

平成22年度

都市環境改善路面緑化システム
に関する調査研究報告書

平成23年3月

財団法人エンジニアリング振興協会

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

序

本報告書は、財団法人JKAから機械工業振興資金の補助を受け、財団法人エンジニアリング振興協会が実施した平成22年度「都市環境改善路面緑化システムに関する調査研究」の成果をとりまとめたものであります。

本調査研究では、地被植物を用いて環境負荷の低減と良好な緑視環境を創出するために、都市の軌道敷きや駐車場および歩道などのアスファルトやコンクリートで被覆された路面などで、車両の輪荷重や踏圧の負荷から植物が健全に生育する省管理型の路面緑化システムの開発と、これを推進するための方策の検討を目的としています。

植物による温暖化防止や大気浄化は、光合成によるCO₂の固定やフィルター効果による浮遊粉塵の吸着等有効な手段です。そのため土木構造物や都市建築物の緑化に積極的に活用されてきましたが、主に緑化対象は建物屋上や壁面等に限定されていました。環境の悪化とともに都市緑化は急増し、最も緑化が困難である踏圧地についても緑化のニーズが高まっています。アスファルトやコンクリートで被覆された路面は緑化対象面積が大きく、また期待される緑化の効用も大きいものです。このような背景のもと、上記目的達成に向けた調査研究を行いました。

当協会は、創立以来、社会・経済の変化の様相を見定めながら、エンジニアリング及びエンジニアリング産業の新しい活躍の可能性を求め、地球環境保全、資源エネルギーの有効利用、社会資本の充実、地域の活性化等幅広く社会開発型システム関連のテーマを選定し、産学連携のもと、当協会の研究開発企画委員会に技術テーマ別研究会等を設置して、調査研究を推進しております。

本事業は、この研究開発企画委員会の活動の一環として、学識経験者及び関連の専門家からなる研究会（委員長：興水 肇 明治大学 教授）を編成し、調査研究を実施したものであります。なお、本調査のとりまとめに当たっては、株式会社竹中工務店が中心となって行いました。

この事業にご協力いただいた関係各位に対し心から謝意を表するとともに、本報告書の成果が各方面で有効に活用されることを切望する次第です。

平成23年3月

財団法人エンジニアリング振興協会
会長 増田 信行

路面緑化システム研究会

委員名簿

委員会

委員長	興水 肇	明治大学 農学部 緑地工学研究室 教授
委員	原田 鎮郎	(株)環境システム研究所 代表取締役
	横山 仁	(財)東京都環境整備公社 東京都環境科学研究所 主任研究員
	岡田 一孝	(株)竹中土木 常務執行役員 技術生産本部長
	三浦 克	(株)竹中道路 取締役社長
	坂井 剛太郎	(株)朝日興産 取締役社長
	日野林 譲二	大日本プラスチック(株) 営業本部 商品開発部 部長
	佐藤 充彦	日本植生(株) 環境緑化部 係長
	米澤 敏男	(株)竹中工務店 技術研究所 リサーチフェロー
事務局	大野 宣夫	(財)エンジニアリング振興協会 技術部 部長
事務局	石瀬 俊明	(財)エンジニアリング振興協会 技術部 研究主幹

作業部会

部会長	米澤 敏男	(株)竹中工務店 技術研究所 リサーチフェロー
委員	佐久間 護	(株)竹中工務店 技術研究所
	三坂 育正	(株)竹中工務店 技術研究所
	小島 倫直	(株)竹中工務店 技術研究所
	安藤 慎一郎	(株)竹中土木 技術研究所
	村谷 優	(株)竹中土木 技術研究所
	金子 みゆき	(株)竹中土木 技術研究所
	関 繭果	(株)竹中土木 技術研究所
	若林 伸介	(株)竹中道路 技術研究所

目 次

序

委員会・作業部会名簿

目次

はじめに

1) 背景	1
2) 目的	2
3) 調査研究の内容	2

第 1 章 施工技術・適用環境に関する実証実験

1.1 ポーラスコンクリートの保水性向上に関する実験	4
1.1.1 保水性向上のための材料設計	4
1.1.2 保水性粗骨材	5
1.1.3 バインダの通水性向上に関する検討	6
1.1.4 ポーラスコンクリート	10
1.2 路面緑化システムの植物生育要因効果把握実験	14
1.2.1 実験概要	14
1.2.2 実験スケジュールと評価方法	15
1.2.3 実験の結果と考察	18
1.3 芝生の耐乾燥性要因効果把握実験	21
1.3.1 実験概要	21
1.3.2 実験スケジュールと評価方法	24
1.3.3 実験結果と考察	26
1.3.4 参考資料	32
1.4 セダム緑化の生育主効果の把握に関する実験	42
1.4.1 実験概要	42
1.4.2 実験結果	43
1.4.3 最適水準と現行条件の比較	44
1.5 路面緑化の景観評価	46
1.5.1 研究の視点	46
1.5.2 事例収集および考察	46

第 2 章 路面緑化システムの耐久性評価

2.1 路面緑化システムのアイデアと試験施工	52
2.1.1 路面緑化システムの検討	52
2.1.2 システム構成	53
2.1.3 試験施工	55

2.2	路面緑化システムのタイヤ走行試験	59
2.2.1	実験概要	59
2.2.2	路面緑化試験体の施工状況	60
2.2.3	耐踏圧実証試験と評価	63
2.2.4	実験の結果と考察	64
2.3	路面緑化ユニットの小型 FWD 評価と FEM 解析	66
2.3.1	路面緑化ユニットの小型 FWD 評価	66
2.3.2	路面緑化ユニットおよび支柱材の選定	68
2.3.3	路面緑化ユニットの構造検討	71

第 3 章 維持管理システムの検討

3.1	水分監視システムの検討	119
3.1.1	造園植物の水要求量	119
3.1.2	計算例	120
3.1.3	路面緑化ユニットの必要水量の算定	121
3.1.4	植栽地の水分管理方法	123
3.2	排水再利用技術の検討	126
3.2.1	建物からの排水再利用	126
3.3	太陽光エネルギー利用技術の検討	130
3.3.1	高精度太陽方位追尾装置（1 軸追尾装置）	130
3.3.2	1 軸であることの損失について	131
3.3.3	利用イメージ	132

第 4 章 路面緑化適用ガイドライン

4.1	路面緑化の主な効果	134
4.1.1	路面緑化とは	137
4.1.2	路面緑化の計画	139
4.1.3	路面緑化の設計	143
4.1.4	路面緑化の施工	146
4.1.5	維持管理	148

はじめに

環境の世紀と言われている 21 世紀は、言い換えれば不安の世紀でもある。環境悪化や温暖化が進み、資源は枯渇し、人口は増え続け、人類は生き延びることができないのではないかという警告を突き付けられてきた。その結果、少しでも他の人々より長く生き残ろうとする発想から、キャップアンドトレードによる操作、資源保護のためのグローバルな保護規制や、生物多様性維持のための遺伝子の金融商品化が始まっている。その争いや競い合いは地球を超えて拡がるのであろうか、映画 AVATAR のように。

たとえ人類の生存領域が他の銀河系へ広がろうとも、この地球で生きていこうとする人々は、地球上の他の生物と共生するライフスタイルをとらねば生きていけないことを知っている。衣食住のすべてを他の生物の恵みに依存してきたし、これからも依存しなければならぬからである。地球上では、氷河期から間氷期、そして温暖期の間を繰り返しながら、さまざまな生き物が存在してきた。その間に絶滅したものもあれば、新たに発生したものもある。人類もその一つである。人類は地球上の他の生物群の一員として生きてきたことをいま再確認したい。

人類は、生物群の営み、すなわち生態系からの恵みにより生かされているのである。生きることはまず行動することであり、行動とは歩くことから始まり、歩く足元には他の生物も生きている。そうした生物を踏みしめながら歩いているのが人類である。生物の中には、歩くことにより、その後に生物を残さない、すなわち歩いた後を裸地にしてしまうものも存在する。地球のあやうい未来に気付き始めている人類は、その叡智を結集して生態系への致命的なダメージを与えないような方向すなわちエコロジカルフットプリントを最小にするよう、すべての行動をシフトすることが求められている。

地表を不透水面へと変えることによって得られる快適性は部分的、一時的なものである。不透水面積が増大することにより、地表面の放射温度が上昇し、蒸発が抑制され大気の高温化を助長するため、生活環境は快適なものにならない。不透水面を増大させてきた現代都市の、全体の最適化を損なう部分の最適化しか行ってこなかった典型例である。アスファルト舗装より芝舗装の駐車場のほうが景観的には好ましい。降雨時には歩きにくい、車内が汚れるからとより安易で維持管理の楽なハードな舗装を採用してきた。部分の最適化しか考えないレベルの低い選択としか言いようがない。冒頭で地球環境と人類の生存という大きく重い課題を提示したのは、判断のレベルをもう少し高くしたいという願いからである。知恵と技術と経費をかける部分を、今までとは違う部分にシフトすべきだということである。耐久性があり、維持管理が容易で、高価ではない芝舗装を開発し、人々の生活をより快適なものにしようというのが、本調査研究の目的である。

1) 背景

都市化の進行に伴うヒートアイランド現象は関心の高い環境問題であり、「ヒートアイランド対策大綱」(平成 16 年度策定)を踏まえて、国や自治体を挙げて総合的な対策を推進している。自治体や事業者の取り組みの一つとして「駐車場の舗装改善」ある。しかしな

がら、駐車場の緑化は、耐久性や芝生の管理などの技術的な課題が解決されておらず、長期間にわたり健全な状況で維持している事例はほとんど無い状況にある。(兵庫県「グラスパーキング推進事業」実証実験H17年度～H18年度)

また、工場や倉庫の建替え計画は多いが、工場立地法適用以前の建物は建替えに伴う緑地面積確保がネックとなり、郊外移転があとを絶たない。2004年3月の工場立地法改正に伴い、東京都は屋上と壁面緑化を緑地面積に算定可能としたが、工場屋根特有のスレートや折半の荷重制限や壁面緑化の技術的な困難さのために、行政的な後押しにも関わらず緑化面積は増加していない。路面の緑化が緑地面積に算定可能と判断されると、工場の建替え需要に大きく貢献すると考えられる。当社が横浜市において、緑化コンクリートを用いた車両搬出入路の緑化を提案し、緑地面積算定の有無を判断して頂いたところOKを頂いた経緯がある。路面緑化のニーズは大きい。

市街地の歩道は夏季高温になり、老人・子供・妊婦・身障者などの社会的弱者に過酷な歩行環境を強いる状況となっている。歩行環境としては電柱と共存する街路樹は棒状に刈り込まれ、緑陰をほとんど提供できていない。人々は建物の影を選んで歩行せざるを得ない状況となっている。路面の熱負荷低減は都市環境における社会的弱者保護上の急務の課題となっている。歩道の緑化は人々の暮らしに直接貢献する都市環境改善のニーズとなっている。

本年2月に、緑化コンクリートを用いた軌道敷緑化施工を広島県で実施した。路面電車は、全国18都市19事業者、路線延長約235kmで営業されている。全国19箇所の路面電車のうち、広島、大津、高知、鹿児島で実績があるが、いずれも短い区間で試験的に行われている状況。良好な視環境の形成と熱負荷低減も視野に入れた軌道敷緑化は今後増加することが予想される。

2) 目的

夏季の炎天下の路面は、60℃を超える表面温度となるが、植栽面はどんなに温度が上がっても40℃を超えることは無い。暑い日中は植物体自身を冷やす目的もあり、活発な蒸散作用を行うが、冬季はもちろん曇天や雨天時はほとんど蒸散せず、大気中の温度と水分を自動調節してくれる。この植物の持つ環境調節機能を路面で活用するため、竹中工務店で開発した緑化コンクリートを用いて、環境負荷の低減と(雨水の灌水利用、アスファルト舗装面の熱負荷低減等)、良好な街並み景観の創出を目的に、路面(歩道、街路、駐車場、軌道敷、緊急車両進入路など)で地被植物が健全に生育する緑化システムを開発するための調査研究を行う。

3) 調査研究の内容

21年度の主な調査研究の内容

(1) 路面緑化の実態調査

- ① 文献調査、ヒアリングの実施
- ② 開発商品の植物生育状況、水利用の実態、障害発生の実態

(2) 路面緑化のシステム化(緑化コンクリート適用)に関する各種実験・評価

- ① 緑化基盤諸物性評価(物理性、化学性)
 - ② 種センサーを用いた最適灌水システムの検討
 - ③ 水分状態監視システムの調査・検討
 - ④ 踏圧(＋歩行のしやすさ)及び輪荷重(タイヤ圧)に耐え、植物の生長点を保護する機構の開発
- (3) 路面緑化の概念設計
- ① 歩道や車両進入路で地被植物が健全に育成するための路面緑化工法の各種目標値設定と概念設計。

22年度の主な調査研究の内容

- (1) 施工技術・適用環境に関する実証試験
- ① ポーラスコンクリートの保水性向上に関する実験
 - ② 適用植物の生育適性評価実験
 - ③ 路面緑化の景観評価
- (2) 路面緑化システムの耐久性評価
- ① 路面緑化システムのアイデアと試験施工
 - ② タイヤ走行試験
 - ③ 路面緑化ユニットのFWD評価とFEM解析
- (3) 維持管理システムの検討
- ① 水分管理システムの検討
 - ② 排水再利用技術の検討
 - ③ 太陽光発電利用技術の検討
- (4) 適用ガイドラインの策定

第1章 施工技術・適用環境に関する実証実験

1.1 ポーラスコンクリートの保水性向上に関する実験

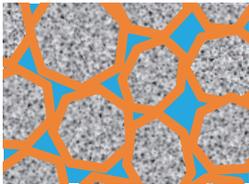
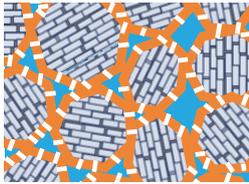
路面緑化の基盤の一つとして、竹中グループの保有技術である「緑化コンクリート」が検討されているが、本節では、その保水性をさらに向上させることを目的として新しい材料を用いて検討を行った。

1.1.1 保水性向上のための材料設計

ポーラスコンクリートは、単粒度粗骨材を少量の高強度・低アルカリのセメントペースト（またはモルタル）によって固結したもので、連続した空隙を有している。

ポーラスコンクリートの保水性をさらに向上させるため、表1.1.1-1に示すような材料設計で検討を行った。材料設計の概念は、コンクリート体積のおよそ半分を占める粗骨材に水分を保持させることに着目し、「グリーンビズ™」と呼ばれる吸水性の高い特殊な材料を使用することとした。それと同時に、粗骨材に保持されている水分が、ポーラスコンクリート内の充填材（保水材）に滲出できるように、バインダとなるモルタルに可溶性繊維を混合し、繊維を溶解して微細な空隙を作ることで通水性を高めることとする。

表1.1.1-1 設計概念

	一般的な ポーラスコンクリート	保水性向上を目指した ポーラスコンクリート
模式図 		
保水の分担	保水材	保水性骨材 + 保水材
(1) 骨材	砕石 (JIS規格:吸水率3%以下)	グリーンビズ端材 (吸水率実測 30%程度)
(2) バインダ (モルタル)	低通水性(透水性)	繊維の溶解を利用して 微細空隙を作り、通水性を高める

1.1.2 保水性粗骨材

1) グリーンビズについて

本実験では、保水性粗骨材として小松精練株式会社の「グリーンビズ」の端材を使用する。グリーンビズは、繊維の染色排水を浄化する過程で発生する余剰バイオマスケーキ（微生物を含んだ泥土）を、珪藻土や粘土と混ぜ合わせて1,000℃以上の高温で焼き上げて製造される超微多孔スポンジ状のセラミックス基盤である¹⁾。スポンジ状の構造のため、吸水性や保水性にすぐれ、屋上緑化や壁面緑化の基盤として利用されている。

本実験で使用するグリーンビズの端材および商品化されているグリーンビズを図1.1.2-1および図1.1.2-2に示す。



図 1.1.2-1 保水性粗骨材（グリーンビズ端材）



図 1.1.2-2 グリーンビズ

2) 骨材試験

コンクリートの配合設計に必要なデータを取得するため、保水性粗骨材の単位容積質量、実積率、密度、吸水率の測定およびふるい分け試験を行った。粗骨材は、公称目開き4.75mmの金属製網ふるいにとどまるものを使用した。

試験結果を表1.1.2-1および表1.1.2-2に示す。吸水率については、商品化されているグリーンビズで50%以上であるが、今回使用する粗骨材は材料の端部であるために30

%となっている。また、ふるい分け試験結果より、骨材粒度は、JIS A 5005-1993 コンクリート用砕石の2005区分に規定されている粒度であることが確認された。

表 1.1.2-1 骨材試験結果

試験名	保水性粗骨材 グリーンビズ	コンクリート用砕石 規格 (JIS A 5005:1993)	試験方法
単位容積質量	0.61 kg/l	-	JIS A 1104:2006
実積率	49.3 %	55以上	
表面乾燥状態における密度	1.64 g/cm ³	-	JIS A 1110:2006
絶対乾燥状態における密度	1.23 g/cm ³	2.5以上	
吸水率	33.06 %	3.0以下	

表 1.1.2-2 骨材のふるい分け試験結果

	ふるいを通るものの質量分率 %							粗粒率
	40 mm	25 mm	20 mm	15 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	
保水性粗骨材 (グリーンビズ)	100	98	93	33	1	0	-	6.68
JIS コンクリート用 砕石2505 規格値	100	95~100	-	30~70	-	0~10	0~5	-

1.1.3 バインダの通水性向上に関する検討

ポーラスコンクリートのバインダとなるモルタル部の通水性向上を目的として、可溶性繊維を添加したモルタル供試体を用いて、含水率試験および圧縮強度試験を行った。

1) 試料および供試体

表 1.1.3-1の使用材料および、表 1.1.3-2の配合で、試料を作製した。配合は、ポーラスコンクリートのモルタル部分の配合を基準として、可溶性繊維をモルタル体積の1.0%から3.5%の範囲で外割添加した。供試体は、含水率試験用に4cm×4cm×10cmの角柱供試体を3本、圧縮強度試験用にφ5cm×10cmの円柱供試体を3本作製した。繊維は、水に浸漬してから14日間程度で分解するため、供試体は28日間水中養生した。

表 1.1.3-1 使用材料

種類	名称	物性
セメント	高炉B種セメント	密度:3.04 g/cm ³
細骨材	大井川陸砂	表乾密度: 2.57 g/cm ³ , 吸水率 1.68%
混和剤	高性能AE減水剤	密度:1.09 g/cm ³
繊維	可溶性繊維	密度:1.27 g/cm ³

表 1.1.3-2 配合

配合 ケース	水	セメント	細骨材	繊維添加量	繊維添加率 モルタル体積 外割添加
	kg	kg	kg	g	
No.1	0.796	3.187	1.682	0	なし
No.2				32	1.0 %
No.3				48	1.5 %
No.4				64	2.0 %
No.5				79	2.5 %
No.6				95	3.0 %
No.7				111	3.5 %

2) 試験方法

圧縮強度試験は、土木学会規準JSCE-G 505-1999「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準拠して材齢28日において試験を行った。

含水率試験は、水中養生後の湿潤重量と、空気循環式乾燥炉（温度105～110℃）で乾燥させた状態における絶乾重量とを測定して重量含水率を算出した。

3) 試験結果

図1.1.3-1に材齢28日における圧縮強度と重量含水率の結果を示す。繊維を添加していない配合では、含水率は6%であったのに対し、繊維の添加量を増やすことによって含水率が増加する傾向が見られ、繊維を3.5%添加したケースでは、含水率が10%程度となった。

一方、繊維添加に伴う強度の低減も著しく、繊維2.0%添加したケースでは強度65N/m²程度の強度を発現したものの、繊維添加率が2.5%以上になると繊維の膨潤によって供試体が膨張してひび割れが入り（図1.1.3-2）、ほとんど強度を発現しない結果となった。

材齢28日における供試体の断面を図1.1.3-3に示す。繊維添加率2.0%以上の供試体断

面では白い斑点が見られ、繊維が溶解せずに残っていることが確認できる。繊維添加率1.5%の供試体断面では、白い斑点は多く見られない。このケースでは含水率が7.3%で繊維添加率2.0%のケースよりも高い値を示していることから、全ての繊維が溶解できる適切な添加率で配合設計することにより、モルタルの透水性を高めることが可能であると考えられる。

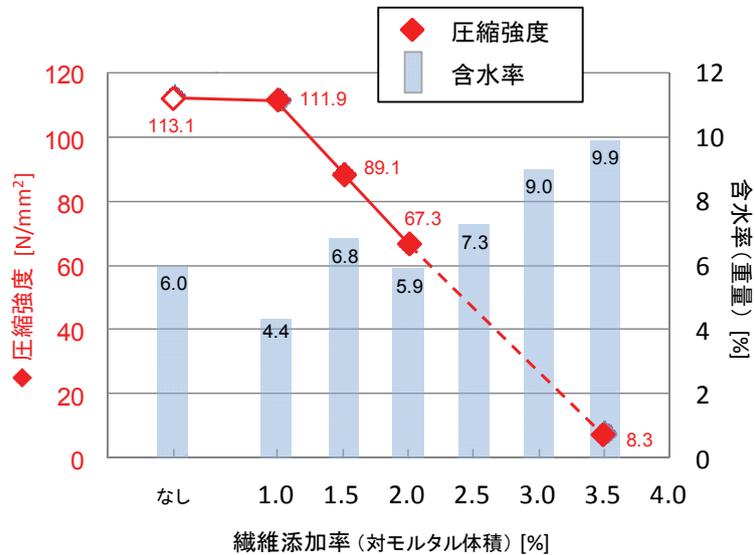


図 1.1.3-1 圧縮強度（材齢 28 日）および含水率



繊維添加率 2.5%

繊維添加率 3.0%

図 1.1.3-2 膨潤によってひび割れた供試体

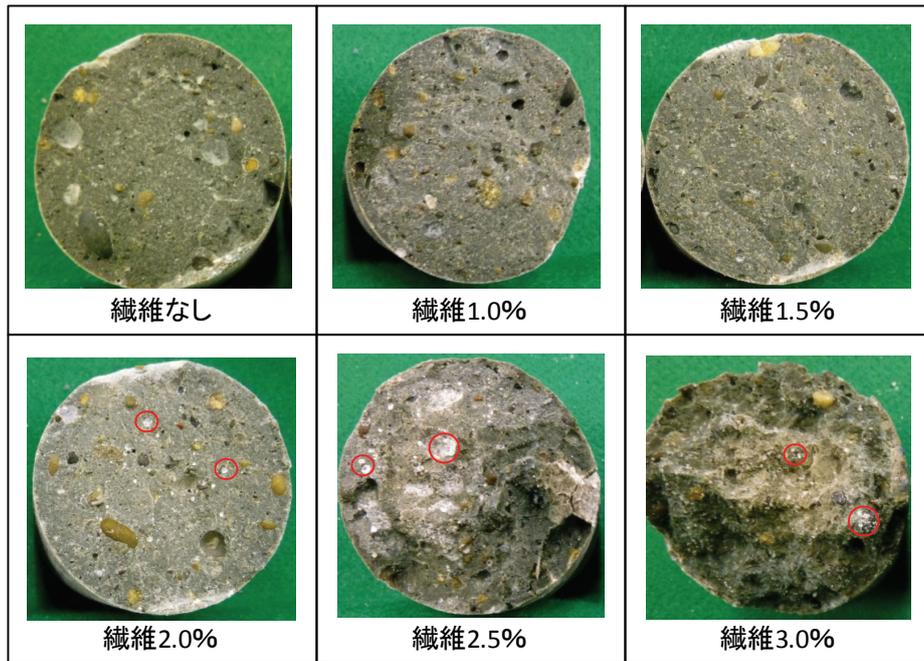


図 1.1.3-3 供試体断面

1.1.4 ポーラスコンクリート

保水性骨材（グリーンビズ端材）と可溶性繊維を添加したモルタルを用いたポーラスコンクリートを作製し、空隙率、保水率および圧縮強度の測定を行った。

1) 試料および供試体

試料は、1.1.2「保水性粗骨材」および1.1.3「バインダの通水性向上に関する検討」で用いた材料を使用し、表1.1.4-1に示す配合で作製した。配合において、粗骨材容積率は骨材試験結果で得られた実積率49.3%に補正係数 $\alpha = 0.98$ を乗じて48.3%とした。この補正係数 α は、粗骨材周囲に付着したバインダによって粒子間距離が広がることを考慮して用いられる係数で、JCI委員会報告1)では一般的な α の値として0.95～0.98が示されている。

練り混ぜは、50リットルのパン型ミキサに粗骨材を投入し、あらかじめ繊維と混ぜ合わせておいたセメントと細骨材を入れて30秒空練りし、その後、水と高性能AE減水剤を加えて4分練り混ぜた。

供試体は、10cm×20cmの円柱供試体とし、2層に分けて試料を打設し、各層ごとに振動台式振動機にて10秒間の振動を与えて作製した。脱型後は水中にて養生を行った。

表 1.1.4-1 ポーラスコンクリート配合

W/C (%)	S/C (%)	粗骨材 容積率 (%)	空隙率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				繊維添加率 (モルタル体積×%)	高性能 AE減水剤 (C×%)
				W	C	S	G		
25	50	48.3 (49.3%×0.98)	20	103	410	205	792	1.5	1.5

2) 試験方法

空隙率および保水率は図1.1.4-1に示す手順に従って測定した。空隙率の測定は、JCI委員会報告²⁾に準拠して全空隙率と連続空隙率を測定した。ここに、全空隙率とは、「供試体体積に占める全ての空隙の割合。連続空隙と独立空隙の和として計算される。独立空隙とは、供試体表面からみて、独立している空隙であり、水で飽水、排水するには若干の時間を要する空隙。」と定義される。また連続空隙率は、「供試体全体の体積に占める、連続空隙の割合。連続空隙は供試体表面からみて連続している空隙であり、容易に水で飽水、排水される空隙。」と定義される。

また、JIS A 1108：2006「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して材齢28日における圧縮強度を測定した。

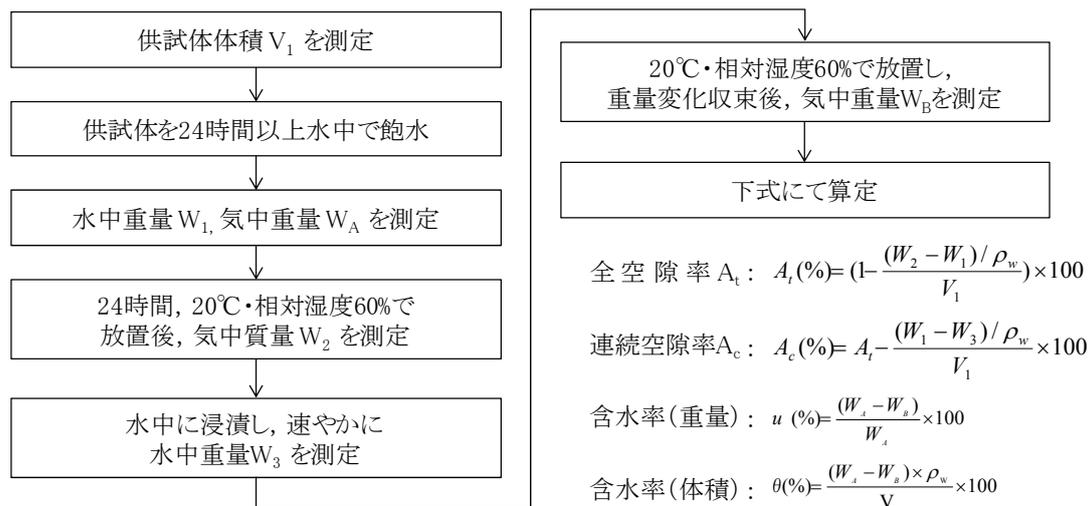


図 1.1.4-1 空隙率・保水率の測定フロー

3) 試験結果

ポーラスコンクリートの供試体の写真を図1.1.4-2, 試験結果を表1.1.4-2に示す。

圧縮強度は9.51N/mm²で, 目標値10N/mm²には達しなかった。5号砕石または6号砕石を用いた一般的なポーラスコンクリートでは, 空隙率25%での圧縮強度が11~18N/mm²程度であることから, 保水性骨材を用いたポーラスコンクリートでは強度が若干低下する結果となった。

全空隙率は24.5%で, 設計空隙率20%よりも大きい値となった。これは, 保水性骨材の表面に凹凸があり, その内部にモルタルが入り込むことによって, 見かけのモルタル体積が減少したためと考えられる。

含水率は, 重量基準で5.9%, 体積基準で8.2%であった。同じ繊維添加率1.5%のモルタル実験における含水率(重量)が6.8%であったのに対し, ポーラスコンクリートでは含水率が低下する結果となった。このことから, 今回の実験では, 保水性の高い骨材を用いたものの, モルタルで骨材の周囲を覆ったことにより通水性が低下し, ポーラスコンクリートとしての保水性を高めることができなかったと考えられる。



図 1.1.4-2 ポーラスコンクリート供試体

表 1.1.4-2 ポーラスコンクリート試験結果

試験名	圧縮強度			全空隙率 A_t			連続空隙率 A_c			含水率(重量)			含水率(体積)		
結果	9.51 (N/mm ²)			24.5 (vol%)			22.8 (vol%)			5.9 (%)			8.2 (%)		
測定値	9.85	8.22	10.5	26.1	22.6	24.7	24.4	20.3	23.6	6.2	5.5	6.0	8.4	7.8	8.3

参考文献

- 1) 小松精練株式会社 HP：グリーンビズ製品特長
<http://www.komatsuseiren.co.jp/greenbiz/feature/index.html>
- 2) 日本コンクリート工学協会：ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書，2003

1.2 路面緑化システムの植物生育要因効果把握実験

1.2.1 実験概要

1) 実験の目的

本実験では人と車が植物で覆われた路面を行き交う条件下で、植物の健全生育が可能となる路面緑化システムの構成要因の主効果を把握することを目的とした。

2) 実験に用いる要因と水準

実験に用いる要因と水準を以下のように設定した。

実施する現行条件は、下層路盤にポーラスコンクリートを厚み 15cm で打設し、中に充てん材を流し込み、芝生保護材を設置の後、客土を芝生保護材天端の 2cm 下がりで敷設し、その上に張り芝し、ローラー転圧して完成するものである。

適用する直交表は 5 つの要因が各 4 水準で割付可能な L₁₆ (4⁵) 実験に用いる。要因と水準は、現行の条件を基準に、技術者の固有技術から以下のように設定した。なお、現行条件では歩行のしやすさは考慮していない。

A 灌水頻度：月曜日に 1 回、月・木曜日に 1 回、月・水・金曜日に 1 回、降雨のみ

B 薄層客土：赤土黒土混合、培養土、混合土+吸水性樹脂、培養土+吸水性樹脂

C 芝保護材：保護材（正置）、保護材（逆置）、ポーラスコンクリート、保護材なし

D ポーラコン材・厚：5号砕石 10cm 厚,5号砕石 15cm 厚,6号砕石 10cm 厚,6号砕石 15cm 厚

E 下層基盤：路盤砕石、保水排水マット（EPS 製）、黒土、フェルト

表 2.2.1-1 実験の要因と水準

要因	水準			
	A1 月曜日	A2 月・木曜日	A3 月・水・金曜日	A4 降雨のみ
B 薄層客土	B1 赤土黒土混合	B2 培養土	B3 混合土+吸水性樹脂	B4 培養土+吸水性樹脂
C 芝保護材	C1 保護材（正置）	C2 保護材（逆置）	C3 ポーラスコンクリート	C4 保護材なし
D ポーラコン材・厚	D1 5号 10cm 厚	D2 5号 15cm 厚	D3 6号 10cm 厚	D4 6号 15cm 厚
E 下層基盤	E1 砕石	E2 保水排水マット	E3 黒土	E4 フェルト

固定要因：芝種類（3種類混合 T.F、K.B、P.L 10g/m²）

：灌水量 50 /m²・日

表 2.2.1-2 因子と水準の割り付け：直交表 L₁₆(4⁵)

No	灌水頻度 (50 /m ² ・日)	薄層客土 (厚み 7cm)	芝保護材 (厚み 7cm)	ポラコン材・厚 (厚み 15cm)	下層基盤 (厚み 15cm)	特性値 (植被率)
1	月曜日	赤・黒土混合	保護材（正置）	5号 10cm 厚	砕石	
2	月曜日	培養土	保護材（逆置）	5号 15cm 厚	保水排水マット	
3	月曜日	混合土＋吸水性樹脂	ポラスコンクリート	6号 10cm 厚	黒土	
4	月曜日	培養土＋吸水性樹脂	保護材なし	6号 15cm 厚	フェルト	
5	月・木曜日	赤・黒土混合	保護材（逆置）	6号 10cm 厚	フェルト	
6	月・木曜日	培養土	保護材（正置）	6号 15cm 厚	黒土	
7	月・木曜日	混合土＋吸水性樹脂	保護材なし	5号 10cm 厚	保水排水マット	
8	月・木曜日	培養土＋吸水性樹脂	ポラスコンクリート	5号 15cm 厚	砕石	
9	月・水・金	赤・黒土混合	ポラスコンクリート	6号 15cm 厚	保水排水マット	
10	月・水・金	培養土	保護材なし	6号 10cm 厚	砕石	
11	月・水・金	混合土＋吸水性樹脂	保護材（正置）	5号 15cm 厚	フェルト	
12	月・水・金	培養土＋吸水性樹脂	保護材（逆置）	5号 10cm 厚	黒土	
13	降雨のみ	赤・黒土混合	保護材なし	5号 15cm 厚	黒土	
14	降雨のみ	培養土	ポラスコンクリート	5号 10cm 厚	フェルト	
15	降雨のみ	混合土＋吸水性樹脂	保護材（逆置）	6号 15cm 厚	砕石	
16	降雨のみ	培養土＋吸水性樹脂	保護材（正置）	6号 10cm 厚	保水排水マット	

3) 調査項目

生育状態の調査は月末に実施する。目視で状況を確認すると同時に、拡大可能なモードでカメラ撮影を行う。解析の特性値は植被率とする。月末評価を継続することで、要因効果の時間軸における変化を確認した。

4) 試験体製作方法

- ①型枠内に排水シートを敷設する
- ②路盤材各種を所定厚さで充填する
- ③ポラスコンクリート 2 種類を所定の厚さで打設する
- ④充填材を流し込む
- ⑤芝保護材の敷設
- ⑥客土材充填
- ⑦芝生種子 3 種混合 10g/m² 相当播種＋目土

1.2.2 実験スケジュールと評価方法

1) 実験のスケジュール

実験の概略スケジュールを表 1.2.2-1 に示す。

表 1.2.2-1 実験のスケジュール

実施項目	2009年		2010年						備考
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	
試験体	○	○	灌水・養生						○
植栽実験		○	植栽実験・養生 直交表 L ₁₆ (4 ⁵)						▼
植栽養生									
植被率調査									



ホ-ラスコンクリートの製作



サンプル採取



空隙率の測定



試験 16 区画 (繰返 3 回)



5号碎石区打設



6号碎石区打設



打設後の養生開始



播種一ヶ月後の状況 1



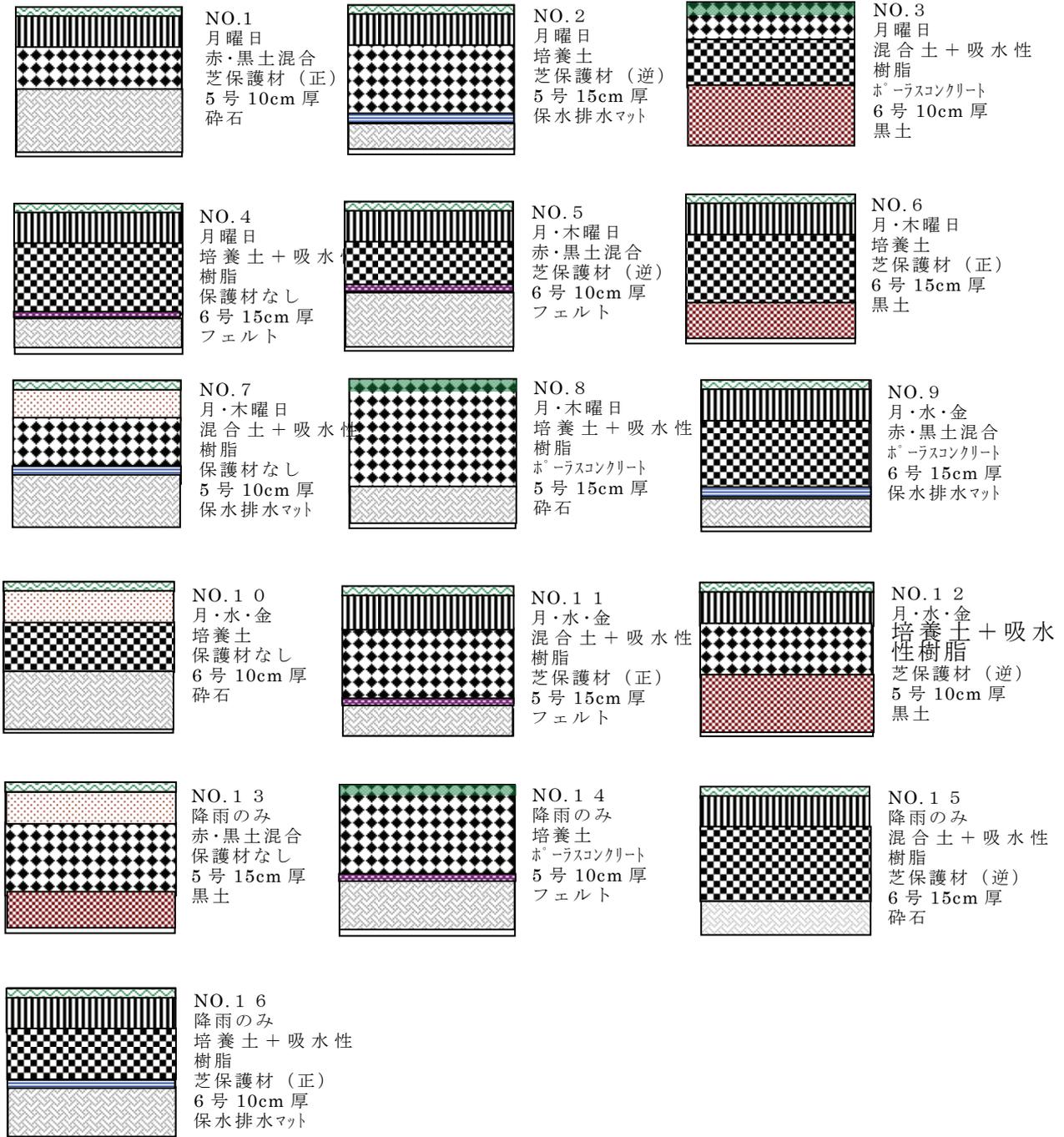
播種一ヶ月後の状況 2

2) 芝生の評価

生育した芝生には、段階的な評価を実施する。今回実験に用いた芝草種は寒地型芝の3種混合であるため、冬期の生育が期待されたが寒さが厳しく思うような生育状況を示さなかった。そこで、試験開始から十分に生育した後に見える変化を評価対象にした。評価は播種6ヶ月後に試験体ごとに行った。

3) 試験体の断面構成

16パターンの試験体断面図を以下に示す。



1.2.3 実験の結果と考察

1) 実験の結果と考察

芝生の生育評価は種子の発芽後6カ月間経過したものについて行った。芝生保護構造の芝生の生育に関する要因を評価する実験を行った結果である。解析の特性値は生育した芝生の生育量(刈取生体重量)とした。写真は播種後6カ月目の芝生の生育状況を示している。写真は毎月末に撮影した。試験区ごとに芝生の生育状況が異なる様子が判る。

写 1.2.3-1 に実験に用いた芝生の生育状況を示す。



試験体 No.1



試験体 No.2



試験体 No.3



試験体 No.4



試験体 No.5



試験体 No.6



試験体 No.7



試験体 No.8



試験体 No.9



試験体 No.10



試験体 No.11



試験体 No.12



試験体 No.13



試験体 No.14



試験体 No.15



試験体 No.16

写真 1.2.3-1 芝生の生育経過

今回の実験結果に供した芝生の生育事例を**写真 1.2.3-3**に示す。試験体設置段階では播種直後であり試験体表面の素材がむき出しであるが、6ヶ月の生育期間で生長した葉により表面は被覆されることが分かった。最も生育旺盛な試験区は過繁茂の状況を呈しているが、生育のよくない試験区は芝生面を構成していない。芝生保護材の太いメッシュも旺盛な芝生の生育ですぐに見えなくなってしまう。(写真 1.2.3-7 参照)



写真 1.2.3-2 2009年12月試験体設置

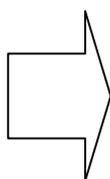


写真 1.2.3-3 2010年5月試験体の状況



写真 1.2.3-4 旺盛な生育状況を示す試験区



写真 1.2.3-5 貧弱な生育状況の試験区



写真 1.2.3-6 発芽直後の試験区

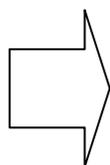


写真 1.2.3-7 保護材が隠れた試験区

2) 分散分析の結果

ここでは6カ月間の生育後、刈取生体重量の結果を用いたDOE解析結果を示す。寄与率は、 $R^2 = 70.01\%$ でこの特性値の動きをよく説明していることがわかる。誤差の標準偏差は、 $\sigma_e = 57.6718$ で、解析に用いた因子の効果を取り除いたときに、特性値が $1\sigma = 7.6718$ のばらつきを持っていることを示す。

回帰統計

重相関係数R	0.8367
寄与率 R^2	0.7001
誤差の標準偏差	57.6718
観測数	48
有効反復数	3

表 1.2.3-1 の分散比(F 値)を見ると、因子の灌水頻度、芝保護材及びポラコン材厚みは有意であるが、薄層客土と下層基盤は有意ではない。芝保護材(水準に保護材無及びポラコンがある)の要因の効果が極めて大きい。次いで灌水頻度となる。薄層の客土でも灌水を十分行えば芝は良く生育することが考えられる。

表 1.2.3-1 分散分析表

検定の危険率 $\alpha = 0.20$

項目名称	自由度	平方和	分散	分散比	検定有意 F	判定結果
因子効果	15	248426.122	16561.741	4.979	1.414	
灌水頻度	3	48106.011	16035.337	4.821	1.638	有意である
薄層客土	3	4969.152	1656.384	0.498	1.638	有意でない
芝保護材	3	161742.029	53914.010	16.210	1.638	有意である
ポラコン材・厚	3	21457.208	7152.403	2.150	1.638	有意である
下層基盤	3	12151.721	4050.574	1.218	1.638	有意でない
誤差	32	106433.111	3326.035			
全体	47	354859.232				

1.3 芝生の耐乾燥性要因効果把握実験

節水管理には、様々なアイデアが創出され、実際に植物を育てることでその効果を検証している。農業、屋上緑化、舗道緑化などでの研究事例がある。論文検索のキーワードを、灌水×システム×節水で行い 23 件が確認された。節水の方式をいくつか紹介する。

農業においては、水資源の有効活用のため灌漑水量の低減を図る目的で研究されている。センサーを用いた自動灌水による節水方式が多く、灌水にドリップ式を用いるものや、超低流速灌水及びフィルムマルチ栽培による節水、また用水計画での節水などがある。

従来の点滴灌水量 2.3 ㎖/hr に対して、低流速灌水は 2.5 ㎖/hr とし、これにソーラーポンプによる間欠式自動灌水を用いて総灌水量、施肥量の削減を果たしたもの、さらに 200 ㎖/hr の超低流速灌水でその効果を確認した研究⁶⁾⁷⁾がある。

屋上緑化では、センサーを用いた節水管理のほか、雨水を一次貯留して洪水調節と節水に寄与する仕組みが考案され、検証されている⁴⁾⁸⁾。

路面の緑化では、地中の導水シートを用いた節水がある¹⁾。

我々は、路面緑化に用いられる植物の耐乾燥性と土壤水分の動態特性を考慮した節水方式を考案すべく、下記の実験を計画している。植物の耐乾燥性に関する最適な水準が把握され、これに自動灌水システムを組み込むことで従来にない節水型の路面緑化システムが構築できるものと期待し、以下の検討を行った。

1.3.1 実験概要

1) 生育要因効果把握実験

本研究は芝草 3 種類の耐乾燥性に関して行った実験である。駐車場という適用対象の環境条件は多様であるが、芝草の耐乾燥性に関する実験すべき内容は主に、用土の種類、用土の厚み、保水性の確保などの要因とその効果を把握することにある。その他の生育に及ぼす影響である日当たりや日陰といった日照条件の違いが及ぼす影響、また風環境や車両走行や踏圧の影響はこの場合実験に与える影響とは考えない。

実験により抽出する内容は、以下の 2 種類である。

- ①芝草の耐乾燥性に関する植栽基盤条件の要因効果を把握
- ②植栽基盤の保水量増加と薄層化が生育に与える影響を把握

(1) 実験の目的

芝草を用いた緑化工法は、さまざまな適用対象・部位において用いられ、芝は異なった環境で様々な生育状態を示している。そこで、水分環境が厳しい場所で芝生が健全に生育するための主な要因とその効果の大きさを見出す実験を行い、実験結果を今後の路面緑化工法に役立てることにする。

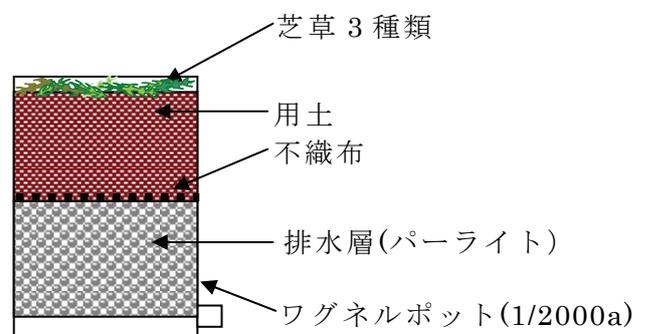


図 1.3.1-1 試験体イメージ

(2) 実験の内容

a 試験体

鹿児島県で生産する芝草3種類を、千葉県印西市にある実験場所に持ち込み、ワグネルポット(1/2000a)に生育させる。(図 1.3.1-1 参照) 実験に用いる植物は、造園利用に供するノシバ、コウライシバ及びヒメコウライシバとする。

b 調査項目

生育状態の調査は月末に実施する。目視で状況を確認すると同時に、拡大可能なモードでカメラ撮影を行う。さらにサーモカメラによる撮影評価も実施する。

(3) 実験の要因と水準

a 実験の因子と水準および組み合わせ

実験に取り上げた要因と水準は以下の通りである。用土の種類、用土の厚さ、灌水の頻度、及び芝草の種類を要因として取り上げた。ただし、芝草の種類は直交表の外側に割り付けた。各々3水準とした。表 1.3.1-1 に直交表 $L_9(3^4)$ に割り付けた実験の指示書を示す。

A用土種類 : A1 火山砂利系人工土壌、A2 ハーライト系人工土壌、A3 焼き黒土

B用土厚さ : B1 7cm、B2 14cm、B3 21cm

C灌水頻度 : C1 7日に1度 C2 14日に1度 C3 灌水無し

D保水容器 : D1 シャーレφ10cm、D2 シャーレφ15cm、保水容器無し

外側割付因子 : ノシバ、コウライシバ、ヒメコウライシバ

表 1.3.1-1 因子と水準の割り付け : 直交表 $L_9(3^4)$

因子名 No	用土種類	用土厚さ	灌水頻度	保水容器	特性値(植被率)		
					ノシバ [°]	コウライシバ [°]	ヒメコウライシバ [°]
1	用土A	7.0cm	1回/1週間	シャーレφ10cm			
2	用土A	14.0cm	1回/2週間	シャーレφ15cm			
3	用土A	21.0cm	灌水無し	保水容器無し			
4	用土B	7.0cm	1回/2週間	保水容器無し			
5	用土B	14.0cm	灌水無し	シャーレφ10cm			
6	用土B	21.0cm	1回/1週間	シャーレφ15cm			
7	用土C	7.0cm	灌水無し	シャーレφ15cm			
8	用土C	14.0cm	1回/1週間	保水容器無し			
9	用土C	21.0cm	1回/2週間	シャーレφ10cm			

(4) 実験の方法

試験体に用いる材料と方法は以下のとおりである。

a 用土種類について

用土 A : 火山砂利系人工土壌 (有機質と肥料含有)

用土 B : 真珠岩系パーライト (微量元素含有)

用土 C : 黒土を焼いて有機分を除去した土壌

b 試験体の制作方法

試験体製作過程を写真 1.3.1-1~6 に示す。栽培容器には、ワグネルポット(1/2000a)を用いた。深さに水準を設けるために、排水層に黒曜石系パーライトφ3-5mmを入れ、その上に不織布を敷いた。このとき、排水層の厚みの違いが植物の生育に影響を与えぬように、黒曜石系パーライトφ3-5mmの厚さは3cmで統一した。残りの厚み部分はビニール袋で密閉して根の侵入生育を出来ないようにした。その上に植栽用土を設置した。芝草3種類は、鹿児島県にて育成栽培したものをポット形状に合わせてカットし実験に供した。



写真 1.3.1-1 嵩上げ材の設置



写真 1.3.1-2 排水層の設置



写真 1.3.1-3 不織布の設置



写真 1.3.1-3 客土の設置

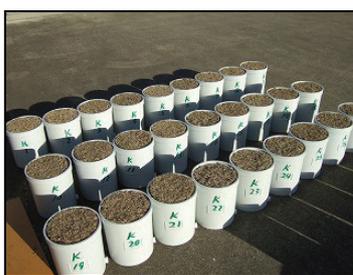


写真 1.3.1-3 芝生の設置
コウライシバ



写真 1.3.1-3 全試験区
芝3種類

1.3.2 実験スケジュールと評価方法

1) 実験のスケジュール

実験の概略スケジュールを表 1.3.2-1 に示す。

表 1.3.2-1 実験のスケジュール

実施項目	2010年								備考
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	
試験体	○	○							
植栽実験									
植栽養生									
植被率調査									

*刈込みは草丈 10cm 到達で H3cm に切戻す(頻度測定)

2) 芝生の評価

乾燥状態になった芝生には、段階的な評価を実施する。水切り試験開始後の日数で現れる変化を、3段階で記録する。評価は試験体ごとに行うものとする。

芝の耐乾燥性を商品価値として評価する上で、葉の丸くなる順位は重要と考える。また枯死寸前の状態からの回復過程の早さも芝の耐乾燥性の重要なポイントであるが、ここでは景観性を考慮して3段階評価結果で耐乾燥性の強弱を判定する。

3) 試験体の断面構成

以下に実験に用いた試験体の断面構成を示す。

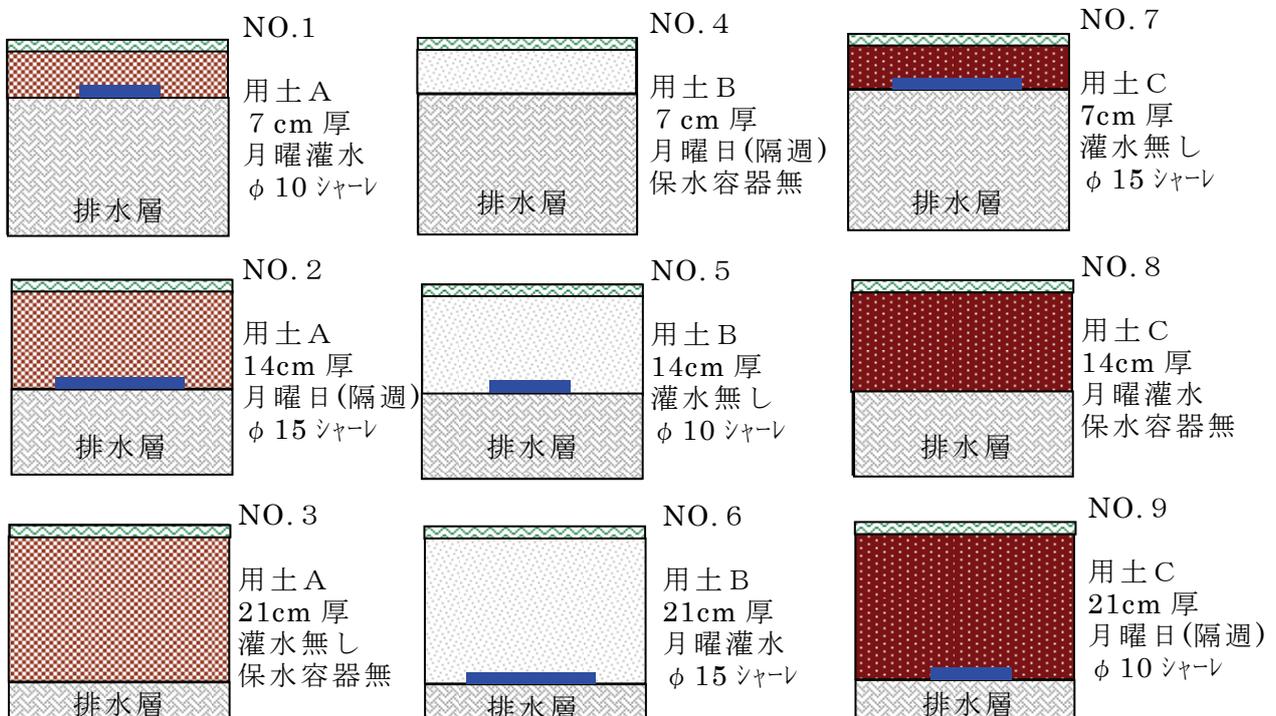


図 1.3.2-1 試験体の断面構成

4) 用土の物理性及び化学性

以下に、実験に用いた用度ごとの物理性及び化学性分析結果を示す。
用土はいずれも実際の植栽に多量に用いられているものである。

表 1.3.2-2 用土の物理性及び化学性

試験項目	単位	用土A	用土B	用土C
三相分布：気相率	V/ V%	38.2	44.4	43.5
三相分布：液相率	V/ V%	46.1	43.0	33.4
三相分布：固相率	V/ V%	15.7	12.6	23.1
粒径組成(国際法)	-			
飽和透水係数	cm/sec	1.7×10^{-2}	2.6×10^{-2}	5.6×10^{-1}
有効水分(pF1.8-3.0)	l/m ³	132	252	26
pH(H ₂ O)	-	6.0	8.0	5.7
有効態りん酸 P ₂ O ₅	mg/kg	66	10	21
交換性カリウム K	cmol(+)/kg	1.04	0.13	0.17
腐植	g/kg	20.7	0.8	162
塩基交換容量(CEC)	cmol(+)/kg	7.4	3.3	35.1
りん酸吸収係数	g/kg	13.7	0.5	24.9
電気伝導度(EC)	ds/m	0.23	0.02	0.06
全窒素	g/kg	0.9	0.1	4.8

5) 試験区ごとの水分保持量

試験区は9種類であるが、土壤中に保持する水分量は複雑に異なるものとなっている。
表 1.3.2-3 は試験区ごとの有効水分量を計算で推定した値を示している。有効水分量の最大の試験体は 4.15 リットルであり、最小の試験体は 0.26 リットルとなっている。

表 1.3.2-3 試験体ごとの有効水分量推定値

因子名 No	用土種類	用土厚さ	保水容器	有効水分量推定値 リットル(1/2000a)
1	用土A	7.0cm	ｼﾞﾏｰﾙφ10cm	0.78
2	用土A	14.0 cm	ｼﾞﾏｰﾙφ10cm × 3ﾌ	1.71
3	用土A	21.0 cm	保水容器無し	1.96
4	用土B	7.0 cm	保水容器無し	1.25
5	用土B	14.0cm	ｼﾞﾏｰﾙφ10cm	2.63
6	用土B	21.0 cm	ｼﾞﾏｰﾙφ10cm × 3ﾌ	4.15
7	用土C	7.0 cm	ｼﾞﾏｰﾙφ10cm × 3ﾌ	0.49
8	用土C	14.0 cm	保水容器無し	0.26
9	用土C	21.0cm	ｼﾞﾏｰﾙφ10cm	0.51

有効水分量の計算を以下に示す。

試験体 No.1 のワグネルポット内土壌水分量

用土 A (有効水分量 132 l/m^3) 厚み 7cm のワグネルポット(1/2000a)内水分量は
 $7/100 \times 132 = 9.24 \text{ l/m}^2$

$$9.24 \times (15 \times 15 \times 3.14 / 10000) = 0.65 \text{ \%}/P \quad \text{①}$$

シャーレ $\phi 10\text{cm}$ ($h=2\text{cm}$)の水分量

$$5 \times 5 \times 3.14 \times 2 = 157 \Rightarrow 0.157 \text{ \%}/P$$

ただし、三相分布：固相率 15.7 のためシャーレ内の水分は

$$0.157 \times 0.843 = 0.132 \text{ \%}/P \quad \text{②}$$

ワグネルポット内土壌の有効水分量(①+②)

$$0.65 + 0.13 = 0.78 \text{ \%}/P$$

1.3.3 実験結果と考察

2009年11月に製作した試験体を2010年8月まで生育させ、十分生育した芝生の状態で室内に持ち込み水切り試験に供した。

下記の写真は、試験体設置直後と十分な生育を示す7カ月後の状況である。



写真 1.3.2-1 試験体の設置

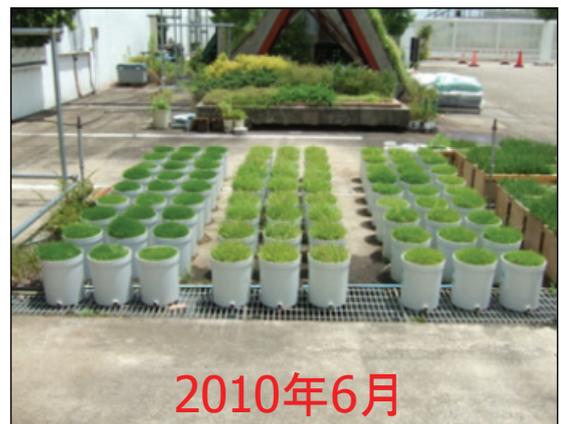
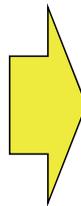
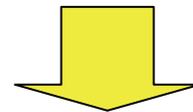


写真 1.3.2-2 試験体の生育状況



1) コウライシバの耐乾燥性

試験体は8月20日の猛暑日に室内に持ち込み、南側に面した全面ガラスの廊下に一列に並べた。試験体の評価は目視による健全性評価と1週間ごとに重量測定と写真撮影を行った。目視による生育評価は4段階で行った。健全4、やや枯れ3、ほぼ枯れ2、枯死1とした。下記の写真1.3.2-4は室内移動後1週間目の生育状況あり、写真1.3.2-5は室内移動後3週間目の生育状況である。



