の工学的な対策の基本的姿勢は図 2.1-1 の［吸収する］,［追従する］および［避ける］の 3 つに分けられる．

・「吸収する」考え方

影響変位量が小さい場合は，それに追従するものの，構造的に「吸収」して影響されない構造とする．

・「追従する」考え方

影響変位量がやや大きい場合は，それに「追従」して変位するが，致命的な被害が発生しない構造とする．

・「避ける」考え方

影響変位量が相当大きく，そのままの構造では技術的な対処が困難な場合は，構造物の位置やルートを見直して地震断層を「避ける」ことになる．この場合は，断層線と構造物の交差角の見直し，あるいは基本的な構造変更などにより，影響変位量を低減する構造を考える．

なお，このような構造的な事前対策をしない場合も対処の一つであり，その場合は，地震断層の発生直後において構造物の機能を代替するシステム，地震断層による被害発生後の復旧方策などを考える．

地震断層の対策は，図 2.1-2 の流れに従って実施する．地震断層の発生時において構造物に要求される機能あるいはサービス水準を考慮して，構造物の計画段階，設計段階，地震断層の発生直後および復旧段階の事業段階毎に考えること，さらには各事業段階の対策を組み合わせて最適化することが有効である．

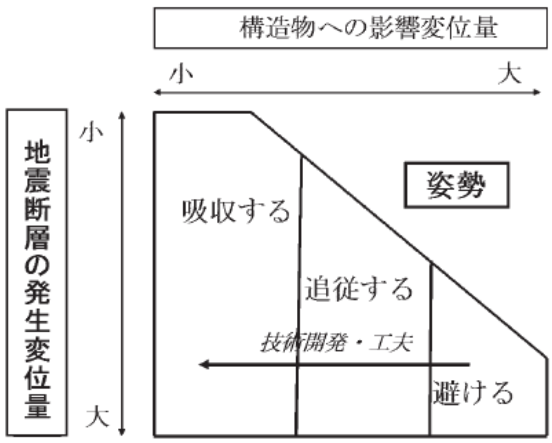


図 2.1-1　地震断層に対する工学的姿勢（土木学会，2011）

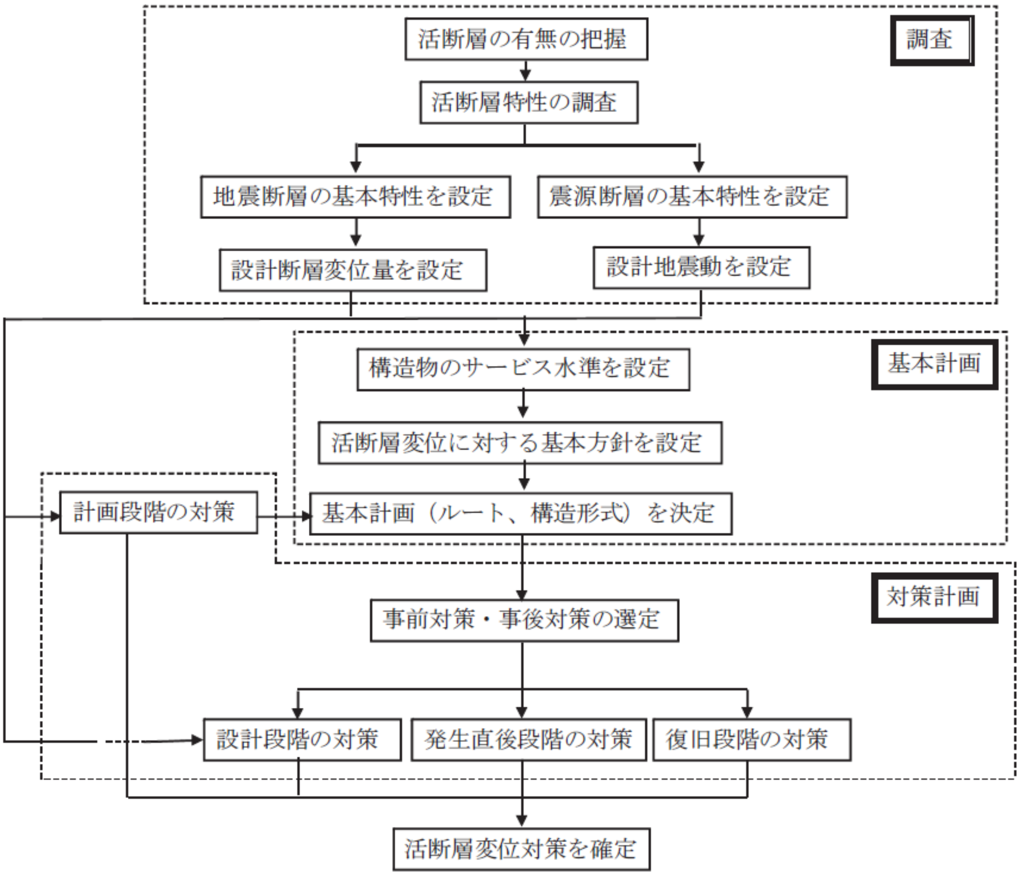


図 2.1-2　地震断層対策の検討フロー（例）（土木学会，2011）

(4) 性能設計体系における土木構造物の耐震設計事例集（土木学会，2014）

土木構造物の性能設計体系の考え方については，同じく土木学会において「性能設計体系における土木構造物の耐震設計事例集」が作成されている．

本事例集の「はじめに」では，「土木構造物の設計体系として仕様規定型体系から性能規定型体系への移行が求められている状況の中で，現実には各種の土木構造物に対して国や関連法人が定めた設計規準類が存在し，設計実務の現場ではそれら規準類に従った設計が現在もなお行われているのが現状である．2001 年 3 月には規制改革推進 3 カ年計画が閣議決定され,「基準の内容が, 技術革新に対して柔軟に対応できるよう, 仕様規定となっている基準については原則としてこれをすべて性能規定化するよう検討を行う」と位置付けられたにもかかわらず，画一的な方法が推奨ないしは要求される設計法として存在している.」と述べている.

附属資料に，国内における性能設計の状況について，道路，鉄道，ダム，港湾，水道，高圧ガス分野における,「性能照査で用いられる規準類」,「規準類の位置づけ，強制力」,「標準的な性能目標（レベル毎)」などが示されている．表 2.1-12，表 2.1-13 に一部を抜粋したものを分野ごとに示す.

本事例集は，耐震性能に係る性能設計の考え方を示したものであるが，断層変位による影響に関してもここで示された性能目標を満足することが必要になると考えられる.

表 2.1-12　国内における性能設計の状況（1）

分野	道路
性能照査で用いられる規準類	「道路橋示方書・同解説Ｖ耐震設計編」
規準類の位置づけ，強制力	「道路法」のもとに，国土交通省令である「道路構造令」が技術的基準として定められている．道路構造令は複雑多岐に渡るため，詳細な技術的基準として，社団法人日本道路協会から「道路橋示方書・同解説Ｉ～Ｖ」が出版され，通達で強制力のある基準として位置づけられている．
標準的な性能目標（レベル毎）	耐震性能１：地震によって橋としての健全性を損なわない性能 耐震性能２：地震による損傷が限定的なものに留まり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能 耐震性能３：地震による損傷が橋として致命的とならない性能 レベル１地震動では耐震性能１，レベル２地震動では重要度A種の橋は耐震性能３，重要度B種（特に重要度が高い）の橋は耐震性能２が求められる．
分野	鉄道
性能照査で用いられる規準類	「鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計」をベースに，コンクリート構造物，土構造物，基礎構造物，抗土圧構造物，シールドトンネル，開削トンネル等の各編で構造種別毎の詳細な応答算定法や照査法が規定されている．
規準類の位置づけ，強制力	国土交通省令例第151号「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」の解釈基準・解説の位置づけで，「鉄道構造物等設計標準・同解説」が存在するが，強制力のない通達となっている．鉄道事業者は，「鉄道構造物等設計標準・同解説」を実施基準とする旨を，国土交通省に届け出ることになっており，個別事業者が独自に実施基準を策定することは現実的には無理なので，実質的には「鉄道構造物等設計標準・同解説」だけが実施基準である．
標準的な性能目標（レベル毎）	耐震性能Ｉ(L1)：地震後にも補修せずに機能を保持でき，かつ過大な変位を生じない． 耐震性能Ⅱ(L2)：地震後に補修を必要とするが，早期に機能が回復出来る． 耐震性能Ⅲ(L2)：地震によって構造物全体系が崩壊しない．
分野	ダム
性能照査で用いられる規準類	「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」ただし，実際は改訂案で運用されていながら，それはまだ公開されていない．改訂案の要点は，論文として公開されている．
規準類の位置づけ，強制力	河川法のもとに，国土交通省令である「河川管理施設等構造令」が技術的基準として定められている．指針・基準類は，構造物毎に定められ，ダムについては，「改訂ダム設計基準（社日本大ダム会議昭和 46 年）」がある．「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」は，「河川管理施設等構造令」が震度法によるものであることから，ダムの安全性照査のためにレベル２地震動を対象に定められている．指針（案）には照査の大きな流れが示され，具体的な手法は国総研資料に参考資料として示されている（手法・計算条件を詳細に記した強制力のある基準はない）．
標準的な性能目標（レベル毎）	レベル２地震動に対してのみ規定． ①貯水機能が維持されること 制御できない貯水の流出が生じない ②生じた損傷が修復可能なこと 適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で継続使用可能な範囲にとどまること

（土木学会（2014）から抜粋）

表 2.1-13　国内における性能設計の状況（2）

分野	港湾
性能照査で用いられる規準類	港湾の施設の技術上の基準市販の図書として「港湾の施設の技術上の基準・同解説」
規準類の位置づけ，強制力	港湾の施設の技術上の基準は大臣告示であり，強制力がある．ただし，同基準には性能照査の詳細規定は無く，要求性能・性能規定のみが位置づけられている．港湾の施設の技術上の基準・同解説には，強制力の無い標準的な照査法が述べられている．
標準的な性能目標（レベル毎）	①レベル 1 地震動に対しては，構造部材を弾性範囲内に収めるとともに，岸壁の変形量を許容値以下にすることを性能目標とする．許容変形量は構造形式別に標準値が定められている．レベル 1 地震動に対しては液状化を許容しないことが標準である．②レベル 2 地震動に対しては，構造部材の応答の許容値が構造形式毎に定められている．外部安定に対しては，変形量許容値は 1m程度以上の適切な値とし，設計者の判断で定める．
分野	水道
性能照査で用いられる規準類	厚生労働省：水道施設の技術的基準を定める省令日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説
規準類の位置づけ，強制力	水道施設の技術的基準を定める省令は厚生労働省令であり，法的強制力がある．（水質基準と同等レベル）水道施設耐震工法指針・解説は，厚生労働省令との整合を図った記述としているが，法的強制力はない．ただし，実務的には「設計基準」と同等の扱いとなっている．
標準的な性能目標（レベル毎）	厚生労働省令に定められており，法的強制力がある． ①レベル 1 地震動に対しては，地震によって健全な機能を損なわないこと．②レベル 2 地震動に対しては，生ずる損傷が軽微であって，機能に重大な影響を及ぼさないこと．水道施設耐震工法指針・解説ではレベル 1 地震動の標準的な目標性能を耐震性能 1 としており，RC 構造の構造部材は弾性範囲内に収めるとしている．レベル 2 地震動の標準的な目標性能を耐震性能 2 としており，RC の構造部材を最大耐荷力以内に収めるとしている．
分野	高圧ガス
性能照査で用いられる規準類	「製造設備等耐震設計指針」，「高圧ガス導管耐震設計指針」，「LNG 地上式貯槽指針」，「LNG 地下式貯槽指針」
規準類の位置づけ，強制力	上位に高圧ガス保安法が有り，高圧ガス保安協会の「高圧ガス設備等耐震設計基準」が経済産業省から見なし基準として告示される．これを受けて，主に LNG，LPG のガス事業者が経済産業省の委託により，それらに特化したより安全性の高い民間指針として策定するものである．
標準的な性能目標（レベル毎）	レベル 1 地震動：修復可能な軽微な損傷にとどめ機能継続 レベル 2 地震動：人命損失回避の観点から構造物の倒壊・崩壊やガス漏洩させない

（土木学会（2014）から抜粋）

2.1.5 海外の活断層に関する指針・規定類

海外における活断層に関する指針・規定類の収集を行った．その結果を表 2.1-14, 表 2.1-15 に示す．これらの調査結果を基に取りまとめた海外における活断層に対する考え方を以下に示す．

(1) 指針・規定類の分類

活断層に対する指針･規定類を，制定機関により区分すると図 2.1-3 のようになる．上位から国際基準，国ごとの基準類，行政区ごとの基準類そして施設・事業者ごとの基準類である．

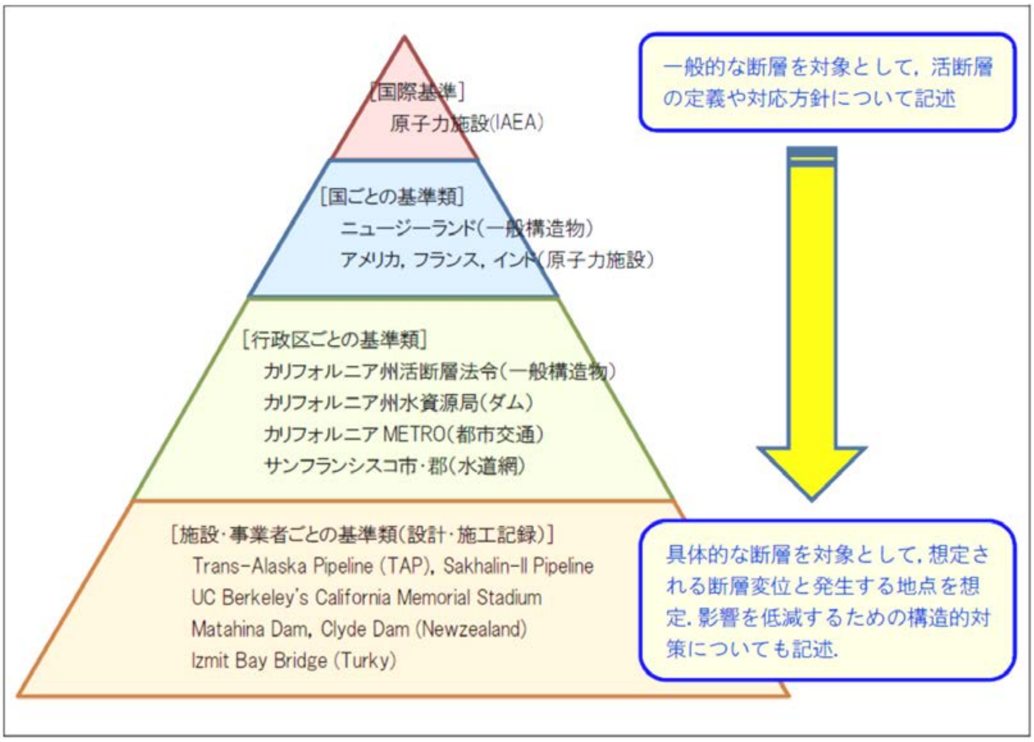


図 2.1-3　海外における活断層に関する指針・規定類

(i) IAEA の基準

国際基準は IAEA（国際原子力機関）によるものであり，特異な位置づけにある．他の土木・建築構造物（橋梁，トンネル，建築構造物，鉄道，空港，港湾など）についても国際基準が制定されているものはない．IAEA による国際基準の内容としては，一般的な断層を対象として活断層の定義や対応方針について記述しているものの，具体的な記述はない．

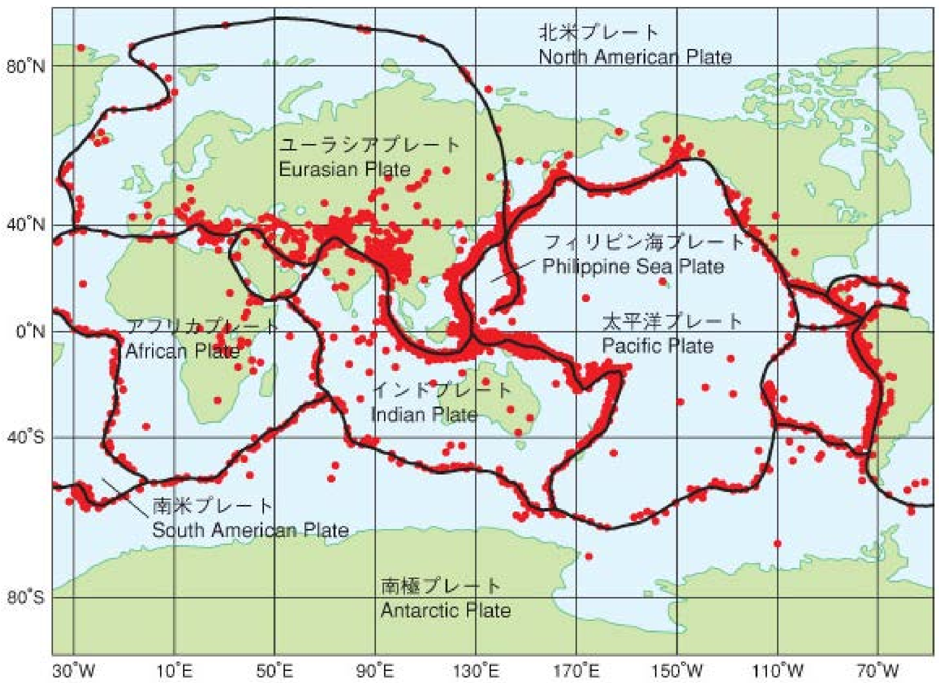
(ii) 国・行政区ごとの基準

国ごとあるいは行政区ごとの基準類については，活断層が数多く分布する（当然，地震活動度も高い）国や地域において制定されているもの（図 2.1-4），あるいは原子力施設などの重要構造物やインフラなどに限定したものに見受けられる．このうち，国ごとあるいは行政区において一般構造物等を対象としたものでは，ニュージーランド環境省によるガイドラインやアメリカ・カリフォルニア州による Alquist-Priolo 地震断層ゾーニング法（AP 法）が挙げられる．特定のインフラを対象としたものは，カリ

フォルニア州水資源局によるダムの基準，ロサンゼルス郡都市圏交通局による都市交通システムのトンネル等の対策，サンフランシスコ市・郡による水道パイプラインの対策が挙げられる．

(iii) 施設・事業者ごとの基準

施設・事業者ごとの対応としては，具体的な断層を対象として，想定される断層変位と発生する地点をもとに影響を低減するための構造的対策についても検討している．



注）1993～2002年，マグニチュード５以上，100kmより浅い地震。
資料：アメリカ地質調査所の震源データをもとに気象庁において作成

図 2.1-4　世界の震源分布とプレート（内閣府，2005）

(2) 海外の指針・規定類の概要

海外の指針・規定類をみると，活断層の定義や認定などに言及しているものはない．これらの作業は他の専門機関（アメリカでは地質調査所(USGS)，ニュージーランドでは地質・放射能科学研究所）が実施し，その成果を利用している．

カリフォルニア州およびニュージーランドは活断層の分布が多い地域であり，一般構造物に対する法令の制定と活断層危険ゾーン・マップ（ハザードマップ）の公開がセットで実施されている（図 2.1-5）．

活断層の分布とそれによる構造物やインフラへの被害は，基本的にローカルな現象である．このため，その対応についてもローカルなものとなる．すなわち，個別の施設や事業ごとに存在する断層の特性（活動度，変位量，地震規模など）を設定し，対象とする構造物の設計・施工において対策が実施されている．

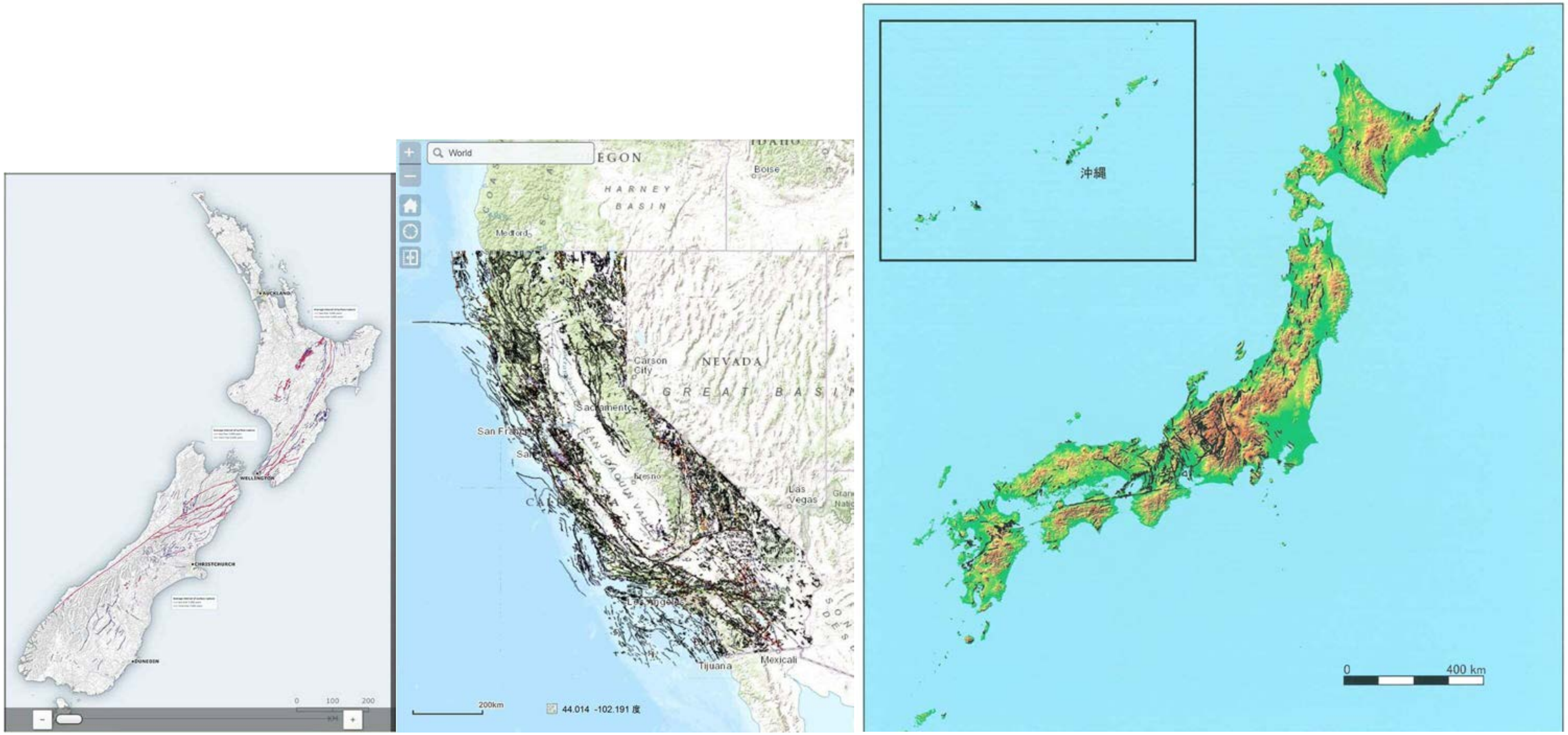
日本では，活断層・断層による地震時の変位（挙動）についての研究・対策はほとんどなされていない．特にこれらの研究・対策が必要と想定される原子力施設の分野でも，「活断層か否か」という議論だけが行われている．

表 2.1-14　海外の活断層に関する指針・規定類（1）

対象施設	指針・規定類もしくは文献の名称	発行年	制定機関	活断層の呼び方	活断層の定義	活断層の認定基準	工学的な対応方針・対応策	備考
原子力施設 （国際基準）	IAEA Safety Standards No.SSG-9 Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations	2010	IAEA (国際原子力機関)	Capable Fault	Capable Fault：a fault that has a significant potential for displacement at or near the ground surface.	数万年のオーダーの再現期間を有するもの.	「サイトの安全性に影響を及ぼす可能性のある活断層の存在を示す信頼性の高い根拠が得られたとき，そのサイトの施設の設計・施工そして安全確保の実現可能性は再評価されるべきである．そしてもし必要であるならば，代替用地（サイト）を検討すべきである．」 確率論的断層変位危険度解析(Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis)の活用	国際規格 （原子力施設）
原子力施設 （アメリカ）	Probabilistic Fault Displacement and Seismic Hazard Analysis Literature Assessment,Center for Nuclear Waste regulatory Analysis San Antonio, Texas,1991	1991	NRC (United States Nuclear Regulatory Commission) アメリカ合衆国 原子力規制委員会	Fault			PFD&SHA(Probabilistic Fault Displacement and Seismic Hazard Analysis)による対応. 図・マグニチュードM～最大地表面断層変位（実測結果のプロット）による最大変位は20m.	国の規格 （原子力施設）
原子力施設 （フランス）	BASIC SAFETY RULE Fundamental safety rule n°2001-01 concerning basic nuclear installations	2001	ASN (The French Nuclear Safety Authority) フランス原子力安全局	Active Fault		数万年の再現期間を示すもの	本基準は全ページ14p，具体的な記載はない。 APPENDIX III CONSIDERATION OF ACTIVE FAULTS WITH SURFACE FRACTURE 1) 調査方法，2) 断層の活動周期，3) 変動の予測	国の規格 （原子力施設）
原子力施設 （インド）	GOVERNMENT OF INDIA MONOGRAPH ON SITING OF NUCLEAR POWER PLANTS		Civil & Structural Engineering Division ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD, NIYAMAK BHAVAN, ANUSHAKTI NAGAR MUMBAI-400094, INDIA	Fault			3.1. External Events Due to Natural Phenomena 1) Earthquakes and surface faulting Seismic Zone V (the Himalayan regions)にはNPPは建設しないこととする	国の規格 （原子力施設）
一般構造物 （ニュージーランド）	Planning for Development of Land on or Close to Active Faults (A guideline to assist resource management planners in New Zealand)	2003	Ministry for the Environment Institute of Geological & Nuclear Sciences client report 2002/124, Project Number: 440W3301	Active Fault	過去120,000年までに活動したもの Newzealand全土の詳細な活断層マップが公開されている.		ニュージーランド環境省　地質・放射能科学研究所によるガイドライン 対象は家屋や土地開発などの一般構造物. Fault Avoidance Zones ＝ 20m either side of fault trace	国の規格 （一般）
一般構造物 （アメリカ，カリフォルニア州）	Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act / Alquist-Priolo地震断層ゾーニング法（AP法）	1972	California Geological Survey PRC Division 2 Chapter 7.5_ EARTHQUAKE FAULT ZONING	Active Fault	Earthquake Fault Zone Mapsと関連したFault Evaluation ReportsがCalifornia州のホームページに公開されている.		1971年のSan Fernando地震(Mw=6.6)を契機に制定された州法. 地震断層ゾーンへの家屋・建造物の建設を規制する. 地震断層ゾーンの幅は1/4マイル（約400m）程度.	州の規格 （一般）
ダム （アメリカ，カリフォルニア州）	（論文） CALIFORNIA DIVISION OF SAFETY OF DAMS FAULT ACTIVITY GUIDELINES, William A. Fraser	2001	Division of Safety of Dams California Department of Water Resources （カリフォルニア州水資源局ダム安全部）	Active Fault	DSOD Fault Activity Guidelines ・Active Seismic Sources Holocene Active Fault (過去10,000年に変位を生じたもの) Latest Pleistocene Active Fault (過去35,000年に変位を生じたもの) ・Conditionally Active Seismic Sources ・Inactive Seismic Sources			州の規格 （ダム）

表 2.1-15　海外の活断層に関する指針・規定類（2）

対象施設	指針・規定類もしくは文献の名称	発行年	制定機関	活断層の呼び方	活断層の定義	活断層の認定基準	工学的な対応方針・対応策	備考
都市交通システム （アメリカ，カリフォルニア）	Technical Memorandum Fault Rupture Evaluation for the SR 710 North Study, Los Angeles County, California	2014	California Metro (Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority) ロサンゼルス郡都市圏交通局	Active Fault			管轄するLRTトンネルと高速道路トンネルが、San Rafael断層，Eagle Rock断層，Raymond断層の3本と交差する. 断層変位の評価として、DFDHA (deterministic fault displacement hazard analyses)とPFDHA (probabilistic fault displacement hazard analyses)を使用.	州の規格 （交通施設）
水道パイプライン （アメリカ，サンフランシスコ）	（論文） Aboveground Seismic Retrofit Schemes of Water Pipelines Crossing the Hayward fault, Cheng 12th World Conference on Earthquake Engoneering, 2000	2000	Utilities Engineering Bureau, City and County of San Francisco サンフランシスコ市・郡	Active Fault [Hayward Fault]			Hayward断層は幅6.0mのCreep Zoneとその両側に4.6mのSubsidiary Faulting Zoneを有する。設計における断層変位（水平変位）はProbable Earthquake (PE)で1.5m，Maximum Earthquake (ME)で3.0mであり，鉛直変位は水平変位の10%。地下パイプライン5案と地上パイプライン3案を比較して，地下パイプライン（新規のパイプラインを開削工法によって敷設し周囲を砕石によって充填する工法）を選定。	市・郡の規格 （水道施設）
原油パイプライン （アラスカ，Alyeska Pipeline Service Company）	（論文） Effect of the Denali Fault Rupture on the Trans-Alaska Pipeline.，Sorensen and Meyer	2003	ASCE, Advancing Mitigation Technologies and Disaster Response for Lifeline Systems: pp. 547-555	Active Fault [Denali Fault]			Denali断層を横断するパイプラインにおいて断層変位に追随する設計・施工を実施（水平変位6.0m，鉛直変位1.5m）. 2002年のDenali Earthquakeの断層変位に追随した.	施設の規格 （原油パイプライン）
原油パイプライン （サハリン，Sakhalin Energy Investment Company）	Seismic Risk and the Onshore Pipeline Portion of Sakhalin Energy Investment Company's Sakhalin-II Phase 2 Project: Unanswered Questions	2004	A Report to Sakhalin Environment Watch, Friends of the Earth Japan, ISAR, Pacific Environment and WWF Russia	Active Fault			サハリン近海の海上油田で採取した原油と天然ガスを南端のYuzhino-Sakhalinskまで輸送する総延長807kmのパイプライン。ルートにおいて横断が想定される19の断層について、水平変位と鉛直変位を想定している。	施設の規格 （原油パイプライン）
スタジアム （アメリカ，カリフォルニア）	(論文) UC Berkeley's California Memorial Stadium: Seismic Strengthening of an Historic Structure Residing over an Active Fault. R. Vignos, M. Walter, G. Bomba, D. Friedman, 2009	2009	ATC & SEI 2009 Conference on Improving the Seismic, Performance of Existing Buildings and Other Structures	Active Fault			Hayward断層の直上部にあるUC Berkeley's California Memorial Stadiumの改修. 断層はスタジアムを分断する状態で位置し、常時のクリープ変位と地震時変位が想定された。断層変位に対応するために、観客席の一部をジョイントによって分離。	施設の規格 （スタジアム）
Matahinaダム （ニュージーランド）	Upgrading of Matahina Dam for Foundation Fault Displacement	1999	ASCE, Waterpower 1999	Active surface fault			高さ80mのロックフィルダム。1987年のM＝6.7の地震後に堤体内部に変状が確認された。その後、ダム基礎にWaiohau断層が確認されたことにより対策が計画された。想定される断層変位は3.0m。断層変位と地震動による堤体の漏水とその後の崩壊を抑止するために、堤体材料の一部改良を実施。	施設の規格 （ダム）
Clydeダム （ニュージーランド）	(論文) DAMS AND EARTHQUAKES IN NEW ZEALAND Peter Amos and Murray Gillon			Active Fault			高さ100mのコンクリード重力式ダム。ダム基礎に確認されたDunstan断層の変位に追随するよう堤体中央にスリット(slip joint)を施工した。これにより、断層変位2.0mにまで対応可能。	施設の規格 （ダム）
Izmit Bay Bridge （トルコ）	(論文) IZMIT BAY BRIDGE SOUTH APPROACH VIADUCT: SEISMIC DESIGN NEXT TO THE NORTH ANATOLIAN FAULT. A. Giannakou, J. Chacko and W. Chen (基礎工，Vol.44，No.1，2016.1，p.84-88) トルコ・イズミット湾横断橋の基礎 川上剛司，井上学，山本義人，谷澤次康	2014	Istanbul Bridge Conference, August 11-13, 2014, Istanbul, Turkey	[North Anatolian Fault]			トルコのIzmit湾を南北に横断する橋長2,682mの吊橋であり，北Anatolian断層の近傍に位置する．当初計画で南アンカレッジの近傍に2次断層が発見されたために，南アンカレッジを北側に移動した。 南北主塔基礎は鋼管杭によって補強された基礎地盤上に厚さ3mの砕石層を施工し，その上に鉄筋コンクリート造のケーソン基礎が設置されている。これにより，NCE規模の地震(M7.9)が発生してもケーソン下面においてすべりが生じ，地震時の水平力の伝達を軽減している。	施設の規格 （橋梁）



①ニュージーランド　②アメリカ，カリフォルニア州　③日本（主要活断層）

図 2.1-5　活断層が数多く分布する国・地域の対比

・活断層の分布が多いとされるニュージーランド，カリフォルニア州，そして日本について，活断層分布マップを対比
・表示スケールはほぼ同一

（ニュージーランド）作成：ニュージーランド環境省　地質・放射能科学研究所，出典：Te Ara The Encyclopedia of New Zealand is a comprehensive guide to our peoples, natural environment, history, culture, economy and society.，http://www.teara.govt.nz/en/zoomify/4345/active-faults-in-new-zealand
（カリフォルニア州）作成：California Department of Conservation，出典：http://maps.conservation.ca.gov/cgs/fam/

2.2 主断層（震源断層），分岐断層，副断層等の区分に関する考え方の整理

活断層は 1927 年に発生した北丹後地震後，地形学者である多田文男（東京帝国大学教授）によって，「極めて近き時代迄地殻運動を繰り返した断層であり，今後も尚活動す可き可能性の大いなる断層」と初めて定義された．現在も基本的にはこの定義が踏襲されていると考えられているが，学術的には活断層の定義に若干の個人差があると周知されている．この問題については，鈴木（2014）にまとめられ，第一点は「地表の地震断層と地下深部の現象が同一と見なすか否か」，第二点は「地表に地形・地質学的な証拠を残すもののみを活断層と呼ぶか，あるいは地表に変形がなくても活断層と呼ぶか」，第三点は「深部まで続いて地震動を起こす断層のみに注目するか，比較的浅部のみにある副次的な断層までを活断層の一部とみるか」といった定義の差があると指摘している（表 2.2-1）．

表 2.2-1　活断層の定義の差についての整理

活断層の定義の差	
1. 地表の地震断層と地下深部の現象が同一かどうか	a. 同一と見なす
	b. 同一と見なさない
2. 地表に地形・地質学的な証拠を残しているか	a. 残しているものを活断層とする
	b. 残していないものも活断層に含める
3. 浅部のみにある副次的な断層までを活断層として見るか	a. 深部まで続いて地震動を起こす地震のみ注目する
	b. 浅部の副断層も活断層の一部として含める

（鈴木（2014）を整理）

副断層は，主断層（震源断層）とは直接関係しないが，断層活動時に浅部で変位を伴う断層として考えられているが，副断層を設計上考慮すべきかどうかについては，活断層の定義の差によるものが大きいと考えられる．各機関で発行されている資料や文献には，副断層についての考え方や取り扱い方が以下のように述べられている．

2.2.1 原子力安全推進協会（2013）

原子力安全推進協会（2013）では，地表変位について「主断層」，「分岐断層および考慮する活断層」，「副断層」の３つに区分した．「主断層」とは，震源断層モデルと調和的で連続性のある地表地震断層で，主変位を有する断層としている．「分岐断層および考慮する活断層」とは，連続性が低い地表地震断層で，主断層よりも小さい変位量であるが，変動地形に対応していることから地震動を考慮する活断層として抽出される断層としている．また，「副断層」とは，地震時に変位が認められたが変動地形に対応していない断層としている（図 2.2-1）．

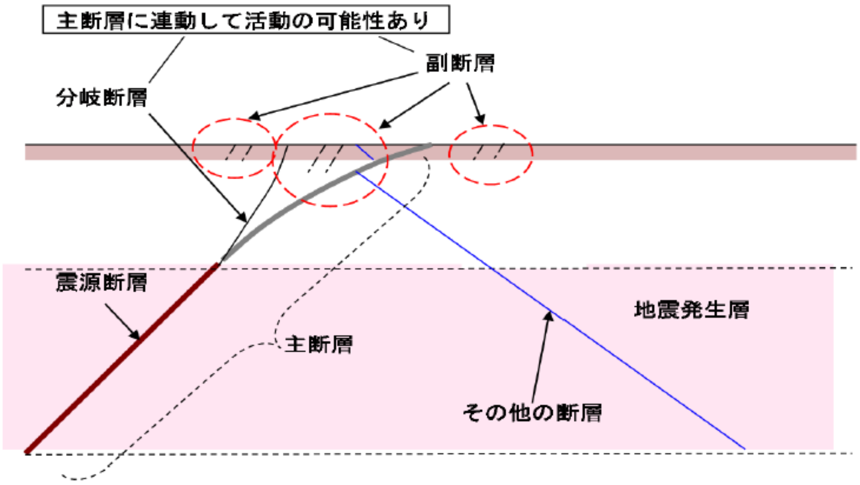


図 2.2-1　地表地震断層分布概念図（原子力安全推進協会，2013）

2.2.2 Treiman(2009)

Treiman(2009)は，地震による災害が予測できるかどうかを検証するため，各地で出現した地表地震断層の特徴を分析した．その中で，断層を次のように分類，定義している，“Primary fault（主断層：地震活動によって現れた主変位がトレースされる断層）”，“Secondary or Branch fault（副断層および分岐断層：主断層と平面もしくは深度方向に接続し，主断層と比べて破砕の程度が小さい断層）”，“Bending moment fault（断層関連褶曲に伴う断層）”，“Sympathetic fault rupture（同情して動いた全く別の断層）”，“Shaking induced displacements（地震動で引き起こされた変位）”（図 2.2-2）.

著者は断層の分類学が不十分であること，過去の変位情報が不十分であること，変位量は再現的ではないこと，断層のトレースはトレンチ調査の結果を繋ぎ合わせたもので，断層のすべてを表現しているものではないことを示した.

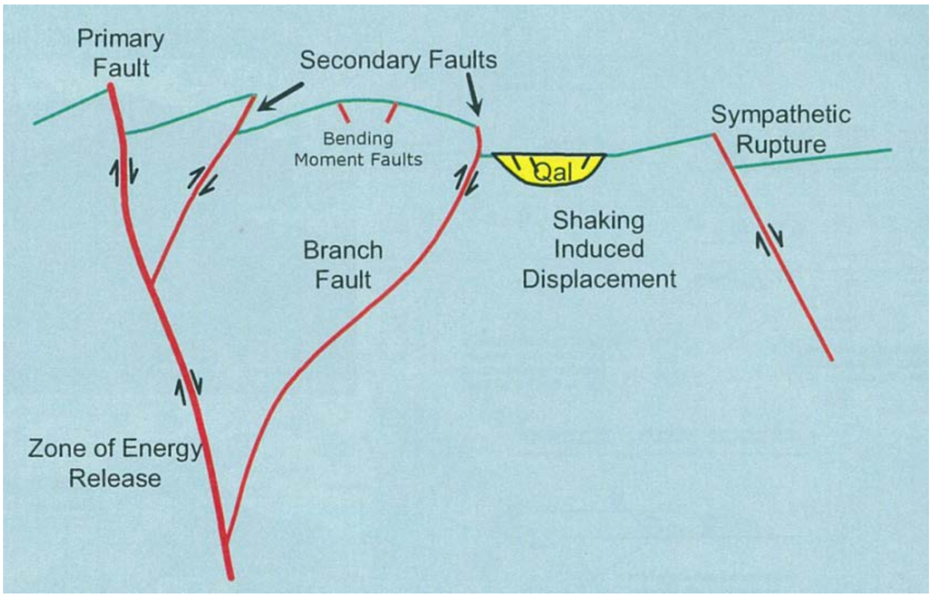


図 2.2-2　地表地震断層の分類と定義（Treiman，2009）

2.2.3 山崎晴雄（2016）

山崎（2016）は「2016.01.28 原子力安全合同シンポジウム講演」において，地震断層・活断層・震源断層の関係を図 2.2-3 のように示し，地震断層を「地震時に地表に出現する断層の総称」と定義した上で，主断層，分岐断層および副断層を以下のように区分している．

・ 主断層：地下の地震発生層内の震源断層の地表延長部，または密接に関連する断層
・ 分岐断層：地下で主断層（震源断層）から分岐し，主断層から離れたところに出現する地震断層
・ 副断層：主断層の近くの地表に出現するが主断層とは直接的な関連を持たない地震断層

ここで，表層の重力作用であることが明らかなもの（地すべり・崩壊に関連するもの）は地震断層に含めないとしている．さらに，主断層は断層変位地形と一致することが多いが，副断層は変位量が小さいため断層変位地形を伴わないことが多いと述べている．

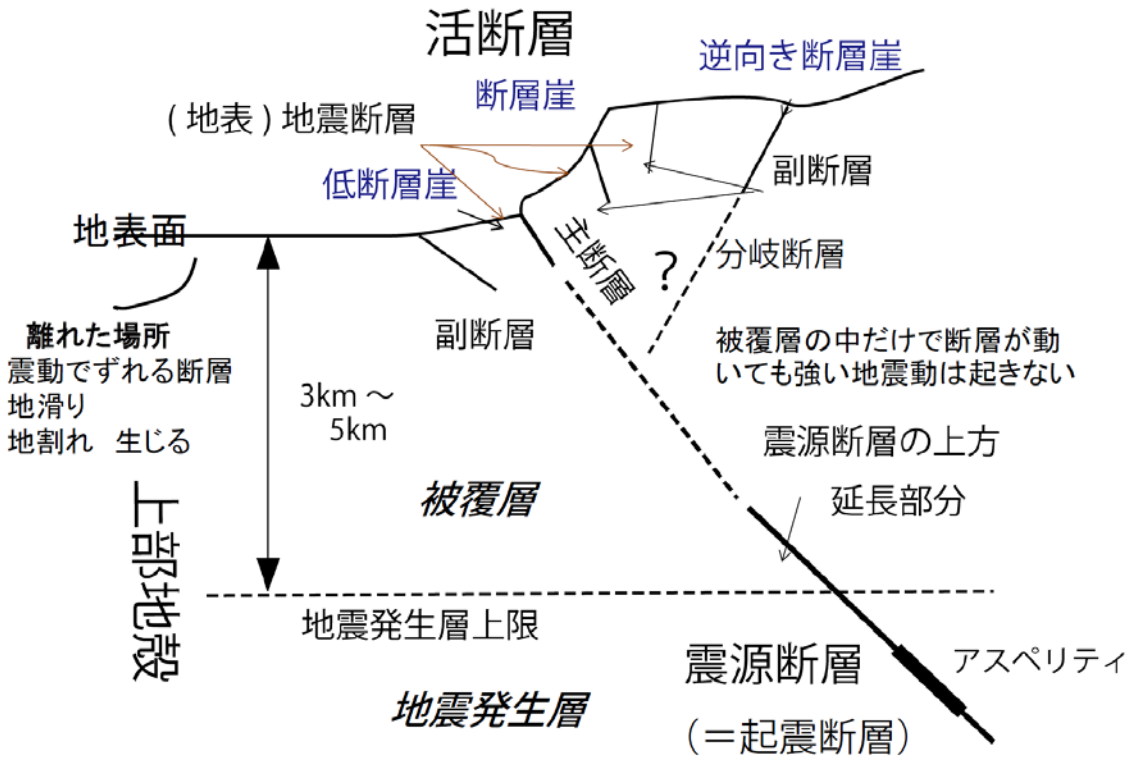


図 2.2-3　地震断層・活断層・震源断層の関係（山崎，2016）

2.2.4 原子力規制委員会(2013b；2013c)

2.1.1 項に示したように，「将来活動する可能性のある断層等」には，「震源として考慮する活断層のほか，地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え，支持基盤を切

る地すべり面が含まれる」とされ，副次的な断層や地すべりも対象となるとしている．これは，IAEA Specific Safety Guide No.9 “Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” の中の “Capable Fault（地表にずれを起こしかねない断層）”と同義であるとしている（図 2.2-4）．

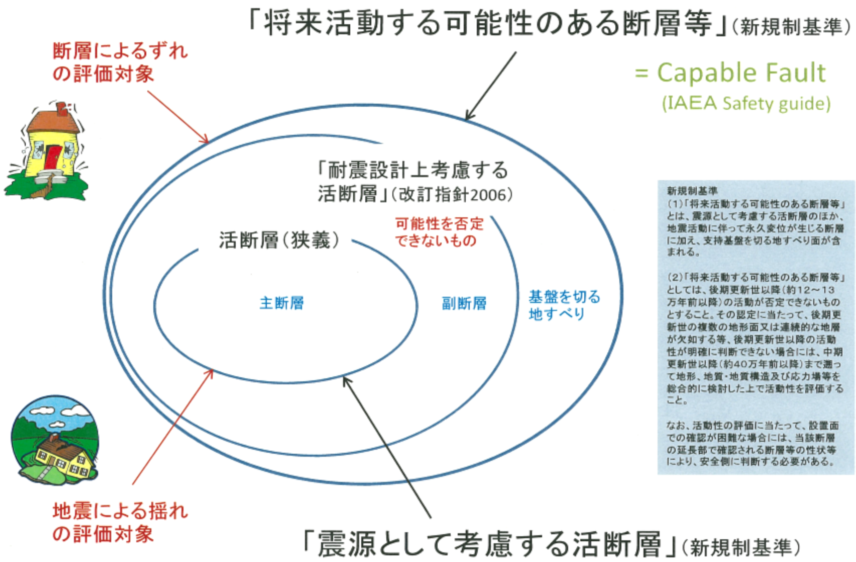


図 2.2-4　新規制基準における「活断層」関連用語の概念整理（原子力規制委員会，2013c）

2.2.5 地震調査研究推進本部（2013）

地震調査研究推進本部（2013）では，主断層と副断層の活動時期について注目し，副断層が活動する際には主断層も活動するが，主断層が活動する際には副断層も活動するとは限らないとしている（図 2.2-5）．

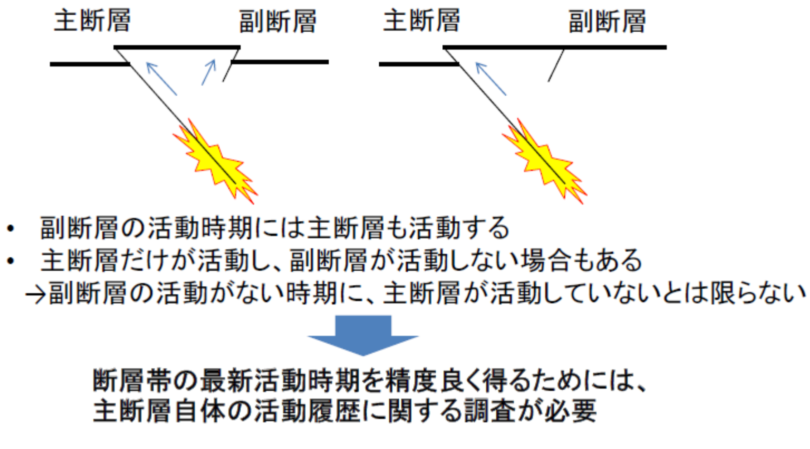


図 2.2-5　主断層と副断層の活動時期の考え方（地震調査研究推進本部，2013）

2.2.6 まとめ

これまで述べてきた原子力安全推進協会（2013），Treiman（2009），山崎晴雄（2016）および原子力規制委員会（2013b；2013c）などによる主断層，分岐断層，副断層等に関する記載内容をもとに，これらの関係を整理すると図 2.2-6 のようになる．

これによると，震源断層と直接的に関連する主断層および分岐断層のグループと，震源断層とは直接的な関連を持たない副断層，Sympathetic Fault Rupture，地すべり等のグループの 2 つのグループに明確に区分できる．しかしながら，原子力規制委員会（2013b）の新規制基準では，これらすべてを「将来活動する可能性のある断層等」とみなし，耐震重要施設は「将来活動する可能性のある断層等」による変位が生ずる恐れがない地盤に設けなければならないとしている．

山崎（2016）は，「活断層のような地学現象は不確実性に富み白黒の判断は難しいので，断層のずれに対する工学的な対応が必要である」と述べている．実際に主断層や分岐断層は変位量が大きく断層変位地形と対応しているため，事前の地質調査により把握することが可能である．現実的にも原子力発電所などの重要構造物はこれを避けて建設されている．

しかし，変位量が小さく必ずしも断層変位地形を伴わない副断層等については，事前に想定できない場合も多い．そのため，重要構造物の安全性を議論する上でこれらの副断層等の変位に対する工学的な対応方法を検討することは意義があるものと考えられる．なお，図 2.2-6 に示す断層変位地形と対応しない断層は，活断層であるかどうかの確からしさをその認定根拠によって確実度 I ～Ⅲにランク分けしたもの（活断層研究会，1991）にも対応していない．

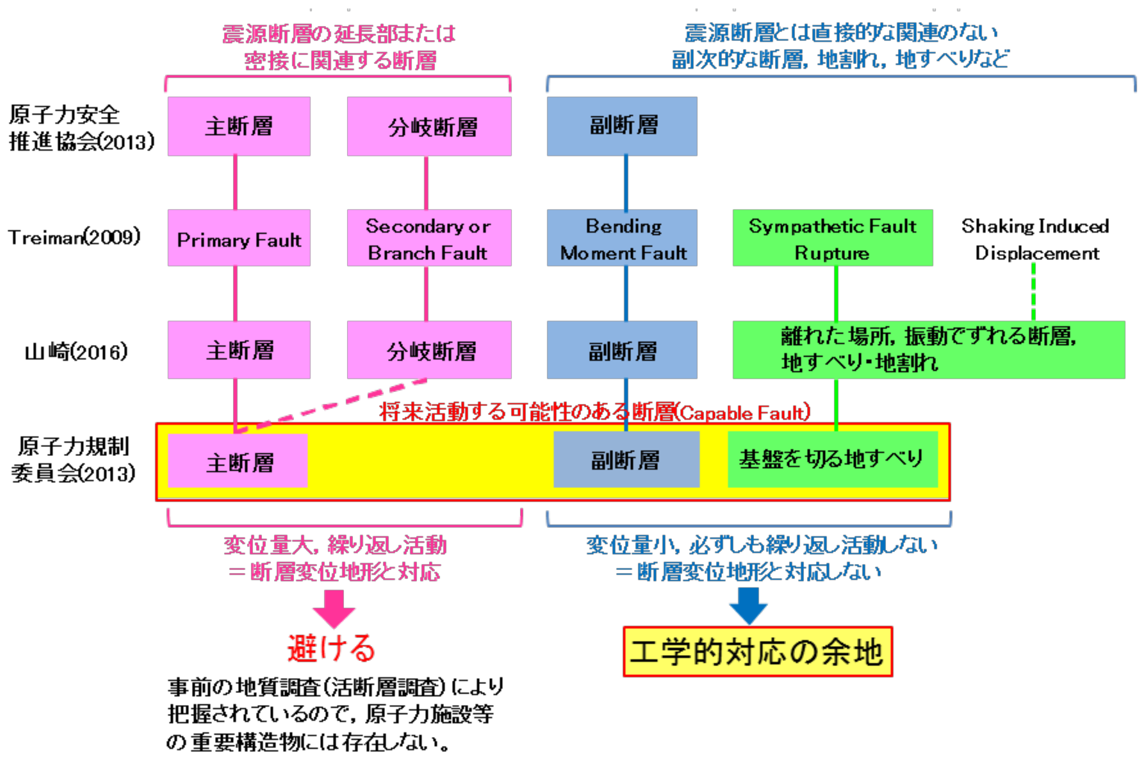


図 2.2-6　主断層・分岐断層・副断層等の区分に関する考え方の整理

【参考文献】

IAEA：IAEA Specific Safety Guide No.9， Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations.
Treiman, J.(2009)：Surface Faulting and Deformation Assessment & Mitigation, Summary of a Shlemon Specialty Conference sponsored by the Association of Environmental & Engineering Geologists convened on February 19 & 20.
活断層研究会（1991）：新編 日本の活断層－分布図と資料，東京大学出版会，437p.
建設省河川局開発課（1984）：ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針（案）.
経済産業省（2013）：地震を巡る最近の動きと今後の対応について，産業構造審議会保安分科会ガス安全小委員会（第２回），資料３－３. http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/gas_anzen/pdf/002_03_03.pdf.
原子力安全推進協会（2013）：原子力発電所敷地内断層の変位に対する評価手法に関する調査・検討報告書，JANSI-FDE-01 rev.1.
原子力規制委員会（2013a）：実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈，平成 25 年 6 月 19 日.
原子力規制委員会（2013b）：敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド，平成 25 年 6 月 19 日.
原子力規制委員会（2013c）：敦賀発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合 追加調査事前会合，平成 25 年 12 月 24 日，配付資料，参考資料 3.
児玉喜秀・原田隆典・野中哲也・中村真貴・宇佐美勉（2012）：震源断層近傍における鋼アーチ橋の応答特性と耐震補強法，土木学会構造工学論文集，Vol.58A，pp.436-447.
鈴木康弘（2014）：活断層の定義及び位置精度に関する留意点，活断層研究,41 号,pp.11-18.
地震調査研究推進本部（2013）：森本・富樫断層帯の長期評価 改訂のポイント，平成 25 年 11 月 地震調査研究推進本部 事務局.
鉄道総合技術研究所（2004）：基礎構造物の耐震設計マニュアル（Q&A），https://www.kenf.jp/book/doc/manual056.pdf.
常田賢一（2004）：土木構造物における地震断層の工学的対応に関する考察，土木学会論文集，No.752，pp.63-77.
土木学会（2001）：土木構造物耐震設計ガイドライン（案）－耐震基準作成のための手引き－，地震工学委員会，耐震基準小委員会，ttp://committees.jsce.or.jp/eec201/node/11.
土木学会（2008）：「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書,地震工学委員会,断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会.
土木学会（2011）：地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案），地震工学委員会，地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会.
土木学会（2014）：性能設計体系における土木構造物の耐震設計事例集，地震工学委員会，耐震基準小委員会，性能照査事例集作成ＷＧ，http://committees.jsce.or.jp/eec201/node/15.
内閣府（2005）：平成 17 年版防災白書，http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h17/BOUSAI_2005/html/zu/zu1101020.htm，2016 年 3 月閲覧.
日本建設業連合会（2014）：電力土木施設の耐震性向上に関する調査,電力工事委員会,p.1-

17.
日本道路協会（2012）：道路橋示方書・同解説Ｖ耐震設計編.
松永昭吾・大塚久哲（2009）：断層変位を受けるコンクリートアーチ橋の耐震特性，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.65，No.1，pp.417-425.
山崎晴雄（2016）：断層変位とそのリスク，2016.01.28 原子力安全合同シンポジウム講演.

2.3 過去に地表地震断層が出現した地震における断層変位量の整理

2.3.1 2016 年熊本地震（布田川ー日奈久断層帯）

(1) 地震の概要

2016 年熊本地震の概要を表 2.3-1 に示す.

表 2.3-1　2016 年熊本地震の概要

地震名	平成 28 年（2016 年）熊本地震
発生日時	平成 28 年（2016 年）4 月 14 日
震央	N32.7°　E130.8°
震源深さ	11km
地震の規模	M7.3
震度	7（益城町）
被害	死 228 負 2,753 ※1　住家全壊 8,697 住家半壊 34,037 棟　住家一部破損 155,902 棟など 【平成 29 年 4 月 13 日現在】
地震断層	右横ずれ断層（布田川断層，日奈久断層）

※1 死者数には，震災後における災害による負傷の悪化又は身体的負担による疾病により死亡したと思われる死者数のうち，市町村において災害が原因で死亡したものと認められた死者数 170 名，今後審査会を経て決定される 3 名，および 6 月 19 日から 25 日に発生した被害のうち熊本地震との関連が認められた死者数 5 名を含む.

(2) 地震における断層変位

布田川ー日奈久断層帯は，主要活断層帯の一つとして，詳細な位置や過去の活動履歴が調査されてきた．図 2.3-1 に布田川・日奈久断層帯の活断層位置と地表地震断層の位置を示す．平成 28 年（2016 年）熊本地震では，布田川断層帯で長さ約 28km，日奈久断層帯で長さ約 6km の区間で，地表地震断層が見つかっている.

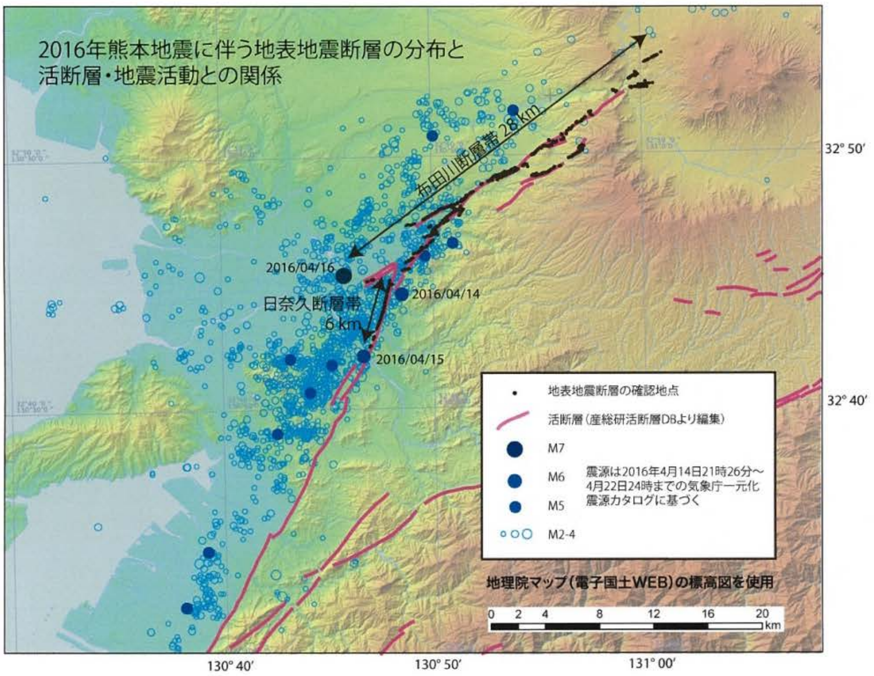
(3) 副断層の分布と変位量

大切畑ダム（西原村小森）付近の地表地震断層位置を図 2.3-2 に示す．布田川断層は主に右横ずれ断層からなるが，俵山西麓から西原村小森付近にかけての区間には，これと並行するように地表地震断層（既知の「出ノ口断層」にほぼ相当する）が出現した．主断層と考えられる布田川断層からの離隔距離は最大 2 ㎞であり，顕著な正断層成分を伴って左横ずれしていることから，明らかにテクトニックな断層と判断されている．遠田ほか（2016）は「地下から地表に向かって断層が分岐し，地表では横ずれ断層と正断層が並走して地下での横ずれと縦ずれを分担するスリップパーティショニ

ング（Slip Partitionig）が生じた」と推定している．このことから，出ノ口断層は布田川断層の分岐断層という位置付けになる．

また，益城町寺迫付近には布田川断層から分岐・派生する地表地震断層（既知の「木山断層」にほぼ相当する）が出現した（図 2.3-3）．布田川断層と木山断層の地表地震断層のトレースは最大 1.5km 離れており，両断層間は「木山－嘉島地溝帯」と呼ばれる盆地状の地形が形成されている．

なお，藤原ほか（2016）は人工衛星によるレーダー観測を用いて，今回の熊本地震では地表変位が広域にわたって現れたことを明らかにしている．さらに，多くは布田川断層帯および日奈久断層帯で震源断層となった断層から離れた場所にあるために，震源断層によって生じた二次的な応力や強振動によって発生したと考えるのが自然であり，変位量は大きくとも数十 cm 程度であるとしている（図 2.3-4，図 2.3-5）．このような地表変位は，2.2 章で整理した副断層に相当するものと考えられる．



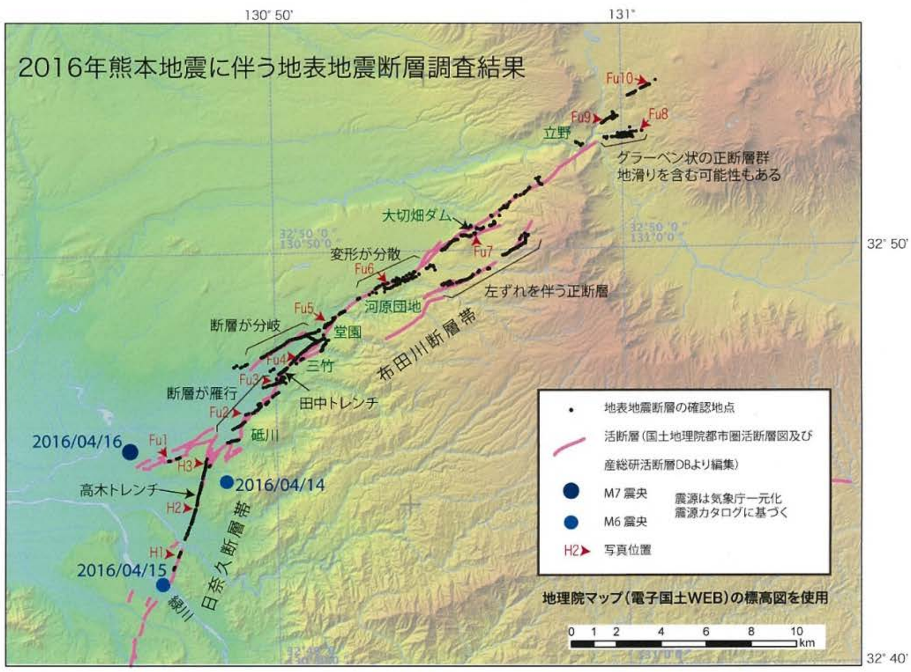


図 2.3-1　2016 年熊本地震に伴う地表地震断層と布田川・日奈久断層帯（産業技術総合研究所，2007）

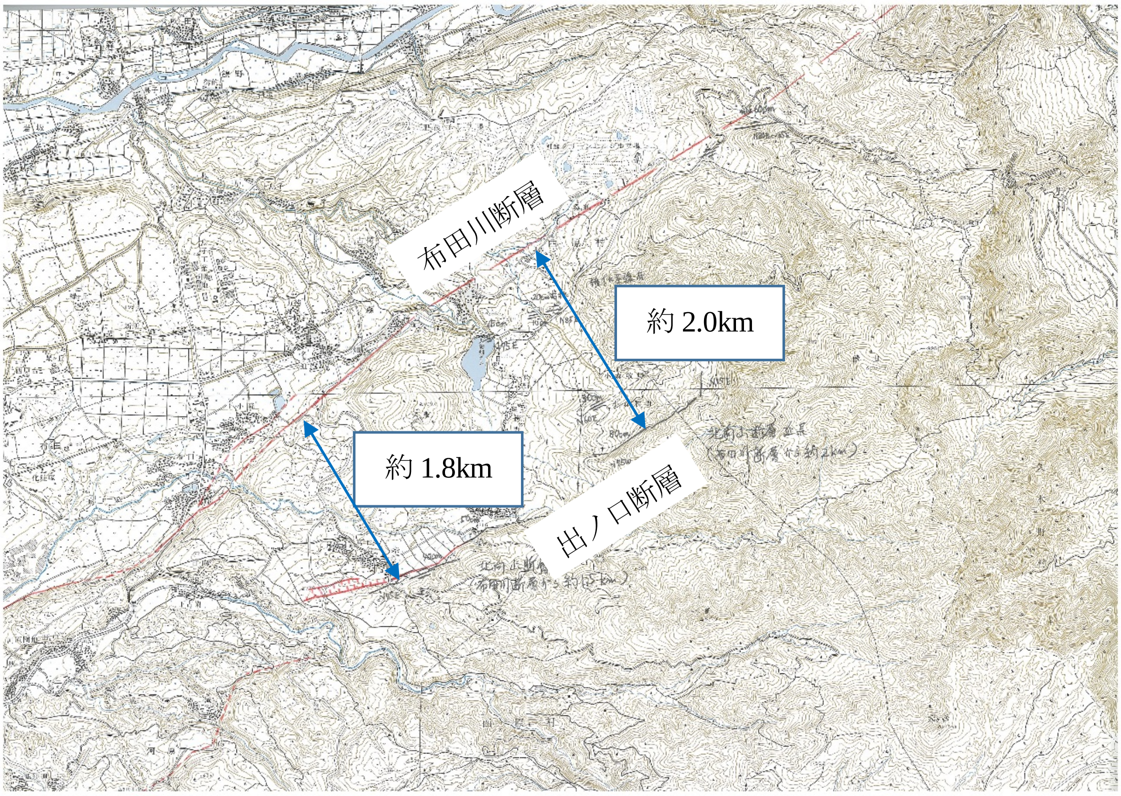


図 2.3-2　西原村小森付近の地表地震断層：地震断層のストリップマップ

「九州大学地理空間情報ポータル」による地表地震断層位置を国土地理院 1：25, 000 地形図「大矢野原」に転記

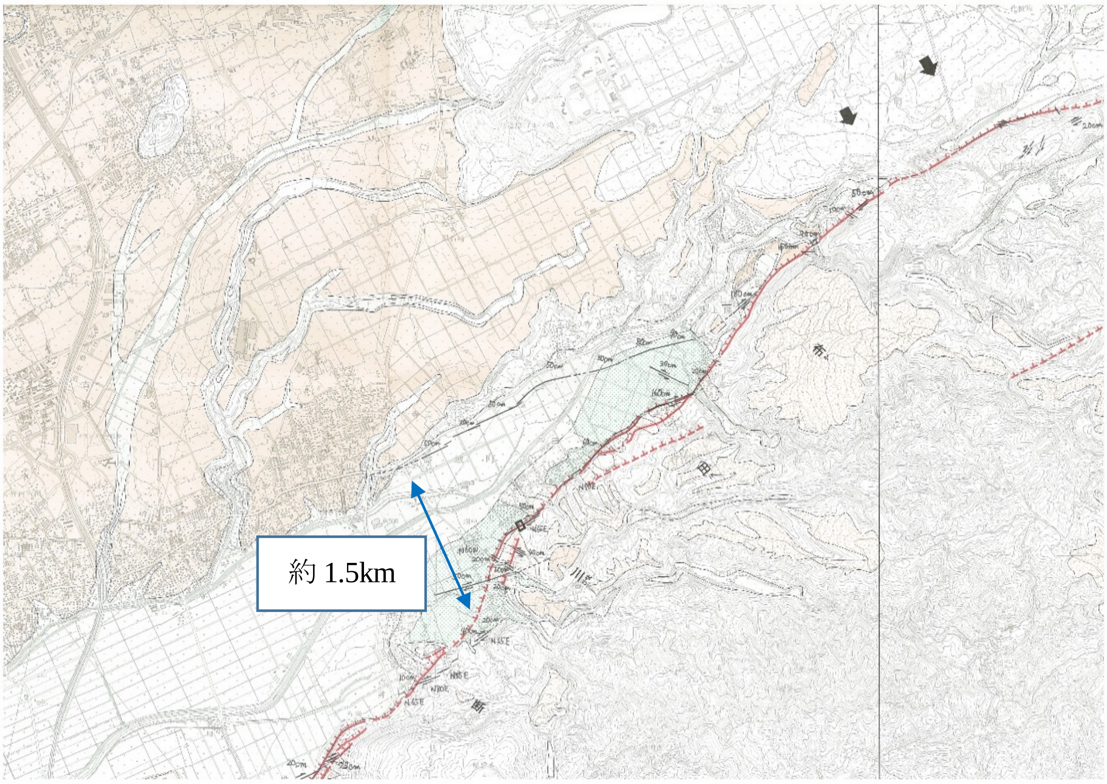
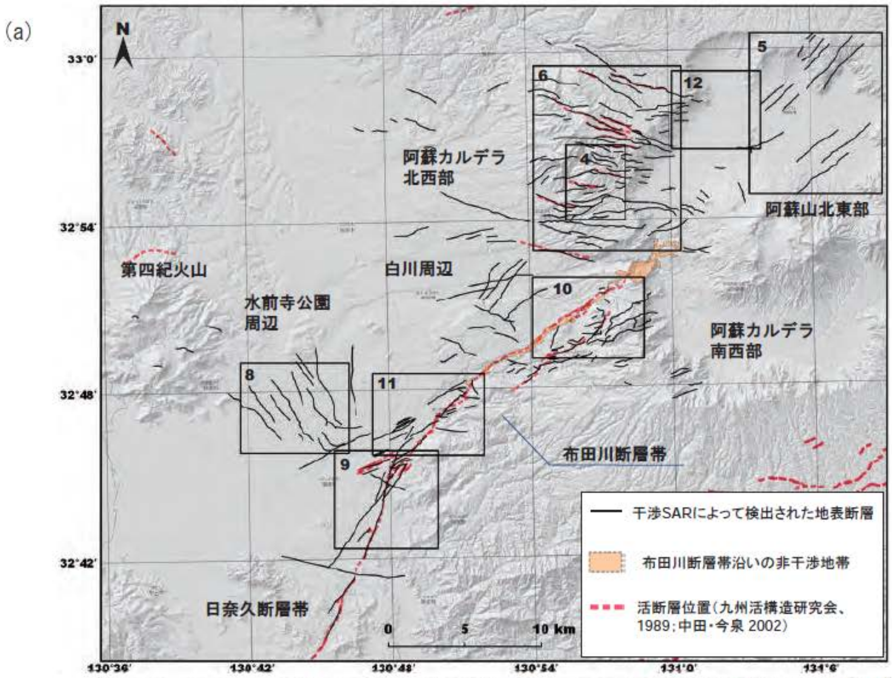


図 2.3-3　益城町寺迫付近の地表地震断層：地震断層のストリップマップ

「九州大学地理空間情報ポータル」による地表地震断層位置を国土地理院 1：25, 000 都市圏活断層図「熊本」に転記



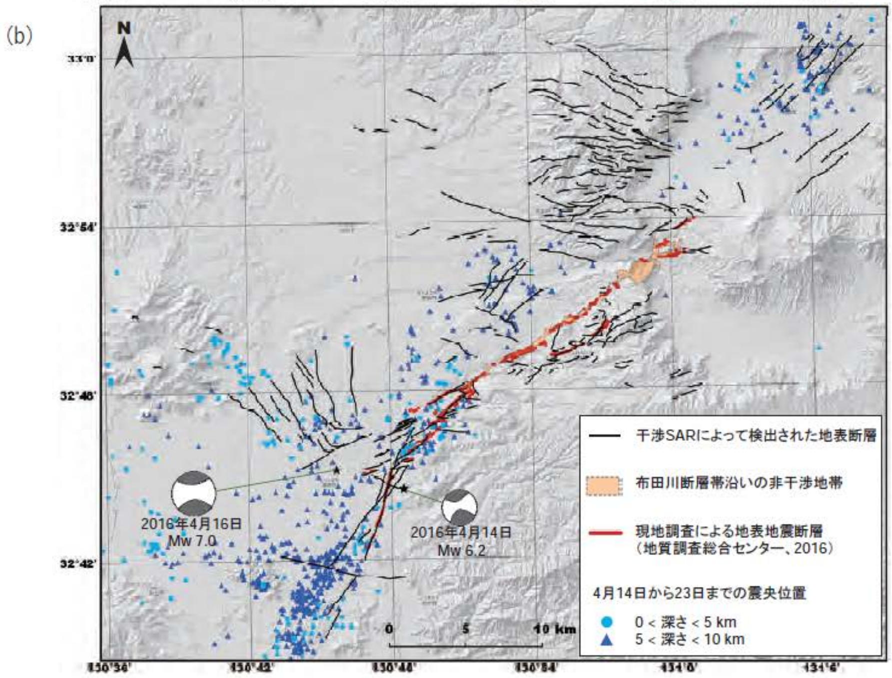


図-2　抽出された地表断層

黒細線が抽出された地表断層位置を表す．黒四角と番号は各図の番号とその領域を表す．画像中央付近の長細い薄オレンジ色の領域は布田川断層帯沿いでSAR干渉画像の干渉が得られなかった場所を表す．

(a)赤破線は既知の活断層位置を表す（九州活構造研究会，1989；中田・今泉，2002）．楕円は地域と変位の形態で分類した各地表断層のグループを表す．

(b)小さい三角と丸のマークは4月14日から23日の間に発生した地震の震央を示す（気象庁，2016a; 2016b）．赤線は地上調査によって見つかった地表地震断層位置を表す（地質調査総合センター，2016）．

図 2.3-4　だいち 2 号干渉 SAR による熊本地震で生じた地表断層（国土地理院，2016）

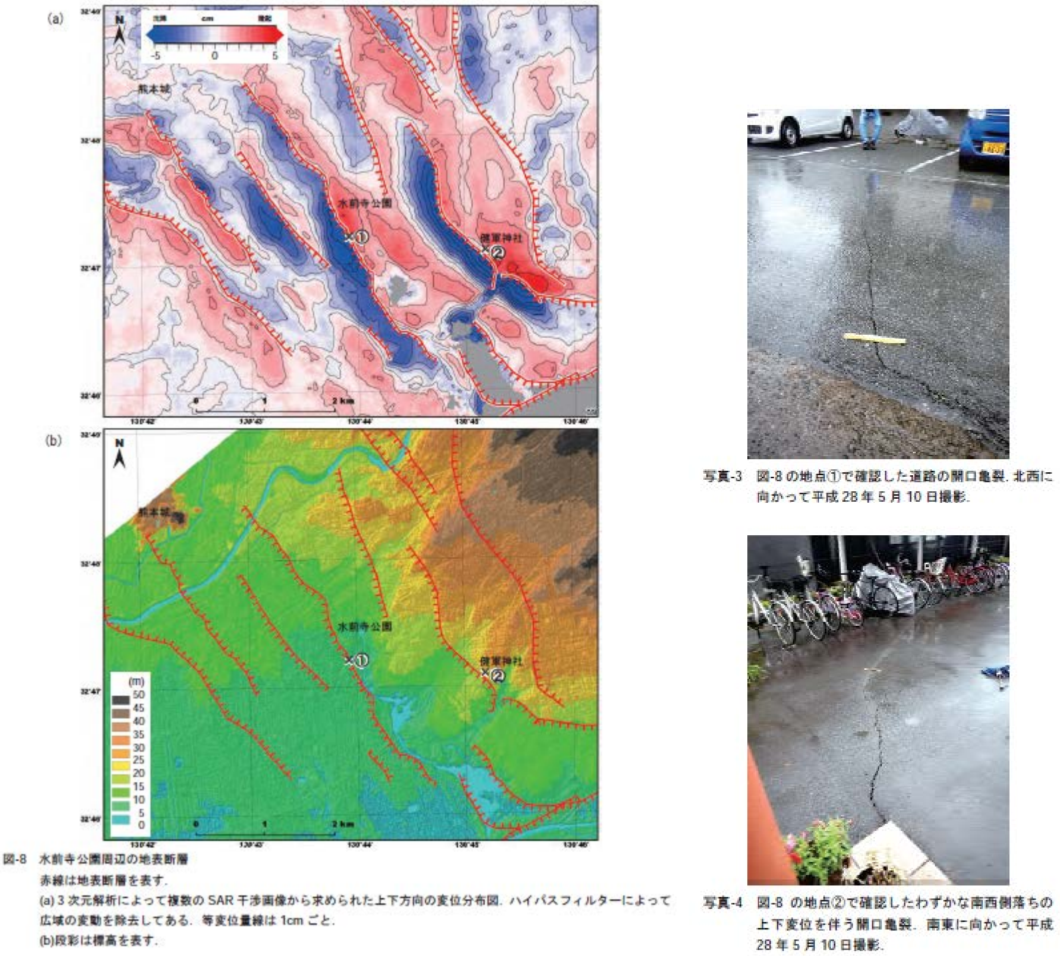


図 2.3-5　水前寺公園付近の微小な地表変位（国土地理院，2016）

【参考文献】

国土地理院（2001）：都市圏活断層図「熊本」，平成 13 年 12 月.

国土地理院（2016）：だいち 2 号干渉 SAR による熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出，国土地理院時報 2016，No.128.

災害調査団九州支部地震断層班（2017）：地震断層のストリップマップ（九州大学地理空間情報ポータル）.

産業技術総合研究所（2007）：布田川・日奈久断層帯の活動性および活動履歴調査.

遠田晋次・金田平太郎・岡田真介・石村大輔（2016）：平成 28 年熊本地震の地表地震断層に認められるスリップパーティショニングとその意味, 日本地球惑星科学連合 2016 年連合大会.

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）：布田川断層帯・日奈久断層帯の長期評価（一部改訂）について.

