

2023 年度（2023M-169）

多目的型地下インフラモデルの調査研究

報 告 書

【本編 第IV部】

地下インフラモジュールの基本構造と構築技術に
関する調査研究（第4部会）

2024 年 3 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



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>

この報告書は「本編第Ⅳ部」です。
本編全体を要約した「概要版」および「本編第Ⅰ部、第Ⅱ部、第Ⅲ部」
はエンジニアリング協会ホームページよりダウンロードできます。

以下のアドレスまたは QR コードから、当協会の JKA 補助事業
調査研究報告書のページにアクセスして、2023 年度補助事業を
クリックして下さい。

<https://www.ena.or.jp/information/jka-subsidy-business>



地下インフラモジュールの基本構造と構築技術に関する調査研究部会
(第4部会)

委員名簿

部会長	栗山 裕司	鹿島建設(株)	土木設計本部 地盤基礎設計部 設計部長
副部会長	本多 伸弘	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング	事業推進本部 担当部長
委員	岩崎 広幸	(株)安藤・間	建設本部 土木技術第一部
委員	田中 義浩	応用地質(株)	エネルギー事業部 事業企画部 専任職
委員	浜田 元	(株)奥村組	技術本部 技術研究所 土木研究グループ 地盤調査・計測チームリーダー
委員	村下 富雄	(株)鴻池組	土木事業総轄本部 技術本部 土木技術部 技術2課 課長
委員	福田 毅	清水建設(株)	土木総本部 土木技術本部 地下空間 統括部 トンネル設計グループ 主査
委員	田中 宏典	戸田建設(株)	本社 技術研究所 社会基盤構築部 主管
事務局	武井 孝	(一財)エンジニアリング協会	地下開発利用研究センター 技術開発部 研究主幹

活動内容

人流、物流の特性を踏まえた地下インフラ構築に関する調査研究部会(第4部会)

1) 調査方針・概要

「地下インフラモジュールの基本構造と構築技術に関する調査研究」というテーマに対し、近年多くなってきている多目的型地下インフラモジュールを対象に、2023、2024年度の2か年で調査・研究を実施するものである。2023年度は「地下空間を経済的、効率的に利用するために多目的に人流、物流、備蓄、避難などに対応できる（大深度）地下インフラを構想する」ところまでを想定した。

テーマの「地下インフラモジュール」における機能・用途は重要な要素であり、本調査では地下インフラモジュールが多目的であることを意識した。「多目的型地下インフラモジュール」とは、「複数の用途を有する多機能な地下施設を含む不特定多数が利用する社会基盤施設」と定義した。これは一般的な多目的の概念をさらに細分化し、機能面を取り扱うことにより、調査範囲が広がることを期待したものである。

調査においては、まず地下空間利用の歴史、将来の利用計画、関連法規、要求性能や各種課題を整理し、国内外の供用事例を調べることとした。次にこれらの施設の構造的分類を行うことにより、それぞれの特徴を把握することとした。そのための設計手法を調査する中で、地下インフラ施設の課題が浮き彫りになり、問題提起を行うとともに、さらに構築・再構築の方法・事例の調査を行うこととした。

机上調査に加えて、ヒアリング・現地調査を行うことにより、調査の深度化をねらった。ヒアリング・現地調査の対象となる施設・事業は「5.1.2 関連施設への現地調査・ヒアリング調査」に示す5か所とした。

2) 活動状況

2023年度は7回の部会を開催した。また、机上調査に加えて、ヒアリング・現地調査を行うことにより、調査の深度化をねらった。ヒアリング・現地調査の対象となる施設・事業は「5.1.2 関連施設への現地調査・ヒアリング調査」に示す5か所とした。

第4部会の活動状況

回	開催日	主要議事
第1回	2023年6月7日	<ul style="list-style-type: none"> ・部会長、副部会長の選任 ・2023年度の活動テーマについての討議
第2回	2023年7月11日	<ul style="list-style-type: none"> ・部会の進め方について討議 ・視察候補について検討
現地調査 ヒアリング	2023年8月4日	<ul style="list-style-type: none"> ・大谷石採掘場跡ほかの現地調査・ヒアリングを実施
第3回	2023年9月12日	<ul style="list-style-type: none"> ・調査研究（目次）について討議 ・視察候補について検討
第4回	2023年10月17日	<ul style="list-style-type: none"> ・調査研究内容について検討 ・視察先ヒアリングについて検討
現地調査 ヒアリング	2023年11月13日	<ul style="list-style-type: none"> ・首都圏外郭放水路現地調査・ヒアリングを実施
第5回	2023年11月14日	<ul style="list-style-type: none"> ・調査研究内容について検討 ・視察先ヒアリングについて検討
現地調査 ヒアリング	2023年11月28日 ～11月29日	<ul style="list-style-type: none"> ・神戸三宮地下街、寝屋川北部地下河川、淀川左岸線（2期）工事の現地調査・ヒアリングを実施
第6回	2023年12月19日	<ul style="list-style-type: none"> ・執筆作業進捗確認を実施 ・報告書記載事例の内容確認を実施
第7回	2024年2月1日	<ul style="list-style-type: none"> ・報告書および概要版原稿の確認、校正を実施

多目的型地下インフラモデルの調査研究 報告書

【本編 第IV部】

地下インフラモジュールの基本構造と構築技術に関する 調査研究

目 次

2023 年度地下利用推進部会 第 4 部会 委員名簿

活動内容

第 1 章 調査方針・概要	1
1.1 調査方針・概要	1
1.2 関連施設への現地調査・ヒアリング調査	1
1.2.1 大谷石採掘場跡地	1
1.2.2 首都圏外郭放水路	2
1.2.3 神戸市三宮周辺の地下施設	2
1.2.4 寝屋川北部地下河川	3
1.2.5 阪神高速淀川左岸線（2 期）工事	4
第 2 章 多目的型地下インフラについて考える	5
2.1 多目的型地下インフラとは	5
2.1.1 「多目的型地下インフラ」の定義	5
2.1.2 地下空間利用としての歴史的背景	5
2.1.3 多目的型地下インフラの機能	7
2.1.4 多目的型地下インフラの将来的な付加機能	8
2.2 多目的（用途）の要求性能	9
2.2.1 地下空間の規模・形状	9
2.2.2 地下空間の連続性	9
2.2.3 地下空間の構築場所	11
2.2.4 設備の設置	11
2.2.5 維持管理・更新電話	12
2.3 関連法規	13
2.4 多目的型地下インフラの事例紹介	17
2.4.1 渋谷駅東口基盤整備事業	17
2.4.2 淀川左岸線（2 期）事業	18

2.4.3	綾瀬川・芝川等浄化導水事業	19
2.4.4	クアラルンプール洪水緩和事業	20
2.4.5	フィリングスダルストーンネル	21
2.4.6	ヘルシンキの地下施設	22
2.5	課題	24
2.5.1	避難時の課題	24
2.5.2	設備に関わる課題	24
2.5.3	衛生面やストレスに関する課題	25
2.5.4	法規に関する課題	26
第3章	多目的地下インフラの構築・再構築技術	27
3.1	構造例	27
3.1.1	地下インフラの構造分類	27
3.1.2	地下インフラの構造の現状と課題	32
3.1.3	代表的な構造例	34
3.2	構築・再構築技術例	38
3.2.1	構築・再構築技術の分類	38
3.2.2	構築・再構築技術の現状と課題	50
3.2.3	代表的な構築・再構築技術例	52
第4章	ヒアリング・現地調査	55
4.1	大谷石採掘場跡地	55
4.1.1	調査概要	55
4.1.2	調査実施状況	55
4.1.3	調査結果	57
4.2	首都圏外郭放水路	63
4.2.1	調査概要	63
4.2.2	調査実施状況	64
4.2.3	調査結果	64
4.3	神戸市三宮周辺の地下施設	70
4.3.1	調査概要	70
4.3.2	調査実施状況	74
4.3.3	調査結果	75
4.4	寝屋川北部地下河川	78
4.4.1	調査概要	78
4.4.2	調査実施状況	79
4.4.3	調査結果（寝屋川北部地下河川 城北立坑築造工事）	82
4.4.4	調査結果（西郷通調節池）	87
4.5	阪神高速淀川左岸線	91

4.5.1 調査概要	91
4.5.2 調査実施状況	92
4.5.3 調査結果	93
第5章 まとめ	96

第1章 調査方針・概要

1.1 調査方針・概要

第4部会では「地下インフラモジュールの基本構造と構築技術に関する調査研究」というテーマに対し、2023、2024年度の2か年で調査・研究を実施するものである。2023年度は「地下空間を経済的、効率的に利用するために多目的に人流、物流、備蓄、避難などに対応できる（大深度）地下インフラを構想する」ところまでを想定した。

本調査研究での「多目的型地下インフラモジュール」とは、「複数の用途を有する多機能な地下施設を含む不特定多数が利用する社会基盤施設」と定義した。これは一般的な多目的の概念をさらに細分化し、機能面を取り扱うことにより、調査範囲が広がることを期待したものである。

調査においては、まず地下空間利用の歴史、将来の利用計画、関連法規、要求性能や各種課題を整理し、国内外の供用事例を調べることにした。次にこれらの施設の構造的分類を行うことにより、それぞれの特徴を把握することとした。そのための設計手法を調査する中で、地下インフラ施設の課題が浮き彫りになり、問題提起を行うとともに、さらに構築・再構築の方法・事例の調査を行うことにした。

机上調査に加えて、ヒアリング・現地調査を行うことにより、調査の深度化をねらった。ヒアリング・現地調査の対象となる施設・事業は「1.2 関連施設への現地調査・ヒアリング調査」に示す5か所とした。またそれぞれの調査結果の詳細については、第4章にて述べる。

1.2 関連施設への現地調査・ヒアリング調査

1.2.1 大谷石採掘場跡地

(1) 調査概要

栃木県宇都宮市大谷地区一帯は古くから大谷石が採掘されてきた。地下部分の採掘によって大空洞が形成され、現在ではほとんどが水没して放置されている状態であり、管理されていない範囲が多い。この空洞部分で落盤が生じ、それに伴う大規模な陥没も発生している。

今回の調査では採掘に関係のある大谷資料館、大谷地下資源研究所展示室（川崎地質（株））、大谷石採取場跡地観測所（（公財）大谷地域整備公社）の3か所を訪問し、陥没の対策状況や地下利用状況の現地調査・ヒアリング調査を行った。

(2) 調査実施状況

日時：2023年8月4日（金）13:30～17:00

場所：大谷資料館

大谷地下資源研究所展示室（川崎地質（株））

大谷石採取場跡地観測所（（公財）大谷地域整備公社）

出席者：第4部会 栗山部会長、福田委員

第4部会以外 地下利用推進部会関係者

1.2.2 首都圏外郭放水路

(1) 調査概要

埼玉県の中川・綾瀬川の流域は、利根川や江戸川、荒川といった大きな川に囲まれている。この地域は土地が低く水がたまりやすいお皿のような地形となっているため、これまで何度も洪水被害を受けてきた。洪水対策として建設された首都圏外郭放水路は世界最大級の地下放水路であり、周辺河川が洪水となった時、洪水の一部をゆとりのある江戸川へと流す機能を有する。2002年に部分通水開始、2006年に全区間供用が開始され、年平均7回の稼働実績があり、2019年10月までの周辺地域の被害軽減効果は1,484億円とされている。

今回の調査では、一般にも募られて定期的に行われている見学会に応募し参加すると共に、見学会後には国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所首都圏外郭放水路管理支所長の宮寄氏へのヒアリングを行った。事業計画、建設時の経緯から現在の運用・管理状況に至るまで広く有意義な情報が得られた。現在は洪水対策としての用途以外にテレビや映画の撮影、プロモーションビデオの撮影に利用されている。また見学者からはシェルターやコンサート会場などに利用できないかといった意見が挙がっているとのことである。

(2) 調査実施状況

日時：2023年11月13日（月）15:00～17:30

場所：首都圏外郭放水路 龍Q館（庄和排水機場）、調圧水槽、第1立坑

出席者：国土交通省 関東地方整備局 江戸川河川事務所

首都圏外郭放水路管理支所 宮寄支所長

第4部会 栗山部会長、本多副部会長、岩崎委員、田中(義)委員、
浜田委員、福田委員

事務局 塩崎副所長、武井主幹

1.2.3 神戸市三宮周辺の地下施設

(1) 調査概要

神戸市三宮周辺の地下には、「さんちか（正式名称：三宮地下街）」という愛称の地下街があり、さんプラザ、センタープラザなどの地下には、多くの飲食店が入居し、これらは地下道で繋がっている。また、地下鉄三宮駅を含む7つの駅舎、三宮中央通り駐車場、三宮バスターミナル、神戸阪急（阪急百貨店）などと地下道で繋がっており、大規模な地下インフラネットワークが形成されている。

神戸市では、2017年12月に閣議決定された「国民の保護に関する基本指針」に基づいて、堅牢な建築物や地下施設を緊急一時避難施設として指定している。

今回、神戸市三宮周辺の地下施設を対象として現地調査を実施するとともに、神戸市建設局の方々に三宮中央通り地下通路（サンポチカ）を案内いただきながら、緊急一時避難施設にかかる事項に注目してヒアリングを行った。

国民保護法施行に伴い、施設構造の補強を行っておらず、Jアラート発出から周囲の安全が確保されるまでの数時間の避難場所という位置付けでの運用がなされている。また都心エリアに位置しており、「にぎわい」「いこい」の拠点創出のために通路壁をキャ

ンバスに見立てた「アーティスト」の部屋としての利用がされており、使用頻度の向上が検討されている。

(2) 調査実施状況

日 時：2023年11月28日（火）13:30～15:30

場 所：三宮中央通り地下通路（サンポチカ）

出席者：神戸市建設局 道路計画課 神吉職員、道路管理課 川南係長
第4部会 栗山部会長、本多副部会長、田中(義)委員、浜田委員、
村下委員、福田委員、田中(宏)委員
事務局 武井主幹

1.2.4 寝屋川北部地下河川

(1) 調査概要

大阪府寝屋川流域では総合治水対策の一環として、寝屋川北部地下河川（都市計画河川寝屋川北部地下放水路 全長約14.3km）が計画されている。松生立坑（門真市）～鶴見立坑（守口市）～讃良立坑（寝屋川市）の9.7km区間は令和2年度末に完成し、貯留施設として暫定供用されている。大川（都島区）～鶴見立坑の4.6km区間は、従前の計画では都市計画道路北野今市線・都島茨田線の道路整備にあわせ、その地下に整備することとしていたが、地下河川を整備できるまでには至っていない。このような状況を踏まえ、大阪府では寝屋川北部地下河川の早期完成を目指すため、当該区間で「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法（大深度地下使用法）」に基づき、大深度地下の使用認可を取得し、事業を進めている。

今回、施工中の城北立坑と供用中の西郷通調節池を訪問し、寝屋川北部地下河川の現地調査およびヒアリング調査を行った。

城北立坑は沈設深さ102.2m（外径34.8m、壁厚3.4m）のオープンケーソン工法による立坑築造工事が行われており、完成後はシールドマシン発進基地となり、鶴見調節池と都島調節池を掘進する予定である。自動化オープンケーソン工法の施工状況を視察し、施工管理方法のヒアリングを行った。

西郷通調節池は、平成26年度に供用を開始した貯留容量40,000m³の流域調節池である。洪水時に公共下水道から取水し、水位が下がってから、西三荘水路に放流している。平成23年8月の豪雨では308,000m³を貯留し、治水施設の効果により被害が大きく軽減された。調節池施設内を視察し、運用方法や維持管理に関するヒアリングを行った。

(2) 調査実施状況

日 時：2023年11月29日（水）9:30～12:00

場 所：①寝屋川北部地下河川 城北立坑インフォメーションセンター
②西郷通調節池

出席者：大阪府寝屋川水系改修工営所 安岡グループ長、山本主任専門員、濱本主任専門員
戸田・ハンシン・大容特定建設工事共同企業体 中島所長
第4部会 栗山部会長、本多副部会長、田中(義)委員、村下委員、
福田委員、田中(宏)委員

1.2.5 阪神高速淀川左岸線（2期）工事

(1) 調査概要

淀川左岸線（2期）は、阪神高速道路3号神戸線（海老江JCT）から国道423号新御堂筋（（仮称）豊崎IC）を結ぶ延長4.3kmの地域高規格道路である。淀川左岸線（2期）の整備により、大阪都心北部地域での交通混雑の緩和と市街地環境の改善を図ることが可能となる。2006年（平成18年）度からは大阪市と阪神高速道路（株）との合併施行方式により事業を実施している。

今回、鴻池・あおみ・久本特定建設工事共同企業体工事事務所を訪問し、「淀川左岸線（2期）トンネル整備工事-1」の現場調査およびヒアリング調査を行った。本工事では各種地盤改良による準備工事の後、開削工法による道路構造物の構築が進んでいた。スーパー堤防の一部となる完成に至るまでに、2025年開催予定の大阪万博のアクセスルートとして暫定供用も検討されているとのことであった。

(2) 調査実施状況

日 時：2023年11月29日（水）14:00～16:00

場 所：鴻池・あおみ・久本特定建設工事共同企業体事務所

出席者：鴻池・あおみ・久本特定建設工事共同企業体 吉田係員

第4部会 栗山部会長、田中(義)委員、村下委員、福田委員、
田中(宏)委員

事務局 武井主幹

第2章 多目的型地下インフラについて考える

2.1 多目的型地下インフラとは

2.1.1 「多目的型地下インフラ」の定義

本調査の「多目的型地下インフラモジュール」は、「複数の用途を有する多機能な地下施設を含む不特定多数が利用する社会基盤施設」と定義し、一般的な多目的の概念をさらに細分化し、機能面を取り扱うこととする。これにより調査範囲が広がることを期待するものである。

これを踏まえて、第4部会では「多目的型地下インフラモジュール」について、「地下施設を含む、複数の用途を満足する多機能な、不特定多数が利用する社会基盤施設」とする。例として道路トンネルは「車が通れる機能」を有するが、「人流」「物流」も可能にする複数の目的（多目的）があるように、「機能」も「目的」として取扱うこととする。

2.1.2 地下空間利用としての歴史的背景

人類の地下空間利用の第一歩は自然の洞窟であった。これは中国周口店上洞穴、ラスコー洞穴など、化石人類の発見地に見られる。農耕と牧畜の始まった旧石器時代になっても洞窟は安全な住居であった。B.C.3000-2000年に世界4大文明が起こり、その後、古代エジプト人はピラミッドに石室とトンネルをつくり、メソポタミアのシュメール人は都市国家に地下室やトンネルをつくった。さらに、B.C.1500年ごろからパレスチナ地方のヘブライ人はメキド（イスラエル）に地下サイロ、水道トンネル、ウォーレンの堅穴をつくって利用した。その後の古代オリエント、古代インド文明またはヨーロッパ文明を育んだエーゲ文明、古代ギリシャ、ローマ帝国においても中世に向けて水道、貯水池はもとより横穴、地下室・地下牢、カタコム形式の洞窟、墳墓、住居、神殿・寺院などいろいろな目的で地下が利用された。この類の地下空間利用は中国黄土地帯のヤオトン住居、トルコのカッパドキア地下修道院群など、世界各地の文明の定着と発展に共通して見られる。

一方、日本における石器時代から縄文、弥生時代、古墳時代にかけて地下空間利用を見てみると、自然につくられた洞窟に人が住みついた帝釈狭洞窟（石灰岩：2～3万年前）、龍河窟（高知県、弥生後期）などいくつか知られている。また、4世紀-6世紀に死者を埋葬するための墳墓（石室）が盛んにつくられた。7世紀半ばになると日本では鉱山の開発が始まり、掘削技術が渡来人・帰化人の指導により進んだ。

江戸時代に入ると、幕藩体制が強化されて都市建設に伴う水道、道路、水運、治水が大きく進歩した。このころの地下利用としては、江戸玉川上水（1654年）、広島県福山水道（1619年）などが建設され、水路トンネル（箱根用水：長さ1,341m、径1.8m、1670年）や交通用トンネル（大分県青の洞門：断面6m×9m、182m、1750年）、などいくつか掘られ、測量技術も明治以降、西洋から入ってきた。

明治以降、鉄道トンネルとして特記すべきは、笹子トンネル（中央本線、1902年完成、延長4.6km）、丹那トンネル（東海道本線、1934年完成、延長7.8km）、海底関門トンネル（山陽線、1944年完成、3.6km）である。

日本で都市が現代的な意味で考えられるようになったのは、20世紀に入ってからである

が都市交通として地下鉄道はロンドンに倣って東京の浅草・上野間（1927年開通）にわが国最初に開通した。

地下発電所空洞は黒部川第4発電所（1962年竣工、掘削土量95,000m³、御母衣発電所（1961年竣工）、奥只見地下発電所（1962年）が初期の大規模なものである。名神および東名高速道路の建設はわが国の道路技術に飛躍的な実績をもたらした。道路トンネルも従来にない大断面をもつに至った。

1970年代初めにはオイルショックの後遺症ともいえるべき、産業構造の転換期にあったが、その後青函トンネルの完成（世界最長海底トンネル54km）から、上越および東北新幹線も開通を迎えた。さらに、オイルショックの教訓を生かす方向で、国家石油備蓄のため石油の岩盤備蓄菊間実証プラント（愛媛県越智郡菊間町、2.5万kl、1983年完成）が建設された。

このような地下空間利用の歴史的背景をふまえて、20世紀半ばまでの地下空間利用の発展過程を機能的に要約すると表2.1.2-1のようになる。

表 2.1.2-1 地下空間の機能

1) 恒温機能	2) 避寒・暑機能	3) 恒湿機能
4) 遮光機能	5) 安置機能	6) 処分機能
7) 貯蔵・貯留機能	8) 地下水賦存機能	9) 防災機能
10) 防衛・防犯機能	11) 交通・運輸機能	12) エネルギー生産・拡散機能

上記の機能を用いて、歴史的に表2.1.2-2のような施設が地下に構築されてきた。

表 2.1.2-2 地下空間の施設

a) 住居	b) 墓所	c) 貯蔵庫
d) 栽培庫	e) 上水取水・貯蔵施設	f) 下水施設
g) 鉄道、駅	h) 自動車道、駐車場	i) 交通結節点
j) 通信施設	k) 電線、変電所、発電施設	l) ガス管、エネルギー貯蔵施設
m) 導・放水路、調整池	n) 避難所、避難路	o) 歩行者通路
p) オフィスビル、商業施設、街区		

このような施設について、現代の地下空間の機能や地下化可能な施設に関する概念は、基本的には変わっていない。また、1970年の経済協力開発機構（OECD）の提言にも「21世紀の都市は、地上の使用を住宅・公園・広場に限定し、運輸・交通・通信・電力・水道・ガスなどの建設はもとより、駐車場・倉庫、廃棄物・下水の処理施設もすべて地下に収容することを理想とする」と謳われていることを考えると、地下施設は本来、多目的であり得るといえる。

2.1.3 多目的型地下インフラの機能

「多目的型地下インフラモジュール」の定義である「地下施設を含む、複数の用途を満足する多機能な、不特定多数が利用する社会基盤施設」を念頭に、「構造形式」「用途」「目的」の観点から、表 2.1.3-1 のように分類した。

表 2.1.3-1 多目的型地下インフラの分類

構造形式上の分類	用途上の分類	多目的種別
A. 地下のみで構成される	a. 計画時から単一目的	① 人流(人と交通)
B. 地上と地下で構成される	b. 計画時から多目的	② 物流(貨物)
	c. 運用中に単一目的から多目的に変更	③ エネルギー備蓄 (発電、備蓄、送配電、熱)
	d. 当初目的を終えて新たな利用目的(単一、多目的)	④ 備蓄(食料、駐車場)
		⑤ 避難(シェルター)
		⑥ 文化施設・実験施設
		⑦ 上下水道
		⑧ 通信
		⑨ 防災
		⑩ 貯水
		⑪ その他

例えば、「中之島まちみらいビジョン 2023」¹⁾の事例を取り上げる。中之島は、江戸時代以降経済はもちろん、文化や教育でも先進的な取り組みを重ね、表 2.1.3-1 の「B×a×①・⑥」として大阪の中心として繁栄してきた。

一方で、近年では、なにわ筋線の事業化や未来医療国際拠点の整備決定など、さらなる動きが具体化し、中之島西部を中心に居住人口の増加も進んでいる。また、大阪府全体では、大阪・関西万博の開催をはじめ、国際的な魅力創造に向けた取り組みも進んでいる。そこで、「B×a×①・⑥」に加え、②・⑤(図 2.1.3-1)・⑧などを重点施策として位置づけ、地上・地下を含めた街インフラとして中之島まちみらいビジョンを推進している。また、中之島エネルギーシステムとして③エネルギー備蓄の推進も行っている。



図 2.1.3-1 中之島都市再生安全確保施設

出典：(一財) 中之島まちみらい協議会¹⁾

2.1.4 多目的型地下インフラの将来的な付加機能

2022年以降、ウクライナ侵攻でロシア軍による爆撃から身を守るため地下鉄の駅に避難する首都キーウ市民の様子が報じられている。一方、北朝鮮による日本上空を通過するミサイルの発射や核実験実施など、朝鮮半島における緊張感が高まっている。2023年だけでも計11回(15発)(2023年11月時点)の弾道ミサイルが発射されている。

このような武力攻撃事態などへの対処は、国の指示に基づき国および地方公共団体が対応することになっている。図2.1.4-1によると、スイスのように新築や改築の際にシェルターの設置を法的義務としている国は、国民一人一人に核シェルターが確保されている。しかし、日本では全く普及していないのが現状である。今後の避難設備の一つとしては、図2.1.4-2のような地下駅舎を核シェルターとして活用することも必要である。

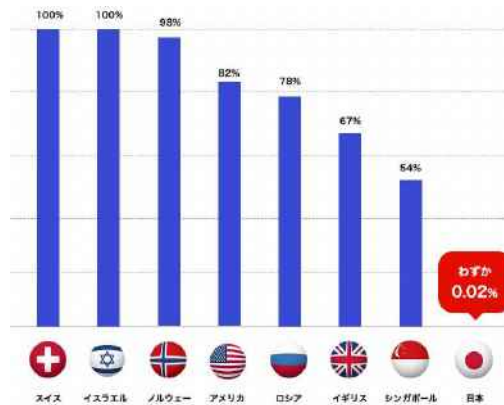


図 2.1.4-1 核シェルターの普及率

出典：命を守るシェルター協会²⁾



図 2.1.4-2 核シェルターを兼ねたヘルシンキ市内の地下駅舎

出典：朝日新聞社³⁾

【参考文献】

- 1) (一財)法人中之島まちみらい協議会：中之島まちみらいビジョン（参照 2023.10）
https://nakanoshima-style.com/wp/wp-content/uploads/2023/04/pdf/vision_city_2023_03.pdf
- 2) 命を守るシェルター協会：（参照 2023.10）
<https://nuclear-shelter.jp/>
- 3) 朝日新聞：フィンランドの地下核シェルター、普段は市民の憩いの場 隣国ロシアの脅威に備え（参照 2023.10）
<https://globe.asahi.com/article/14958738>

2.2 多目的（用途）の要求性能

多目的型地下インフラの要求性能として、「任意の複数の利用目的（用途）を満足する地下空間の規模・形状、連続性、構築場所、設備の設置、維持管理・更新など」の事項が挙げられる。それぞれについて概説する。

2.2.1 地下空間の規模・形状

地下空間の規模と形状は、多目的型地下インフラにおいて重要な要素である。地下空間の規模は、利用目的に応じて適切に設計されなければならない、その形状も機能性や安全性を考慮して適切に決定されなければならない。

地下空間の規模について、例えば地下鉄駅や地下商店街のような交通利用や商業利用のための地下空間では、多くの人々が利用、活動することを考慮して十分に広い空間が必要となる。一方で、地下駐車場や地下貯蔵庫のような利用目的では、車両や物品の収容スペースを確保することが必要である。

地下空間の形状については、地盤の状況や地下水の影響、周辺の建造物との関係などを考慮して適切に設計されなければならない。また、地下鉄トンネルのような長大な地下構造物では、地下水の影響を受けにくい形状や、地盤の安定性を確保するための適切な支持構造が求められる。

多目的型地下インフラの例として、図 2.2.1-1 に示す綾瀬川・芝川等浄化導水事業⁴⁾がある。この事業の導水施設は延長約 16km からなり、地下トンネルと取水口、導水機場、駅舎内施設、分水施設からなる。そのうち延長 12km においては、鉄道一体型の施設となっており、地下空間の規模と形状をうまく融合させている。

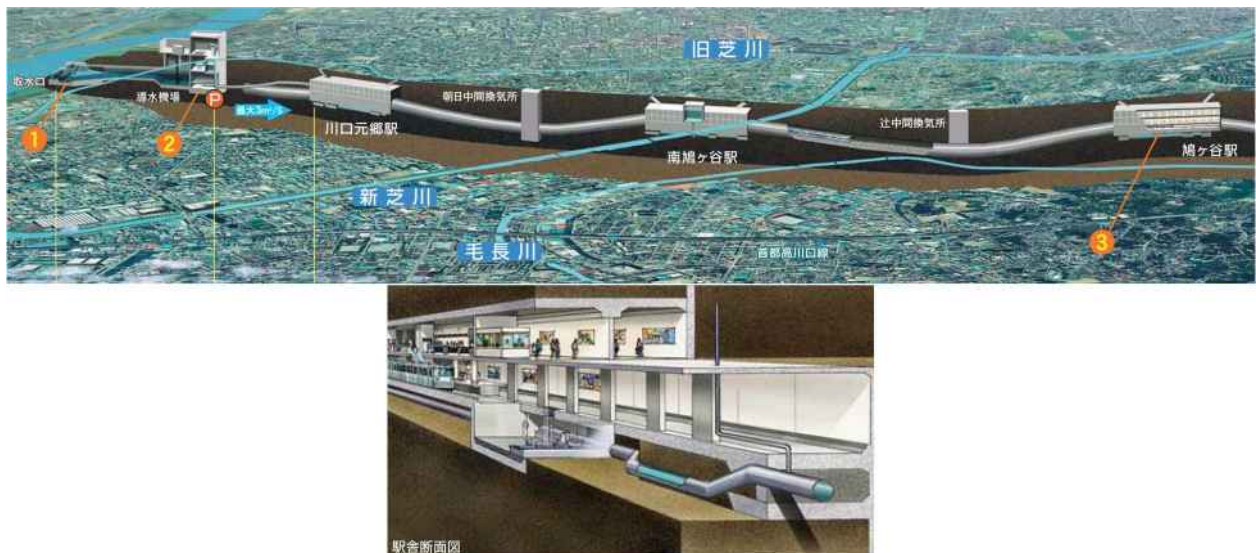


図 2.2.1-1 綾瀬川・芝川等浄化導水事業と鳩ヶ谷駅駅舎断面図

出典：国土交通省¹⁾

2.2.2 地下空間の連続性

地下空間の連続性は、地下空間が複数の利用目的に適応し、それらの目的を統合的にサポートする能力を意味する。地下空間の連続性が確保されることで、異なる用途や機能が調和して共存し、効果的に運用される。