写真 1.3.2-3 室内移動後の状況

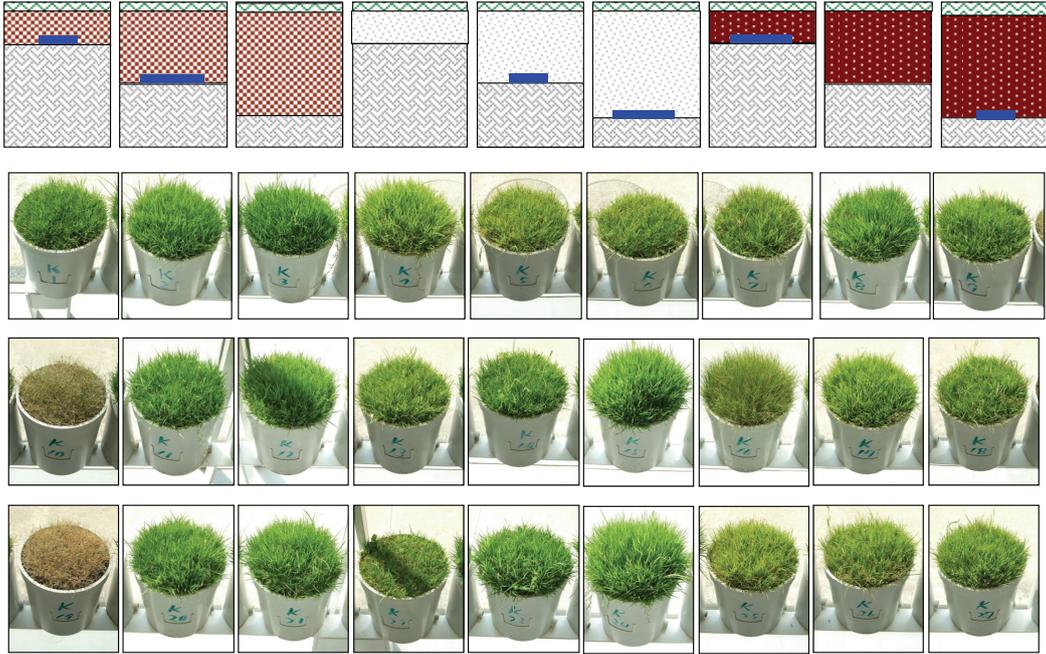


写真 1.3.2-4 室内移動後 1 週間目の状況

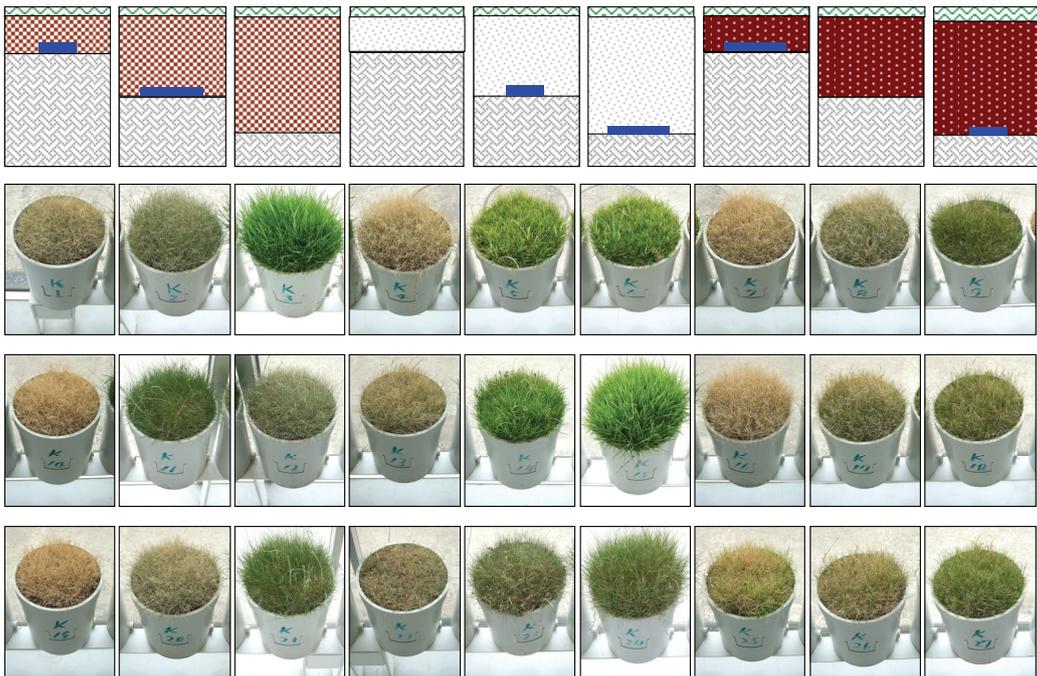


写真 1.3.2-5 室内移動後 3 週間目の状況

2) 乾燥状態の評価

目視による生育評価結果を表 1.3.2-4 に示す。表中の数字は、健全 4、やや枯れ 3、ほぼ枯れ 2、枯死 1 とした。

9 試験区で繰返し 3 回の実験を行っている。表 1.3.2-4 は同一試験区ごとに層別して表している。つまり、試験体 1、試験体 10、試験体 19 は同一条件の試験体である。最も早い段階で枯死したものは、試験体 19 であり、4 日目に枯死している。最も長く健全性が維持されたものは、試験体 6 で 49 日目にようやく葉が萎える状況であった。試験区全体で見ても試験区 1 の条件は枯死が早く現れ、試験区 6 の条件は最も長い期間の健全生育が認められた。

表 1.3.2-4 コウライシバの室内移動後の生育評価結果

コウライシバ*	4日目状態	7日状態	10日状態	14日状態	17日状態	21日状態	25日状態	27日状態	32日状態	35日状態	45日状態	49日状態
試験体NO.	2010.08.23	2010.08.27	2010.08.30	2010.09.04	2010.09.06	2010.09.10	2010.09.14	2010.09.16	2010.09.21	2010.09.24	2010.10.04	2010.10.08
1	4	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1
10	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1
11	4	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1
20	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1
3	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	1	1
12	4	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1
21	4	4	4	4	4	3	2	2	2	1	1	1
4	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1
13	4	4	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1
22	4	4	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1
5	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1
14	4	4	4	4	4	4	2	2	1	1	1	1
23	4	4	4	4	4	2	2	2	1	1	1	1
6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
15	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	1	1
24	4	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1
7	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	4	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2
8	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1
17	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1
26	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1
9	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	1
18	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	1
27	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	1

3) 土壤水分の減少量と芝枯れの状況

下図は実験条件 1 と実験条件 3 の土壤水分の減少と芝生の枯れていく状況を示す。客土量の少ない実験条件 1 では 2 週間程度で土壤水分を使い切り、急速に枯死に至る。一方客土の多い実験条件 3 には水分量が多くあるため、3 週間目までは健全である。

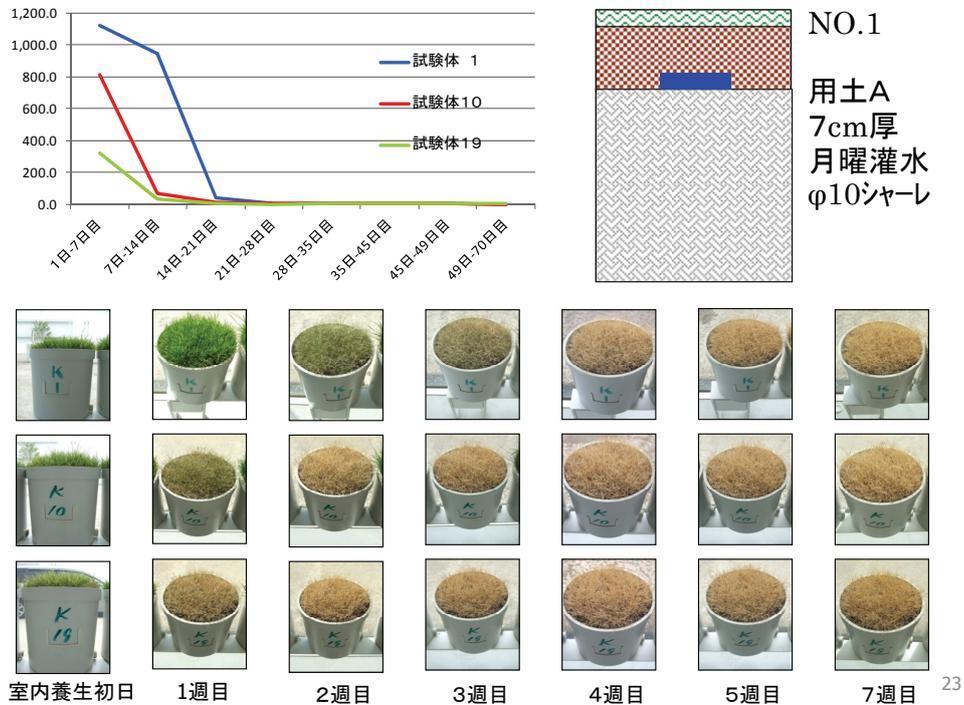


図 1.3.2-1 耐乾燥性試験 (実験条件 No. 1)

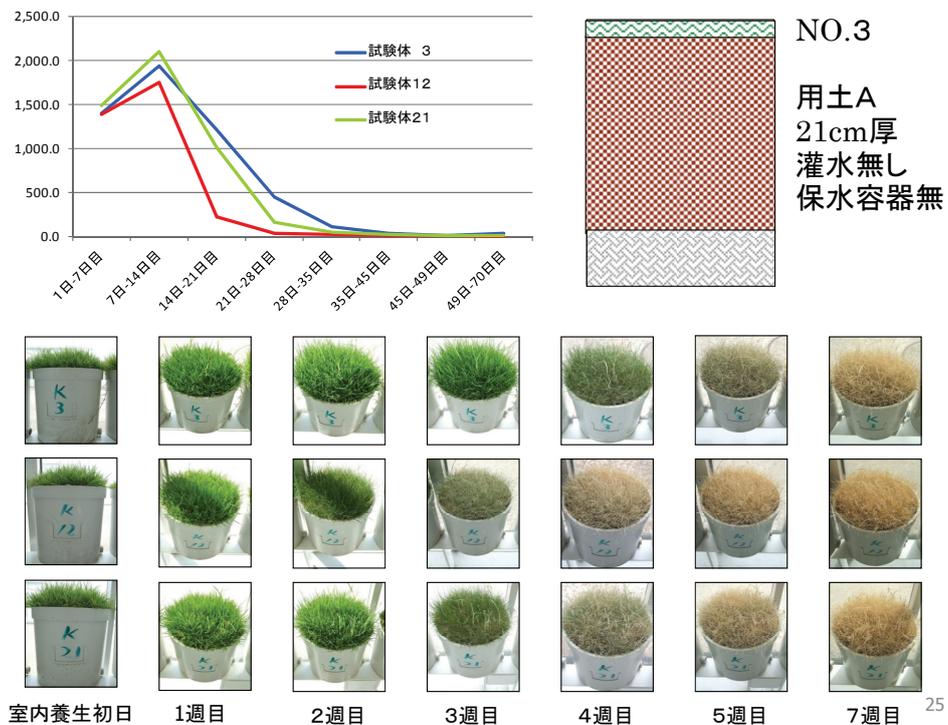


図 1.3.2-2 耐乾燥性試験 (実験条件 No. 3)

4) データの解析

ここでは室内取り入れ後、3週間目の結果を用いた DOE 解析結果を示す。

① コウライシバの分散分析

寄与率は、 $R^2 = 75.89\%$ でこの特性値の動きをよく説明していることがわかる。誤差の標準偏差は、 $\sigma_e = 0.6667$ で、解析に用いた因子の効果を取り除いたときに、特性値が $1\sigma = 0.6667$ のばらつきを持っていることを示す。

回帰統計

重相関係数R	0.8712
寄与率 R^2	0.7589
誤差の標準偏差	0.6667
観測数	27
有効反復数	3

分散比(F値)を見ると、因子の用土種類と用土厚さは有意であるが、灌水頻度と保水容器は有意ではない。室内取り入れ後は無灌水の状態である。この場合灌水頻度の影響は無いものと考えられる。

分散分析表

検定の危険率 $\alpha = 0.20$

項目名称	自由度	平方和	分散	分散比	検定有意 F	判定結果
因子効果	8	25.185	3.148	7.083	1.579	
用土種類	2	2.296	1.148	2.583	1.762	有意である
用土厚さ	2	20.519	10.259	23.083	1.762	有意である
灌水頻度	2	1.407	0.704	1.583	1.762	有意でない
保水容器	2	0.963	0.481	1.083	1.762	有意でない
誤差	18	8.000	0.444			
全体	26	33.185				

② ノシバの分散分析

寄与率は、 $R^2 = 79.97\%$ でこの特性値の動きをよく説明していることがわかる。誤差の標準偏差は、 $\sigma_e = 0.5774$ で、解析に用いた因子の効果を取り除いたときに、特性値が $1\sigma = 0.5774$ ばらつきを持っていることを示す。

回帰統計

重相関係数R	0.8424
寄与率 R ²	0.7097
誤差の標準偏差	0.5774
観測数	27
有効反復数	3

分散比(F値)を見ると、因子の用土種類と用土厚さ及び灌水頻度は有意であるが、保水容器は有意ではない。室内取り入れ後は無灌水の状態である。

分散分析表

項目名称	自由度	平方和	分散	分散比	検定有意 F	判定結果
因子効果	8	14.667	1.833	5.500	1.579	
用土種類	2	2.000	1.000	3.000	1.762	有意である
用土厚さ	2	10.889	5.444	16.333	1.762	有意である
灌水頻度	2	1.556	0.778	2.333	1.762	有意である
保水容器	2	0.222	0.111	0.333	1.762	有意でない
誤差	18	6.000	0.333			
全体	26	20.667				

③ヒメコウライシバ

寄与率は、 $R^2 = 95.47\%$ でこの特性値の動きをよく説明していることがわかる。誤差の標準偏差は、 $\sigma_e = 0.2722$ で、解析に用いた因子の効果を取り除いたときに、特性値が $1\sigma = 0.2722$ のばらつきを持っていることを示す。

回帰統計

重相関係数R	0.9771
寄与率 R ²	0.9547
誤差の標準偏差	0.2722
観測数	27
有効反復数	3

分散比(F 値)を見ると、因子の用土種類と用土厚さ、灌水頻度及び保水容器すべて有意となっている。用土の厚さの効果が大きい。

分散分析表

項目名称	自由度	平方和	分散	分散比	検定有意 F	判定結果
因子効果	8	28.074	3.509	47.375	1.579	
用土種類	2	2.296	1.148	15.500	1.762	有意である
用土厚さ	2	24.519	12.259	165.500	1.762	有意である
灌水頻度	2	0.963	0.481	6.500	1.762	有意である
保水容器	2	0.296	0.148	2.000	1.762	有意である
誤差	18	1.333	0.074			
全体	26	29.407				

5) 水分量確保の工夫

植物の生育には、土壌の種類と土量が最も大きな影響を与える。土の厚さは他の要因に比して生育効果が極めて大きい。では土中に水をためる工夫はどの程度有効なのだろうか。写真 1.3.2-6 に耐乾燥性実験終了後の根系調査結果を示す。試験体内部に設置した水分保持機能を高めるシャーレには、3種類の芝の根がいずれも密に侵入していることが判る。これをみると保水のための工夫として、シャーレは有効に機能していることが確認できる。



写真 1.3.2-6 耐乾燥性実験終了後の根系調査

1.3.4 参考資料

以下に実験期間中の各種データを参考として提示する。



写真 1.3.2-7 室内移動初日の草丈の状況（コウライシバ）

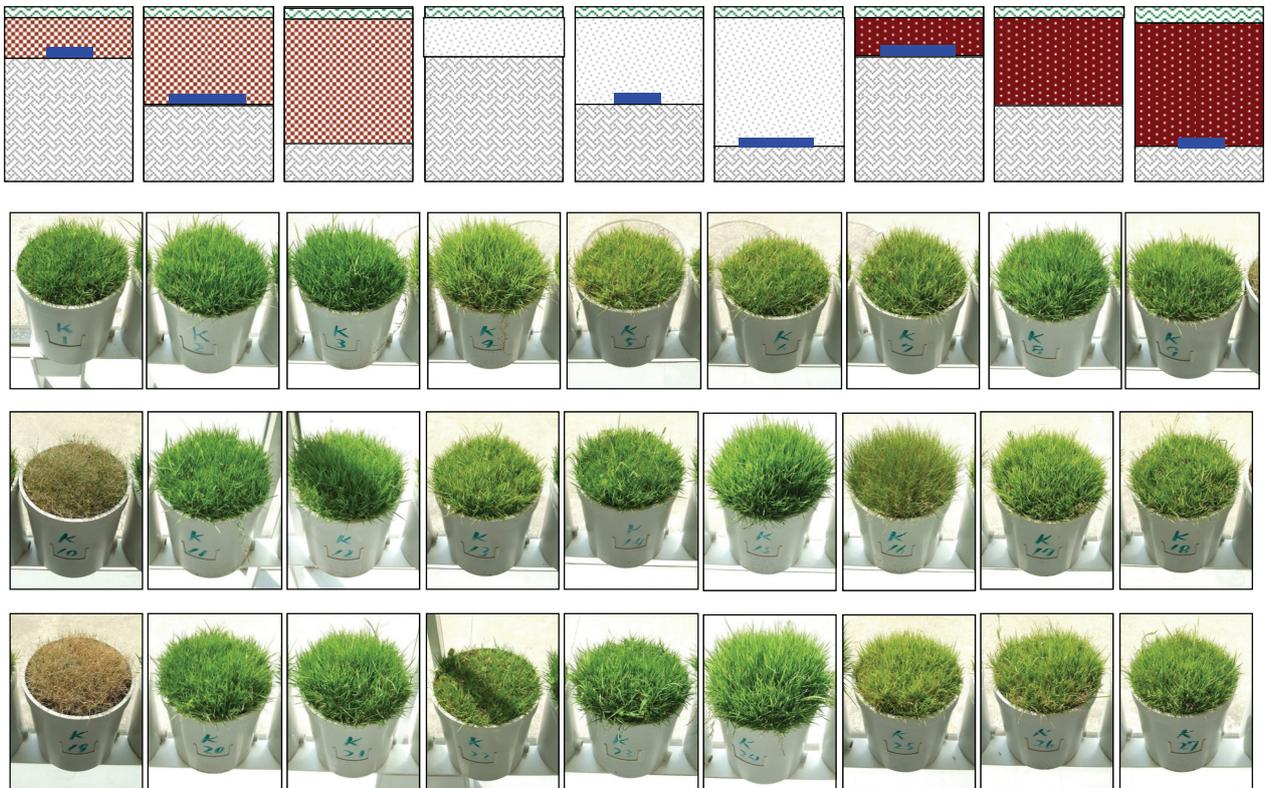


写真 1.3.2-8 室内放置乾燥 1 週間目の状況（コウライシバ）

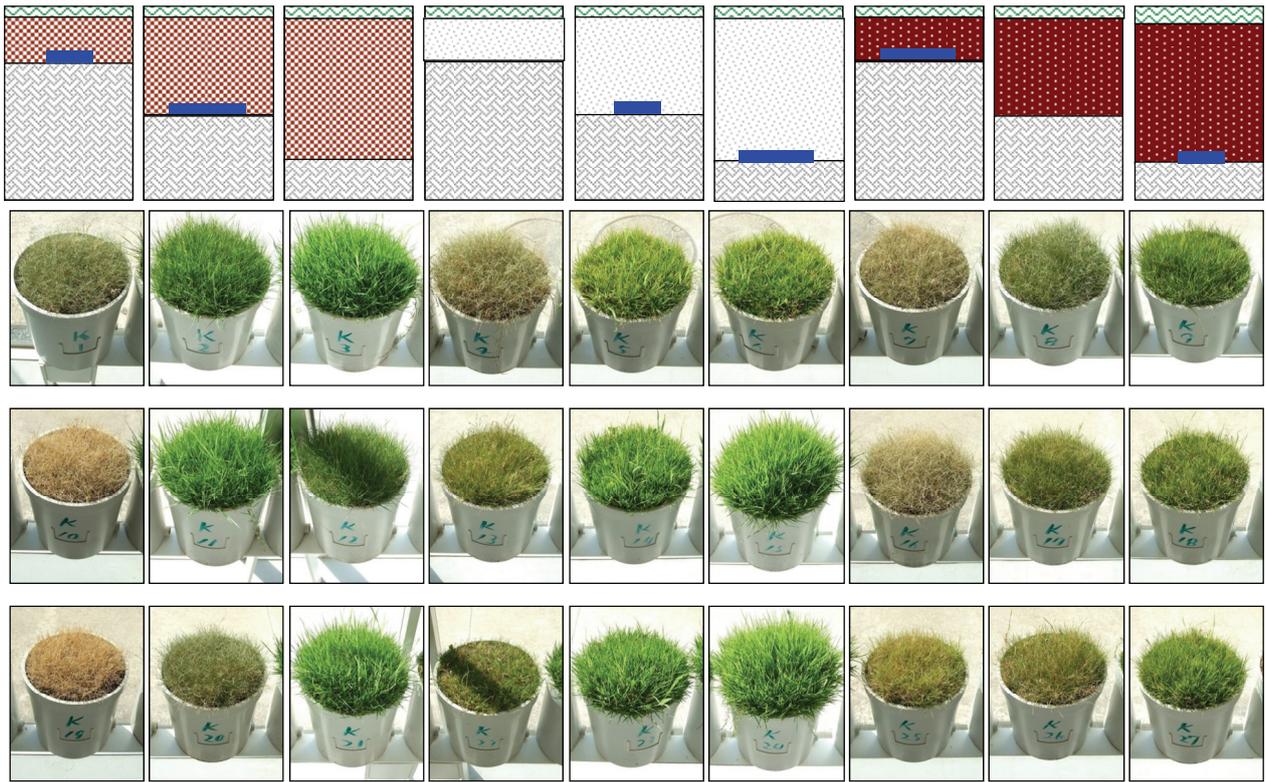


写真 1.3.2-9 室内放置乾燥 2 週間目の状況 (コウライシバ)

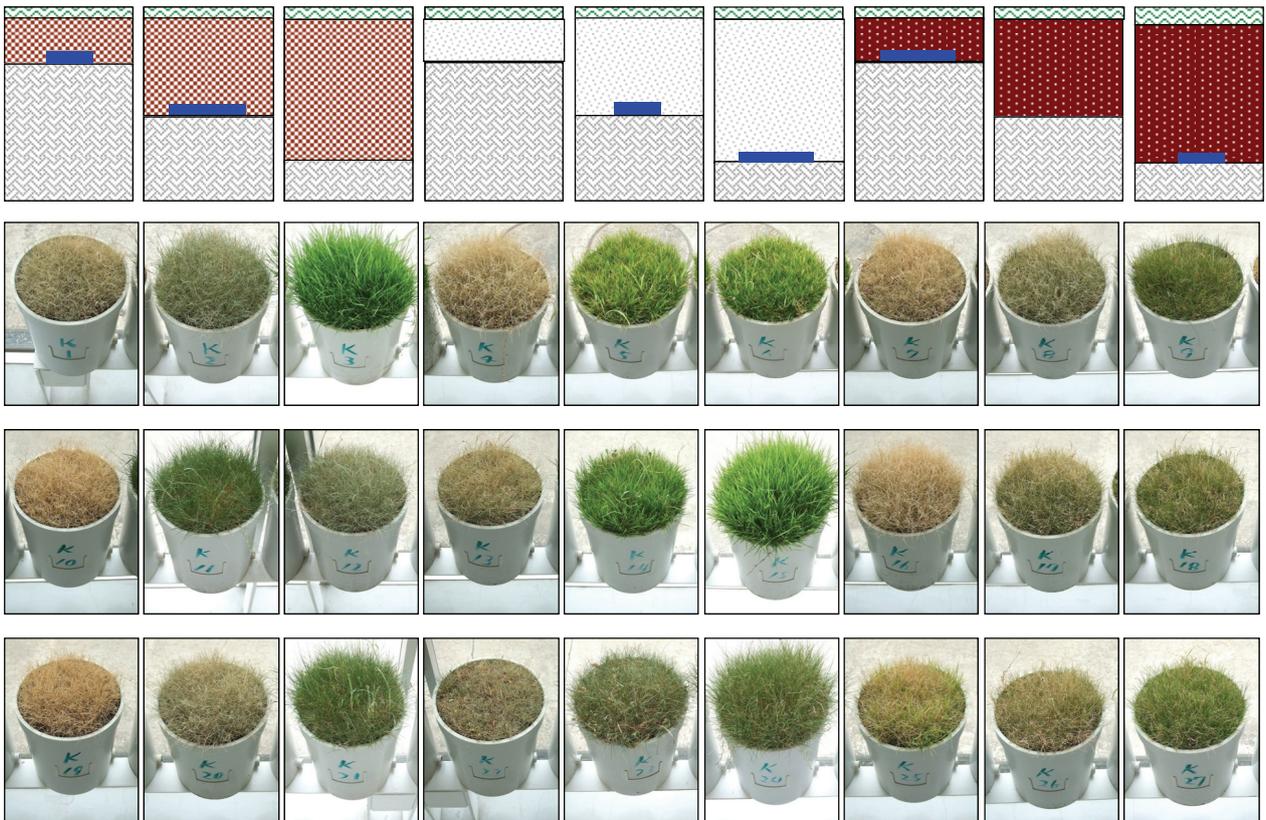
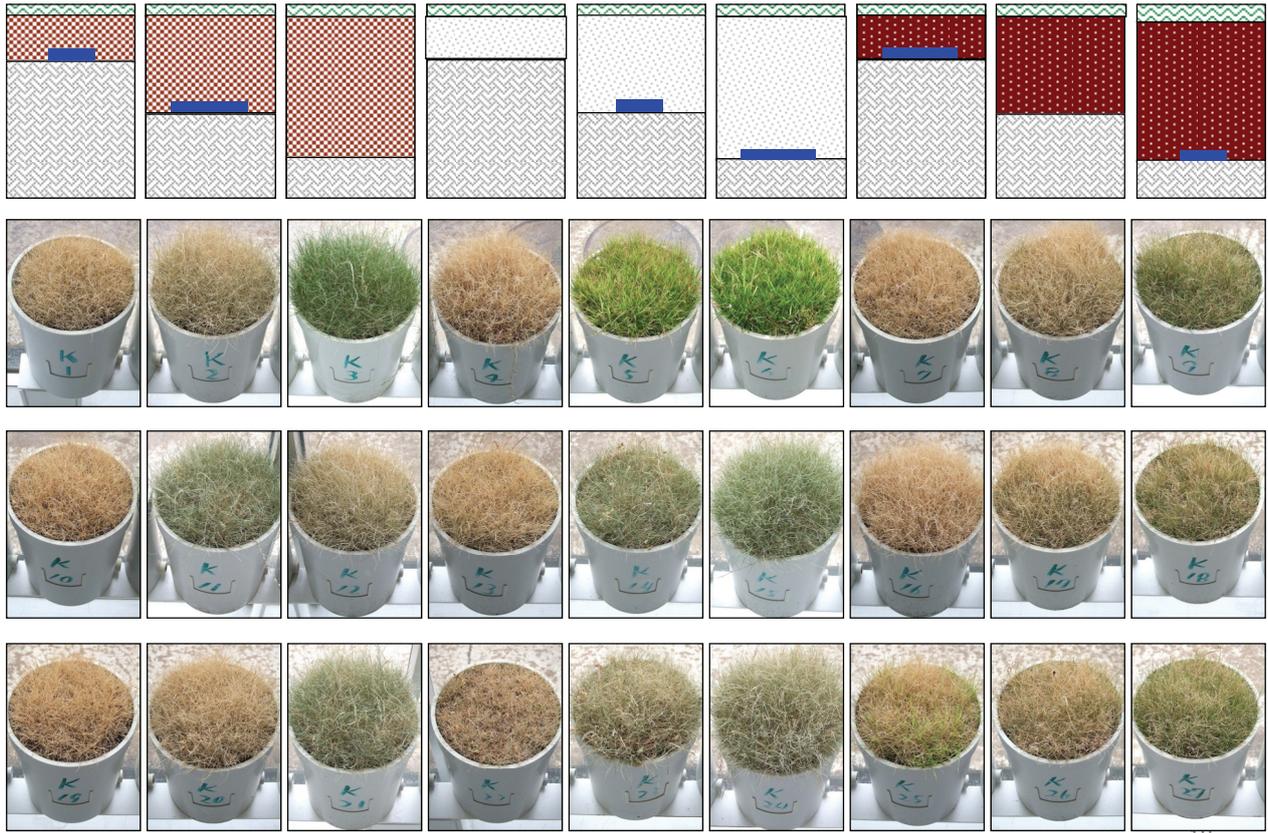


写真 1.3.2-10 室内放置乾燥 3 週間目の状況 (コウライシバ)



18

写真 1.3.2-11 室内放置乾燥 4 週間目の状況（コウライシバ）

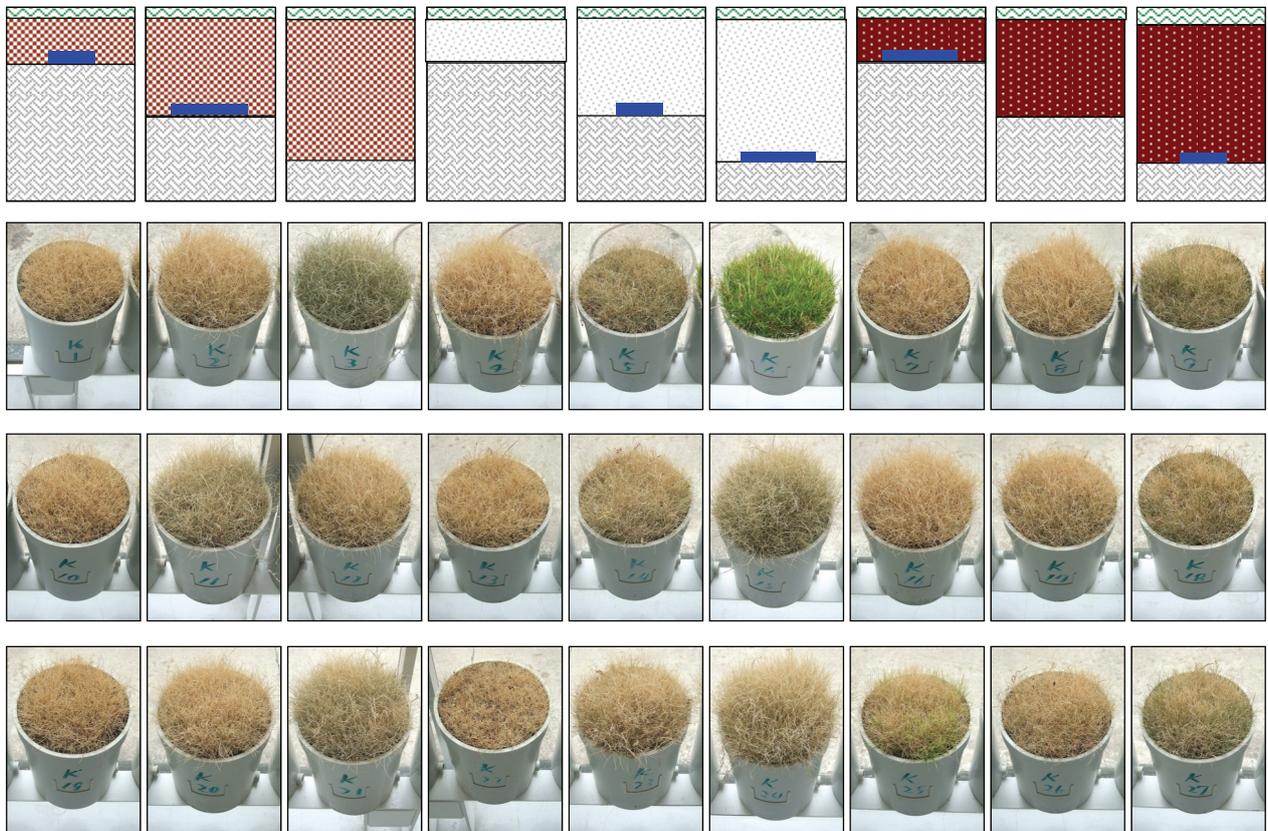


写真 1.3.2-12 室内放置乾燥 5 週間目の状況（コウライシバ）

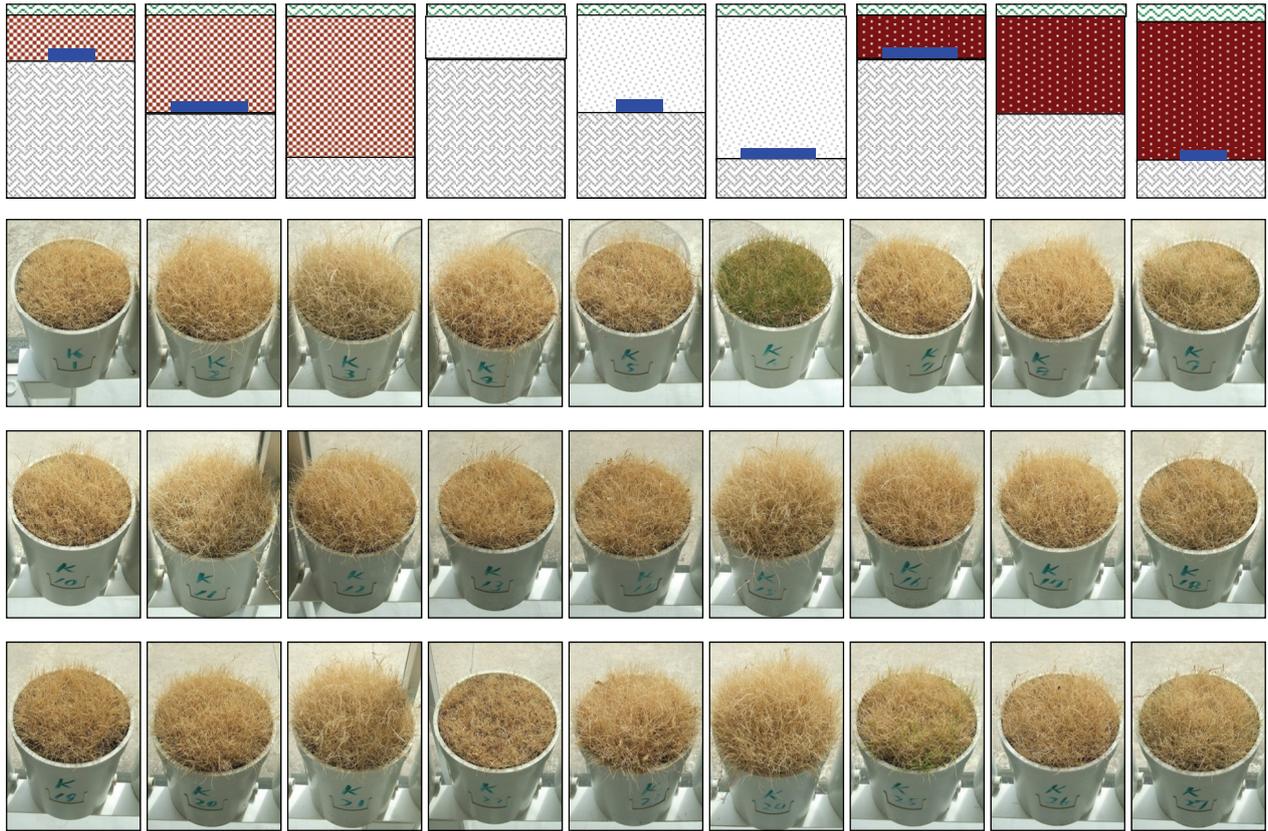
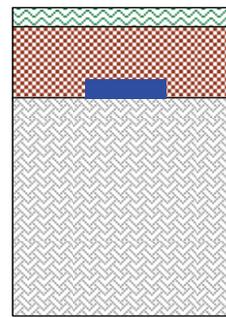
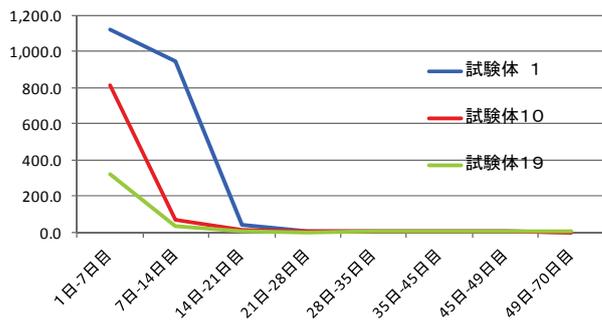


写真 1.3.2-13 室内放置乾燥 7 週間目の状況（コウライシバ）

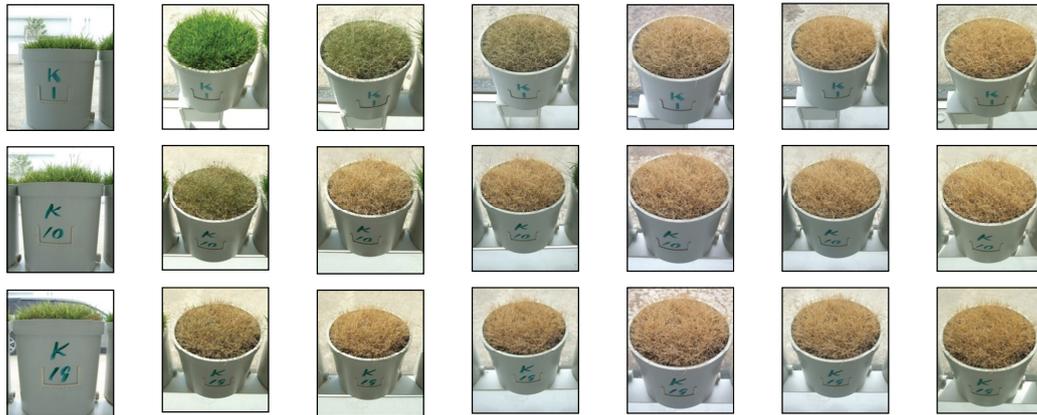
表 1.3.2-5 芝の生育評価結果（コウライシバ）

試行番号	試験区	対照区	4週間後	7週間後	10週間後	13週間後	16週間後	19週間後	22週間後	25週間後	28週間後	31週間後
1	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1
3	4	4	4	4	4	2	2	2	2	1	1	1
4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1
6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	1	1
7	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	4	4	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1
9	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	1	1
10	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	4	4	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1
12	4	4	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1
13	4	4	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1
14	4	4	4	4	4	2	2	2	2	1	1	1
15	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1
17	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	1
18	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1
20	4	4	4	4	3	2	2	2	1	1	1	1
21	4	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1
22	4	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2
23	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1
24	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1
25	4	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2
26	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1
27	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	1

芝の生育評価(4:健全、3:やや枯れ、2:ほぼ枯れ、1:枯死) 21

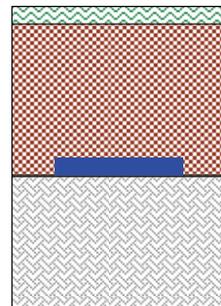
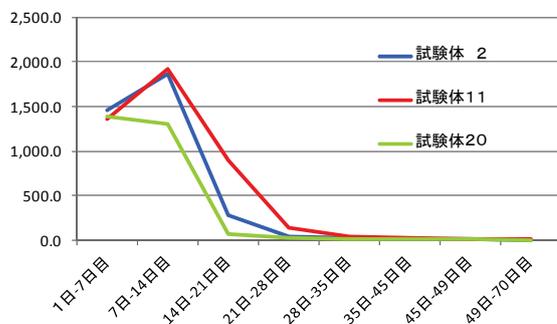


NO.1
用土A
7cm厚
月曜灌水
φ10シャーレ

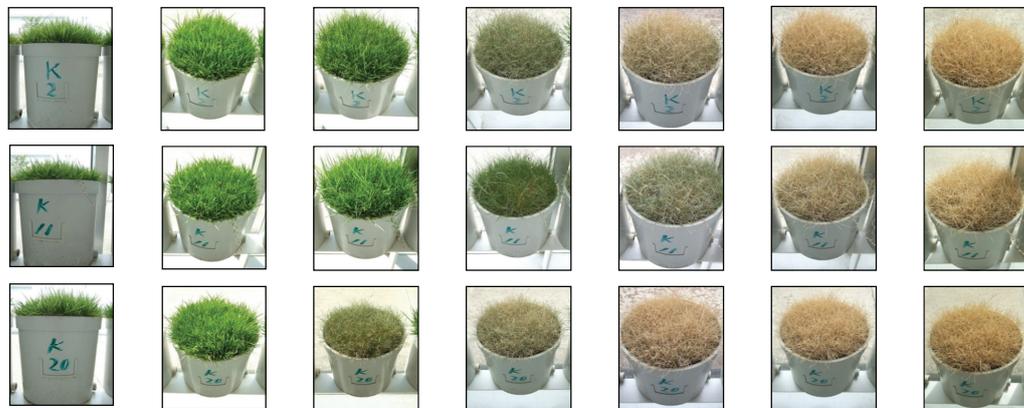


室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目 23

写真 1. 3. 2-14 実験条件 No1. の水分減少量 (コウライシバ)

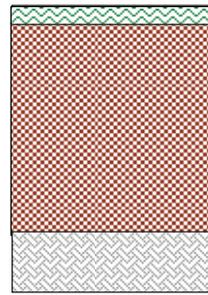
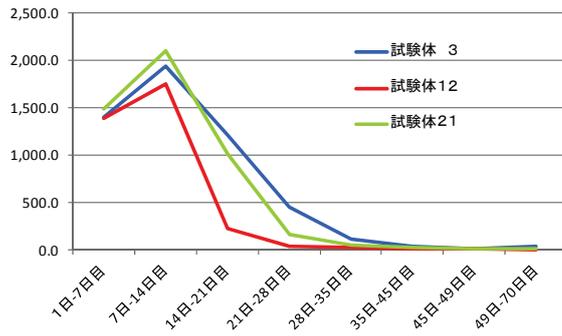


NO.2
用土A
14cm厚
月曜日(隔週)
φ15シャーレ



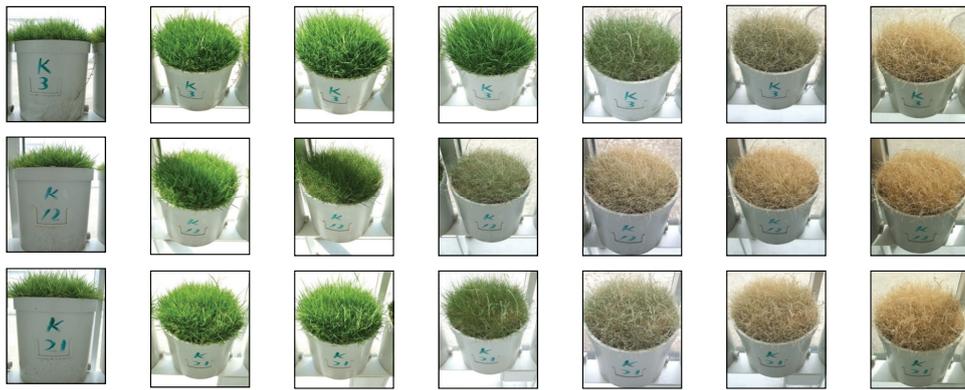
室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目 24

写真 1. 3. 2-15 実験条件 No2. の水分減少量 (コウライシバ)



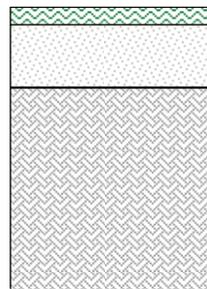
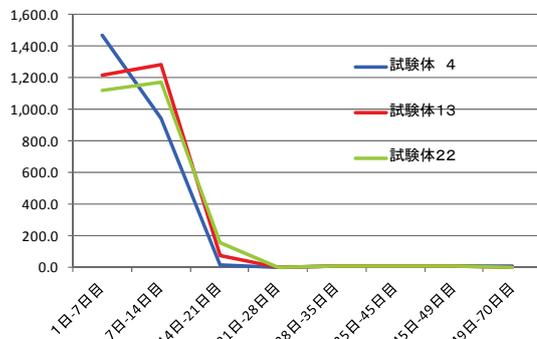
NO.3

用土A
21cm厚
灌水無し
保水容器無



室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目 25

写真 1. 3. 2-16 実験条件 No3. の水分減少量 (コウライシバ)



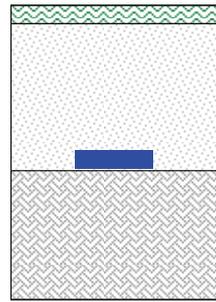
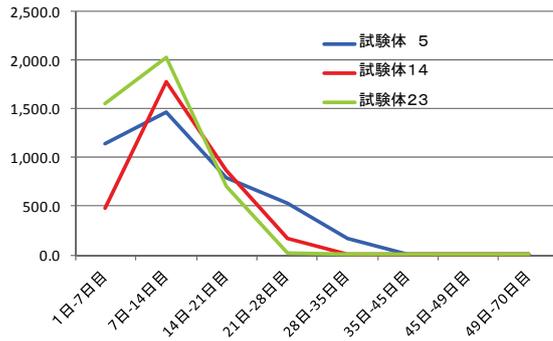
NO.4

用土B
7cm厚
月曜日(隔週)
保水容器無



室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目 26

写真 1. 3. 2-17 実験条件 No4. の水分減少量 (コウライシバ)



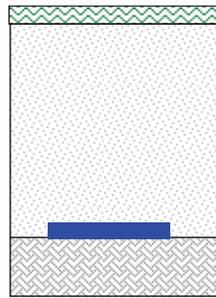
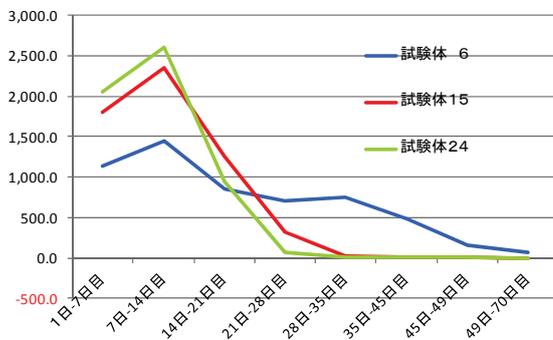
NO.5

用土B
14cm厚
灌水無し
φ10シャーレ



室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目 ²⁷

写真 1. 3. 2-18 実験条件 No5. の水分減少量 (コウライシバ)



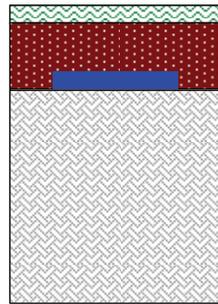
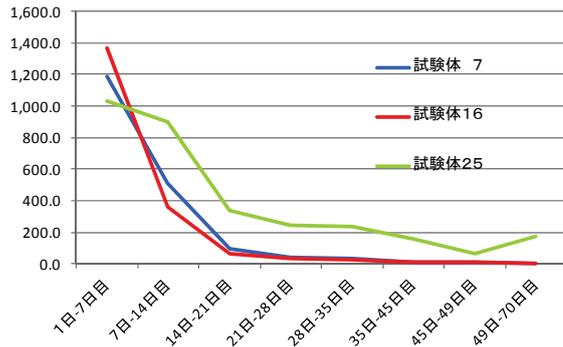
NO.6

用土B
21cm厚
月曜灌水
φ15シャーレ



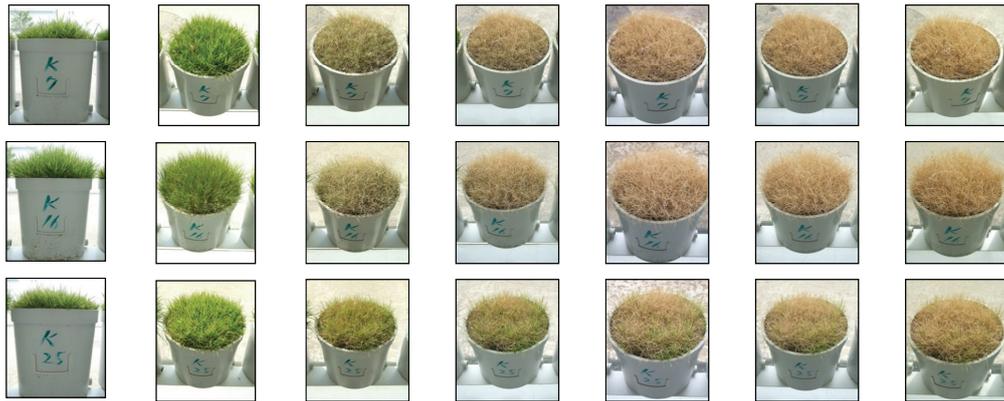
室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目

写真 1. 3. 2-19 実験条件 No6. の水分減少量 (コウライシバ)



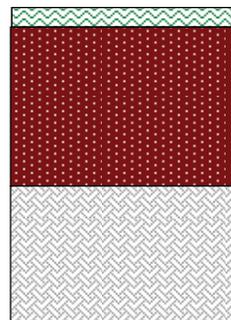
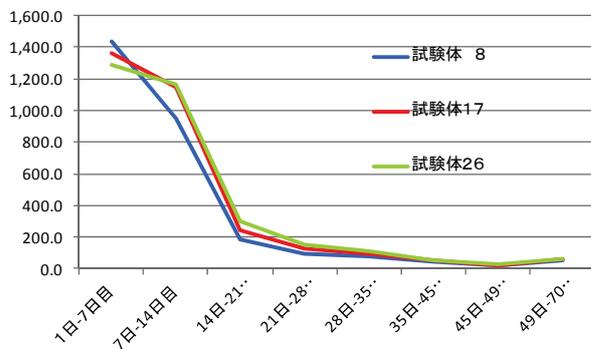
NO.7

用土C
7cm厚
灌水無し
φ15シャーレ



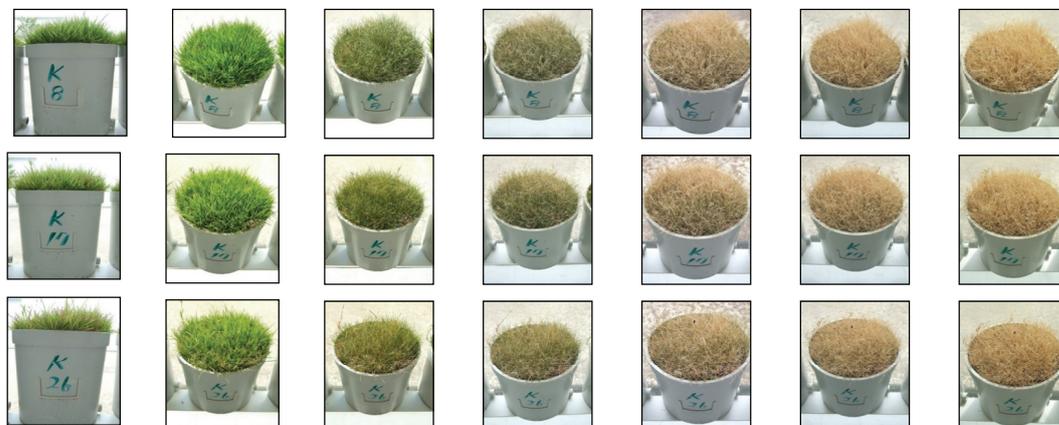
室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目 ²⁹

写真 1. 3. 2-20 実験条件 No7. の水分減少量 (コウライシバ)



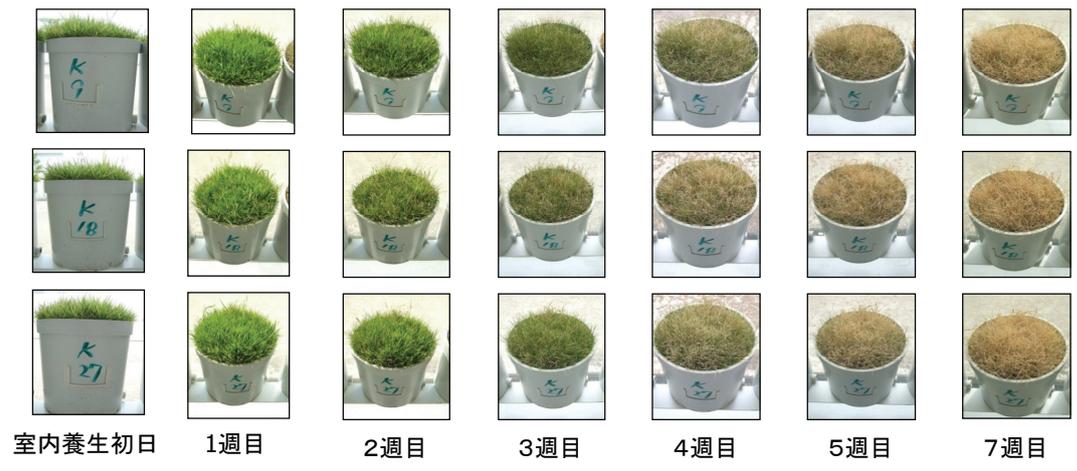
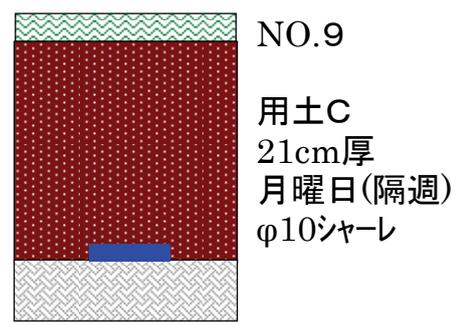
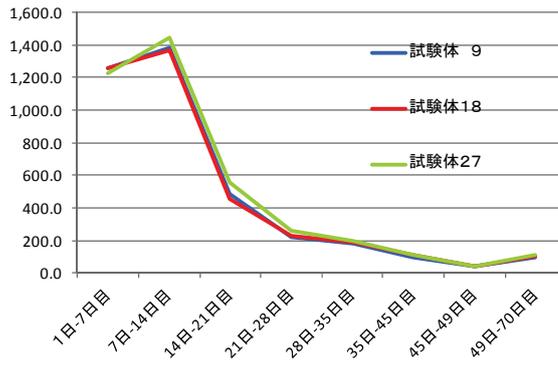
NO.8

用土C
14cm厚
月曜灌水
保水容器無



室内養生初日 1週目 2週目 3週目 4週目 5週目 7週目 ³⁰

写真 1. 3. 2-21 実験条件 No8. の水分減少量 (コウライシバ)



31

写真 1. 3. 2-22 実験条件 No9. の水分減少量 (コウライシバ)

コウライシバ

ノシバ

ヒメコウライシバ

回帰統計		回帰統計		回帰統計	
重相関係数R	0. 6068	重相関係数R	0. 9194	重相関係数R	0. 7347
寄与率 R ²	0. 3682	寄与率 R ²	0. 8453	寄与率 R ²	0. 5398
誤差の標準偏差	22. 8246	誤差の標準偏差	13. 8203	誤差の標準偏差	21. 1555
観測数	27	観測数	27	観測数	27
有効反復数	3	有効反復数	3	有効反復数	3



写真 1. 3. 2-23 芝草 3 種類の草丈による生育要因効果の把握

1.4 セダム緑化の生育主効果の把握に関する実験

1.4.1 実験概要

多肉植物を用いた薄層緑化工法は、さまざまな適用対象・部位において、さまざまな生育状態を示している。そこで、セダムが健全に生育するための主な要因とその効果の大きさを見出す実験を行い、実験結果を路面緑化工法に役立てることとする。

実験に用いる植物は、メキシコマンネングサとした。

(1) 試験体

ワグネルポット(1/2000a)にセダム苗を植栽して生育させる。(右図参照)

(2) 調査項目

植被率を5月、8月、10月、2月に調査した。

(3) 実験内容

薄層の客土で生育するセダム類の生育要因効果を明らかにする実験を行った。解析の特性値は生育した苗の植栽投影面積(cm^2)とした。

実験に用いた因子と水準は以下のとおりである。要因として用土の種類、用土の厚さ、灌水頻度、維持管理の4要因を取り上げた。適用する直交表は5つの要因が各4水準で割付可能な $L_{16}(4^5)$ 実験に用いた。

A用土種類：A1有機無機混合土、A2火山砂利、A3機無機混合人工土壌、A4黒土

B用土厚さ：B1 2.5cm、B2 5.0cm、B3 7.5cm、B4 10.0cm

C灌水頻度：C1 5日に1度 C2 10日に1度 C3 15日に1度 C4 灌水無し

D維持管理：D1 無し D2刈込 D3施肥 D4殺菌・殺虫

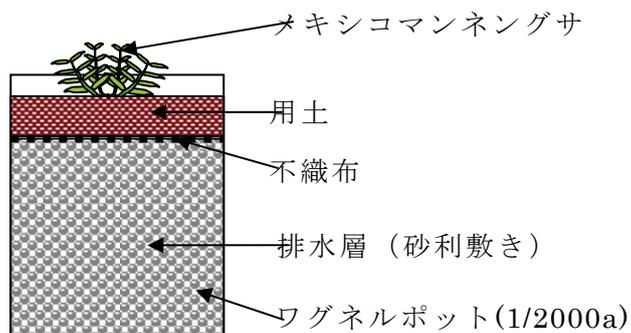
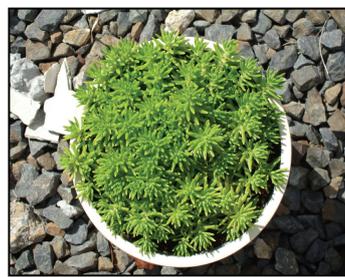
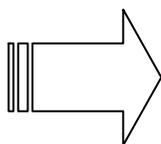


図 1.4.1-1 試験体イメージ



6月28日(植付け) 面積 2.7cm^2



9月29日(生育日数91日) 面積 244.0cm^2

図 1.4.1-2 メキシコマンネングサの生育状況

(4) 試験区の状況

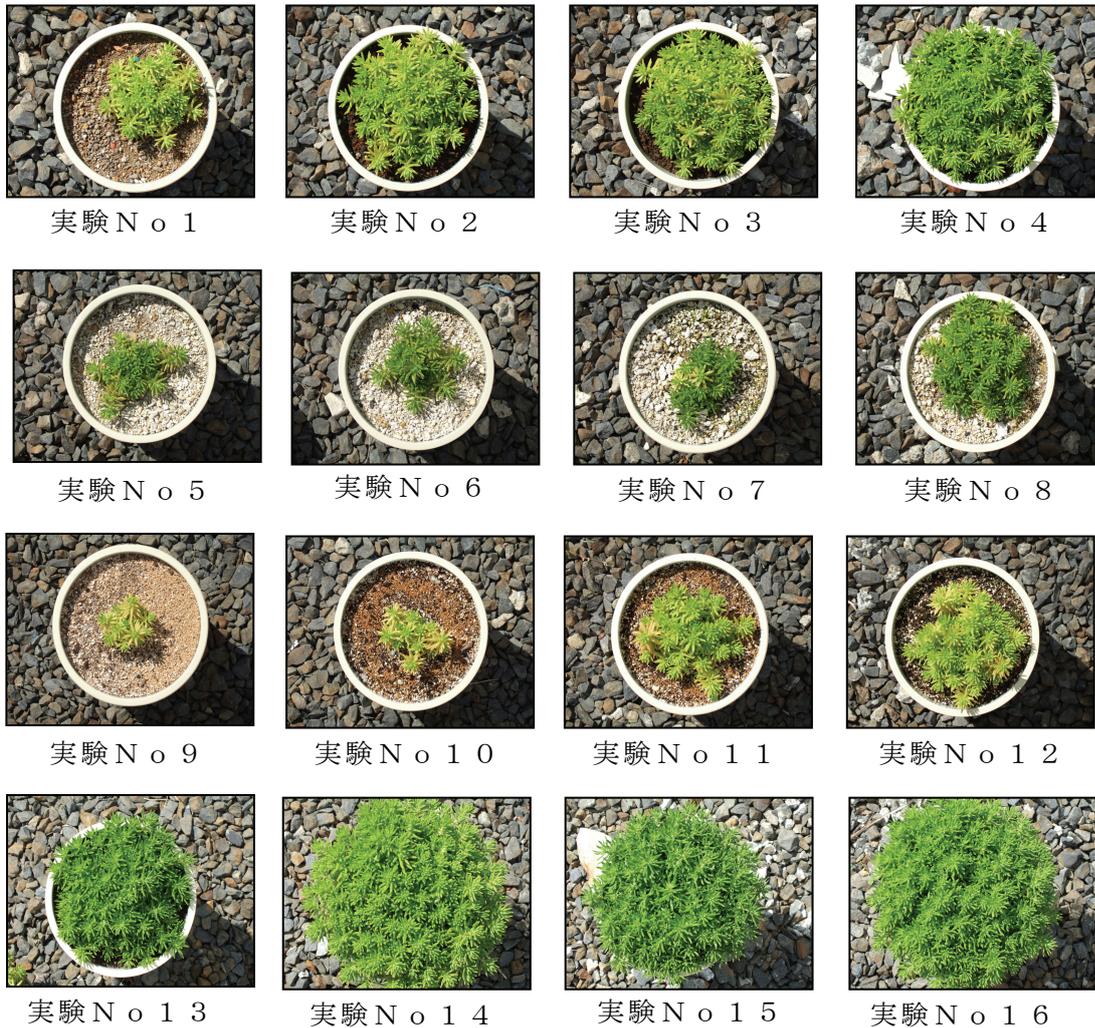


図 1.4.1-3 定植から3カ月経過のセダムの生育事例

1.4.2 実験結果

ここでは3ヶ月間の生育後の結果（9月末データ）を用いた DOE 解析結果を示す。

表 1.4.2-1 回帰統計

重相関係数R	0.9648
寄与率R ²	0.9308
誤差の標準偏差	41.9224
観測数	32
有効反復数	2

寄与率は、 $R^2 = 93.08\%$ でこの特性値の動きを非常によく説明していることがわかる。誤差の標準偏差は、 $\sigma_e = 41.9224$ で、解析に用いた因子の効果を取り除いたときに、特性値が $1\sigma = 41.9224$ のばらつきを持っていることを示す。

表 1.4.2-2 全体分散分析表

	平方和	自由度	分散	分散比	検定有意 F
因子効果	378262.595	15	25217.506	14.349	1.541
誤差	28119.745	16	1757.484		$\alpha = 0.20$
合計	406382.340	31			

全体の評価として分散分析表を見ると、観測されたF値が14.349で、検定基準値1.541($\alpha = 0.20$)より大きいので、今回取り上げた因子は特性値の動きをよく説明していることがわかる。

