

平成 22 年度
建設技術報告会
報文集

平成 22 年 9 月

北陸地方建設事業推進協議会
建設技術報告会 実行委員会

目 次

第 1 会場 報告技術

無人・有人対応型草刈機の開発	1
進化する鋼橋	5
イージーラーメン橋(H鋼を用いた門形ラーメン橋)	9
コンクリートスマートオーバーレイ工法について～狭小橋梁に対応した床版増厚コンクリート工法の開発～	13
ニッケル被覆炭素繊維シートを用いた電気防食工法の開発	17
生分解素材を用いた野芝種子シートの開発	21
延長床版システムプレキャスト工法	25
環境に優しいポリマー改質アスファルト ECO バインダー・シリーズ	29
スムーズボード工法 高欄リニューアルの事例	33
掘削廃棄物の選別処理作業における環境保全対策	37
環境にやさしい PET セグメントの開発と実用化	41
メンテナンス対応型消雪パイプブロックの改良について	45
ロードサスペイブ ～道路交通振動低減型舗装～	49
パーマコート工法の概要と適用事例	53
路面モニタリングのための加速度計等を搭載した簡易型測定車の開発	57
透水性コンクリート舗装のプレパック化	61
加熱アスファルト系表面処理工法の開発について	65

第 2 会場 報告技術

富山大橋の整備について	69
振動ローラの加速度応答による舗装工事の品質管理技術	73
プレキャスト RC 版舗装の汎用例	77
静的圧入締固め工法の液状化対策効果と隆起抑制対策	81
潜水作業管理システムの開発	85
SKILLS 超長距離圧送ネオグラウト工法の開発	89
ワイドウォール工法	92
トンネル覆工コンクリートのひび割れゼロを目指す「前田覆工マルチ工法」の開発	95
ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法 設計・施工マニュアルの発刊	99
SPD-M 工法(不透気部付きドレーンを用いた真空圧密工法)の開発	103
新しい消波ブロック ーテトラネオー	107
エコマックス(可塑性注入材)	111
雁木工法(1車線対応PCスノーシェッド)の施工報告	115
斜面スリット型透過式ケーソン「S-VHS 工法」の開発	119
鉄筋コンクリート集水井 設計・施工マニュアル	123
構造物直下の地盤改良工法 ーグランドフレックスモール工法ー	127
「コニカルマット工法」の開発について	131

第1会場 報告技術

無人・有人対応型草刈機の開発

国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所 宮島 実
○ 小林 弘朗

1. はじめに

現在、堤防除草作業に使用している大型遠隔操縦式草刈機（以下「現有機」という）は、急勾配法面における施工の機械化によるコスト縮減及び遠隔操作による安全確保に多大に寄与している。しかし、機械価格が高価なこと、また、作業速度が緩傾斜部ではハンドガイド式草刈機（以下「ハンドガイド」という）に比べ十分な優位性がないことなど課題があり、これらの改善を行うことで更なるコスト縮減が期待できる。

本報告は、機械価格の低減と施工効率の向上による除草コスト縮減を目的に、市販のハンドガイドに遠隔操縦機能を付加し、現場条件に応じて遠隔（以下「無人」という）及び搭乗（以下「有人」という）操作の使い分けが可能な無人・有人対応型草刈機を開発したので、その機能と効果について紹介するものである。

2. 開発目標

(1) 機械価格

現有機の約 12,000 千円から 30% 低減の約 8,000 千円。

(2) 作業能力

現有機の 0.32 h / 1,000 m² からの 10% 向上の 0.29 h / 1,000 m²。

3. 開発工程

平成 17 年度から平成 21 年度までの 5 ヶ年の開発工程を表-1 に示す。

試作機製作の他に、施工歩掛（案）、安全施工マニュアル（案）、製作仕様書（案）の作成を実施した。

4. 開発機の機能

開発にあたり「現有機に対する不満」「必要・不要な装置」について河川管理者と請負者にアンケートを実施した。

改善要望と改善方針を表-2 に示す。

5. 開発機の製作

改善方針に基づき検討、開発、現場試験を行い、開発機に新たに搭載した機能を以下に示す。

(1) ハンドガイド式草刈機（ベースマシン）

ハンドガイドでは実績の多い刈幅 1.5m 級をベースマシンとして改造を施すこととした（写真-1、写真-2 参照）。

表-1 開発工程

項目	17年度	18年度	19年度	20年度	21年度
①実態調査	—				
②基本構想		—			
③概略設計			—		
④詳細設計				—	
⑤試作機製作				—	
⑥性能試験					—
⑦現地性能確認試験					—
⑧試作機の改良				—	
⑨飛石防止装置効果検証試験					—
⑩現地性能確認試験(追加)					—
⑪現地適応性試験(長期調査)					—
⑫施工歩掛(案)の作成					—
⑬安全施工マニュアル(案)の作成					—
⑭飛石防止装置のオプション化検討					—
⑮不具合箇所対策検討					—
⑯製作仕様書の作成					—

表-2 改善要望と改善方

改善要望	要望理由	改善方針	
草刈機本体	刈残し解消	・制御の応答遅れ ・刈幅が広く不陸に追従できない	・制御技術の変更 ・刈幅を狭くする
	法面損傷の防止	・方向転換時に法面が荒れる	・接地圧、重量の軽減
	車両の小型化	・狭い所に入れず刈り残しが出る	・機械幅、刈幅を狭くする
	飛石の防止	・飛石による事故が発生する	・飛石防止装置の強化
送信機	防水仕様	・湿気による誤動作が発生する	・防水性能を高める
	転倒防止フーム撤去	・送信機の操作時に邪魔になる	・転倒警報装置の装備

これにより刈幅を狭く、重量を軽くでき、接地圧は9%低減される。



写真-1 操作方法



写真-2 開発機外観

(2) 路面追従機能の装備

法面の不陸に自動追従させるため、作業装置の油圧をフリーとするフローティング機能と倣い装置を採用した（写真-3 参照）。



写真-3 路面追従のイメージ

(3) 飛石防止装置の装備

草刈効率が優れているアップカット方式を採用したことにより、ダウンカット方式に比べ飛石の増加が懸念されるため、新たな飛石防止装置を開発した（写真-4 参照）。



写真-4 飛石防止装置

(4) 傾斜警報機能の装備

オペレータ転倒時の誤作動による草刈機の暴走などを防止するため、送信機に傾斜計を内蔵し、異常な角度（前 60° 後 30° 左右 45° 以上を 3 秒連続）を検知すると草刈機が停止する。

また、搭乗操作及び遠隔操作における機械転倒事故を防止するため、草刈機本体にも傾斜計を装備し、危険な角度（搭乗：左右 27° 以上を 2 秒連続、遠隔：左右 35° 以上を 2 秒連続）を検知すると警報を発する（写真-5 参照）。

(5) 振動警報機能の装備

作業装置のカバーに振動計を装備し、刈刃欠損による異常振動（約 2.6G [刈刃 2 枚が外れた状態に相当] 以上の振動を 4 秒連続）を検知すると警報を発する（写真-5 参照）。



写真-5 傾斜計・振動計

(6) 送受信機の防滴防塵仕様

送受信機は、防塵防水の国際規格（International Protection）の IP65 仕様を採用した（写真-6 参照）。

- 1) 防塵性：（等級 6）塵埃は侵入しない。
- 2) 防水性：（等級 5）あらゆる方向からのノズルによる噴流水に対して保護する。



写真-6 送信機

6. 飛石防止装置の効果

開発した飛石防止装置の効果を定量的に把握するため、開発機、ハンドガイド式草刈機及び現有機を使用し比較試験を実施した（写真-7 参照）。

試験方法は、再生クラッシャーラン（RC-40）を使い整形した試験床（幅 200mm×長さ 1,500mm×高さ 100mm）の上に作業装置をセットし、刈刃を回転して試験床を切削させ、草刈機（本体+作業装置）より外（前後左右）へ飛散した質量を計測した。

次に示す式(1)より「飛散率」を算出し比較した。

$$\text{飛散率} = \frac{\text{草刈機より外に飛散した質量}}{\text{刈刃が切削した質量}} \dots (1)$$

北陸地整管内の堤防除草作業で試験施工を行い、収集したデータを解析し、開発機の作業性能（出来形管理基準の確保、最大除草法面勾配、1,000 m²当り作業能力）について評価した。

(1) 出来形の確保

開発機は、草刈効率が優れているアップカット1回刈による作業効率向上を目的としているため、1回刈りで刈高さ 10 cm（出来形管理基準）を満足するか確認を行った。

刈高の計測結果を図-1に示す。（グラフの値は、最高、平均、最低の刈高を示している）

- 1) 有人操作時：平均値では、8/10 工区（80%）において管理基準を満足した。
- 2) 無人操作時：平均値では、10/13 工区（77%）において管理基準を満足した。

なお、1回刈で出来形管理基準を満足しなかった工区も、複数回刈により基準値を満足することを確認している。

(2) 最大除草法面勾配

除草作業を行った法勾配範囲を表-4に示す。

隔操縦時の最大除草法面勾配の目標値「35.5°

（1:1.4）以上」での作業を実施し、適応可能であることを確認した。

(3) 作業能力

積算の条件を合わせるため、降雨による履帯の横滑り、法面をバックで戻りながらのレーン切り替え、天端での方向転換の度に仮刃の回

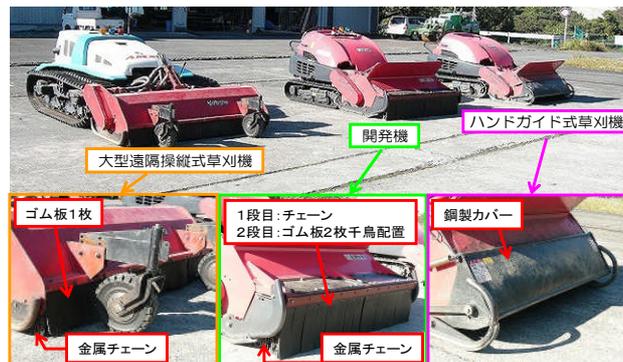


写真-7 試験に使用した3機種

表-3 草刈機外への飛散率

	開発機	ハンドガイド	大型遠隔
飛散率	0.28%	17.60%	10.25%

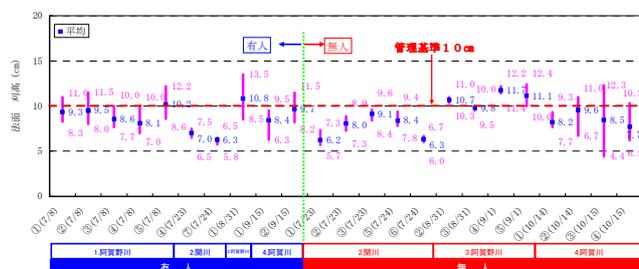


図-1 平均刈高の計測結果（法面）

表-4 試験実施の法面勾配範囲

試験	無人（遠隔）操作	有人（搭乗）操作
現場性能確認試験 (現場での性能確認)	35.5° ~ 23.9° (1:1.4~2.3)	33.2° ~ 23.1° (1:1.5~2.3)
現場適応性試験 (歩掛データ収集など)	35.5° ~ 23.1° (1:1.4~2.0)	33.2° ~ 24.4° (1:1.6~2.2)

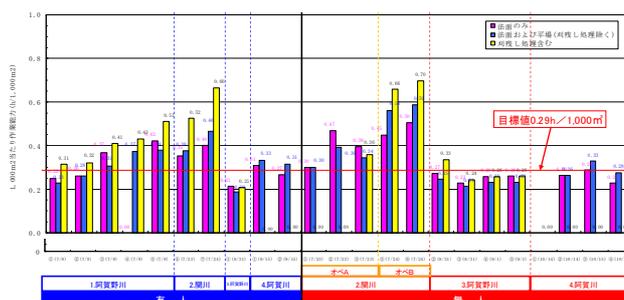


図-2 作業能力の計測結果

転を停止させるなどの異常値を除いて比較した。

作業能力の計測結果を図-2に示す。

1) 有人操作時：作業能力は 0.24 h / 1,000 m²（平均勾配 29.8°（約 1:1.7））となり、目標値 0.29 h / 1,000 m²を 17%上回った。

2) 無人操作時：作業能力は 0.26 h / 1,000 m²（平均勾配：31.1°（約 1:1.6））となり、目標値を 10%上回った。

8. 施工単価

(1) 機械価格

開発機（本体+集草機）の価格は 10,400 千円（税抜き）となり、現有機の 12,000 千円（税抜き）から -13%の低減となったが、目標値の -30%低減を達成することが出来なかった（図-3 参照）。

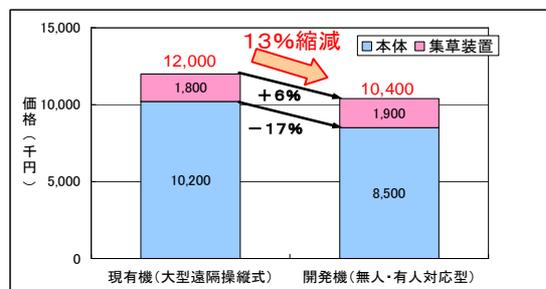


図-3 価格の低減率

(2) 施工単価

現有機と開発機の 1,000 m²あたり施工単価（直接工事費、機械損料：業者持込み）の比較を図-4に示す。

暫定値ではあるが、労務、機械損料、諸雑費（補助機械及び燃料）の合計額で現有機を 100%とすると約 -5%のコスト縮減が期待できる。

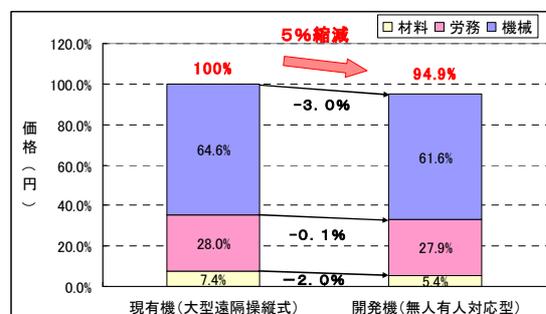


図-4 施工単価の縮減率（暫定値）

9. 考察

開発機の製作は、草刈機本体の製作、遠隔操縦化への改造、送信機の製作と 3 社による分業となったため、機械価格は目標値を達成できなかったものとする。

施工費の縮減率については、今後、より多くの現場において施工合理化調査を実施し、歩掛の精度を上げたうえで評価を行う必要がある。

10. まとめ

アップカット方式の市販機をベースとして開発したことにより、目標を概ね達成することができた。

(1) 機械価格

草刈機+集草装置の価格は、10,400 千円（税抜き）。（現有機から -13%の低減）

(2) 作業能力

1,000 m²作業能力は、0.26 h / 1,000 m²。（現有機から 19%の向上）

11. あとがき

開発機は、平成 22 年度に北陸地整管内の河川事務所に 7 台を配備するほか、当面、小型遠隔操縦式草刈機の更新機として漸次導入を計画している。

導入後は、無人・有人対応型草刈機の技術的フォローアップ、コスト縮減効果の検証や技術紹介など普及拡大に努め、堤防除草作業のコスト縮減に寄与していきたい。

進化する鋼橋

(社) 日本橋梁建設協会 佐狐 真一

1 まえがき

わが国初の鉄の橋である「くろがね橋」が、長崎に架けられたのは 1868 年（明治元年）である。当初は設計技術も材料も外国からの輸入であったが、約 140 年を経た現在では、日本の橋梁建設技術は世界のトップクラスに躍り出た。しかし時代のニーズは、公共投資の縮減に伴い、経済性、耐久性、安全性、施工性となっており、初期コストとメンテナンスコストを合わせた、ライフサイクルコストのより一層の縮減が求められている（図-1）。

そのニーズに対応するために新しい形式の鋼橋（合理化橋梁）が平成 7 年頃から採用され、その原点となる形式が「少数 I 桁橋」である。

ここでは、施工実績の最も多い「少数 I 桁橋」を中心に、進化する鋼橋の技術についてその概要を紹介する。

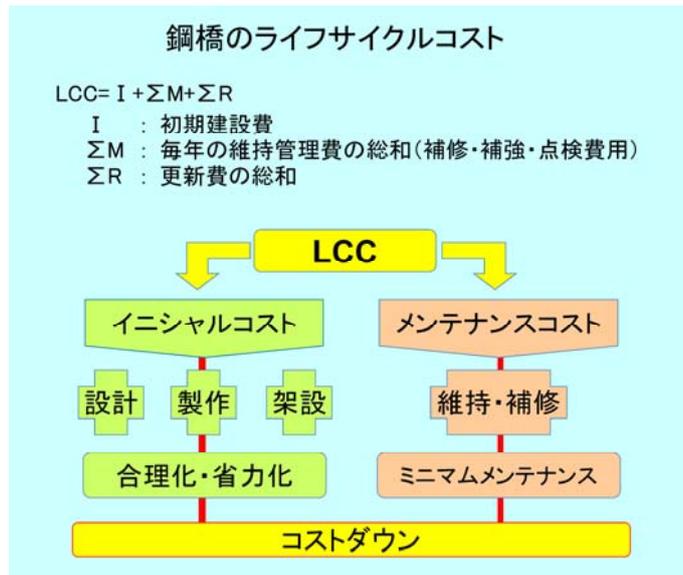


図-1 鋼橋のライフサイクルコスト

2 合理化橋梁の施工実績

合理化橋梁と言われる橋梁形式には、少数 I 桁橋、開断面箱桁橋、細幅箱桁橋、合理化鋼床版橋、合理化トラス橋がある。図-2 に、平成 7 年から平成 19 年の合理化橋梁の受注実績（日本橋梁建設協会会員各社計）を示す。合計で 993 橋が建設され、その内の 80% が少数 I 桁橋となっている。また完工重量は約 88.3 万 t と鋼橋全体の 9% を占めており、平成 19 年においては 27% にまで達している。発注者別では、NEXC O が 54%、国土交通省が 23%、その他都道府県等が 15% となっている。

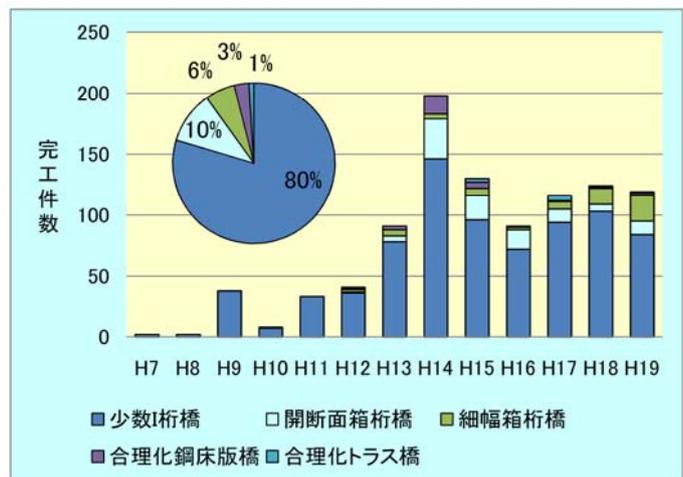


図-2 合理化橋梁の実績

3 少数 I 桁橋

少数 I 桁橋とは、合成床版または PC 床版を用いて床版支持間隔を大きくすることにより、主桁本数を少なくし、横桁・横構などを単純化または省略して合理化を図った橋梁形式である。

3. 1 従来多主桁橋との比較

従来の I 桁橋は、RC床版が採用され、その標準支間が 3m 前後であるため、幅員 11~12m の標準的幅員に対して、4 主桁構造であった。図-3 に少数 I 桁橋との構造比較を示す。また、図-4 に示すように、鋼重、材片数、溶接延長、塗装面積とも大幅に低減しており、大きなコストダウンを実現している。