2.3.2 2014 年長野県北部地震（神城断層）

(1) 地震の概要

2014 年（平成 26 年）11 月 22 日 22 時 8 分頃，日本の長野県北部，北安曇郡白馬村を震源として発生したマグニチュード 6.7 の地震．小谷村，小川村，長野市で最大震度 6 弱を観測した．震源断層は白馬村と小谷村を縦断する神城断層である．地震の概要を表 2.3-2 に示す．なお，神城断層は，政府の地震調査研究推進本部により 110 の「主要活断層」が定められて以来，初めてそのうちのひとつである糸魚川ー静岡構造線（糸静線）が活動して起きたものである．

表 2.3-2　2014 年長野県北部地震（神城断層）の概要

地震名	2014 年長野県北部地震 （長野県神城断層地震とも呼ばれる）
発生日時	2014 年 11 月 22 日
震央位置	長野県北安曇郡白馬村
震源深さ	5 ㎞
タイプ	逆断層
地震の規模	M6.7
震度	震度 6 弱（小谷村，小川村，長野市）
被害	負傷者 46 名
震源断層	神城断層

(2) 地震における断層変位

地殻変動のデータなどから，この地震により破壊した震源断層の長さは約 20km で，白馬村と小谷村に跨る総延長約 31km の神城断層の北側の部分が活動したと考えられている．また，約 9km にわたって断続的に地表地震断層が確認されている．

断層変位は，白馬村の大出地区など 20 か所程度で地表地震断層の段差と褶曲が確認された．塩島地区では東側が最大で 90cm 隆起しており，白馬村塩島地区から大出地区にかけて長さ 2km に渡って断続的に分布している（図 2.3-6）．

(3) 副断層の分布と変位量

2014 年長野県北部地震に伴う副断層は，地震断層の北部（塩島地区，大出地区，野平地区）に認められた．副断層は，主断層と並行して分布しており，少なくとも 3 条認められた（図 2.3-8 の b1～b3）．副断層の長さは 300~870m，主断層からの距離は 200~1130m，変位量は 20~50 ㎝程度，変位の向きは西上がりと主断層と逆の動きを示す（表 2.3-3）．

また，鈴木ほか（2015）では，家屋の倒壊が激しかった堀之内地区には，逆向き（西側隆起）の副次的な断層も認められ，複雑な変形帯の上に位置する可能性が高いとして副断層の存在を示唆している（図 2.3-7，図 2.3-8）．

表 2.3-3　2014 年長野県北部地震沿いの副断層の変位

地区	断層 No	鉛直変位		北端からの距離（m）	副断層の長さ（m）	主断層からの距離（m）
		上盤側	変位量			
塩島	b-1	短縮	2cm	350	300	200
	b-1	W	22cm	380		
	b-1	短縮	8cm	410		
	b-1	短縮	8cm	440		
	b-1	W	32cm	440		
	b-1	W	22cm	500		
	b-1	短縮	10cm	520		
大出	b-2	W	42cm	770	870	510
	b-2	W	72cm	860		
	b-2	W	82cm	910		
	b-2	W	42cm	990		
	b-2	短縮	10cm	1050		
	b-2	W	27cm	1090		
	b-2	W	43cm	1360		
野平	b-3	W	45cm	400	510	1130
	b-3	W	47cm	410		

*3 変位量，変位方向は石村ほか（2015）から読み取り

*4 副断層の長さおよび主断層からの距離は石村ほか（2015）の詳細地図から読み取り

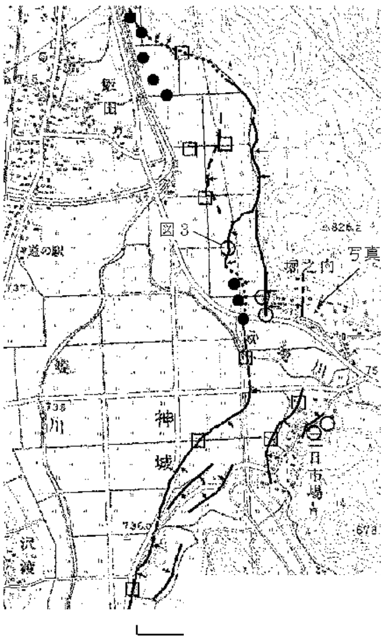


図 2.3-6　堀之内地区の地表地震断層（鈴木ほか，2015）

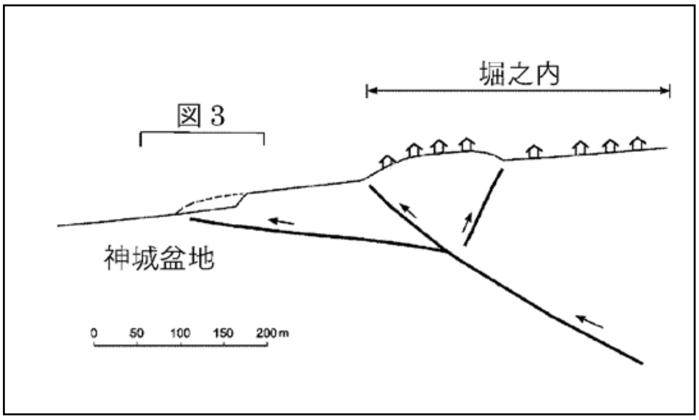


図 2.3-7　堀之内地区の模式断面図（鈴木ほか，2015）

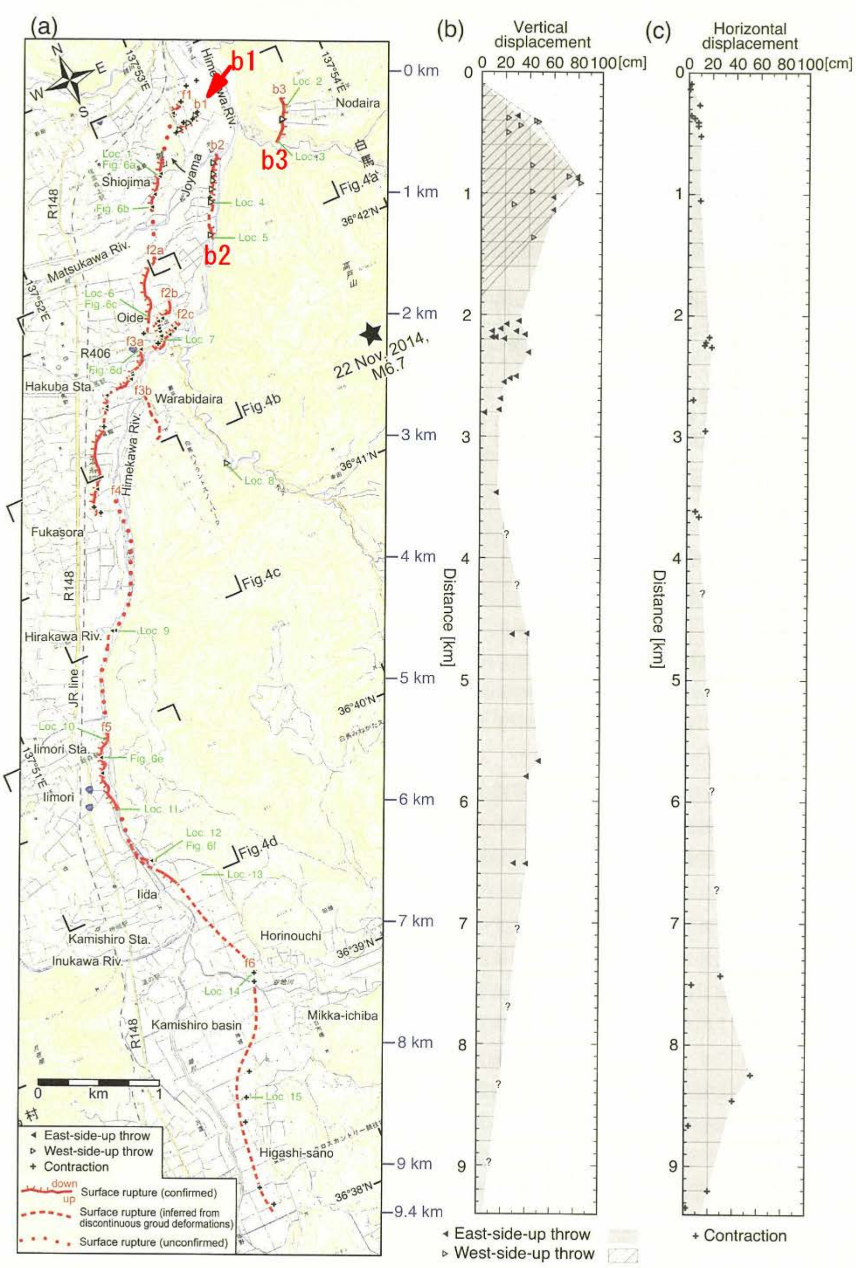


図 2.3-8　地表地震断層と変位量（石村ほか，2015）

【参考文献】
石村大輔・岡田真介・丹羽雄一・遠田晋次（2015）: 2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震（Mw6.2）によって出現した神城断層沿いの地表地震断層の分布と性状，活断層研究，43 号，95-108.
鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助（2015）: 長野県神城断層地震が提起する活断層評価の問題，科学，Vol.85，No2.

2.3.3 2011 年福島県浜通り地震（井戸沢断層，湯ノ岳断層）

(1) 地震の概要

気象庁によると，同年 3 月 11 日に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域で発生した余震であるとしたが，プレート境界域で発生した東北地方太平洋沖地震とは，地震発生のメカニズムが異なる．海溝型巨大地震の発生に誘発されて，内陸型活断層地震が発生することが確認された．地震の概要を表 2.3-4 に示す．

地震により，湯ノ岳断層や井戸沢断層に沿って明瞭な地表地震断層が出現した．本地震のように，１つの地震で２条の断層（湯ノ岳断層・井戸沢断層）が同時に破壊した点は特異である（図 2.3-9）.

湯ノ岳断層は長さ約 15km の正断層であり，最大上下変位量は約 80cm である．井戸沢断層も長さ約 15km の正断層であり，最大上下変位量は約 220cm である．これらの断層は，既存の活断層図で確実度Ⅱあるいは推定活断層と評価されていたものである．

プレートの沈み込みによる東西方向の圧縮応力場にあり，南北方向の逆断層が卓越する東日本において，正断層型の活断層地震が発生した点は特異である．

表 2.3-4　2011 年福島県浜通りの地震の概要

地震名	2011 年福島県浜通りの地震
発生日時	2011 年（平成 23 年）4 月 11 日　17:16:00
震央位置	36゜56’ 42”, 140゜40’ 18”（福島県浜通り）
震源深さ	6 km
タイプ	大陸プレート内地震（正断層型）
地震の規模	M 7.0（Mw 6.6）
震　度	最大震度 6 弱（福島県いわき市他, 茨城県鉾田市）
被　害	死者　4 人, 負傷者　10 人
震源断層	井戸沢断層・湯ノ岳断層・（塩ノ平断層）

(2) 地震における断層変位

図 2.3-10 には，湯ノ岳断層と井戸沢断層において観測された構造物および地表面変位についてまとめている．

図 2.3-10 (a)は，湯ノ岳断層について観測された鉛直変位を断層走向方向の距離についてプロットしたものである．最大変位量は約 90cm で，大まかには台形状の変位量分布を示す．断層が山地地域を通過するため横ずれ変位を観測できた地点数は少ないが，観測された地点の多くで 10cm 程度の横ずれ変位が観察された．南西に急角度で傾斜する断層面に沿って，南西側の地盤がずれ落ちる正断層変位が起こったことが確認されている．

図 2.3-10 (b)は，井戸沢断層について観測された鉛直変位を断層走向方向の距離についてプロットしたものである．最大変位量は約 210cm で，南北へ変位量が減少してゆく山型の変位量分布を示す．横ずれ変位についてみると，最大鉛直変位量が観測された塩ノ平を境に，断層の南半部で右横ずれが，北半部で左横ずれが観測されている．

図 2.3-11 には，国土地理院による合成開口レーダー（SAR）の干渉解析によって得られた地震に伴う地殻変動の干渉画像を示す．これによると，湯ノ岳断層および井戸沢断層に沿って地盤変位の不連続がみられる．

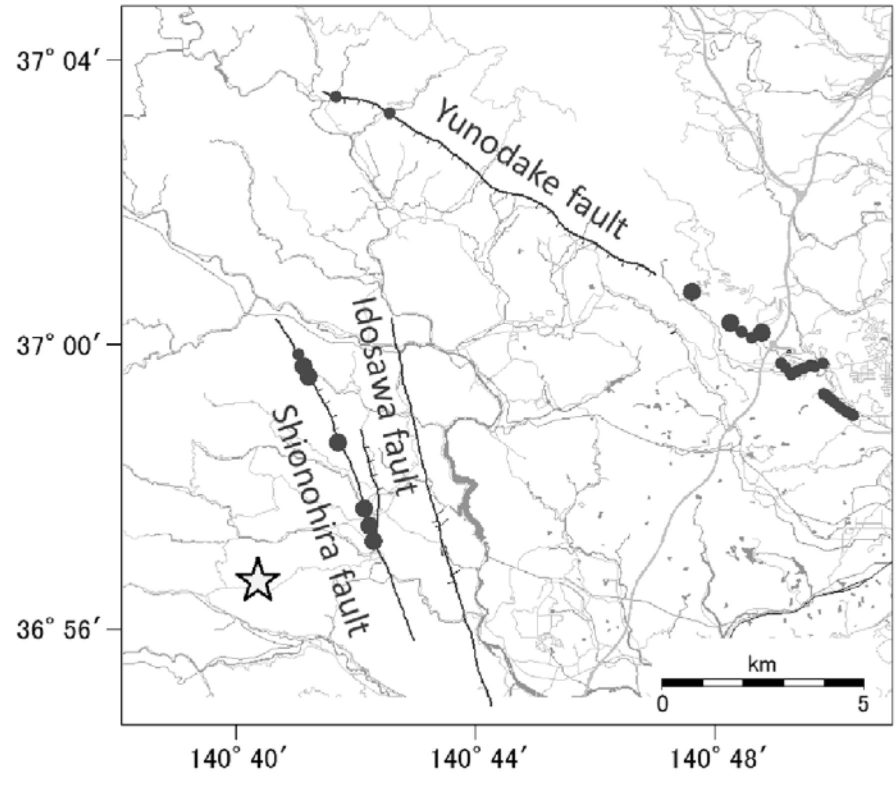


図 2.3-9　2011 年福島県浜通りの地震における地表地震断層（武藤ほか，2014）

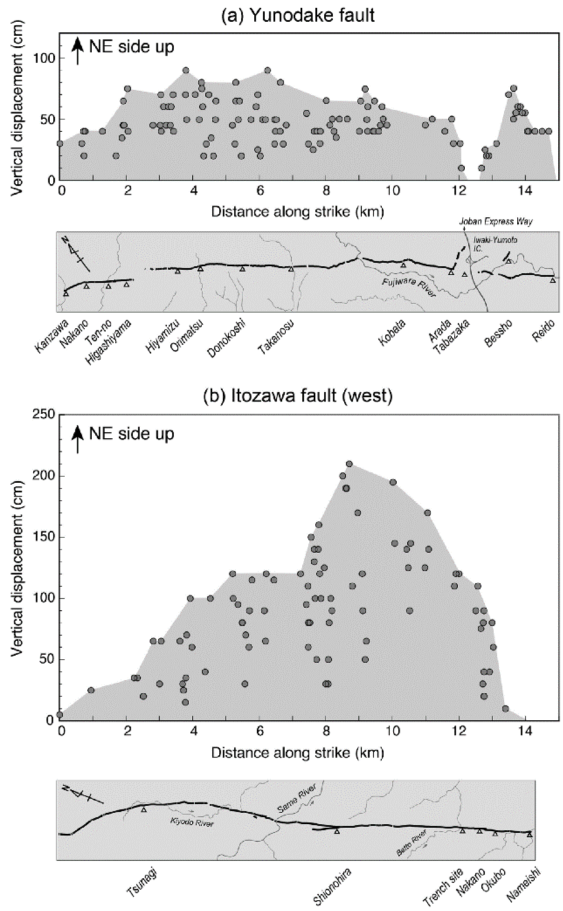


図 2.3-10　地表地震断層に沿った鉛直変位分布図（堤・遠田，2012）

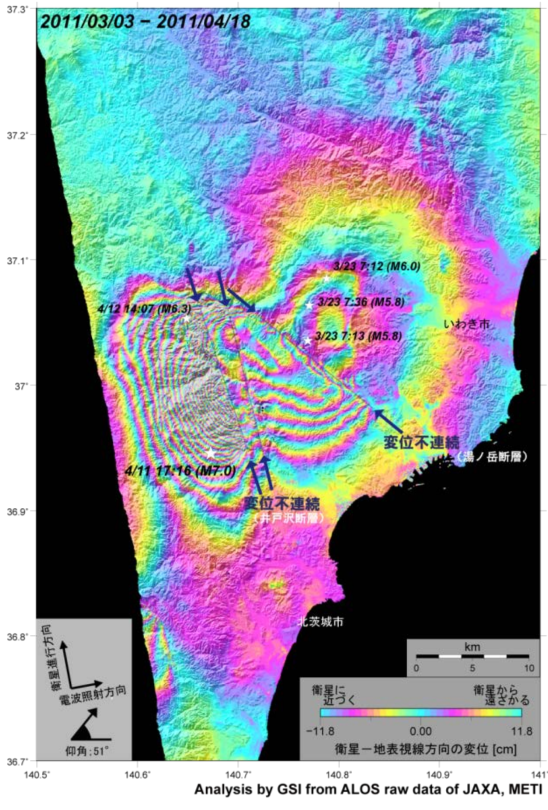


図 2.3-11　合成開口レーダー(SAR)による地表地震断層の変位（国土地理院，2011）

(3) **副断層の分布と変位量**

湯ノ岳断層の南東部において 2 条の副断層が北東方向に派生している（図 2.3-12 参照）．これらの副断層に囲まれた地域は，相対的な凹地となっている．表 2.3-5 に示す副断層 1 および 2 の合成変位量は，それぞれ 64cm と 23cm になる．

表 2.3-5　湯ノ岳断層沿いの副断層の変位

地震断層	No.	No.	鉛直変位		水平変位		主断層からの距離※1)（m）	主断層
			上盤側	変位量（cm）	R=右横ずれ L=左横ずれ	変位量（cm）		
2011年 福島県浜通りの地震		副断層1	NE	45		45	100	湯ノ岳断層
		副断層2	NE	20		12	250	湯ノ岳断層

※1) 主断層からの距離は，文献資料に掲載された図面からの読み取り.

※2) 断層変位は個々のトレースにおける代表値（最大値）を抽出。

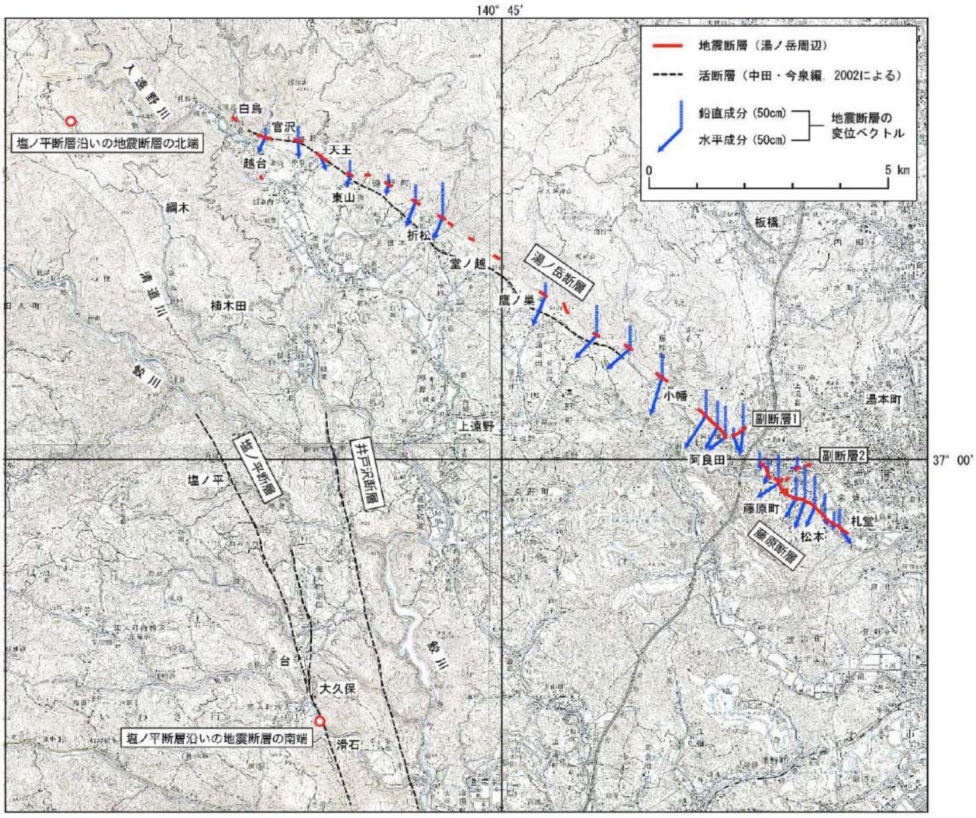


図 2.3-12　湯ノ岳断層・藤原断層に沿った地表変位ベクトルの分布（粟田ほか，2011）

【参考文献】

武藤大介・上野寛・溜渕功史・岩切一宏（2014）：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震以降に活発化した福島県浜通りから茨城県北部における地震活動の特徴とその要因，験震時報，第 78 巻，pp.1-28.

堤浩之・遠田晋次（2012）：2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通りの地震の地震断層と活動履歴，地質学雑誌，第 118 巻，第 9 号，pp.559-570.

国土地理院（2011）：平成 23 年（2011 年）4 月 11 日福島県浜通りの地震（M7.0）に伴う

地殻変動，http://www.gsi.go.jp/cais/topic110425-index.html，2017 年 5 月 25 日閲覧.
粟田泰夫・楮原京子・杉山雄一吉岡敏和・吾妻崇・安藤亮輔・丸山正（2011）：2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震に伴う湯ノ岳・藤原断層の地表変位ベクトル（速報），地震予知連絡会会報，86，pp.170-172.

2.3.4 2008 年岩手・宮城内陸地震

(1) 地震の概要

2008 年岩手・宮城内陸地震の概要を表 2.3-6 に示す.

表 2.3-6　2008 年岩手・宮城内陸地震の概要

地震名	2008 年岩手・宮城内陸地震
発生日時	平成 20 年（2008 年）　6 月 14 日
震央	N39.0°　E140.9°
震源深さ	8km
地震の規模	7.2
震度	6 強
被害	死 17 不明 6 負 426，住家全壊 30 棟　住家半壊 146 棟など
地震断層	（出店断層）2008 時点では，未確認

(2) 地震における断層変位

2008 年岩手・宮城内陸地震で地表に出現した地震断層は，活断層とは評価されていなかった．地震後の地表地震断層と見られる地表変状などから，地震調査研究本部では，主なすべりを生じた断層の長さは 30km 程度，断層面は西傾斜と推定している.

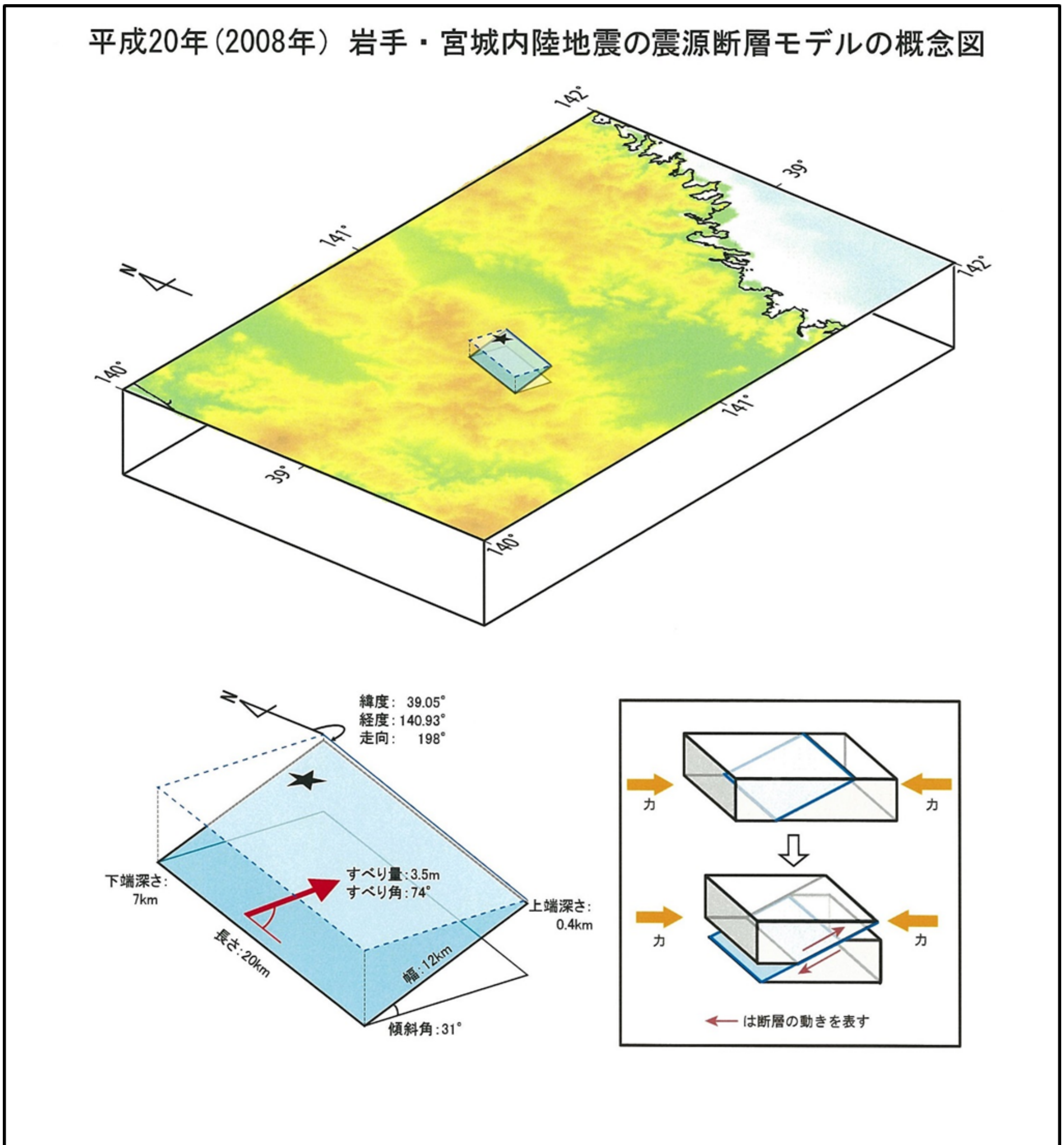
国土地理院（2008）は，震源断層について，長さ 20km，幅 12km，上端深さ 0.4km，西傾斜の逆断層で，すべり量 3.5m の震源断層モデルを示している（図 2.3-13）.

(3) 副断層の分布と変位量

図 2.3-14 に産業技術総合研究所（2008）の地表変状地点確認位置図を，図 2.3-15 に国土地理院（2008）の詳細活断層図の各南側部分を示す．荒砥沢ダム北方の変位を主断層と考えれば，その東方の荒砥沢・新田地区の北東走向・南東側隆起の低崖・撓曲（変位量 10～30cm）が副断層に相当する可能性がある（表 2.3-7）.

表 2.3-7　2008 年岩手・宮城内陸地震の副断層の変位

活断層名	区分	主断層変位（地震時）	主断層変位（文献）	副断層	
		地震断層	既存資料	主断層からの距離	変位量
荒砥沢断層	未確認断層	右横ずれ 4～6m 北上がり 3.6m	不明	2～4km	10～30cm



断層パラメータ

緯度	経度	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	すべり角	すべり量	モーメントマグニチュード
39.05°	140.93°	0.4km	20km	12km	198°	31°	74°	3.5m	6.9

国土地理院

図 2.3-13　2008 年岩手・宮城内陸地震の震源断層モデル（国土地理院，2008）

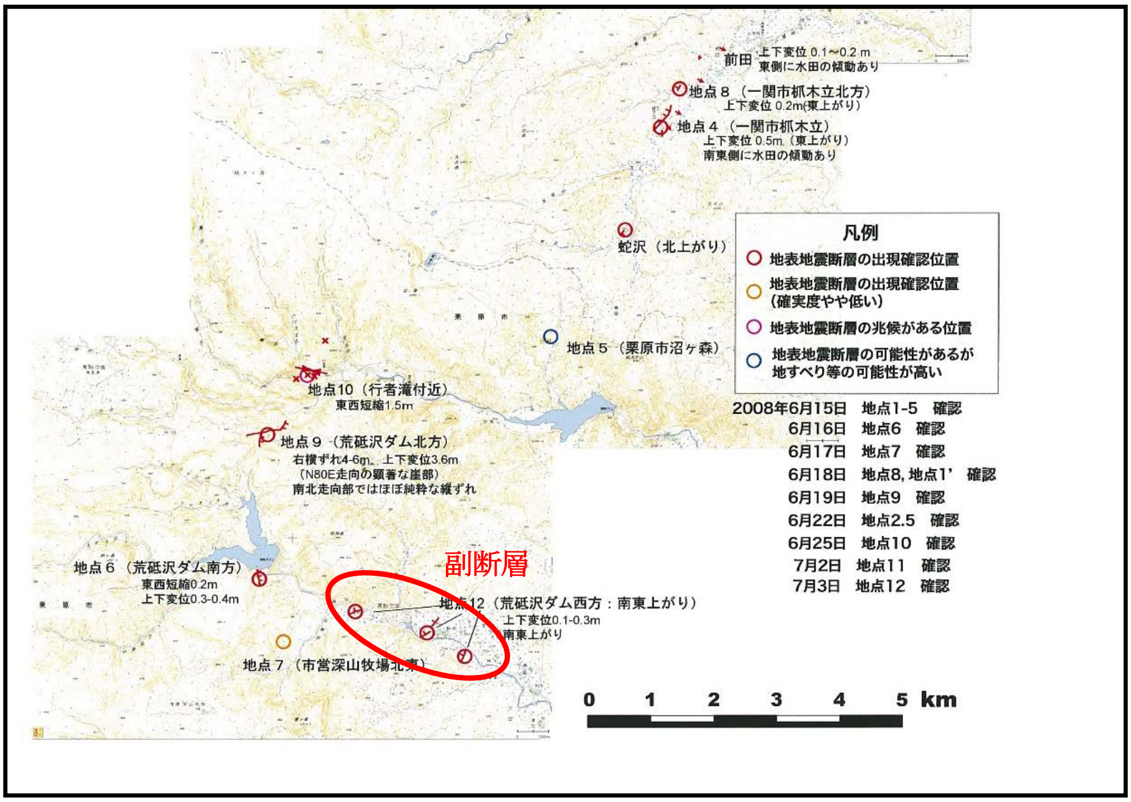


図 2.3-14　地表変状地点確認位置図（産業技術総合研究所（2008）からの抜粋に追記）

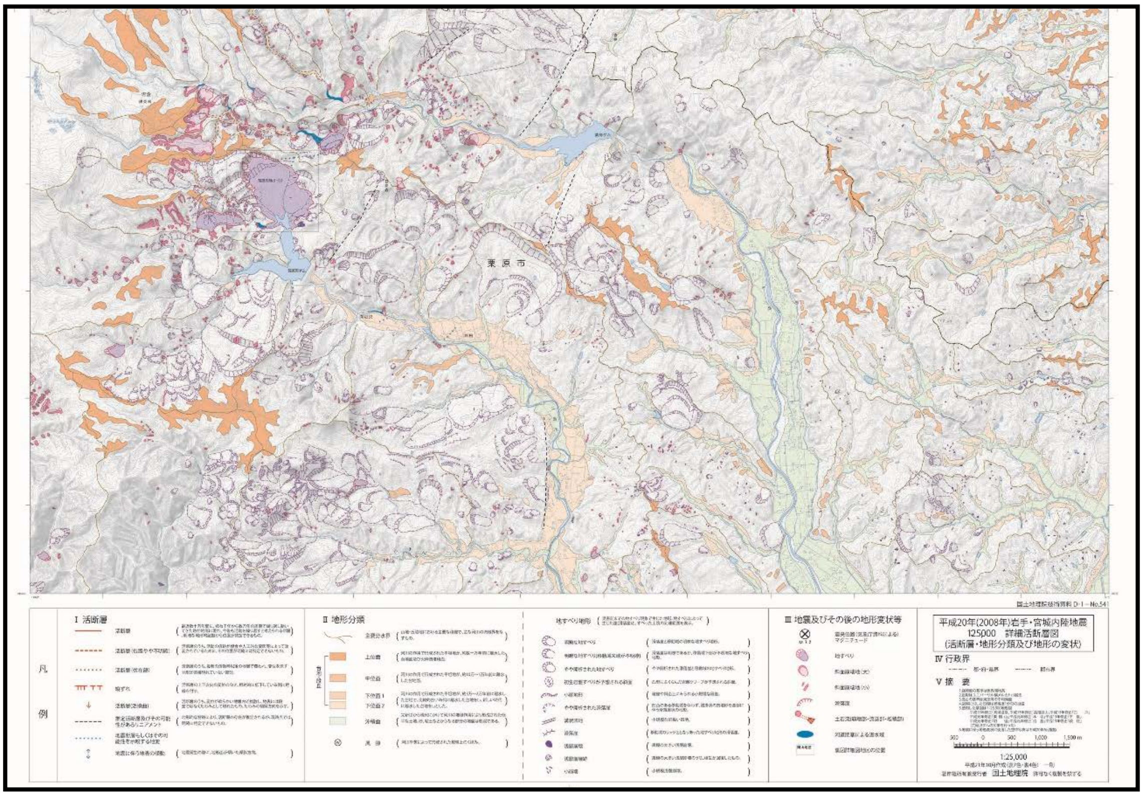


図 2.3-15　平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震（国土地理院，2008）

【参考文献】
気象庁（2008）:「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」について，気象庁報道発表資料.
産業技術総合研究所（2008）：地表変状地点確認位置図，平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震の評価（主に地表変状に関する評価），地震調査研究推進本部　第 185 回地震調査委員会資料，平成 20 年 7 月 11 日，
http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2008/2008_im3.pdf（2017 年 5 月 25 日閲覧）.
国土地理院（2008）: 平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震　1:25,000 詳細活断層図（活断層・地形分類及び地形の変状）.
地震調査研究推進本部（2012）：平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震の評価.
吉見雅行・遠田晋次・丸山 正（2008）: 2008 年岩手・宮城内陸地震に伴う地震断層　最大横ずれ量４－７ｍの荒砥沢ダム北方地震断層トレース，活断層研究，29 号，ⅰ-ⅱ.
遠田晋次（2009）: 2008 年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層，東北地質業協会誌「大地」，No.49.
石山達也・今泉俊文・越谷 信・杉戸信彦・堤 浩之・廣内大助・丸島直史（2008）: 2008 年岩手・宮城内陸地震で一関市杣木立に出現した地表地震断層，活断層研究，29 号，ⅳ.
鈴木康弘・渡辺満久・中田高・小岩直人・杉戸信彦・熊原康博・廣内大助・澤祥・中村優太・丸島直史・島崎邦彦（2008）: 2008 年岩手・宮城内陸地震に係る活断層とその意義－一関市厳美町付近の調査速報－，活断層研究，29 号，pp.25-34.
遠田晋次・丸山 正・吉見雅行・小俣雅志・郡谷順英・山崎 誠（2009）: 2008 年岩手・宮城内陸地震の地震断層と地質境界断層との関係－岩手県一関市厳美町産女川沿いの断層露頭－，活断層研究，30 号，pp.47-53.

2.3.5 2004 年新潟県中越地震（小平尾断層，六日市盆地西縁断層）

(1) 地震の概要

新潟県北魚沼郡川口町（現長岡市）の直下を震源として発生した逆断層型の内陸地殻内地震で，震源直上の川口町では最大震度 7 を観測した．震度 7 を観測したのは，1995 年の阪神・淡路大震災以来 9 年ぶり，観測史上 2 回目であった．なお，阪神・淡路大震災では気象庁などの調査によって震度が判定されたため，震度計で震度 7 が観測されたのは初めてである．また，M6 を越える規模の大きな余震が複数回発生するなど，余震回数が多く群発地震的様相を呈したことも特徴のひとつである．地震の概要を表 2.3-8 示す.

表 2.3-8　2004 年新潟県中越地震の概要

地震名	2004 年新潟県中越地震
発生日時	2004 年 10 月 23 日
震央位置	新潟県長岡市（旧川口町）
震源深さ	13km
タイプ	逆断層型
地震の規模	M6.8
震度	7（川口町）
被害	68 名が死亡し，全半壊家屋は 1 万 7000 棟に達した．新幹線の脱線やトンネルの変状が生じ長期に渡り営業が停止となった．
震源断層	小平尾断層，六日町盆地西縁断層

(2) **地震における断層変位**

2004 年中越地震における地表地震断層については，丸山ほか（2005）および鈴木・渡辺（2006）の報告がある．これらで報告されている地表地震断層の地点は，小平尾断層，六日市盆地西縁断層の断層上に位置しているものの，いずれも連続性が悪く明瞭ではないという特徴がある．豊島ほか（2005）では，他の成因を否定できないところから，地震断層としての確実性は低いと考えざるを得なく，小平尾断層や六日町断層が地震断層として動いた可能性は極めて低いと結論づけている．

以下では，鈴木・渡辺（2006）および丸山ほか（2005）で示された変状の位置および変状の状況を記載する．

(i) **鈴木・渡辺**（2006）

位置図を図 2.3-16 に示す.

・Loc.1（旧広神村小平尾）：活断層崖（厳密には活撓曲崖）の基部に圧縮変形，頂部に伸張変形が生じた（図 2.3-17 の a)）．また，撓曲崖のまさに延長上において，国道 352 号線の路面上に上下変位 30 ㎝程度の撓曲が生じた（図 2.3-17 の b)）．

・Loc.2（小平尾南方）：水田内に延長 350m 以上にわたって上下方向の変位量 10~15 ㎝程度の撓曲が, ほぼ連続的に確認された（丸山ほか（2005）では Loc.4, 図 2.3-16）．この地点では 2005 年 11 にトレンチ調査が行われ，今回の地震断層による変形と，さらにこれより古い活断層運動に伴う地震の変形が確認されている（産業技術総合研究所 2005，図 2.3-18）．

・Loc.3（旧堀之内町下倉）：関越自動車道の路面に上下変位 20 ㎝西側隆起の撓曲変位と伸張亀裂が認められた．

・Loc.4（旧小出町青島）：住宅・水田・畑地内の南北約 1 ㎞にわたって，西上がり約 20 ㎝程度の撓曲変形が現れた．図 2.3-19 は水田面に現れた明瞭な西側隆起と，地震断層上で傾いた家屋を示している．

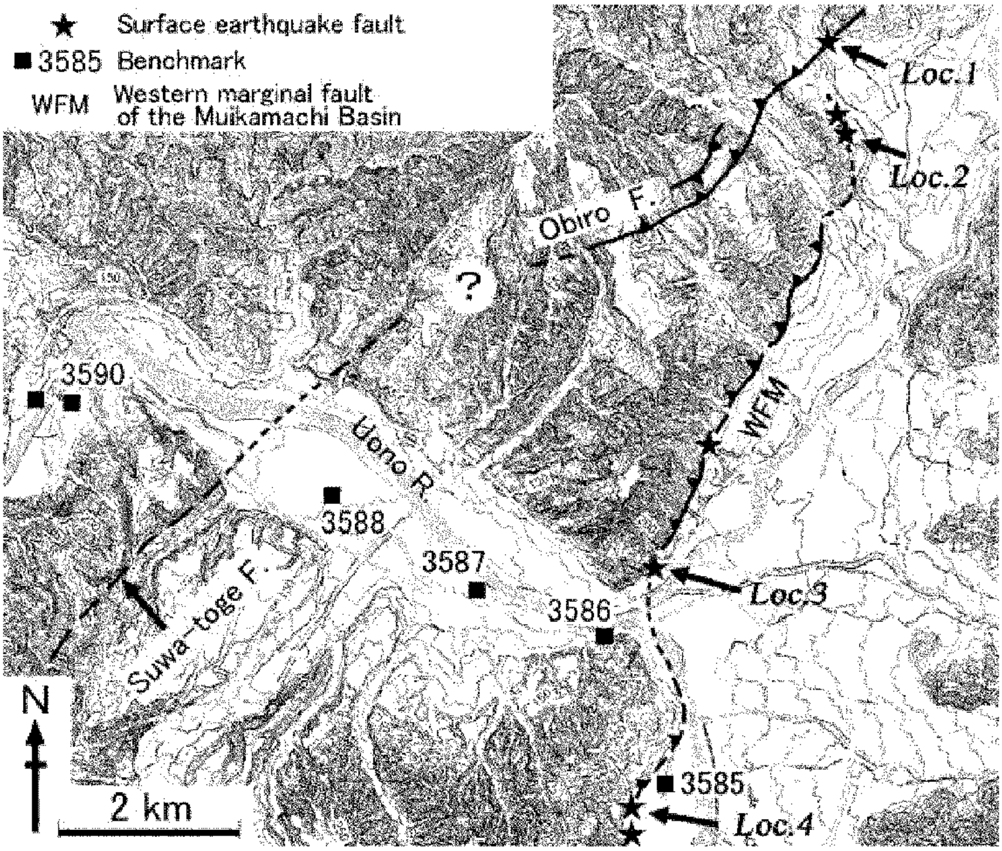


図 2.3-16　地表地震断層確認位置図（鈴木・渡辺，2006）

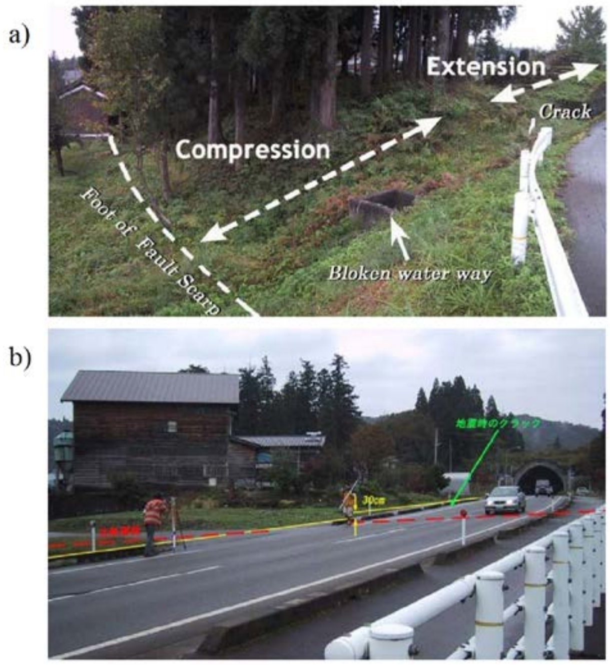


図 2.3-17　Loc.1 における地表地震断層（鈴木・渡辺，2006）

図 2.3-18　Loc.2 におけるトレンチ調査結果（産業技術総合研究所，2005）

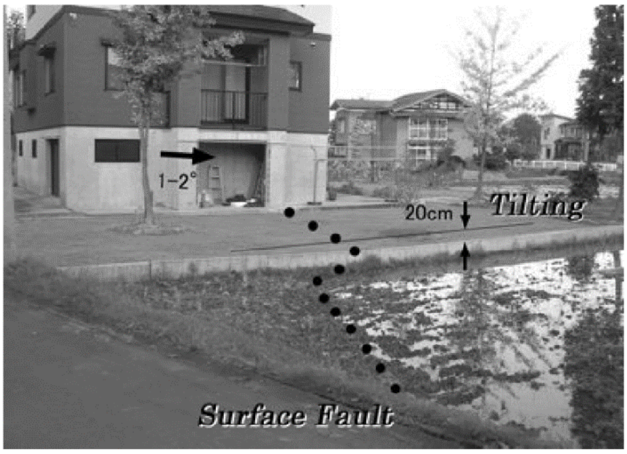


図 2.3-19　Loc.4 における地表地震断層（鈴木・渡辺，2006）

(ii) 丸山ほか（2005）

位置図を図 2.3-20，図 2.3-21 に示す.

・Loc.1（小平尾）：コンクリート製側溝の破壊，アスファルト舗装道路の短縮・撓みが断続的に観察された.

・Loc.2：（小平尾）：比高約 15 ㎝の西側上がりの逆断層状の地震断層が畑中に確認された.

・Loc.3（小平尾）：コンクリート製側溝の破壊，アスファルト舗装道路の短縮・撓みが断続的に観察された.

・Loc.4（小平尾）：水田を横切る 10~15 ㎝西側上がりの明瞭な地震断層が，緩やかに湾曲しながら長さ約 350m 以上にわたって連続的に認められた（鈴木・渡辺 2006 の Loc.2）

・Loc.5（小平尾）：和田川左岸の堤防において 20 ㎝程度西側上がりの変位を受けている.

・Loc.6（小出地区・青島地区）：圧縮変形が認められるが，背後の地すべりによる圧縮変形である可能性を否定できない（北側の一部は鈴木・渡辺 2006 の Loc.4）.

図 2.3-20　地表地震断層確認位置図（小平尾付近；丸山ほか，2005）

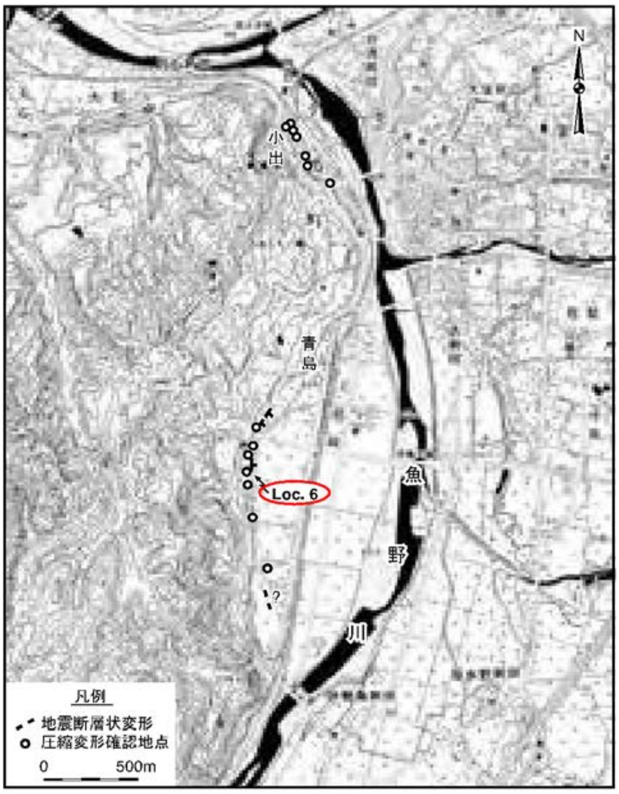


図 2.3-21　地表地震断層確認位置図（青島付近；丸山ほか，2005）

鈴木・渡辺（2006）においては都市圏活断層図と 2004 年に生じた地震断層との対比図が示されている（図 2.3-22）.

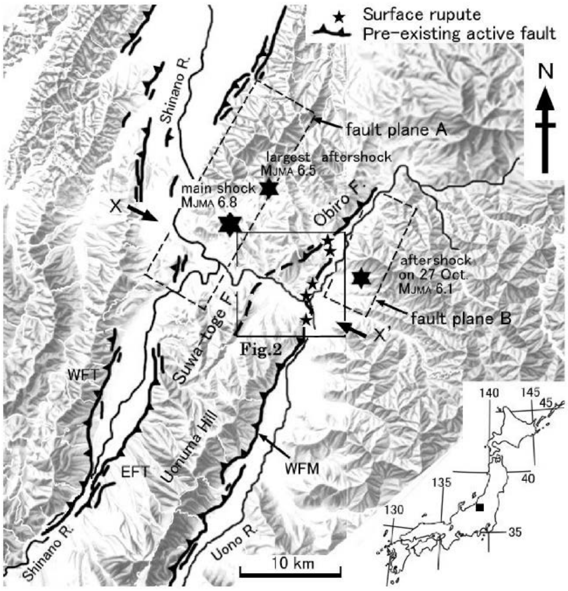


図1 中越地震震源域の活断層と震源分布（渡辺ほか 2005 を簡略化）

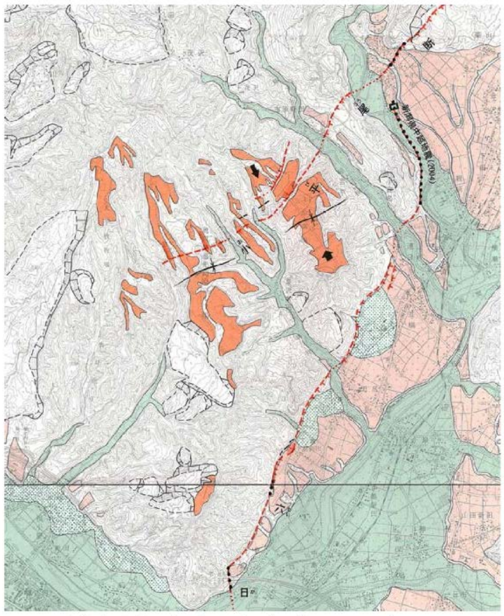


図8 都市圏活断層図「小千谷」改訂版 （渡辺ほか 2006）
Figure 8 Active faults map in urban area "Ojiya", revised version (Watanabe et al. 2006)

図 2.3-22 地震断層と都市圏活断層図との対比（鈴木・渡辺，2006）

(3) **副断層の分布と変位量**

2004 年中越地震では，分岐断層，副断層，バックスラストに関する記載は認められない.

【参考文献】

鈴木康弘・渡辺満久（2006）：新潟県中越地震にみる変動地形学の地震解明・地震防災への貢献－地表地震断層認定の本質的意義－，E-jounal GEO，Vol.1(1)，pp.30-41.

産業技術総合研究所（2005）：活断層・古地震報告，第 5 号，表紙.

丸山正・伏島祐一郎・吉岡敏和・粟田泰夫（2005）：平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震に伴い地表に現れた地震断層の性状，地質ニュース 607，pp.9-12.

豊島剛志・小林健太・岩下享平・大塚洋之・佐藤早苗・氏原英敏・大川直樹・大橋聖和・和田幸永・小安孝幸・小河原孝彦・山本亮・渡部直喜・立石雅昭・島津光夫（2005）：新潟県中越地震における地震断層と地表変状の構造地質学的調査，中越地震新潟大学調査団，pp.21-31.

2.3.6 2000 年鳥取県西部地震

(1) **地震の概要**

本地震は，これまでに活断層が想定されていない地域で発生した.

余震の分布範囲および観測地震波形の解析から，北北西－南南東の走向で，約 20km の長さで幅約 10km の左横ずれ断層を震源断層としたことが推定されている．同様の解析により，震源断層の変位量は 1.5m のずれと評価されている（図 2.3-23）．地震の

概要を表 2.3-9 に示す.

地震後には，局所的に地表地震断層が確認された．また，地震前の空中写真判読により，複数のリニアメントも確認されている．地震前の活断層地形の特定が困難であり，地震時の地表地震断層の出現が局所的であった理由としては,「活断層の発達が未成熟であった」ことを挙げる見解もある.

表 2.3-9　2000 年鳥取県西部地震の概要

地震名	2000 年鳥取県西部地震
発生日時	2000 年（平成 12 年）10 月 6 日　13:30:18
震央位置	35゜16.4，133゜20.9（鳥取県米子市）
震源深さ	9 km
タイプ	直下型地震（左横ずれ断層型）
地震の規模	M 7.3 (Mw 6.8)
震　度	最大震度 6 強（鳥取県日野郡日野町根雨，境港市東本町）
被　害	死者 0 人，負傷者 182 人，家屋全壊 435 棟
震源断層	不　明

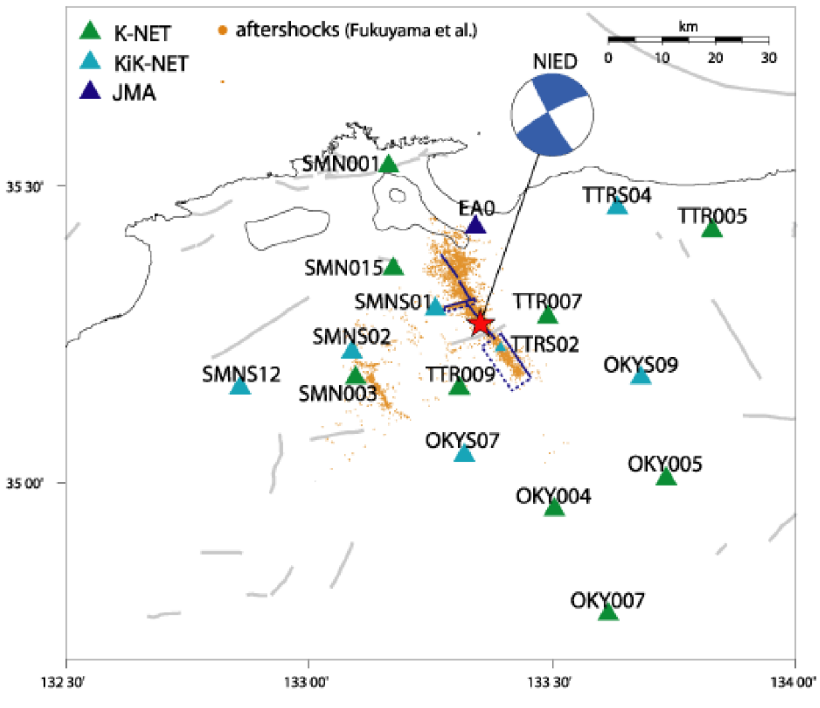


図 2.3-23　2000 年鳥取県西部地震において想定される断層モデル（堀川ほか，2001）

(2) 地震における断層変位

図 2.3-24 は地震直後に実施された現地調査の結果をまとめたものであり，局所的な地表地震断層を対象としている．本地震では明瞭な地震断層は確認されていないことから，地表断裂や人工構造物などの破壊・変形に着目して調査が行われた.

図 2.3-25 の調査結果によると，地表断裂や人工構造物などの破壊・変形が観察され

た地点は，余震域の延びの方向（北西－南東方向）と調和的であり，幅 1km の帯状の範囲に平行して配列する．これより，本地震では地震断層は 1 本の断層線として出現したのではなく，1km 強の幅を持つ断層帯として出現したと判断される．

図 2.3-26 には，地震に伴う地殻変動（水平変位）と断層モデルを示す．これによると，全体的な変位の傾向としては左横ずれ変位を呈する．

図 2.3-27 には，水準測量観測ルート沿いの上下変位ベクトルを示す．これによると想定される断層モデルの両側において最大約 25cm のずれが生じている．

図 2.3-24　2000 年鳥取県西部地震における地震断層の概要（伏島ほか，2002）

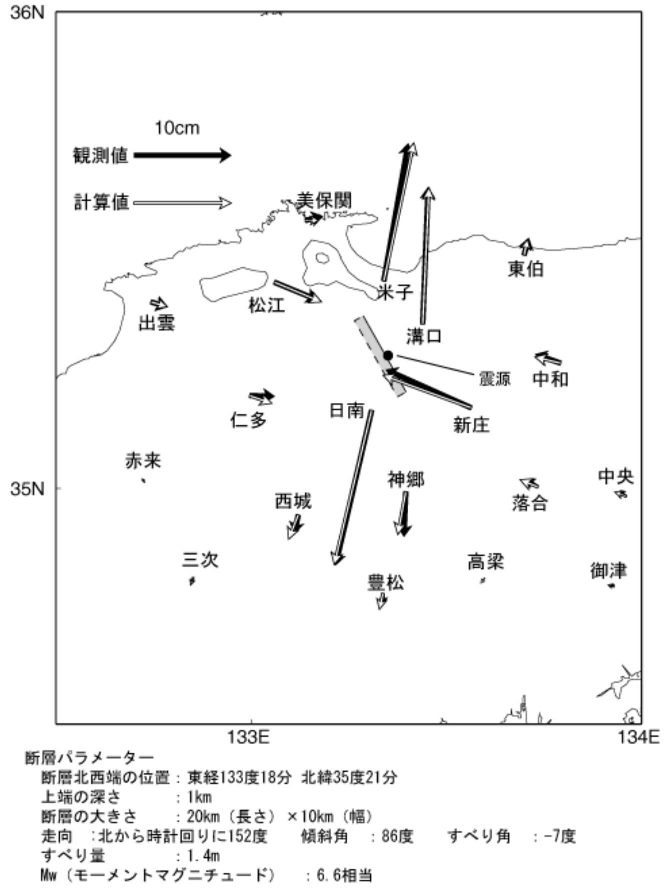


図 2.3-25　2000 年鳥取県西部地震に伴う地殻変動と断層モデル（国土地理院，2000a）

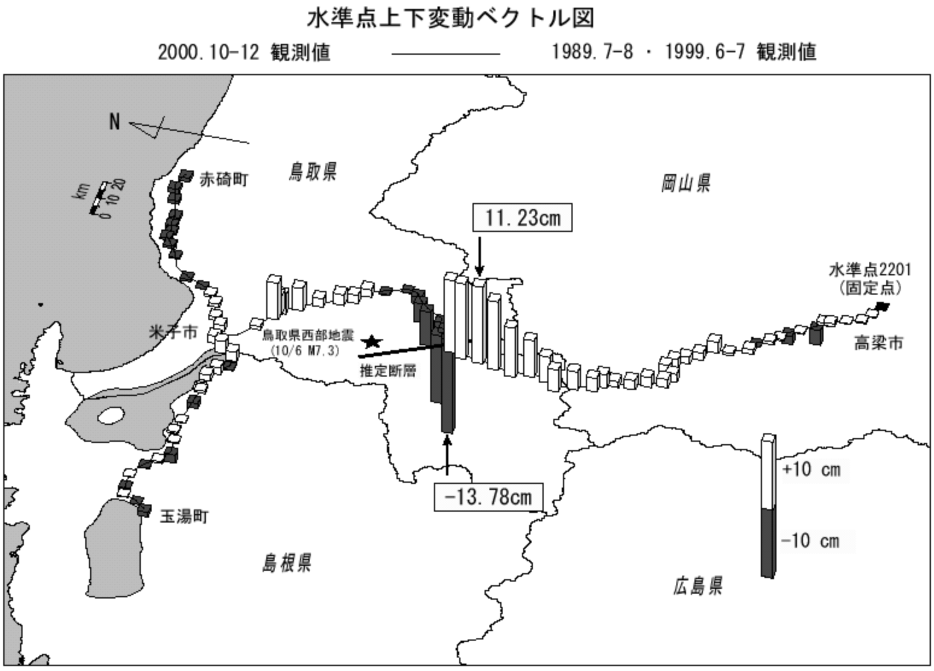


図 2.3-26　2000 年鳥取県西部地震において観測された水準点の上下変動ベクトル図（国土地理院，2000b）

(3) 副断層の分布と変位量

本地震では，地震前に明瞭な活断層地形が確認されておらず，地震時の地表地震断層も局所的に観察されたのみである．また，観察された地表地震断層も 1 本の断層線として出現したのではなく 1km 強の幅を持つ断層帯として出現したと判断されたことから，副断層の特定は実施されていない．

表 2.3-10 には，事前に存在が把握できなかった地震断層として 2000 年鳥取県西部地震において観測された地表地震断層変位をまとめている．

表 2.3-10　鳥取県西部地震における断層変位

地震断層	No.	No.	鉛直変位		水平変位		主断層からの距離※1) (m)	主断層
			上盤側	変位量 (cm)	R=右横ずれ L=左横ずれ	変位量 (cm)		
2000年 鳥取県西部地震 (名称不詳)	区間_1	第4図_e			L	11	0	
	区間_2	第6図		30	L	12	0	
	区間_3	第7図	S	6	L	14.5	0	
	区間_4	第9図			L	16	0	
	区間_5	第2図			L	43	0	

※1) 主断層からの距離は，文献資料に掲載された図面からの読み取り.

※2) 断層変位は個々のトレースにおける代表値(最大値)を抽出。

【参考文献】

堀川晴央・関口春子・岩田知孝・杉山雄一（2001）: 2000 年鳥取県西部地震の断層モデル，活断層・古地震研究報告，No.1，pp.27-40.

伏島祐一郎・井村隆介・森野道夫・杉山雄一・水野清秀（2002）: 2000 年鳥取県西部地震のトレンチ掘削調査，活断層・古地震研究報告，No.2，2002，pp.183-208

国土地理院（2000a）: 平成 12 年 10 月 6 日鳥取県西部地震の断層運動を解明，http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2000-1007-2.htm，2017 年 5 月 25 日閲覧.

国土地理院（2000b）: 鳥取県西部地震に伴う地殻変動ー断層をはさんで 25cm の上下変動を観測ー，http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2000-1222.htm，2017 年 5 月 25 日閲覧.

2.3.7 1995 年兵庫県南部地震（野島断層）

(1) 地震の概要

1995 年 1 月 17 日に兵庫県南部の明石海峡付近の深さ 16.0 km を震源としてマグニチュード 7.3 の地震（兵庫県南部地震）が発生した（図 2.3-27）．この地震により，神戸と洲本で震度 6 を観測したほか，東北地方南部から九州地方にかけての広い範囲で有感となった．地震発生後，気象庁は被害実態を把握するための現地調査を行った．その結果，神戸市須磨区から西宮市・宝塚市にかけての帯状の範囲と淡路島の北部で震度 7 に達することが明らかとなった（気象庁，1997）．地震の概要を表 2.3-11 に示す．

この地震に伴って，震央南西側の淡路島北西岸の野島断層等に沿って長さ 10.5 km の大規模な地震断層が出現し，同島北東岸においては長さ 1.6 km の小規模な地震断層が出現した（粟田・水野，1998）．

表 2.3-11　1995 年兵庫県南部地震の概要

地震名	1997 年兵庫県南部地震
発生日時	1997 年（平成 7 年）1 月 17 日 5:46:52
震央位置	34゜35’ 54”，135゜2’ 6”（兵庫県津名郡北淡町，現・淡路市）
震源深さ	16 km
タイプ	直下型地震（逆断層・右横ずれ断層型）
地震の規模	M 7.3 (Mw 6.9)
震　度	最大震度 7 (兵庫県神戸市須磨区・長田区・兵庫区・中央区・灘区・東灘区，芦屋市，西宮市，宝塚市，明石市北淡町・宮町・津名町)
被　害	死者 6,434 人，行方不明者 3 人，負傷者 43,792 人，家屋全壊 104,906 棟 ，被害総額 約 10 兆円
震源断層	六甲・淡路断層帯（のうち野島断層）

(2) 地震における断層変位

粟田・水野（1998）は，1995 年兵庫県南部地震に伴って出現した地震断層の分布位置および変位量を縮尺 1 万分の 1 地形図上に表現したストリップマップを作成した．著者らは，地震直後に地震断層主要部の踏査を行った．踏査では，主要地点において断層変位量の精密計測を実施し，とりまとめた．

兵庫県南部地震によって野島断層に沿って出現した長さ 8.8 km の野島地震断層と，その南西側の小倉断層に沿って出現した長さ 3.0 km の小倉地震断層について，変位量の分布を図 2.3-28 に示す（粟田・水野，1995）．その結果，本断層の総変位量は，一般に 1.6±0.2m（右ずれ 1.4±0.2m，東側隆起 0.6±0.2m）で，最大値は断層中央付近の野島平林で計測された 2.5m（右ずれ 2.0m，東側隆起 1.4m）であった（粟田ほか，1996）．

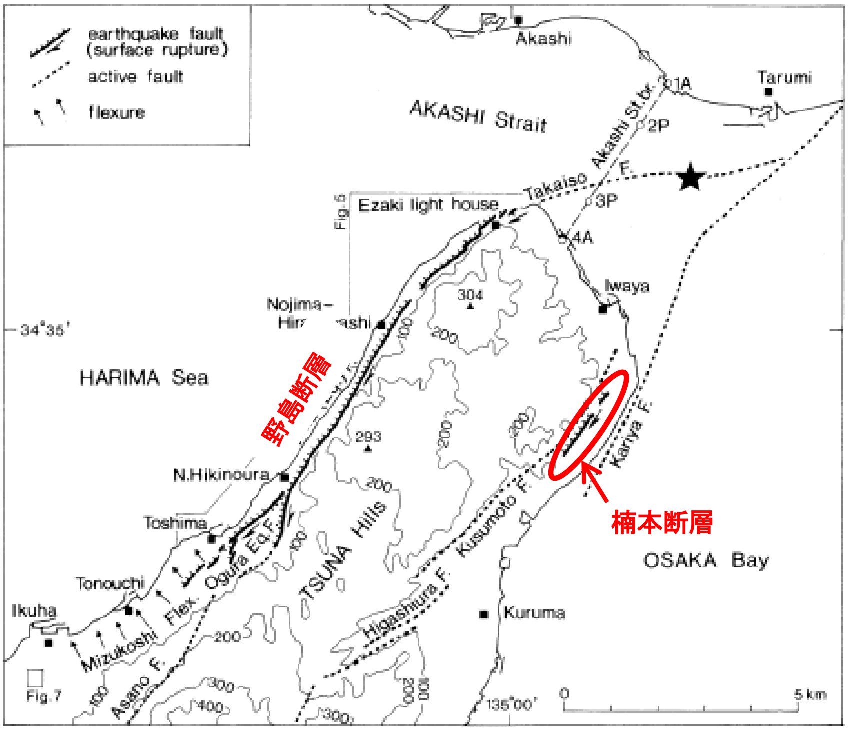


Fig. 3. Index map of the Nojima and Ogura Earthquake Faults, on the northwest coast of Awaji Island. Major active Quaternary faults and a small surface rupture on the east coast of the Island are also shown. The solid star indicates the epicenter of the earthquake.

図 2.3-27　1995 年兵庫県南部地震（粟田ほか（1996）に加筆）

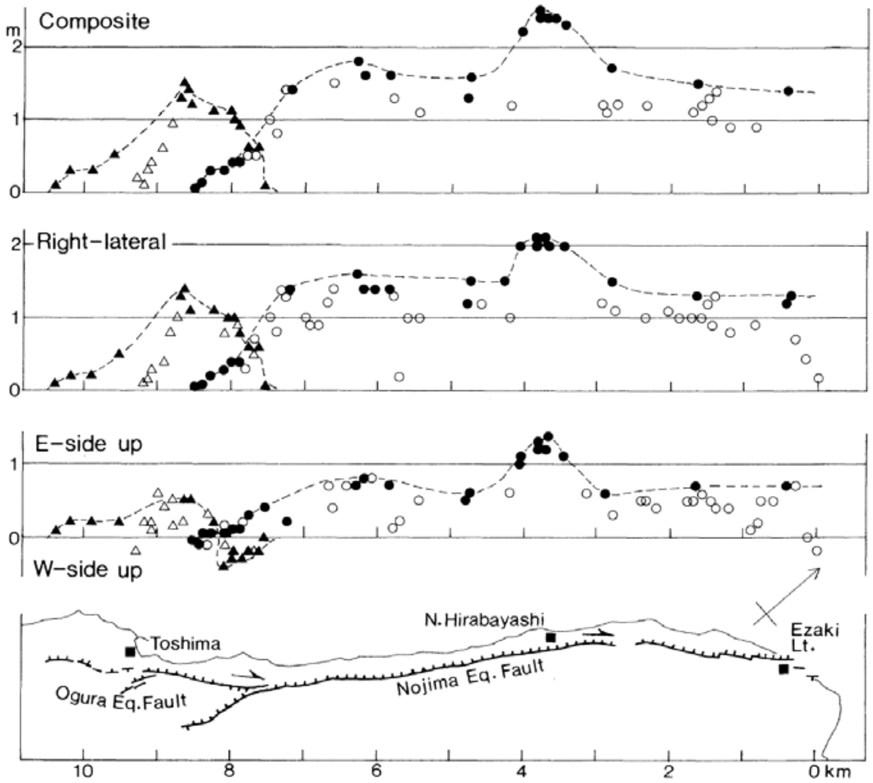


図 2.3-28　1995 年兵庫県南部地震（粟田ほか，1996）

(3) 副断層の分布と変位量

ここでは，粟田・水野（1998）によって調査された断層のうち，野島断層を 1995 年兵庫県南部地震の主断層として考え，地表地震断層を再整理した．整理した地表地震断層から副断層を選定し，主断層からの距離を図幅で読み取った．副断層の変位量と地表地震断層からの距離の関係を表 2.3-12 および図 2.3-29 に示す．

淡路島北東岸で現れた楠本断層（Loc.2020～2220）については，野島断層から距離が離れていることから副断層として検討することとしたが，地形的に推定される山側（西）隆起とは逆の地表変位が現れている（合成変位量で 5～25cm）ことから，兵庫県企業庁（1995）は「主震の発生により 2 次的に地殻の隆起（リバウンド）が生じ，断層変位が誘発された可能性が高い」としており，2.2 節で述べた Treiman（2009）の Sympathetic Fault Rapture に相当する可能性がある．

なお，上述の楠本断層は，本来「新編日本の活断層」などの文献にも記載されている地形にも明瞭に表れている活断層である．兵庫県南部地震の際には，地形的に想定される断層変位の向きとは逆向きの東側隆起の変位をしたことから，ここでは副断層的な動きをした断層として取り扱ったものである．楠本断層そのものは「事前に判別できる断層」であり，2.2.6 項のまとめで示した「変位量が小さく必ずしも断層変位地形を伴わない副断層等（事前に想定できない場合も多い）」には該当しない．

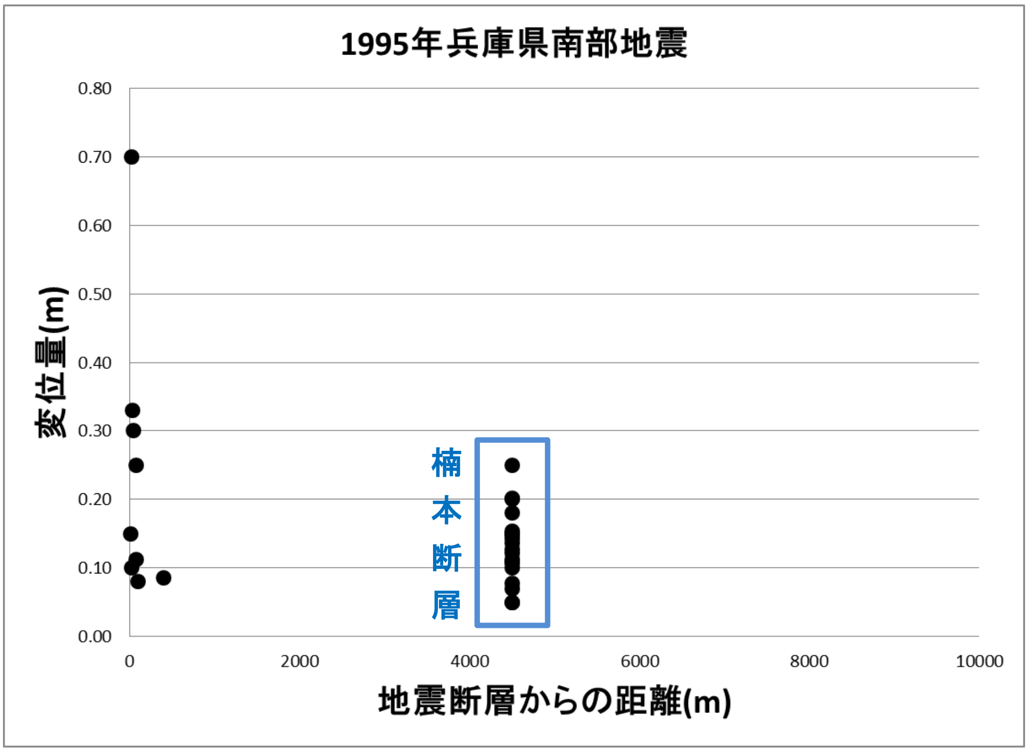


図 2.3-29　1995 年兵庫県南部地震　副断層の変位量と地表地震断層からの距離の関係

※副断層の合成変位量と地震断層からの距離を図示した．

※楠本断層（Loc.2020～2220）は，地形にも明瞭に表れている活断層であるが，兵庫県南部地震では主断層（野島断層）に対して副断層的な動きをした断層として取り扱った．

表 2.3-12　野島断層沿いの副断層の変位

地震名	地点	副断層の変位量(m) 鉛直変位	水平変位	合成変位	地震断層からの距離(m)	文献
	Loc. 10	0.15		0.15	10	
	Loc. 20		0.33	0.33	30	
	Loc. 20		0.08	0.08	100	
	Loc. 30		0.7	0.70	20	
	Loc. 55		0.25	0.25	80	
	Loc. 246	0.08	0.03	0.09	400	
	Loc. 320	0.05	0.1	0.11	80	
	Loc. 402	0.1		0.10	20	
	Loc. 987		0.3	0.30	40	
	Loc. 2020	0.0	0.05	0.05	4500	
	Loc. 2030	0.05	0.06	0.08	4500	
	Loc. 2040	0.15	0.03	0.15	4500	
	Loc. 2050	0.15		0.15	4500	
	Loc. 2060	0.2		0.20	4500	
1995年 兵庫県南部地震 (野島断層)	Loc. 2070	0.10	0.07	0.12	4500	粟田・水野(1998)
	Loc. 2080	0.15		0.15	4500	
	Loc. 2090	0.05		0.05	4500	
楠本断層	Loc. 2100		0.07	0.07	4500	
	Loc. 2110	0.15		0.15	4500	
	Loc. 2130	0.15	0.2	0.25	4500	
	Loc. 2140	0.0	0.18	0.18	4500	
	Loc. 2150	0.10	0.05	0.11	4500	
	Loc. 2160	0.20	0.03	0.20	4500	
	Loc. 2170	0.12	0.04	0.13	4500	
	Loc. 2180	0.10	0.04	0.11	4500	
	Loc. 2190	0.10	0.04	0.11	4500	
	Loc. 2200	0.13	0.04	0.14	4500	
	Loc. 2210	0.14	0.03	0.14	4500	
	Loc. 2220	0.10		0.10	4500	

※地震断層からの距離は図幅から読み取った.

※楠本断層（Loc.2020～2220）は，地形にも明瞭に表れている活断層であるが，兵庫県南部地震では主断層（野島断層）に対して副断層的な動きをした断層として取り扱った.

【参考文献】

兵庫県企業庁（1995）：淡路島国際国際公園都市灘山地区耐震調査報告書，65p.

気象庁（1997）：平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震調査報告，気象庁技術報告，119.

粟田泰夫・水野清秀（1998）：兵庫県南部地震に伴う地震断層ストリップマップ－野島・小倉及び灘川地震断層－説明書，地質調査所，76p.

粟田泰夫・水野清秀・杉山雄一・井村隆介・下川浩一・奥村晃史・佃栄吉・木村克己（1996）：兵庫県南部地震に伴って淡路島北西岸に出現した地震断層，地震，第 2 輯，第 49 巻，pp.113-124.

2.3.8 1984 年長野県西部地震

(1) 地震の概要

1984 年 9 月 14 日に長野県西部の王滝村付近を震央とするマグニチュード 6.8 の地震が発生した．震源の深さは 2km を震源と非常に浅く，震源地に近い長野県木曽王滝

村と三岳村一帯では道路の寸断や土砂崩れの被害が出た．御嶽山頂のやや南方に生じた山崩れは約 10km 流下した（飯尾，1988：丸井ほか，1984）.

(2) **地震における断層変位**

1984 年長野県西部地震においては，系統的な地震断層（長さ 3~4km，ずれの大きさ数 cm 以上の地震断層）は発見されなかった（山科ほか，1985）.

【参考文献】

飯尾能久（1988）：長野県西部地震による木曽御岳ゴルフ場での地変，地震第 2 輯，第 41 巻，pp.551-553.

丸井信雄・安川浩・新井那夫・宇井正和（1984）：長野県西部地震における地すべりと土石流，総合都市研究，第 23 号，pp.13-27.

山科健一郎・松田時彦・有山智雄（1985）：1984 年長野県西部地震による地変，地震研究所彙報，第 60 号，pp.249-280.

2.3.9 1978 **年伊豆大島近海地震（稲取断層帯）**

(1) **地震の概要**

表 2.3-13 および図 2.3-30 に 1978 年伊豆大島近海地震の概要を示す.

表 2.3-13　1978 **年伊豆大島地震の概要**

地震名	伊豆大島近海地震
発生日時	1978 年 1 月 14 日（昭和 53 年）
震央	N34.8° E139.3°
震源深さ	（0ｋｍ）
地震の規模	M7.0
震度	5（大島，横浜）
被害	伊豆大島近海：『1978 年伊豆大島近海地震』：死 25，傷 211，家屋全壊 96，半壊 616，道路損壊 1141，崖崩れ 191．前震が活発で，当日午前，気象庁から地震情報が出されていた．伊豆半島で被害が大きく，翌 15 日の最大余震(M 5.8) でも伊豆半島西部にかなりの被害が出た.
地震断層	稲取断層帯（稲取・大峰山断層，伊豆大島西方沖の断層）
断層ずれの向きと種類	右横ずれ断層，地下の断層面の長さ　約 23km

(2) **地震における断層変位**

稲取・大峰山断層は，1978 伊豆大島近海地震により，長さ数mの亀裂が雁行状に配列した，幅数m長さ数 100mの亀裂帯として出現した．また，1978 伊豆大島近海地震では，稲取・大峰山断層の他に，河津町根木の田や大池付近の地表には，副断層と思われる 10cm 程度の右横ずれ変位またはそれを示唆する雁行状亀裂帯が認められた.

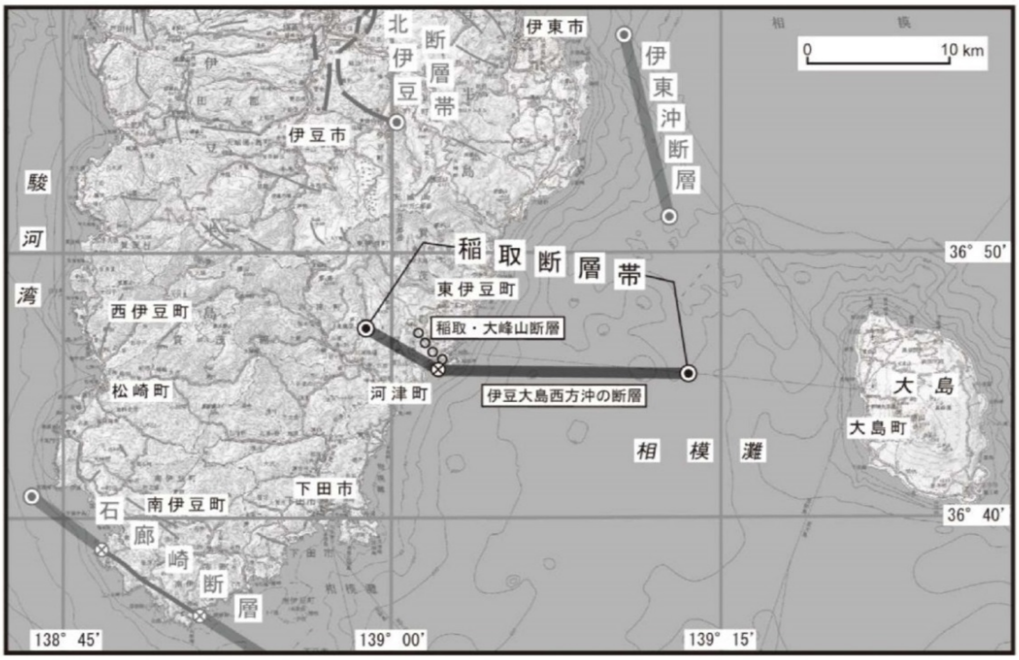


図１　稲取断層帯の位置

グレーの太線は稲取断層帯の地下形状を表す。白丸は 1978 年伊豆大島近海の地震により地表に現れた稲取・大峰山断層を表す。

◉：断層帯の端点　⊗：屈曲点

基図は国土地理院発行数値地図 200000「静岡」、「横須賀」、「御前崎」、「三宅島」

図 2.3-30　稲取断層帯の位置（地震調査研究推進本部，2015）

(3) 副断層の分布と変位量

稲取断層から距離 1km 程の河津町根木の田の 10cm 程度の右横ずれ変位またはそれを示唆する雁行状亀裂帯を副断層と評価する．ただし，根木の田の方向を主断層とする考え方や，稲取断層自体を副断層とする考え方もある（表 2.3-14，図 2.3-31）．

表 2.3-14　稲島断層帯沿いの副断層の変位

活断層名	区分	主断層変位（地震時）	主断層変位（文献）	副断層	
		地震断層	既存資料	主断層からの距離	変位量
稲取断層帯	未確認断層	右横ずれ 最大 117cm	1-2 m（右横ずれ）	約 1.0km	8～10cm

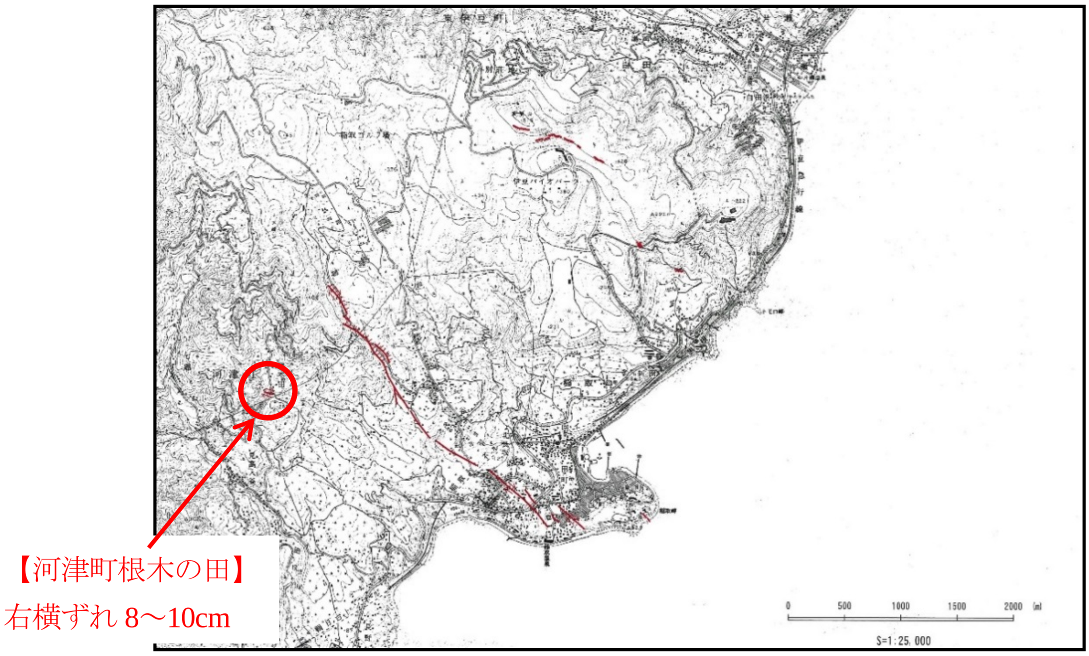


図 2.3-31　1978 年伊豆大島近海地震の地震断層位置図（山崎ほか，1978 に追記）

図 2.3-32　1978 年伊豆大島近海地震における稲取・大峰山断層の変位量分布図（山崎ほか，1978）

【参考文献】

山崎晴雄・小出 仁・佃栄吉（1978）:「1978 年伊豆大島近海地震」の際現われた地震断層，地質調査所特別報告，第 7 号，pp.7-48，https://www.gsj.jp/data/rep-gsj/GSJ_DOC_SPREP_007_1979.pdf（2017 年 5 月 25 日閲覧）.

地震調査研究推進本部（2015）：稲取断層帯の長期評価，http://jishin.go.jp/main/chousa/15apr_chi_kanto/ka_19.pdf（2017 年 5 月 25 日閲覧）.

岡村行信・湯浅真人・倉本真一（1999）：駿河湾海底地質図説明書，海洋地質図シリーズ，

no.52，地質調査所.
日本地震学会（2017）：日本付近のおもな被害地震年代表＜説明＞.
気象庁地震課・石廊崎測候所・大島測候所（1978）：1978 年 1 月 14 日伊豆大島近海の地震調査報告，験震時報，第 43 巻，pp.21-57, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol43p021.pdf（2017 年 5 月 25 日閲覧）.

2.3.10 1948 年福井地震（福井断層，福井東側断層）

(1) 地震の概要

表 2.3-15 に 1948 年福井地震の概要を示す.