表 1.4.2-3 因子ごとの分散分析表

項目名称	自由度	平方和	分散	分散比	検定有意 F	判定結果
因子効果	15	378262.595	25217.506	14.349	1.541	
用土種類	3	288010.098	96003.366	54.625	1.736	有意である
用土厚さ	3	62056.593	20685.531	11.770	1.736	有意である
誤差	3	5731.191	1910.397	1.087	1.736	有意でない
灌水頻度	3	8873.883	2957.961	1.683	1.736	有意でない
維持管理	3	13590.828	4530.276	2.578	1.736	有意である
誤差	16	28119.745	1757.484			
全体	31	406382.340				

分散比(F値)を見ると、因子の用土種類と用土厚さ及び維持管理は有意であるが、灌水頻度は有意ではない。維持管理は実施していないので、この場合他列の影響が出ているものと考えられる

1.4.3 最適水準と現行条件の比較

ここで現在実施している方法と最適な組み合わせでの生育効果の比較を行ってみた。メキシコマンネングサの生育について、土壌の厚みと土の種類が生育に重要な影響を与えており、現行条件にくらべて最適条件の組み合わせを選ぶと4倍の効果があることが判る。

表 1.4.3-1 求められた水準ごとの値と t 値および平方和・分散と検定

因子名	水準	基準係数	t 値	対比	平方和	分散	F 値	数	F(0.20)	判定
定数項	β_0	69.850	2.36	143.55						
用土種類	1	0.000	0.00	-11.09	288010.098	96003.366	54.625	8	1.736	有意である
用土種類	2	-61.288	-2.92	-72.38				8		
用土種類	3	-63.700	-3.04	-74.79				8		
用土種類	4	169.350	8.08	158.26				8		
用土厚さ	1	-0.000	-0.00	-68.04	62056.593	20685.531	11.770	8	1.736	有意である
用土厚さ	2	75.988	3.63	7.95				8		
用土厚さ	3	73.000	3.48	4.96				8		
用土厚さ	4	123.175	5.88	55.13				8		
誤差	1	0.000	0.00	-2.04	5731.191	1910.397	1.087	8	1.736	有意でない
誤差	2	3.088	0.15	1.05				8		
誤差	3	21.388	1.02	19.35				8		
誤差	4	-16.313	-0.78	-18.35				8		
灌水頻度	1	0.000	0.00	20.48	8873.883	2957.961	1.683	8	1.736	有意でない
灌水頻度	2	-45.875	-2.19	-25.39				8		
灌水頻度	3	-13.975	-0.67	6.51				8		
灌水頻度	4	-22.088	-1.05	-1.60				8		
維持管理	1	0.000	0.00	-13.02	13590.828	4530.276	2.578	8	1.736	有意である
維持管理	2	21.100	1.01	8.08				8		
維持管理	3	-11.463	-0.55	-24.48				8		
維持管理	4	42.425	2.02	29.41				8		

最適水準： $(A_4B_4C_1D_4) = 143.55 + 158.26 + 55.13 + 20.48 + 29.41 = 406.83$ (推定値)

用土種類：黒土

用土厚さ：10.0cm

灌水頻度：5日毎

維持管理：殺菌・殺虫

現行条件： $(A_1B_1C_4D_3) = 143.55 - 11.09 - 68.04 - 1.60 + 29.41 = 92.23$ (推定値)

用土種類：有機無機混合土

用土厚さ：2.5cm

灌水頻度：灌水無し

維持管理：適宜実施(施肥)

1.5 路面緑化の景観評価

1.5.1 研究の視点

名古屋市をケーススタディとして調査研究を試みている伊藤（2011）（参考文献参照）の提案によれば、路面緑化に関する景観環境改善効果の研究課題には、次のようなものがあるという。都市生活者（利用者）による知覚温度の違いの把握、行動形態の違い、緑化駐車場などの印象調査、維持管理に関する課題等である。その成果の一つとして、路面緑化された駐車場に対する利用者や歩行者による印象は、無機質な印象が美しい景観へと変化する、心理的、感覚的に癒される、街全体が美しくなるというものであったと報告している。これら自体は新たな知見とは言えないが、路面や空地の緑化は、利用者や歩行者が身近に体感、体験でき、また視認性も高く、施工費も安価なので、屋上緑化や壁面緑化とは異なる意味をもつ都市緑化の一形態であるといえよう。

市街地内に存在する、駐車場、軌道敷地、空闲地などを抽出し、それぞれの条件にふさわしい技術を用いて緑化することで、こうした緑空間が集積してゆけば、都市内の緑としての意味がさらに高まることが期待できる。そのためには、路面緑化が都市生活者や利用者により都市環境改善装置、市街地景観の快適性向上に資する装置であるということを認知してもらうような工夫が必要である。それが景観評価に関する課題であろう。いくつかの事例をもとに、この点を考察したい。

1.5.2 事例収集および考察

1) ヴァリン通り、路面電車軌道敷緑化（パリ市）

パリ市の外周環状道路であった往復6車線の広幅員道路の中央に低床式路面電車を新たに設置したものである。レール以外の部分はすべてケンタッキーブルーグラスにより緑化された。施工後2年目の芝生の状態は良好で、写真は8月であるがブルーグラス独特の鮮やかな緑が灰色の道路面を修景している。軌道敷内には交差点部分を除き自動車は進入できないことも芝の成育を良好にしている要因であろう。

広幅員道路であればこそ可能になった電車と自動車のすみ分けである。道路両側の濃緑色の樹木群、アースカラーの建築ファサード、灰色の車道舗装と芝の鮮緑色の対比が視覚的な癒し効果を高めた好例である。



写真 1.5.2-1 ヴァリン通路面電車軌道敷芝生緑化

2) 広島電鉄の軌道敷緑化（広島市）

日本でも路面電車の復活の兆しがあるのは、少子高齢社会に適合する市街地の交通手段だからであろう。そしてその多くが軌道敷地内を緑化しようという計画をもっている。広島の場合は、自動車交通の多くない、すなわち軌道敷地内から車を排除してもそれほど支障のない区間だけに試みられた緑化である。レール両側に白色のコンクリート補助帯が見えるのは、電車の車輪部分からのオイルによる芝草生育阻害を避けるため、その部分だけは芝を張らなかったということであるが、その結果、緑化面積が縮小され緑化の景観向上効果が薄れたのが悔やまれる。電車からの廃熱、オイル漏れなど、芝草生育への阻害要因をどう克服するかが課題である。景観的にはまだ検討の余地があるが、私企業の試みとしては高く評価できる。軌道敷緑化については行政からの支援が求められる。



写真 1.5.2-2 路面電車軌道敷芝生緑化

3) ジヴェルニー村緑化駐車場（フランス）

画家モネの暮らした村として有名になった観光地である。観光客も多く駐車場が必要になったが、村の雰囲気を変えないようにと、緑化駐車場とした。芝生保護資材は使用しおらず、芝生もいわゆるメドーターフ状態で、雑草まじりの芝草地を刈り込んだものである。対面の駐車スペースの中央部分が高くなっており、排水は後ろの砂利敷の通路部分に流れるような勾配となっている。観光客の多い休日でも一か所あたり一日2時間、2回の駐車が発生するという頻度である。頭から進入するという駐車方法が一般に浸透しているせい、それと異なる反対向きの車は見えない。この方法は、車の出入時にハンドルの大きな切り返しをする必要がないため、芝生への損傷あるいはインパクトが小さい。

4) 同

中央にリンゴの木が列植されているデザインは、いかにもジヴェルニー村の景観そしてモネの好みそうな景観と言える。地域や歴史とのつながりを感じさせる植栽デザインは、植物の管理（緑の手入れ）を粗放的なレベルに落としても、落ち着いた景観を醸し出してくれる。樹木による緑陰による日照不足が発生する恐れがないのか、また駐車によるインパクトは一日トータルで4時間であれば、芝生を損傷させるようなレベルに達しないことをこの例は示している。



写真 1.5.2-3 ジヴェルニー村緑化駐車場



写真 1.5.2-4 リンゴ樹の緑陰提供

5) 高速道路のパーキング（日本）

小規模なパーキングにおける緑化駐車場である。車の出入りが頻繁で時間をかけてゆっくり駐車できないためか、頭から進入する車が多い。そのため切り返しが高頻度ではなく、高速道路のパーキングとしては芝生の状態は致命的なレベルには達していない。



写真 1.5.2-5 芝生の駐車場 1

6) 同

芝草の草高が低いのは、芝草の種類がコウライシバであることによる。そのため刈り込みの頻度は低くて良いが、タイヤによる擦り切れが目立つ。芝生の草種、管理頻度、刈高は、緑化景観の良否に影響を与える。



写真 1.5.2-6 芝生の駐車場 2

7) 芝生保護ブロックの効果（熊本市）

芝生保護ブロックとして開発されたこれまでの製品で有効なものは少ない。ブロックが積載荷重に耐えられず、沈んでしまうか、荷重が部分的に異なることによりブロックが傾いてしまうので、雨天時にその低くなった部分に水と土が集まり、芝が埋まってしまう、そうした条件をきらう芝草は生育できなくなるからである。芝生保護ブロックの課題は、荷重がかかってもめり込まないこと、またある種の力がかかってもめくれたり、沈んだりしないような対策が施されているかである。この事例は、芝生の成長は旺盛とは言えず、葉色も落ちて土の茶色が目立っているが、駐車場部分以外の路面舗装の色と、ブロックの色と、芝の色がたまたま同系色であったため、よくない状態の芝生が目立たない。またブロック面と芝生面の面積比がおおむね1：1であることが、目立たなくしている要因の一つでもある。



写真 1.5.2-7 芝生保護ブロックの駐車場 1

写真 1.5.2-8 芝生の損傷が目立たない

8) 沖縄海洋博記念公園立体駐車場の屋上面

緑化されてほぼ半年の状態である。これまでのところ日本では最大規模の屋上緑化駐車場といえる。床土を改良した基盤と、保護ブロックを埋め込んだ基盤の二つからなり、後者は走行部分に用いられている。この部分のコンクリートと芝生の表面積比は1：1である。視覚的には遠距離ほど緑が多く見えるのは、人間の視知覚特性によるものであり、緑色面積を測定した結果をグラフに示したものは、距離にかかわらず面積比が1：1であることを示している。遠距離ほど緑色に見えるという特性を、平面緑化のデザインに導入することを検討する必要がある、その結果をもとに、保護ブロックの形状や配置密度をデザインすることが望ましい。



写真 1.5.2-9 立体駐車場屋上の緑化駐車場

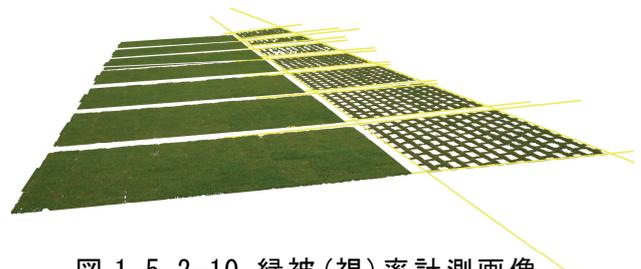


図 1.5.2-10 緑被(視)率計測画像

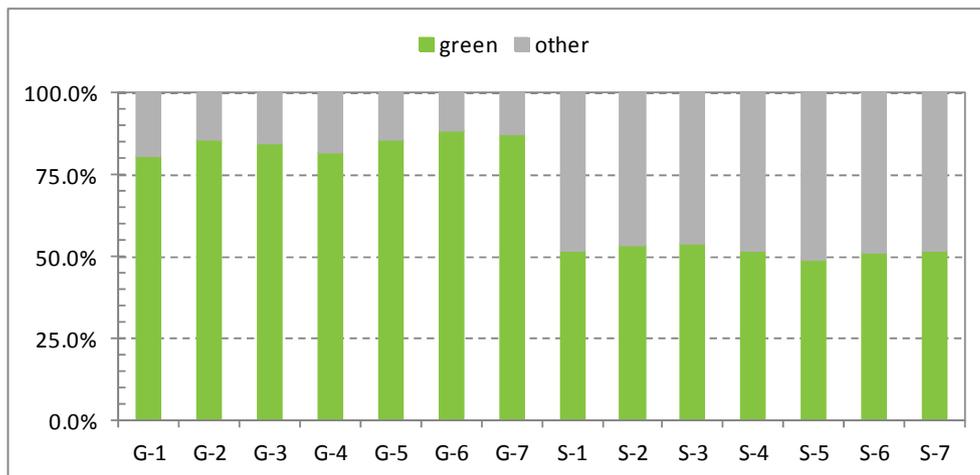


図 1.5.2-2 駐車スペース各ブロックの緑被率

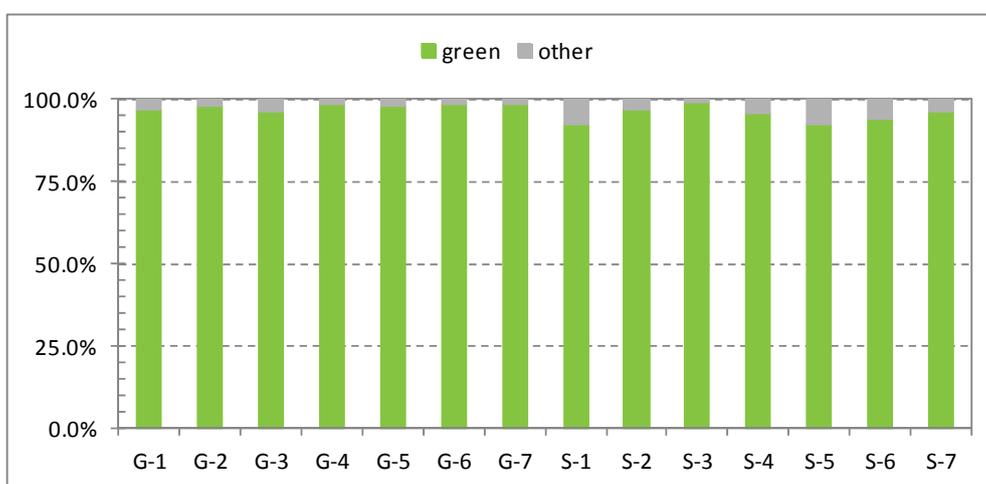


図 1.5.2-3 駐車スペース各ブロックの緑視率

9) 市街地の路面緑化（六本木）

仮想的に緑化した場合のフォトモンタージュであり、某雑誌社の企画である。建物壁面色、街路樹の葉色、路面の色彩、これらの調和がとれていないと、緑化をしても、癒し、潤いなどの効果が発揮できないことが示されている。市街地の路面緑化は色彩デザインが重要であることを示している。



図 1.5.2-4 六本木の緑化

10) 市街地の路面緑化（秋葉原）

同じモンタージュである。建物壁面のテクスチャ、広告塔や看板の色彩、そして路面の緑が調和していないと、美しく見えない。美しさは多様性の統一であり、さまざまな壁面テクスチャ、広告や看板の色などを何でそして何色で統一すればよいかの議論に基づいて、路面緑化のあり方を検討する必要があることを示唆している。



図 1.5.2-5 秋葉原の芝生化

参考文献

伊藤孝紀(2011)：緑化路面駐車場からみる都市環境デザイン．都市計画 289.53-56.

第2章 路面緑化システムの耐久性評価

2.1 路面緑化システムのアイデアと試験施工

昨年度実施した、路面緑化の設計概念検討で得られた具体策を基に、路面緑化システムのアイデアを抽出し、システム構成を作成した。また、得られたシステム構成での路面としての強度や緑化の可能性について確認するため、試験施工を実施した。

2.1.1 路面緑化システムの検討

昨年の検討で得られた具体策に対し構成案を検討した。

表 2.1.1-1 具体策に対する構成案

	具体策		構成案
	項目	内容	
1	芝生の保護構造	歩きやすく、車が走行しても壊れない芝生保護構造としてメッシュ状に覆うのがよい	既存のプラスチック製保護材を上下逆さに使用
2	地中の水分環境	異なる層で構成されていても、根の生育する地中環境の水分量は層ごとにバラツキのない方がよい	根の育成環境を確保できる形状
3	ポーラスコンクリートの工夫	多孔質な粗骨材＋繊維混入セメントによる保水性ポーラスコンクリートが良い	多孔質粗骨材の保水性を利用したコンクリート
4	植物の選定	灌水不要なコケ植物を用いることで路面緑化の無灌水仕様が出る	コケおよびセダムを利用

以上、具体策より得られた4つの構成案から、以下に示す5つのシステム構成を作成した。

2.1.2 システム構成

1) システム構成 1 (コンクリート版+芝生保護材 3段)

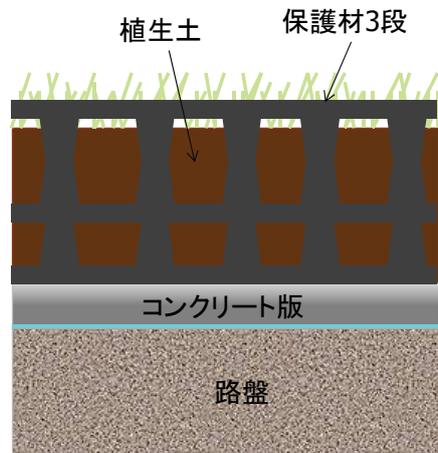


図 2.1.2-1 システム構成 1

構成案 1 および 2 に該当するシステム構成として、図 2.1.2-1 に示す形状を考案した。路面は保護材を上下逆に使用することにより、歩行性が良好なものとした。また、保護材を 3 段積み重ねることで根の育成環境を確保する。また、路面としての十分な反力を得るために、保護材の下端にはコンクリート版を設置することとした。

2) システム構成 2 (保水性基盤材付きコンクリート+芝生保護材)

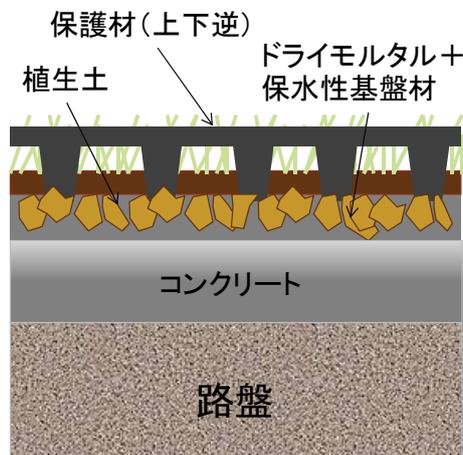


図 2.1.2-2 システム構成 2

構成案 1 および 3 に該当するシステム構成として、図 2.1.2-2 に示す形状を考案した。路面は保護材を上下逆に使用することにより、歩行性を良好なものとした。また、コンクリート上に保水性基盤材の端材を固着させることによって、路面強度と保水性を確保する構成とした。

3) システム構成 3 (合成樹脂性パレット+芝生保護材)

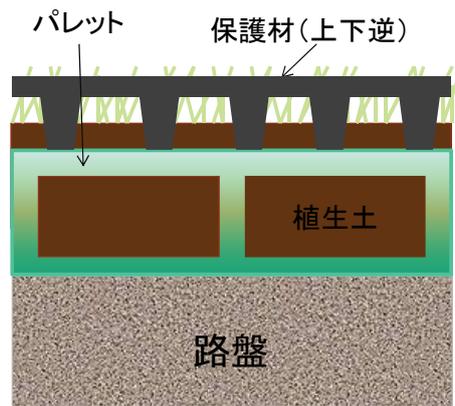


図 2.1.2-3 システム構成 3

構成案 1 および 2 に該当するシステム構成として、図 2.1.2-3 に示す形状を考案した。路面は保護材を上下逆に使用し、歩行性を良好なものとした。また、システム構成 1 と同様に根の育成空間を植生土により十分確保する構成としたが、その材料として積荷で広く用いられ安価に入手できる合成樹脂製パレットを使用した。

4) システム構成 4 (不朽木材 + 芝生保護材)

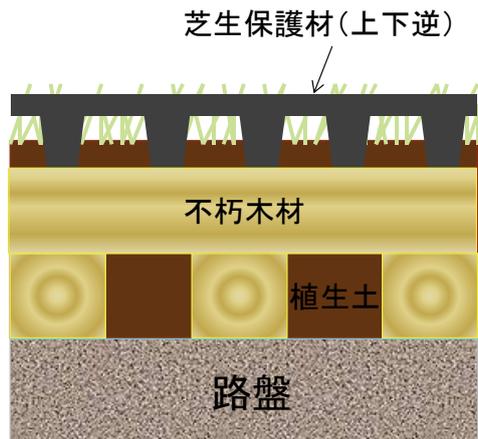


図 2.1.2-4 システム構成 4

構成案 1 および 2 に該当するシステム構成として、図 2.1.2-4 に示す形状を考案した。芝生保護材を上下逆に使用する点と、根の育成空間の確保という点でシステム構成 1 や 3 と同様である。しかし、根の育成空間の確保で用いられる材料を不朽木材とすることで、CO₂ 固定という観点で環境負荷軽減に貢献できる構成とした。

5)システム構成 5 (コケ・セダム+芝生保護材)

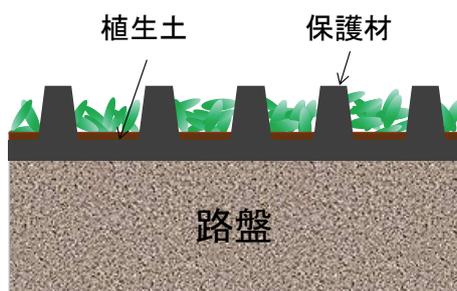


図 2.1.2-5 システム構成 5

構成案 4 に該当するシステム構成として、図 2.1.2-5 に示す形状を考案した。芝生とは異なり、根の育成空間をあまり必要としないコケやセダムを使用することで、芝生保護材を路盤上に直接設置し、保護材厚のみで成立する路面緑化構成とした。

2.1.3 試験施工

先に述べた 5 種類のシステム構成について、施工性や緑化性能の比較、路面としての強度の評価を行うために、試験施工を行った。

1)試験施工概要

試験施工は、平成 22 年 11 月 9 日、10 日に実施した。施工場所は、竹中工務店技術研究所中庭で、昨年、緑化コンクリートに関する試験施工を行った場所と併設して施工した。試験施工面積は、各システム構成とも 4m² (2m×2m) 程度とし、システム構成の境界には、型枠材を建て込んだ。試験施工の配置状況は、図 2.1.3-1 に示す通りである。

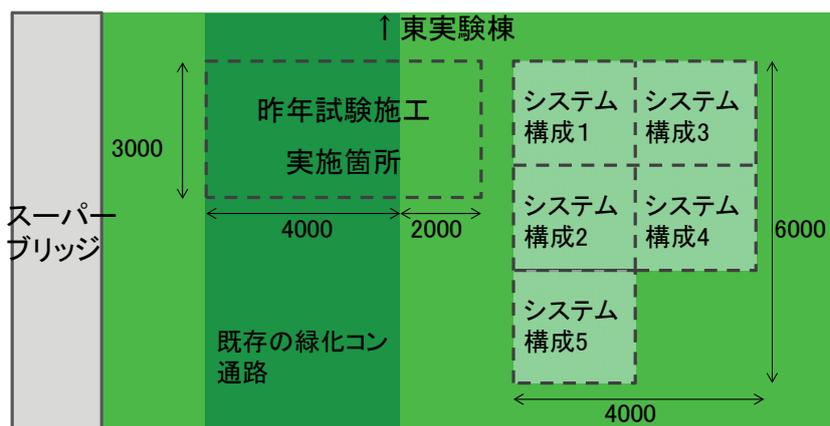


図 2.1.3-1 試験施工配置図

なお、試験施工では保護材を上下逆に設置するため、通常張り芝が不可能であることから、播種による芝の植栽を行うこととした。また、システム構成 5 のコケおよび瀬セダムは、4m²のうち半分ずつ (1m×2m) 設置することとした。

2) 試験施工手順

試験施工は以下の図 2.1.3-2 の手順に従って行った。

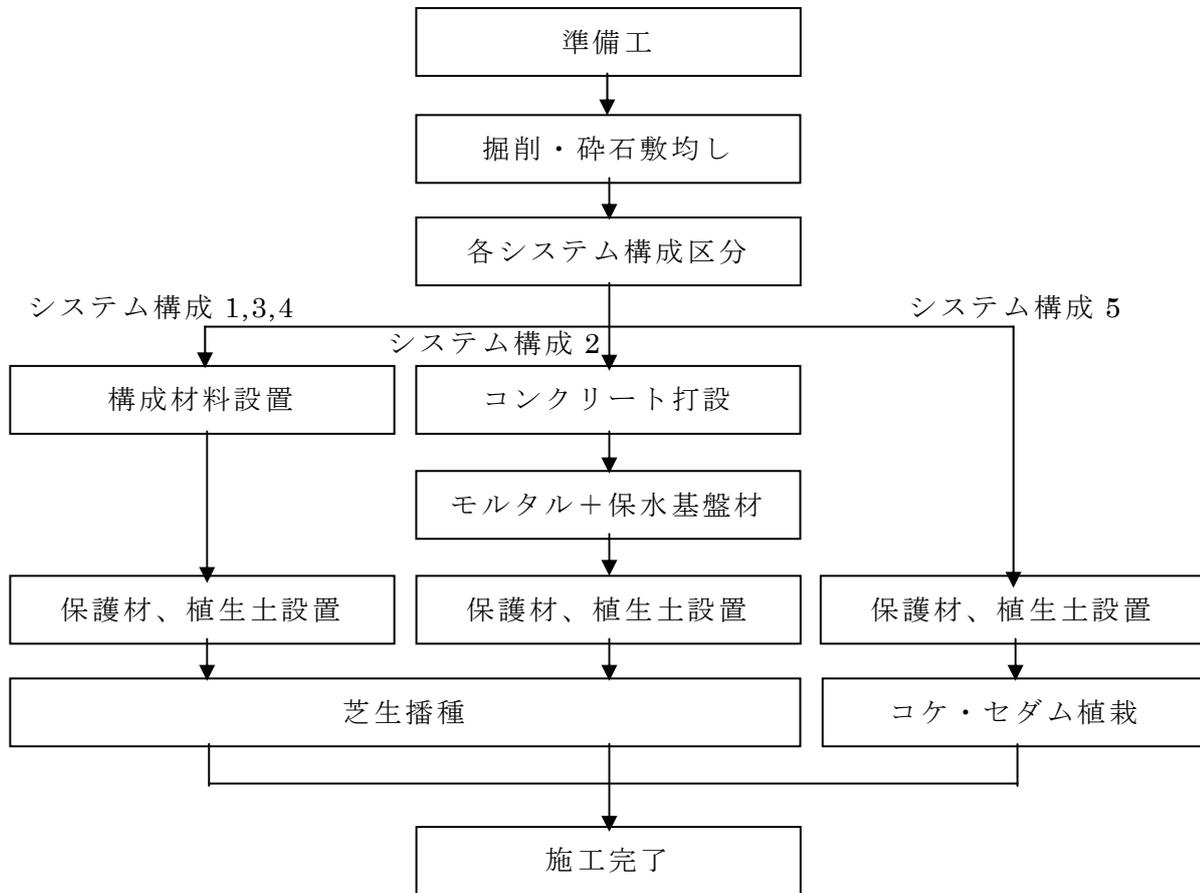
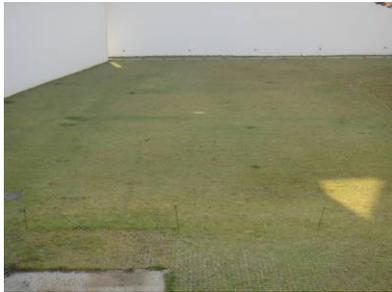


図 2.1.3-2 試験施工手順

3) 試験施工状況

試験施工状況を以下に示す。



着工前



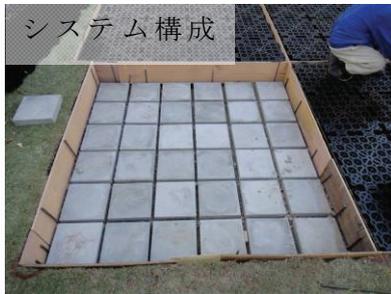
掘削状況



路盤碎石敷均し完了



各システム構成区分



コンクリート版設置



コンクリート打設



保水性基盤材設置



保護材設置



パレット・植生土設置



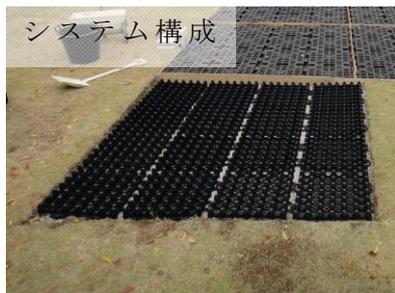
保護材・植生土設置状況



木材（下段）・植生土設置



木材（上段）設置状況



保護材設置完了



コケ設置状況



セダム設置完了



芝播種状況

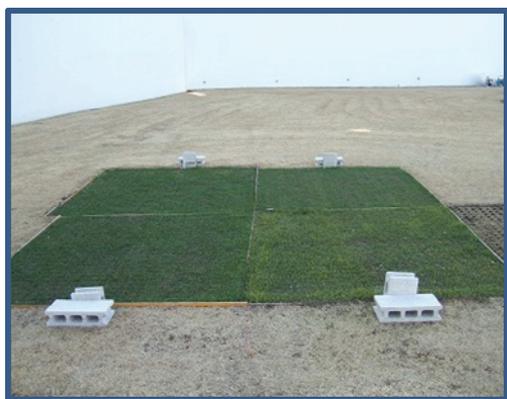


芝播種状況



芝播種完了

昨年冬季の施工となり芝生の生育量が確保できなかった。そのため芝生の耐久性評価は本年度の夏季に実施する計画である。



4タイプの芝生試験区



コケ・セダム薄層試験区

2.2 路面緑化システムのタイヤ走行性試験

2.2.1 実験概要

1) 実験の目的

本実験は、路面緑化システムの構築に向けて実施した、緑化コンクリート適用の試験区で、車両走行時のタイヤ圧に対する植物保護システムの評価を行うことを目的とした。

2) 路面緑化試験体の概要

耐踏圧実証実験に用いる路面緑化試験体は、竹中グループ保有技術である「緑化コンクリート」を基本として、踏圧からの植生保護を果たすべく芝生保護材を加えた構成にて検討するものとした。

車両走行試験は昨年作成した試験区を用いる。試験区は既存の「緑化コンクリート」を基本に試験体の製作を行った。図 2.2.1-1 に路面緑化試験体の構成を示す。

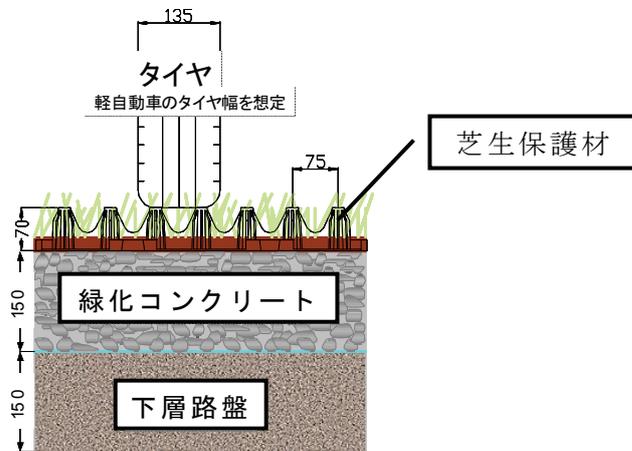


図 2.2.1-1 路面緑化試験体の構成

(1) 緑化コンクリートの構成

路面緑化試験体の基本となる緑化コンクリートは、コンクリートに植生を与えるとともにコンクリートとして利用する上で必要な力学的性能を兼ね備えるため、連続した空隙を保持した①ポーラスコンクリートを骨格に、この連続空隙に注入する②充填材、表面に固着する③表層基盤の3要素から成る構造としている。緑化コンクリートの構成を図 2.2.1-2 に示す。

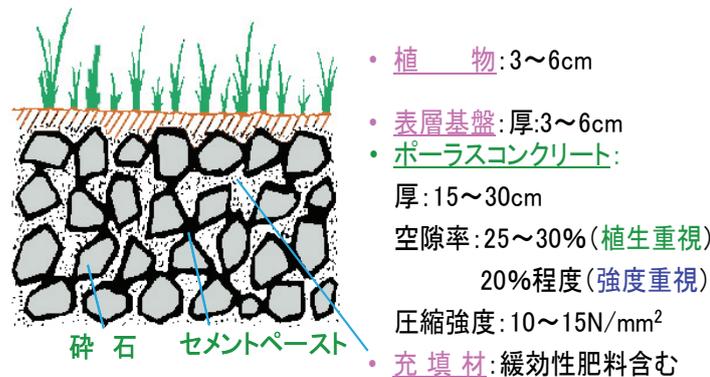


図 2.2.1-2 緑化コンクリートの構成

2.2.2 路面緑化試験体の施工状況

1) 試験体の配置概要

耐踏圧実証実験に用いる路面緑化試験体は、竹中技術研究所の中庭の1角を用いて設置した。図 2.1.2-1 は路面緑化試験体の配置概要を示す。踏圧対策としては前述の芝生保護材を設置している。

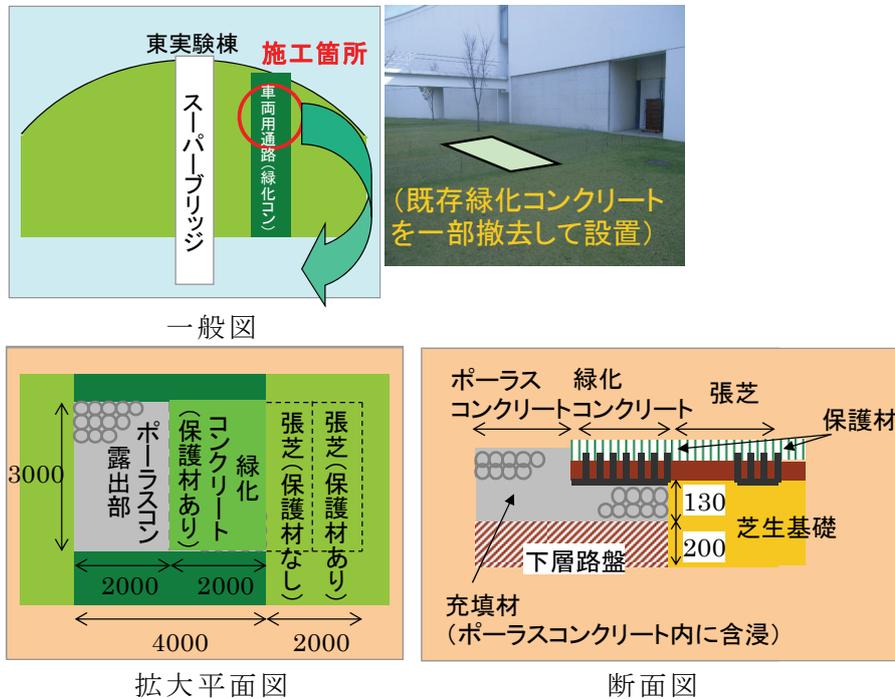


図 2.2.2-1 路面緑化試験体の概要

2) 試験体の施工手順

緑化コンクリートの施工は、図 2.2.2-2 に示す手順にしたがって行った。ポラスコンクリートは、生コンプラントにて製造した後、アジテータトラックにて現地まで運搬した。荷卸し後は品質管理試験にて所要の品質を確認し、型枠内に人力で撒き出しローラにて不陸が出ないように慎重に締め固めた。養生は通常のコンクリートと同様とし、1週間の散水養生とした。

充填材は、グリーンフィルAとグリーンフィルBを加水攪拌しスラリーとして用いた。このスラリーは、ポラスコンクリート表面から連続空隙内への常圧充填とした。

芝生保護材は、充填材施工完了後、ポラスコンクリート上に設置した。表層基盤は、生育基盤として黒土を芝生保護材の頂部付近まで撒き出した後に張芝を行い、ローラーによって芝生保護材の頂部が露出するまで転圧を行った。

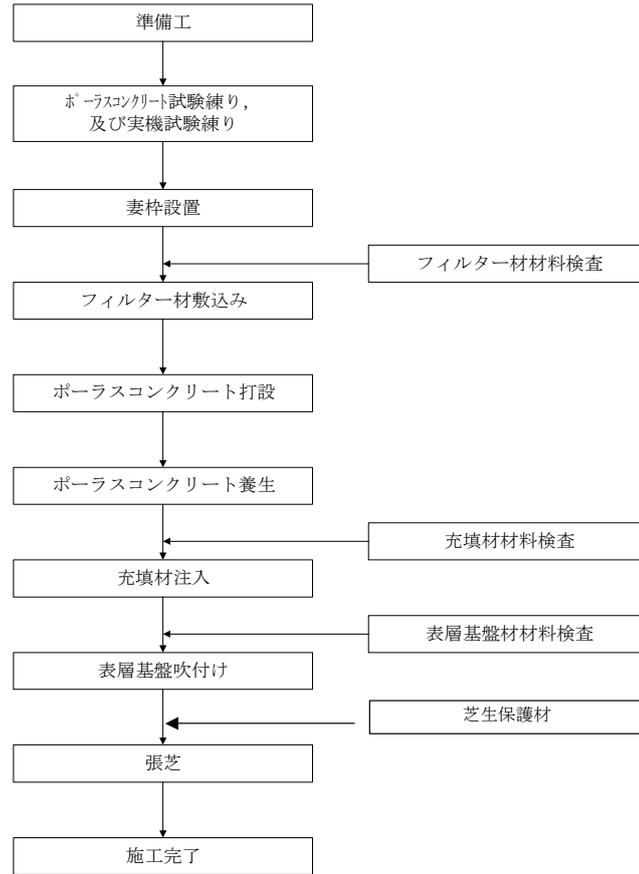


図 2.2.2-2 路面緑化試験体の施工手順

3) 耐踏圧路面緑化試験体の施工状況

路面緑化試験体の施工状況を以下に示す。



着工前



既存芝生剥ぎ取り



既存ポーラスコンクリート撤去



床付け・締固め



路盤碎石締固め



フィルター材設置



ポーラスコンクリート打設



同締固め状況



同締固め完了



同養生状況



充填材加水攪拌状況



充填材充填状況



充填材充填完了



芝生保護材設置状況



黒土撒き出し状況



張芝状況



張芝転圧状況



完成

4) ポーラスコンクリートの品質管理

ポーラスコンクリートの品質管理は、「緑化コンクリート」施工時と同様に実施した。
以下、結果を示す。

①フレッシュ性状

- ・連続空隙率：26±3%（5号砕石） ⇒ 24.7% : OK
- 21±3%（6号砕石） ⇒ 18.7% : OK
- ・セメントペーストフロー： ⇒ 175±35mm : OK
- ・運搬時間：T ≥ 25℃：60分以内、T < 25℃：90分以内 : OK
- ・締固め：ローラー加圧

②硬化物性

- ・圧縮強度試験（試験体形状：φ12.5×25cm）
 - ・目標：10N/mm²以上(材齢4週)
 - 1週 4週
 - ・5号砕石：12.4 13.4 > 10 : OK 路面緑化試験体
 - ・6号砕石：18.7 23.7 > 10 : OK 路面緑化試験体＋生育要因効果把握実験

以上、フレッシュ性状、硬化物性に問題なく通常の施工が実施できた。

2.2.3 耐踏圧実証試験と評価

1) 車両走行試験

試験区は図2.2.3-1のように、4つのパターンで構成している。
1試験区の長辺方向は3m、短辺方向は2mと1mである。この長辺方向に対して、垂直に車両を走行させて芝生の痛み具合や芝生保護材の痛み具合を調査した。

車両による走行回数は100往復を行い、芝生や芝生保護材および客土の固結状況について、どのような変化が生じるかを観察評価する。なお、この試験と平行して、その場でのハンドル切り替えしによる保護材の破損状況の確認も行った。

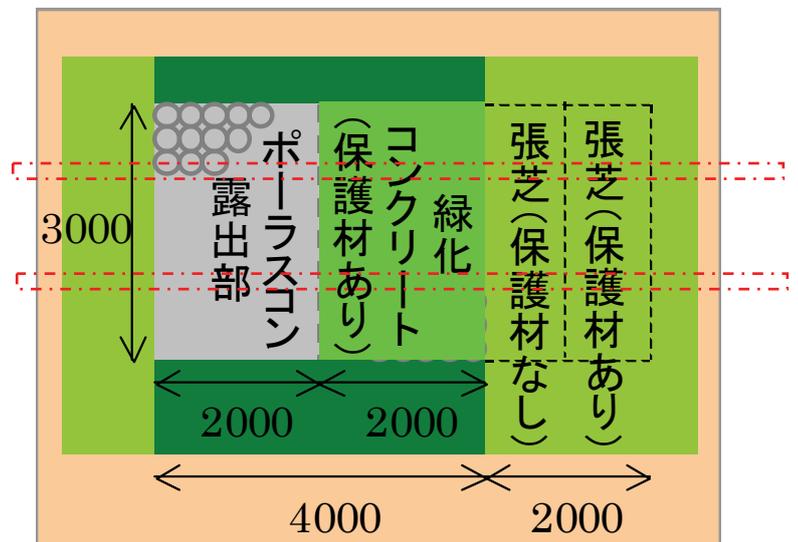


図 2.2.3-1 試験区の平面配置図

2) 評価方法

① 生の生育性評価

同一個所を 100 回の走行を繰り返し、芝生の枯損状況と走行回数との関係を見出した。

② 保護材の耐久性評価

100 回走行で、保護材の破損状況や客土内への沈み込みの関係を見出した。

③ 客土の固結性評価

同上 100 回走行での、客土部分の固結状況を土壤硬度計にて状況変化を確認する。中山式土壤硬度計で 23mm を越えた時点で芝生の生育不可能な土壤硬度と判定した。

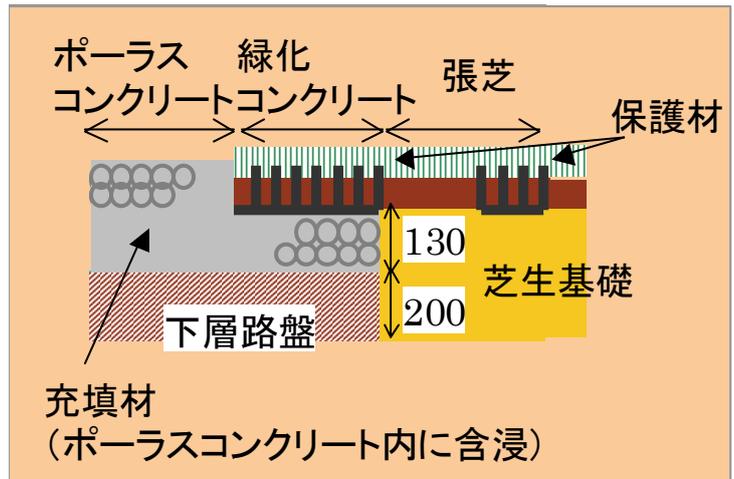


図 2.2.3-2 試験区の断面構成図

2.2.4 実験の結果と考察

1) 土壤硬度

車両の走行は写真 2.2.4-1 にあるバンを用いて 120 往復まで行った。10 往復、30 往復、60 往復、90 往復、120 往復それぞれに、車両走行部位の土壤硬度測定を実施した。土壤硬度の測定は中山式土壤硬度計にて 5ヶ所/回の測定を行った。

土壤硬度の変化には大きな特徴が現れた。芝生保護材の無い試験区と芝生保護材有の試験区（客土の上に芝生保護材が置いてある状態）は車両の走行回数が増加すると、それに伴い土壤硬度が高くなる。一方、緑化コンクリート上に芝生保護材を載せた試験区では、当然のことであるが土壤硬度の大きな変化は見られない。路盤の上に打設されたポーラスコンクリートが芝生保護材の沈み込みを防いでいるためである。土壤硬度の初期値が高いのは、試験区施工時に客土と張芝を十分に締め固めた効果が影響しておるものと考えられる。



写真 2.2.4-1 車両走行試験の実施状況

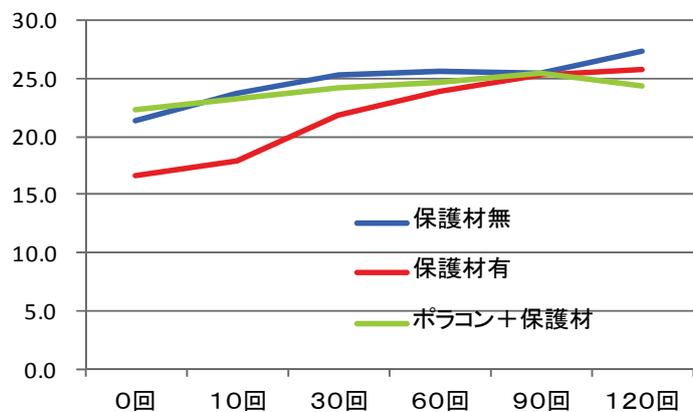


図 2.2.4-1 繰り返し荷重に伴う土壤硬度の変化

2) 沈み込み量測定

沈み込みの量は、表 2.2.4-1 のように測定を計画したものの、回数が少ない場合に芝生の葉が起き上がるため明確に沈み込んだ状況を捉える事が困難であった。そこで、120回の車両の往復が終了した後に沈み込み量を測定した。(写真 2.2.4-1 参照) 3試験区のそれぞれで5ヶ所の測定を行った平均値を表 2.2.4-2 に示している。

保護材の無い試験区は、目視でもはっきりとわかる轍の跡となっている。しかし芝生保護材があると、その沈み込み量は半分に減少している。芝生保護の効果ははっきりと確認できた。ただし、この後元の高さに復元できるかどうかは現時点で不明である。復元できぬ場合は、土壌の固結化が進み、また芝生の生長点が痛められるため、健全な芝生景観の維持が困難となるものと予想される。

3) 据え切り試験

車両の前輪を使用し、その場での据え切り試験を行った。写真は15回実施した状況である。芝生保護材に破損は見られなかったが、芝生は大きなダメージを受ける結果となった。タイヤの突起が地面にふれると、根こそぎ葉茎及びランナーを破壊してしまうことが判った。

表 2.2.4-1 120回車両走行後の沈み込み量

走行回数	保護材無	保護材有	ポラコン+保護材
10回			
30回			
60回			
90回			
120回	22mm	12mm	1mm



写真 2.2.4-2 轍部分の沈み込み量



写真 2.2.4-3 据え切り試験の跡

2.3 路面緑化ユニットの小型 FWD 評価と FEM 解析

2.3.1 路面緑化ユニットの小型 FWD 評価

1) 舗装の構造評価法

従来の技術では、FWD 試験があるが路面に載荷板を設置し、重錘を自由落下させその時の荷重、路面のたわみを測定する。装置がやや大型であるのが難点である。

また、平板載荷試験は、載荷板を利用して地盤に載荷し、載荷重と変形量を測定するが、大型反力装置が必要なため、材料費、人件費、機械・設備費等を要し、さらにこれらを用いた計測は準備からデータ収録までに多くの労力と時間を要する。

FWD 試験と平板載荷試験の写真を下記に示す。



写真 2.3.1-1 FWD 試験



写真 2.3.1-2 平板載荷試験

今回使用したTML式小型FWDシステム「FWD-Light」は、取り扱いが容易で可搬性が高く、地盤反力係数（K）値、及び地盤弾性係数（E）値が簡単に短時間で計測できる。小型FWDシステムの概要としては、小型FWD本体の重錘を自由落下させ、そのとき発生する衝撃荷重と変位量を荷重計、加速度計を用いて測定する。変位量は加速度計の測定値を2回積分することで求める。また、外部変位センサーを用いて4点までの外部変位を同時に測定することが可能である。

主な適用範囲は下記に示す通りである。

- ・ 鉄道盛土、路床、路盤等の一般的な地盤
- ・ 空港等の剛性の高い地盤
- ・ 簡易舗装
- ・ インターロッキングブロック舗装

図 2.3.1-1 小型 FWD システムと写真 2.3.1-3 簡易舗装小型 FWD 試験を示す。

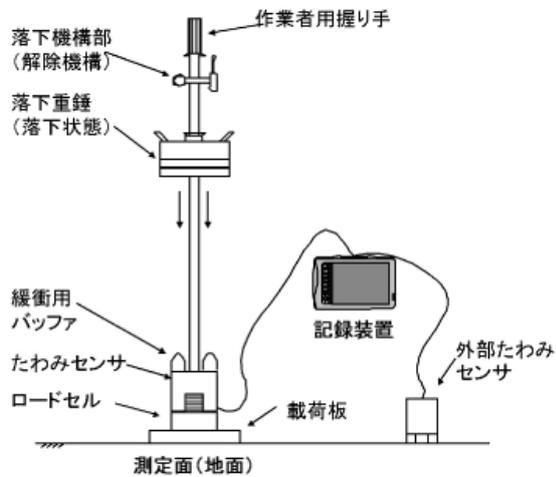


図 2.3.1-1 小型 FWD システム

写真 2.3.1-3 簡易舗装 小型 FWD 試験

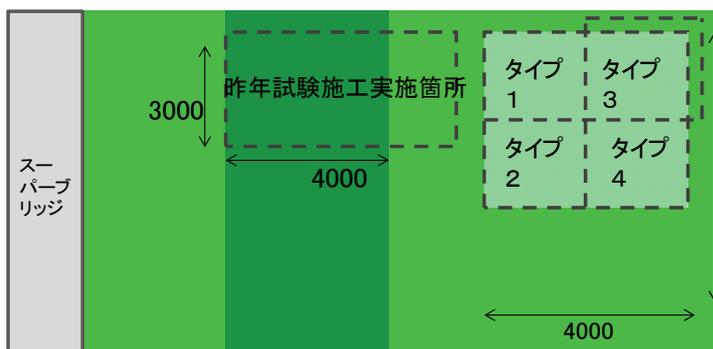
2) 試験目的

本試験では、各種試験施工区の地盤耐力評価を小型 FWD 試験を用いて荷重および変位量を算出し評価した。

3) 試験種類

試験施工区タイプ 1 (コンクリート版+保護材 3 段)、タイプ 2 (保水性基盤付きコンクリート+保護材)、タイプ 3 (パレット+保護材)、タイプ 4 (不朽木材+ペブルベース)

図 2.3.1-2 試験施工位置を示し、写真 2.3.1-4 に試験施工位置写真を示す。



*タイプ 1～4 の構成は 2.1 路面緑化システムのアイデアと試験施工に示す

図 2.3.1-2 試験施工位置

写真 2.3.1-4 試験施工位置

4) 試験方法

小型 FWD 試験方法は、各タイプの中央位置に小型 FWD 試験機の載荷板を設置する。

写真 2.3.1-5 に小型 FWD 試験状況を示す。

地面から 500m の高さから載荷板上に 15kg の重錘を自由落下させることにより、衝撃荷重を加える。これにより、生じた荷重と変位量を算出した。



写真 2.3.1-5 小型 FWD 試験状況

5) 試験結果

試験施工区の地盤耐力評価（小型 FWD 試験）結果を下記表 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.1-1 試験施工区の地盤耐力評価（小型 FWD 試験）

試験区の種類	荷重 (KN)	変位 (mm)	備考
タイプ 1	14.58	3.43	コンクリート版+保護材 3 段
タイプ 2	18.28	2.15	保水性基盤付きコンクリート+保護材
タイプ 3	15.28	5.68	パレット+保護材
タイプ 4	11.77	6.99	不朽木材+ペブルベール

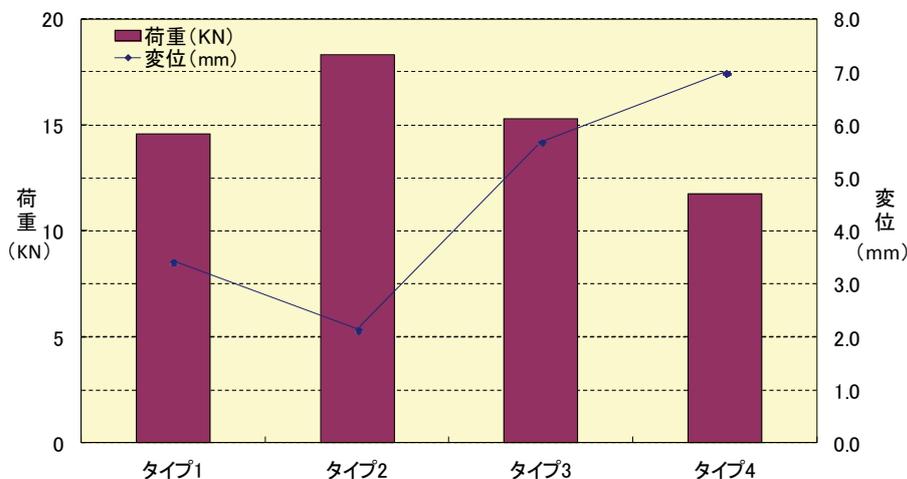


図 2.3.1-3 試験施工区の地盤耐力評価（小型 FWD 試験）

小型 FWD 試験の結果、タイプ 1（コンクリート版+保護材 3 段）、タイプ 2（保水性基盤材付きコンクリート+保護材）の変位量は 4mm 以内で、他の試験区より低い値であった。

2.3.2 路面緑化ユニットおよび支柱材の選定

1) 路面緑化ユニットの選定

路面緑化の FEM 解析は、ポーラスコンクリートの保水性向上に関する実験と試験施

工区の地盤耐力評価（小型 FWD 試験）の結果からタイプ 1（コンクリート版+保護材 3 段）の構成が、芝の育成状況、地盤耐力が良いと考えられる。タイプ 1（コンクリート + 保護材 3 段）の当初アイディアは、コンクリート版に支柱材を設置し一体化させ、上面には芝生保護構造を取り付ける構成であった。

今回、実施します路面緑化の FEM 解析は、当初アイディアの路面緑化ユニット構成で行い評価、検討を実施した。

2) 構成概要

構成概要は、コンクリート版に支柱材を設置し一体化させ、上面には芝生保護構造を取り付けた。

ユニットには大きな空間が設けられるため、この部分に客土材を充填する。コンクリート版は保水する窪みと排水する穴を有する。コンクリート版の保水量を多くすることで客土量を少なくすることも可能となる

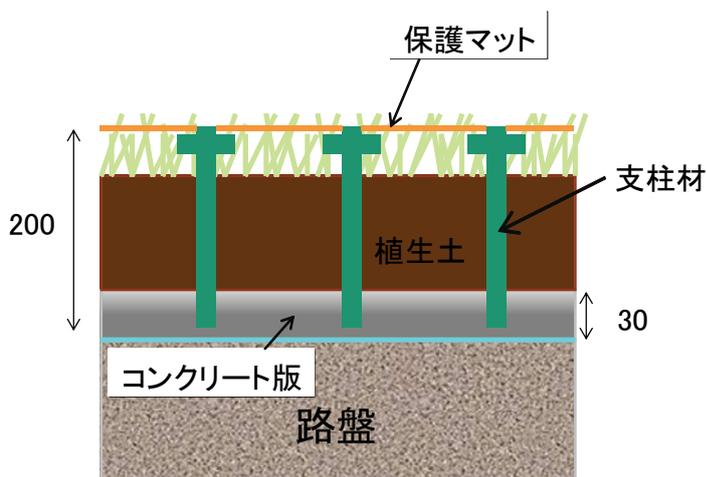


図 2.3.2-1 路面緑化ユニット構成

3) 支柱材の選定

表 2.2.2-1 に支柱材の応力と価格の関係を示す。

写真 2.2.2-1 に各種支柱材料を示す。

表 2.3.2-1 支柱材の圧縮応力と価格の関係

支柱材の種類	圧縮応力 (N/mm ²)	50cm 当り価格 (円)
塩ビパイプ外径 26mm	58.6	189
ABS 直径 10mm	82.9	441
アクリル直径 10mm	110.1	385
ベーク直径 10,mm	167.5	525



塩ビパイプ

ABS

アクリル

ベーク

写真 2.3.2-1 各種支柱材料

図 2.3.2-2 に支柱材の圧縮応力と価格の関係と写真 2.2.2-1 に圧縮強度試験を示す。

図 2.3.2-2を基に、支柱材選定は材料が安価で圧縮応力で50 (N/mm²) 以上ある塩ビパイプ外径26mmを選定した。

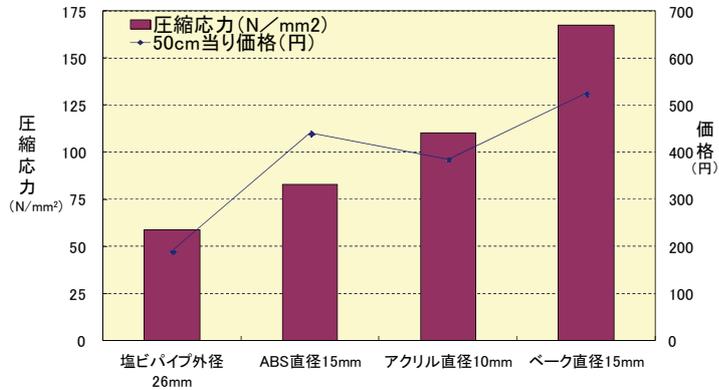


図 2.3.2-2 支柱材の圧縮応力と価格の関係

写真 2.3.2-2 圧縮強度試験

3) 支柱材（塩ビパイプ外径 26mm）の強度試験結果

下記の表 2.2.2-2 に塩ビパイプ外径26mmの強度試験結果を示す。

表 2.3.2-2 塩ビパイプ外径26mmの強度試験結果

支柱材の種類	圧縮応力 (N/mm ²)	曲げ応力 (N/mm ²)	ポアソン比
塩ビパイプ外径26mm	58.6	61.5	0.3

下記の写真 2.3.2-3 に曲げ応力測定を示し、写真 2.3.2-4 にポアソン比測定を示す。



写真 2.3.2-3 曲げ応力測定

2.3.3 路面緑化ユニットの構造検討

1) モデル諸元

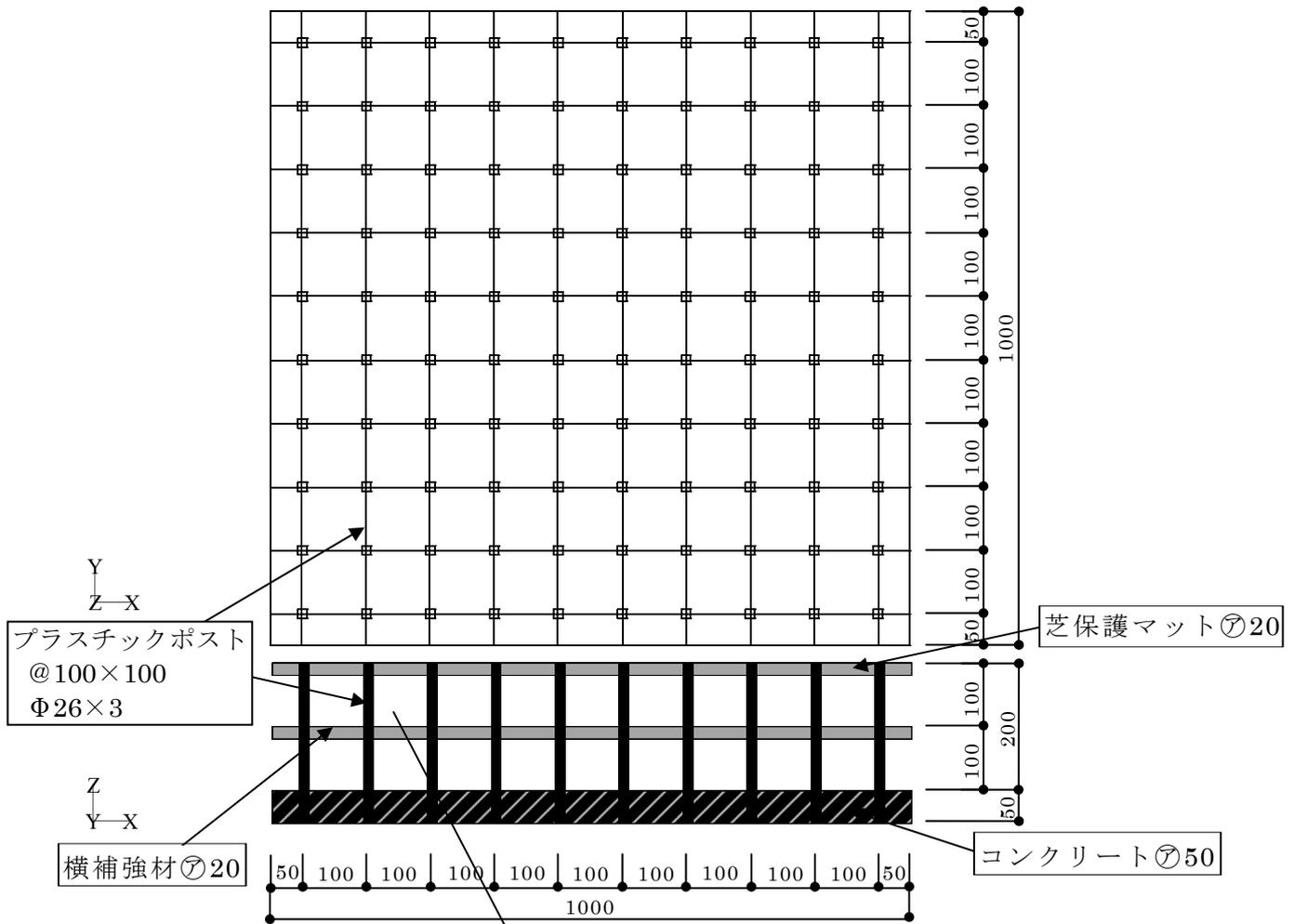


図 2.3.3-1 モデル諸元

(1) 塩ビパイプポスト

- 外径 26mm、肉厚 3mm
- ピッチ 100mm×100mm
- 弾性係数 $E=153 \text{ kg/mm}^2$
- ポアソン比 $\gamma=0.3$
- 断面積 $A=216.77 \text{ mm}^2$
- 断面二次モーメント $I=14577.8 \text{ mm}^4$