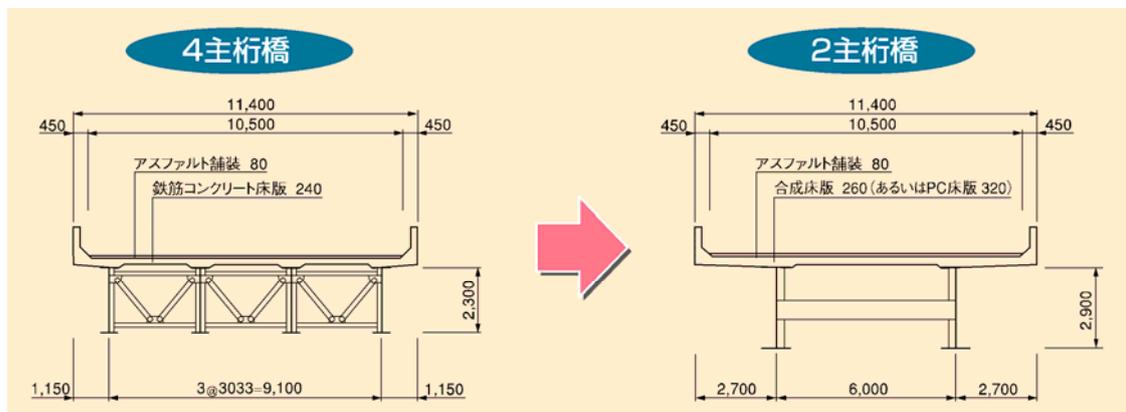


図-3 従来多主桁橋と少数 I 桁橋の構造比較

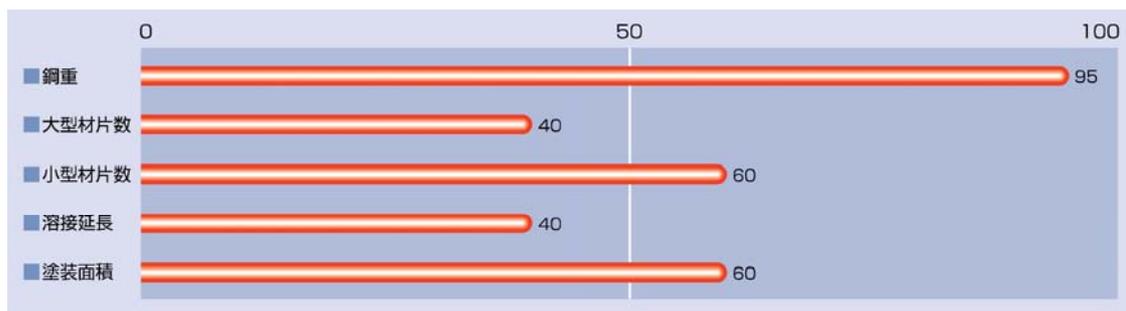


図-4 従来多主桁橋を 100 とした場合の少数 I 桁橋の各項目比

3. 2 少数 I 桁橋の特長

少数 I 桁橋の特長としては、製作・架設費の低減、工期の短縮、維持管理費の低減、架設作業時の安全性向上、景観の向上が挙げられる。

合成床版・PC床版の採用による床版支間の拡大により主桁本数が削減し、横荷重を床版で抵抗させることにより横構も省略できる。また横桁間隔を従来の 6m 以下から 10m 程度まで拡大することにより横桁本数を削減し、構造も H 型鋼の使用により簡略化している。以上により大幅な製作コスト削減を実現し、部材数の低減に伴う

塗装面積の減少による維持管理費の低減にもつながっている。なお、合成床版・PC床版は RC 床版に比べ大幅に耐久性が向上しており、床版補修費の削減となる。また、合成床版底鋼板が型枠を兼ねることにより現場作業を省力化し、床版型枠工および桁下安全設備などの桁下作業が省かれ、安全性も向上する。景観も部材数の減少により非常にシンプルなものとなっている (写真-1)。



写真-1 少数 I 桁橋の外観

3. 3 少数 I 桁橋のさらなる進化

少数 I 桁橋は、支間 70m 程度までは合理的で経済的な橋梁形式であるが、それを超える支間長では、架設地点の条件により、耐風安定性、耐震性、架設方法が課題となり、その採用が困難な場合がある。その弱点をカバーし、より長支間の領域まで適用可能な橋梁形式として、1990 年

代前半から登場してきたのが鋼・コンクリート複合ラーメン橋である。少数 I 桁橋と RC 橋脚を剛結した形式で、その構造特性を図-5 に示す。

またさらなる技術開発として、長支間 PC 床版の開発、連続合成桁の採用や合成床版（底鋼板）の有効利用を行っている。広幅員 2 主 I 桁橋における床版支間 10m 程度の長支間場所打ち PC 床版について、日本橋梁建設協会では各種解析と実物大実験を実施し、その設計施工方法を確立している。また、合成床版・PC 床版の採用に伴い、従来避けられてきた床版を有効活用した連続合成桁が採用され始めている。さらに、合成床版の底鋼板を主桁断面の一部として考慮することにより主桁鋼重を低減する合理的な設計法の検討も行っている。

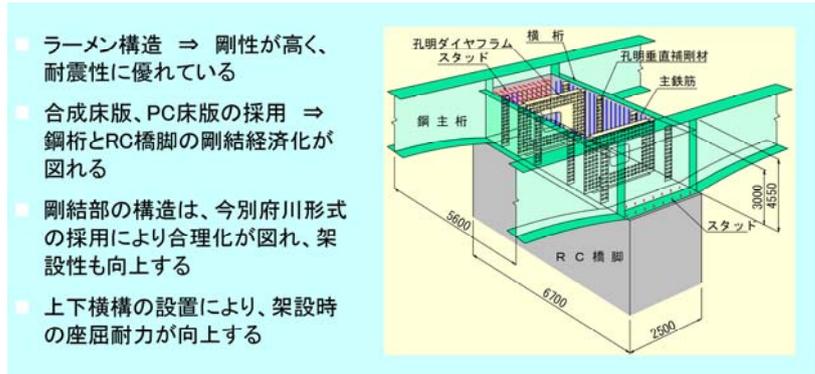


図-5 複合ラーメン橋の構造特性

4 その他の合理化橋梁

その他の合理化橋梁の従来橋梁との構造比較を図-6 に示す。

開断面箱桁橋とは、上フランジ部材を I 桁と同様な構成とし、床版と合成させ開断面を形成する箱桁橋である。

細幅箱桁橋とは、箱断面の幅を従来箱桁より狭くする一方、フランジを厚くして箱内構造を簡略化（縦リブ本数を低減、横リブを省略）し、また合成床版・PC 床版を用いて床版支間を大きくすることにより床組構造を省略して合理化を図った箱桁橋である。

合理化鋼床版少数 I 桁橋とは、合理化鋼床版桁と少数 I 桁橋を組み合わせた構造で、鋼床版デッキプレート厚を厚くし、かつ大断面 U リブを使用することにより工場製作の省力化を図った鋼床版桁である。

合理化トラス橋とは、従来床版を支持していた縦桁やブラケットなどの床組構造を、合成床版や PC 床版を用いて床版支間を大きくすることにより、省略・簡略化したトラス橋である。

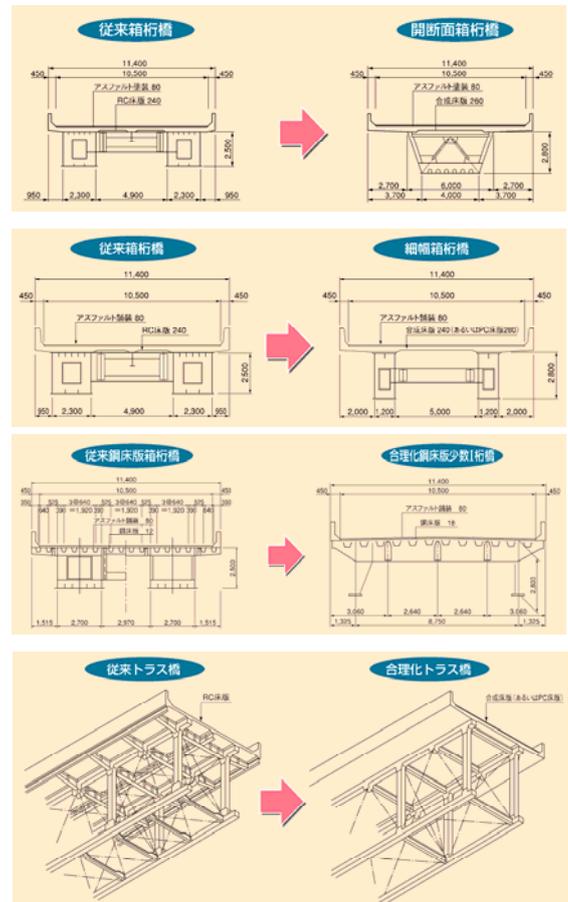


図-6 合理化橋梁の従来橋梁との構造比較

5 鋼・コンクリート合成床版

合理化橋梁を可能にしたのは、合成床版・PC床版による床版支間の拡大にある。橋建協では、土木研究所との共同研究「道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究」において、合成床版もPC床版同様に、長支間化が可能な高耐久性床版であることを確認した。平成13年(2001年)には「橋建協標準合成床版」を策定し、現在15タイプの合成床版を認定している(図-7)。また耐久性の向上にかかせない防水工に関しては「道路橋床版用高機能防水システム研究委員会」に参画し研究を進めている。

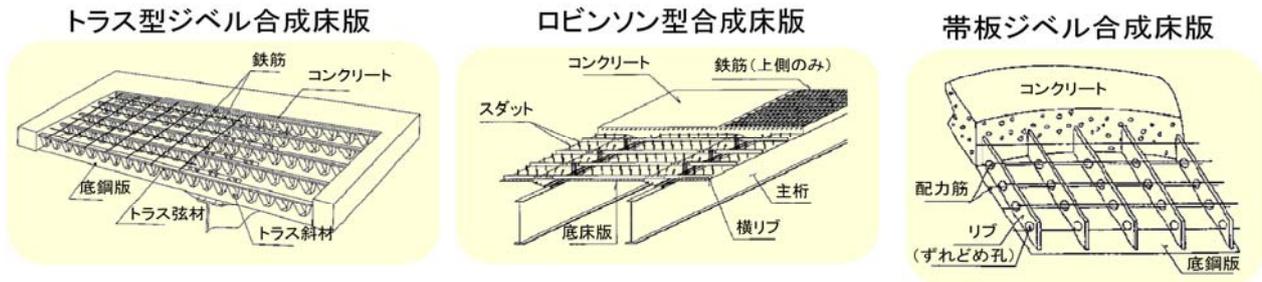


図-7 代表的な合成床版のタイプ

6 鋼橋における新しい取り組み

構造形式以外分野でも新しい取り組みが行われている。上部構造の作用力を下部構造に伝える支承においては、水平力伝達機能を分離した機能分離型支承を提案し、約25%のコスト削減を可能とした。また製作技術においては、製作情報のIT化、製作ラインの自動化が進んでおり、従来の実仮組立に代わり、数値シミュレーションによる仮組立も増加している。防錆・防食に関しては、ニッケル系高耐候性鋼材の使用、亜鉛・アルミニウム溶射等の技術が開発されている。ニッケル系高耐候性鋼材は、従来の耐候性鋼材が飛来塩分0.05mdd以下の架橋地点に制限されていた点を改善した鋼材で、より条件の厳しい地域への耐候性鋼材の適用を可能にした。ライフサイクルコストの縮減もあり、耐候性橋梁は年々増加している(図-8)。



図-8 耐侯性橋梁の実績

この他、都市の交通渋滞解消のための交差点立体化工事においては、様々な急速施工立体交差橋が提案され、実績として40%~50%の工期短縮を実現している。

7 おわりに

(社)日本橋梁建設協会では、鋼橋に求められる、経済性、耐久性、安全性、施工性を追求し、公共投資のコスト縮減と次世代に継承する社会資本の品質確保のために日々研鑽に努めますので、是非とも忌憚のないご意見とご指導をお願いします。

イージーラーメン橋（H鋼を用いた門形ラーメン橋）

株式会社加賀田組 営業事業本部テクニクスセンター主査 中村 太

1 はじめに

近年の建設コストの縮減、維持管理費の軽減および耐震性能の向上という社会からの要求を満たす為に、開発者らは鉄道橋として多く用いられてきたH形鋼埋込み桁を道路橋用に改善したH形鋼を用いた床版橋を開発してきた。

また、従来からラーメン橋は単純橋に比べて経済性、構造的に優れていることはよく知られているが、ラーメン隅角部の施工が複雑になることや設計計算が非常に煩雑となることから、短支間橋梁に用いられることが少ないのが現状であった。

上記のような背景のもと、ラーメン隅角部の構造を改善した図-1に示すようなH形鋼を用いた門形ラーメン構造を開発した。本文では、H形鋼を用いた門形ラーメン橋を用いることによってコストを大幅に低減させることができること、さらに新たな隅角部の構造を提案することにより施工の簡略化を図れることについて述べる。また提案した隅角部の構造を用いて製作したH形鋼を用いた門形ラーメン橋の耐荷力試験の結果から提案した隅角部構造が先行して破壊することはなかった。さらに橋梁全体構造としての耐力は、設計値を十分満足していることを確認した。

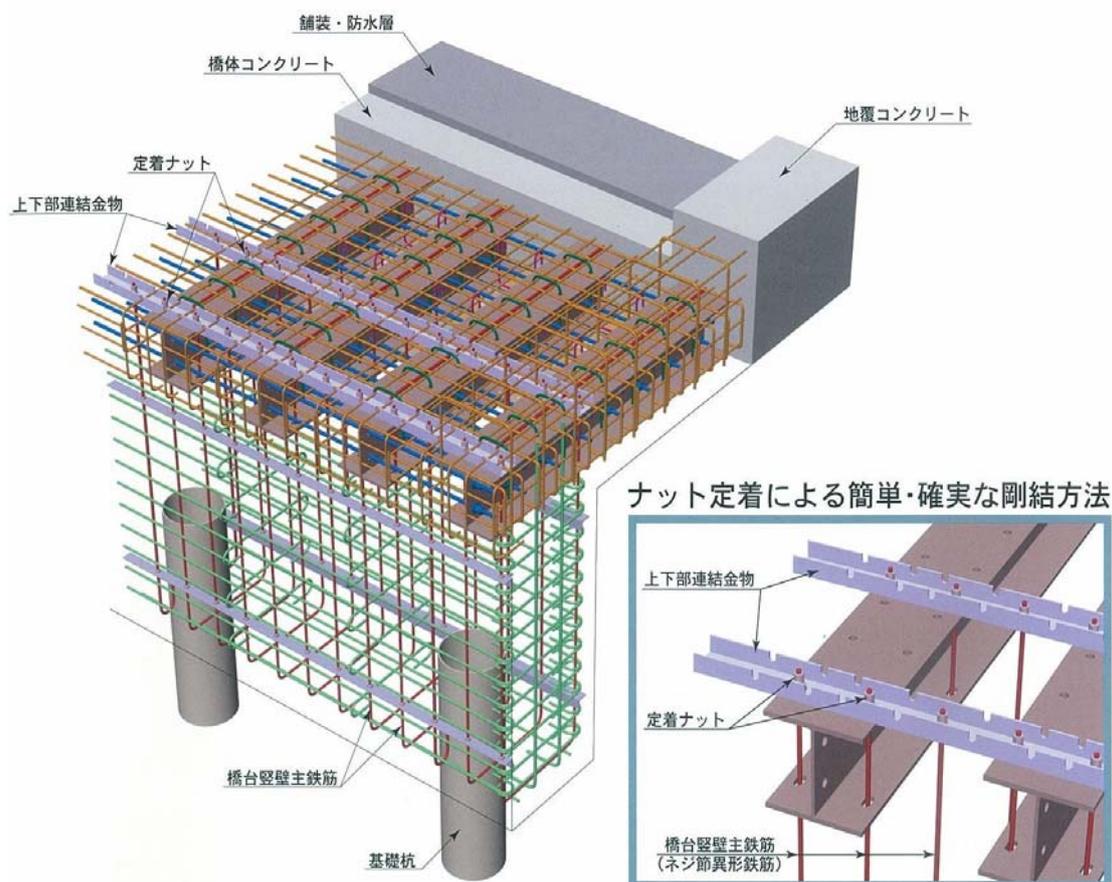


図-1 H形鋼を用いた門形ラーメン橋の概要

2 構造概要

2-1 ラーメン橋の利点

従来における短支間の単純橋（支間長20m程度まで）は、上部工費に比べて下部工費が割高となる場合が一般的であった。それは、上部工費は支間長が短くなるのに伴い安価になるが、一方で下部工費（橋台）は支間長に依存せず、あまり変わらないためである。橋台は橋脚と異なり橋台の自重（背面上重量を含む）や背面土圧によって橋台サイズが決定されることが多いため、橋台高さが高くなれば躯体形状が大きくなり、それに伴い工費も高くなる。

単純橋の橋台は左右それぞれ独立して土や上部構造の重量を支持する構造となっているのに対して、ラーメン橋の橋台は、上部構造と一体化した門形構造になっているので、左右の橋台に作用する土は上部構造を介してお互いに打ち消される。

したがって、ラーメン橋とした場合、単純橋に比べて橋台サイズを縮小することが可能となる。特に杭基礎のような場合には、杭本数を減らすことができ、下部工費を低減することが可能となる。

2-2 具体的な施工例の提案

ここでは、H形鋼を用いた門形ラーメン構造の具体的な施工例を提案する。例えば、地盤条件があまり良くない場合、杭基礎を有する単純橋の橋台では2列以上の杭配置が必要となるため、橋台サイズが大きくなり、コスト高や施工期間が長期化していた。これに対して、杭基礎形式の上部・下部構造を一体化させた門形ラーメン構造とすることにより、下部構造を縮小することができ、コストを大幅に低減させることができる。（図-2）

特に矢板護岸形式の中小河川等に架設する場合、護岸矢板を併用した鋼矢板基礎形式とすることで、上部・下部構造を一体化させた門形ラーメン構造とすることができ、杭基礎形式よりもさらにコストを大幅に低減させることができる。（図-3）

上述した杭基礎形式を必要とする地盤条件があまり良くない場合では、従来の杭基礎形式の単純橋に比べて杭基礎形式の門形ラーメン橋にした場合、支承の省略、伸縮装置の省略、落橋防止措置等の省略、現場施工工期の短縮、下部工サイズの縮小、基礎杭本数の低減等の利点が挙げられる。また、杭基礎形式よりも矢板基礎形式とすることでさらに大幅コスト縮減を実現できる。