例えば、現在施工中である図 2.2.2-1 の TOKYO TORCH 街区「Torch Tower」の例がある。都市の中心部における地下鉄駅は、地下空間の連続性の良い例であり、地下鉄駅は、交通の要所としての機能だけでなく、商業施設やオフィススペース、地域コミュニティ施設など、多岐にわたる利用目的を持っている。このような地下空間は、連続性が確保されており、複数の利用目的を統合的にサポートしている。

また、地下空間の連続性は、地下商店街や地下ショッピングモールなどの商業施設にも適用される。これらの施設では、地下空間が複数の店舗やサービス、歩行者通路などを結びつけ、一体的な空間として機能している。海外の事例では、地下の堅牢な岩盤を掘削して築かれた歩行者通路の特徴を活かした独創的な空間が実現されている（図 2.2.2-2）。天井の高い大空間の壁には、凹凸のある岩肌が露出しており、様々な壁画や彫刻で装飾されている。このように地下空間の連続性が確保されることで、利用者はスムーズに移動し、安心して異なる店舗やサービスを利用することができる。



図 2.2.2-1 Torch Tower

出典：三菱地所(株)²⁾



図 2.2.2-2 ストックホルム地下駅にあるアーティスティックな空間

地下空間の連続性を確保するためには、適切な設計と計画が必要である。地下空間の利用目的や機能を総合的に考慮し、連続性を持たせるための適切なアクセスポイントや結節点を設けることが重要である。また、地下空間の連続性を確保するためには、施設間の連携や利用者の利便性を考慮した設計が不可欠である。これにより、地下空間が複数の利用目的を持ち、連続性を持って機能することが可能となる。

2.2.3 地下空間の構築場所

地下空間の構築場所は、多目的型地下インフラの要求性能の一つであり、様々な要素が考慮される。例えば、地下空間の構築場所は、地域の地質条件、地下水位、地下の他のインフラストラクチャーとの関係、そして地上の土地利用などに影響される。これらの要素は、地下空間の構築場所を選定する際に重要な役割を果たす。

地下空間の構築場所の選定には、様々な利用目的が考慮される。例えば、都市部では、地下鉄駅や地下ショッピングモール、地下駐車場などが一般的な利用目的として挙げられる。これらの施設は、地下空間の構築場所が都市の中心部や交通の要所に位置していることが一般的である。また、災害時の避難所としての利用も考慮される。また、地下空間が武力攻撃に対する避難所の用途を持たせることが求められる場合、地下空間の構築場所は、ある程度深度が大きく、かつ安全性やアクセスの容易さが重視される。神戸市では、2023年3月現在地上建物297施設、地下47施設を国民保護に関する緊急一時避難施設に指定しており、図2.2.3-1に示すように民間施設地下駐車場や地下道など、新たに91施設を緊急一時避難施設として指定している。

一方、地下空間の構築場所の選定には、地域の将来の発展や変化も考慮されるべきである。例えば、都市の拡大や再開発が予測される地域では、地下空間の構築場所は将来の需要や利用可能性を考慮して選定される必要がある。また、地下空間の構築場所は、地域の環境や景観にも影響を与えるため、これらの要素も考慮する必要がある。

1. 公共地下駐車場等(15施設)							
○公共駐車場	: 9施設 [花隈駐車場、大倉山駐車場、湊川駐車場、荒田公園駐車場、和田岬駅駐車場、長田北町駐車場、細田駐車場、新長田駐車場、鈴蘭台駐車場]						
○公共駐輪場	: 2施設 [JR住吉駅駐輪場、阪急御影駐輪場]						
○市庁舎駐車場	: 4施設 [市役所1号館、市役所4号館、中央区役所、東灘区役所]						
2. 地下道(70施設)							
神戸市管理地下道(躯体管理鉄道事業者含む)							
○東灘区	: 2施設	○灘区	: 5施設	○中央区	: 7施設	○兵庫区	: 7施設
○北区	: 7施設	○長田区	: 2施設	○須磨区	: 13施設	○垂水区	: 9施設
国管理地下道							
○東灘区	: 4施設	○灘区	: 3施設	○中央区	: 5施設	○兵庫区	: 1施設
○長田区	: 2施設	○須磨区	: 2施設	○西区	: 1施設		
3. 民間施設地下駐車場(6施設)							
民間指定管理地下駐車場							
○ウェルブ六甲道2番街(灘区)	○イオンモール神戸北地下駐車場						
○ウェルブ六甲道4番街(灘区)							
○キャナルタウン中央(兵庫区)	株式会社 万代(西区)						
○ティオ舞子(垂水区)	○万代西神中央店地下駐車場						
株式会社 イオンモール(北区)							

図 2.2.3-1 神戸市が2023年3月に新たに指定した緊急一時避難施設

出典：神戸市³⁾

2.2.4 設備の設置

地下空間を多目的な用途で使用するには、設備の設置を検討する必要がある。地下空間は、様々な目的に利用されるため、それぞれの目的に応じた設備が必要となる。

例えば、地下空間が常時駐車場として利用される場合には、照明、通信設備、消火設備などが必要となる。緊急時にその駐車場が避難所としての役割を果たす場合には、図2.2.4-1に示すような電気が消えて非常照明だけになった場合でも避難誘導を補助する設備、海外の避難者にも対応できるような多言語型非常放送設備、他にも十分な換気設備、給水設備、トイレ、非常用電源などの設置が必要となる。



図 2.2.4-1 階段に設置された高輝度蓄光材(左)、多言語対応型非常放送設備(右)

出典：(公財) 日本交通計画協会⁴⁾

このように、地下空間の多目的な利用には、それぞれの目的に応じた設備の設置が必要である。設備の設置には、上記のような地下空間の利用目的や規模、連続性、構築場所などを考慮し、慎重な計画と設計を行うことが重要である。つまり、地下空間が複数の目的を満たす場合、異なる用途に対応できる柔軟性を持った設備が求められる。

2.2.5 維持管理・更新

地下空間は長期間にわたって使用されるため、施設や設備の維持管理、および更新が不可欠である。つまり、時代の変化や技術の進歩に応じて、新しい設備や機能を追加し、地下空間の機能を向上させることが重要である。

例えば、避難所としての機能を維持するためには、換気設備や給水設備、照明設備などの定期的な点検や保守が必要である。また、地下空間が複数の用途を持つ場合、施設や設備の更新が必要であり、地下空間が駐車場として使用されている場合、充電ステーションやセキュリティシステムなどの新しい設備を追加することで、利用価値を向上させることも重要である。

時代の流れに応じて、新たな設備を追加付帯して機能の向上を図ることは、地下空間の長期的な利用を考える上で重要である。地下空間が商業施設として使用されている場合、最新のセキュリティシステムやデジタルサイネージなどの設備を追加することで、利用者の利便性を向上させることができる。また、地下空間がオフィススペースとして使用されている場合、最新の通信設備やエネルギー効率の高い照明設備などを導入することで、働く環境を改善することができる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所：綾瀬川・芝川等浄化導水事業
(参照 2023.10)

https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000091855.pdf

- 2) 三菱地所：TOKYO TORCH (参照 2023.10)

https://www.mec.co.jp/news/archives/mec210602_tokiwabashi_tower.pdf

- 3) 兵庫県神戸市：国民保護に係る緊急一時避難施設の追加 (参照 2023.10)

<https://www.city.kobe.lg.jp/a96681/987582853644.html>

- 4) (公財) 日本交通計画協会：都市と交通、121号 (参照 2023.10)

https://www.jtpa.or.jp/custom_contents/cms/linkfile/toshitokoutuu121gou.pdf

2.3 関連法規

地下インフラに関係する法制度は多種多様であり、事業主体と土地所有者の組み合わせや地下インフラの種類などによって対象の地下インフラには複数の法制度が適用され、非常に複雑な関係性となっている。

地下空間の社会的な属性は、地上部の土地所有形態と深度により異なるものとなっており、概念的に区分すると図 2.3-1 のように示される^{1)・2)}。図 2.3-1 に示すとおり、浅深度において多様な地下インフラが数多く存在し、それらの区分は、複合施設、交通施設、その他の施設などとして整理される。

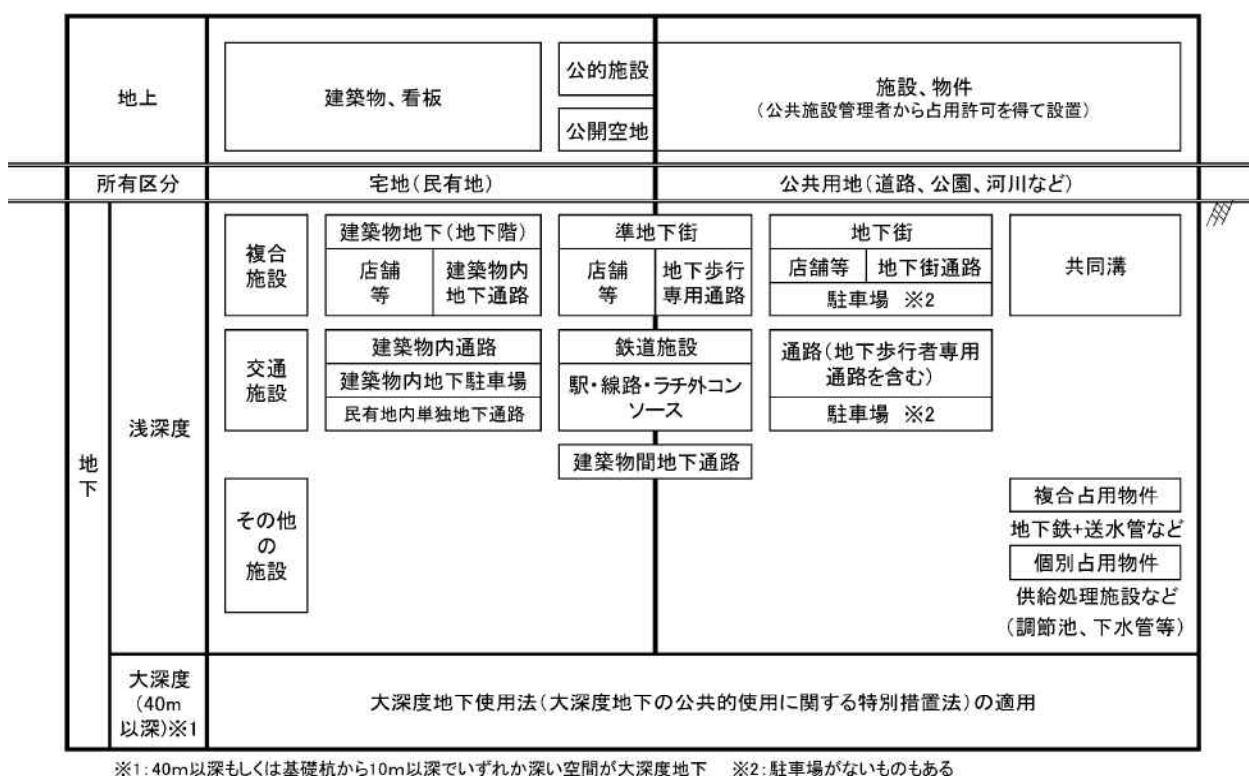


図 2.3-1 地下空間の社会的属性による区分と利用状況

出典：大沢昌玄²⁾

地下空間利用に関係する法制度の概要を表 2.3-1 に示す³⁾。表 2.3-1 には、事業主体と用地の所有区分の関係で適用が考えられる法制度をまとめている。ここで、事業主体は、公共事業者(国、地方自治体など)、公益事業者(上水、下水、電気、ガス、通信、鉄道など)、民間事業者(商業、工業、住宅など)に区分される。また、用地の所有は、公共用地と民間用地に区分される。

個々の法制度の概要を表 2.3-2 に示す³⁾。表 2.3-2 には、占用許可、兼用工作物、立会区域制度、大深度地下使用制度に分けて、それぞれに該当する諸制度を示し、その概要を記載している。

表 2.3-1 地下空間利用に関わる法制度のまとめ（事業主体と用地所有）

項目 事業主体	用地の所有区分				備 考
	公共用地		民間用地		
公共事業 ※1	道路法	道路本体 道路付属物 道路接続施設 兼用工作物	道路法	立体道路制度 道路外利便施設	<ul style="list-style-type: none"> 法ごとに対象とする施設が具体的に定められており、施設整備の用地（公共施設を整備するための土地）は、所有権を持つことが原則とされている。 複数の公共施設が合築すること等により、合理的に機能を発揮できると考えられる場合は、兼用工作物としての整備が可能となっている。 都市部等において土地所有に障害がある場合、空間の有効利用が望まれる場合等において、民有地内に区分地上権等を設定し、立体的空間に公共施設整備を行える（立体道路制度等）。 財産権（土地所有権）は憲法で認められた権利の一つであるが、規定された地域の大深度、公益性を有する施設に限り地下空間の使用が認められている。
	河川法	河川本体 河川管理施設 兼用工作物	河川法	河川立体区域制度	
	都市計画法	都市施設	都市計画法	立体的都市計画制度	
	都市公園法	公園施設 占用規定で明示 兼用工作物	都市公園法	立体都市公園制度	
	大深度法	(占用許可不要)	大深度法	空間使用の担保	
公益事業 ※2	道路法	占用規定 義務占用	一般には地権者との協議による用地買収（所有）、区分地上権等により用地を取得するが、その多くは土地収用法の対象事業とされている。	<ul style="list-style-type: none"> 公共用地を公益事業で利用する場合は占用許可のもとに施設整備が行われる。 占用が許可される施設は法ごとに具体的に規定されているが、示されている施設もその公益性が求められている。 道路占用の特例として電気、ガス、通信等の高い公益性を持つ事業は、占用が原則認められている。 	
	河川法	政令による対象 施設提示			
	都市計画法	都市施設の定義 で明示			
	都市公園法	占用規定			
民間事業 ※3	道路法	占用	公共減分 (都市再開発、都市再生) 区画整理事業	<ul style="list-style-type: none"> 通路、連絡路等の公益性の高いものについては占用が認められている。 大規模開発（商業、住宅等）については道路、公園等の公共施設等の整備が求められているとともに容積率の上乗せ等のインセンティブが与えられる。 	
	河川法	占用			

※1 道路および道路付属施設、河川施設、都市施設等

※2 上水、下水、電気、ガス、通信、鉄道等（ただし、鉄道は共同溝法における公益事業から除外されている）

※3 ここでは、都市再開発、都市再生事業等における公益施設についてのみ記述している。

出典：エンジニアリング協会³⁾

表 2.3-2 地下空間利用に関わる法制度のまとめ（諸制度の概要）

制 度		概 要
占用許可	道路占用許可制度	道路の占用が道路本来の機能を阻害しないことを条件に、道路施設、道路付属物以外の法で定められる工作物等の道路区域内での建設、管理が許可される。 地方道において道路占用許可基準は、道路法規定に沿った条例等により詳細が定められている。
	河川占用許可制度	河川区域内の土地に工作物を新築し、改築し、除去しようとする者は、河川管理者の許可を受けなければならない。 占用施設が許可される工作物は、通達により詳細に定められている。
	公園占用許可制度	都市公園において公衆のその利用に著しい支障を及ぼさず、かつ、必要やむを得ないと認められる施設、工作物についてその占用が許可される。許可対象となる施設、工作物、技術的基準は法、政令により規定されている。
兼用工作物	道路法規定	道路と堤防、護岸、ダム、鉄道・軌道用の橋、踏切道とが相互に効用を兼ねる場合においては、道路および工作物の管理を協議し、その管理の方法を定めることができる。
	河川法規定	河川管理施設と河川管理施設以外の施設、工作物とが相互に効用を兼ねる場合、それぞれの管理者は協議し管理の方法を定め、当該河川管理施設および他の工作物の工事、維持または操作を行うことができる。
	都市公園法規定	都市公園と河川、道路、下水道その他の施設、工作物とが相互に効用を兼ねる場合においては、当該都市公園および他の工作物の管理について協議して、その管理の方法を定めることができる。
立体区域制度	立体道路制度	道路の新設、改築を行う場合において、地域の状況を勘案し、適正かつ合理的な土地利用の促進を図るため必要があると認めるときは、道路の区域を空間または地下について上下の範囲を定めたものとして定めることができる。
	河川立体区域制度	河川管理施設の存する地域の状況を勘案し、適正かつ合理的な土地利用の確保を図るため必要があると認めるときは、河川管理施設に係る河川区域を地下または空間について一定の範囲を定めた立体的な区域として指定することができる。 対象とされる河川管理施設は、地下に設けられたもの、建物、工作物内に設けられたもの、洪水時流水を貯留する空間を確保するためのものとされる。
	立体都市計画制度	道路、河川その他の政令で定める都市施設について、適正かつ合理的な土地利用を図るため必要があるときは、当該都市施設を整備する立体的な範囲を都市計画に定めることができる。
	立体都市公園制度	適正かつ合理的な土地利用を図るうえで必要がある場合に、都市公園の区域を立体的に定めることで、都市公園の下部空間に都市公園法の制限が及ばないことを可能とし、当該空間の利用の柔軟化を図ることができる。
大深度地下使用制度		公共の利益となる事業による大深度地下の使用に関し、その要件、手続き等について特別の措置を講ずることにより、事業の円滑な遂行と大深度地下の適正かつ合理的な利用を図ることを目的に創設された制度。

出典：エンジニアリング協会³⁾

ここで、地下インフラのうち、適用される法令などが複雑で様々な制度が関与している地下街に関して、主な法令などを図 2.3-2 に示す⁴⁾。図 2.3-2 から、適用される主な法令として、建築基準法および同施行令、消防法および同施行令、同施行規則、道路法および同施行令、鉄道事業法、水防法があげられる。これらの主な法令以外では、地下街の立地によって、河川法、都市計画法、都市公園法などが適用されることがある。さらに、地下空間の高度利用の方策として、道路や都市公園などを立体的に利用する諸制度が整備されている¹⁾。

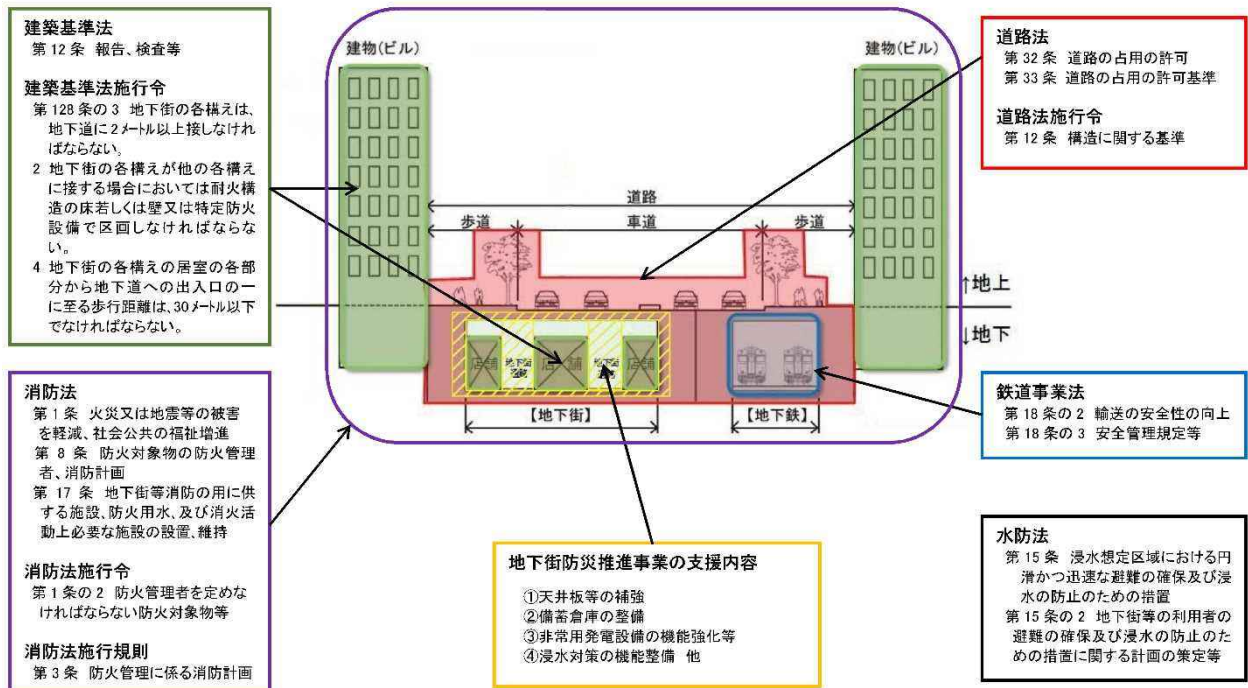


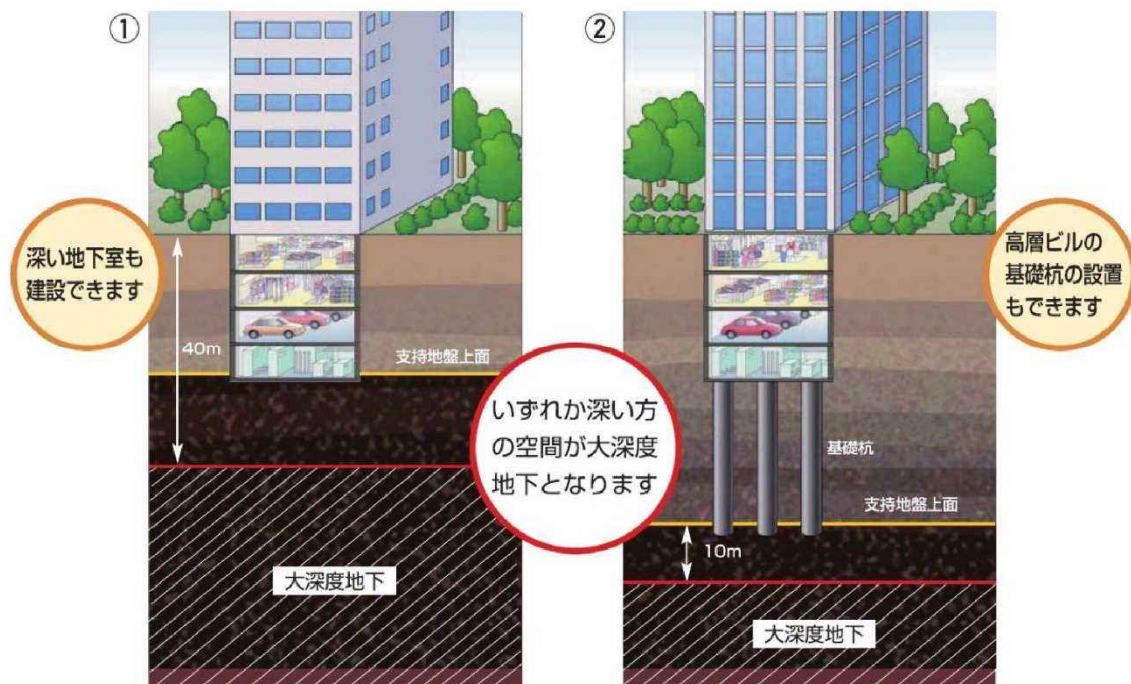
図 2.3-2 地下街に適用される主な法令など

出典：国土交通省⁴⁾

大深度地下使用法（大深度法）は、正式には「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」という名称の法律である。この法律の目的は、公共の利益となる事業による大深度地下の使用に関し、その要件、手続などについて特別の措置を講ずることにより、当該事業の円滑な遂行と大深度地下の適正かつ合理的な利用を図ることとされている⁵⁾。大深度法において、大深度地下の定義は、以下の示す①または②のうち、いずれか深い方の深さの地下とされている（図 2.3-3）⁶⁾。また、大深度地下であれば、地上の所有権が及ばず公共目的であれば利用することが可能とされている。なお、大深度法の施行以降、これまでに 4 つ事業で大深度法が適用されている⁷⁾。

[大深度地下の定義]

- ①地下室の建設のための利用が通常行われない深さ（地下 40m 以深）
- ②建築物の基礎の設置のための利用が通常行われない深さ（支持地盤上面から 10m 以深）



(注) 支持地盤：杭の許容支持力度 2,500kN/m² 以上を有する地盤

図 2.3-3 大深度地下の定義

出典：国土交通省⁶⁾

これまでの地下インフラに関する法制度の整理から、多目的型地下インフラにおいては、これら多種多様な法制度が立地条件や利用条件（複数の利用目的）などに応じて個々に適用され、より複雑な関係性の中で構築・再構築や利用が行われると考えられる。

【参考文献】

- 1) 岸井隆幸：地下空間の利活用，電気設備学会誌, Vol.32, No.7, pp.455-458, 2012.7
- 2) 大沢昌玄：地下空間利用の実態と計画的位置づけ，浸水被害軽減に向けた地下空間活用勉強会，2023.5.30
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chika_benkyoukai/dai02kai/dai02kai_siryou2-1.pdf
- 3) エンジニアリング協会：地下空間利用ガイドブック 2013，2013.4.15
- 4) 国土交通省：地下街の安心避難対策ガイドライン（資料編 1）（参照 2023.10）
<https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001352063.pdf>
- 5) 衆議院：大深度地下の公共的使用に関する特別措置法（参照 2023.10）
https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/housei/h147087.htm
- 6) 国土交通省：「新たな都市づくり空間 大深度地下」 大深度地下の公共的使用に関する特別措置法について（参照 2023.10）
<https://www.mlit.go.jp/common/001187587.pdf>
- 7) 国土交通省：大深度地下使用法の使用認可を受けた事業（参照 2023.10）
https://www.mlit.go.jp/toshi/daisei/crd_daisei_tk_000014.html

2.4 多目的型地下インフラの事例紹介

ここまで多目的地下インフラに関するアウトラインを述べてきた。本項では実際に供用されている施設の事例を紹介する。

2.4.1 渋谷駅東口基盤整備事業

渋谷駅は8線の鉄道と大規模なバスターミナルを有する公共交通の要衝であるが、駅施設は複雑でわかりにくく、耐震性の向上やバリアフリー化、乗り換え利便性の向上などの改善が望まれている。また渋谷駅中心地区には安全で快適な歩行者空間の確保や交通結節機能の強化、渋谷川の改善などの課題もある。

このため渋谷駅街区基盤整備検討委員会が設置され、渋谷駅街区基盤整備方針が策定された。その中で渋谷駅街区土地区画整理事業が計画され、渋谷駅、駅前広場、渋谷川沿いの飛び地などの整備が進められることとなった。整備内容は都市計画決定され、渋谷駅街区土地区画整理事業の施行認可が公告された。また、鉄道改良事業

や国道246号の改良事業、駅ビル再開発事業も進められることとなり、渋谷の再開発が本格的に着手された。具体的な整備内容は、地上駅前広場と地下広場の整備、渋谷川の移設と下水道化、地下貯留槽の整備などであり、鉄道路線間の乗り換え動線の改良も行われる。さらに、開発街区のプロジェクトも進行中である。(図2.4.1-1)

また近年の気候変動により集中豪雨が頻発していることから、浸水対策として、地下25mの深さに約4,000m³の雨水を一時的に貯水できる貯留槽を整備することとした。つまり図2.4.1-2のように、地下鉄、地下街、河川、貯水の4つの機能を有する施設となっている。



図 2.4.1-1 渋谷駅東口平面図

出典：東急(株)、(独)都市再生機構¹⁾

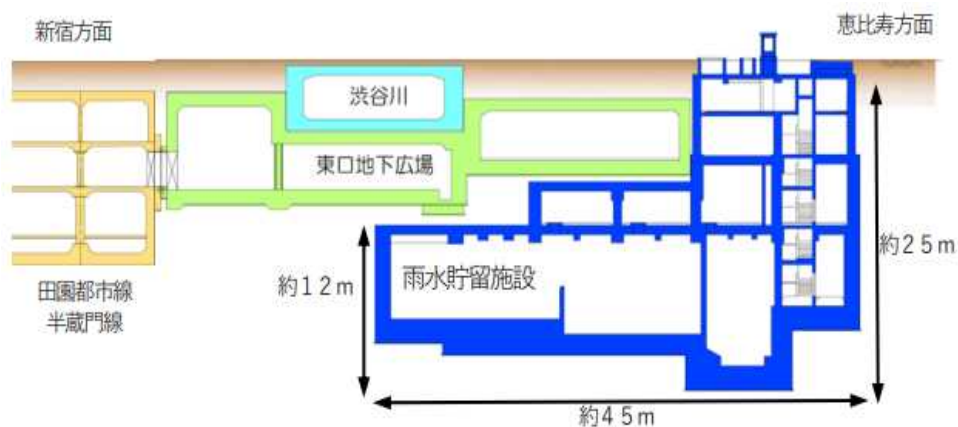


図 2.4.1-2 渋谷駅東口断面図

出典：東急(株)、(独)都市再生機構¹⁾

2.4.2 淀川左岸線（2期）事業

淀川左岸線（2期）は、阪神高速道路3号神戸線（海老江JCT）から国道423号新御堂筋（(仮称)豊崎IC）を結ぶ4.4kmの地域高規格道路であり、新名神高速道路、淀川左岸線（1期）、淀川左岸線延伸部、阪神高速道路6号大和川線及び第二京阪道路とともに近畿圏の広域ネットワークの強化を狙っている。（図2.4.2-1）

2006年度からは大阪市と阪神高速道路(株)との合併施行方式により事業を実施しており、本事業を整備することで、大阪都心北部地域での交通渋滞の緩和と市街地環境の改善が期待されている。

また「2025年日本国際博覧会

（大阪・関西万博）」の成功に向け、会場となる夢洲への来場者の円滑な交通アクセス確保のために会場へ向かうシャトルバス等のアクセスルートとして、万博開催期間中に建設中区間を暫定的に利用できるよう整備が進められている。

路線延長の大半が一級河川淀川の左岸沿いに位置しており、道路構造の本体は地下・掘削・高架構造になっている。このうち地下構造区間の整備イメージは図2.4.2-2のとおりである。これによると道路構造物であるとともに淀川左岸の既存堤防を拡張したスーパー堤防の堤体の一部を担っている。なお地上部分については賑わいを催すような空間等の具体的な用途は決まっていないとのことである。