表 2.3-15　1978 年伊豆大島地震の概要

地震名	福井地震
発生日時	1948 年 6 月 28 日（昭和 23 年）
震央	N36.2° E136.2°
震源深さ	
地震の規模	M7.1
震度	6（現在の震度階級では７）
被害	福井平野：『福井地震』：被害は福井平野およびその付近に限られ，死 3769，家屋倒壊 36184，半壊 11816，焼失 3851．土木構築物の被害も大きかった．南北に地割れの連続としての断層（延長約 25km）が生じた．（日本地震学会）
地震断層	福井地震断層
断層ずれの向きと種類	左横ずれ断層（東傾斜・高角度） 左横ずれ・最大２m，東側隆起・最大 0.9m

(2) 地震における断層変位

図 2.3-33 に，福井平野東縁断層帯の位置を示す.

福井平野東縁断層帯主部には，1948 福井地震時の活動証拠は見つかっていない．一方，福井平野東縁断層帯西部は，福井地震後の水準測量などから，滑動したことは明確だとされている（図 2.3-34）．これらの結果から，1948 年福井地震時の主断層の最大変位は，左横ずれ断層（東傾斜・高角度），左横ずれ・最大 2m，東側隆起・最大 0.9m とされている（地震調査研究推進本部（2004））．ただし，福井地震直後およびその後の調査でも，測地学的な変状以外に 1948 年福井地震時に滑動した根拠となる変状は見つかっていない.

(3) 副断層の分布と変位量

断層帯近傍の沖積低地下の未確認活断層で地震が発生したケース．地表部では地割れなどの変状は確認されているが，測地学的な変動以外，主断層の変位は確認されていない．同様に，副断層の変動についても確認されていない（表 2.3-16）.

表 2.3-16　福井断層沿いの副断層の変位

活断層名	区分	主断層変位（地震時）	主断層変位（文献）	副断層	
		地震断層	既存資料	主断層からの距離	変位量
1948 年福井地震：福井断層・福井東側断層	未確認断層 沖積低地	左横ずれ･最大 2m, 東側隆起・最大 0.9m	1回のずれ量3～4m程度（断層の長さから推定）	未確認	未確認

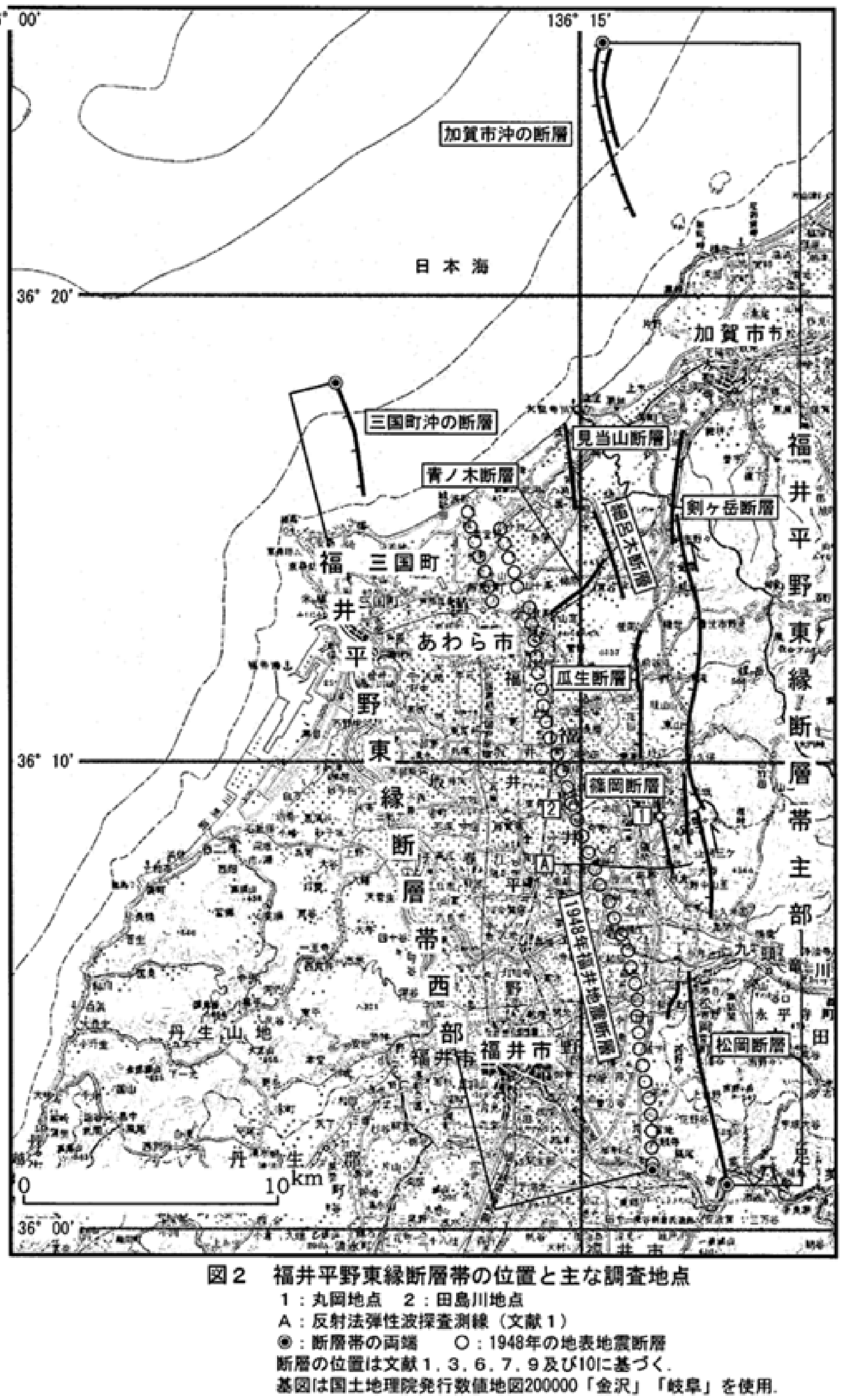


図 2.3-33　福井平野東縁断層帯と 1948 年福井地震断層（地震調査研究推進本部，2004）

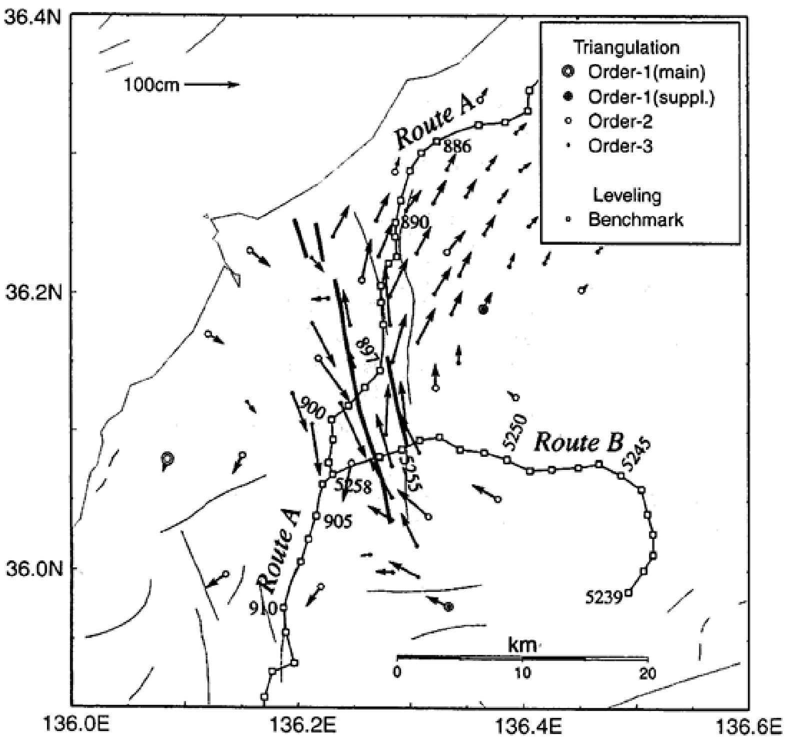


図２－３　三角測量により明らかとなった福井地震による水平変動（鷺谷, 1999 に一部加筆）

太実線は福井地震断層および福井東側地震断層を、また細実線はその他の活断層を示す。

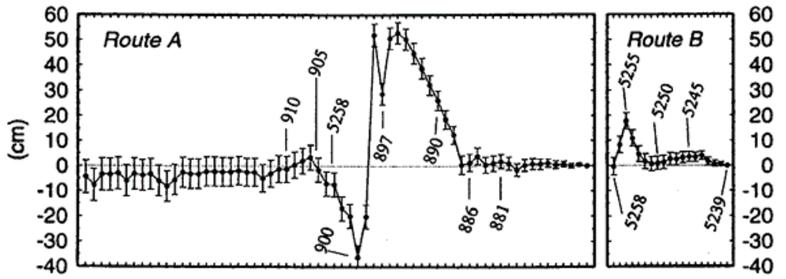


図２－４　1927-29（昭和 2-4）年と福井地震後に行われた水準測量結果の比較から明らかとなった福井地震による垂直変動　出典：鷺谷, 1999　水準路線および水準点位置は図２－３参照。

図 2.3-34　三角測量・水準測量結果による福井地震断層による地盤変動（中央防災会議, 2011）

【参考文献】

小笠原義勝（1949）：福井地震の被害と地変－特に断層について－，地理調査所時報，第 6 集，p.1.

那須信治（1949）：越前平野における水準測量「昭和 23 年福井地震調査研究速報」，日本学術会議

鷺谷　威 : 1948 福井地震(M=7.1)に伴う地殻変動と震源断層モデル，地震第 2 輯，52，pp.111-120

地震調査研究推進本部（2004）：福井平野東縁断層帯の長期評価について.

産業技術総合研究所（2008）：福井平野東縁断層帯の活動性および活動履歴調査.

中央防災会議（2011）: 1948 福井地震報告書.
山本博文（2013）: 福井平野東縁断層帯ーその概要と最新の調査結果についてー，福井大学地域環境研究教育センター紀要.

2.3.11 1945 年三河地震（深溝断層，横須賀断層）

(1) 地震の概要

三河地震は，1945 年 1 月 13 日午前 3 時 38 分 23 秒に，愛知県の三河湾で発生したマグニチュード 6.8（Mw 6.6）の直下型地震である． また，1945 年の終戦前後にかけて 4 年連続で 1,000 人を超える死者を出した 4 大地震（鳥取地震，東南海地震，南海地震）の一つである．この地震は東南海地震同様，戦時中の報道管制によりあまり報道されなかったが，岡崎平野南部や三ヶ根山地周辺（安城市，西尾市，吉良町，幡豆町，幸田町，蒲郡市など）に局地的な大被害をもたらした．表 2.3-17 に 1945 年三河地震の概要を示す.

表 2.3-17　1945 年三河地震（深溝断層，横須賀断層）の概要

地震名	1945 年三河地震
発生日時	1945 年 1 月 13 日
震央位置	愛知県三河湾内
震源深さ	11 ㎞
タイプ	逆断層型
地震の規模	M6.8
震度	震度 5（三重県津市） 震度 7 に見積もられる*1
被害	死者 2300 人（*2） 全壊家屋　7221 棟（*2）
震源断層	深溝断層，横須賀断層

*1 内閣府（2007）による
*2 飯田（1978）による

(2) 地震における断層変位

三河地震は，深溝断層（ふこうずだんそう）と横須賀断層によって起こされた地震で，断層は陸上部で 18km，総延長は 28km，最大の高低差は約 2m，横ずれ変異量は約 1m である（図 2.3-35，図 2.3-36）．携帯は L 字型と逆 L 字型を組み合わせた特異な分布形態を示している．

この地震で形成された深溝断層は，1975 年に愛知県指定天然記念物に指定されている．深溝断層は逆断層で，隆起側での家屋倒壊などの被害規模が大きく，沈降側での被害は断層からの距離が 10m 以内に集中した.

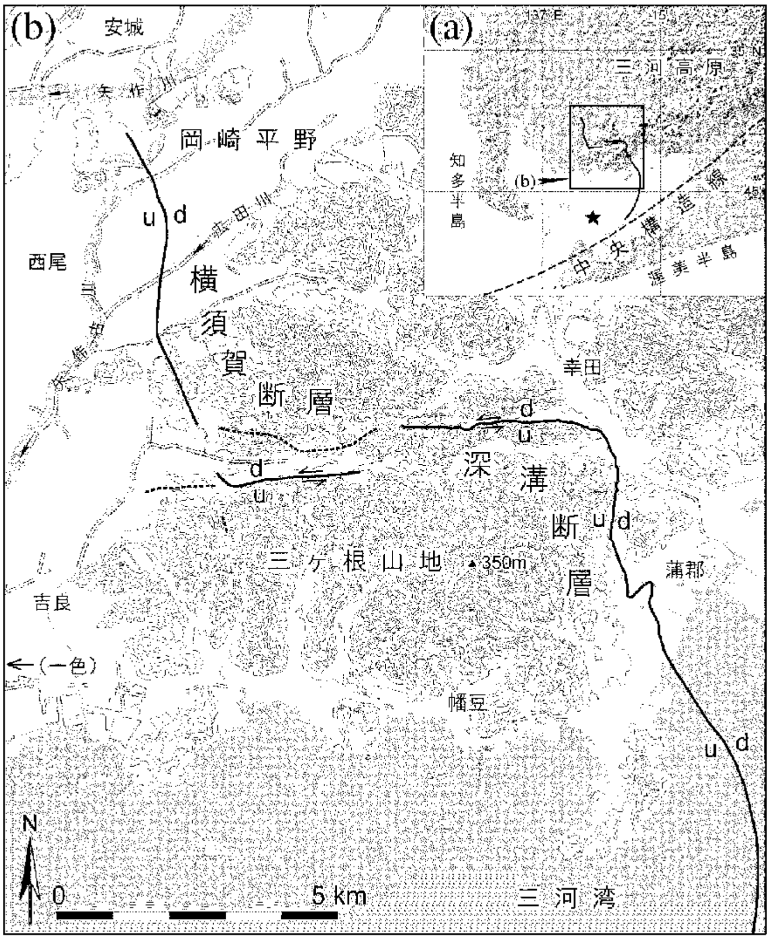


図 2.3-35　1945 年三河地震震源地域の地形と地表地震断層の分布（内閣府，2007）

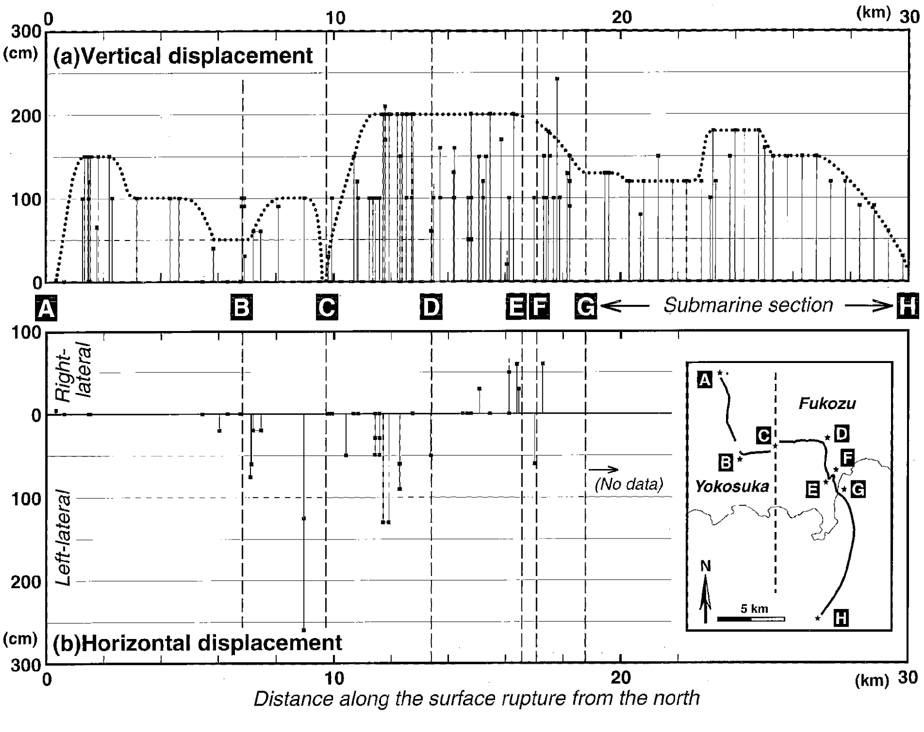


図 2.3-36　三河地震に伴う地表地震断層の変位量分布（杉戸，2004）

(3) 副断層の分布と変位量

杉戸・岡田 (2004) が記載している副断層（副次断層, back thrust, tear fault ; 図 2.3-37）を以下①～③に示す.

①横須賀断層に平行する fig6(e), fig6(f)と示されたリニアメント部の連続性が悪く，また山頂近くや傾斜変換点のない尾根上に位置する地点が含まれることから副次的な地震断層，もしくは二次的な地変であると考えられるとしている.

②吉良町の南方海底に生じた西落ちの急変線（梶島急変線）が，深溝断層の南北区間とほぼ併走するため，深溝断層の上盤側に生じた back thrust の可能性があるとしている.

③両断層の東西走向区間は 2 条の南北方向の断層をつなぐように出現した一種の tear fault であるとしている.

表 2.3-18 に①，②で示した地点ごとの副断層の変位量および位置情報を，図 2.3-38 図 2.3-39 に各測定地点の詳細な位置図を示す.

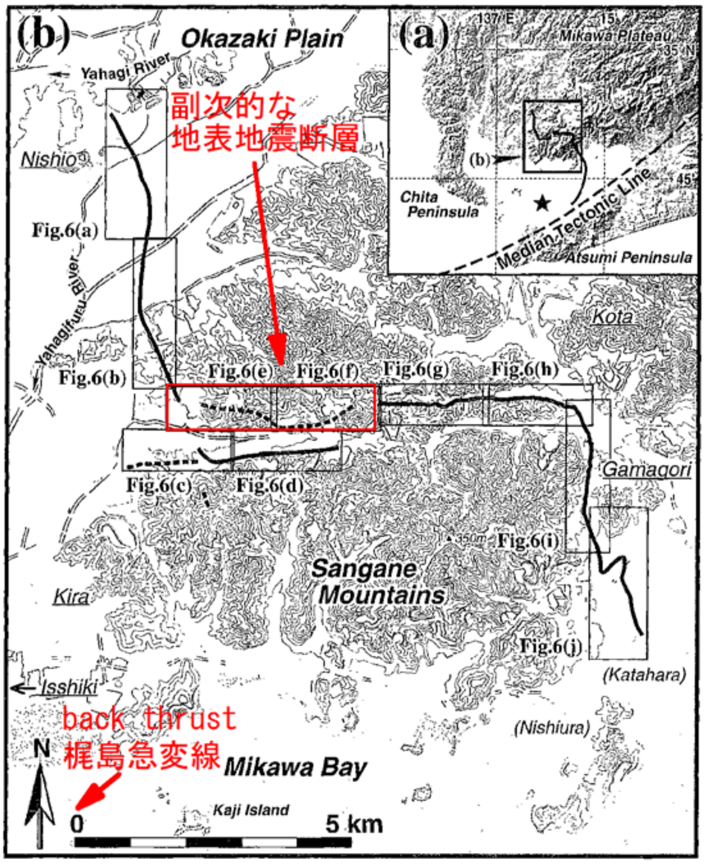


図 2.3-37　地表地震断層と副断層（杉戸・岡田（2004）に加筆）

表 2.3-18　深溝断層，横須賀断層沿いの副断層の変位

地区	No	鉛直変位		横ずれ変位		副断層の長さ（m）	主断層からの距離（m）
		上盤側	変位量	LorR	変位量		
Fig6(e)	32	SW	40cm			？	860
	33	SW	0cm			？	860
	34			L	20 ㎝	？	860
	42		0cm			200	860
	55	S	30cm			70	860
	56	S	30cm			70	860
	57	S	30cm			70	860
Fig6(f)	58	S	20cm			70	430
	59	S	80cm			230	430
	60	S	80cm			230	430
	61	S	90cm			230	430
	62	S	60cm			230	430
	63	S	100cm			230	430
	64	S	30cm			70	430
梶島急変線		E	不明			不明	9700？（不明）

*3 変位量，変位方向は杉戸・岡田（2004）の三河地震の地表地震断層カタログから読み取り

*4 副断層の長さおよび主断層からの距離は杉戸・岡田（2004）の詳細地図から読み取り

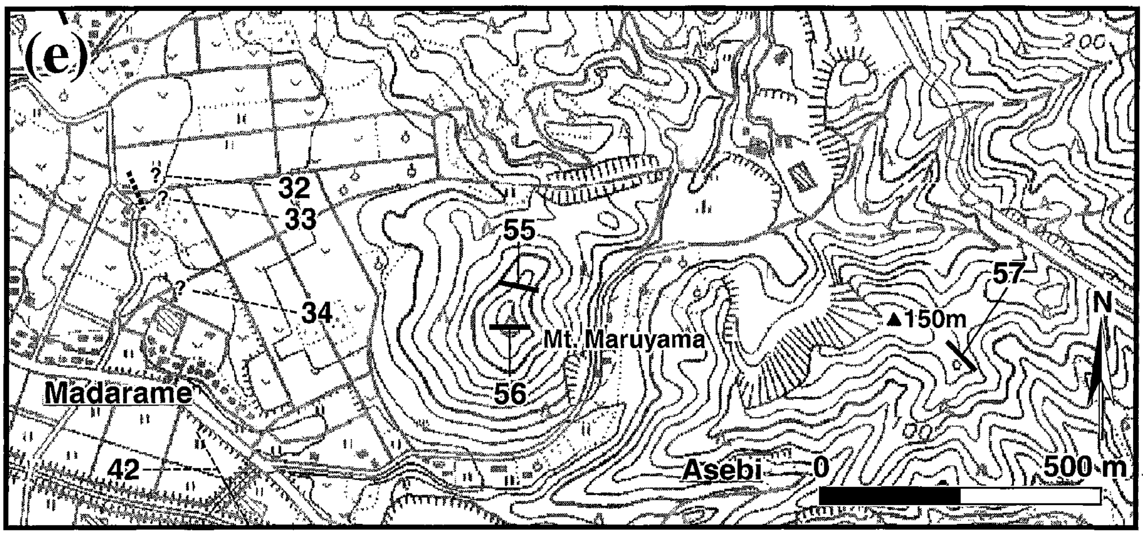


図 2.3-38　地表地震断層の詳細位置 Fig6(e)（杉戸・岡田，2004）

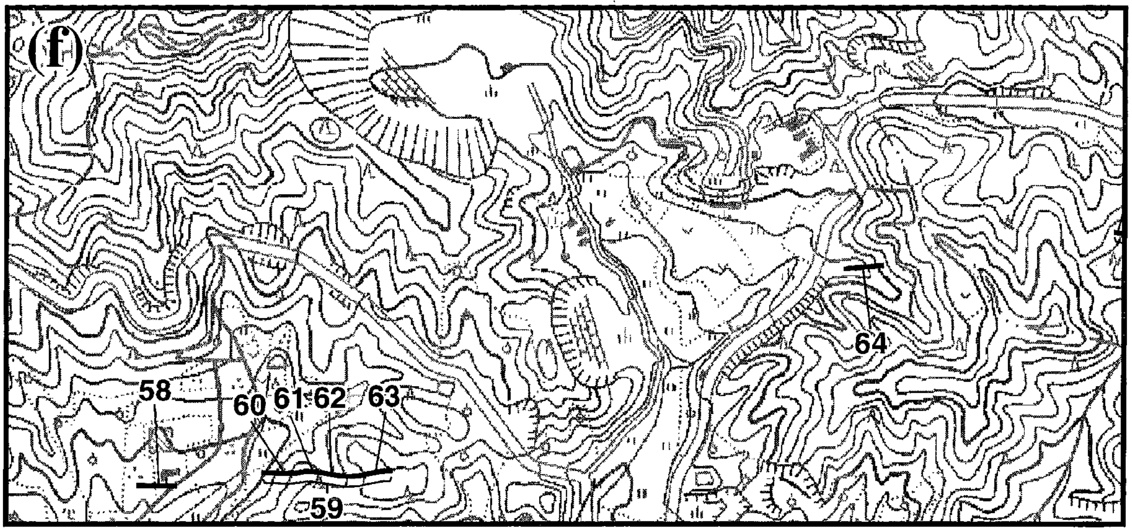


図 2.3-39　地表地震断層の詳細位置 Fig6(f)（杉戸・岡田，2004）

【参考文献】

坂部和夫・飯田汲事（1975）：三河地震における深溝断層の副断層について，地震，第 2 輯，Vol.28，pp.373-378.

飯田汲事（1978）：「昭和 20 年 1 月 13 日三河地震の震災と深度分布」，愛知県防災会議地震部会，96p.

内閣府中央防災会議（2007）：災害教訓の継承に関する専門調査会災害教訓の継承に関する専門調査会報告書　1944 東南海地震・1945 年三河地震，第 4 章　三河地震の災害の概要，pp.100-129.

杉戸信彦・岡田篤正（2004）：1945 年三河地震の地表地震断層，活断層研究，24，pp.103-127.

2.3.12 1943 年鳥取地震（鹿野断層，吉岡断層）

(1) 地震の概要

1943 年鳥取地震では，2 つの地震断層が地表に現れた．1 つは鳥取県気高郡鹿野町から鳥取市上原町地区に至る鹿野断層であり，全長 8km の横ずれ断層である．もう 1 つは，鹿野断層の北に平行してできた吉岡断層であり，全長 7km の右横ずれ断層である．

鹿野断層は全長 8km の右横ずれ断層群であり，断層の南西区間は北側が最大 75cm 沈下し東方へ最大 150cm 動いた．これに対して，断層の北東区間は南側が最大 50cm 沈下し西方へ動いた．

吉岡断層は全長 4.5km の横ずれ断層群であり，北側が最大 50cm 沈下し，東方へ最大 90cm 動いた．

表 2.3-19 および図 2.3-40 に地震の概要を示す．

表 2.3-19　1943 年鳥取地震の概要

地震名	1943 年鳥取地震
発生日時	1943 年（昭和 18 年）9 月 10 日 17:36:54
震央位置	35゜28.3，134゜11.0（鳥取県気高郡豊実村）
震源深さ	0km
タイプ	直下型地震（横ずれ断層型）
地震の規模	M 7.2 (Mw 7.0)
震　度	最大震度 6（鳥取市）
被　害	死者 1,083 人，家屋全壊 7,485 棟，火災焼失 251 戸
震源断層	鹿野断層・吉岡断層

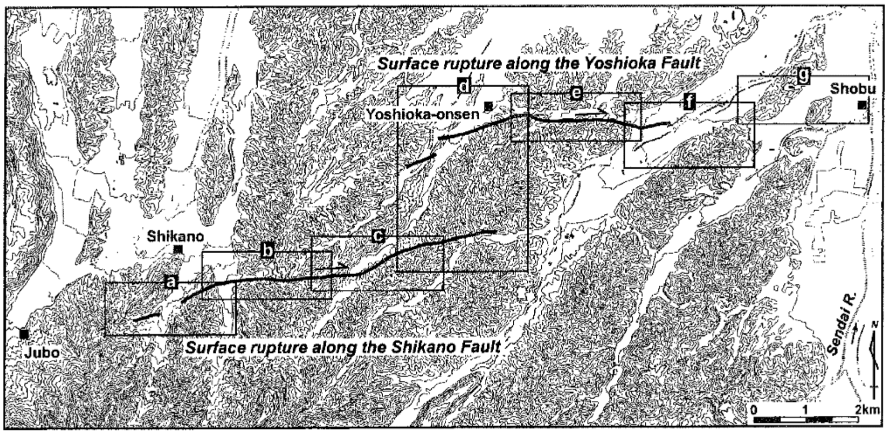


図 2.3-40　1943 年鳥取地震における地表地震断層（金田・岡田，2002）

(2) 地震における断層変位

図 2.3-41 には，三角測量によって得られた水平変位ベクトル図を示す．この水平変位ベクトル図と余震の震源分布，発震機構，地震波形記録から求められた震源断層モデルが図中に破線で示されている．この震源断層モデルは全長 33km，深さ 0～13km で走向 N80゜E，相対的なずれの変位は 2.5m と推定されている．この震源断層モデルは地震時の地表地震断層とほぼ一致している．

図 2.3-42 には，鹿野地震断層および吉岡地震断層沿いの各地点における計測変位量を上記の震源断層モデルの走向方向（N80゜E）に投影した結果を示す．図 2.3-42 A の横ずれ変位量について見ると，鹿野地震断層・吉岡地震断層ともに右横ずれ変位を示し，最大変位量は鹿野地震断層で 150cm，吉岡地震断層で 100cm である．図 2.3-42 B の鉛直変位量について見ると，鹿野地震断層の西半分と吉岡地震断層が南側隆起を呈し，鹿野地震断層の東半分は北側隆起を呈する．最大変位量は鹿野地震断層で 100cm（南側隆起）および 50cm（北側隆起），吉岡地震断層で 50cm（南側隆起）である．図 2.3-42 C のネットスリップ変位量では，地震断層ごとにその変位量分布の概形を点線で包絡している．この包絡線に着目すると，吉岡地震断層の変位量がその西端に向かって減少してゆくとともに，鹿野地震断層が表れ始め，その変位量は吉岡地震断層の

変位量を受け継ぐように増加しているように見える．ネットスリップ変位量の最大値は鹿野地震断層で 154cm，吉岡地震断層で 101cm である．

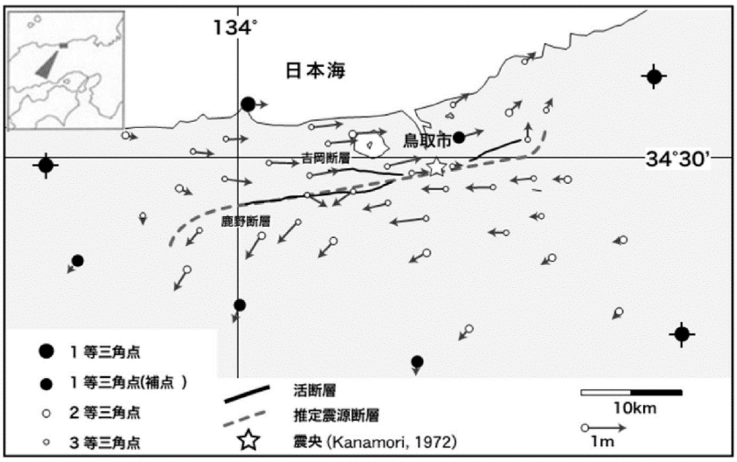


図 2.3-41　1943 年鳥取地震における変位ベクトル図（中田ほか，2004）

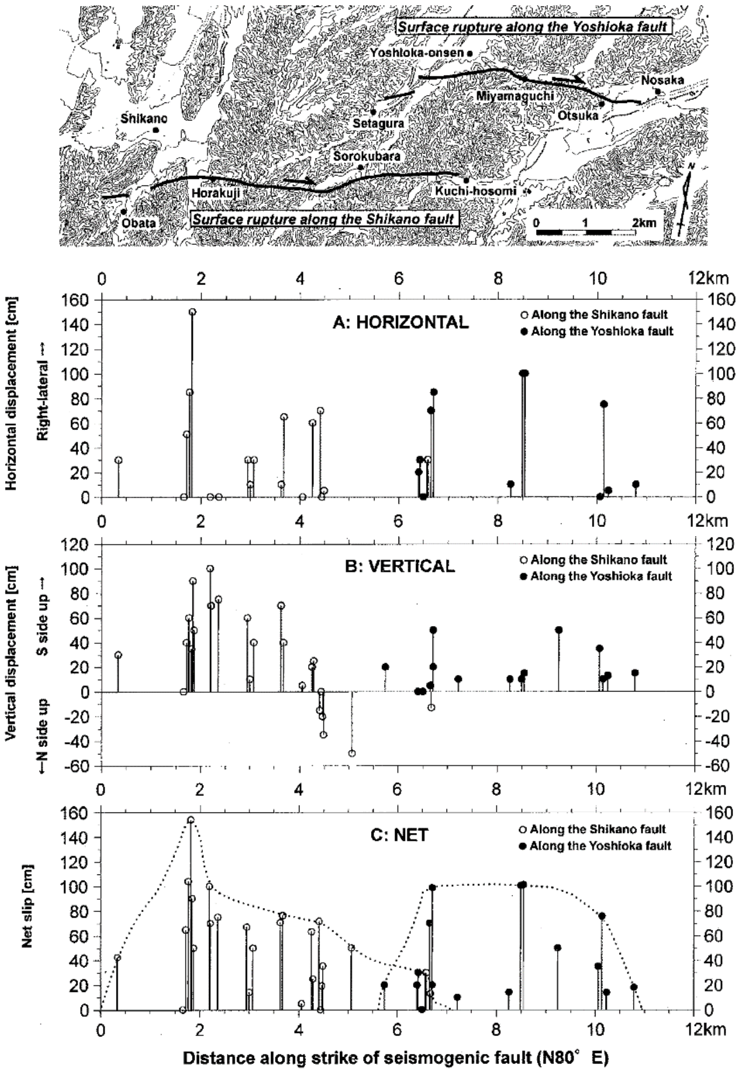


図 2.3-42　1943 年鳥取地震における地表地震断層の変位（金田・岡田，2002）

(3) 副断層の分布と変位量

図 2.3-43 は地震断層における変位調査地点を示し，地震断層に対する副断層と想定されるものを赤枠で囲っている．これによると，吉岡断層では，瀬田蔵や菖蒲にみられるような主断層に付随した副断層が認められる．

表 2.3-20 は，鹿野・吉岡断層沿いの副断層の変位についてまとめている．

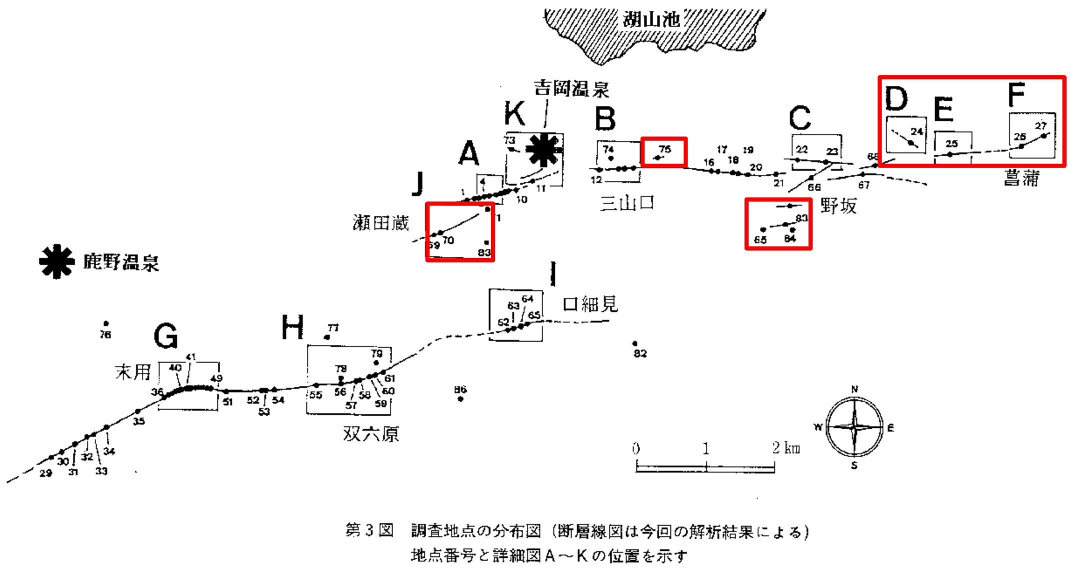


図 2.3-43　1943 年鳥取地震における断層変位調査地点（西田ほか，1993）

表 2.3-20　鹿野・吉岡断層沿いの副断層の変位

地震断層	No.	No.	鉛直変位		水平変位		主断層からの距離※1)（m）	主断層
			上盤側	変位量（cm）	R=右横ずれ L=左横ずれ	変位量（cm）		
1943年 鳥取地震 鹿野･吉岡断層	38	38	N	20			125	鹿野断層
	53	53			R	25	160	吉岡断層
	76	76	S	30			50	吉岡断層
	93	93	S	50			200	吉岡断層
	94	94	N	70			100	吉岡断層

※1) 主断層からの距離は，文献資料に掲載された図面からの読み取り．

※2) 断層変位は個々のトレースにおける代表値（最大値）を抽出。

【参考文献】

金田平太郎・岡田篤正（2002）：1943 年鳥取地震の地表地震断層－既存資料の整理とその変動地形学的解釈－，活断層研究，第 21 号，pp.73-91.

中田高・隈元崇・熊原康博・山中佳子（2004）：「携帯単位モデル」による一括活動型活断層の設定と起震断層の再検討，活断層研究，第 24 号，pp.39-48.

西田良平・黒川泰・赤木三郎（1993）：1943 年鳥取地震に伴う吉岡・鹿野断層とその周辺部の地変について，鳥取大学教養部紀要，27，別冊，pp.187-226.

2.3.13 1930 年北伊豆地震（丹那断層）

(1) 地震の概要

1930 年 11 月 26 日に伊豆半島北部を中心としてマグニチュード 7.3 の地震（北伊豆地震）が発生した．この地震の発生に伴って，地震断層が箱根芦ノ湯付近から修善寺南方までの南北約 30km の地域に渡ってあらわれた（図 2.3-44）．その中でも主断層とされる丹那断層は，走向はほぼ南北，延長約 7km で，左ずれ変位を示している．丹那断層は 1930 年の地震以前から存在が良く知られており，東海道線丹那トンネルの建設時に既知の丹那断層に沿って地震断層があらわれたとされている．地震の概要を表 2.3-21 に示す．北伊豆地震については，中央気象台，東京大学地震研究所，地質調査所，陸地測量部，東北大学などから報告書が出版された．その後，松田（1972）によって北伊豆地震に関する資料が取りまとめられ，公表された．

表 2.3-21　1930 年北伊豆地震の概要

地震名	1930 年北伊豆地震
発生日時	1930 年（昭和 5 年）11 月 26 日 4:2:47
震央位置	35゜2.3’，135゜58.6’（静岡県伊豆地方）
震源深さ	16 km
タイプ	大陸プレート内地震（左横ずれおよび右横連れ断層型）
地震の規模	M 7.3 (Mw 6.9)
震　度	最大震度 6（静岡県三島市）
被　害	死者・行方不明者 272 人，負傷者 572 人，家屋全壊 2,165 棟
震源断層	北伊豆断層帯（のうち丹那断層）

(2) 地震における断層変位

北伊豆地震であらわれた地震断層は，箱根芦ノ湯付近から修善寺南方までの南北約 30km の地域に及ぶ．これらの地震断層は，走向と変位の向きによって，南北性左ずれの断層群と東西性右ずれの断層群との２つのグループに分けられる．南北性左ずれの断層群は，箱根町断層，茨ケ平断層，丹那断層，浮橋中央断層，浮橋西方断層，大野断層，加殿断層など．東西性右ずれの断層群は，姫之湯断層，田原野断層など．この２つのグループの断層は，互いに共役の関係があるとされている（表 2.3-22）．

主断層とされる丹那断層は南北性左ずれの断層群に属し，走向はほぼ南北，全長 7km，左ずれ変位をもつ．断層変位は丹那盆地付近で最も大きく，その最大変位量は，水平変位で 3.5m であった．

(3) 副断層の分布と変位量

松田（1972）では，気象台（中央気象台，1930，1931；棚橋，1931），地質調査所（伊原・石井，1932），東北大学（田山，1931），東京大学（Otuka, 1932, 1933；津屋，1934；Takahashi, 1931），京都大学（小川，1931；君塚，1931）などの調査結果をとりまとめ，地表地震断層の位置と変位量を整理したカタログを作成した．本報告書ではそのカタ

ログから副断層と思われる地表変位を選定し，主断層からの距離を図幅で読み取った（表 2.3-23，図 2.3-45）．なお，図 2.3-44 を見てもわかる通り，丹那断層を含む北伊豆断層帯は概ね北北東－南南西方向に延びるが，その東側には北西－南東方向に派生する分岐断層群が存在しており，副断層と分岐断層の判別が非常に困難であった．したがって，今回，副断層として抽出したものの中には，これらの多くの分岐断層の地表変位も含まれていると考えられる．

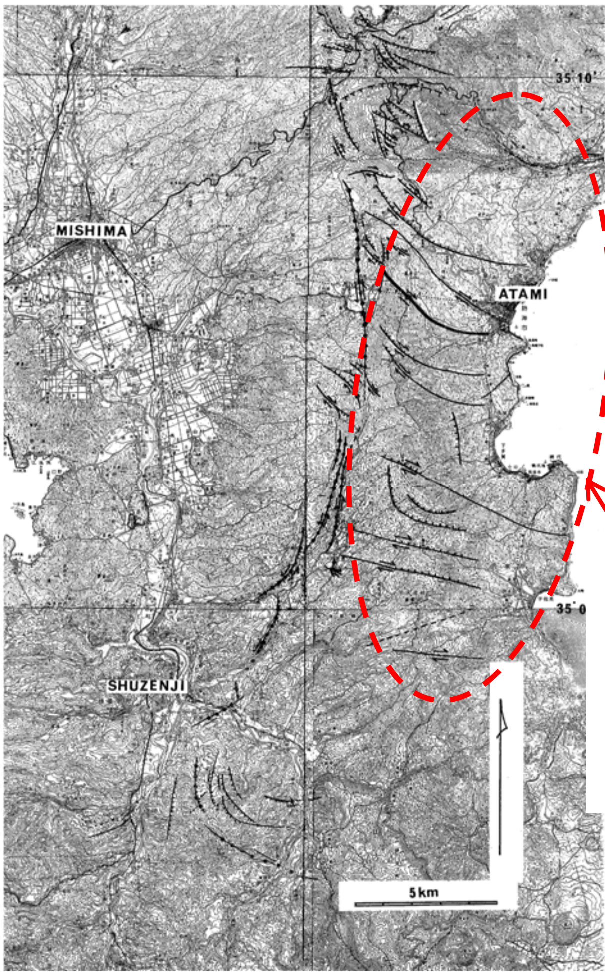


図 2.3-44　1930 年北伊豆地震における丹那断層と地表地震断層（松田，1972）

（北伊豆地方を南北に通る断層が丹那断層）

表 2.3-22　1930 年北伊豆地震　地表地震断層の変位量（松田，1972）

Name of Fault	Strike	Length (km)	Displacement Maximum (cm)	
			Horizontal	Vertical, upthrown
Hakonemachi fault	N 20°E	1. 5(2. 5)*	Sinistral 30	East 50
Baragataira fault	N 18°W	0. 5(1. 0)	Sinistral 50	(West 20)?
Tanna fault	N 5°W	7(10)	Sinistral 350	Scissoring (East 80, West 180)
Ukihashi-west fault	N 20°E	3. 5(7)	Sinistral 200	Scissoring ? (East ? 50 ?, West)
Ukihashi-central f.	N 15°E	4	Sinistral 300	Scissoring (East 70 ?, West 240)
Tawarano fault	N 65°W	1	Dextral 40	North
Oono fault	N 30°E	2. 5	Sinistral 150	Scissoring (West 150, East 60)
Kadono fault	N 45°E	1. 5(4)	Sinistral 198	Scissoring (West 50, East 60)
Himenoyu fault	N 70°W	3(6)	Dextral 120	North 87

* Length given in parentheses indicate fault length including possible extent of the fault.

表 2.3-23　1930 年北伊豆地震　副断層の変位量

地震名	地点	副断層の変位量(m)			地震断層からの距離(m)	文献
		鉛直変位	水平変位	合成変位		
1930年 北伊豆地震 (丹那断層)	3a	0.20		0.20	360	松田(1972)
	3a?	0.90		0.90	360	
	3b		0.60	0.60	360	
	4a	0.20	0.50	0.54	540	
	20b	0.43	0.62	0.75	450	
	23	0.60		0.60	90	
	24b		0.24	0.24	50	
	24c	0.60	1.00	1.17	50	
	34	0.20		0.20	1560	
	35	0.10	0.10	0.14	1160	
	36a	0.30	0.20	0.36	800	
	36a?	0.15		0.15	800	
	37a	0.18		0.18	670	
	37a	0.25		0.25	670	
	37c	0.25		0.25	670	
	37a	0.18		0.18	670	
	37a?	0.40		0.40	670	
	38		0.30	0.30	60	
	39	0.15		0.15	70	
	40	0.13	0.15	0.20	310	
	44a		0.30	0.30	710	
	44a	0.75		0.75	710	
	44a		0.30	0.30	710	
	46b	0.05		0.05	1790	
	66	0.00	0.45	0.45	580	
	68	0.20		0.20	2230	
	69a		0.05	0.05	1610	
	71	0.33		0.33	2500	
	72	0.28		0.28	3930	
	74a		1.00	1.00	6430	
	74b		0.20	0.20	6430	
	75b?	0.00	0.33	0.33	8930	
	75d		0.30	0.30	8930	
	78b	0.20		0.20	6520	
	80	0.05	0.20	0.21	3210	
	82a	0.25	0.00	0.25	540	
	84	0.20		0.20	540	
	85	0.15		0.15	710	
	95b		0.60	0.60	360	
	95c	0.10	0.00	0.10	360	
	95d	1.20		1.20	360	
	99a	0.50	0.45	0.67	540	
	100a	0.30		0.30	490	
	105	0.40		0.40	270	
	108a	0.10	0.00	0.10	540	
	108b	0.10	0.00	0.10	540	
	109	0.35		0.35	1070	
	112		0.05	0.05	180	
	114	0.40	0.30	0.50	1160	
	115	1.10		1.10	6700	
	120a		0.17	0.17	630	
	121c	0.30		0.30	630	
	122a		1.00	1.00	3750	
	122b		0.30	0.30	3750	
	122c	0.45		0.45	3750	
	123	0.60		0.60	3040	

※地震断層からの距離は図幅から読み取った.

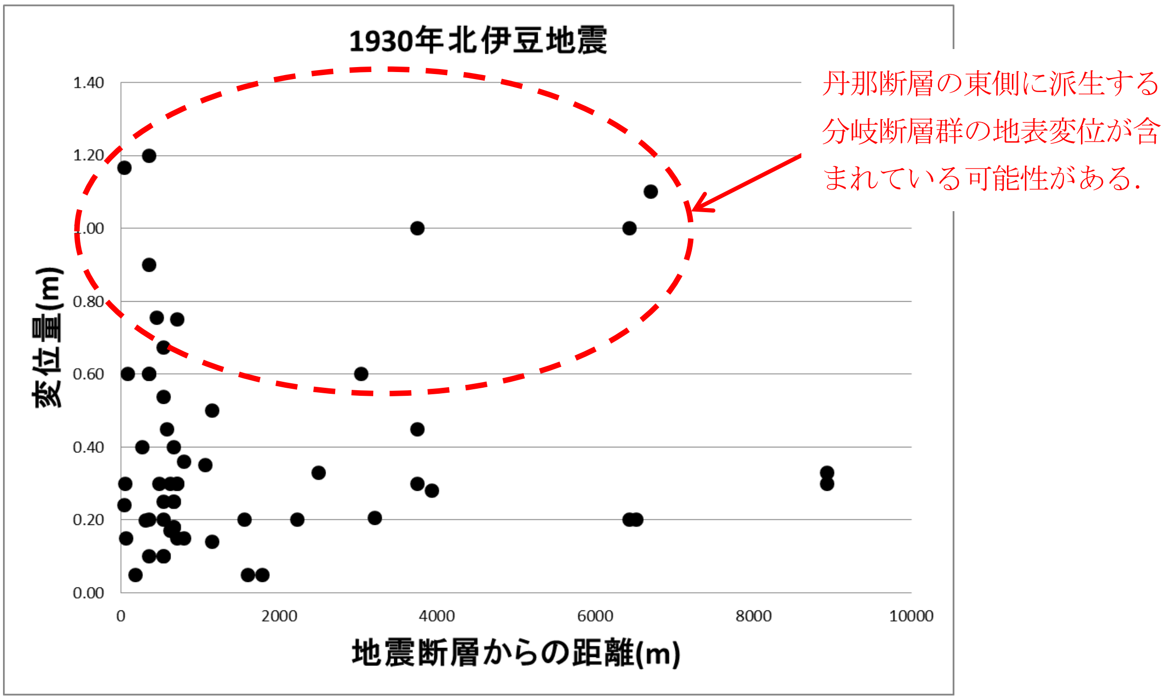


図 2.3-45　1930 年北伊豆地震における副断層の変位量と地表地震断層からの距離の関係

副断層の合成変位量と地震断層からの距離を図示した．

【参考文献】

松田時彦（1972）：1930 年北伊豆地震の地震断層，伊豆半島，東海大学出版会，pp.73-93.

中央気象台（1930）：昭和五年十一月二十六日　北伊豆地震報告，150p.

中央気象台（1931）：北伊豆地震第二報告，験震時報，第 5 巻，第 1 号，216p.

棚橋嘉市（1931）：北伊豆地震調査報告，海洋気象台彙報，39，pp.1-34.

伊原敬之助，石井清彦（1932）：北伊豆震災地調査報文，地質調査所報告，112，111p.

田山利三郎（1931）：北伊豆地震と地質構造との関係，斎藤報恩会報告，11，pp.1-54.

Otuka, Y.(1932)：The geomorphology of the Kano-gawa alluvial plain, the earthquake fissures of Nov. 26, 1930, and the pre-and post-seismic crust deformations, Bull. Earthq. Res. Inst., 10, pp.235-246.

Otuka, Y.(1933)：The geomorphology and geology of northern Idu Peninsula, the earthquake fissures of Nov. 26, 1930, and the pre-and post-seismic crust deformations, Bull. Earthq. Res. Inst., 11, pp.530-574.

津屋弘逵（1934）：昭和 5 年北伊豆烈震の際現れた所謂加殿断層に就いて，地震，6，pp.369-377.

Takahashi, R.(1931)：Results of the precise levellings executed in the Tanna Railway Tunnel and the movement along the slicken-side that appeared in the Tunnel. Bull. Earthq. Res. Inst., 9, pp.435-453.

小川琢治（1931）：伊豆地震に於ける地盤変動に就いて，地球，15，pp.1-10.

君塚康治郎（1931）：北伊豆地震地踏査記，地球，15，pp.11-24.

2.3.14 1927 年北丹後地震（郷村断層，山田断層）

(1) 地震の概要

北丹後地震では，2 つの地震断層が地表に現れた．1 つは京丹後市網野町から同市大宮町三重地区に至る北北西－南南東（N30゜W－S30゜E）方向の郷村断層帯であり，全長 18km の左横ずれ断層群である．もう 1 つは野田川町岩屋地区から宮津市府中地区に至る北東－南西ないし東北東－西南西方向の山田断層であり，全長 7km の右横ずれ断層である．

郷村断層帯（地震断層）はおおむね 11 本の断層が雁行配列をなす全長 18km の左横ずれ断層群であり，最大 2.5m～3.7m の左横ずれで概して西側に最大 1.0m の隆起を呈した．

山田断層帯は野田川低地西縁に沿って全長 24km の明瞭な変位地形を呈する推定断層であるが，1927 年の地震断層としては 8km と比較的短いものであり，最大 0.95m の右横ずれで北西側へ最大 0.90m の隆起を呈した．

地震の概要を表 2.3-24 に示す．

表 2.3-24　1927 年北丹後地震の概要

地震名	1927 年北丹後地震
発生日時	1927 年(昭和 2 年)3 月 7 日 18:27:39
震央位置	35゜37.9, 134゜55.8(京都府丹後半島北部)
震源深さ	18km
タイプ	プレート内地震(左横ずれおよび右横ずれ)
地震の規模	M 7.3 (Mw 7.0)
震　度	最大震度 6(兵庫県豊岡町，京都府宮津町･峰山町)
被　害	死者 2.925 人，家屋全壊 12,584 棟，火災焼失 8,287 戸
地震断層	郷村断層(山田断層)

(2) 地震における断層変位

図 2.3-46 は，地震断層各地点の水平変位量と鉛直変位量を断層トレース沿いにプロットしたものである．図中の記号（WS，TM，NS など）は観測者の区分であり，いずれの観測データともおおむね同様の傾向を示す．

図 2.3-47 (a)の郷村断層では，左横ずれ変位の最大値（3.0m 以上）は網野町郷地区付近にあり，南北両側へ向かって減少してゆく．鉛直変位（南西側の隆起）については，最大値は特に認められず，全線を通じて 1.0m 程度以下であった．

図 2.3-47 (b)の山田断層では，右横ずれ変位は野田川町上山田地区付近においてのみ認められ，その変位量は 1.0m 以下と少ない．鉛直変位（北側の隆起）については，田川町幾地～四辻～上山田～下山田で連続して見られたのみである．

図 2.3-48 は，地震後の 2 等三角補点までの測量によって求められた水平変位ベクトルの分布図である．図中の線 A－A’と線 B－B’は，それぞれ郷村断層帯と山田断層帯

の延長線であり，これらの線によって区分された４つの領域では変位の分布特性が異なる.

図 2.3-49 は，郷村断層からの直交距離における変位ベクトルについて断層の走向方向（N27゜W）の変位成分をプロットしたものである．図中の実線は転移理論による適合曲線をフィッティングさせたものであり，郷村断層の西側と東側で変位の大きさが異なることがわかる.

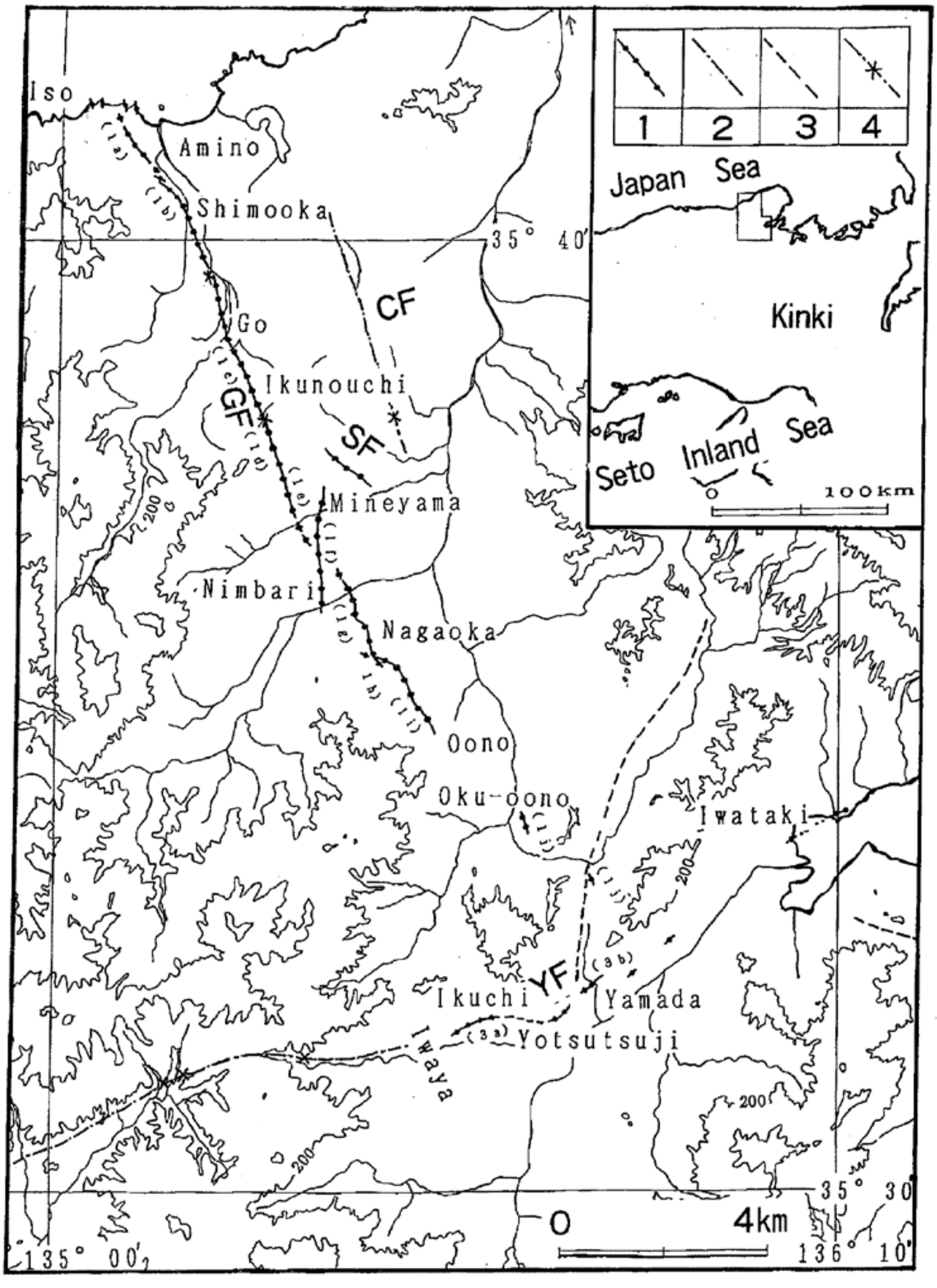
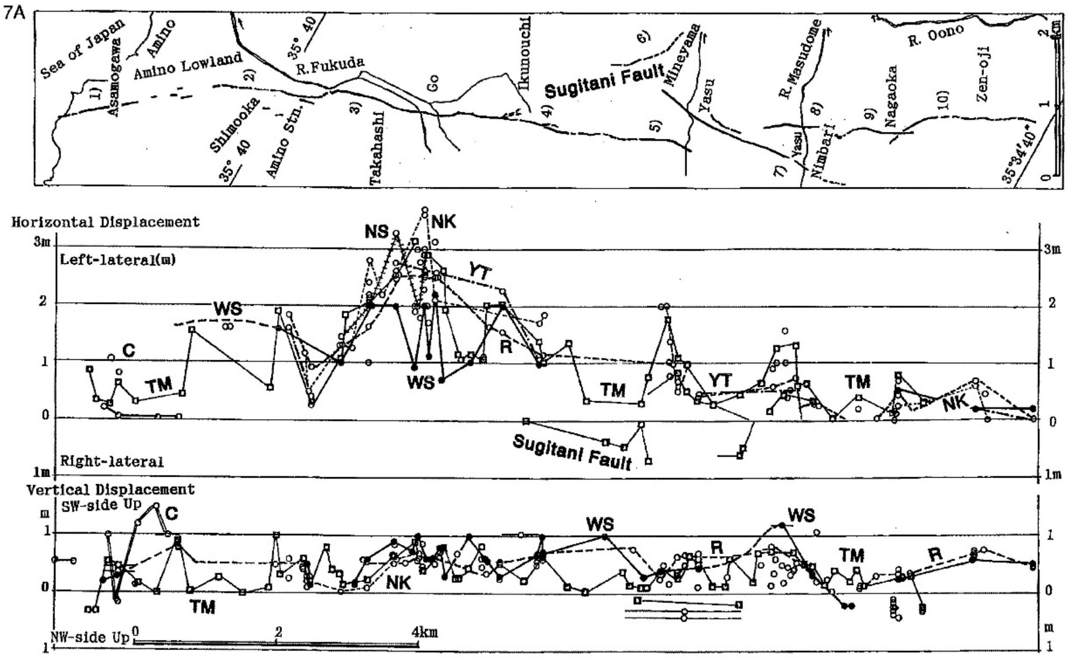
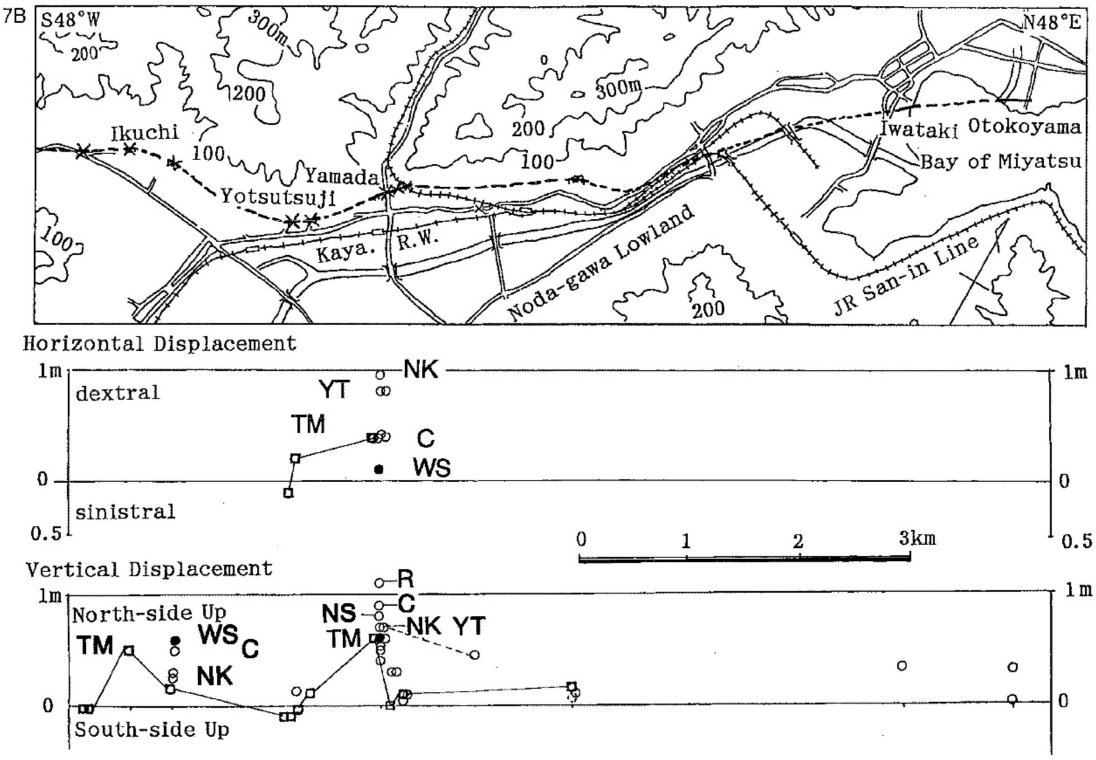


図 2.3-46　1927 年北丹後地震の震源と地震断層（岡田・松田，1997）



(a) 郷村断層帯



(b) 山田断層

図 2.3-47　断層に沿った変位の分布（岡田・松田，1997）

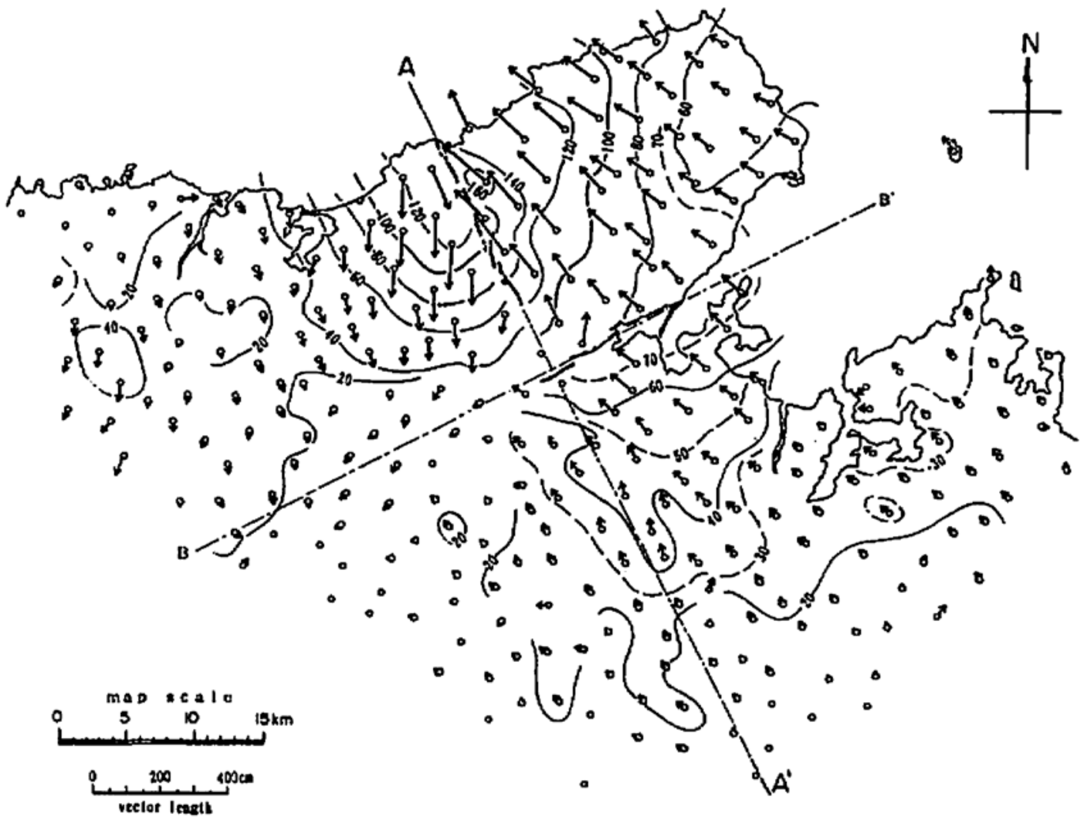


図 2.3-48　1927 年北丹後地震における水平変位のベクトル図（平野，2000）

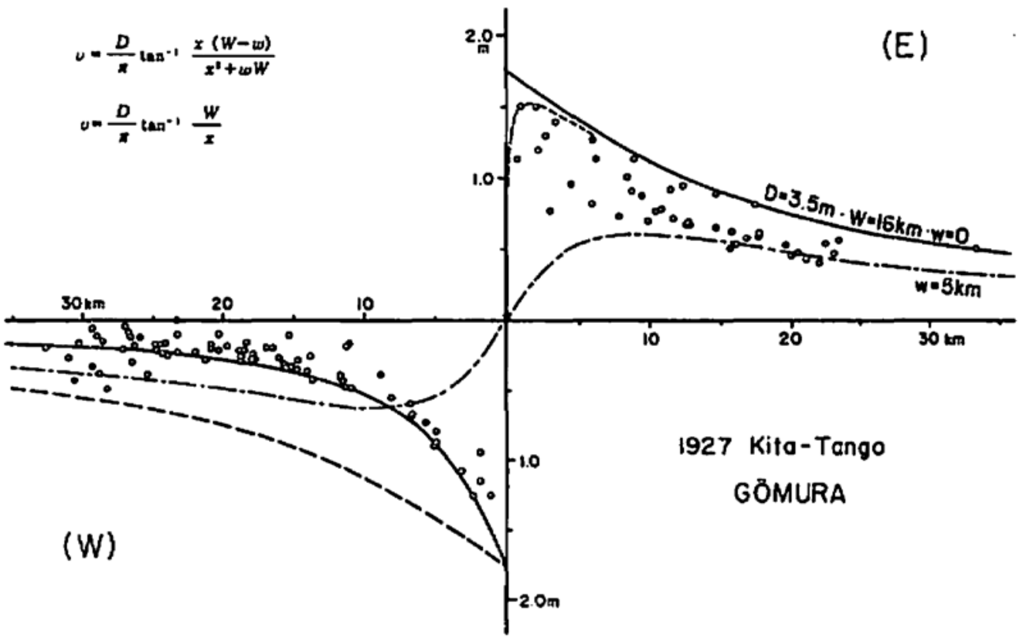


図 2.3-49　郷村断層からの直交距離に対する水平変位の分布図（平野，2000）

(3) 副断層の分布と変位量

図 2.3-50 には, 詳細地形図にプロットした郷村断層帯のトレースを示す. 図中には, 主断層から離れた地点で変位が確認された副断層と想定される小断層もプロットされている．表 2.3-25 には副断層の鉛直変位と水平変位をまとめたが，これらの合成変位量を求めると 30～65cm ということになる.

なお, 図中の Loc.26 は比較的明瞭な副断層であり, 地震時には 36cm の鉛直変位（東側隆起）と 32cm の左横ずれ変位を呈している.

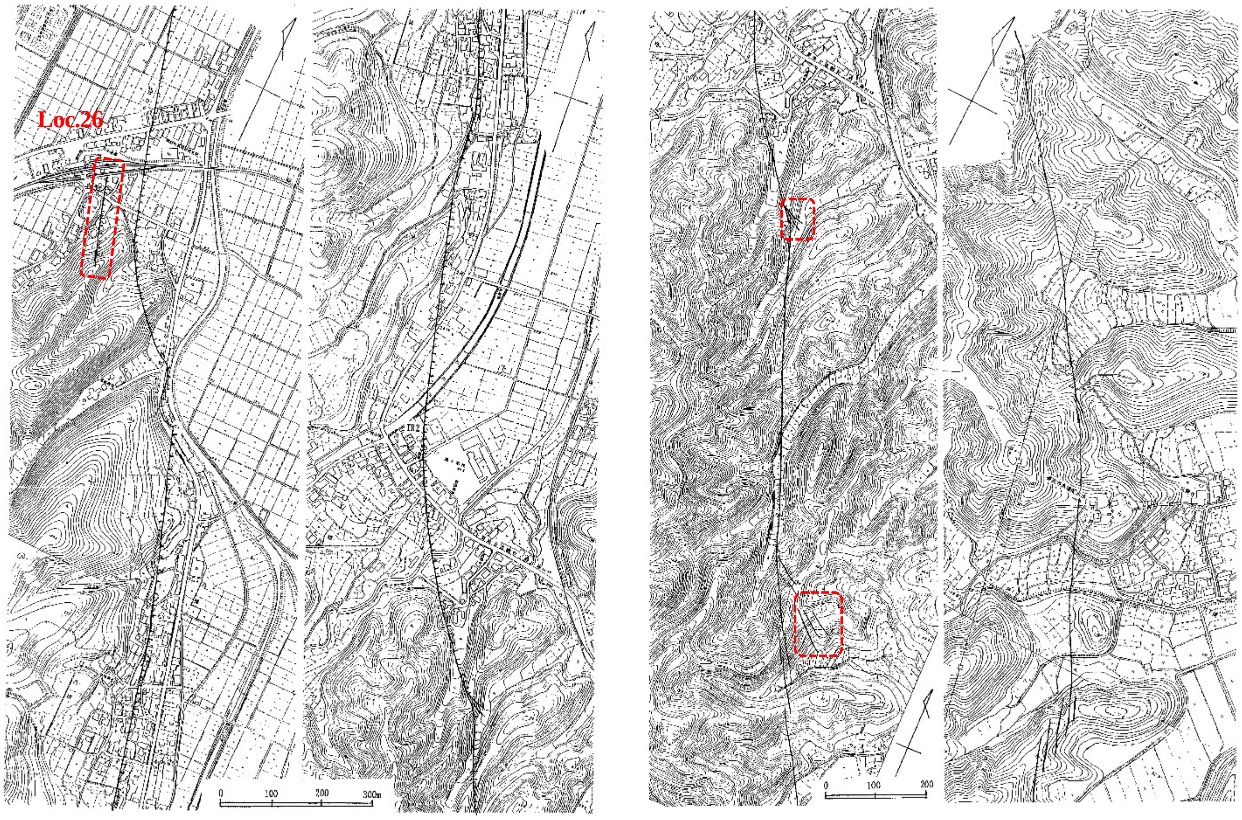


図 2.3-50　郷村断層沿いの詳細地形図と副断層（岡田・松田，1997）

表 2.3-25　郷村断層沿いの副断層変位

地震断層	No.	No.	鉛直変位		水平変位		主断層からの距離※1)（m）	主断層
			上盤側	変位量（cm）	R=右横ずれ L=左横ずれ	変位量（cm）		
1927年 北丹後地震 郷村断層	20	12	NE	13	L	64	210	郷村断層
	21	12	W	30	L	5	210	郷村断層
	26	10-13	E	36	L	32	50	郷村断層
	53	24	W	60			160	郷村断層
	54	24	(W)	43			1,080	郷村断層
	57	c25	W	30	(L)	50	1,000	郷村断層

※1) 主断層からの距離は，文献資料に掲載された図面からの読み取り.

※2) 断層変位は個々のトレースにおける代表値（最大値）を抽出。

【参考文献】
岡田篤正・松田時彦（1997）: 1927 年北丹後地震の地震断層，活断層研究，第 16 号，1997, pp.95-135.
平野昌繁（2000）: 1927 年北丹後地震による水平変位場の再検討，人文研究（大阪市立大学文学部紀要），第 52 巻，第 8 分冊，pp.1-15.