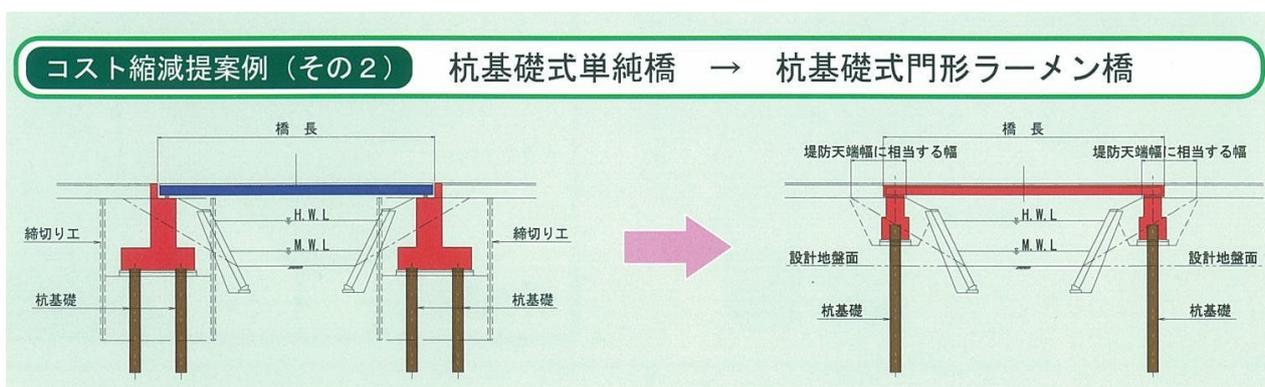


図-2 単純床版橋（杭基礎形式）からH形鋼を用いた門形ラーメン橋（杭基礎形式）へ

コスト削減提案例（その3）

杭基礎式単純橋 → 矢板基礎式門形ラーメン橋

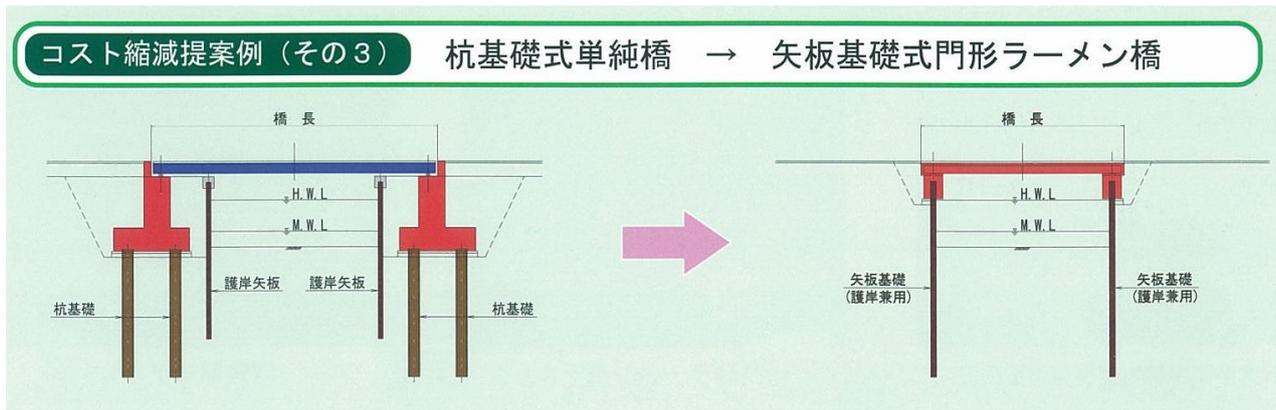


図-3 単純床版橋（杭基礎形式）からH形鋼を用いた門形ラーメン橋（矢板基礎形式）へ

2-3 隅角部の構造

ラーメン隅角部の構造として、以下に示すH形鋼と橋台部の主鉄筋との施工が容易な定着方法を考案した。これまでの単純構造をラーメン構造へと移行できた背景には、施工が容易なラーメン隅角部の構造を考えたからである。これまでにラーメン隅角部の構造として様々な方法が提案されているが、孔あき鋼板ジベル（PBL）を用いた方法に着目した。既往の研究では、主桁の上下フランジに孔あき鋼板を設置して橋軸直角方向の鉄筋を孔に貫通させる方法が提案されている。

それに対して、橋台の主鉄筋としてねじ節異形鉄筋を用い主桁のH形鋼上下フランジに開けた孔にそれを直接下から通して上フランジ上面においてナットで定着する方法を考えた。（図-4）

本方法により、H形鋼上下フランジを貫通した主鉄筋は、上フランジ上面でナットにより定着されるため、上部構造に確実に定着されると考えられる。しかし剛結構造とするためには、桁間に配置されている橋台主鉄筋についても上部構造に定着させる必要がある。そこでH形鋼上フランジ上面の橋台主鉄筋位置（幅員方向）に上下部連結金物を配置し、この上でナットにより定着するようにした。

ナット定着による簡単・確実な剛結方法

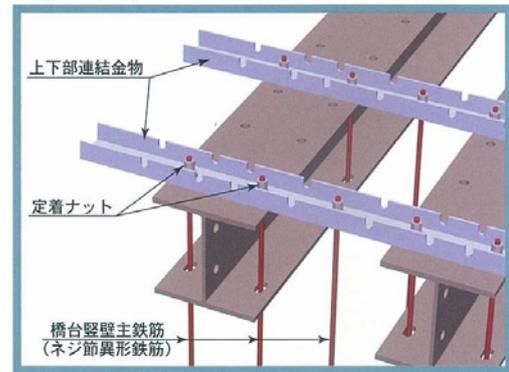


図-4 橋台主鉄筋とH形鋼との結合

3 施工手順

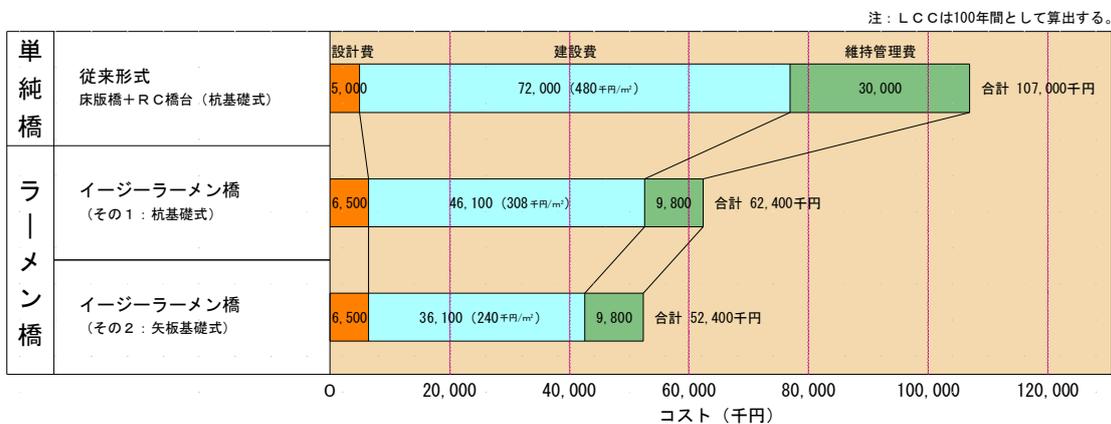
鋼管杭および鋼矢板を併用した基礎を有するH形鋼を用いた門形ラーメン橋の施工手順について述べる。②は基礎杭（鋼管杭・鋼矢板）打設状況である。次に③④に示すように橋台の施工を行い、その橋台の上に⑤のように主桁（H形鋼）を配置する。次に⑥のように橋台主鉄筋とH形鋼との結合を行い、横繫ぎ鉄筋を配筋、桁上面鉄筋などを配筋して、⑦床版コンクリート打設して完了となる。



4 経済性

H形鋼を用いた床版橋（ジョイント有無）、H形鋼を用いた門形ラーメン橋（杭基礎および矢板基礎）の4橋における経済性の比較を行った。それらの結果を表-1に示す。なお、検討条件は橋長：15.0m、全幅員：10.0m、橋台高：5.0m、支持層橋台下面より深度約20.0m、設計荷重：B活荷重。

表-1 橋梁形式別コスト比較図



検討条件 設計荷重：B活荷重、橋長：L=15.00m、全幅員：W=10.00m
橋台高：H=5.00m、支持層：橋台下面より深度約20mとする。（杭長：L=20m）
適用条件 門形ラーメン橋（矢板基礎式）は、掘込河道のように治水上問題がない場合などにおいて採用可能です。

これより、建設費（諸経費を含む）で比較とすると、H形鋼を用いた床版橋（ジョイント有り）に比べて、H形鋼を用いた床版橋（ジョイント無し）が0.96程度、H形鋼を用いた門形ラーメン橋（杭基礎）が0.64程度、H形鋼を用いた門形ラーメン橋（矢板基礎）の場合0.5程度に低減できることが分かる。また維持管理においては、H形鋼を用いた床版橋（ジョイント有り）以外は、ジョイントレス構造としているため、0.33程度に抑えることができる。ここで維持管理費とは、重防食塗装の耐用年数を60年、高欄取替の耐用年数を50年、伸縮装置取替え、切削目地工および舗装打換えの耐用年数を20年と仮定して、100年間の供用を想定した諸費用を算出している。なお、床版打替え、支承取替えの耐用年数は100年としたため、維持管理費には算入していない。

さらに総コスト（LCCは100年を想定）においては、H形鋼を用いた床版橋（ジョイント有り）に比べて、H形鋼を用いた門形ラーメン橋（杭基礎）の場合が0.58程度、H形鋼を用いた門形ラーメン橋（矢板基礎）の場合が0.49程度に低減でき、総合的に判断してもH形鋼を用いた門形ラーメン橋は、大幅なコスト縮減が可能な橋梁と考えられる。

5 さいごに

提案したラーメン隅角部の定着方法に関する実験的な検討については、試験橋梁を作成し、静的載荷試験により、その破壊性状を把握し、耐荷力性能について検証している。

近年、特に北陸地方などでは、凍結防止剤や融雪剤散布によるコンクリート橋の鉄筋やPC鋼材の塩害腐食、鋼橋等の床版の劣化による耐荷力の低下などの問題が多く生じている。これらの橋梁構造物の架替え工事等による維持管理対策（※補修・補強工事以外）として、また、今後ますますコスト縮減や施工工期の短縮などが強く求められる中で、適用可能な中小規模橋梁に対し、イージーラーメン橋は有効な構造であると考えられる。

コンクリートスマートオーバーレイ工法について ～ 狭小橋梁に対応した床版増厚コンクリート工法の開発 ～

株式会社NIPPON 北信越支店 ○ 吉田 満
富山出張所 腰 崇範
金沢出張所 小林 研二

1 はじめに

高度成長期からバブル期に建設された橋梁を含む公共構造物は、供用後 30 年以上経過している。これらの構造物は適切な維持管理が必要である。しかし、予算縮減の中、必要かつ十分な維持作業を施されていない構造物の一部については、劣化が進行しつつあるものもあり、早急な対策が必要である。加えて、このような公共構造物の中でも橋梁においては、車両の大型化に伴う床版の構造的強化が必要である。

これらの対策の一つとして、床版上面からの補強に関しては、床版増厚工法による手法が行われている。しかしながら、限られた施工区域しか確保できない供用中の中小橋の補修を行う場合、従来使用している床版増厚工法用のコンクリートフィニッシャでは、レールの設置が困難、施工可能幅員よりも機械幅が大きいなどの施工上の課題があった。また、施工幅員以外にも施工箇所周辺への沿道騒音の発生という周辺環境への課題があった。

このような課題を解決すべく開発されたのが、“低騒音コンパクトフィニッシャ”による床版上面増厚工法「スマートオーバーレイ工法」である。本工法は、“膨張材入り鋼繊維補強超速硬コンクリート（以後、膨張 JetSFRC）”を用いることにより、さらにその効果を発揮するが、本報では、当該フィニッシャを用いた工法の概要や特長、および、鋼繊維補強早強コンクリートを用いた北陸地方における適用事例について報告するものである。

2 「スマートオーバーレイ工法」とは

2.1 概要

スマートオーバーレイ工法は、コンクリート打設の際に、大型クレーンやレールの設置が不要な「低騒音コンパクトフィニッシャ」（以後、スマートフィニッシャ）を使用することで、短時間で施工できる工法である。また、コンクリートには、耐久性に優れた「膨張 JetSFRC」を用いることで、膨張剤無しの繊維補強コンクリートによる効果以上に、床版の曲げ耐力、押抜きせん断耐力の向上に加え、疲労耐久性を飛躍的に向上することができる。施工断面事例を図-2.1 に示す。

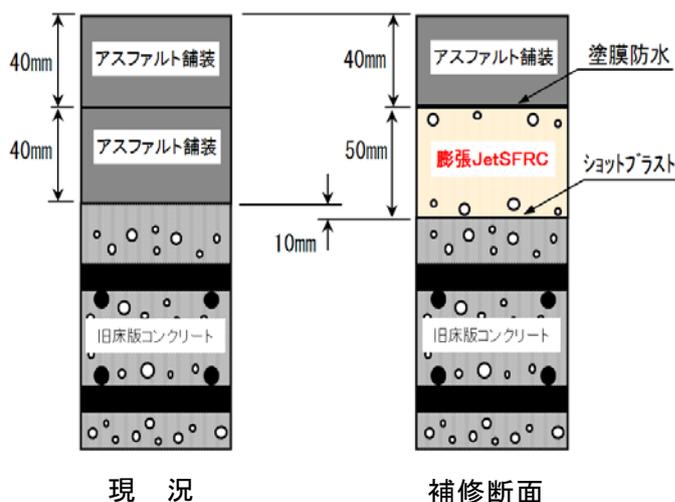


図-2.1 施工断面事例

2. 2 特 長

スマートオーバーレイ工法は、新旧コンクリートを一体化させることにより、多くの補修・補強効果が期待できる。その特長を表-2.1に示す。

表-2.1 スマートオーバーレイ工法の特長

特 長	効 果
耐力の向上	床版の有効厚が増大することにより、曲げ耐力・せん断耐力が向上する
ひび割れの拘束	繊維補強コンクリートを使用することにより、内部ひび割れを拘束するため、同厚のRC床版より疲労寿命が延びる
はくりの抑制	すりみがき作用による考えられるコンクリート上面のはくり損傷を抑制することができる
防水性	水セメント比が小さく緻密なコンクリートを使用することにより、浸透水によるすりみがき作用を受けにくい床版にすることができる
主桁補強効果	床版を増厚することにより、間接的な主桁補強効果が期待できる
規制期間の短縮	超速硬セメント（ジェットセメント）を使用することにより施工期間（交通規制期間）の大幅な短縮が可能になる

2. 3 効果および利点

スマートオーバーレイ工法の効果および利点としては、以下に示す項目がある。

なお、①～③についてはスマートフィニッシャ、④については膨張 JetSFRC による効果および利点をそれぞれ示す。

① 低騒音

- ・従来タイプに比べ、打設時の騒音が約 10dB 低減
- ・夜間施工時における沿道騒音対策に有効

② 規制時間の短縮

- ・レールの設置および撤去が不要（写真-2.1）
- ・3 時間の養生で交通開放が可能（超速硬コンクリート使用時）

③ 中小規模の増厚工事に適合

- ・従来機に比べ約 1/10 の重量であるため、クレーン付 4t トラックで運搬可能（写真-2.2）
- ・幅員が狭い道路や、高さ制限のある現場でも搬入可能

④ 耐久性の向上

- ・初期ひび割れ、収縮ひび割れを抑制
- ・ひび割れ部からの雨水の浸入を抑制
- ・床版の曲げ耐力、押し抜きせん断耐力の向上
- ・疲労耐久性の向上



写真-2.1 レール設置が不要



写真-2.2 クレーン付 4t 車による運搬

2. 4 施工概要

スマートオーバーレイ工法は、**写真-2.3**に示すスマートフィニッシャにより締固めを行う。

この機械は、スクリード（仕上げコテ）に高周波振動を与え移動させることにより、比較的軟練りである繊維入りコンクリート（スランプ $10 \pm 2.5\text{cm}$ または $8 \pm 2.5\text{cm}$ ）を敷きならして締固め、既設床版との一体化を図るものである。

また、機械の小型化および軽量化を図ることにより、供用中における限られた施工区域内の作業を可能とし、さらには装置の動力源を従来のエンジンから発動発電機による走行の動力としたことで振動騒音の低減を図っている。

狭い幅員の都市内高速道路における施工状況を**写真-2.4**に示す。



写真-2.3 スマートフィニッシャの外観



写真-2.4 施工状況（都市内高速道路）

3 適用事例

次に、スマートフィニッシャを用いて行われた北陸地区における施工事例を2例紹介する。

1例目は、富山県高岡市伏木万葉ふ頭における岸壁において、片側が沈下したコンクリート版を、鋼繊維補強早強コンクリートを用いたオーバーレイにより補修した事例である。

施工概要を表-3.1に、施工状況を**写真-3.1**に示す。

この現場では施工条件により、コンクリートは膨張 JetSFRC ではなく、鋼繊維補強早強コンクリート（以後、SFRC）を使用した。SFRCは、ベースコンクリートをアジテータ車を用いて現場まで運搬し、現地において鋼繊維を直接ベースコンクリートに投入して製造した。

また、現地で製造した SFRC は、スマートフィニッシャを用いて施工した（**写真-3.1**）。

2例目は、石川県白山市の対山橋における、橋梁の床版増厚工法への適用例である。

施工概要を表-3.2に、施工状況を**写真-3.2**に示す。

表-3.1 施工概要（オーバーレイ）

施工箇所	富山県高岡市伏木万葉ふ頭
施工時期	平成21年3月
施工規模	コンクリート舗設工=761m ²
設計舗装厚	t=7cm

表-3.2 施工概要（床版増厚）

施工箇所	石川県白山市木滑～川原山町
施工時期	平成21年3月
施工規模	コンクリート舗設工=356m ²
設計舗装厚	t=3cm

本事例は、写真-3.2のように施工幅員が狭く、施工厚さも床版増厚 3cm、表層 2cm（薄層砕石マシック混合物）と、現在の仕上がり高さを変更しないための工夫がなされた橋梁の補強であった。使用した増厚用コンクリートは1例目と同様に SFRC である。

本適用例の供用状況を写真-3.3に示す。補修前の橋梁は、ひび割れが多く発生していたが、補修後の供用状況は現段階では特に問題は無く、良好な路面状況を維持している。



写真-3.1 SFRCオーバーレイ施工状況



写真-3.2 床版増厚施工状況

4 おわりに

「スマートオーバーレイ工法」は、狭い橋梁コンクリート床版の限られた施工幅員や、住居に近い施工箇所周辺への沿道騒音などといった課題を解決すべく開発された新しい増厚工法である。

その上、北陸地方での適用事例からも分かるとおり、スマートフィニッシャを用いて、様々な施工条件に合わせた薄層のコンクリートオーバーレイ舗装への適用も可能であることが実証されている。

また、都市内高速道路においては、鋼床版の疲労対策として JetSFRC を用いた床版増厚を行っている。この施工においては、狭い施工幅員に対応すべく開発したスマートフィニッシャを使用しており、床版の補強に加え施工時の騒音問題なども解決されている。合わせて、膨張 JetSFRC を使用することで、補強した床版コンクリートの水密性の向上に伴う耐久性の向上も見込まれる。

今回紹介した適用事例以外にも、北陸地方ではこれから施工を行う予定の物件もあり、今後ますます需要が伸びる工法であると考えている。

本工法の特長である「狭い幅員への対応」および「低騒音」を核に、本工法の様々な施工箇所へのさらなる普及拡大により、公共構造物の適切な維持管理の一助となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 番地成朋, 梶尾聡, 子田康弘, 岩城一郎: 膨張性超速硬増厚コンクリートの諸性質に関する研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.29-No.2, 2007



写真-3.3 供用状況

ニッケル被覆炭素繊維シートを用いた電気防食工法の開発

オリエンタル白石株式会社 東京支店 新潟営業所所長 武田 祐二
本社 技術研究所主任研究員 小林 俊秋

1. はじめに

近年、鋼材の腐食に伴うコンクリート構造物の劣化・損傷が社会問題となり、これらの問題への対策が強く求められている。劣化対策の方法としては、表面被覆、断面修復、電気防食などが挙げられる。この中でも、塩化物イオンを含んだコンクリートの除去が不要であり、マクロセル腐食などによる再劣化がないなどの利点から、今後、電気防食の需要拡大が見込まれる。しかしこの電気防食は、陽極材となる白金系貴金属被覆チタン電極が高価であることが問題となると考えられるため、チタン以外の陽極材が求められている。このような中、陽極材として着目したのが、電磁波シールド材料であるニッケル被覆炭素繊維シート（以下、Ni/CFS と記す）である。Ni/CFS は、導電性、安定性が高いニッケルを炭素に被覆したコーティングタイプの電極である。酸化状態が安定しており、しかも高い電子伝導性をもつことから、優れた耐久性および経済性をもつ。筆者らは、Ni/CFS を電気防食の陽極に使用するシステムの開発・実用化を推進してきた¹⁾、²⁾、³⁾。本稿では、その研究成果について示すとともに、現場への適用事例について報告する。