図 2.4.2-1 大阪都市再生環状道路

出典：大阪市²⁾

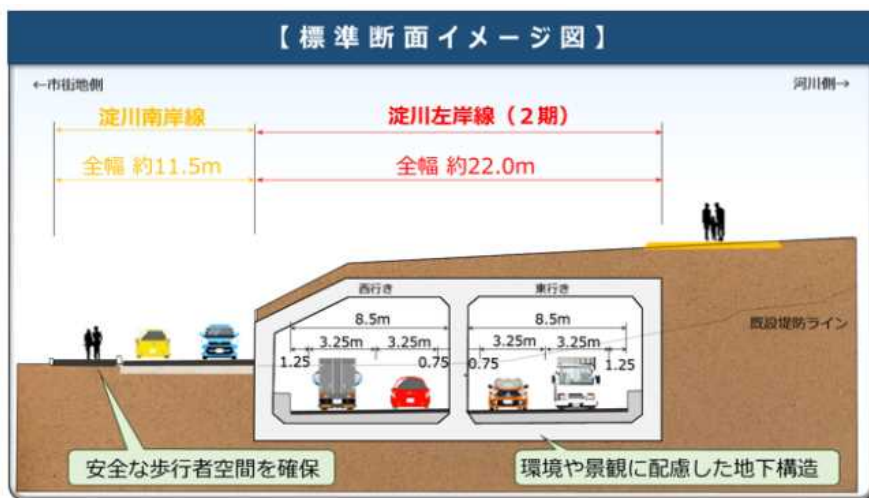


図 2.4.2-2 整備イメージ

出典：大阪市²⁾

2.4.3 綾瀬川・芝川等浄化導水事業

埼玉県南端の荒川（川口市本町）から取水し、延長約16kmの導水管によって綾瀬川、伝右川、毛長川、芝川の4つの河川に導水することにより、それぞれを流れがある川に復活させ、水質の改善及び水量の確保を図る事業である。（図2.4.3-1）



図 2.4.3-1 事業全体配置

出典：国土交通省³⁾

この導水管の特徴として、全長約16kmのうち、約12kmが埼玉高速鉄道(株)のシールドトンネル（川口元郷駅～浦和美園駅）の下半部に設置されているという点である。（図2.4.3-2）円形シールドで構築された鉄道トンネルの車両建築限界以外の空間には一般的には通信・保安ケーブルのような鉄道施設のみ設けられる。しかしこの12kmの区間は鉄道施設の機能に加えて、導水機能を併せ持ったトンネルとなっている。導水事業者は国土交通省であるがトンネルの管理者は埼玉高速鉄道(株)となっており、共同整備事業である。このメリットとして、建設コストの低減、工期の短縮、沿線の交通渋滞の最小化、騒音・振動の最小化ということが挙げられる。



図 2.4.3-2 鉄道下導水管

出典：国土交通省³⁾

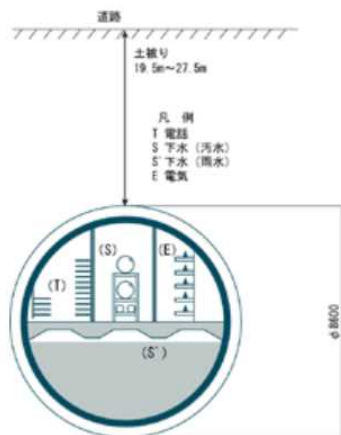


図 2.4.3-3 諏訪共同溝

出典：大阪市⁴⁾

同様にシールドトンネル内に水路機能を併設している事例として国道479号諏訪共同溝（大阪市鶴見区放出東3丁目～大阪市東成区深江北2丁目約1.1km 仕上がり内径7.1m）がある。（図2.4.3-3）シールド工法で構築されたトンネルの下半部が雨水排水路となっている。トンネル内面を通水面としているに対して、綾瀬川・芝川島浄化導水事業では管渠を設置し、管渠内に通水している点が異なる。

2.4.4 クアラルンプール洪水緩和事業

マレーシアのクアラルンプール洪水緩和事業の一環で建設された高速道路と放水路の共用トンネル（Stormwater Management and Road Tunnel : SMART）であり、官民連携（連邦政府と SMART 社）により導入されている（図 2.4.4-1～2.4.4-3）⁵⁾。本トンネルは、供用開始が 2007 年 5 月であり、全長 9.7km の放水路のうち 3.0km が有料道路として活用されている。平常時は道路として渋滞緩和に、集中豪雨発生時は放水路として市街地の洪水被害軽減に寄与している。

本トンネルは、2007 年 8 月～2019 年 5 月の約 12 年間で、排水空間としての利用が 211 回（約 18 回/年）、道路空間の閉鎖が 81 回（約 7 回/年）、道路空間を利用した排水が 5 回（約 2 年に 1 回）の利用実績となっている。

市街地の限られた土地の立体的な活用により、建設コストや工期の短縮などが図られるとともに、道路・河川それぞれの目的別に賢く運用されている。なお、洪水対策のための放水路としてだけでなく交通渋滞緩和のための道路区画をトンネル内に設けるといったアイデアは、マハティール第 4 代首相が示唆し、入札時に入札参加企業が提案したものである。



図 2.4.4-1 SMART 位置図

出典：国土交通省⁵⁾

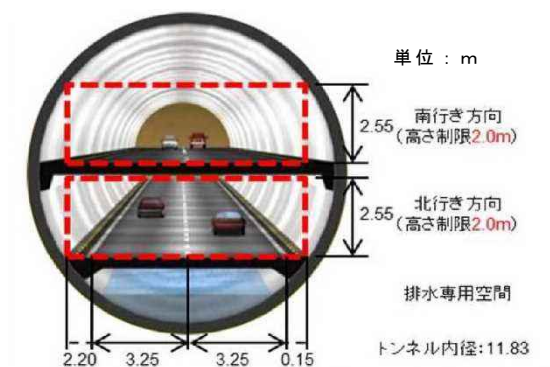
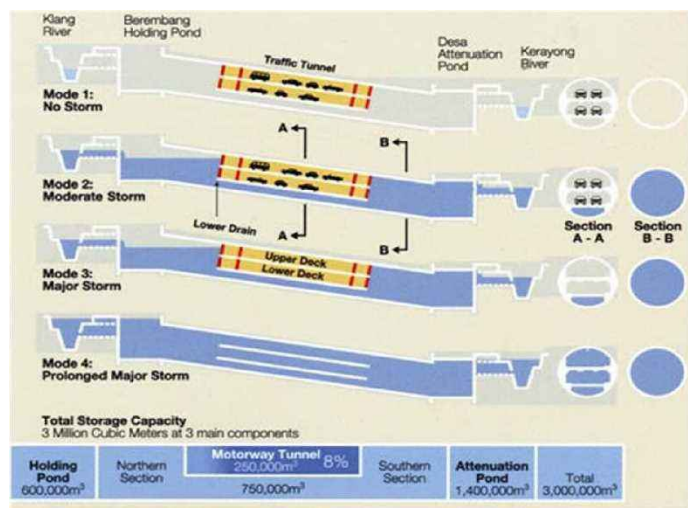


図 2.4.4-2 SMART 標準断面図

出典：国土交通省⁵⁾



モード 1	道路区間は通常運用で、排水専用空間には洪水を流入させない。
モード 2 (211回)	道路区間は通常運用のまま、排水専用空間にのみ洪水を流入させ貯留する。
モード 3 (81回)	道路区間を閉鎖し、車両が全て退出したことを確認する。この間は引き続き排水専用空間にのみ洪水を流入させ貯留する。
モード 4 (5回)	大雨が続いた場合、道路区間にも下層から順に洪水を流入させ貯留する。道路区間は48時間以内に再開放させる。

※()内の数値は運用開始から2019年5月時点での各モードの運用実績回数(灌漑・排水局開き取)

図 2.4.4-3 SMART 運用モード

出典：国土交通省⁵⁾

2.4.5 フィリングスダルストンネル

ノルウェーのベルゲンには、サイクリングと歩行者専用のトンネル「フィリングスダルストンネル (Fyllingsdalstunnelen)」が築造されており、2023年4月15日の「家族でスポーツ活動を行う日」にオープンしている(図2.4.5-1~2.4.5-2)。

本トンネルは、大規模国家プロジェクトにより築造されており、2022年11月に開通したベンゲルの2つめのトラム(路面電車)の“副産物”として誕生したものである(図2.4.5-3)。つまり、山を通過するトラムには、並行する避難トンネルが必要だったため、事業者はその避難トンネルを多目的にして歩行者や自転車を使用できるように計画を拡張し、本トンネルを築造している。なお、本トンネルは、延長約2.9kmで自転車と歩行者向けのトンネルとしては世界最長である。

本トンネルには、幅3.5mの自転車専用レーンと幅2.5mの歩行者・ランナー用レーンの2つが設けられており、カラフルな照明で明るく照らされ、所々にアートが飾られていて、利用者がトンネル内で場所や方向を特定するのに役立つ仕様となっている。また、各所に防犯カメラ、800フィート(約244m)おきに緊急電話、休憩所が設置されており、ノルウェーの厳しい冬に備えて暖房も完備されている。

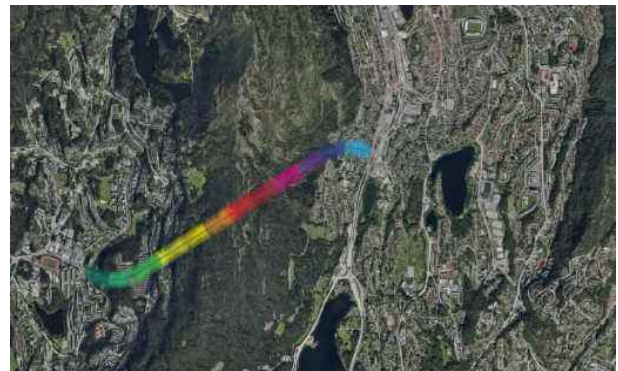


図 2.4.5-1 トンネル位置図

出典：トラストリッジ⁶⁾



歩行者・ランナー用レーンと自転車専用レーン



休憩所

図 2.4.5-2 トンネルの状況

出典：トラストリッジ⁶⁾



図 2.4.5-3 トンネル出入口の状況

出典：トラストリッジ⁶⁾

2.4.6 ヘルシンキの地下施設

フィンランドの首都ヘルシンキの地下には、美術館や教会、プール、ゴーカート場などがそろっており、さながら地下都市の様相を呈している。

2018年8月にオープンするや週に1万人以上の観光客が訪れるようになったというアモス・レックス美術館は、地上には建物の姿はなくトンネルが突き出たような窓が設置されているのみである(図2.4.6-1)。地下には自然光が満たされた展示スペースが設けられており、実験的な現代アートから古代文明の美術品まで展示されている。

1969年に建立されたテンペリアウキオ教会は由緒ある石造りの地下教会であり、ヘルシンキの主要な見どころの1つとなっており、毎年約85万人の訪問者が足を運んでいる(図2.4.6-2)。

年間約40万人の利用者を誇るイタケスクス・スイミング・センターも人気スポットの1つである(図2.4.6-3)。50メートルのプール、子供用プールと2つのウォーターシュート、6つのサウナ、ジャグジー、トルコ式バス、冷水プールを備えた水泳ホールは固い岩盤を削って作り上げられたものなので、有事には3,800人を収容可能な緊急避難所として機能する。

広大な地下空間同士を結んでいるのがヘルシンキ地下鉄である(図2.4.6-4)。2本の路線と25の駅によりカバーされた全長35kmの地下鉄網が市民や観光客の足となっている。ヘルシンキ中央駅を介してヘルシンキ・ヴァンター国際空港とも接続している。

一般公開されていない地下スペースには、3,500万リットルの容量をもつ地下貯水池や約80万人の生活排水を処理できる排水処理施設、冷房にも暖房にも使用可能な世界最大のヒートポンププラントなども収容されている。また、将来的にはフィンランド湾を挟んだ向こう岸にあるエストニアの首都タリンとヘルシンキを接続する地下トンネルが整備される計画もあるとのことである。



図 2.4.6-1 地下美術館の地上部

出典：Gigazine⁷⁾



図 2.4.6-2 テンペリアウキオ教会

出典：Gigazine⁷⁾



図 2.4.6-3 スイミング・センター

出典：Gigazine⁷⁾



図 2.4.6-4 地下鉄への接続通路

出典：Gigazine⁷⁾

【参考文献】

- 1) 東急(株), (独)都市再生機構：渋谷駅東口雨水貯留施設の整備が完了します！（参照 2023.12）
<https://www.tokyu.co.jp/image/news/pdf/20200819-1.pdf>
- 2) 大阪市：淀川左岸線（2期）事業（参照 2023.12）
<https://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/page/0000159842.html>
- 3) 国土交通省：綾瀬川・芝川等浄化導水事業（参照 2023.12）
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000091855.pdf
- 4) 大阪市：共同溝の建設（参照 2023.12）
<https://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/page/0000011022.html>
- 5) 国土交通省：第1回多機能インフラプロジェクト検討会 配付資料（資料3 多機能インフラプロジェクト事例について）（参照 2023.10）
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/multi-infra-project/pdf01/03.pdf>
- 6) トラストリッジ：ノルウェーに 2.9 kmの「自転車・歩行者専用トンネル」が開通 暖房も完備（参照 2023.10）
<https://elemenist.com/article/2656>
- 7) Gigazine：フィンランドの首都ヘルシンキの地下に広がる地下都市とは？（参照 2023.12）
<https://gigazine.net/>

2.5 課題

多目的型地下インフラの利用において、「任意の複数の利用目的（用途）を満足する地下空間の規模・形状、連続性、構築場所、設備の設置、維持管理・更新、関連法規など」の事項を挙げた。これらの観点から多目的型地下インフラの課題を避難時、設備、衛生面やストレス、法規、構築・再構築という側面から考える。

2.5.1 避難時の課題

地下空間の連続性が確保されることで、異なる用途や機能が調和して共存し、効果的に運用される。しかし、地下空間の利用が多様化し、人々の利用が増加する中で、緊急時の避難に関する課題が浮き彫りになる。

まず、地下空間における避難経路と避難場所の確保が重要である。地下鉄駅や地下商店街などの地下空間では、多くの人々が利用し、緊急時には円滑な避難経路が確保されている必要がある。また、避難場所も適切に設定され、避難者が安全かつ効果的に避難できるように配慮されるべきである。このように、本来は地下空間の規模や形状に応じて、避難経路や避難場所が設計されるべきである。

次に、避難誘導の重要性があげられる。地下空間では通常の建物とは異なり、地上との連携や外部からの情報伝達が難しい場合がある。そのため、緊急時には適切な避難誘導が必要となる。避難誘導のための避難経路の表示や案内システムの整備、非常用照明の設置などが考えられる。また、地下空間における避難誘導計画、緊急時対応と避難計画の策定が重要である。緊急時に迅速かつ適切な対応が行える組織体制を整えることが肝要であると言える。

一方で避難訓練と安全教育も重要な課題と言える。地下空間を利用する多くの人々に対し、避難訓練や安全教育を実施することで、緊急時に適切な行動が取れるようにする必要がある。特に地下空間では、地上とは異なる環境やリスクが存在するため、地下空間における避難訓練や安全教育が重要となる。

以上の課題を踏まえると、地下空間における避難時の課題は多岐にわたることがわかる。地下空間における避難経路や避難場所の確保、避難誘導、緊急時の対応と避難計画の策定、避難訓練と安全教育が重要な課題であり、これらの課題に対処するためには、地下空間の特性を踏まえた適切な対策が求められる。

2.5.2 設備に関わる課題

地下空間の設備に関わる課題は、排水設備、通気設備、備蓄資材、電力確保などがあげられる。これらの要素は地下空間の機能性、安全性、快適性に直結し、適切な設計と維持管理が求められる。

排水設備について、地下空間では地下水位や降雨による浸水のリスクがある。そのため、適切な排水設備が必要となる。排水設備の不備やメンテナンス不足により、地下空間が浸水すると、利用者の安全が脅かされるだけでなく、設備や備蓄資材にも被害が及ぶこととなる。また、地下空間の排水設備は地上とは異なる特性を持つため、地下空間の状況に合わせた設計と定期的な点検・保守が重要である。

通気設備について、地下空間では十分な通気が確保されていなければ、酸欠や有害ガス

の蓄積などのリスクが発生する。特に非常時においては、通気設備が十分に機能することが利用者の生命を守るために不可欠である。

備蓄資材に関する課題も重要と言える。地下空間では非常時に備えて、食料、飲料水、医薬品、非常用発電機などの備蓄資材が必要である。これらの備蓄資材は、地下空間の利用者が安全かつ快適に避難生活を送るために不可欠である。しかし、備蓄資材の管理や更新が怠られると、非常時において必要な資材が不足する可能性がある。そのため、備蓄資材の適切な管理と定期的な更新が求められると言える。

最後に、電力確保は最も重要な課題と考える。地下空間では、照明や通信設備、換気設備、非常用設備など、様々な設備が電力を必要とする。特に非常時においては、電力が確保されていないと、避難者の安全や情報伝達が困難になる。そのため、地下空間では電力確保のためのバックアップシステムや非常用発電機などが必要である。

以上のように、排水設備、通気設備、備蓄資材、電力確保などの設備に関わる課題は、地下空間の機能性、安全性、快適性に直結し、適切な設計と維持管理が求められる。これらの課題に対処するためには、専門家の知見を活用した適切な設計と、定期的な点検・保守が欠かせない。また、地下空間の利用者に対しては、安全教育や避難訓練を通じて、非常時に備える意識を高めることも重要である。

2.5.3 衛生面やストレスに関する課題

地下空間における衛生面やストレスに関わる課題について考える。地下空間における衛生環境やストレスフリーな環境整備は、地下空間を長期間利用する際に重要な要素となる。特に、地下空間におけるトイレ、入浴・シャワーなどの設備は、心理的ストレスの軽減にも貢献する。

衛生環境に関する課題について、地下空間では、通気設備や排水設備の整備が重要である。通気設備は、地下空間内の空気の循環を確保し、新鮮な空気を供給することで、閉鎖的な空間による空気の悪化を防ぐことができる。また、排水設備は、地下空間内の水の排出を効率的に行い、地下空間内の衛生環境を維持するために不可欠である。これらの設備の整備が不十分な場合、地下空間内での衛生環境が悪化し、利用者の健康リスクが高まる可能性がある。

地下空間のストレスフリーな環境整備においては、自然光の取り込みが難しいため、照明設備の充実が重要となる。十分な照明が確保されていないと、利用者はストレスを感じやすくなる。また、地下空間内における心理的ストレスの軽減のためには、開放的な空間や緑化、アートやデザインの活用などが考えられる。これにより、地下空間内でのストレスを軽減し、利用者の快適な空間を提供できる。

以上のように、地下空間における衛生環境やストレスに関わる課題は、通気設備や排水設備、照明設備、心理的ストレスの軽減、トイレや入浴、シャワーの設備、そして電力確保など、様々な要素が関わっている。

これらの課題を解決するためには、地下空間の設備計画や運用計画において、これらの要素を総合的に考慮し、適切な対策を講じることが重要である。また、地下空間の利用者に対する安全教育や訓練も重要であり、緊急時における適切な対応を確保するために必要となる。

2.5.4 法規に関する課題

地下空間利用に係る法令には、いくつかの課題がある。まず、地下空間の改良に取り組む際に、建設時に適用された法令が改正されることで、既存の地下空間が不適格となる場合である。これにより、大規模な改修が必要となり、新たな改良や設備更新が困難になる。また、地下空間と地上の接続に関しても、過去の地下火災の教訓から厳しい規制があり、円滑な接続形態を作り出しにくい場合もある。

さらに、地下空間を利用する際には、不特定多数の人々が利用することから、災害が発生した際の避難が地上に比べて物理的にも心理的にも困難となる場合がある。このような状況下で安全性を確保するには、十分な消防・防災の構えが必要となるが、地上に比べ地下空間を再構築することは容易ではない。したがって、地下空間の改修や改良に対する法令や基準の適用に当たっては、安全検証を行うことなどにより、弾力的な運用ができないか検討が望まれる。

現在の地下空間には、施設ごとに異なる監督行政庁や適用法令、規制基準、指導、許認可手続きが存在しており、各施設共通に拠り所となる基本的な法令が存在しない。しかし、このような異なる地下空間施設がネットワーク化され、都市活動を支える重要な基盤施設となっているのが現状である。したがって、地下空間利用の各施設共通に拠り所となる基本法令について、関係者による検討が望まれる。

以上のように、地下空間利用に係る法令には、改修や改良、安全確保、施設間の連携、情報管理など、さまざまな課題が存在している。これらの課題に対処するためには、法令の見直しや統一的な基準の整備、情報管理の効率化などが必要である。

2.5.5 多目的地下インフラの構築・再構築を考える

多目的型地下インフラの利用において、インフラ自体の構築・再構築技術は欠かせない。そこで、多目的型地下インフラの構築・再構築技術において考えておくべき課題をいくつか述べておく。

地下インフラの構築・再構築を考える上で、耐久性の確保、止水性の維持、ひび割れの防止、防食・防錆、そして耐震設計は重要な要素である。耐久性の低下は漏水や有害物質により促進され、劣化原因が複雑に関連しているため、環境条件や機能に応じた耐久性性能の検討が重要である。また、漏水による鉄筋や鋼材の腐食を防ぐために止水対策が必要で、ひび割れの防止や防食・防錆対策も重要となる。さらに、耐震設計では地震動に対する構造物の挙動を考慮し、適切な解析手法を用いて地震動のレベルに応じた耐震性能を決定、設計に反映されるべきである。

次章では、これらの課題について、事例を交えながら詳述する。

第3章 多目的型地下インフラの構築・再構築技術

3.1 構造例

3.1.1 地下インフラの構造分類

地下インフラは、商業・生活関連、交通、都市再開発、都市エネルギー、防災・環境対策、文化施設・実験施設¹⁾など多様な目的に使用されている。そのため地下インフラは、その用途や目的に応じて様々な構造があり、また構築箇所の施工条件（構造物の大きさや形状、深度、適用地質など）によって最適な構築技術が選定される。

主な構築技術には、大別すると①シールド工法、②山岳工法、③開削工法の方法があり、特殊な方法として推進工法、外殻先行型トンネル構築工法、沈埋工法などがある。

構築技術については『3.2 構築・再構築技術例』で紹介する。

(1) 地下インフラの構造


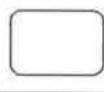
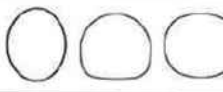
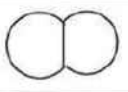
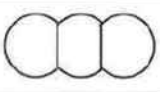
主な構築技術別の構造物の基本形状や施工条件を表 3.1.1-1、図 3.1.1-1～3 に示す。

表 3.1.1-1 構造技術別地下インフラの基本形状および施工条件

	①シールド工法	②山岳工法	③開削工法
適用地質	非常に軟弱な沖積層から、洪積層や、新第三紀の軟岩までの地盤に適用される。	硬岩から新第三紀の軟岩までの地盤に適用される。	基本的に地質による制限はない。
地山条件等の変化への対応性	比較的容易。	支保工、掘削工法、補助工法の変更により対応可能。	地質に適用した土留め工、補助工法等を選定することで対応可能。
地下水対策	密閉型シールドでは、発進部および到達部を除いて、一般には補助工法を必要としない。	切羽等の安定性に影響がある場合は、地盤注入等による止水、ディープウェル等の補助工法が必要になる。	土留め壁の根入れを深くしたり、地下水位低下工法や地盤改良等の補助工法が必要となる場合が多い。
トンネル深度	最小土被りは、一般には1.0～1.5D（D:シールド外径）といわれている。 最大深度の実績は岩盤で約200m（当時水圧0.69MPa）、砂質土等の未固結地盤では100m以下の実績が多い。	未固結地山では、土被り／トンネル径比（H/D）が小さい場合、天端崩落や沈下を抑制する有効な補助工法が必要。 山岳部では約1,200mの深度で適用事例あり。	施工上、最小土被りによる制限はない。 最大深度は、40m程度の実績が多いが、それ以上となる大深度の施工実績も増加している。
断面形状	円形が標準である。 特殊シールド機を用いて複円形、楕円形、矩形等も可能。	掘削断面天端部にアーチ形状を有することを原則とする。 その限りでは、かなりの程度まで自由な断面で施工可能。	矩形が一般的であるが、複雑な形状にも対応できる。
断面の大きさ	トンネル外径の実績は、最大で17m程度である。	一般には150㎡程度までの事例が多く、370㎡程度の実績もある。	断面の大きさおよびその変化に対して、施工上からの制限はない。

出典：土木学会

表 3.1.1-2 シールド工法における断面形状

項目	円形	矩形	楕円, 複合円形	二連形	三連形
断面形状					
特長	<ul style="list-style-type: none"> 力学的に安定した構造であり、覆工厚も他の形状と比較して薄い。 掘削機構が単純である。 ローリング修正しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 道路や鉄道等建築限界を有するトンネルに対して、一般的には不要な断面が最小となる。 土盛りや支障物との離隔を小さくできる。 	<ul style="list-style-type: none"> 円形と比較すると不要断面が小さく、一般的に占有幅も小さい。 矩形に比べ発生断面力が小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> 円形の双設トンネルと比較すると、占有幅が小さい。 従来の円形を複合させたことから比較的安定した掘削が可能である。 矩形に比べ発生断面力が小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> 占有高さが小さい。 従来の円形を複合させたことから比較的安定した掘削が可能である。 矩形に比べ発生断面力が小さい。 非開削で幅広の地下構造物の施工が可能である。
	短所	<ul style="list-style-type: none"> 用途によっては不要な断面が大きくなる場合がある。 占有幅や高さが大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 隅角部等の断面力が大きく、高耐力の覆工が必要となる。 掘削機構が複雑となる。 ローリング修正が難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削機構が複雑となる。 ローリング修正が難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> ローリング修正が難しい。 一般に掘削機構が複雑となる。 一般にセグメントの組立てが複雑となる。
用途の例	・シールドトンネル全般	・道路 ・鉄道 ・通路 ・水路 ・共同溝等	・鉄道 ・下水道 ・水路 ・通路	・鉄道 ・共同溝 ・水路	・鉄道駅部

出典：土木学会

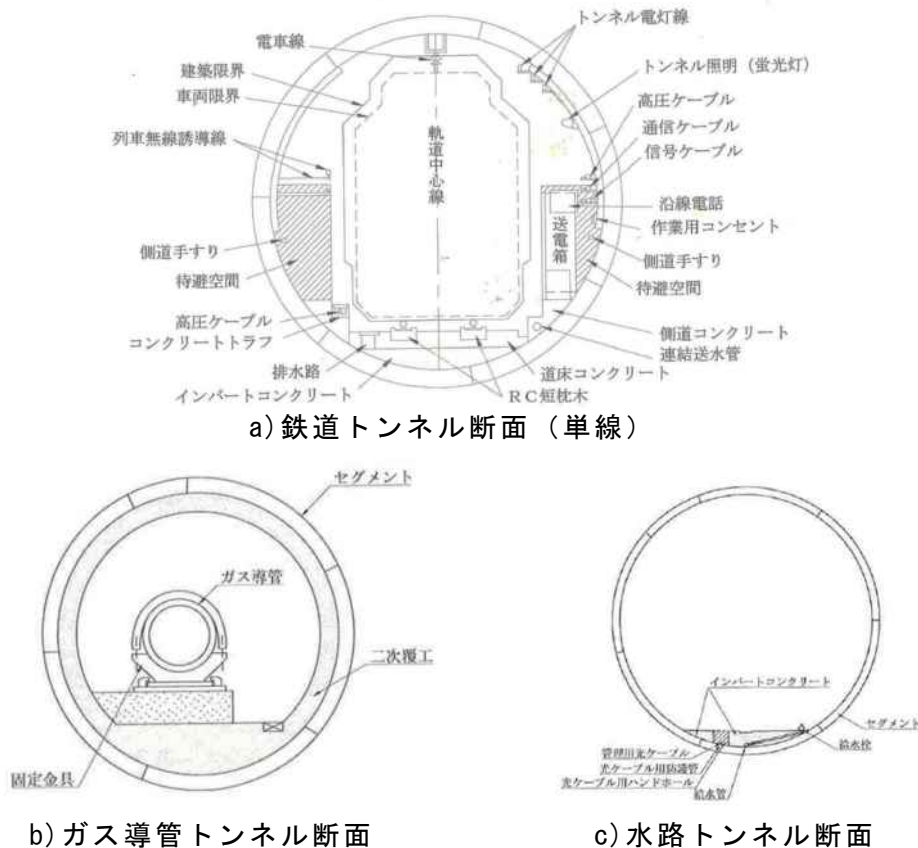
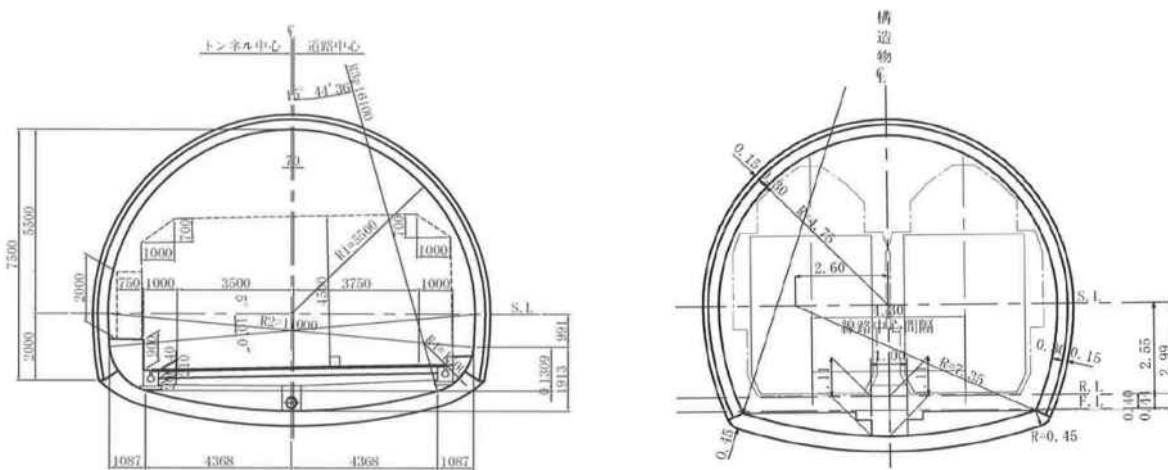