2.3.15 まとめ

本節では，地表地震断層を伴った過去の主な地震を対象にして，主断層や分岐断層から離れた位置に出現した副断層の性状を把握するために文献調査を行った．対象とした地表地震断層は，2016 年熊本地震（布田川ー日奈久断層帯），2014 年長野県北部地震（神城断層），2011 年福島県浜通り地震（井戸沢断層・湯ノ岳断層），2008 年岩手・宮城内陸地震，2004 年新潟県中越地震（小平尾断層・六日市盆地西縁断層），2000 年鳥取県西部地震，1995 年兵庫県南部地震（野島断層・楠本断層），1984 年長野県西部地震，1978 年伊豆大島近海地震（稲取断層帯），1948 年福井地震（福井断層・福井東断層），1945 年三河地震（深溝断層・横須賀断層），1943 年鳥取地震（鹿野断層・吉岡断層），1940 年北伊豆地震（丹那断層）および 1927 年北丹後地震（郷村断層・山田断層）の計 14 である．

これらの中には，もともと既知の活断層が知られていなかった地震もあり，確実に副断層と考えられる地表変位を認定し難い場合もあった．また，それぞれの文献の著者によって，副断層の定義や認定の方法が異なっていることもあり，2.2 節で検討した「主断層，分岐断層，副断層等の区分に関する考え方の整理」に従って，地下の震源断層と直接的な関連を持たないと考えられる地表変位に限って副断層として抽出・整理した．

この結果，明瞭・不明瞭を問わず，副断層と思われる地表変位の位置と変位量の記載があるのは，2016 年熊本地震（数 10cm 以下），2014 年長野県北部地震（2～82cm），2011 年福島県浜通り地震（64cm，23cm），2008 年岩手・宮城内陸地震（10～30cm），1995 年兵庫県南部地震（5～70cm），1978 年伊豆大島近海地震（8～10cm），1945 年三河地震（0～100cm），1943 年鳥取地震（20～70cm），1930 年北伊豆地震（5～120cm）および 1927 年北丹後地震（30～65cm）の 9 つの地震である（文献で副断層としてあっても明らかに震源断層から派生した分岐断層など，断層変位地形が認められるものは除いた）．

このうち，副断層と分岐断層の判別が難しかった 1930 年北伊豆地震の丹那断層の場合を除けば，地表地震断層が出現した主な地震においては，副断層の変位量で 1m を超えるようなものはないと判断してもよさそうである．さらに，これらの地表変位には，被覆層の重力変形（表層部のすべりや側方流動など）の要素が含まれている可能性もある．このため，原子力施設等の重要構造物の基礎となる岩盤上に限ってみれば，副断層の変位量はさらに小さくなる可能性がある．

なお，ここで注目されるのは，2016 年熊本地震と 1995 年兵庫県南部地震の 2 つの事例である．

2016 年熊本地震では，人工衛星からのレーダー観測によって広域的に地表変位がとらえられている（2.3.1 項参照）．これらの中には，震源断層（布田川－日奈久断層帯）からある程度離れた位置に現れ，これとの直接の関連性がない地表変位が数多く存在する．その変位量は大きくとも数 10cm 程度であり，二次的な応力や強震動によって発生したもの，すなわち地表面近くの応力開放のため既存の弱面としての断層やその周囲が地表変位として現れたものと考えられており，副断層の成因の一つを示している可能性がある．

また，1995 年兵庫県南部地震では，震源断層（野島断層）の位置から約 4km 離れた淡路島東岸において，上下変位量 10～20cm（右横ずれを伴う）の地表地震断層が現れた（2.3.7 項参照）．この位置には，既知の活断層（灘川断層系の楠本断層）が知られているが，現れた地表地震断層の変位の向きが地形的に推定される楠本断層の変位の向きと逆であることから，広域圧縮応力場のもとで誘発された断層面に沿った 2 次的な地殻の隆起と考えられている．これは，2.2 節で述べた Treiman（2009）による Sympathetic Fault Rupture，すなわち地下の震源断層の活動とは直接的な関連性がない副断層の一つに相当するものと考えられる．

2.4 活断層の一般像・平均像の整理

2.4.1 地震調査研究推進本部による主要活断層の諸元

事前にその存在が確認されている活断層の「長さ」，「1 回ずれの量」，「平均活動間隔」，「最新活動時期」に関して，一般像・平均像を把握する目的で，地震調査研究推進本部（地震本部）による「主要活断層帯の長期評価」に示されている活断層の諸元について整理した．

調査対象は 97 断層帯（当初 98 断層帯のうち，岩国断層帯と五日市断層帯がひとまとめ（岩国-五日市断層帯）になり，現在は 97 断層帯）・192 セグメントで，六日町断層北部および富士川河口断層帯については，それぞれ 2 ケースの検討がなされており，計 194 セグメント（サンプル）について調査した．地震本部による主要活断層の長期評価結果では，活断層の諸元に関して評価の信頼度を「高い」,「中程度」,「低い」,「非常に低い」で表示している．

地震本部による主要活断層の長期評価結果を整理して**表 2.4-1** に示す．

表 2.4-1　地震調査研究推進本部の主要断層帯の長期評価結果

No.	断層名	走向	傾斜	長さ	信頼度	変位センス	変位速度	過去の活動	信頼度	単位変位量	信頼度	平均活動間隔	信頼度
1	サロベツ断層帯	N20W	低角 E	44km	△	東隆起逆	0.7m/ka 以上	①4.5-5.1ka ②5-6ka	△	3-4m	△	4-8ka	△
2	標津断層帯	N40E	NW	52km 以上	○	北西隆起逆	不明(B 級程度)	不明		4m 以上	△	不明	
3	十勝断層帯(主部)	N10E	E	84km	△	東隆起逆	0.3-0.4m/ka	不明		6-7m	△	17-22ka	△
	同(光地園断層)	N30W	E	26km	△	東隆起逆	0.1-0.1m/ka	21ka 以降 2 回		1.5m	△	7-21ka	△
4	富良野断層帯(西部)	N20E	W	27km	△	西隆起逆	0.5m/ka	2 世紀-1739 年	△	2m	△	4ka	△
	同(東部)	N15E	50E	25km	△	東隆起逆	0.2-0.4m/ka	2.4-4.3ka	○	2-3m	△	9-22ka	△
5	増毛山東縁断層帯	N20E	W	60km	○	西隆起逆	1m/ka 以下	不明		5m	△	5ka 以上	△
	沼田-砂川付近の断層帯	N-S	E	38km	△	東隆起逆	不明	不明		不明		不明	
6	当別断層	N-S	30-50W	20km	△	西隆起逆	0.1-0.2m/ka	2.2-11ka	△	1.5m	△	7.5-15ka	△
7	石狩低地東縁断層帯(主部)	N10E	E	66km	○	東隆起逆	0.4m/ka 以上	①1739-1855 年 ②2.4ka-8 世紀 ③3.2-5.3ka ④20ka 頃 ⑤25ka 頃	△	2m 以上	△	1-2ka	△
	同(南部)	N20W	E	54km 以上	○	東隆起逆	0.2m/ka	不明		4m 以上	△	17ka 以上	△
8	黒松内低地断層帯	N10W	W	32km 以上	○	西隆起逆	0.5-0.7m/ka	4.9-5.9ka	△	2-3m 以上	△	3.6-5ka	△
9	函館平野西縁断層帯	N10E	W	24km	○	西隆起逆	0.2-0.4m/ka	①14ka 前後 ②③20-40・50ka	◎	3m 程度	○	13-17ka	△
10	青森湾西岸断層帯	N20W	高角度 W	31km	△	西隆起逆	0.4-0.8m/ka	不明		2-3m	△	3-6ka	△
11	津軽山地西縁断層帯(北部)	N20W	E	16km	○	東隆起逆	0.2-0.3m/ka	1766 年(明和 3 年の地震)	△	不明		不明	
	同(南部)	N-S	E	23km	△	東隆起逆	不明	1766 年(明和 3 年の地震)	△	不明		不明	

12	折爪断層	N20W	W	最大 47km	△	西隆起逆	不明	不明		不明		不明	
13	花輪東断層帯	N10E	40-50E	19km	△	東隆起逆	0.3-0.5m/ka	15ka 以後	◎	1-2m	△	3-5ka	△
14	能代断層帯	N10E	E	22km 以上	○	東隆起逆	0.8-0.9m/ka	①1694 年(能代地震) ②③1694 年-6ka に 2 回	◎	2-3m	△	1.9-2.9ka	△
15	北上低地西縁断層帯	N-S	20-30W	62km	○	西隆起逆	0.2-0.4m/ka	①4.5ka 頃 ②7-30ka	△	5m	△	16-26ka	△
16	雫石盆地西縁断層帯	N10E	W	17km	○	西隆起逆	不明(B 級程度)	2.8ka－14 世紀	◎	1m	△	不明	
	真昼山地東縁断層帯(北部)	N20-30E	40W	14-21km	△	西隆起逆	不明	①1896 年(陸羽地震) ②6.4-31ka	◎	1-2m	△	6.3-31ka	△
	同(南部)	N10-20E	W	17-23km	△	西隆起逆	不明(B 級程度)	不明		1-2m	△	不明	
17	横手盆地東縁断層帯(北部)	N10E	20-30E	26km	○	東隆起逆	1m/ka	①1896 年(陸羽地震) ②3.5ka 頃	◎	2m	△	3.4ka	△
	同(南部)	N-S	E	30km	△	東隆起逆	不明	5-6ka	○	2-3m	△	不明	
18	北由利断層	N-S	E	30km	△	東隆起逆	0.6-0.7m/ka	2.8ka 以後	△	2-3m	△	3.4-4ka	△
19	新庄盆地断層帯(東部)	N20E	30-40E	22km	△	東隆起逆	0.5m/ka	6.2ka 以後	△	2m	△	4ka	△
	同(西部)	N-S	W	17km	△	西隆起逆	0.3m/ka	不明		1m	△	4.7ka	△
20	山形盆地断層帯(北部)	N20E	W	29km	○	西隆起逆	1m/ka	①1.6-3.9ka ②5.8-5.9ka ③8.8-9.5ka	○	2-3m	△	2.5-4ka	○
	同(南部)	N-S	W	31km	○	西隆起逆	1m/ka	不明		2-3m	△	2.5ka	△
21	庄内平野東縁断層帯(北部)	N-S	E	24km	○	東隆起逆	2m/ka	①1894 年(庄内地震) ②2.5-3.3ka ③3.3-4ka	△	2m	△	1-1.5ka 以下	△
	同(南部)	N-S	E	17km	○	東隆起逆	0.5m/ka	①3ka-1780 年 ②3-7.9ka ③7.9-9.5ka	○	1-2m	△	2.5-4.6ka	△
22	長町-利府線断層帯	N40E	35-40W	21-40km	△	北西隆起逆	0.5-0.7m/ka	16ka 以後	◎	2m 以上	△	3ka 以上	△
23	福島盆地西縁断層帯	N30E	30-60W	57km	△	北西隆起逆	0.7-0.9m/ka	①2.2ka-3 世紀 ①10ka 頃	○	4-5m	○	8ka	△
24	長井盆地西縁断層帯	N10E	W	51km	△	西隆起逆	0.4-0.5m/ka	2.4ka 以後	○	2.5m	△	5-6.3ka	△
25	双葉断層	N10W	90-高角 E	16-40km	△	左横ずれ(西隆起)	0.15m/ka(左横) 0.05-0.1m/ka(上下)	①2.4ka-2 世紀 ②10-14ka	○	1.5m(左横) 0.5-1m(上下)	△	8-12ka	△
26	会津盆地西縁断層帯	N10E	W	34km	○	西隆起逆	1m/ka	①1611 年(会津地震) ②7.8-11ka	△	4-5m	△	7.4-9.7ka	△
	同東縁断層帯	N10E	E	49km	△	東隆起逆	0.4m/ka	①2.6-3ka ②7.6-11ka ③16-21ka	○	3m	△	6.3-9.3ka	△
27	櫛形山脈断層帯	N30E	45W	16km	△	西隆起逆	0.2-0.4m/ka	①2.6-3.2ka ②5.6-6.8ka ③8.7-11ka	○	1m	△	2.8-4.2ka	○
28	月岡断層帯	N20E	25W	30km	△	西隆起逆	0.4m/ka	0.9-6.5ka	○	3m 以上	△	7.5ka 以上	△

29	長岡平野西縁断層帯	N10E	50-60W	83km	△	西隆起逆	3m/ka	13 世紀以後	○	2m 以上	○	1.2-3.7ka	△
30	鴨川低地断層帯	E-W	不明	25km	△	南隆起	不明	不明		2m	△	不明	
31	関谷断層	N12E	15-40W	38km	○	西隆起逆	1m/ka	①14 世紀-17 世紀 ②3.8-5.1ka ③5.8-8.4ka	○	3-4m	△	2.6-4.1ka	○
32	深谷断層帯	N58W	50-70S	69km	△	南西隆起逆	0.2-0.5m/ka	①5.8-6.2ka ②16-24ka 31-45ka	△	5m	△	10-25ka	△
	綾瀬川断層(鴻巣-伊奈区間)	N50W	高角 SW	19km	○	南西隆起逆	0.1m/ka	①9-15ka ②60-80ka	△	3-4m	△	45-71ka	△
	綾瀬川断層(伊奈-川口区間)	N39W	高角	19km	△	不明	不明	不明		不明		不明	
33	立川断層帯	N40W	極めて高角	33km	○	北東隆起逆	0.2-0.3m/ka	13-20ka	△	2-3m	△	10-15ka	△
34	伊勢原断層	N-S	60E	21km	○	東隆起逆	0.3-0.4m/ka	①5 世紀-18 世紀初頭 ②約 7ka	△	2m	△	4-6ka	△
35	神縄・国府津-松田断層帯 塩沢断層帯	N61E	30N	10km	○	北西隆起逆	1m/ka	不明		2m 以上	△	0.8ka 以上	▲
	同 平山-松田北断層帯	N38E N80E	60-80W 40-50N	15km	△	左横ずれ 北西隆起逆	0.8m/ka 以上	2.7ka	△	2m	○	4-5ka	△
	同 国府津-松田断層	N31W	30-50E	35km 以上	○	北東隆起逆	2-3m/ka	①12 世紀-1350 年 ②2.4ka-1 世紀 ③④2.6-4.5ka	◎	3m	○	0.8-1.3ka	○
36	三浦半島断層群 衣笠・北武断層帯	N60W	高角	14km 以上	○	右横ずれ	0.9-2.3mka	①6-7 世紀 ②3.4-7.2ka	◎	1m 以上	△	1.9-4.9ka	△
	同 武山断層帯	N50W	高角度	11km 以上	○	右横ずれ	0.5-2.8m/ka	①1.9-2.3ka ②2.3-3.0ka ③5.4-5.6ka	◎	1m 以上	△	1.6-1.9ka	○
	同 三浦半島断層群(南部)	N60W	高角度	6km 以上	△	右横ずれ(南隆起)	0.2m/ka	22-26ka	○	0.5m 以上	△	不明	
37	北伊豆断層帯	N15E	90-高角	32km	○	左横ずれ	2m/ka	①1930 年(北伊豆地震) ②838 年-13 世紀 ③2.8ka-約 5 世紀 ④3.1-5.6ka ⑤5.6-6.2ka	◎	2-3m	◎	1.4-1.5ka	○
38	六日町断層帯(北部)1	N30E	50W	22km	△	西隆起逆	不明	①4.9ka-16 世紀 ②6.4-8.0ka	○	2m	△	3.2-7.6ka	△
	六日町断層帯(北部)2		30W					①2004 年(中越地震) ②4.9ka-16 世紀 ③6.4-8.0ka	◎			3.2-4.0ka 以下	○
	同(南部)	N20E	50W	30km	△	西隆起逆	0.6-2.0m/ka	①2.0-2.9ka ②9.1-9.2ka	○	3m 以上	△	6.2-7.2ka	△
39	高田平野西縁断層帯	N-S	W	30km	○	西隆起逆	0.5-1.1m/ka	①1751 年(寛延 4 年の地震) ②3.9ka 前後	△	2-3m	△	2.2-4.8ka	△
	同東縁断層帯	N30E	30-40W	26km	△	南西隆起逆	0.9m/ka	①3.5ka-1847 年 ②5.5ka 以降	△	2m	△	2.3ka	△
40	十日町断層帯(西部)	N30E	W	33km	○	西隆起逆	1m/ka	3.1ka 以前	△	2-3m	△	3.3ka	△
	同(東部)	N20E	E	19km	○	東隆起逆	0.2-0.4m/ka	不明		1-2m	△	4-8ka	△
41	長野盆地西縁断層帯(飯山-千曲区間)	N34E	20-40W	59km	○	北西隆起逆	1.2-3.6m/ka	①1847 年(善光寺地震) ②1.0-1.5ka	◎	2-3m	○	0.8-2.5ka	△

	同（麻績区間）	N28E	W	15km	○	北西隆起逆	不明	不明		2m	△	不明	
42	糸魚川-静岡構造線断層帯（北部）	N0E	30-60E	50km	△	東隆起逆	1-3m/ka	①1.0-1.3ka ②1.9-3.1ka ③3.5-4.1ka ④4.9-5.3ka	○	2-3m	○	1-2.4ka	◎
	同（中北部）	N27W	高角 E	45km	△	左横ずれ	9m/ka（左横） 1-2m/ka（上下）	①0.8-1.2ka ②1.0-1.5ka ③1.6-1.7ka ④2.0-2.3ka ⑤3.1-3.3ka ⑥5.9-7.2ka	○	6-9m	○	0.6-0.8ka	◎
	同（中南部）	N40W	W	33km	△	左横ずれ	5-6m/ka（左横） 2-3m/ka（上下）	①0.9-1.3ka ②2.3-2.4ka ③2.9-3.2ka ④5.0-5.2ka ⑤6.0-8.0ka ⑥11-15ka	○	6m 以上	○	1.3-1.5ka	◎
	同（南部）	N10W	30-60W	48km	△	西隆起逆	1m/ka	①1.4-2.5ka ②7.2-8.4ka	○	3m	○	4.6-6.7ka	○
43	曽根丘陵断層帯	N60E	30S	32km	△	南東隆起逆	1m/ka	10ka 以後	○	2-3m	△	2-3ka	△
44	富士川河口断層帯a	N-S	W	26km 以上	○	西隆起逆	7m/ka	①13 世紀-18 世紀 ②③9 世紀前半以後 ④⑤⑥5 世紀前半-8 世紀前半	△	1-2m	△	0.15-0.3ka	△
	富士川河口断層帯b				○			①6 世紀-9 世紀 ②約 2.9-3.2ka ③約 4.0-4.8ka ④約 4.9-5.6ka ⑤約 6.3-7.2ka ⑨約 8.0-9.1ka	△	10m	△	1.3-1.6ka	△
45	木曽山脈西縁断層帯（北部）	N25E	40E-高角	40km	○	東隆起逆 右横ずれ	0.4m/ka	①13 世紀頃 ②約 3.0-4.3ka ③約 5.0-20ka ④約 20-28ka	○	3m	△	6.4-9.1ka	○
	同（南部）	N10E	高角	8km	△	右横ずれ	不明	①約 3.8-6.5ka ②約 11-28ka	○	1m 未満	△	4.5-24ka	○
	同　清内路峠断層帯	N15E	高角	34km	△	右横ずれ	不明（B 級）	不明		3m	△	不明	
46	境峠・神谷断層帯	N35W	高角 E	47km	○	左横ずれ	不明（A-B 級）	①2.5-4.9ka ②6.7-7.7ka	○	4m	△	1.8-5.2ka	△
	同　諏訪山-奈良井断層帯	N50E	高角	28km	○	右横ずれ	不明（A-B 級）	不明		2m	△	不明	
47	魚津断層帯	N30E	E	32km	○	南東隆起逆	0.3m/ka 以上	不明		2-3m	△	8ka 以下	△
48	跡津川断層帯	N60E	ほぼ 90	69km	○	右横ずれ	2-3m/ka	①1858 年（飛越地震） ②4.3ka-1858 年 ③4.0-5.3ka ④7.5-8.1ka ⑤9.3-11ka ⑥11ka 以前	○	4.5-8m	△	2.3-2.7ka	○
49	高山・大原断層帯 国府断層帯	N50E	ほぼ 90	27km	○	右横ずれ	0.7m/ka	0.3-4.7ka	○	2.5-3m（右横） 0.3m（上下）	△	3.6-4.3ka	△
	同　高山断層帯	N50E	ほぼ 90	48km	○	右横ずれ	1m/ka	不明		4m	△	4ka	△

	同 猪之鼻断層帯	N60E	ほぼ 90	24km	○	右横ずれ	B ないし B-C 級	不明		2m	△	不明	
50	牛首断層	N50E	ほぼ 90-高角	54km	○	右横ずれ	不明	①11 世紀-12 世紀 ②4.9-5.6ka ③11-15ka	○	4m	△	5-7.1ka	○
51	庄川断層帯	N20W	高角	67km	○	左横ずれ	不明(B 級)	①11 世紀-16 世紀 ②4.9-7.3ka ③8.2ka 以前	○	5m	△	3.6-6.9ka	△
52	伊那谷断層帯(主部)	N20E	20-40W	79km	○	西隆起逆	0.2-1.3m/ka	①14 世紀-18 世紀 ②5.1-6.7ka ③1.1-13ka	○	6m	△	5.2-6.4ka	△
	同 (南部)	N20E	高角 W	32km	○	西隆起逆	不明(B-C 級)	不明		2-3m	△	不明	
	阿寺断層帯(北部)	N10W	高角	17km	◎	左横ずれ(東隆起)	不明	①3.0-3.4ka ②6.5-6.8ka ③7.0-8.0ka ④9.0ka 以前	◎	1-2m	△	1.8-2.5ka	○
53	同 (南部)	N50W	高角	60km	△	左横ずれ(北隆起)	2-4m/ka	①1586 年(天正地震) ②7 世紀-15 世紀 ③3.2-4.4ka ④4.1-5.9ka ⑤6.0-6.5ka ⑥8.8-9.0ka ⑦11ka 以前	△	4-5m	○	1.7ka	△
	同 佐見断層帯	N60E	高角	25km	△	右横ずれ断層	不明(B 級)	不明		2m	△	不明	
	同 白川断層帯	N65E	高角	31km	△	右横ずれ(南東隆起)	不明(B 級)	不明		2-3m	△	不明	
	屏風山・猿投山断層帯 屏風山断層帯	N60E	高角 S	15km	○	南東隆起逆	0.1-0.3m/ka	不明		1m	△	4-12ka	△
	同 赤河断層帯	N50W	高角	23km	◎	南西隆起逆	不明	不明		2m	△	不明	
54	同 恵那山-猿投山北断層帯	N55E	30-50S-高角	51km	○	南東隆起逆 右横ずれ	0.2-0.4m/ka	①5.4-7.6ka ②2.-21ka ③22-34ka	○	2-3m	○	7.2-14ka	△
	同 猿投-高浜断層帯	N40E N25W	50-80W	51km	◎	西隆起逆	0.1m/ka	14ka	◎	4m	△	40ka	△
	同 加木屋断層帯	N15W N10W	高角 W E	35km	○	西隆起逆 東隆起逆	0.1m/ka	不明		3m	△	30ka	△
55	邑知潟断層帯	N35E	30E	44km	○	南東隆起逆	0.4-0.8m/ka	①3.2ka-9 世紀 ②2.4-3.9ka ③3.7-4.9ka	○	2-3m	△	1.2-1.9ka	△
	砺波平野・呉羽山断層帯 砺波平野断層帯西部	N40E	45-50W	26km	○	北西隆起逆	0.3-04m/ka	①6.9ka-1 世紀 ②14ka 頃 ③19-26ka	○	2m	△	6-12ka 以下	○
56	同 砺波平野断層帯東部	N30E	E	21km	○	南東隆起逆	0.3-0.4m/ka	3.6-4.3ka	○	1.5m	○	3-7ka	○
	呉羽山断層帯	N30E	45W	22km 以上	○	北西隆起逆	0.4-0.6m/ka	3.5ka-7 世紀	△	2m	△	3-5ka	△
57	森本・富樫断層帯	N26E	40-6E	26km	○	東隆起逆	1m/ka	2.0ka-4 世紀	○	3m	△	1.7-2.2ka	△
58	福井平野東縁断層帯主部	N-S	50E-ほぼ 90	45km	△	左横ずれ 東隆起逆	0.1-0.3m/ka	①2.9-3.4ka ②9.7-13ka	○	3-4m	△	6.3-10ka	△
	同 西部	N20W	高角 E-ほぼ 90	33km	△	左横ずれ	0.1-0.2m/ka	1948 年(福井地震)	◎	最大 2m(左横) 最大	○	不明	

										0.9m(東隆起)			
59	長良川上流断層帯	N30W	高角	29km	◎	左横ずれ 西隆起	不明(B 級)	不明		2m	△	不明	
60	濃尾断層帯 温見断層北西部	N40W	高角	16km	△	左横ずれ (北東隆起)	不明(A-B 級)	①1891 年濃尾地震 ②3.9ka-6 世紀 ③4.0-6.0ka ④6.38-7.3ka	◎	1m	△	2.2-2.4ka	○
	同 温見断層南東部	N60W	高角	21km	△	左横ずれ (南西隆起)	不明(A-B 級)	不明		2m	△	不明	
	同 根尾谷断層帯	N35W	高角	30km	○	左横ずれ	2m/ka	①1891 年濃尾地震 ②4.5ka-1891 年 ③4.3-7.3ka	◎	2-3m	△	2.1-3.6ka	△
	同 梅原断層帯	N55W	高角	36km	○	左横(北東隆起) 左横(南西隆起)	不明(B-C 級)	①1891 年濃尾地震 ②22-24ka ③28-31ka	◎	3m	△	14-15ka	△
	同 三田洞断層帯	N60W	高角	19km	○	左横(ずれ 南西隆起)	不明(B-C 級)	不明		1-2m	△	不明	
	同 揖斐川断層帯	N60W	高角	24km	○	左横ずれ	不明(B 級)	1 世紀-10 世紀	◎	2m	△	不明	
	同 武儀川断層	N60W	高角	29km	○	左横ずれ	不明(B 級)	不明		2m	△	不明	
61	柳ケ瀬・関ヶ原断層帯 主部北部	N20E N50W	40E	48km	△	東側隆起逆 北東側隆起逆	0.6-0.8m/ka 以上	①17 世紀頃 ②2.7-3.0ka	○	4-6m	○	2.3-2.7ka	△
	同 主部中部	N10W	hobo	12km	○	左横ずれ	不明(B 級)	7.0-7.2ka	◎	1m	△	不明	
	同 主部南部	N50W	ほぼ 90	45km	△	左横(北東隆起)	不明(B 級)	4.9-15 世紀	○	3-4m	△	不明	
	同 浦底-柳ケ瀬山断層帯	N50W	ほぼ 90	25km	○	左横ずれ	不明(B-C 級)	不明		2m	△	不明	
62	野坂・集福寺断層帯 野坂断層帯	N50W	高角 N	15km	○	左横(北東隆起)	0.2-0.3m/ka (陸) 0.8m/ka(海)	15-17 世紀	○	0.5m 以下(上下) 2-3m (左横)	○ △	5.6-7.6ka 以下	△
	同 集福寺断層帯	N40W	ほぼ 90	10km	○	左横(北東隆起)	B 級	不明		不明		不明	
63	湖北山地断層帯北西部	N30E	高角 E	25km	○	右横(南東隆起)	0.5m/ka	11-14 世紀	○	2m(右横) 1.5-2m (上下)	△ △	3-4ka	△
	同 南東部	N40E	ほぼ 90	16km	○	右横(北西隆起)	0.15m/ka 右横は不明	①15-17 世紀 ②6.0-8.0ka	○	1m	○	7ka	△
64	琵琶湖西岸断層帯(北部)	N-S	W	23km	○	西隆起逆	1.8-2.1m/ka	①2.4-2.8ka ②7.6-9.3ka	△	2-5m	△	1-2.8ka	△
	同 (南部)	N20E	W	38km	○	西隆起逆	1.4m/ka	①1185 年(元暦 2 年の地震) ②4.0-16ka	△	6-8m	△	4.5-6ka	△
65	養老-桑名-四日市断層帯	NNW-SSE SSW-NNE	30W	60km	◎	西隆起逆	3-4m/ka	①13 世紀-16 世紀 ②7 世紀-11 世紀	△	5-7m	○	1.4-1.9ka	△
66	鈴鹿東縁断層帯	N10E	高角 W E	34-47km	○	西隆起逆	0.2-0.3m/ka	2.8-3.5ka	○	0.7m 以上	○	6.5-12ka	△
67	鈴鹿西縁断層帯	N-S	30-40E	44km	○	東隆起逆	0.1-0.2m/ka	不明		3-4m	△	18-36ka	△
68	頓宮断層	N-S	50-80E	31km	○	東隆起逆	不明(B 級)	10ka-7 世紀	△	2-3m	△	10ka 以上	△

69	伊勢湾断層帯主部（北部）	N20W	60-70E	25km	○	東隆起逆	0.1m/ka	0.5-1.0ka	○	1-1.5m	○	10-15ka	△
	同　主部（南部）	N60W	不明	17km	○	北隆起	0.2m/ka	1.5-2.0ka	○	1-2m	△	5-10ka	△
	同　白子-野間断層	E-W	高角 N	21km	○	北隆起逆	0.3m/ka	5.0-6.5ka	△	2.5m	○	8ka	△
70	布引山地東縁断層帯西部	N10W	50-60W	33km	○	西隆起逆	0.15m/ka	0.4-28ka	△	2-3m	△	17ka	△
	同　東部	N20E	45W	48km	○	西隆起逆	0.1m/ka	11ka	○	2.5m	△	25ka	△
71	木津川断層帯	N70E	40-60N	31km	○	北隆起逆（右横）	0.1-0.6m/ka	①1854 年（伊賀上野地震） ②8 世紀以前	○	2.5m	△	4-25ka	△
72	三方・花折断層帯 三方断層帯	N-S	高角 E	26km	◎	東隆起逆	0.8m/ka	1622 年（寛文 2 年の地震）	○	3-5m	△	3.8-6.3ka	△
	同　花折断層帯（北部）	N20E	ほぼ 90	26km	△	右横ずれ	不明	1622 年（寛文 2 年の地震）	△	2-5m	○	不明	
	同　花折断層帯（中部）	N20E	ほぼ 90	20km	△	右横ずれ（東隆起）	不明	①1.4-2.8ka ②7.0-7.9ka	○	2-5m	○	4.2-6.5ka	△
	同　花折断層帯（南部）	N-S	50E 25-55E W	15km	○	東隆起逆	0.3m/ka	①1.4-2.8ka ②7.0-7.9ka	△	不明		4.2-6.5ka	△
73	山田断層帯 山田断層帯主部	N50E	NW	33km	○	北西隆起逆	不明（B 級）	3.3ka	○	3m	△	不明	
	同　郷村断層帯	N30W	高角 W	34km 以上	△	南西隆起逆（左横ずれ）	0.2-0.3m/ka	①1927 年（北丹後地震） ②6.9ka 以前	◎	3m	○	10-15ka	△
74	奈良盆地東縁断層帯	N10W	50-60E	35km	○	東隆起逆	0.6m/ka	1.2-11ka	◎	3m	○	5ka	△
75	有馬-高槻断層帯	N80E	高角 E	55km	○	右横ずれ	1.5m/ka	①1596 年（慶長伏見地震） ②奈良時代-鎌倉時代 ③縄文晩期-BC1 世紀	○	3m	○	1-2ka	○
76	生駒断層帯	N10E	30-40E	38km	○	東隆起逆	0.5-1m/ka	400-1000 年	○	2-3m	△	3-6ka	△
77	三峠・京都西山断層帯 上林川断層	N60E	高角	26km	○	右横ずれ（北西隆起）	不明	不明		2m	△	不明	
	同　三峠断層	N70W	高角	26km	○	左横ずれ（北東隆起）	0.3-0.4m/ka	3 世紀以前	△	2m	△	5-7km	△
	同　京都西山断層（北西）	N60W	高角（一部 NE）	42km	○	左横ずれ（北東隆起）	0.3-1.0m/ka（左横） 0.1-0.4m/ka（上下）	①2.4ka-2 世紀 ②6.3-8.4ka ③9.4-13ka	○	3-4m	△	3.5-5.6ka	○
	同　京都西山断層（南東）	N-S	W			西隆起逆			○				
78	六甲・淡路島断層帯主部（六甲山地南縁-淡路島東岸）	N40E N60E	50-70W 高角 NW	71km	○	右横ずれ（北西隆起逆）	2m/ka（右横） 0.4m/ka（上下）	①16 世紀 ②3.2ka-6 世紀	○	5-6m	△	0.9-2.8ka	○
	同　主部（淡路島西岸）	N60E	80S	23km	△	右横ずれ（南東隆起逆）	0.7m/ka（右横） 0.3m/ka（上下）	①1995 年（兵庫県南部地震） ②2.0ka-4 世紀 ③3.7-5.1ka	◎	2m（右横） 1m（上下）	○ ○	1.8-2.5ka	○
	同　先山断層帯	N30E	NW	12km	○	北西隆起逆	0.1-0.2m/ka	11 世紀-17 世紀	△	1m	△	5-10ka	△
79	大阪湾断層帯	N25E	60-80W	39km	○	北西隆起逆	0.5-0.7m/ka	9 世紀以後	○	2-3.5m	△	3-7ka	△
80	上町断層帯	N10E	65-70E	42km	◎	東隆起逆	0.4m/ka	9.0-28ka	△	3m	△	8ka	△
81	中央構造線断層帯 金剛山地東縁	N-S	15-45W	23km	△	西隆起逆	0.1-0.6m/ka	2.0ka-4 世紀	○	1m	△	2-14ka	△

	同 和泉山脈南縁	N70E	15-45N	44-52km	△	右横ずれ	1.8-3.5m/ka	①7 世紀-9 世紀 ②14ka 以後 ③13-14ka ④20-22ka ⑤19-24ka	○	4m	△	1.1-2.3ka	△
	同 紀淡海峡-鳴門海峡	N70E	15-45N	43-51km	○	右横ずれ	0.8m/ka 以上	①2.6-3.1ka ②7.1-8.6ka	△	不明		4-6ka	△
	同 鳴門, 鳴門西-石鎚断層	N70E	30-40N	130km	○	右横ずれ	6-9m/ka	①16 世紀 ②2.0ka 頃	○	6-7m	△	1-1.6ka	△
	同 岡村断層	N70E	高角	30km	○	右横ずれ	5-6m/ka	①16 世紀 ②3.0-3.3ka ③5.1-5.4ka	○	6m	△	1-2.5ka	△
	同 川上-伊予灘西部断層	N70E	高角 N	130km	△	右横ずれ	不明	①16 世紀 ②1 世紀-8 世紀	○	2-3m	△	1-2.9ka	△
82	山崎断層帯 那岐山断層帯	N82E	不明	32km	○	北西隆起(右横)	0.06-0.09m/ka	不明		2-3m	△	24-53ka	△
	同 主部(北西部)	N57W	ほぼ 90	51km	◎	左横ずれ(北東隆起)	0.1m/ka(左横) 0.1m/ka 以下(上下)	①868 年(播磨国地震) ②2.9-3.4ka	○	2-5m	△	1.8-2.3ka	△
	同 主部(南東部)	N51W	ほぼ 90	31km	◎	左横ずれ(北東隆起)	0.8m/ka(左横) 0.03-0.1m/ka(上下)	4 世紀-6 世紀	○	3m	△	3.9ka	△
	同 草谷断層	N58E	ほぼ 90	13km	◎	右横ずれ(北西隆起)	0.2m/ka	4 世紀-12 世紀	○	1m	△	6.5ka	△
83	長尾断層帯	N80E	30-40S	24km	◎	南隆起逆(右横ずれ)	0.05-0.1m/ka	9 世紀-16 世紀	○	1.2-1.7m	○	30ka	△
84 85	岩国-五日市断層帯 己斐断層	N40E	ほぼ 90	23km	△	右横ずれ(北西隆起逆)	不明	23ka 以前	△	2m	△	不明	
	同 五日市断層	N26E	高角 W	27km	△	右横ずれ(西隆起逆)	不明	7 世紀-12 世紀	○	3m	△	不明	
	同 岩国断層	N56E	高角 N	46km	○	右横ずれ(北西隆起逆)	0.3-0.6m/ka	①10-11ka ②28ka 以後	○	5m	△	9-18ka	△
86	安芸灘断層群 安芸灘断層帯	N50E	不明	26km	△	右横ずれ(北西隆起)	0.1m/ka	①3.6-5.6ka ②7.9-10ka	○	1-2m(上下) 3m(右横)	△ △	2.3-6.4ka	△
	同 広島湾-岩国沖断層帯	N28E	不明	38km	△	右横ずれ(上下)	0.2m/ka	不明		4m	△	不明	
87	周防灘断層帯 主部	N30E	高角	44km	○	右横ずれ(北西隆起)	0.2m/ka	10-11ka	○	1-2m(上下) 4m(右横)	△ △	5.8-7.5ka	△
	同 秋穂沖断層	N38E	高角	23km	○	右横ずれ(北西隆起)	0.1m/ka	不明		2m	△	不明	
88	菊川断層帯(北部)	N54W	ほぼ 90	53km	○	左横ずれ	0.02-0.4m/ka	14ka 以後	○	5m	△	不明	
	同 (中部)	N48W	高角	43km	○	左横ずれ(北東隆起)	0.7-1.0m/ka	①3.3-5.9ka ②5.9-13ka ③14-15ka	○	4m	△	4.1-5.9ka	○
	同 (南部)	N32W	ほぼ 90	18km 以上	△	左横ずれ	不明	不明		2m 以上	△	不明	

89	西山断層帯　大島沖区間	N38W	ほぼ 90	38km	△	左横ずれ	不明	20ka 以後	△	4m	△	不明	
	同　西山区間	N35W	ほぼ 90	43km	○	左横ずれ	不明	2.0-13ka	○	4m	△	不明	
	同　嘉麻峠区間	N44W	75SW	29km 7km	△ ○	左横ずれ	不明	不明		3m	△	不明	
90	警固断層帯　北西部	N60W	ほぼ 90	25km	△	左横ずれ	不明	2005 年(福岡県西方沖の地震)	◎	2m	○	不明	
	同　南東部	N50W	高角 SW	27km	○	左横ずれ (南西隆起)	不明	①3.4-4.3ka ②7.4-8.9ka	△	2m	△	3.1-5.5ka	△
91	別府-万年山断層帯 別府湾-日出生断層帯(東)	N85E	高角 S	43km	△	北隆起正	3m/ka	①1596 年(慶長豊後地震) ②2.2ka-3 世紀 ③3.6-4.6ka ④5.3-6.0ka ⑤5.8-7.3ka	○	4m	△	1.3-1.7ka	△
	同　別府湾-日出生断層帯(西)	E-W	高角 S	32km	○	北隆起正	0.1-0.2m/ka	7.3ka-6 世紀	○	2-3m	△	13-25ka	△
	同　大分平野-湯布院断層帯(東)	N80W	高角 N	27km	△	南隆起正	2-4m/ka	①2.2ka-6 世紀 ②3.4-4.5ka ③6.7-7.3ka	○	2-5m	○	2.3-3ka	○
	同　大分平野-湯布院断層帯(西)	N80E	高角 N	14km	△	南隆起正	不明	2.0ka-18 世紀初頭に 2 回	△	1-2m	△	0.7-1.7ka	△
	同　野稲岳-万年山断層帯	E-W	高角 S	30km	○	北隆起正	0.6m/ka	3.9ka-6 世紀	○	2-3m	△	4ka	△
	同　崩平山-亀石山断層帯	E-W	高角 N	34km	○	南隆起正	0.1-0.4m/ka	①13 世紀以後 ②5.1-7.3ka	○	3m	△	4.3-7.3ka	△
92	布田川-日奈久断層帯 布田川断層・布田川区間	N55E	高角(地下 NW)	19km	○	右横ずれ (南東隆起)	0.2m/ka(右横) 0.1-0.3m/ka(上下)	①2.2-6.9ka ②12-28ka	○	2m	△	8.1-26ka	△
	同　布田川断層・宇土区間	N62E	高角(地下 NW)	20km	△	南東隆起	0.2-0.5m/ka 以上	不明		2m	△	不明	
	同　布田川断層・宇土半島北岸区間	N61E	高角(地下 NW)	27km 以上	△	南東隆起	不明	不明		3m 以上	△	不明	
	同　日奈久断層・高野-白旗区間	N23E	高角	16km	○	右横ずれ (南東隆起)	0.04-0.2m/ka	1.2-1.6ka	○	2m	△	不明	
	同　日奈久断層・日奈久区間	N39E	高角 NW	40km	○	右横ずれ (南東隆起)	0.7m/ka	①2.0-8.4ka ②12-13ka ③30-35ka	○	3m(上下) 3m以上(右横)	△	3.6-11ka	△
	同　日奈久断層・八代海区間	N47E	高角	30km	△	右横ずれ (南東隆起)	0.2-0.5m/ka	①0.9-1.7ka ②2.8-7.3ka	○	3m	△	1.1-6.4ka	△
93	水縄断層帯	E-W	高角 N	26km	○	南隆起正	0.2m/ka	①679 年(筑紫地震) ②14ka 以後 ③28ka 以前	△	2m	△	14ka	△
94	雲仙断層群　北部	E-W	高角 S	30km 以上	△	北隆起正	不明	5.0ka 以後	△	2-3m	△	不明	
	同　南東部	N80W	高角 N	23km	△	南隆起正	不明	7.3ka 以後	△	2m	△	不明	
	同　南西部(北部)	E-W	高角 N	30km	△	南隆起正	1m/ka 程度	①2.4ka-11 世紀 ②4.1-5.6ka	○	3-4m	△	2.5-4.7ka	△
	同　南西部(南部)	N80E	高角 S	23km	△	北隆起正	0.3m/ka 以上	4.5ka-16 世紀に 1-2 回	△	2m	△	2.1-6.5ka	△
95	出水断層帯	N50E	40-50W	20km	○	南東隆起正 (右横ずれ)	0.1-0.2m/ka	①2.4-7.3ka ②9.1-16ka ③④16-32ka	△	1-2m	△	8ka	△

96	人吉盆地南縁断層	N60E	高角 N	22km	○	南東隆起正	0.1−0.2m/ka	3.2−7.3ka	△	2m	○	8ka 以上	△
97	宮古島断層帯・中部	N40W	高角	28km 以上	△	東沈降正	不明(C 級)	不明		2m 以上	△	不明	
	同　西部	N40W	高角	17km 以上	△	東沈降正	不明(C 級)	不明		1m 以上	△	不明	

調査対象：97 断層帯，192 セグメント（六日町断層北部および富士川河口断層帯は 2 ケース検討で 194 ケース（セグメント））
平均活動間隔信頼度：高い＝3 セグメント，中程度＝23 セグメント，低い＝118 セグメント，非常に低い＝1 セグメント，不明＝49 セグメント
最新活動時期信頼度：高い＝25 セグメント，中程度＝79 セグメント，低い＝47 セグメント，不明＝43 セグメント

2.4.2 活断層の長さ

活断層の長さについて，セグメントの信頼度を考慮して整理した．活断層の長さの信頼度については，高い＝11 セグメント，中程度＝107 セグメント，低い＝76 セグメント，非常に低い＝0 セグメント，不明＝0 セグメントであった．活断層の長さが○km 以上，△km 以下など数値を特定できない 19 セグメントを除いた 175 セグメントの断層長のヒストグラムを**図** 2.4-1 に，175 セグメントのうち信頼度が高い＋中程度の 107 セグメントのヒストグラムを**図** 2.4-2 に示す．ヒストグラム作成に当たって，活断層の長さが○〜△km と記載されているものについては，その平均値を採用した．

活断層の長さについては，信頼度が高い＋中程度のデータ，信頼度が低いものも含めたデータとも 20〜30km 程度あることが多く，平均は両者とも 34km である．断層長が最短の活断層は，西山断層帯嘉麻峠区間杷木断層で 7km，最長の活断層は，中央構造線断層帯讃岐山脈南縁－石鎚山脈北縁東部の 130km で，両者ともデータの信頼度は中程度である．

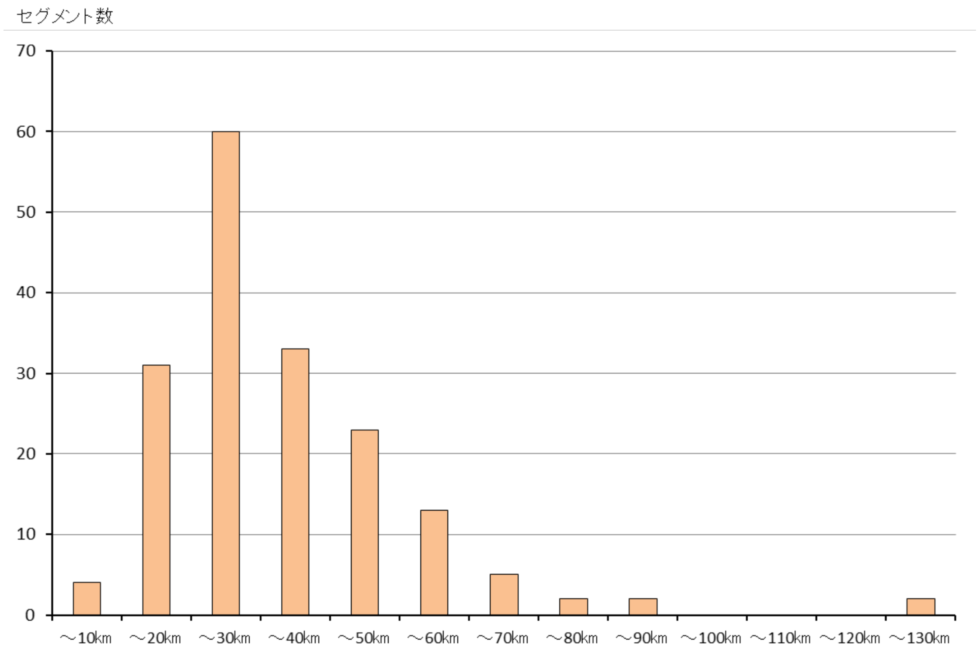


図 2.4-1　**活断層の長さのヒストグラム（信頼度：高い+中程度+低い）**

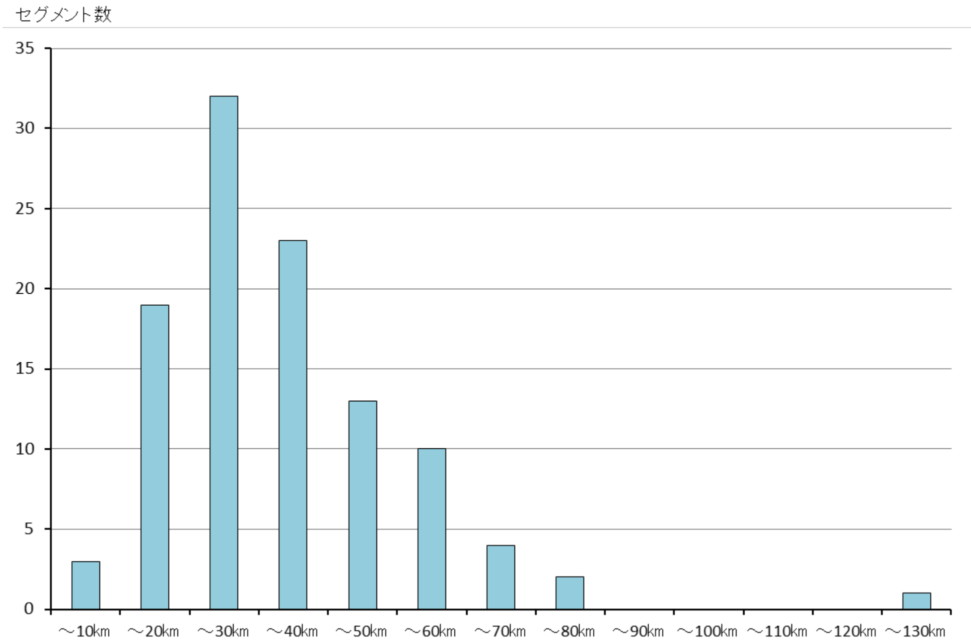


図 2.4-2　活断層の長さのヒストグラム（信頼度：高い+中程度）

2.4.3 1 回のずれの量

活断層の 1 回のずれの量についても，セグメントの信頼度を考慮して整理した．活断層の 1 回のずれの量の信頼度については，高い＝1 セグメント，中程度＝30 セグメント，低い＝155 セグメント，非常に低い＝0 セグメント，不明＝8 セグメントであった．活断層の 1 回のずれの量が不明あるいは○m 以上，△m 以下など数値を特定できないセ 29 グメントを除いた 165 セグメントの 1 回のずれの量のヒストグラムを図 2.4-3 に，165 セグメントのうち信頼度が高い＋中程度の 28 セグメントのヒストグラムを図 2.4-4 に示す．ヒストグラム作成に当たって，活断層の 1 回のずれの量が○～△m と記載されているものについては，その平均値を採用した．また，1 回のずれの量を水平成分と上下成分に分けて記載してある場合は，大きい成分の値を採用した．

活断層の 1 回のずれの量については，信頼度が高い＋中程度のデータ，信頼度が低いものも含めたデータとも 2～3m 程度あることが多く，平均は信頼度が高い＋中程度のデータで 3.0m，信頼度が低いものも含めたデータで 2.8m である．1 回のずれの量が最小の活断層は，湖北山地断層帯北西部で 1m（信頼度：中程度），このほか信頼度が低い 9 セグメントが 1m である．

一方，1 回のずれの量が最大の活断層は，糸魚川-静岡構造線断層帯中北部で 6～9m（平均 7.5m）（信頼度：中程度），信頼度が低いものも含めたデータでは，富士川河口断層帯で 10m となっている．

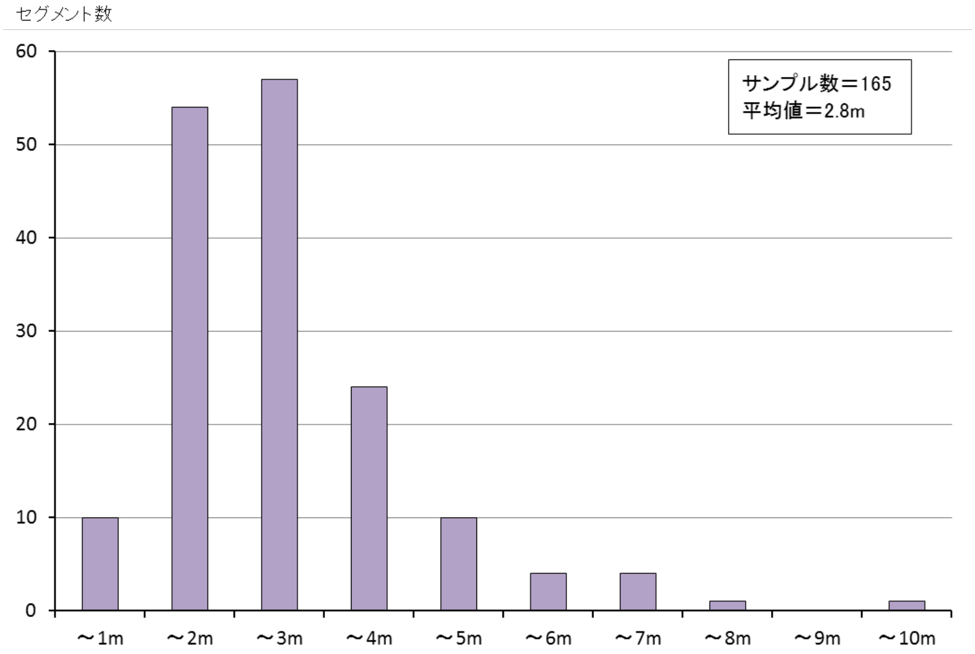


図 2.4-3　活断層の 1 回のずれの量のヒストグラム（信頼度：高い+中程度+低い）

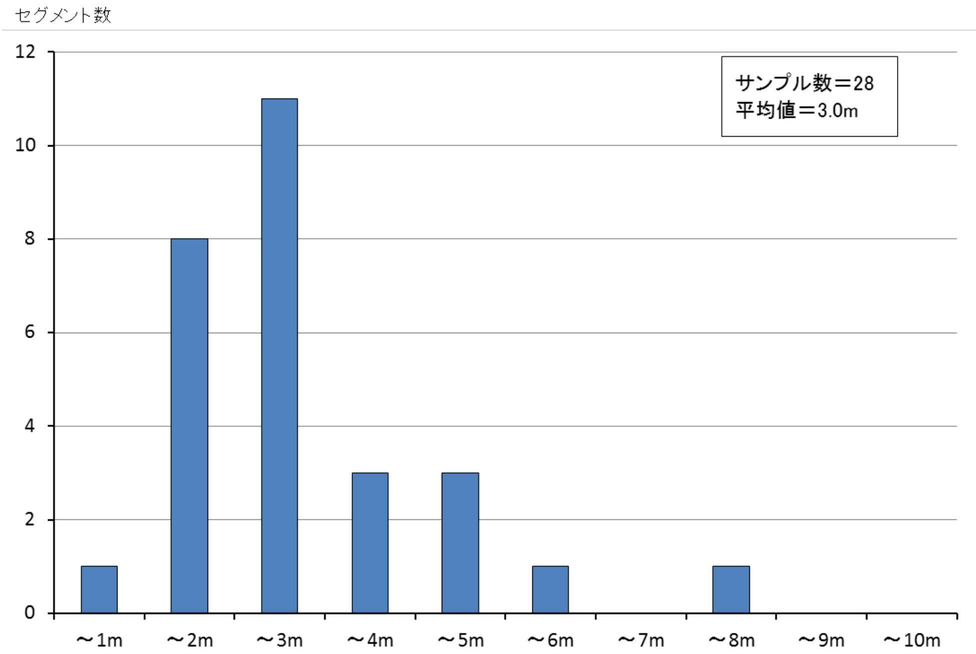


図 2.4-4　活断層の 1 回のずれの量のヒストグラム（信頼度：高い+中程度）

2.4.4 平均活動間隔

活断層の平均活動間隔についても，セグメントの信頼度を考慮して整理した．平均活動間隔の信頼度については，高い＝3 セグメント，中程度＝23 セグメント，低い＝118 セグメント，非常に低い＝1 セグメント，不明＝49 セグメントであった．平均活

動間隔が不明および信頼度が非常に低いの 50 セグメントを除いた 144 セグメントの平均活動間隔を図 2.4-5 および図 2.4-6 に，信頼度が高い+中程度の 26 セグメントの平均活動間隔を図 2.4-7 に示す.

また，144 セグメントのうち，平均活動間間隔が○年以上など数値が特定できない 6 セグメントを除く 138 セグメントの平均活動間隔のヒストグラムを図 2.4-8 に，信頼度が高い＋中程度の 26 セグメントのヒストグラムを図 2.4-9 に示す.

最長の平均活動間隔を示すセグメントは綾瀬川断層（鴻巣-伊奈区間）で，信頼度は「低い」で 45～71ka（平均 58ka）である．綾瀬川断層については，平成 17 年 3 月の評価においては，深谷断層，江南断層と一緒に「関東平野北西縁断層帯主部」を構成するセグメントとされ，その平均活動間隔は信頼度「低い」で 13～30ka（平均 22ka）とされていた．また，信頼度が低いセグメントでは，那岐山断層帯が 24～53ka（平均 39ka）を示し，最長の平均活動間隔が 50ka を超過している.

信頼度が中程度では，最長の平均活動間隔を示すセグメントは木曽山脈西縁断層帯（南部）で，4.5～24ka（平均 14ka）である.

信頼度の低いデータまで含めた平均活動間隔の平均値は 8ka 以下であることが多く，30ka 以上の平均活動間を有するセグメントは 5 セグメント，平均値の平均は 7.4ka を示す．また，信頼度が高い＋中程度の平均活動間隔の平均値は 6ka 以下であることが多く，6～8ka が 2 セグメント，14～16ka が 1 セグメントで，平均値の平均は 3.6ka を示す.

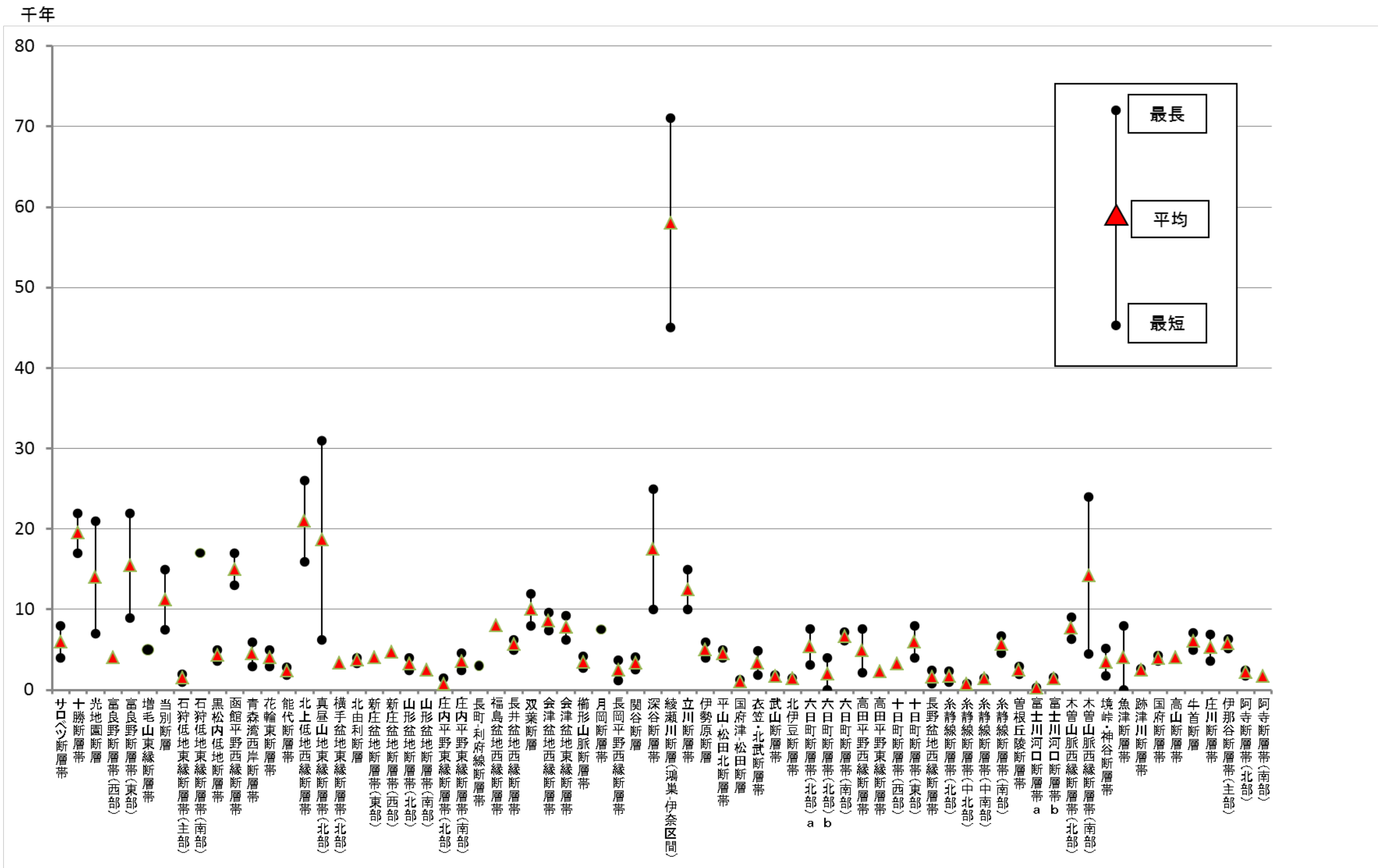


図 2.4-5　活断層の平均活動間隔（信頼度：高い+中程度+低い）(1)

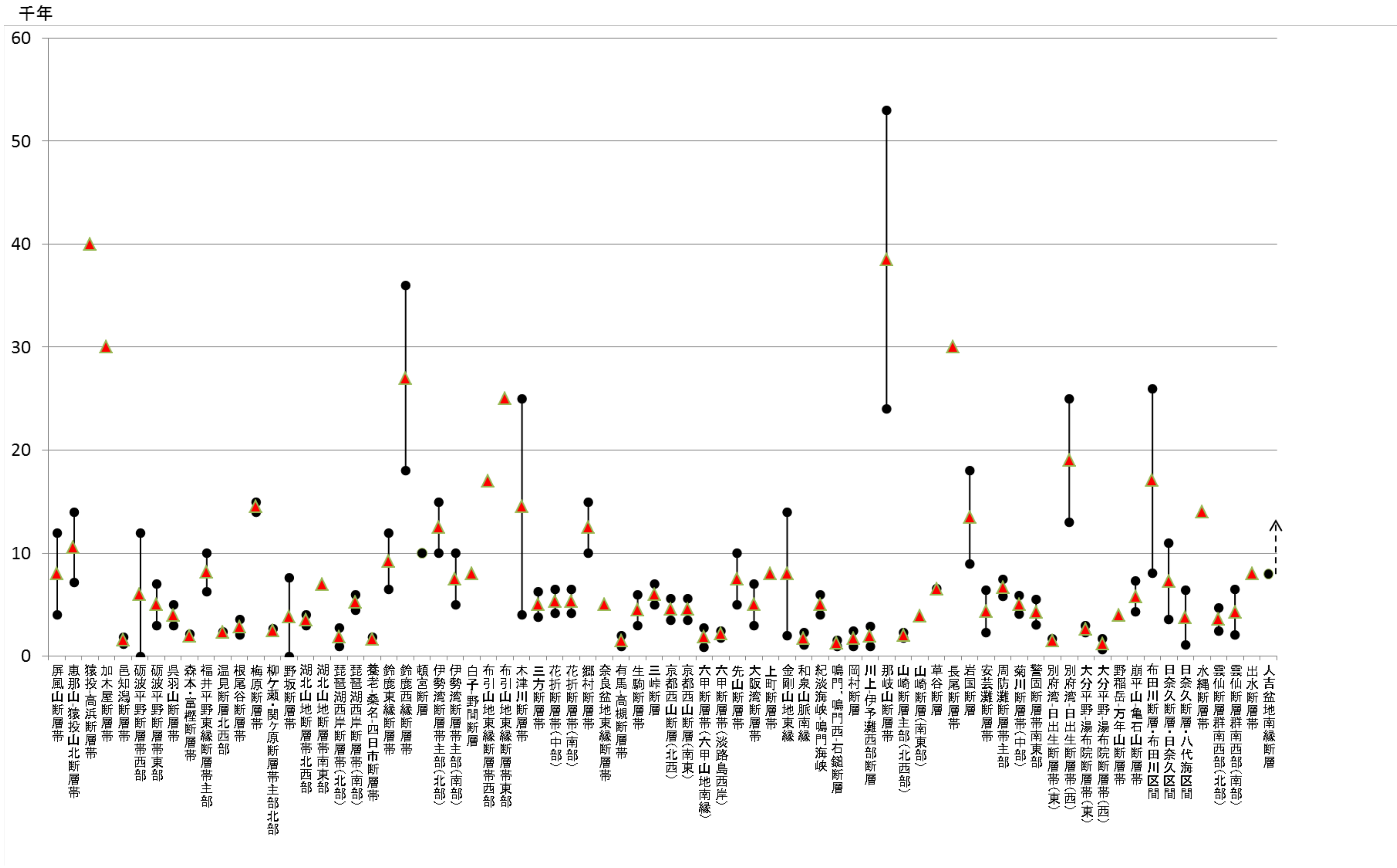


図 2.4-6　活断層の平均活動間隔（信頼度：高い+中程度+低い）(2)

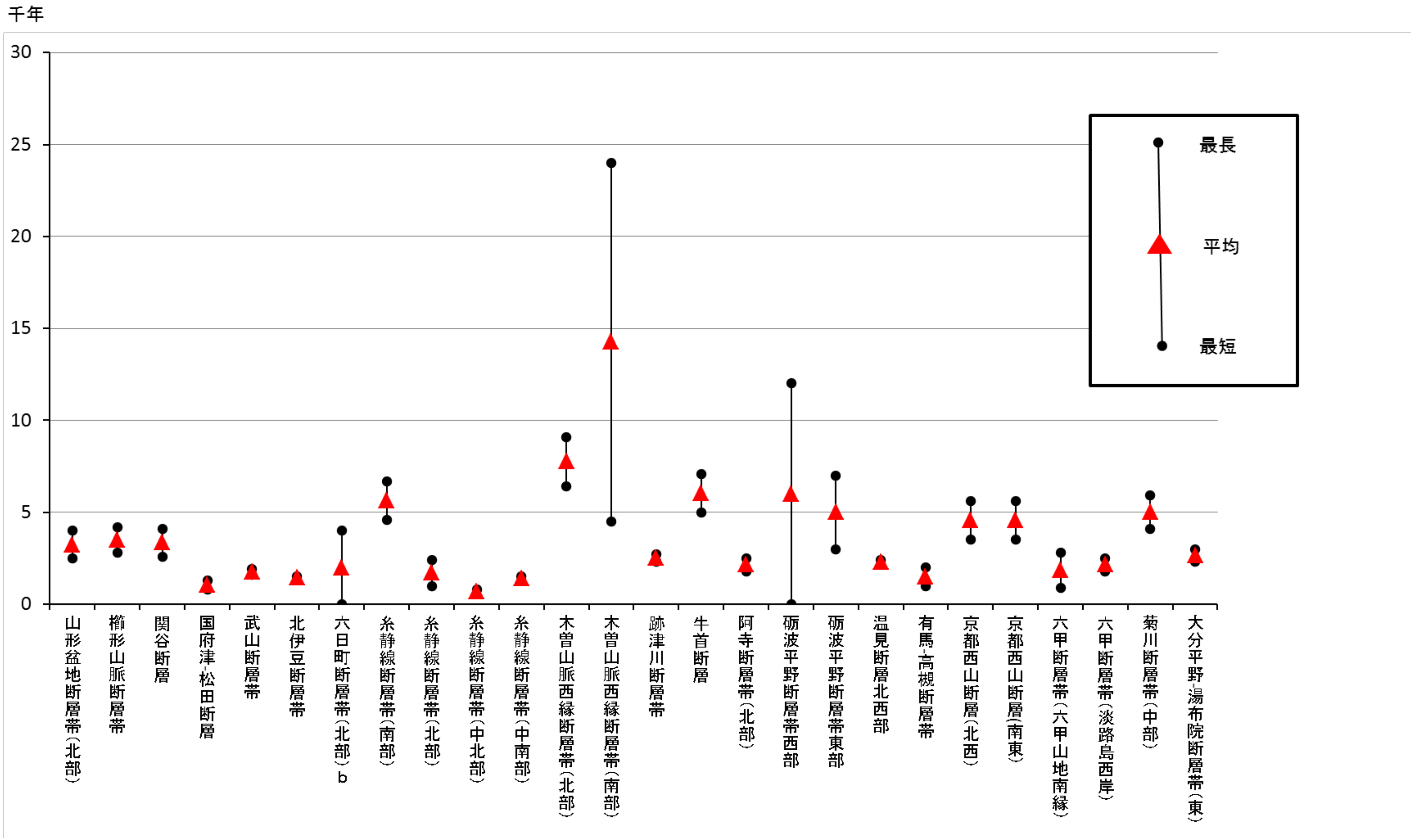


図 2.4-7　活断層の平均活動間隔（信頼度：高い+中程度）

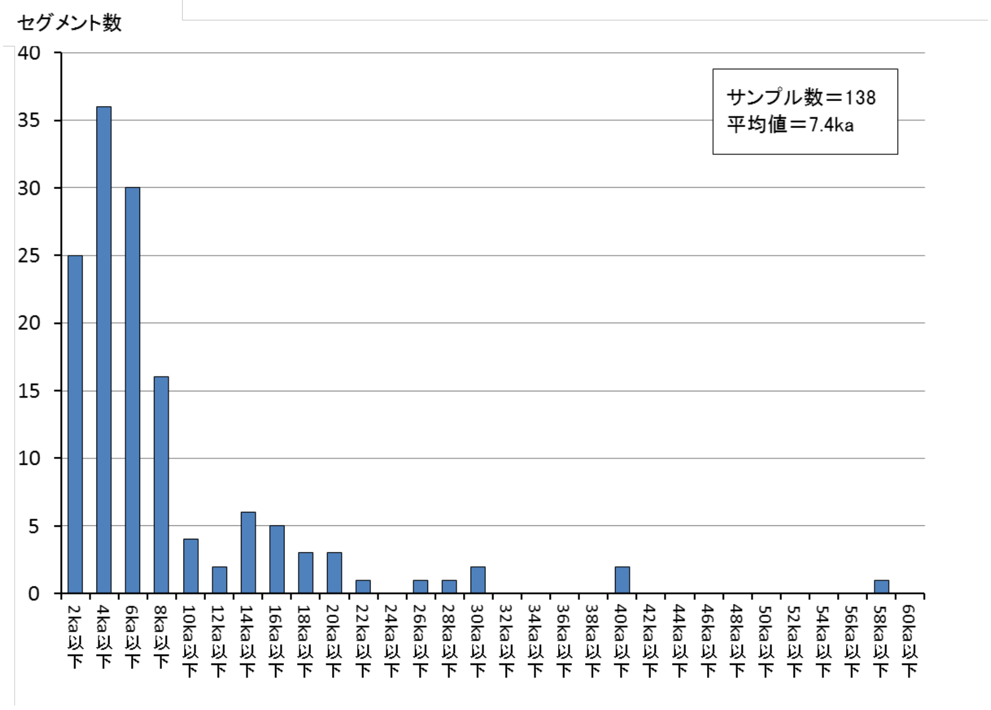


図 2.4-8　活断層の平均活動間隔（信頼度が高い+中程度+低い）

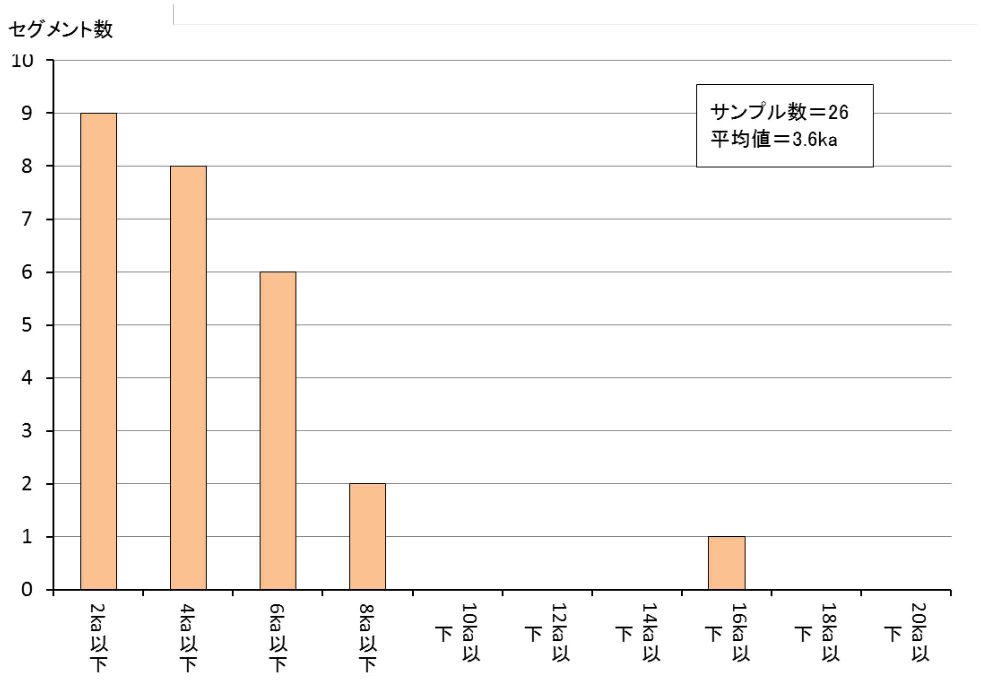


図 2.4-9　活断層の平均活動間隔（信頼度が高い+中程度）

2.4.5 最新活動時期

活断層の最新活動時期についても，セグメントの信頼度を考慮して整理した．最新活動時期の信頼度については，高い＝25 セグメント，中程度＝79 セグメント，低い＝47 セグメント，非常に低い＝0 セグメント，不明＝43 セグメントであった．最新活動時期が不明 43 セグメントを除いた 151 セグメントの最新活動時期を図 2.4-10 および

図 2.4-11 に，信頼度が高い 25 セグメントの最新活動時期を図 2.4-12 に示す.

信頼度が低いデータまで含めた最新活動時期は 5ka 以下のセグメントが多く，最古の最新活動時期を示すセグメントは上町断層帯で 9～28ka, 次いで三浦半島断層群（南部）が 22～26ka を示す．また，信頼度が低いデータまで含めたセグメントでは，最新活動時期の上限値が示されていないセグメントがあり，十日町断層帯（西部）の最新活動時期は 3.1ka 以前，已斐断層の最新活動時期は 23ka 以前とされている.

一方，信頼度が高いセグメントでは，最新活動時期は 4ka 以下であることが多く，10ka 以前の最新活動時期を示すセグメントは，函館平野西縁断層帯（14ka 前後），花輪東断層帯（15ka 以後），長町-利府線断層帯（16ka 以後），猿投-高浜断層帯（14ka），奈良盆地東縁断層帯（1.2～11ka）である.

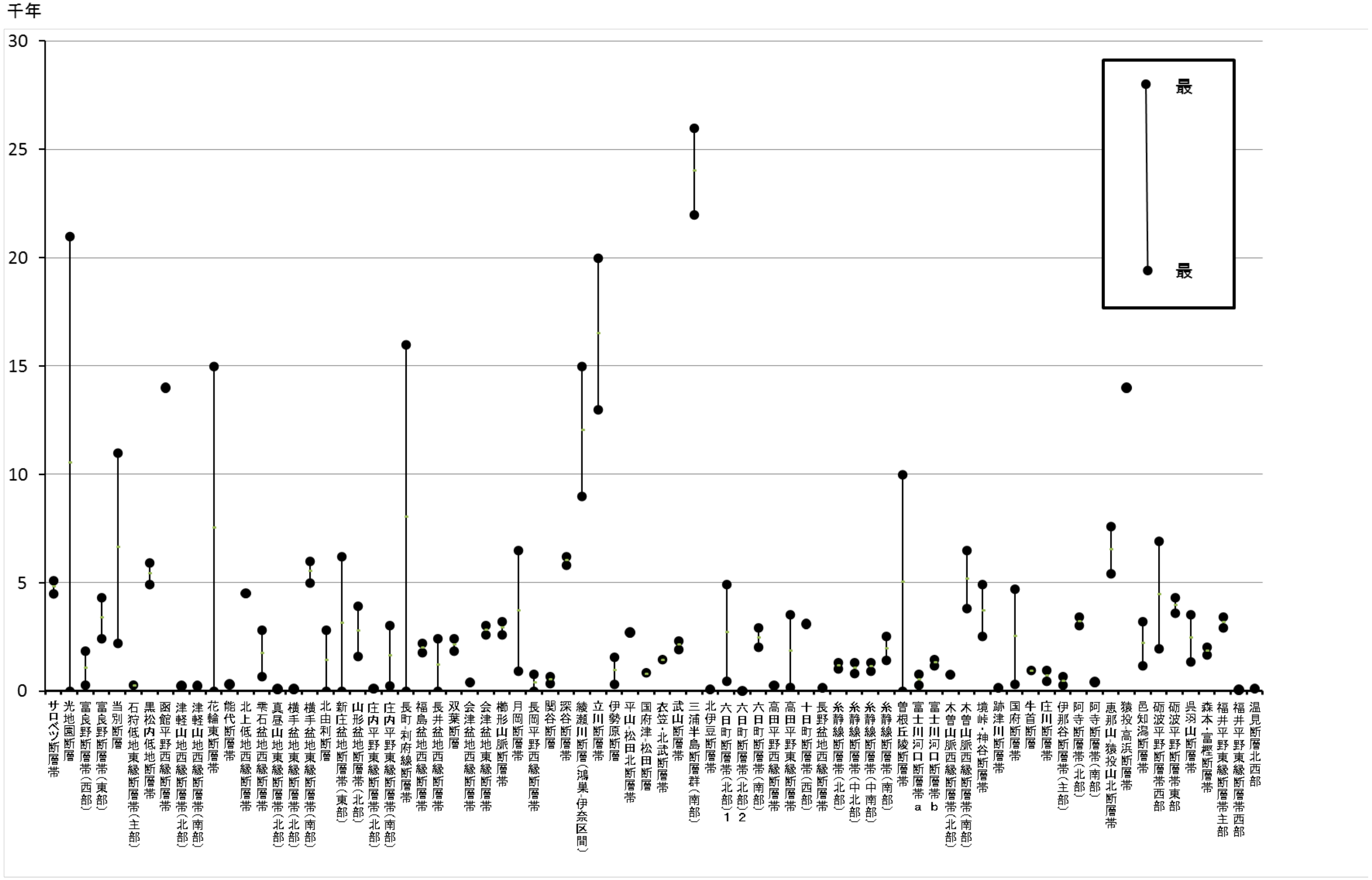


図 2.4-10　活断層の最新活動時期（信頼度：高い+中程度+低い）(1)

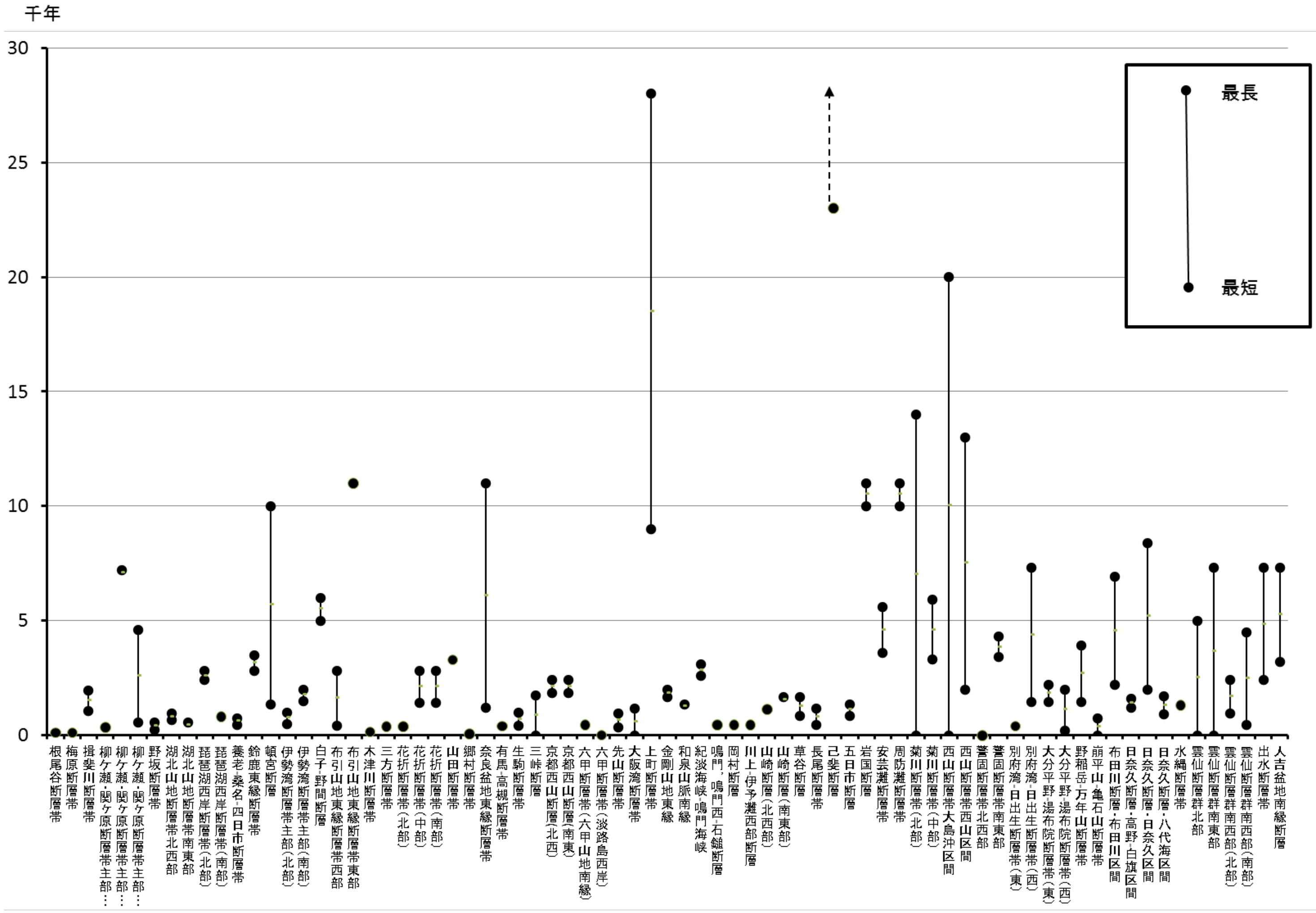


図 2.4-11　活断層の最新活動時期（信頼度：高い+中程度+低い）(2)

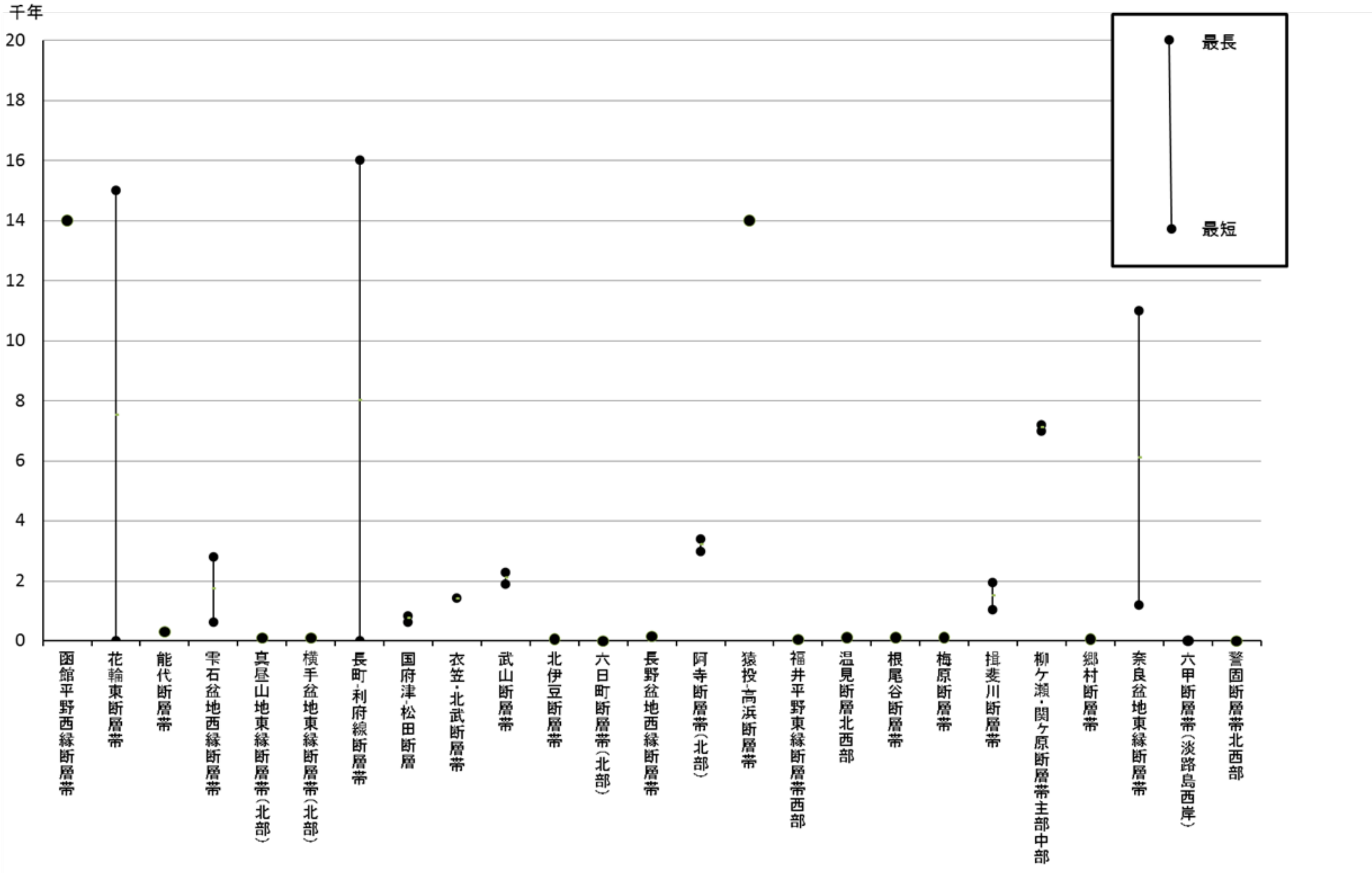


図 2.4-12　活断層の最新活動時期（信頼度：高い）

2.4.6 まとめ

地震本部で評価された活断層の「長さ」,「1 回のずれの量（単位変位量）」,「平均活動間隔」,「最新活動時期」を整理した結果を以下に示す.

・活断層の長さは，20～30km 程度であることが多い.

・活断層の 1 回のずれの量は，2～3m 程度であることが多い.

・活断層の平均活動間隔は，2,000～8,000 年程度であることが多い.

・活断層の最新の活動時期は，5,000 年前以降であることが多い.

この結果を活断層の一般像・平均像としてまとめると**表** 2.4-2 のようになる.

表 2.4-2　**活断層の一般像・平均像**

活断層の諸元	一般的・平均的な値
・長さ	・20～30km
・1 回のずれの量	・2～3m
・平均活動間隔	・2,000～8,000 年
・最新活動時期	・5,000 年前以降

活動間隔および最新活動時期に着目すると，一部，信頼度が低いセグメントで，30,000 年を超過する活動間隔を示す場合があるが，一般には最長でも 30,000 年以下となっている．また，活断層の最新活動時期は，30,000 年前を遡ることはない.

以上のことを考慮すると，3 万年を超えた間隔で活動する活断層は考えにくい.

今後活動する可能性のある断層の判断基準については，新規制基準では酸素同位体ステージ MIS5e（120～130ka）としているが，活断層の一般的な最長活動間隔である 3 万年の 4 倍の値（年代）となっており，判断基準としてやや過剰感がある.

活断層の一般的な活動間隔が 2,000～8,000 年，最長でも 30,000 年以下と考えられること，9～10 万年前には，阿蘇 4 テフラ(Aso-4：87ka)，鬼界葛原テフラ(K-Tz：95ka)，御岳第一テフラ(On-Pm1：100ka)など断層の活動年代特定の基準となる多数の広域テフラが存在することなどから，今後活動する可能性のある断層の判断基準としては，2006～2012 年に運用されていた旧原子力安全・保安院時代の改訂旧基準の MIS5a～5e（70～130ka）とするのが妥当ではないかと思われる.

2.5 敦賀・東通・志賀地点の敷地内断層の整理

敷地内の活断層が問題となっている日本原子力発電敦賀地点，東北電力東通地点，北陸電力志賀地点の敷地内断層について，何が問題なのか，有識者会合の評価書を基に論点を整理した.

調査した評価書を以下に示す.

・日本原子力発電株式会社敦賀発電所の敷地内破砕帯の評価について（その 2），平成 27 年 3 月 25 日，原子力規制委員会　敦賀発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合

・東北電力株式会社東通原子力発電所の敷地内破砕帯の評価について, 平成 27 年 3 月 25 日, 原子力規制委員会　東北電力東通原子力発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合
・北陸電力株式会社志賀原子力発電所の敷地内破砕帯の評価について, 平成 28 年 4 月 27 日, 原子力規制委員会　志賀原子力発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合

各地点を担当した有識者を表 2.5-1 に示す（所属・役職は審査当時）.