2. 陽極材の耐久性実験

2.1 実験の目的

米国腐食防食協会（NACE）で規格化された陽極材の耐久性試験法⁴⁾を参考にして、Ni/CFS の耐久性を評価する。

2.2 実験方法

ニッケルはアルカリ性水溶液中で優れた耐食性を有することから、試験液を、NaOH 水溶液とした。NaOH 濃度は、濃度低下が通電性能に及ぼす影響を評価するため、0～8.0%の計6種類とした。劣化条件として、試験溶液に3%NaClを混入し、電流密度は、施工実績から133.3 mA/m²陽極面積に対して、20A/m²陽極面積（150倍）とし、通電期間は180日とした。実験状況を写真-1、実験セルの構成を、図-1に示す。電圧は、エレクトロメーターにより測定し、表面変化を目視により観察した。

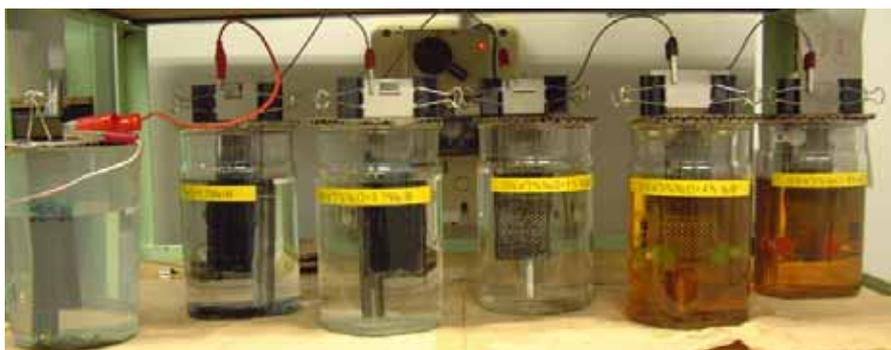


写真 - 1 実験状況

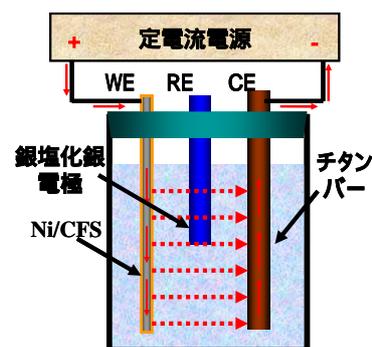


図 - 1 実験セルの構成

2.3 実験結果

通電 180 日後での陽極表面変化、溶液への析出物、溶液色調の変化を表 - 1 と写真 - 2 に示す。同表より 4%NaOH 以上では、陽極の表面に変化は、観察されず、良好な状態であることが判った。3%NaCl を混合し、過酷な通電条件にもかかわらず、十分な耐食効果があることが認められる。この実験での最大積算電流密度は、 $20[A/m^2] \times 0.5[年]=10[A/m^2年]$ である。施工実績から基準とした $133.3mA/m^2$ 陽極面積を用いると、 $10[A/m^2年]/133.3[mA/m^2]=68[年]$ となる。防食電流が $133.3mA/m^2$ 陽極面積では、68 年に相当する電流を負荷したことになる。

表 - 1 陽極表面変化、溶液への析出物、溶液色調の変化（通電 180 日後）

NaOH(%)	0	0.3	0.5	1	4	8
通電期間(日)	2	70	180	180	180	180
表面変化	黒色	黒色	黒色	黒色	変化なし	変化なし
溶液色調	薄茶色	変化なし	変化なし	変化なし	濃茶色	濃茶色
電圧(V)	-	-	2.57	2.044	2.169	2.88

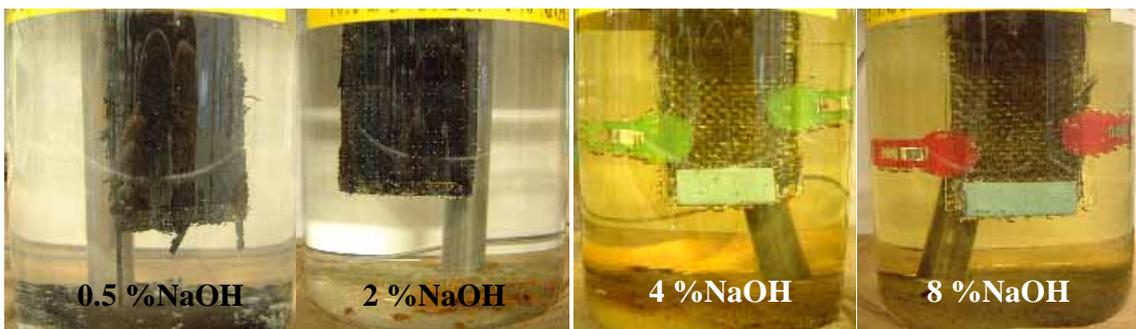


写真 - 2 陽極表面変化、溶液への析出物、溶液色調の変化（通電 180 日後）

3. 陽極ユニットの通電実験

3.1 実験の目的

筆者らは、容器内に Ni/CFS 陽極を配置し、促進通電実験より、強アルカリ性水溶液中において、68 年間の通電性能を実証した。しかし、実構造物への施工では、コンクリート表面形状が複雑な場合や、水平面、垂直面に陽極を配置するため、電解液の蒸発や漏れが少ない陽極構造としなければならない。そこで、本実験では、実施工に対応した陽極ユニットを考案し、大型 RC 供試体に設置、通電実験を行い、防食効果と陽極の耐久性を評価することを目的とした。

3.2 実験方法

陽極ユニットの構造を写真 - 3、陽極ユニットを配置した RC 実験供試体を写真 - 4 に示す。Ni/CFS は、幅 60mm に裁断し、電解液の蒸発や漏れを抑制するため、高吸水性高分子とアルカリ性水溶液を混合してゲル状の物質（以下バックフィルと記す）を製造した。保護カバーは、陽極およびバックフィルを保護するため FRP で製作した。保護カバーの内側にバックフィルを充てんした。その中央に Ni/CFS を配置してユニットを組立て、コンクリート表面にタッピングネジで固定した。供試体は、 $70cm \times 40cm \times 440cm$ とし、配合は、単位水量を $180kg/m^3$ 、水セメント比を 65%、Cl- をセ

メント重量に対して 2.7%を添加した。陽極ユニットは、橋軸方向両側面に 2 ラインと底面に 1 ライン、計 5 ラインとした。通電試験は、定電流制御装置を用いて、鉄筋へ電流を流した。初期通電調整を行い、通電電流を 10mA/m^2 (コンクリート表面積) とした。

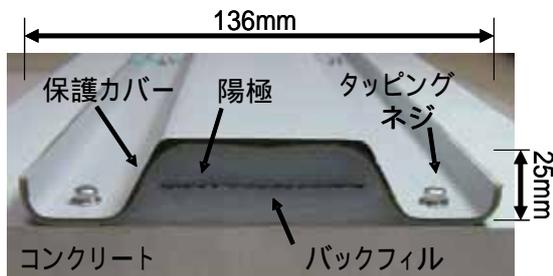


写真 - 3 陽極ユニットの構造

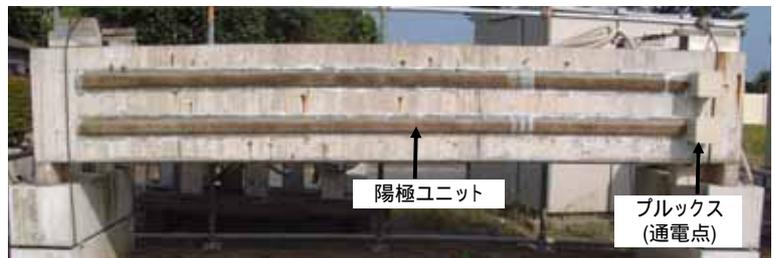


写真 - 4 陽極ユニットを配置した RC 実験供試体

3.3 実験結果

本項文中の鋼材電位は硫酸銅電極(以下 CSE)基準に換算表示した。またインスタントオフ電位(以下 E_{io})は、通電遮断直後 1 秒以内の電位を測定し、コンクリート抵抗分を補正した真の鋼材通電電位を計測した。鋼材の E_{io} 、通電遮断 4 時間後の鋼材電位(以下 E_{off4h})の経時変化を図 - 2、 E_{io} と E_{off4h} の差を取ることで求めた復極量の経時変化を図 - 3 に示す。図 - 2 より、 E_{io} は、貴の方向に移動し、その後、卑の方向に移動して 1100 日間以上経過した時点では、 $-800[\text{mVvsCSE}]$ 付近になった。Cl-の添加と腐食促進養生によって鋼材は十分に腐食して、初期の鋼材自然電位は、卑な値となり、 E_{io} も卑な値になる。その後、通電による鋼材の不動態化が進行して、 E_{off4h} および E_{io} が貴化する。さらに通電の継続により不動態が安定化し、 E_{off4h} も安定化する。しかし、不動態化によって腐食反応抵抗が増加するために、 E_{io} は、同じ電流を流しても大きく卑化することになる。この傾向は図 - 3 の復極量の経時変化にも現れており、鋼材腐食が激しい場合、復極量は防食効果の判定基準である 100mV 以下となるが、通電の継続にともない、復極量は増大することがわかる。すなわち、鋼材腐食が激しい場合、初期の復極量が不足するが、通電を継続することにより 100mV 以上の復極量となり、鋼材が不動態化するといえる。

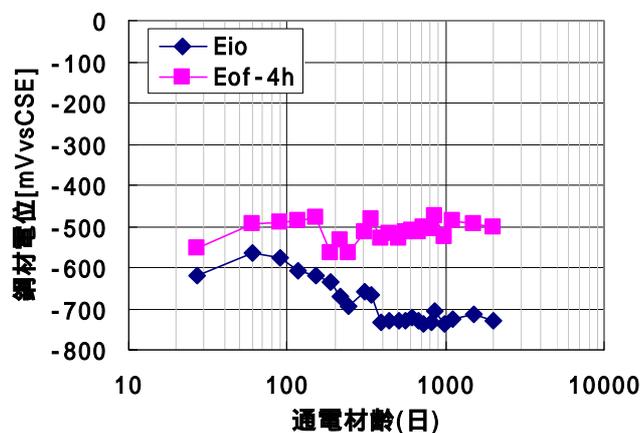


図 - 2 鋼材の電位の時間変化

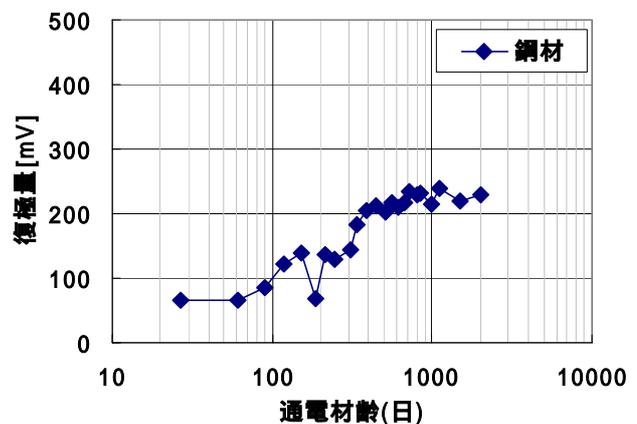


図 - 3 鋼材の復極量の時間変化

4. 実構造物への通電実験

電気防食を施工した構造物は、昭和 47 年に竣工した海に面する橋梁である。橋梁形式は、プレテンション方式 PC 単純ホロー桁、橋長 15m、幅員 5.8m、主桁 8 本で構成される。主桁底面部に陽極ユニットを 1 桁当たり 30cm 間隔で 2 箇所、計 16 列配置した。防食電流は、 $3\text{mA}/\text{m}^2$ で通電した。PC 鋼材の E_{io} 、 E_{off24h} および復極量の経時変化を図 - 4、図 - 5 に示す。図 - 4 より、通電継続後の E_{off24h} が約 100mV 高く変化し、 $-160[\text{mVvsCSE}]$ 程度に安定した。図 - 5 より、100mV 以上の復極量が継続していることがわかった。

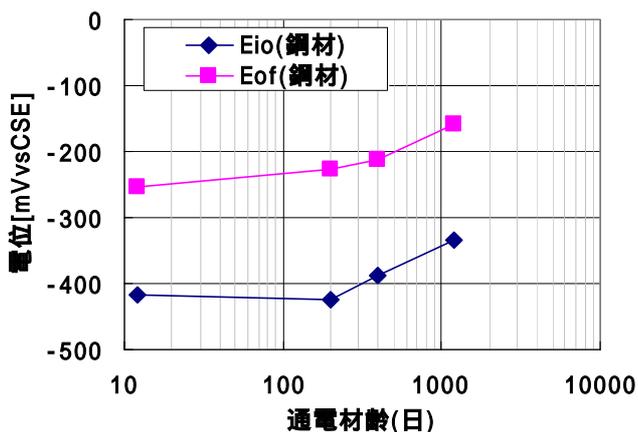


図 - 4 鋼材電位の時間変化

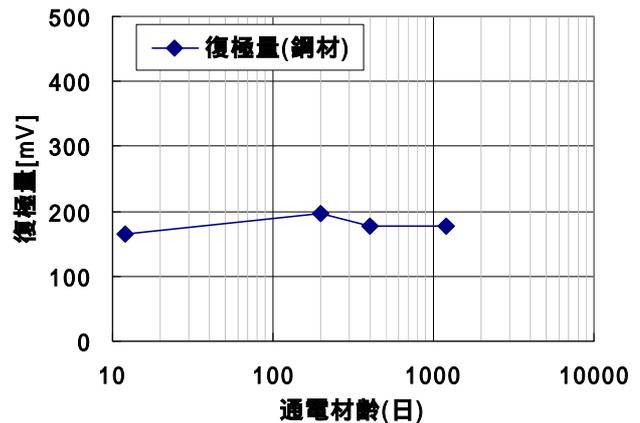


図 - 5 鋼材の復極量の時間変化

5. まとめ

- 1) 実験セルの促進通電実験より、 $20\text{A}/\text{m}^2$ で 180 日間の過酷な通電条件であっても、4%NaOH 以上のアルカリ性水溶液中の場合、Ni/CFS は高い耐食性を示した。
- 2) RC 実験供試体の通電実験より、2000 日間にわたる電流密度 $10\text{mA}/\text{m}^2$ の通電によって、復極量は 100mV 以上を保っており、良好な防食効果を得た。
- 3) 実構造物への通電実験より、1200 日間にわたる電流密度 $3\text{mA}/\text{m}^2$ の通電によって、復極量は 100mV 以上を保っており、良好な防食効果を得た。

参考文献

- 1) 小林俊秋、呉承寧：ニッケル被覆炭素繊維シートの電気防食における通電性能に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.27、No.1、pp.1534-1536 (2005)
- 2) 小林俊秋、中村雅之、堀越直樹、井川一弘：RC 大型実験供試体に設置した電気防食に用いるニッケル被覆炭素繊維シート陽極、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.29、No.1(2007)
- 3) 小林俊秋、中村雅之、星野雅彦、堀越直樹：ニッケル被覆炭素繊維シートを用いた電気防食の維持管理、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、6 巻、pp.37-42 (2006)
- 4) NACE standard TM0294-94 Item No.21225

生分解素材を用いた野芝種子シートの開発

北陸技術事務所 技術課 課長 吉川 進
北陸技術事務所 技術課 専門調査員 ○林 久之

1 はじめに

現在、北陸地整管内では、堤防の法面保護植生として野芝種子吹付工を行っている。種子の発芽から定着までの間は、降雨による流出や風による飛散・乾燥等を防止するためポリエチレンフィルムをマルチング素材として用いた野芝種子吹付工（以下、従来工法という。）を行っており、野芝発芽後にはその撤去並びに産業廃棄物処理が必要となる。一方、近年の社会的要請により、河川改修においても更なるコスト縮減や環境負荷の低減が求められている。

1. 1 開発の目的

堤防の法面保護植生として野芝種子吹付養生材に、近年各分野で研究が進んでいる生分解性素材（二酸化炭素と水に分解する環境に負荷を与えない素材）に野芝種子をあらかじめ定着させた植生シート又は、ポリエチレンフィルムに替わる主に農業用資材として開発・製品化された生分解性素材を用いたマルチングを用いることにより、堤防の法面保護植生の効率的な施工、環境負荷の低減を目指すものである。

2 調査の概要

現在、堤防の法面保護植生は、ポリエチレンフィルムをマルチング素材として用いた野芝種子吹付工を採用している。しかし、ポリエチレンフィルムは、自然分解しない素材であり、以下の課題がある。

- ① ポリエチレンフィルムの内部温度並びに湿度上昇に伴う養生管理手間（野芝の生長監視：野芝の蒸れや焼け現象の監視）が必要であること。
- ② 撤去跡周辺が蒸れや焼け現象により芝が黄色に変色すること。
- ③ ポリエチレンフィルム等の撤去、産業廃棄物処理の手間が必要であること。



写真-1 水滴等による蒸れ現象 写真-2 撤去跡周辺の芝の変色 写真-3 撤去後の回収

上記の課題を解消するため、生分解性素材に野芝種子をあらかじめ定着させた植生シートによる生分解性植生シート工法と野芝種子吹付後に生分解性素材を用いたマルチングによる生分解性素材マル

チング工法について試験施工を実施し、その有効性を調査し確認した。

2. 1 植生シート工法

(1) 素材の選定

ポリエチレンフィルムに替わる二次製品化した生分解性素材を、河川堤防への適用を考慮し、盛土法面で適用できること、100%分解可能でかつ施工単価が安価であることを条件に①生分解性樹脂系、②ワラ系、③間伐材系の3素材を選定した。その特性を表-1に示す。

表-1 生分解性植生シート素材別の特性

素材別	特 徴	規 格 (種子 配合量)	直接工事費 (㎡/円)
生分解性樹脂系	ネットに薄綿（超遅効性コントロール肥料、土壌改良資材等）を装着したシート。耐浸食性を有する。	1m×10m (20 g /㎡)	880
ワラ系	構成成分は、ワラ、ジュートネット、生分解性プラスチックである。ワラの表面には、ジュートと生分解性プラスチックの糸で編まれたネットが装着されている。	1m×15m (20 g /㎡)	948
間伐材系	間伐材（木毛）を利用したことにより、耐浸食性、保温性、保水性を保つことが可能となる。	1m×10m (10 g /㎡)	1,095

(2) 調査結果

生分解性植生シートの調査結果を表-2示す。素材の分解状況、野芝の生長状況から、ワラ系素材が最も適用性が高い結果となった。

表-2 生分解性植生シート素材別の調査結果

素材別	分解の状況	野芝の生長
生分解性樹脂系	薄綿が2箇月程度で分解を開始し、施工後9箇月程度で消失した。生分解性ネットは、2年経過しても残存していた。	薄綿分解の進行が早く、保温期間が短いため、野芝の生長が遅く、雑草が早期に侵入したり、裸地が発生する。
ワラ系	ワラは、施工後1年は残存し、目立つが、2年目の春以降に分解し始めて1年6箇月経過するとほぼ消失した。ジュートネット及び生分解性プラスチックは、施工後約2年経過して分解が進行していた。	ワラによる保温効果は少ないが、最初の1年間そのまま残存するので、裸地や雑草の侵入は目立たない。ワラの分解に応じて、野芝の生長が活発になる。 【適用性が最も高い】
間伐材系	間伐材由来の木毛を含む素材を包んでいたマットは、3月施工後6月下旬にはほぼ分解・消失していた。生分解性ネットは、約1年経過するとちぎれやすくなるが、残存していた。	シートが分解された後、木毛が土壌と一体になって肥沃性が高まることで生長の遅い野芝より、侵入してきた雑草の方が旺盛になる。

(3) 施工手順及び養生管理

従来工法と生分解性植生シート工法の施工手順を図-1に示す。生分解性植生シートを用いることで種子吹付工並び養生管理が必要なくなり、省力化を図ることができる。適用性が最も高いワラ系は、施工後1年は残存するが、2年目の春以降に分解し始めて1年6箇月後にはほぼ消失することから発芽ムラが解消され、浸食防止効果が発揮できる。