図 3.1.1-1 シールド工法におけるトンネル断面例

出典：土木学会

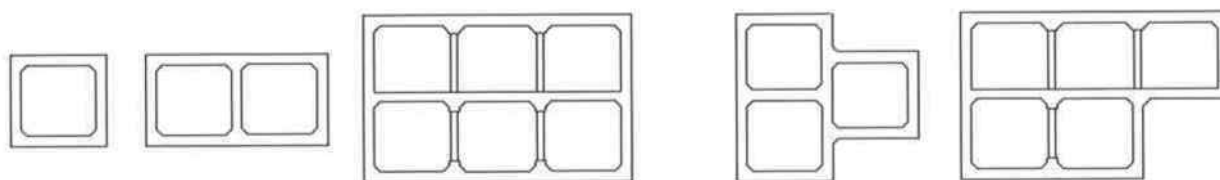


a) 道路トンネル標準断面（二車線）

b) 鉄道トンネル標準断面（新幹線）

図 3.1.1-2 山岳工法におけるトンネル断面例

出典：土木学会



a) 標準断面の例

b) 変断面の例

図 3.1.1-3 開削工法における構造物基本形状

出典：土木学会

(2) 設計手法

トンネル標準示方書各編を題材として、設計手法について以下に述べる。

トンネル構造物は、要求性能を明確に意識して計画、設計、施工および施工管理などの各段階を実施するために、昨今では、トンネルの機能を維持するために必要な要求性能が、法や事業者の基準類あるいは手引きなどに示されるようになった。構造物がトンネルとなる場合、構造的な安全性などにかかわる機能（基本的な機能）に加えて、使用目的に応じて要請される機能も個々に定められる。

トンネルを代表とする地下構造物の性能の照査は、この要求性能に対して、構造物の性能が満足していることを確かめることにより行う。性能の照査は、原則として各事業者が定める個別基準をもとに行われる。照査においては、一般に、構造物に規定された要求性能を適切な信頼性で満足することを証明する。ここでトンネル構造物では、性能や照査の方法を明確に表示できない場合も多く、経験的に設定された要求性能を満足することが確認されている仕様をあらかじめ明示する方法が多用されている。

各工法における設計手法の特徴を以下に示す。

1) シールド工法

シールド工法は、泥土あるいは泥水などで切羽の土圧と水圧に対抗して切羽の安定を図りながら、シールドを掘進させ、セグメントを組み立てて地山を保持し、トンネルを構築する工法である。

シールド工法によって構築される構造物では、2006年制定の示方書・同解説¹⁾からその主構造物であるセグメントの設計に対して許容応力度設計法と限界状態設計法を併記し、その設計においていずれの照査方法を採用することも可能となっている。一般的な設計ではセグメントの耐荷性能や耐久性能などを個別基準などに準拠して照査しているのが実態である。

セグメントの設計は、良質な材料を用い、適切な製造が行われることを前提として、トンネルの使用目的に対して構造の安全性が確認できることを基本としなければならない。また鉄道、道路、上下水道、電力、通信などのトンネルの使用目的に応じ、必要とされる耐荷性、耐久性を確認することはもちろんのこと、ジャッキ推力や裏込め注入圧力などの施工途中における荷重に対しても安全性を確認することが重要である。

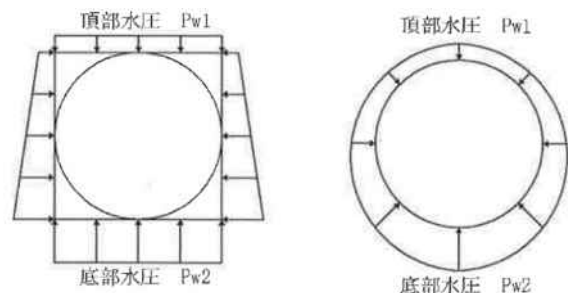
ここで許容応力度設計法とは、部材を弾性範囲内で取り扱うことから簡便であり優れた設計法である。ただしレベル2地震動に対する検討においては、部材非線形の領域まで取り扱う必要があり、この場合には限界状態設計法による。限界状態設計法とは、構造物の使用性・安全性・復旧性・耐久性などのいろいろな要求性能に着目した各限界状態を設定し、その限界状態ごとに設定された限界値を満足することを照査する設計法である。

なお、許容応力設計法にもとづく場合においても、せん断耐力を向上させるなど、部材が脆性的な破壊とならないように配慮することも重要である。

またシールド工法の設計における考え方の特徴の1つに、土圧算定にあたっての水の取扱いがある。地中の覆工に作用する土圧や水圧は複雑で、これらを正確に推定することは困難である。そのため土圧の算定にあたっては、土と水とを分離して取扱う考え方（土水分離）と、水を土の一部として包含する考え方（土水一体）とがある。一般的に前者は砂質土において、後者は粘性土において採用される傾向にあるが、自立性が高い硬質粘土や固結シルトでは土水分離として取扱う場合や、明確に区分するのが困難

な場合もある。また水圧はトンネルの施工中および将来の地下水位の変動を想定し、安全な設計となるような地下水位を設定して定める。水圧は静水圧とし、その分布形状は構造計算モデルにより選定しなければならない（図 3.1.1-4）。

その他に、浮力、地震の影響、内水圧の影響などを考慮する必要がある¹⁾。



① 鉛直・水平方向それぞれに作用させる方法 ② 半径方向に作用させる方法

図 3.1.1-4 設計水圧の考え方

出典：土木学会

2) 山岳工法

山岳工法は、トンネル周辺地山の支保機能を有効に活用し、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工などにより地山の安定を確保して掘進する工法である。

山岳工法によって構築される構造物では、地山が本来保有する支保機能が最大限発揮されるように設計および施工を行わなければならない。支保工、覆工およびインバートの設計は、一般に各事業者の施工実績に基づく「標準設計の適用」で行われる。一般的に標準設計の適用にあたり、まず事前地質調査結果に基づき地山分類がなされ、地山等級を特定する。次に地山等級に応じた標準的な支保パターンや覆工およびインバートの構造を決定し、これを当初設計として施工計画や工程計画、積算などを行う。施工段階では、施工中の詳細な切羽観察と計測管理により地山および支保部材の安定を確認するとともに、その結果を支保工、覆工およびインバートの設計に反映し、トンネルの地質条件と施工条件に適合する構造を構築していくことになる。

山岳トンネルは、その使用方法や地山条件、立地条件などから要求される設計条件と種々の設計項目を十分に把握し、安全性、経済性、耐久性、供用中の維持管理などを総合的に判断して、地山の支保機能を有効に活用し適切に設計しなければならない。地山の支保機能とは、トンネル空間を保持する能力を支保工、覆工、インバートなどのみに期待するのではなく、地山自身の能力を利用するという山岳トンネルに特有な考え方である。

3) 開削工法

開削工法は、地表面から土留工を施しながら掘削を行い、所定の位置に構造物を築造して、その上部を埋め戻し、地表面を復旧する工法である。

開削工法によって構築される構造物では2006年制定の示方書・同解説³⁾から限界状態設計法を取り込んでおり、2016年制定においては「性能規定」の枠組みとし、基本的にはコンクリート標準示方書と同レベルの体系であるといえる。一方、各事業者が定めた個別基準には許容応力度設計法を用いる方法もある。

また、仮設構造物の設計においても許容応力度設計法が採用されている。

開削トンネルは、使用目的に応じて所要の性能が発揮されるよう、合理的な構造物とする必要がある。計画段階において用途に応じた適切な線形、勾配、内空断面などを決定するとともに、施工中および完成後の構造物の強度、変形、安定などについて、状況に応じた影響を選定して検討を行い、構造物に要求される性能を確保するように設計を行わなければならない。

要求性能の照査では、設計された各構造物の形式、構造断面、使用材料、構造諸元などが、所定の目標性能を有することを適切な方法で確認する作業である。実物実験、模型実験、精度の確認された数値解析などを用いて、これらに裏付けられた限界状態設計法を基本とした照査を行う。

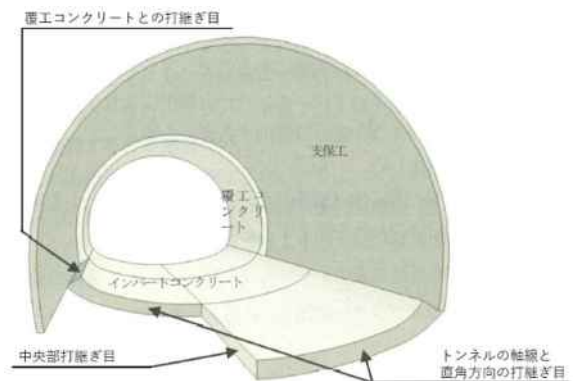


図 3.1.1-5 トンネル断面

出典：土木学会

3.1.2 地下インフラの構造の現状と課題

(1) 地下インフラ構造の現状

地下インフラ構造は、その耐久性の高さから鉄筋コンクリート構造が選定されることが多い。他には、シールド工法における急曲線では鋼製セグメントの内側に現場打ちコンクリートなどを巻き立てるケースや、地山の支保機能が期待できる山岳トンネルでは無筋コンクリートで覆工を仕上げるケースがある。

用途に応じて形状や大きさも様々であり、複数の用途が求められる構造物ほど複雑化する傾向がある（図 3.1.2-1）。

(2) 構造上の課題

地下構造物の施工位置が深くなるにつれて、土圧・水圧が大きくなることや、地質学的、土質工学的情報の蓄積が少なく、土の力学的挙動も解明されていない点が極めて多いといった問題や、地下空間の工事が地下水環境に与える影響などにも配慮する必要がある。

1) 地下鉄筋コンクリート構造物の課題

鉄筋コンクリート製セグメントにおける覆工を参考に、地下インフラにおける鉄筋コンクリート構造物の課題を以下に示す。

① 耐久性の確保

長期にわたる供用中に構造物の所要の耐久性が低下すると、トンネルの用途に応じた使用性や構造上の安全性など、構造物の機能に影響を与える。

耐久性の低下は、地下インフラの用途によって異なるが、おもに構造物内への漏水や有害物質への暴露などにより促進され、鉄筋コンクリートを形成する鋼材やコンクリートなどが劣化することによって起こる。劣化要因には、中性化、塩化物イオンの浸入、硫化水素などによる化学的腐食、内部の摩耗などの物理的な損傷などがあげられる。しかしながら、地下インフラの用途に応じてその使用環境が異なり、各種の劣化原因が複雑に関連していることから、現状では劣化のメカニズムが十分に解明されているとはいえない。環境条件やその有すべき機能に応じて、劣化原因を推定するとともに、要因に応じて耐久性能の検討を行うことが重要である。

② 止水性の維持

工事中の施工性、完成後の使用目的および地山の脱水による地中や地表への影響（圧密沈下）などを考慮すると、構造物内への漏水を防止することは重要である。

構造物内への漏水は、コンクリート構造物の劣化を早め、その耐久性を損なう原因となるので十分な配慮が必要である。漏水により、漏水経路の鉄筋や鋼材の腐食を促進する場合があるので注意が必要である。地下水に塩分や有害物質が含まれる

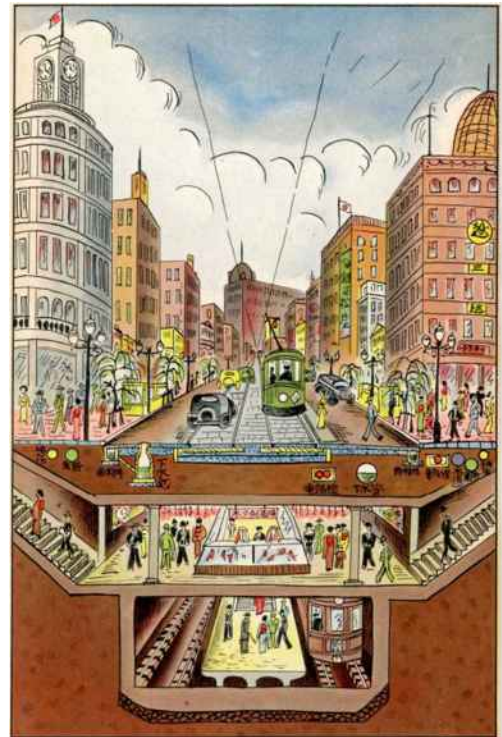


図 3.1.2-1 銀座尾張町附近道路断面図

出典：東京市土木読本,1936年

場合には、漏水すると鉄筋や鋼材への腐食の影響が著しく大きくなること、坑内環境に悪影響を与える可能性があることから、止水対策に十分に留意する必要がある。

③ひび割れの防止

地下インフラ構造物に発生するひび割れは、水密性の低下や漏水ならびにそれに伴う鉄筋の腐食により、覆工の耐久性を低下させる原因となる。特に乾湿が繰り返される環境条件下や作用荷重が大きいなどの理由でひび割れが発生しやすいコンクリート構造物では、供用期間中の機能および使用目的などを損なわないように、適切な方法によりひび割れについて検討しなければならない。

④防食および防錆

鉄筋コンクリート構造物におけるコンクリートの劣化は、中性化、塩害、凍害によるものや、酸性物質、硫酸イオンなどによる化学的腐食、アルカリ骨材反応などがある。したがって、これらの要因やトンネルのおかれる環境、用途を考慮し、適切な防食の処理や対策を検討する必要がある。特に、硫化物イオンに起因するコンクリートの腐食に関しては、かぶり部分だけの処理では十分な防食機能を果たせないことも考えられるため、内面に防食被覆を施すこともある。

⑤耐震設計

シールドトンネルをはじめ地中構造物は地震動に対しほとんど共振せず、その挙動は周辺地盤の変位や変形によって支配される。したがって耐震設計では、構造特性、周辺地盤の特性、設計地震動などの条件を適切に反映させ、応答値が必要な精度で得られる解析手法を用いることが重要である。

シールドトンネルの耐震設計では、構造物の設計耐用期間内に数回発生する大きさのレベル 1 地震動と構造物の設計耐用期間中に発生する確率が極めて小さいが強いレベル 2 地震動を選択することが多い。耐震性能としては、用地、重要度、利用状況、機能停止が与える影響、陥没や出水などの二次災害の可能性、修復に要する時間や費用などを考慮して決定する必要がある。レベル 1 地震動に対しては許容応力度設計法で、レベル 2 地震動に対しては、部材の塑性化を考慮できる限界状態設計法により行われる事例が増えている。

2) 大深度地下施設の課題

大深度地下法では、大深度地下とは、地下 40m 以深（支持地盤が浅い場合）と、支持地盤上面から 10m 以深（支持地盤が深い場合）となる。ここで、支持地盤が深いとは、支持地盤上面が地下 30m 以深をさす。

大深度地下施設には、通常の地下施設の設計で考える荷重の他に、制度において前提としている規模の建築物が建設されても、その構造に支障がないように、建築物による荷重を考慮する必要がある。大深度地下施設に最低限必要な耐力の算定においては、施設の頂面に作用するそれぞれの荷重などを算定し重ね合わせることを原則とする。一方、大深度地下は、浅深度地下とは違い硬くよく締まった地盤であり、かつ十分に土被りを有することから、原則として土のアーチング効果を見込んだ緩み土圧理論により鉛直土圧を算定することとする。

一般的に地震動は地下深くなればなるほど小さく、硬くよく締まった地盤で構成されていることから大深度地下施設は原則として地震動の影響は小さいと考えられる。

3.1.3 代表的な構造例

本節では、前述した課題に対して構造的に解決を行った事例を紹介する。

(1) 麻布台ヒルズ（東京都）

虎ノ門・麻布台プロジェクトは、「モダン・アーバン・ビレッジ」をコンセプトとした、国際都市の洗練さと小さな村のような親密さを兼ね備えた、世界に類のない全く新しい街を作るプロジェクトである。森 JP タワーなどの地上 50 階を超える 3 つの高層ビルが立ち並ぶ中、B-2 街区には地下大空間が建設されている。

非常に大スパンの大梁があり、上部の大きな荷重に耐える PC※構造となっている。

※PC：Prestressed Concrete の略で、

荷重によってコンクリートに生ずる引張応力を打ち消す目的で、圧縮応力(プレストレス)をあらかじめコンクリートに人工的に加えることによって、ひび割れを防止し、従来のコンクリート構造よりも、強度・耐久性に優れ、長寿命化を図った構造材料



写真 3.1.3-1 B-2 街区東棟地下

出典：清水建設(株)関連ホームページ 4)

(2) 寝屋川北部地下河川「古川調整池」(大阪府)

古川地下調節池は、古川の治水安全度を早期に向上させるために、平成 21 年度から平成 29 年度にかけて整備した調節池である。

寝屋川流域総合治水対策の一環で、鶴見立坑と古川取水立坑を接続する雨水貯留管(外径 8.24m、桁高 370mm)をシールド工法で施工が行われた。

土被り 37.5m、掘進距離約 2km において、覆工体には高い耐久性と止水性能が求められる条件であったことから、一般的な鉄筋コンクリート製セグメントよりも高い剛性により欠損や漏水が生じにくい、嵌合方式合成セグメント(NMセグメント)が適用されている。



写真 3.1.3-2 古川調整池

出典：日本製鉄(株)ホームページ 5)

(3) 東京湾アクアライン（東京都）

東京湾アクアラインは、東京湾の中央部を横断する全長 15.1km の自動車専用の有料道路であり、世界最大級の直径のシールドマシンによる長距離掘進、2 つのシールドマシンがお互いに高い土水圧の中でドッキングする、高い技術を駆使して作られた「海底トンネル」である。

シールド工事は、木更津人工島から川崎方面に向かい、最大水深 28m、最大土被り 16m の海底に約 2.8km のトンネルを掘り進めるものであった。シールドマシンは直径 14.14m、重量 3,200t と世界最大級のもので、巨大な水圧に耐えながら、当時としては例の少ない長距離施工であった。海底の高水圧が作用する厳しい腐食環境に適応するため、水膨張性シールによるセグメント間の止水、継手の防食を行ったうえに、一次覆工内面に防水シートを設置し、トンネルの止水性を確保している。また地震対策にも注意を払い、立坑接続部に可撓セグメントや地中接続部に弾性ワッシャーを使用、継手ボルトは長ボルトとし、地震時のひずみを吸収している。



写真 3.1.3-3 海底トンネル

出典：東京湾横断道(株)ホームページ⁶⁾



写真 3.1.3-4 トンネル施工状況

出典：海ほたるホームページ⁷⁾

(4) 国立国会図書館（東京都）

日本の国会議員の調査研究などに貢献する図書館であり、地上 4 階、地下 8 階建てで、延面積は約 72,900 平方メートルの大規模構造物である。地下 1 階から地下 8 階の地下部分は全て書庫である。750 万冊の資料が収蔵可能で、書架の総延長は約 240km に及ぶ。

地下躯体に要求されるもっとも重要な品質は、保存図書のための防水性、防湿性を保証することにある。防水層には、地下 30m での水圧、土圧、コンクリート打設時の側圧に対応するため、地中連続壁側の防水工事と関連する躯体型わく工法が採用されている。



写真 3.1.3-5 地下階の様子

出典：国立国会図書館ホームページ⁸⁾

(5) 核シェルターモデルルーム（茨城県）

核シェルターの普及率が 100%以上となるスイスの基準に基づいた本格的な核シェルターのモデルルームである。地下に鉄筋コンクリートで建設することが前提であり、壁や屋根のコンクリート厚や必要なスペース、広さ、天井高、換気装置の設置、吸気口・排気口の位置、非常用脱出口の仕様などが詳細に決められている。

スイスでは、リスク想定が核攻撃のため、「防爆仕様」＋「NBCR 対応換気システム」が導入されている。シェルターの外壁は少なくとも 1m²あたり 10t の耐荷重で設計されており、核兵器の暴風、熱、衝撃波による振動、放射性降下物などから効果的に避難者を守る⁹⁾。

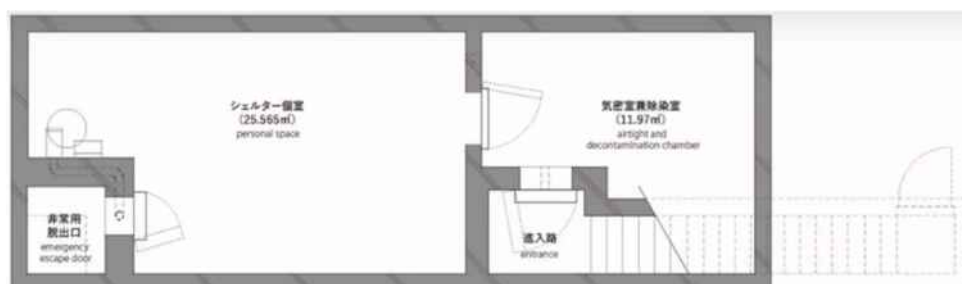


図 3.1.3-1 国際基準の核シェルターモデルルーム

出典：（特非）日本核シェルター協会ホームページ¹⁰⁾



写真 3.1.3-6 国際基準の核シェルターモデルルーム

出典：日本核シェルター協会ホームページ¹⁰⁾

【参考文献】

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書【シールド工法編】・同解説，2016，発行
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書【山岳工法編】・同解説，2016，発行
- 3) 土木学会：トンネル標準示方書【開削工法編】・同解説，2016，発行
- 4) 地下に広がるコンクリートの大空間（Shimz Human&Tech Magazine）
<https://www.shimz.co.jp/hitowaza/toraasa/topics-interview10.html>
- 5) NM セグメント 嵌合方式合成セグメント（NIPPON STEEL）
<https://www.nipponsteel.com/product/construction/list-construction/31.html>
- 6) 東京アクアラインの建設（東京湾横断道路株式会社）
<https://www.aqua-line.co.jp/aqualine/>
- 7) 東京アクアラインについて（海ほたる）
https://www.umihotaru.com/ait_tanken/about_aqua.html
- 8) 建物と設備（国立国会図書館）
<https://www.ndl.go.jp/jp/aboutus/outline/equipment.html>
- 9) 日本核シェルター協会：シェルター連続講座 第2回～スイス視察レポート・民間防衛と核シェルター
- 10) 核シェルターモデルルーム（日本核シェルター協会）
<https://www.j-shelter.com/>

3.2 構築・再構築技術例

多様な目的で使用されている地下インフラの構築・再構築技術について、主な施工方法の概要を紹介する。

3.2.1 構築・再構築技術の分類

地下インフラ構築の主な施工方法について、シールド工法、山岳工法、開削工法の概要を紹介する。

(1) シールド工法

シールド工法は、泥土あるいは泥水などで切羽の土圧と水圧に対抗して切羽の安定を図りながら、シールドマシンを掘進させ、セグメントを組み立てて地山を保持しながら再度掘進し、トンネルを構築する工法である。

密閉型シールド工法は、大別して土圧式シールドと泥水式シールドがある。図 3.2.1-1 に密閉型シールドの例を示す。シールド機の選定の例を図 3.2.1-2 に示す。

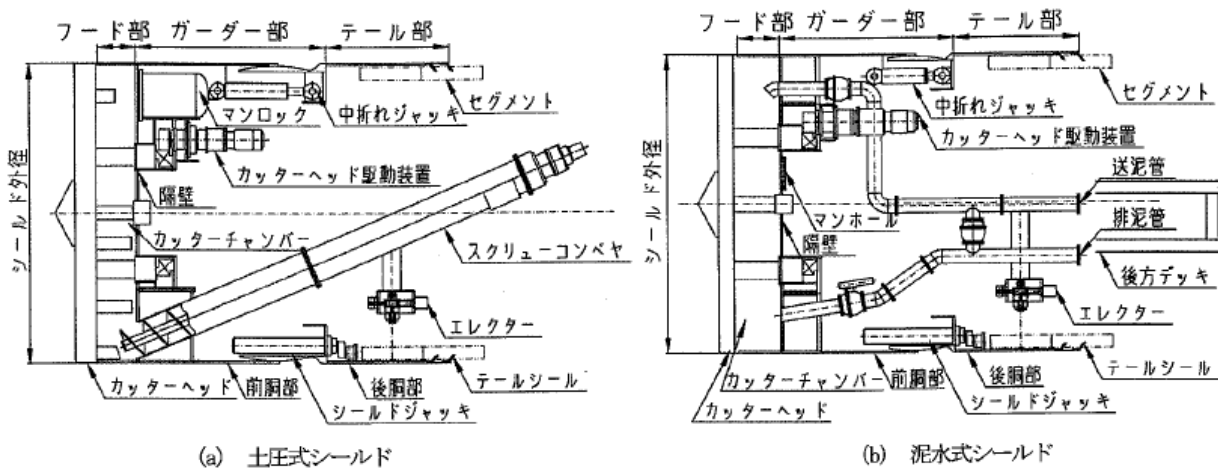


図 3.2.1-1 密閉型シールドの構成例

出典：土木学会¹⁾

土圧式シールドは、掘削土砂を泥土化させて所定の圧力を与えることで切羽の安定を図る。泥土化させるための添加材の注入装置の有無により、土圧シールドと泥土圧シールドに分類される。泥土圧シールドは、軟弱な沖積地盤や硬い洪積地盤、硬軟地盤の互層地盤など適用範囲が広いことから、現在では泥土圧シールドが採用される場合が多い。高水圧地盤において、スクリーコンベアのみでは対応できない場合があるため、スクリーコンベアの延長、圧送ポンプ設備、掘削土砂の土質性状の改良などを行う必要がある。

泥水式シールドは、チャンバー内に泥水を送水して切羽に作用する土水圧より高めの泥水圧を与えることで切羽の安定を図る。緩く柔らかい地層や含水比が高い状態などの切羽が安定しない場合、地下水が多い場合、湧水による地盤崩壊が想定される場合などの土質に適する工法である。透水性の高い地盤や巨石地盤では泥水が逸走して切羽の安定確保が困難となる場合があるため、泥水性状の変更や補助工法の採用などを行う場合がある。

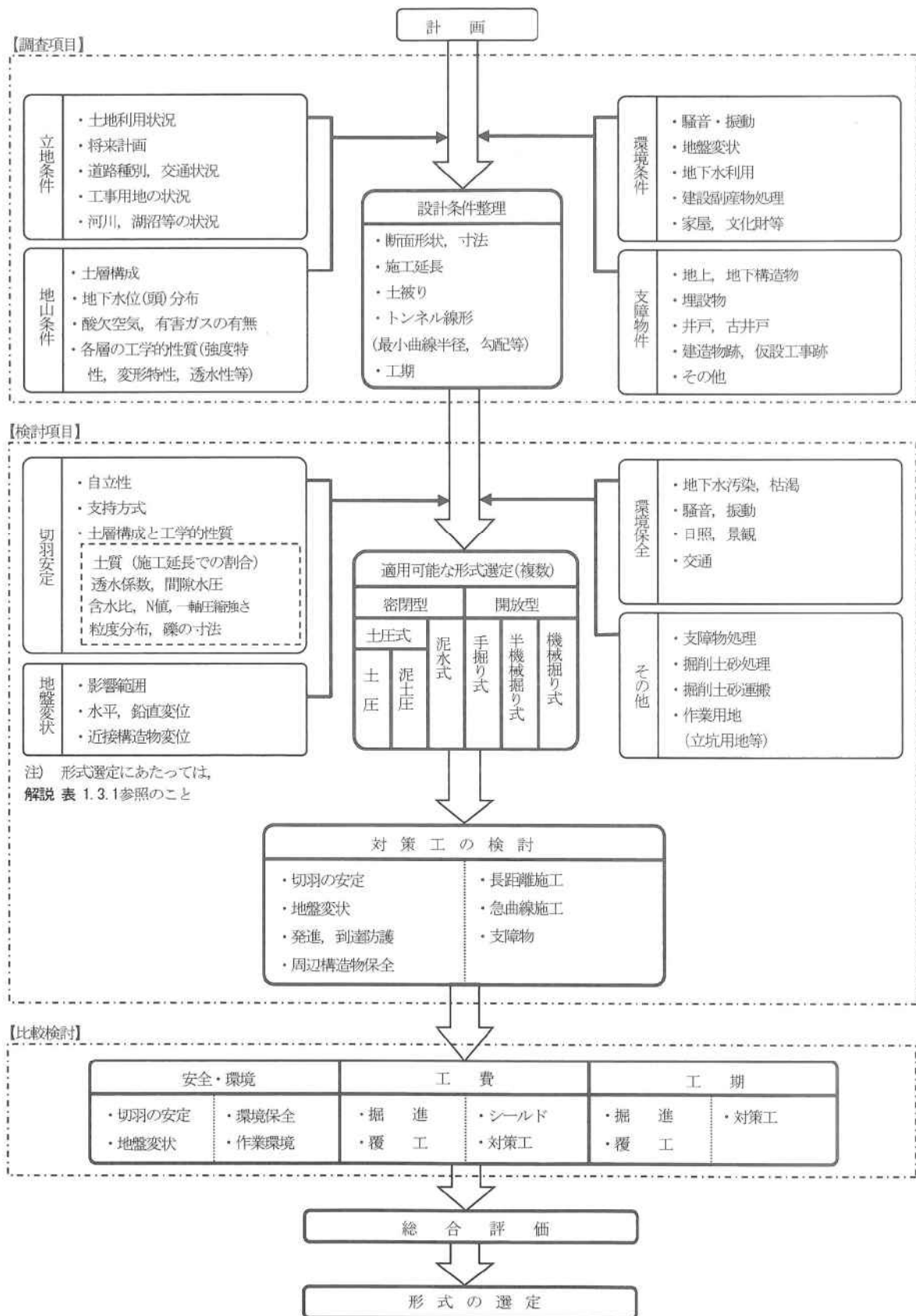


図 3.2.1-2 シールド機の形式選定フロー

出典：土木学会¹⁾

都市部における地下インフラの構築・再構築の場合、シールドトンネル工法においては地中接合や断面変化、地中切上げなどによる地下インフラの拡大が考えられ、それらの施工方法を紹介する。

1) 地中接合

地中接合は、シールドが別のトンネルに到達して接合することである。2台のシールドが正面接合する場合、既設トンネル側面に接合する場合がある。図3.2.1-3に地中接合の例を示す。

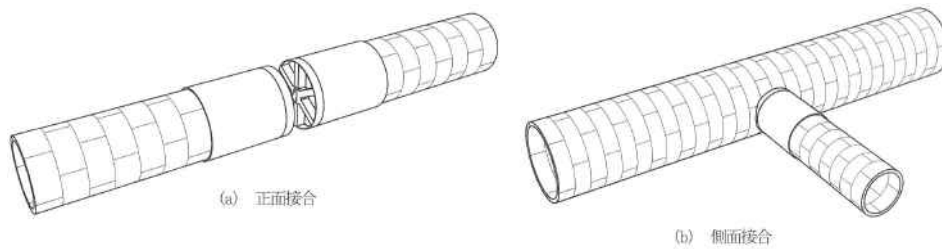


図 3.2.1-3 地中接合の例

出典：土木学会¹⁾

2) 断面変化

断面変化は、掘進の途中で拡大や縮小するものである。従来は断面変化点で立坑を設けて断面が異なる2台のシールド施工や大断面シールド1台での施工などがあるが、最近では断面変化を1台のシールドで施工する方法もある。図3.2.1-4に事例を示す。