表 2.5-1　地点別有識者一覧

	氏名	所属・役職
敦賀地点	鈴木　康弘	名古屋大学　教授
	堤　浩之	京都大学大学院理学研究科　准教授
	宮内　崇裕	千葉大学　教授
	藤本　光一郎	東京学芸大学教育学部　准教授
東通地点	粟田　泰夫	産総研　活断層・地震研究センター　主任研究員
	金田　平太郎	千葉大学大学院理学研究科　准教授
	熊木　洋太	専修大学　教授
	佐藤　比呂志	東京大学地震研究所　教授
志賀地点	重松　紀生	産総研　活断層・地震研究センター　主任研究員
	吉岡　敏和	産総研　活断層・地震研究センター　地震評価チーム長
	廣内　大助	信州大学教育学部　准教授
	藤本　光一郎	東京学芸大学教育学部　准教授

2.5.1 日本原子力発電敦賀地点

敦賀地点の論点を前述の評価書に基づき整理して**表** 2.5-2 に示す．なお，本評価書は，平成 26 年 12 月に開催したピア・レビュー会合の議論を踏まえたものである．

＜経緯＞

敷地内の断層が問題となった経緯は，以下のとおりである．

平成 22 年 9 月，旧原子力安全・保安院「耐震・構造設計小員会地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ C サブグループ」において，活断層である浦底断層が至近にあるため，敦賀発電所敷地内の破砕帯について，さらに検討が必要との指摘があった．これに対して旧原子力安全・保安院は，平成 23 年 11 月に日本原電に，浦底断層の至近距離にある敷地内の破砕帯の活動性に関する評価を実施するよう指示した．

日本原電の調査結果を基に，旧原子力安全・保安院は平成 24 年 4 月 24 日に敷地内破砕帯に関する現地調査を実施し，その結果，浦底断層の活動により，D-1 などの破砕帯が引きずられて活動する可能性を指摘した．

旧原子力安全・保安院の後を引き継いだ原子力規制委員会は，平成 24 年 11 月に「敦賀発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」を設置し，現地調査を行い，平成 25 年 5 月に「日本原子力発電株式会社敦賀発電所の敷地内破砕帯の評価について」（前回評価書）をとりまとめ，「敦賀発電所 2 号炉原子炉建屋直下を通る D-1 破砕帯については，後期更新世以降の活動が否定できない」とした．

その後，平成 25 年 7 月に，日本原電から「敦賀発電所　敷地の地質・地質構造　調査報告書」（追加報告書）が提出され，平成 25 年 12 月に，規制委員会は追加報告書のデータを踏まえ, 前回評価書の見直しの要否を有識者会合で議論する必要があるとし，有識者会合による検討が行われた．

＜有識者会合の評価＞

敦賀地点については，有識者会合によって以下のような総合評価がなされている．

・K 断層は基盤岩から③層（中期更新世　MIS6）の地層を変位させている．
・③層は，粗粒・不均質な層相で堆積構造も明瞭でなく，断層の活動性を判断する地層（基準）として適当でなく，K 断層の変位・変形の有無を判断できない．
・⑤層下部は，K 断層の変形ゾーン全体を被覆していないことから，⑤層下部で K 断層の活動性を否定できない．
・⑤層上部は，K 断層の変形ゾーン全体を被覆しており，断層の変位・変形が認められない．
・⑤層上部には K-Tz テフラ（95ka）が含まれることから，K 断層は約 9.5 万年前以降は活動していない可能性が高い．
・K 断層の最新活動時期は，③層堆積期から⑤層上部堆積前とするのが妥当で，後期更新世（120～130ka）以降の活動を否定できない．
・K 断層の連続性については，D-1 トレンチおよび原電道路ピットより南方へ連続している可能性があり，D-1 破砕帯など 2 号炉原子炉直下の破砕帯のいずれかと一連の構造である可能性を否定できない．
・以上のことから，D-1 破砕帯など 2 号炉原子炉直下の破砕帯のいずれかは，後期更新世の活動が否定できないため，将来活動する可能性がある断層等であると結論し

た．

表 2.5-2　敦賀地点の論点

経緯	平成 22 年 9 月，旧保安院「耐震・構造設計小員会地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ C サブグループ」において，活断層である浦底断層が至近にあるため，敦賀発電所敷地内の破砕帯について，さらに検討が必要との指摘があった．これに対して旧保安院は，平成 23 年 11 月に日本原電に，浦底断層の至近距離にある敷地内の破砕帯の活動性に関する評価を実施するよう指示した． 規制委員会は，平成 24 年 11 月に「敦賀発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」を設置し，現地調査を行い，平成 25 年 5 月に「日本原子力発電株式会社敦賀発電所の敷地内破砕帯の評価について」（前回評価）をとりまとめ，「敦賀発電所 2 号炉原子炉建屋直下を通る D−1 破砕帯については，後期更新世以降の活動が否定できない」とした． 平成 25 年 7 月に，日本原電から「敦賀発電所　敷地の地質・地質構造　調査報告書」（追加報告書）が提出された． 平成 25 年 12 月に，規制委員会は追加報告書のデータを踏まえ，前回評価書の見直しの要否を有識者会合で議論する必要があるとし，有識者会合による検討が行われた．

論点		原電評価	有識者評価
地層の堆積年代	層相全般	⑤層下部と下位の③層は不整合で接する． ⑤層下部，③層とも水平に堆積した成層構造を有し，静穏な環境で堆積した地層で，断層による変形の有無を判断できる．	⑤層下部，③層とも，地層の走向傾斜が一定でなく，かならずしも静穏な環境で堆積したものではなく，堆積環境の解釈には慎重を期すべきである．
	⑤層の堆積年代	詳細な分析の結果，⑤層下部テフラ＝「美浜テフラ」とその上位に「明神沖テフラ(MIS5e)」を確認した．	分析に用いたテフラ鉱物の含有率が少ないことから，⑤層下部テフラ降灰層準は再堆積の可能性を否定できない．
		テフラ分析の結果，⑤層下部テフラ（美浜テフラ）は，琵琶湖高島沖コアの BT37 に対比され，その年代は 127.6ka を示す．	美浜テフラに関する情報が少ないことから，「⑤層下部テフラは美浜テフラに対比される可能性がある」との評価にとどまる．
		⑤層下部から温暖期の花粉が検出されたことから，⑤層下部の堆積時は温暖期と判断される．	花粉分析結果からは温暖期の可能性はあるが，分析試料が 2 試料のみであることから，明確な判断は難しい．
	③層の堆積年代	テフラ分析・花粉分析の結果および③層最上部の土壌化した地層の存在（不整合）などから，③層の堆積年代は MIS6（中期更新世末期の寒冷期，約 13～18 万年前）以前の高位段丘堆積物に相当する．	⑤層下部テフラが確実に美浜テフラに対比できるか不明なこと，土壌化が長い時間間隙を示すとは限らないこと，③層の礫の風化度から 20～30 万年の地層とは判断できないことから，③層は古くても MIS6 で，それ以前の高位段丘堆積物相当とは判断できない．
K 断層の活動性	K 断層の最新活動時期	K 断層は，少なくとも③層中のk層に変位・変形を与えておらず，③層中で K 断層の鉛直変位量が上方に向かって原する傾向が認められないことから，少なくとも③層上位の⑤層下部堆積後（後期更新世以降）の活動はない．	K 断層直上付近に分布する地層は，粗粒・不均質な層相を示すため，K 断層の活動を認識できない可能性があり，活動性を否定する基準として適当でない．原電の評価も一概に否定できないが，それが唯一との考えは受け入れられない． のり面観察結果からは，⑤層上部の K−Tz 降灰年代（約 9.5 万年前）以後は活動していない可能性が高い．
	K 断層の変位の累積性	K 断層は，①～③層のいずれの地層にも 1～1.2m の変位を与えており，変位の累積性が認められず，①層堆積後に複数回活動した状況は認められない．	K 断層の 1m の変位を復元すると断層の両側で層厚が異なること，K 断層が分岐していることから，必ずしも活動履歴を読み取れるとは言い難く，また，基盤岩には累積を示唆する破砕物質が認められることから，活動履歴の確実な評価は困難で，中期更新世以降の複数の活動を否定できないと判断した．
	K 断層の運動像	K 断層の条線が高角度であること，K 断層上盤側が隆起していること，薄片観察で最新の活動センスが逆断層卓越であることから，K 断層の最新の活動は逆断層である．	少なくとも最新の活動は，西側隆起の縦ずれ主体の逆断層と判断した．
K 断層の連続性		K 断層と D−1 破砕帯は，走向傾斜，最新活動の変位センス（K 断層は逆断層，D−1 破砕帯は正断層），断層ガウジの構造・構成鉱物が異なることから，一連の断層ではない．	K断層は屈曲しながら連続していることから，基盤岩の 1 つの断層に沿って変位するタイプの断層ではなく，複数の破砕帯を乗り継いでいる可能性があり，破砕帯を乗り継ぎながら D−1 破砕帯など 2 号炉原子炉建屋直下を通過するいずれかの破砕帯と一連の構造である可能性を否定できない． 断層ガウジの構造・構成鉱物による判断は，小規模な破砕帯が多数分布し，ボーリングコアによる限られた調査では，慎重な適用が求められる．
		K 断層は原電道路ピットの③層中で変位がほとんど認められないことから，途中で消滅して南方の 2 号炉原子炉建屋の方向へは延びていない．	原電道路ピットでは③層上部に断層変位がないとしても，撓みを含む変形の有無は判断できず，断層運動の南方への連続を否定する十分なデータとは言えない． D−1 トレンチでの K 断層の 1m 超の変位が数 10m 南で急に消滅するのは不自然であり，近くの断層を乗り継いで連続している可能性も十分あり，K 断層は D−1 トレンチ南方で基盤岩上面およびその上位の堆積物を変位・変形させている可能性を否定できないと判断した．

2.5.2 東北電力東通地点

東通地点の論点を前述の評価書に基づき整理して**表 2.5-3** に示す．なお，本評価書は，重要性の高い 4 つの論点に関する議論を整理したもので，すべての「第四系の変状」および断層の活動性などの議論を整理したものではない，とされている．

表 2.5-3　東通地点の論点

経緯	東北電力東通原子力発電所敷地内の中新統には断層が発達し，断層を被覆する上部更新統に小断裂（小断層），撓み，中新統破砕部からの粘土の注入，更新統基底面の小規模なずれなどの「第四系の変状」が認められていた．平成 8 年 8 月の設置許可の安全審査では，「第四系の変状」はテクトニックなものではないと判断され，耐震設計上考慮する活断層（5 万年前以降に活動＝旧指針）により形成されたものではない，と評価されていた． 旧保安院は，耐震バックチェックを行うにあたり，敷地内断層の第四紀以降の活動を否定するには，東北電力の説明では不十分として，平成 23 年 11 月に敷地内断層の活動性に関する再評価を指示した． それを受け東北電力は，平成 24 年 3 月に「敷地内断層の活動性等に関する評価結果」を報告した． 平成 24 年 5 月の旧保安院の意見聴取会の審議で，「第四系の変状」に繰り返し活動した可能性があること，敷地内に断層運動に関連する可能性のある地形が存在することが指摘された． これらの経緯を踏まえ，規制委員会は，平成 24 年 11 月に「東通原子力発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」を開催し，4 回の現地調査と 11 回の評価会合を行った．

論点	東北電力評価	有識者評価
「第四紀変状」の成因	「第四系の変状」は，断層活動によるテクトニックなものではない．	成因のすべてをテクトニックなものではないとする東北電力の主張には，十分なデータが示されていない．
	「第四系の変状」の成因は，岩盤劣化部の体積膨張であるとするのが合理的である．	「第四系の変状」の主な成因を岩盤劣化の体積膨張で説明できるものではない． 一部の断層（s系断層）については，何らかの原因による体積膨張を考える必要があるとの見解もあった．
敷地内の地形的高まり （敷地南部において，F−9 断層を境として段丘面の東側（海側）が広範囲に高まる地形が認められる．）	敷地内の段丘面上に認められる地形の高まりは，後期更新世以降の断層活動の存在を示すものではない．	地形的高まりは断層運動によって形成された可能性は否定できない．
敷地内断層の横ずれ成分 （F−3 断層の基盤岩中の断層破砕帯に沿って上部更新統中の礫が巻き込まれて再配列しており，横ずれ断層特有の現象が認められる，との指摘が有識者から出された．）	F−3 断層に伴う「第四系の変状」は，横ずれをを主体とする断層運動ではなく，岩盤浅部の体積膨張により形成された．	F−3 断層に伴う「第四系の変状」は有意な横ずれ成分を有しており，横ずれ成分の原因は，岩盤劣化部の体積膨張では説明が難しい．
原子炉建屋付近の断層の活動性 （原子炉建屋付近の基盤岩中には，f−1 断層およびf−2 断層が分布している．f−1 断層は，耐震安全上重要な施設の直下を通過し，f−2 断層は原子炉建屋直下を通過している． f−1 断層については新たに追加調査を行ったが，f−2 断層については，断層を被覆する適切な上載層が分布しないことから，追加調査は行われなかった．	f−1 断層を被覆する M2 面段丘堆積物の膨らみと同堆積物中の小断裂の成因は，岩盤劣化部の体積膨張によるもので，「将来活動する可能性のある断層等」には該当しない．	評価−1 M2 面堆積物中の膨らみおよび小断裂は，基盤のポップアップ状の隆起で形成されたテクトニックな変形構造であることを否定できない．
		評価−2 M2 面堆積物中の膨らみおよび小断裂は，基盤のポップアップ状の隆起では起りえず，テクトニックなものではない．
		評価−3 段丘堆積物基底面の膨らみの成因が変形であるかどうか不確かであり，段丘堆積物中の小断裂の成因を検討する十分なデータは得られていない．

＜経緯＞

敷地内の断層が問題となった経緯は，以下のとおりである．

東北電力東通原子力発電所敷地内の中新統には断層が発達し，断層を被覆する上部更新統に小断裂（小断層），撓み，中新統破砕部からの粘土の注入，更新統基底面の小規模なずれなどの「第四系の変状」が認められていた．平成 8 年 8 月の設置許可の安全審査では，「第四系の変状」はテクトニックなものではないと判断され，耐震設計上考慮する活断層（5 万年前以降に活動＝旧指針）により形成されたものではない，と

評価されていた．

旧原子力安全・保安院は，耐震バックチェックを行うにあたり，敷地内断層の第四紀以降の活動を否定するには，東北電力の説明では不十分として，平成 23 年 11 月に敷地内断層の活動性に関する再評価を指示した．それを受け東北電力は，平成 24 年 3 月に「敷地内断層の活動性等に関する評価結果」を報告した．この報告を受け，平成 24 年 5 月の旧原子力安全・保安院の意見聴取会で審議した結果，「第四系の変状」に繰り返し活動した可能性があること，敷地内に断層運動に関連する可能性のある地形が存在することが指摘された．

これらの経緯を踏まえ，原子力規制委員会は，平成 24 年 11 月に「東通原子力発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」を開催し，4 回の現地調査と 11 回の評価会合を行った．

＜有識者会合の評価＞

・東通地点については，有識者会合によって以下のような総合評価がなされている．
・「第四系の変状」の成因については，すべてテクトニックなものでないとする東北電力の主張には，十分なデータが示されていないと考える．
・「第四系の変状」を岩盤劣化部の体積膨張とするには，定量的・経時的に立証できる証拠あるいは理論がほとんど示されていないこと，数値シミュレーションによる再現性についても，解析条件の信頼性・精度が確認できないことから，「第四系の変状」の主な成因を岩盤劣化部の体積膨張として説明できるものではないと考える．
・「第四系の変状」のうち，少なくとも s 系断層については，テクトニックなものではなく，何らかの原因による体積膨張などを考える必要があるという見解もあった．
・敷地南部で見られる地形的高まりの成因については，F-9 断層の活動によって形成された可能性は否定できない．
・この高まりの成因が F-9 断層によらないとしても，その近傍に東側隆起の変位をもたらす断層あるいは構造が，地下に存在していることを否定できる十分な情報は得られていないことから，主な成因が岩盤劣化部の体積膨張として説明できるものではないと考える．
・敷地内で見られた断層の横ずれ成分については，F-3 断層の条線が系統的な左横ずれ成分を示すこと，破断した礫のずれにも左横ずれ成分が伴われることから，横ずれを主体とする断層でないとしても，有意な横ずれ成分を有していると推定でき，岩盤劣化部の体積膨張による変位では説明が難しいと判断する．
・以上のことから，少なくとも F-3 断層および F-9 断層については，「将来活動する可能性のある断層等」に該当するものであると結論した．
・今後，その起因となる地下深部や周辺の断層などについて，十分な調査・評価が必要であると考える．
・耐震安全上重要な施設直下と通る ｆ-1 断層については，その直上の M2 段丘堆積物中に小断裂や基底面の膨らみが認められ，その成因については，以下の三つに見解が分かれた．
・ｆ-1 断層延長部にある M2 段丘堆積物上部に見られる小断裂は，段丘堆積物基底面のポップアップ状の隆起による引張応力によって生じたもので，テクトニックな変

形構造の可能性がある．

・この小断裂は，ｆ-1 断層との位置関係等から，段丘堆積物基底面のポップアップ状の隆起では起りえず，テクトニックなものではない．
・段丘堆積物基底面の膨らみが変形であるかどうか不確かであり，段丘堆積物中の小断裂の成因を検討する十分なデータが得られていない．
・以上のことから，耐震安全上重要な施設の直下を通るｆ-1 断層については，現状のデータからは，「将来活動する可能性なる断層等」に該当するかどうかは，判断できない．

2.5.3 北陸電力志賀地点

志賀地点の論点を前述の評価書に基づき整理して，表 2.5-4 に示す．

表 2.5-4　志賀地点の論点

経緯	平成 24 年 7 月の旧保安院の意見聴取会において，敷地内の S−1 破砕帯が活動性のある断層の可能性が指摘され，旧保安院は周辺の断層との関連も含め，北陸電力に追加調査を指示した． これを受け，北陸電力は地質調査，数値解析を実施し，平成 25 年 12 月に「志賀原子力発電所敷地内シームに関する追加調査　最終報告書」を規制委員会に提出した． これらを評価するため，平成 26 年 2 月に「志賀原子力発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」組織され，平成 28 年 3 月まで 9 回の評価会合，2 回の現地調査および平成 27 年 11 月にピア･レビュー会合し，検討を行った．

論点		北陸電力評価	有識者評価
S−1の評価	旧 A･B トレンチ等既往データの解釈（旧 A･B トレンチ壁面に見られた S−1 直上の段差の成因）	旧 A･B トレンチに見られる段差は，差別侵食と考えるのが妥当で，中位段丘Ⅰ面堆積層には断層活動は及んでいない．	トレンチの個々の壁面のみの状況を個別に見れば，S−1 沿いの差別浸食および堆積構造と解釈する余地もあるが，トレンチの 4 面すべて同じ構造が認められることから，この段差は，MS5e の海成堆積物堆積後に S−1 が変位したと解釈するのが最も合理的と判断する．
	旧 A･B トレンチ以外の既往データの解釈	1 号原子炉建屋底盤，今回掘削した岩盤調査坑などで，帯状を呈する火山砕屑岩（帯状火砕岩）が S−1 を分断するように分布し，分断箇所には破断などは認められない．	1 号炉建屋底盤と岩盤調査坑の観察結果が異なっており，帯状火砕岩は S−1 の活動を検討する適切なマーカーではなく，それによって活動性を断定することはできない．
	S−1 と線状地形の関係	線状地形の南西部は S−1 周辺の岩盤弱部の差別侵食地形，北東部は中位段丘Ⅰ面の旧汀線と推定される．	S−1 沿いの線状地形については，差別侵食によって形成された可能性もあるが，「S−1 の活動性」に示すとおり，S−1 の後期更新世以降の活動を否定するものではない．
	岩盤調査坑	帯状火山砕屑岩中の安山岩礫が，S−1 中に入り込んで分布しており，安山岩礫に破断等を与える変位の繰り返しがあったとは考えにくい．	S−1 中に礫が入り込む状況が認められるが，この礫は S−1 を完全に分断しておらす，変位マーカーとして用いるには不適切である．
	S−1 のトレンチ調査	①駐車場南側のり面，②駐車場南東方トレンチ，③えん堤左岸トレンチのいずれにおいても，S−1 を含む岩盤上面および上位の高位段丘Ⅰ面相当に変位･変形は認められず，S−1 は少なくとも 12～13 万年以降の活動はない．	①駐車場南側のり面で，S−1 の活動を評価することができないが，②駐車場南東方トレンチおよび③えん堤左岸トレンチでは，S−1 は岩盤上面および高位段丘Ⅰ面堆積物に変位･変形を与えておらず，後期更新世以降の活動はないと考えられる．
	S−1 の深部への連続	S−1 延長方向でボーリング調査を実施した結果，S−1 下方延長部にはシームが認められず，下方には延長しない．	S−1 延長部およびその近傍には，シームを伴う割れ目，鏡肌を伴う割れ目が認められ，深部における S−1 の存在について十分に検討できる情報はなく，現時点では結論を出すことができない．

	S-1 の運動方向の検討	S-1 は右横ずれ逆断層センスで，現在の応力場では，S-1 の動きは説明できない．	S-1 の運動方向は，現在の広域的応力場では説明できないが，多重逆解析法による応力場は類似データの解であり，妥当性に疑問があり，ここでは評価できない．
	S-1 の活動性評価	S-1 は，少なくとも 12～13 万年以降の活動は考えられず，将来活動する可能性のある断層等ではないと判断する．	S-1 の北西部については，後期更新世以降に，北東側隆起の逆断層運動により変位したと解釈するのが合理的と判断する． 一方，駐車場南東方トレンチを含めて，それより南東部については，後期更新世以降の活動はないと判断する．
S-2およびS-6の評価	S-2・S-6 と線状地形との関係	線状的様相を呈する地形は，シーム周辺の岩盤性状を反映して形成された組織地形および人工改変により形成されたものと推定される．	線状地形は組織地形あるいは人工改変によるものではなく，S-2・S-6 の後期更新世以降の活動で生じた，海側（西側）隆起の変動地形であることを示唆する．
	S-2・S-6 のトレンチ調査・ボーリング調査	№2 トレンチでは，S-2・S-6 直上の岩盤上面および上位の MIS5e の海成堆積物に変位・変形が認められず，12～13 万年前以降の活動はない．	№2 トレンチでは S-2・S-6 に沿う明瞭な変位は認められなかったが，MIS5e 層は山側（東側）に向かって緩やかに傾斜し，海側（西側）の方が山側（東側）に対し高まっており，S-2・S-6 の地下延長部が後期更新世に活動し，地表付近に海側（西側）隆起の変形を及ぼしたことを示唆する．
	S-2・S-6 の深部への連続性	S-2 の深部への連続性については，I-7 孔の深度 58m 付近に想定されるが，コアには認められない．S-6 の深部への連続については，I-6 孔の深度 65m 付近および R-5 孔の深度 154m 付近に想定されるが，コアには認められず，それ以深へは連続しないと判断される．	北陸電力の調査地点は，S-2・S-6 の地表トレースの末端で，調査地点選定に問題があり，R-5 の深部延長付近には S-2・S-6 の延長を疑わせる箇所があり，S-2・S-6 深部へ連続する可能性は否定できない．
	S-2・S-6 の運動方向の検討	S-2・S-6 では NW-SE 圧縮の応力場が求められ，能登半島の構造発達史と照合すると，後期中新世から後期鮮新世～第四紀の間の地質時代に活動した可能性を示すと考えられる．	S-2・S-6 は，能登半島地震の震源断層と共役な節面に近く，現在の応力場でも動きうる断層であると判断する．
	S-2・S-6 の活動性評価	S-2・S-6 は，少なくとも 12～13 万年前以降の活動は考えられず，将来活動する可能性のある断層等ではないと判断する．	S-2・S-6 は，地下延長部の断層が，後期更新世以降に左横ずれ成分をもつ西側隆起の逆断層として活動した可能性があり，将来，地表に変位を及ぼす可能性は否定できない．
福浦断層の評価		福浦断層は高位段丘Ｉｂ面形成以降，9.5 万年前以前に活動があったと考えられ，後期更新世以降の活動が否定できないと判断し，将来活動する可能性のある断層等として評価する．	北陸電力の説明どおり，福浦断層は岩盤上面および高位段丘Ｉｂ面構成層を変位させ，K-Tz（9.5 万年前）を含む地層には変位を与えておらず，高位段丘Ｉｂ面形成以降，9.5 万年前以前に活動があったと考えられる． 当調査地点は，福浦断層の地表トレースのリニアメントの西側 100m に位置しており，当トレンチで確認された断層は福浦断層の一部で，ここで確認した 1 回の変位量，平均変位速度などは，福浦断層本体の評価としては過小評価となる．
S-1 に他の断層の活動が及ぼす影響		敷地近傍の福浦断層および兜岩沖断層の活動が及ぼす影響を考慮しても，S-1 の北西部だけが後期更新世以降に活動するということは，起りえないと判断する．	福浦断層の活動によって S-1 が動くとの結果は得られなかったが，S-2・S-6 地下延長部が活動した場合，S-1 北西部で S-1 の動きを促進する局所的な応力変化が生じる．

＜経緯＞

敷地内の断層が問題となった経緯は，以下のとおりである．

平成 24 年 7 月の旧原子力安全・保安院の意見聴取会において，敷地内の S-1 破砕帯が活動性のある断層の可能性が指摘され，旧原子力安全・保安院は周辺の断層との関連も含め，北陸電力に追加調査を指示した．これを受け，北陸電力は地質調査，数値

解析を実施し，平成 25 年 12 月に「志賀原子力発電所敷地内シームに関する追加調査最終報告書」を，旧原子力安全・保安院の後を引き継いだ原子力規制委員会に提出した．

この調査結果を評価するため，平成 26 年 2 月に「志賀原子力発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」組織され，平成 28 年 3 月まで 9 回の評価会合，2 回の現地調査および平成 27 年 11 月にピア・レビュー会合し，検討を行った．

＜有識者会合の評価＞

・志賀地点については，有識者会合によって以下のような総合評価がなされている．

・今回の評価は，S-1 および S-2・S-6 を対象としており，他の「シーム」については対象としていない．

・S-1 については，その北西部は，旧 A・B トレンチの既往スケッチ・写真および岩盤調査坑で確認された運動方向の情報から，後期更新世以降に，北西側隆起の逆断層活動により変位したと解釈するのが合理的と判断する．

・一方，駐車場南トレンチを含めて，それより南東部については，後期更新世以降の活動はないと判断する．

・S-2・S-6 については，後期更新世以降に，左横ずれ成分をもつ西側隆起の逆断層として活動した可能性がある．

・この際，S-2・S-6 の地下延長部の断層が活動し，地表付近に変位を及ぼしたものと判断する．

2.6 経験式による活断層の 1 回の変位量（ずれの量）

地形調査などで事前にその存在を把握できない小規模な断層の 1 回の変位量を，断層長と地震時の 1 回の変位量の関係，あるいは断層長とマグニチュードおよび変位量とマグニチュードの関係から導かれた経験式による変位量について検討した．現在，問題とされている原子炉直下の断層は，延長が数 100m～数 km 程度であることから，長さ 1km の断層を例として変位量を計算した．

検討した文献は，以下のとおりである．

・文献① : 松田時彦・山崎晴雄・中田　高・今泉敏文（1980）: 1896 年陸羽地震の地震断層，地震研究所彙報，55 巻.

・文献② : 松田時彦（1975）: 活断層から発生する地震の規模と周期について，地震第 2 輯，28 巻.

・文献③ : 佐藤良輔ほか（1989）: 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック，鹿島出版会，390p.

・文献④ : Yonekura，N(1972) : A review on seismic crustal deformation in near Japan. Bull. Dept．Geogr．Univ．Tokyo，4，pp.17-50.

上記文献のほか，Iida，K.(1965) : Earthquake magunitude,earthquake fault and source dimensions．J．Earth Sci．Nagoya Univ.，13，pp.115-132 などがあるが，日本の地震・活断層を対象としていないため除外した．

文献①よると，一般に地震断層の最大地震変位量（D）とその地震断層長（L）との間には，日本の内陸の場合ほぼ $D=10^{-4}L$ の関係があるとしている．これに従えば，長さ 1km

の断層による 1 回の変位量は 10 cm となる．

文献②（いわゆる松田式）では，地震断層長（L）とマグニチュード（M），断層変位（D）とマグニチュード（M）の関係として，logL=0.6M-2.9　logD=0.6M-4.0　（L は km，D は m）が示されている．これによると長さ 1km の断層の変位量は 8cm となる．文献③では，logL=0.5M-1.88　logD=05M-1.40（L は km，D は cm）の関係が示されおり，これから求めた長さ 1km の断層の変位量は 3cm となる．文献④では，logLmax=0.5M-1.9 logDmax=0.67M-4.33　（L は km，D は m）が示されており，これから求めた長さ 1km の断層の変位量は 2cm となる．

文献に示された断層の長さと変位量との相関関係を適用した場合，長さ 1km の断層の 1 回の変位量は 2～10cm となる．一方，この規模の地震断層（例えば 1998 年の岩手県内陸北部地震で雫石盆地西縁断層帯（西根断層群）に沿って約 800m にわたって出現した地表地震断層）で観測された最大変位量は 40cm と大きい. 相関関係を求めた文献では，いずれも長さ 10km 程度以上の地震断層を対象として断層長と変位量の関係を求めており，長さ 1km 程度の小規模な断層に対しては，別途関係式の検討が必要と思われる．

3. 断層変位による被害事例と対策事例

断層が変位することにより構造物が被害を受けた事例を 3.1 節と 3.2 節に，断層変位に対する対策事例を 3.3 節に示す．

3.1 国内の被害事例

3.1.1 トンネルの被害

一般的には，トンネルは地山と一体となっているため，地震の際に構造物に作用する慣性力は小さく，橋梁や盛土などの地表構造物と比較して耐震性に優れているとされている（宮林，2011）．しかし，当然のことながら，地震規模が大きく地震断層面からの距離が近ければトンネルも地震被害を受ける．朝倉ほか（2000）は，地震によるトンネル被害事例を取りまとめ，典型的な地震被害パターンを，①坑門，坑口部の被害，②不良地山区間の被害，③断層の変位による被害に分類しているが，ここでは③断層の変位による被害に着目し，以下に主要な事例を示す．

(1) 丹那トンネル

1930 年（昭和 5 年）11 月 26 日に発生したマグニチュード 7.5 の直下型地震である北伊豆地震は，丹那断層を震源とする地震である．当時施工中であった丹那トンネルでは，ほぼ中央部を南北に直交する丹那断層を突破するための水抜き坑を掘削中であった．地震発生時には，丹那断層は水抜坑の切羽において約 2.4m 左横ずれを生じている（服部，2013）．丹那トンネルと丹那断層の位置関係を図 3.1-1 に，当時の新聞に掲載された断層変位を示す切羽写真を図 3.1-2 に，断層によりせん断された水抜き坑の模式平面図を図 3.1-3 に示す．

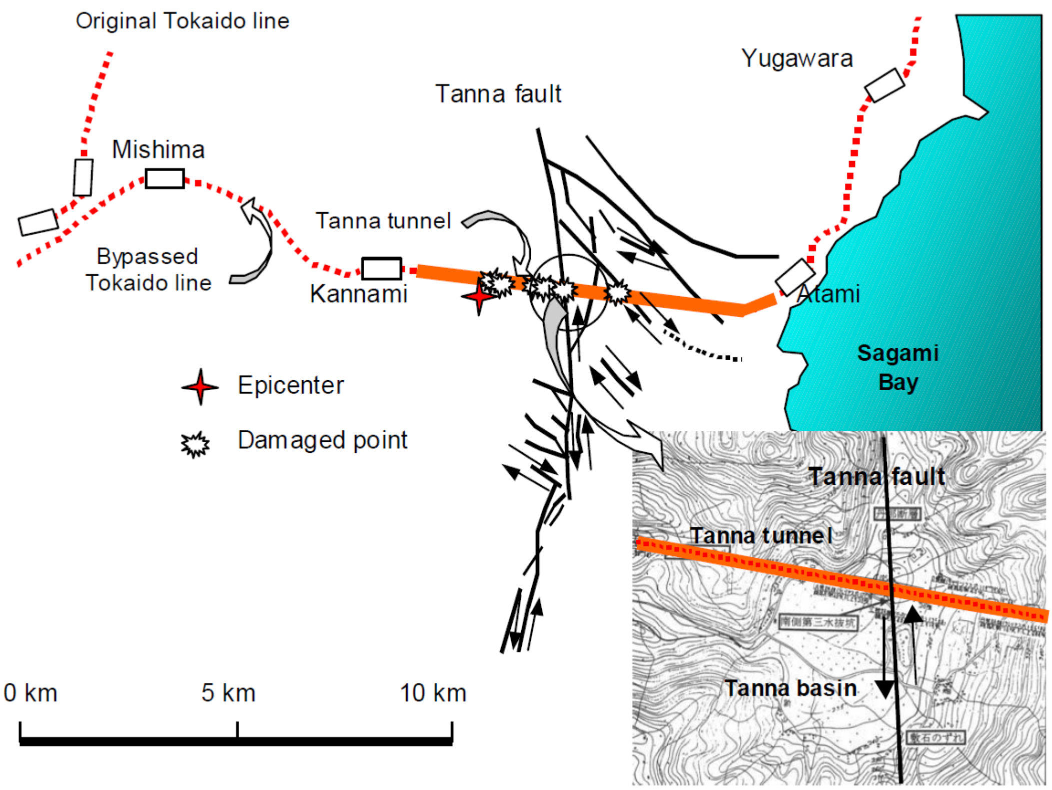


図 3.1-1　丹那トンネルと丹那断層の位置関係（Konagai et al., 2003a）

図 3.1-2　丹那トンネル水抜き坑切羽に出現した八尺の断層変位（東京日日新聞，1930）

（丹那隧道内八尺の喰違い　大竹口第三南側水抜坑の最奥で大竹口から一万一千九百八十五尺の個所丹那盆地の下六百尺にあたって断層による喰違い八尺）

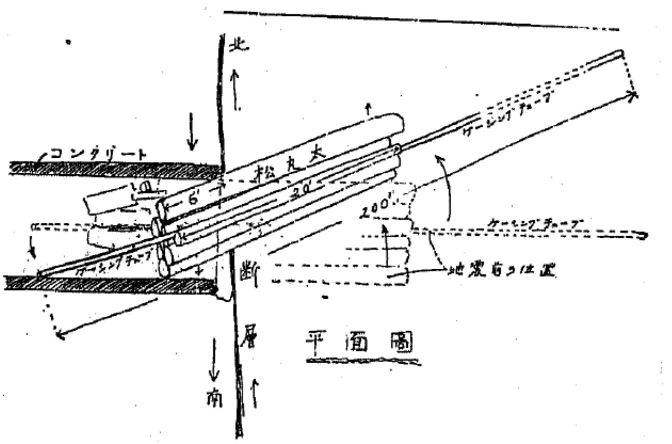


図 3.1-3　丹那トンネル水抜き坑における松丸太とケーシングチューブの変形
（鉄道省熱海建設事務所，1934）

【コラム】

『丹那トンネルの話』（鉄道省熱海建設事務所，1934）には，以下の記述があり，興味深い．

> “それでは三島口一萬二千呎の所謂丹那大断層がもう一度八呎動いたらどう成るかと好く聞かれます．その時には綺麗に八呎の食違ひが出来るかも知れませんし，又は崩壊して通れ無くなるかも知れません．その時丁度汽車が其處を通って居れば勿論脱線転覆して澤山の死傷者を出す事でせう．但しそんな大地震は滅多にあるものではありません．恐らくこのトンネルの経済的利用価値のある間にはもう起らないでせう．又たとひ起つたとしても，その悪い箇所を汽車が通り抜ける時間は数秒に過ぎないのです．一生に一度の数秒間の時間を丁度其處に居合はせて災難に出遇つてもよくよくの不運とあきらめて下さい．汽車の走る道ではそんな所より，切取や築堤や橋梁等，大地震の時危い箇所がまだ澤山あります．いやそれよりも危険率から謂つたら，東京の市街で圓タクに乗る方が更に恐しい事です．そんな事は氣にかけず，この「丹那トンネルの話」でもよみながら安心してトンネルを通つてください．”
>
> （「丹那トンネルの話」，pp.176-177）

(2) **稲取トンネル**

1978 年（昭和 53 年）1 月 14 日に発生したマグニチュード 7.0 の直下型地震である伊豆大島近海地震では，伊豆急行線のトンネルのうち伊豆大川～稲梓間のトンネルが被災した．特に，稲取トンネルではトンネルの中央部を横切っていた稲取－大峰山断層が地震により大きくずれ，トンネル横断面が変形し，覆工が大破，レールが蛇行した．断層を挟んだ相対変位量は，地震後の測量結果等から，水平方向に約 70cm，上下方向に約 20cm とされている（小野田ほか，1978）．稲取トンネルと断層の位置関係を図 3.1-4 に，稲取トンネルにおける被災写真を図 3.1-5 示す．

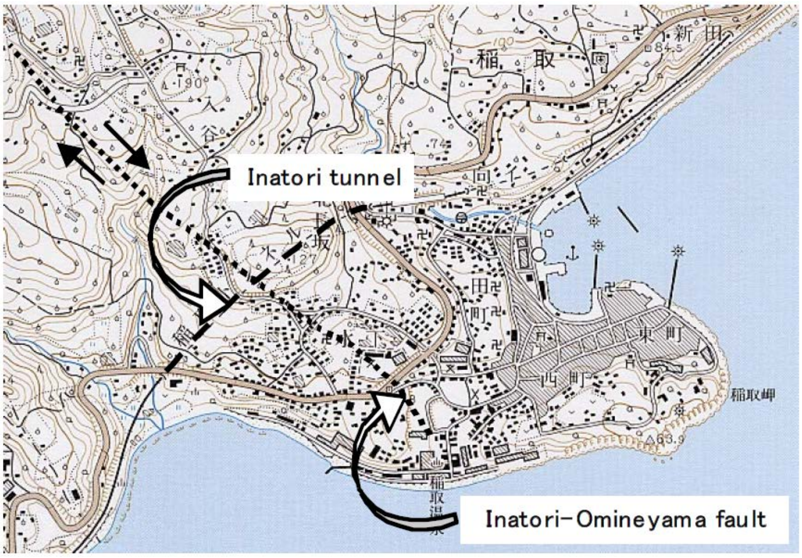


図 3.1-4　**稲取トンネルと稲取－大峰山断層の位置関係**（Konagai et al., 2003a）

（1）覆工の破壊

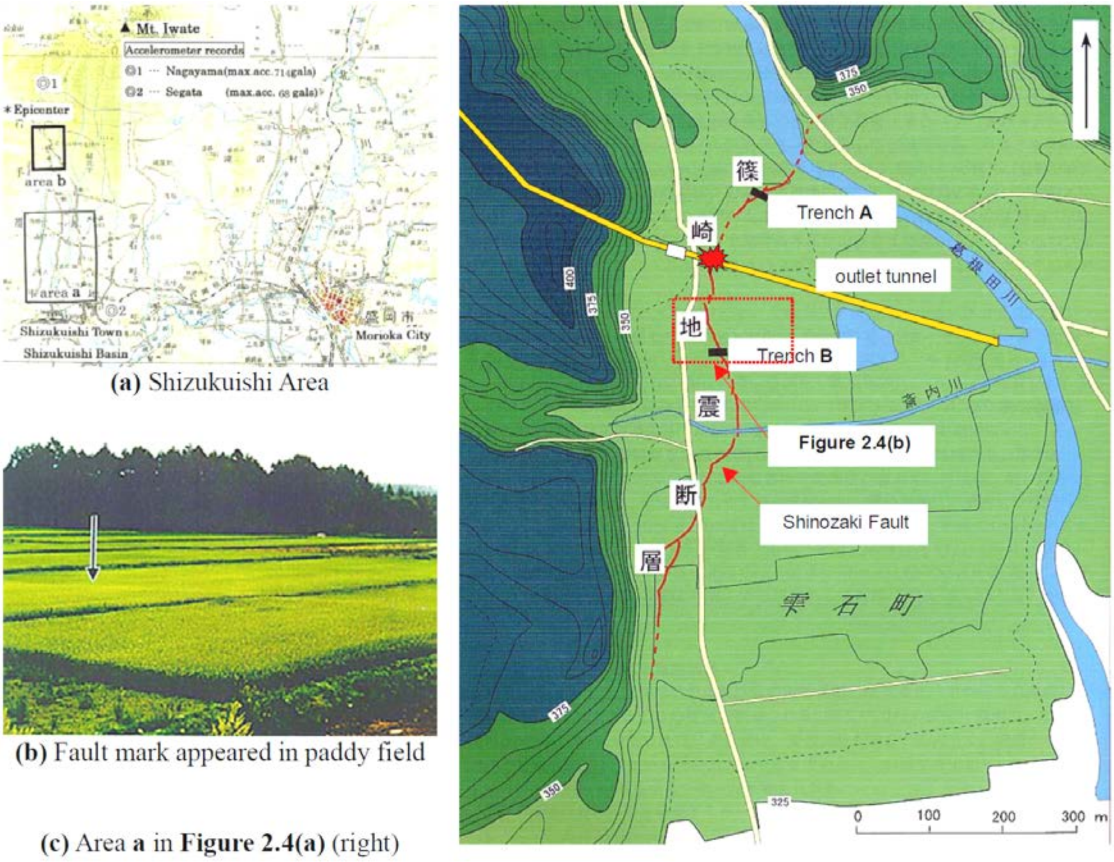
（2）レールの蛇行）

図 3.1-5　**稲取トンネルの被害**（**宮林**，2011）

(3) 葛根田発電所水路トンネル

1998 年 9 月 3 日に岩手県雫石の近郊で発生したマグニチュード 6.2 の岩手県内陸北部地震が発生した．この地震に伴い，岩手県岩手郡雫石町篠崎付近に南北約 800m にわたつて地震断層が出現した（越谷ほか，1998）．地震により生じた断層は，篠崎地震断層と呼ばれ，東北電力葛根田発電所の放水路トンネルとは図 3.1-6 に示す位置関係にある．断層による変位は地上の稲穂の列の乱れからようやく認められるほどの小規模なものであったが，放水路トンネルがこの直下を通っていることから被害を受けたものである（地盤工学会，2002）．

図 3.1-7 および図 3.1-8 に放水路トンネルの被害状況を示す．被害は発電所に近い約 30m 区間で生じている．側壁やインバート部が崩壊し，礫を含む土砂が流入した 7m 区間と，地震で現れた地表の小さな段差位置が良く対応することから，放水トンネルの被害は，断層の変位により生じたものと考えられる（土木学会，2015）．



(a) Shizukuishi Area

(b) Fault mark appeared in paddy field

(c) Area a in Figure 2.4(a) (right)

図 3.1-6　篠崎地震断層と放水路トンネル（Konagai et al., 2003a）

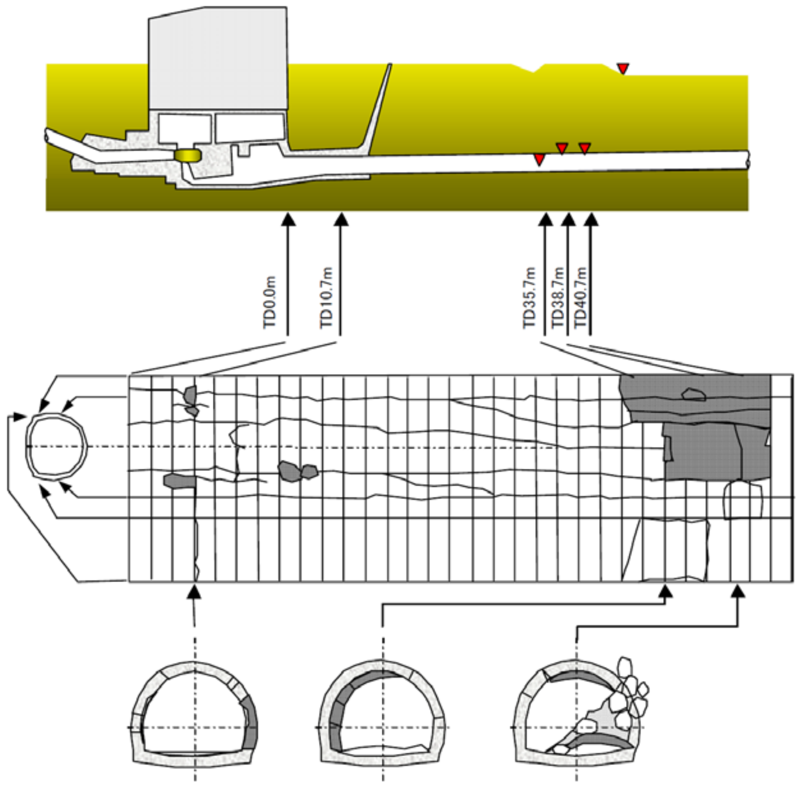


図 3.1-7　放水路トンネル内の損傷状況（Hashimoto(1998)原図）（Konagai et al., 2003a）

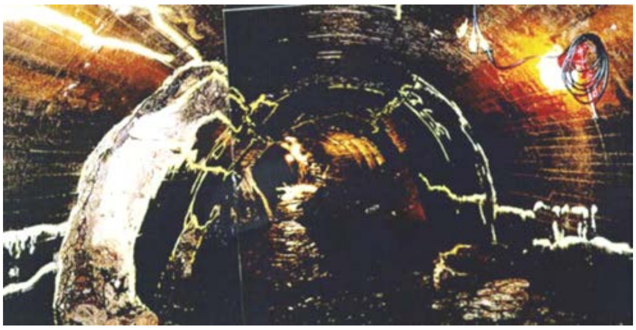


図 3.1-8　放水路トンネル被害写真（左：トンネル内に押し出された巨礫と土砂，右：トンネル内に発生したクラック，撮影：東北電力）（Konagai et al., 2003a）

(4) 御岳発電所導水路トンネル

本導水路トンネルは，王滝川ダムと御岳発電所の水槽を結ぶ長さ 17.2km の無圧トンネルである．トンネル形状は馬蹄型で，全面コンクリートで巻立てられている．

本トンネルでは，1984 年 9 月 14 日に発生した長野県西部地震により，巻立コンクリートに多くのクラックが発生した．クラックの分布形態は，図 3.1-9 に示す A，B パターンに分類でき，トンネル全断面にわたる横断クラック（B パターン）の分布中心は直線上に並び，その直線は余震域の長軸中央部を通っていた（渡部・安福，1985）．巻立コンクリート開口部における断層調査から，これらの破損は地震に伴う断層の変位によるものであることが判明している．変位量は右横ずれ 1～2cm であり，地表面に変位は現れていない（猪原ほか，1987）．

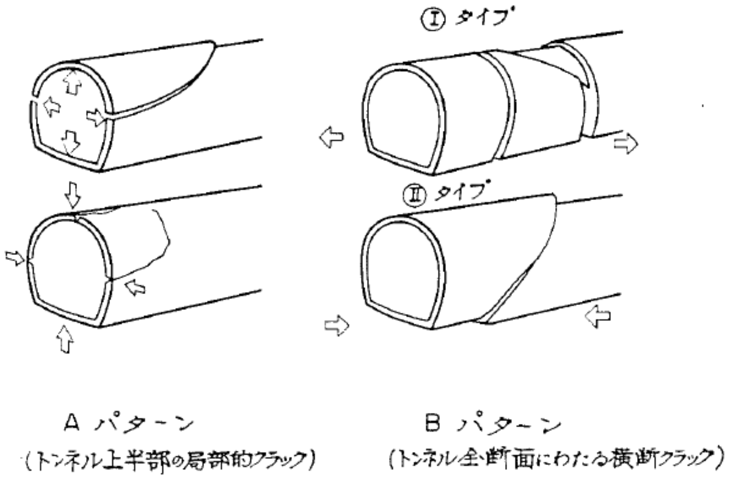


図 3.1-9　発生したクラックのパターン（渡部・安福，1985）

(5) 山陽新幹線六甲トンネル

上述の事例は，断層変位によるトンネルへの被害が確実視されている例である．一方，1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震では，野島地震断層のように地表面において明瞭な断層変位が観察されているものの，トンネル坑道内において断層変位が観察された事例は存在しない．

しかし，六甲山地内には既存の活断層を横切っていくつかの山岳トンネルが施工されており，施工時に断層の分布が確認された箇所周辺で地震時の変状が報告されている（土木学会，1999）．例えば，山陽新幹線六甲トンネルは，延長 16km を越える長大トンネルで，甲陽断層，芦屋断層，五助橋断層，大月断層，布引断層などの主要な活断層を貫いており，兵庫県南部地震に伴ってトンネルで生じた構造物の被害位置は図 3.1-10 のようになる．石沢・岡部（1997）は，六甲山地における複数のトンネル被害の調査結果から，兵庫県南部地震に伴って断層沿いのトンネルで生じた構造物の変位は，断層の変位と調和的であることが多いと述べている．

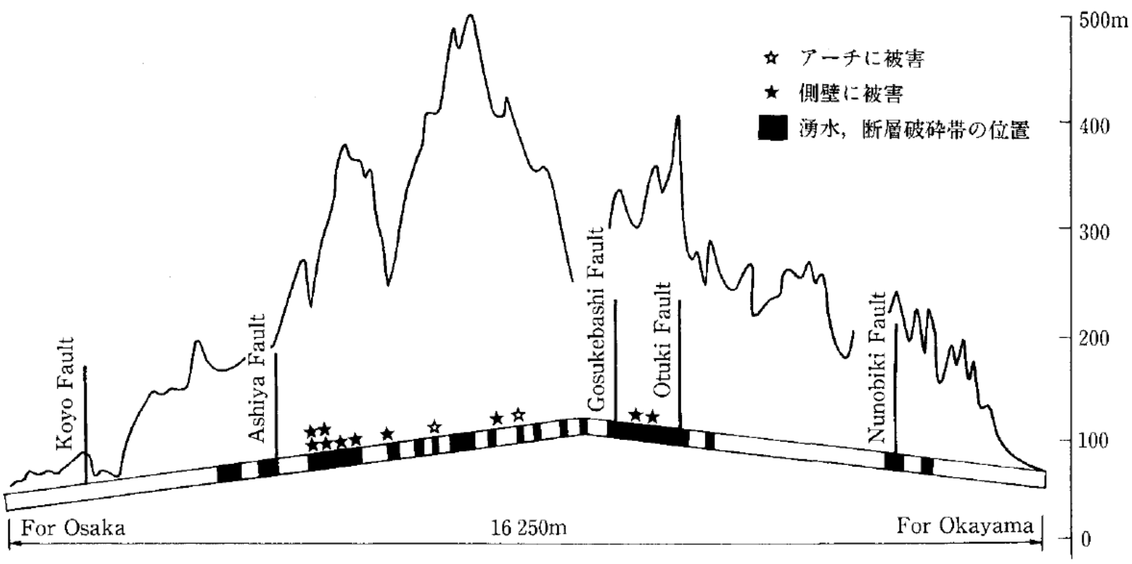


図 3.1-10　六甲トンネルの被害位置図（縦断図）（土木学会，1999）

3.1.2 橋梁の被害

(1) 1995 年兵庫県南部地震の明石海峡大橋への影響

1995 年（平成 7 年）1 月 17 日 5 時 46 分，明石海峡付近の深さ 10～20km を震源として，マグニチュード 7.2 の大地震が発生した.

この地震で淡路島北西岸にあらわれた地震断層は，その分布および変位量の連続性から，大きく二つの断層線に分けられる（図 3.1-11）. 既存の野島断層に一致して長さ 8.8km の断層線が，また水越撓曲の北東部に沿って長さ 3.0km の断層線が出現した.前者を野島地震断層，後者を小倉地震断層と呼び，両者からなる長さ 10.5km の断層系を北淡地震断層系と呼ぶ（粟田ほか，1997）.

北淡地震断層系（野島地震断層）の北東端は，大きな変位量を保ったまま明石海峡に達している.これより北東側において建設中の明石海峡大橋では，地震に伴って，神戸側主塔基礎（図 3.1-11 の 2P）と淡路側主塔基礎（図 3.1-11 の 3P）との間に，0.8m の伸びが生じた．野島断層の延長とされる高磯断層は，2P と 3P の間を通過し，橋梁軸とは時計回りに約 45°の角度で交差することから，同断層でも地震に伴って大きな右ずれが生じた可能性がある．ただし，高磯断層に沿って明石海峡の海底に地震断層が出現したかどうかは確認されていない（粟田ほか，1997）.

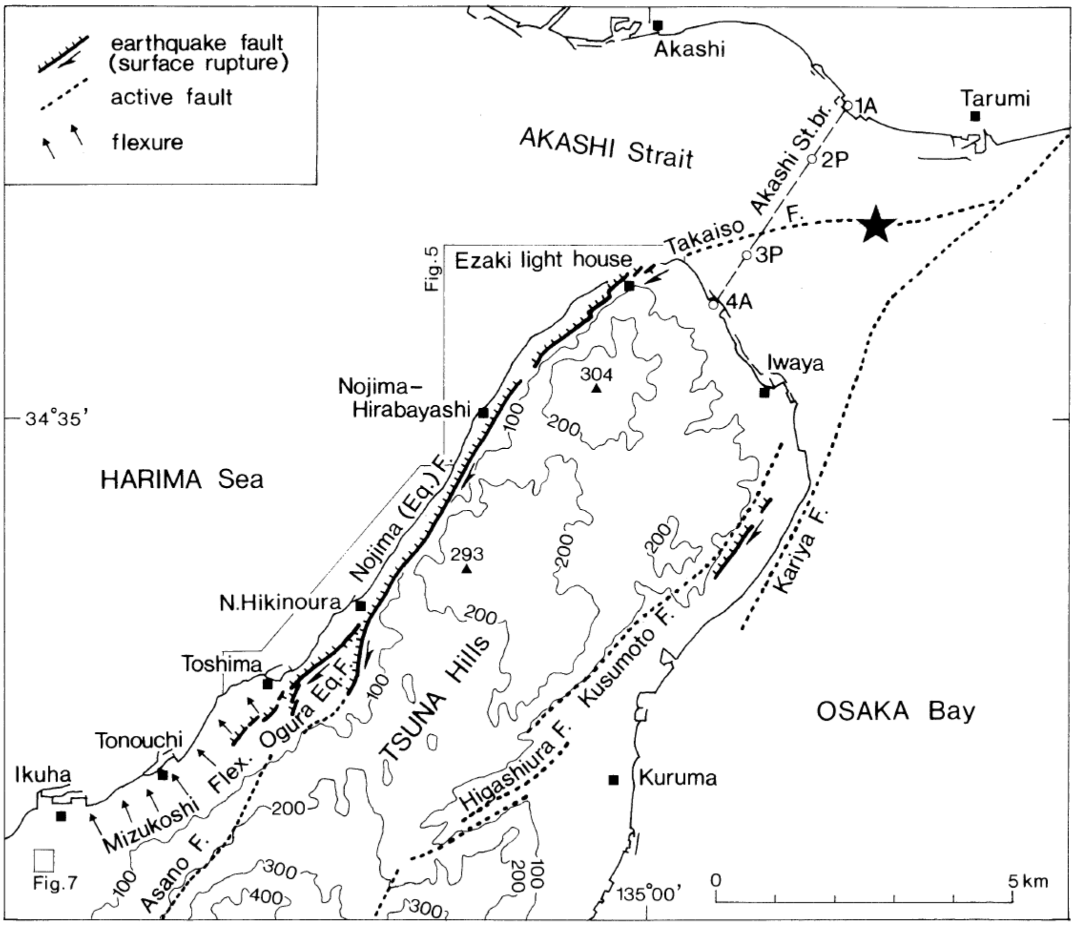


図 3.1-11　野島地震断層，小倉地震断層，高磯断層，明石海峡大橋の位置関係（粟田ほか，1997）

明石海峡大橋の地震時変位を図 3.1-12 に示す（八尾・村山，2012）．地震発生時，明石海峡大橋の建設工事は，両方の主塔が立ち上がって，メインケーブルの架設作業中であった．橋自体に深刻な構造上の損傷は見当たらなかったが，上述のように橋の長さが変化していることが確認された．基礎が動いたことによって，主塔と主塔の間の距離が変わったため，桁の長さを変更する必要があったが，未製作の桁のパネルの長さを調整することで対応している（本州四国連絡高速道路株式会社，2005）．

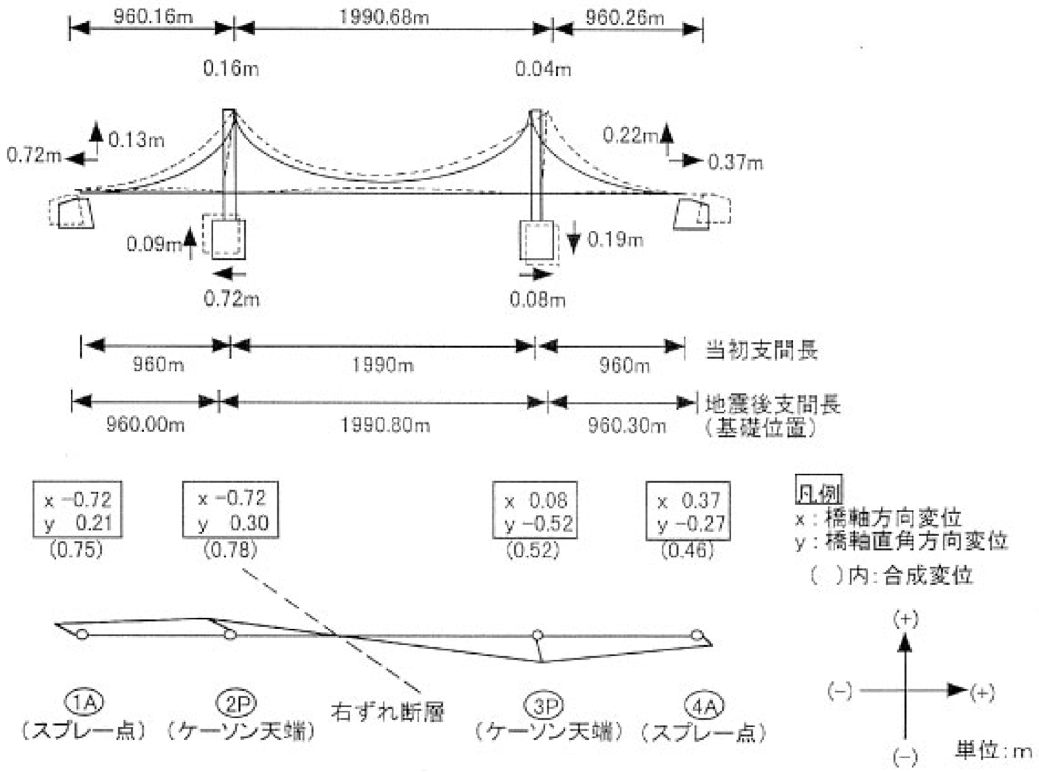


図 3.1-12　明石海峡大橋の地震時変位（左：神戸側，右：淡路島側）（八尾・村山，2012）

3.1.3 2016 年熊本地震による被害

(1) 熊本地震の概要

気象庁発表資料による熊本地震の概要を図 3.1-13 に示す.

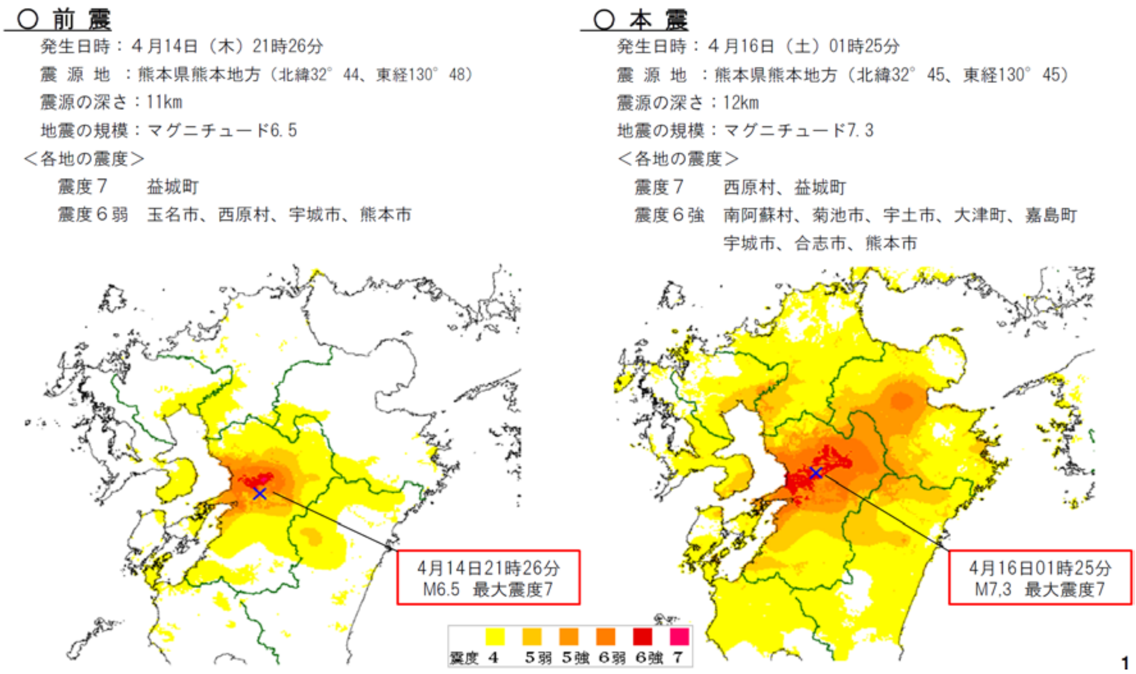


図 3.1-13　熊本地震の概要（九州地方整備局，2017）

(2) 熊本地震に伴って出現した地表地震断層（産業技術総合研究所，2016）

(i) 日奈久断層帯

日奈久断層帯の地震断層は，今までに報告されていた活断層にほぼ一致する場所に出現した（図 3.1-14）.

(ii) 布田川断層帯

布田川断層帯の地表変位は，日奈久断層帯との接合点より約 3km 西側を西端とし，東端は従来認定されていた活断層の端点より約 4km 東側の阿蘇カルデラ内まで，約 28km にわたって認められた（図 3.1-14）.

布田川断層帯の地表変位も，ほぼ従来指摘されていた活断層に沿って出現したが，それ以外にも複数の平行な断層や幅広い変形帯を伴うことが多い（図 3.1-14, 図 3.1-15）. 特に，断層の南側では正断層成分を含む変位が広く認められた.

布田川断層帯の右ずれ変位量は堂園付近で最大 2.2m に達するが，多くの場所では断層が分散・分岐するため，正確な変位量の測定が困難な場所が多い．分散する変形や断層の変位の状況から，堂園付近から大切畑ダム付近に至る約 10km の範囲では，全体として 2m 前後の右横ずれ変位量を持つと推定される（図 3.1-16）.

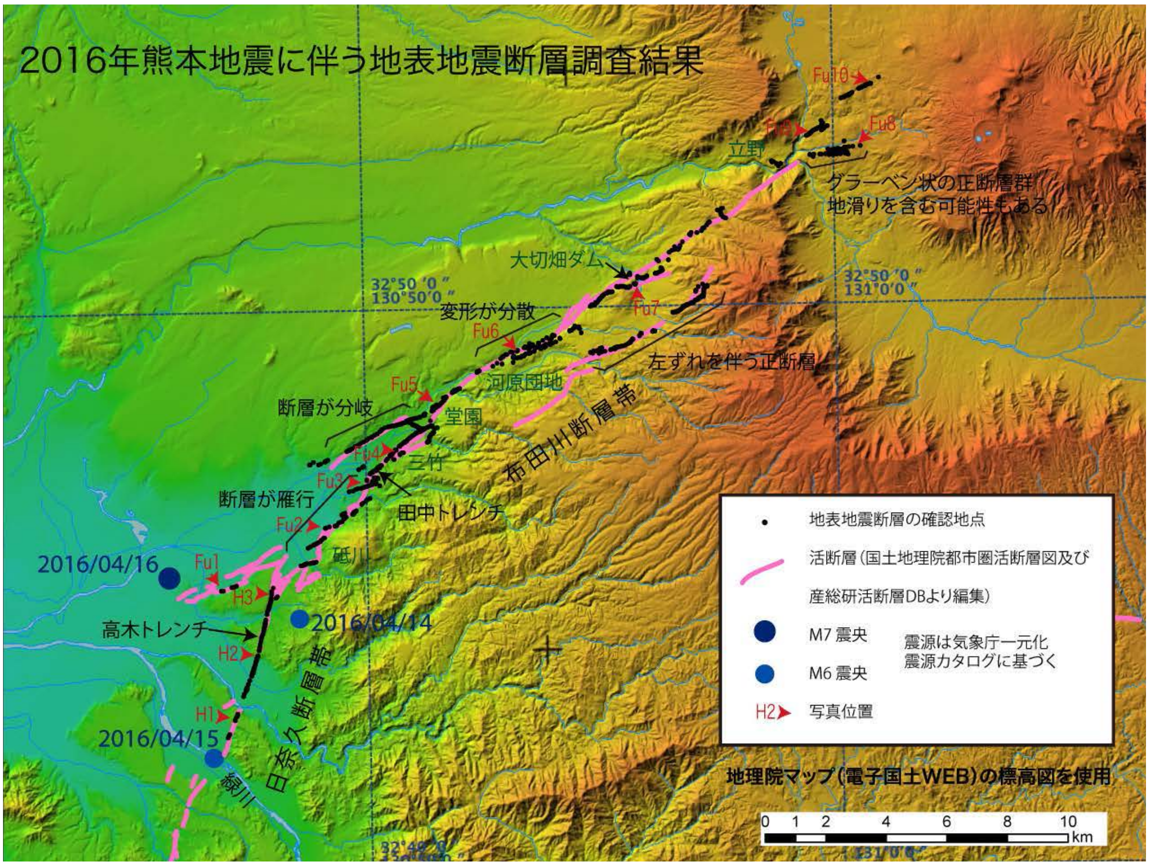


図 3.1-14　2016 年熊本地震に伴う地表地震断層調査結果（産業技術総合研究所，2016）

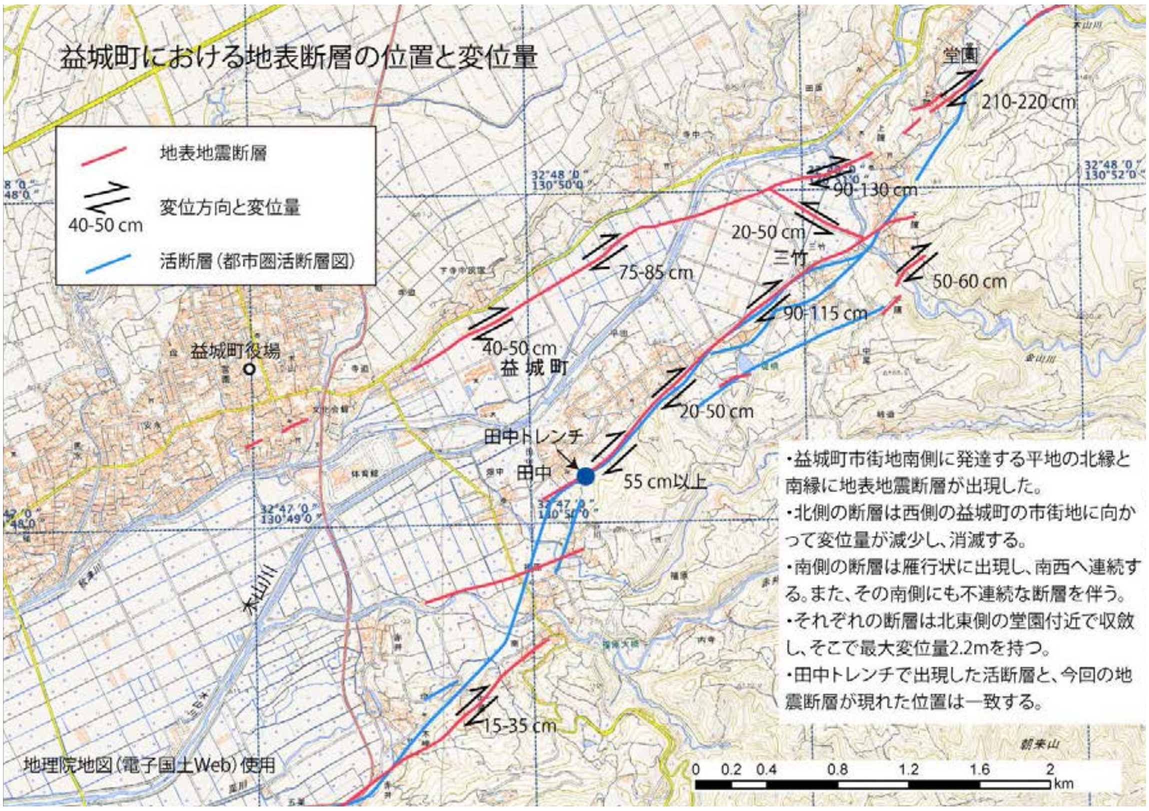


図 3.1-15　益城町における地表地震断層の位置と変位量（産業技術総合研究所，2016）

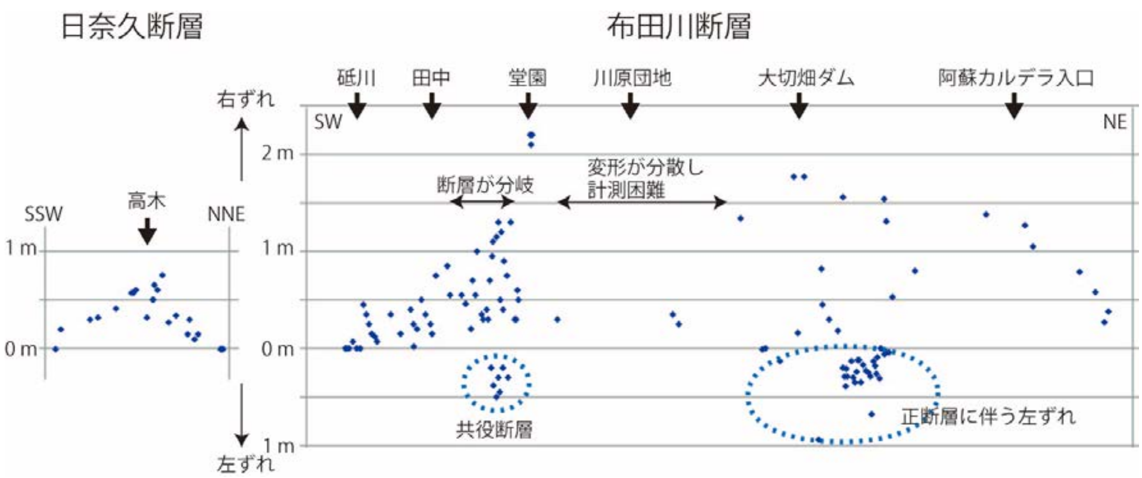


図 3.1-16　日奈久断層帯および布田川断層帯に出現した地表地震断層の横ずれ量分布（産業技術総合研究所，2016）

(3) 俵山トンネル被害

(i) トンネルと布田川断層との関係（日経コンストラクション，2016）

俵山トンネルは 2002 年 7 月に供用された延長 2,057m，巾 7.5m，高さ 4.5m の熊本県の道路トンネルである. 図 3.1-17 に, 俵山トンネルと布田川断層の位置関係を示す. 布田川断層そのものはトンネルと交差していない.

図 3.1-17　俵山トンネルと布田川断層の位置関係（日経コンストラクション，2016）

(ii) **トンネル被害**（土木学会，2016）

坑内は顕著な損傷が見受けられ，トンネル全スパンの約半分の区間において変状が確認された．主な損傷としては，目地全周にわたる圧縮破壊，覆工崩落（1 スパン分の防水シートが露出），コンクリート表面 x 字型クラック（トンネル軸方向による圧縮破壊），路肩部の圧縮破壊とずれ，舗装版の浮き上がり，覆工の脚部沈下，インバート全周破壊による盤膨れなどである．

南阿蘇村（高森）側から 1770m（熊本側から 28 スパン目）付近において，アーチの目地に沿ってコンクリートの表面一部（約 10cm の厚さ）が剥がれ落ちている（**図** 3.1-18）．舗装版もトンネル軸方向の圧縮を受けているように浮き上がっている．また，トンネル軸方向の圧縮によって路肩部の路盤も座屈的破壊（浮き上がり）が数カ所観察された（**図** 3.1-19）．

図 3.1-18　x **字型クラック（左）と落下した厚さ** 10 ㎝**程度のコンクリート破片）**

図 3.1-19　**盤膨れ部の側壁部（インバートが破壊）**

(4) **大切畑ダム被害**（長谷川ほか，2016）

大切畑ダムは，**表** 3.1-1 に示すように，かんがい用のアース式ダムであり，堤高 23 m，総貯水量 851 千 m^3 と大きな規模のため池（ダム）である．

大切畑ダムは，4 月 14 日の地震で，堤体からの大量の漏水で決壊の恐れがあるとして，下流域の 300 世帯に避難指示が出された（その後の調査で，堤体からの漏水ではなく，農地への送水管の破断によるものと確認された）．

表 3.1-1　大切畑ダムの諸元

目的／形式	かんがい用／アース式
堤高／堤頂長／堤体積	23m／125m／74千m^3
総貯水容量／有効貯水量	851千m^3／720千m^3
流域面積／湛水面積	11.6km^2／9ha
着工／竣工	1970年／1975年

吉見による被害調査では，**図** 3.1-20 に示すように，大切畑ダム堤体を横断するように断層が走っていると報告している（吉見，2016）．

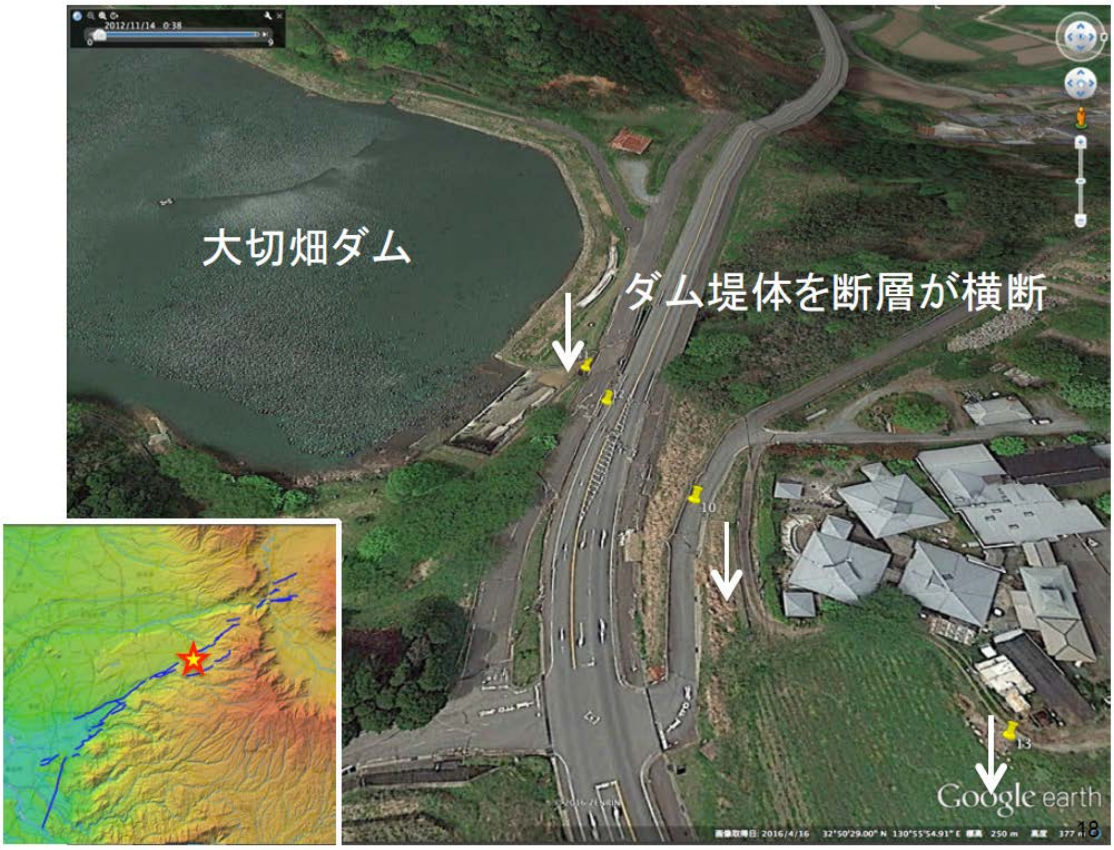


図 3.1-20　**大切畑ダムの断層横断箇所（吉見，**2016）

清田ほか（2016）による大切畑ダム周辺の被害状況を**図** 3.1-21 と**図** 3.1-22 に示す．

図 3.1-21　大切畑ダム北側道路の被害（清田ほか，2016）

図 3.1-22　大切畑ダム施設と北側道路周辺の被害（清田ほか，2016）

(5) 橋梁被害（高見ほか，2016）

県道熊本高森線の橋梁は地震によって多くの損傷をうけたが，俵山大橋は橋桁全体が橋軸方向の圧縮を受けた可能性があり特異な損傷を受けている．俵山大橋の損傷の特徴は，桁端部の橋台への衝突や積層ゴム支承の脱落，伸縮継手周辺の圧縮変形など橋軸方向への圧縮を示唆する変形と，センターラインが橋台付近で食い違う右横ずれ変形であった．

地震の前後で計測された航空レーザの二時期データ比較解析からは，地震時の周辺

地区の地表面変位が検出され，俵山大橋付近で地表変動傾向が変化していることが示された. その結果から, 俵山大橋付近の地表で右横ずれ変形が生じていたと推定され，俵山大橋を斜めに横切る地表変動が生じたと仮定すると，俵山大橋の変状の特徴（短縮変形と右横ずれ変位）をよく説明できるとしている.

また，俵山大橋の南約 500m にも二時期 LiDAR-DEM からの変動解析によるベクトル急変線が認められ，その直近で地表地震断層が確認されている．俵山大橋近傍には地表地震断層は確認されていないが，亀裂を生じない右横ずれの地盤変動が伏在している可能性があるとされている（図 3.1-23）.

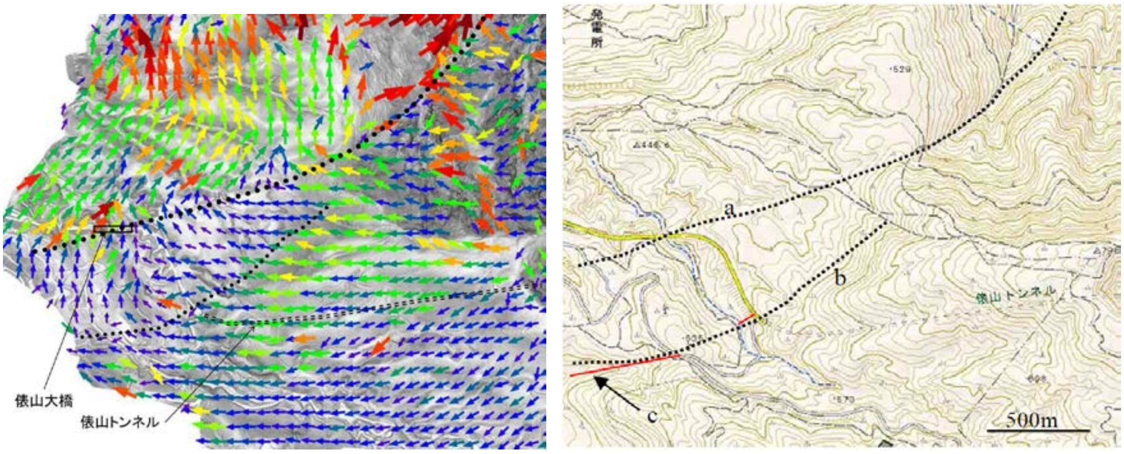


図 3.1-23　地表変位ベクトル分布図（左）と地表変動急変線の位置（右）（高見ほか，2016）

a，b：それぞれ左図地表変動急変線のトレース，c：確認された地表地震断層

さらに，吉見（2016 ; 2017）も，県道 28 号線沿いの断層位置と橋梁被害との関係から，図 3.1-24 に示すように桑鶴大橋，扇の坂橋，俵山大橋では断層変位により被害が生じた可能性があると指摘している.