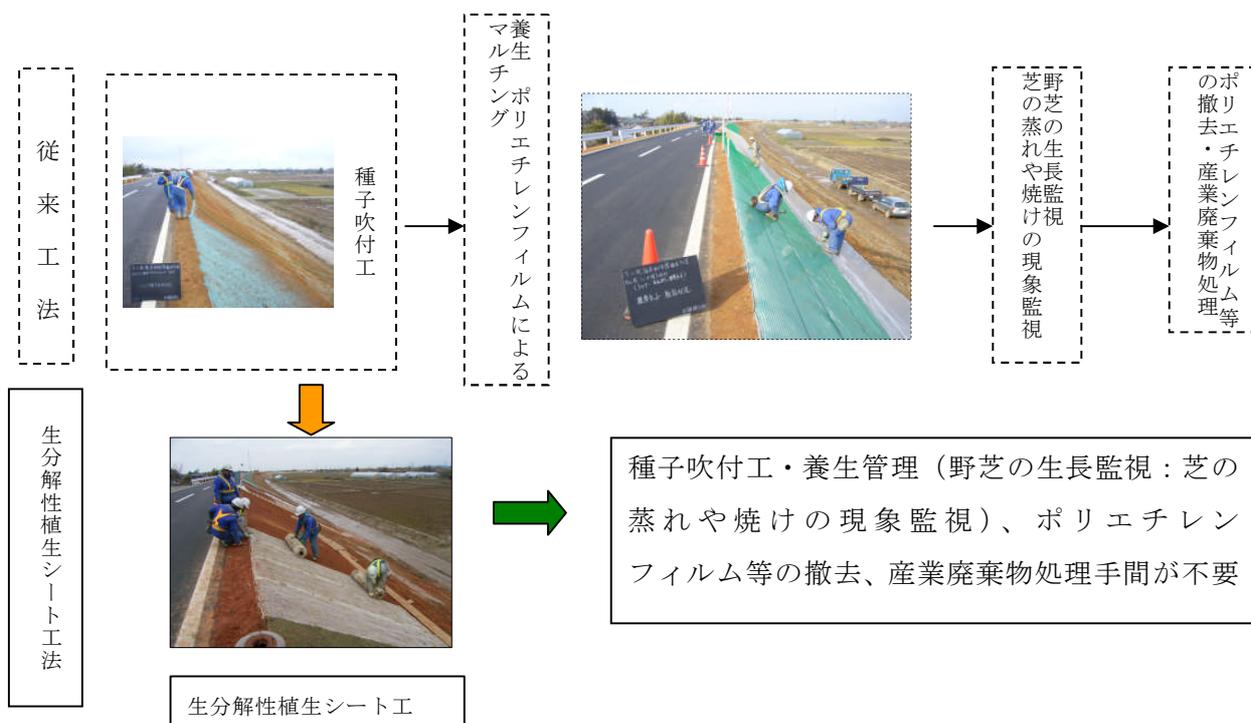


図-1 従来工法と生分解性植生シート工法の施工手順

2. 2 マルチング工法

(1) 素材の選定

生分解性素材を用いたマルチングは、従来用いられてきたポリエチレンフィルムの品質・規格（透明・全面有孔・孔の径1.5～2mm程度、厚さ0.02mm程度）と同等品程度であることを前提に分解期間が6箇月未満である生分解性プラスチックフィルム化学合成系と分解期間が3箇月未満で既に関東地方では使用実績がある生分解不織布セルロース系の2素材を選定した。その特性を表-3に示す。

表-3 生分解性素材を用いたマルチング素材別の特性

素材別	特徴	規格	直接工事費 (m ² /円)
生分解性プラスチックフィルム化学合成系	ポリブチレンサクシネート系生分解性プラスチックの透明なマルチングフィルム	厚0.02mm×幅180cm×長200m	975
生分解不織布セルロース系	法面野芝種子吹付養生用に開発されたセルロース100%の生分解性ノンバインダー長繊維不織布	幅170cm×長330m	600

(2) 調査結果

生分解性素材を用いたマルチングの調査結果を表-4示す。素材の分解状況、野芝の生長から、生分解性プラスチックフィルム化学合成系は、生分解不織布セルロース系に比べて適用性が高い。

表-4 生分解性素材を用いたマルチング素材別の調査結果

素材別	分解の状況	野芝の生長
生分解性プラスチックフィルム化学合成系	3月に施工すると、5月下旬から野芝の成長に合わせて徐々に穴や裂け目ができ始め、8月～9月にはシートがほぼ分解・消失していた。	野芝の生育は良好で通常施工区とほぼ同等である。 【適用性が最も高い】
生分解不織布セルロース系	3月に施工すると、早期に分解が進行し、7月にはシートがほぼ分解・消失していた。	シートの分解の進行が早く、保温期間が短いため、野芝の生長が遅く、雑草が早期に侵入する。

(3) 施工手順及び養生管理

従来工法と生分解性素材マルチング工法の施工手順を図-2に示す。素材が異なるだけで、マルチングまでの施工手順は同じであるが、マルチング以降においては、従来工法で行ってきた、野芝の発芽異常（焼け現象など）の監視、ポリエチレンフィルムの撤去手間の省力化を図ることができる。また、撤去したポリエチレンフィルム等の廃棄物処理の削減が可能となる。

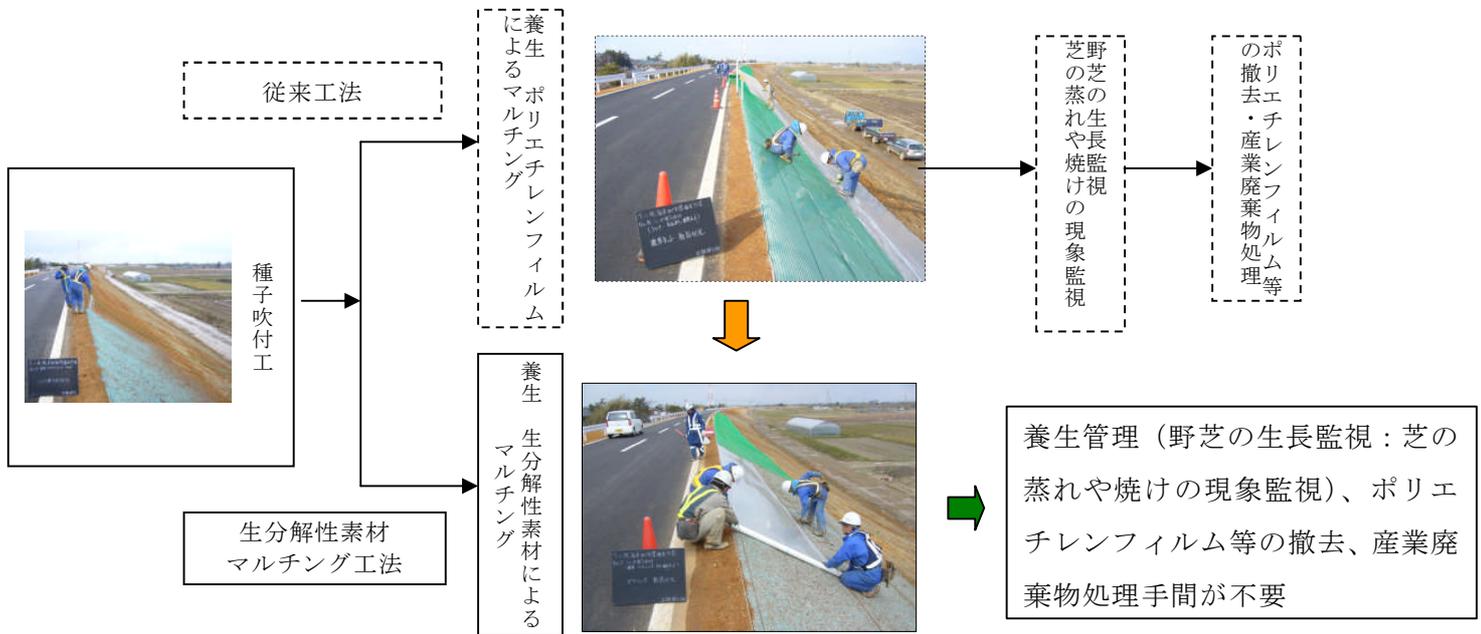


図-2 従来工法と生分解性素材マルチング工法の施工手順

3 まとめ

従来工法に替わる生分解性植生シート工法、生分解性素材マルチング工法に用いる各種生分解性素材の中から、最も適用性が高い以下の素材を選定した。

【適用性が最も高い素材】

- 生分解性植生シート工法：ワラ系
- 生分解性素材マルチング工法：生分解性プラスチックフィルム化学合成系

今後は、施工単価に関する詳細調査や施工時期が異なる場合に有効な素材の選定、生分解性植生シート工法と生分解性素材マルチング工法の使い分け、施工方法・施工上の留意点、管理方法等について、調査・検討を行い、「北陸地域の環境条件に適した堤防の法面保護植生工法」についての「技術資料」作成等を行い、その普及を図るとともに施工の効率化と環境負荷の低減を図るものである。

【参考文献】

「野芝・洋芝種子吹付工及び維持管理の手引き（案）」（北陸地方整備局 河川部）平成13年3月

延長床版システムプレキャスト工法

(株)ガイアート T・K 本社 技術部課長代理 亀井 健大

1. はじめに

昨今，国内の道路橋において，伸縮装置部で発生する振動・騒音および漏水による劣化進行の抑制などから，橋梁ジョイント構造に延長床版システム¹⁾が採用されている．

延長床版システムとは，上部構造の床版を橋台背面の土工部にまで延長するような構造で，伸縮装置を桁端遊間部から土工側に移設することで遊間部に発生する騒音・振動を低減させるシステムである．

プレキャスト製品を使用する延長床版システムプレキャスト工法は急速施工を可能にし，その実績は，NEXCO 関連の橋梁で 21 橋（26 橋台），その他国交省・自治体関連では 5 橋（9 橋台）を数える（平成 22 年 7 月現在）．ここでは，延長床版システムプレキャスト工法の概要，設計手法および振動・騒音調査による延長床版システムの効果（国道 4 号バイパス線針生高架橋）について報告する．

2. 延長床版システムプレキャスト工法の概略

本技術は，図-1 に示すようにプレキャスト版を使用して，橋梁床版を土工部まで延長し，桁端遊間にある伸縮装置を土工部に移設する工法である．延長床版部は，橋梁床版と連結されているため，温度収縮による桁の伸縮に追従し，底版上を常時滑動する．橋梁温度伸縮は延長床版を介して，土工部に移設した伸縮装置で吸収する構造となる．

本工法の特長は以下の通りである．

- ・ 伸縮装置が土工部に移設されることで桁下への騒音・地盤振動・低周波振動（音）を低減できる．
- ・ 遊間を塞ぐ事により，支承・桁端部に雨水および凍結防止剤の侵入を防止できる．
- ・ 延長床版部，底版部は分割されたプレキャスト製品を用い，特殊継手（コッター式継手）で接合するため，急速施工・補修が可能となる．
- ・ 橋台背面盛土の沈下に伴う，延長床版システムの沈下を是正することが可能．

3. 延長床版システムプレキャスト工法の設計

本工法の設計は，安全性，使用性，耐久性を考慮し，理論的な妥当性を有する手法等の適切な知見に基づき，図-2 に示すような設計フローとしている．以下に主な設計項目について示す．

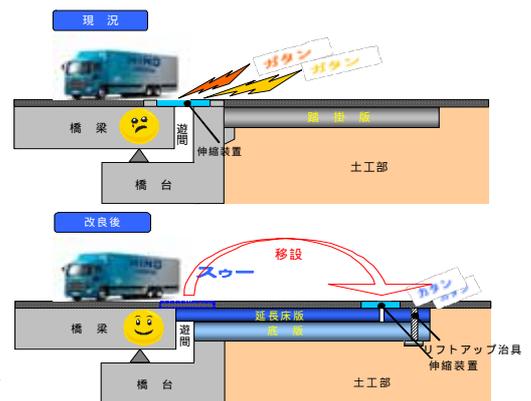


図-1 延長床版システムプレキャスト工法の概要図

3.1 延長床版長

延長床版システムプレキャスト工法を採用する目的は、主に騒音及び地盤振動低減、低周波振動（音）低減、桁端遊間からの漏水による桁端及び支承の劣化防止等が挙げられる。これらの目的によって延長床版システムの構造を検討する必要がある、特に低周波振動（音）低減効果を期待するか否かで延長床版長の検討方法が異なる。

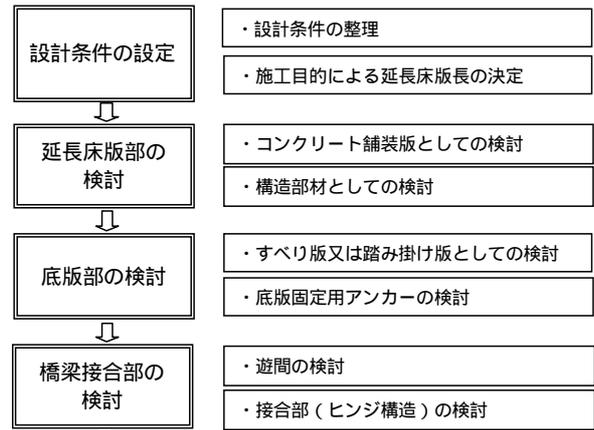


図-2 設計フロー

a) 低周波振動（音）低減を期待する場合

橋梁における低周波振動（音）については、段差によって発生した車輛のバネ下振動が橋梁に入力され、橋梁が共振してしまう事が原因の一つとして考えられている。

独）土木研究所の研究²⁾より、段差が発生しやすい伸縮装置を橋軸方向に10m程度移動することによって、車輛のバネ下振動が橋梁本体到達までにほぼ減衰するため、橋梁への影響を小さくできることが確認されている。

このことから、延長床版システムを採用する上で低周波振動（音）低減を期待する場合は、延長床版長を10mとしている。

b) その他騒音・地盤振動・漏水等対策を期待する場合

橋梁支間部に活荷重が作用することで橋桁にたわみが生じ、その回転変位により延長床版端部が浮き上がる形となり、伸縮装置部に段差が生じてしまう。段差は騒音・振動の発生源となる。

伸縮装置部に段差が生じないように、図-3のように延長床版長を決定している。橋梁のたわみによる回転変位より、延長床版の死荷重によるたわみが同等以上となる長さを延長床版長とし、式(1)より求めている。

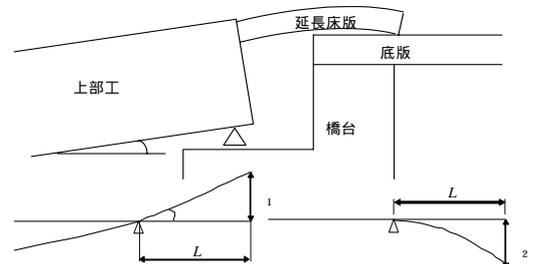


図-3 キックアップ量及び延長床版自重によるたわみの概略図

- L : 延長床版の長さ (mm)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
- I_c : コンクリートの断面二次モーメント (単位幅当り)
- q : 死荷重 (単位幅当り)
- θ : 桁の回転角

$$L = \sqrt[3]{\frac{8E_c I_c}{q} \tan \theta} \quad \dots \text{式(1)}$$

3.2 延長床版部断面力の照査

延長床版部において、橋台より土工部側に位置する部分は底板に面支持されており、弾性床の上の版構造として考えることができる。従って、延長床版を路盤で支持されたコンクリート舗装版と同等と考え、舗装設計施工指針を準用しコンクリート舗装の理論的設計手法を用いて設計を行っている。

3.3 底板部断面力の照査

路盤上に設置する底板は、踏掛け版を兼用するか否かで検討方法が異なる。新設橋など沈下が収束していない橋梁においては、基本的に踏掛け版と底板を兼用させ、踏掛け版の設計に準じて検討を行う。また、沈下が収束している既設橋においては、滑面形成機能を主として考え、延長床版及び伸縮装置より分散・伝達された荷重等の影響に対して安全であるような最小版厚および最小鉄筋量を検討する。

3.4 橋梁床版との接合部の照査

橋梁床版との接合部は、応力を発生させないようにヒンジ構造としている。

例えば、図-4 に示すように接合部をメナーゼヒンジ構造とし、レベル1地震時ではメナーゼヒンジ鉄筋への作用力を許容値以下になるように、またレベル2地震時においてはメナーゼヒンジ鉄筋が降伏することにより橋梁本体に致命的な損傷を与えないような径及び本数としている。

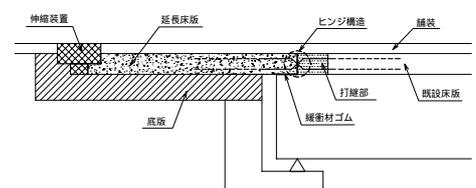


図-4 連結部の構造例

4. 延長床版システムの効果

4.5 調査目的

国道4号針生高架橋において、延長床版システムプレキャスト工法により施工されたA1・A2橋台と、従来通りであるモジュール型伸縮装置設置されているP6・P12橋脚の騒音・地盤振動調査を行った。調査目的は、橋台部と橋脚部の騒音・地盤振動特性を確認し、延長床版システムの騒音・地盤振動に対する低減効果を把握することである。

以下に概要を示す。

4.6 調査概要

a) 調査日

平成20年4月25日～26日

b) 橋梁諸元等

路線名：国道4号あさか野バイパス

橋長：886m（6+6+5 径間）

上部工形式：連続鋼箱桁橋

位置：郡山市大槻町字針生北

施工時期：平成18年12月

工法目的：騒音対策

4.7 調査方法および調査項目

騒音測定は、JIS Z 8731-1999 に

定める「環境騒音の表示・測定方法」、振動測定は、JIS Z 8735-1981 に定める「振動レベル測定方法」に準拠して行った。また、調査項目は、騒音・振動および道路交通状況（ビデオ観測）であり、項目毎の測定点について表-2 に示す。



図-5 概略位置図

表-1 調査項目

	騒音測定	振動測定	交通状況ビデオ観測
A1橋台と官民境界	4点	2点	1箇所
A2橋台と官民境界	4点	2点	1箇所
P6橋脚と官民境界	3点	2点	1箇所
P12橋脚と官民境界	3点	2点	1箇所
計	14点	8点	4箇所

4.8 調査結果

a) 騒音の調査結果

延長床版施工の橋台付近と橋脚付近それぞれの官民境界で大型単独車 25 台の騒音レベル平均値を表-2 に示す。

両者を比較すると延長床版の橋台部が平均で 1.4dB 小さく、構造物の違いや距離の違いを考慮した予測計算を行うと、延長床版の橋台部が橋脚部より 2.0~5.6dB 小さくなることが推定できた。騒音の測定状況を写真 1 に示す。

表-2 橋台・橋脚の官民境界測定結果

	A 2 橋台	P 6 橋脚	P 1 2 橋脚
騒音レベル (dB)	65.6	66.7	67.3
平均値 (dB)	65.6	67.0	



b) 地盤振動の調査結果

伸縮装置部における振動測定結果を表-3 に示す。橋台部延長床版伸縮装置が橋脚部モジューラ型伸縮装置より平均で 9.5dB 小さかった。また、沓座上の振動測定結果は、表-4 に示す通り、延長床版を採用した橋台部が橋脚部より平均で 13.2dB 小さかった。

なお振動の測定箇所は沓座上の箱桁中央部にて行った。測定状況を写真 3 に示す。

写真-1 騒音測定状況（官民境界）



写真-3 振動測定箇所

表-3 地盤振動の調査結果（伸縮装置部）

	A 1 橋脚	A 2 橋台	P 6 橋脚	P 12 橋脚
振動レベル (dB)	67.3	63.8	75.2	74.9
平均値 (dB)	65.6		75.1	

表-4 地盤振動の調査結果（橋台，橋脚部）

	A 1 橋台	A 2 橋台	P 6 橋脚	P 12 橋脚
振動レベル (dB)	43.9	41.2	55.7	55.9
平均値 (dB)	42.6		55.8	

5. まとめ

本文は、延長床版システムプレキャスト工法の設計法に基づいて施工された高架橋で、効果の検証について報告した。施工後およそ 1 年 4 ヶ月での調査で、延長床版システムを採用した橋台部付近が橋脚部付近に比べ、交通騒音・地盤振動レベルともに小さく、延長床版システムプレキャスト工法の効果が確認された。