ある場合と無い場合を
検討する。

(2) モデル種類

横補強材のある場合と無い場合について検討する。

2) モデルイメージ図

図 2.3.3-2 にモデルイメージを示す。

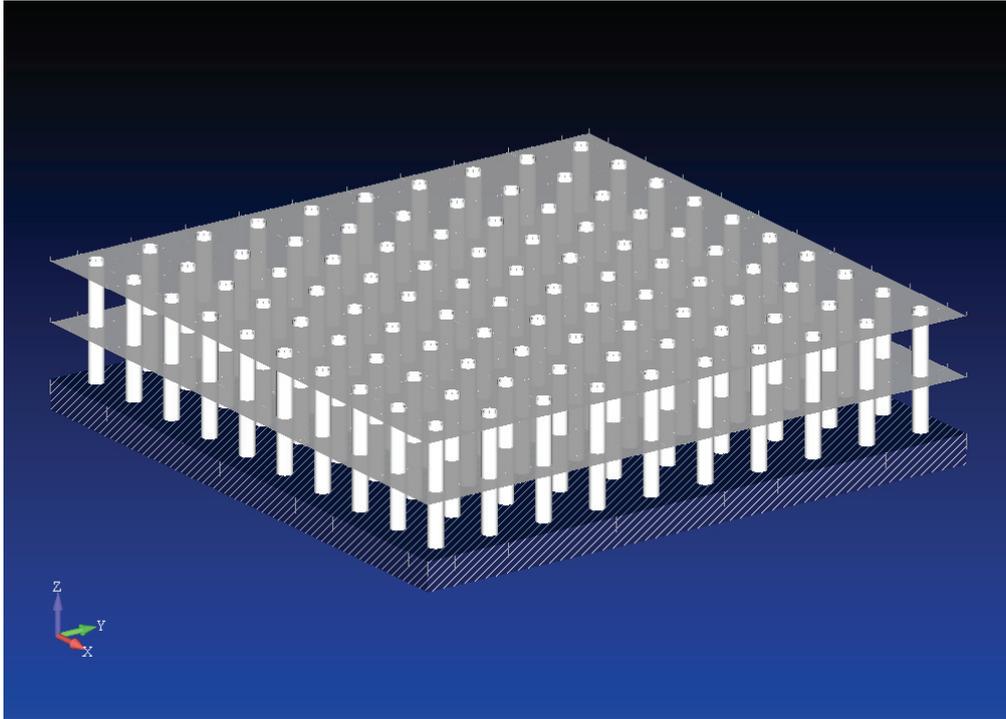


図 2.3.3-2 モデルイメージ

3) 設定荷重

鋼道路橋設計示方書の値を用いる。

・ T-20(20tf)を採用する。

前輪面積

$$A_f = 20 \times 12.5 = 250 \text{cm}^2$$

前輪支持荷重

$$0.1W = 0.1 \times 20 = 2 \text{tf} = 2000 \text{kgf}$$

前輪単位荷重

$$W = 2000 / 250 = 8 \text{kg/cm}^2$$

後輪面積

$$A_f = 20 \times 50 = 1000 \text{cm}^2$$

後輪支持荷重

$$0.4W = 0.4 \times 20 = 8 \text{tf} = 8000 \text{kgf}$$

後輪単位荷重

$$W = 8000 / 1000 = 8 \text{kg/cm}^2$$

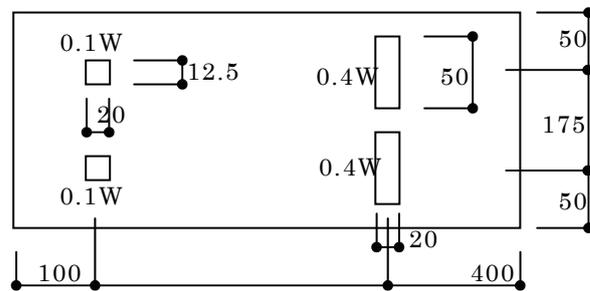


図 2.3.3-3 T-20 の荷重分布(平面図)

(1) 水平荷重

水平荷重は車両の走行による反力により生ずる。その反力は走行時よりも発車時または停止時に大きいと考えられる。そこで、発車後定速走行までの時間を仮定すれば発車時に生ずる反力を水平力と考えれば水平力は計算できる。

定速走行速度 V を時速 $V=8\text{km}$ とし、そこまでに達する時間 Δt を $\Delta t=0.5\text{sec}$ 加速度 α は以下のようなになる。

$$\alpha = V / \Delta t = 800000 / 3600 / 0.5 = 444 \text{cm/sec}^2$$

質量 m は重量から求まるから全水平力 Ph は以下のようなになる。

$$m = W / g = 20000 / 980 = 20.4 \text{kgf} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}$$

$$Ph = m \cdot \alpha = 444 \times 20.4 = 9000 \text{kgf}$$

車輪の接地面積 A が分かれば単位面積当たりの水平力 ph は計算できる。

$$A = 2 \times 12.5 \times 20 + 2 \times 50 \times 20 = 2500 \text{cm}^2$$

$$ph = 9000 / 2500 = 3.6 \text{kgf/cm}^2$$

から一本当たりの負担力 ps は支配面積 100cm^2 から計算できる。

$$Ps = 3.6 \times 100 = 360 \text{kgf} \text{ (前輪 : 4 本、後輪 : 10 本)}$$

(2) 鉛直荷重

検討モデルのメッシュ割は $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ であるからポスト 1 本当たり 800kgf の荷重とする。

$$Pv = 800 \text{kgf/本} \text{ (前輪 : 4 本、後輪 : 10 本)}$$

(3) 振り荷重

車両を止めた状態でハンドル操作を行うと前輪がその位置で回転し、路面に振りモーメントが生じる。このモーメントを振り荷重と考えるとその値は前輪の重量とタイヤと路面の摩擦係数で求まるとする。路面はプラスチックまたは植物の葉であるからタイヤ面との摩擦係数 μ を $\mu=0.5$ 、前輪の重量を Wf とすれば振りモーメント Mt は次のようになる。

$$Mt = Wf \cdot \mu = 2000 \times 0.5 = 1000 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

これを軸力に変換するには腕の長さ = ポスト間隔 pp と考えてこの値で除して全水平力 Pt を求める。

$$Pt = Mt / pp = 1000 / 10 = 100 \text{kgf}$$

片側負担力は 2 本で負担すると考える。

$$pt = 100 / 2 = 50 \text{kgf/本} \text{ (前輪 : 4 本)}$$

以上のデータを作用荷重として検討する。

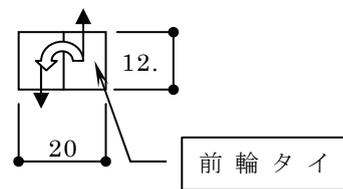


図 2.3.3-4 前輪タイヤ振り

- 4) 横補強材のある場合の解析結果
 (1) 前輪水平時の解析結果

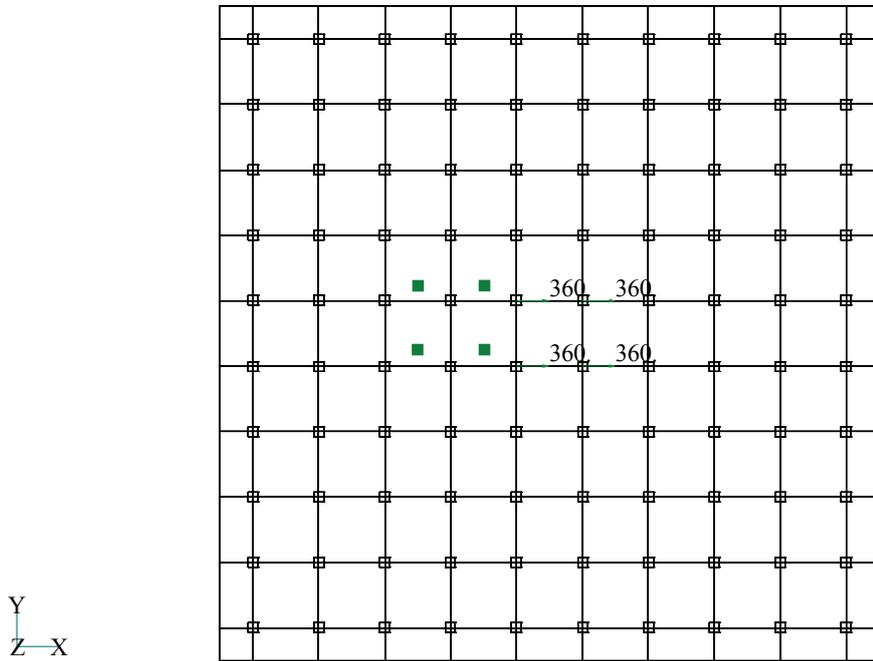


図 2.3.3-5 前輪水平時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Deformed(4.623): Total Translation

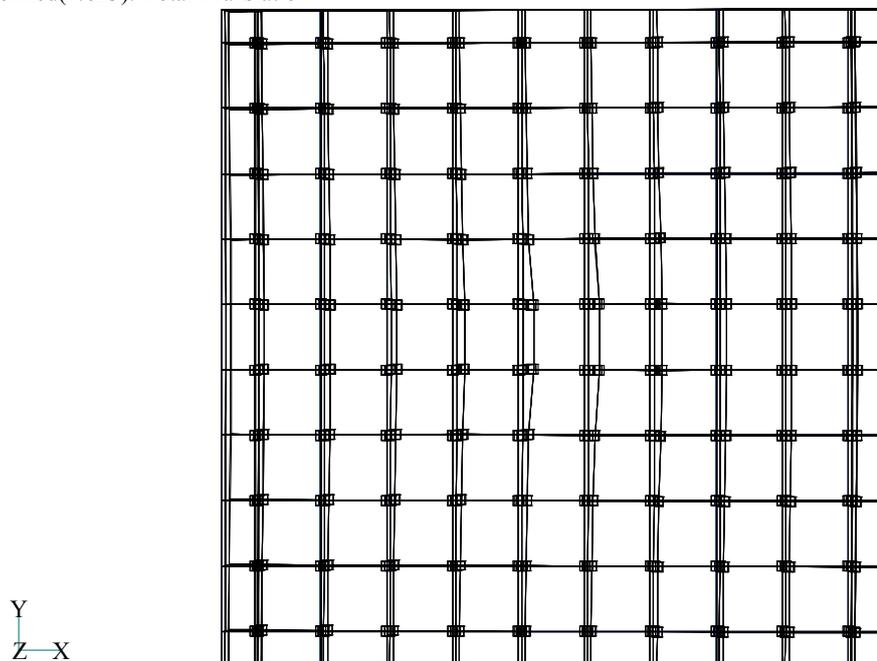
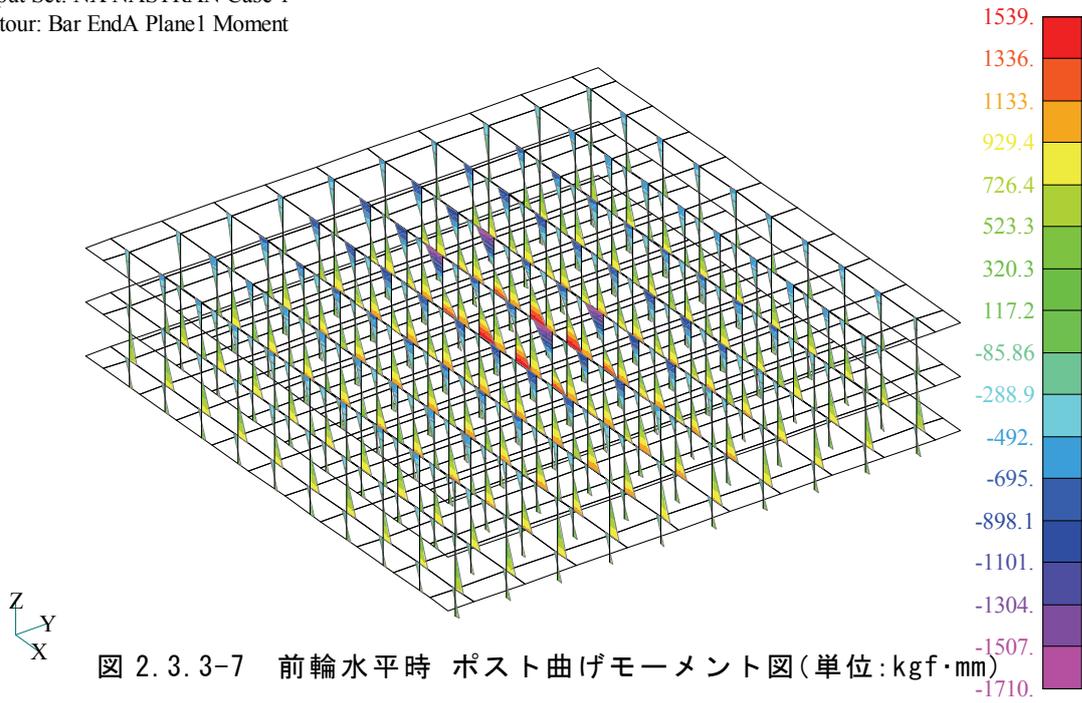
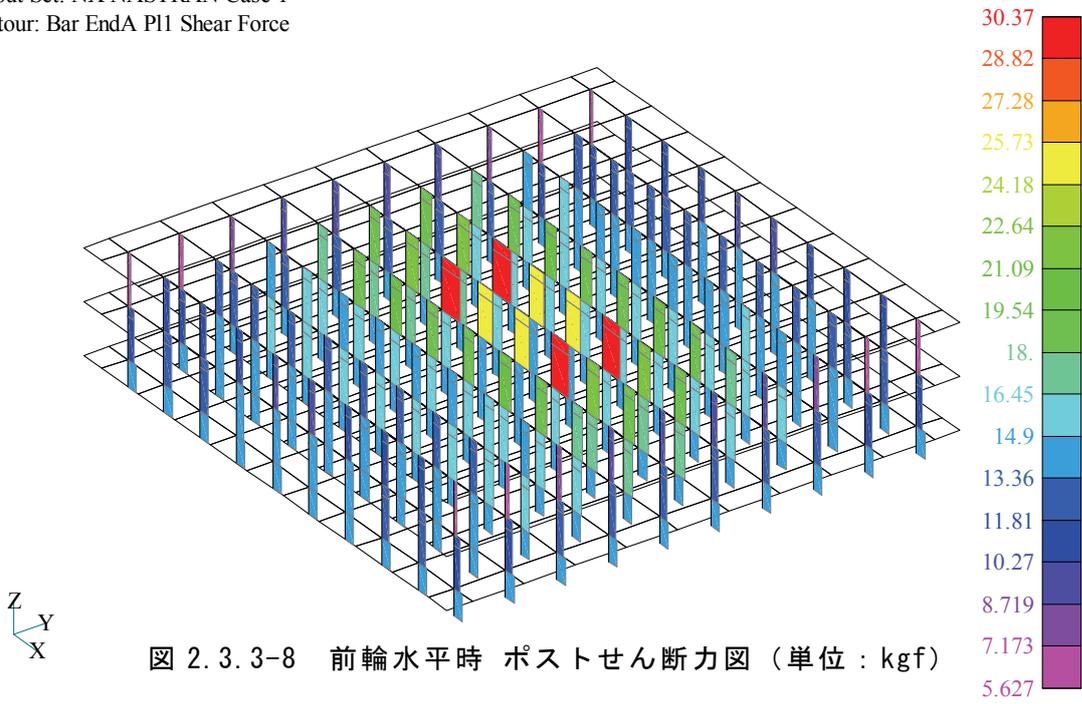


図 2.3.3-6 前輪水平時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment



Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force



Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA Axial Force

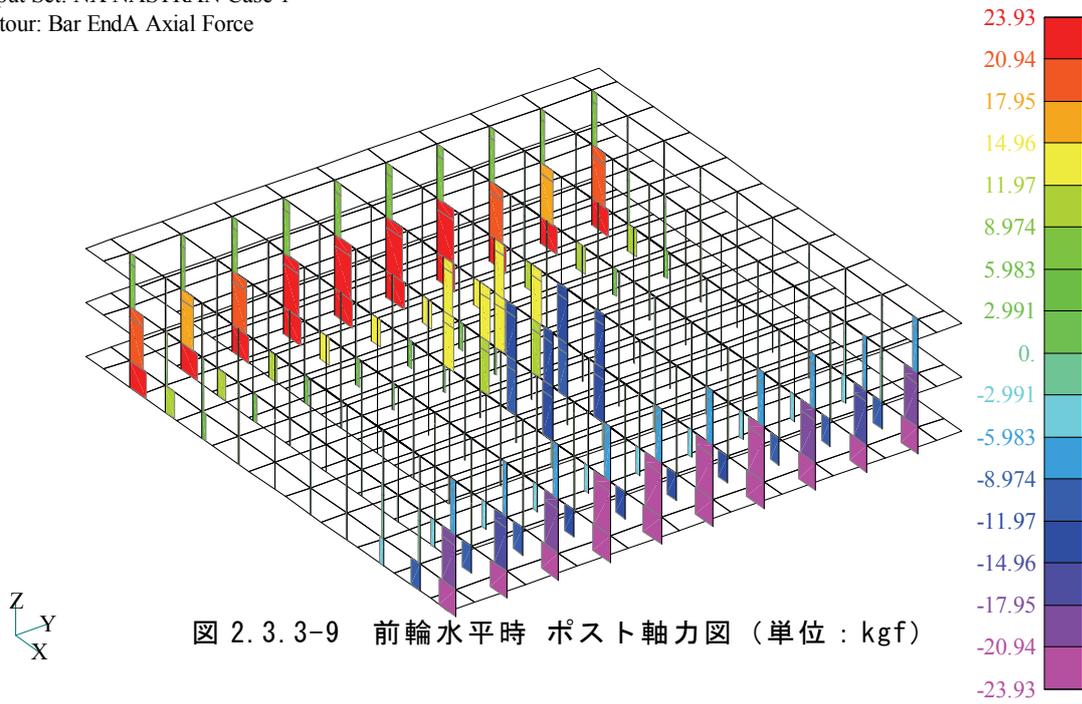


図 2.3.3-9 前輪水平時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

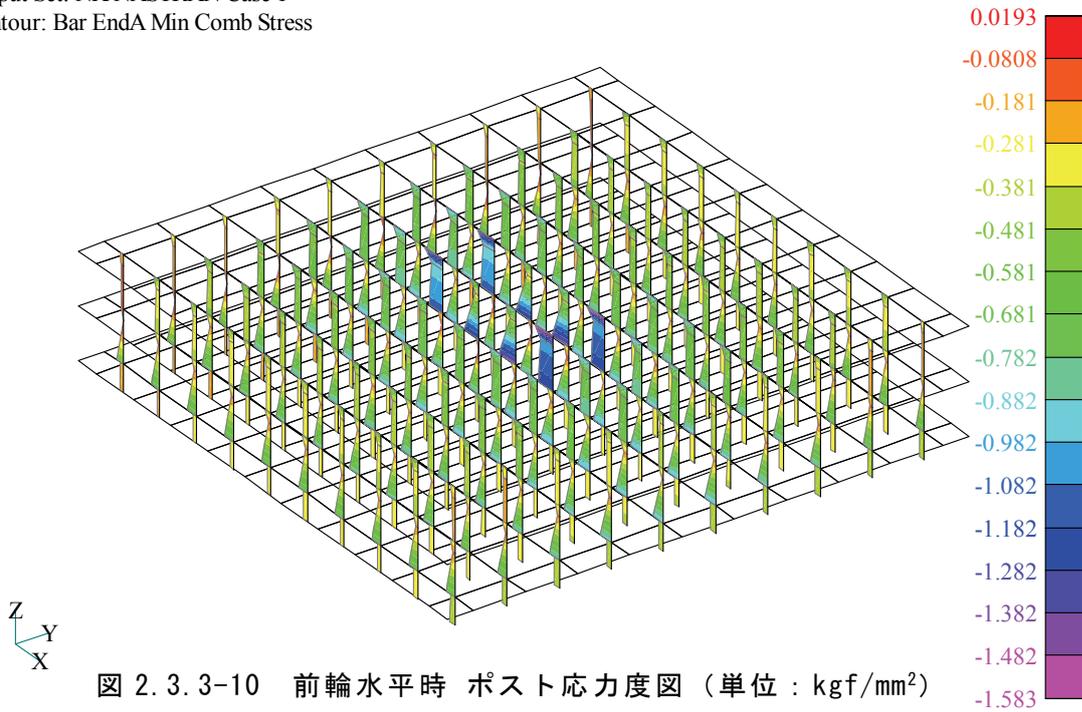


図 2.3.3-10 前輪水平時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(2) 前輪鉛直時の解析結果

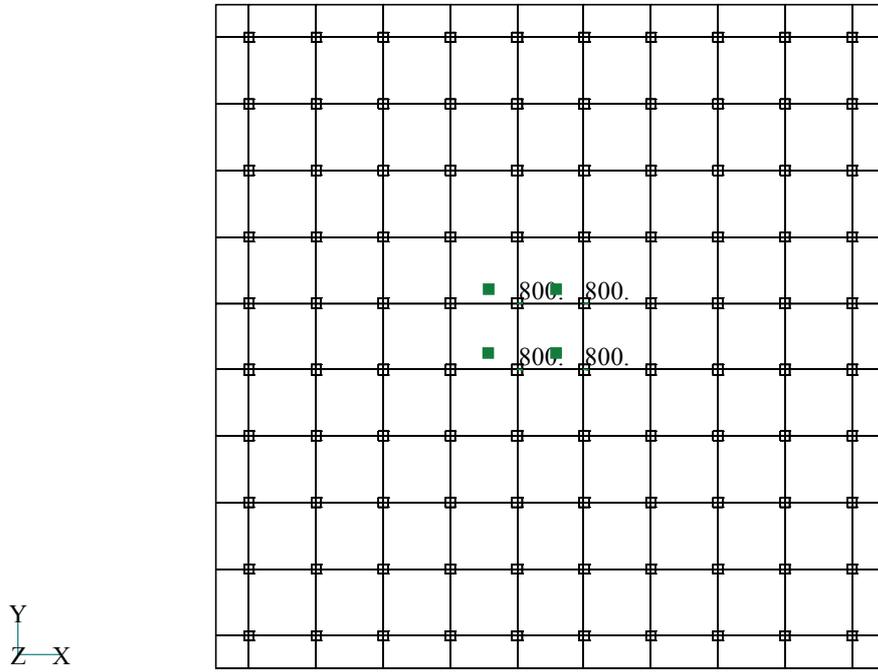


図 2.3.3-11 前輪鉛直時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
Deformed(4.528): Total Translation

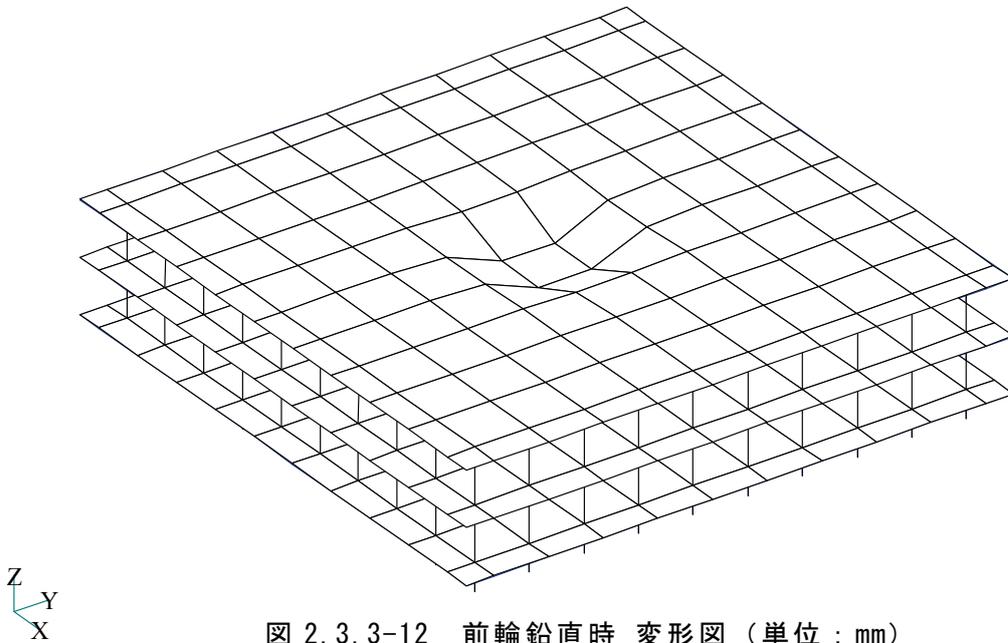


図 2.3.3-12 前輪鉛直時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment

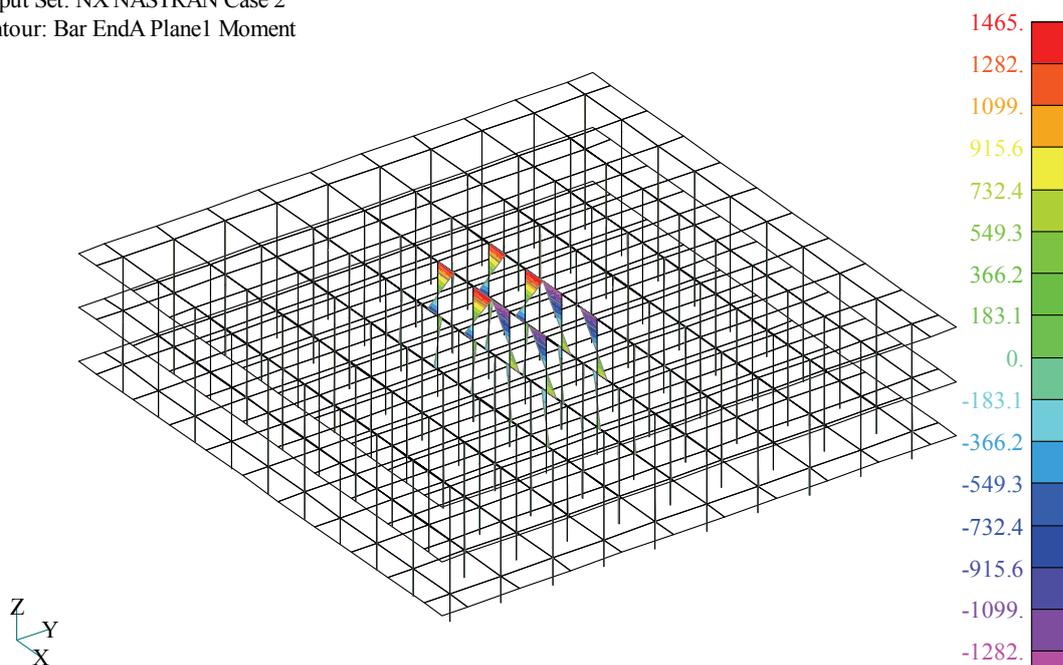


図 2.3.3-13 前輪鉛直時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : $\text{kgf}\cdot\text{mm}$)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force

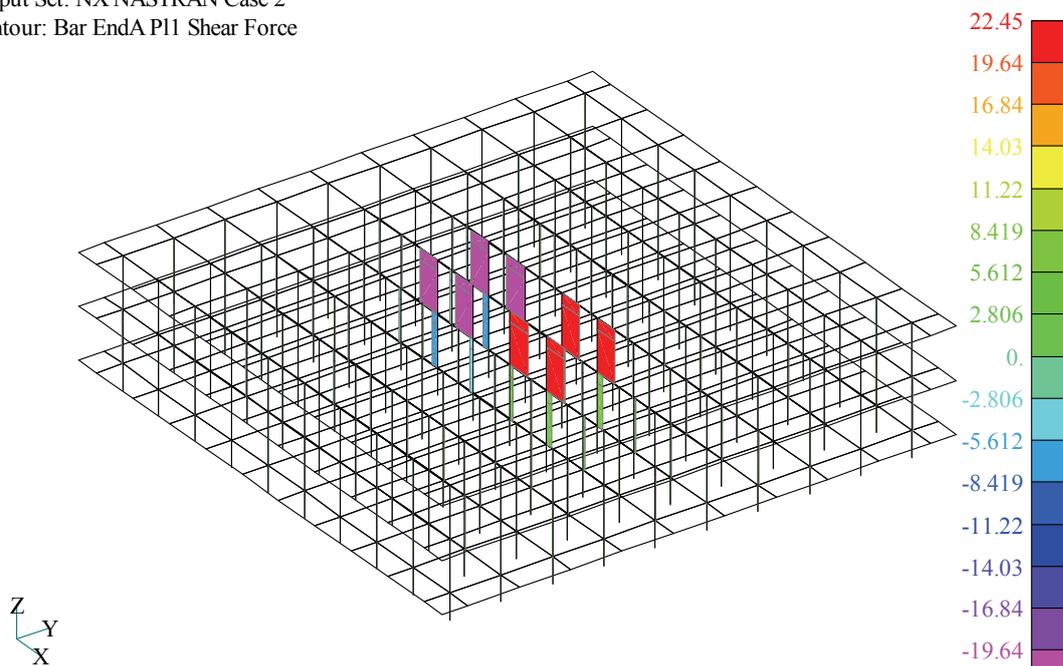


図 2.3.3-14 前輪鉛直時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA Axial Force

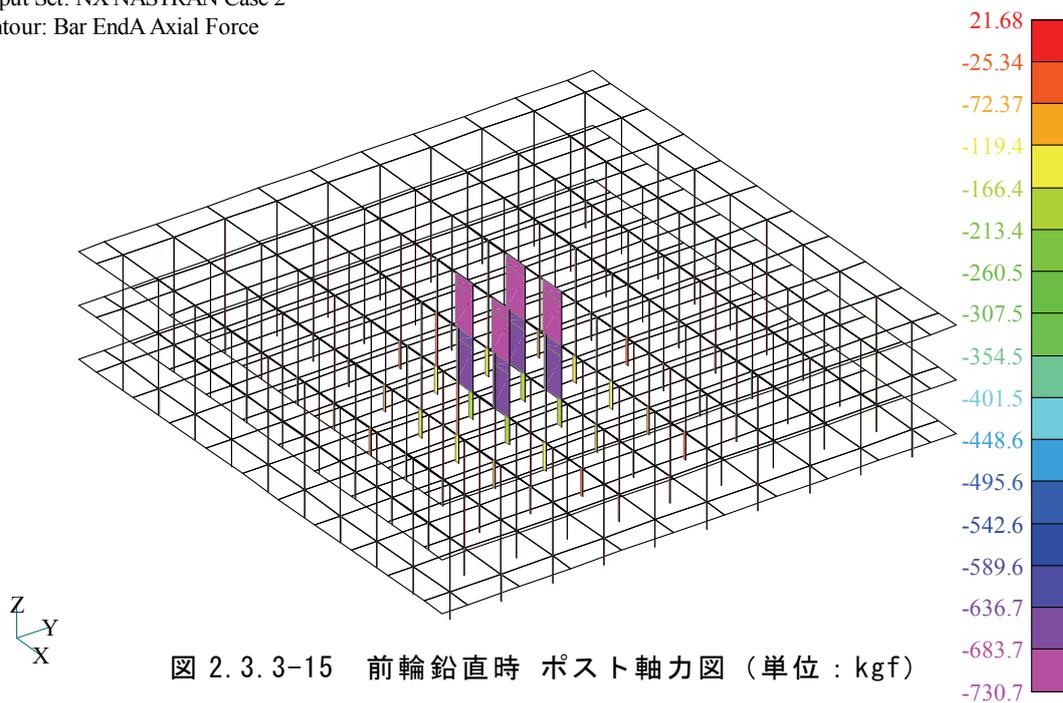


図 2.3.3-15 前輪鉛直時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

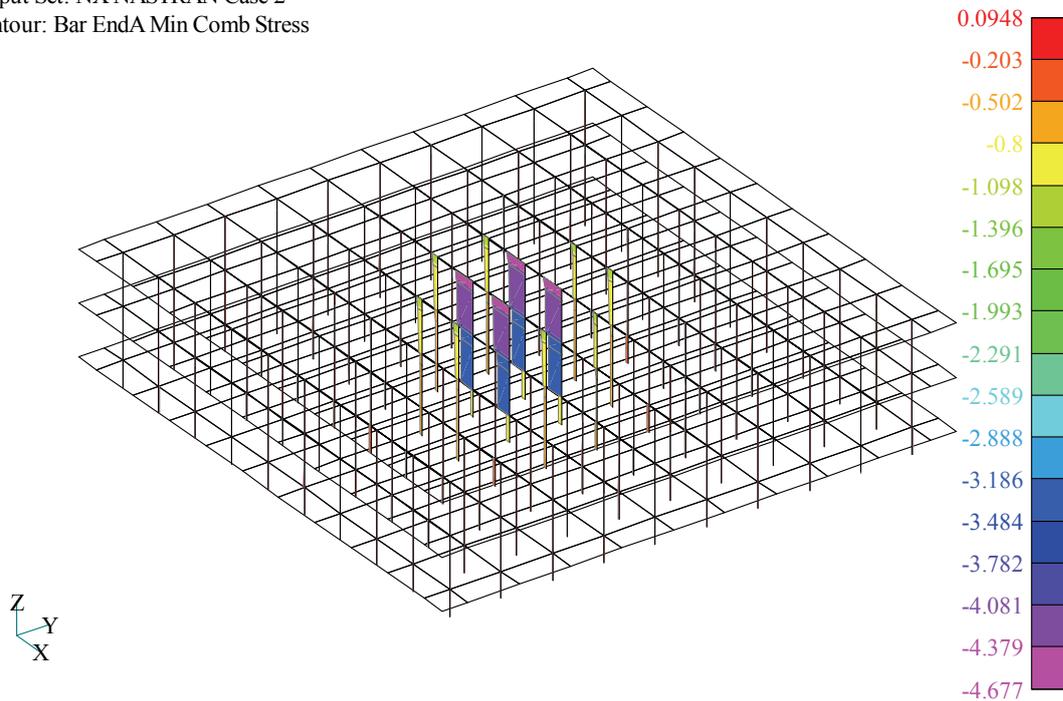


図 2.3.3-16 前輪鉛直時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(3) 前輪振り時の解析結果

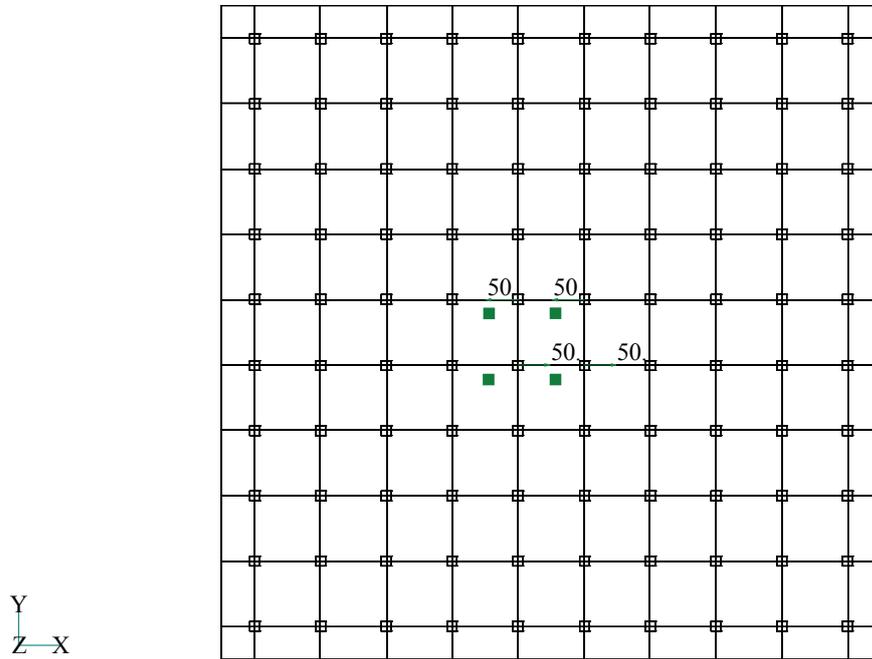


図 2.3.3-17 前輪振り時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Deformed(0.161): Total Translation

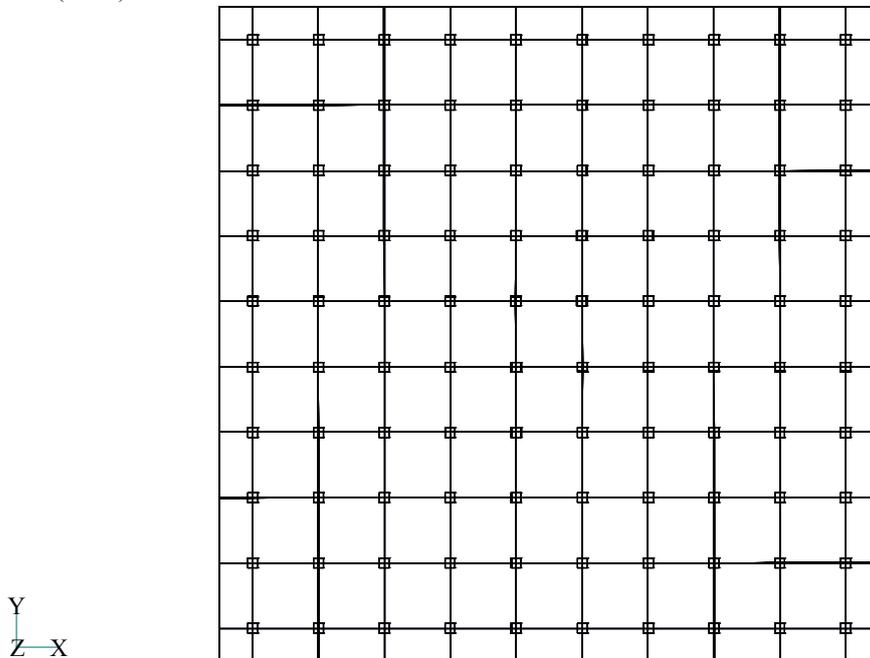


図 2.3.3-18 前輪振り時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Bar EndA Plane1 Moment

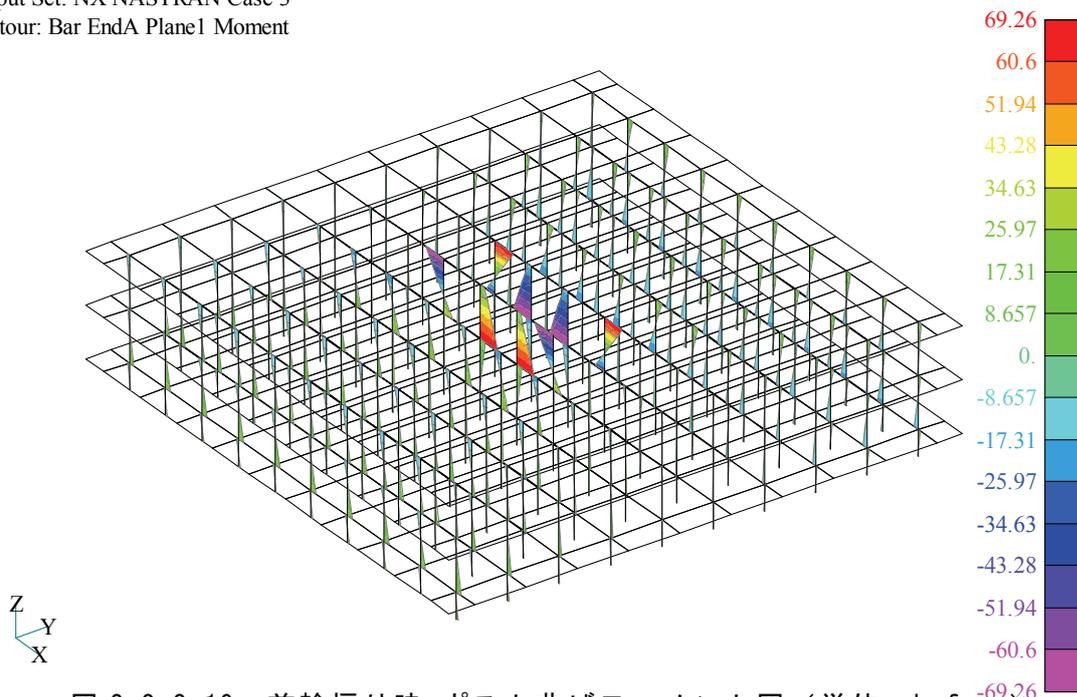


図 2.3.3-19 前輪振り時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : kgf・mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Bar EndA P11 Shear Force

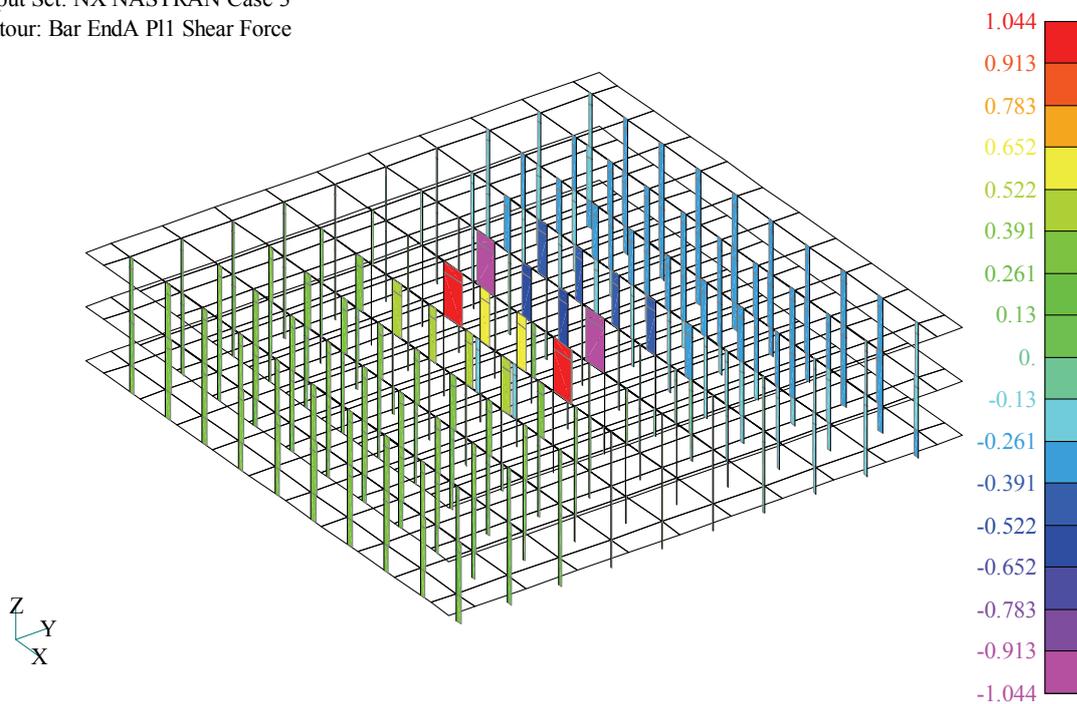


図 2.3.3-20 前輪振り時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Bar EndA Axial Force

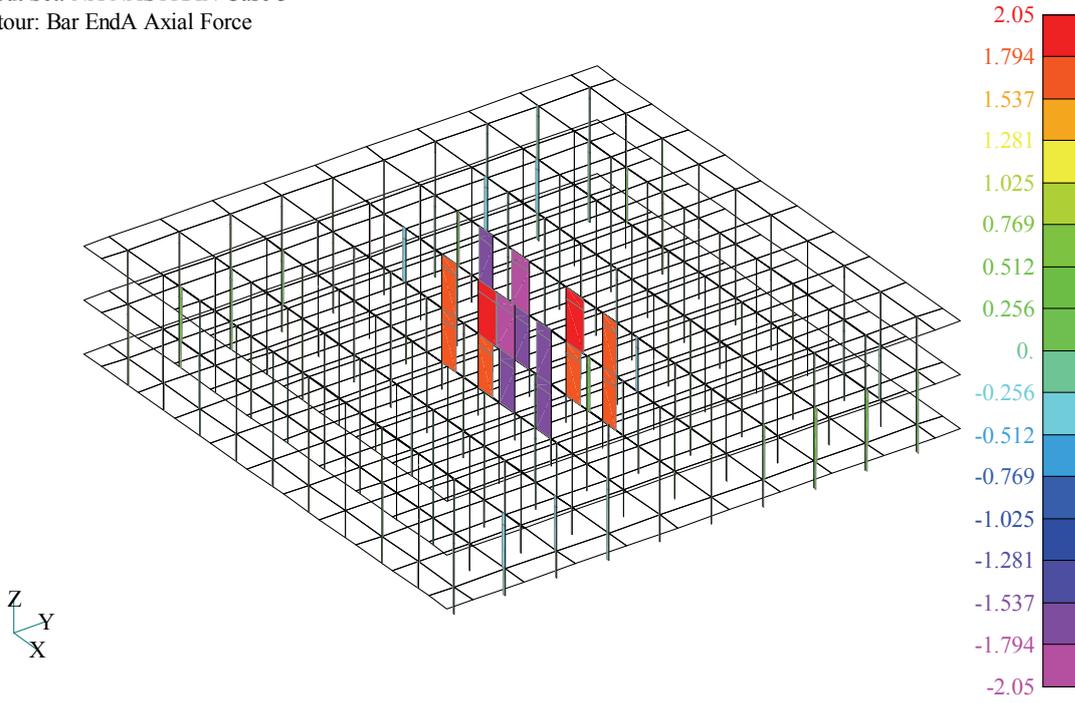


図 2.3.3-21 前輪振り時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Bar EndA Min Comb Stress

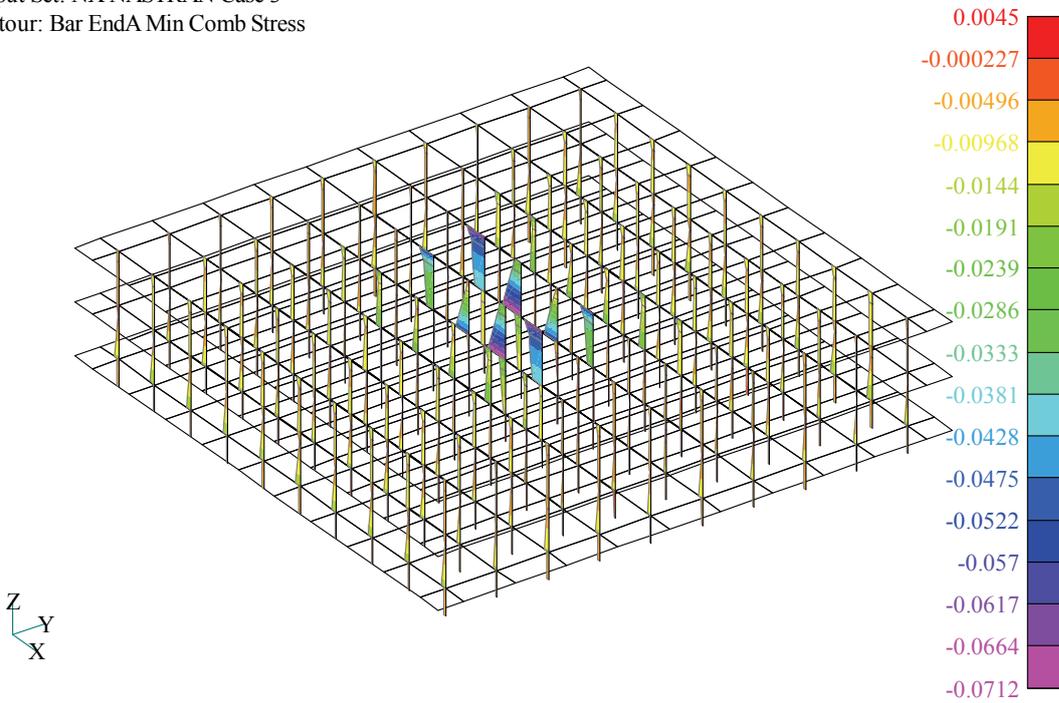


図 2.3.3-22 前輪振り時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(4) 後輪水平時の解析結果

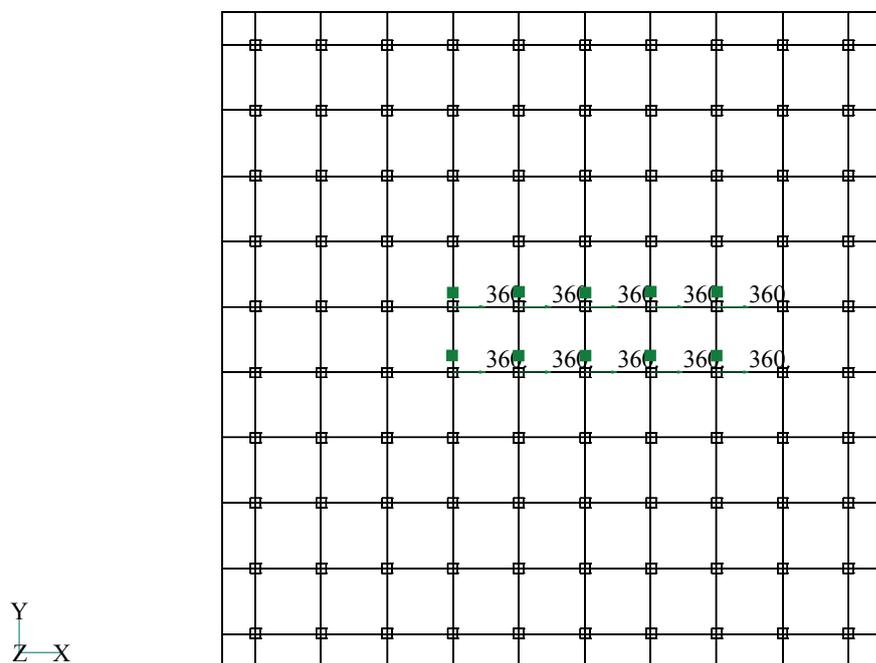


図 2.3.3-23 後輪水平時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
Deformed(9.923): Total Translation

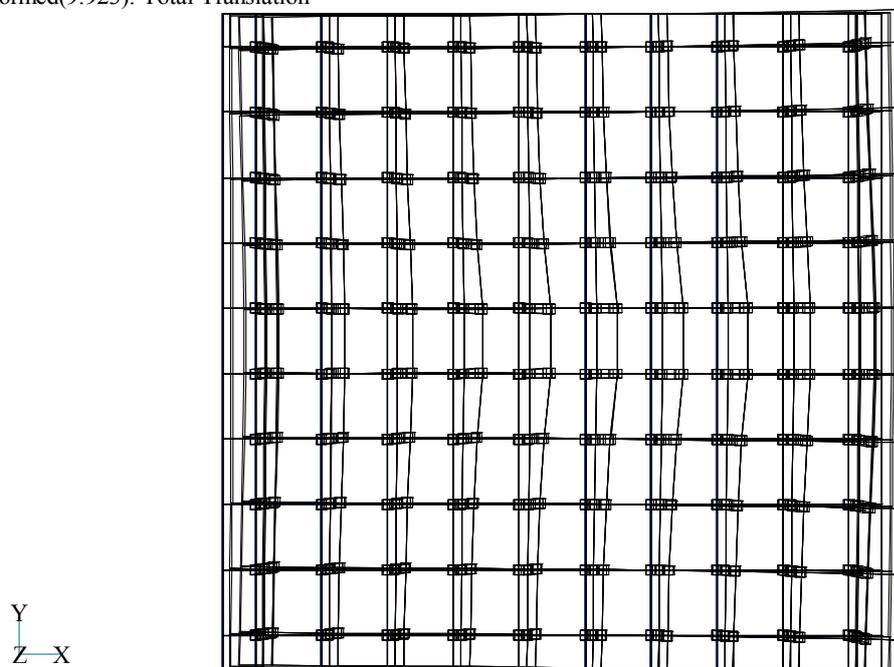


図 2.3.3-24 後輪水平時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment

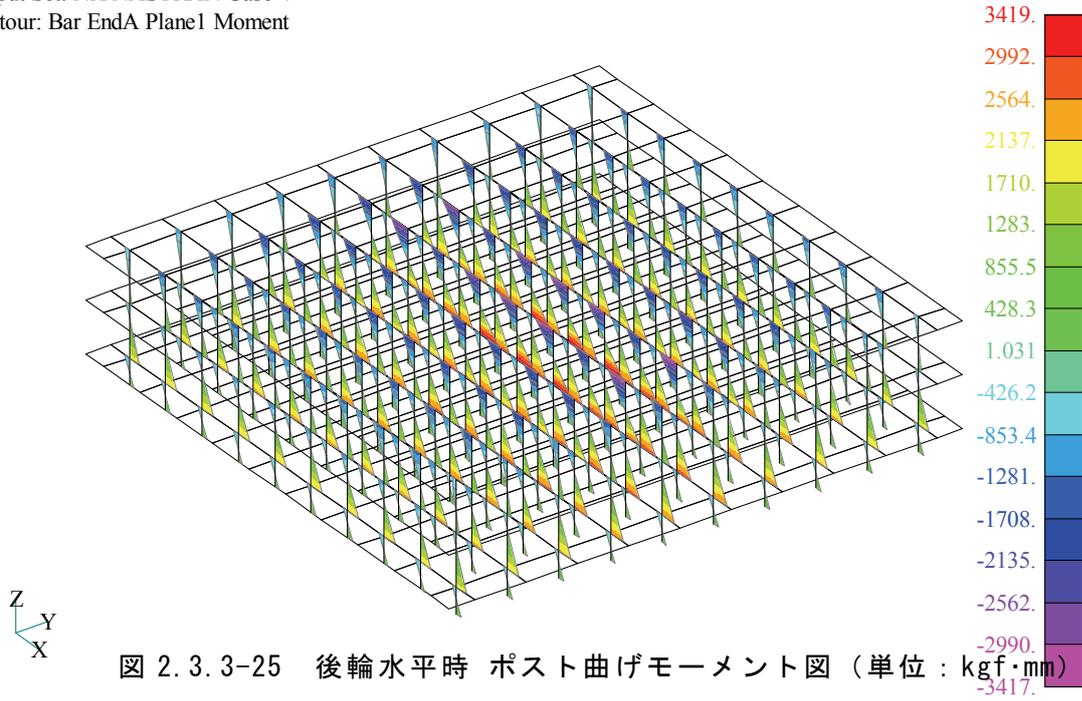


図 2.3.3-25 後輪水平時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : kgf・mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force

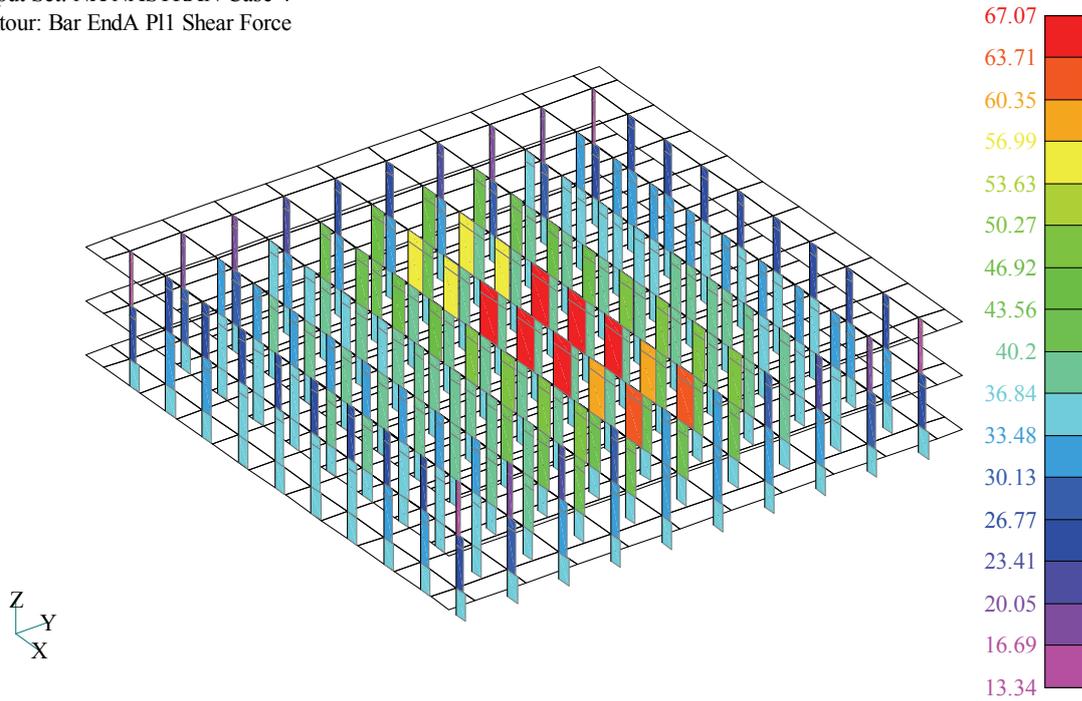


図 2.3.3-26 後輪水平時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
 Contour: Bar EndA Axial Force

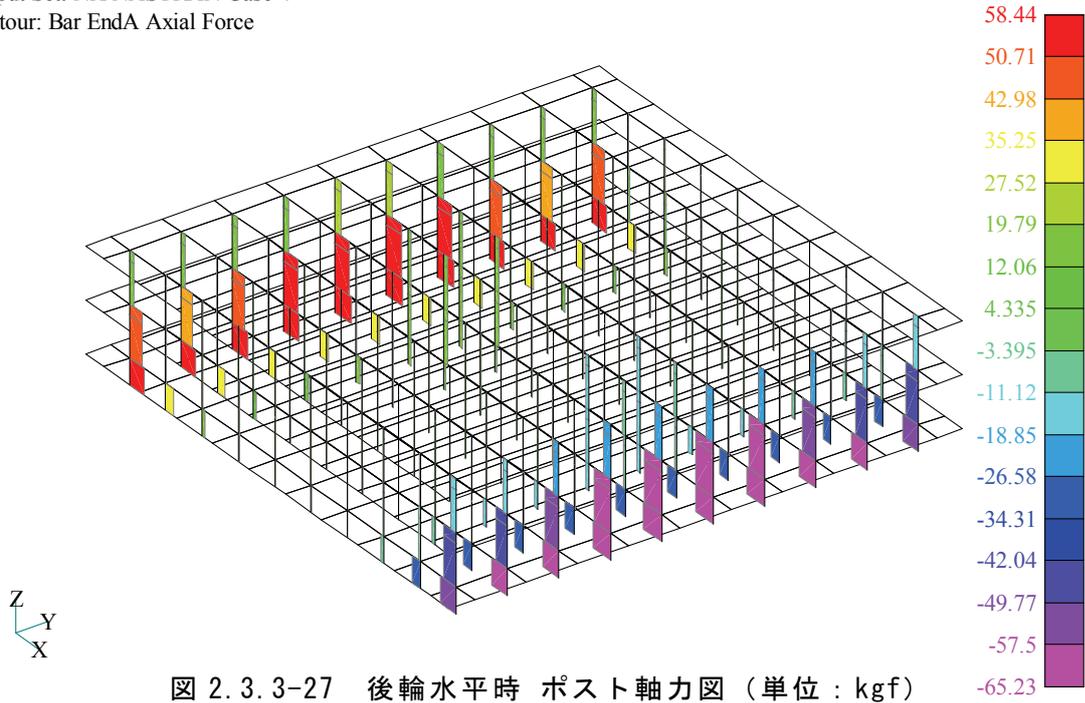


図 2.3.3-27 後輪水平時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

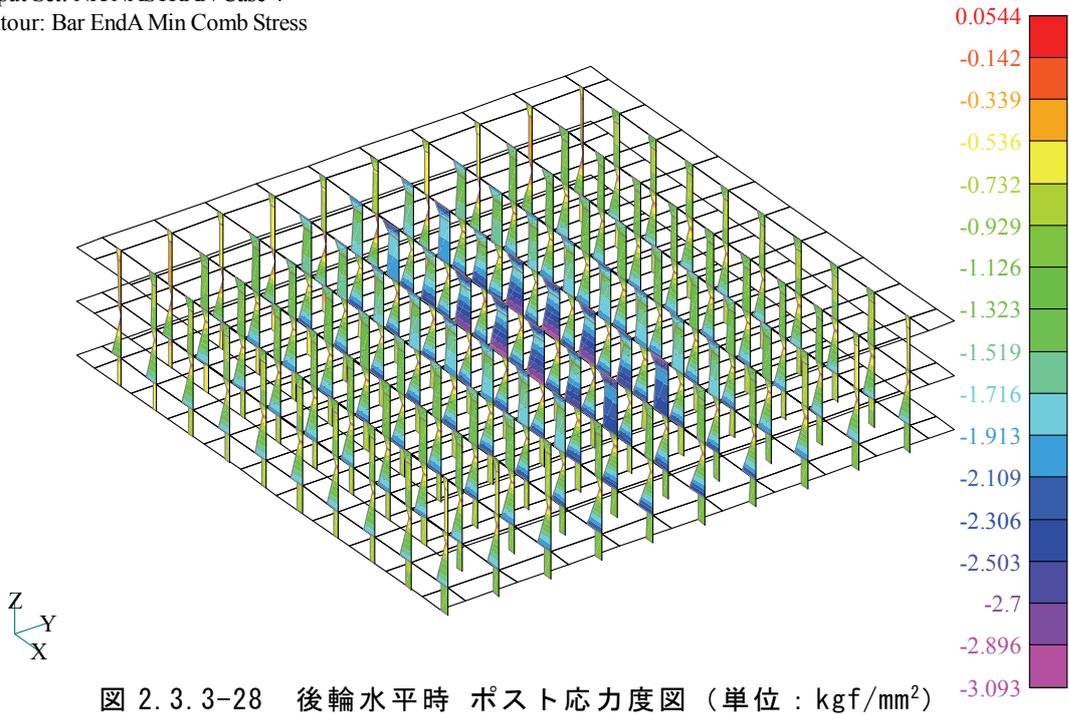


図 2.3.3-28 後輪水平時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(5) 後輪鉛直時の解析結果