図 3.1-24　断層変位による橋梁被害の可能性（吉見，2016）

3.2 海外の被害事例

3.2.1 ダムの被害事例

ダム近傍に存在する断層の変位によるトラブル事例および断層変位に対する対応事例に関しては，中村（1990，1991）が整理している．

中村（1990）によれば，わが国では断層活動に伴う地盤の変位によってダムが崩壊した例は報告されておらず，これは現時点においても変わりない．海外においても，1990 年時点では，断層活動に起因する基礎地盤の変位によって一般的な貯水ダムが崩壊し，貯留水が流失した例はないと報告されている．ただし，後述するように，1999 年に台湾で発生した集集地震では断層変位により石岡ダムが破壊され，貯留水の流出が発生している．

中村（1990）では，特殊な被害事例として Upper Crystal Springs ダムと Old San Andreas ダムの事例を紹介している．いずれも San Andreas 断層上に建設されており，1906 年の 4 月 18 日に発生したマグニチュード 8.3 のサンフランシスコ地震で堤体にずれを生じた．この地震では，最大 6.5m の右ずれ水平変位が生じている．

Upper Crystal Springs ダムは，1878 年建設された高さ 23m の中央遮水壁型アースフィルダムである．1890 年に Lower Crystal Springs ダムが Upper ダムの下流に建設されていたため，地震時には Upper ダムは貯水池内の横断道路として使用されていた．ダム上下流面の水位は等しかったことから，貯水池水の流出被害は発生していない．

Old San Andreas ダムは，1890 年に建設された高さ 47m，堤頂長 183m のダムである．Lower Crystal Springs ダムの約 1.2km 上流の貯水池内に位置し，完全に水没していたことから，貯水池水の流出被害は発生していない．

なお，1906 年のサンフランシスコ地震における既設ダムでの断層変位の実測値は，土木学会（2001）が表 3.2-1 のように整理している．

表 3.2-1　サンフランシスコ地震における既設ダムでの断層変位の実測事例（土木学会，2001）

ダム名	所在国	ダム形式	堤高	建設年	断層の概要	断層変位の実測値
Old San Andreas	USA カリフォルニア	アースフィルダム	8.5m	1875 以前	San Andreas断層直上 サンフランシスコ地震（1906年M8.3）	水平変位：2.1m
Upper CrystalSprings	USA カリフォルニア	アースフィルダム	23m	1878	San Andreas断層直上 サンフランシスコ地震（1906年M8.3）	水平変位：2.4m 縦クラック:幅0.15m，深さ1.2m
Upper Howell	USA カリフォルニア	アースフィルダム	11m	1878	San Andreas断層直上 サンフランシスコ地震（1906年M8.3）	基礎にクラックが発生 クラックは堤体にも連続
Lower Howell	USA カリフォルニア	アースフィルダム	12m	1877	San Andreas断層直上 サンフランシスコ地震（1906年M8.3）	断層変位により放水管（φ25cm）が破壊

3.2.2 台湾・集集地震による被害

1999 年 9 月 21 日の深夜に台湾のほぼ中央に位置する南投県集集鎮を震源としたマグニチュード 7.3 の地震が発生した．図 3.2-1 に台湾の主な活断層の分布と過去の被害

地震の震央位置を示す．これらの断層では，過去にも 1935 年と 1941 年に M 7.1，1964 年に M 7.0 といった大地震がたびたび発生し，大きな被害をもたらしてきた（芝, 2000）．

この地震は，直下型地震を引き起こす内陸活断層のうちの一つである車籠埔断層に沿って発生した．地震の断層面自体は水平からおよそ 30 度の角度をなしており，上盤側がのし上がるように動く「低角逆断層」タイプと呼ばれる発生メカニズムである（芝, 2000）．

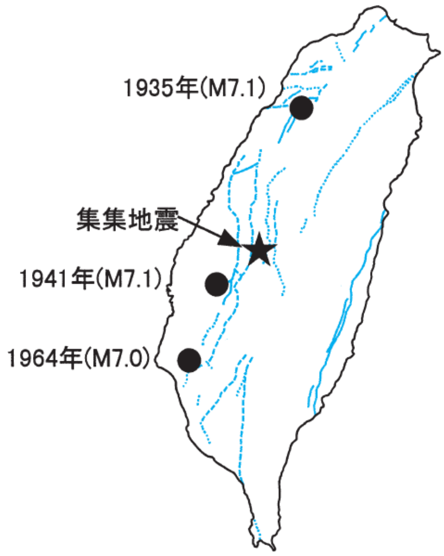


図 3.2-1　台湾の活断層の分布と過去に発生した大地震の震央位置（芝，2000）

この集集地震で生じた断層変位による被害については，地盤工学会（2002），土木学会（2015），小長井らによる日本学術振興会のプロジェクト報告書（JSPS Project report, 2001，2003a，2003b，2007），Faccioli et al.（2008）で紹介されている．以下のその概要を示す．

(1) 建物の被害（土木学会，2015）

この地震により，Fung-Yan City の Chung-Cheng Park の下に逆断層が現れ，いくつかの構造物は崩壊した．しかし，図 3.2-2 に示す 4 階建て RC 構造物は剛基礎で支持されているもので，地盤が 4m 隆起し，10° 傾いたが，構造的な被害は生じていない．

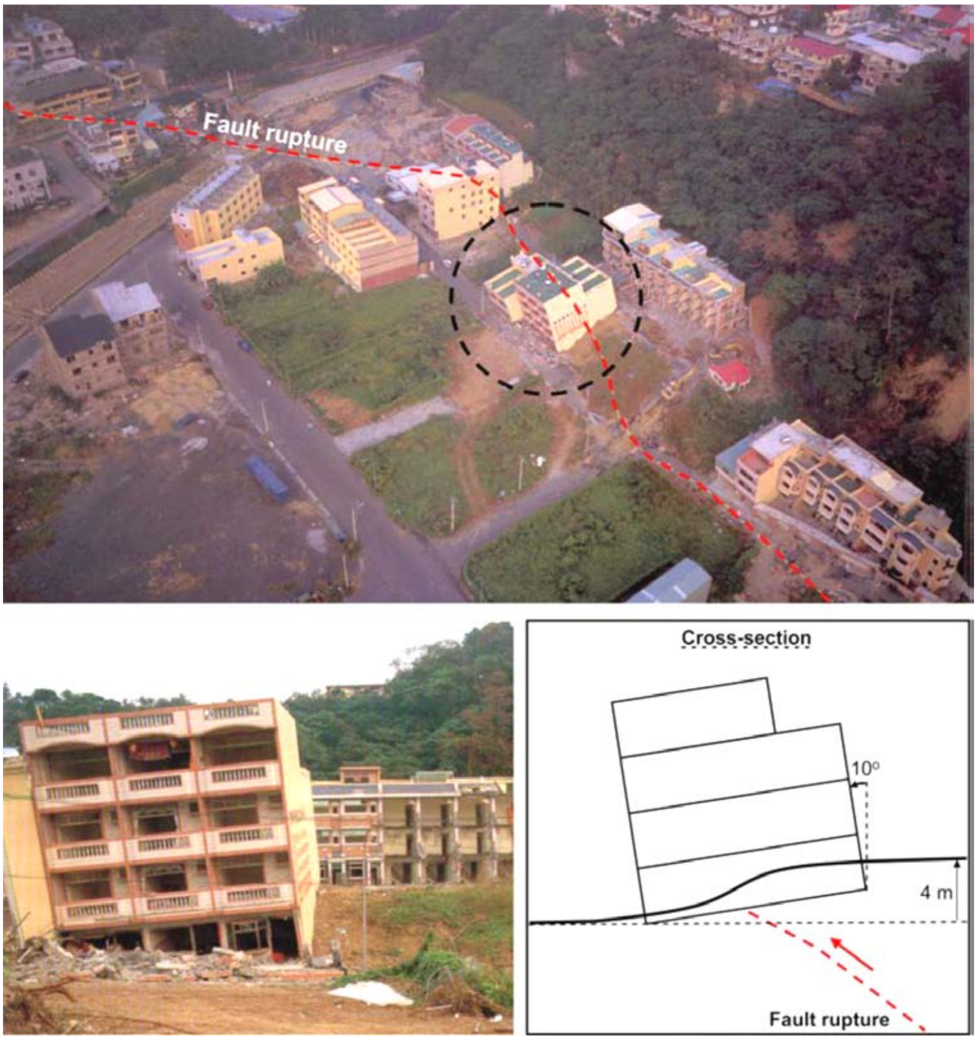


図 3.2-2　断層変位による RC 構造物の被害（剛基礎支持）（Faccioli et al., 2008）

一方，図 3.2-3 に示す Wu-Fung Hsiang の 5 階建て RC 構造物は柔軟な基礎で支持しているもので，断層変位により建物の右側の地盤が 3m ほど隆起し，構造的に重大な被害を受けている．

図 3.2-3　断層変位による RC 構造物の被害（柔基礎支持）（Faccioli et al., 2008）

(2) **ダムの被害（大町，2000）**

石岡ダムは，台中県石岡郷にあり，1977 年 10 月に完成した提高 25m，提長 357m の重重力式コンクリートダムである．基礎岩盤は新第三紀鮮新世の泥岩である．被災前の断面図を図 3.2-4 に示す.

本ダムは，最も右岸側の 2 つの洪水吐，すなわち 17～18 番ゲートの基礎が地震断層の大きな食違い変位に直撃にされて決壊した（図 3.2-5）.

中区水資源局によるダム本体および周辺部での測量結果によれば，逆断層の食い違い変位により地震前に比べてダム本体の大部分は約 10m，右岸側は約 2m それぞれ隆起した結果，両者の間に約 8m の段差が生じた．また，左岸取り付け部はダム軸方向に 6m，下流方向に 2m 変位しており，ダムは隆起による段差を生じただけでなく軸長が短縮した可能性もある.

さらに詳細な被害調査結果は，小長井ほか（2000）や Konagai et al.（2007）による JSPS Project report の第 4 章で取りまとめられている.

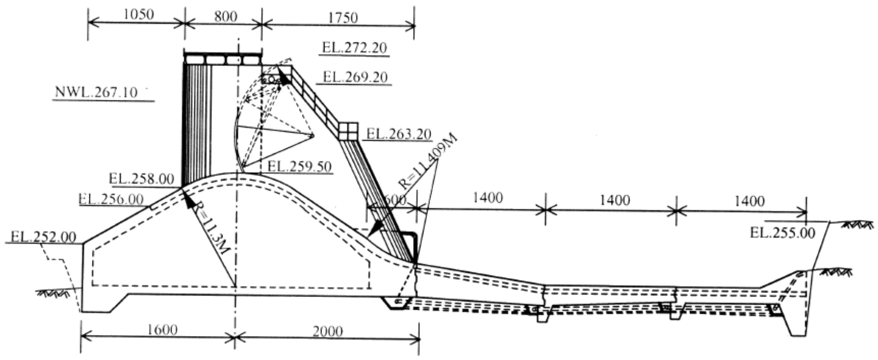


Fig. 2. Transverse cross section of spillway of Shin-Kang Dam.

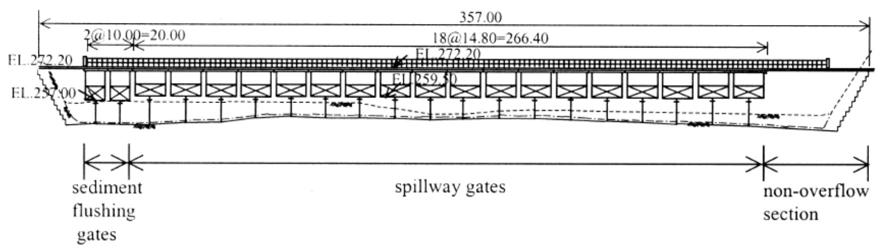


図 3.2-4　被災前の石岡ダムの断面図（大町，2000）

図 3.2-5　断層変位により崩壊したダムの全景と右岸ゲート部（Faccioli et al.，2008）

(3) 橋梁の被害

断層変位に起因して被災したと推定される橋梁として，Bei-Feng 橋の被災状況を図 3.2-6～図 3.2-8 に示す．Bei-Feng 橋は，石岡ダムの西に位置する 1991 年に建設された 13 径間単純橋である．地震断層が南側の橋台と 3 基の橋脚の間を横切り，橋台および 2 基の橋脚が 3～4m 隆起すると共に，下流側に 3～4m移動したため，3 連の桁が落橋した（土木学会，2015）．他の床版や橋脚には損傷がほとんど見られないことから断層変位による落橋であると推測されている．図 3.2-8 の右側にみられる滝は 2～3m の段差を伴う断層が河川を横断することにより生じたものである（中村・大角，1999）．

図 3.2-6　断層変位により崩壊した Bei-Feng 橋（Faccioli et al.，2008）

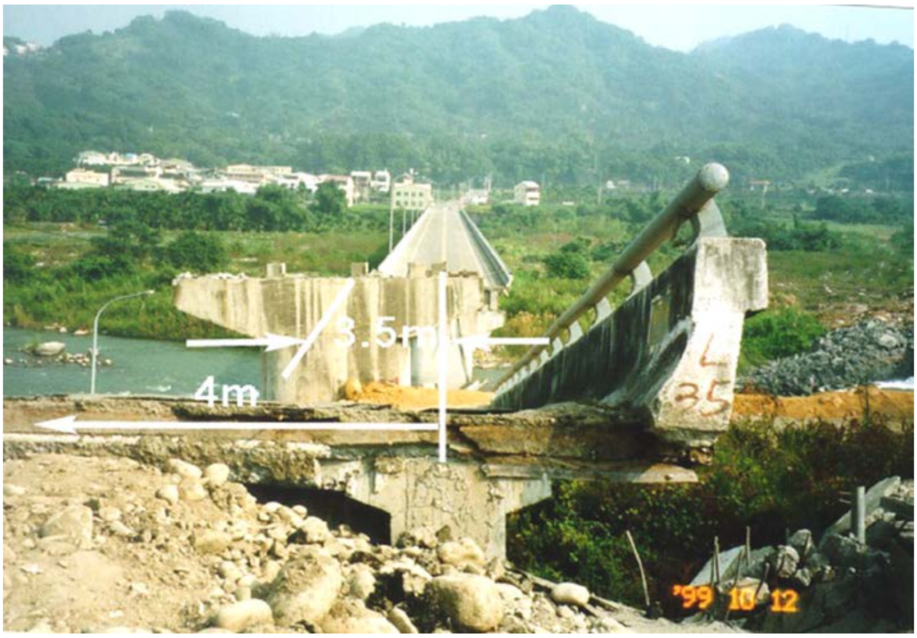


図 3.2-7　断層変位により崩壊した Bei-Feng 橋（Kawashima，2001）

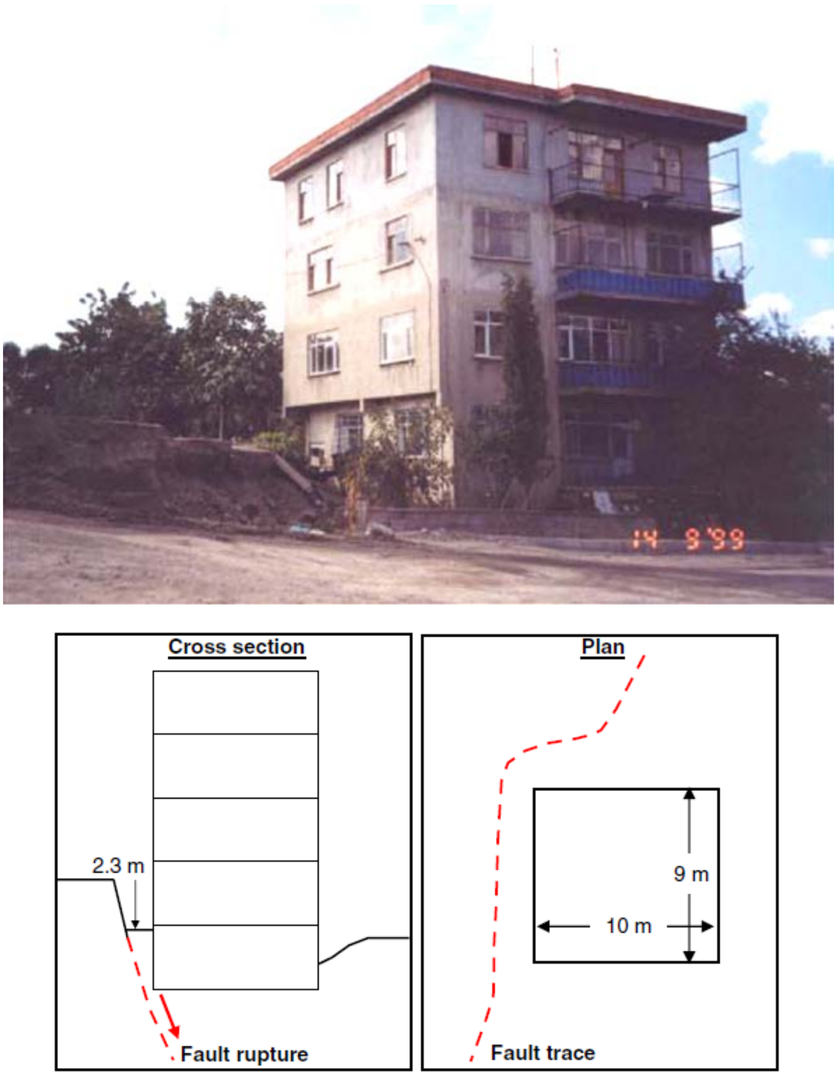
図 3.2-8　Bei-Feng 橋上流側に生じた断層変位（中村・大角，1999）

3.2.3 トルコ・コジャエリ地震による被害（土木学会，2015）

1999 年 8 月に，トルコ西部のコジャエリ県イズミット付近で震源深さ 17km，マグニチュード 7.4 のコジャエリ地震が発生した．この地震は，トルコをほぼ東西に横切る北アナトリア断層の活動に起因し，主断層は右横ずれであり，地表の最大変位は約 4m であった．

(1) 建物の被害

この地震は横ずれ断層であるが，1 つの断層がもう 1 つの断層に乗り移った Golcuk の西側では，約 4km に渡って正断層が生じている．図 3.2-9 に示す 4 階建ての剛基礎建物は，2.3m ほど地盤が沈下したが，目に見える被害は生じていない．地表面における断層変位は，図 3.2-9 の平面図に示すように構造物を迂回している．一方，図 3.2-10 に示す柔な基礎のモスクは約 1.5m の不等変位が生じ，部分的に構造物が崩壊している．



鉛直断面図　　　　　平面図

図 3.2-9　断層変位による RC 構造物の被害（剛基礎支持）（Faccioli et al.，2008）

図 3.2-10　断層変位による RC 構造物の被害（柔基礎支持）（Faccioli et al.，2008）

(2) **ダムの被害**

報告されていない.

(3) **橋梁の被害**

Arifiye 橋は，アナトリア高速道路の跨線橋であり，橋長 104m の 4 径間単純 PC 斜橋で床板は連続していた．地震断層は，北端の橋台と隣の橋脚の間をほぼ EW 方向に横切り，軸線直交方向に 4m 程度ずれたことが確認されている．その影響により 4 径間の橋が落橋に至った（図 3.2-11，図 3.2-12）.

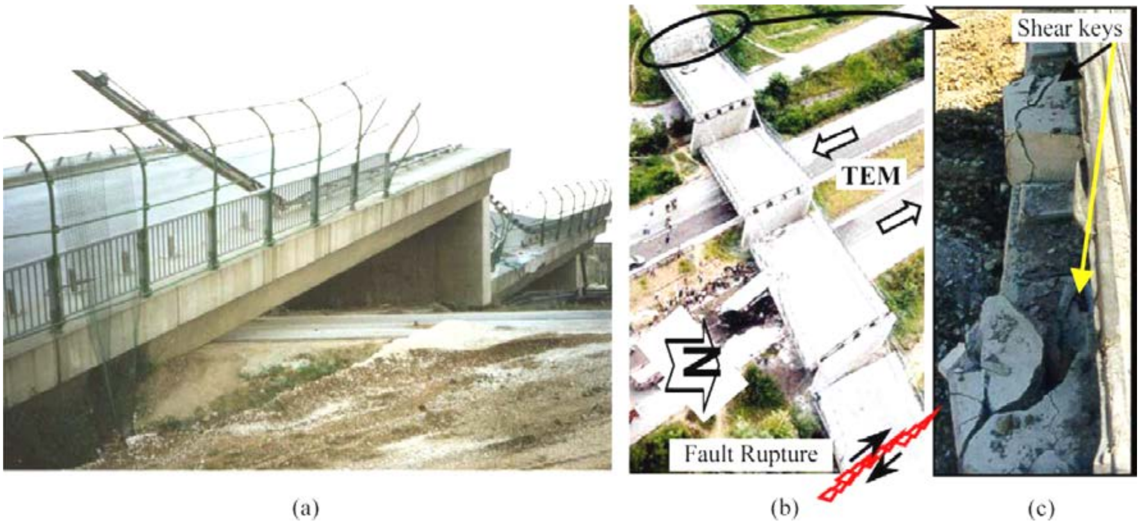


図 3.2-11　断層変位により破壊された Arifiye 橋（Pamuk et al.，2005）

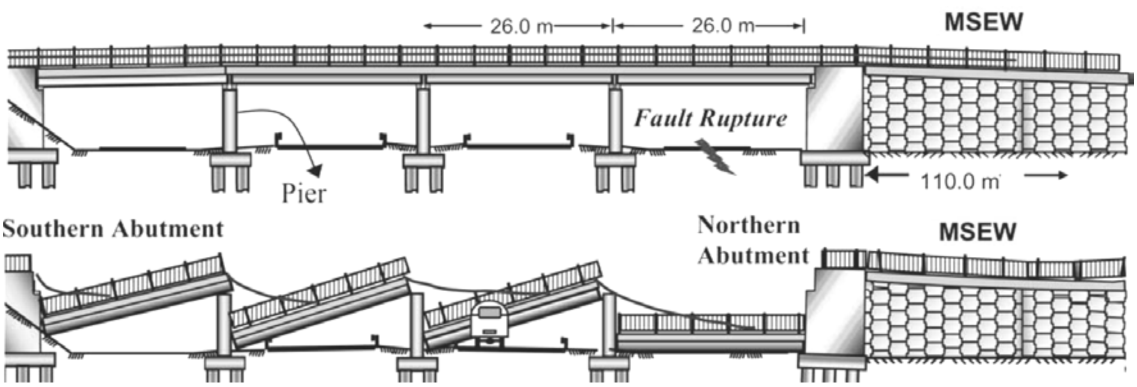


図 3.2-12　地震前後の Arifiye 橋（Pamuk et al.，2005）

3.2.4 **トルコ北西部デュズジエ地震による被害**（土木学会，2015）

コジャエリ地震（1999 年 8 月 17 日）からほぼ 3 ヶ月後の同年 11 月 12 日に，デュズジェ地震（マグニチュード 7.1）が発生した. 横ずれ断層の活動により, 断層が Duzce-Bolu 高架橋を通り，橋脚が水平方向に 1m 強，回転方向 4.6° 程度変位している．橋桁は 1.2m 変位したものの，設計段階から地震が頻繁に発生すると共に断層変位が生じる場所であることが知られており，免震構造が用いられたため，桁自体に大きな破壊

は生じていない（図 3.2-13）.

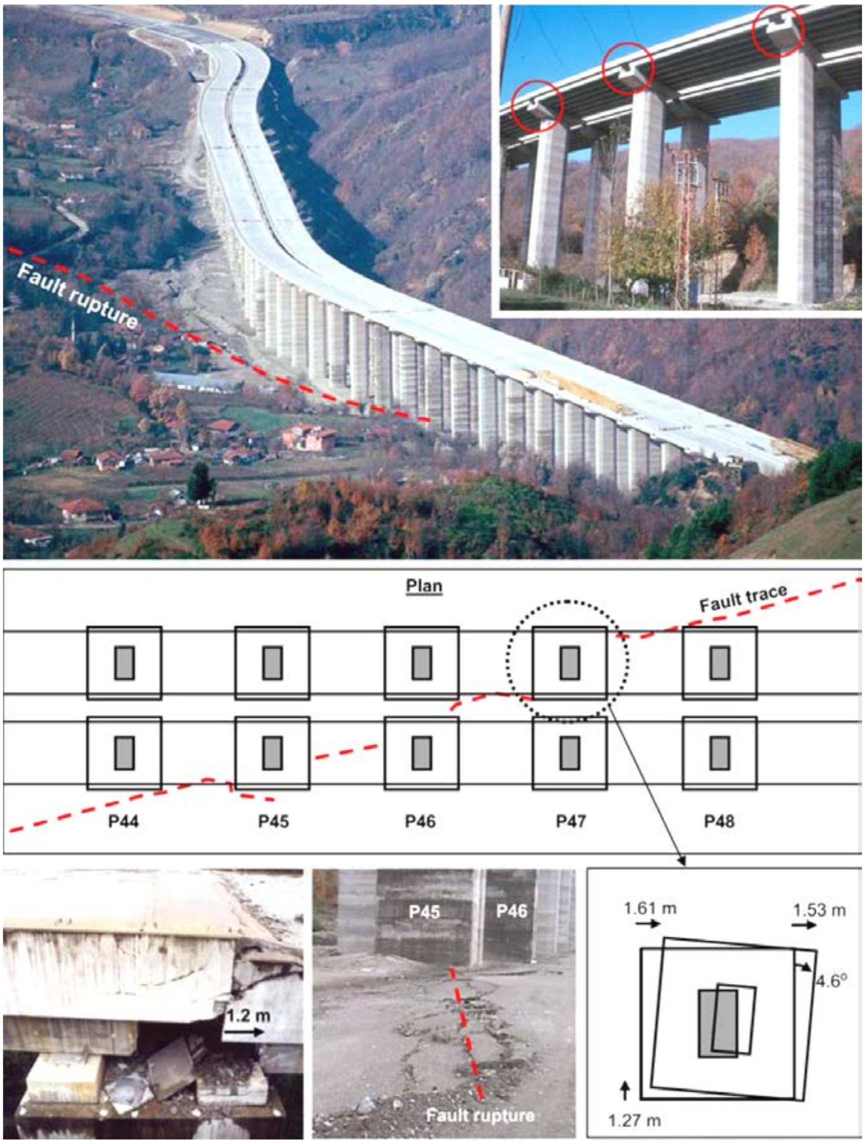


図 3.2-13　断層変位による Duzce-Bolu 高架橋の被害（Faccioli et al.，2008）

3.3 断層変位に対する対策事例

3.3.1 地表地震断層に対する工学的な姿勢・対策

常田（2015）は，地震断層に関して，多段階の評価・判断の必要性，工学的な留意点，基本的な取り組みの姿勢，地震断層対策の検討の流れ，関連する基準類の現況および段階別の対策実例を考察し，地震断層に対する対応の幅広さの明示および理学と工学との連携の必要性などを提示している．

地震断層による変位には，発生変位量と影響変位量があるが，両者の関係は図 3.3-1 の概念図で表せるとし，発生変位量が大きくても影響変位量が小さければ，工学的には問題にはならない場合があるとしている．また，発生変位量あるいは影響変位量に対する取り組みの姿勢は，「吸収する」，「追従する」および「避ける」の 3 つに分類できるとしている．

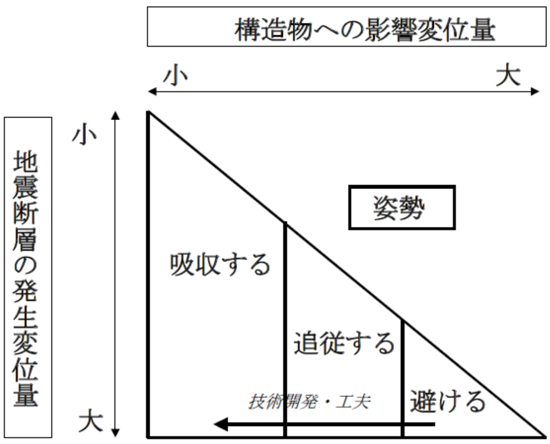


図 3.3-1　地震断層に対する姿勢（常田，2015）

表 3.3-1 は，米国のカリフォルニア州の法を含めて，地震断層に関わる法・条例あるいは代表的な基準類について，制定年順に地震断層に対する規定を整理したものである．ここで，前述の地震断層に対する姿勢である「避ける」，「追従する」および「吸収する」を対応させるとともに，事前対策（計画段階および設計段階）と事後対策（発生直後段階および復旧段階）を区分している．同表から，法・条例で「避ける」を基本とするのはダム，建築物であるが，「避ける」だけでなく，「追従する」，「吸収する」も考慮している基準類も多い．また，対応時期については，事後対応に関するものは 2 例だけであり，事前対応が多い．

表 3.3-1　基準類における地震断層の位置づけ（常田，2015）

制定年	基準類	対応	姿勢	対応時期
1972	アルキスト-プリオロ特別調査地帯法	活断層に沿って特別調査地帯を設定し，居住用の建築物の立地を規制.	避ける	事前
1984	ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針（案）	ダムの位置の変更を含む適切な措置.	避ける	事前
1999	鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計	工学的に必要とされる場合には適切な耐震構造.	追従する 吸収する	事前
2001	実務の先輩たちが書いた土木構造物の耐震設計入門	新設の場合は，迂回の可否. 既設・供用中の場合は，切り回し移設の可否. 不可能か，きわめて難しい場合は，断層を横切る地点での耐震対策を検討. 対策の原理は，可撓性構造の継手により吸収. 耐震対策の実施が困難な場合，遠隔操作による早期異常検知装置を活用し，被害の拡大の防止，災害軽減に最善を尽くすとともに，震後対応を迅速に図る.	避ける 追従する 吸収する	事前事後
2001	建築基礎構造設計指針	敷地内を活断層が横切っている場合は，断層を跨いで建物を建設しない.	避ける	事前
2002	道路橋示方書ｖ耐震設計編：H14版	（今後の調査研究の進展に応じた対応）	－	－
2004	大深度地下の公共的使用における安全の確保に係る指針	活断層上に施設を設置する場合は，影響を把握し，影響の程度に応じて影響を小さくする対策.	追従する 吸収する	事前
2004	ISO TC 98/SC3/WG10 N71 Rev2構造物の設計の基本—地盤基礎構造物の設計に用いる地震作用（和訳）	可能な限り避ける. 避けられない場合は，断層変位，地盤破壊やその他の地盤災害の影響を考慮して，地盤基礎構造物を設計.	避ける 追従する 吸収する	事前
2007	コンクリート標準示方書	地上構造物の場合，構造物の連続化および高強度化等. 地中構造物の 場合，大断面化，二重化，可撓化，構造物と内部施設の絶縁化等の対策. 強制変位が非常に大きい場合は，代替等のソフト面からの対策も併せて考慮.	追従する 吸収する	事前
2008	西宮市の条例	開発区域内に活断層があると判明した場合，建築支持杭，宅地開発位置，調整池の位置を外す，擁壁支持地盤の置換え，建物位置を外すの指導.	避ける	事前
2011	地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案）	影響変位量を吸収する構造あるいは追従する構造により技術的に対処. 技術的な対処が困難な場合は，構造物の位置やルートの見直し，影響変位量を低減する構造および地表地震断層の変位による被害が発生した場合の代替策などにより対処.	避ける 追従する 吸収する	事前 事後

さらに，常田（2015）は，地震断層に対する姿勢別の既往の地震断層対策例を表 3.3-2 のように整理するとともに，以下のように理学と工学の連携の重要性を指摘している.

> 基本的に，必要以上に地震断層を恐れることは無く，地震断層の特性（断層変位量など）が明らかにされれば，ハード対策の可否だけでなく，対応水準の検証が充分に可能である．例えば，現在，原子力発電所について，理学的視点から地震断層の有無だけ，言い換えれば，入口の議論だけで立地の適否が評価されているが，工学的視点によれば，入口からさらに進むことが可能となり，それにより対応の幅が広がり，展開の可能性が出てくる．つまり，理学に止まらず，工学との連携が必須である．

表 3.3-2　地震断層に対する姿勢別の既往の地震断層対策例（常田，2015）

姿勢	構造物	場所等	国名	新・既	断層形態	想定断層変位量		対応段階	対応策	文献
						水平(m)	鉛直(m)			
避ける	鉄道トンネル（山岳）	三義第１トンネル	台湾	新設	―	―	―	計画段階	ルート変更／軽微な損傷	16)
避ける追従する	上水道トンネル	クレアモント・導水トンネル	米国	既設	右横ずれ断層	2.25	0.15	補強計画段階	バイパストンネル	18)
					（主断層幅60ft）	（7.5ft）	（0.5ft）	補強設計段階	覆工増し厚／通水管	
	パイプライン	アラスカパイプライン	米国	新設	右横ずれ断層正断層	6	1.5	計画段階	地上化	19)
								設計段階	滑動支沓	20)
	道路橋	別府市・浜脇跨線橋	日本	新設	正断層	1.09	3	設計段階	橋脚の移設	21)
	上水道 トンネル	神戸市・大容量送水管	日本	新設	逆断層	1.6	0.32	計画段階	ルート変更／直交化	22)
								設計段階	伸縮可撓管	
追従する	道路橋	Corlonｲﾝﾀｰﾁｪﾝｼﾞ高架橋	米国	既設	（横ずれ断層）	不明	―	補強設計段階	橋脚の増設	23)
		Thorndon橋	ﾆｭｰｼﾞｰﾗﾝﾄﾞ	既設	（横ずれ断層）	5	―	補強設計段階	支持ﾌﾚｰﾑ	
		ﾘｵﾝｰｱﾝﾃｨﾘｵﾝ橋	ギリシャ	新設	（横ずれ断層正逆断層）	2	2	設計段階	―	24)
	鉄道橋	東部丘陵線・リニアモーター高架橋	日本	新設	横ずれ断層	1.8	0	施工段階	落橋防止装置	25)
	道路盛土	山形ニュータウン・道路盛土	日本	新設	逆断層	0	1.5（面内）	設計段階	変位後の安定性照査	26)
								復旧段階	縦断・平面線形の矯正補修	
	鉄道トンネル（山岳）	丹那トンネル（在来線：被災）	日本	復旧	左横ずれ断層	（耐用期間中には再活動しないとの判断）		地震直後段階	運転規制・巡回点検	27)
								復旧段階	覆工取り壊し・再覆工・Ｓカーブ設定による中心線食い違い措置	
		新丹那トンネル（新幹線：在来線から50mの離隔）	日本	新設	左横ずれ断層	耐用期間中には再活動しないとの判断		設計段階	ｲﾝﾊﾞｰﾄによる断面閉合・裏込め注入	
								地震直後段階	対震列車防護装置（加速度感震器，緊急停車）	
		稲取トンネル（被災）	日本	復旧	右横ずれ断層	近い時期に再活動がないと判断		復旧段階	盤下げ新断面・鉄筋補強・鋼繊維ｺﾝｸﾘｰﾄ覆工・断面全面閉合・背面ﾓﾙﾀﾙ注入	
	駅舎・ホーム	山陽新幹線・新神戸駅	日本	新設	正断層	―	5cm（1mm／年）	設計段階	余裕幅・自由支承構造・ブロック化	28)
	鉄道トンネル（地下鉄）	仙台市・地下鉄東西線	日本	新設	（撓曲断層）	0.5	0.5	計画段階	断面拡大	29)
		大阪市・中之島新線	日本	新設	逆断層	0	4.0（延長600m）	設計段階	クタイルコルゲート型セグメント／内空拡大0.1m	30)
追従する吸収する	道路トンネル	阪神高速道路公団	日本	新設	逆断層	0	0.9（基盤位置）（面内）	設計段階	対策不要	31)
	共同溝	横須賀市:シールドトンネル（内径3.05m）	日本	新設	右横ずれ断層	1.5	0	設計段階	伸縮可とう管：ステンレス製蛇腹鋼管と鋼管の組み合わせ／全長18m	32)
	ダム	Clyde Dam（重力ダム）	ﾆｭｰｼﾞｰﾗﾝﾄﾞ	新設	正断層	0	0.2	設計段階	スリップジョイント（水平2m，鉛直1m対応）	33)
	道路橋	別府市・富士見通鳥居線１号橋（仮称）	日本	新設	正断層	1.09	3	設計段階	単純桁化・分散型ゴム支承・桁かかり長・落橋防止構造・変位制限構造	34)
					逆断層			復旧段階	桁の移設・支承交換・線形修正	
吸収する	道路橋	Coronado橋	米国	新設	（横ずれ断層）	0.5～0.8	―	設計段階	免震支承	35)
		Benicia-Martinez橋	米国	新設	（横ずれ断層）	1.2	―	設計段階	FPB支承	

表中の文献番号は，常田（2015）の文献番号である．

以下に個別の構造物における対策事例を示す．

3.3.2 ダムの事例

現在の技術レベルでは基礎地盤の変位を考慮したダムの設計法は確立していないため，将来地表面変位を生じる可能性のある活断層の上にダムを建設しないようにするのが唯一の対策である（中村，1991）．しかし，海外では，当該地域にダムが必要不

可欠であるにもかかわらず，代替サイトが存在しない場合には基礎地盤の変位に対する対策を講じた上で建設される例もあり，中村（1991）により複数の対策事例が報告されている. その代表例として, ニュージーランドの Clyde ダムの事例を以下に示す.

Clyde ダムは，1989 年に堤体が完成した堤高 102 メートルの重力式コンクリートダムである（図 3.3-2）．本ダムでは，基礎岩盤の掘削中の 1982 年にダム基礎部に活断層が発見された．このため活断層の可能な滑動量と方向の調査が行われ，その方向で 2m の横ずれと 1m の傾斜ずれを吸収できるスリットがダム本体に設けられた（図 3.3-3, 図 3.3-4，図 3.3-5 参照）．スリットの上流側には，貯水による水圧で押し付けられるくさび状の栓（コンクリート製のウェッジプラグ）をジョイント部に仮留めし，貯水池からの水の流入を防ぐ仕組みになっている（詳細構造は，中村（1991）および Konagai et al.（2007）による JSPS Project report の第 7 章を参照.）.

図 3.3-2　Clyde **ダムの全景**（Amos and Gillon，2009）

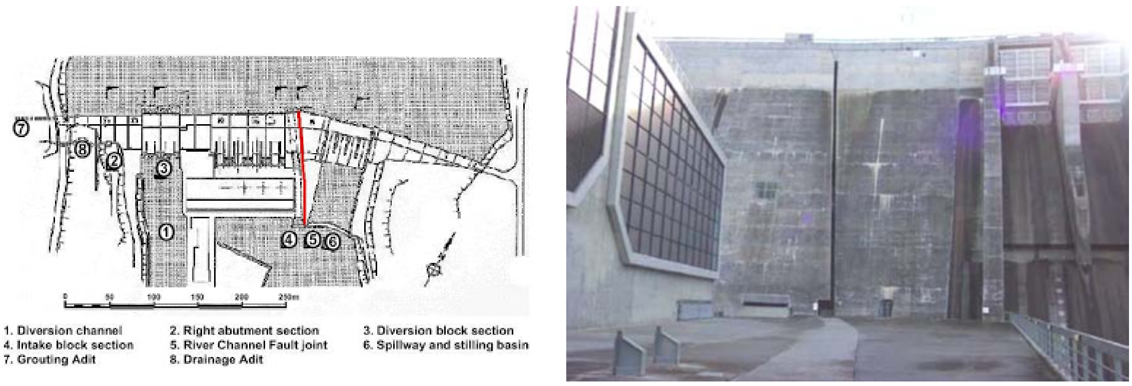


図 3.3-3　スリップジョイントの位置（赤線）と下流側からの写真

（左：http://mightyclutha.blogspot.jp/2009/03/clyde-dam-slip-joint-problem.html，右：Amos and Gillon，2009）

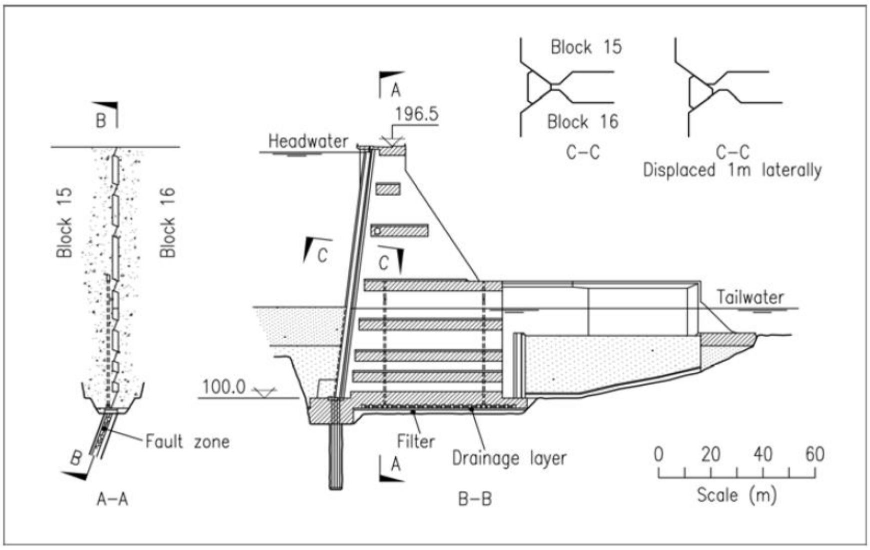


図 3.3-4　スリップジョイントの断面（Hatton et al.,1987）

図 3.3-5　堤体内の幅 2m のスリットと貯水池側のウェッジプラグ
（http://mightyclutha.blogspot.jp/2009/03/clyde-dam-slip-joint-problem.html）

海外における断層直上に建設されたダムの耐震対策事例は，土木学会（2001）でも表 3.3-3 のように整理している．

表 3.3-3　海外における断層直上に建設されたダムの耐震対策事例（土木学会，2001）

ダム名	所在国	ダム形式	堤高	建設年	断層の概要	耐震対策
Coyote 1),6)	USA ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ	ｿﾞｰﾝ型ｱｰｽﾌｨﾙﾀﾞﾑ 農業用水	43m	1936	Calaveras断層の分岐断層の直上に位置 予測変位量：水平4.5m，鉛直1.2～1.5m，開口0.3m	中央部のアースコアを著しく厚く設計．コアの外側を砂礫（3～27m厚）で覆う設計．1936年当時に建設前に耐震対策を実施．
Morris 1)	USA ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ	ｺﾝｸﾘｰﾄ重力式ﾀﾞﾑ 都市用水	99m	1934	San Andreas断層とSierra Madre断層の中間部に位置 ダムサイトで微小地震発生	断層の直上部に特殊ジョイントを配置（0.9mの走向方向変位に対応できる設計）
Palmdale 1)	USA ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ	ｱｰｽﾌｨﾙﾀﾞﾑ 都市用水 農業用水	9.6m (旧) 15.3m (新)	1891 1967 (改修)	San Andreas断層直上 1955年に安全再評価 予測横ずれ：6.1m以上 予測鉛直変位：0.6～0.9m	横ずれ9m，鉛直変位1.5mに対応できるように，センターコアを厚くした．トランジションゾーンには粘着性のない砂礫を使用．
Cedar Springs 1),6)	USA ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ	ﾛｯｸﾌｨﾙﾀﾞﾑ 都市用水 農業用水	76m 原設計 102m	1972	San Andreas断層より8kmの場所に分布 予測垂直変位：0.9～1.5m	ダム高を極力低くした．コアに特別に細粒の粘土を用いて遮水性と耐侵食性を改善．
Auburn 5)	USA ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ	ｱｰﾁﾀﾞﾑ 設計段階	213m	未解決	Bear Mountain断層 予測変位量：0.9m（USGS）	ダム形式を問わず，次の要件を州当局が決定．①M6.5の直下地震に耐える．②基礎岩盤に0.13mの変位が生じても安全性が確保される．
Los Angeles 1)	USA ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ	ｿﾞｰﾝ型ﾌｨﾙﾀﾞﾑ	39.6m	1977	San Fernando断層の活動に伴い断層がダム基礎に生じると予測． 予測垂直変位量：最大2.7m．1.4mの急激な変位を想定	粘着力を全く持たない鉛直ﾄﾞﾚｰﾝ層により，変位追従を可能とした対策工を実施
Clyde 2)	ﾆｭｰｼﾞｰﾗﾝﾄﾞ	ｺﾝｸﾘｰﾄ重力式ﾀﾞﾑ 発電	102m	1989	Dunstan断層（左横ずれ断層） 許容最大水平変位：2m 許容最大鉛直変位：1m	堤体に特殊ジョイントを採用（スリップジョイント）
Steno 9)	ｷﾞﾘｼｬ	ｱｰﾁﾀﾞﾑ	185m	計画中	Steno断層 最大数十cmの変位を予測 50km以内でM6.5の地震	堤体に特殊ジョイント（鉛直および水平）最大1mのズレに対応可能

【表 3.3-3 の参考文献】

1) Leps T. M.：The Influence of Possible Fault Offsets on Dam Design, Water Power & Dam Construction, pp.36~43, April, 1989
2) Hatton J.W., J.C. Black, P.F. Foster：New Zealand’s Clyde Power Station, Water Power & Dam Construction, pp.15~20, December, 1987
5) Bennett J.H.：Crustal Movement on the Foothills Fault System near Auburn, California California Geology pp.177~182, August 1978
6) Sherard J.L., L. S. Cluff, C.R. Allen：Potentially Active Faults in Dam Foundations, Geo-technique 24, No. 3, pp.367~428, 1974
9) 中村康夫：ダム基礎地盤における断層変位(その２)－断層変位に対するダムの設計例－，応用地質，Vol.32，No.1，pp.19～27，1991.4

3.3.3 石油パイプラインの事例（山口，2008）

パイプラインの活断層への設計対応として有名な事例は，アラスカ横断石油パイプラインである．アラスカ横断石油パイプライン（Trans-Alaska Pipeline System：TAPS）は北極海から太平洋に抜ける 1,287km の長さで，1977 年に操業を開始した．このパイプラインは 3 つの活断層を横切ることが調査により判明し，活断層との交差部分には断層変位を吸収する設備が設置された. 2002 年 11 月 3 日に, アラスカで M7.9 の Denali

Fault 地震が発生し，地表地震断層が約 334km に渡って現れ，活断層に沿って水平方向に最大 8.8m，垂直方向に最大 4m の変位が確認されたが，パイプラインと断層の交差部では断層変位を吸収する設備が機能し，パイプラインの破損を免れた．

具体的には図 3.3-7 に示すように，断層を横切る場所には，横方向に Sliderbeam というレールを引き，その上に Teflon shoe という滑りやすく加工した足台を置いてパイプラインが横滑りするようにした．パイプもフレキシブルにし，垂直方向の変位にも対応できるようパイプを支える足台にダンパーをつけた．

設計時に断層変位は垂直方向に 1.5m，水平方向に 6m に達すると予想していたが，2002 年の実際の変位は，垂直方向に 75cm，水平方向に 4.2m であった（USGS，2003）．この対応によりパイプラインの破損は免れ，環境破壊の発生が回避された．図 3.3-7 の左側が地震前，右側が地震後の写真である．

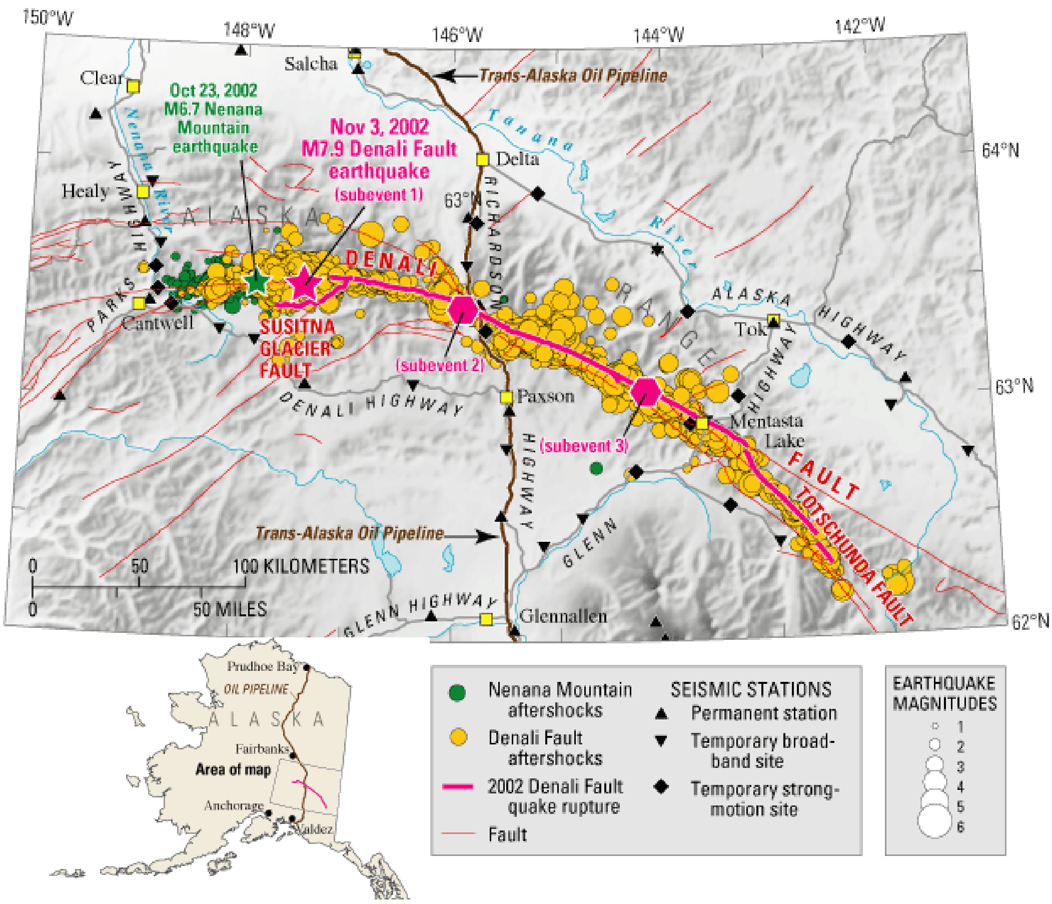


図 3.3-6　パイプラインと断層（Susitna 氷河断層，Denali 断層，Totschunda 断層）の位置関係（USGS，2003）

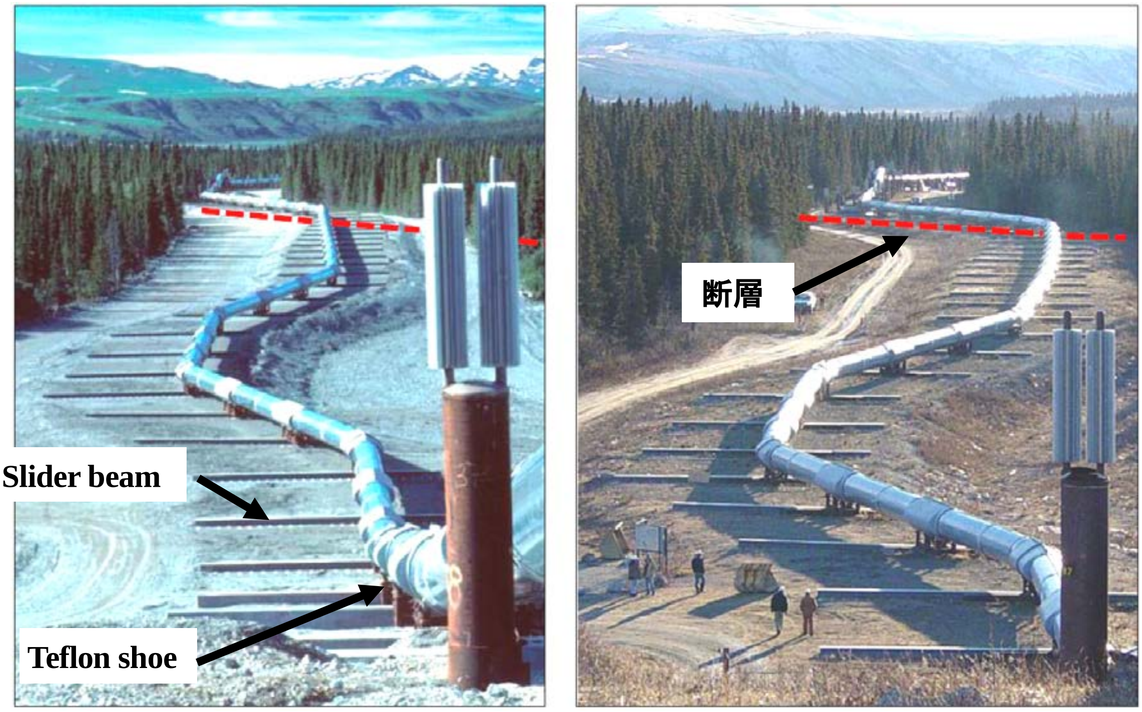


図 3.3-7　アラスカ横断石油パイプラインの活断層対策（Nyman et al.（2014）に加筆）
（左：地震前，右：地震後，赤の破線は断層）

3.3.4 送水管の事例（地盤工学会，2002）

アメリカ／カリフォルニア州では，1971 年のサンフェルナンド地震を受け，1972 年に断層法が制定された．この州法はこれに関わる様々な社会基盤施設で必要な研究と対応を迫るものになった．

その一例として，EBMUD（East Bay Municipal Utility District）が管轄する貯水池（Pardee 湖）からの送水管の断層変位対策がある．この送水管は，図 3.3-8 に示すように，ヘイワード断層とコンコード断層の 2 つの活断層を横切っている．そこで，断層との交差位置に図 3.3-9 に示す遮断バルブと一時バイパス用の連結ホースを設置し，断層による地盤変位が発生したとしてもバルブ操作により送水遮断を防止する対策を施している．

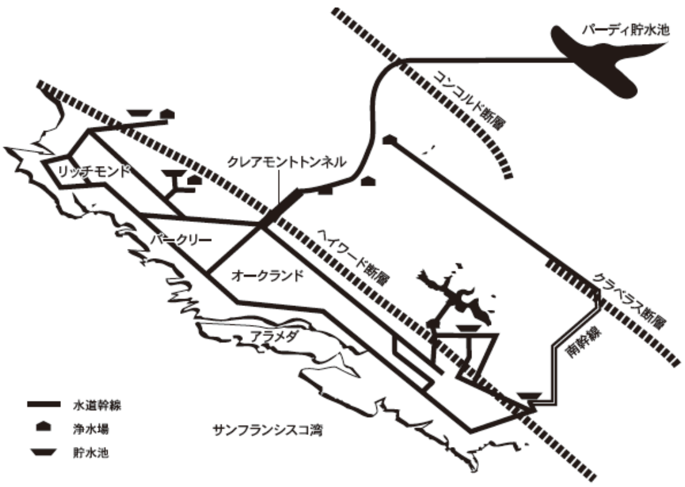


図 3.3-8　送水管と断層の位置関係（濱田，2015；Diemer（1998）原図）

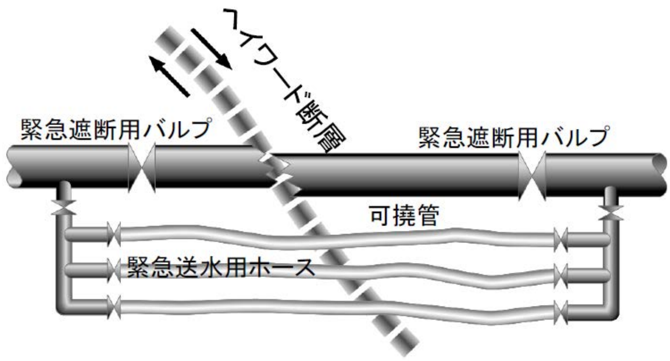


図 3.3-9　緊急時の遮断用バルブと送水用ホース（濱田，2015；Diemer（1998）原図）

3.3.5 リニアモーターカー高架橋の断層対策（常田，2015）

愛知万国博覧会に向けて新設された東部丘陵線（延長 9.15km）では，リニアモーターカー高架橋の工事中に活断層の存在が明らかとなり，断層を考慮した対策がとられた．

高架橋は，桁長が 209.6m の 7 径間連続 PC 中空床版桁であり，支承は反力分散ゴム支承である．断層と高架橋の交差部を図 3.3-10 に示すが，断層は P6-14 橋脚と P6-15 の中間で，橋軸と 35°33’の交差角で横断しているものの，フーチング基礎底面と断層は離れているため基礎への影響はないとされた．断層は右横ずれ断層であり，ずれは橋桁の圧縮方向に変位する．推定された断層の（発生）変位量は 1.8m であり，橋軸方向および橋軸直交方向の（影響）変位量は，それぞれ 1.45m および 1.05m と算出された．

この断層変位の対策の検討に際して，施工中で大きな構造変更は困難であることから，落橋防止装置の設置が行われた．しかし，橋軸方向および橋軸直角方向のいずれも，断層により発生する変位量を吸収できないため，上部工の損傷は避けられないが，上部工の 2 箇所で塑性ヒンジが発生すると想定し，これにより断層変位量が吸収されて，落橋が生じる可能性は少ないとされた．

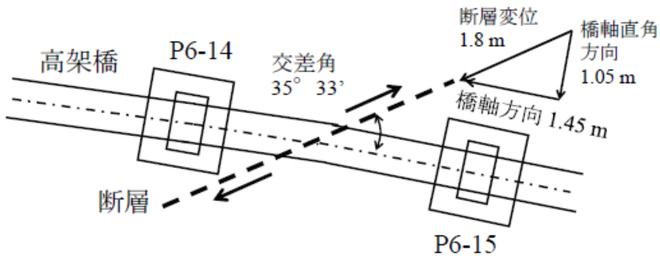


図 3.3-10　高架橋と交差する右横ずれ断層（常田，2015）

3.3.6 鉄道シールドトンネルに対する断層変位対策（畔取ほか，2008）

京阪電気鉄道の中之島線は，南北方向に分布する上町断層中を東西方向に通過するシールドトンネルである．地盤調査の結果から，当該区間における上町断層の最大断層変位は水平距離 700m 区間で 4m と推定されている．

この断層変位に対し，土被り設計により決定されたセグメントの安全性照査が実施された．応答値の算定は弾性床上梁モデルにより算定し，トンネルの等価曲げ剛性に

ついては鉄道シールド基準（鉄道総合技術研究所，1997），地盤ばねについては共同溝設計基準（日本道路協会，1986）により算出した．その結果，土被り設計で決定された「RC 平板型セグメント」と「ダクタイルコルゲート型セグメント（DC セグメント）」の組み合わせでは，最大断層変位を 1m と仮定しても耐力不足となるが，すべて DC セグメントとした場合には最大断層変位を 4m としても耐力以内となることが示された．

また，最大断層変位を 4m，1m とした場合の地震後縦断線形とその線路縦断勾配の関係を求めた結果，最大断層変位 4m の場合には最大縦断勾配は約 4.4%程度となり，鉄道トンネルとしての機能回復には大規模な改修が必要となる．最大断層変位が 1m の場合には最大縦断勾配は 4.1%程度であり，軌道線形の改修により鉄道トンネルとしての機能回復が見込まれる結果となった．

本トンネルの耐震性能を，鉄道耐震設計基準（鉄道総合技術研究所，1999）に準拠して表 3.3-4 に示すように設定した結果，断層変位対策としては，耐震性能ⅡおよびⅢに対し DC セグメントを配置し，耐震性能Ⅱの機能回復の手段としてトンネル内空を 100mm 広げることとしている．

表 3.3-4　トンネルの断層変位に対する耐震性能（畔取ほか，2008）

耐震性能	目標とする性能
耐震性能Ⅱ	最大断層変位 1m の場合を想定する．構造的には地震後に補修を行うと共に，縦断線形に対して軌道改修を行い，鉄道トンネルとしての機能回復を図る．
耐震性能Ⅲ	最大断層変位 4m の場合を想定する．残留変位により大規模な改修が必要となるが，人命尊重の観点からトンネルの崩壊を防止する．

DC セグメントの例を図 3.3-11 に示す．ダクタイルセグメントは主桁，継手板，スキンプレートおよび縦リブがすべて鋳造により一体成形されたものである．セグメントの形状としては，箱形のほかに，その横断面が波形をしているコルゲート形のセグメント（DC セグメント）があり，このセグメントは外径側の凹部にコンクリートが充填されている．セグメント外径は約 4m から 12m 程度まで幅広く使われているが，強度が強く剛性が高いために，主に軟弱地盤中のトンネルやトンネル断面のうちの重荷重部および急曲線部などの特殊部に使用されている（佐藤，2003）．

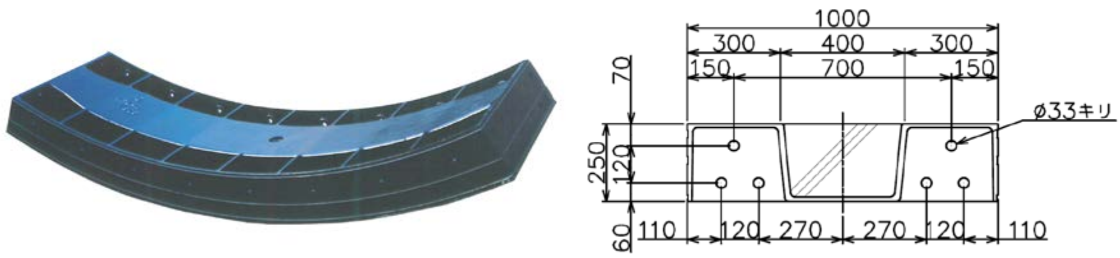


図 3.3-11　ダクタイルコルゲート型セグメントの例（左：外観，右：横断面）（佐藤，2003）

3.3.7 活断層を通過する太田和配水幹線築造工事（猪狩，1996）

横須賀市水道局による太田和配水幹線は，図 3.3-12 に示すように複数の断層を横断していることから，その横断部等では断層変位対策が実施されている．なお，武山断層は，右横ずれ，長さ 10km，活動度 A ランクとされ，この断層が動くことによって発生する地震の規模は，M7 の直下型，断層変位は 1.5m 程度と推定されている．

本工事は，外径 3,480mm，延長 2830m，土被り 9～66m，セグメント内径 3,050mm の下半に水道管，上半に下水道管，通信用サヤ管，および点検歩廊を築造するものである．シールド断面図を図 3.3-13 に示す．

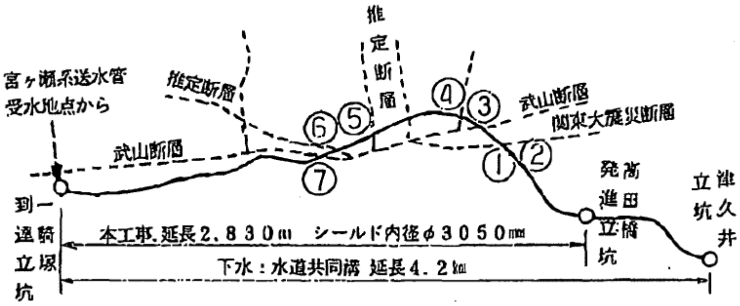


図 3.3-12　太田和幹線（共同溝〉ルートと断層との位置関係（猪狩，1996）

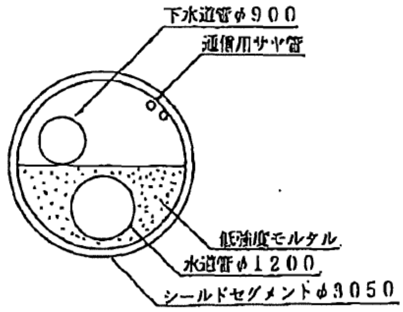


図 3.3-13　シールド断面図（猪狩，1996）

下半に設置する水道管には，水道用モルタルライニング鋼管を採用し，断層との交差部 3 箇所，地盤物性の境界部 2 箇所，推定派生断層部 2 箇所の合計 7 箇所に，断層の挙動に追従できる伸縮可とう管を設置した．この伸縮可とう管は，1 セットにつき 1,600mm の「軸ずれ」および，±80mm の「伸縮」に追従できるもので，幹線と同径，同厚のステンレス製蛇腹管と鋼管を組み合わせたものである（図 3.3-14）．また，伸縮可とう管の稼働を容易にするため，中詰めはコンクリートでなく低強度のエアーモルタルを使用している．

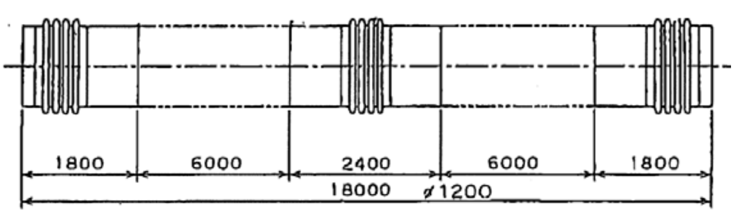


図 3.3-14　伸縮可とう管の組み合わせ（猪狩，1996）

3.3.8 活断層を通過する神戸市の大容量送水管（浜村ほか，2010）

神戸市は，1 日に必要な水の約 4 分の 3 を琵琶湖・淀川水系を水源とする阪神水道企業団から受水しており，六甲山麓を東西に通る 2 本の送水トンネル（山岳トンネル）を使用して送水している．この既設の送水トンネルとの危険分散を図るため，新たに市街地の地下深くを通る耐震性の高い送水幹線を整備する大容量送水管整備事業が，平成 8 年度から開始された．本事業は，全国で初めて「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」（通称：大深度法，2001 年施行）が適用され，奥平野工区の断層横断部では「断層用鋼管」が初めて採用されている．

本トンネルの断面形状は，図 3.3-15 に示すようにセグメン外径 3.35m のシールドトンネル内に口径 2.4m（管厚 18～22mm）の水道用鋼管を布設し，空隙部には発泡モルタルを充填している．断層用鋼管が採用された奥平野工区のルートと断層の位置関係を図 3.3-16 に，断層用鋼管の変形イメージを図 3.3-17 に示す．

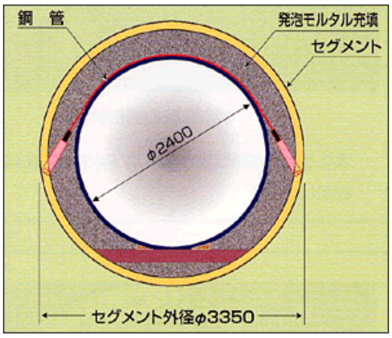


図 3.3-15　大容量送水管の本線断面図（芦屋市境から奥平野立坑区間）（神戸市，2016）

図 3.3-16　奥平野工区のルートと断層の位置関係（神戸市水道局ほか，2012）

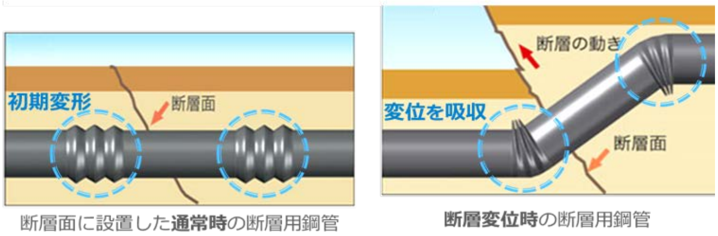


図 3.3-17　断層用鋼管の変形（神戸市水道局ほか，2012）

3.3.9 可とうセグメント

シールドトンネルでは，免震や沈下対策を目的として，セグメントリング自身が可とう性を有する可とうセグメントが開発されている（飛島，2005）．本セグメントは断層変位対策としても活用できる可能性があるので，その概要を以下に示す．

霞ヶ浦導水事業のうち石岡トンネル（第２工区）新設工事では，立坑とトンネル接合部の免震を目的とした内水圧対応型の可とうセグメントを開発し，適用している．

本工事の覆工構造は，二次覆工を省略した構造で，トンネル内径がφ3,500mm，一次覆工厚さは 200mm である．一般部のセグメントはコンクリート中詰め鋼製セグメントを採用している．立坑とトンネル接合部に適用された可とうセグメントは，図 3.3-18 に示すように２つの鋼製リングで止水ゴムを挟む構造で，主構造は鋼製部材で構成されている．その可動性能は以下の通りである．

・トンネル軸方向：±60mm

・トンネル軸直角方向：±100mm

トンネルには，最大外水圧 0.6Mpa，最大内水圧 0.3Mpa が作用する．品質確認試験として，可とう部の可動性能確認試験（図 3.3-19）や止水ゴムとセグメントシール材との接合部に着目した止水確認試験を行い，0.6Mpa 以上の止水性を確認している．

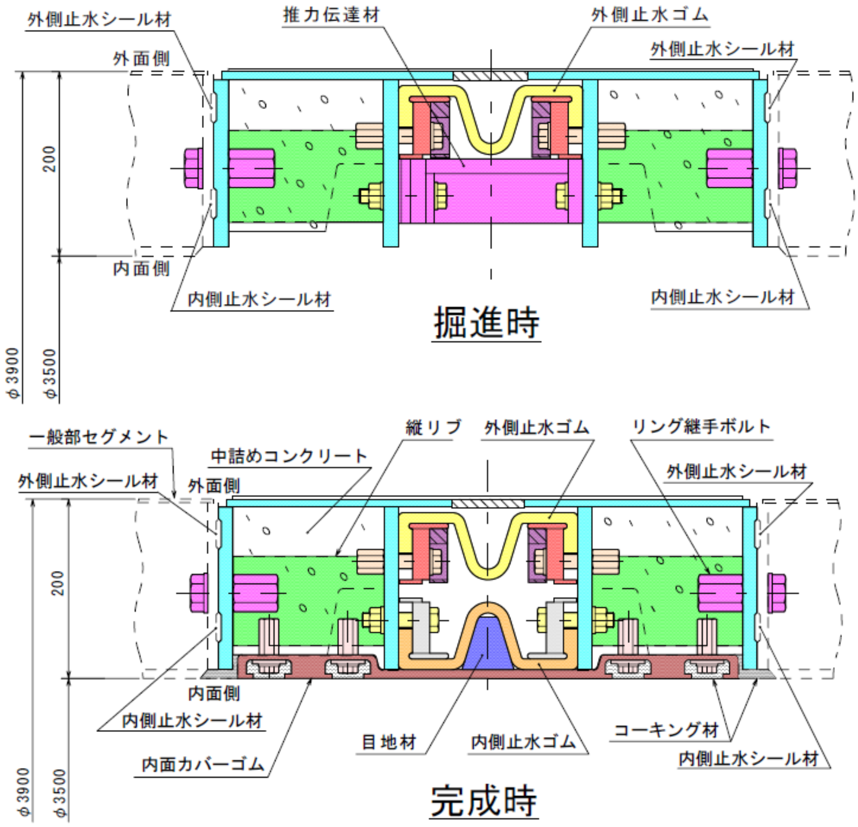


図 3.3-18　内水圧対応の可とうセグメント（飛島，2005）

図 3.3-19　可とう部の可動性能確認試験（せん断方向 100mm）（飛島，2005）

3.3.10 損傷制御型鋼製セグメント

前項で示した可とうセグメントでは，止水ゴムの長期耐久性に関する懸念があることから，鋼製セグメントの縦リブ変形による変位吸収機構を有する損傷制御型鋼製セグメントが開発されている．

本セグメントが適用されたのは，阪神高速道路（株）による大和川線シールドトンネル（No.1 立坑～No.2 立坑区間，延長約 2.0km，セグメント外径 φ 12.230m）である．本シールドトンネルでは，上町断層を震源とする最大級シナリオ地震動に対する最大軸ひずみを求めた結果，地盤ひずみが大きい領域のセグメント構造変化点 3 箇所において，コンクリートの軸圧縮ひずみが終局ひずみを大きく上回ったことから，その 3 箇所に損傷制御型鋼製セグメントが適用された．

本セグメントの縦断方向の断面性能（縦リブ他）は，レベル 2 地震動の発生軸力以上の耐力を有するが，最大級シナリオ地震動では座屈（降伏）する性能となっている．図 3.3-20 に圧縮変形のイメージを示す．縦リブの座屈にともなう圧縮変形により，トンネル軸方向のひずみを許容値内に収める一方で，セグメントに必要以上の変形を生じさせずに損傷を制御する観点から，所定の圧縮変形以上の変形に抵抗する部材（軸力伝達材）を設けている．

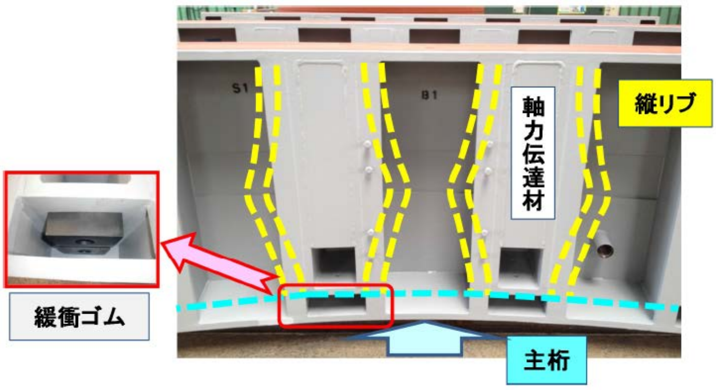


図 3.3-20　損傷制御型鋼製セグメントの圧縮変形のイメージ（新名ほか，2014）

3.3.11 中央新幹線における断層変位対策

現在建設中の中央新幹線においても活断層を避けたルート選定は不可能である．地元の方を対象にした中央新幹線の説明会において「活断層を横切ることが心配です」という質問が出されたが，それに対しては下記のように回答している（ＪＲ東海ホームページ）．

・昭和 49 年から当時の国鉄が，また平成 2 年からは当社と鉄道建設公団が地形・地質調査を行っており，これまで長期間，広範囲にわたり綿密にボーリング調査等を実施し，関係地域の活断層の状況について十分把握しています．
・日本の国土軸を形成する新幹線や高速道路といった幹線交通網は，広域に及ぶ長距離路線という性格から，すべての活断層を回避することは現実的ではありません．
・したがって，中央新幹線のルートの選定にあたっては，これまでの調査に基づき，活断層はなるべく回避する，通過する場合は活断層をできる限り短い距離で通過するようにし，さらに活断層の形状等を十分に調査したうえで，通過の態様に見合った適切な補強を行っていくなど，注意深く配慮して工事計画を策定していきます．

ここでは，「活断層はなるべく回避する」，「通過する場合は活断層をできる限り短い距離で通過する」，「活断層の形状等を十分に調査したうえで，通過の態様に見合った適切な補強を行う」という３つの方針が示されている．

3.3.12 活断層に近接または交差する新幹線トンネルの断層対策

(1) 国土交通省鉄道局

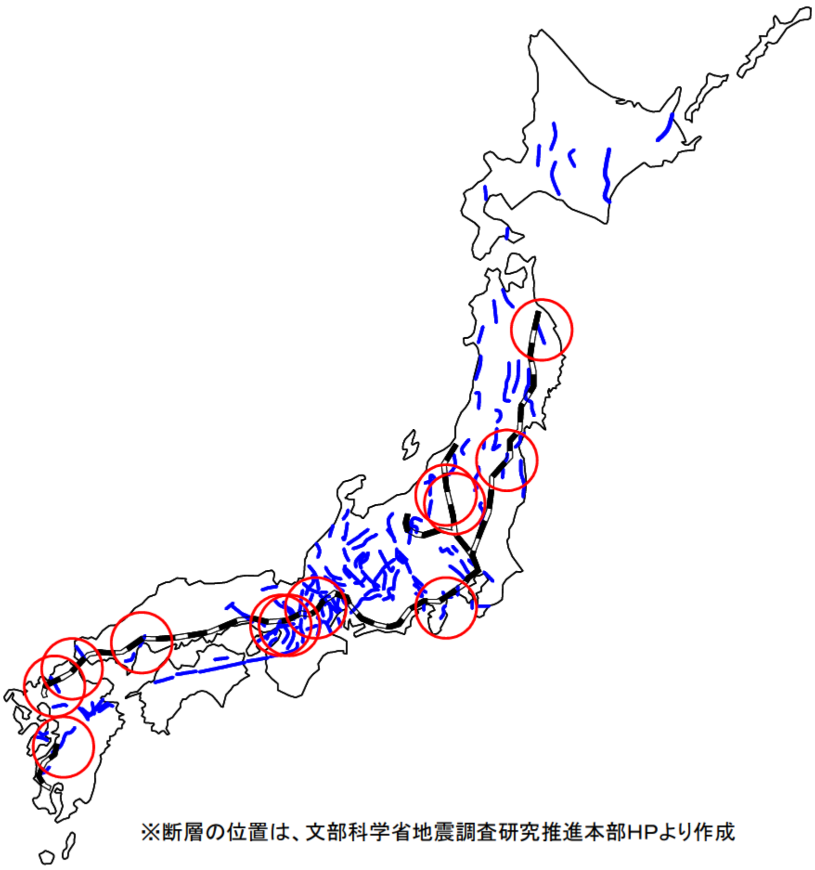
2004 年 10 月の新潟県中越地震において発生した上越新幹線における列車脱線事故に鑑み国土交通省鉄道が設置した「新幹線脱線対策協議会」による新幹線脱線対策に係る中間とりまとめ（国土交通省鉄道局，2005a）では，以下の方針を提示している．

山岳トンネルの活断層との交差状況について実態調査を行った結果，12 箇所のトンネルにおいて活断層と交差していることが確認された．
今後，これらトンネルについて詳細調査を行い，必要に応じ，裏込注入工，ロックボルト工等の対策を実施する．

新幹線山岳トンネルの実態調査によれば，活断層と交差するトンネルの数は 12 となる（表 3.3-5 および図 3.3-21 を参照）．

表 3.3-5　新幹線山岳トンネルの実態調査結果（国土交通省鉄道局，2005b）

	ＪＲ東日本		ＪＲ東海	ＪＲ西日本	ＪＲ九州	計
活断層と交差するトンネル	東北新幹線	上越新幹線	東海道新幹線	山陽新幹線	九州新幹線	
	2	2	2	5	1	12



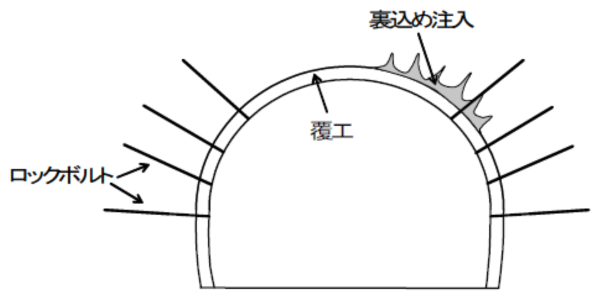


図 3.3-21　新幹線山岳トンネルの実態調査結果と対策例（国土交通省鉄道局，2005b）

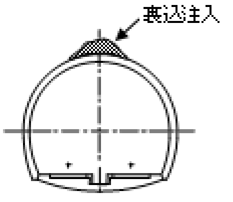
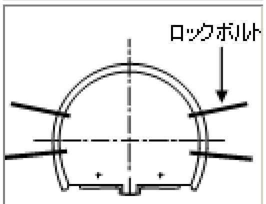
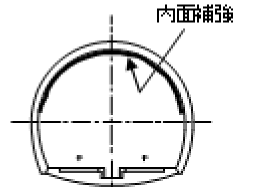
(2) ＪＲ東日本

ＪＲ東日本では，2004 年 12 月に社内に「新潟県中越地震鉄道トンネル被害原因調査等検討会」を設置し，トンネルの被害原因の究明および耐震対策の検討を行った．

その結果，上述の中間とりまとめを受けて，活断層と交差する新幹線トンネルの補強対策として，表 3.3-6 に示すような対策を行うとしている．この対策は，新潟県中越地震と同程度の地震が発生した場合にトンネルの覆工コンクリート崩落等の被害を防止することを主眼としたものである．

ＪＲ東日本では，トンネル覆工背面の状況を調査した結果，背面空隙への充填（裏込注入工）が必要な 2 トンネル（東北新幹線の蔵王トンネル，上越新幹線の塩沢トンネル）を特定し，2005 年度中に施工するとしている．

表 3.3-6　新幹線トンネルの耐震対策の考え方（ＪＲ東日本，2005）

<table>
<tr><td colspan="2">補強対象トンネルの抽出</td><td colspan="3">1:存在の確実さと過去の活動度合いから選定した活断層から水平距離で 5km 以内に入る
新幹線トンネルを抽出する
2:上記トンネルの地質条件，構造条件等から対策区間を絞り込む
3:1，2 で抽出された箇所に対して電磁波探査等の調査を行い，対策内容を決定する</td></tr>
<tr><td rowspan="4">対策内容</td><td>対策方法</td><td>裏込注入工</td><td>ロックボルト工</td><td>内面補強工</td></tr>
<tr><td>略図</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>対策箇所</td><td>背面に空隙があり，かつ土被りの浅い箇所</td><td>インバードがない箇所</td><td>アーチ部の覆工の補強が必要な箇所</td></tr>
<tr><td>効果</td><td>トンネル覆工にかかる地圧を分散，均一化させ，局所的な応力集中による覆工の破壊を防ぐ</td><td>打設したロックボルトがインバードの代わりとなってトンネルの構造強化を図る</td><td>覆工を内面から補強し，覆工強度を増加させる</td></tr>
</table>

3.3.13 鉄道・道路における断層変位対策のヒアリング結果

日本放送協会の山口（2008）は，2007 年 3 月 8 日に放送した NHK ニュース番組の取材に基づく各機関，専門家のコメントを示している．これは，断層のずれに対して鉄道や道路でどのような対策がとられているかを取材した結果である．

① 鉄道

JR 東海のコメントは，「阪神淡路大震災後，橋脚や盛土部分の補強を行ったが，断層部分で 3m 縦にずれると構造物だけで被害を抑えるのは難しい．新幹線は，最高速度 270km から停止するまでに約 1 分半かかる．地震の揺れをすばやくキャッチして列車を早く止め，そこに差し掛からないよう努力している．2007 年 3 月までに従来の倍となる沿線 10km に 1 箇所の割合で地震計を設置した．」というものである．リアルタイム地震学を利用して，情報で災害軽減を図ろうとしていると報告している（山口，2008）．

② 道路

道路において断層のずれによる被害を最小限にするためには，高架式よりも盛土構造のほうがクッションとなって被害が少なくなると考えられている（山口，2008）．ところが，中日本高速道路株式会社は，「活断層の数メートルのずれに追随するような構造はとっていない．既に開通している区間で橋梁区間を盛土に直すとお金もかかる．そこまで必要な状況も，学術的に明確になっていない」と対策に否定的だったと報告している（山口，2008）．