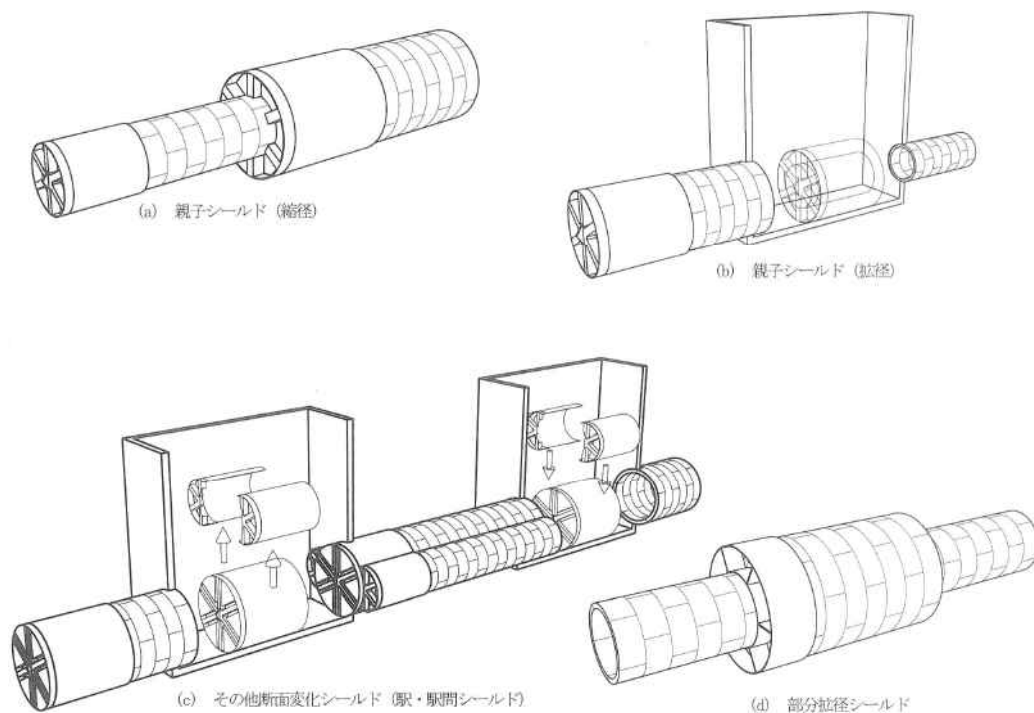


図 3.2.1-4 断面変化の方法

出典：土木学会¹⁾

3) 地中切掘げ

地中切掘げは、立坑や既設トンネルと接合するため、地中でセグメントの一部や全部を撤去して、他のRC構造物などと接合することにより、地下空間を切広げることである。人孔や換気立坑との接続、下水道のトンネル地中分岐、トンネル内空空間の拡大、鉄道駅や道路分合流部などが該当する。図3.2.1-5に事例を示す。

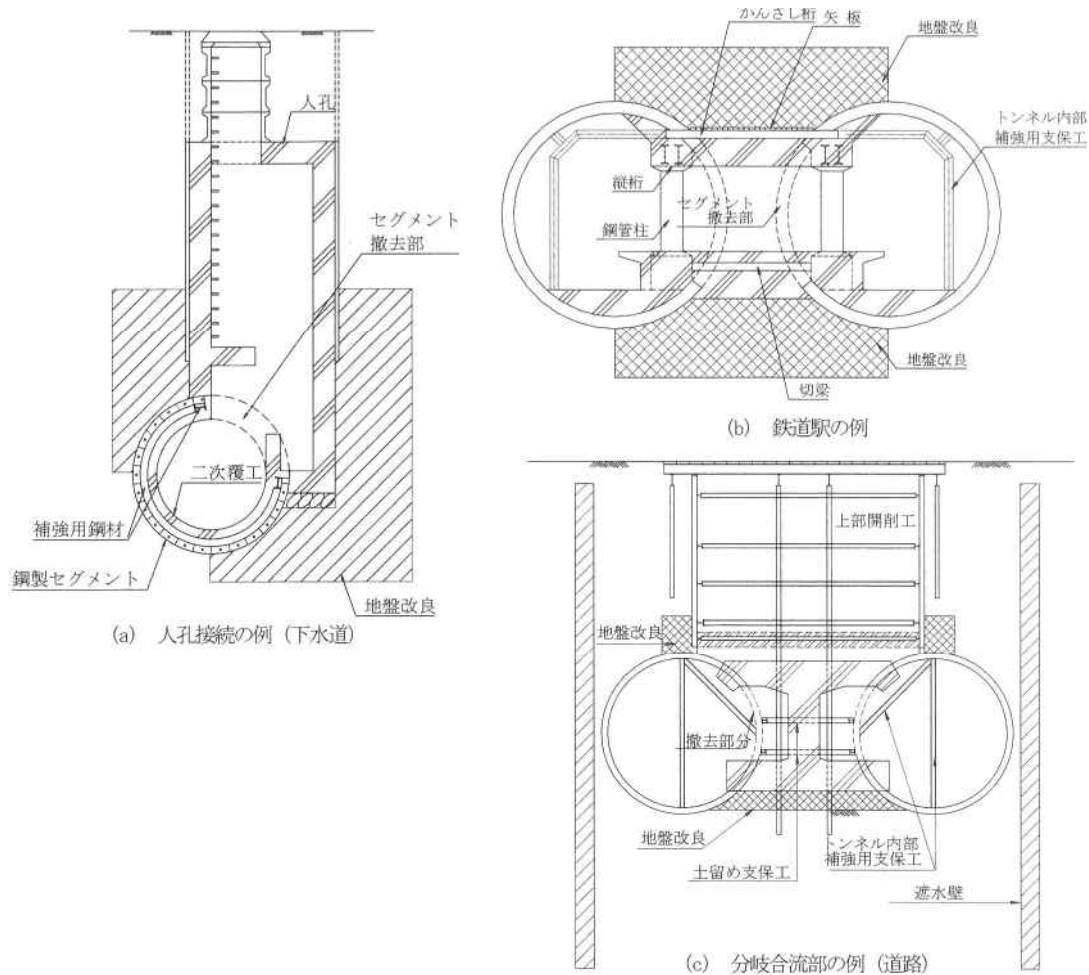


図 3.2.1-5 地中切掘げの事例

出典：土木学会¹⁾

(2) 山岳工法

山岳工法は、トンネル周辺地山の支保機能を有効活用し、吹付けコンクリートやロックボルト、鋼製支保工などにより地山の安定を確保して掘進する工法である。周辺地山のグラウンドアーチが形成されること、掘削時の切羽の安定が確保されることが前提であり、それらが確保されない場合には補助工法が必要である。掘削工法の分類を表 3.2.1-1、補助工法の分類を表 3.2.1-2 に示す。

通常採用されている掘削工法は、全断面工法、補助ベンチ付き全断面工法、ベンチカット工法、導坑先進工法である。大断面や都市域のトンネルでは、中壁分割工法も採用される場合がある。

全断面工法は、小断面や地質が安定した地山で採用される。地山条件の変化に対する順応性が低く、施工途中で他工法へ変更する場合は掘削効率が低下する。

補助ベンチ付き全断面工法は、全断面工法の適用が困難な地山に採用され、ベンチを設けることで切羽の安定を図り、上部半断面、下部半断面の同時施工により掘削効率の向上を図るものである。大土被りや膨張性地山における変位、地表面地下の抑制などの場合は、掘削後に一次インバートを施工して早期閉合を行う場合がある。

ベンチカット工法は、上部半断面、下部半断面に分割して掘進する工法である。全断面工法では切羽の安定が確保できない場合に有効な掘削方法であり、比較的広範囲の地山条件や変化のある地山に有効である。

導坑先進工法は、側壁導坑先進工法とその他の導坑先進工法に分類される。側壁導坑先進工法は、ベンチカット工法で側壁脚部の地盤支持力が不足する場合や、土被りが小さいなどで地表面沈下を抑制する必要があるときに適用される。その他の導坑先進工法は、前方地質確認、水抜き、断面拡幅時の切羽安定などの効果があり、設置位置により、頂設導坑、中央導坑、底設導坑などがある。

中壁分割工法は、大断面掘削の場合に用いられ、左右どちらかを先進掘削して、反対側半断面を遅れて掘削する CD 工法、CRD 工法などがある。先進切羽と後進切羽の間に中壁ができることから、掘削途中で各々のトンネルが併合された状態で掘削されるため、切羽の安定確保やトンネル変形抑制、地表面沈下抑制に有効な工法である。

補助工法は、トンネル掘削の施工時における切羽安定や湧水対策などの安全確保、周辺環境の保全を目的として行われる。補助工法は様々な工法があり、主目的となるもの、二次的効果を持つものがある。目的に応じて複数の工法を組合わせて適用されることがある。

表 3.2.1-1 掘削工法の分類と特性（その1）

出典：土木学会²⁾

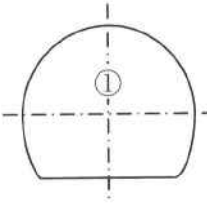
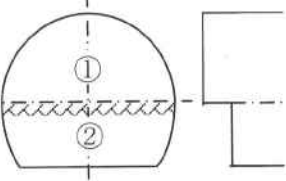
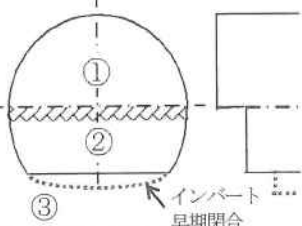
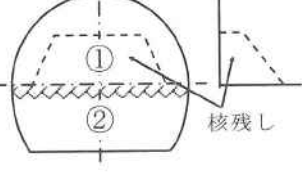
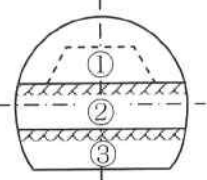
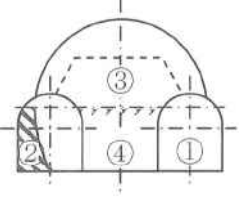
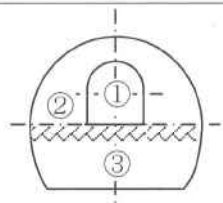
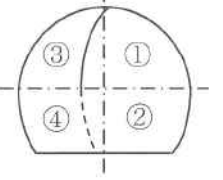
掘削工法	加背割	主として地山条件からみた適用条件	長所	短所
全断面工法		<ul style="list-style-type: none"> 水路等の小断面トンネルでは、ほぼすべての地山。 30㎡以上の断面では比較的安定した地山で適用可能だが、60㎡以上ではきわめて安定した地山でなければ適用は困難。 良好な地山が多くても不良地山が挟在する場合には段取り替えが多くなり不適。 	<ul style="list-style-type: none"> 機械化による省力化急速施工に有利。 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利。 	<ul style="list-style-type: none"> トンネル全長が単一工法で施工可能とは限らないので、補助ベンチ等の施工方法の変更体制が必要。 天端付近からの肌落ちがある場合には、落下高さに比例して衝突エネルギーが増大するので注意を要する。
補助ベンチ付き全断面工法	 ベンチ長さ2~4m	<ul style="list-style-type: none"> 全断面掘削では施工が困難であるが、比較的安定した地山。 全断面掘削が困難になった場合。 良好な地山が多いが部分的に不良地山が挟在する場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 上下半同時併進で大型機械による効率的な急速施工に有利。 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利。 	<ul style="list-style-type: none"> 補助ベンチでも切羽が自立しなくなった場合の段取り替えが困難。
インバート早期閉合		<ul style="list-style-type: none"> 大きな土被り、膨張性地山等で変位が大きい地山。 地表面沈下を抑制する必要がある場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 大型機械を用い、更なる省力化、急速施工が可能。 急速施工で緩み拡大の抑制に有利。 	<ul style="list-style-type: none"> 鏡や天端部の安定を図る掘削補助工法を併用する必要がある。 早期閉合に補助工法を用いても切羽が自立しなくなった場合、導坑先進や多段ベンチカット工法等への段取り替えが困難。
ベンチカット工法	 ・ロング：ベンチ長さ>5D ・ショート：D<ベンチ長さ≤5D ・ミニ：ベンチ長さ≤D	<ul style="list-style-type: none"> ロングベンチ(ベンチ長さ>5D)は、全断面では施工困難であるが、比較的安定した地山。 ショートベンチ(D<ベンチ長さ≤5D)は、良好な地山から不良地山まで幅広い変化に対応しやすい。 ミニベンチ(ベンチ長さ≤D)は、膨張性地山等で内空変位を抑制する場合や早期閉合が必要な場合。 切羽の安定性が悪い場合、核残し等によって対応する。 	<ul style="list-style-type: none"> 上半と下半を交互に掘削する方式の場合は、機械設備と作業員が少なくすむ。 ショートベンチは地山の变化に対応しやすい。 ミニベンチは、インバートの早期閉合がしやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 交互挿進方式の場合、工期がかかる。 ショートベンチやミニベンチでは、同時掘削の場合には上半と下半の作業時間サイクルのバランスが取りにくい。 ミニベンチでは、上半盤に掘削機械を乗せる場合、施工機械が限定されやすい。
多段ベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> 縦長の大断面トンネルで比較的良好な地山に適用されることが多い。 不良な地山で加背を小さくして切羽を安定させる場合に適用されることもある。 	<ul style="list-style-type: none"> 切羽の安定性を確保しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 閉合時期が遅れると不良地山では変形が大きくなる。 各ベンチの長さが限定され作業スペースが狭くなる。 各段のずり処理に工夫を要する。

表 3.2.1-1 掘削工法の分類と特性（その2）

出典：土木学会²⁾

掘削工法	加背割	主として地山条件からみた適用条件	長 所	短 所
側壁導坑先進工法	 <p>側壁コンクリートを打ち込む場合</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地盤支持力の不足する地山であらかじめ十分な支持力を確保したうえ、上半部の掘削を行う必要がある場合。 偏土圧、地すべり等の懸念される土被りの小さい軟岩や未固結地山。 側壁コンクリートを打ち込まない場合もある。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑断面の一部を比較的マッシブな側壁コンクリートとして先行施工するため支持力が期待できるとともに、偏土圧に対する抵抗力も高い。 側壁コンクリートを打ち込まない場合、中壁分割工法の中壁の撤去に比較して、側壁部の仮壁撤去が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。 導坑掘削時に上方の地山を緩ませることが懸念される。
中央導坑先進工法	 <p>導坑の設置位置により、頂設導坑、底設導坑等がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地質確認、水抜き、先行変位や広幅時発生応力の軽減等を期待する地山。 TBMによって導坑を先進させる場合もある。 排水工法を必要とするような地山には、底設導坑が用いられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑を先進させることで地質確認、水抜き、いなし効果等が期待できる。 発破工法の場合、芯抜きがいらないため、騒音振動対策にもなる。 広幅時の切羽の安定性が向上する。 導坑貫通後の換気効果が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> TBMを用いる場合、地質が比較的安定していないと掘削に時間がかかる。 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。 各切羽のサイクルのバランスがとりにくい。 施工機械の種類が増える。
中壁分割工法	 <p>上半のみ中壁分割する方法と上下半ともに分割する方法がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地表面沈下を最小限に防止する必要がある土被りの小さい未固結地山。 大断面トンネルで比較的不良な地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 断面を分割することによって切羽の安定性を確保しやすい。 地表面沈下を小さくすることが可能。 側壁導坑先進工法より加背が大きく、施工機械をやや大きくすることが可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 中壁撤去時の変形等に留意が必要。 中壁の撤去工程が加わる。 坑内からの特殊な補助工法の併用が困難。

掘削方式は、発破、機械、発破と機械の併用などがある。一般的には地山条件に着目して決定されるが、延長や断面形状、掘削工法、周辺影響などを考慮して、掘進長やずり出し計画、掘削作業の手順を決定する。発破掘削は、硬岩から中硬岩の地山に適用される。機械掘削は、中硬岩から未固結地山に適用される。硬岩から中硬岩の地山で、ある程度の延長がある場合は、TBMによる掘削が採用される時もある。

表 3.2.1-2 補助工法の分類

出典：土木学会²⁾

工 法		目 的						対 象 地 山			適 用 区 分	
		施工の安全確保			周辺環境の保全			硬 岩	軟 岩	未 固 結		
		切羽安定対策			地 下 水 対 策	地 表 面 沈 下 対 策	近 接 構 造 物 対 策					
		天端の安定	鏡面の安定	脚部の安定								
天 端 の 補 強	フォアボーリング	○						○	○	○	*1	
	長尺フォアパイリング	○					○	○		○	*3	
	水平ジェットグラウト	○	○	○			○	○		○	*3	
	スリットコンクリート	○					○	○		○	*3	
	パイプルーフ	○					○	○		○	*3	
補 鏡 面 の	鏡吹付けコンクリート		○					○	○	○	*1	
	鏡ボルト		○					○	○	○	*1	
脚 部 の 補 強	ウイングリブ付き鋼製支保工			○			○			○	*1	
	脚部吹付けコンクリート			○			○			○	*1	
	仮インバート			○			○			○	*1	
	脚部補強ボルト			○			○			○	*1	
	脚部補強パイル			○			○			○	*2	
	脚部補強サイドパイル			○			○			○	*2	
	脚部補強注入			○			○			○	*3	
地 下 水 位 対 策	排 水	水抜きボーリング	○	○	○	○			○	○	○	*1
		ウェルポイント	○	○	○	○					○	*3
		ディープウェル	○	○	○	○					○	*3
		水抜き坑	○	○	○	○			○	○	○	*3
	止 水	止水注入工法	○	○	○	○	○		○	○	○	*3
		凍結工法				○	○				○	*3
		圧気工法				○	○				○	*3
		遮水壁工法				○	○				○	*3
地 山 補 強	垂直縫地工法	○		○			○			○	*3	
	注入工法、攪拌工法	○		○			○	○		○	*3	
	遮断壁工法							○		○	*3	

注) ○ 比較的良好に採用される工法

*1 通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が可能な対策

*2 適用する工法によって通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が可能な工法と困難な工法がある対策

*3 通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が困難で、専用の設備等を要する対策

(3) 開削工法

開削工法は、地表面から土留工（土留壁と土留支保工）を施工しながら掘削を行い、所定の位置に構造物を構築して、その上部を埋戻し地表面を復旧する工法である。土留壁の種類を表 3.2.1-3 に示す。代表的な土留壁構造は、親杭横矢板土留壁、鋼矢板土留壁である。掘削深さが深くなる場合や土留壁の変形量を抑制したい場合などは、地下連続壁（ソイルセメント地下連続壁、鉄筋コンクリート地下連続壁、鋼製地下連続壁など）の適用が検討される。

土留壁の選定は、地盤条件や開削規模、周辺環境など踏まえて、施工性や経済性を考慮して行われる。表 3.2.1-4 に土留壁の選定基準の目安を示す。最近では、都市部において、土留壁の変形や地下水位低下に伴う周辺地盤の沈下などの影響を優先して土留壁の選定が行われることが多い。

土留支保工の種類と特徴を表 3.2.1-5 に示す。代表的な土留支保工は、鋼製切梁支保工である。切梁支保工の水平設置間隔は 3～5m 程度であるが、最近では大スパン（9m 程度）で適用可能な高剛性かつ高強度の切梁支保工の採用事例もある。掘削深さが深く平面的に大規模な場合、土留壁の変形を抑制したい場合は、逆巻工法の適用も検討される。

表 3.2.1-3 土留壁の構造と特徴（その1）

出典：土木学会³⁾

名称	壁の平面形状	構造	特徴	
簡易土留め壁		簡易矢板（木矢板、軽量鋼矢板等）による土留め壁。	軽量かつ短尺で扱いやすいが、断面性能が小さく、遮水性もあまりよくないので小規模な掘削工事に用いられる。	
親杭横矢板土留め壁		I形鋼、H形鋼などの親杭を、1～2m間隔で地中に打込み、または穿孔して建て込み、掘削に伴って親杭間に木材の横矢板を挿入していく土留め壁。	良質地盤における標準工法として広く用いられている。しかし、遮水性がよくないこと、掘削底面以下の根入れ部分の連続性が保たれないことにより、地下水位の高い地盤や軟弱な地盤には、地下水位低下工法、生石灰杭工法等の補助工法を必要とする。	
鋼（管）矢板土留め壁	鋼矢板土留め壁		U形、Z形、直線形、H形等の鋼矢板を、継手部をかみ合わせながら、連続して地中に打ち込む土留め壁。	遮水性がよく、掘削底面以下の根入れ部分の連続性が保たれるため、地下水位の高い地盤、軟弱な地盤に一般的に用いられる。市街地では圧入工法が一般的であり、オーガー併用やジェット併用によって、適用地盤が広がっている。しかし、長尺物の打込みは傾斜や継手の離脱が生じやすく、また鋼矢板引抜き時の地盤沈下も大きい。
	鋼管矢板土留め壁 (写真 7.3.1)		形鋼、パイプなどの継手を取り付けた鋼管杭を、継手部をかみ合わせながら、連続して地中に打ち込む土留め壁。	遮水性がよく、掘削底面以下の根入れ部分の連続性が保たれ、しかも断面性能が大きいので、地下水位の高い地盤、軟弱な地盤における大規模開削工事に用いられる。しかし、騒音、振動が問題となる場合には無騒音、無振動工法を考慮する必要がある。
地下連続壁	場所打ち杭既製杭地下連続壁		場所打ち鉄筋コンクリート杭やH形鋼モルタル杭を連続的に打設して構築する土留め壁。	杭は相互に点接触となるため遮水性はあまりよくないことから、止水性を要求する場合には背面地盤の止水改良を併用する必要がある。断面性能は比較的大きく、しかも工事による騒音、振動が少ないため、市街地での中規模開削工事や路下施工に用いられる例が多い。
	ソイルセメント地下連続壁 (写真 7.3.2)		各種オーガー機やチェーンカッター機等を用いて、セメント溶液を原位置土と混合・攪拌した掘削孔にH形鋼などを挿入して連続させた土留め壁。	遮水性がよく、断面性能は場所打ち杭、既製杭地下連続壁と同等であることから、市街地の中規模開削工事に用いられることが多い。原地盤の土砂をソイルセメントの材料として用いるが、地盤種別により性能に差が生じるので注意が必要である。
	安定液固化地下連続壁		ベントナイトやポリマー安定液を用いて掘削したトレンチ中にH形鋼、プレキャスト板等を挿入した後、安定液を固化剤投入により直接固化、あるいはモルタル、流動化処理土等で置換固化させた土留め壁。	地下連続壁工法では、不要となった安定液や掘削土の一部は産業廃棄物となるが、安定液を固化させたり、掘削土にセメントミルクを混合して流動化処理土として再利用するなど、積極的に産業廃棄物の減少と現場発生土を有効利用できる工法である。RC地下連続壁と比較して、剛性が小さいため掘削深度に限界があるものの、削孔精度が良いことから大深度の遮水壁構築に適する。採用にあたっては施工条件、工費の面で検討を要する。

表 3.2.1-3 土留壁の構造と特徴（その2）

出典：土木学会³⁾

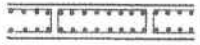
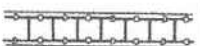
名称	壁の平面形状	構造	特徴
地下連続壁 鉄筋コンクリート地下連続壁 (RC地下連続壁) (写真7.3.3)		ベントナイトやポリマー安定液を用いて掘削したトレンチ中に鉄筋籠を挿入し、コンクリートを打設して、現場で鉄筋コンクリート壁を構築し連続させた土留め壁。	大深度においても遮水性がよく、断面性能が大きいので、大規模な開削工事、重要構造物が近接している工事、軟弱な地盤での工事等に用いられる。壁体は本体構造物の一部として利用できることや、工事による騒音や振動が少ないこと等の特徴をもつ。ただし、他の土留め壁に比較して一般に作業スペースが大きくなることから、採用にあたっては施工条件、工費の面での検討を要する。
地下連続壁 鋼製地下連続壁 (写真7.3.4)		ベントナイトやポリマー安定液を用いて掘削したトレンチ中に工場製作された継手を有する形鋼を挿入し、コンクリート、モルタルを打設または安定液を固化して地中に壁を構築し連続させた土留め壁。	基本的な特徴はRC地下連続壁と同等であるが、高強度であることから薄壁が可能である。また、壁体は本体構造物の一部として利用できることやRC地下連続壁に比較して作業スペースが小さくなること等が利点である。採用にあたっては、施工条件、工費の面で検討を要する。

表 3.2.1-4 使用条件と土留壁の選定基準の目安

出典：土木学会³⁾

使用条件	地盤条件			規模				剛性・止水性		環境			工期・工費	
	軟弱な地盤	砂礫地盤	地下水が高い地盤	浅い	深い	狭い	広い	壁の曲げ剛性	止水性	騒音・振動	周辺地盤の沈下	排泥水の処理	工期	工費
土留め壁の種類														
親杭横矢板土留め壁	×	◎	×	◎	×	○	×	×	×	×	×	◎	◎	◎
鋼矢板土留め壁	◎	○	○	◎	×	◎	○	○	○	○	○	◎	◎	◎
鋼管矢板土留め壁	◎	○	○	×	◎	○	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	×
ソイルセメント地下連続壁	◎	○	◎	○	○	○	○	○	◎	◎	○	○	◎	○
RC地下連続壁	◎	○	◎	×	◎	×	◎	◎	◎	◎	◎	×	×	×

◎：有利 ○：普通 ×：不利

表 3.2.1-5 土留支保工の特徴

出典：土木学会³⁾

土留め支保工の種類	掘削規模・形状に対する適応性	変形	強度	施工性・工費
鋼製切梁工法	<ul style="list-style-type: none"> 狭い敷地から市街地の深い掘削、複雑な平面形状に対応 大スパンでの適用は難しい 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造に比べると切梁の変形は大きい プレロード導入により変形を小さくできる 	<ul style="list-style-type: none"> 材質が均一で信頼性大 補強が容易 温度による応力変化が大 	<ul style="list-style-type: none"> 架け払いが容易 転用可 比較的安価
鉄筋コンクリート製切梁工法	<ul style="list-style-type: none"> 平面形状に左右されない 円形のリング梁の適用が多い 	<ul style="list-style-type: none"> 変形は小さい ゆるみや遊びによる変形が小さい 	<ul style="list-style-type: none"> 断面、形状の選択が自由 強度発現に時間を要す 大きな軸力を負担可能 補強が困難 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削の作業効率がよい 転用できない 架設や解体に時間、費用を要する
グラウンドアンカー工法	<ul style="list-style-type: none"> どのような規模、形状に対しても対応可 敷地外に定着する場合は許可を要す 軟弱層では定着不可 	<ul style="list-style-type: none"> 引張材の伸びが大きく、プレストレス導入が必要 プレストレス導入により変形を小さくできる 	<ul style="list-style-type: none"> 設計耐力の確認が必要 地盤全体の安定性検討が必要 土留め壁へ鉛直力が作用 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削や地下躯体工事の作業効率がよい 工期の短縮が図れる 被圧水が高い場合には施工に注意
逆巻き工法	<ul style="list-style-type: none"> 深い掘削、大きな平面に適する 	<ul style="list-style-type: none"> 変形は小さい 	<ul style="list-style-type: none"> 地下躯体を利用するので剛性が高い 安全性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> 地上・地下の同時施工可能 仮設材の節減 地下作業の効率が落ち、工費がかかる

3.2.2 構築・再構築技術の現状と課題

(1) シールド工法

シールド工法は工事の基点としての立坑が必要となるが、立坑の構築速度はシールドの掘進速度に比較すると著しく遅く、工期への影響が大きい。特に大深度の場合は工期への影響は顕著であるため、シールドトンネルの長距離化技術が重要となる。立坑を少なくすることはコスト縮減、周辺環境に及ぼす影響の軽減にもつながる。

また、高速施工技術を導入することにより、工期短縮が図られ、周辺地域の環境に及ぼす期間の短縮が可能となる。施工速度を上げる方法として、マシンの掘進速度を上げる方法とセグメント組立て時間を短縮する方法が考えられるが、作業サイクルに占める各作業の割合はセグメント組立てが最も大きいいため、セグメント組立て時間を短縮することが効果的である。

シールド工事における自動化・無人化技術は、マシンの姿勢および位置の制御、セグメントの組立て、セグメント搬送など主要作業の自動化は達成されている。しかし、少子・高齢化による労働力や熟練者の不足、大深度掘削による高水圧下での作業環境への対応などから、人力による作業のさらなる自動化・無人化が望まれる。

シールド工法において、地中接合、断面変化、地中切広げ、海底や河川の横断など構築時や再構築時における課題を以下に示す。

1) 地中接合

地山条件、周辺環境、経済性や工期などを考慮する必要がある。地山の安定を図るとともに、止水性の確保に配慮する。側面接合の場合は、既設トンネルが欠円構造となるため、トンネル補強や、接合部の止水構造に十分な検討が必要である。シールド双方の位置確認を行い、接合精度を向上させなければならない。

2) 断面変化

親子シールドの場合、断面変化が円滑に安全に施工できるようにすることが必要である。掘進時は、止水性や切羽安定を確保でき、適切な推進や掘削機構の能力をもったシールドおよび施工設備が必要である。地中で縮小する場合は、フードやテールシールの取付、発進時の止水性や反力確保などの工夫が必要である。

部分拡幅シールドの場合、既設トンネルの一部分を地中で拡径するため、補助工法により地山安定と止水を図り、地中切広げや円周掘進する拡径シールドにより、既設トンネルを一回り大きなトンネルに断面変化させる。このため、拡径掘削やセグメントと既設セグメントの撤去作業を繰り返すので、地山の安定、トンネルの変形、地下水の対応などの検討が必要である。

3) 地中切広げ

地山が開放された状態となること、セグメント撤去により欠円構造となるため、地山の安定やトンネルの変形、地下水の対応などの検討が必要である。構造形式や地山条件に最適な設計と安全な施工が必要である。止水状況やトンネル変形状態を計測で監視するとともに、接続側の既設構造物の変形防止対策、接続部の防水処置も重要である。地上から開削工法にてトンネルを露出させる場合は、浮き上がり防止やトンネル補強を実施することが必要である。