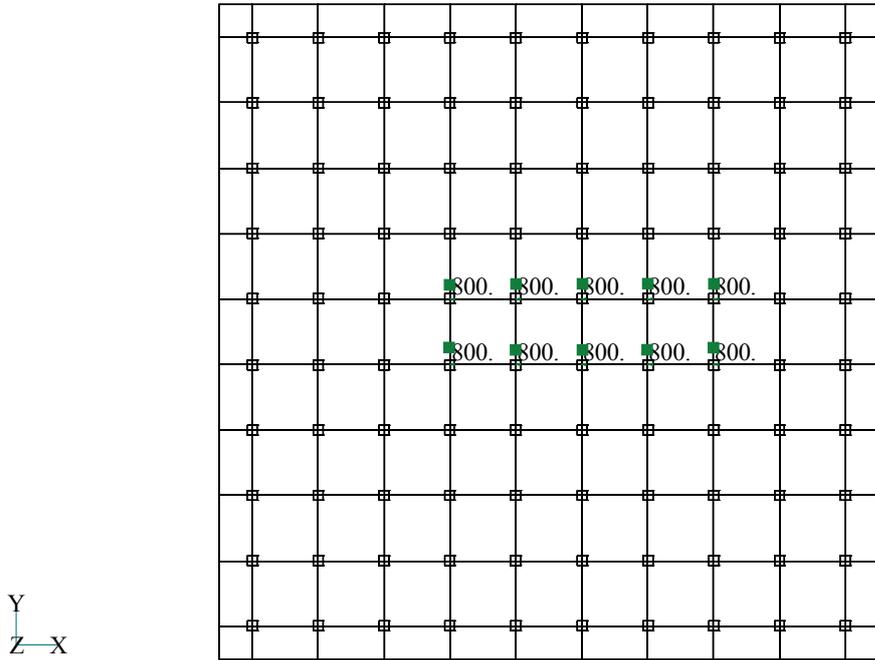


図 2.3.3-29 後輪鉛直時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
Deformed(5.071): Total Translation

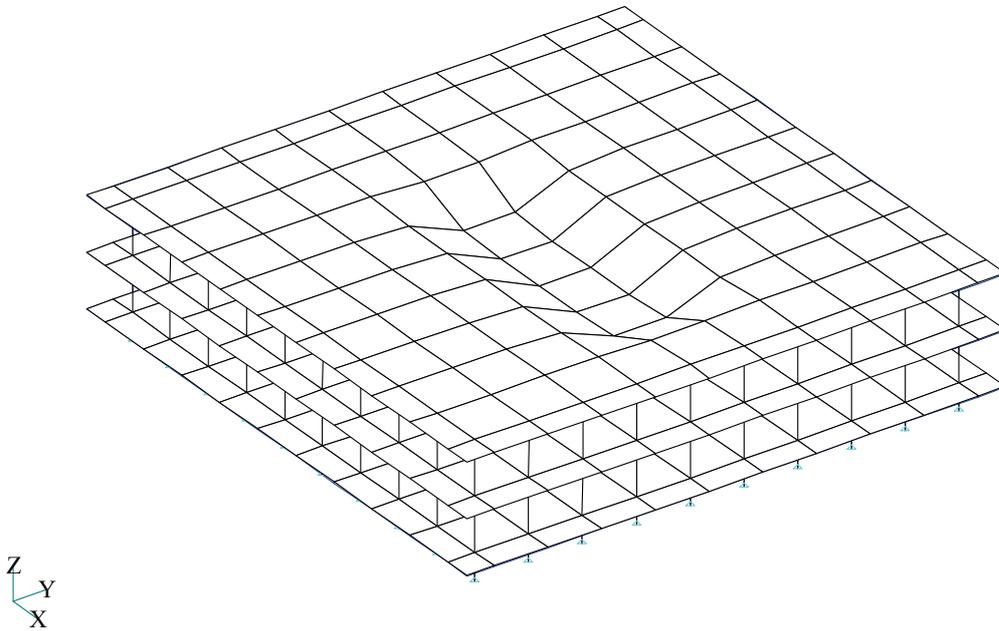


図 2.3.3-30 後輪鉛直時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment

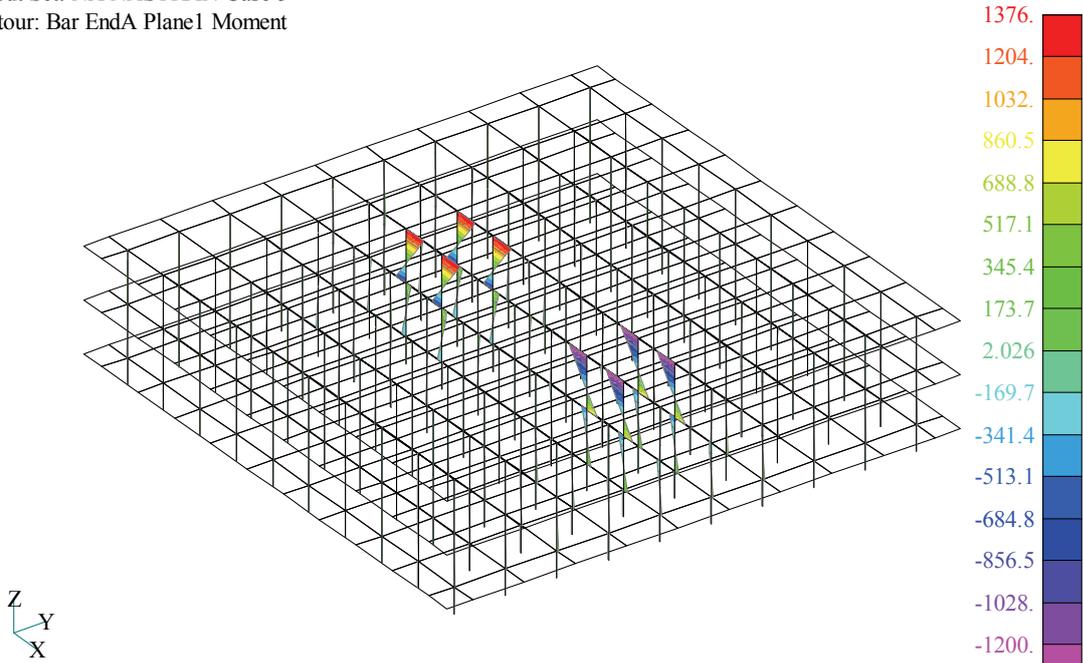


図 2.3.3-31 後輪鉛直時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : kgf・mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force

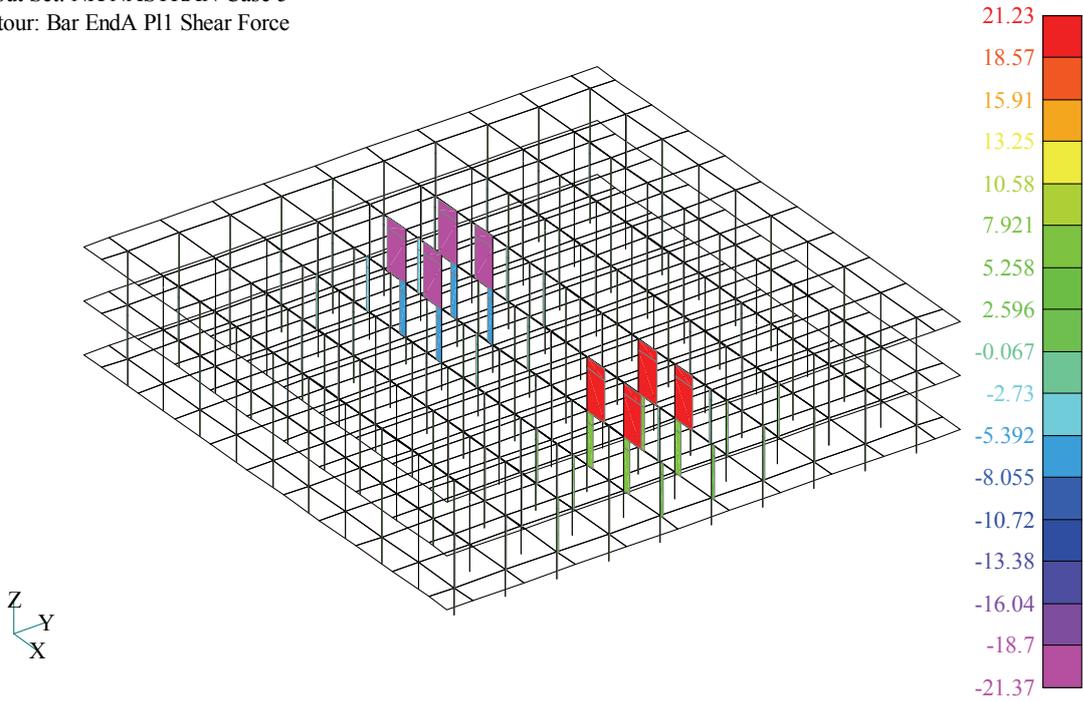


図 2.3.3-32 後輪鉛直時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA Axial Force

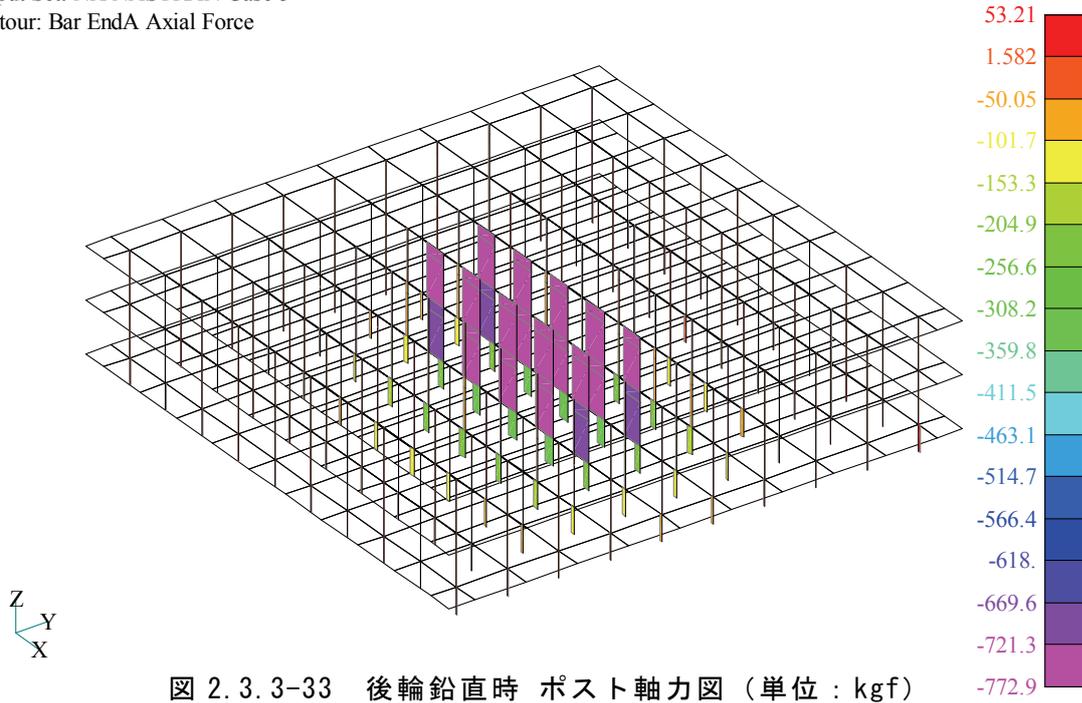


図 2. 3. 3-33 後輪鉛直時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

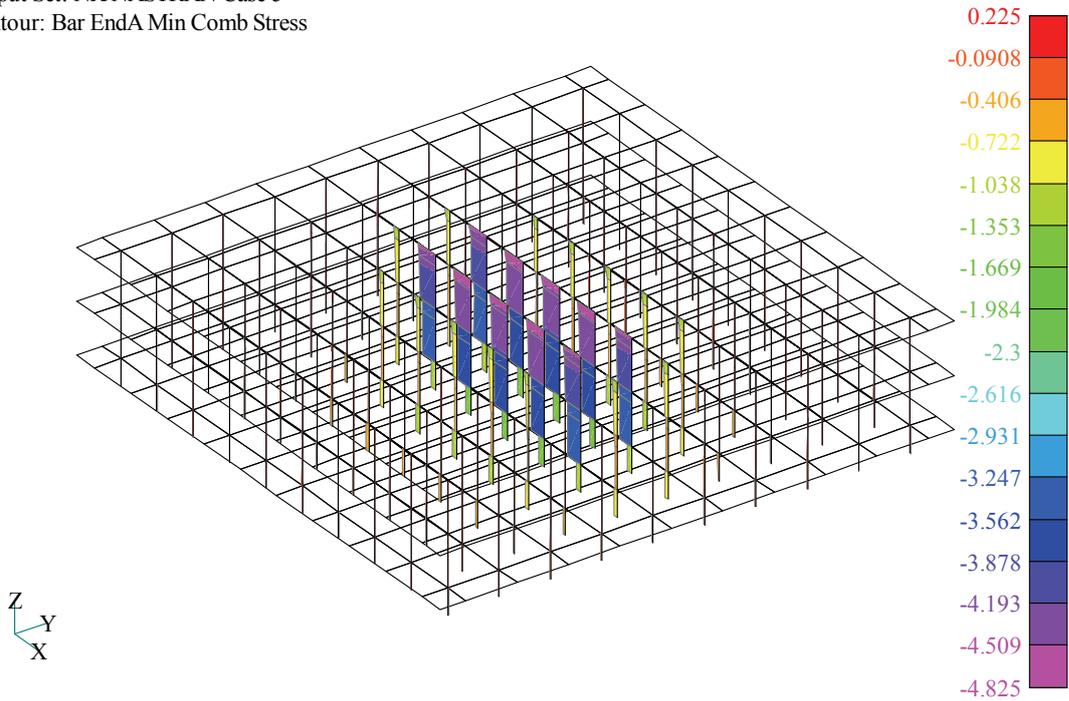


図 2. 3. 3-34 後輪鉛直時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

5) 横補強材のない場合の解析結果

(1) 前輪水平時の解析結果

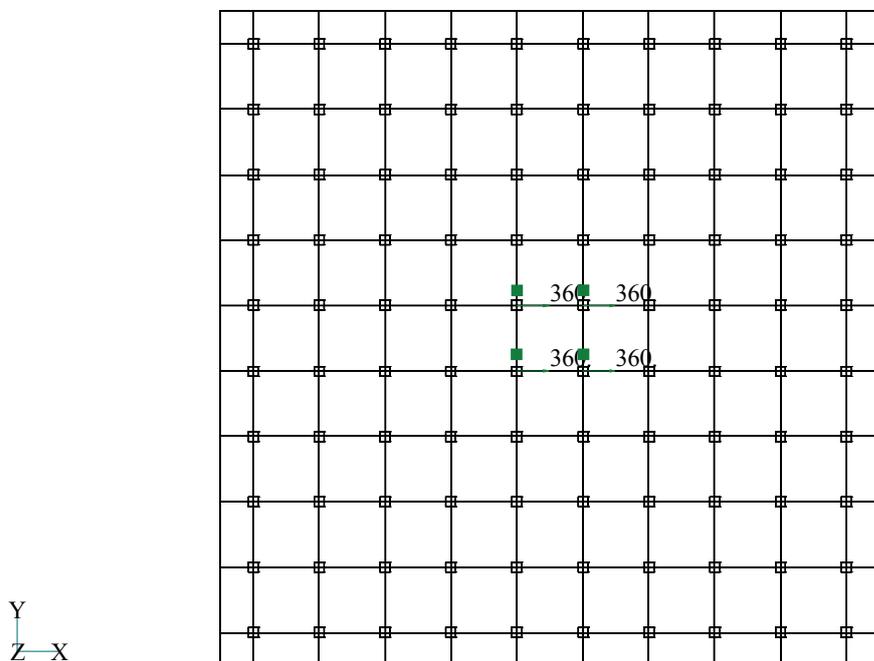


図 2.3.3-35 前輪水平時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
Deformed(7.851): Total Translation

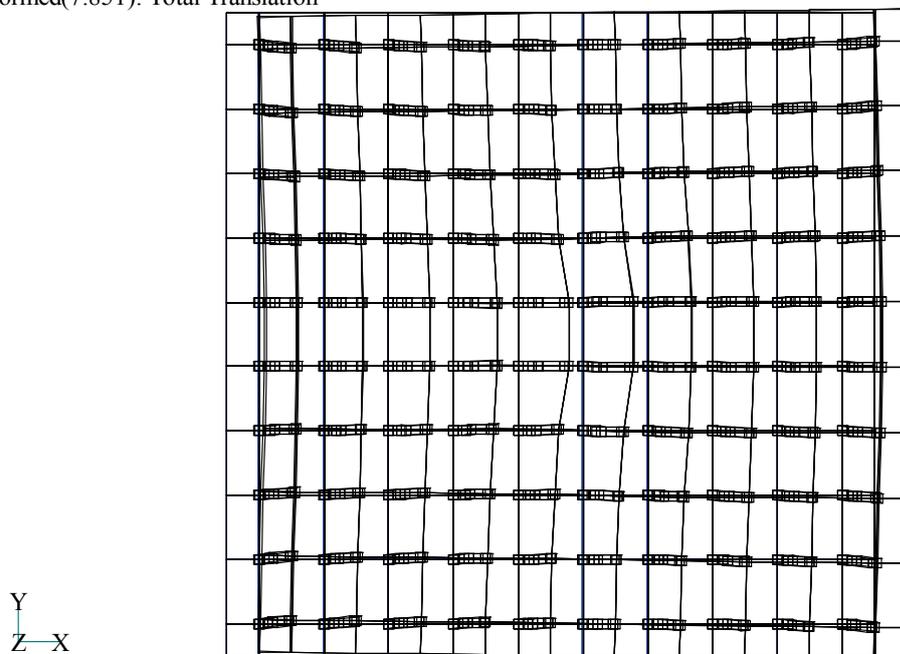


図 2.3.3-36 前輪水平時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment

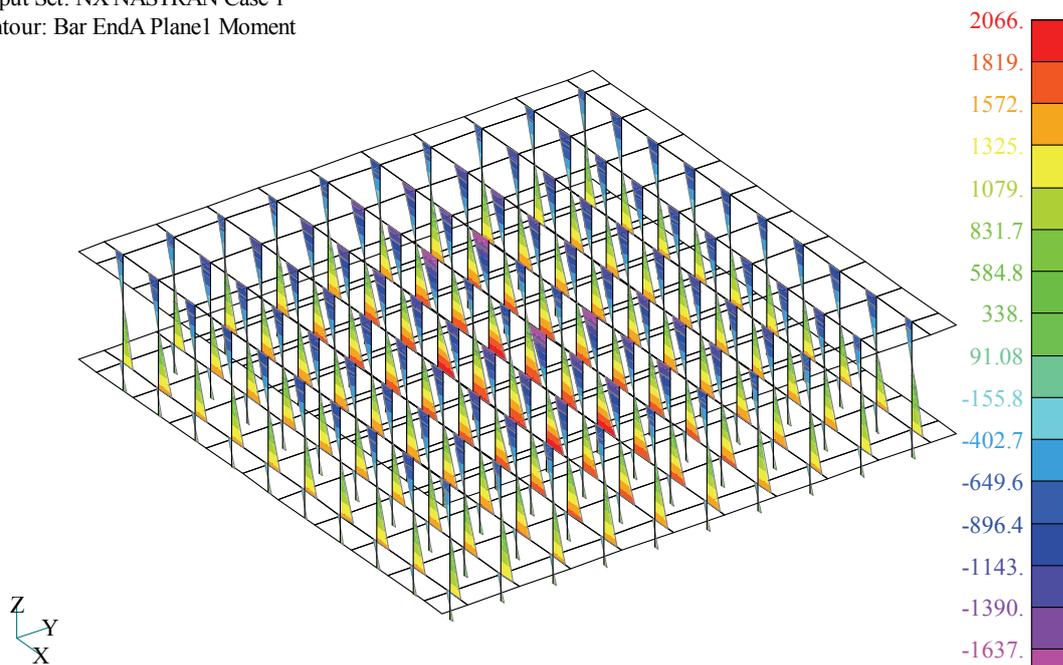


図 2.3.3-37 前輪水平時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : kgf · mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force

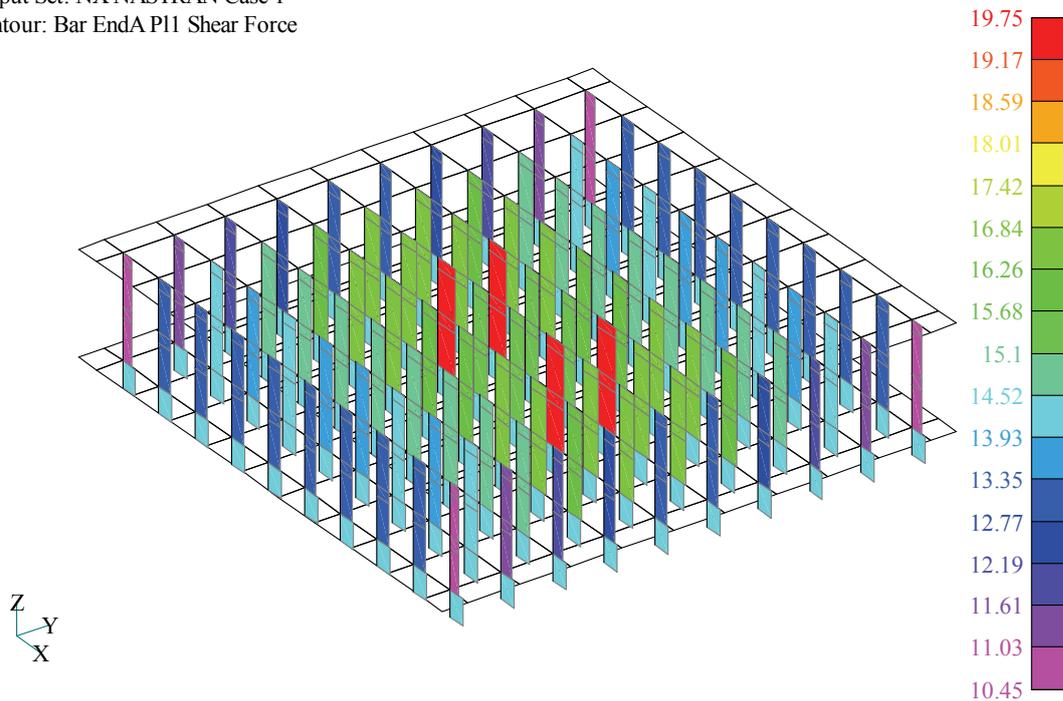


図 2.3.3-38 前輪水平時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA Axial Force

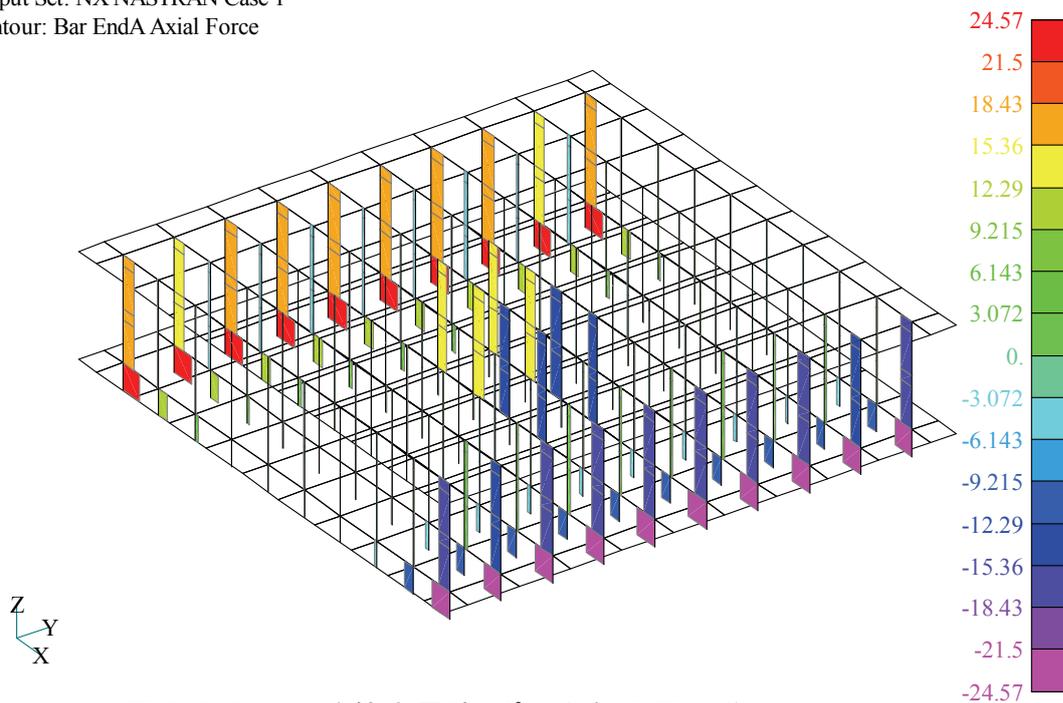


図 2.3.3-39 前輪水平時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

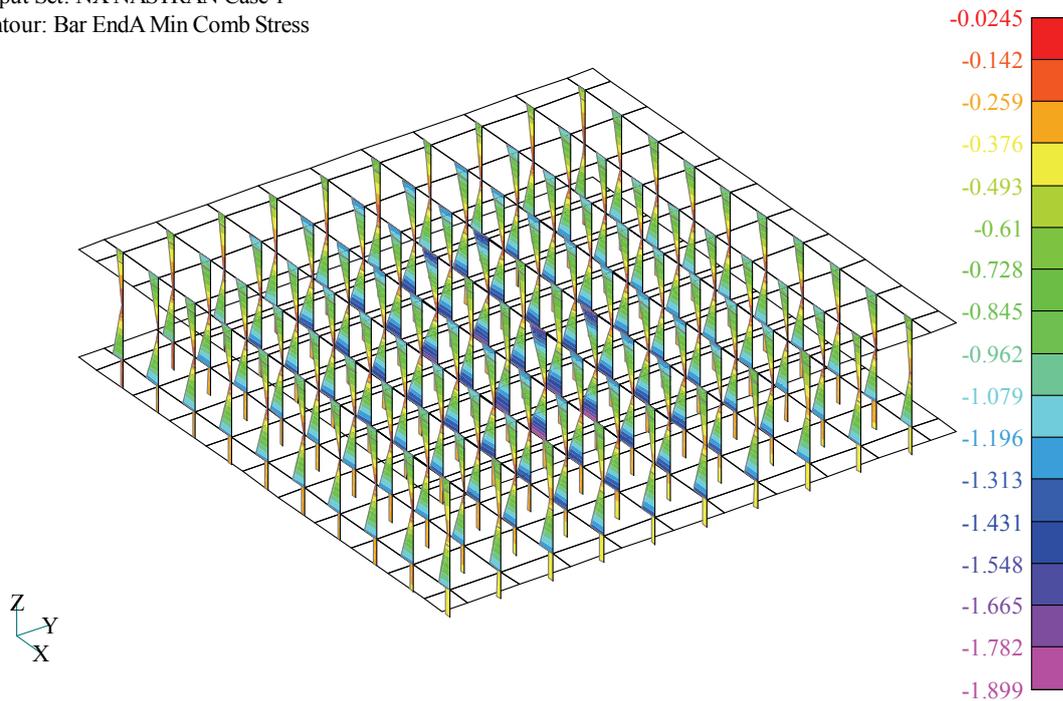


図 2.3.3-40 前輪水平時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(2) 前輪鉛直時の解析結果

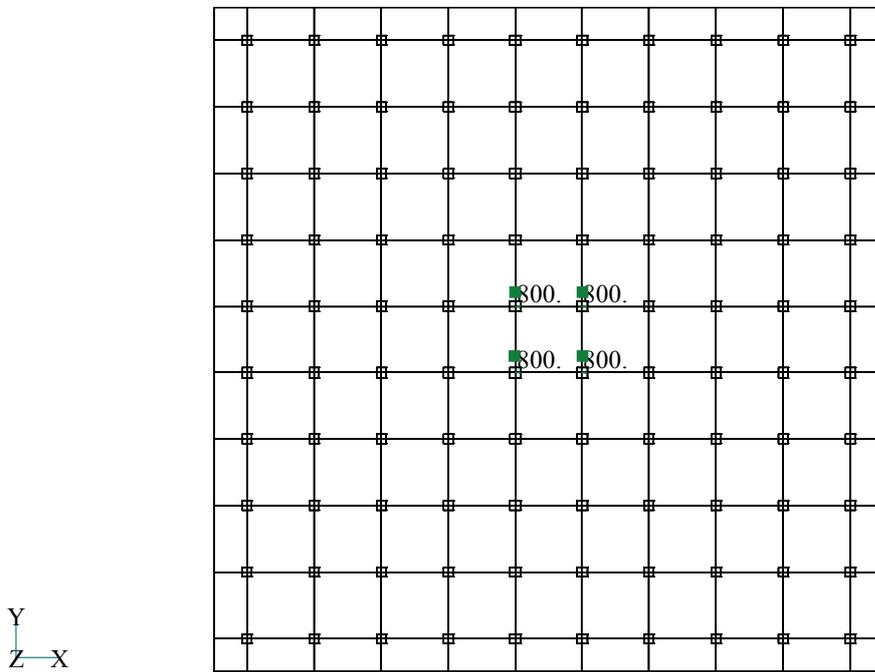


図 2.3.3-41 前輪鉛直時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
Deformed(4.728): Total Translation

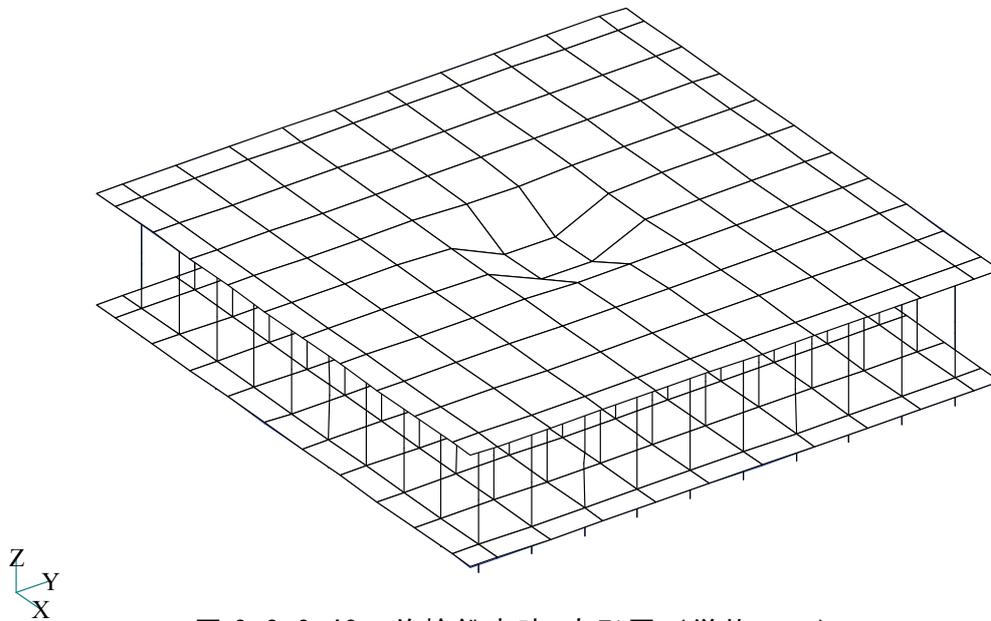


図 2.3.3-42 前輪鉛直時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment

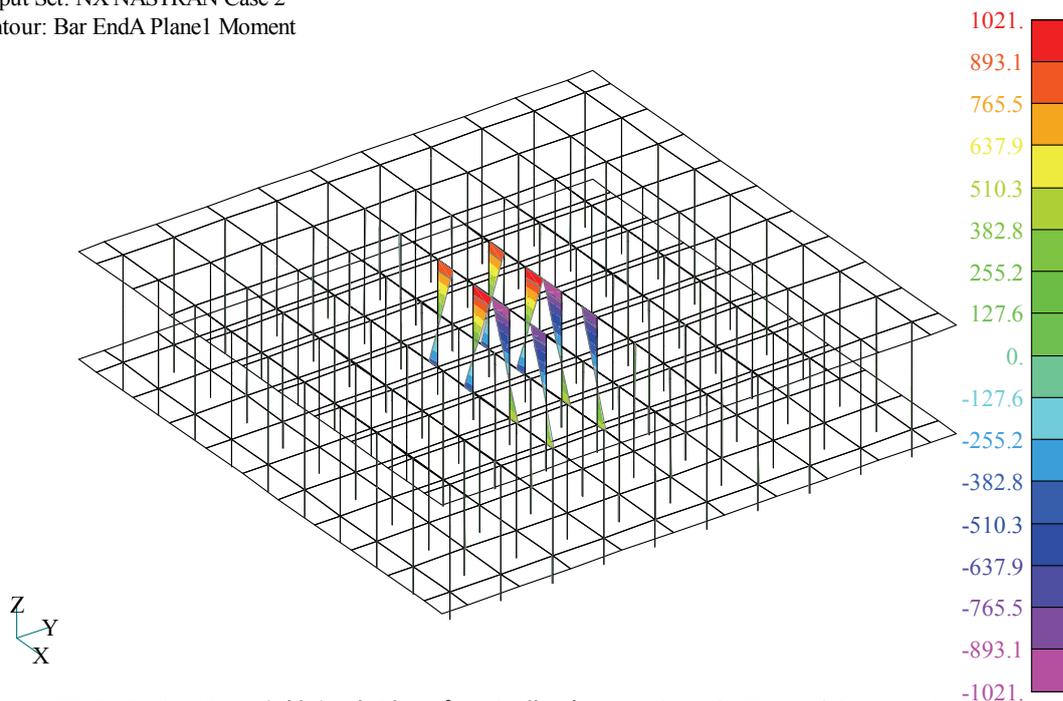


図 2.3.3-43 前輪鉛直時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : kgf・mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force

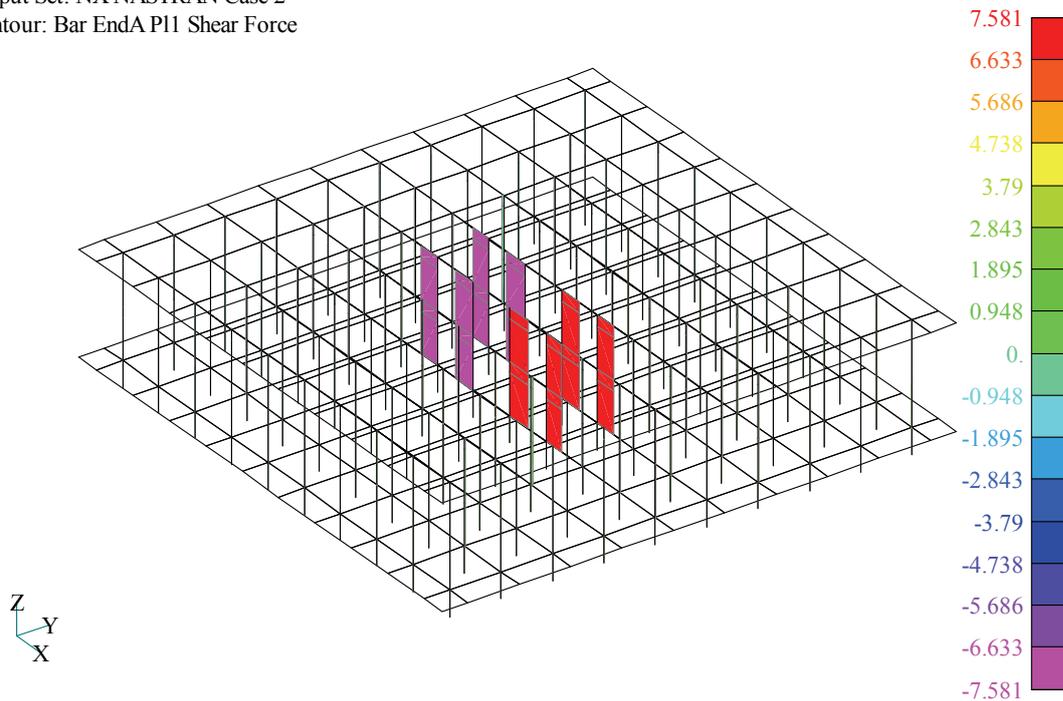


図 2.3.3-44 前輪鉛直時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA Axial Force

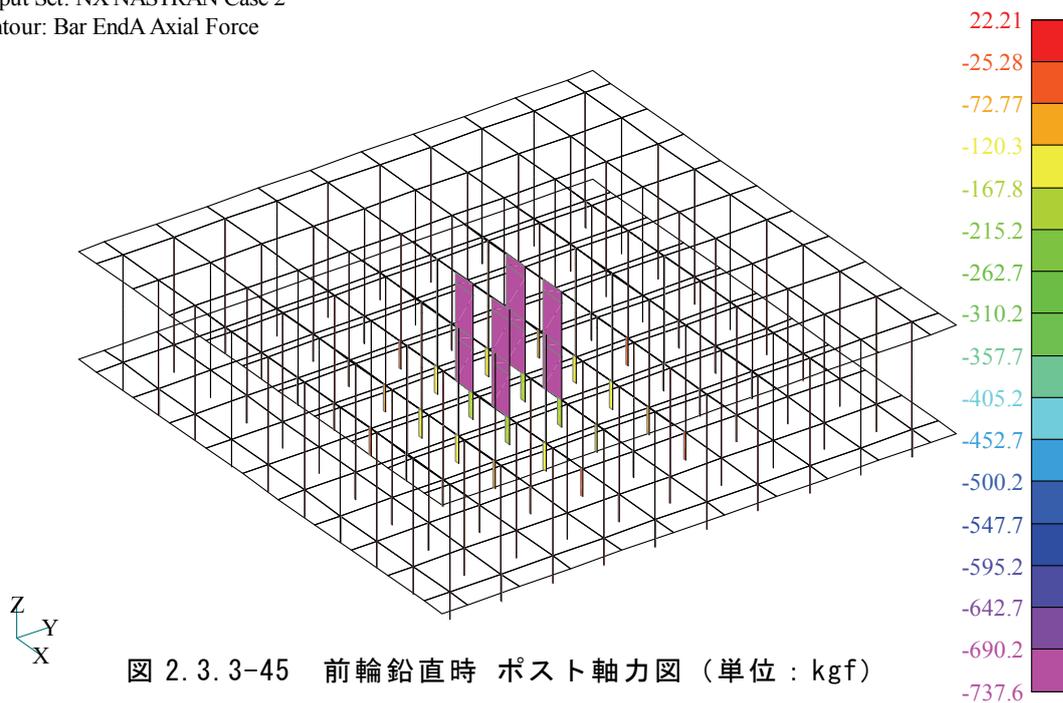


図 2. 3. 3-45 前輪鉛直時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 2
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

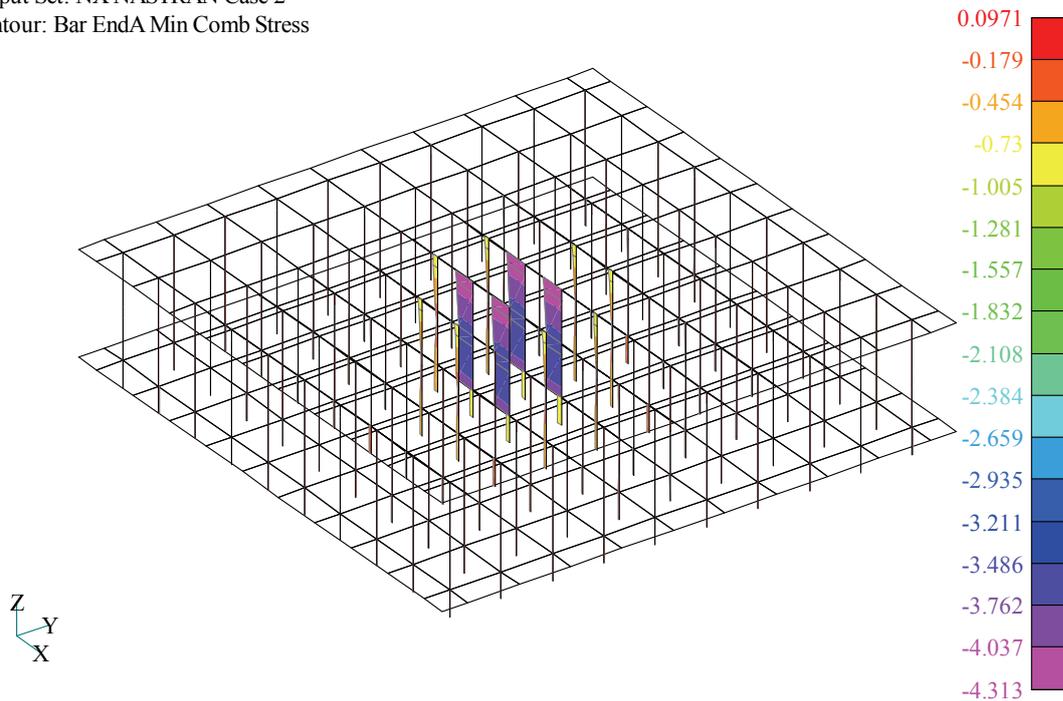


図 2. 3. 3-46 前輪鉛直時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(3) 前輪振り時の解析結果

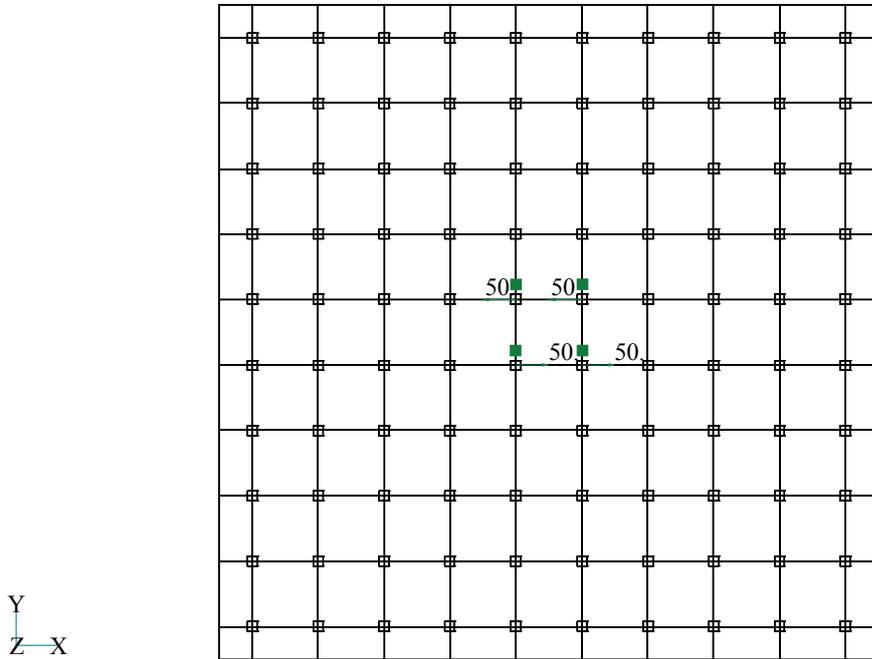


図 2.3.3-47 前輪振り時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Deformed(0.172): Total Translation

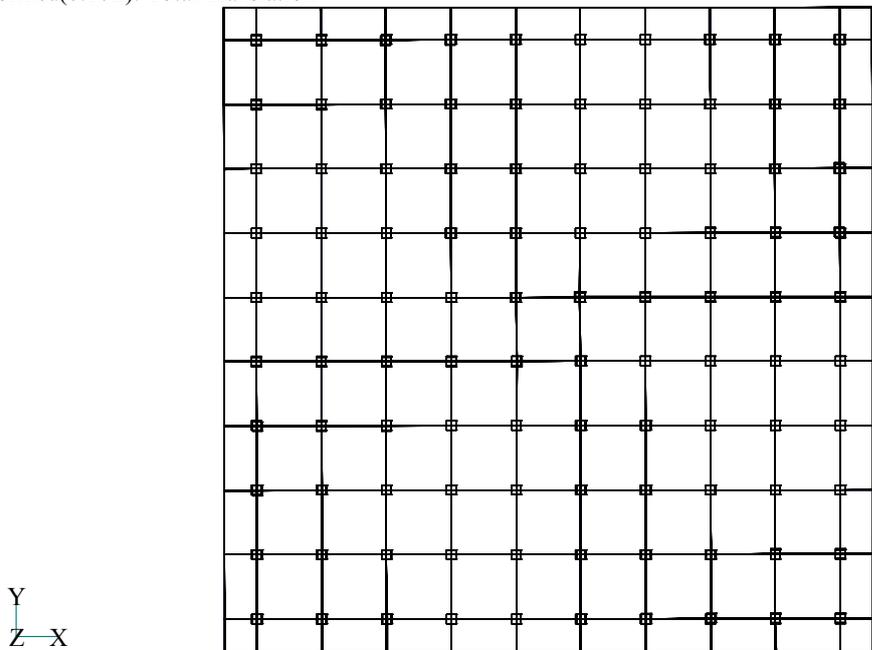


図 2.3.3-48 前輪振り時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment

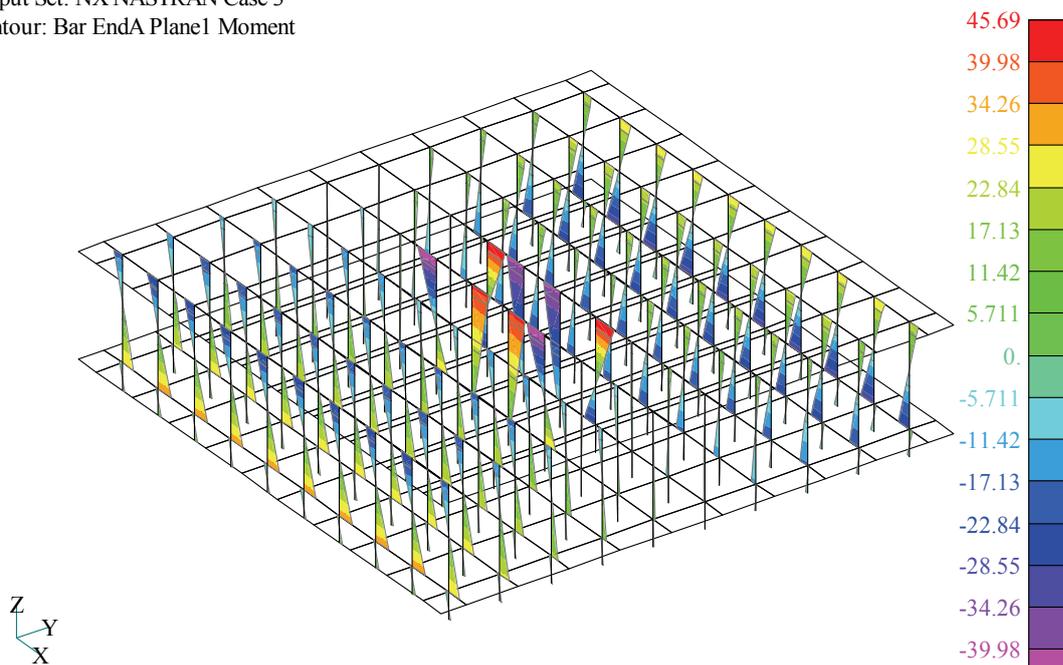


図 2.3.3-49 前輪振り時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : kgf・mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force

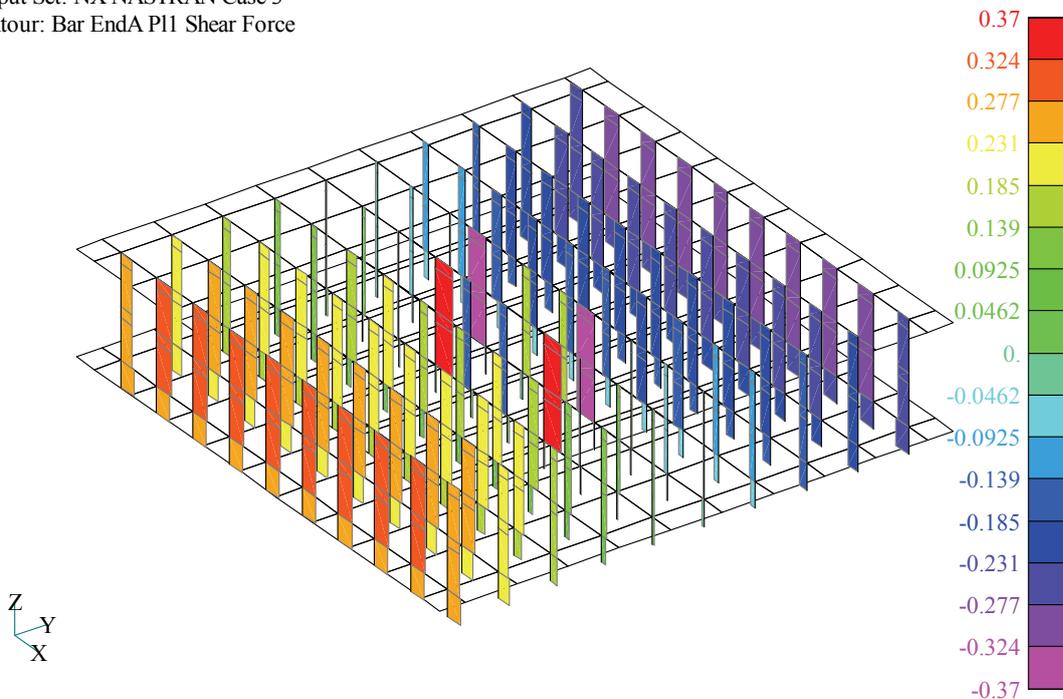


図 2.3.3-50 前輪振り時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Bar EndA Axial Force

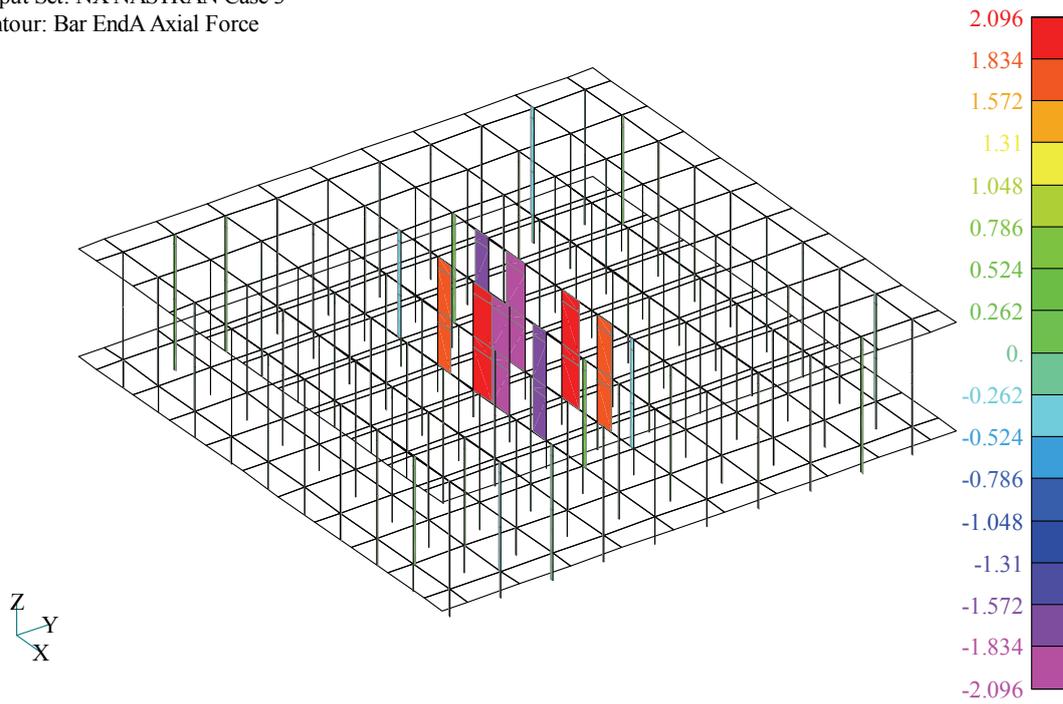


図 2. 3. 3-51 前輪振り時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Bar EndA Min Comb Stress

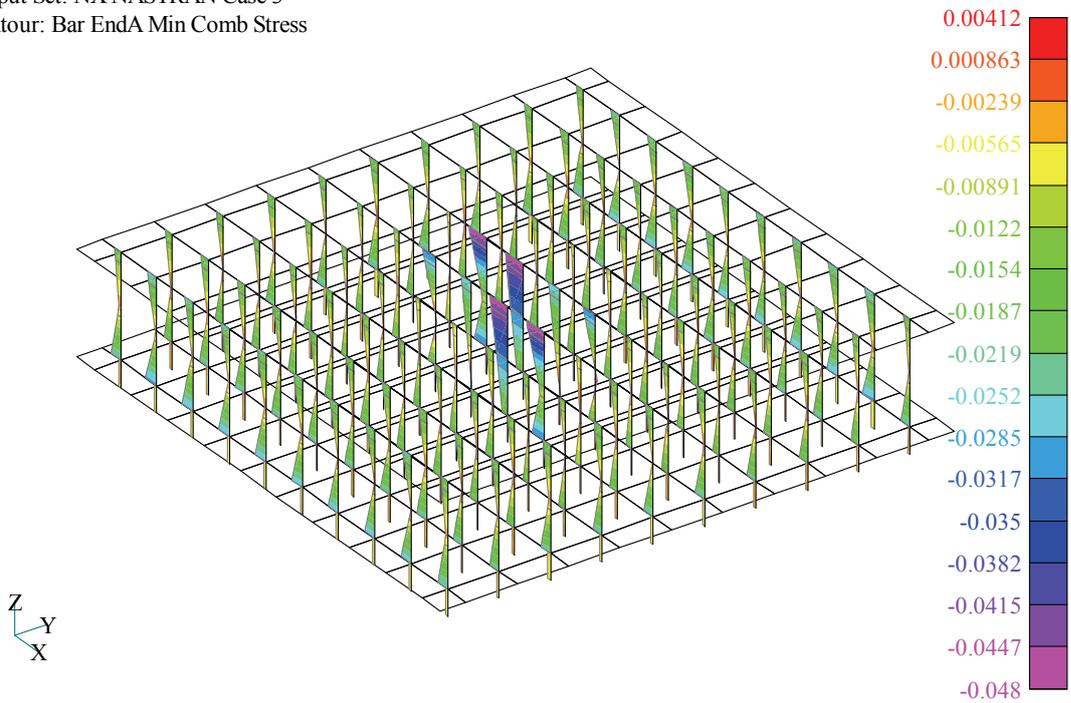


図 2. 3. 3-52 前輪振り時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(4) 後輪水平時の解析結果

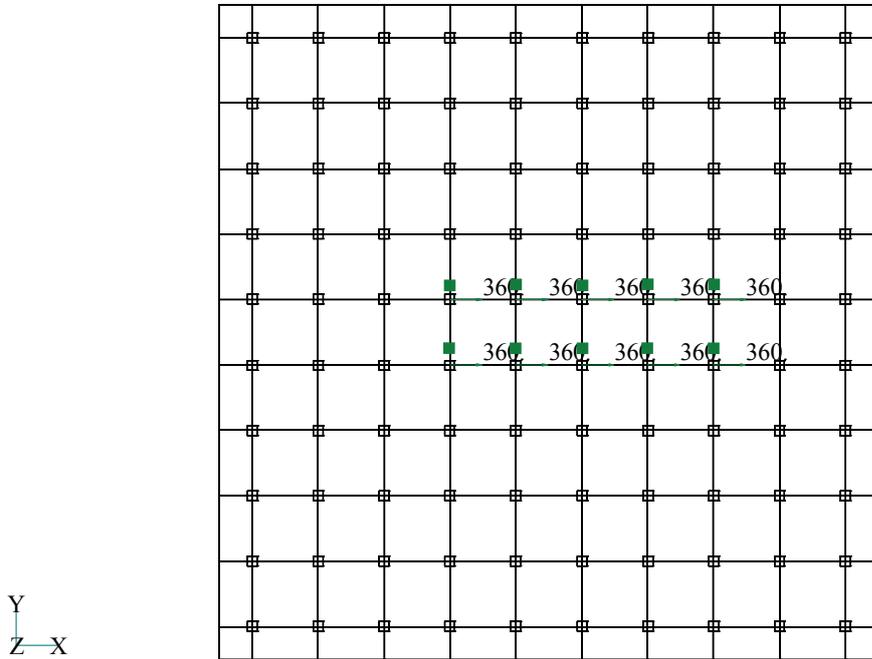


図 2.3.3-53 後輪水平時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
Deformed(17.97): Total Translation

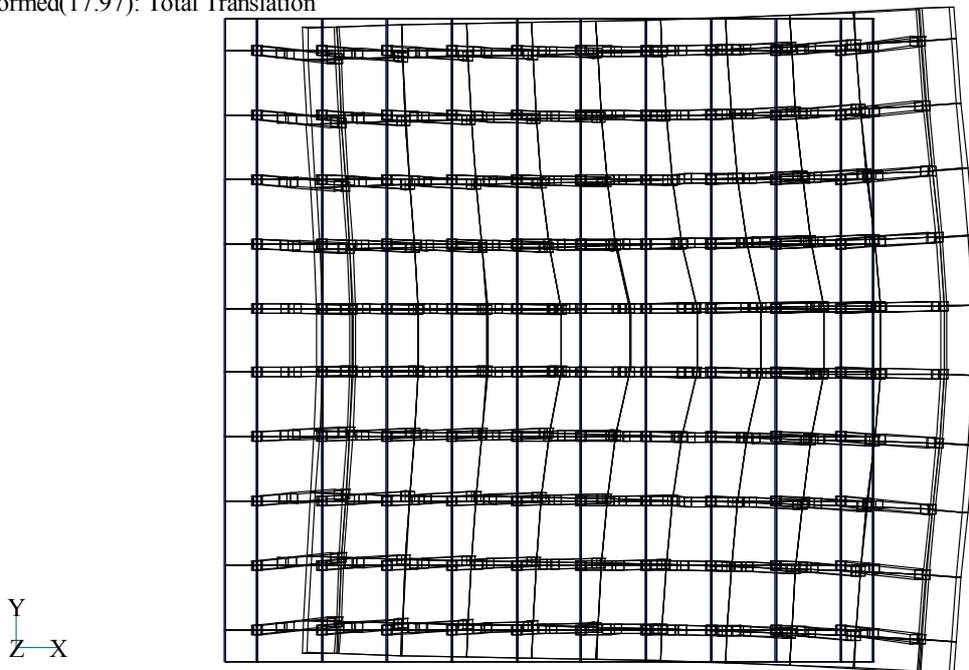


図 2.3.3-54 後輪水平時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
Contour: Bar EndA Plane1 Moment