3.3.14 新神戸駅の事例（池田，1971）

六甲山を長大なトンネルで縦断する山陽新幹線は，神戸市布引付近で南麓に顔を出

し，ここに新神戸駅が建設されている．駅の直下に六甲山塊と平野部を境する諏訪山断層が存在し，地質学的なデータからこの断層が活断層である疑いが大きいので，駅部分の高架橋の基礎はこれらの複雑な地質条件を考慮して設計が行われた．

図 3.3-22 に，新神戸駅の高架橋基礎の断面と地質を示す．基礎下全長約 100m にわたって平均 5m 幅の断層粘土が存在し，断層の山側は布引花崗閃緑岩，海側は大阪層群の砂レキ粘土互層があり，さらに断層粘土層と大阪層群を覆って沖積扇状地堆積物が存在している．

これらの特殊な地盤条件に対応するため，図 3.3-22 に示すように完全に花崗岩上に基礎が乗る山側プラットホーム部分と，完全に沖積層上に位置する海側プラットホーム部分は，中央の本線高架橋部分と構造的に独立した別の構造物とされた．また，本線高架橋は花崗岩，断層粘土，沖積砂レキ層の三つの地盤反力の異なる地盤上にまたがり，反力の相違と活断層による変位のため不同沈下を生じる可能性が高いので，剛性の大きい中空式大型ベタ基礎が用いられた．

断層の活動による地盤の変位に対しては，本線高架橋下の横断方向で最大 5cm の不同沈下を生じるものと仮定して設計が行われた．これにより図 3.3-23 に示されるように最大時，垂直から 0° 23’の傾斜が生じ，本線高架橋上では水平変位約 10cm 余を生じることになる．この水平変位に対しては，軌道は道床バラストを介して支持されているので，軌条をバラスト中を移動保守することにより正規の軌道中心を維持することが可能なように高架橋幅に余裕がとられている．

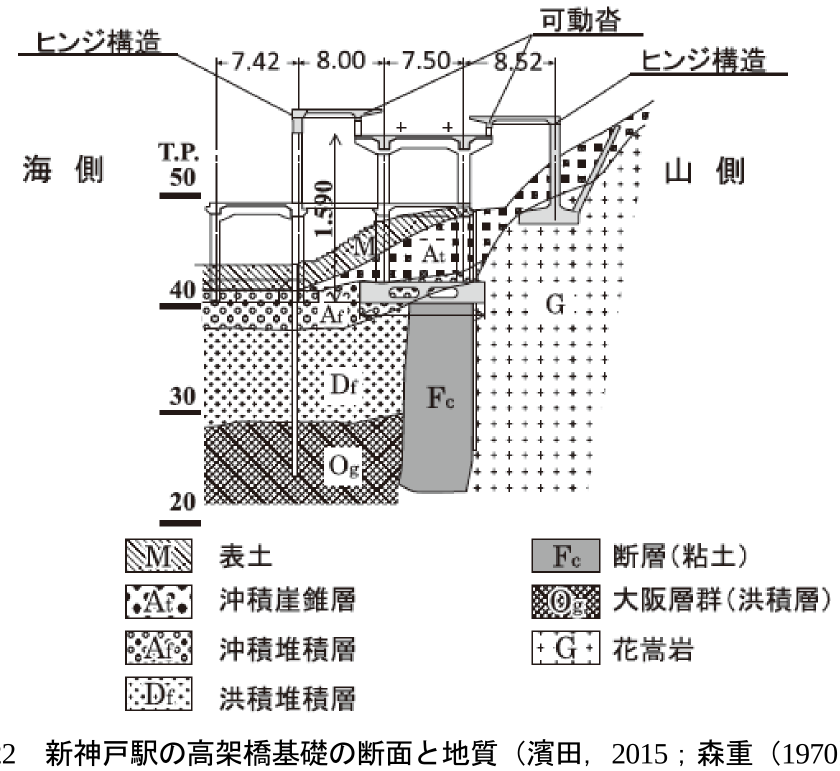


図 3.3-22　新神戸駅の高架橋基礎の断面と地質（濱田，2015；森重（1970）原図）

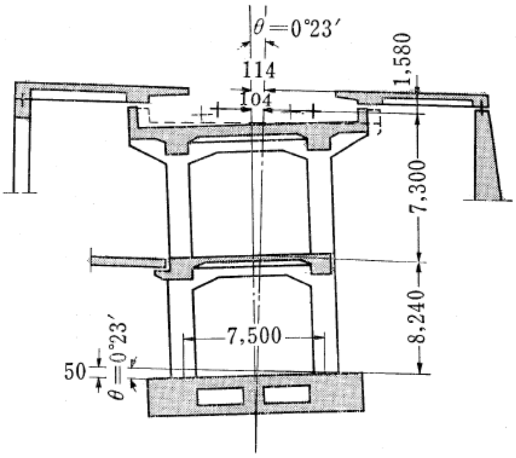


図 3.3-23　断層活動による高架橋の傾斜仮定（池田，1971）

3.3.15 断層直上での構造物破壊のメカニズム（八尾・村山，2012）

具体的な断層変位に対する対策事例ではないが，断層直上に位置する一般の建築構造物への影響評価の手法として，八尾・村山（2012）の手法を紹介する．

断層直上に構造物を計画することを余儀なくされた場合には，次のような対策が考えられる．

① 構造物が断層を跨がないように配置する

② 断層を跨ぐことが避けられない場合には，その部分を静定構造化する．

このような断層対策としての構造形式を「分離型」と称している（図 3.3-24（左））．分離型は主として，構造強度が十分でない建造物に適用されると効果的な構造形式である．

それに対し，十分に剛強な構造体の場合には必ずしも分離型とする必要はない．剛強な構造体が，ある程度以上の層厚を持つ堆積層上に建つ場合には，直下に断層があっても断層すべり線は構造体を破壊させることなく，建物の側辺に沿ってその建物を迂回するように現れることが，兵庫県南部地震やトルコで発生したコジャエリ地震による被害事例（図 3.2-9 参照）から示されている．つまり，堆積層中のせん断面は建物を切断する方向に発生するのではなく，図 3.3-24（右）に示すように剛強な建物を避けるように側辺に向けて断層による変位面が発生する．

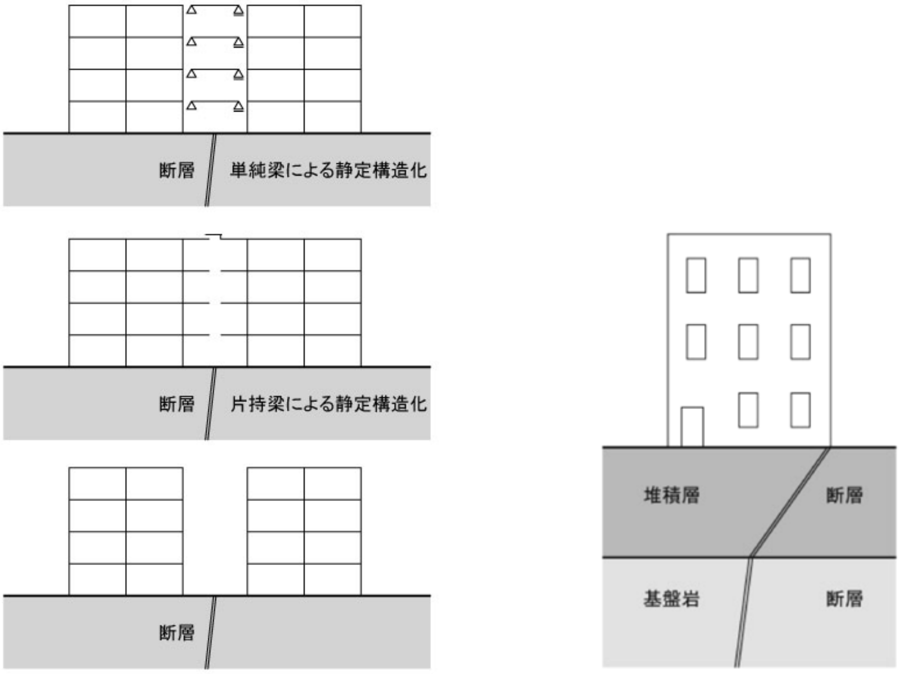


図 3.3-24　断層変位対策としての分離型（左）と剛強型（右）の例（八尾・村山，2012）

したがって，堆積層上にその地盤強度に見合った剛強な構造物を作っておけば，その構造体は断層が滑った場合にも破壊されずに安全でありうるということである．ただし，このような対策が成立するのは横ずれまたは上下ずれ変位が比較的小さい断層の場合に限る．

さらに，八尾・村上（2012）は，断層変位を迂回させるような剛強型構造物を設計する方法を提案している．図 3.3-25 は断層直上にある堆積層と構造物を概念的に示したものである．断層が滑ったとき，堆積層と構造物に発生する破壊面としては，以下に示す 3 ケースが考えられる．

●ケース①：破壊面が ADD'A'で発生し，構造体は破壊される

●ケース②：破壊面が ACC'A'で発生し，断層面が構造体の側辺に避ける

●ケース③：破壊面が ABB'A'と BCC'B'の面で発生し，構造物底面と地盤の間に滑り面が発生する

ケース①の破壊を発生させるのに必要なせん断力を F_1 とし，ケース②の場合を F_2，ケース③の場合を F_3 とする．このとき，現実に発生する破壊は F_1，F_2，F_3 の最小値の面において発生する．F_1，F_2，F_3 は下式のようになる．

$$F_1 = \tau_u \cdot H \cdot L + Q_b \cdot L$$
$$F_2 = \tau_u \cdot L\sqrt{H^2 + B^2}$$
$$F_3 = \tau_u \cdot H \cdot L + f \cdot B \cdot L$$

ここで，

τ_u：土のせん断強度（tf/m²）

Q_b：構造全体を断層方向にせん断する場合の，断層方向単位長さあたりの構造体の

せん断強さ（tf/m）

B：基盤岩の断層の直上にある構造体の位置から側辺までの近い側の距離（m）

f：構造体の基礎底面における地盤との摩擦強度（tf/ m^2）

H：一様な強度を持つとみなすことができる堆積層の厚さ（m）

例えば，ケース②のように構造物が断層によって破壊されないためには，$F_2 < F_1$ より，構造体の断層方向のせん断強度 Q_b は下式を満たさなければならない．

$$Q_b = \tau_u \left(L\sqrt{H^2 + B^2} - H \right)$$

このように，地盤の強度 τ_u と構造体の強度 Q_b または基礎底面での摩擦強度 f，堆積層の厚さ H，建物の幅 B との相互の大小関係によって，断層直上の構造物が断層による地盤変形によって損傷を受けるか否かを判定することができる．

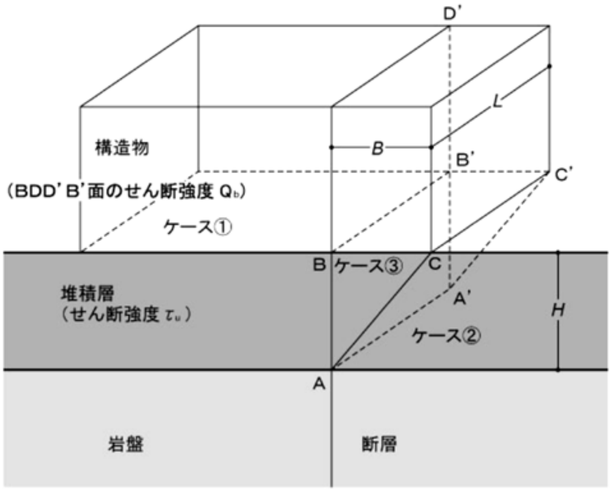


図 3.3-25　堆積層中に破壊面（断層）が発生する形態（八尾・村山，2012）

3.4 断層変位に対する考え方と工学的な対策

各種構造物における断層変位の取り扱いと調査範囲は，表 2.1-7～表 2.1-9 に示したとおりである．さらに，断層変位対策については 3.3 節で個別の事例を紹介している．本節では，これらの情報に基づき，原子力関連施設以外の土木構造物における断層変位に対する考え方と断層変位対策との関連性について整理した．

表 3.4-1～表 3.4-3 に，各種構造物における断層変位の取り扱いと対策方法として取りまとめた結果を示す．

表 3.4-1　各種構造物における断層変位の取り扱いと対策方法(1)

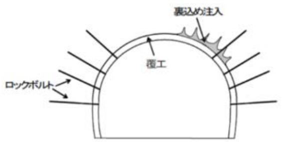
構造物	断層変位の取り扱い	ハード対策	ソフト対策	指針・規定類
石油・ガス貯蔵施設（地上）	断層変位に関する記述はない.	－	－	・高圧ガス設備等耐震設計基準(告示 515 号 S56.10，告示 236 号 H23.12) ・製造設備等耐震設計指針,2012.3 ・高圧ガス導管耐震設計指針,2013.4
高圧ガス導管	断層変位に関する記述はない.	－	－	・高圧ガス導管耐震設計指針，JGA 指-206-13，日本ガス協会，2013
石油・ガス貯蔵施設（地下空洞）	断層変位に関する記述はない.	－	－	・岩盤タンクの安全確保に関する調査報告書，土木学会，1986.9 ・水封式燃料地下貯蔵施設技術指針，電気事業連合会，1980.3
地下構造物（全般）（対策を明示）	断層変位を予測し，十分な技術的対策を施すことは困難であることが多いのが現状.	断層による影響変位量を吸収する構造あるいは追従する構造により技術的に対処. 技術的な対処が困難な場合は，拡幅やダブルルート化などのシステムとしての対応.	復旧期間短縮のためのソフト的対応，構造物の位置やルートの見直し，被害が発生した場合の代替策等で対処.	・土木構造物耐震設計ガイドライン（案）－耐震基準作成のための手引きー，土木学会，2001.9 ・地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案），土木学会，2011.9
トンネル（新幹線以外）	考慮すべき断層変位に関する記述はない.	－	－	・トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説，土木学会，2006.7
トンネル（新幹線）（対策を明示）	活断層と交差する場合には，ハード・ソフト面で対策. 	確実度 I かつ活動度 B 以上の活断層と交差している新幹線トンネルを対象とし，活断層交差箇所から前後 100m 区間に対して対策工を実施. 活断層と交差していることが確認されたトンネルについて詳細調査を行い，必要に応じ，裏込注入工，ロックボルト工等の対策を実施.		・既設山岳トンネル地震対策・震災復旧マニュアル（案），鉄道総合技術研究所，2010.11 ・新幹線脱線対策に係る中間とりまとめ，新幹線脱線対策協議会，国土交通省，2005.3
トンネル（中央新幹線）（対策を明示）	活断層はなるべく回避する.	通過する場合は活断層をできる限り短い距離で通過する. 活断層の形状等を十分に調査したうえで，通過の態様に見合った適切な補強を行う.		中央新幹線に関する Q&A，ＪＲ東海ホームページ：
鉄道構造物（調査範囲のみを明示）	線状構造物である鉄道の路線選定を行う場合，すべての活断層を把握し，かつ避けることは困難である. 資料調査：線路から 20～30km の幅 詳細調査：線路から 10km の範囲	－	－	・鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計，国土交通省鉄道局監修，鉄道総合研究所編，2012.9

表 3.4-2　各種構造物における断層変位の取り扱いと対策方法(2)

構造物	断層変位の取り扱い	ハード対策	ソフト対策	指針・規定類
鉄道の基礎構造物<u>（対策を明示）</u>	活断層と交差する場合には，ハード･ソフト面で対策．	単純桁化，桁座拡幅などの落橋防止対策の強化，構造物の高強度化などの対策	交通システムの代替性などソフト面からの対策も併せて考慮	・基礎構造物の耐震設計マニュアル(Q&A)，鉄道総合技術研究所，2004.4
高規格道路	断層変位については特に触れられていない．	地盤変位に対しては，「上部構造端部の遊間」「桁かかり長」についての記述の中に，「ノックオフ構造や大変位吸収システムのように，大地震時に実質的に遊間を確保できるような構造もあるので，必要に応じて検討するのがよい．」とある．	―	道路橋示方書・同解説　V 耐震設計編，日本道路協会，2012.3
高規格道路	橋梁の耐震設計は｢道路橋示方書Ｖの規定による」とあるのみ．	―	―	・設計要領第二集橋梁建設編，東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社，2016
橋梁	道路橋の現行耐震設計基準では，断層変位に関する具体的な規定はないので，本研究小委員会で検討．	基本方針：「変位吸収（追従）性能の高い構造形式」，「支間の長大化と効果的な断層線との交差角設定」,「変位吸収（追従）性能の高い部材断面」，「桁かかり長，落橋防止装置の適切な組み合わせ」．	基本方針：「震後の復旧シナリオ作成」	・「断層変位を受ける橋梁の計画･耐震設計に関する研究小委員会」報告書，土木学会，2008.7
ダム<u>（避けることと調査範囲を明示）</u>	要注意な第四紀断層がダム敷に存在する場合は，ダム位置の変更を含む適切な措置をとる．	―	―	ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針（案），建設省河川局開発課，1984
ダム<u>（避けることと調査範囲を明示）</u>	特に注意すべき第四紀断層がダムサイトを通過することが明らかとなった場合には，当該ダムサイトを候補地から除外．	―	ダムサイト直近を通過する場合には，下流地域の社会条件，候補地選定の自由度等を総合的に検討し，ダムサイトとしての適否を決定．	・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」基準書･技術書[共通編]，農林水産省農村振興局，2003
堤防・河川構造物	考慮すべき断層に関する記述はない．	―	―	・河川砂防技術基準（案）同解説 1997 調査編 1997；2005 計画編；1997 設計編 I II ・河川堤防の構造検討の手引き，国土技術研究センター，2002
港湾施設	考慮すべき断層に関する記述はない．	―	―	・港湾の施設の技術上の基準･同解説，日本港湾協会，2007

表 3.4-3　各種構造物における断層変位の取り扱いと対策方法(3)

構造物	断層変位の取り扱い	ハード対策	ソフト対策	指針・規定類
放射性廃棄物処分施設（避けることを明示）	・高レベル処分：活断層が施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれる． ・中深度処分：断層活動による施設の力学的な破壊の影響が想定される地点には設置しない． ・浅地中トレンチ処分，浅地中ピット処分：廃棄物埋設地は，変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない．	－	－	・特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律，2000.6 ・第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則，2013.12 ・余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方，2010.4
パイプライン（対策を明示）	考慮すべき断層に関する記述はないが，有害な伸縮が生じるおそれのある箇所には対策を講じるとしている．	導管の有害な伸縮が生じるおそれのある箇所には，告示で定めるところにより当該有害な伸縮を吸収する措置を講じなければならない．	－	・石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令，2011.12 ・石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示，2015.4
水道（対策を明示）	考慮すべき断層に関する記述はない．	・断層近傍における高レベルの地盤変位・地盤歪みに対しては，耐震性能の高い管路を使用． ・断層横断部で想定される断層変位に対応可能な変形性能を埋設管路に確保	被害が発生した場合のバックアップルートを確保	・水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版，日本水道協会，2009
下水道（避けることが基本）	断層は「避ける」ことを基本とし，避けられない場合にはソフト対策を採る．	－	震後において構造物の機能を代替するシステムや復旧方策などを検討しておく．	・下水道施設耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2014
共同溝	考慮すべき断層に関する記述はない．	－	－	・共同溝設計指針，日本道路協会，1986.3

【参考文献】

Amos, P. and Gillon, M.（2009）: Dams and Earthquakes in New Zealand. Symposium on Dam Safety. Vietnam, http://www.vncold.vn/modules/cms/upload/13/documents/120620/3damwatchvietnam09paper08.pdf, 2016 年 4 月閲覧.

Diemer, D.（1998）: Anti-seismic measures on water supply in California, Proceedings of IWSAInternationalWorkshop on Anti-Seismic Measure on Water Supply, pp.1-21.

Faccioli, E., Anastasopoulos, I., Gazetas, G., Callerio, A. and Paolucci, R.（2008）: Fault rupture-foundation interaction: selected case histories, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol.6, Issue 4, pp.557-583.

Hatton, J.W., Black, J.C., and Foster, P.F. (1987) : New Zealand's Clyde power station, Internatl. Water Powerand Dam Construction, Vol.39, pp 15-20.

Kawashima, K（2001）: Damage of bridges resulting from fault rupture in the 1999 Kocaeli and Duzce, Turkey earthquakes and the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, 1st Workshop on Seismic Fault-induced Failures, JSPS Project report, http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/home-new/projects/, 2016 年 3 月閲覧.

Konagai, K. et al.（2001）: 1st Workshop onSeismic Fault-induced Failures, JSPS Project report, http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/home-new/projects/, 2016 年 3 月閲覧.

Konagai, K. et al.（2003a）: Control of Failure Modes of Civil-Infrastructures Experiencing Large Soil Deformations Caused by Surface Fault Ruptures, JSPS Project report,http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/home-new/projects/, 2016 年 3 月閲覧.

Konagai, K.et al.（2003b）: 2nd Workshop onSeismic Fault-induced Failures,JSPS Project report, http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/home-new/projects/, 2016 年 3 月閲覧.

Konagai, K. et al.（2007）: Seismic faults and Civil-Infrastructures, JSPS Project report, http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/home-new/projects/, 2016 年 3 月閲覧.

Nyman, D. J., Hall, W. J. and Szymkowiak, V.（2014）: Trans-Alaska pipeline seismic engineering legacy, Proceedings of the 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Anchorage, https://nees.org/resources/12126/download/10NCEE-001172.pdf, 2016 年 4 月閲覧.

Pamuka, A., Kalkanb, E. and Ling, H.I.（2005）: Structural and geotechnical impacts of surface rupture on highwaystructures during recent earthquakes in Turkey, Soil Dynamics and Earthquake Engineering,Vol.25, pp.581–589.

USGS（2003）: THE TRANS-ALASKA OIL PIPELINE SURVIVES THE QUAKE－A TRIUMPH OF SCIENCE AND ENGINEERING, Fact Sheet 014-03, http://pubs.usgs.gov/fs/2003/fs014-03/pipeline.html, 2016 年 4 月閲覧.

朝倉俊弘・志波由紀夫・松岡茂・大矢敏雄・野城一栄（2002）：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集，No.659/Ⅲ-52，pp.27-38.

畔取良典・長瀧元紀・泉谷透・北田奈緒子（2006）：鉄道シールドトンネルに対する断層変位対策の一事例，土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集.

猪狩弘和（1996）：活断層を通過する太田和配水幹線築造工事の報告，第 47 回全国水道研究発表会講演集，pp. 592-593.
池田俊雄（1971）：活断層と新神戸駅の基礎，応用地質，第 12 巻，第 2 号，pp.77-82.
石沢一吉・岡部幸彦（1997）：阪神・淡路地域の地形・地質・活断層，応用地質技術年報，兵庫県南部地震特集号.
猪原芳樹・北野晃一・千木良雅弘・角田隆彦・宮川公雄（1987）：長野県西部地震に伴う御岳発電所水路トンネルにみられる断層変位について，日本地質学会学術大会講演要旨 94，p.593.
大町達夫（2000）：1999 年台湾集集地震によるダムの被害について，ダム工学，Vol.10，No.2，pp.138-150.
九州地方整備局（2017）：熊本地震からの復旧・復興について，2016 年熊本地震 1 周年報告会.
清田隆ほか（2016）：2016 年熊本地震地盤被害と復旧状況 ver.4.0，http://www.gdm.iis.u-tokyo.ac.jp/KumamotoEQ_Recon_v4-0.pdf，2016 年 12 月 19 日閲覧.
神戸市（2016）：大容量送水管の整備工事，http://www.city.kobe.lg.jp/safety/prevention/water/06.html，2016 年 6 月閲覧.
神戸市水道局・「安藤ハザマ・西武・不動テトラ特定建設工事共同企業体」・ＪＦＥエンジニアリング株式会社（2012）：大深度地下使用法を全国初適用した大容量送水管の整備～奥平野工区～，平成 26 年度 土木学会関西支部技術賞候補発表会，http://www.civilnet.or.jp/secretaries/general/gijutsu/2014/g3/files/frame.htm，2016 年 6 月閲覧.
国土交通省鉄道局（2005a）：新幹線脱線対策に係る中間とりまとめについて，http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/08/080330_2/01.pdf，2017 年 6 月閲覧.
国土交通省鉄道局（2005b）：新幹線脱線対策に係る中間とりまとめについて，参考図，http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/08/080330_2/02.pdf，2017 年 6 月閲覧.
越谷信・大石雅之・野田賢・奥寺勇樹・加藤貴史・滝口真一・三田地喜之・嶋守真紀・齋籐徳美・矢内桂三・平野信一・澤祥・福留高明・佐藤比呂志・大槻憲四郎・長濱裕幸・中村教博・土井宣夫・東郷正美・粟田泰夫・吉岡敏和（1998）：1998 年 9 月 3 日岩手県内陸北部の地震に伴う地震断層，活断層研究，Vol.1998，No.17，pp.9-20.
小長井一男・三浦三郎・杉村淑人（2000）：台湾地震と石岡ダムの被害について（速報），大ダム，No.171，pp.63-80.
小山幸則・朝倉俊弘・佐藤豊（1996）：兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害と復旧，トンネルと地下，Vol.27，No.3，pp.51-61.
佐藤宏志（2003）：施工性の向上を目指したダクタイルセグメントの開発とその実用化の研究，早稲田大学博士論文.
産業技術総合研究所（2016）：2016 年熊本地震に伴って出現した地表地震断層，http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/211/image211/038-043.pdf，2016 年 12 月 19 日閲覧.
ＪＲ東海ホームページ：中央新幹線 平成 24 年（5 月～9 月），平成 25 年（5 月～7 月）の説明会における主なご質問，地震，火災等の異常時への対応，http://company.jr-

central.co.jp/chuoshinkansen/efforts/briefing_materials/library/faq/q15.html（2017 年 6 月閲覧）.
ＪＲ東日本(2005)：新潟県中越地震による被害類似箇所の対策について，プレスリリース，https://www.jreast.co.jp/press/2005_2/20051020/no_2.html（2017 年 6 月閲覧）.
芝良昭（2000）：1999 年台湾集集地震（9 月 21 日）の強震動と被害，日本地震学会広報紙「なゐふる」.
新名勉・志村敦・藤原勝也・玉田康一・牛垣勝（2014）：大規模地震動に対するシールドトンネルの損傷制御設計，トンネル工学報告集，第 24 巻，Ⅱ-4，pp.1-8.
高見智之ほか（2016）：2016 年熊本地震で生じた俵山大橋の変状と付近の地表変位，2016 年熊本・大分地震災害調査団報告書，http://www.jseg.or.jp/00-main/pdf/20161109_takami.pdf，2016 年 12 月 19 日閲覧.
地盤工学会（2002）：地震時の断層変位に伴う地震災害に関する調査報告書，67p.
鉄道省熱海建設事務所編（1934）：丹那トンネルの話，21 断層と伊豆地震，工業雑誌社，http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/pdf/08390/08390_21.pdf，2016 年 2 月 8 日閲覧.
鉄道総合技術研究所（1997）：鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル.
鉄道総合技術研究所（1999）：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計.
東京日日新聞（1930）：問題をまき起した丹那隧道：着手後ここに満十二年，http://www.lib.kobe-u.ac.jp/das/jsp/ja/ContentViewM.jsp?LANG=JA&METAID=00102374&POS=1&TYPE=IMAGE_FILE，2016 年 2 月 3 日閲覧.
常田賢一（2015）：地表地震断層に対する工学的な姿勢・対策と今後の方向性に関する考察，断層変位評価に関するシンポジウム講演論文集，pp.73-80.
飛島幸則・川端僚二・鈴木義信・小沼敬士（2005）：二次覆工省略対応型可撓セグメントの開発と施工－石岡トンネル（第２工区）施工実績（その３）－，土木学会年次学術講演会講演概要集.
土木学会（1999）：阪神・淡路大震災における鋼構造物の震災の実態と分析，鋼構造シリーズ 10，p.236，http://library.jsce.or.jp/Image_DB/committee/steel_structure/book/47057/47057-0231.pdf，2017 年 5 月 26 日閲覧.
土木学会（2011）：地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案），地震工学委員会地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会.
土木学会（2015）：断層変位評価小委員会　研究報告書，原子力土木委員会.
土木学会（2016）：平成 28 年熊本地震に係る道路トンネル被災状況緊急調査報告，トンネル工学委員会，http://committees.jsce.or.jp/report/node/126，2016 年 12 月 19 日閲覧.
中村康夫（1990）：ダム基礎地盤における断層変位（その 1）－ダム近傍の断層変位例－，応用地質，第 31 巻，第 4 号，pp.207-215.
中村康夫（1991）：ダム基礎地盤における断層変位（その 2）－断層変位に対するダムの設計例－，応用地質，第 32 巻，第 1 号，pp.19-27.
中村晋・大角恒雄（1999）：1999 年台湾・集集（JIJI）大地震調査速報，土木学会誌，第 84 巻，第 12 号，pp.91-94.

日経コンストラクション（2016）:「俵山トンネル崩落」, 12km 歩いて見た現場, http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/atcl/cntnews/15/041500329/042600031/, 2016 年 12 月 19 日閲覧.

日本道路協会（1986）: 共同溝設計指針.

長谷川修一・山中稔・野々村敦子（2016）: 2016 年熊本地震災害調査速報，香川大学, http://www.kagawa-u.ac.jp/files/7914/6284/8161/20161605064_light.pdf, 2016 年 12 月 19 日閲覧.

服部仁（2013）: 丹那断層と丹那トンネル難工事と二つの大地震，ーその１：提案「丹那盆地を地殻変動観測の拠点に」ー，日本地質学会コラム，http://www.geosociety.jp/faq/content0432.html，2016 年 2 月 3 日閲覧.

濱田政則（2015）: 断層変位に対する社会基盤施設の課題，土木学会原子力土木委員会，第 6 回断層変位評価小委員会講演会，講演資料.

浜村吉昭・坂田昭典・竹内重隆・牛尾亮太（2010）: 大容量送水管（奥平野工区）の計画と設計，地盤工学会誌，第 58 巻，第 4 号，pp.16-19.

本州四国連絡高速道路株式会社（2005）: 明石海峡大橋，http://www.jb-honshi.co.jp/bridgeworld/bridge.html，2016 年 2 月 5 日閲覧.

宮林秀次（2011）: 小土被り山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震設計法に関する研究, 京都大学学位論文.

森重竜馬（1970）: 山陽新幹線の特殊工事，構造物設計資料，No.23，pp.907-912.

八尾眞太郎・村山恭平（2012）: 断層変位による構造物の被害発生メカニズムと対策手法, 地盤事故・災害における法地盤工学問題ワークショップ，http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/175584/1/23G-04_2_04.pdf，2016 年 2 月 8 日閲覧.

吉見雅行（2016）: 平成 28 年熊本地震ー地震メカニズムおよび地震断層，平成 28 年度熊本地震報告会，土木学会全国大会特別セッション，http://committees.jsce.or.jp/eec2/system/files/20160908yoshimi-s.pdf，2016 年 12 月 19 日閲覧.

吉見雅行（2017）: 断層活動・地盤変状について（主に断層変位），2016 年熊本地震 1 周年報告会, http://committees.jsce.or.jp/eec2/system/files/06_20170426JSCE-yoshimi-2in1s_0.pdf, 2016 年 12 月 19 日閲覧.

渡部威・安福滋（1985）: 昭和 59 年長野県西部地震による電力設備の被害と復旧について, 電力土木，No.197，pp.56-66.

4. 断層変位による影響評価

断層変位による影響評価は，震源断層による地表地盤への影響評価と，地表地盤の変位による構造物への影響評価に大別できる．以下にそれぞれを概説する．

4.1 震源断層による地表面への影響評価

4.1.1 数値解析による評価

堤（2008）によれば，断層変位のシミュレーションは，「適当な震源断層とその破壊を仮定した時に，地殻や地盤を通って地表に達する破壊過程を数値解析する」シミュレーションである,したがって，想定された地震に対して，「断層が地表に現れるか否か」，また地表に現れる場合には「断層の位置・変位等はどうなるか」という問に答えることを目的とするものである．

土木学会（2015）では，断層変位を評価するための数値解析手法を震源を含む深部までをモデル化するもの（断層全体モデル）と表層のみをモデル化するもの（表層モデル）に分類し，前者については静的な解析手法と動的な解析手法として整理している．以下にその抜粋を示す．

(1) 断層全体をモデル化した理論解・数値解

(i) 静的な解析（土木学会（2015）から抜粋）

断層が動いた時の周辺地盤の応答をシミュレーションする解析は静的に行われる場合と動的に行われる場合がある．実務的には，静的解析として食い違いの弾性論による理論解が用いられ，断層上の変位を与えることにより周辺地盤（半無限弾性体）の変位分布が求められてきた．

食い違いの弾性論の解析式の代表である Okada（1985，1992）の式は，任意のポアソン比に対する横ずれ断層，縦ずれ断層に加え，割れ目噴火に対応する開口断層（図 4.1-1）による変位，ひずみ，傾斜の式を与えている．このうち Okada（1985）は地表面に対する式であるが，Okada（1992）は地中まで拡張したものである．

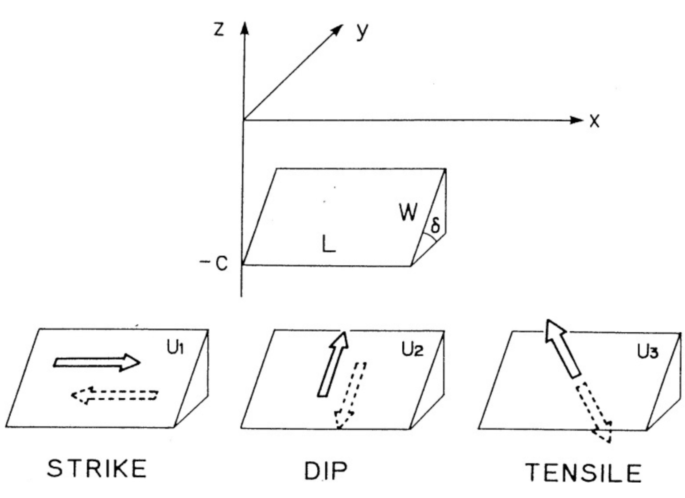


図 4.1-1　横ずれ断層，縦ずれ断層，開口断層の概念（Okada，1992）

一方，大草・谷（2010）は，食い違い弾性理論では，図 4.1-2 に示すような，①地形形状，②表層地盤の地質構造，③断層破壊面の形態，④地盤の異方性，⑤震源断層面がずれる速度などを表現できないことから，地盤の複雑な条件を考慮できる方法として，食い違い弾性理論と FEM 解析を組み合わせた解析手法を提案している．

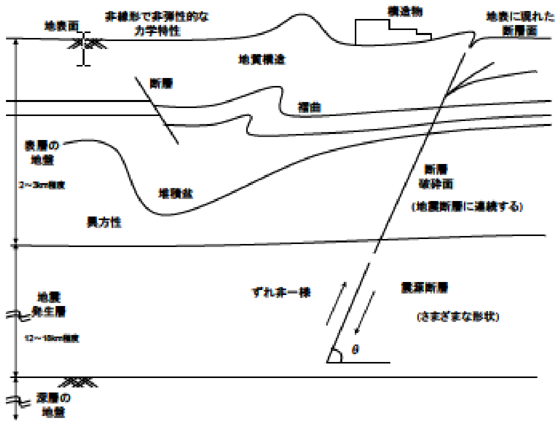


図 4.1-2　**食い違い弾性理論を用いた地殻変動予測の問題点の概略**（大草・谷，2010）

(ii) **動的な解析**（**土木学会**（2015）**の抜粋に加筆**）

食い違いの弾性論については，地震の発生に伴う地殻変動が弾性理論でもある程度説明できることが観測変位によって確認されている（Tani，2010）．原子炉建屋基礎地盤の詳細 FEM モデルの境界に食い違いの弾性論によって得られる変位を境界条件として与え，モデル内の岩盤・断層（副断層）の破壊について評価する方法が発電用原子炉施設の耐震安全性に関する審査やバックチェックの評価において用いられてきた（原子力安全推進協会（2013），井上・伊藤（2014））．このような静力学的な解析を用いる場合の課題として，地殻変動と地震動の重畳の影響および断層の破壊進展過程での周辺への影響の評価が挙げられる（原子力安全推進協会，2013）．

この課題解決に向けて動的解析である断層の動力学的破壊シミュレーションの適用が考えられる．本手法は主に強震動の予測・評価などの地震動シミュレーション手法として開発・発展してきた方法である．地震動に加えて，近接する断層間での破壊の乗り移りの検討にも用いられている．深度依存の初期応力，不均一な周辺岩盤，縦ずれ・横ずれ断層が共存する断層配置での破壊の乗り移り等の複雑な解析条件にも適用されてい（例えば，加藤，2002）．

一方，地表断層変位に着目した解析は少ないが，実測データからマグニチュードと地表断層変位（主断層）の関係を求めた松田式を制約条件として解析パラメータを設定することで，これまでの観測データと整合的な地表断層変位を得る方法も提案されている（入江ほか，2010）．

さらに，断層に初期応力を与え，震源を意図的に破壊させることで破壊の伝播解析を実施し，解析で得られた断層変位量および応答時刻歴を観測記録と比較した事例も報告されている（三橋ほか，2015）．本解析は，大規模モデルを解析可能な有限要素法コード FrontISTR（フロントアイスターと呼び，Windows や Linux の PC クラスタはも

とより“京”などの超並列スパコンにも対応可能なオープンソースの構造解析ソルバー）に Goodman らによるジョイント要素を拡張した要素を導入した上でシミュレーション解析を実施したものである．

FrontISTR を利用した同様な大規模地殻変動解析・地震動解析事例として，董・柴山（2013）による東北地方太平洋沖地震の解析例がある．本解析は，J-SHIS（地震ハザードステーション）の 1km 分解能の不均質地下構造を深さ 80km までモデル化し，下記の条件で地表面の変位を求めたものである．解析結果として，東西方向変位分布を図 4.1-3 に示す．得られた変位分布は不均質地下構造の影響を再現できたとしている．

・震源断層：大きさ 475×175km を 19×7=133 個の小断層に分割
・一つの小断層は 20×20 に分割
・断層すべり量：133 個の小断層のすべり変位を直接入力
・すべり変位関数：立ち上り 8 秒間の Smoothed Ramp 関数
・最大断層すべり変位：37m

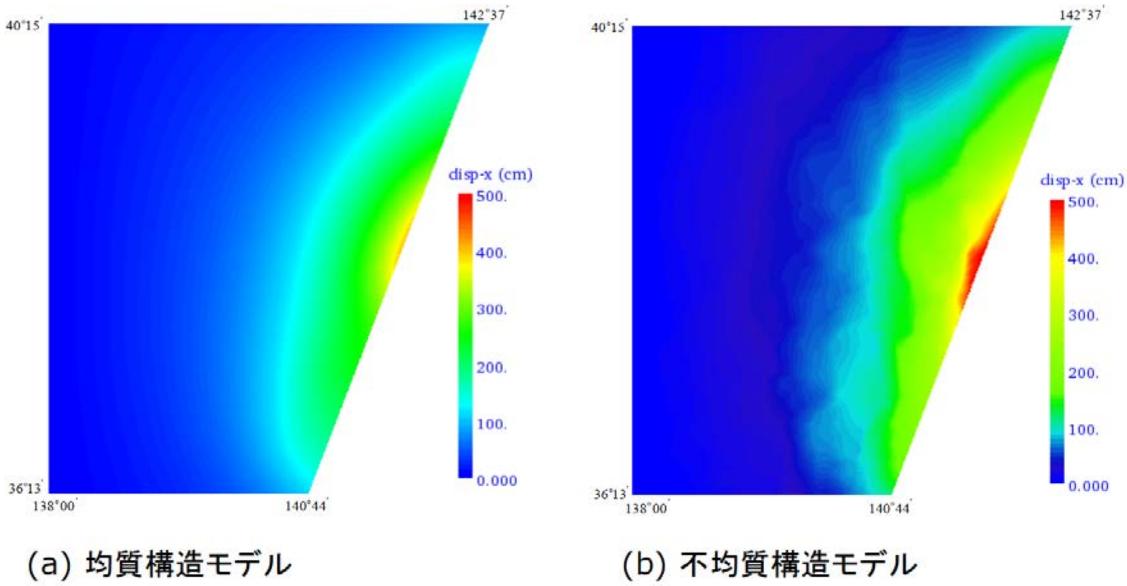


図 4.1-3　東北地方太平洋沖地震における地表面の東西方向変位の解析結果（董・柴山，2013）

(2) 表層をモデル化した解析（土木学会（2015）から抜粋）

表層モデルについては，砂箱の模型実験のせん断帯の発生・進展を再現する解析が実施されている（例えば，谷ほか，1994）．敷地内断層の所在がはっきりしていて，有限個の亀裂として表現できるという条件であれば，FEM のジョイント要素を用いて，地表における食い違い量を，現状の技術レベルで計算することはできると考えられる．

表層モデルの応答を求める数値解析手法としては，従来，基礎地盤安定解析で用いてきた FEM 解析手法を利用することができる．計算時間や作業の手間，あるいは用いるプログラムによっては新たに付加しなければならない機能がある等の労力がかかり，実際にはこれを実施することが困難である場合がある．この様な時，FEM の代替手法として，粒子法，個別要素法，差分法等の解析手法を用いることもできる．

4.1.2 模型実験による評価

模型実験は，重力場での実験と遠心力場での実験に大別できる．これらの実験事例についても，土木学会 (2015) で最新の事例を調査した結果が取りまとめられている．以下のその総括部分を抜粋する．

断層変位を模擬した模型実験は，明確な境界条件と材料特性のもとで断層挙動をシミュレートできる利点があり，重力場および遠心場で複数の実施例がある．ただし，重力場の実験はすべて縮小模型を用いて実施されており，実地盤に比べて応力レベルがかなり低く，せん断帯の発達過程の監察や構造物への影響の把握など定性的な検討に用いられることがほとんどで，数値解析との比較はほとんど行われていなかった．

一方，遠心模型実験は実地盤の拘束応力を再現できるため，数値解析の妥当性の検証に用いた複数の事例が提示されている．しかし，遠心模型実験では，岩盤の不連続性や強度特性，実地盤の不均一性を精緻にモデル化した検討は難しい．実地震による地表断層や地盤変形は，実地盤の不均質性や岩盤・断層の力学特性，境界条件を反映した結果であることから，現地調査で得られる情報は限られるが，数値解析を実施し比較することができる．

4.2 地表面の変位による構造物への影響評価

本節では，地表面の変位による構造物への影響を解析あるは実験で評価した事例を示す．

4.2.1 ダム

2 章で述べたように，わが国においては，第四紀断層が存在しないことがダムサイト選定条件のひとつとなっているため，断層変位に伴う構造的な損傷は考慮していない（土木学会，2001）ことから，ダムに対する断層変位による影響を検討した事例は少ない．以下に，有賀（2009）が実施した仮想のコンクリートダムの解析事例と大町ほか（2002）による賀祥ダムの解析事例を示す．

(1) ダム-断層連成系の三次元動的解析

有賀（2009）は，ダム底面の直下に断層が分布している場合を仮定し，断層およびダム堤体のジョイントを接触面要素でモデル化し，解析モデルの境界条件と下方基盤からの加速度波の入力方法を工夫することによって，断層変位に対するダムの非連続的挙動を解析評価する方法を提案している（図 4.2-1）．この方法の適用可能性を検討するために，堤高 100m のコンクリート重力式ダムを対象とした事例解析を行い，提案法を活用することにより，蝶番断層，横ずれ断層，逆断層などを模擬した，ダム-断層連成系の三次元動的解析が可能であるとの結果を得ている（図 4.2-2）．

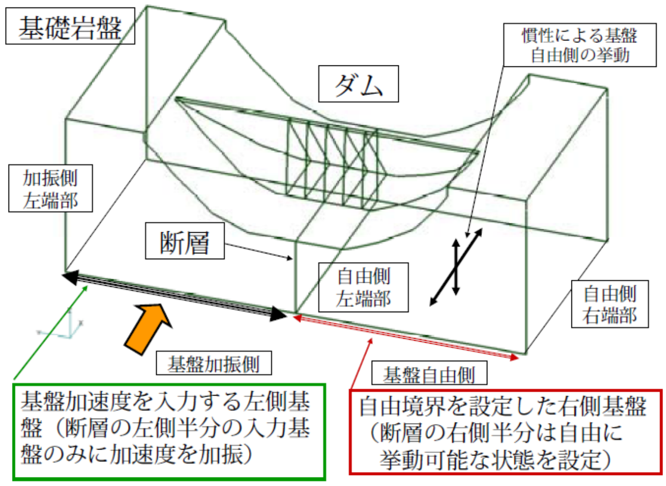
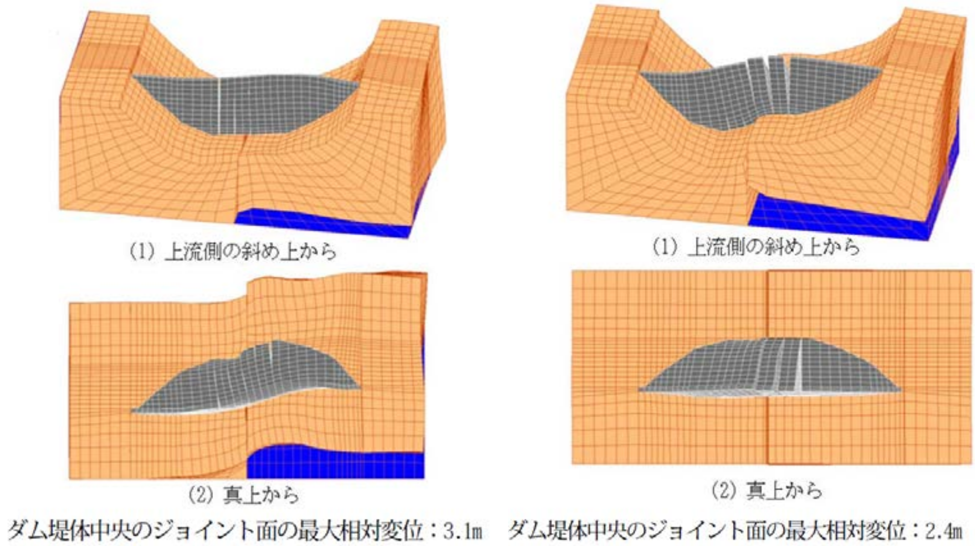


図 4.2-1　解析モデルの境界条件と加速度の入力法（有賀，2009）



(1)上下流方向に加振した結果　　(2)鉛直方向に加振した結果

図 4.2-2　広域モデルを用いて加振した場合の変位挙動の解析結果（有賀，2009）

(2) 賀祥ダム地盤の変位解析

大町ほか（2002）は，2000 年鳥取県西部地震の際，堤高 46.4m の重力式コンクリートダムである賀祥ダムで観測された強震記録と貯水位記録をもとに，ダムサイト直下に伏在する震源断層に起因すると思われる自然現象について，数値シミュレーションを交えた解明を試みている．

用いた手法は，3 次元直接境界要素法（片岡・大町，1997）である．断層破壊様式は，単純で一様なすべり量の断層破壊が，断層面の中央下端から同心円状に速度 V_r=3km/s で伝播するものとし，ライズタイム（断層面のある場所で滑りが継続する時間）τ_rは 1 秒，地盤はせん断波速度 4km/s の一様な半無限弾性体と仮定した．解析結果を図 4.2-3 に示す．

ダムでの強震記録やプラムラインの記録，貯水池周辺での水準測量，さらに上述の断層モデルを用いた数値解析などから，賀祥ダムにおいて本震直後に発生した約 6cm

の貯水位の急低下は，図 4.2-4 に示すように断層運動による地盤変位によって，貯水池とダムとの間に相対的な変位が発生したためであるとしている．

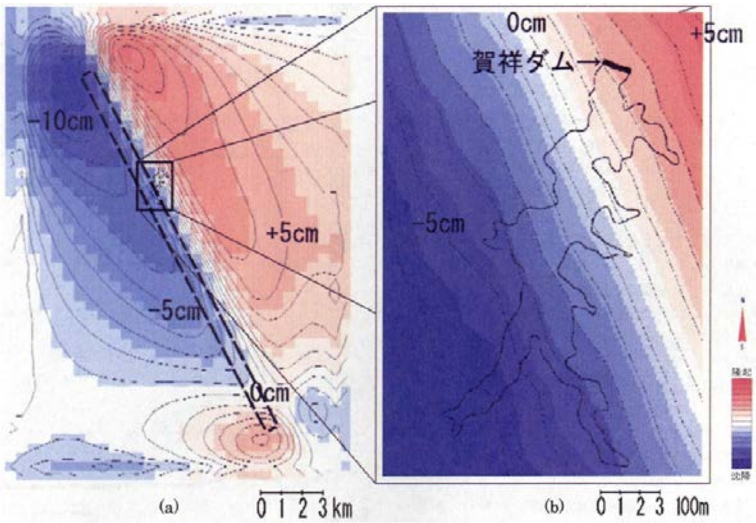


図 4.2-3　数値解析範囲と残留鉛直変位分布および賀祥ダム付近の拡大図（大町ほか，2002）

（右図の変位は左図を内挿補間している）

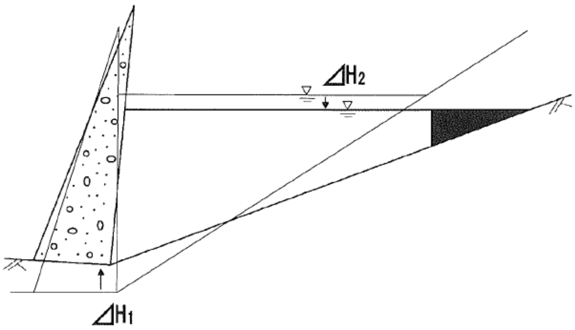


図 4.2-4　断層運動に伴う貯水位池変化の模式図（大町ほか，2010）

4.2.2 橋梁

橋梁における断層対策の解析的な検討事例は，前述の土木学会（2008）で多くの事例が示されいるが，ここでは，常田ほか（2005）による道路橋の検討事例を示す．これは，我が国で最初に橋梁の活断層変位対策を検討した事例であり，事前対策に加えて事後対策も考慮した総合的な活断層変位対策であることが特徴である．

(1) 道路のサービス水準

活断層変位対策を考える場合，活断層による被害に対する橋梁のサービス水準を明確にすることが必要である．これは，地震断層による直接的な被害あるいは間接的な影響をどの程度まで抑制するのか，あるいはどの程度まで許容するかによって，対策の内容および水準が異なるからである．

橋梁の場合，被害の程度によっては応急復旧ではなく恒久的な本復旧が実施される．道路の応急的あるいは恒久的な交通機能の確保の程度を道路のサービス水準と考えれば，道路のサービス水準は表 4.2-1 に示す 4 つの分類に例示できる．

表 4.2-1　道路のサービス水準の例（常田ほか，2005）

サービス水準	サービス内容
A	地震断層の変位による特別な被害は発生しないで，変位の発生前と同様な交通機能が確保される水準
B	地震断層の変位の発生により，支承のずれといった小規模な被害が発生し，3日～2週間程度の応急復旧により，交通機能が確保される水準
C	地震断層の変位の発生により，支承の損傷，桁のずれといった中規模な被害が発生し，1～2箇月程度の応急復旧により，交通機能が確保される水準
D	地震断層の変位の発生により，桁の落下，橋脚の損傷，アプローチ部分への波及といった大規模な被害が発生し，3箇月～1年程度の本復旧により，交通機能が確保される水準

(2) 変位対策の考え方

活断層変位対策には様々な方法が考えられるが，橋梁の計画，設計，活断層の発生直後および復旧の各段階に応じて考えることが合理的である．例えば，橋梁の場合，各事業段階で考慮できる対策は，表 4.2-2 のように例示できる．常田ほか（2005）では，それぞれの段階毎の対策例を示している．

表 4.2-2　道路橋の活断層対策メニュー例（常田ほか，2005）

事業の段階	対策例
計画段階	ルートの選定
	断層線との交差角度の設定
	縦断線形調整代の設定
	構造変更（→盛土）
	［断層線が交差する桁の位置設定］
設計段階	単純桁化
	径間長の長大化
	天端幅の拡大（橋軸直交方向）
	けたかかり長の拡大
	支承の免震化
	支承のユニバーサル化
	桁端の大変位吸収構造
	縦断線形の調整代の設定
	縦断線形の矯正構造の設定
	［桁の連続化・端支承の固定］
断層発生直後	地震断層の発生変位の検知・通報
	通行規制措置
復旧段階	支承のずれの矯正
	橋桁の位置矯正
	橋桁の継足
	支承交換
	路面の舗装
	アプローチ部の線形の矯正
	迂回路・代替路の確保
	［橋脚の補修］

［　］: 桁の連続化に関する対策

(3) 新設橋梁における検討事例

常田ほか（2005）では，上述のように一般論としての断層変位対策を示した後，新設橋梁における地震断層に対する本格的な対策の検討例として，大分県別府市内の都

市計画道路の富士見通鳥居線で計画された「1 号橋（仮称）」と呼ばれる橋梁の検討事例を報告している．以下にその概要を示す．

(i) サービス水準の設定

本橋では，通行止め，迂回誘導等の交通規制を行い，本復旧により交通機能を確保する水準とする．

(ii) 活断層対策の基本方針

断層変位により想定される被害状況から，断層変位に対する供用性，短期的修復性の確保は困難であることを勘案して，地震動に対する耐震性能と併せて，以下の耐震性能を確保することを基本方針とした．

●レベル 1 地震動：地震によって橋としての健全性を損なわない性能（耐震性能 1）

●レベル 2 地震動：地震による損傷が限定的なものにとどまり，橋としての機能が速やかに行い得る性能（耐震性能 2）

●断層変位：断層変位による損傷が橋として致命的な落橋とならない性能

(iii) 事前対策と検証方法

基本的な事前対策は，すべての支点への地震時水平力分散ゴム支承および落橋防止システムである．ただし，設計断層変位時の落橋を避ける基本方針に従って，支承部の破断は許容している．

落橋防止対策の検証は，変位増分法による 3 次元非線形静的解析を適用している．解析モデルは各構造部材に非線形性を考慮した 3 次元骨組み構造である．上部構造および橋台は線形梁要素とし，橋脚は塑性ヒンジ部にバイリニア型の非線形回転バネ要素を設ける．PC ケーブルを用いた落橋防止構造は，設計遊間量を考慮したバイリニア型の非線形バネ要素でモデル化する．図 4.2-5 に全体骨組みモデルを示す．

断層変位に対する解析に用いる支承の非線形性の設定には不確定な点が多く，現状では精度の高いモデル化はできないので，本検討では支承の破断状態を限定してモデル化している．

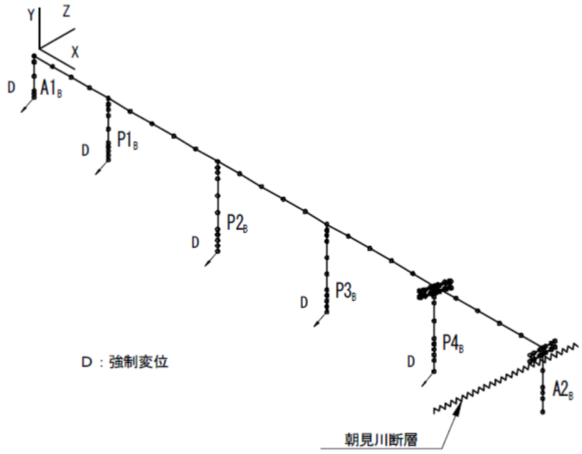


図 4.2-5　三次元骨組解析モデル（常田ほか，2005）

これらの解析の結果，設計断層変位量（鉛直方向変位 3.0m）による正断層および逆断層の動きに対して，上部構造はいずれもけたかかり長を確保した．したがって，本橋の断層変位に対する耐震性能は満足されると判断している．

(4) 断層交差角度に着目した橋梁の性能評価（安西ほか，2010）

鉄道や道路などの線状ライフライン構造物では，活断層を跨いで建設せざるを得ない場面も想定しなければならないことから，断層と構造物の交わる角度により，構造物の損傷状況がどのように変化するかを検討しておくことが重要である．

そこで, 安西ほか (2010) は, 図 4.2-6 に示す 4 ケース (断層直上桁の桁長が 400mm, 800mm，1200mm の 3 パターンと，桁長が 400mm でスパン数が多い 1 パターン）の橋梁模型実験を行い，90 度以下の交差角度では，断層を跨ぐ桁のみに被害が集中し，90 度以上の交差角度では，直上桁そのものは落橋に至りにくいものの広範囲に影響が及ぶという結果を得ている．実験結果の一例を図 4.2-7 に示す．

さらに，断層と構造物の幾何学的関係に着目した簡易算定法を開発し，必要桁かかり長と断層交差角との関係を示したノモグラムを示した．これにより設計地点の断層変位量がある程度想定できれば必要桁かかり長を定量的に求めることが可能となる．また，橋梁の桁を梁要素，支承部の接触および桁の衝突をバネ要素でモデル化して断層を跨ぐ構造物の挙動を解析し，上述の模型実験を再現できることを確認している．

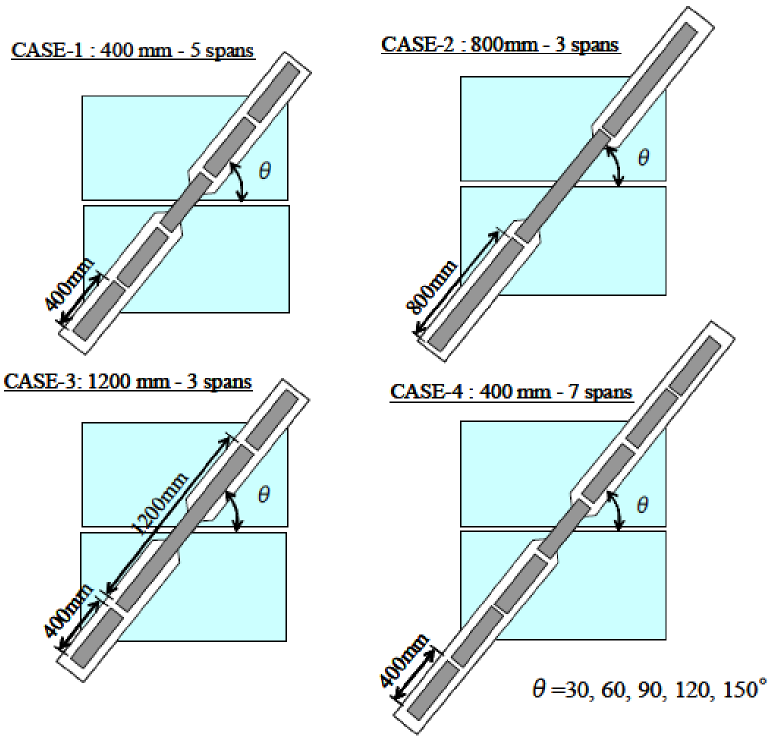


図 4.2-6　地表地震断層を跨ぐ橋梁模型実験の実験ケース（安西ほか，2010）

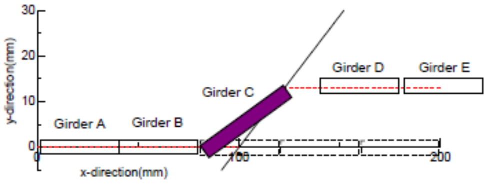
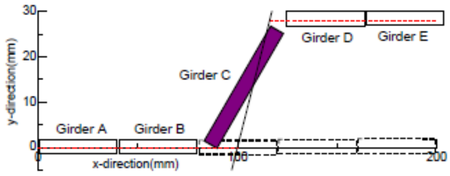
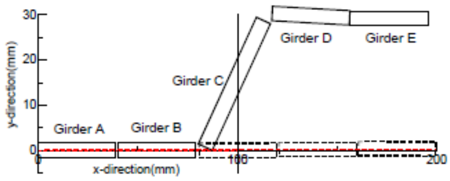
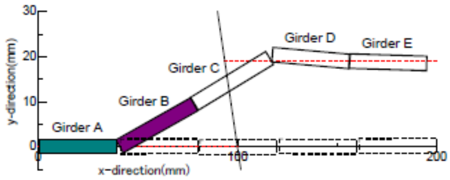
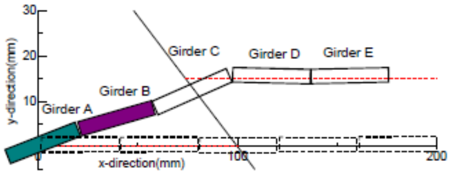
交差角度	桁の変形モード
30°	 落橋時の水平変位量： 25 mm
60°	 落橋時の水平変位量： 55 mm
90°	 落橋時の水平変位量： ―
120°	 落橋時の水平変位量： 46 mm
150°	 落橋時の水平変位量： 29 mm

図 4.2-7　断層変形量 20mm 時点の桁の変形モード（CASE-1）（安西ほか，2010）

4.2.3 地中構造物

(1) 数値解析による評価

(i) 大塚ほか（2010，2012）による 3 次元有限要素解析

地盤の揺れや変位に対する地中構造物の耐震設計および耐震補強は多くの検討事例が報告されているが，断層変位に伴う地盤のずれが地中構造物に及ぼす影響に対する影響評価に関して検討した事例は少ない．大塚ほか（2010，2012）では，断層変位により構造物にどのような影響を生じるのかを詳細に分析することを目的として，地盤－地中構造物－断層系の詳細な 3 次元有限要素解析を行い，免震層（大塚ほか，2010）

および耐震継手（大塚ほか，2012）の断層変位に対する有効性を検討している．以下にその概要を示す．

大塚ほか（2010）では，解析対象モデルとして 1995 年阪神・淡路大震災で被災した神戸市営地下鉄を参考とし，図 4.2-8 のように解析モデルを設定している．地中構造物は鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの 1 層 2 径間とし，線形材質のシェル要素としている．地盤はその周辺の表層地盤として非線形性特性を有するソリッド要素でモデル化している．地盤の非線形性は修正 R-O モデルで表現している．

断層面については，断層破砕帯や摩擦の存在から適切な物性値を設定することは困難であるが，ここでは，断層面の上盤側と下盤側の重複節点に断層面と平行方向にせん断剛性をゼロとしたジョイント要素を配置したモデルを採用している．地中構造物は連続であるためジョイント要素は配置していない．

解析は Pushover 解析を実行し，断層変位は断層面に沿って 0.5m とし，200 ステップに分割して変位を漸増させている．断層変位量を 0.5m としているのは数値計算から地中構造物に生じる応力がコンクリートの設計基準強度程度となることによる．ここでは縦ずれ断層を解析の対象とし，図 4.2-8 に示すように上昇する地盤の底面に断層面に平行なばねを配置し，そこに外力を加えることで断層変位を模擬している．

解析の結果，地盤を線形材料として扱うと，断層変位のような大きな変位に対する影響を検討する場合には断面力を過大評価するため, 非線形性を考慮する必要があり，断層面のモデル化の際には，断層面をジョイント要素でモデル化した時の方が地中構造物に与える影響が大きくなる（図 4.2-9）という知見が得られている．また，地中構造物に生じる断面力について正断層，逆断層，断層面の傾斜角ごとの比較を行うとともに，免震層による断面力の低減効果についても解析により再現できることを示している．

大塚ほか（2012）では，地盤－構造物間に非線形バネを設置し，すべり，剥離を再現している．その結果から，地盤－構造物間を節点共有で解析すると断面力を過大評価する可能性があるため，バネでモデル化することによってすべり，剥離の影響を考慮した解析の必要性を指摘している（図 4.2-10）．

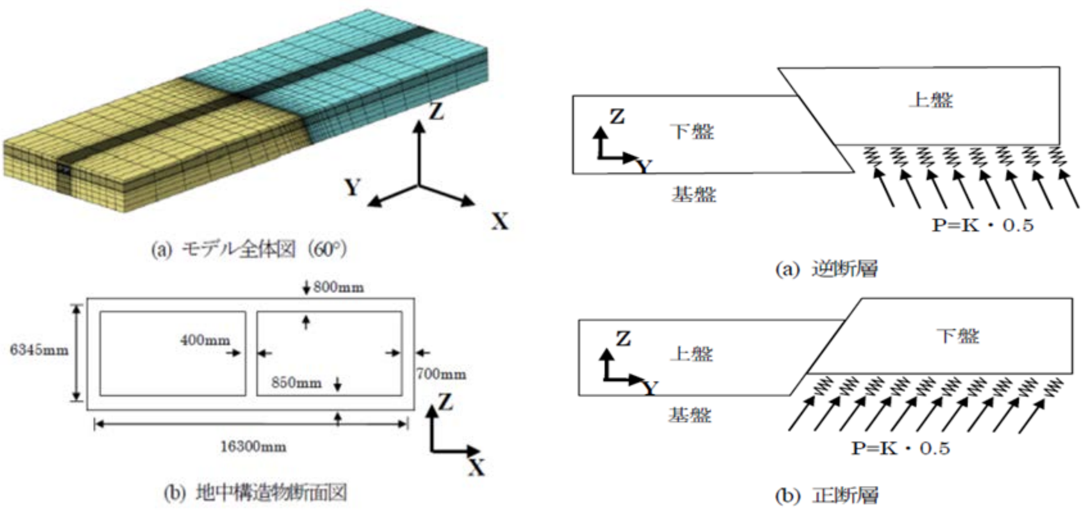


図 4.2-8　解析モデル（左）と断層変位の与え方（右）（大塚ほか，2010）

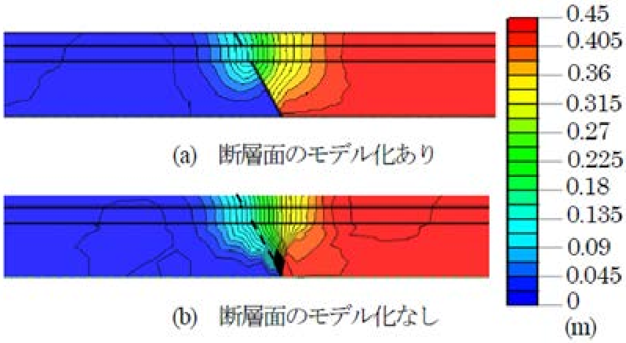


図 4.2-9　断層面のモデル化の有無が変位に与える影響（Z 方向）（大塚ほか，2010）

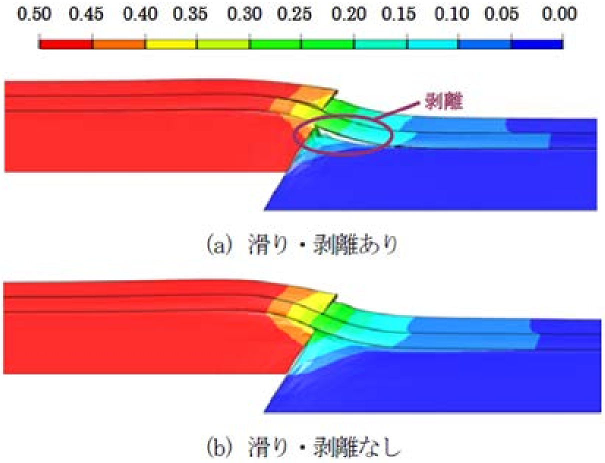


図 4.2-10　地盤－構造物間のすべり・剥離の有無が変位に与える影響（大塚ほか，2012）

(ii) 樋口ほか（2015）による 3 次元有限要素解析

同じく，岩盤の断層直上に設置し，埋め戻した鉄筋コンクリート製ボックスカルバート構造物に対して，当該構造物と周辺地盤をモデル化した非線形有限要素解析を行い，断層変位が構造物に及ぼす影響を解析的に評価した事例も報告されている（樋口ほか，2015）

解析モデルの概要を図 4.2-11 に示し，解析結果の例を図 4.2-12 に示す．本モデルでは断層変位を岩盤表面の強制変位として与えている．すなわち，岩盤を剛体として扱い岩盤の変形は考慮していない．表土・埋戻土および RC 構造物はいずれも六面体要素によりモデル化し，RC 構造物の主鉄筋および面外せん断補強筋は分散鉄筋要素（コンクリートと鉄筋の剛性の重ね合わせ）によりモデル化している．表土・埋戻土，岩盤表面，RC 構造物のそれぞれの境界面には接合要素（面的なジョイント要素）を挿入し，相互のすべりと剥離を表している．

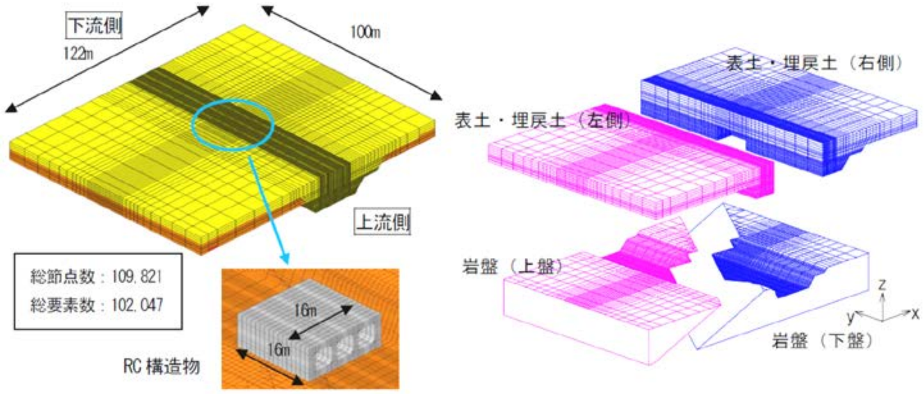


図 4.2-11　解析モデルの概要（樋口ほか，2015）

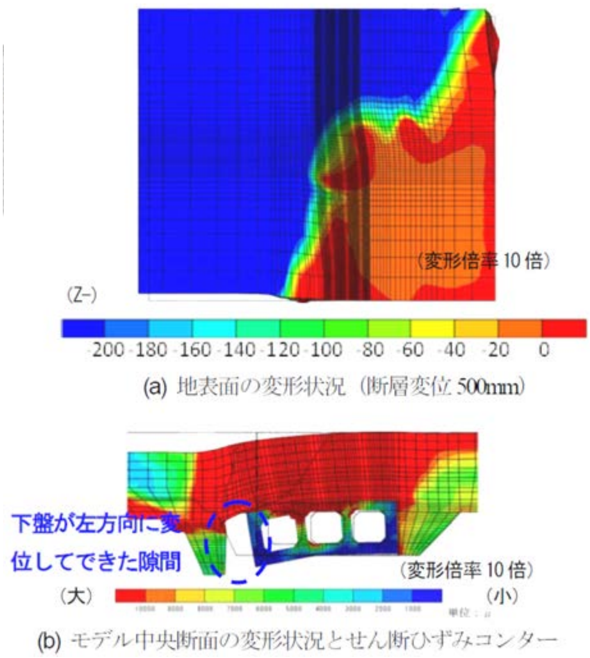


図 4.2-12　3 次元 FEM モデルの変形状況（正断層）（樋口ほか，2015）

(2) 模型実験による評価

菊地ほか（2016）および樋口ほか（2016）は，岩盤の断層直上に設置した地中構造物を対象とし，逆断層の変位による構造物への作用荷重について遠心模型実験により検討している．図 4.2-13 に示す実験土槽は，片側の床版（長さ 499mm）を油圧ジャッキにより所定の角度（水平面から 30°）でせり上げ，模型地盤に逆断層変位を載荷するものである．模型縮尺 1/50 とした遠心重力 50G での実験であり，実験ケースは表 4.2-3 に示す 3 ケースである．

試験後に計測したカルバート模型の位置と断層線の到達位置の関係は，図 4.2-14 のようになる．ケース 3 ではカルバート模型が反時計まわりに約 4 度回転した．また，カルバート模型左下隅角部から断層線が発達したと仮定すると，断層線の到達位置が計測結果と整合することが示されている．

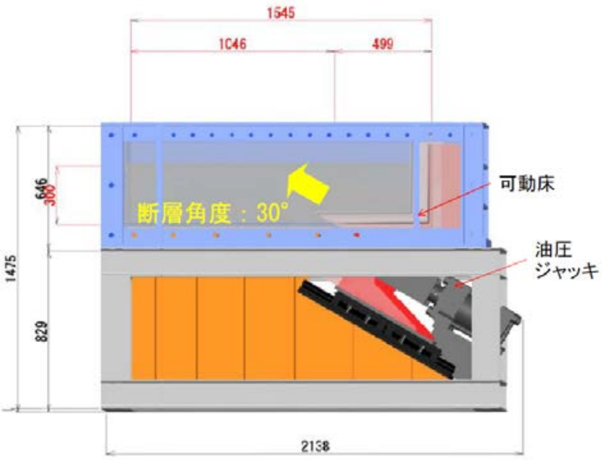
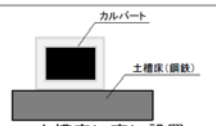
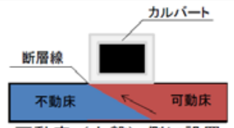
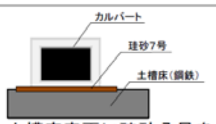
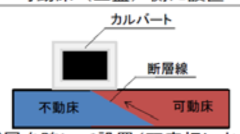


図 4.2-13　断層変位載荷土槽（菊地ほか，2016）

表 4.2-3　実験ケース（菊地ほか，2016）

ケース	地盤	カルバート模型の有無	最大断層変位	カルバート模型と土槽床との接触面	カルバート模型の設置位置
1	珪砂 7 号（乾燥砂） 層厚：300mm 実物換算 15m 相対密度 90%以上	無	5m	―	―
2		有		 土槽床に直に設置	 可動床（上盤）側に設置
3			3m	 土槽床表面に珪砂 7 号を貼り付け、その上に設置	 断層を跨いで設置（下床板において下盤 2/3，上盤 1/3 のかかり）

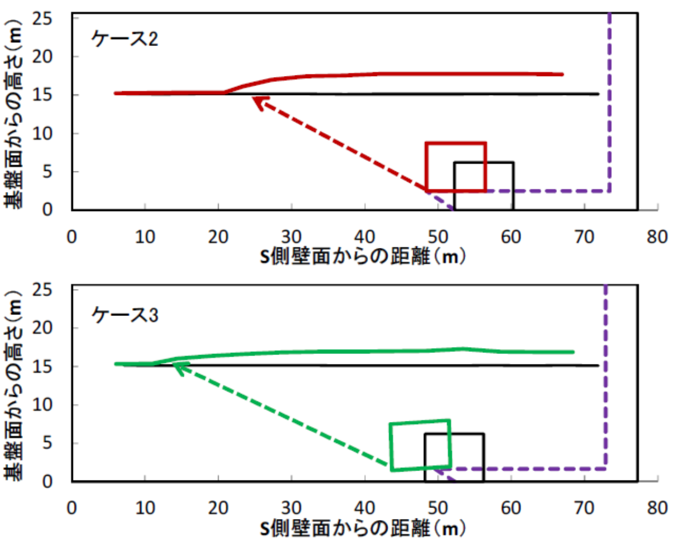


図 4.2-14　試験後に計測したカルバート模型の位置と断層線の到達位置の関係（菊地ほか，2016）

4.2.4 トンネル

浜村ほか（2010）は，3.3.8 項で示した神戸市の大容量送水管整備事業における送水トンネルの設計結果を報告している．

送水管と横断する会下山断層は，水平方向変位が卓越するため，水平方向変位のみについて検討している．まず，地質調査および文献調査結果から断層プレートの水平変位を 1.6m とし，「食い違い弾性理論を用いた地表断層変位推定」におけるアスペリティを考慮したシミュレーション結果から，地表面における断層の水平変位量を 1.44m とし，これを送水管の断層横断部の設計水平変位量とした．

次に，断層変位によって発生する送水管の変形量とひずみは「3 次元シェル架構解析」により求め，断層変位に伴う送水管への影響を評価するとともに，対策工について検討した．解析モデルは直線とし，送水管，充填材，セグメソト，地盤を 3 次元シェルおよびばね等でモデル化して解析した．解析ケースとして無対策，充填材の材質変更，鋼管厚の変更，伸縮・可とう管の採用について比較検討した．

その結果，無対策のケースでは 9.8％の最大主ひずみが発生し，断面変形も大きく復旧は困難になる．また，充填材の変更，鋼管厚の変更のケースでは，送水管に発生するひずみの低減効果が低い結果となった．これに対し，図 4.2-15 に示すように伸縮可とう管を 8 箇所に配置すれば，最大主ひずみが 1.8％となり，鋼管に亀裂が発生しない圧縮ひずみ量である 5％以下となることを確認している．

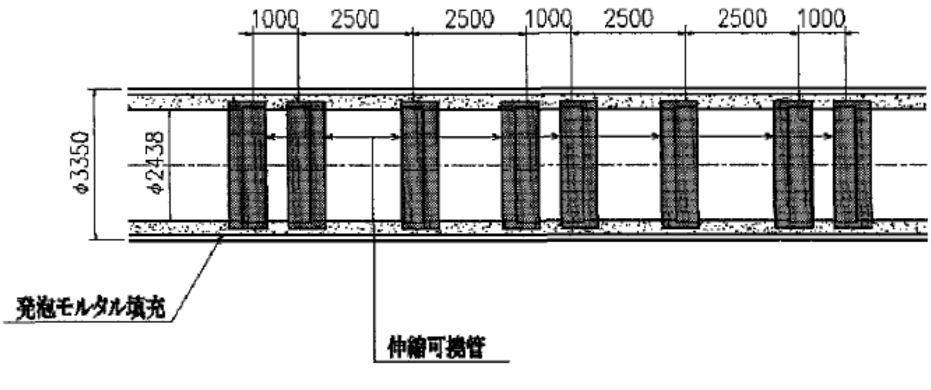


図 4.2-15　断層横断部対策工（浜村ほか，2010）

このほか，断層を横断する管路の設計法を，高田ほか（2001），長谷川・清野（2015a，2015b）などが提案している．長谷川・清野（2015a，2015b）は，前述の断層用鋼管（図 3.3-17 参照）を対象にしたものである．変形時の山部の連動性の確認（図 4.2-16）や土槽による管路の変形試験を行うとともに，塑性ヒンジ発生位置を推定する簡易式の構築や，簡易式の有効確認のための FEM 解析を行っている．

管路のモデル化では，地盤はソリッド要素，管はシェルでモデル化し，地盤と管路は接触で定義し，管路の全長を 120m（50D）とすることで端部は断層変位の影響が及ばない範囲としている．FEM 解析結果を図 4.2-17 に示す．

図 4.2-16　断層用鋼管（φ50）変形時の山部の連動性の確認結果（長谷川・清野，2015a）

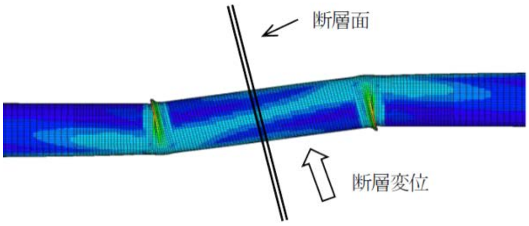


図 4.2-17　FEM 解析による断層用鋼管の変形結果（長谷川・清野，2015a）

4.2.5 原子力発電所

近年，断層変位が原子力発電所の安全機能に与える影響が大きく注目されていることから，原子力安全推進協会（JANSI）は，「敷地内断層評価手法検討委員会」を設置して敷地内断層に関する総合的なプラント安全性評価手法の枠組みについて検討を行った．その成果は，2013 年 9 月に「原子力発電所敷地内断層の変位に対する評価手法に関する調査・検討報告書」（原子力安全推進協会，2013）として公開するとともに，土木学会原子力土木委員会による断層変位評価小委員会講演会（例えば，鈴木（2013）），専門誌（例えば，伊藤（2013），兼近ほか（2014））等でも報告されている．

本検討では，BWR と PWR の両タイプの原子炉建屋直下に断層変位を与えた場合の試解析を行い，建屋への影響評価を実施している．以下のその概要を示す．

(1) 断層変位の評価方法

わが国で観測された地表地震断層の記録から，副断層の変位を図 4.2-18 のように整理している．対象とした地震は明治以降に発生した Mj6.5 以上の 14 地震を対象とし，副断層の変位を整理したものである．副断層が生じた地震は Mj6.8～7.3 の 8 地震で，副断層の変位は概ね 0.1m～0.3m である．

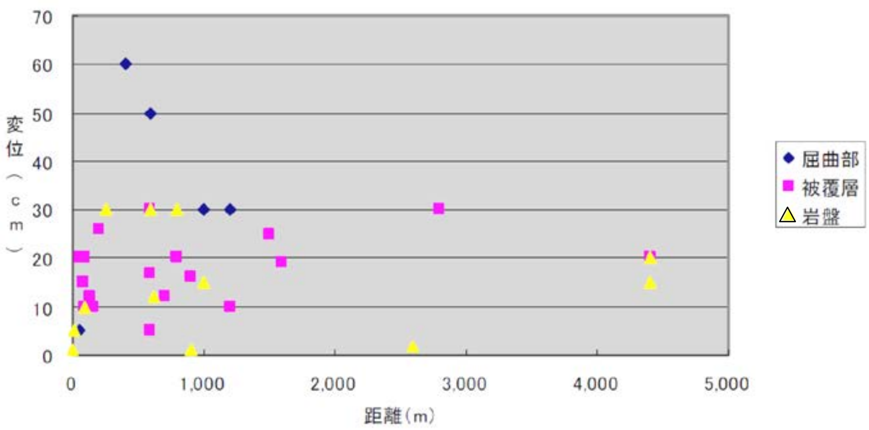


図 4.2-18　主断層からの距離と副断層の変位（原子力安全推進協会，2013）

図 4.2-18 には，岩盤だけでなく被覆層の変位も含まれたものであること，複数の震源断層が接続する「屈曲部」では変位が大きくなる可能性があること，および日本国内の約 120 年間のデータであることに留意する必要があるが，その変位量は概ね 30cm 以下であり，限界検討用変位 δb の参考とすることができる．

(2) 断層変位による建物･構築物の試解析

BWR 型原子炉建屋の試解析においては，支持地盤の剛性を Vs＝500m/s(軟岩)と Vs＝1500m/s(硬岩)の２ケースとし，原子炉建屋のほぼ中央直下に逆断層変位が最大 30cm 生じた場合の建屋－地盤全体モデルによる弾塑性解析が実施されている．PWR 型原子炉建屋の試解析は，支持地盤の剛性が Vs＝1600m/s，格納容器外側に正断層変位が 30cm 生じた場合を想定している．

図 4.2-19 に BWR の解析モデルと解析結果（変形図）を，図 4.2-20 に PWR の解析モデルと解析結果（変形図）を示す．変形は 10 倍に拡大して表現している．

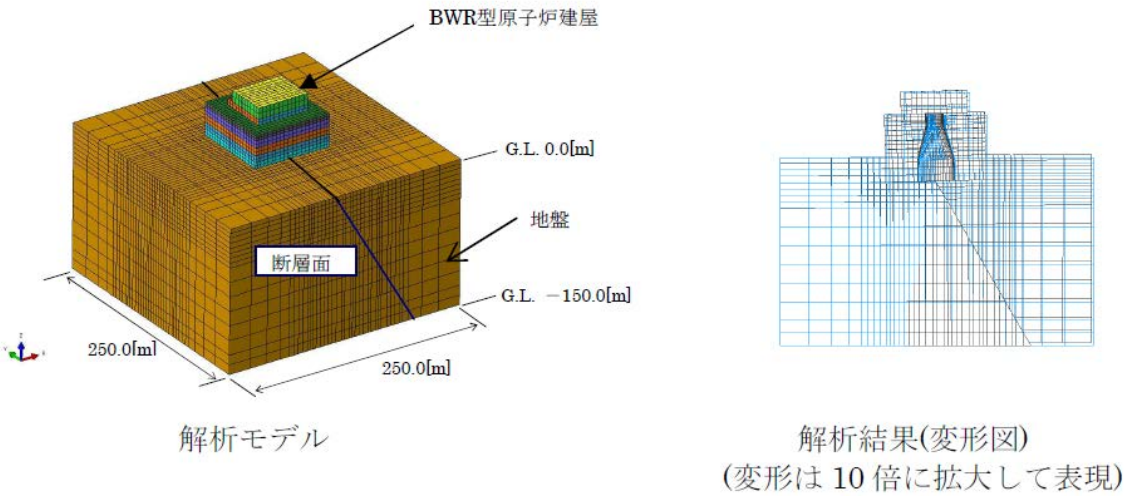
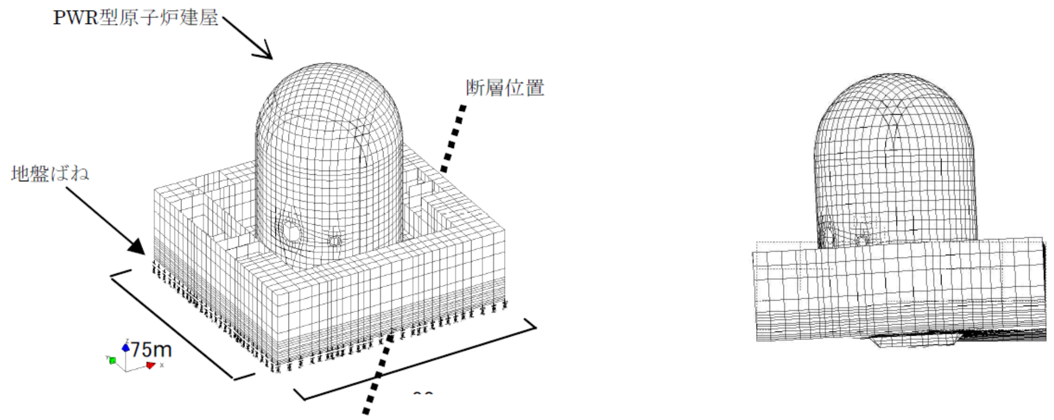


図 4.2-19　BWR 型原子炉建屋試解析概要（原子力安全推進協会，2013）



解析モデル　　　　　　　　　解析結果(変形図)
(変形は 10 倍に拡大して表現)

図 4.2-20　BWR 型原子炉建屋試解析概要（原子力安全推進協会，2013）

本解析はある限られたケースでの試解析ではあるが，断層変位が 30cm 程度では地盤ー建屋全体解析が可能であり，原子炉建屋の基礎スラブや耐震壁等に生じる応力・変形の傾向を把握することができた．この結果によれば，同一変位を想定した場合は硬い地盤の方が建屋に生じる応力は大きくなる傾向がみられた．また，断層変位の影響は基礎スラブにおいては曲げモーメントより面外せん断力が厳しくなる傾向が見られた．ただし，断層変位の大きさ，方向（正断層，逆断層，横ずれ）および位置，地盤条件ならびに建屋の違い（炉型，基礎スラブの厚さ・形状等，耐震壁の配置等）により建屋に生じる応力・変形が異なることが想定される．

(3) 断層変位による原子力発電所建屋のフラジリティ評価

上述の解析結果に基づき，地盤物性および建屋物性が変動した場合の断層変位に対する建屋応答のばらつきを解析的に定量化し，深層防護の観点から考えられるすべての事象を考慮した総合的なリスク評価のために，既往最大の 30cm を超えた断層変位量に対する原子炉建屋フラジリティ評価に係る試算が実施されている(辻ほか, 2015).