今後は、経年変化に伴う舗装や伸縮装置の劣化から A 1・A 2 橋台部付近における交通騒音・地盤振動の変化について追跡調査を行うとともに延長床版の挙動や耐久性についても確認していくことが重要であると考えます。

参考文献

- 1) 土木学会：2006 年次講演会「延長床版システムの性能照査に関する検討（塩畑ら）」
- 2) 土木学会：2002 年次講演会「鋼単純桁橋における伸縮装置部段差が橋梁主構造及び車両に与える影響確認実験（新井ら）」

環境に優しいポリマー改質アスファルト ECOバインダー・シリーズ

東亜道路工業株式会社 北陸支社 技術部 小原敏一

1 はじめに

今や地球環境の保全は世界的な急務となっており、我が国においては中期目標として、2020年度までに温室効果ガス排出量を1990年度比で25%削減することを世界に向けて宣言し、炭素に依存しない社会を構築することを公約した。

つまり、公共事業の実施に伴い排出される温室効果ガスを低減することは、我が国において最早当然のこととなっている。

2. ECOバインダー・シリーズとは

以上の社会背景を念頭に、われわれ舗装業界ではポリマー改質アスファルトを用いた混合物の製造時に発生する温室効果ガスの抑制対策として、低炭素舗装技術に以前より取り組んできた。

しかし、これまでの低炭素舗装技術に用いるポリマー改質アスファルトは、プラントミックスタイプが主流であり、混合物製造時に中温化材料を添加投入する手間や、専用の設備を必要とするものであった。

これに対し、ECOバインダー・シリーズはプレミックスタイプであり、特別な手間や設備等を必要とせず混合物の製造を可能とした、低炭素舗装技術対応型のポリマー改質アスファルトである。

3. ECOバインダー・シリーズの種類

ECOバインダー・シリーズは、先に述べたように、プレミックスタイプの低炭素舗装技術対応のポリマー改質アスファルトであるが、その種類は目的や使用用途によって、下記の3つに分けられる。

- | | |
|--------------|---------------------|
| ①ハイアスG-ECO | (ポリマー改質アスファルトI型適合) |
| ②HRバインダーECO | (ポリマー改質アスファルトII型適合) |
| ③パーミバインダーECO | (ポリマー改質アスファルトH型適合) |

それぞれのバインダーとしての性能については、従来のポリマー改質アスファルトの規格に全て適合する。

本報告では、ECOバインダー・シリーズを用いたアスファルト混合物について、性状や特徴などの報告を行う。

4. アスファルト混合物の締固め度特性

従来のポリマー改質アスファルトを用いた混合物における通常の管理温度は、一般的なⅡ型の場合、製造工場による混合温度で175℃前後、施工場所における敷均し温度で160℃程度等となっており、仮にこれらの通常温度を30℃下回った場合においては、適正な品質を確保されないことが常識であった。

そこで、通常温度の混合物と30℃低減した混合物の締固め度について、従来のポリマー改質アスファルトとECOバインダー・シリーズの両者について比較したものを、Ⅰ型は図-1、Ⅱ型は図-2、H型は図-3にそれぞれ示す。

これらの図より、従来のポリマー改質アスファルトを用いた混合物は通常温度では締固め度が約100%であったのに対し、30℃低減させたものについては約97%程度まで低下することがわかった。

これに対しECOバインダー・シリーズは、通常温度より30℃低減した場合でも、締固め度は概ね100%確保できることが確認された。

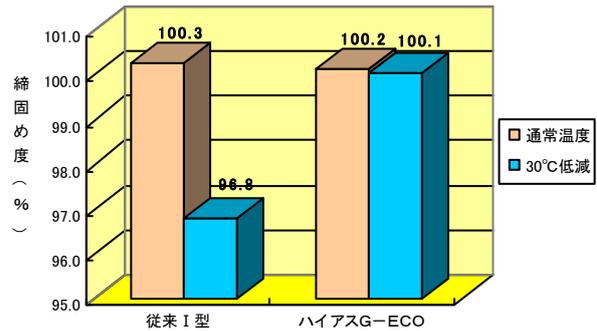


図-1 従来Ⅰ型とハイスG-ECOの締固め度

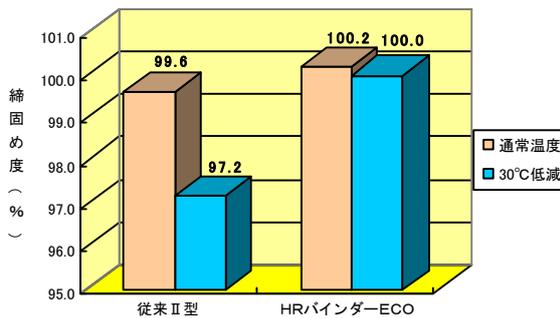


図-2 従来Ⅱ型とHRバインダー-ECOの締固め度

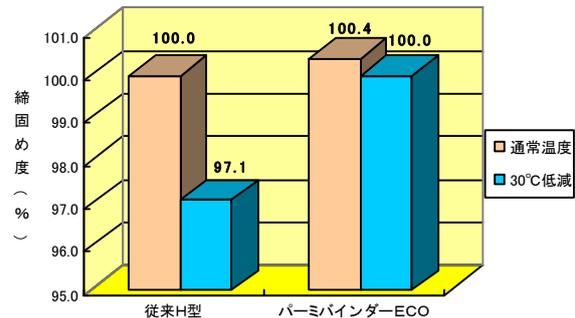


図-3 従来H型とパーミバインダー-ECOの締固め度

5. アスファルト混合物のマーシャル安定度特性

次に4.と同じ温度条件で、アスファルト混合物のマーシャル安定度についてまとめると、Ⅰ型は図-4、Ⅱ型は図-5、H型は図-6の通りとなる。

これらの図より、従来のポリマー改質アスファルトを用いた混合物は、温度を30℃低減させるとマーシャル安定度の低下が確認された。

これに対しECOバインダー・シリーズは、通常温度より30℃低減した場合でも、マーシャル安

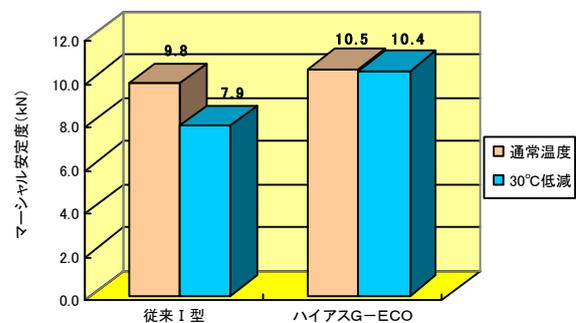


図-4 従来Ⅰ型とハイスG-ECOのマーシャル安定度

定度の低下は殆ど見られず、通常温度とほぼ同等のマーシャル安定度を有することが確認された。

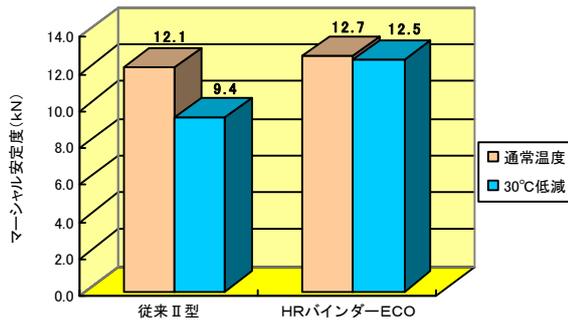


図-5 従来Ⅱ型とHRバインダーECOのマーシャル安定度

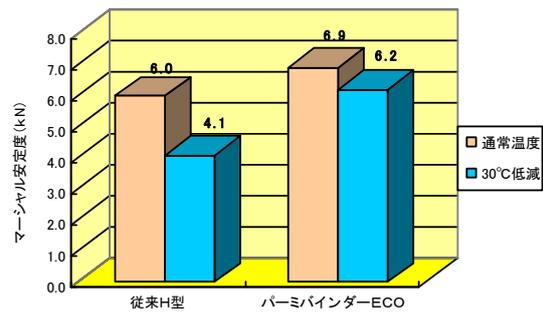


図-6 従来H型とパーミバインダーECOのマーシャル安定度

6. アスファルト混合物の動的安定度特性

次に同様の温度条件で、アスファルト混合物の動的安定度についてまとめると、Ⅰ型は図-7、Ⅱ型は図-8、H型は図-9の通りとなる。

これらの図より、従来のポリマー改質アスファルトを用いた混合物は、温度を30°C低減させると動的安定度の低下が確認された。

これに対しECOバインダー・シリーズは、通常温度でも30°C低減した場合でも、動的安定度の低下は殆ど見られず、通常温度とほぼ同等の動的安定度を有することが確認された。

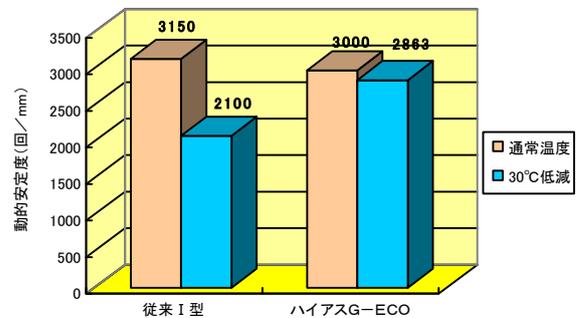


図-7 従来Ⅰ型とハイアスG-ECOの動的安定度

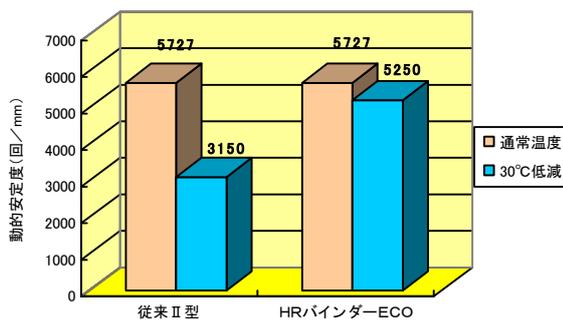


図-8 従来Ⅱ型とHRバインダーECOの動的安定度

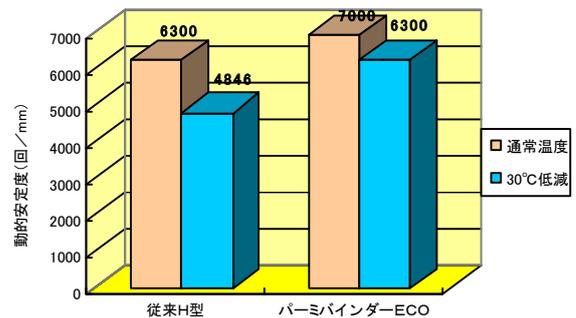


図-9 従来H型とパーミバインダーECOの動的安定度

7. ECOバインダー・シリーズの効果

以上の性状比較試験によって確認されたECOバインダー・シリーズを用いた混合物の特性を踏まえ、ECOバインダー・シリーズの主な特徴をまとめると、以下の通りとなる。

7. 1 急速な温度低下が懸念される施工環境への適用

通常温度においても 30℃低減においても、混合物性状に低下が見られない E C O バインダー・シリーズは、寒冷期や薄層舗装など、混合物の急速な温度低下が懸念される施工環境において、混合物の品質確保に効果がある。

混合物を従来の通常温度で製造し、現場に運搬あるいは敷均された過程で、混合物の温度が従来よりも 30℃低下した状態でも、その後の転圧作業を速やかに行えば、適正な品質が確保できる。

7. 2 温室効果ガス排出抑制効果

(1) の施工条件以外においては、「2. E C O バインダー・シリーズとは」の項でも述べたように、混合物の製造温度を低減させることにより、温室効果ガス排出量を従来技術に比べ抑制することができる。

E C O バインダー・シリーズは従来のポリマー改質アスファルト（当社製品）に比べ、製造混合・敷均し・初期転圧温度で約 30℃、二次転圧温度で約 20℃程度低減可能である。

特に製造時の混合温度を 30℃低減させることは、アスファルト混合物製造時に発生する温室効果ガスの排出量を、約 15%抑制する効果がある。

7. 3 施工後の交通開放所要時間の短縮

ポリマー改質アスファルトを用いた混合物は、ストレートアスファルトを用いたものに比べ、製造時および施工時の温度と同様、施工後の混合物温度も高いため、交通開放温度に至るまでに要する時間も長くなる傾向がある。

特に既設舗装の路面温度が 40℃を超える様な夏期においては、その傾向がより顕著であり、早期の交通開放を必要とする場合は、舗装表面の冷却等で苦慮することもある。

E C O バインダー・シリーズは、先の温度対比表に示した通り、ストレートアスファルトを用いた混合物と概ね同程度の温度で製造および施工することが可能であり、従来のポリマー改質アスファルトに替えて活用することで、早期の交通開放に寄与する。

7. 4 アスファルト混合物運搬距離の延長

E C O バインダー・シリーズを用いた混合物は、従来のポリマー改質アスファルトに比べ、使用可能な温度領域が広い。この特性を利用することで、アスファルト混合物の運搬においては、従来の運搬可能距離を延長することも可能となる。

8. おわりに

E C O バインダー・シリーズは昨年度開発され、今年の 5 月に N E T I S に登録されたばかりの比較的新しい技術である。よって、室内における性状試験では、その有効性が十分実証されている一方で、実路での試験施工による性能確認については現時点では十分とは言えず、今後試験施工をさらに進めていく必要がある。

スムーズボード工法 高欄リニューアルの事例

株式会社大林組 生産技術本部 特殊工法部 副部長 福井 真男
副課長 ○小松 雄一

1 はじめに

鉄道高架橋のコンクリート製高欄は経年劣化が進み、補修が必要となっているものが多い。一方、車両の高速化に伴い、防音対策として嵩上げが必要になる事例もある。このような中で、既設高欄を撤去せずに利用することを前提に、嵩上げが可能で高欄の耐久性向上を図る高欄改修工法を開発した。本工法は、薄型高靱性セメントボード（スムーズボード）を用いたコンクリート表面保護工法（以下、スムーズボード工法）を高欄改修に適用したもので、既設高欄を撤去しないため環境負荷の軽減に資する工法である。

2 開発経緯

完成から数十年が経った鉄道高架橋のブロック積みを含むコンクリート製高欄は、中性化などの経年劣化や列車の振動により、剥離・剥落の恐れが出てきているものがある。

近年、既設高欄を撤去して新たに樹脂製品やコンクリート二次製品の高欄に取り替える工法も出てきているが、撤去された部材の産廃処分に要する環境負荷と費用が大きく、また解体撤去時には、振動・騒音・粉塵の発生で周辺環境に悪影響を与える。また、簡易な補修方法として部分的に表面保護材を塗布する方法が行われているが、コンクリートの劣化や鉄筋の腐食進行に対しては根本的な解決に至っていないのが現状である。

このような背景をもとに、既設高欄を最大限有効利用するためにスムーズボード工法を利用した既設高欄改修工法（以下、本工法）を開発した。本工法の概要を図-1、2に示す。

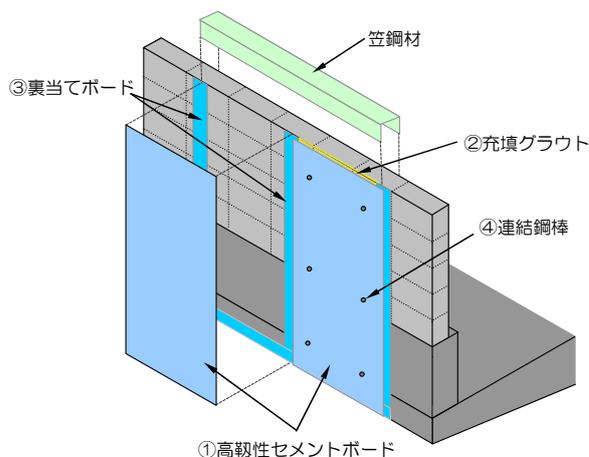


図-1 本工法の概要

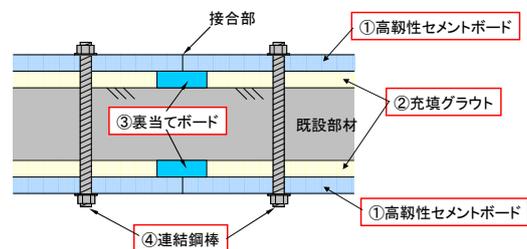


図-2 本工法の概要（断面図）

3 構造概要

3. 1 本工法の構造

本工法は、既設高欄を高靱性セメントボードで挟み込み、グラウト材を介して一体化させる構造である。主部材は、「①薄型高靱性セメントボード」、「②充填グラウト」、「③裏当てボード」、「④連結鋼棒」から構成される。

「①高靱性セメントボード」は、風荷重による水平荷重に対する応力材として、また耐久性・耐候性に優れた表面保護材として機能する。

「②充填グラウト」は、無収縮モルタルを使用する。既設高欄とセメントボードの隙間に充填することで、高靱性セメントボードと既設高欄を一体化する。

「③裏当てボード」は、ボードを接続するとともにグラウト材の充填領域（ $t=8\text{mm}$ ）を確保する。

「④連結鋼棒」は、既設高欄と高靱性セメントボードを機械的に連結し、構造の一体化を図る。

3. 2 スムースボードとは

本工法の主要部材であるスムースボードは、抄造法（和紙のすきとり原理）から作られた高靱性繊維補強セメントボードで、以下にその特長を示す。

- 1) 高強度ビニロン繊維を混入した高い靱性を有するセメントボードである。
- 2) ボード背面にメッシュ状の凹凸を付け、吸水調整剤を塗布することによりコンクリートおよびモルタルとの付着耐久性に優れている。
- 3) 板厚が薄い（ $t=8\text{mm}$ ）ため現場での切断、孔あけ等の加工が容易である。
- 4) 軽量（ $1820 \times 910 \times 8$ で 23kg/枚 ）のため施工性に優れる。
- 5) 工場製品として品質を管理できるため、性能が一定に保たれる。

スムースボードを写真-1に、材料試験結果を表-1に示す。

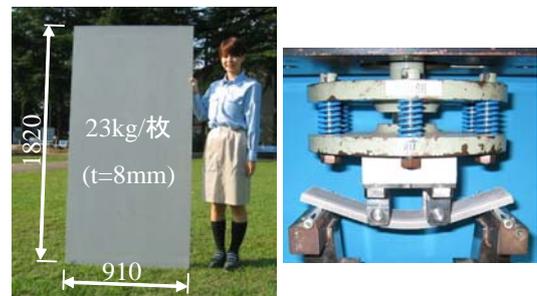


写真-1 スムースボード

表-1 材料試験結果

項目	試験方法	測定方法	試験結果
曲げ強度 (N/mm^2)	JIS A 1408-2000	繊維配向方向	38.5
圧縮強度 (N/mm^2)	JIS K 6911	繊維配向方向	88.5
引張強度 (N/mm^2)	直接引張	繊維配向方向	14.3
付着強度 (N/mm^2)	熱冷繰返し試験後 建研式		2.5

4 本工法の特長

4. 1 環境負荷の軽減

本工法は、既設高欄の大部分を残し利用することで、解体作業に生じる騒音・振動・粉塵が低減される。またコンクリートガラ等の産廃発生量は全撤去した場合に比べ、大幅に削減される（図-3 参照）。風荷重などの水平荷重は、壁全体で分担して負担するので、基本的に床版補強の必要がない。

4. 2 耐久性の向上

スムーズボードと既設高欄が一体化することで、コンクリート劣化部の剥離・剥落を防止できるとともに高欄耐力の回復・向上が図れる。またセメントボードが表面保護することで、コンクリートの劣化および内部鉄筋の腐食進行を抑制できる。スムーズボードの耐久性能試験結果を表-2に示す。