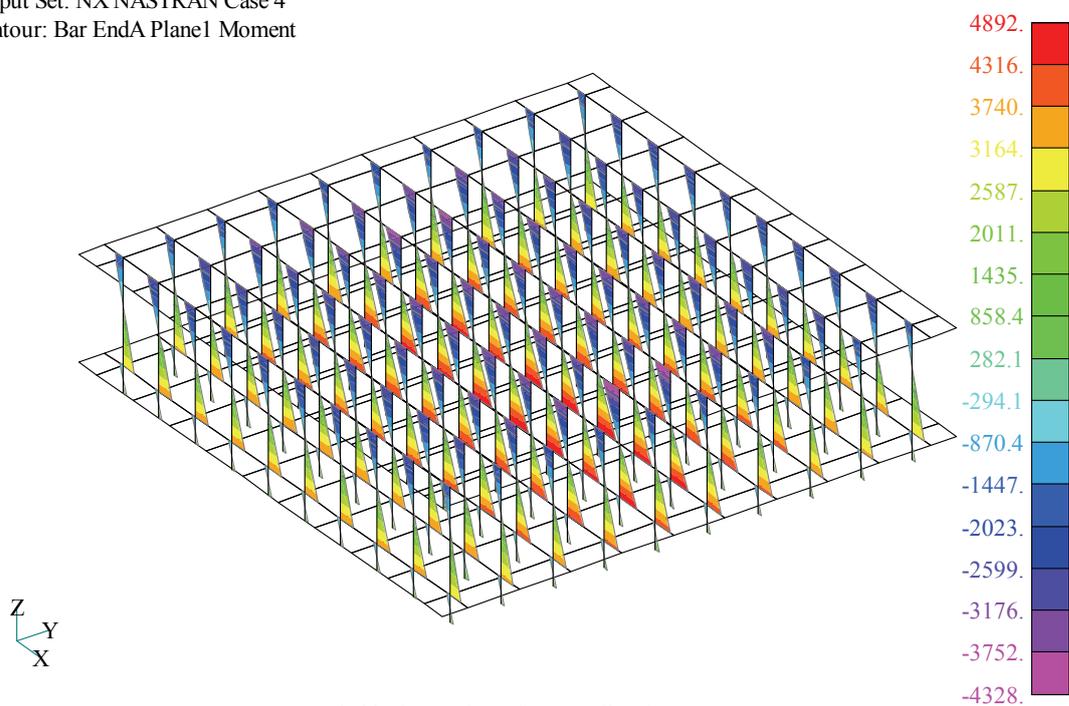


図 2.3.3-55 後輪水平時 ポスト曲げモーメント図 (単位 : kgf・mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
Contour: Bar EndA P11 Shear Force

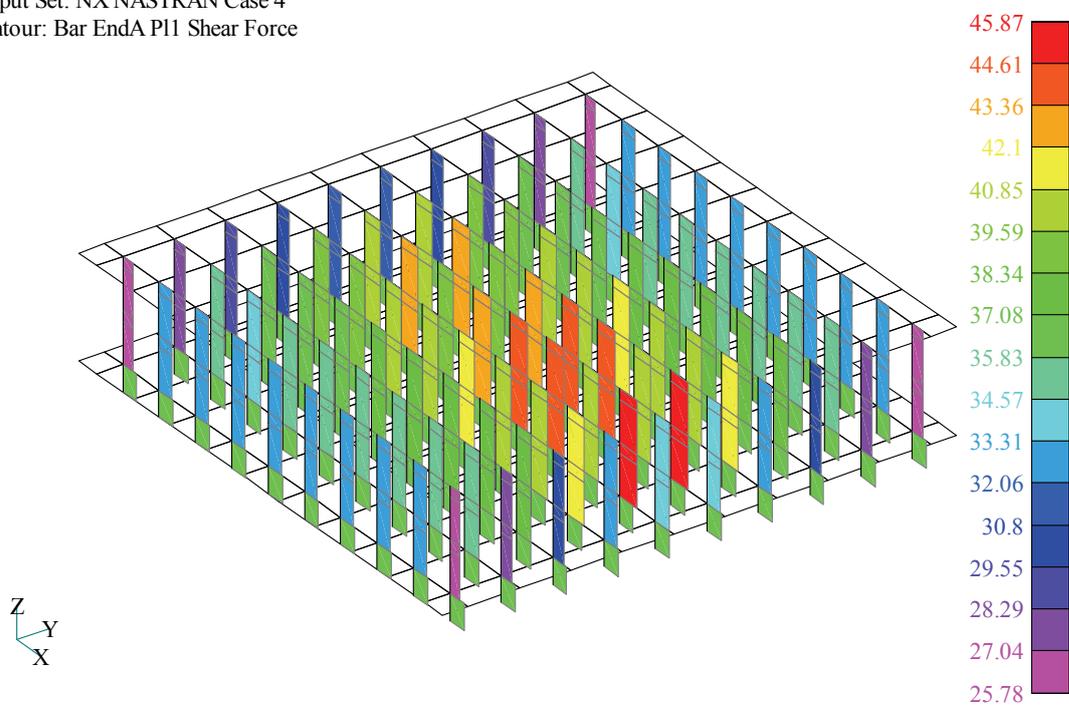


図 2.3.3-56 後輪水平時 ポストせん断力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
 Contour: Bar EndA Axial Force

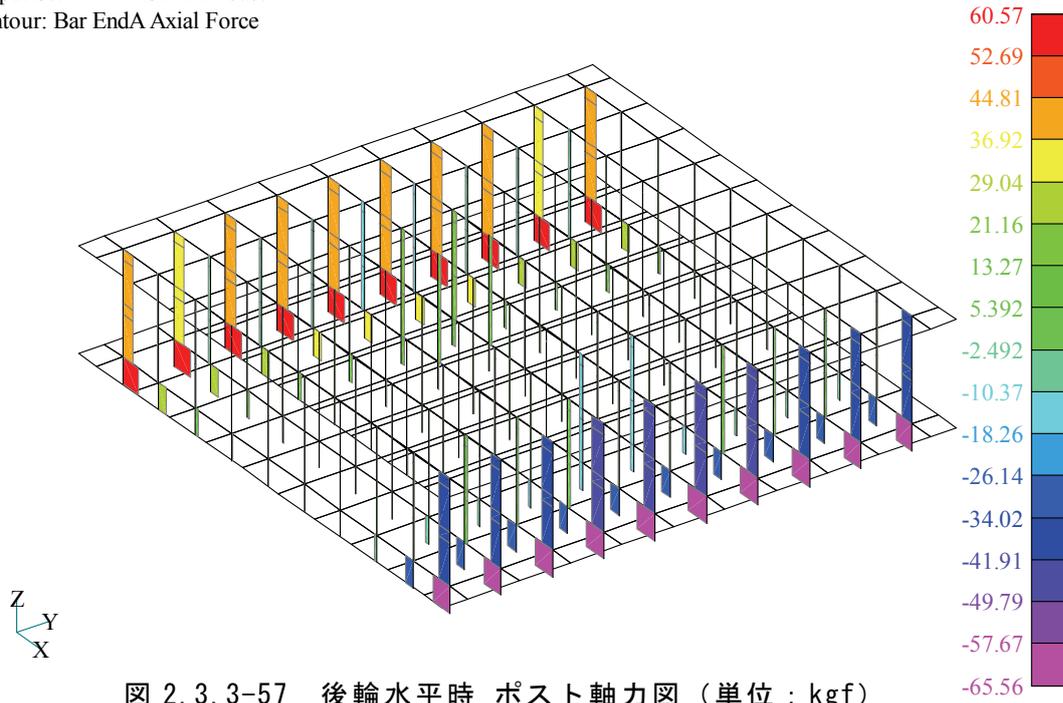


図 2. 3. 3-57 後輪水平時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 4
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

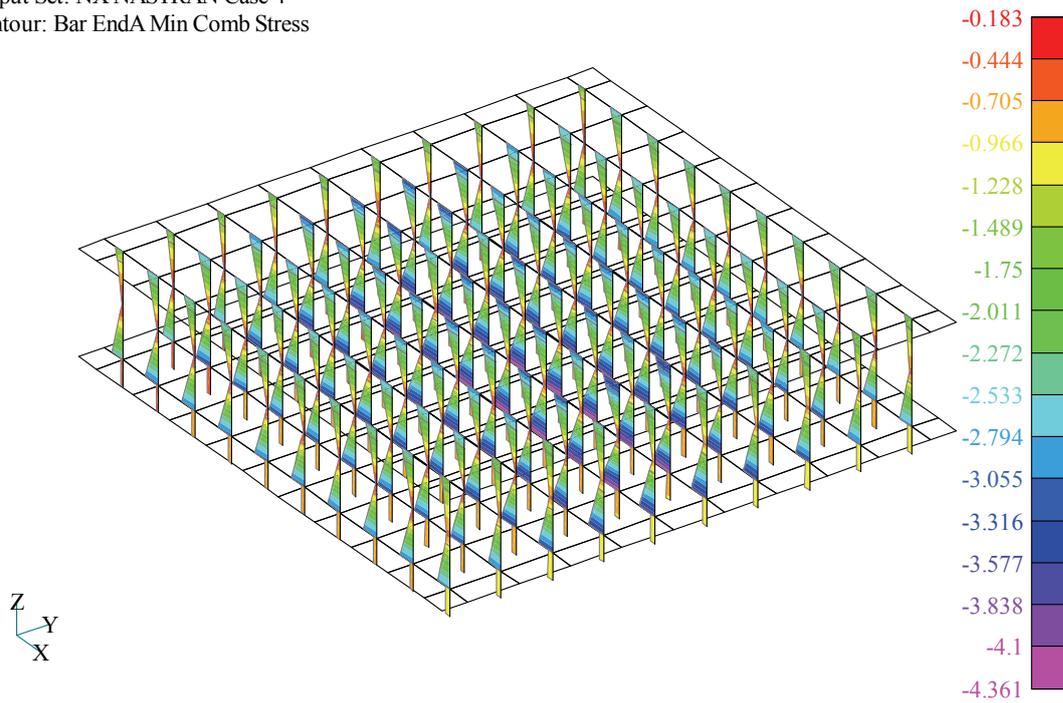


図 2. 3. 3-58 後輪水平時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

(5) 後輪鉛直時の解析結果

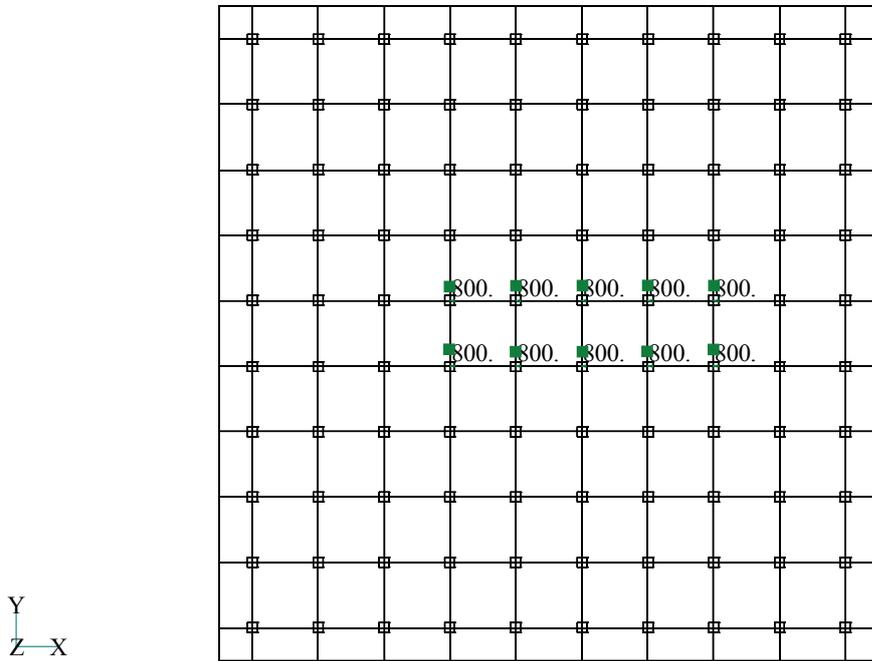


図 2.3.3-59 後輪鉛直時 荷重図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
Deformed(5.196): Total Translation

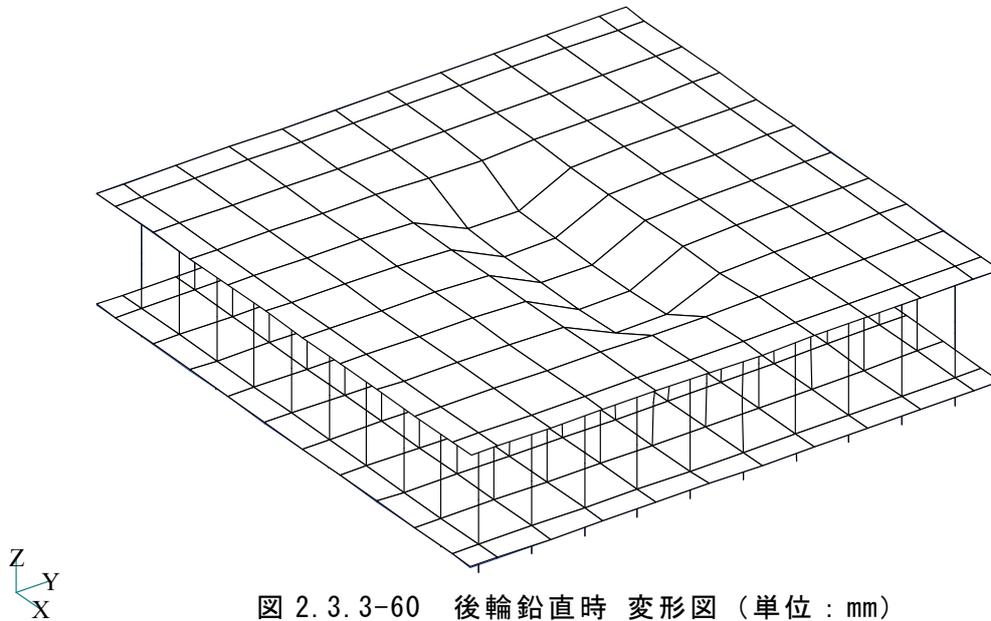
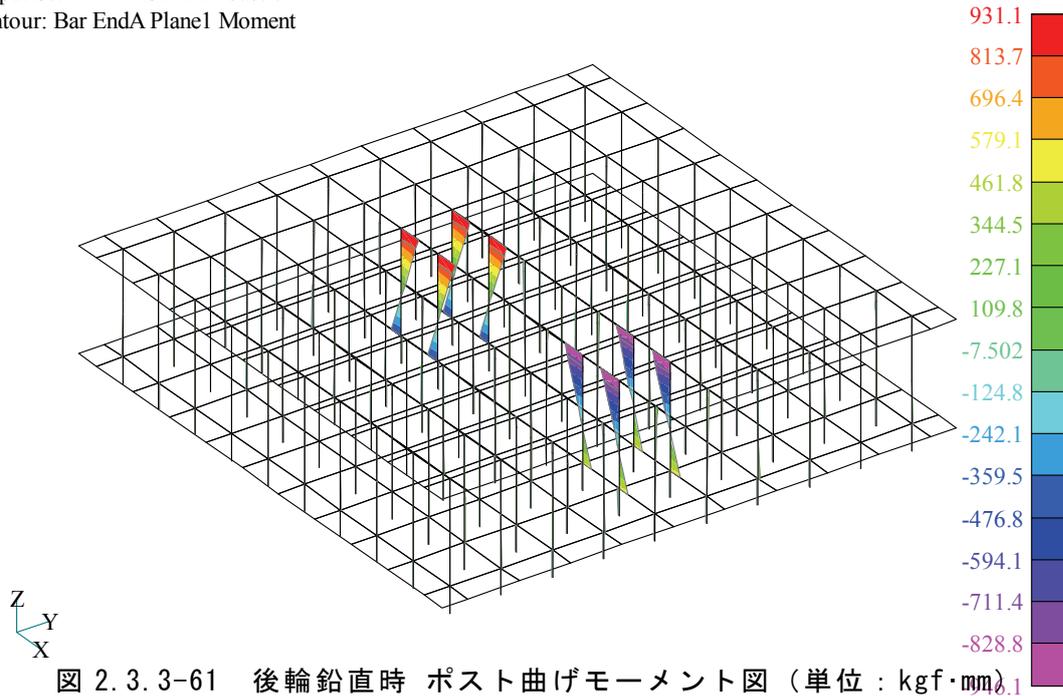
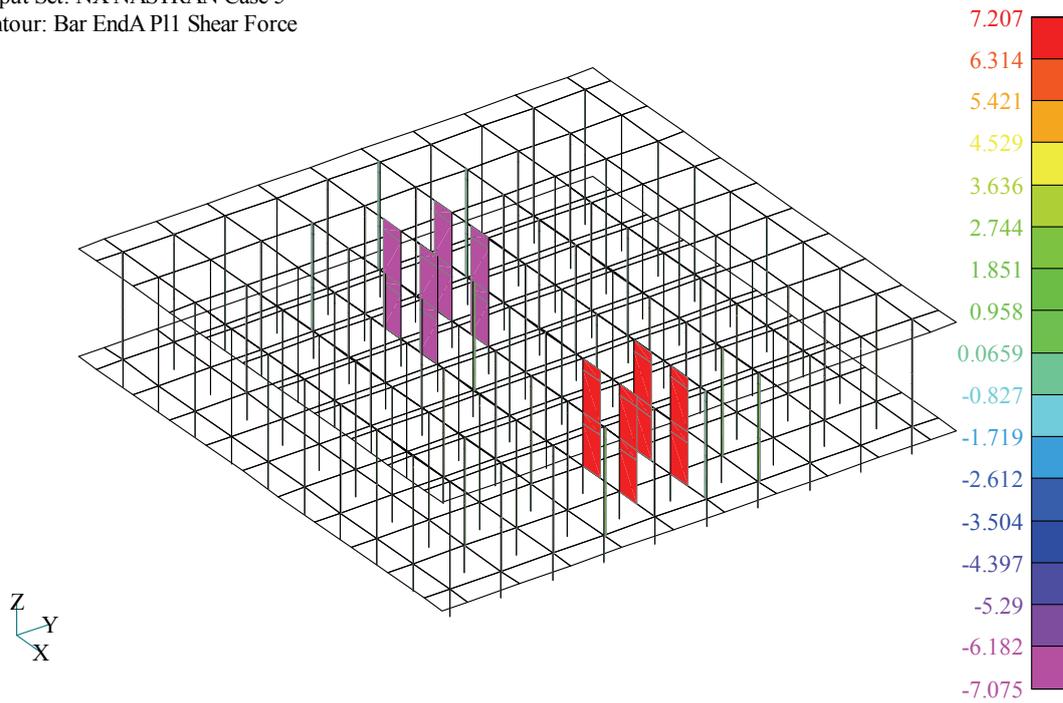


図 2.3.3-60 後輪鉛直時 変形図 (単位 : mm)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA Plane1 Moment



Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA P11 Shear Force



Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA Axial Force

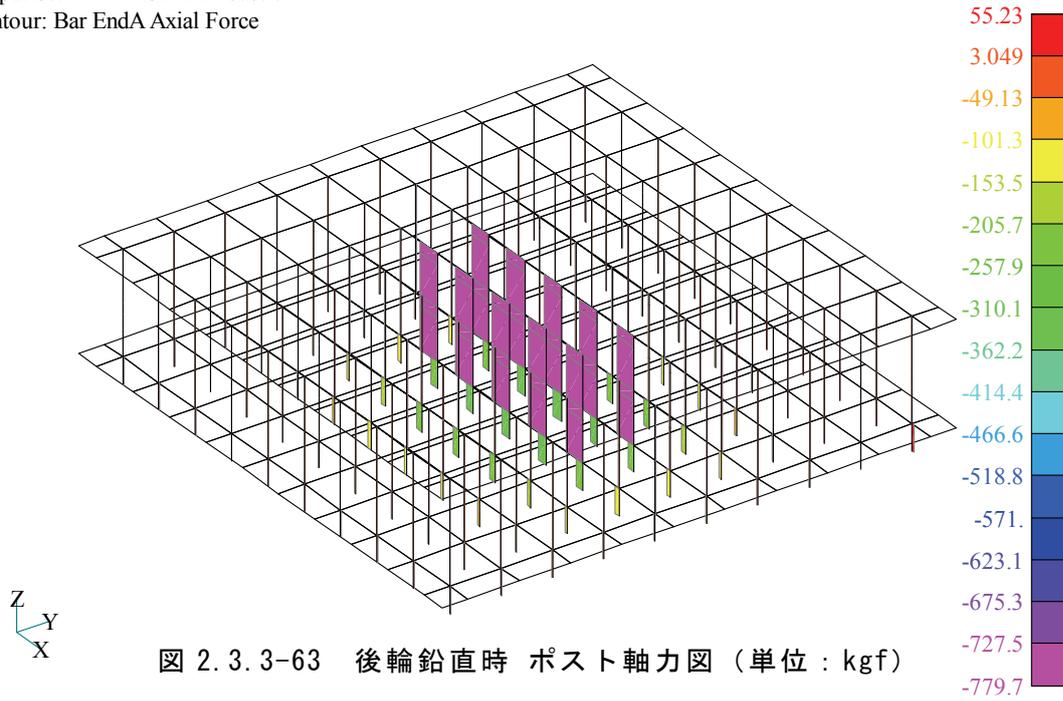


図 2. 3. 3-63 後輪鉛直時 ポスト軸力図 (単位 : kgf)

Output Set: NX NASTRAN Case 5
 Contour: Bar EndA Min Comb Stress

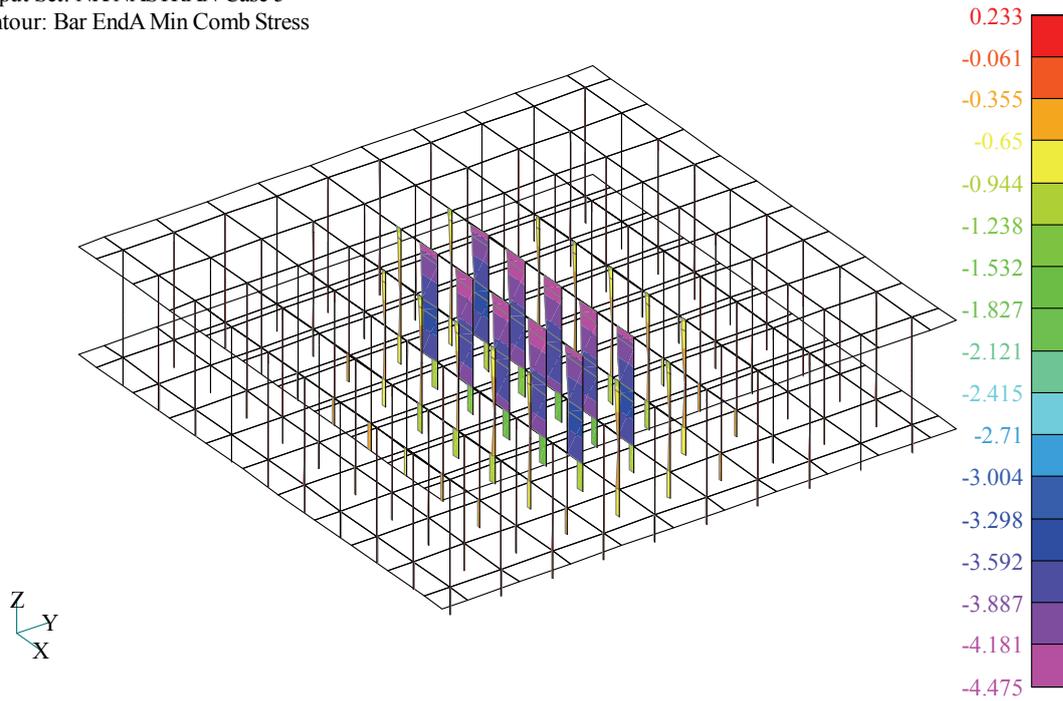


図 2. 3. 3-64 後輪鉛直時 ポスト応力度図 (単位 : kgf/mm²)

6) 結果の検討

結果の検討に当たり形状と載荷荷重の関係から、**図 2.3.3-65** の示す節点、部材要素を
取出し比較検討を行う。当該モデルは変形形状から見ると鉛直荷重時では個々の独立性
が高く、荷重の再配分はあまりないが、水平荷重に対しては上部に設置するプラスチッ
ク製の植物保護材が水平剛性確保の役割を果たし、荷重分散の効果が期待できる。結果
を示すに当たり、**type1** が中間横補剛材のある場合、**type2** が中間横補剛材のない場合
を示している。

この結果から判断すると中間横補剛材のある場合の変形は水平荷重に対して半分程度ま
で小さくなっている。

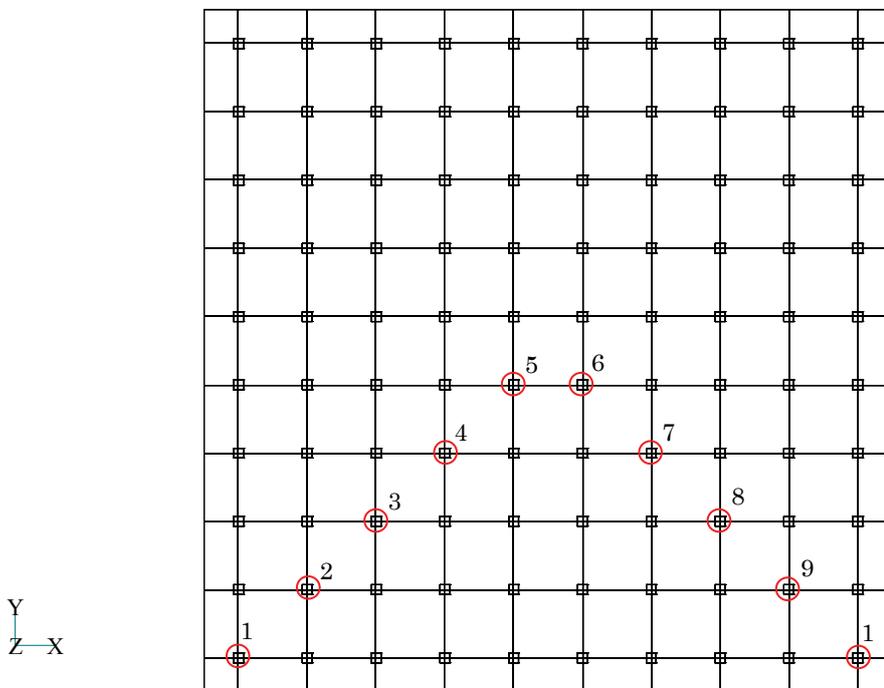


図 2.3.3-65 検討プラスチックポスト位置

(1) 頂部変位

type1 は中間横補剛材がある場合、type2 は中間横補剛材がない場合である。

表 2.3.3-1 頂部変位一覧表

前輪水平時		type1頂部変位				type2頂部変位				type2/ type1
No.	節点ID	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	
1	60202	2.126	0.412	0.112	2.168	5.080	0.564	0.128	5.112	2.358
2	60303	2.276	0.308	0.012	2.297	5.248	0.408	-0.003	5.264	2.292
3	60404	2.566	0.270	0.009	2.580	5.629	0.332	0.009	5.638	2.186
4	60505	3.106	0.281	0.007	3.119	6.257	0.312	0.004	6.265	2.008
5	60606	4.621	0.102	0.077	4.623	7.850	0.105	0.086	7.851	1.698
6	60607	4.621	-0.102	-0.077	4.623	7.850	-0.105	-0.086	7.851	1.698
7	60508	3.106	-0.281	-0.007	3.119	6.257	-0.312	-0.004	6.265	2.008
8	60409	2.566	-0.270	-0.009	2.580	5.629	-0.332	-0.009	5.638	2.186
9	60310	2.276	-0.308	-0.012	2.297	5.248	-0.408	0.003	5.264	2.292
10	60211	2.126	-0.412	-0.112	2.168	5.080	-0.564	-0.128	5.112	2.358
前輪鉛直時		type1頂部変位				type2頂部変位				type2/ type1
No.	節点ID	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	
1	60202	0.014	0.014	0.032	0.038	0.008	0.008	0.033	0.035	0.914
2	60303	0.015	0.015	0.002	0.021	0.009	0.009	0.003	0.013	0.601
3	60404	0.018	0.018	-0.048	0.054	0.011	0.011	-0.050	0.053	0.972
4	60505	0.021	0.021	-0.105	0.109	0.013	0.013	-0.111	0.112	1.026
5	60606	0.174	0.174	-4.521	4.528	0.194	0.194	-4.720	4.728	1.044
6	60607	-0.174	0.174	-4.521	4.528	-0.194	0.194	-4.720	4.728	1.044
7	60508	-0.021	0.021	-0.105	0.109	-0.013	0.013	-0.111	0.112	1.026
8	60409	-0.018	0.018	-0.048	0.054	-0.011	0.011	-0.050	0.053	0.972
9	60310	-0.015	0.015	0.002	0.021	-0.009	0.009	0.003	0.013	0.601
10	60211	-0.014	0.014	0.032	0.038	-0.008	0.008	0.033	0.035	0.914
前輪振り時		type1頂部変位				type2頂部変位				type2/ type1
No.	節点ID	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	
1	60202	0.053	-0.032	0.001	0.062	0.114	-0.086	0.001	0.143	2.296
2	60303	0.046	-0.023	0.000	0.052	0.094	-0.064	0.000	0.114	2.207
3	60404	0.045	-0.014	0.000	0.047	0.081	-0.043	0.000	0.091	1.953
4	60505	0.060	-0.005	0.000	0.060	0.083	-0.023	0.001	0.086	1.438
5	60606	0.160	-0.017	0.011	0.161	0.170	-0.023	0.013	0.172	1.065
6	60607	0.160	0.017	-0.011	0.161	0.170	0.023	-0.013	0.172	1.065
7	60508	0.060	0.005	0.000	0.060	0.083	0.023	-0.001	0.086	1.438
8	60409	0.045	0.014	0.000	0.047	0.081	0.043	0.000	0.091	1.953
9	60310	0.046	0.023	0.000	0.052	0.094	0.064	0.000	0.114	2.207
10	60211	0.053	0.032	-0.001	0.062	0.114	0.086	-0.001	0.143	2.296
後輪水平時		type1頂部変位				type2頂部変位				type2/ type1
No.	節点ID	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	
1	60202	5.274	0.923	0.274	5.361	12.651	1.269	0.316	12.719	2.372
2	60303	5.596	0.685	0.031	5.637	12.999	0.920	-0.007	13.032	2.312
3	60404	6.217	0.572	0.020	6.243	13.832	0.724	0.019	13.851	2.219
4	60505	7.299	0.467	0.014	7.313	15.124	0.548	0.006	15.134	2.069
5	60606	9.670	0.101	0.011	9.670	17.676	0.120	-0.005	17.676	1.828
6	60607	9.923	0.018	0.004	9.923	17.968	0.023	0.003	17.968	1.811
7	60508	7.783	-0.167	-0.008	7.784	15.686	-0.195	-0.006	15.687	2.015
8	60409	6.535	-0.424	-0.017	6.549	14.222	-0.532	-0.018	14.232	2.173
9	60310	5.740	-0.707	-0.031	5.783	13.176	-0.941	0.007	13.210	2.284
10	60211	5.218	-1.160	-0.284	5.353	12.572	-1.565	-0.322	12.673	2.368
後輪鉛直時		type1頂部変位				type2頂部変位				type2/ type1
No.	節点ID	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	
1	60202	0.035	0.032	0.067	0.082	0.023	0.018	0.068	0.074	0.900
2	60303	0.037	0.035	0.003	0.051	0.024	0.020	0.006	0.032	0.628
3	60404	0.041	0.048	-0.090	0.110	0.025	0.030	-0.093	0.101	0.913
4	60505	0.044	0.202	-0.589	0.624	0.026	0.182	-0.517	0.548	0.879
5	60606	0.030	0.176	-5.062	5.065	-0.002	0.189	-5.190	5.193	1.025
6	60607	-0.001	0.177	-5.068	5.071	0.004	0.186	-5.158	5.161	1.018
7	60508	-0.032	0.213	-0.636	0.671	-0.016	0.192	-0.561	0.593	0.884
8	60409	-0.029	0.057	-0.129	0.144	-0.009	0.011	-0.105	0.106	0.737
9	60310	-0.024	0.052	-0.013	0.059	-0.010	0.026	-0.009	0.029	0.498
10	60211	-0.020	0.053	0.078	0.096	-0.006	0.029	0.081	0.086	0.891

(2) 部材力

表 2.3.3-2～表 2.3.3-5 に要素の部材力を示す。

表 2.3.3-2 type1 の最上部要素の部材力一覧

type1 前輪水平	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	-234	-52	-347	-80	5.6	1.4	7.3
	2	50303	1	-462	-74	-716	-117	12.7	2.2	-0.6
	3	50404	1	-541	-78	-842	-126	15.1	2.4	0.2
	4	50505	1	-671	-104	-1065	-172	19.7	3.4	0.4
	5	50606	1	-455	-50	-953	-83	24.9	1.6	13.3
	6	50607	1	-455	50	-953	83	24.9	-1.6	-13.3
	7	50508	1	-671	104	-1065	172	19.7	-3.4	-0.4
	8	50409	1	-541	78	-842	126	15.1	-2.4	-0.2
	9	50310	1	-462	74	-716	117	12.7	-2.2	0.6
	10	50211	1	-234	52	-347	80	5.6	-1.4	-7.3
type1 前輪鉛直	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	1	1	0	0	0.0	0.0	0.0
	2	50303	1	3	3	4	4	0.0	0.0	0.0
	3	50404	1	12	12	16	16	-0.2	-0.2	-0.4
	4	50505	1	12	12	7	7	0.2	0.2	3.6
	5	50606	1	1016	1016	1465	1465	-22.4	-22.4	-730.7
	6	50607	1	-1016	1016	-1465	1465	22.4	-22.4	-730.7
	7	50508	1	-12	12	-7	7	-0.2	0.2	3.6
	8	50409	1	-12	12	-16	16	0.2	-0.2	-0.4
	9	50310	1	-3	3	-4	4	0.0	0.0	0.0
	10	50211	1	-1	1	0	0	0.0	0.0	0.0
type1 前輪振り	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	-7	4	-10	6	0.2	-0.1	0.1
	2	50303	1	-10	4	-16	6	0.3	-0.1	0.0
	3	50404	1	-11	2	-17	3	0.3	0.0	0.0
	4	50505	1	-15	-1	-25	-2	0.5	0.0	0.0
	5	50606	1	26	8	15	12	0.5	-0.2	2.0
	6	50607	1	26	-8	15	-12	0.5	0.2	-2.0
	7	50508	1	-15	1	-25	2	0.5	0.0	0.0
	8	50409	1	-11	-2	-17	-3	0.3	0.0	0.0
	9	50310	1	-10	-4	-16	-6	0.3	0.1	0.0
	10	50211	1	-7	-4	-10	-6	0.2	0.1	-0.1
type1 後輪水平	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	-582	-114	-860	-175	13.9	3.1	17.7
	2	50303	1	-1131	-161	-1751	-256	31.0	4.7	-1.3
	3	50404	1	-1296	-156	-2015	-252	35.9	4.8	0.2
	4	50505	1	-1542	-152	-2438	-248	44.8	4.8	0.6
	5	50606	1	-1892	-25	-3184	-41	64.6	0.8	0.0
	6	50607	1	-1946	-4	-3288	-7	67.1	0.1	0.2
	7	50508	1	-1612	48	-2572	79	48.0	-1.6	-0.8
	8	50409	1	-1360	118	-2121	191	38.1	-3.7	0.1
	9	50310	1	-1161	169	-1801	269	32.0	-5.0	1.4
	10	50211	1	-562	160	-828	250	13.3	-4.5	-18.4
type1 後輪鉛直	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	0	2	-2	1	0.1	0.1	0.0
	2	50303	1	2	7	1	9	0.0	-0.1	0.0
	3	50404	1	-9	38	-18	48	0.4	-0.5	0.6
	4	50505	1	3	921	-5	1338	0.4	-20.8	-40.9
	5	50606	1	-65	981	-85	1412	1.0	-21.5	-772.9
	6	50607	1	2	958	3	1376	-0.1	-20.9	-766.4
	7	50508	1	-33	947	-42	1369	0.4	-21.1	-37.1
	8	50409	1	9	-51	18	-67	-0.4	0.8	4.4
	9	50310	1	-7	-2	-8	-3	0.1	0.1	0.5
	10	50211	1	-4	2	-4	0	0.0	0.1	-0.1

表 2.3.3-3type1 の最下部要素の部材力一覧

type1	No.	要素番号	要素特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力(kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
前輪水平	1	10202	1	367	2	-350	-1	14.3	0.1	22.4
	2	10303	1	366	1	-353	-1	14.4	0.0	11.7
	3	10404	1	364	0	-356	-1	14.4	0.0	4.9
	4	10505	1	363	0	-359	-1	14.4	0.0	2.1
	5	10606	1	362	0	-359	0	14.4	0.0	1.0
	6	10607	1	362	0	-359	0	14.4	0.0	-1.0
	7	10508	1	363	0	-359	1	14.4	0.0	-2.1
	8	10409	1	364	0	-356	1	14.4	0.0	-4.9
	9	10310	1	366	-1	-353	1	14.4	0.0	-11.7
	10	10211	1	367	-2	-350	1	14.3	-0.1	-22.4
type1	No.	要素番号	要素特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力(kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
前輪鉛直	1	10202	1	6	6	6	6	0.0	0.0	21.7
	2	10303	1	8	8	9	9	0.0	0.0	1.6
	3	10404	1	14	14	15	15	0.0	0.0	-30.3
	4	10505	1	25	25	25	25	0.0	0.0	-90.0
	5	10606	1	20	20	20	20	0.0	0.0	-175.4
	6	10607	1	-20	20	-20	20	0.0	0.0	-175.4
	7	10508	1	-25	25	-25	25	0.0	0.0	-90.0
	8	10409	1	-14	14	-15	15	0.0	0.0	-30.3
	9	10310	1	-8	8	-9	9	0.0	0.0	1.6
	10	10211	1	-6	6	-6	6	0.0	0.0	21.7
type1	No.	要素番号	要素特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力(kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
前輪振り	1	10202	1	7	-7	-7	7	0.3	-0.3	0.2
	2	10303	1	5	-5	-5	5	0.2	-0.2	0.1
	3	10404	1	4	-4	-4	4	0.2	-0.2	0.1
	4	10505	1	2	-2	-2	2	0.1	-0.1	0.1
	5	10606	1	1	-1	-1	1	0.0	0.0	0.0
	6	10607	1	1	1	-1	-1	0.0	0.0	0.0
	7	10508	1	2	2	-2	-2	0.1	0.1	-0.1
	8	10409	1	4	4	-4	-4	0.2	0.2	-0.1
	9	10310	1	5	5	-5	-5	0.2	0.2	-0.1
	10	10211	1	7	7	-7	-7	0.3	0.3	-0.2
type1	No.	要素番号	要素特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力(kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
後輪水平	1	10202	1	917	4	-877	-3	35.9	0.1	54.8
	2	10303	1	914	2	-883	-2	35.9	0.1	28.6
	3	10404	1	909	1	-891	-2	36.0	0.1	11.9
	4	10505	1	906	0	-897	-1	36.1	0.0	4.6
	5	10606	1	904	0	-900	0	36.1	0.0	2.4
	6	10607	1	905	0	-900	0	36.1	0.0	1.0
	7	10508	1	907	0	-897	1	36.1	0.0	-2.5
	8	10409	1	911	0	-890	1	36.0	0.0	-11.4
	9	10310	1	916	-2	-882	3	35.9	-0.1	-29.4
	10	10211	1	918	-3	-875	4	35.9	-0.2	-56.8
type1	No.	要素番号	要素特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力(kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
後輪鉛直	1	10202	1	11	14	12	15	0.0	0.0	44.6
	2	10303	1	15	19	16	20	0.0	0.0	2.0
	3	10404	1	25	32	27	34	0.0	0.0	-63.9
	4	10505	1	39	52	40	54	0.0	0.0	-179.7
	5	10606	1	30	33	30	33	0.0	0.0	-317.5
	6	10607	1	1	35	0	35	0.0	0.0	-341.0
	7	10508	1	-21	67	-23	69	0.0	0.0	-229.3
	8	10409	1	-23	49	-25	51	0.0	0.0	-99.6
	9	10310	1	-18	30	-19	32	0.0	0.0	-10.3
	10	10211	1	-15	23	-16	26	0.0	0.0	53.2

表 2.3.3-4 type2 の最上部要素の部材力一覧

type2 前輪水平	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	-630	-61	-839	-83	10.4	1.1	15.4
	2	50303	1	-1023	-78	-1304	-100	14.1	1.1	-3.3
	3	50404	1	-1074	-66	-1373	-84	14.9	0.9	0.4
	4	50505	1	-1172	-67	-1500	-85	16.4	0.9	0.4
	5	50606	1	-856	-34	-1160	-42	15.2	0.4	14.1
	6	50607	1	-856	34	-1160	42	15.2	-0.4	-14.1
	7	50508	1	-1172	67	-1500	85	16.4	-0.9	-0.4
	8	50409	1	-1074	66	-1373	84	14.9	-0.9	-0.4
	9	50310	1	-1023	78	-1304	100	14.1	-1.1	3.3
	10	50211	1	-630	61	-839	83	10.4	-1.1	-15.4
type2 前輪鉛直	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	3	3	4	4	0.0	0.0	-0.1
	2	50303	1	7	7	9	9	-0.1	-0.1	0.0
	3	50404	1	20	20	25	25	-0.2	-0.2	-0.8
	4	50505	1	32	32	40	40	-0.4	-0.4	4.4
	5	50606	1	869	869	1021	1021	-7.6	-7.6	-737.6
	6	50607	1	-869	869	-1021	1021	7.6	-7.6	-737.6
	7	50508	1	-32	32	-40	40	0.4	-0.4	4.4
	8	50409	1	-20	20	-25	25	0.2	-0.2	-0.8
	9	50310	1	-7	7	-9	9	0.1	-0.1	0.0
	10	50211	1	-3	3	-4	4	0.0	0.0	-0.1
type2 前輪振り	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	-15	12	-20	16	0.2	-0.2	0.1
	2	50303	1	-18	13	-24	16	0.3	-0.2	0.0
	3	50404	1	-16	8	-20	10	0.2	-0.1	0.0
	4	50505	1	-13	3	-17	4	0.2	-0.1	0.1
	5	50606	1	38	6	41	8	-0.2	-0.1	2.1
	6	50607	1	38	-6	41	-8	-0.2	0.1	-2.1
	7	50508	1	-13	-3	-17	-4	0.2	0.1	-0.1
	8	50409	1	-16	-8	-20	-10	0.2	0.1	0.0
	9	50310	1	-18	-13	-24	-16	0.3	0.2	0.0
	10	50211	1	-15	-12	-20	-16	0.2	0.2	-0.1
type2 後輪水平	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	-1572	-134	-2093	-182	26.0	2.4	38.0
	2	50303	1	-2533	-175	-3231	-224	34.9	2.4	-8.2
	3	50404	1	-2637	-138	-3371	-177	36.7	1.9	0.7
	4	50505	1	-2842	-112	-3637	-143	39.8	1.5	0.3
	5	50606	1	-2938	-18	-3801	-24	43.1	0.3	-1.2
	6	50607	1	-2958	-5	-3830	-6	43.6	0.1	0.2
	7	50508	1	-2888	34	-3702	44	40.7	-0.5	-0.6
	8	50409	1	-2697	101	-3449	129	37.6	-1.4	-0.5
	9	50310	1	-2564	180	-3271	230	35.3	-2.5	8.4
	10	50211	1	-1553	180	-2068	243	25.8	-3.1	-38.6
type2 後輪鉛直	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	50202	1	3	6	5	8	-0.1	-0.1	-0.2
	2	50303	1	9	16	12	20	-0.1	-0.2	0.2
	3	50404	1	9	60	12	73	-0.2	-0.7	0.5
	4	50505	1	27	751	36	886	-0.4	-6.7	-40.4
	5	50606	1	-85	838	-97	985	0.6	-7.4	-779.7
	6	50607	1	0	815	0	959	0.0	-7.2	-768.4
	7	50508	1	-53	789	-64	931	0.6	-7.1	-35.1
	8	50409	1	-9	-60	-12	-65	0.2	0.3	7.4
	9	50310	1	-17	9	-22	14	0.2	-0.2	0.7
	10	50211	1	-8	10	-11	14	0.1	-0.2	-0.4

表 2.3.3-5 type2 の最下部要素の部材力一覧

type2 前輪水平	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	10202	1	368	2	-349	-2	14.3	0.1	23.5
	2	10303	1	367	1	-352	-1	14.4	0.0	11.5
	3	10404	1	364	0	-356	-1	14.4	0.0	4.2
	4	10505	1	363	0	-359	-1	14.4	0.0	1.4
	5	10606	1	363	0	-360	0	14.4	0.0	0.7
	6	10607	1	363	0	-360	0	14.4	0.0	-0.7
	7	10508	1	363	0	-359	1	14.4	0.0	-1.4
	8	10409	1	364	0	-356	1	14.4	0.0	-4.2
	9	10310	1	367	-1	-352	1	14.4	0.0	-11.5
	10	10211	1	368	-2	-349	2	14.3	-0.1	-23.5
type2 前輪鉛直	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	10202	1	6	6	6	6	0.0	0.0	22.2
	2	10303	1	8	8	8	8	0.0	0.0	2.0
	3	10404	1	15	15	15	15	0.0	0.0	-30.3
	4	10505	1	25	25	26	26	0.0	0.0	-91.0
	5	10606	1	21	21	21	21	0.0	0.0	-180.2
	6	10607	1	-21	21	-21	21	0.0	0.0	-180.2
	7	10508	1	-25	25	-26	26	0.0	0.0	-91.0
	8	10409	1	-15	15	-15	15	0.0	0.0	-30.3
	9	10310	1	-8	8	-8	8	0.0	0.0	2.0
	10	10211	1	-6	6	-6	6	0.0	0.0	22.2
type2 前輪振り	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	10202	1	7	-7	-7	7	0.3	-0.3	0.1
	2	10303	1	5	-5	-5	5	0.2	-0.2	0.1
	3	10404	1	4	-4	-4	4	0.2	-0.2	0.0
	4	10505	1	2	-2	-2	2	0.1	-0.1	0.1
	5	10606	1	1	-1	-1	1	0.0	0.0	0.0
	6	10607	1	1	1	-1	-1	0.0	0.0	0.0
	7	10508	1	2	2	-2	-2	0.1	0.1	-0.1
	8	10409	1	4	4	-4	-4	0.2	0.2	0.0
	9	10310	1	5	5	-5	-5	0.2	0.2	-0.1
	10	10211	1	7	7	-7	-7	0.3	0.3	-0.1
type2 後輪水平	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	10202	1	920	4	-873	-3	35.9	0.1	58.1
	2	10303	1	916	2	-880	-2	35.9	0.1	28.2
	3	10404	1	910	1	-890	-2	36.0	0.1	10.1
	4	10505	1	906	0	-897	-1	36.1	0.0	2.9
	5	10606	1	905	0	-901	0	36.1	0.0	1.5
	6	10607	1	905	0	-901	0	36.1	0.0	1.1
	7	10508	1	907	0	-897	0	36.1	0.0	-1.3
	8	10409	1	911	-1	-890	1	36.0	0.0	-9.8
	9	10310	1	917	-2	-880	3	35.9	-0.1	-28.8
	10	10211	1	921	-4	-871	4	35.9	-0.2	-59.5
type2 後輪鉛直	No.	要素 番号	要素 特性	曲げモーメント(kgf・mm)				せん断力(kgf)		軸力 (kgf)
				面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	
	1	10202	1	11	14	12	15	0.0	0.0	45.7
	2	10303	1	15	19	16	20	0.0	0.0	2.9
	3	10404	1	26	33	26	34	0.0	0.0	-63.6
	4	10505	1	40	54	40	55	0.0	0.0	-181.3
	5	10606	1	30	34	31	34	0.0	0.0	-323.8
	6	10607	1	1	36	1	37	0.0	0.0	-347.7
	7	10508	1	-22	69	-23	71	0.0	0.0	-232.0
	8	10409	1	-24	50	-25	51	0.0	0.0	-99.4
	9	10310	1	-18	31	-19	32	0.0	0.0	-9.0
	10	10211	1	-16	24	-16	25	0.0	0.0	55.2

7) 断面検定

(1) type1 の断面検定結果

(a) type1 の柱頭の断面検定結果

断面検定に当たり曲げ強度及び圧縮強度の衝撃係数 F を F=1.2 として検定している。この値は当該設備が車両の下に設置されるので車両の移動に伴う衝撃荷重係数は必要と考える。要素毎の断面検定結果を表 2.3.3-6～表 2.3.3-7 に示す。検定は曲げモーメントを断面係数と軸力を断面積で割った値を各々の強度で割った値が許容値 1 以下であれば良いとしている。

表 2.3.3-6 type1 の柱頭の断面検定結果 (その 1)

type1	No.	H(mm)	t(mm)	曲げモーメントM(N・mm)		せん断力Q(N)		軸力N(N)	振りモーメントMt(N・mm)
				面内始点	面内終点	面内	面外		
柱頭	1	8	8	2	2	0.3	0.3	-0.1	0.0
前輪鉛直	2	32	32	41	41	-0.4	-0.4	-0.2	0.0
	3	117	117	153	153	-1.8	-1.8	-4.0	0.0
	4	114	114	72	72	2.1	2.1	35.1	0.0
	5	9963	9963	14366	14366	-220.2	-220.2	-7165.8	0.0
	6	-9963	9963	-14366	14366	220.2	-220.2	-7165.8	0.0
	7	-114	114	-72	72	-2.1	2.1	35.1	0.0
	8	-117	117	-153	153	1.8	-1.8	-4.0	0.0
	9	-32	32	-41	41	0.4	-0.4	-0.2	0.0
	10	-8	8	-2	2	-0.3	0.3	-0.1	0.0
type1	No.	曲げモーメントM(N・mm)		せん断力Q(N)		軸力N(N)	振りモーメントMt(N・mm)		
		面内始点	面内終点	面内	面外				
柱頭	1	-2291	-499	-3401	-781	55.5	14.1	71.5	-3.2
前輪鉛直	2	-4500	-692	-6985	-1111	124.3	20.9	-5.8	-5.9
+	3	-5190	-646	-8109	-1083	145.9	21.8	-2.5	-7.3
前輪水平	4	-6466	-909	-10377	-1615	195.5	35.3	39.3	-11.8
	5	5505	9468	5022	13555	24.2	-204.4	-7035.6	-18.9
	6	-14420	10457	-23709	15176	464.5	-235.9	-7296.0	-18.9
	7	-6694	1137	-10521	1759	191.3	-31.1	30.9	-11.8
	8	-5424	880	-8414	1388	149.5	-25.4	-5.6	-7.3
	9	-4565	757	-7066	1192	125.1	-21.8	5.5	-5.9
	10	-2306	514	-3404	784	54.9	-13.5	-71.6	-3.2

衝撃係数F	曲げ強度		圧縮強度		σ / f = F*(σ _m /f _b + σ _c /f _c)	判定はσ / f < k; 空白 σ / f < k; NGと表記
	f _b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)		
1.2	61.51	58.59				
曲げ応力度(N/mm ²)	σ _m =M/Z		軸応力度σ _c =N/A(N/mm ²)		σ / f	判定
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点		
0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.03	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	
0.10	0.10	0.14	0.14	0.02	0.00	
0.10	0.10	0.06	0.06	0.16	0.01	
8.88	8.88	12.81	12.81	33.06	0.93	
8.88	8.88	12.81	12.81	33.06	0.93	
0.10	0.10	0.06	0.06	0.16	0.01	
0.10	0.10	0.14	0.14	0.02	0.00	
0.03	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	
0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
曲げ応力度(N/mm ²)	σ _m =M/Z		軸応力度σ _c =N/A(N/mm ²)		σ / f	判定
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点		
2.04	0.45	3.03	0.70	0.33	0.07	
4.01	0.62	6.23	0.99	0.03	0.12	
4.63	0.58	7.23	0.97	0.01	0.14	
5.77	0.81	9.25	1.44	0.18	0.18	
4.91	8.44	4.48	12.09	32.46	0.90	
12.86	9.33	21.14	13.53	33.66	1.10	NG
5.97	1.01	9.38	1.57	0.14	0.19	
4.84	0.78	7.50	1.24	0.03	0.15	
4.07	0.67	6.30	1.06	0.03	0.12	
2.06	0.46	3.04	0.70	0.33	0.07	

表 2.3.3-7 type1 の柱頭の断面検定結果 (その 2)

O26*3		H (mm)	t (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	Z (mm ³)	L (mm)
組合せ応力断面検定		26	3.0	216.77	14578	1121.4	200.0

type1	No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)		軸力N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外		
柱頭 前輪鉛直 + 前輪振り	1	-59	48	-99	60	2.0	-0.6	0.6	0.2
	2	-67	73	-114	102	2.4	-1.5	-0.2	0.3
	3	11	136	-17	180	1.4	-2.2	-3.9	0.3
	4	-31	102	-176	51	7.2	2.6	35.6	0.5
	5	10217	10036	14514	14486	-214.9	-222.5	-7145.7	2.9
	6	-9708	9889	-14217	14246	225.5	-217.8	-7185.9	2.9
	7	-260	126	-320	93	3.0	1.6	34.7	0.5
	8	-223	98	-322	125	4.9	-1.3	-4.1	0.3
	9	-131	-9	-195	-21	3.2	0.6	-0.1	0.3
	10	-74	-32	-102	-57	1.4	1.2	-0.8	0.2
type1	No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)		軸力N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外		
柱頭 後輪鉛直	1	1	19	-19	6	1.0	0.7	0.2	0.0
	2	19	73	11	92	0.4	-1.0	0.3	0.0
	3	-89	369	-177	472	4.9	-5.2	6.3	0.0
	4	32	9036	-46	13122	3.9	-204.3	-401.0	-0.1
	5	-638	9620	-837	13844	10.0	-211.2	-7579.6	0.0
	6	16	9395	26	13495	-0.5	-205.0	-7515.8	0.0
	7	-320	9290	-408	13429	4.4	-206.9	-363.8	0.1
	8	91	-488	178	-654	-4.3	7.8	43.6	0.1
	9	-66	-17	-80	-31	0.7	0.7	4.7	0.1
	10	-40	24	-35	-2	-0.3	1.3	-0.7	0.0
type1	No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)		軸力N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外		
柱頭 後輪鉛直 + 後輪水平	1	-5710	-1099	-8456	-1715	137.3	30.8	174.0	-7.0
	2	-11069	-1508	-17160	-2415	304.5	45.4	-12.8	-13.0
	3	-12802	-1161	-19934	-1996	356.6	41.8	7.9	-16.9
	4	-15092	7548	-23952	10686	443.0	-156.9	-394.9	-33.0
	5	-19193	9377	-32066	13442	643.6	-203.3	-7579.9	-24.6
	6	-19071	9351	-32214	13426	657.2	-203.7	-7513.6	-25.1
	7	-16127	9758	-25633	14202	475.3	-222.2	-372.0	-41.4
	8	-13244	661	-20625	1224	369.0	-28.1	44.6	-25.6
	9	-11453	1645	-17738	2610	314.3	-48.2	18.9	-22.0
	10	-5548	1597	-8158	2453	130.5	-42.8	-181.6	-12.2

衝撃係数F		曲げ強度 Fb (N/mm ²)	圧縮強度 fc (N/mm ²)
1.2		61.51	58.59

type1	No.	曲げ応力度(N/mm ²)				軸心力度σc(N/mm ²)		σ/f	判定
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内終点	面外終点		
柱頭 前輪鉛直 + 前輪振り	1	0.05	0.04	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	
	2	0.06	0.07	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	
	3	0.01	0.12	0.02	0.16	0.02	0.02	0.00	
	4	0.03	0.09	0.16	0.05	0.16	0.16	0.01	
	5	9.11	8.95	12.94	12.92	32.96	32.96	0.93	
	6	8.66	8.82	12.68	12.70	33.15	33.15	0.93	
	7	0.23	0.11	0.29	0.08	0.16	0.16	0.01	
	8	0.20	0.09	0.29	0.11	0.02	0.02	0.01	
	9	0.12	0.01	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	
	10	0.07	0.03	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	
type1	No.	曲げ応力度(N/mm ²)				軸心力度σc(N/mm ²)		σ/f	判定
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内終点	面外終点		
柱頭 後輪鉛直	1	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	
	2	0.02	0.07	0.01	0.08	0.00	0.00	0.00	
	3	0.08	0.33	0.16	0.42	0.03	0.03	0.01	
	4	0.03	8.06	0.04	11.70	1.85	1.85	0.27	
	5	0.57	8.58	0.75	12.35	34.97	34.97	0.96	
	6	0.01	8.38	0.02	12.03	34.67	34.67	0.94	
	7	0.29	8.28	0.36	11.98	1.68	1.68	0.27	
	8	0.08	0.44	0.16	0.58	0.20	0.20	0.02	
	9	0.06	0.01	0.07	0.03	0.02	0.02	0.00	
	10	0.04	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
type1	No.	曲げ応力度(N/mm ²)				軸心力度σc(N/mm ²)		σ/f	判定
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内終点	面外終点		
柱頭 後輪鉛直 + 後輪水平	1	5.09	0.98	7.54	1.53	0.80	0.80	0.16	
	2	9.87	1.34	15.30	2.15	0.06	0.06	0.30	
	3	11.42	1.03	17.78	1.78	0.04	0.04	0.35	
	4	13.46	6.73	21.36	9.53	1.82	1.82	0.45	
	5	17.12	8.36	28.60	11.99	34.97	34.97	1.27	NG
	6	17.01	8.34	28.73	11.97	34.66	34.66	1.27	NG
	7	14.38	8.70	22.86	12.67	1.72	1.72	0.48	
	8	11.81	0.59	18.39	1.09	0.21	0.21	0.36	
	9	10.21	1.47	15.82	2.33	0.09	0.09	0.31	
	10	4.95	1.42	7.28	2.19	0.84	0.84	0.16	

(b) type1 の柱脚の断面検定結果

柱頭・柱脚の呼称は塩ビパイプの天端を柱頭、下端を柱脚としている。柱脚は曲げ応力度、軸応力度が共に小さく、 σ/f の応力度比は全体的に小さい。要素毎の断面検定結果を表 2.2.3-8~表 2.2.3-9 に示す。

表 2.3.3-8 type1 の柱脚の断面検定結果 (その 1)

No.	H (mm)	t (mm)	A (mm ²)		I (mm ⁴)		Z (mm ³)		L (mm)
			3.0	216.77	14578	1121.4	200.0		
O26*3 組合せ応力断面検定									
type1 柱脚 前輪鉛直	No.	曲げモーメントM(N・mm)							
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	軸力N (N)	振りモーメントMt(N・mm)
	1	57	57	64	64	-0.1	-0.1	212.6	0.0
	2	77	77	84	84	-0.1	-0.1	15.6	0.0
	3	141	141	147	147	-0.1	-0.1	-297.6	0.0
	4	243	243	248	248	-0.1	-0.1	-882.6	0.0
	5	191	191	196	196	-0.1	-0.1	-1720.3	0.0
	6	-191	191	-196	196	0.1	-0.1	-1720.3	0.0
	7	-243	243	-248	248	0.1	-0.1	-882.6	0.0
	8	-141	141	-147	147	0.1	-0.1	-297.6	0.0
9	-77	77	-84	84	0.1	-0.1	15.6	0.0	
10	-57	57	-64	64	0.1	-0.1	212.6	0.0	
type1 柱脚 前輪鉛直 + 前輪水平	No.	せん断力Q(N)							
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	軸力N (N)	振りモーメントMt(N・mm)
	1	3656	73	-3373	49	140.6	0.5	431.9	-1.5
	2	3665	87	-3379	74	140.9	0.3	130.2	-1.6
	3	3710	143	-3348	140	141.1	0.1	-249.2	-1.7
	4	3798	240	-3269	243	141.4	-0.1	-862.2	-2.4
	5	3745	190	-3327	194	141.4	-0.1	-1710.8	-3.2
	6	3362	193	-3718	197	141.6	-0.1	-1729.8	-3.2
	7	3313	246	-3766	254	141.6	-0.2	-902.9	-2.4
	8	3428	138	-3641	153	141.4	-0.3	-346.0	-1.7
9	3510	68	-3546	93	141.1	-0.5	-98.9	-1.6	
10	3542	42	-3500	78	140.8	-0.7	-6.7	-1.5	