既往最大の 30cm の 2 倍である 60cm までの断層変位量に対する原子炉建屋フラジリティ評価に係る試算を行った結果，基礎版のフラジリティ評価として，50%の損傷確率となる断層変位量は 80cm であり，HCPLF（High-Confident and Low-Probability of Failure ; 高信頼度低損傷確率値）に対応する断層変位量は 43cm となる試算結果が得られている（図 4.2-21 参照）.

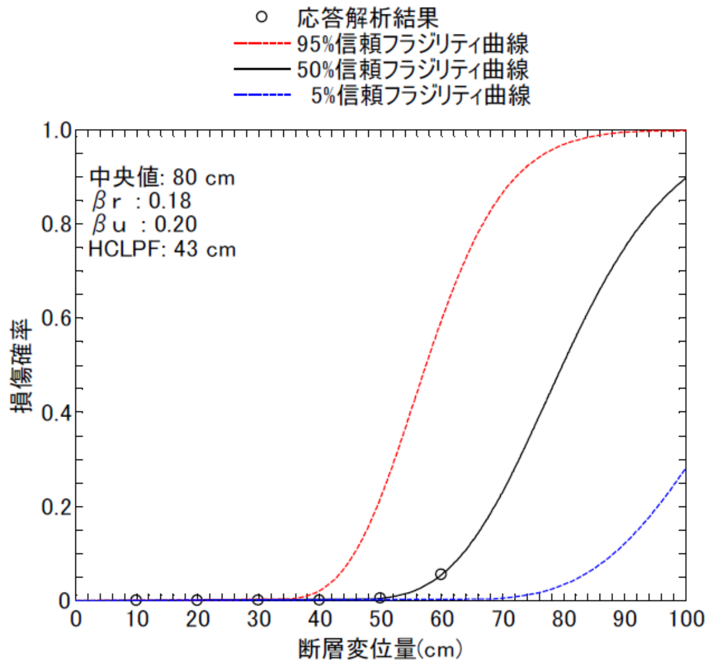


図 4.2-21　断層変位に対する基礎版のフラジリティ評価結果（辻ほか，2015）

4.2.6 高レベル放射性廃棄物処分における人工バリア挙動評価

我が国の地層処分概念では，地震・活断層の影響等，地層処分システムに著しい影響を及ぼす可能性のある天然現象については，サイト選定によってその影響を避けることを基本としている．しかし，万が一断層によるずれ変位が生じる場合を想定して人工バリア性能の限界状態を把握することも重要であることから，発生頻度，規模が小さいため事前調査で発見することが困難であるC級断層が人工バリアを直撃した場合を想定した，模型実験とシミュレーション解析が日本原子力研究開発機構により実施されている（例えば，平井（2003），齋藤ほか（2008）など）．なお，スウェーデンの SKB においても一連の実験と解析が過去に実施されている（例えば，Borgesson, 1988）.

(1) 実験概要

図 4.2-22 にせん断過程における試験体挙動の概念図を示す．緩衝材は，第 2 次取りまとめにおけるレファレンスケースの材料（ベントナイト 70wt%とケイ砂 30wt%の混合体で乾燥密度 1.6Mg/m^3）を用いた．模擬オーバーパックには，ガラス固化体に相当する部分を中空とした胴部厚さ 15mm，蓋部厚さ 10mm の鋼製のものを使用した．試験後の試験体を図 4.2-23 に，せん断試験結果の一例を図 4.2-24 に示す．

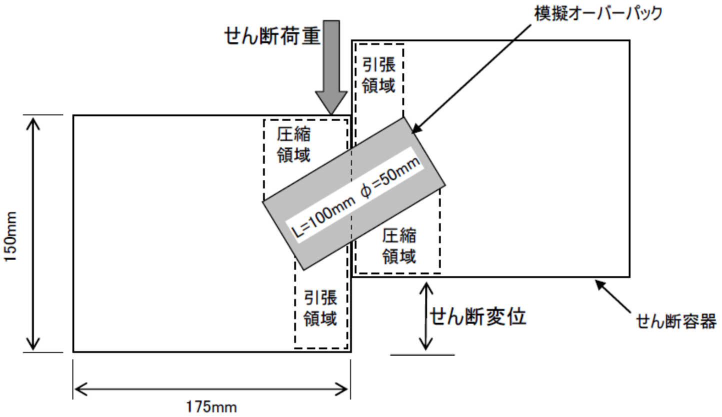


図 4.2-22　せん断過程における試験体挙動の概念図（齋藤ほか，2008）

本実験では，断層変位速度の影響を評価するため，速度を変えた実験を行っている．その結果，断層変位速度を 100mm/s から 1/10 の 10mm/s にした場合，緩衝材外周部で観測される土圧が 20%程度減少することが示された．また，今回の実験条件であるせん断変位速度 10～100 mm/s，せん断変位 40～70mm（緩衝材厚さの 80～140%）の断層ずれに対してオーバーパックは力学的に安定であることが示されている．

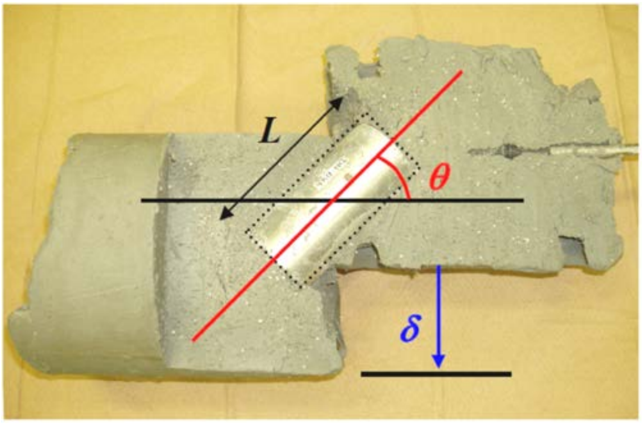


図 4.2-23　試験後の試験体の様子（齋藤ほか，2008）

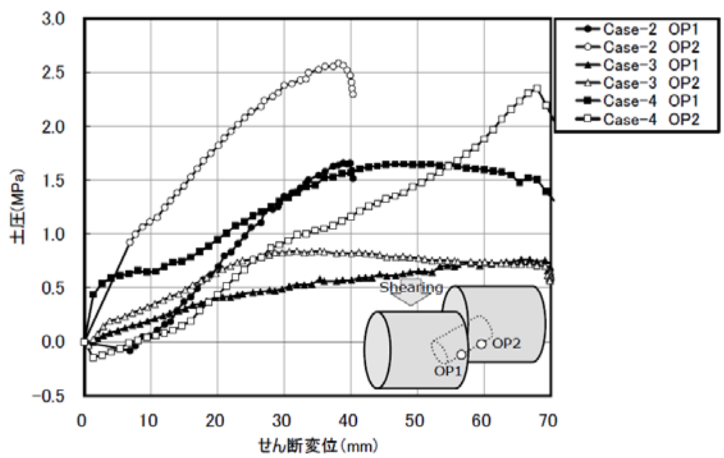


図 4.2-24　オーバーパックに作用する土圧増分とせん断変位の関係（齋藤ほか，2008）

(2) 解析概要

解析は，非線形 3 次元 FEM 解析であり，解析コードは ABAQUS を使用している．解析モデルは，図 4.2-25 に示すように判断面モデルである．境界条件として，固定側のせん断容器に相当する外周部および側面を完全固定とし，可動部の外周部および側面にせん断を模擬する鉛直方向の強制変位を与え，その他の変位は拘束した，また，せん断帯を除く外周部は非排水条件とした．

数値解析結果は，せん断変位が大きくなると試験結果との差異が生じる結果となった．また，せん断変位速度の影響は間隙水圧挙動に起因していることが確認できた．

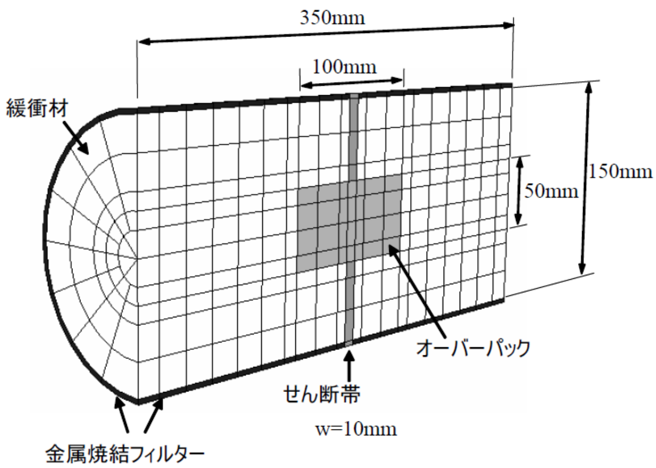


図 4.2-25　解析モデル（齋藤ほか，2008）

4.2.7 フィルダムコアのせん断変形試験

土木研究所では，2005 年～2007 年にかけて，「フィルダムの進行性破壊対策に関する研究」を実施している．これは，2005 年 3 月に国土交通省河川局治水課より「大規模地震に対するダムの耐震性能照査指針（案）」（国土交通省，2005）が通知されたことから，フィルダムについては，断層変位や大規模地震時のすべりによりせん断変形を受けたコア（遮水ゾーン）の進行性破壊対策に関する研究を進める必要があるとして開始された研究である．ただし，上記の耐震性能照査指針には，断層変位に関する記述は存在しない．

本研究では，フィルダムの遮水機能を受け持つコアにせん断層が形成された場合の浸透破壊抵抗性や，仮にせん断層を通して集中的な浸透が発生しても，コアの細粒分が流亡せず，コアの損傷の進行防止が図れる適切なフィルタ（極限フィルタ）粒度条件に関する実験的研究が実施されているが（土木研究所，2007），現状では要素試験にのレベルにとどまる．

【参考文献】

Borgesson, L. (1988): Modeling of buffer material behaviour.Some exemples of material models and performance calculations, SKB Technical Report, 88-29.

Okada, Y. (1985): Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism.

Soc. Am., Vol.75, No.4, pp.1135-1154.
Okada, Y. (1992): Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.82, No.2, pp.1018-1040.
Tani, K. (2010): Design consideration of surface ground deformation due to fault displacement in foundation engineering, Proceedings of International Symposium on Recent and Future Technologies in Coastal Development.
有賀義明（2009）：地表に現れる断層変位の形態に応じたダムの安全性評価法の検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.65，No.1，pp.255-262.
安西綾子・室野剛隆・川西智浩・紺野克昭（2010）：断層交差角度に着目した橋梁の性能評価ノモグラムの開発，第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.3261-3267.
井上大榮・伊藤洋（2014）：活断層の調査と評価，エネルギーレビュー，Vol.34，No.2，pp.9-12.
伊藤裕之（2013）：原子力発電所敷地内断層の変位に対する評価の基本的な考え方，エネルギーレビュー，第 33 巻，第 11 号，pp.38-41.
入江紀嘉・壇一男・生玉真也・入倉孝次郎（2010）：地中地震断層と地表地震断層の断層パラメータ間の経験的関係を拘束条件とした動力学的断層破壊モデルの構築－強震動予測のための運動学的断層モデルの高度化を目指してー，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.657，pp.1965-1974.
大草陽太郎・谷和夫（2010）：食違い弾性理論による地殻変動予測の問題抽出に関する文献調査，第 39 回岩盤力学シンポジウム講演集.
大塚久哲・古川愛子・相部岳暁（2010）：断層変位を受ける地中構造物の耐震性と免震対策の適用性，土木学会地震工学論文集，Vol.66，No.1，pp.188-195.
大塚久哲・相部岳暁・副島すみれ子（2012）：断層変位を受ける地中構造物の耐震継手対策の有効性に関する研究，土木学会地震工学論文集，Vol.68，No.4，pp.I_253-I_259.
大町達夫（2010）：置下地震の直撃を畳けたダムの事例，ダム技術，No.285，pp.3-13.
大町達夫・小島直之・村上敦（2002）：ダムサイト直下の伏在断層による地震時の地盤変位と貯水位変動，土木学会論文集，No.710/I-60，pp.337-346.
片岡正次郎・大町達夫（1997）：震源近傍の不計整形地盤における地震動の三次元シミュレーション，土木学会論文集，No. 556/I-38，pp.139-149.
加瀬祐子（2002）：断層間での破壊の乗り移り応力が深さに依存する場合についての考察，地学雑誌，Vol.111，pp.287-297.
兼近稔・三浦宣明・今塚善勝（2014）：建物・構築物の耐変位安全性評価，エネルギーレビュー，第 34 巻，第 2 号，pp.17-20.
菊地慶太・伊藤悟郎・加藤一紀・樋口俊一（2016）：逆断層変位を受ける地中構造物の挙動に関する遠心模型実験：Part1 実験概要，土木学会第 71 回年次学術講演会，Ⅶ-061.
原子力安全推進協会（2013）：原子力発電所敷地内断層の変位に対する評価手法に関する調査・検討報告書，JANSI-FDE-01 rev.1.
国土交通省河川局（2005）：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説，2005 年 3 月.
齋藤雄也・棚井憲治・菊池広人・平井卓・西村繭果（2008）：断層ずれに伴う人工バリアの

力学的挙動評価（Ⅱ），JAEA-Research 2008-010.
鈴木義和（2013）: 敷地内断層の変位に対する評価手法についてーJANSI 委員会報告の概要ー，土木学会・原子力土木委員会　断層変位評価小委員会講演会.
高田至郎・Nemat HASSANI・福田克己（2001）: 断層を横断する地中管路の設計法の提案，土木学会論文集，No. 668/1-54，pp.187-194.
谷和夫（1994）: ジョイント要素を用いた FEM による逆断層の模型実験のシミュレーション，地盤の破壊とひずみの局所化に関するシンポジウム，土質工学会，pp.77-87.
辻弘一・兼近稔・美原義徳・二階堂雄司（2015）: 断層変位に対する原子力発電所建屋のフラジリティ評価に関する解析的検討, 断層変位評価に関するシンポジウム講演論文集, pp.81-86.
堤宗朗（2008）: 断層変位シミュレーション，活断層研究，No.28，pp.65-70.
常田賢一・渡邉武・平石浩光（2005）: 道路橋における活断層変位対策の検討，土木学会地震工学論文集，Vol.28，No.98.
董 勤喜・柴山恭（2013）: FrontISTR を用いた大規模地殻変動解析，地震動解析事例紹介，東京大学生産技術研究所　第 7 回 FrontISTR 研究会，http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/131203/RCCM131203-2.pdf，2016 年 5 月閲覧.
土木学会（2001）: 土木構造物耐震設計ガイドライン（案）ー耐震基準作成のための手引きー，地震工学委員会，耐震基準小委員会，http://committees.jsce.or.jp/eec201/node/11.
土木学会（2015）: 断層変位評価小委員会研究報告書，原子力土木委員会.
土木学会（2008）:「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書，地震工学委員会，断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会.
土木研究所（2007）: せん断変形を受けたフィルダムの進行性破壊対策に関する研究，平成 19 年度土木研究所成果報告書.
長谷川延広・清野純史（2015a）: 断層横断管路の耐震設計手法の提案，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.71，No.4，pp.I_659-I_665.
長谷川延広・清野純史（2015b）: 断層変位を受ける埋設鋼管の塑性ヒンジ位置の検討，断層変位評価に関するシンポジウム講演論文集，pp.87-90.
浜村吉昭・坂田昭典・竹内重隆・牛尾亮太（2010）: 大容量送水管（奥平野工区）の計画と設計，地盤工学会誌，第 58 巻，第 4 号，pp.16-19.
樋口俊一・加藤一紀・伊藤悟郎・菊地慶太（2016）: 逆断層変位を受ける地中構造物の挙動に関する遠心模型実験：Part2 作用荷重，土木学会第 71 回年次学術講演会，Ⅶ-062.
樋口俊一・渡辺伸和・米澤健次・穴吹拓也・江尻譲嗣（2015）: 三次元 FEM 解析による断層上の地中鉄筋コンクリート構造物の損傷評価，断層変位評価に関するシンポジウム講演論文集，pp.91-98.
平井卓・棚井憲治・菊池広人・鈴木英明・高治一彦・大沼敏（2003）: 断層ずれに伴う人工バリアの力学的挙動評価，JNC TN8400 2003-009.
三橋祐太・橋本学・奥田洋司・内山不二男（2015）: 並列有限要素法を用いた長野県神城断層地震を対象とする断層変位シミュレーション解析，断層変位評価に関するシンポジウム講演論文集，pp.51-56.

5. まとめと今後の課題

平成 28 年度では，平成 27 年度に収集・整理した情報の更新と追加を行い，それらの成果を取りまとめた．以下に，A，B それぞれのグループで実施した主な作業内容とその成果，今後の課題を示す．

5.1 A グループ

重要構造物であれば，事前調査で分かる断層は避けることが基本であることから，事前調査でわからない断層の取り扱い方を議論することが重要である．そこで，「事前に把握できなかった地震断層」として，副断層の性状（基盤岩か被覆層か），変位の向き（正・逆・横ズレ），主断層からの距離，変位量等のデータを各社で分担して収集・整理した．以下にその結果を示す．

5.1.1 主断層，分岐断層，副断層等の関係

まず，主断層，分岐断層，副断層等の関係を整理した．

断層は，震源断層と直接的に関連する主断層および分岐断層のグループと，震源断層とは直接的な関連を持たない副断層，Sympathetic Fault Rupture，地すべり等のグループの 2 つのグループに明確に区分できる．しかしながら，原子力規制委員会（2013）の新規制基準では，これらすべてを「将来活動する可能性のある断層等」とみなし，耐震重要施設は「将来活動する可能性のある断層等」による変位が生ずる恐れがない地盤に設けなければならないとしている．

一方，山崎（2016）は「活断層のような地学現象は不確実性に富み白黒の判断は難しいので，断層のずれに対する工学的な対応が必要である」と述べている．実際に主断層や分岐断層は変位量が大きく断層変位地形と対応しているため，事前の地質調査により把握することが可能である．現実的にも原子力発電所などの重要構造物はこれを避けて建設されている．しかし，変位量が小さく必ずしも断層変位地形を伴わない副断層等については，事前に想定できない場合も多いため，重要構造物の安全性を議論する上で断層変位に対する工学的な対応方法を検討することは意義があるものと考えられる．

5.1.2 副断層の性状調査

地表地震断層を伴った過去の主な地震を対象にして，主断層や分岐断層から離れた位置に出現した副断層の性状を把握するために文献調査を行った．対象とした地表地震断層は，2016 年熊本地震（布田川－日奈久断層帯），2014 年長野県北部地震（神城断層），2011 年福島県浜通り地震（井戸沢断層・湯ノ岳断層），2008 年岩手・宮城内陸地震，2004 年新潟県中越地震（小平尾断層・六日市盆地西縁断層），2000 年鳥取県西部地震，1995 年兵庫県南部地震（野島断層・楠本断層），1984 年長野県西部地震，1978 年伊豆大島近海地震（稲取断層帯），1948 年福井地震（福井断層・福井東断層），1945 年三河地震（深溝断層・横須賀断層），1943 年鳥取地震（鹿野断層・吉岡断層），1940 年北伊豆地震（丹那断層）および 1927 年北丹後地震（郷村断層・山田断層）の計 14 である．

これらの中には，もともと既知の活断層が知られていなかった地震もあり，確実に

副断層と考えられる地表変位を認定し難い場合もあった．また，それぞれの文献の著者によって，副断層の定義や認定の方法が異なっていることもあり，2.2 節で検討した「主断層，分岐断層，副断層等の区分に関する考え方の整理」に従って，地下の震源断層と直接的な関連を持たないと考えられる地表変位に限って副断層として抽出・整理した．

5.1.3 副断層の変位量

上記の調査の結果，明瞭・不明瞭を問わず，副断層と思われる地表変位の位置と変位量の記載があるのは，2016 年熊本地震（数 10cm 以下），2014 年長野県北部地震（2～82cm），2011 年福島県浜通り地震（64cm，23cm），2008 年岩手・宮城内陸地震（10～30cm），1995 年兵庫県南部地震（5～70cm），1978 年伊豆大島近海地震（8～10cm），1945 年三河地震（0～100cm），1943 年鳥取地震（20～70cm），1930 年北伊豆地震（5～120cm）および 1927 年北丹後地震（30～65cm）の 9 つの地震である（文献で副断層としてあっても明らかに震源断層から派生した分岐断層など，断層変位地形が認められるものは除いた）．

このうち，副断層と分岐断層の判別が難しかった 1930 年北伊豆地震の丹那断層の場合を除けば，地表地震断層が出現した主な地震においては，副断層の変位量で 1m を超えるようなものはないと判断してもよさそうである．さらに，これらの地表変位には，被覆層の重力変形（表層部のすべりや側方流動など）の要素が含まれている可能性もある．このため，原子力施設等の重要構造物の基礎となる岩盤上に限ってみれば，副断層の変位量はさらに小さくなる可能性がある．

なお，ここで注目されるのは，2016 年熊本地震と 1995 年兵庫県南部地震の 2 つの事例である．

2016 年熊本地震では，人工衛星からのレーダー観測によって広域的に地表変位がとらえられている（2.3.1 項参照）．これらの中には，震源断層（布田川－日奈久断層帯）からある程度離れた位置に現れ，これとの直接の関連性がない地表変位が数多く存在する．その変位量は大きくとも数 10cm 程度であり，二次的な応力や強震動によって発生したもの，すなわち地表面近くの応力開放のため既存の弱面としての断層やその周囲が地表変位として現れたものと考えられており，副断層の成因の一つを示している可能性がある．

また，1995 年兵庫県南部地震では，震源断層（野島断層）の位置から約 4 km 離れた淡路島東岸において，上下変位量 10～20cm（右横ずれを伴う）の地表地震断層が現れた（2.3.7 項参照）．この位置には，既知の活断層（灘川断層系の楠本断層）が知られているが，現れた地表地震断層の変位の向きが地形的に推定される楠本断層の変位の向きと逆であることから，広域圧縮応力場のもとで誘発された断層面に沿った 2 次的な地殻の隆起と考えられている．これは，2.2 節で述べた Treiman（2009）による Sympathetic Fault Rupture，すなわち地下の震源断層の活動とは直接的な関連性がない副断層の一つに相当するものと考えられる．

5.1.4 今後活動する可能性がある断層の評価基準

地震調査研究推進本部による主要活断層の諸元を基に，活断層の平均活動間隔デー

タを整理した．その結果，平均活動間隔は 6～8 ka 以下のものが多く，データの信頼度が低いセグメントを除けば最長でも 30 ka 以下であり，最新活動時期は 30 ka を遡ることはないことが示された．したがって，日本の主要な活断層は 3 万年を超えた間隔で活動することは考えにくいことから，今後活動する可能性がある断層の評価基準は，MIS5e（12～13 万年前）に限定するのではなく，MIS5a～5e（7～13 万年前）とするのが妥当であるといえよう．

5.1.5 文献に基づく断層の長さと変位量

文献に示された断層の長さと変位量との相関関係を適用した場合，長さ 1km の断層の 1 回の変位量は 2～10cm となる．一方，同規模の地震断層（例えば 1998 年の岩手県内陸北部地震で約 800m にわたって出現した地表地震断層）で観測された最大変位量は 40cm と大きい．相関関係を求めた文献では，いずれも長さ 10km 程度以上の地震断層を対象として断層長と変位量の関係を求めていることから，長さ 1 km 程度の小規模な断層に対しては，別途関係式の検討が必要と思われる．

5.1.6 今後の課題

断層変位に対する工学的な対策の妥当性を評価するには，解析や実験における最も重要なパラメータとなる断層の変位量の範囲を何らかの根拠を持って想定する必要がある．今年度の調査結果から，「副断層の変位量で 1m を超えるようなものはない」という結果が得られたが，具体的な解析や実験を行う際にどの程度の変位量を前提にすべきかを議論する必要がある．

一方，これまでに得られた知見を基に，活断層の科学的な認定方法を具体的に提示することも必要であろう．単一のデータを基に「活断層であることは否定できない」という評価を下すのではなく，これまで実施されてきた構造地質学的アプローチ（地質構造の形成をもたらした地質現象や地殻応力場に基づく成因論）と古地震学的アプローチ（変位地形法と上載地層法）を併用して総合的に評価するための手順を具体的に示すことを目指したい．

5.2 B グループ

平成 27 年度では，原子力発電所およびダム，石油・ガス貯蔵施設，鉄道，道路などの重要構造物における活断層の定義，認定基準，工学的な対応方針を調査・整理するとともに，断層変位による被害事例と対策事例，断層変位による影響評価事例を収集・整理した．平成 28 年度では，国内のエネルギー関連施設以外（道路，鉄道など）について追加調査を行い，考慮すべき断層，工学的評価の方法について指針・規定類にどのように記述されているかを調査し，再整理した．その結果を以下に示す．

5.2.1 各種構造物における活断層の取り扱い

原子力関連施設とダムを除けば，活断層の取り扱いに関して明確に記述されている指針・規定類は少ない．地下構造物，新幹線トンネル，鉄道構造物，パイプライン，水道，下水道の指針・規定類だけである．

この中で，断層変位に対する対策を明示しているのは，地下構造物，新幹線トンネル，鉄道構造物，パイプライン，水道である．

新幹線トンネルでは，活断層との交差箇所から前後 100m 区間に対して対策工を実施するとしている. 断層と交差するトンネルに適用する対策工としては,「裏込注入工, ロックボルト工等」を挙げている．これは，断層変位による覆工コンクリート崩落等の被害を防止することを主眼としたものである．

中央新幹線の断層対策は，活断層はなるべく回避する，通過する場合は活断層をできる限り短い距離で通過するようにし，さらに活断層の形状等を十分に調査したうえで，通過の態様に見合った適切な補強を行っていくという方針である．

水道用の大容量送水管では，断層との交差部に断層用鋼管を設置し，断層変位による被害の軽減化を図っている．

下水道は，断層を避けることが基本であるが，避けられない場合には，震後において構造物の機能を代替するシステムや復旧方策などを検討しておくとしている．

5.2.2 断層変位による被害事例および評価事例の追加調査

2016 年熊本地震による構造物の被害事例を追記した．断層変位によると考えられる被害が，大切畑ダム，俵山トンネル，桑鶴大橋，扇の坂橋，俵山大橋において発生している．今後，既知の活断層の断層変位量ならびに事前に把握できなかった地震断層の変位量の整理、構造物被害との関連性の検討が進められることが期待できる．

断層変位による評価事例としては，菊地ほか（2016）および樋口ほか（2016）が実施した遠心模型実験を追記した．本実験は，岩盤の断層直上に設置した地中構造物を対象とし，逆断層の変位による構造物への作用荷重について遠心模型実験（模型縮尺 1/50 とした遠心重力 50G での実験）により検討したものである．

5.2.3 今後の課題

一般の土木構造物，特に線状構造物は活断層を避けて構築することは不可能である．したがって，断層を通過する箇所におけるハード対策としては，トンネル覆工やトンネル背面の強度増加，断層変位を吸収する断層用鋼管の適用を実施している．一方，ソフト的な対策としては，断層変位により構造物が破損することを前提にした上で，代替システム（迂回路等）の確保，復旧期間短縮方策を適用するとしている．

これらの対策は，それぞれの構造物の特性や構造物が破損した場合の影響等を考慮したものであり，同じ方法が他の構造物に対しても適用できるとは限らない．次年度は，Ａグループが整理した「事前に把握できなかった地震断層」によって生じる断層変位量を考慮したうえで，各種構造物における断層変位対策の妥当性を評価する．その上で，一般の土木構造物に適用されている断層変位対策が，原子力関連施設等の重要構造物に対しても適用可能か否かを検討する．

これらの検討過程において，既往の解析的な検討事例あるいは実験的な検討事例だけからは評価が困難な事例が発生した場合は，必要に応じて新たな解析あるいは実験を実施するための具体策を立案する．

添付資料－１　国内原子力施設における活断層の基本情報(1)

指針・規定類，文献の名称	発行年	制定機関	活断層の呼び方	活断層の定義	活断層の認定基準	工学的な対応方針・対応策	調査範囲	調査方法	備考
原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1970	1970	日本電気協会		体系的耐震設計法が確立していない. 各プラントごとに委員会形式で議論	「日本においては，地震の結果断層が発生するといわれているが，最近では断層の結果地震が起こるともいわれている.」としており，(活)断層により地震が発生するとの認識(自然観)が確立されていない.	「断層については，その活動性が問題になるが，原子力発電所施設が断層のごく近くにある場合は，その発電所の寿命中に地表変位がど程度になるかを推定しなくてはならない.」としているが，具体的な推定方法については言及していない.	(1975年申請・1977年設置許可の東電・柏崎刈羽1号の申請書には，ほぼ半径30㎞の地質図が添付されている)		基準なし(旧基準以前)
原子力発電所の地質，地盤に関する安全審査の手引き	1978	原子炉安全専門審査会			敷地周辺の地質構造において，顕著な断層または褶曲構造の存在が認められるときは，その活動性について十分安全側の評価がなされなければならない.		敷地の中心から少なくとも半径30㎞の範囲の陸域および海域	文献調査，航空写真判読，地表地質踏査，弾性波探査	旧基準
発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針	1978	原子力委員会	活断層	第四紀(約180万年以降)に活動した断層であって，将来も活動する可能性のあるもの	・歴史資料により，過去に地震を発生したと推定されるもの(S1) ・A級活断層に属し，10,000年前以降活動したもの，又は地震の再来期間が10,000年未満のもの(S1) ・微小地震の観測により，断層の現在の活動性が顕著に認められるもの(S1) ・上記以外のA級活断層に属するもの(S2) ・BおよびC級活断層に属し，50,000年前以降活動したもの，又は地震の再来期間が50,000年未満のもの(S2)，NRCの基準50,000年を採用したと推定される.	・重要な建物・構築物は岩盤に支持させなければならない. ・建物・設備の支持機能を損なわない. ・地震動(S1), (S2)への対応 ・(変位・変形については考慮していない. 変位・変形がないことを前提)		地形学的調査，地質学的調査，地震観測資料等	旧基準
発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針	1981	原子力安全委員会	活断層	第四紀(約180万年以降)に活動した断層であって，将来も活動する可能性のあるもの	・歴史資料により，過去に地震を発生したと推定されるもの(S1) ・A級活断層に属し，10,000年前以降活動したもの，又は地震の再来期間が10,000年未満のもの(S1) ・微小地震の観測により，断層の現在の活動性が顕著に認められるもの(S1) ・上記以外のA級活断層に属するもの(S2) ・BおよびC級活断層に属し，50,000年前以降活動したもの，又は地震の再来期間が50,000年未満のもの(S2)，NRCの基準50,000年を採用したと推定される.	・重要な建物・構築物は岩盤に支持させなければならない. ・建物・設備の支持機能を損なわない. ・地震動(S1), (S2)への対応 ・(変位・変形については考慮していない. 変位・変形がないことを前提)		地形学的調査，地質学的調査，地震観測資料等	旧基準
原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987	1987	日本電気協会	考慮すべき活断層	・第四紀(約170万年以降)に活動した断層であって，将来も活動する可能性のあるもの ・今後活動する可能性があるとはいえ，大地震発生の可能性が極めて低い活断層に対して，再びそれが発生することを予期するのは，工学的見地からは必ずしも適切とはいえない.	・歴史資料により，過去に地震を発生したと推定されるもの(S1) ・A級活断層に属し，10,000年前以降活動したもの，又は地震の再来期間が10,000年未満のもの(S1) ・微小地震の観測により，断層の現在の活動性が顕著に認められるもの(S1) ・上記以外のA級活断層に属するもの(S2) ・BおよびC級活断層に属し，50,000年前以降活動したもの，又は地震の再来期間が50,000年未満のもの(S2)，NRCの基準50,000年を採用したと推定される. ・長さ10㎞以上のものが対象(文献に第四紀に活動の記載のあるもの，明瞭な変位地形を有するもの，地震活動と関連性があるものについては長さ10㎞未満の断層でも検討対象)	・建物・設備の支持機能を損なわない. ・地震動(S1), (S2)への対応 ・(変位・変形については考慮していない. 変位・変形がないことを前提)	敷地の中心から少なくとも半径30㎞の範囲の陸域および海域	文献調査，地形・リニアメント調査，地表地質調査，海域地質調査，広域弾性波探査	旧基準
発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針	2006	原子力安全委員会	耐震設計上考慮する活断層	後期更新世以降の活動が否定できないもの	その認定に際しては最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができる. 地震活動に関連した活褶曲，活撓曲等については，活断層と同様に調査の対象とし，その性状に応じて震源として想定する断層の評価に考慮する	・十分な支持性能を持つ地盤に設置 ・「残余のリスク」を定義 ・地震動(Ss)への対応 ・変位・変形については考慮していない(変位・変形がないことを前提).		文献調査，地表地質調査，変動地形学的調査，地球物理学的調査(従来の調査＋変動地形学的手法を用いた総合的な活断層調査)	改訂旧基準
原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2007	2007	日本電気協会	耐震設計上考慮すべき活断層	後期更新世以降の活動が否定できない断層	活断層の認定に当たっては，最終間氷期若しくはそれ以前の地層又は地形面に断層による変位・変更が認められないものは考慮対象外とすることができる. 最終間氷期とは，酸素同位体ステージ(MIS)5a～5eに相当する後期更新世の高海水準期の時代をいう. 断層関連褶曲(地下深部の断層活動と関係があると考えられる活褶曲・活撓曲)についても活断層と同様に取り扱う.	・地震動(Ss)への対応 ・変位・変形については考慮していない(変位・変形がないことを前提).	敷地から少なくとも半径30㎞の範囲，半径30㎞以遠であっても文献等によって耐震設計上敷地への影響が大きいと考えられる活断層の存在が想定される場合は，当該活断層を含む範囲を調査範囲	文献調査，地形調査，地表地質調査，海底地質調査，敷地近傍ではさらに，ボーリング調査，トレンチ調査，物理探査	改訂旧基準
活断層等に関する安全審査の手引き(平成22年12月16日廃止)	2008	原子力安全委員会	耐震設計上考慮する活断層				・敷地中心から概ね100㎞範囲の文献調査(100㎞以遠であっても長大活断層等による敷地への影響が考えられる場合はこれを含め調査). ・敷地中心から少なくとも半径30㎞の範囲の十分な各種調査(半径30㎞以遠であっても敷地への影響が大きいと考えられる活断層の存在が想定される場合はこれを含め調査).	変動地形学的調査，地表地質調査，地球物理学的調査	改訂旧基準

添付資料－１　国内原子力施設における活断層の基本情報(2)

指針・規定類，文献の名称	発行年	制定機関	活断層の呼び方	活断層の定義	活断層の認定基準	工学的な対応方針・対応策	調査範囲	調査方法	備考
発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き	2010	原子力安全委員会	耐震設計上考慮する活断層	後期更新世以降の累積的な地殻変動が否定できず，適切な地殻変動モデルによっても，断層運動が原因であることが否定できない場合には，これらの原因となる耐震設計上考慮する活断層を適切に想定する．	後期更新世の地形面や地層が分布しない場合には，さらに古い年代の地形および地質，地質構造，応力場等を総合的に検討し，耐震設計上考慮する活断層の認定を行う必要がある．	耐震設計上考慮する断層が存在することは想定しない（ないことが前提）．	既存文献調査については，敷地から概ね 100 ㎞以内を対象（100 ㎞以遠であっても長大活断層等による敷地への影響が考えられる場合には，これを含め調査） 敷地中心から少なくとも半径 30 ㎞の範囲については，十分な調査を実施（半径 30 ㎞以遠であっても敷地への影響が大きいと考えられる活断層の存在が想定される場合は，これを含め調査）	既存文献調査，変動地形学的調査，地表地質調査，地球物理学的調査	改訂旧基準
実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則	2013	原子力規制委員会				設計基準対象施設は，算定する地震力が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない． 耐震重要施設は，変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない． 耐震重要施設は，変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない．			新基準
実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈	2013	原子力規制委員会	将来活動する可能性のある断層等	「将来活動する可能性のある断層等」とは，後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等とする．	その認定に当たって，後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には，中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形，地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること． 「将来活動する可能性のある断層等」には，震源として考慮する活断層のほか，地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え，支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む．	基準地震動による地震力が作用した場合においても，接地圧に対する十分な支持力を有する設計であること． 基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないこと． 変位が生ずるおそれがない地盤に設けるとは，当該施設を将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認した地盤に設置することをいう．		調査地域の地形・地質条件に応じ，既存文献の調査，変動地形学的調査，地質調査，地球物理学的調査等を適切に組み合わせた調査を実施	新基準
敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド	2013	原子力規制委員会	将来活動する可能性のある断層等	「将来活動する可能性のある断層等」は，後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できないものとする． 「将来活動する可能性のある断層等」には，震源として考慮する活断層のほか，地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え，支持基盤を切る地すべり面が含まれる．	約12～13万年前以降の複数の地形面又は連続的な地層が十分に存在する場合は，これらの地形面又は地層にずれや変形が認められないことを明確な証拠により示されたとき，後期更新世以降の活動を否定できる． この判断をより明確なものとするため，活動性を評価した年代より古い（中期更新世（約40万年前）までの）地形面や地層にずれや変形が生じていないことが念のため調査されていることが重要である． その認定に当たって，後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には，中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形，地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること． 約40万年前から約12～13万年前までの間の地形面又は地層にずれや変形が認められる場合において，約12～13万年以降の地形面又は地層にずれや変形が確認されない場合は，調査位置や手法が不適切である可能性が高いため，追加調査の実施も念頭に調査結果について詳細に検討する必要がある． 活動性の評価に当たって，設置面での確認が困難な場合には，当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により，安全側に判断する必要がある．			既存文献の調査，変動地形学的調査，地質調査及び地球物理学的調査	新基準
原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-20XX	20XX	日本電気協会	耐震設計上考慮すべき活断層	後期更新世以降（12～13 万年以降）の活動が否定できない断層を，耐震設計上考慮すべき活断層として取り扱わなければならない．	最終間氷期（約 13 万年前～約 8 万年前）の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによって，後期更新世以降の活動を評価することができる． 活撓曲（地下深部の断層活動と関係があると考えられる活褶曲を含む）については，活断層と同様に取り扱う．		敷地から少なくとも半径 30 ㎞の範囲，半径 30 ㎞以遠であっても文献等によって耐震設計上敷地への影響が大きいと考えられる活断層の存在が想定される場合は，当該活断層を含む範囲を調査範囲	文献調査，変動地形学的調査，地質調査，海域調査，地球物理学的調査	新基準

添付資料－２　各種構造物における考慮すべき断層と工学的評価の現状(1)

構造物	考慮すべき断層		工学的評価		指針・参考文献
	年代，活動性など	範囲	耐震性の考え方	変位解析（FEM・確率論的）	
原子力発電所	「将来活動する可能性のある断層等」とは，後期更新世以降(約 12～13 万年前以降)の活動が否定できない断層等とする. その認定に当たって，後期更新世(約 12～13 万年前)の地形面又は地層が欠如する等，後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には，中期更新世以降(約 40 万年前以降)まで遡って地形，地質･地盤構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること.	断層の活動性の評価に当たって，設置面での確認が困難な場合には，当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により，安全側に判断すること. また，「将来活動する可能性のある断層等」には，震源として考慮する活断層のほか，地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え，支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む.	第3条第3項：耐震重要施設は，変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない. (ここで規定する「変位」とは，将来活動する可能性のある断層等が活動することにより，地盤に与えるずれをいう.)	･原子力安全推進協会(2013)による建物･構造物，機器･配管系の耐変位安全性評価例がある. ･確率論解析手法は，現在改訂中の「原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準」に則ることになる. 断層ハザード評価手法としては，高尾ほか（日本地震工学会論文集，2013）の手法を用いることとしている.	･実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則 ･実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈
石油・ガス貯蔵施設	考慮すべき断層に関する記述はない.		地震動に対する耐震設計を規定しており，断層変位に関する言及はない.		■高圧ガス保安協会 ・高圧ガス設備等耐震設計基準 (告示 515 号 S56.10, 告示 236 号 H23.12) ・高圧ガス設備等耐震設計基準の運用及び解釈について(通達立局第 6 号 H9.4，通達原院第 2 号 H24.3) ・高圧ガス設備等耐震設計指針(2012) レベル 1 耐震性能評価,H27/09 ・高圧ガス設備等耐震設計指針(2012) レベル 2 耐震性能評価,H27/10 ・高圧ガスの配管に関する基準(2004),H16.3
石油・ガス貯蔵施設	断層変位に関して考慮すべき断層に関する記述はない. 地震動(震度)の設定に際しての活断層の有無が，下記要領により判定される. ・活断層の定義：第四紀(約 200 万年前以降)に動いたとみなせる断層（東大出版会；新編日本の活断層,1991.3 による） ・活断層の調査：調査を行う場合は，既存資料により活断層位置，確実度，活動度等を調査する. 内陸断層は新編日本の活断層の確実度 I II の活断層調査を基本とし，推本の活断層リストや活動履歴，地域防災計画，最新の調査研究を総合的に評価. ・活断層の有無の判定：「断層最短距離」～「Mj（断層長さから松田式などで設定）」に応じた，大地震動を生じる活断層の有無の判定図が，指針に用意されている.（地表 50kine の境界線であり，Mj=６で６km，Mj=７で１４km） ・L2 地震動の設定において断層の有無が不明な場合は，震度設定は地盤増幅係数＝２とし，断層解析では Mj の最小値を 6.5 とする.		地震動に対する耐震設計を規定しており，断層変位に関する言及はない.		■日本ガス協会 ・製造設備等耐震設計指針,2012.3 ・LNG 受入基地設備指針,2006.9
石油・ガス貯蔵施設	活断層の定義：同上 活断層の調査：同上 活断層の有無の判定：上記に加え， ・30km 内に活断層がなければ「無」とする案を参考提示している. ・一つの起震断層の判断（松田）の目安 ①5km 以内に他の活断層がない 10km 以上の孤立断層 ②走行方向に 5km 以下の間隔で並ぶ複数の断層 ③断層中点が主断層から 5km 以上離れた走行の異なる付随 or 分岐断層		・大規模な断層変位が地表に露頭する可能性がある場所を導管が横断する場合など，大きな地盤返上の可能性がある地区に導管を敷設する場合等には，以下に示す総合的な設備対策も設計上有効な手段である. 『地震対策上，敷設路線の全域で定められた耐震性能を確保するためにガス導管の耐震設計が確実になされることは非常に重要であるが，ガス導管システム全体の総合的な地震対策を講じていくという観点から見ると，局所的な地盤条件に対しては，この他にも緊急対策及び復旧対策にも十分な配慮が行き届いた総合的な設備対策（たとえばルートの多重化や緊急遮断バルブの設置など）を検討・実施することも設計上有効な手段である.』		■日本ガス協会 ・高圧ガス導管耐震設計指針,2013.4
石油・ガス貯蔵施設	考慮すべき断層に関する記述はない.		・断層変位に対する設計法の記述はない.		■日本ガス協会 ・高圧ガス導管液状化耐震設計指針, 2016.3 ・LNG 小規模基地設備指針,2011.10 ・LNG 地上式貯槽指針,2012.4 ・LNG 地下式貯槽指針,2012.4 ・LPG 貯槽指針(改訂版),2015.7 ・中低圧ガス導管耐震設計指針,2013.4
石油･ガス貯蔵施設（地表タンク）	考慮すべき断層に関する記述はない.		1997 年の改正により，2 段階の地震動による耐震設計，配管系の耐震基準化が追加された. (1)レベル 1 耐震性能評価 レベル1地震動(関東大震災クラスの地震を想定したもの)が発生したとしても，高圧ガス設備等においては，設備の有害な変形及び高圧ガスの漏えいがないこと. (2)レベル 2 耐震性能評価 レベル 2 地震動(レベル 1 地震動の 2 倍以上の地震を想定)が発生したとしても，高圧ガス設備等から高圧ガスが漏えいすることなく，当該設備の気密性を保持しなければならない.		･池田雅俊：高圧ガス設備等耐震設計基準，日本地震工学会誌，No.1，January，2005

添付資料－２　各種構造物における考慮すべき断層と工学的評価の現状(2)

構造物	考慮すべき断層		工学的評価		指針・参考文献
	年代，活動性など	範囲	耐震性の考え方	変位解析（FEM・確率論的）	
石油･ガス貯蔵施設（地下空洞）	考慮すべき断層に関する記述はない． 「第 4 章岩盤タンク貯蔵所の安全確保に関する検討　4.1.2　岩盤タンクと自然条件」(1)　岩盤タンクの安定性確保:(ｲ)地震等の活動度が高いと思われる地域については，原則的に設置地点としては避けることが必要である．(p.83)」との記述がある．ただし，「一般には良好な岩盤内空胴は耐震性に優れているとされている．(p.84)」とも記述されている．		地震力について，以下のように記述している(p.123)． 「貯油槽の耐震設計に関する技術指針としては，電事連指針，及び土木学会指針がある．これらによると，堅固な岩盤中に建設する貯油槽については，掘削による岩盤の安定性に問題がなければ耐震設計計算は省略してよいとされている． ただし，貯油槽近傍の岩盤の一部に顕著な不連続面や破砕帯がある場合には耐震性を検討するものとしている． 以上のようなことから，　サイト選定を行い，新鮮堅固な一体岩盤内に空洞をレイアウトする場合には，耐震性の検討は省略してもよいと考えられる．これに対して，力学的特性が明らかに異なる地層にまたがった配置となる場合など，地質構造上問題があると思われる際には，耐震性の検討を行って地震時の空洞安定性を確認する必要がある． 上記両指針では，耐震性の検討を行う場合は原則として静的解析によるものとし，必要に応じて動的解析により照査，補足するとしている．」		･岩盤タンクの安全確保に関する調査報告書，土木学会，1986.9
石油･ガス貯蔵施設（地下空洞）	考慮すべき断層に関する記述はない．		「7.2　耐震設計法」で以下のように記述している． 掘削及び地山自重について岩盤の安全性に十分な余裕がある場合，水封式燃料地下貯蔵施設の耐震設計計算は原則として省略してよい．耐震性の検討が必要と認められる場合は，地震時慣性力及び地震時の地中ひずみを想定して，静的解析によるものとし，必要に応じ，動的解析により照査するものとする．		･水封式燃料地下貯蔵施設技術指針，電気事業連合会，1980.3
高圧ガス導管	･考慮すべき断層に関する記述はない． 導管の敷設路線に大きな地震動を与える可能性のある活断層の有無を，(1)導管の敷設路線の活断層からの距離，(2)活断層の長さから推定されるマグニチュードの大きさ等を考慮して「有」，「無」，「不明」の何れかを判定．その判定結果に基づき，レベル 2 地震動に対する耐震設計の地震動を設定．				高圧ガス導管耐震設計指針，JGA 指−206−13， 日本ガス協会，2013
土木構造物	考慮すべき断層に関する記述はない． 「地震断層の変位の影響が構造物にまで及ぶ場合には，その永久変位に対する対策が必要となる場合がある．ダムなどのように岩盤上に建設される重要構造物の場合には，事前の地質調査段階で断層の存在を評価することが可能であるが，多様な地盤に建設される一般の土木構造物ではそれが困難な場合が多い．地表付近における断層変位の位置や大きさに関する予測技術の向上が望まれる．(p.30)」とある．		地中構造物のみに対して，以下の記述がある(p.154)． ･「地滑りや断層変位に関しても，その発生位置や変位量の定量的な評価に基づく照査を行うことが望ましいが，これらについては，十分な精度で予測できない，もしくは，十分な技術的対策を施すことが困難であることが多いのが現状である．そのような場合には，**拡幅やダブルルート化などのシステムとしての対応や，復旧期間短縮のためのソフト的対応**に関する照査を行い，その影響を評価してもよい．」 ･「断層部を通過する線状地中構造物において，構造物の寸法以上の変位が想定される場合など，現段階では技術的に対応困難な場合に関する照査については，**システム全体としての耐震性能**を照査しておくのがよい．(p.123)」		土木構造物耐震設計ガイドライン（案）－耐震基準作成のための手引きー，土木学会，2001.9
地下構造物	考慮すべき活断層に関する記述はない．		断層変位の対策について， 「活断層調査などにより地表地震断層の存在が想定され，それを横断して構造物を建設せざるを得ない場合は，構造物の応答に影響する変位量を予測しその規模に応じて，影響変位量を吸収する構造あるいは追従する構造により技術的に対処する． ここで，影響変位量が大きく，そのままの構造では技術的な対処が困難な場合は，構造物の**位置やルートの見直し**，影響変位量を低減する構造及び地表地震断層の変位による**被害が発生した場合の代替策**などにより対処する．(p.154)」としている．		･地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン（案），土木学会，2011.9
大深度地下構造物	考慮すべき断層に関する記述はない．		地震時の影響について，「大深度地下施設は，地震により受ける影響は小さいと考えられるので，原則として地震の影響を考慮する必要はないが，地上部との接続部分や，振動特性が異なる地盤に設置される場合などには検討を行い，必要に応じて対策をとるものとする．(p.49)」としている．		･大深度地下利用技術指針･同解説，国土交通省　都市･地域整備局　大都市圏整備課　大深度地下利用企画室，2001.6
大深度地下構造物	考慮すべき断層に関する記述はない．		「地震時に大きな影響を受ける活断層上への施設の設置については，極力避けるべきである．やむを得ず活断層上へ施設を設置せざるを得ない場合においても，断層近傍の強い地震動と断層のずれに分類される活断層の影響に対して対策を講じる必要がある．」とし，「やむを得ず活断層上へ施設を設置せざるを得ない場合，予想される地震に対し，地震動に対しては，構造安全性，機能維持性等の観点から耐震対策を講じる．また，断層のずれに対しては，ずれによる構造物の損傷等の影響を把握し，影響の程度に応じてその影響を極力小さくするよう耐震対策を講じる．(p.5)」としている．		･大深度地下の公共的使用における安全の確保に係る指針，国土交通省　都市･地域整備局　大都市圏整備課　大深度地下利用企画室，2004.2
トンネル（山岳）	考慮すべき断層に関する記述はない． 「幅の広い破砕帯を伴った断層の存在は，路線選定段階の調査で概略できる．断層破砕帯には大量の地下水を賦存していることがあり，この分布や性状の把握が大切である」としている．活断層については「資料調査により活動度を把握した上で必要に応じて踏査やトレンチ調査を検討することを原則とする．(p.20)」と述べるにとどまる．		「トンネル近傍の断層が規模の大きい地震の震源となった場合，トンネルに変状が生ずる可能性も考えられる．これに対して検討を行う場合は，計画の路線選定段階より留意する必要がある．(p.64)」の記載だけである．		･トンネル標準示方書（山岳工法編）･同解説，土木学会，2006.7
トンネル（山岳）	考慮すべき断層に関する記述はない． 路線計画，設計･施工計画のための活断層調査を実施する．断層破砕帯は塑性化地山として地山等級Isに分類され(p.40)，支保パターンはIsp とする(pp.64-66)．				･山岳トンネル設計施工標準･同解説，鉄道建設･運輸施設整備支援機構，2008.4
トンネル（山岳）	「付属資料 2　事前対策の事例集」 2.新幹線の活断層対策の例」の中に対策の基本的な考え方として「活断層が地震時に変位を生じることによるトンネルの被害を防止するため，**確実度 I かつ活動度 B 以上の活断層と交差している新幹線トンネルを対象とし，活断層交差箇所から前後 100m 区間に対して対策工を実施する**」との記述がある(p.90)．				･既設山岳トンネル地震対策･震災復旧マニュアル（案），鉄道総合技術研究所，2010.11
トンネル（都市部山岳）	･考慮すべき断層に関する記述はない． ･一般に良好な洪積地盤を対象とするときは，地震の影響の検討を省略してもよい． ･以下の場合は地震の影響を考慮:①坑口部付近の斜面が不安定な場合，②土被りが小さく軟弱な地山，③おぼれ谷を通過する箇所のように地質急変部，④開削トンネル，立坑との接続部，大断面トンネルなどの特殊条件		一般的に次の対応を取る レベル 1:耐震性能1 レベル 2:耐震性能 2 【ずれ記述なし】	基本的に応答変位法， 条件によって応答震度法，動的解析の実施（骨組，FEM）	･トンネル標準示方書（山岳工法編）･同解説，土木学会，2006.7 ･鉄道構造物等設計標準･同解説（都市部山岳工法トンネル），鉄道総合技術研究所，2002.3

添付資料－２　各種構造物における考慮すべき断層と工学的評価の現状(3)

構造物	考慮すべき断層		工学的評価		指針・参考文献
	年代，活動性など	範囲	耐震性の考え方	変位解析（FEM・確率論的）	
トンネル（シールド）	・考慮すべき断層に関する記述はない． ・土被りが大きく良好な地盤中のトンネルでは，一般に地震の影響の検討を省略してもよい． ・以下の場合は地震の影響を考慮：①地中接合部，分岐部，立坑取付部などの構造急変部，②軟弱地盤中，③土質，土被り，基盤深さ等の地盤条件急変部，④急曲線部を有する場合，⑤緩い飽和砂地盤で液状化の可能性がある場合		【一般の耐震設計】 レベル1：許容応力度法（応力度を割り増しした許容応力内に収める） レベル 2：限界状態設計法（局所的な損傷を許容，内空断面確保） 【ずれ記述なし】	基本的に応答変位法， 条件によって応答震度法，動的解析の実施（骨組，FEM）	・トンネル標準示方書（シールド工法編）土木学会 2006 年
トンネル（シールド）	・考慮すべき断層に関する記述はない． 「過去にトンネルと断層とが交差するときに，変位対策が必要となった事例もあることから，断層に関する調査も合わせて行う必要がある（p.20）．」とだけ記述されている．				・シールドトンネル設計施工指針，鉄道建設・運輸施設整備支援機構，2012.3
トンネル（開削）	・考慮すべき断層に関する記述はない． ・横断方向，縦断方向ごとに構造物及び地盤の特徴を十分に把握したうえで想定する地震動と耐震性能照査手法を定めて，構造物の耐震安全性を確認しなければならない．		地上構造物に比べ補修，補強がきわめて困難であることを考慮し，一般的に次の対応を取る レベル 1：耐震性能1 レベル 2：耐震性能 2 or 3 【活断層】記述なし	・基本的に応答変位法（骨組）， ・地盤バネによる相互作用の評価が困難なときは FEM ・地震時挙動が複雑，慣性力が大きい時は動的解析	・トンネル標準示方書（開削工法編）土木学会 2006 年
鉄道構造物	「線状構造物である鉄道の路線選定を行う場合，すべての活断層を把握し，かつ避けることは困難である．耐震設計のための地震動の選定を目的とする場合，活断層の調査はまず既存資料の収集，整理により，活断層やその疑いのあるリニアメントの分布位置，確実度及び活動度等に関する情報を収集することを基本とする．また，現段階で詳細な活動性，再来期間等が明らかな断層は限られており，さらに L2 地震動においては地震の発生確率などは考慮していない．そのため実際には，路線と断層との位置関係を把握することを主体に調査を行うのがよい．（p.40）」	調査範囲は，下記のように記述している（p.40）．「**資料調査**（第 1 段階調査）での範囲は，現段階では**線路から 20～30km の幅の範囲**とする．また，次段階の**詳細調査**（第 2，第 3 段階調査）ではいくつかの既往事例調査に基づき，現段階では**線路から 10km の範囲**を基本とし，構造物の重要度を考慮して決定するものとする．」	断層は設計地震動の設定のための断層情報として位置付けられている（常田・片岡，2011）．断層と交差する構造物の設計の考え方として，下記の記述がある（p.208）．「活断層が確認された場合には，路線計画の段階で活断層を跨ぐ位置に構造物を設計しないのが望ましい．ただし，実際には，活断層との交差が避けられないことも多い．その場合には，十分な調査を行い，一般部の耐震設計に加えて，活断層による地表面のずれに対して何らかの対策を施すことになる．」「断層を跨ぐ場合には，土構造物を用いることを第一に検討する．土構造を選択することが困難な場合には，構造的な単純さによる設計上の取扱いの明快さと，損傷した場合の復旧に対する作業性・迅速性等から単純桁形式が好ましい．」	「付属資料 2-1　断層を跨ぐ橋梁を設計する場合の検討事項」の中で，地表断層のずれに相当する変位量を強制的に橋脚に与えた場合の挙動を評価する手法とその事例（安西ほか，2010）が示されている．	・鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計，国土交通省鉄道局監修，鉄道総合研究所編，2012.9
鉄道の基礎構造物	・考慮すべき断層に関する記述はない．		地震または活断層の規模がある程度以上になると，断層面が地表にまで及び，大きな震動加速度を引き起こすだけなく，変位によって構造物に被害が発生する可能性がある．その場合，構造物の設計に断層変位の影響を考慮する必要がある．例えば，活断層位置が明確で地上構造物が活断層と交差する場合には，単純桁化，桁座拡幅などの落橋防止対策の強化，構造物の高強度化などの対策が考えられる．また，断層変位に対しては，設計的な対応だけでなく，交通システムの代替性などソフト面からの対策も併せて考慮する必要がある． ただし，断層変位と構造物の挙動との関係は研究段階であり，今後の研究の進展を待つべき点も多いことから，今後の研究成果を逐次取り入れ，断層変位に対応できる構造物の構築を目指していく必要がある．		・基礎構造物の耐震設計マニュアル（Q&A），鉄道総合技術研究所，2004.4
高規格道路			○道路橋示方書 地震時地盤変位の 1 つとして地表地震断層の出現に伴う断層変位を挙げているが，「地表地震断層の出現や大規模な地すべりについては，その規模や変位量の予測法及びその影響評価法等がまだ確立されていない．このため，こうした事象に関する調査・評価法について，今後の調査研究の進展に応じて適切に対応していく必要がある．（p.15）」との記述にとどまる． ○コンクリート標準示方書 「活断層の位置が明確であり，それを横切って構造物を建造する場合には，構造物自体の耐震性で対処するだけでなく，システムとしての代替性などソフト面からの対策も併せて考慮する．（p.247）」と規定． また，「活断層の位置が明確に分かっていれば，断層の発生による強制変位に対して，地上構造物の場合は，構造物の連続化及び高強度化等が，地中構造物の場合は，大断面化，二重化，可撓化，構造物と内部施設の絶縁化等の対策が考えられる．しかし強制変位が非常に大きく，これらの対策が技術的に困難な場合は，当該構造物を含んだシステム全体について，システムとしての機能低下をできるだけ抑制するよう，当該構造物の代替等のソフト面からの対策も併せて考慮する必要がある．（p.249）」とし，断層変位の規模が大きくてハード対策が困難な場合，それを補完するソフト対策の必要性を述べている．		・道路橋示方書・同解説　V　耐震設計編，日本道路協会，2012.3 ・コンクリート標準示方書，設計編，土木学会，2012
高規格道路	・考慮すべき断層に関する記述はない．		橋梁の耐震設計に関して「設計要領」に規定されていない事項については，道路橋示方書 V の規定によるとされている． 土工建設編では，高盛土・大規模盛土についてのみ地震時の安定計算方法が示されている．トンネル建設編では，耐震に関する記述はない．		・設計要領第二集橋梁建設編，東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社，2016
橋梁			道路橋の現行耐震設計基準では，断層変位に関する具体的な規定はない． 基本方針として，「変位吸収（追従）性能の高い構造形式」，「支間の長大化と効果的な断層線との交差角設定」，「変位吸収（追従）性能の高い部材断面」，「桁かかり長，落橋防止装置の適切な組み合わせ」，「震後の復旧シナリオ作成」を挙げている．	「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書（土木学会，2008）で解析事例が示されている． 鋼橋，コンクリート橋それぞれについて「桁橋」，「ラーメン橋」，「アーチ橋」，「斜張橋」の 5 つの橋梁形式のモデル橋を対象に動的解析を実施．残留変位量の異なる二つの変位波形を組み合わせることで，断層変位を考慮．	・「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書，土木学会，2008.7

添付資料－２　各種構造物における考慮すべき断層と工学的評価の現状(4)

構造物	考慮すべき断層		工学的評価		指針・参考文献
	年代，活動性など	範囲	耐震性の考え方	変位解析（FEM・確率論的）	
ダム	・第四紀断層：地質時代の第四紀（約 200 万年前～現在）に地表に変位を生じたことのある断層 ・要注意な第四紀断層： ①最終活動時期が 10,000 年前以降の断層 ②最終活動時期 10,000 年前～30,000 年前の断層で，かつ長さが長いもの（10km 程度以上の長さをもつ断層） ③第四紀後期に繰り返し活動した規模の大きい第四紀断層	文献調査はダム位置から半径 50km，地形調査はダム位置から半径 10km，**地質踏査はダム敷近傍（ダム敷及びその周囲 300m 以内の区域）**及び地形調査の結果特に必要な範囲	要注意な第四紀断層がダム敷に存在することが判明したときには，調査結果を総合判断して，ダムの位置の変更を含む適切な措置を取るものとする. 第四紀断層が存在しないことがダムサイト選定条件の一つとなっているので，断層変位に伴う構造的な損傷は考慮されていない.		・ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針（案），,建設省河川局開発課，1984
ダム	■第四紀断層：地質時代の第四紀（約 200 万年前～現在）において，地殻の構造運動によって生じ，地表に変位を与えたことが地形学的または地質学的に確認あるいは推定される断層 ■特に注意すべき第四紀断層：第四紀断層の内，特にダム工学の観点から注意すべき近い将来に活動することが推定される断層 ・第四紀後期に繰り返し活動したことが明らかなこと ・その最終活動期が特に最近の地質時代であること（既に活動が収束していると地質学的に判断できる第四紀断層は，該当しない）	■予備調査 ■計画調査(第1段階) ・文献調査：ダム位置から半径 50km ・地形調査：ダム位置から半径 10km ■計画調査(第 2 段階) ダムサイト近傍の未確定の第四紀断層に沿う連続部分で調査に必要な範囲 ■計画調査(第 3 段階) ダムサイト直近を通る確実度の高い第四紀断層の連続部分を挟み，調査に必要な範囲	第四紀断層調査は，計画調査の完了段階まで（＝設計調査の着手以前）に，特に注意すべき第四紀断層が，ダムサイトを通過しないことを確認するために行う. 調査により特に注意すべき第四紀断層がダムサイトを通過することが明らかとなった場合には，当該ダムサイトを候補地から除外することとし，ダムサイト直近を通過する場合には，下流地域の社会条件，候補地選定の自由度等を総合的に検討し，ダムサイトとしての適否を決定する. 第四紀断層調査では，ダムサイト周辺を含む計画地域を対象として，資料収集，地形分類調査，地表地質調査，地下地質調査，年代測定調査等を必要に応じて行い，第四紀断層及び特に注意すべき第四紀断層とダムサイト候補地との位置関係を把握する.		・土地改良事業計画設計基準　設計「ダム」基準書・技術書[共通編]，農林水産省農村振興局，2003
ダム	・考慮すべき断層に関する記述はない.		・断層変位に対する設計法の記述はない		・大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説，国土交通省河川局，2005.3 ・土地改良事業計画設計基準　設計「ダム」技術書[フィルダム編]，農林水産省農村振興局，2003 ・土地改良事業計画設計基準　設計「ダム」技術書[コンクリートダム編]，農林水産省農村振興局，2003 ・コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編]，土木学会 2013 ・第 2 次改訂ダム設計基準，日本大ダム会議 ，1978
堤防・河川構造物	・考慮すべき断層に関する記述はない.		・断層変位に対する設計法の記述はない		・河川砂防技術基準（案）同解説　調査編，日本河川協会，1997 ・河川砂防技術基準（案）同解説　計画編，日本河川協会，2005 ・河川砂防技術基準（案）同解説　設計編ⅠⅡ，日本河川協会，1997 ・河川堤防の構造検討の手引き，国土技術研究センター，2002
港湾施設	・考慮すべき断層に関する記述はない.		・断層変位に対する設計法の記述はない		・港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，2007

添付資料－２　各種構造物における考慮すべき断層と工学的評価の現状(5)

構造物	考慮すべき断層		工学的評価		指針・参考文献
	年代，活動性など	範囲	耐震性の考え方	変位解析（FEM・確率論的）	
高レベル放射性廃棄物処分施設	活断層の定義：過去数 10 万年前以降繰り返し活動したことのある断層で，将来も活動する可能性のある断層(原子力発電環境整備機構(2011)，pp.5-6)．	陸域では空中写真判読など，海域では海上音波探査などに基づいて全国的に調査された文献に示されている活断層がある場所は含めないように，概要調査地区を選定する． くり返し活動し，変位の規模が大きい活断層などについて，次の事項に該当すると明確に判断される場所，範囲は含めないように，概要調査地区を選定する． ① 全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によって認められる活断層がある場所 ② 活断層の幅(断層破砕帯)及びその外側の変形帯に含まれる範囲 ③ 活断層の分岐などの発生の可能性が高い範囲 ④ 顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲(原子力発電環境整備機構(2011)，5-35～36) 活断層の幅とは，断層活動に伴い岩石が破砕され，不規則な割れ目の集合体となった断層破砕帯(角礫部，粘土部を含む)のことを指し，その外側の変形帯とは，断層活動に伴う地層の変形が生じている領域のことを指す(原子力発電環境整備機構(2011)，5-69～70)．	「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に以下の記述がある． 第７条２項　原子力発電環境整備機構は，前項の規定により概要調査を行ったときは，その結果に基づき，経済産業省令で定めるところにより，当該概要調査の対象となった概要調査地区のうち次の各号のいずれにも適合していると認めるものの中から精密調査地区を選定しなければならない．三　当該対象地層等内に活断層，破砕帯又は地下水の水流があるときは，これらが坑道その他の地下の施設(次条第二項各号において「地下施設」という．)に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること．」	日本原子力研究開発機構(2014)にオーバーパックと緩衝材に変位を与えた時のミーゼス応力，主応力分布を３次元モデル，全応力解析にて評価した例が示されている．	・特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律，2000.6，最終改正 2014.6 ・地層処分事業の安全確保(2010 年度版)－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－，原子力発電環境整備機構，2011 ・平成 25 年度地層処分技術調査等事業処分システム評価確証技術開発報告書，日本原子力研究開発機構，2014.3
低レベル放射性廃棄物処分施設	原子力安全委員会(2010)2.2.2 地震・断層活動(p.7)に以下の記述がある(余裕深度処分)． 活断層とは，後期更新世以降の活動が否定できない断層を意味するものとするが，将来にわたって現在のテクトニクスの変動傾向が変化しつつあるという知見が得られている地域では，必要に応じてその変動傾向を適切に斟酌する．		「第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」に以下の記述がある(浅地中トレンチ処分，浅地中ピット処分)． 第三条　３項　廃棄物埋設地は，変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない． 原子力安全委員会(2010)2.2.2 地震・断層活動(p.6～7)に以下の記述がある(余裕深度処分)． 評価対象地点周辺の活断層(活褶曲，活撓曲を含む)の分布に基づき，活断層の分岐・派生及び長さ方向への伸展と活断層から評価対象地点までの距離等を考慮して，将来の地震・断層活動による埋設施設の力学的な破壊の影響が想定される地点には，埋設施設を設置しない．		・第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則，2013.12 ・余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方，原子力安全委員会，2010.4
パイプライン	・考慮すべき断層に関する記述はない．		第五条　導管等の構造は，地震の影響で生ずる応力に対して安全なものでなければならない． 第六条　導管の有害な伸縮が生じるおそれのある箇所には，告示で定めるところにより当該有害な伸縮を吸収する措置を講じなければならない．		石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令，2011.12
パイプライン	・考慮すべき断層に関する記述はない． 屋外タンクの設置地盤に関して，下記の記述がある． 「第六十八条の十四　地盤は，岩盤の断層，切土及び盛土にまたがるもの等すべりを生ずるおそれのあるものであってはならない．」		(地震の影響) 第十一条　省令第五条第一項に規定する地震の影響は，地震動による慣性力，土圧，動水圧，浮力，地盤の変位等によつて生じる影響をいうものとする．(それぞれ計算方法が別途示されている．) (伸縮吸収措置) 第十六条　省令第六条の規定により，導管には，次の各号に掲げるところにより有害な伸縮を吸収するための措置を講じなければならない． 一　原則として曲り管を用いること． 二　曲り管等の種類，配置及び固定の方法は，導管に異常な応力を発生せしめないよう考慮したものとすること．		石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示，2015.4

添付資料－２　各種構造物における考慮すべき断層と工学的評価の現状(6)

構造物	考慮すべき断層		工学的評価		指針・参考文献
	年代，活動性など	範囲	耐震性の考え方	変位解析（FEM・確率論的）	
水道	・考慮すべき断層に関する記述はない． (3.1.10)その他考慮すべき地盤変位等 地域特性，水道施設の重要度に応じて，以下に示す地盤変位等を考慮するものとする． 1．埋設管路と構造物との接続部に発生する相対変位 2．断層近傍における高レベルの地盤変位・地盤歪み 3．断層横断部における断層変位		2．について;断層近傍域では，過去の地震において埋設管路に甚大な被害が発生していること，大きな地盤ひずみが発生する可能性が高いことから，断層近傍域において布設される埋設管路については，地盤条件に関わらず，原則として耐震性能の高い管路を用いることとする． 3．について;活断層を横断する重要な大口径管路については，断層変位を考慮することとする． 1) 断層横断部の埋設管路の対応方法としては，想定される断層変位に対応可能な変形性能を埋設管路に確保させる方法と，被害が発生した場合のバックアップルートを確保する方法がある． 2) 断層変位の算定方法については国内の主要な活断層公開情報[1), 2)]から活断層の位置，断層長さ等を設定してもよい．活断層の傾斜角，滑り量等のパラメータが明らかな場合には，断層の破壊過程を予測する段窓モデルを用いた数値シミュレーションにより，理論的に断層変位を求めることができる．簡易的な手法としては，断層長さ等から断層変位を求める推定式が提案されている[3)]		水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版，日本水道協会，2009 【文中の引用文献】 1) 中田高・今泉俊文:活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版，2002 2) 防災科学研究所:地震ハザードステーション J-SHIS 3) 片岡正次郎，日下部毅明:内陸地震の規模・タイプと地表地震断層の特性との関係，土木学会論文集，No. 801/I-73，pp.21-32，2005
下水道	「2.2.1 調査」の「4)活断層に対する調査」で以下の記述がある(p.30)． 下記に示す特徴が写真判読や現地踏査で確認された場合，当該部分が活断層か否かの調査を行うのが望ましい． ① 扇状地や段丘上における低断層崖の存在(段差の存在) ② 畔道・道路・流路・尾根等の横ずれ ③ 構造物の緩慢な破損や亀裂の形成 ④ 低断層崖等への亀裂の形成(地震時等)		「1.2.9 耐震設計・耐津波設計において考慮すべき事象」の「(2)断層による変位について」で以下の記述がある(p.23)． 地震断層の存在が想定される場合は，下水道施設の位置やルートの見直し，変位による被害が発生した場合の代替策などにより対処する． 地震断層の工学的な対策の基本姿勢は，「避ける」「吸収する」及び「追従する」に分けられる． 断層による変位量は一般的には数 m にも及び，変位量を「吸収する」，「追従する j ことは困難であることから**「避ける」ことを基本**とし，構造物の位置やルートを見直すこととする．やむを得ず位置やルートの変更ができない場合や断層を避けられない場合には，**震後において構造物の機能を代替するシステムや復旧方策などを検討**しておく必要がある．		下水道施設耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2014
共同溝	・考慮すべき断層に関する記述はない．		「共同溝には，継手を設けるものとする．継手間隔は，30m を標準とする．(p.43)」としている．		共同溝設計指針，日本道路協会，1986.3
駐車場	・考慮すべき断層に関する記述はない． 「地下駐車場躯体完成後，基礎地盤の圧密沈下などによる地盤変動が予想される場合には，この影響を考慮するものとする．」としている．				駐車場設計・施工指針同解説，日本道路協会，1992 駐車場設計・施工指針について，建設省通達，1992
埋設管	・考慮すべき断層に関する記述はない． 土地改良施設の耐震設計のための地盤調査のうち，「既存の資料による調査」の中に，「活断層に関する調査」が含まれるのみである．		[参考] 我が国の被害地震，地震動及び耐震設計等について 「(5)構造物の耐震性の在り方」で以下のように記述されている(p.13.)． 「構造物が保有すべき耐震性能は，耐震設計の対象とする地震動の発生頻度と構造物の重要度を対比することによって決定すべきであると考えられる．例えば，レベル 1 地震動のように構造物の耐用期間内に 1～2 度発生する確率の地震動に対しては，構造物の変形は弾性限度内に収まるようにし，地震後の残留変形が残らないようにする．これに対し，レベル 2 地震動のように極めてまれな地震動に対しては，破壊してよいもの，許容の残留変形内に収めるもの又は全く損傷を受けないもの，というように構造物の重要度によって，目標とする耐震性能を変えて耐震設計を行うという考え方である．」		土地改良事業設計指針「耐震設計」(案)，農林水産省構造改善局建設部，2015.3
地中構造物	地震断層や地表のずれが発生するところは，特殊な個所と考えられるが，地中構造物の中でもトンネル，パイプラインや共同溝のような極地的でなく線的な構造をしているものは，断層部分を避けえない場合があり，設計上も十分な検討と配慮が必要である．地表断層や地表のずれが発生する位置は，断層の調査データがある場合には，ある程度の推測がつくものと考えられ，スポット的な構造物，たとえば地下駐車場のようなものは，極力その場所への建設は避けるべきである． (p.I-152，p.I-173 図-2.5.3.9 断層を考慮した設計手順より) ・活断層が無い場合(今後，構造物に対してずれが想定されない場合)は通常の耐震設計 ・断層がある場合にずれ量の算定と施設の重要度に応じた対応策として①構造的な対応(可撓性や強度増加の検討)，②システム的な対応策(拡幅，ダブル化，ブロック化，二重化)，③ソフト的な対応策(早期復旧，二次災害防止)などに分類される． ・ただし，いずれも断層が実際にずれてその機能を検証したものはなく，断層の位置，ずれ量を含めて，今後の研究・開発を待たなければならない．				大震災の教訓を活かすために～実務技術者からの提案～，設計技術検討部会報告 資料編，土木学会阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会，p. I-153，1998 https://www.jsce.or.jp/library/eq10/book/bklist/45939/eqbk01.htm