4) 海底や河川横断

海底や河川を横断する場合、護岸や堤体などの構造物に影響を及ぼさないようにするため、一般的に地質や地形の変化があり潮流や地下水の流れの影響を受けやすいので、土質や地下水の調査に留意する必要がある。海底や河床からの土被りが浅い場合は、切羽安定、泥水や添加材などの漏洩や噴出に対する検討や、浮き上がりやセグメント変形に対する検討にも留意する必要がある。

(2) 山岳工法

都市部における山岳工法では、機械掘削を基本とし、地山条件、立地条件などを考慮して適切な施工法を選定する必要がある。また、坑内外の様々な観察や計測結果を施工の各段階と関連付けて一元管理を行い、迅速に施工に反映するなど情報化施工を基本とする。施工方法において、最も留意すべき点は掘削時の切羽安定である。通常山岳トンネル工法と比べて立地条件や地山条件が厳しく、環境保全や安全監視の面で細心の配慮が必要となる。

生活環境の対策が重要であり、ずりの積み込みや運搬、施工機械や工事用設備の稼働に対する騒音対策や振動対策、地下水位の低下による湧水の発生や周辺の水利用に対する湧水対策、トンネル掘削に伴う地山の緩みに対する地表面沈下対策を行う必要がある。

覆工やインバートの施工について、覆工は内空変位が収束した後に早期に施工すること、インバートは近接構造物がある場合や地下水位が高い未固結地山において切羽からインバートの施工位置を短くしインバート掘削後は早期に全断面を閉合する必要がある。

(3) 開削工法

鋼杭や鋼矢板の施工において、地下埋設物や地上施設の防護、露出させた地下埋設物を損傷させないように注意する必要がある。

ソイルセメント地下連続壁の施工において、鋼杭や鋼矢板の注意点の他に、鉛直精度や施工順序に対する注意を怠ると、壁面に不陸が生じて躯体施工に支障をきたしたり、杭間に隙間が生じて漏水したり、掘削の際に土留壁背面側に変状を及ぼす懸念があるため、留意する必要がある。

安定液を用いる地下連続壁（鉄筋コンクリート地下連続壁、鋼製地下連続壁など）の施工において、安定液は溝壁の崩壊防止、逸水防止、溝内土砂の流動化による掘削効率の向上の役割を果たすため、安定液の比重や粘性、pH、水位などの管理を行う必要がある。コンクリート打設中に鉄筋かごや鋼製エレメントが移動しないような処置を行う必要がある。また、安定液中の浮遊土が沈殿するため、このスライムを確実に除去しなければ、壁体下端支持力の低下やコンクリート強度の低下などの原因となる。

補助工法（地下水位低下工法、深層混合処理工法、浅層混合処理工法、薬液注入工法、凍結工法など）を採用する場合は、施工法、地盤条件や周辺環境などを考慮して、工法選定や併用する必要がある。

(3) 既設構造物や指定避難施設の補強⁵⁾

既設構造物や指定されている避難施設の防護性能の対策として、緩衝材（ハニカム、発泡金属、地盤材料など）、補強材料や補強工法として、繊維補強コンクリート、貫通に対する抵抗製や破片の飛散防止として連続繊維シートやポリウレア樹脂などの開発が進められている。補強材の種類や構造によって期待される効果を表 3.2.3-1 に示す。

表 3.2.3-1 補強材の種類、構造により期待される効果

出典：防衛施設学会⁶⁾

	補強材	特性		破壊に対する効果		
		補強材	補強構造	破壊低減	飛散防止	従来の用途例
補強効果が期待できるコンクリート材料	有機短繊維補強コンクリート	破壊靱性の向上		○	△	耐火爆裂防止 耐震補強
	超高強度繊維補強コンクリート	高強度化		○	△	耐震補強
補強効果が期待できる複合構造	連続繊維シート	変形性	剛性	△	○	耐震補強
	超高強度繊維補強コンクリートパネル	高強度化	剛性	○	△	耐震補強
	鋼板	変形性	剛性	△	○	耐震補強
	ポリウレア樹脂	変形性	—	—	○	耐久性向上
	短繊維補強モルタル吹付	引張特性	剛性	△	△	耐震補強

○：主たる効果 △：二次的な効果 —：期待できない効果

【参考文献】

- 1) 土木学会：2016年制定 トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説
- 2) 土木学会：2016年制定 トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説
- 3) 土木学会：仮設構造物の計画と施工[2010年改訂版]
- 4) 国土交通省：多機能インフラプロジェクト事例について（参照2024.1）
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/multi-infra-project/pdf01/03.pdf>
- 5) 防衛施設学会：避難施設の設計における基礎技術と留意点
- 6) 防衛施設学会：衝突作用を受ける構造物の局部破壊に関する評価ガイドライン
—評価手法と対策技術—

第4章 ヒアリング・現地調査

4.1 大谷石採掘場跡地

4.1.1 調査概要

栃木県宇都宮市の北西部に位置する大谷地区の付近一帯は古くから大谷石（流紋岩質角礫凝灰岩）が採掘されてきた。本格的に採掘が始まった江戸時代中期は手掘りでの露天掘りであったが、採掘が地下に移行していき、さらに機械掘りが取り入れられたことにより地下大空洞が形成された。現在では採掘跡はほとんどが放置されている状態であり、大部分が水没し管理されていない。この空洞部で落盤が生じ、それに伴う大規模な陥没も発生している。

今回の調査では住民の安全確保のために落盤の常時観測を行っている大谷石採取場跡地観測所（(公財)大谷地域整備公社）、地質調査や落盤振動の計測監視を行っている大谷地下資源研究所展示室（川崎地質(株)）、主に観光目的として地下大空洞内部を公開している大谷資料館の3か所を訪問し、見学・ヒアリングを行った。各視察先の位置を図4.1.1に示す。

なおこの位置図に用いたのは大谷石採取場跡地観測所が作成した観測地点の配置図であり、これに大谷町の境界などを書き加えた。これによると大谷町のほぼ全域で観測が行われていることが分かる。

4.1.2 調査実施状況

日 時：2023年8月4日（金）

参加者：第4部会 栗山部会長、福田委員 2名
第4部会以外 地下利用推進部会関係者 19名 合計 21名

行程：13:30～14:30 大谷資料館
14:50～15:30 大谷地下資源研究所展示室（川崎地質(株)）
15:40～17:00 大谷石採取場跡地観測所（(公財)大谷地域整備公社）

※JR宇都宮駅から視察先、視察先間の移動はチャーターバス

受領資料：大谷資料館パンフレット
大谷地下資源研究所展示室パンフレット
大谷石採取場跡地観測システム

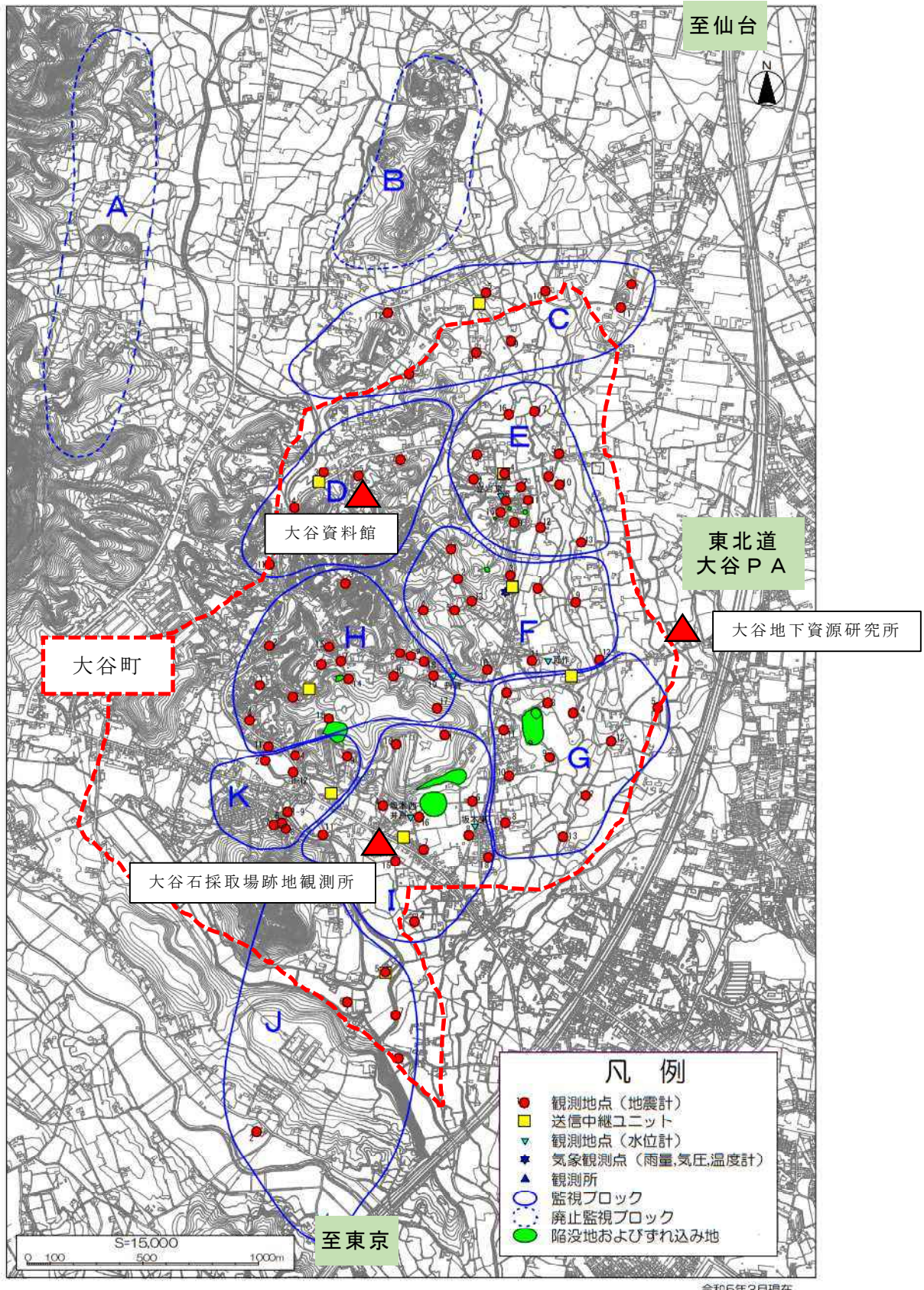


図 4.1.1 大谷石採取場跡地観測システム 観測地点配置図
 出典：大谷石採取場跡地観測所（（公財）大谷地域整備公社）HP に加筆

4.1.3 調査結果

(1) 大谷資料館

採掘場跡地内での自由行動による調査を行った。同行された清木隆文准教授（(大)宇都宮大学地域デザイン科学部）は岩盤力学を専門とされ、大谷石採掘跡をフィールドとする研究を行っておられる。今回は清木先生のガイド付きでの調査となった。

一般にも有料で公開されており、TVや映画の撮影ロケ、結婚式などのイベントにも利用されている。坑内は年間を通じて10℃以下のため、平日にもかかわらず避暑目的と思われる観光客が多かった。パンフレットでは約20,000m³の空間（140m×150m）と記載されているが、大空洞の部屋が複数に分かれており、そのうちの最大のを記載していると思われる。（出典：大谷資料館 HP¹⁾）

大谷石の岩種は流紋岩質角礫凝灰岩であり、耐火性、加工性に優れており、この地域では家屋や塀などの建築石材に利用されてきた。

天井から水滴が落ちており、湿度も高く蒸発しないため、最も低いピット状の掘削跡に集水されており、ポンプアップされて場外に排水されているとのこと。本資料館は排水を行っているが、管理されていない採掘跡は地下水で満たされているのがほとんどである。



図 4.1.3-1 大谷資料館 採掘跡空間内部

(2) 大谷地下資源研究所（川崎地質(株)）

採掘の機械化が進んだ昭和 20 年代後半から 30 年代には陥没が多発し、平成元年にも民家を巻き込む大規模陥没が発生した。これを契機に約 35 年前から川崎地質(株)が大谷地区の安全を守るために地質調査などや落盤振動の計測により監視を行ってきた。(出典：大谷地下資源研究所 HP²⁾) 本研究所ではこれまで行ってきた調査の成果のうちの一部を公開・展示されており、大村猛観測所所長に解説して頂きながらの調査を行った。なお本研究所は一般公開も行っており、小学生向けの分かりやすいパンフレットも作成されている。

展示物はこれまで大谷地域で行ってきたボーリングコアの展示や研究成果をまとめたパネルなどである。

落盤検知業務も行っているとのことで、その概念模型が展示されている。模型にて鉄球を落下させ、その振動波形を検知メータで表示するというものである。

過去に実施されたボーリングコアが多数展示されており、場所ごと、深度ごとに岩の性状が異なることが良くわかる。

経済産業省主導で大深度ボーリング 300m×4 本を実施し、ボーリング孔が残っており、この有効な利用方法を検討中とのことである。

地下空洞の利用法形態として、採掘が完了し水没した空間に溜まった地下水を吸い上げてイチゴ農園での栽培に利用しているという説明パネル(図 4.1.3-4)があった。地下水が冷たく(12℃前後)、イチゴの生育には適しているとのこと。パネルの説明では水深 40m 付近までの水温を計測しており、立坑部分と空洞部分で温度勾配が異なっていることが興味深い。



図 4.1.3-2 地下資源研究所 展示室



図 4.1.3-3 地下資源研究所 ボーリングコア

ちしつちようさ 地質調査



◆立坑内の地下水温度計測

近ごろ、「いちご栽培」(夏いちご)に立坑内の地下水が利用されています。
 この地下水利用の良いところには、いちごの根元付近を冷やすことで質が良く、
 たくさんの実が育つと言われております。そのため、根元に運ぶ水温を調べます。
 地下水利用の温度計測の一つの例として、次の図に示すような装置があります。

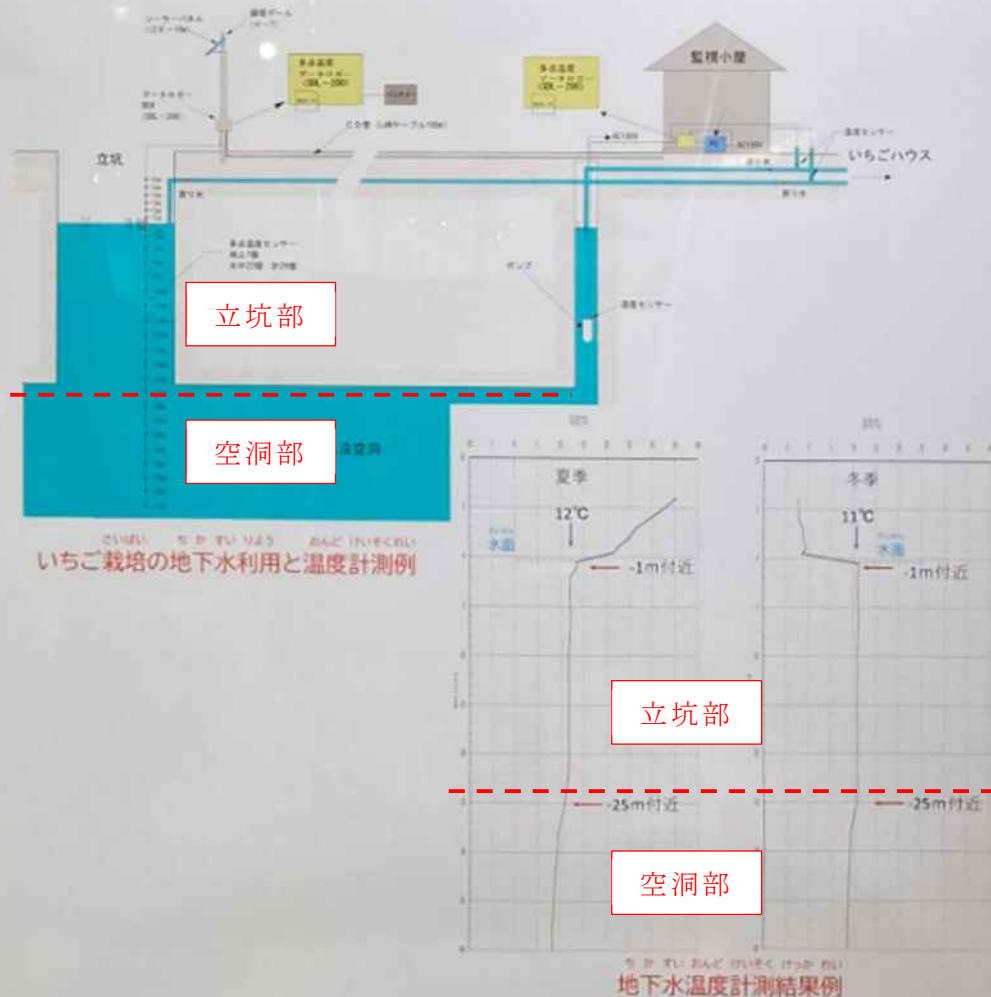


図 4.1.3-4 大谷地下資源研究所展示パネル
 (地下水利用形態の概念図)

(3) 大谷石採取場跡地観測所（(公財)大谷地域整備公社）

大谷地域整備公社の設立背景として、平成元年2月の坂本地区の陥没を契機に大谷石採取場跡地の総合的な安全対策を目的として平成2年3月、栃木県、宇都宮市および大谷石材協同組合の出資により設立されたとのことである。

大谷地域では多くの採掘空洞が放置されており、落盤による陥没が発生している。陥没の発生を予測するために空洞各所に地震計を設置して常時観測を行っており(1989年～)、当観測所に計測データが集約されリアルタイムで監視されている。観測位置は図4.1.1に示されているようにほぼ大谷町全域である。

落盤（亀裂の発生、剥離、落下、土砂ずれ込み）による振動レベルは地震に比べて非常に小さいので、扱う単位は「m kine（ミリ カイン）」とのことである。

【参考】1kine=1cm/s（揺れ速度） 震度4地震：40～110gal程度、4～10kine
落盤の予兆を示す波形を5パターンに分類し、状況把握している。

- A：岩盤亀裂の発生・伸長による振動
- B：天盤から岩片が剥離した際、さらにこの岩片が落下した際に生じた振動
- C：複数の岩片が段発的かつ分散的に落下する例に生じた振動
- D：岩盤の崩落剥離の規模が大きく、岩片が広範囲で崩落して生じた振動
- E：陥没地や立坑における埋め戻し土砂のずれ込みによる振動

これらの波形のフィルタリングは現状では人間が行っているが、今後はAIに学習させて波形の分類を行い、落盤発生予測を行っていく予定とのことである。これまでの傾向として、常時微小な振動が観測されている状態が継続し、突然振動が止まった後、約1カ月後に陥没が発生するケースが多いそうである。

採掘跡の空洞の全容は把握できておらず、特に空洞端部の山間区域は管理されていない。区域ごとに存在していた採掘事業者が消滅してしまいヒアリングもできず、空洞の大半は水没してしまっており、調査を行うのも困難なためである。なお一部区域については不可解なことにGL-80m付近でも水没していない空洞も存在しているとのこと。

地域全体の安定度の評価はゾーニングにより実施したとのことである。(H14～15年)優先度が高い箇所については行政が順次対策を行っているとのことである。陥没対策は道路直下などの自治体管理区域については妻型枠を設置して流動化処理土などによる充填を順次行っているが、民有地については掘削を行った者が対処するという原則のために実態は何も行われていない。

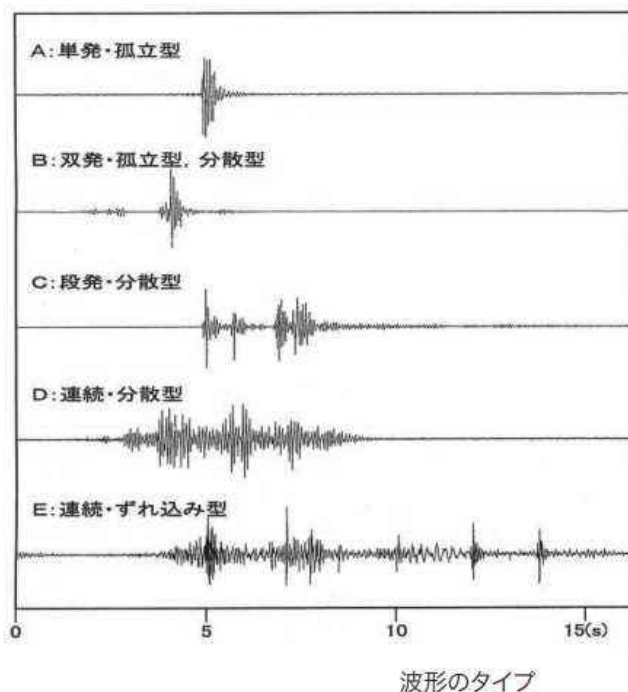


図 4.1.3-5 観測波形分類パターン

出典：大谷石採取場跡地観測システム HP³⁾



図 4.1.3-6 大谷石採取場跡地観測所全景



図 4.1.3-7 リアルタイム監視モニタ

【参考文献】

- 1) 大谷資料館HP (参照2023.12) ,
<http://www.oya909.co.jp/contents/%E5%A4%A7%E8%B0%B7%E7%9F%B3%E5%9C%B0%E4%B8%8B%E6%8E%A1%E6%8E%98%E5%A0%B4%E8%B7%A1/>
- 2) 大谷地下資源研究所HP (参照2023.12) ,
<https://www.kge.co.jp/ohya/>
- 3) 大谷石採取場跡地観測システム HP (参照2023.12),
<http://www.ooyakousya.o0o0.jp/sisutem/pamphlet-2021.pdf>

4.2 首都圏外郭放水路

4.2.1 調査概要

首都圏外郭放水路は、洪水を防ぐために建設された世界最大級の地下放水路である。中川、倉松川、大落古利根川、18号水路、幸松川といった中小河川が洪水となった時、洪水の一部をゆとりのある江戸川へと流すことができる。

埼玉県の中川・綾瀬川の流域は、利根川や江戸川、荒川といった大きな川に囲まれている。この地域は土地が低く水がたまりやすいお皿のような地形となっているため、これまで何度も洪水被害を受けてきた。また、川の勾配が緩やかで、水が海まで流れにくいという特徴があり、大雨が降ると水位がなかなか下がらない。さらに近年では、都市化が急速に進み、降った雨が地中にしみこみにくく、雨水が一気に川に流れ込んで洪水が発生しやすくなっている。

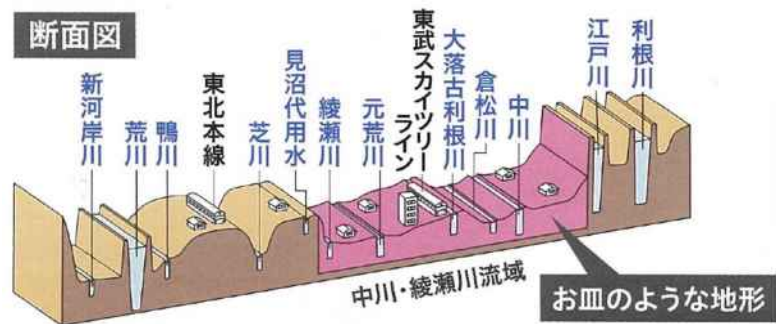


図4.2.1-1 中川・綾瀬川流域断面図

出典：国土交通省関東地方整備局 江戸川河川事務所¹⁾

首都圏外郭放水路の完成によって、周辺地域で浸水する家屋の戸数や面積は大幅に減り、長年洪水に悩まされてきた流域の被害を大きく軽減した。



図 4.2.1-2 首都圏外郭放水路の全体イメージ図

出典：国土交通省関東地方整備局 江戸川河川事務所¹⁾

このような水害からまちを守る「首都圏外郭放水路」の地域振興などのための利活用について、国・春日部市・関係団体で構成する「首都圏外郭放水路利活用協議会」が開催され、首都圏外郭放水路のさらなる利活用について具体的な検討を進めている。

今回、多目的型地下インフラモデルの調査研究ー地下インフラモジュールの基本構造と構造技術に関する調査研究ーのために、江戸川河川事務所を訪問し、首都圏外郭放水路の現地視察およびヒアリング調査を行った。

4.2.2 調査実施状況

日 時：2023年11月13日（月） 15:00～17:30

場 所：首都圏外郭放水路 龍Q館（庄和排水機場）、調圧水槽、第1立坑

出席者：国土交通省 関東地方整備局

江戸川河川事務所 首都圏外郭放水路管理支所 宮寄支所長

：(一財)エンジニアリング協会 地下利用推進部会

第4部会 栗山部会長、本多副部会長、岩崎委員、

田中(義)委員、浜田委員、福田委員

事務局 塩崎副所長、武井主幹

受領資料：江戸川河川事務所；首都圏外郭放水路 彩龍の川 パンフレット¹⁾



図4.2.2-1 視察前概要説明状況



図4.2.2-2 支所長へのヒアリング状況

4.2.3 調査結果

<事業計画>

- ・地上では将来の土地利用に影響があることや地域が分断する恐れがあったため、首都圏外郭放水路は地上ではなく地下に計画された。
- ・事業効果を早く実現するため、用地取得に時間がかかる地上より地下に建設したほうがスムーズと判断された。
- ・地下50mの深度に構築された理由は、洪積層と呼ばれる50~100万年前の地層で安定した硬い層があり、地上に影響がでないためである（大深度法は適用していない）。
- ・施設の規模は流入量の想定から設定されており、100分の1確率で発生する洪水に耐えられる施設で、想定雨量は48時間で355mm相当になる。
- ・1993年3月に着工し、なるべく早く効果を発揮するために2002年6月に部分通水開始、工事開始から13年後の2006年6月に完全通水を開始した。年平均7回の稼働により2019年10月までの18年間で約1,484億円の浸水被害を低減している。

- ・2015年の台風第18号では、300mmを超える降水量があった。台風第17号も併せたこのときの出水により、首都圏外郭放水路では歴代1位となる約1,900万 m³の洪水調節を行った。
- ・国内では洪水対策として地下河川は建設されているが、貯留機能と排水機能を同時に発揮できるのは首都圏外郭放水路だけである。東京都で建設が進められている神田川・環状7号線地下調節池や暫定供用の大阪府の寝屋川北部地下河川は現在のところ貯留機能だけを有しており、洪水が治まった後に貯留した雨水を排水している。なお、寝屋川北部地下河川は完成後、排水機能も同時に発揮できる計画となっている。

<全体構成図>

- ・首都圏外郭放水路は、各河川から洪水を取り入れる「流入施設」と「立坑」、洪水を流す地下河川の「トンネル」、そして地下空間で水の勢いを弱め、スムーズな流れを確保する「調圧水槽」、さらに地下から洪水を排水する「排水機場」などで構成されている。

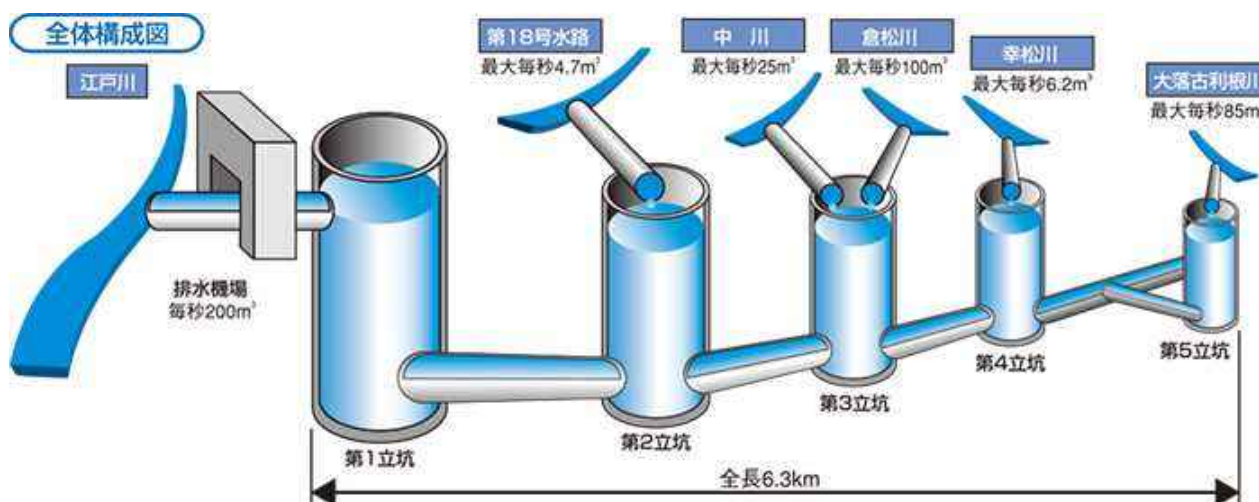


図 4.2.3-1 全体構成図

出典：国土交通省関東地方整備局 江戸川河川事務所¹⁾

<流入施設・立坑>

- ・首都圏外郭放水路への洪水の取り込みは、中川、倉松川、大落古利根川、18号水路、幸松川の堤防に設けられた越流堤で行われ、河川の水位が上昇して越流堤の高さを超えると、自然に流入施設に流れ込む仕組みとなっている。
- ・越流堤の敷高は、周辺地域で流域湛水が発生させないことを条件として、各越流堤設置付近における最低地盤高として設定している。
- ・第3立坑の中川 25m³/s、倉松川 100m³/s、第5立坑の大落古利根川 85m³/s、第2立坑の18号水路 4.7 m³/s、第4立坑の幸松川 6.7 m³/sの流入量設定とした。
- ・流入施設の入口にはスクリーンでゴミをとらえ、これを連続的にかき上げられる除塵機を設置し、大きなゴミが流入しないようになっている。
- ・第1立坑から第5立坑まで、各立坑の深さは約70m、第1立坑から第3立坑の内径約30mとなっている。

- すべての立坑の内空決定にあたって、高水圧下での横トンネル発進という厳しい施工条件に対して安全施工を確保するため、鏡切りを行った後に速やかにトンネルを掘進させることが可能な必要内空を確保した。
- 第4立坑は、第3工区を施工したシールド機が第4立坑に到達後にメンテナンスを行い、第4工区へ再発進させる計画とし、他の発進立坑に比べて内径を縮小した。
- 当該地域が地盤沈下地帯であることから、周辺の地下水位を低下させない施工方法が必要であった。そこで、第1立坑から第4立坑は、当時の大深度立坑での施工実績が豊富な地中連続壁工法を選定した。
- 第5立坑は内径15mとなり、他の立坑より小規模であったことから経済的にも有利となるケーソン工法を採用した。
- 立坑は地上部付近が「逆巻工法」、カマチ梁部および底版部が「順巻工法」を採用している。
- 第3立坑では倉松川・中川の洪水を流入させるために、倉松川流入に渦流式ドロップシャフトを採用している。これは立坑の流入口から立坑の壁面に沿って水が流れ落ちるように流入口の形を変形させ、60m近く落下する水の底版への衝撃を緩和するとともに、2つの河川の流入線型が交差しても不用な抵抗が発生しないように採用された構造である。この方式は第5立坑にも採用されている。