衝撃係数F	曲げ強度fb (N/mm ²)	圧縮強度fc (N/mm ²)	軸心応力度(N/mm ²)		σ/f	判定
			面内終点	面外終点		
1.2	61.51	58.59	0.05	0.06	0.98	判定
			0.07	0.07	0.07	判定
			0.13	0.13	1.37	判定
			0.22	0.22	4.07	判定
			0.17	0.17	7.94	判定
			0.17	0.17	7.94	判定
			0.22	0.22	4.07	判定
			0.13	0.13	1.37	判定
			0.07	0.07	0.07	判定
			0.05	0.06	0.98	判定
σ/f=F*(σ m/fb+σ c/fc) 判定はσ/f<k:空白 σ/f<k:NGと表記						
曲げ係数	曲げ強度fb (N/mm ²)		軸心力度σ c (N/mm ²)		σ/f	判定
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点		
	3.26	0.06	3.01	0.04	1.99	判定
	3.27	0.08	3.01	0.07	0.60	判定
	3.31	0.13	2.99	0.12	1.15	判定
	3.39	0.21	2.92	0.22	3.98	判定
	3.34	0.17	2.97	0.17	7.89	判定
	3.00	0.17	3.32	0.18	7.98	判定
	2.95	0.22	3.36	0.23	4.17	判定
	3.06	0.12	3.25	0.14	1.60	判定
	3.13	0.06	3.16	0.08	0.46	判定
	3.16	0.04	3.12	0.07	0.03	判定

表 2.3.3-9 type1 の柱脚の断面検定結果 (その2)

衝撃係数F		曲げ強度		圧縮強度	
F		fb (N/mm ²)		fc (N/mm ²)	
1.2		61.51		58.59	

H (mm)		t (mm)		A (mm ²)		I (mm ⁴)		Z (mm ³)		L (mm)	
26		3.0		216.77		14578		1121.4		200.0	

組合せ応力断面検定											
type1											
No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)				軸力N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)	
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	面内	面外			
1	125	-10	-2	130	2.6	-2.8	214.3	0.8			
2	130	25	32	135	2.0	-2.2	16.6	0.9			
3	178	103	110	183	1.4	-1.6	-296.9	0.9			
4	265	221	226	270	0.8	-1.0	-882.0	0.9			
5	199	184	189	203	0.2	-0.4	-1719.9	1.3			
6	-184	199	-203	188	0.4	0.2	-1720.6	1.3			
7	-220	265	-271	226	1.0	0.8	-883.2	0.9			
8	-103	178	-184	110	1.6	1.4	-298.2	0.9			
9	-24	129	-135	32	2.2	1.9	14.7	0.9			
10	11	124	-130	-2	2.8	2.5	211.0	0.8			
No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)				軸力N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)	
面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	面内	面外				
1	107	136	120	151	-0.3	-0.3	436.9	-0.2			
2	143	181	156	196	-0.3	-0.3	19.5	-0.2			
3	248	316	260	331	-0.3	-0.3	-626.3	-0.4			
4	381	511	392	526	-0.2	-0.3	-1761.8	0.8			
5	289	319	296	326	-0.1	-0.1	-3113.9	0.8			
6	8	340	5	347	0.1	-0.1	-3344.3	0.0			
7	-210	666	-221	673	0.2	-0.3	-2249.0	-1.0			
8	-228	479	-241	499	0.3	-0.4	-976.9	0.6			
9	-173	295	-185	316	0.3	-0.4	-101.3	0.7			
10	-147	228	-159	250	0.2	-0.4	521.9	0.6			
No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)				軸力N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)	
面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	面内	面外				
1	9102	173	-8477	117	351.6	1.1	974.6	-3.5			
2	9108	205	-8503	172	352.2	0.7	299.7	-3.6			
3	9166	326	-8478	315	352.9	0.2	-509.9	-4.4			
4	9264	511	-8406	516	353.4	-0.1	-1716.4	-5.5			
5	9158	319	-8528	323	353.7	-0.1	-3090.0	-3.6			
6	8880	340	-8818	347	354.0	-0.1	-3334.9	-4.5			
7	8685	657	-9013	678	353.9	-0.4	-2273.9	-8.9			
8	8705	474	-8971	514	353.5	-0.8	-1088.6	-5.3			
9	8807	277	-8831	344	352.8	-1.3	-389.4	-4.8			
10	8859	195	-8740	293	352.0	-2.0	-34.8	-4.7			

σ / f = F * (σ _m / fb + σ _c / fc)		判定は σ / f < k : 空白		σ / f < k : NG と表記			
σ / f		判定		判定			
0.11	0.01	0.00	0.12	0.99	0.02		
0.12	0.02	0.03	0.12	0.08	0.00		
0.16	0.09	0.10	0.16	1.37	0.03		
0.24	0.20	0.20	0.24	4.07	0.09		
0.18	0.16	0.17	0.18	7.93	0.17		
0.16	0.18	0.18	0.17	7.94	0.17		
0.20	0.24	0.24	0.20	4.07	0.09		
0.09	0.16	0.16	0.10	1.38	0.03		
0.02	0.12	0.12	0.03	0.07	0.00		
0.01	0.11	0.12	0.00	0.97	0.02		
曲げ応力度(N/mm ²) σ _m = M / Z		軸応力度 σ _c = N / A (N/mm ²)		σ / f		判定	
面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内終点	面外終点	σ / f	判定
0.10	0.12	0.11	0.13	2.02	0.04		
0.13	0.16	0.14	0.17	0.09	0.01		
0.22	0.28	0.23	0.29	2.89	0.06		
0.34	0.46	0.35	0.47	8.13	0.18		
0.26	0.28	0.26	0.29	14.36	0.30		
0.01	0.30	0.00	0.31	15.43	0.32		
0.19	0.59	0.20	0.60	10.38	0.22		
0.20	0.43	0.22	0.44	4.51	0.10		
0.15	0.26	0.17	0.28	0.47	0.02		
0.13	0.20	0.14	0.22	2.41	0.05		
曲げ応力度(N/mm ²) σ _m = M / Z		軸応力度 σ _c = N / A (N/mm ²)		σ / f		判定	
面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内終点	面外終点	σ / f	判定
8.12	0.15	7.56	0.10	4.50	0.25		
8.12	0.18	7.58	0.15	1.38	0.19		
8.17	0.29	7.56	0.28	2.35	0.21		
8.26	0.46	7.50	0.46	7.92	0.32		
8.17	0.28	7.60	0.29	14.25	0.45		
7.92	0.30	7.86	0.31	15.38	0.47		
7.74	0.59	8.04	0.60	10.49	0.37		
7.76	0.42	8.00	0.46	5.02	0.26		
7.85	0.25	7.88	0.31	1.80	0.19		
7.90	0.17	7.79	0.26	0.16	0.16		

(2) type2 の断面検定結果

(a) type2 の柱頭の断面検定結果

要素毎の断面検定結果を表 2.3.3-10～表 2.3.3-11 に示す。検定は曲げモーメントを断面係数と軸力を断面積で割った値を各々の強度で割った値が許容値 1 以下であれば良いとしている。

柱頭・柱脚の呼称は塩ビパイプの天端を柱頭、下端を柱脚としている。柱脚は曲げ応力度、軸応力度が共に小さく、 σ/f の応力度比は全体的に小さいが局部的に NG の箇所もある。

表 2.3.3-10 type2 の柱頭の断面検定結果 (その 1)

O26*3		H (mm)	E (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	Z (mm ³)	L (mm)	せん断力 Q(N)		軸力 N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)
組合せ応力断面検定		26	3.0	216.77	14578	1121.4	200.0	面内	面外		
type2	No.	曲げモーメント M(N・mm)						せん断力 Q(N)		軸力 N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	Z	L	面内	面外		
柱頭 前輪鉛直	1	26	26	35	35	-0.5	-0.5	-0.5	-1.1	0.0	0.0
	2	70	70	89	89	-0.9	-0.9	-0.9	0.0	0.0	0.0
	3	194	194	240	240	-2.3	-2.3	-2.3	-7.5	0.0	0.0
	4	318	318	396	396	-3.9	-3.9	-3.9	43.3	0.0	0.0
	5	8523	8523	10010	10010	-74.3	-74.3	-74.3	-7233.8	0.0	0.0
	6	-8523	-8523	-10010	-10010	74.3	74.3	74.3	-7233.8	0.0	0.0
	7	-318	-318	-396	-396	3.9	3.9	3.9	43.3	0.0	0.0
	8	-194	-194	-240	-240	2.3	2.3	2.3	-7.5	0.0	0.0
	9	-70	-70	-89	-89	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0
	10	-26	-26	-35	-35	0.5	0.5	0.5	-1.1	0.0	0.0
type2 柱頭 前輪鉛直 + 前輪水平	No.	曲げモーメント M(N・mm)						せん断力 Q(N)		軸力 N (N)	振りモーメント Mt(N・mm)
		面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	Z	L	面内	面外		
	1	-6154	-574	-8194	-779	102.0	10.3	149.8	-4.5	-4.5	
	2	-9957	-697	-12701	-893	137.2	9.8	-32.7	-8.0	-8.0	
	3	-10339	-454	-13220	-586	144.1	6.6	-3.1	-9.4	-9.4	
	4	-11175	-340	-14318	-439	157.1	4.9	47.0	-13.7	-13.7	
	5	131	8193	-1364	9601	74.7	-70.4	-7095.2	-19.8	-19.8	
	6	-16915	8852	-21383	10418	223.4	-78.3	-7372.4	-19.8	-19.8	
	7	-11811	976	-15110	1231	165.0	-12.8	39.6	-13.7	-13.7	
	8	-10726	842	-13701	1067	148.7	-11.3	-11.9	-9.4	-9.4	
9	-10098	838	-12879	1071	139.1	-11.7	32.7	-8.0	-8.0		
10	-6206	625	-8264	849	102.9	-11.2	-152.0	-4.5	-4.5		

衝撃係数	曲げ強度 fb(N/mm ²)		圧縮強度 fc(N/mm ²)		$\sigma/f = F*(\sigma_m/f_b + \sigma_c/f_c)$		判定は $\sigma/f < k$: 空白	
	1.2	61.51	58.59		$\sigma/f < k$: NG と表記			
曲げ応力度 (N/mm ²)	面内終点		面外終点		軸応力度 $\sigma_e = N/A$ (N/mm ²)		判定	
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内終点	面外終点	σ/f	判定
0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00		
0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.00	0.00		
0.17	0.17	0.21	0.21	0.21	0.03	0.00		
0.28	0.28	0.35	0.35	0.35	0.20	0.01		
7.60	7.60	8.93	8.93	8.93	33.37	0.86		
7.60	7.60	8.93	8.93	8.93	33.37	0.86		
0.28	0.28	0.35	0.35	0.35	0.20	0.01		
0.17	0.17	0.21	0.21	0.21	0.03	0.00		
0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.00	0.00		
0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00		
曲げ応力度 (N/mm ²)	面内終点		面外終点		軸応力度 $\sigma_e = N/A$ (N/mm ²)		判定	
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内終点	面外終点	σ/f	判定
5.49	0.51	7.31	0.69	0.69	0.69	0.16		
8.88	0.62	11.33	0.80	0.80	0.15	0.22		
9.22	0.40	11.79	0.52	0.52	0.01	0.23		
9.97	0.30	12.77	0.39	0.39	0.22	0.25		
0.12	7.31	1.22	8.56	32.73	0.84			
15.08	7.89	19.07	9.29	34.01	1.07	NG		
10.53	0.87	13.48	1.10	0.18	0.27			
9.57	0.75	12.22	0.95	0.05	0.24			
9.00	0.75	11.49	0.96	0.15	0.23			
5.53	0.56	7.37	0.76	0.70	0.16			

表 2.3.3-11 type2 の柱頭の断面検定結果 (その2)

No.	H(mm)	t(mm)	A (mm ²)		I (mm ⁴)		Z (mm ³)		L (mm)	
			面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外		
○26×3	26	3.0	216.77	14578	1121.4	200.0				
組合せ応力断面検定										
type2 柱頭 前輪鉛直 + 前輪振り	曲げモーメントM(N・mm)		せん断力Q(N)		軸力N (N)		振りモーメントMt(N・mm)			
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	面内	面外		
	1	-123	141	-162	187	1.9	-2.3	-0.2	0.5	
	2	-111	193	-142	246	1.6	-2.6	-0.2	0.9	
	3	42	271	46	339	-0.2	-3.4	-7.3	0.9	
	4	186	349	225	438	-2.0	-4.4	44.1	1.1	
	5	8893	8584	10412	10086	-76.0	-75.1	-7213.2	3.6	
	6	-8153	8461	-9607	9933	72.7	-73.6	-7254.3	3.6	
	7	-450	286	-568	355	5.9	-3.4	42.5	1.1	
	8	-346	117	-435	141	4.4	-1.2	-7.8	0.9	
	9	-252	-52	-321	-67	3.4	0.7	0.1	0.9	
10	-175	-90	-232	-117	2.8	1.4	-1.8	0.5		
type2 柱頭 後輪鉛直	曲げモーメントM(N・mm)		せん断力Q(N)		軸力N (N)		振りモーメントMt(N・mm)			
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	面内	面外		
	1	33	60	46	81	-0.6	-1.1	-1.9	0.0	
	2	88	155	114	198	-1.3	-2.1	1.9	0.0	
	3	85	584	121	714	-1.8	-6.5	4.7	-0.2	
	4	268	7369	349	8687	-4.1	-65.9	-395.8	-0.1	
	5	-830	8214	-947	9660	5.8	-72.3	-7646.2	0.2	
	6	-1	7993	-1	9403	0.0	-70.5	-7535.6	0.0	
	7	-517	7734	-627	9130	5.5	-69.8	-344.0	-0.2	
	8	-83	-585	-120	-641	1.8	2.8	72.5	0.3	
	9	-167	93	-212	135	2.3	-2.1	7.3	0.0	
10	-83	99	-112	135	1.4	-1.8	-4.1	0.0		
type2 柱頭 後輪鉛直 + 後輪水平	曲げモーメントM(N・mm)		せん断力Q(N)		軸力N (N)		振りモーメントMt(N・mm)			
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外	面内	面外		
	1	-15385	-1250	-20479	-1704	254.7	22.7	370.3	-9.8	
	2	-24752	-1558	-31569	-1996	340.8	21.9	-78.7	-17.7	
	3	-25777	-771	-32933	-1021	357.8	12.5	11.4	-21.7	
	4	-27600	6268	-35318	7286	385.9	-50.9	-392.7	-37.1	
	5	-29642	8033	-38220	9424	428.9	-69.6	-7658.1	-26.2	
	6	-29011	7948	-37563	9346	427.6	-69.9	-7534.1	-27.2	
	7	-28837	8072	-36934	9566	404.9	-74.7	-350.2	-46.8	
	8	-26534	401	-33940	622	370.3	-11.0	67.5	-31.9	
	9	-25311	1855	-32286	2390	348.8	-26.7	89.4	-29.2	
10	-15308	1864	-20393	2514	254.3	-32.5	-382.2	-16.6		

衝撃係数	曲げ強度		圧縮強度		判定はσ/fk:空白
	Fb(N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	σ _m (N/mm ²)	σ _c (f _c)	
1.2	61.51	58.59	判定はσ/fk:NGと表記		

No.	曲げ応力度(N/mm ²)		σ _m =M/Z		軸応力度σ _c =N/A(N/mm ²)	σ/f	判定	
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点				
1	0.11	0.17	0.13	0.22	0.00	0.00		
2	0.10	0.17	0.13	0.22	0.00	0.00		
3	0.04	0.24	0.04	0.30	0.03	0.01		
4	0.17	0.31	0.20	0.39	0.20	0.01		
5	7.93	7.66	9.29	8.99	33.28	0.86		
6	7.27	7.55	8.57	8.86	33.47	0.86		
7	0.40	0.26	0.51	0.32	0.20	0.01		
8	0.31	0.10	0.39	0.13	0.04	0.01		
9	0.22	0.05	0.29	0.06	0.00	0.01		
10	0.16	0.08	0.21	0.10	0.01	0.00		
type2 柱頭 後輪鉛直	曲げ応力度(N/mm ²)		σ _m =M/Z		軸応力度σ _c =N/A(N/mm ²)	σ/f	判定	
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点				
	1	0.03	0.05	0.04	0.07	0.01	0.00	
	2	0.08	0.14	0.10	0.18	0.01	0.00	
	3	0.08	0.52	0.11	0.64	0.02	0.01	
	4	0.24	6.57	0.31	7.75	1.83	0.19	
	5	0.74	7.33	0.84	8.61	35.27	0.89	
	6	0.00	7.13	0.00	8.39	34.76	0.88	
	7	0.46	6.90	0.56	8.14	1.59	0.19	
	8	0.07	0.52	0.11	0.57	0.33	0.02	
	9	0.15	0.08	0.19	0.12	0.03	0.00	
10	0.07	0.09	0.10	0.12	0.02	0.00		
type2 柱頭 後輪鉛直 + 後輪水平	曲げ応力度(N/mm ²)		σ _m =M/Z		軸応力度σ _c =N/A(N/mm ²)	σ/f	判定	
	面内始点	面外始点	面内終点	面外終点				
	1	13.72	1.11	18.26	1.52	1.71	0.39	
	2	22.07	1.39	28.15	1.78	0.36	0.56	
	3	22.99	0.69	29.37	0.91	0.05	0.57	
	4	24.61	5.59	31.50	6.50	1.81	0.65	
	5	26.43	7.16	34.08	8.40	35.33	1.39	NG
	6	25.87	7.09	33.50	8.33	34.76	1.37	NG
	7	25.72	7.20	32.94	8.53	1.62	0.68	
	8	23.66	0.36	30.27	0.55	0.31	0.60	
	9	22.57	1.65	28.79	2.13	0.41	0.57	
10	13.65	1.66	18.19	2.24	1.76	0.39		

(b) Type2 の柱脚の断面検定結果

柱脚は曲げ応力度、軸応力度が共に小さく、 σ/f の応力度比は全体的に小さい。要素毎の断面検定結果を表2.3.3-12～表2.3.3-13に示す。

表2.3.3-12 type1 の柱脚の断面検定結果 (その1)

No.	H(mm)	t(mm)	A(mm ²)		I(mm ⁴)		Z(mm ³)		L(mm)	せん断力Q(N)	軸力N(N)	振りモーメントMt(N・mm)
			面内始点	面外始点	面内終点	面外終点	面内	面外				
26	3.0	216.77	14578	1121.4	200.0							
組合せ応力断面検定												
type2												
No.	曲げモーメントM(N・mm)		せん断力Q(N)		軸力N(N)	振りモーメントMt(N・mm)						
	面内始点	面外始点	面内	面外								
1	59	62	-0.1	-0.1	217.8	0.0						
2	80	83	-0.1	-0.1	19.6	0.0						
3	144	147	-0.1	-0.1	-297.0	0.0						
4	250	253	-0.1	-0.1	-892.6	0.0						
5	202	206	-0.1	-0.1	-1767.1	0.0						
6	-202	206	0.1	-0.1	-1767.1	0.0						
7	-250	253	0.1	-0.1	-892.6	0.0						
8	-144	147	0.1	-0.1	-297.0	0.0						
9	-80	83	0.1	-0.1	19.6	0.0						
10	-59	62	0.1	-0.1	217.8	0.0						
type2												
No.	曲げモーメントM(N・mm)		せん断力Q(N)		軸力N(N)	振りモーメントMt(N・mm)						
	面内始点	面外始点	面内	面外								
1	3671	75	-3360	47	140.6	0.6	448.6	-1.6				
2	3674	90	-3371	72	140.9	0.3	131.9	-1.5				
3	3715	148	-3345	140	141.2	0.2	-255.5	-1.7				
4	3807	249	-3266	247	141.5	0.0	-878.8	-2.4				
5	3758	201	-3321	205	141.6	-0.1	-1760.3	-3.2				
6	3354	203	-3733	208	141.7	-0.1	-1774.0	-3.2				
7	3307	251	-3772	259	141.6	-0.1	-906.5	-2.4				
8	3427	140	-3639	154	141.3	-0.3	-338.4	-1.7				
9	3515	70	-3536	93	141.0	-0.5	-92.8	-1.5				
10	3552	44	-3484	77	140.7	-0.7	-12.9	-1.6				

衝撃係数	曲げ強度 fb(N/mm ²)		圧縮強度 fc(N/mm ²)	
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点
1.2	61.51	58.59		

No.	曲げ応力度(N/mm ²)		$\sigma m=M/Z$		軸応力度 $\sigma c=N/A(N/mm^2)$	σ/f	判定
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点			
1	0.05	0.05	0.06	0.06	1.00	0.02	
2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.00	
3	0.13	0.13	0.13	0.13	1.37	0.03	
4	0.22	0.22	0.23	0.23	4.12	0.09	
5	0.18	0.18	0.18	0.18	8.15	0.17	
6	0.18	0.18	0.18	0.18	8.15	0.17	
7	0.22	0.22	0.23	0.23	4.12	0.09	
8	0.13	0.13	0.13	0.13	1.37	0.03	
9	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.00	
10	0.05	0.05	0.06	0.06	1.00	0.02	
判定は $\sigma/f < k$:空白							
$\sigma/f < k$:NGと表記							
type2							
No.	曲げ応力度(N/mm ²)		$\sigma m=M/Z$		軸応力度 $\sigma c=N/A(N/mm^2)$	σ/f	判定
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点			
1	3.27	0.07	3.00	0.04	2.07	0.11	
2	3.28	0.08	3.01	0.06	0.61	0.08	
3	3.31	0.13	2.98	0.12	1.18	0.09	
4	3.39	0.22	2.91	0.22	4.05	0.15	
5	3.35	0.18	2.96	0.18	8.12	0.23	
6	2.99	0.18	3.33	0.19	8.18	0.23	
7	2.95	0.22	3.36	0.23	4.18	0.15	
8	3.06	0.13	3.25	0.14	1.56	0.10	
9	3.13	0.06	3.15	0.08	0.43	0.07	
10	3.17	0.04	3.11	0.07	0.06	0.06	

表 2.3.3-13 type2 の柱脚の断面検定結果（その2）

type2	No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)		軸力N(N)	振りモーメントMk(N・mm)
		面内始点	面内終点	面外終点	面外	面内	面外		
柱脚	1	128	-8	-4	2.6	-2.7	218.9	0.8	
前輪鉛直	2	133	28	31	134	2.0	-2.1	20.2	
+	3	182	107	110	184	1.4	-1.5	-296.5	
前輪振り	4	273	228	231	275	0.8	-0.9	-892.1	
	5	209	195	199	214	0.2	-0.4	-1766.8	
	6	-194	209	-213	199	0.4	0.2	-1767.5	
	7	-227	272	-275	231	1.0	0.8	-893.1	
	8	-107	181	-184	110	1.6	1.4	-297.4	
	9	-27	132	-134	31	2.1	2.0	18.9	
	10	9	127	-128	-3	2.7	2.6	216.7	
type2	No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)		軸力N(N)	振りモーメントMk(N・mm)
		面内始点	面内終点	面外終点	面外	面内	面外		
柱脚	1	111	142	117	148	-0.1	-0.1	447.9	-0.2
後輪鉛直	2	148	187	153	193	-0.1	-0.1	28.0	-0.3
	3	253	325	259	332	-0.1	-0.1	-623.7	-0.5
	4	391	531	397	540	-0.1	-0.2	-1777.9	0.8
	5	297	332	301	338	-0.1	-0.1	-3175.8	0.9
	6	7	354	6	360	0.0	-0.1	-3409.9	0.0
	7	-218	681	-223	692	0.1	-0.2	-2274.9	-1.1
	8	-235	493	-241	502	0.1	-0.2	-974.4	0.6
	9	-179	304	-185	313	0.1	-0.2	-88.4	0.8
	10	-154	236	-158	246	0.1	-0.2	541.6	0.7
type2	No.	曲げモーメントM(N・mm)				せん断力Q(N)		軸力N(N)	振りモーメントMk(N・mm)
		面内始点	面内終点	面外終点	面外	面内	面外		
柱脚	1	9138	178	-8440	114	351.6	1.3	1017.6	-3.7
後輪鉛直	2	9130	211	-8481	169	352.2	0.8	304.5	-3.6
+	3	9177	337	-8469	316	352.9	0.4	-524.4	-4.5
後輪水平	4	9277	533	-8401	529	353.6	0.1	-1749.5	-5.5
	5	9173	333	-8530	335	354.1	-0.1	-3161.5	-3.6
	6	8886	354	-8826	359	354.2	-0.1	-3398.8	-4.5
	7	8680	680	-9021	696	354.0	-0.3	-2287.9	-9.1
	8	8702	486	-8967	516	353.4	-0.6	-1070.1	-5.3
	9	8816	284	-8812	341	352.6	-1.1	-370.4	-4.7
	10	8881	200	-8704	289	351.7	-1.8	-41.8	-4.9

衝撃係数	曲げ強度		圧縮強度		判定はσ/fk:空白 σ/f<k: NGと表記
	f _b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	
1.2	61.51	58.59			

No.	曲げ応力度(N/mm ²)		軸応力度σ _c (N/A(N/mm ²))		判定	
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点		
1	0.11	0.01	0.00	0.11	1.01	0.02
2	0.12	0.02	0.03	0.12	0.09	0.00
3	0.16	0.10	0.10	0.16	1.37	0.03
4	0.24	0.20	0.21	0.25	4.12	0.09
5	0.19	0.17	0.18	0.19	8.15	0.17
6	0.17	0.19	0.19	0.18	8.15	0.17
7	0.20	0.24	0.25	0.21	4.12	0.09
8	0.10	0.16	0.16	0.10	1.37	0.03
9	0.02	0.12	0.12	0.03	0.09	0.00
10	0.01	0.11	0.11	0.00	1.00	0.02
No.	曲げ応力度(N/mm ²)		軸応力度σ _c (N/A(N/mm ²))		判定	
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点		
1	0.10	0.13	0.10	0.13	2.07	0.04
2	0.13	0.17	0.14	0.17	0.13	0.01
3	0.23	0.29	0.23	0.30	2.88	0.06
4	0.35	0.47	0.35	0.48	8.20	0.18
5	0.27	0.30	0.27	0.30	14.65	0.31
6	0.01	0.32	0.01	0.32	15.73	0.33
7	0.19	0.61	0.20	0.62	10.49	0.23
8	0.21	0.44	0.22	0.45	4.50	0.10
9	0.16	0.27	0.16	0.28	0.41	0.01
10	0.14	0.21	0.14	0.22	2.50	0.06
No.	曲げ応力度(N/mm ²)		軸応力度σ _c (N/A(N/mm ²))		判定	
	面内始点	面外終点	面内終点	面外終点		
1	8.15	0.16	7.53	0.10	4.69	0.26
2	8.14	0.19	7.56	0.15	1.40	0.19
3	8.18	0.30	7.55	0.28	2.42	0.21
4	8.27	0.48	7.49	0.47	8.07	0.33
5	8.18	0.30	7.61	0.30	14.58	0.46
6	7.92	0.32	7.87	0.32	15.68	0.48
7	7.74	0.61	8.04	0.62	10.55	0.37
8	7.76	0.43	8.00	0.46	4.94	0.26
9	7.86	0.25	7.86	0.30	1.71	0.19
10	7.92	0.18	7.76	0.26	0.19	0.16

8) まとめ

路面緑化ユニットを1ブロックの1m×1mを取出しFEMモデルを作成して構造的な検討を行った。架構としては柱として外径26mm、肉厚3mm、長さ200mmの塩ビパイプを10cm毎に配置し、下端をコンクリートベッドで固定する。そのベッドの上に客土をポスト天端付近まで入れて上に植物を植込みポストと植物の保護材としてハニカム状の保護マットを設ける構造である。

構造的な検討としては、ポスト天端に車両が乗った場合の安全性について検討した。検討条件として次の様な設定をしている。

- ・この上に乗る車両は20tf車両までとして鋼道路橋設計示方書の値を用いる。
- ・場内速度は8km以下とする。
- ・場内ということで急発進・急停車は考慮せず、0.5秒以上で所定の速度になるとする。
- ・前輪のハンドル操作による回転を振り荷重として扱うにあたり路面とタイヤの摩擦係数 μ を $\mu=0.5$ とする。
- ・塩ビパイプの材料定数は実験結果の値を使用する。
- ・ハニカム状の保護マットは形状が未定なので剛性が塩ビパイプの1/10の面材として扱う。
- ・解析ではポスト中間に、荷重分散と水平変形拘束用の材(頂部の面材と同等の部材)がある場合(type1)と無い場合(type2)について検討する。

検討結果は、変形の場合、表2.2.3-14に示すように水平の場合type1で10mm程度、type2で18mm程度である。鉛直時で4.5~5mmで当然typeの差がない。ただし、水平の場合車両の4輪は別々のマットに乗るから変形についてはさほど問題ないと考えられる。

表 2.3.3-14 中央部の節点変位一覧

中央節点変位	type1頂部変位				type2頂部変位				type2/ type1
	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	$\delta x(\text{mm})$	$\delta y(\text{mm})$	$\delta z(\text{mm})$	δvector	
前輪水平時	4.62	0.10	0.08	4.62	7.85	0.10	0.09	7.85	1.70
前輪鉛直時	0.17	0.17	-4.52	4.53	0.19	0.19	-4.72	4.73	1.04
前輪振り時	0.16	-0.02	0.01	0.16	0.17	-0.02	0.01	0.17	1.06
後輪水平時	9.67	0.10	0.01	9.67	17.68	0.12	-0.01	17.68	1.83
後輪鉛直時	0.03	0.18	-5.06	5.07	0.00	0.19	-5.19	5.19	1.03

部材検定結果はtype1, type2ともにポスト頂部の中央部で鉛直+水平の組合せ荷重時に最大値となり、応力度比 $\sigma/f=1.27(\text{type1})$ 、 $\sigma/f=1.39(\text{type2})$ となる。この値を1以下にする方法としてはポスト間隔を小さくするのが簡単であるが、上部に配置する保護マットの配置により現在1m×1mの範囲をもっと広い範囲で水平力を負担できれば現状の10cm間隔でも良いと考えられる。

FEM解析の結果、路面緑化ユニット構成の実現、可能性があることが分かった。

これらのFEM解析結果をベースに、今後の実用化に向けたプロジェクトに取り組む。

第3章 維持管理システムの検討

3.1 水分監視システムの検討

路面緑化に供する地被植物にとって生育に最も必要な要因は水、光、空気、土壌である。水は植物体の90%以上を占めるもので、水分不足は即枯死につながる。根から吸収した水分は、養分の植物体内の隅々までの運搬や光合成活動への関与など植物体内で重要な働きをする。水分の吸収は根毛で行われ、土壌中に張り巡らされた根の先端付近に密集する根毛は大面積となり、土粒子の間隙に付着する水分や溶存無機物の吸収を行う。水分の枯渇は根毛に与えるダメージが大きく、植物体の衰弱にすぐに影響することになる。このように水分を適切に継続的に植物に供給することが、植物体の健全な生育を確保する上で実に重要な課題となる。

農作物での水分管理は研究事例が多いが、造園植物でのそれは多くは無い。ここでは、造園植物の水分管理について考察した結果について記述する。

3.1.1 造園植物の水要求量

植物が必要とする水の量（地被植物の例）は一般に下記の式で求められる。

$$\frac{PET \times \text{植物係数}}{\text{灌水効率}}$$

PET : Potential evapotranspiration (mm/day)
(最寄りの測候所・気象台で入手可)

PETは最寄りの測候所や気象台で入手可能なものであり、一日の植物の水の消費量である。下記に葉面性の違いによる水分消費量の違いを示す。

EX. 平均気温20-28℃、湿度50%以上の時

葉面積大の植物	10mm/day
葉面積中の植物	7.8mm/day
葉面積小の植物	5mm/day

植物係数とは、緑色藻類を1とした時の各植物の相対的水要求量を示す値であり、下記の係数が与えられている。

柑橘類(0.4-0.6)、落葉性果樹(0.6-0.7)
灌木(0.7-0.8)、地被・花卉類(0.8-1.0)

芝生 (0.7-0.9)

灌水効率とは、灌水システムの水損失率であり、現在多く用いられている点滴ホースの灌水効率はかなり高いものとなっている。

点滴灌水 (0.9-0.97)

造園の高木植物が必要とする水の量は下記の式で求められる。

$$\frac{PET \times \text{樹冠面積} \times \text{植物係数}}{\text{灌水効率}}$$

樹冠面積とは、地面に投影された面積×補正係数(=植物の露光係数)で表す。補正係数は下記の数値を用いる。

補正係数	樹高 (m)	樹冠径 (m)	⇒	補正係数
	1	1		1.00
	2	1		1.08
	3	1		1.13
	4	1		1.17
	5	1		1.20

3.1.2 計算例

以下に地被植物と高木が必要とする水分量の計算例を示す。

① 芝生の夏季の水要求量の計算

夏の平均気温	30°C
相対湿度	35%
PET/day	8.7mm
植物係数	0.9
灌水効率	0.95 (トリップ® 灌水)

$$\text{必要灌水量} = \frac{8.7 \times 0.9}{0.95} = 8.24\text{mm/day}$$

暑い夏の晴天時に、芝生は1日1m²当たり8.24リットルの水を消費する計算になる。

② 立ち木の夏季の水要求量の計算

夏の平均気温	30℃
相対湿度	35%
樹冠面積	3.14m ²
樹冠投影直径	2m
露光係数	1
樹高	1.5m
PET/day	11.2mm
植物係数	0.35
灌水効率	0.95(トリップ®灌水)

$$\text{必要灌水量} = \frac{0.35 \times 3.14 \times 11.2}{0.95} = 12.8\text{mm/day}$$

このように立ち木の場合、夏の暑い1日は1m²当たり8.24リットルの水を消費する計算になる。

3.1.3 路面緑化ユニット必要とする水の量の算定

試験区での必要灌水量を上記の式を用いて推定を以下に試みた。

夏の平均気温	30℃
相対湿度	35%
PET/day	8.7mm
植物係数	0.9
灌水効率	0.95(トリップ®灌水)

$$\text{必要灌水量} = \frac{8.7 \times 0.9}{0.95} = 8.24\text{mm/day}$$



写真 3.1.3-1 試験区の平面配置

路面緑化ユニットは、薄層で用いられることが多い。その場合、灌水は不可欠と考えられるが、今回本研究で得られた路面緑化ユニット（t=200）で、散水は必要なのだろうか。上記の計算を基に検討する。

路面緑化ユニット内土壌水分量を計算する。

使用する土壌は、有効水分量の最も多い真珠岩パーライトとする。

真珠岩パーライト（有効水分量 256 l/m^3 ）厚み 20cm の有効水分量は

$$200/1000 \times 256 = 51.2 \quad \text{l/m}^2$$

厚み 20cm の土壌中に約 51 l/m^2 の有効水分を保持しているのであるが、暑い一日の芝の水要求量は 8.24 l/m^2 なので、真夏日が連続する場合は6日程度で使い切ることになる。

。

$$\text{真夏日が連続する場合} \quad 51.2 \div 8.24 = 6.2$$

* 6.2日 で有効水分を使い切る(!?)

近年都市部での、真夏日の日数は増える一方である。しかも連続する日数も増加している。連続真夏日40日の場合の水要求量をみると約 330 l/m^2 にもなることが判る。

連続真夏日40日の場合

芝生の必要灌水量は

$$8.24 \times 40 = 329.6 \quad \text{l/m}^2$$

* 6日に1度十分な灌水が必要

表3.1.3-1 実験に用いた用土ごとの物理性及び化学性分析結果

試験項目	単位	火山砂利	パーライト	焼き黒土
三相分布：気相率	V/V%	32.8	44.4	43.5
三相分布：液相率	V/V%	46.1	43.0	33.4
三相分布：固相率	V/V%	15.7	12.6	23.1
粒径組成(国際法)	-			
飽和透水係数	cm/sec	1.7×10^{-2}	5.8×10^{-3}	5.6×10^{-1}
有効水分(pF1.8-3.0)	l/m ³	132	252	26
pH(H ₂ O)	-	6.0	8.0	5.7
有効態りん酸 P ₂ O ₅	mg/kg	66	<10	21
交換性カリウム K	cmol(+)/kg	1.04	0.13	0.17
腐植	g/kg	20.7	0.8	162
塩基交換容量(CEC)	cmol(+)/kg	7.4	3.3	35.1
りん酸吸収係数	g/kg	13.7	<0.5	24.9
電気伝導度(EC)	ds/m	0.23	0.02	0.06
全窒素	g/kg	0.9	<0.1	4.8

3.1.4 植栽地の水分管理方法

気候に関係なく定時定量の灌水を行うことが多い。しかし雨の日や風の強い日、曇りの日や寒い日は植物の光合成による水分消費が極めて少ない。このような場合に、センサーを用いて灌水量を制御することは維持管理の低減に有効である。

ただし、芝生でも生育量のばらつきなどがあるため、灌水の状況については定期的な管理人の目視評価が必要である。センサーがあっても、目視の補助的なものと考えれば大きな失敗は免れると思われる。それぞれのセンサーの特徴を以下に示す。

① レインセンサー

レインセンサーは雨が降ってきた時、降っている間、降雨後に暫時散水システムを作動させないために使用する。

② ウィンドセンサー

ウィンドセンサーは強風時(風速5.4m/秒～15.6m /秒)に散水システムを作動させないために使用する。

③ フリーズセンサー

フリーズセンサーは気温が低下し、凍結が予想される場合(3℃以下)散水システムを作動させないために使用する。

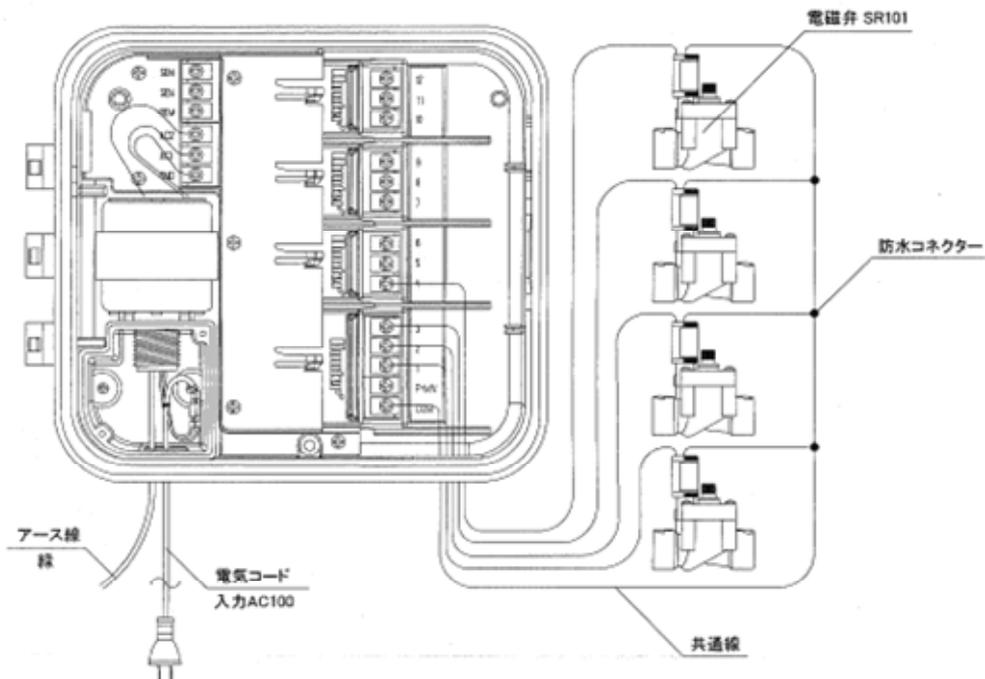


図 3.1.4-1 制御盤による年間プログラム灌水

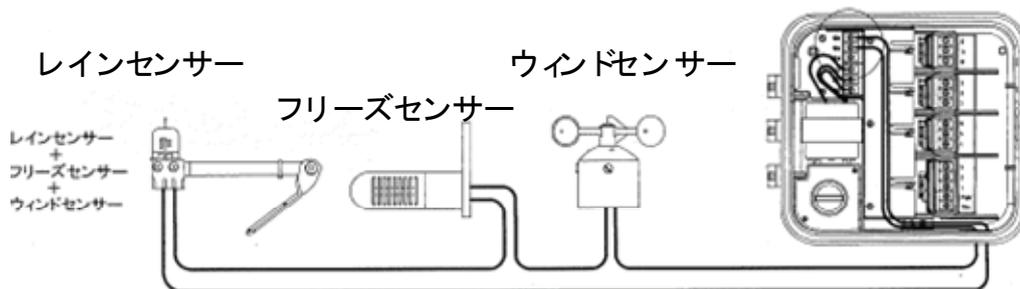


図 3.1.4-2 センサーを用いたプログラム灌水

図3.1.4-3は路面緑化ユニットの試験体と灌水イメージである。赤○部分が制御盤である。ここにセンサーからの信号を受け入れて、灌水の制御を適切に行う実証実験を実施している。

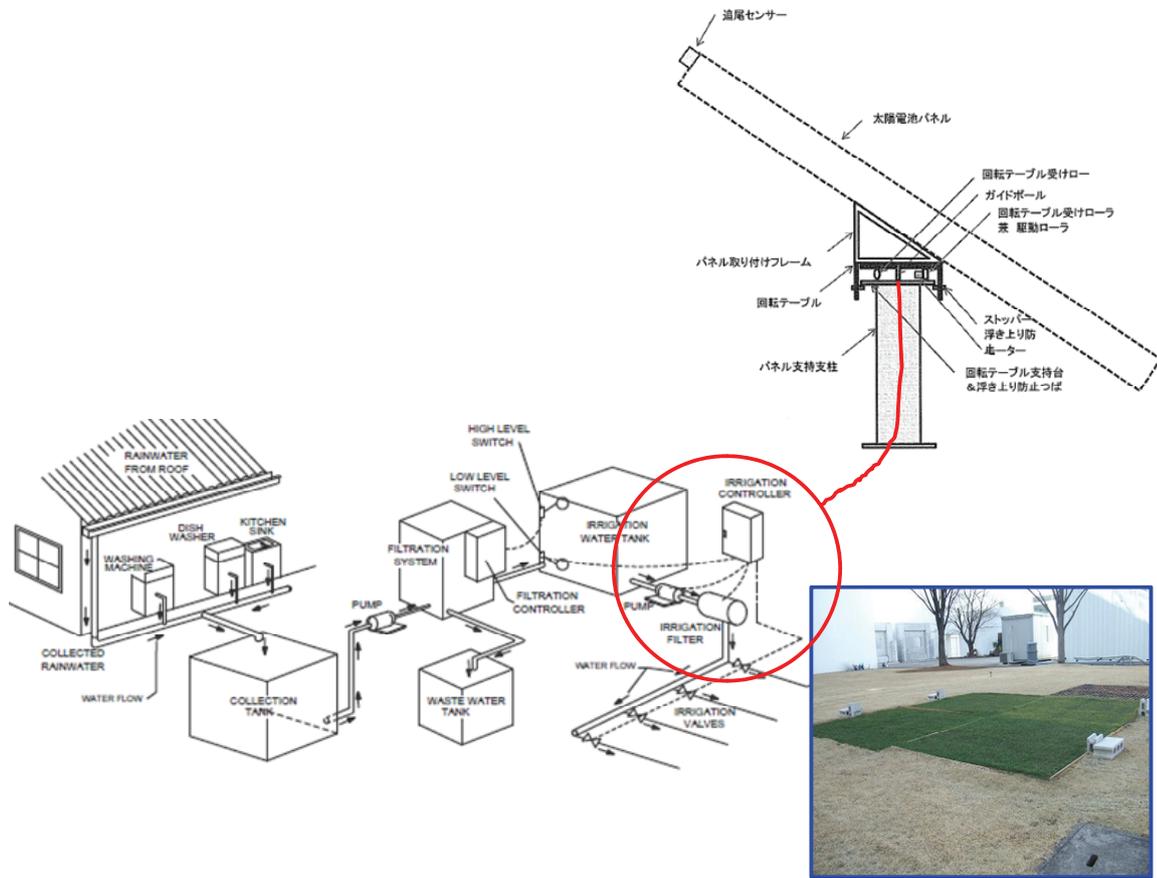


図 3.1.4-3 路面緑化ユニットと試験体

3.2 排水再利用技術の検討

昨今のような夏場の高温・無降雨状態が続く気象条件において、無灌水で路面緑化システムの健全な状態を維持するのは困難であり、何らかの形で植物に害のない水を得て、灌水する必要がある。

通常、灌水のための水は水道水が用いられる。しかし、水道水は人が飲むことができるほど水質を良くするために、高度な技術とエネルギーをかけて浄化された水である。そのような水道水を路面緑化の灌水として利用すれば、路面緑化が環境に優しい技術とは言えず、またランニングコストとしての水道料金についても、決して小さなものではない。

そこで、建物内で使用し排出される水に着目した。建物からの排水を、ある程度の浄化処理を行った後、灌水に利用できれば環境への貢献と同時にコストの軽減にもつながる。そこで、建物からの排水の再利用技術について検討を行った。

3.2.1 建物からの排水再利用

1) 排水再利用のイメージ

建物からの排水再利用のイメージは、図 3.2.1-1 に示す通りである。雨水や厨房排水、洗濯排水を集め、処理し所定の水質まで浄化した水を溜め、灌水に利用するという流れである。図では処理部分が Filtration System となっているが、灌水に必要な水質と水量を確保でき、さらにコストを抑えることができる処理方法でなければならない。

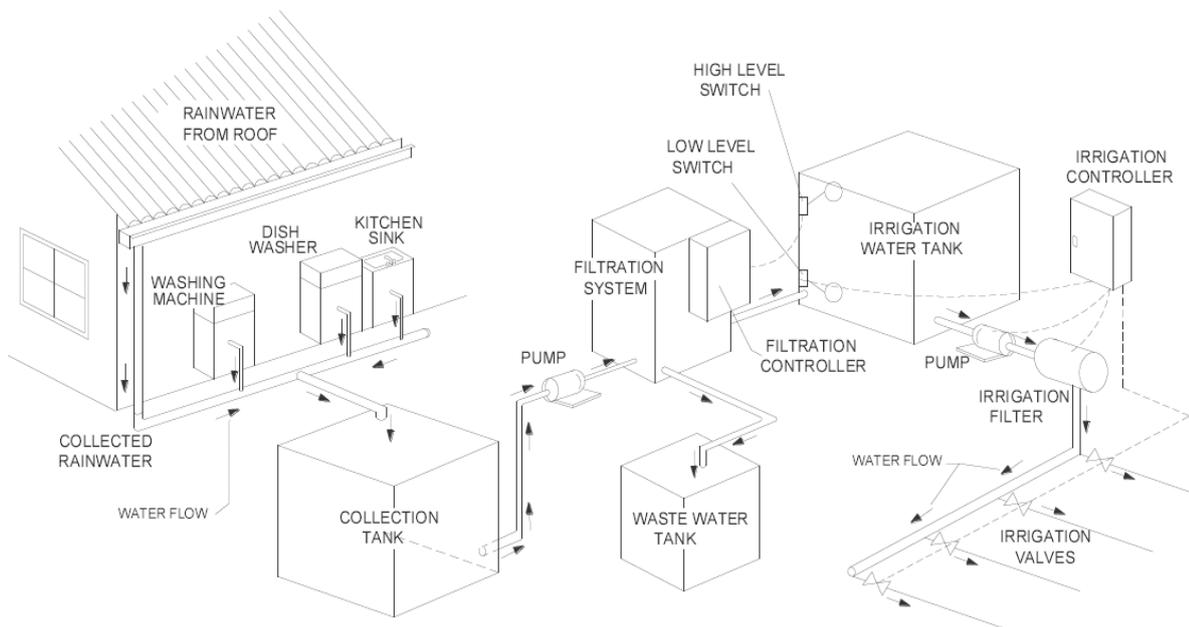


図 3.2.1-1 建物からの排水再利用イメージ

2) 厨房排水と灌水利用時の水質

建物からの排水として、最も汚いと想定されるのは、厨房からの排水である。そこで、竹中技術研究所食堂からの排水を分析し、灌水利用時に必要とされる水質（下水処理水循環利用技術指針）との比較を行った。その結果を表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1 厨房排水と下水処理水循環利用水の水質比較

項目	厨房排水 (竹中技研 12/2)	下水処理水 循環利用技術指針 (散水用水)
基準水質 大腸菌群数(個/mL) 残留塩素(mg/L)	0.08	検出されないこと 0.4以上
目標水質 外観 濁度 BOD(mg/L) 臭気 pH	白色濁り 245 223 下水臭 5.8	不快でないこと — — 不快でないこと 5.8~8.6
施設基準		砂ろ過施設または同等 以上の施設が必要

厨房排水については、濁度・BODとも高く、有機物によってひどく汚れた水であることが分かる。一方、下水処理水循環利用技術指針の値では、濁度・BODとも値の記述は無い。しかし、大腸菌群数が検出されない程度に浄化しなければならないことから、有機物の除去が必須である。

つまり、建物からの排水を再利用するには、有機物を除去できる浄化システムが必要である。ただし、灌水に必要な水量は数 m³ 程度であり、それを超える処理量の浄化システムではオーバースペックとなってしまうことを考慮しなければならない。

3) 既存の浄化技術

(1) 活性汚泥法

有機物を多く含む水の処理方法としては、下水処理場で広く採用されている活性汚泥法が知られている。活性汚泥法とは、好気性微生物による有機物の分解で水を浄化する方法であり、水処理フローを図 3.2.1-2 に示す。

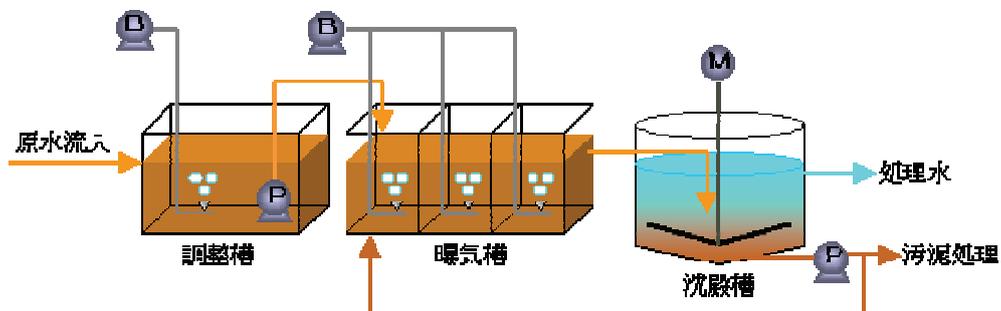


図 3.2.1-2 活性汚泥法による水処理フロー

まず流入した排水は、調整槽を経由して曝気槽に送られる。曝気槽内では好気性微生物が有機物を分解しながら増殖し、好気性微生物同士がくっつき合っ

を形成する。その後、水が沈殿槽へ送られるとフロックが沈降し、フロックは汚泥として排出処理され、上澄みの水が浄化された処理水として得られるという技術である。

活性汚泥法は、水処理にあたっては、送水用ポンプと曝気ポンプなどの動力のみ必要とし、特別な装置・機材を必要としないため、ランニングコストが抑えられる。また、もともと水に含まれていた有機物が微生物の活動によって分離・処理されるため、最終的に排出処理される汚泥の量は、排水流入時の有機物量と比較すると少なくなる。しかし、活性汚泥法を運用していくには、好気性微生物を維持するために、ある程度の流入水が必要である。メーカーにもよるが、この方法での最小の水処理装置でも 20m³/day の水量が必要である。灌水で使用するにはやや大きな処理量となるため、導入した場合はコストアップになってしまう。

(2) ろ過

水に含まれる固形分などの物理的な除去方法として、ろ過がある。ろ過には、その材料の違いから砂ろ過、ガラス繊維ろ過などがあり、方法によっては 10 μm 程度の粒子まで除去することが可能である。そのため、排水の濁り成分は十分な除去が可能である。しかし、物理的な浄化機能しかないため、水中に溶解している有機物の除去には適さない。また、ろ過工程で捕捉した固形分は逆洗浄操作によって排出処分することになるが、流入水質によっては逆洗浄回数が多くなり、逆洗浄に用いる水量が増え、排出処分が必要な水量が多くなってしまう。

(3) 膜処理

ろ過よりもさらに細かな物質を水中から除去できる方法として、膜処理がある。膜処理では主に海水の淡水化や精製水の作成、ウイルス・コロイド物質・イオンの除去などに用いられる。分離できる物質の大きさによって膜の種類が異なっており、以下のような分別がなされている。

表 3.2.1-2 膜処理の種類

ろ過膜区分		分離サイズ	参考物質
一般ろ過		1~1000 μm	浮遊物質
精密ろ過	MF膜	0.1~150 μm	大腸菌
限外ろ過	UF膜	0.002~5 μm	ウイルス、コロイド
逆浸透	RO膜	0.0003~0.005 μm	イオン、農薬

膜処理を用いれば、排水処理時に問題となる物質を一気に除去することが可能である。また、浄化する水量の調整は容易である。しかし、分離できるサイズが小さいために簡単に閉塞しやすく、流入する水質によっては逆洗浄を頻繁に行わなければならない。また、膜処理装置そのものが高価であるため、この方法のみで排水を処理するとした場合、極めて高価な灌水システムとなってしまう。

4) 灌水に適した排水浄化技術

(1) イスラエルの例

アジアの最西端の国、イスラエルは、中東に位置しており、地中海に面しているが降水量が極端に少ない。そのような気候風土を背景に、イスラエルでの排水再利用の技術は日

本とは異なる進歩を遂げており、各世帯レベルでの排水の浄化処理装置に関しては、高い技術力を有している。その例を図 3.2.1-3 および図 3.2.1-4 に示す。

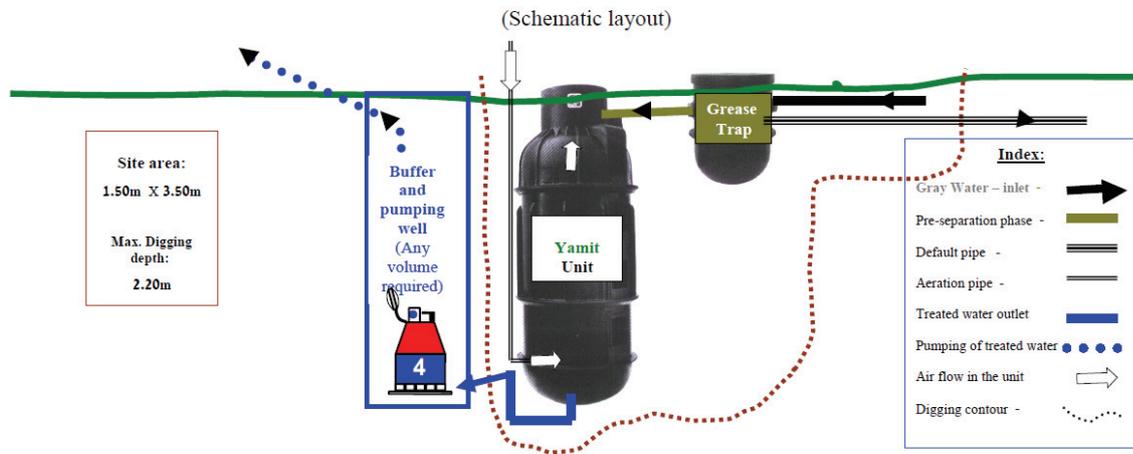


図 3.2.1-3 小規模排水浄化装置フロー

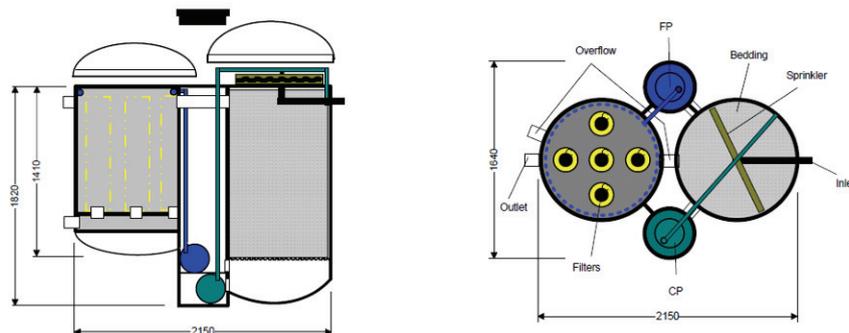


図 3.2.1-4 ユニット部イメージ

上記排水浄化装置は、家庭排水を想定した処理装置であり、家屋庭先に埋設して使用するものである。排水は一旦、油水分離槽にてトラップされた後、浄化ユニットへ流入する。浄化ユニット内では、活性汚泥法のような曝気による処理と、膜処理のようなフィルターが配置されており、複数の浄化工程を経て浄化されることが分かる。このように、浄化技術のメリットとデメリットを勘案して組み合わせることで、建物排水から灌水用水として最適な水質・水量の水を得ることが可能になると考える。

(2) 浄化装置の導入

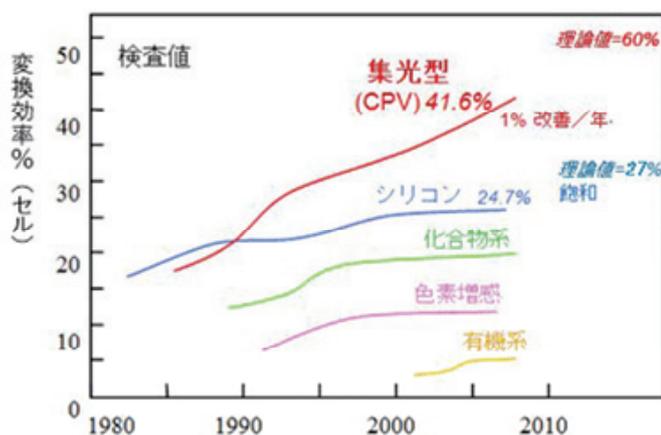
イスラエルでの例を踏まえ、類似の装置が厨房排水からの浄化装置として利用し、灌水用水確保の手法として活用できないか確認するために、実際に装置を導入する。

以上のような装置を平成 21 年度試験施工区および平成 22 年度試験施工区において運用し、灌水用水として適切かどうか、今後確認を行っていく。

3.3 太陽光エネルギー利用技術の検討

太陽光発電装置は環境にやさしいクリーンなエネルギーとして、その利用量が急増している。太陽から地球に降り注ぐ光のエネルギーは膨大であり、「たった1時間の日射量で、全人類が消費する1年間のエネルギーをまかなうことができる」(Newton 2010年1月)という。太陽光は基本的にどこであろうが地球上全域にわたりその光のエネルギーを供給する。図3.3-1は変換効率の変化を示し、集光型では20年間で2倍の変換効率を得る進展がある。

路面緑化システムは様々な動力を必要とする。駐車場の遮断機開閉動作や灌水用のポンプ駆動、誘導灯等である。しかし路面緑化システムの適用場所は、動力電源が常にある場所であるとは限らない。そこで本研究では、太陽光発電装置の導入を検討した。



出典：大同特殊鋼HP

図3.3-1 変換効率の推移

3.3.1 高精度太陽方位追尾装置（1軸追尾装置）

太陽の動きに合わせてパネルを動かす（追尾）ことにより、発電量は大きくなる。現在、追尾方式を採用した海外の商用太陽光発電プラントが増えている。ただし、パネルの固定式に比べて追尾型はどうしても駆動部分の機械装置が複雑になり、装置コストもかさむようになる。本研究では、二軸制御ではなく一軸制御の追尾方式を用いることで大幅なコストダウンを図ることが可能となった。

太陽光の追尾はセンサーを用いて行う（特許出願済）。太陽追尾には方位のみを追尾する1軸追尾と太陽高度をも追尾する2軸追尾があるが、年間を通じての最適傾斜角に太陽電池パネルを設置すれば、1軸追尾制御のコストパフォーマンスがはるかに勝っているため、本研究では1軸追尾装置で実証することにした。

実験装置の写真を写真3.3.1-1～2、追尾センサーの構成を図3.3.1-1に示す。



写真3.3.1-1 研究施設屋上に設置した太陽光追尾型発電装置

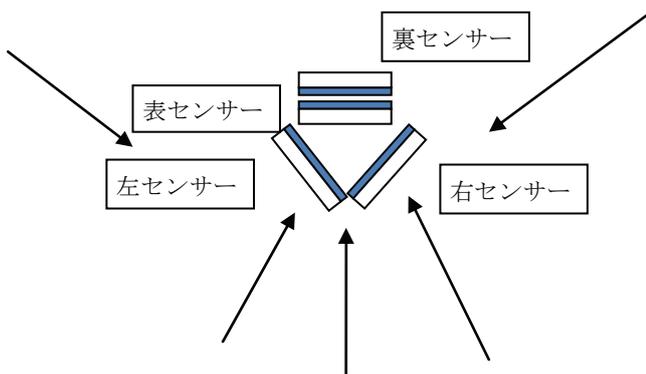


図 3.3.1-1 センサー配置と太陽方向



写真 3.3.1-2 センサー設置状況

3.3.2 1軸であることの損失について

以下に1軸であることの損失について3点記述する。

① 上下追尾しないため日陰部分ができ集光量が減少する。

パネルの長さを5m、リニアレンズの焦点距離を15cmとするとパネル面積に対する日陰面積の比は北緯35°でパネル傾斜角を30°とすれば年間の日照時間を通じて約1.3%。実際には日の出、日没時の太陽光エネルギーが小さいときの日陰率が大きく、日中の太陽高度が高いときは日陰率が小さい。日陰率を太陽高度で重みづけすれば年間の太陽光エネルギー損失率はもっと小さくなり、2軸追尾と比較してほとんど遜色がない。現実には2軸追尾では通常フレネル太陽光レンズを使うので、それと比較すればリニアレンズの方が配置密度を大きくすることができるのでレンズを通した集光量は1軸追尾の方が返って大きい。