4. 3 施工上のメリット

大掛かりな解体撤去作業や施工に大型重機が必要ないため、条件によっては営業線に支障なく昼間作業が可能である。

4. 4 その他

コスト面では、床版補強に対する費用の軽減、産廃処分費用の大幅な削減になり、工場にて管理された製品を使うことで、均一な性能確保や美観の向上が図れる。

5 高欄の嵩上げ工事への適用

列車の高速化を計画する際には、その防音対策として高欄を嵩上げすることが必要となる。そこで本工法では、スムーズボードを上部に延長し、ボードの間に軽みぞ形鋼を入れることで剛性を確保し、嵩上げが可能な構造としている。更に嵩上げ部の中詰め材に発泡材を用いることで、ボードの局所的な変形を抑えるとともに嵩上げ部の軽量化を図っている。また、高欄基部にL型鋼材とあと施工アンカーを設置することで、増加する風荷重を円滑に床版へ伝達できる構造とした。嵩上げ構造を図-4、適用例を写真-2、3に示す。

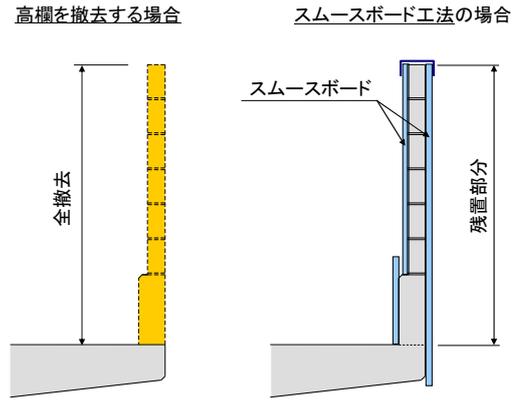


図-3 産廃発生量の比較

表-2 耐久性能試験結果

比較項目	打放しコンクリート	高靱性ボード表面保護
中性化試験 (深さmm) 注2)	屋外暴露27年相当 4.3	屋外暴露27年相当 0.0
塩分拡散係数 (cm ² /年)	1.14	0.2
凍結融解試験 (600サイクル後)	相対動弾性係数 92%	相対動弾性係数 95%
透水係数 (cm/sec)	3.3×10^{-11}	0.8×10^{-11}

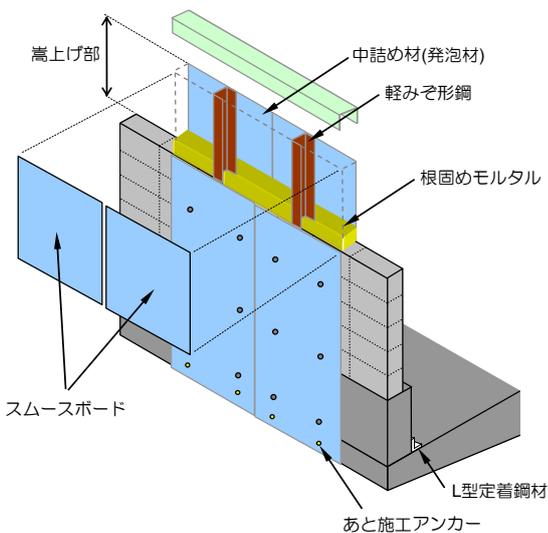


図-4 嵩上げ構造



写真-2 嵩上げの適用例 (外観)



写真-3 嵩上げの適用例 (軌道内)

6 基本性能の確認試験

嵩上げした場合を想定し、設計風荷重 $W=3.0\text{kN/m}^2$ （風速 50m/s 相当）に対して十分な構造性能および耐力を確認することを目的として実物大試験を行った。試験では風荷重を集中荷重とし、嵩上げ部の設計荷重（ $P1=6.2\text{kN}$ ）および高欄全体の設計荷重（ $P2=15.6\text{kN}$ ）をそれぞれの中央部に載荷した。試験状況を写真-4に、載荷位置を図-5に示す。

嵩上げ部では図-6に示すように設計荷重 $P1$ の1.2倍でも弾性状態の挙動を示した。また高欄全体としては図-7に示すように設計荷重 $P2$ に対して最大荷重 $P=34.8\text{kN}$ を示し、2.2倍の耐力（風速換算で 75m/s 相当）があった。以上の結果から十分な構造性能を有していることが確認された。

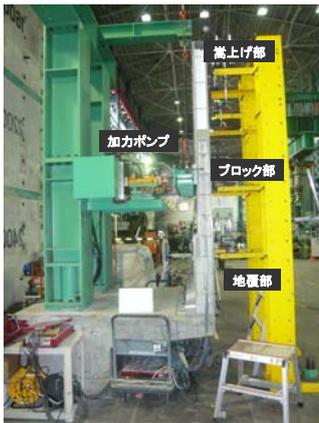


写真-4 実物大試験

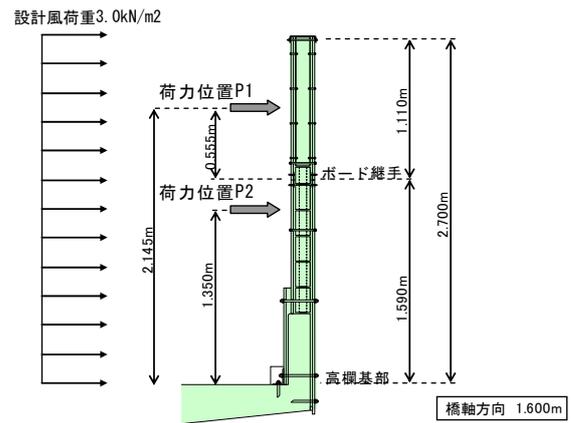


図-5 載荷位置

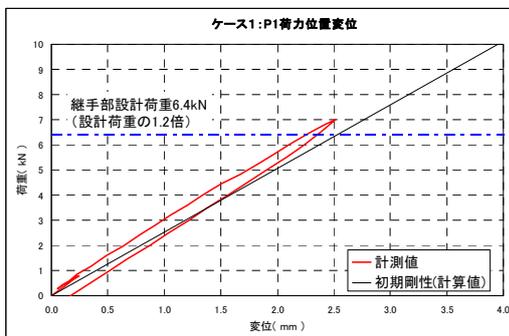


図-6 嵩上げ部載荷時の荷重-変位関係
（載荷位置 P1）

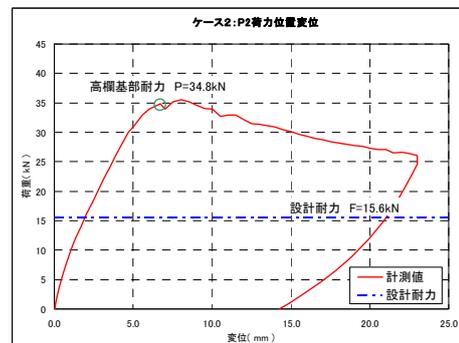


図-7 全体載荷時の荷重-変位関係
（載荷位置 P2）

7 おわりに

既設高欄を全て撤去する新設工法と比較し、スムーズボードを用いた本工法は既設高欄を有効に利用することで環境負荷を軽減し、床版補強せずに高欄の耐力回復・向上ができる。また耐久性・耐候性に優れた高靱性セメントボードが表面保護材として機能することで既設構造物の長寿命化が期待でき、安全面・コスト面で有利に働く工法であると考えている。今後も既設部材を有効利用できるスムーズボード工法を高欄リニューアル工事に適用したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 滝澤, 人見他: PVA 繊維補強高靱性セメントボード, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集VI-344, 2002
- 2) 早川, 野村他: 鉄道壁高欄を対象とした表面補強工法の実験, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集VI-103, 2008
- 3) 野村, 土田他: 高じん性セメントボードを用いたリニューアル工法による鉄道壁高欄の改修工事, コンクリート工学 VOL. 47, No. 3

掘削廃棄物の選別処理作業における環境保全対策

佐藤工業(株) 環境・多角化事業推進部 石橋 稔

1 はじめに

近年、建設工事の一環として、埋設廃棄物等の処理対策を実施するケースが見られる。同種の工事の多くは、周辺環境に対する影響が懸念される汚染物質を取り扱うものであり、このため社会的関心も高く、作業管理や環境管理に関して高いレベルが求められる。

こうした中、今回「吉野瀬川廃棄物対策工事」において、廃棄物の選別作業による環境影響防止等を目的に、負圧管理の大型仮設テントの設置および発生ガス・粉塵などの作業環境モニタリングシステムをはじめとする環境保全技術を導入している。本報告では、その概要について報告する。

2 工事概要

2.1 主な工事内容

工事は、放水路工事に先立ち、当該場所に存在する埋設廃棄物（一部にダイオキシン DXN 類による特別管理産業廃棄物を含む）を掘削除去し、選別等前処理を行い場外の処理・処分施設へ搬出するものである。主な工事内容を以下に示す。

工事名：基幹河川改修工事 20-1 工事

（通称・吉野瀬川廃棄物対策工事）

場 所：福井県越前市家久町

発注者：福井県丹南土木事務所

工 期：平成 20 年 12 月 19 日～平成 24 年 3 月 15 日

廃棄物掘削量：一般廃棄物 27,660m³

特別管理産業廃棄物 520m³

廃棄物前処理：傾斜型振動篩施設他 一式

鉛直遮水：地中連続壁（柱列式φ1,000）102 本

鋼矢板工 982 枚



写真一 1 施工区域全景

2.2 施工上の特徴

本工事は、いわゆる環境対策工事であり、環境影響を未然に防止するための対策自体が工事目的となっている。このため、廃棄物の撤去作業に当たって、廃棄物自体の飛散流失防止に加え、廃棄物に由来する汚染拡散の防止に、各種の配慮をしている。具体的には、掘削に当たって、保有水（廃棄物内部の汚染水）拡散防止のため周囲を矢板等による遮水を行ない、保有水を揚水、別途設置する水処理施設で処理後、公共用水域に放流している。

また、特別管理産業廃棄物の掘削および掘削廃棄物の選別に際して、粉塵等による汚染物の拡散など環境影響防止のため、作業区域をテントで覆い、集塵機による負圧状況下で実施している。

なお、掘削した一般廃棄物は、木くず類、ビニル・廃プラ類、金属類、ガラス瓦礫類、コンクリートガラなど、様々な廃棄物が土砂と混合した状態になっている。これらは、廃棄物量が約 27,000m³と

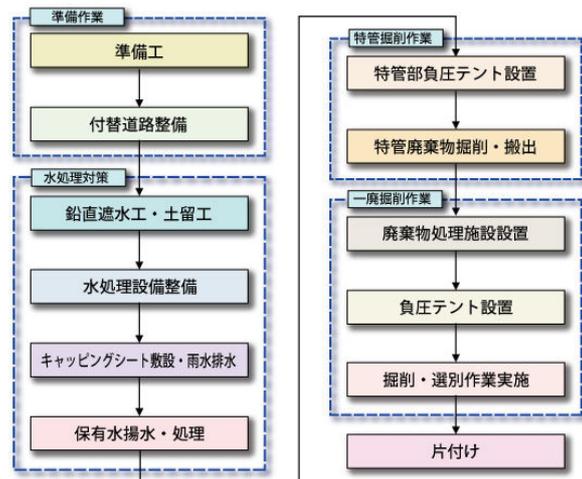
大量に存在することから、主な搬出先として近隣行政の設置している最終処分場への搬入、受入れ条件として、可燃物や粗大物等の混入を避けるものとされており、このため、場内における選別作業を実施しているものである。当該作業に当たって、施設自体の稼動による騒音・振動も含め、周辺生活環境に影響を与えないよう対策を講じることが最も重要なポイントとなる。

3 選別処理作業における環境保全対策

3. 1 負圧管理の大型仮設テントの設置および作業管理区域の設定

作業実施にあたり、特に廃棄物選別作業の振動篩施設周辺で粉じんの発生等が懸念された。そこで、これら施設に加え選別処理作業ヤード全体を仮設テントで覆い、選別作業を実施することとした。

仮設テントは幅 27m 長さ 67m 高さは中に大型の機械を納める必要から 10m とした。また、場内の粉じん対策として、吸気ダクトを発じん源近くに設置し、粉じんが拡散する前に集塵するものとした。



図一 1 施工フロー



写真一 2 負圧管理大型テント内に設置した選別処理施設

また、ダイオキシン類を含む有害な廃棄物を扱うことから、作業にあたって、保護具等の使用や粉じんの飛散防止措置等についての知識・経験を有する者を常時作業現場に配置し指揮にあたるほか、作業開始前に汚染物質の危険性、保護具の使用方法及び作業方法等についての教育を行なっている。さらに、廃棄物の取り扱い作業に当たって、廃棄物の特性及び作業の特徴を踏まえた上での単位作業場所を設定している。この中で、環境影響の発生抑制（発生源対策）、当該作業従事者以外の部外者の侵入防止、作業員保護（作業環境の保全）の点から、特に環境保全対策・管理への配慮が必要とされるエリアを特定し、作業管理区域としている。

この作業管理区域では、汚染状況に応じて、防じんマスク、粉じんの付着しにくい作業着などを適宜着用し作業員の安全確保に努める。テントから外に出るときはエアシャワーを備えたクリーンルームを通過することを義務付ける。定めた手順ののっとり正しくエアシャワーを使用することで粉じん類のテント外への持ち出しを低減する。



写真一 3 保護具着用状況

3. 2 作業環境管理および環境計測

作業対象現場は、焼却施設解体工事における労働安全衛生法施行令第21条で規定される「作業環境測定を行うべき作業場」には該当しないが、ダイオキシン類を含む廃棄物を取り扱うため、作業場の特性を考慮し、現場における管理項目（測定項目）とその管理手順（測定とその評価）について、同施行令に準じた対応としている。具体的には、作業環境の測定及び評価を行い、その結果に基づき作業環境の改善を図っている。

3. 2. 1 作業環境測定・管理項目

廃棄物等の掘削運搬における作業環境測定は、日常監視及び個人暴露量調査を行なっている。

日常監視の測定は、有害ガスおよび粉じんについて、複合ガス検知器及びデジタル粉じん計による測定を行っている。また、それ以外に、事前の調査などより検出されることが予想されるVOCsガスについて、ガス検知管により発生の有無を確認している。

個人暴露量調査は、年2回実施することで定期監視を行なうこととしている。なお、個人暴露量調査は、作業員の1日の作業における粉じん及び有害ガス（代表的なVOCsガス：ベンゼン、ジクロロメタン）の暴露量を把握するために実施している。

表—1 作業環境測定・管理項目と管理基準値

番号	項目	管理基準値	管理基準値×1.5	備考	
1	硫化水素	2.5ppm 未満	3.7ppm 未満	作業環境評価基準の基準値は5ppm 未満	
2	有害ガス等	酸素	19.5%	酸素欠乏症等防止規則の基準値は18%以上(一般的に酸素欠乏環境とされるのは19.5%以下)	
3		一酸化炭素	25ppm 未満	37.5ppm 未満	日本産業衛生学会許容濃度等の勧告値は50ppm 未満
4		メタンガス	2.5%未満	3.7%未満	日本産業衛生学会許容濃度等の勧告値は5%未満
5		粉じん	1)E=3.0/(1.19Q+1) 上記数式にて算定 または 2)2.5mg/m ³ 未満のうち低値	1)左記の1.5倍値 または 2)3.7mg/m ³ 未満のうち低値	1)作業環境評価基準(E=管理濃度、Q=粉じんの遊離ケイ酸含有率(%)) 2)じん肺法、粉じん障害防止規則日本産業衛生学会勧告値は5mg/m ³ 未満。
6	VOC	1,2-ジクロロエタン	5ppm 未満	7 ppm 未満	管理基準値については、それぞれ日本産業衛生学会許容濃度等の勧告値の1/2
		1,1,1-トリクロロエタン	175 ppm 未満	260 ppm 未満	
		1,1-ジクロロエチレン	2 ppm 未満	3 ppm 未満	
		シス-1,2-ジクロロエチレン	100 ppm 未満	150 ppm 未満	
		ジクロロメタン	50 ppm 未満	75 ppm 未満	
8	臭気(におい)	(20)	(30)	臭気指数について、試験掘削におけるキャリブレーションを行い管理基準値を定める 管理基準値は参考値とする。	
9	気温	(32℃)		熱中症予防のための基準値を定める	

3. 2. 2 連続環境計測：作業環境モニタリングシステム

仮設テント内は、集塵機による換気を行っているものの、閉鎖空間となるため、作業により発生する環境影響要因に対して十分な配慮が必要である。特に、今回の作業では、埋設廃棄物を処理対象としており、その性状が掘削箇所により様々に変化する。このため、選別等処理作業により想定外に作業環境に変動する危険性があることから、作業環境の把握は本来連続して実施すべきである。

こうした状況を踏まえ、今回、先述の手計りの日常監視に加え、これを補完するものとして、自動計測センサーによる連続環境計測「作業環境モニタリングシステム」を導入している。

作業環境モニタリングシステムは、粉じんおよび有害ガス等のセンサーを、作業員が集中する手選別ライン近傍に



写真—4 自動計測センサー

設置し、24時間の連続監視を行なうとともに、リアルタイムの計測データを、監視室のパソコンで表示する。設定した管理基準値を超過した場合、現場にて警報が発せられる。また、パソコンのモニターはWEB上で閲覧可能であり、工事管理者や遠隔地にあるJV構成会社の環境管理部署でも、常時モニタリングしている。

なお、粉じん等場外への拡散防止効果の確認として、負圧が確保されていることを、仮設テント内・外に設置した気圧計の差圧およびテント内への風速の状況を合わせて計測している。

4 その他の環境保全対策：放流水モニタリングシステム

本工事では、廃棄物内部の保有水等の廃棄物処理対策全般で生じる汚濁水について、水処理施設で計画処理水質を満たす水質に処理した上で、公共用水域に放流している。その浄化処理の状況について、定期的な水質分析に加え、一部項目について、作業環境と同様に連続計測とモニタリングのシステムを導入している。

また、万一の際にも公共用水域に汚濁物質を流出させないように、処理水についてダイオキシン類に関連する管理基準である濁度等が基準値を超過した場合、WEBを経由して担当者の携帯メールなどにリアルタイムで発報するシステムとしており、迅速な対応を可能としている。

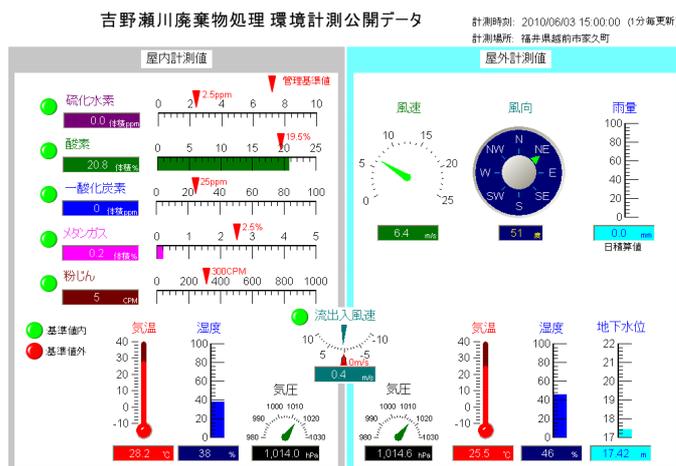
5 まとめ

環境対策工事では、周辺環境の保全と作業環境の保全を確実にこなうことが重要である。このために、各作業所の抱える環境影響要因を適切に把握するとともに、現実の環境状況がどのような状態にあるのか、その変化も含めリアルタイムで適切に把握することが必須である。そうした現場で生じている環境に関する情報をいち早く把握することで、効果的な保全対策の実施につながる。