図4.2.3-2 渦流式ドロップシャフト

出典：国土交通省関東地方整備局 江戸川河川事務所¹⁾

<トンネル>

- 中川、倉松川、大落古利根川などから流れ込んだ洪水を江戸川に流すためにつくられた「地下の河川」で、長さは春日部市上金崎から小湊までの約6.3km、内径は約10mで、国道16号の地下50mに位置している。なお、トンネルを掘削した土は、江戸川の堤防に再利用されている。
- トンネル断面は、仕上がり内径10.6mで計画している。
- 本トンネルは、最大200m³/sの洪水を流下させる大深度・大口径の圧カトンネルであり、事業実施の上で様々な技術的な課題を抱えていたため、「技術検討委員会」および「覆工構造検討委員会」を組織し、シールド覆工の新たな設計法について検討をおこなった。
- 当該地点の地下水位が高く、沖積粘性土層に厚く覆われた区域であり、地下水位を低下させない施工方法が求められ、密閉型のシールド工法を採用した。大口径の場合、土圧式シールド工法はスクリーコンベアの規模およびトルクが大きくなり、また回転ビットの摩耗度が大きいことから、施工実績の豊富な泥水式シールド工法を採用した。

<調圧水槽>

- ・地下トンネルから流れてきた水の勢いを弱め、江戸川にスムーズに水を流すため、地下 22m の位置に作られた、内空の長さ 177m、幅 78m、高さ 18m におよぶ巨大水槽となっている。
- ・機場排水ポンプ運転の起動時・急停止時における、放水路全体の動水位の変動を低減・吸収するための施設である。
- ・各立坑から求める許容最高動水位、機場の運転条件から水理検討を行い、水理模型実験による全体水理挙動を確認および留意した上で、必要施設規模の設定をした。
- ・内部の柱は調圧水槽全体に作用する浮力に対する重りの役割があり、長さ 7m、幅 2m、高さ 18m、重さ 500t の柱が 59 本造られている。
- ・施工時において、軟弱な地盤に覆われた粘土と砂の互層地盤における大規模な掘削工事であり、RC 地下連続壁とグラウンドアンカーで土留めを行いながら掘削し、その後、躯体を順次下部から築造する開削工法を採用した。
- ・盤ぶくれ対策（土留工の選定）やグラウンドアンカー設置に留意した。アンカーは、分散型アンカーの確実性を試験施工で検証した上で外力の大きさに応じて引っ張り型アンカーと荷重分散型アンカーを併用した。アンカーのピッチは最大で 1.9m となり、施工時の水吹き出しリスクも低減できた。
- ・調圧水槽は国土交通省の管理、地上部分は春日部市の管理でサッカーグラウンドとなっている。調圧水槽の内部は荘厳な雰囲気と、柱と空間の巨大さから「地下神殿」とも表現され、首都圏外郭放水路を象徴する人気の施設となっている。



図4.2.3-3 調圧水槽内部



図4.2.3-4 調圧水槽地上部

<排水機場>

- ・庄和排水機場は、地下トンネルを流下してきた洪水を調圧水槽から巨大ポンプ・排水樋管を経て江戸川に排水する役割と、各流入施設の操作や集中監視する役割を持つ。

- ・ 庄和排水機場の地下には国内最大級 $50\text{m}^3/\text{s}$ の排水量を誇る巨大ポンプが 4 台設置されており、ガスタービンの動力を利用して「インペラ」と呼ばれる羽根車を高速回転させ、水にエネルギー（揚力と遠心力）を与え、流れを作り出す。
- ・ 出水期間は月 1 回、非出水期間は 2 ヶ月に 1 回、実稼働による管理運転を行っている。なお、洪水時は操作ルールに基づき、外郭支所の人員体制や今後の雨域、水位予測などを踏まえ対応している。
- ・ 機場のポンプ稼働がない場合、江戸川堤防部にある排水樋管ゲートを全閉にしておくとともに逆止弁が設置されていることでゲートが堤防の役割をし、江戸川の流水が外郭放水路側へ逆流してこない。



図4.2.3-5 排水機場操作室

<施設全体>

- ・ 日常は機械・電気設備・コンクリート施設（機場・調圧水槽・立坑）について、異常など有無の点検（維持管理）を行っている。
- ・ 地下のトンネルの調査は非出水期間中に年 1~2 回、事前にトンネル換気、その他の事前準備を行い、職員が強カライトと打音ハンマーを持参し、セグメントなどの点検を行っている。

<多目的型インフラとして>

- ・ 首都圏外郭放水路は浸水被害解消のための治水施設で、この放水路の完成後には浸水被害は減少している。一方、効果を発揮すればするほど、中川や綾瀬川が洪水という危険をはらんでいる川であることが忘れ去られてしまうため、防災に関する意識啓発を図るとともに、治水事業などに対する理解を深めていただくことを目的として、職員が主体となった見学会を開催してきた。
- ・ 職員主体の見学会を拡大することには限りがあることなどの課題があることから、懇談会を設置し有識者から意見を伺った。懇談会では、
 - 施設の運営を民間事業者に開放する
 - 国、市、地元関係者で協議会を設置し、地域と一体となった運営をする
 - メディアを活用する戦略
 - 治水の役割を知ってもらうためのツアーの開設
 - 地域一体となった周遊性のあるツアーの検討や市民活用
 - インバウンド対策(SNS や多言語化)
 が提言された。

- ・この提言を受け、さらなる来場者の増加を期待するために、平成 30 年 8 月から民間事業者による「有料見学会」を実施することになった。
- ・有料見学会以前の見学者数は年間 2 万人弱であったが、民間による有料見学会を始めたところ年間 5 万人を超える見学者があった。その後、新型コロナウイルス感染拡大に伴い見学者数は減少したが、昨年度は再び 5 万人を超える見学者があった。
- ・首都圏外郭放水路 HP、公式 Twitter、首都圏外郭放水路のアプリを活用している。
 - 首都圏外郭放水路 HP アクセス数
データなし
 - 公式 Twitter フォロワー数
4,052 フォロワー (11/10 時点)
 - インフラガイド多言語音声アプリ ダウンロード数
Android : のべ 5,660 (2019/7/25-2023/10/31)
Apple : のべ 9,370 (2018/8/1-2023/10/31)
 - 洪水疑似体験 AR アプリ ダウンロード数
Android : のべ 53,550 (2019/7/25-2023/10/31)
Apple : のべ 35,500 (2018/8/1-2023/10/31)
- ・特に外国人の見学者も多く、インバウンドにも貢献している。
- ・その他、テレビや映画の撮影、ミュージックビデオの撮影に利用されている。見学者からはシェルターやコンサート会場などに利用できないかといった意見が上がっている。

【参考文献】

- 1) 江戸川河川事務所：首都圏外郭放水路 彩龍の川 パンフレット(受領2023.11.13)
- 2) 江戸川河川事務所：事務所の取り組み 首都圏外郭放水路(参照2023.11)
https://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/edogawa_index048.html
- 3) 首都圏外郭放水路：日本が世界に誇る 防災地下神殿(参照2023.11)
<https://gaikaku.jp/>

4.3 神戸市三宮周辺の地下施設

4.3.1 調査概要

神戸市三宮周辺の地下（図 4.3.1-1）には、「さんちか（正式名称：三宮地下街）」という愛称の地下街があり、さんプラザ、センタープラザなどの地下には、多くの飲食店が入居し、これらは地下道で繋がっている。また、地下鉄三宮駅を含む7つの駅舎、三宮中央通り駐車場、三宮バスターミナル、神戸阪急（阪急百貨店）などと地下道で繋がっており、大規模な地下インフラネットワークが形成されている。



図 4.3.1-1 三宮周辺案内図（地下）

出典：神戸市¹⁾

神戸市では、2017年12月に閣議決定された「国民の保護に関する基本指針²⁾」にもとづいて、堅牢な建築物や地下施設を緊急一時避難施設として指定している。そのうち、地下施設（地下駅舎、地下街、地下道など）は、2023年4月時点で、表4.3.1-1～表4.3.1-3に示すとおりである³⁾。

表 4.3.1-1 緊急一時避難施設（地下施設）

名称	郵便番号	連絡先 所在地	面積(m ²) 地下部分	備設						
				トイレ	入浴・シャワー設備	給食設備	冷暖房設備	障害者用トイレ	エレベーター	スロープ
三宮中央連絡地下通路	650-0021	中央区三宮町	4,180				○	○		○
三宮連絡地下道	650-0021	中央区三宮町1丁目	673							○
生田筋地下道	650-0021	中央区三宮町2丁目	109							○
三宮地下通路	651-0097	中央区布引町4丁目1番地1号	320	○					○	○
デュオこうべ 山の手	650-0044	中央区東川崎町1丁目3番3号	6,133	○			○	○		○
デュオこうべ 浜の手	650-0044	中央区東川崎町1-2	6,542	○			○	○	○	○
さんちか	650-0021	中央区三宮町1丁目10番1号	3,190	○			○	○	○	○
メトロこうべ	650-0015	神戸タウン：神戸市中央区中町通4-2-23 新開地タウン：神戸市中央区新開地2-3B-1	5,240	○			△			○
M-KITCHEN	651-0096	中央区雲井通8丁目3番地	1,071							○
神戸市立三宮駐車場駐	650-0033	中央区加納町6-4、5	44,458	○				○	○	○
神戸駅南駐車場	650-0044	中央区東川崎町1丁目及び 相生町1丁目地内	10,953	○				○		○
三宮中央通り駐車場	650-0021	中央区三宮町1丁目及び 三宮町2丁目付近	23,011	○				○	○	○
大倉山駅(神戸市営)	650-0001	中央区楠町3	9,405	○				○	○	○
県庁前駅(神戸市営)	650-0011	中央区下山手通5	6,899	○				○	○	○
三宮駅(神戸市営)	650-0012	中央区北長狭通1	12,003	○				○	○	○
新神戸駅(神戸市営)	650-0001	中央区加納町1	10,687	○				○	○	○
ハーバーランド駅(神戸市営)	650-0044	中央区東川崎町1	10,368	○				○	○	○
みなと元町駅(神戸市営)	650-0023	中央区栄町通4	4,869	○				○	○	○
旧居留地・大丸前駅 (神戸市営)	650-0021	中央区三宮町2	5,140	○				○	○	○
三宮・花時計前駅(神戸市営)	651-0087	中央区御幸通8	9,182	○				○	○	○
花隈駅	650-0022	中央区元町高架通3丁目	1,291	○				○	○	○
西元町駅	650-0022	中央区元町通6丁目7番11号	377	○					○	○
高速神戸駅	650-0015	中央区多聞通3丁目3番13号	1,987	○						○
神戸三宮駅	650-0088	中央区小野柄通8丁目1番8号	581	○						○
元町駅	650-0014	中央区元町通2丁目10番2号	791	○				○	○	○
春日野道駅	651-0076	中央区吾妻通1丁目1番131号	61							○
上沢駅(神戸市営)	652-0046	兵庫区下沢通8	7,215	○				○	○	○
湊川公園駅(神戸市営)	652-0032	兵庫区下沢通1	7,502	○				○	○	○
御崎公園駅(神戸市営)	652-0875	兵庫区浜中町1	7,469	○				○	○	○
和田岬駅(神戸市営)	652-0862	兵庫区上庄通2	8,537	○				○	○	○
中央市場前駅(神戸市営)	652-0844	兵庫区中之島1	5,574	○				○	○	○
新開地駅	652-0811	兵庫区新開地2丁目3番8の1号	1,632	○					○	○
大開駅	652-0802	兵庫区水木通7丁目1番8の1号	460						○	○
湊川駅	652-0032	兵庫区荒田町1丁目20番	357							○
5者協定広場	650-0096	中央区雲井通8丁目	850	○				○	○	○
阪急阪神百貨店地下部分	651-8511	中央区小野柄通8-1-8	7,224	○			○		○	○
新長田大橋地下道	653-0037	長田区大橋町5丁目4番1地先	85							○
新長田大正筋地下通路	653-0036	長田区腕塚町5丁目	328							○
神戸市新長田駅前駐車場	653-0038	長田区若松町4丁目2番	8,450	○					○	○
新長田駅(神戸市営)	653-0841	長田区松野通1	12,652	○				○	○	○
長田駅(神戸市営)	653-0004	長田区四番町7	5,644	○				○	○	○
駒ヶ林駅(神戸市営)	653-0035	長田区庄田町4	6,956	○				○	○	○
苅藻駅(神戸市営)	653-0024	長田区浜添通5	4,662	○				○	○	○
高速長田駅	653-0016	長田区北町1丁目2番地先	621						○	○
西代駅	653-0843	長田区御屋敷通2丁目6番1号	310	○			○	○	○	○
板宿駅(神戸市営)	654-0022	須磨区大黒町2	7,856	○				○	○	○
板宿駅(山陽電鉄)	654-0021	須磨区平田町3丁目3番地10号	555	○				○	○	○

出典：神戸市³⁾

表 4.3.1-2 緊急一時避難施設（地下施設）

名称	連絡先		面積(m ²)	備設							
	郵便番号	所在地		地下部分	トイレ	入浴・シャワー設備	給食設備	冷暖房設備	障害者用トイレ	エレベーター	スロープ
神戸市役所1号館	650-8570	中央区加納町6-5-1	8,520	○					○	○	○
神戸市役所4号館	650-8570	中央区江戸町97	791						○		○
中央区役所	650-8570	中央区東町115	1,875						○	○	○
東灘区役所	658-0052	東灘区住吉東町5-2-1	1,916	○					○	○	○
イオンモール神戸北	651-1515	北区上津台8丁目1-1	4,825								○
万代西神中央店	651-2274	西区竹の台6-1-2	4,483								○
ウェルブ六甲道2番街	657-0038	灘区備後町5丁目3-1	2,469						○	○	○
ウェルブ六甲道4番街	657-0036	灘区桜口町4丁目1-1	3,215						○	○	○
ティオ舞子	655-0047	垂水区東舞子町10-1	2,081						○	○	○
キャナルタウン中央	652-0897	兵庫区駅南通5丁目1	6,107	○					○	○	○
荒田公園駐車場	652-0032	兵庫区荒田町2-19	12,980	○				○	○		○
大倉山駐車場	650-0017	中央区楠町4-1	11,257	○				○	○		○
花隈駐車場	650-0013	神戸市中央区花隈町1	8,977								○
湊川公園駐車場	652-0811	神戸市兵庫区新開地1-4-3	11,469								○
長田北町駐車場	653-0016	神戸市長田区北町3	5,611								○
細田駐車場	653-0835	長田区細田町7-12	4,444								○
和田岬駅前駐車場	652-0863	兵庫区和田宮通5-5	7,222								○
鈴蘭台駐車場	651-1114	北区鈴蘭台西町1-26-1	3,939								○
新長田駐車場	653-0038	長田区若松町4-2-15	9,414								○
JR住吉駅駐輪場	658-0051	東灘区住吉本町1-2	370								○
阪急御影駐輪場	658-0047	東灘区御影2丁目1	740								○
牛神地下道	658-0051	東灘区住吉本町3丁目	23								○
阪急神岡地下道	658-0001	東灘区森北町1丁目~4丁目	85								○
高羽地下道	657-0023	灘区高羽町3丁目~寺口町1丁目	56								○
石屋川地下道	657-0026	灘区弓木町1丁目~高德町1丁目	49								○
稗田地下道	657-0832	灘区岸地通4丁目~水道筋5丁目	62								○
灘駅西ガード地下道	657-0846	灘区岩屋北町7丁目	94								○
灘北トンネル地下道	657-0841	灘区灘南通5丁目	277								○
宇治川地下道	650-0011	中央区下山手通9丁目	884								○
大倉山地下道	650-0017	中央区楠町1~7丁目	158								○
東山地下道	652-0032	兵庫区荒田町1丁目~松本通1丁目	90								○
鶴越地下道	652-0063	兵庫区夢野町4丁目~熊野通5丁目	63								○
菊水地下道	652-0058	兵庫区菊水町9丁目~鶴越2丁目	55								○
磯上地下道	651-0081	中央区真砂通2丁目	321								○
琴ノ緒地下道	651-0093	中央区二宮町1丁目	30								○
湊町地下道	652-0822	兵庫区西出町2丁目~相生町5丁目	648								○
長田地下道	653-0004	長田区四番町7丁目~五番町8丁目	345								○
ひよどりの道地下道	652-0051	兵庫区里山町1丁目~鶯町3丁目	73								○
鶴越A地下道	652-0051	兵庫区里山町1丁目~鶯町4丁目	58								○
鶴越B地下道	652-0051	兵庫区里山町641~長田区源平町1丁目	52								○
蓮池地下道(西代地下道)	653-0843	長田区御屋敷通2丁目~大谷町1丁目	116								○
大手西地下道	654-0031	須磨区権現町3丁目~大手町2丁目	477								○
堀池地下道	654-0032	須磨区堀池町1丁目~大手町3丁目	449								○
菊畑地下道	654-0032	須磨区堀池町2丁目~若木町1丁目	304								○
月見山地下道	654-0064	須磨区北町3丁目~月見山2丁目	49								○
須磨駅西地下道	654-0055	須磨区須磨浦通5丁目	112								○
竜が台4丁目地下道	654-0141	須磨区竜が台4丁目	52								○
中落合4丁目地下道	654-0154	須磨区中落合4丁目	99								○

出典：神戸市³⁾

表 4.3.1-3 緊急一時避難施設（地下施設）

名称	連絡先		面積(m ²)	備設						（コンクリート造・SRC造）	
	郵便番号	所在地		地下部分	トイレ	入浴・シャワー設備	給食設備	冷暖房設備	障害者用トイレ		エレベーター
大池南地下道	654-0037	須磨区行平町3丁目～大池町5丁目	146								○
大池北地下道	654-0026	須磨区大池町5丁目	76								○
高倉台1丁目東地下道	654-0081	須磨区高倉台1丁目	97								○
高倉台1丁目西地下道	654-0081	須磨区高倉台1丁目	52								○
高倉台8丁目地下道	654-0081	須磨区高倉台8丁目	128								○
高倉台6丁目地下道	654-0081	須磨区高倉台6丁目	72								○
西舞子地下道	655-0048	垂水区西舞子1丁目	261								○
小東山ボックス東	655-0002	垂水区小東山1丁目～2丁目	80								○
小東山ボックス西	655-0002	垂水区小東山3丁目～4丁目	80								○
五色山地下道	655-0035	垂水区五色山2丁目	99								○
山陽ガード下(舞子台)	655-0046	垂水区舞子台1丁目	32								○
JRガード下(西舞子5丁目)	655-0048	垂水区西舞子5丁目	36								○
JRガード下(狩口台7丁目)	655-0049	垂水区狩口台7丁目	36								○
狩口台地下道北	655-0049	垂水区狩口台3丁目	62								○
狩口道地下道南	655-0049	垂水区狩口台3丁目	90								○
寺前地下道	651-1503	北区道場町生野52	38								○
藍那地下道	651-1104	北区山田町藍那下ノ町19～78	70								○
桂木地下道	651-1223	北区桂木3丁目	125								○
大原地下道	651-1222	北区大原3丁目	72								○
鈴蘭台地下道	651-1113	北区鈴蘭台南町6丁目	66								○
有野地下道(中山架道橋)	651-1312	北区有野町有野2141	27								○
有野中町地下道	651-1313	北区有野中町4丁目	70								○
春日野道地下道	651-1223	中央区吾妻通～中央区脇浜海岸通	1,026								○
布引地下道	651-1222	中央区布引町～中央区北野町	430								○
湊川地下道	651-1113	兵庫区荒田町	1,403								○
御影地下道	658-0054	東灘区御影中町8丁目	62								○
西灘小前地下道	657-6841	灘区灘南通	53								○
脇浜地下道	651-0072	中央区脇浜町	110								○
春日野地下道	651-0076	中央区吾妻通1丁目	335								○
吾妻地下道	651-0076	中央区吾妻通4丁目	113								○
小野柄小前地下道	651-0088	中央区小野柄通2丁目	107								○
新開地地下道	650-0025	中央区相生町5丁目	364								○
兵庫駅前地下道	652-0895	兵庫区小河通5丁目	319								○
大橋地下道	653-0037	長田区大橋町5丁目	456								○
天神橋西地下道	654-0053	須磨区天神町	66								○
西舞子地下道(舞子町)	654-0053	垂水区舞子町川東	186								○
住吉東1号地下道	658-0025	東灘区魚崎南町	237								○
住吉東2号地下道	658-0026	東灘区魚崎西町2丁目4番地	233								○
住吉西地下道	658-0026	東灘区魚崎西町	180								○
大石東地下道	657-0852	灘区大石南町5丁目8番地	156								○
大石西地下道	657-0852	灘区大石南町1丁目8番地	155								○
下津地下道橋	651-2137	西区玉津町出合字出合屋敷	92								○
須磨浦地下道	654-0055	須磨区須磨浦通	61								○

出典：神戸市³⁾

今回、神戸市三宮周辺の地下施設を対象として現地調査を実施するとともに、神戸市建設局の方々に三宮中央通連絡地下通路（サンポチカ）⁴⁾などを案内いただきながら、緊急一時避難施設にかかる事項に注目してヒアリングを行った。

4.3.2 調査実施状況

日 時：2023年11月28日（火）13：30～15：30

場 所：三宮中央通連絡地下通路（サンポチカ）

出席者：神戸市 建設局

道路計画課 神吉職員

道路管理課 川南係長

：（一財）エンジニアリング協会 地下利用推進部会

第4部会 栗山部会長、本多副部会長、田中(義)委員、浜田委員

村下委員、福田委員、田中(宏)委員

事務局 武井主幹

受領資料：なし



図 4.3.2-1 ヒアリングの状況
（サンポチカ）



図 4.3.2-2 現地調査の状況
（地下駅舎：神戸市営地下鉄三宮駅）



図 4.3.2-3 現地調査の状況
（地下街：さんちか）



図 4.3.2-4 現地調査の状況
（地下道：サンポチカ）

4.3.3 調査結果

<緊急一時避難施設の指定>

- ・神戸市の緊急一時避難施設の指定基準は、内閣官房が示す基準に準じており、コンクリート造りなどの堅牢な建築物や地下施設（地下駅舎、地下街、地下道など）となっている。
- ・緊急一時避難施設の指定にあたっては、神戸市内の全区に、地下の緊急一時避難施設が指定できるように留意した。
- ・神戸市が指定している国民保護法にかかる避難施設および緊急一時避難施設は、兵庫県避難施設一覧に反映されている。
- ・緊急一時避難施設の指定によって、指定施設に何らかの機能を追加したなど、特段の措置は講じていない。
- ・民間企業の地下施設を緊急一時避難施設として指定するにあたり、神戸市と民間企業で取り決めている内容は次のとおりである。
 - ① 武力攻撃事態などの際に、緊急一時避難施設として運用し、Jアラートの発出から周囲の安全が確認されるまで、避難者を受け入れる
 - ② 国民保護法上、指定管理者に対し、新たに何らかの義務を課すものではないので、本来業務において通常求められる範囲の注意義務を除き、何らかの責任を問われることはない
 - ③ 国民保護法上、指定管理者に対し、緊急一時避難施設に指定されることに伴って、新たに施設構造、設備の改修や備蓄の義務が生じるものではない
 - ④ 避難者を24時間受け入れることが望ましいが、施設の通常営業時間の範囲を超えて受け入れることは求めない
 - ⑤ 避難施設としての使用の際に発生した破損などの補償については、神戸市と協議の上決定する
- ・緊急一時避難に関し、兵庫県や隣接都市（芦屋市、西宮市、三田市、明石市）との連携は特にはない。

<緊急一時避難施設の場所>

- ・図4.3.1-1中のオレンジで示す地下施設の大部分を緊急一時避難施設として指定している。ただし、センタープラザの地下部分は未指定である。
- ・指定した緊急一時避難施設の管理者には、神戸市、市営駐車場、神戸市営地下鉄、神戸地下街、神戸市交通局、JRなどが挙げられる。

<緊急一時避難施設の利用情報の共有>

- ・避難所の開設・混雑状況がわかるVACAN（バカン）⁶⁾の利用状況、利用実績は以下に示すとおりである。

[利用実績]

- ・2022年9月の台風時：12,800アクセス
- ・2023年6月の台風時：12,600アクセス
- ・VACAN（バカン）は、避難所の新規指定や取り消し、指定内容の変更などがあつた場

合に、その都度速やかにアプリを更新している。

- ・ VACAN（バカン）のシステムは、神戸市と(株)バカンとの災害連携協定により無料で利用させていただいている。そのため、システムの仕様などの変更が難しく、現在、システムの見直しなどは検討していない。
- ・ 緊急一時避難時に、VACAN（バカン）の利用は想定していない。

<緊急一時避難施設の利用条件>

- ・ 緊急一時避難施設の利用時間は、内閣官房の資料に記載のとおり、J アラート発出から周囲の安全が確認されるまでの1～2時間程度を想定している。
- ・ 緊急一時避難時の避難面積は、内閣官房の資料に記載のとおり、一人あたり0.825m²（半畳）で想定しており、神戸市独自の避難面積は想定していない。
- ・ 緊急一時避難までの時間は、内閣官房の資料に記載のとおり、J アラート発出からミサイル着弾まで、最短5分と想定している。

<緊急一時避難施設の管理・運営>

- ・ 緊急一時避難施設に指定された地下施設について、維持管理や点検、修理、再構築などを優先的に実施する措置は特に講じていない。
- ・ 緊急一時避難の訓練、教育は特に実施していない。

<その他>

- ・ 地下施設の更新、拡張について、施設の補修などは適宜実施しているが、拡張の計画は今のところ聞いていない。ただし、JR 新駅ビルなど、再開発に伴う改修は行われる。
- ・ 緊急一時避難施設が避難所と異なる点として、緊急一時避難施設は一時的にしか滞在しない想定であることから、爆風が収まるまでの時間のみ滞在、備蓄物資はなし、施設に改修などの義務を求めないなどが挙げられる。
- ・ サンポチカは三宮～元町を結ぶ三宮中央通りの下を通る地下通路で、市街地中心部における歩行者の安全性を確保し、さらに魅力あるまちづくりを進めるため、歩行者ネットワーク強化の一環として、地下鉄海岸線の工事に合わせ、2001年に完成している。
- ・ 三宮中央通連絡地下通路は完成から約20年が経過している。都心エリアにある地下公共空間の再整備とソフト面による「にぎわい」「いこい」の拠点創出のため、「変化に富んだ歩いて楽しい空間」をコンセプトとし、2022年11月1日に「サンポチカ」として、全面リニューアルオープンしている。
- ・ リニューアルしたサンポチカは通路内にゲートを設け、20の部屋に見立て、歩行者の方々が次々と変わっていく部屋ごとのデザインを体感しながら歩くことができる楽しい空間へと生まれ変わっている。歩いて楽しい変化に富んだ通路を演出するための余白的空間として、壁をキャンバスに見立てた「アーティスト部屋」を設定しており、ライブペインティングを実施するなど、リニューアル後も「変化に富んだ歩いて楽しい空間」を演出する企画を実施している。サンポチカの付加価値を高める活用方法について、引き続き企画を検討し、さらなる利用頻度の向上に繋げたい。

【参考文献】

- 1) 神戸市：三宮周辺案内図（地下）（参照 2023.11），
<https://www.city.kobe.lg.jp/documents/25125/tikamap.pdf>
- 2) 内閣官房：緊急一時避難施設推進概要（参照 2023.11），
https://www.kokuminhogo.go.jp/pdf/2022_hinanSokushin.pdf
- 3) 神戸市：緊急一時避難施設（地下施設）（参照 2023.11），
<https://www.city.kobe.lg.jp/documents/60088/kokuminhogotikasisetu.pdf>
- 4) 神戸市：サンポチカ（三宮中央通り地下通路）（参照 2023.11），
<https://www.city.kobe.lg.jp/a83166/shise/kekaku/kensetsukyoku/sanpochika.html>
- 5) 総務省消防庁：全国瞬時警報システム（Jアラート）の概要（参照 2023.11），
<https://www.fdma.go.jp/about/organization/post-18.html>
- 6) 神戸市：避難所の開設・混雑状況（バカン）（参照 2023.11），
<https://www.city.kobe.lg.jp/a46152/bosai/prevention/evacuation.html>

4.4.2 調査実施状況

城北立坑インフォメーションセンターにて寝屋川流域総合治水対策および工事概要の動画を視聴するとともに、大阪府寝屋川水系改修工営所の安岡グループ長、山本主任専門員と戸田・ハンシン・大容 JV の中島所長より工事内容を説明いただき、ヒアリングを行った（図 4.4.3-1～図 4.4.3-8）。

また、西郷通調節池の地上部にて大阪府寝屋川水系改修工営所の安岡グループ長、山本主任専門員、濱本主任専門員より工事内容を説明いただき、ヒアリングを行った（図 4.4.4-9～図 4.4.3-16）。

日 時：2023 年 11 月 29 日（水） 9:30～12:00

場 所：①寝屋川北部地下河川 城北立坑インフォメーションセンター
②西郷通調節池

出席者：大阪府寝屋川水系改修工営所

安岡グループ長、山本主任専門員、濱本主任専門員

戸田・ハンシン・大容特定建設工事共同企業体

中島所長

（一財）エンジニアリング協会 地下利用推進部会

第 4 部会 栗山部会長、本多副部会長、田中(義)委員、村下委員、

福田委員、田中(宏)委員

事務局 武井主幹

受領資料：寝屋川北部地下河川城北立坑築造工事 深さ 100m の立坑に挑む（大阪府寝屋川水系改修工営所、戸田・ハンシン・大容特定建設工事共同企業体）³⁾
安全で快適なまちづくりをめざして 寝屋川流域総合治水対策（寝屋川流域協議会事務局（大阪府都市整備部河川室河川整備課））令和 3 年 12 月版⁴⁾
建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術開発」自動化オープンケーソン工法 SOCS (SOCS - Super Open Caisson System)
(PC ウェル工法研究会)⁵⁾