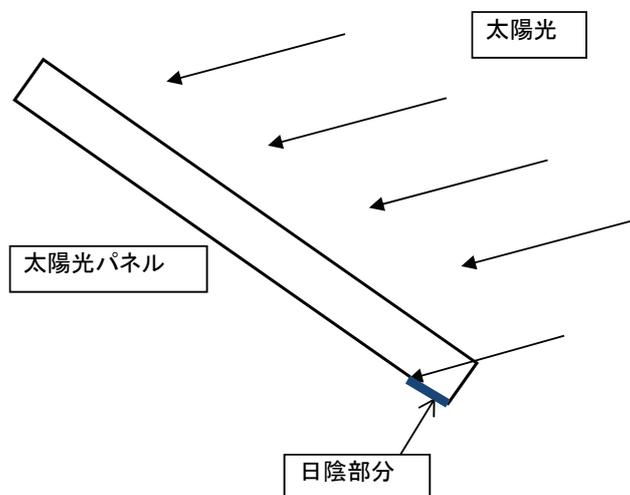


図3.2.2-3 日陰による集光量減少

② 太陽光に直面しない効率低下

太陽光パネルの傾斜角を設置緯度と同じにし、春分・秋分の南中時に太陽に直面するようにする。太陽光強度を太陽高度に比例するとして重みづければ2軸追尾と比較して発電低下量は冬季で15.4%、春秋季4.5%、夏季で5%程度である。冬季における発電量のウェイトは小さいので年間を通じての発電量の低下は6.5%程度であり、上下方向の追尾をしなくても損失量は小さい。

③ 太陽電池セルの必要面積が大きい。

幅15cmのリニアレンズで焦点距離15cmとし、幅4mmの直線像を結ばせれば集光比は75であるが直径15cm、焦点距離15cmのレンズで直径4mmの像を結ばせれば集光比5625となる。セルの大きさを幅5mm角とすれば、この場合リニアレンズでは30倍のセルが必要となる。このため、1軸追尾では極端に高価なセルを使用することはできない。

3.3.3 利用イメージ

本研究では、生活排水を浄化し散水用に活用するシステムの動力源として太陽光発電装置を利用することを想定する。

太陽光パネルで集められたエネルギーは、バッテリーに充電された後、定時定量の灌水装置駆動に利用される。制御盤による灌水の年間コントロールであり、厨房排水を浄化した水を灌水に用いることができる。

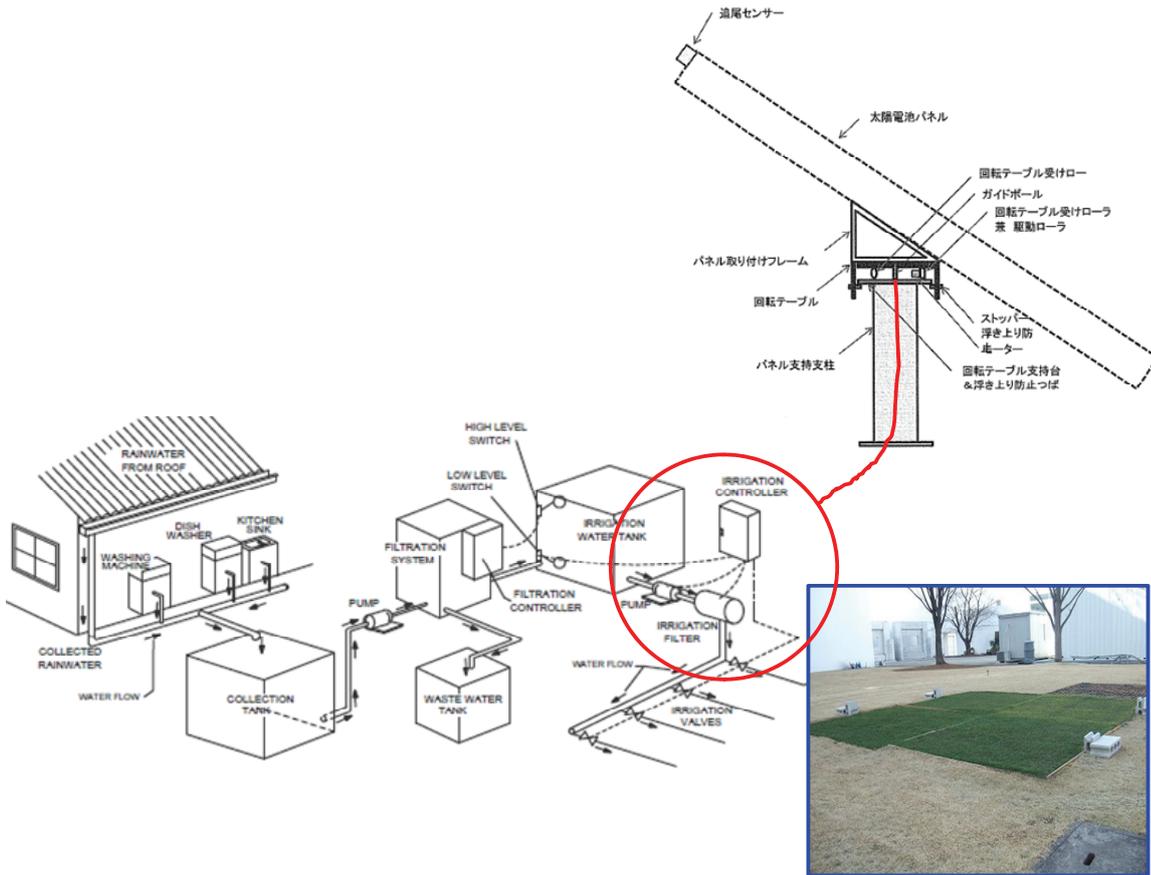


図3.3.3-1 路面緑化システムの稼働イメージ

第4章 路面緑化適用ガイドライン

4.1 路面緑化の主な効果

都市化の進行に伴うヒートアイランド現象は関心の高い環境問題であり、「ヒートアイランド対策大綱」(平成16年度策定)を踏まえて、国や自治体を挙げて総合的な対策を推進している。自治体や事業者の取り組みの一つとして「駐車場の舗装改善」がある。しかしながら、駐車場の緑化は、耐久性や芝生の管理などの技術的な課題が解決されておらず、長期間にわたり健全な状況で維持している事例はほとんど無い状況にある。(兵庫県「グラスパーキング推進事業」実証実験H17年度～H18年度)

また、工場や倉庫の建替え計画は多いが、工場立地法適用以前の建物は建替えに伴う緑地面積確保が課題となり、郊外移転があとを絶たない。2004年3月の工場立地法改正に伴い、東京都は屋上と壁面緑化を緑地面積に算定可能としたが、工場屋根特有のスレート屋根や折半屋根の荷重制限や壁面緑化の技術的な困難さのために、行政的な後押しにも関わらず緑化面積は増加していない。路面の緑化が緑地面積に算定可能と判断されると、工場の建替え需要に大きく貢献すると考えられる。

市街地の歩道は夏季高温になり、老人・子供・妊婦・身障者などの社会的弱者に過酷な歩行環境を強いる状況となっている。歩行環境としては電柱と共存する街路樹は棒状に刈り込まれ、緑陰をほとんど提供できていない。人々は建物の影を選んで歩行せざるを得ない状況となっている。路面の熱負荷低減は都市環境における社会的弱者保護上の急務の課題となっている。特に歩道の緑化は人々の暮らしに直接貢献する都市環境改善のニーズとなっている。

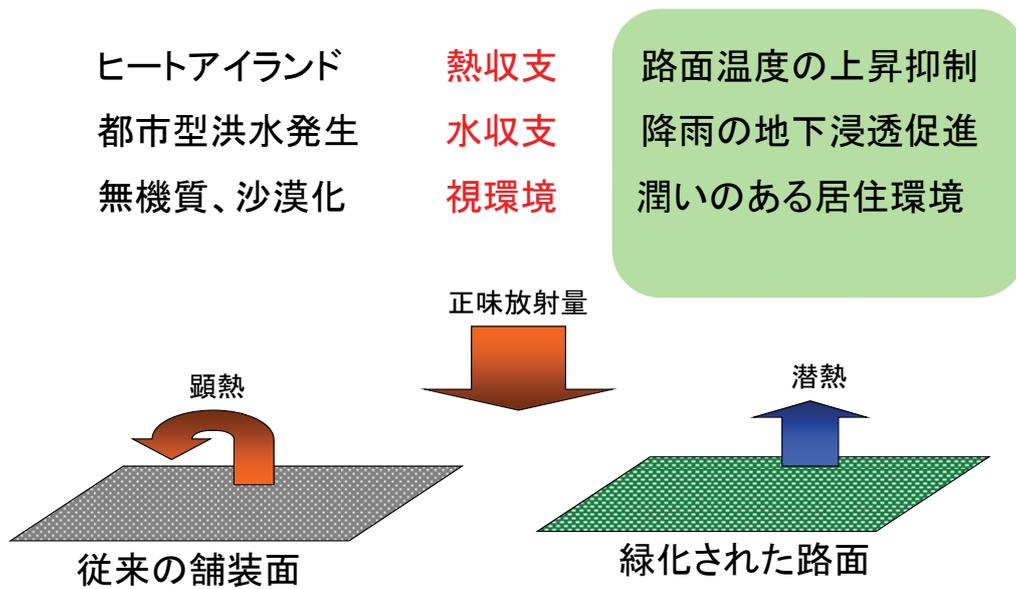


図4.1-1 舗装面の緑地化による各種弊害の軽減

路面電車は、全国 18 都市 19 事業者、路線延長約 235km で営業されている。全国 19 箇所の路面電車のうち、広島、大津、高知、鹿児島 の 4 都市で実績があるが、いずれも短い区間で試験的に行われている状況。良好な視環境の形成と熱負荷低減も視野に入れた軌道敷緑化は今後増加することが予想される。

夏季の炎天下の路面は、60℃を超える表面温度となるが、植栽面はどんなに温度が上がっても40℃を超えることは無い。暑い日中は植物体自身を冷やす目的もあり、活発な蒸散作用を行うが、冬季はもちろん曇天や雨天時はほとんど蒸散せず、大気中の温度と水分を自動調節してくれる。この植物の持つ環境調節機能を路面で活用し、環境負荷の低減と（アスファルト舗装面の熱負荷低減、雨水浸透による流出抑制等）、良好な街並み景観の創出を目的に、路面(歩道、街路、駐車場、軌道敷、緊急車両進入路など)で地被植物が健全に生育する緑化システムを考案した。

ここでは、実用化に向けた路面緑化に関するガイドラインの設定を行う。



駐車場(SC他)



工場内の歩車道



路面電車軌道敷



市街地の駐輪場

図 4.1-2 路面緑化の対象となる施設

4.1.1 路面緑化とは

(1) 定義

路面緑化を「コンクリートやアスファルトで被覆された歩車道等の表面を、路面の機能を損なわず植物を用いて被覆すること」と定義する。

(2) 目的・効果

上記の定義にしたがえば、歩車道としての機能を目的とした路面でありながら、植物で被覆されているため、以下の3つの効果が得られる。

- ①植物及び植栽基盤からの蒸散・蒸発作用により路面への蓄熱がないため、都市のヒートアイランド化の抑制に寄与する。
- ②雨水の地下浸透が促進され、都市型洪水の発生防止に寄与する。
- ③無味乾燥の視環境に、緑による癒しと潤いの景観が付与される。

(3) 工法と特徴

駐車場の緑化は、主に下記の2点の、耐久性や芝生の管理などの技術的な課題が解決されておらず、長期間にわたり健全な状況で維持している事例はほとんど無い状況にある。

- ①繰り返しのタイヤ圧に耐える芝生保護構造が無い。

車両のタイヤ圧で植物保護材が沈み込み、芝の生長点がつぶれて枯死に至る。また長期的には根圏土壌の固結が起これ、根の生育が困難になる。これは永久的な芝生の生育困難を招く。結果として、裸地化と路面の凸凹化、水溜り発生などの不具合が発生する。

- ②沈み込み防止を狙った芝生保護資材は、大型の構造物であり歩行には適さない。

上記の不都合を克服するために、沈み込みの無い芝生保護構造と無灌水でも芝生の生育が可能な土壌厚さを確保した構造よりなる構成となっている。芝生保護構造は芝の生長点をタイヤや歩行者の靴底から保護するとともに、土壌の固結化を防止するため健全な芝が長期にわたり維持可能となる。無灌水仕様での土壌の厚さは20cmである。それ以下の土壌厚さで緑化する場合は灌水装置（スプリンクラーやドリップ灌水など）を設置する。

本工法は、繰り返しのタイヤ圧に耐える芝生保護構造を有し、その保護構造が土中に沈み込まないことを特徴とするものである。図4.1.1-1参照。構成は、図4.1.1-1のようにコンクリート板に土壌の固結を防止する骨組みを一体化させ、骨組みの上には芝生保護構造を取り付ける。ユニットには大きな空間が設けられるため、この部分に客土材を充てんする。コンクリート板は保水する窪みと排水する穴を有する。コンクリート板の保水量を多くすることで客土量を少なくすることも可能となる。芝生保護材の下面まで客土を入れた後、芝の種子を播き、覆土して施工は完了する。

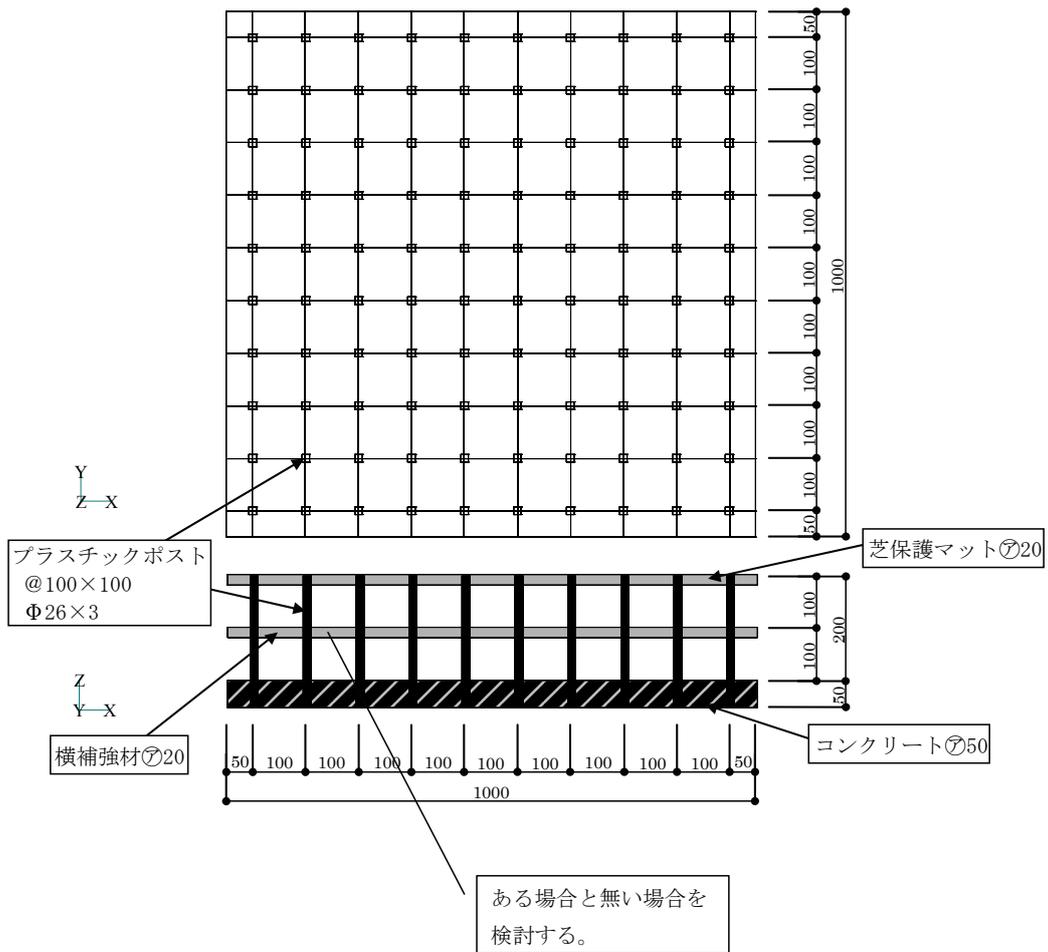


図 4.1.1-1 路面緑化ユニットの構造図

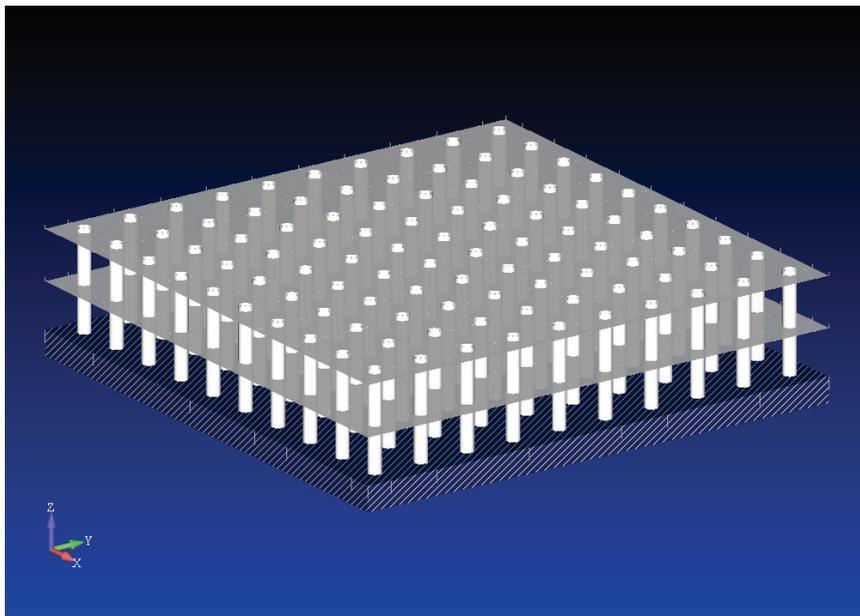


図 4.1.1-2 解析に用いた路面緑化ユニットのイメージ図

(4) 従来工法との関係

芝生保護材等により補強を行うものと特殊な土壌等により芝生保護を行うものがある。本工法は芝生保護材等による補強に属するものである。表 4.1.1-1 に位置づけを示す。

1) 芝生保護材等による補強

①車輪部をブロックや木材で補強したもの

車両の走行部をブロックや木材で補強し、走行部と目地部以外の部分を芝生で覆う。

②全体を強化プラスチックマットで補強したもの

区画全体を網状に成形されたプラスチック製のマットで補強し、全体を芝生で覆ったもの。突起区画全体を強化プラスチックで構造的に補強し、全体を芝生で覆う。

2) 特殊な土壌等による芝生の保護

耐圧基盤土壌等を使用することにより、区画全面を芝生化したもの。

表 4.1.1-1 路面緑化工法比較¹⁾

工法種別	芝生保護材による補強				土壌による補強
	車輪部補強型 (ブロック、木材)	全体強化プラスチック マット型	全体均一補強型 (ブロック、木材)	全体均一強化プラス チック構造型	全面芝生型
全景写真					
緑化可能率	約50%~80%	約60%~95%	約40%~70%	約80%~90%	100%
歩行感	段差、芝がふかふか	つまづきやすい	凸凹がある	歩きやすい	歩きやすい
タイヤ圧の影響	受けにくい (補強部)	受けやすいものが多い	受けにくい	受けにくい	最も受けやすい
その他	・補強材料は様々	・補強材料は様々 ・施工事例は多い ・施工費が比較的安価 なものがある	・補強材料は様々	・施工事例はない ・施工費が比較的安価	・施工事例は少ない ・施工費が比較的安価

4.1.2 計画

(1) 路面緑化の計画に当たって

路面緑化の計画にあたっては、適用場所の条件の把握と工法の選定が緑化の成否を分けることとなるため、適用場所の日照条件や利用形態・頻度・維持管理等の条件に応じて、緑化部分が最大となる計画とすることが望ましい。

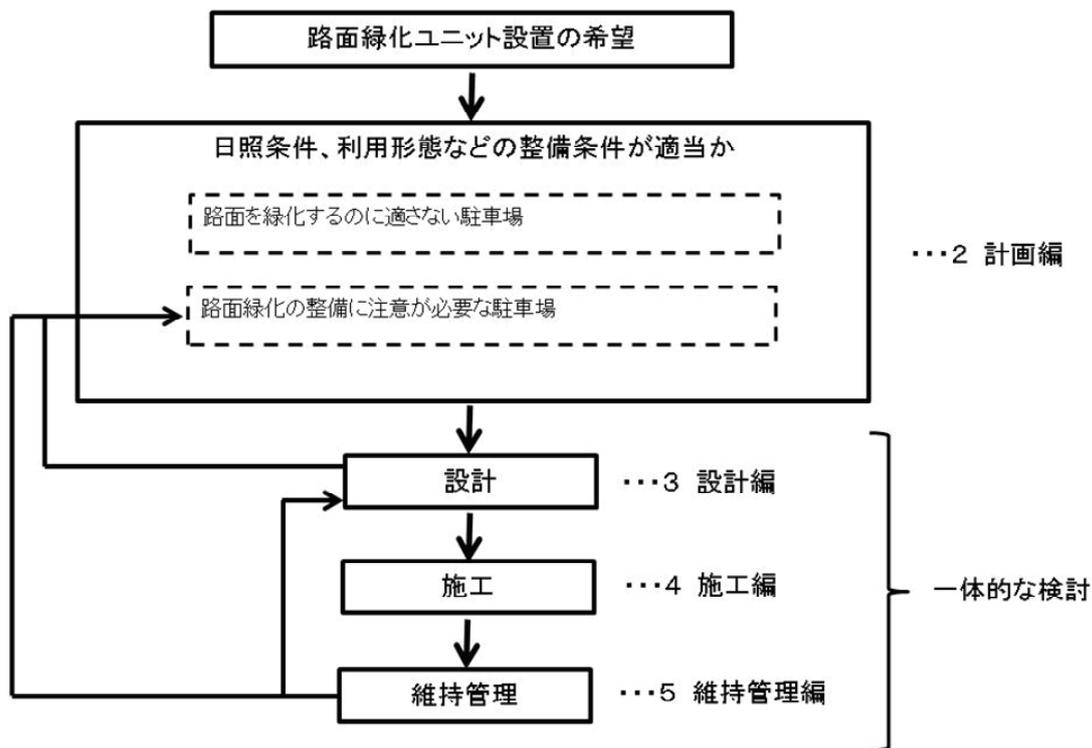


図 4.1.2-1 路面緑化の計画

(2) 計画の留意点

路面の緑化への取り組みは、少ない事例だが、古いものでは 10 年を超えるものがある。時間が経過することで不具合が目立つようになる。コンクリートやセラミックによる事例では、芝の損耗が激しく、雑草の繁茂や裸地化が顕著で、芝生の生育と舗装面のバランスが崩れ、駐車場緑化とはいえない状況を呈している。また、駐車場緑化の問題として避けられない車の轍部の損耗や保護材の破壊・陥没がみられる。植物保護材の破損や客土部分の踏圧による固結、さらに雑草侵入による見苦しい景観などで、何れも狙いとした緑化の目的からは良くない方向に推移した事例となっている。

多くの事例が、維持管理に手をかけず放置した状態が多くみられるが、このような場合、芝生部分の枯損や消失で、もはや緑化とは呼べない状況を呈している。維持管理の重要性がここあるのだが、行政の助成措置に便乗する形や、義務的な緑地面積の確保で緑化に取り組むように見える。屋上や壁面緑化の行政指導のはじまった初期の状況に酷似した様相を呈している。

計画に当たり、上記の不備を十分に考慮した対応が望まれる。以下に留意点を述べる。なお、本研究で得られた路面緑化ユニットについては実証試験を十分に行っていないため留意点にどの程度該当するものかは今後の課題である。

1) 駐車場緑化工法適用上の留意点

コンクリートやセラミックのブロックを用いた事例では、ブロックは、舗装厚 8～10cm が必要であり、舗装自体が芝の根の生育を阻害し、生育不良が起こりやすい。表土の流出や芝の成長に伴う厚みの増加によって、ブロックと芝に段差が生じやすいことも課題である。維持管理方法の確立での対応が必要と考える。

プラスチックの芝生保護材を用いた事例では、保護材自体への面的な荷重に対する強度は、クリアされている製品は多いが、その場での切り替えし等の曲げやせん断的な強度が確保されていないものが多い。また、プラスチック特有の紫外線による劣化が発生しやすい点が懸念される。

車輪部のみを保護材によって補強した事例では、車が直接乗る部分をブロックや木材等で保護するので、植物の枯損はなくなるが植栽部分の面積が少なくなる欠点がある。特殊な土壌で芝生を保護する事例では、車両の出入りが多いと、客土材の固結が容易に起こり、轍部分の芝生の枯損が著しい。人による踏圧のため擦り切れや枯損が生じることが多く、一般の駐車場としての利用には厳しいが、利用頻度の低い緊急目的の利用には不都合はないと思われる。

2) 緑化効果を維持する上での留意点

路面を緑化する目的はさまざまであるが、対象となる面積が広大であるだけに効果にする期待も大きい。景観的には、アスファルトやコンクリート等の人工物に比べて、やわらかな印象として視認される。ただし、平坦な芝生地では景観の変化は望めない。また、最近話題の生物多様性の確保には程遠い緑地である。ここに工夫の余地がある。高木を配置することで、景観の立体性を確保できると同時に、生物の多様性を引き出す端緒を契機づける。駐車場のデザインの一部として積極的な展開が期待される。

熱環境改善的には、大きな効果が期待される。蓄熱して耐えがたい輻射熱を歩行者に与えるアスファルトやコンクリート等の人工物は、夏期利用者は避けて通る。土の道や植物で被覆された路面は、水分の継続的な蒸発による潜熱効果で低い表面温度が保たれる。熱を放出して大気を温める人工物に比べて、ヒートアイランド化防止策として大いに役立つものと期待される。緑化が維持される場合は、その効果が大きいのだが、枯損や消滅してしまった場合は、その効果は大きく低減される。維持管理技術の構築が必要不可欠である。

3) 景観効果を狙う上での留意点

芝生の有する柔らかな質感と自然の緑は、利用者を視覚的に和ませ、景観を和らげる効果がある。しかし、施工後時間のたった駐車場は、表土の流出や不陸や陥没のため、芝生が消滅し、ブロックやプロテクターの人工色が目立ち、景観を阻害する事例も見られる。

駐車場緑化は、車の円滑な運行や安全性を重視するために、灌木や高木などの仕切りを排除する傾向にある。そのためか単調な景観を呈する場合が多くみられる。また駐車場緑化は増加する傾向にあるが、樹木や花壇、分離帯などと組み合わせた緑化への配慮の視点が欠けている。緑地としてカウントされるためにも多様な緑と複合されたデザインが必要となると考えられる。

4) 維持管理上の留意点

芝生の駐車場では、芝生が消滅し、雑草に置き換わっている場所が多くみられる。除草を行っているところは、こまめに行うところでは、雑草がほとんど見られず良好な景観が維持されているが、手間をかけないところでは、キク科やマメ科などの雑草の侵入

が著しい。人の通行が多い部分は例外なく、客土の固結が進み、芝生はおろか雑草すら生えない状況となっている。緑化駐車場では、各駐車場での利用時間が異なるため、芝生の生育格差が著しく一元的な維持管理が困難な状況にある。

路面緑化駐車場の維持管理は、問題発生時点での現場対応のほか、放置もしくは放任であることが多い。路面緑化駐車場は、景観的にはスポーツターフのような管理精度が求められないため、粗放的な管理が求められることになる。ただし、日本は温帯性気候であり植物の生育期間は長く、生育量も大きい。粗放的な管理をした場合、荒れた雑草の景観が出現しやすいので要注意である。生活者に快適性をもたらすことができない景観は緑化とは呼ばない。

緑化駐車場は、建設費用について通常のアスファルト舗装駐車場と比較すると、緑化駐車場の建設コストはコスト面で不利な状況にある。維持管理においても植物の健全性を維持するための費用負担が必至となり、建設費と合わせての費用負担となる。緑化駐車場を緑地として加算できるか否かは各自治体の判断に委ねられている。緑地の定義から見るとかなり厳しいと考えられる。



写真 4. 1. 2-1 維持管理の行き届いた鹿児島路面緑化事例

(3) 路面緑化の適用

路面緑化を適用する場合、アスファルト舗装等に比べるとイニシャルコストとランニングコストが共に高価となる認識を持つ必要がある。写真は集合住宅の駐車場の車両走行路に緑化を施したものであり、緑化コンクリートと芝生保護材を組み合わせ灌水装置により散水も行われている。メンテナンスもよく良好な景観が維持されている。



写真 4. 1. 2-2 車両走行路に適用した緑化事例

4.1.3 路面緑化の設計

(1) 環境圧の検討

緑化景観が良好に保たれるためには、植物の生育環境として相応しいか否かが重要である。路面緑化での植栽環境を評価する場合、最も重要な環境要因は日照条件である。駐車頻度により、日中3時間以上の日照が確保できなければ日本芝の生育は困難となる。高い駐車頻度の場合では、車の下部への緑化は断念し、図4.1.3-1のように車両走行路に適用するのが望ましい。次に車両走行の頻度が高い場合、葉茎の擦り切れと植栽客土の固結による枯死が容易に起こりうる。この場合、芝生保護材が沈み込まぬことを確認した上で工法を選定することが重要となる。

駐車場独特の環境圧としては、エンジン排熱の問題がある。エンジンが熱い状態で駐車した場合、エンジン下部は高温にさらされ、この部分の芝が枯死するのは避けることができない。

このように、緑化部位が深刻なダメージを受ける環境圧は限られるため、事前の環境圧の検討で、適切な工法選定及び植物の選定を行うことが重要となる。

(2) 緑化タイプの構造

本研究により得られた路面緑化工法を、適用場所の条件によりタイプ分けを行うと以下のようなになる。

① 緑化タイプⅠ：無灌水で薄層の路面緑化(コケ、セダム)

コケやセダムの根は厚い土壌を必要とせず、保護材の厚みの中で生育する。

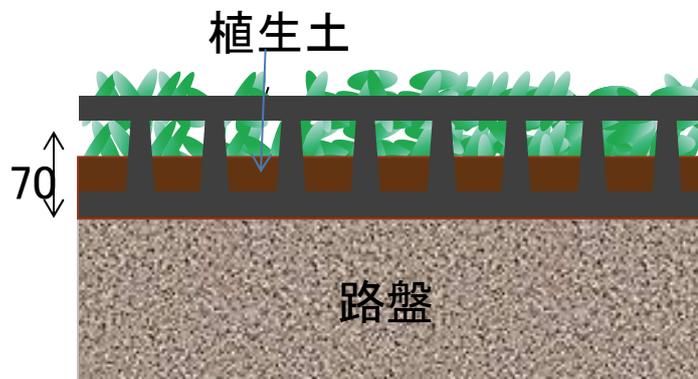


図 4.1.3-1 無灌水で薄層の路面緑化

② 緑化タイプⅡ：灌水有で薄層の路面緑化(芝、イワダレソウ)

灌水装置を使う場合は、薄層でもほとんどの地被植物が生育可能である。

③ 緑化タイプⅢ：無灌水で厚層の路面緑化(芝、イワダレソウ)

本研究で得られた路面緑化ユニットの構造である。保護材部分の高さを大きく取ることで、根の育成空間を十分確保できる。またコンクリート版に保護材を直接設置することで、上面にかかる荷重を植生土に伝えることなく路盤にかかる。芝生は客土中に十分な根を張ることができるため、降雨のみで通年の生育が可能となる。但し、近年の夏季は連続の無降雨猛暑日が伸び続けている。客土中の有効水分量で植物の生育

期間に相違が出るのだが、やはり 1 週間に 1 度の灌水は必要と思われる。

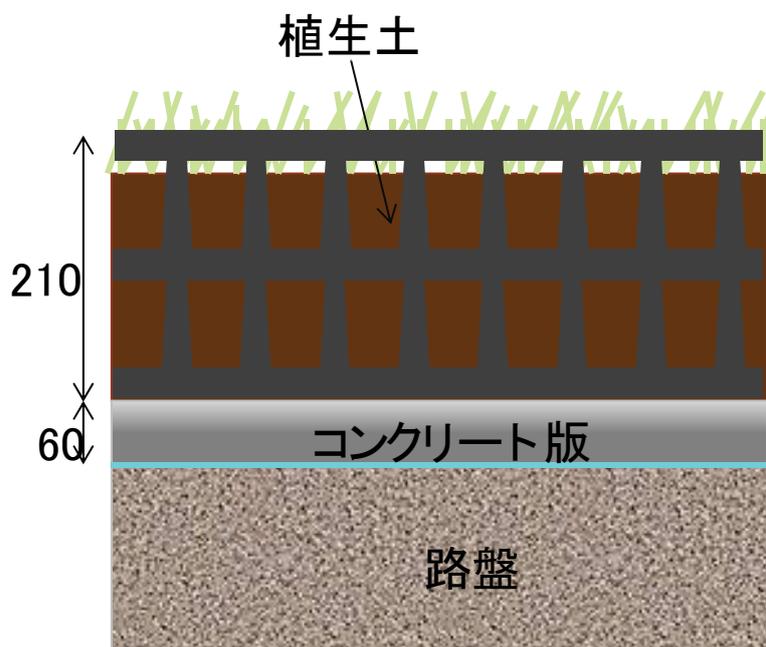


図 4.1.3-2 無灌水で厚層の路面緑化の構成

④緑化タイプⅣ：灌水有で厚層の路面緑化（その他植物）

このように客土厚さが 20cm あり灌水装置が作動する場合は、地被植物のみならず木本植物との組み合わせも可能となる。

(3) 植物の選定

当該路面緑化工法に適用する植物は適用場所に応じた選定が必要となる。おもな植物は芝草類、コケ類、セダム類、その他地被類であり、多くはない。表 4.1.3-1、2 に適用候補植物の特徴を示す。

表 4.1.3-1 適用植物の特徴(芝)

	暖地型芝生	寒地型芝生
種類	シバ類、バミューダグラス類、セントオーガステンなど	ブルーグラス類、ベントグラス類、ライグラス類、フェスク類など
気象条件	高温乾燥を好む	低温多湿を好む
土壌条件	砂質土壌を好む	埴壤土を好む
耐暑性	強い	夏季休眠(夏枯れ)
耐寒性	冬季休眠(冬枯れ)	強い
耐乾性	強い	弱い
監理難易度	容易(粗放管理に耐える)	難しい(集約的管理が必要)

表 4.1.3-2 適用植物の特徴(コケ、セダム)

	コケ類		セダム類	その他
種類	スナゴケ、ギンゴケなど	ハイゴケ、シラゴケなど	モリムランネンゲサなど	ヒメイワダレソウなど
気象条件	日照を好む	日陰を好む	日照を好む	日照を好む
土壌条件	砂質土壌	埴壤土	埴壤土	砂質土壌
耐暑性	強い	強い	強い	強い
耐寒性	強い	強い	弱い	強い
耐乾性	強い	強い	強い	強い
監理難易度	容易	容易	容易	容易

(4) 客土の選定

根の活動に適した土は、通気性がよく、しかも保水性があつて、肥料分の保持力に優れた土である。三相構造のバランスのとれた土壌はこの条件を満たす。保水性と通気性は相反する性質のようだが、団粒構造の土が、この両方の性質を兼ね備えたものといえる。土は細かい粒から出来ていて、その粒がある単位で集まった土を「団粒構造」という。その対極にあるのが単粒構造である。粘土や砂の状態、隙間が少なく、空気の流通や水の移動も少ないので、植物は空気不足で根腐れを起こすか、砂では水不足で根の活動が押さえられてしまう。

団粒構造の土を作るもっとも効果的な方法は、土に堆肥、腐葉土、ピートモスなどの有機物を混ぜることである。有機物は土の中に多くの隙間を造り、それが分解して腐植になり、土の粒子を引きつけて団粒化するノリのような働きをするからである。この有機物は土の中の有用な微生物のすみかともなり、また肥料分を土中に保持する力も大きい。よく腐熟した有機質を豊富に含んだ土が、柔らかく、弾力のある、肥えた良い土といえる。ただし、土中の有機物は微生物によって徐々に分解され続けていくので、毎年施し続ける必要がある。

①人工土壌を用いる場合

適用される客土材料は植物生育性能に関する評価が定まったものを選定するのが望ましい。つまり物理性及び化学性について植物が健全生育可能な性能を有している土壌が用いられるということである。国土交通省、UR都市機構、NEXCOでも使用する客土材の質を土壌の物理・化学性の分析と結果で規定・管理している。路面緑化の場合も、植物の健全な生育と必要とする緑化面積を確保するには、基本的には植物の生育量に足る良質の客土量を確保すればよいことになる。人工土壌はこれらの条件を満たす土壌として作られている。

②畑土を用いる場合

雑草や石ころを取り除き、全体をよく耕す。この時に、1平方m当たり油かす150g、リン酸分の多めな化成肥料100g、ピートモスカバーク堆肥、牛糞堆肥などを一緒に入れる。日本の土壌は一般的に酸性がきついで石灰を混ぜて弱酸性にする必要がある。

③無灌水且つ薄層で用いる土壌

駐車場を緑化する場合、灌水装置を付ける工法はアスファルト舗装に比べ大幅なコ

ストップとなり、敬遠されることが多い。この場合土壌の厚さを確保することが最も重要であるが、同時に使用する客土の有効水分量が大きい土を選ぶことも重要である。本報告でも代表的な人工土壌の有効水分量を調査したが、種類により大きく異なることが確認された。

4.1.4 路面緑化の施工

ここでは、一般的な駐車場緑化に適用する場合を想定しての施工について述べる。まずは緑化タイプの選定を行う。本研究で得られた路面緑化のタイプ4通りは図4.1.4-1に示す選定フローに従い選び出すものとする。日照条件の確認をした後、植物の適応性をみて種類を決定する。路面緑化ユニットは車両の走行に対して十分な体力を有するので、構造的にはあらゆる部位での採用が可能である。車両の利用頻度で工法を完全に分けるには無理がある。広大な駐車場であれば、部位により利用頻度も当然異なる。工法の選定と植物の選定はフローを目安としながらも、柔軟な対応が求められるものとする。通路の部分は日照条件としては厳しく無いだろう。このような場所は、車両の利用頻度が少ない場所と捉えて差し支えないものとする。

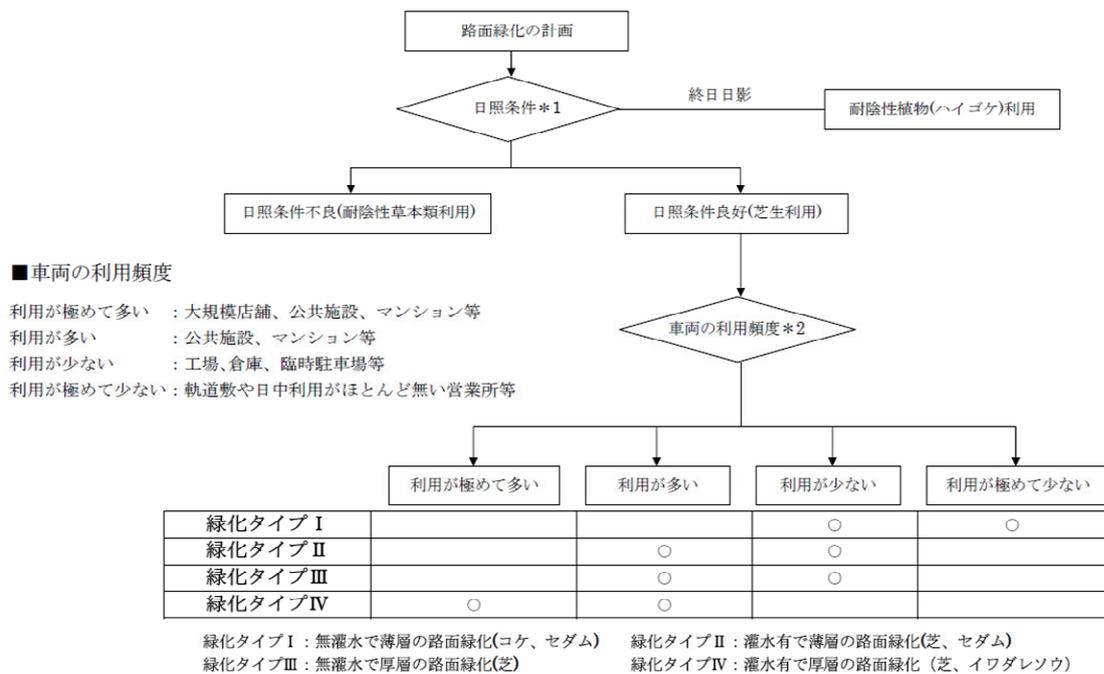


図 4.1.4-1 路面緑化ユニットのタイプ別選定フロー

(1) 施工時期

施工の時期は播種及び張り芝の場合で異なる。一般的に施工直後から芝生景観が期待できる張り芝が好まれるため、ここでは張り芝施工を中心に記述する。

張り芝により芝生を植え付ける時期は、暖地型芝の場合、3月から5月が適期である。当該工法は芝の密着性と保護機構がよいため、施工直後から供用に資することが可能である。

冬季は霜柱の発生が懸念される場合、根と土壌の密着性が切れる恐れがあるため、芝生を土壌に十分に転圧固定した後、芝生保護材を載せることを注意する。寒地型芝

草の場合、盛夏期を除く1年中施工可能である。盛夏期も散水が可能であれば、盛夏期でも施工できる。暖地型芝草では、秋期の休眠前（関東地方では9月下旬～11月）を除く期間に施工可能である。

(2) 施工上の留意点

①路盤の上を不陸調整する

路面緑化ユニットは規格品であり、製品の下面は平らである。整地した路盤の上にユニット設置するための不陸調整砂を敷きこむことが重要である。また、排水勾配がある場合は計画に沿った勾配に合わせた施工が必要となる。

②張芝の時は目地を開ける

通常の暖地型芝草ソッドの場合、施工時期や供用開始までの期間によって目地を開ける。目地間隔がある程度あった方が芝生の活性は高くなるが、仕上りまでの時間はかかり、場合によっては目地から雑草の発生が増えることもある。

寒地型芝草ソッドでは、ほとんど100%張り（ベタ張り）で施工される。目地を開ける場合は、現在では均一の目地幅である目地張りで施工する。碁の目張り、市松張りは材料費を低く抑えることが出来るが、目地が埋まるまでにかかなり時間がかかり、その間に雑草が発生するため、仕上がるまでの管理費が必要である。また、目地幅が均一でないため、ターフの不陸の原因ともなり、現在ではほとんど用いられない。筋張りは法面等で用いられる。

③目土

張り芝工法では、施工後目土を施す。特に目地張りの場合は、目地を目土によって埋めることが必要である。また、精度の要求される工事では、目土によって不陸の調整を同時に行う。

原則的には基盤と同じ材質を用いるが、近年では雑草の発生を防止するために砂を用いることが多い。砂を使用する場合、pHの高い資材を使用すると病害の発生が多くなるので避けるべきである。また、貝殻など炭酸カルシウムの含有量もpH上昇の原因となるので、注意が必要である。

(3) 施工手順

施工手順は、駐車場緑化工法と同様である。

①基礎工事（路盤面の施工）

十分な締め固めを実施し、所定の路盤耐力を確保する

②路盤の上に不陸調整の砂を敷く

不陸調整の砂は厚さ3cmまでとする

③路面緑化ユニットを敷設する

ユニットは相互に繋結し、動かないようにする

③客土を充てんする。（水極め等で密に充てんする）

客土材は有効水分量の高いものを用い、締め固めを行う

④芝生保護マットを上面に設置する

芝生保護マットを車両走行で外れぬように支柱に固定する

⑤ 芝の播種を行う

張芝の場合は、目地を開けて施工する

播種は 20~30 g /m² 程度で行う

⑥ 覆土し、散水養生を行う

覆土もしくは目土を施し、散水の後十分な養生を行う

4.1.5 維持管理

(1) 総論

維持管理の良否で、緑化景観の良否が決定されるといっても過言ではなく、芝生の景観づくりは管理頻度できまる。(表 4.1.5-5 参照) 生き物の生育を維持する上での不可欠の管理項目として、維持管理には、灌水、剪定、施肥、除草、病虫害防除等があり、管理を怠れば生育不良となること必至であるため、計画初期に準備しておくことが重要である。適用する植物は主に地被植物であり、コケ、セダム、芝生、タマリユウ、イワダレソウ等が推奨される。管理内容については植物一般について記述するが、路面緑化は通常芝生で行われることが多いため、芝生の通常管理の目的をここに挙げ、維持管理の趣旨を再確認する。

1) 刈り込みの目的

- ① 芝生面を平滑にする
- ② 芝生の分けつを促進する

2) 施肥の目的

- ① 緑度を長期間保つ
- ② 葉の密度を高める
- ③ 芝生の必要な養分を与える

3) 灌水の目的

- ① 消費した水分を必要なだけ補う
- ② 消費した土壌の水分を補う

4) 目土の目的

- ① 芝生の不陸を修正する
- ② 表層の土性を改良する
- ③ 芝生の徒長を防ぎ、芝生の更新を助長する

5) 転圧の目的

- ① 芝生面の不陸を調整する
- ② 芝生の密度を高める

(2) 灌水

植物は根より水分を吸収し、葉からの蒸散作用により水分を放出する。植物が正常な生育をしていくために、蒸散と吸収のバランスが保てるように灌水を行う。

路面緑化ユニットの植物が必要とする水の量の算定例を示す。

◆計算例 1

植生	芝生
夏の平均気温	30℃
相対湿度	35%
PET/day	8.7mm
植物係数	0.9
灌水効率	0.95(トリップ灌水)
必要灌水量	$\frac{8.7 \times 0.9}{0.95} = 8.24\text{mm/day}$

夏季の日中には、芝生は 8.24mm/day 雨量相当の水を要求する。このとき路面緑化ユニット (t=200) で芝生は何日間生育可能なのか、計算で推定する。

◆計算例 2

路面緑化ユニット内土壌水分量

真珠岩パ-ライト (有効水分量 256 l/m³) 厚み 20cm の有効水分量は
 $200/1000 \times 256 = 51.2 \text{ l/m}^2$

真夏日が連続する場合

$$51.2 \div 8.24 = 6.2$$

* 6.2 日で有効水分を使い切る(!?)

連続真夏日 40 日の場合

芝生の必要灌水量は

$$8.24 \times 40 = 329.6 \text{ l/m}^2$$

* 6 日に 1 度十分な灌水が必要

人工地盤上の芝生地(黒土 t=200)で、20 年間無灌水生育の実績があるとの報告もあるが、計算結果でも判る通り 6 日に 1 度十分な灌水、または散水栓を用意した管理人の目視による散水が必要と考えられる。

表 4.1.5-1 に、灌水回数および灌水量を示すが、客土材の種類や現地の状態により回数および水量を適正調整する。本研究で得られた工法では、夏季の厳しい環境でも 6 日に 1 回の散水で済むため、ほとんど降雨のみで良いと考える。

作業に当っては、特に次の点に留意する。

- 夏期は早朝か夕方に、冬期は日中に行うようにする。
- 自動灌水装置を設置しない場合は、ホースで十分に灌水する。
- 灌水は時間をかけて、水が十分に地中に浸透するまで行う。
- 水鉢のみでなく、枝葉にも時々散水して塩類やホコリ等の洗浄も同時に行う。

表 4.1.5-1 灌水回数（一般外構植栽）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	5日に1回		4日に1回				2日に1回		3日に1回		5日に1回	

* 冬期は乾燥した晴天が3日以上続けば1回行う。

(3) 刈り込み

1) 目的

刈り込みの目的は2つに分けることが出来る。芝生のような地被植物は刈り込み頻度を増やすほど草丈が低く密な美観を保持する。ただし、利用頻度の少ない場所で頻度の高い刈り込みは不経済である。刈り込み頻度が高ければ雑草の侵入が目立たないけれども、頻度を低くすれば雑草の侵入繁茂が目立つようになる。この場合見苦しい景観を呈することになり、不評を買う。

茎葉が繁茂しすぎると通風・日照等が阻害され、生育不良や病虫害の発生が起こりやすい。刈り込み後は、刈りかすの処理が必要であり、それにより健全な生育と病虫害の予防ができる。

2) 方法

地被類は最低でも年2回の選定を行い、1回目の刈り込みは落下後に隙間から枝軸が見える程度に、周辺植栽と合う様に、きれいに刈り込む。2回目は、花芽がついているものが多いため、徒長枝を刈り込む程度とする。

表 4.1.5-2 剪定・刈り込み

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
中木						—————				—————		
低木						—————				—————		
芝生						—————		—————		—————		

(4) 施肥

自然界一般の木は、必要な養分を土壌中より吸収し、いわゆる自己施肥によって生育している。

当地は客土・土壌改良材等で改良はしているが、一時的なものに過ぎず、活力となる肥料を定期的に施し、樹勢を高め抵抗力をつけなければならない。

肥料には速効性肥料を緩効性肥料があるが、使いやすさと経済性の面で緩効性肥料が(有機質)が適当である。また施肥の方法には寒肥と追肥があるが、高中木は寒肥のみで良く、低木は落下後にもう一度施したほうが良い。

表 4.1.5-3 施肥時期

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
中木	寒	肥										
低木	寒	肥				追	肥					
芝生	寒	肥										

(5) 除草

雑草による養分や水分の搾取を防止し、丈の高い雑草による日照阻害を防止するために行う。人力除草の際、植栽木を傷めないように根から取り除き、土は良くふるい落とすと共に植栽木の根が浮き上がった場合には良く押さえて植えなおす。除草の回数は、雑草の発生に応じて4～10月の間は1ヶ月に1回の割合で除草が必要である。

(6) 病虫害防除

植え込み後1～2年は樹勢が弱っているため、病虫害が多量に発生しやすいので特に注意する。病虫害とも、その種類によって発生する時期はほぼ決まっているため、発生前の早期予防が大切である。薬剤散布の時期は表4.1.5-4のとおりとし、多量に発生する年とそうでない年があるので、散布回数は適宜調整する。

表 4.1.5-4 薬剤散布の時期

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
中木						—	—	—	—	—		
低木						—	—	—	—	—		

(7) その他

ここでは、芝生の管理、コケ類（スナゴケ）の管理、セダム類の管理について紹介する。

①芝生の管理

芝生は管理頻度に違いで景観に大きな差異を生じる。ここでは4段階の管理と管理目標

について表 4.1.5-5 に示す。4 段階の管理頻度を以下に示す。

A：主要な広場や施設周りなどで修景性が高く、芝生の美しさが重要な景観構成要素となり、良好に管理すべき芝生地

管理目標：刈込高 2～3cm、芝高 5cm 以下、単一草種の維持、雑草混入許さず、100% の維持を目指す。茎葉が密生し、空隙が少ない状態をつくる。

B：広場や施設周りなどで修景性が中程度で、芝生の緑が一景観構成要素となり、良好に管理すべき芝生地

管理目標：刈込高 3～5cm、芝高 7cm 以下、単一草種の維持、一部雑草混入を容認するが、90%以上の維持を目指す。茎葉は密生するが、一部空隙があってもよい。

C：主として法面などの土壌保全あるいは、草地化を目的とした芝生地で、緑を保持するための最小限の管理を行う芝生地

管理目標：刈込高 5～10cm、芝高 10cm 以下、草地化を目標とし、雑草混入容認。
90%以上の維持目標、密生度低く、空隙がかなり目立つ。

D：Bにランクされる芝生地であるが、予算の制約上、管理水準を下げ単一草種を維持する最低限度の管理を行う芝生地

管理目標：刈込高 5～10cm、芝高 10cm 以下、単一草種の維持目標、雑草混入容認。
90%以上の維持目標、密生度低く、空隙目立つ

表 4.1.5-5 管理頻度と芝生の見え方

ランク 修景性	A 高い	B 普通	C 低い	B' 普通
芝生地の評価	主要な広場や施設周りなどで修景性が高く、芝生の美しさが重要な景観構成要素となり、良好に管理すべき芝生地	広場や施設周りなどで修景性が中程度で、芝生の緑が一景観構成要素となり、良好に管理すべき芝生地	主として法面などの土壌保全あるいは、草地化を目的とした芝生地で、緑を保持するための最小限の管理を行う芝生地	Bにランクされる芝生地で、予算の制約上、管理水準を下げ単一草種を維持する最低限度の管理を行う芝生地
管理目標 (維持すべき芝生の状態=品質) ・均一性(刈込み高さ) (芝 高さ) ・芝の単一性(雑種混入度) ・被 度(非裸地率) ・茎葉の密生度	刈込高 2~3cm 芝 高 5cm以下 単一草種の維持、雑草混入許さず 100%の維持目指す 茎葉が密生し、空隙が少ない	刈込高 3~5cm 芝 高 7cm以下 単一草種の維持、一部雑草混入容認 90%以上の維持目指す 茎葉は密生するが、一部空隙あり	刈込高 5~10cm 芝 高 10cm以下 草地化目標、雑草混入容認 90%以上の維持目標 密生度低く、空隙がかなり目立つ	刈込高 5~10cm 芝 高 10cm以下 単一草種の維持目標、雑草混入容認 90%以上の維持目標 密生度低く、空隙目立つ
管理作業目標・回数 ・芝刈り ・施肥(N量) ・人力除草 ・除草剤散布 ・目土掛け ・エアレーション ・病虫害防除 ・灌水 ・補植	(回/年) 7~10 3~4(20~25g/) 4~6 2~3 1~2 1~2 適宜 適宜 適宜	(回/年) 4~6 2~3(15~20g/) 3~4 1~2 0~1 0~1 0~1 適宜 適宜 適宜	(回/年) 3~4 1~2(8~15g/) 0~3 0~1 0~1 0~1 - - -	(回/年) 3~4 1~2(8~15g/) 2~3 0~1 0~1 0~1 - - -

(出典)建設省近畿地方建設局、(財)公園緑地管理財団:公園管理基準調査報告書(1989.3)

②コケ類の管理

ここでは最近屋上緑化などに適用事例が多くみられるスナゴケの管理について述べる。表 4.1.5-6 に一般的なスナゴケの管理要領をしめす。

表 4.1.5-6 コケの年間管理スケジュール

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
生育													
施工													
灌水													日中灌水厳禁
施肥	基本的に施肥は行わない。												
病虫害	菌類の繁殖に注意する。見つけ次第殺菌剤散布で被害を広げないことが重要。 蛾等の虫害が出る恐れがあるので巡回時に虫の状況に注意する。												
繁殖	生育時期は春と秋の2回である。分蘖により増殖する。												

* 日照の程度の違いで同じ品種でも見た目が大きく異なる。日射量が少ないほど緑色は濃くなっていく。

生育：風通しと日当たりのよい場所が生育によい。成長期(春季および秋季)、休眠期(夏季および冬季)

植栽地：スナゴケは明るい場所を好むので日陰になるような設備は設けない。相対照度40%以下は生育不良となる。

灌水：灌水を行う場合は、高温（30℃以上）を与えない。灌水用の水の水質を必ず確かめること。鉄や銅等を含有する水は使用しない。

pHが4以下、7以上の水は使用しない。沼や池などの溜まり水は極力使用を避ける。

塩分濃度0.05%以上を含む水は使用しない。また海砂も使用を避ける。

高温時の散水に注意する。散水するときは必ず散水用のノズルを先端部を取り付けてから行い、ホースからの直接的な散水はしない。

施肥：化学肥料その他の栄養剤は与えない。むやみに巻縮させない。

病虫害：過湿時に糸状菌が繁殖することがある。このときはトップジンM等で殺菌する。

除草：除草の際は手作業で行い、除草剤などは薄めで使用する。除草時コケ上に踏み込む際は群落の破壊に注意する。

用土：その他：常に植物体の状態を確かめて、異常が発生した場合は適切な処置を施す。

落ち葉やゴミなどがスナゴケ場にある場合は直ちに除去する。

犬やネコ、鳥などの排泄物に注意する。アルカリ度の高い物質は周辺に置かない。スナゴケ上には長期間重量物を置かない。

③セダム類の管理

駐車場や人工地盤上は高温や低温、さらに乾燥や強風等にさらされ、植物にとって厳し生育環境になっている。このような場所で土層厚を薄くし路面を緑化する植物としては、コケ類同様にセダム類が適している。セダム類はコケ類同様に自然降雨のみで灌水もほとんどいらない植物である。しかし、ノーメンテナンス（なにも人の手を加えない状態）で放置された場合、過酷な条件に強いセダムといえども健全な生育は不可能になります。

一方、適切なメンテナンス状態でセダム類を用いれば低管理で良好な緑化景観を維持していくことが可能である。図4.1.5-1はメキシコマンネングサの四季の景観変化を示している。また表4.1.5-7はセダムの点検及び維持管理作業について示したものである。健全な植生を維持させるためには、年3回程度の定期的なメンテナンスが必要である。確実なメンテナンス作業を実施するためには専門業者とのメンテナンス契約を結ぶことも必要となる。

屋上は高温や低温、さらに乾燥や強風等に曝され、植物にとって厳しい生育環境になっています。この屋上へ薄層で緑化するにはセダムに代表される乾燥に強い多肉植物が適しています。しかしノーメンテナンス(何人も手を加えない状態)で放置された場合、過酷な条件に強いセダムといえども健全な生育は不可能になります。一方、適切なメンテナンス状態でセダムを用いれば低管理で良好な屋上緑化を維持していくことが可能です。



図 4.1.5-1 セダムの1年の景観変化

出典：薄層屋上緑化技術協会 パンフレット

表 4.1.5-7 セダムの管理計画表

健全な植生を維持させるためには、年間3回程度の定期的なメンテナンスが必要です。確実なメンテナンスを実施するために専門業者とのメンテナンス契約をお勧めします。

- ◆メンテナンスに水を使用するので、屋上に必ず散水栓を設置してください。
- ◆メンテナンス金額については協会員各社へご相談下さい。

時期	点検 (建物の管理者が実施)		維持管理作業 (メンテナンス契約を推奨)			
	植栽域の点検	植栽域周辺部の点検	灌水	除草	施肥	病害虫防除
	春・夏・秋	春・夏・秋	乾燥期	春・夏・秋	春・秋	夏・秋
内容	<ul style="list-style-type: none"> ・植物の生育状況 ・雑草の有無 ・病害虫発生の有無 ・土壌酸度、浸食 ・根付ヒシテムの不具合 ・植栽域内の排水口 ・その他の異常の有無 	<ul style="list-style-type: none"> ・排水パレン ・排水路(溝) ・防水層の損傷 	長期間(10日から2週間)降雨がない場合に灌水を推奨	雑草が種を落とす前に除去することが望ましい	窒素性肥料等の散布 施肥直後の灌水を推奨	捕殺・薬剤散布による防除
春	●	●		●	●	
夏	●	●	盛夏時は日中の灌水は厳禁	●		● 必要に応じて
秋	●	●		●	●	● 必要に応じて
冬						
備考	強風、豪雨、台風の前には点検を実施してください		環境条件により灌水量や灌水間隔等が異なります。	花がらは大量に残っていると病害が発生しやすくなるので、除去をお願いします	肥料の種類、用法等により年に1回でも可	薬剤の種類、用法等については協会員各社にご相談ください

注1) 上記の実施時期は、関東～関西の一般地を標準に設定したものですので、それ以外の地域の実施時期は多少変動いたします。さらに植栽地の環境条件によっては状況に応じた付加的なメンテナンスが必要となります。詳細は協会員各社にご相談ください。
注2) 当メンテナンスマニュアルは現在の知見および経験をもとに作成されていますので、今後の実績や技術革新等により変更されることがあります。

出典：薄層屋上緑化技術協会 パンフレット

引用文献

- 1) グラスパーキング(芝不化駐車場)普及ガイドライン第1次(案) 兵庫県県土整備部県土企画局、2007年3月

書名 平成 22 年度都市環境改善路面緑化システムに関する
調査研究報告書

発行 平成 23 年 3 月
財団法人 エンジニアリング振興協会
〒105-0003
東京都港区西新橋一丁目 4 番 6 号
TEL 03 (3502) 4441 (代表)

印刷 株式会社 リョーサン