<寝屋川北部地下河川 城北立坑築造工事の視察状況写真>



図 4.4.2-1 視察前概要説明状況



図 4.4.2-2 ヒアリングの状況



図4.4.3-3 城北立坑施工現場視察状況



図4.4.3-4 総合管理室視察状況

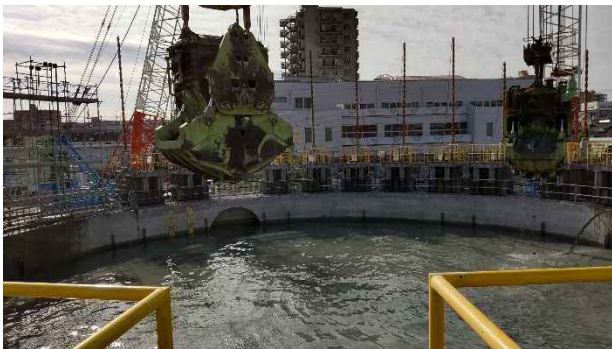


図4.4.3-5 揚土バケットの掘削状況



図4.4.3-6 揚土バケットの展示状況



図4.4.3-7 掘削揚土クレーンの展示状況



図4.4.3-8 掘削揚土クレーンの掘削状況

< 西郷通調節池の視察状況写真 >



図4.4.3-9 地上部での視察前概要説明



図4.4.3-10 機械室排気ダクト視察状況



図4.4.3-11 機械室脱臭装置視察状況



図4.4.3-12 調節池視察状況



図4.4.3-13 フラッシュゲート直上部状況



図4.4.3-14 流入遮断ゲート状況



図4.4.3-15 調節池の内部状況

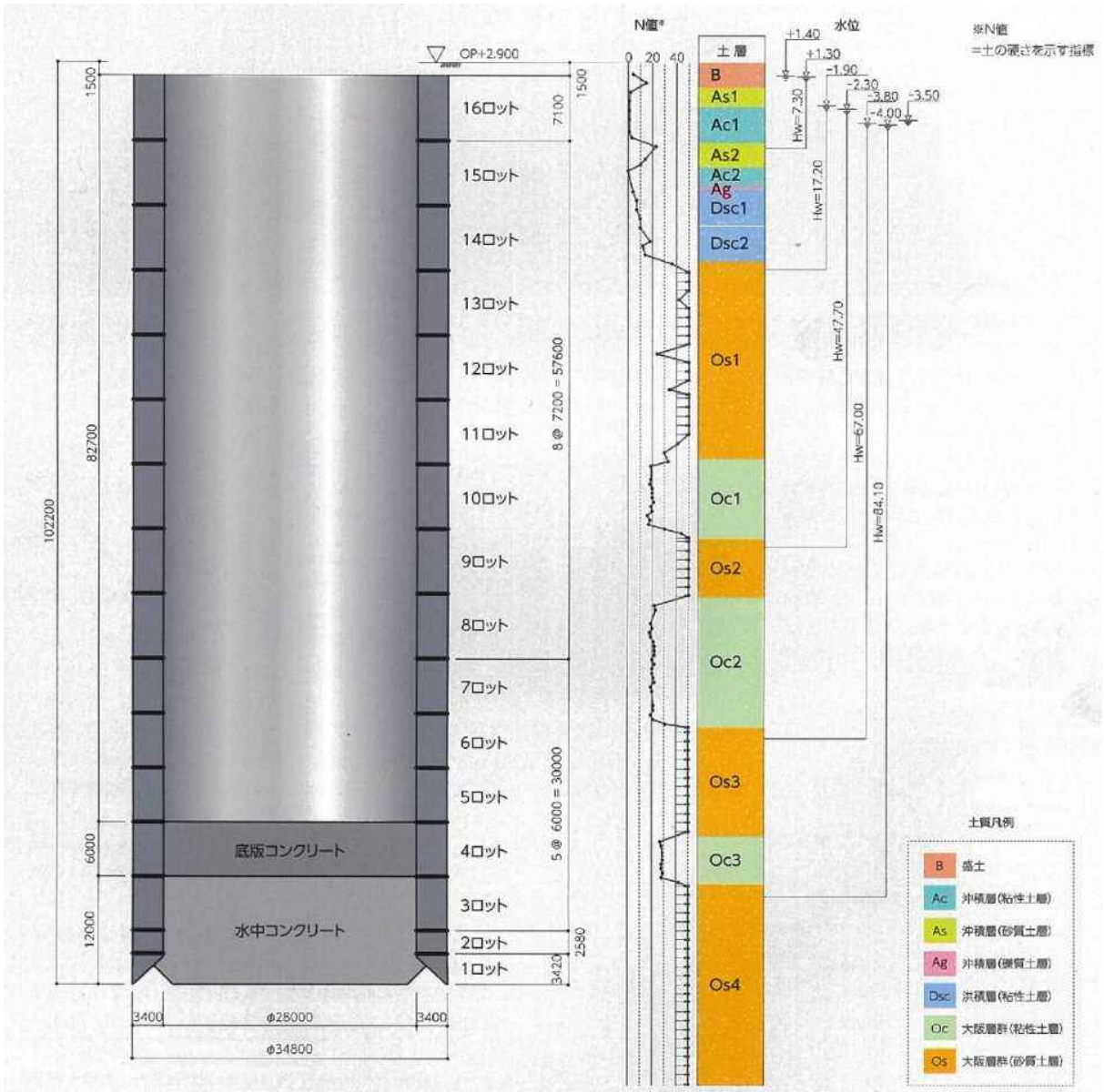


図4.4.3-16 調節池の地上部状況

- ・今回視察した城北立坑は、寝屋川北部地下河川の最下流部である鶴見調節池、都島調節池を築造するための施設である。両調節池を整備することで、新たに 420,000m³ の貯留量を確保し、大阪市の今福、東野田集水区（面積：1,441ha）の浸水被害を軽減する計画である。
- ・「淀川水系寝屋川ブロック河川整備計画」に基づく対策を完了することにより、1/30 確率降雨に対する床上浸水を解消し、さらに北部地下河川の流域の床下浸水面積を約 1,100ha 軽減する計画である。
- ・城北立坑は、ケーソン工法（自動化オープンケーソン工法⁵⁾）による立坑築造を採用した。城北立坑完成後は、シールドマシン発進基地となり、鶴見調節池と都島調節池を掘進する予定である。

<城北立坑の工事特性³⁾>

- ・土質構成：城北立坑は、地下約 20m までは軟弱な沖積層および洪積層で、約 20m 以深は大阪層群と呼ばれる N 値 50 を超える硬質な土層で構成されている（図 4.4.3-2）。
- ・地下水位：城北川に近接することから自然地下水位が OP+1.40m と高く、粘性土層下の被圧地下水位も高いことが特徴である（図 4.4.3-2）。
- ・工法：城北立坑では、掘削深さ 100m 超という条件で、最も経済的に施工可能な工法として、ケーソン工法による立坑築造を採用した。一般的に、硬質地盤が予想される場所では、刃口下の掘削が確実にできるニューマチックケーソン工法を採用する。しかし、掘削深さ 100m を超え、かつ水深 70m 超（水圧 0.7MPa 超）の条件下では、ニューマチックケーソン工法は不可能となる。そこで、従来のオープンケーソン工法の課題であった刃口下の掘削ができないという問題を水中掘削機により解決した自動化オープンケーソン工法⁵⁾を本工事で採用した（図 4.4.3-3、図 4.4.3-4）。
- ・自動化オープンケーソン工法⁵⁾：自動化オープンケーソン工法は、1.2MPa の耐水圧を持ち、刃口下の硬質地盤に対応できる水中掘削機を使用することで、大深度・大断面立坑を安定して沈設可能であることが特徴である（図 4.4.3-3、図 4.4.3-4）。掘削揚土システムと沈下管理システムの 2 つを連携することで、高精度な立坑構築を可能にしている。また、自動化オープンケーソン工法は、水中掘削機の掘削状況や揚土箇所をリアルタイムに把握して、次作業の計画立案に役立てることが可能である。
- ・工事進捗：自動化オープンケーソン工法により第 2 粘性土層（N 値=20）を掘削中である。粘性土層の掘削では、想定以上の過沈下挙動が生じる可能性もあり、ケーソンの沈設制御が難しく、工事の課題になっている。



- <城北立坑の詳細³⁾>
- ・立坑の外径：Φ34.8m
 - ・立坑の内径：Φ28m
 - ・立坑の深さ：102.2m
(通天閣の高さとほぼ同じ)
 - ・立坑の壁厚：3.4m

図 4.4.3-2 城北立坑断面図と土質柱状図

出典：大阪府寝屋川水系改修工営所、戸田・ハンシン・大容 JV³⁾

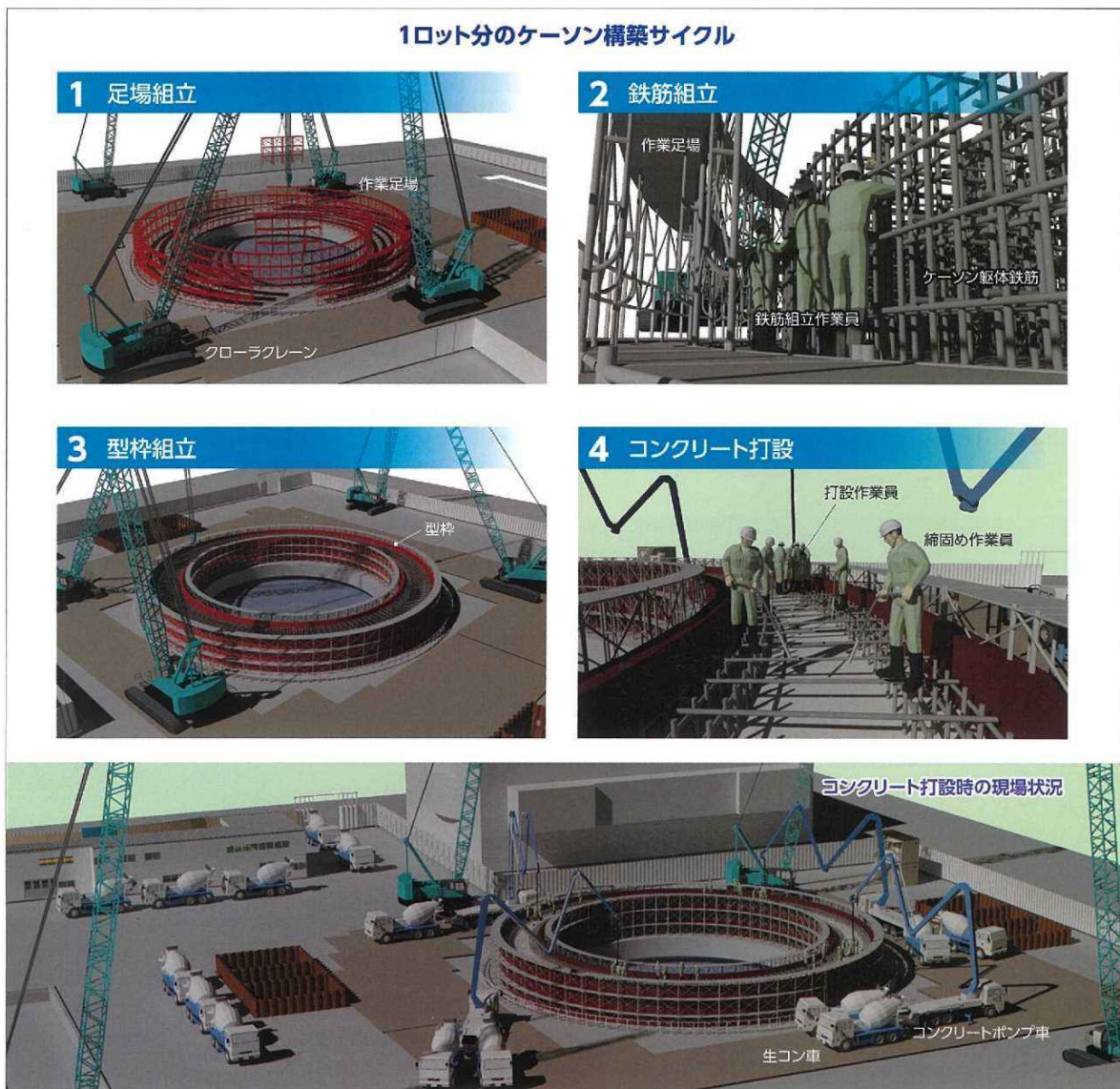


図 4.4.3-3 自動化オープンケーソン工法（1ロット分のケーソン構築サイクル）

出典：大阪府寝屋川水系改修工営所、戸田・ハンシン・大容 JV³⁾

<その他>

- ・寝屋川北部地下河川では、雨水を地下河川へ流し貯留するとともに、大川へ排水することができるようになる。ポンプ場で揚水して大川へ排水する予定である。
- ・フィリピンやインドネシアなどの国々が、地下河川のフィージビリティ調査のため、当該箇所視察に訪れている。また、本センターへの見学者はかなり多い。
- ・本事業は、着工してから既に約 30 年経ており、暫定の供用まで 20 年かかる、たいへん期間の長い事業となっている。



図 4. 4. 3-4 自動化オープンケーンソン工法の施工フロー

出典：大阪府寝屋川水系改修工営所、戸田・ハンシン・大谷 JV⁽³⁾

- ・立坑の施工では、地下水圧に対抗するためケーソン内に水道水を貯水している。この水は水中コンクリート打設後に濁度処理をして下水に排水する計画としている。なお、掘削残土は大阪府の工事で有効活用している。

4.4.4 調査結果（西郷通調節池）

< 工事概要 >

- ・工事件名：西郷通調節池築造工事
- ・事業期間：2006年度～2014年度
- ・事業者：大阪府寝屋川水系改修工営所
- ・事業箇所：大阪府守口市西郷通3丁目地内

< 事業内容 >

西郷通調節池は、大阪府立守口高校跡地を利用した流域調節池である。上面は守口市立樟風中学校の一部として利用している。洪水時に公共下水道から取水し、水位が下がってから、西三荘水路に放流している（図4.4.4-1）。平成23年8月27日の豪雨において地下河川・流域調節池合わせて、308,000m³を貯留し、治水施設の効果により被害が大きく軽減された。



図 4.4.4-1 西郷通調節池の概要図

出典：大阪府 HP⁶⁾



図 4.4.4-2 西郷通調節池周辺の浸水被害軽減エリア位置図

出典：大阪府 HP⁶⁾

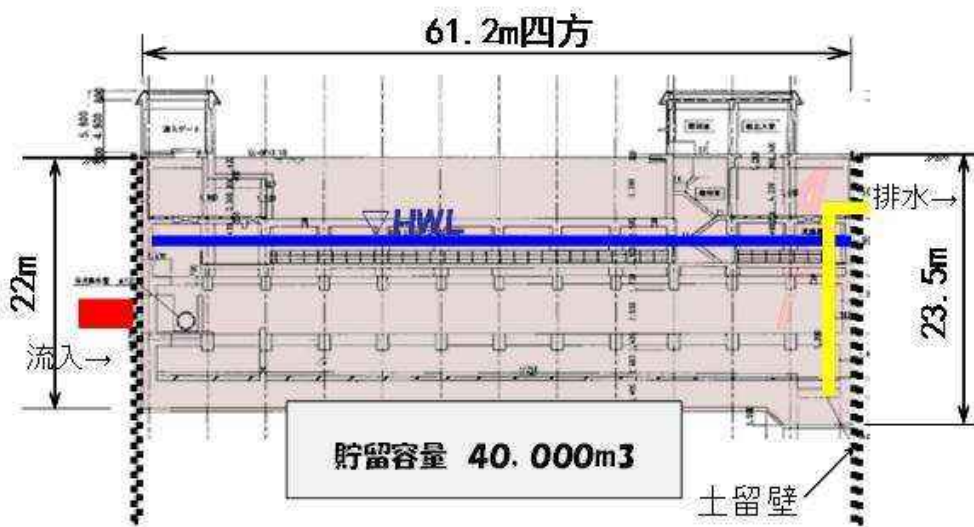


図 4.4.4-3 西郷通調節池の断面図

出典：大阪府 HP⁶⁾

西郷通調節池の概要は以下のとおり（図 4. 4. 4-3）。

- ・ 貯留方法：地下貯留方式
- ・ 貯留容量：40,000m³（本体 36,000m³ 取水管 4,000m³）
- ・ 本体の大きさ：61.2m×61.2m×22m（土被り約 5m）
- ・ 池床までの深さ：約 19m（5 階建ビルの高さ）
- ・ 計画貯留水位：OP-3.9m
- ・ 調節池の構造：2 池構造（A 池と B 池）
- ・ 完成年度：平成 26 年度(2014 年度)

本体・寺方取水管供用開始：平成 26 年 7 月 23 日

大枝取水管供用開始：平成 26 年 12 月 17 日



図 4. 4. 4-4 流入遮断ゲート状況
(図 4. 4. 3-14 再掲)



図 4. 4. 4-5 フラッシュゲート直上部状況
(図 4. 4. 3-13 再掲)



図 4. 4. 4-6 調節池の内部状況
(図 4. 4. 3-15 再掲)

<その他>

- ・ 西郷通調節池は 2 池構造で、A 池と B 池に分かれている。先に A 池から水が流入し、A 池が満杯になる前に、B 池に流入する構造となっている。
- ・ 西郷通調節池の取水管の掘削では、泥土圧シールドマシンを用いた。
- ・ 西郷通調節池天端の高さから 1m 下をハイウォーターレベル（HWL）として設定し、HWL に達したら流入遮断ゲート（図 4. 4. 4-4）を閉めきる設計となっている。

- ・当該流域には調節池が 24 箇所設置され、現時点での進捗は約 1/3 レベルである。洪水対策として、このような調節池を全体で約 120 万トンの容量を建設する必要がある。この値は対象域の家庭のお風呂全体の容量の半分にあたるため、豪雨時にはお風呂の水を捨てないでほしいと来場者にも注意を促している。
- ・仮設の土留工法として当初は SMW 工法や TRD 工法を計画していたが、当該地区は地下水位が高いことから、止水性の高い CRM 工法に変更して H 鋼を埋め込む土留壁を施工することにした。
- ・西郷通調節池では、フラッシュゲート（図 4.4.4-5）で土砂やごみなどを除去するが、当調節池内の清掃は実施していない。特に清掃は行われていないが、今回の視察では、調節池に土砂やごみなどの堆積は認められなかった（図 4.4.4-6）。
- ・西郷通調節池では、いままで最大で、31,550 トンもの水が溜まって、調節池満杯の 79% に達したのが、令和 3 年 5 月 21 日の豪雨である。今までに 29 回流入して、平均 1 回につき 6,000m³入っている。

【参考文献】

- 1) 大阪府：寝屋川北部地下河川（参照 2023.11）
<https://www.pref.osaka.lg.jp/ne/kouji/hokubu.html>
- 2) 大阪府：大深度地下使用法を適用した寝屋川北部地下河川の整備について（参照 2023.11）
<https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/1244/00001762/leaflet.pdf>
- 3) 大阪府寝屋川水系改修工営所、戸田・ハンシン・大容特定建設工事共同企業体：寝屋川北部地下河川城北立坑築造工事 深さ 100m の立坑に挑む（受領 2023.11.29）
- 4) 寝屋川流域協議会事務局（大阪府都市整備部 河川室河川整備課）：安全で快適なまちづくりをめざして 寝屋川流域総合治水対策（令和 3 年 12 月版），（受領 2023.11.29）
- 5) PCウェル工法研究会：建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術開発」自動化オープンケーソン工法 SOCS（SOCS - Super Open Caisson System），（受領 2023.11.29）
- 6) 大阪府：西郷通調節池（参照 2023.12）
<https://www.pref.osaka.lg.jp/ne/kouji/saigou.html>

4.5 阪神高速淀川左岸線

4.5.1 調査概要

淀川左岸線（2期）は、阪神高速道路3号神戸線（海老江JCT）から国道423号新御堂筋（（仮称）豊崎IC）を結ぶ地域高規格道路であり、新名神高速道路、淀川左岸線（1期）、淀川左岸線延伸部、阪神高速道路6号大和川線および第二京阪道路とともに近畿圏の広域ネットワークの強化を担っている。淀川左岸線（2期）の整備により、大阪都心北部地域での交通混雑の緩和と市街地環境の改善を図ることが可能となる。2006年（平成18年）度からは大阪市と阪神高速道路株式会社との合併施行方式により事業を実施している。図4.5.1-1に事業路線と標準断面イメージを示す。

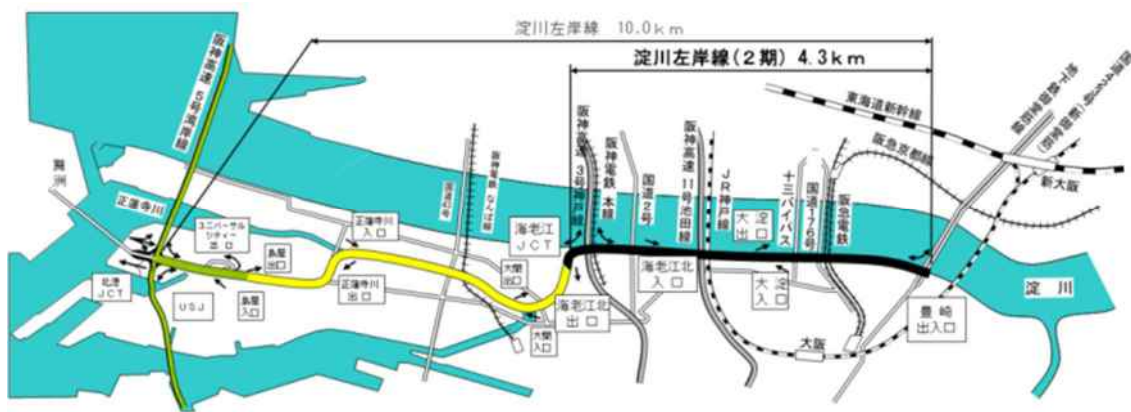
事業者：大阪市・阪神高速道路株式会社（合併施行方式）

事業区間：此花区高見1丁目から北区豊崎6丁目

延長：約4.4km（うち、街路事業4.3km）

幅員：約22m

道路構造：本体（地下・掘割・高架構造）4車線、ランプ部（掘割・高架構造）
換気所2か所



（事業路線図）



（標準断面イメージ）

図4.5.1-1 淀川左岸線（2期）の事業区間

出典：大阪市HP¹⁾

今回、鴻池・あおみ・久本特定建設工事共同企業体工事事務所を訪問し、「淀川左岸線（2期）トンネル整備工事-1」の現場視察およびヒアリング調査を行った。

4.5.2 調査実施状況

鴻池・あおみ・久本JVの吉田係員より、PPTにて工事内容を説明いただき、ヒアリングを行った（図4.5.2-1～図4.5.2-6）。

日 時：2023年11月29日（水）14：00～16：00
場 所：鴻池・あおみ・久本特定建設工事共同企業体工事事務所
出席者：鴻池・あおみ・久本特定建設工事共同企業体 吉田係員
：（一財）エンジニアリング協会 地下利用推進部会
第4部会 栗山部会長、田中（義）委員、村下委員、福田委員、
田中（宏）委員
事務局 武井主幹
受領資料：工事概要説明（2023/10月度）、工事状況説明（2023,10月）



図4.5.2-1 視察前概要説明状況



図4.5.2-2 現地視察の状況



図4.5.2-3 現地視察1



図4.5.2-4 現地視察2



図4.5.2-5 現地視察3



図4.5.2-6 現地視察4

4.5.3 調査結果

<工事概要>

工事件名：淀川左岸線（2期）トンネル整備工事-1

工事期間：2019年3月13日～2024年9月30日

発注者：大阪市建設局

施工者：鴻池・あおみ・久本特定建設工事共同企業体

工事箇所：大阪府大阪市福島区海老江3丁目～6丁目地内

工事内容：表4.5.3-1のとおり。

工事進捗：

- ・現場打躯体工：床掘・底版施工中
- ・土留・仮締切工：切梁腹起し施工中
- ・仮橋・仮栈橋工：栈橋架設施工完了

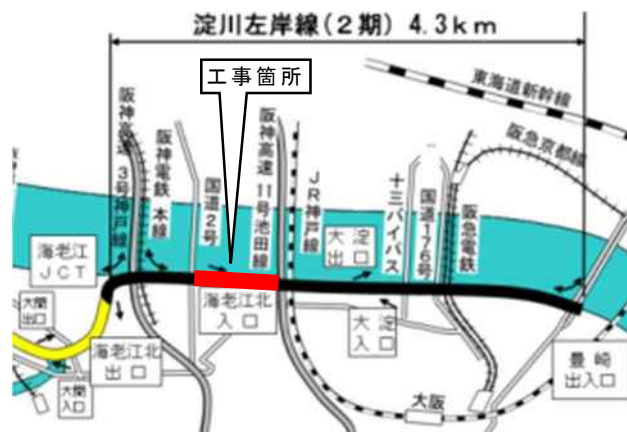


図4.5.3-1 工事箇所

出典：大阪市HP¹⁾

表4.5.3-1 工事内容

仮設工	地盤改良工	現場打躯体工	共通仮設工
工事用道路	SD ^{※1} 、SCP ^{※2} (砂杭)	床掘り	爆弾探査 (磁気探査)
施工基面整正	スラリー攪拌 (L=11~22m)	型枠	現場計測
プレロード盛土	高圧噴射攪拌 (L=22m)	鉄筋工	
掘削・埋戻しなど	薬液注入 (L=23m)	ガス圧接	
既設構造物撤去		足場工	
仮橋・仮栈橋工		目地工	
土留工鋼矢板		防水工	
ハット鋼矢板		コンクリート	
切梁・腹起し		鉄筋	

※1)SD は、「サンドドレーン工法」の略。

※2)SCP は、「サンドコンパクションパイル工法」の略。

<工事全体について>

- ・淀川左岸線（2期）は、此花区高見から北区豊崎までの自動車専用道路であり、淀川堤防と一体構造となるトンネル構造物を開削工法にて整備するものである。本工事は淀川左岸線(2期)事業の国道2号からJR神戸線までの事業区間約800mのうち、本線躯体としてNO,68+0.0からNO,100+10.0（本体函体延長L=650m）区間を整備するものである。
- ・淀川左岸線（2期）は地域高規格道路である。
- ・周辺住民や一般の方々が利用できる施設の設置計画は未定である。
- ・2025年度に開催される大阪万博の期間中は暫定供用として淀川左岸線（2期）をシャトルバスの走行に使用する計画が進んでいる。また、シャトルバスは自動運転で、一般見学者が乗れるように整備される見込みである。暫定供用の期間中は、一般車両の走行はできない。なお、暫定供用の計画は工事着手後に浮上したとのことで、工事計画の見直しを迫られるなど、大きな影響があった。
- ・淀川左岸線（2期）は堤防とトンネル構造物が一体構造となり、その地上部は緑化の計画がある。しかし、地上部に公園などを整備する計画は未定である。また、堤防を補強する考えはない。

<施工に関して>

- ・この地域の地下水位が非常に高いが、特に湧水もないため、ドレーンなどの特別な地下水排除工の施工計画はない。現場では、100m区間毎に水中ポンプを設置して溜水を排水している。また、SCP・SD区間は暗渠を設置し、固結区間には1.5mの透水層を設置している。
- ・暫定供用のために、切梁支保工と栈橋が一時的に撤去される。そのために仮栈橋の杭は躯体底版上で切断され、工事再開時には再度杭を繋ぐ計画となっている。

- ・液状化対策として砂杭による SCP を施工した。
- ・圧密沈下対策として SD+プレロード盛土、地盤改良工法（固結工法）を施工した。

<防災について>

- ・淀川左岸線では、道路の避難用として非常用階段を設置している。

<河川整備関連事業について>

- ・淀川左岸線（2期）では、地上部を緑化する計画があるが、水辺整備の計画は未定である。
- ・非出水期には、淀川の高水敷を借用して施工に利用している。

【参考文献】

- 1) 大阪市：淀川左岸線（2期）事業の概要（参照 2023.12）
<https://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/page/0000160706.html>
- 2) 大阪市：淀川左岸線（2期）事業（参照 2023.12）
<https://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/page/0000159842.html>
- 3) (一財)エンジニアリング協会地下開発利用研究センター，2022 年度（2022M-094）ポストコロナの環境変化を考慮した地下インフラ再構築の調査研究 報告書 本編 第IV部 社会と環境の変化を踏まえた地下インフラ再構築技術に関する調査研究部会（第4部会），（2023.3），発行

第5章 まとめ

第4部会では「多目的型地下インフラモジュールの基本構造と大深度を想定した構築/再構築技術」というテーマに対し、「地下空間を経済的、効率的に利用するために、多目的に人流、物流、備蓄、避難などに対応できる（大深度）地下インフラを構想する」ということを行った。

本調査研究での「多目的型地下インフラモジュール」とは、「複数の用途を有する多機能な地下施設を含む不特定多数が利用する社会基盤施設」と定義することにより調査範囲が広がった。

第2章では要求性能、関連法規などの基礎情報を収集することにより調査の方向性を明確にした。さらに具体的な多目的インフラ事例について国内3例、海外3例を調査することにより理解を深めた。調査を進める中で地下インフラへの避難のハード面だけでなく、ソフト面での課題が浮き彫りになった。例えば、避難訓練や安全教育という一般市民の意識の問題、衛生面や心理的ストレスのような避難時の環境整備さらに複雑に入り組んだ関連法規の実際の運用の問題である。

第3章では次のステップとして、構築・再構築技術の調査を行った。まず構造に関する調査を行うべく、各種インフラ構造物の構造形式による分類を行い、設計手法を調査した。これには体系的にまとめられているトンネル標準示方所各編（(公財)土木学会）を参考にした。また構造的に特徴を有する5つの事例を集めて、その特徴をまとめた。また構造物の構築やリニューアルを含む再構築の技術を調査し、課題を整理した。

第4章では本年度は以下の5か所へのヒアリング・現地調査を行った。各施設では本来の目的以外の用途での多目的な利用がなされているかなどのヒアリング他、歴史、建設経緯、事業計画、運用状況、行政方針、地元協議、課題などの広い情報が収集できた。

- ・大谷石採掘場跡地
- ・首都圏外郭放水路
- ・神戸市三宮周辺の地下施設
- ・寝屋川北部地下河川
- ・阪神高速淀川左岸線（2期）工事

2022年2月のロシアのウクライナ侵攻に始まり、2023年10月にはイスラエルのガザ地区侵攻が始まり、武力紛争に発展しており、2023年12月時点では沈静化に至っていない。これらの紛争の報道の中で地下施設のことが報じられており、例えばガザ地区の病院地下にはテロ組織の拠点、トンネルが避難施設として利用されているとのことである。まさに我々が調査を行ってきた多目的地下インフラモジュールに該当する。

次年度では、本年度の他部会の成果を踏まえて、今後の地下インフラ構築および再構築（既設インフラの転用）のモデルとして、シェルター施設を意識した多目的型の地下インフラモジュールの提案を目標として調査を継続的に行っていく予定である。