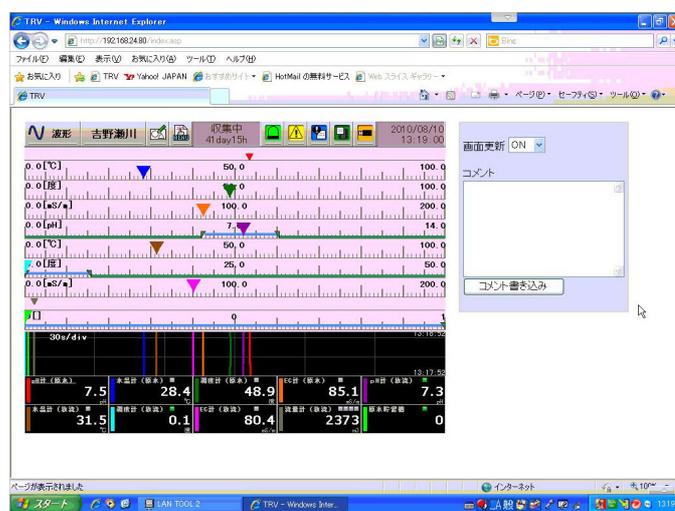
今後、同種の工事において、今回導入した作業環境モニタリングシステム等のツールが活用され、適確な環境の状況を把握することで、より適切な環境保全対策の実施につながれば幸いである。

6 謝辞

今回の作業環境モニタリングシステム等の導入・実施に当たって、ご尽力・ご助言いただきました福井県丹南土木事務所、(株)建設技術研究所の皆様、この場を借りて感謝の意を表します。



写真一五 作業環境モニタリング画面



写真一六 放流水質モニタリング画面

環境にやさしいPET セグメントの開発と実用化

清水建設株式会社 土木技術本部 シールド統括部長 ○後藤 徹
清水建設株式会社 土木技術本部 シールド統括部 主任 林 裕悟

1 はじめに

現在、シールド工事で使用される覆工体（セグメント）の材料は、RC系と鉄鋼系に大別される。RC系のセグメントは経済的ではあるが、元来、曲げ靱性と耐衝撃性が低く施工時のひび割れの問題が懸念され、覆工厚さが薄い外径3m以下の小口径トンネルや耐久性を要求される内水圧作用トンネルには、従来から不向きとされていた。一方、鉄鋼系のセグメントはこれら施工時の不具合は防止できるが、製造時に発生するCO₂量に起因する環境負荷低減や鉄鋼原料の高騰による建設コストの圧迫などに課題があった。

筆者らは、従来は廃棄処分となるPETボトルを溶融・成型した再生PET繊維に着目し、これを混入して曲げ靱性を高めたRC系の新型セグメントを開発・実用化した。これにより、施工時に懸念されるひび割れを抑制して、従来は不向きとされた小口径や内水圧トンネルへのRC系セグメントの適用を拡大し、環境負荷低減やPETボトルのリサイクル、建設コストの低減に大きな効果を上げることが可能とした。本開発技術は、この成果により平成21年度の土木学会環境賞を受賞している。

2 PET 繊維に関する各種実験

2. 1 PET 繊維

開発に使用したPET繊維は、廃PETボトルを洗浄・粉碎後、溶融して押し出し成型したものである。各種の形状と太さ・長さを比較実験した結果、太さ0.7mm・長さ40mmで、表面にインデント加工（凸凹を付ける加工）したものを選定した。

引張り強度は450N/mm²以上、比重は1.32g/cm³である。

再生PET繊維の基本特性は、以下のとおりである。

- ・親水性：コンクリートとの付着のためには、表面が親水状態にある必要がある。親水性評価の試験で、他の繊維より親水性が高いことを確認した。
- ・耐アルカリ性：コンクリートに混入するため、耐アルカリ性が必要である。PET繊維をアルカリ水溶液（pH12.5）に浸漬させた後に引張り試験を行い、強度劣化のないことを確認した。
- ・燃焼特性：将来的に道路トンネルに適用する場合、火災時に有毒ガスを出さないことが求められる。耐火実験（RABT60分）で爆裂防止効果があること、JIS K 7217 プラスチック燃焼ガスの分析により有毒ガスの発生がないことを確認した。

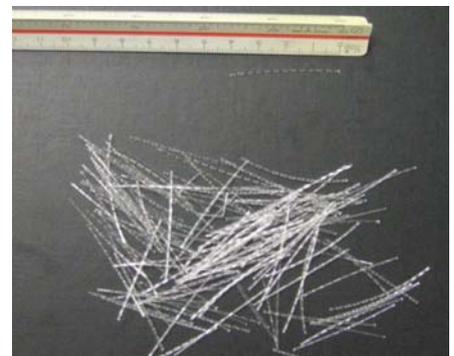


写真-1 PET 繊維（φ0.7mm、L=40mm）

2. 2 性能確認実験

2. 2. 1 平板実物大試験体による曲げ載荷試験（幅1m×長さ4m×厚さ0.4m）*1

実際のトンネルを想定した試験体で、混入量の差による変位やひび割れ幅の関係を確認した。



写真-2 平板実物大曲げ試験状況

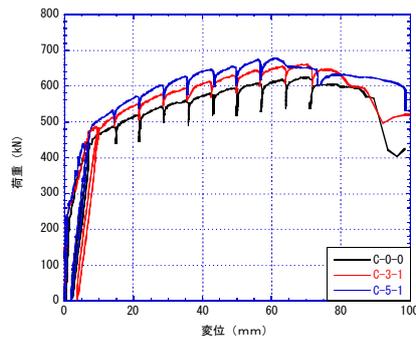


図-1 荷重-変位の関係

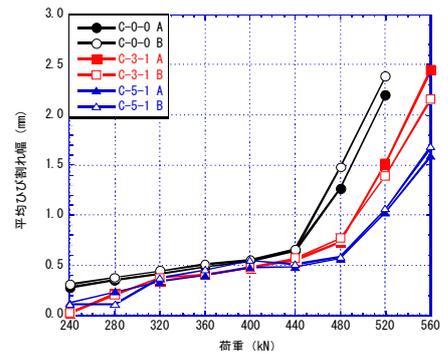


図-2 荷重-平均ひび割れ幅の関係

実験で以下の効果を確認した。

- ①繊維混入により、降伏荷重と最大荷重が増加する。
- ②ひび割れ発生直後と鉄筋降伏後に、繊維混入によるひび割れ幅の抑制効果がある。

2. 2. 2 曲げ靱性と耐衝撃性試験 (幅 0.1m×長さ 0.4m×厚さ 0.1 m) *2

トンネルの施工時の衝撃を想定して、混入量の差による耐衝撃性を確認した。

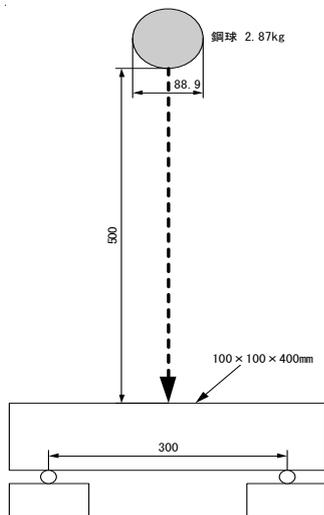


図-3 衝撃落下試験状況

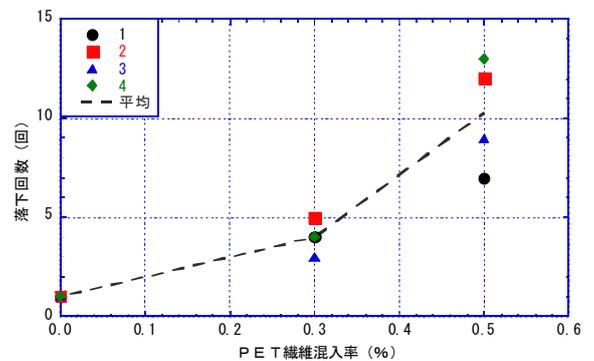
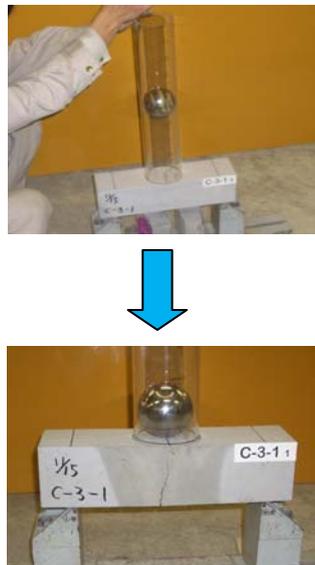


図-4 試験体が破断しないで耐えた回数

実験で以下の効果を確認した。

- ①繊維混入により、曲げ靱性は大幅に増加し JHS 730-2003 の基準を満足する。
- ②0.5vol%の繊維混入で耐衝撃性は 5.5 倍となり取扱い不備でのひび割れを防止できる。

これらの実験結果より、セグメントに混入する場合の量は、コンクリート容積に対し 0.5% (6.6kg/m³) を選定した。

3 使用実績

3. 1 東南幹線シールド工事

本セグメントは、既に都水道局のシールド工事に適用し掘進を終了している。

工事件名：港区港南五丁目地先から品川区八潮一丁目間送水管(1800mm)新設工事(シールド工事)

工事内容：一次覆工(シールド築造工) 外径 2710mm (t=130mm)、延長 2393.8m

この工事では、掘進とセグメント組立てを併行して行う【同時施工方式】を採用した。一般のシールド工事ではリング状に組んだセグメントに掘進反力を取る【逐次施工方式】であるのに対し、

ここでは常にリングを形成する過程の個々のピースに掘進反力を取るため、セグメントの欠け・ひび割れに過酷な条件であった。

3. 1. 1 施工結果

表-1 に掘進出来高表を示す。平成 21 年 5 月に掘進を開始し、6 月に段取り替えを終え、7 月から本掘進を開始した。最大月進量は 562.8m、最大日進量は 24.0m を記録し、平成 22 年 2 月に到達した。一次覆工の本掘進区間は R=60m、75m、100m を含めて 5 ヶ月で平均約 400m/月強と、資材運搬の制約がある小口径シールドでも高速掘進を実現した。



写真-3 PET 繊維混入 RC 系セグメント

セグメントは、幅 1200mm で厚さ 130mm (B/T=9.23) という薄さであるが、施工時荷重によるひび割れや掘進組立同時施工での繁忙な切羽作業による欠けも防止することができ、坑内の漏れも減少できた。写真-4 に一次覆工後の坑内写真を示す。

3. 2 他工事への展開

この PET セグメントは、次に川崎市の放水路トンネル（内水圧作用、外径 9.30m、延長 2005m）に適用する。セグメントは、2010 年 8 月より製造を開始する。

なお、本技術はシールドのセグメント以外へは、トンネルの二次覆工の剥落防止（福岡市：下水シールド工事）や橋脚のひび割れ防止（JR 西日本：余部橋梁改築工事）などにも展開されている。

表-1 掘進実績表

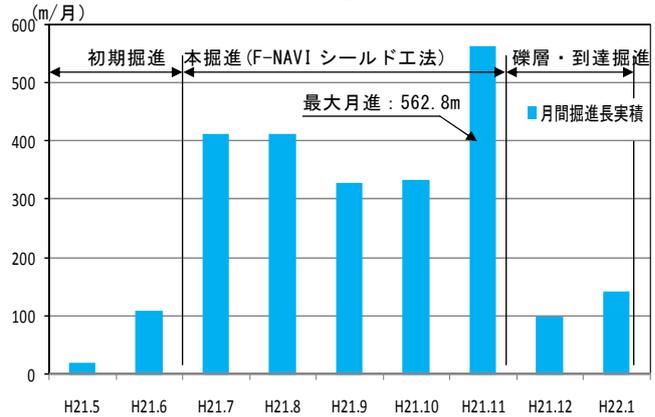


写真-4 都水道局：東南幹線セグメント組立て状況

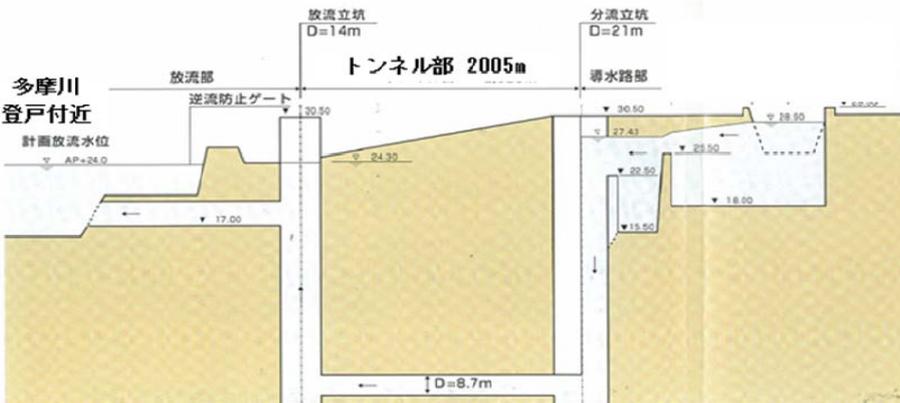
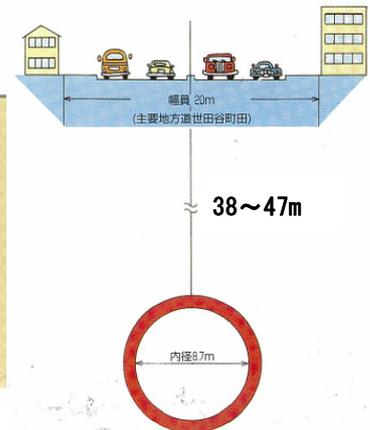


図-5 五反田川放水路トンネル断面図



4 環境負荷低減効果

このPETセグメントは、従来の鉄鋼系セグメントに替えて適用することにより、環境負荷低減(CO₂低減)に大きな効果がある。日本建築学会：LCAデータベースにより、鋼材→2.278 kg-CO₂/kg, コンクリート→0.195 kg-CO₂/kg, 鉄筋→1.263 kg-CO₂/kg のCO₂排出量を設定して、2工事での環境負荷低減効果を算出すると以下となる。

表-2 環境負荷算出表

工事名	工事規模	変更提案	環境負荷低減効果(低減%)	PETボトルのリサイクル量
都水道：	φ2.71m L=2394m	鉄鋼系→RC系	2,303,895kg-CO ₂ (62.6%)	59万本(500mlボトル換算)
東南幹線 1594リング	現設計：鋼材999kg/リング+ホルトなど→2310 kg-CO ₂ /リング 変更後：鉄筋81 kg/リング+Con1.26m ³ /リング+ホルトなど→891kg-CO ₂ /リング			PET繊維：15,940kg使用 27g/本、-2.593 kg-CO ₂ /kg
川崎市： 五反田川 1159リング	φ9.30m L=2006m 現設計：鋼材5479kg/リング+Con 11.98m ³ /リング+ホルトなど →18,301 kg-CO ₂ /リング 変更後：鉄筋2224 kg/リング+Con 12.72m ³ /リング+ホルトなど →9,009kg-CO ₂ /リング	RCと鉄の合成系 →RC系	11,021,438kg-CO ₂ (52.0%)	360万本 (500mlボトル換算) PET繊維：97,356kg使用 27g/本、-2.593 kg-CO ₂ /kg

2工事での合計では、CO₂量約13,325tonの削減とPETボトル約420万本のリサイクルを可能としている。このCO₂量は、新幹線で東京～新大阪間を1,220往復した時のCO₂量に匹敵する膨大な量となる。^{*3}(新幹線の1車両、1323座席に平均65%の乗車率で東京～新大阪間を515kmとした)

5 おわりに

今回開発したPET繊維混入セグメントは、高水圧化におけるジャッキ推力増加においてもひび割れを発生させることはなく、高速掘進での繁忙な切羽作業でも割れ欠けの防止が実証された。また、大きな環境負荷低減効果もあるなど、シールドセグメントへの適用の拡大が期待できる。

今後は、今回のような全断面が圧縮応力主体になる大深度(高水圧)の地山だけではなく、浅深度での沖積地盤にも対応出来るように改良を加えたいと考える。

また、そのひび割れ防止効果を活かしてシールド工事以外でも本技術の適用範囲をさらに拡大し、環境負荷の低減に寄与したいと考える。

参考文献

*1 後藤 徹 他「PET繊維を混入したRCはりの曲げひび割れ性状」、

土木学会第63回年次学術講演会、2008年9月

*2 高橋 圭一 他「PET繊維を混入したコンクリートの曲げじん性と耐衝撃性」、

土木学会第63回年次学術講演会、2008年9月

*3 柴原 尚希 他「LCAを用いた航空と新幹線のCO₂排出量の比較」

第17回地球環境シンポジウム、2009年9月

メンテナンス対応型消雪パイプブロックの改良について

株式会社興和 水工部次長 小谷野 保
株式会社興和 水工部課長 大橋 勝人
株式会社興和 水工部課長 桑原 賢二

1. はじめに

消雪パイプブロック(メンテナンス対応型) (NETIS 登録番号 HR-080003-V)は、従来のプレキャスト消雪パイプブロックの改良型として 2007 年に開発され、維持管理・施工性・安全性等の向上や VP 管の製作が可能になり、国道において道路部のセンターや路肩部を中心に施工され普及してきた。

このたび、消雪パイプブロック(メンテナンス対応型)の更なる改良として、富山市内で運用されているライトレール(Light Rail Transit : LRT)の軌道脇に設置する形式を開発したので、本報告では、その開発コンセプトや現場設置事例を紹介する。

2. 消雪パイプブロック(メンテナンス対応型)について

従来型ブロックは、コンクリート躯体から突き出した散水管の管端(凸部)を前のブロックの受け口(凹部)へ順番に差し込んで接続していく構造となっている。したがって、ブロック躯体、散水管やノズルに不具合が発生した場合、その不具合が発生した 1 本のみを抜き取って新しいブロックに置き換えるには、どうしても長さ調整分のコンクリート現場打設部分が発生してしまう。もともと配管作業やコンクリート養生期間のための交通規制が厳しい路線に適用されるプレキャスト製品であるにもかかわらず、メンテナンスの際にはコンクリート養生期間が必要となっていた。

2.1 維持管理性の向上

図-1 に比較を示す通り、新型ブロックでは、ブロックの垂直据付撤去が可能となるため、設置したブロックに不具合が発生した場合や移設する場合は、従来型には不可能だった 1 本だけの交換が可能となる。また、既設現場打設消雪パイプの修繕の際に活用した場合、コンクリート打設範囲を最小限に抑えることができる。

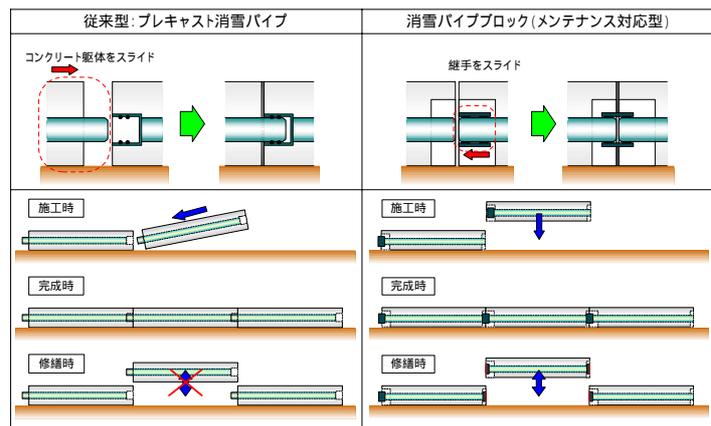


図 -1 従来型と新型ブロックの接続方法の比較

2.2 施工性の向上

図-2 に従来型と新型の据付方法の比較を示す。ブロックの接続の際は、重量物であるコンクリート躯体を、クレーンで吊りながら背面からバックホウ等重機や数人の人力で押すことにより接続していた。新型ブロックでは、縁石ブロックのように簡単に据え付けることができ、さらにブロック躯体自体をスライドさせる動作が不要となるため、施工性が向上する。

2.3 安全性の向上

前述のとおり、従来型ブロックは背面から押しながらスライドさせて接続しているが、その際注意を要するのは「スライドによるはさまれ事故」である。新型ブロックでは、ブロック躯体自体をスライドさせることが無いいため、据付作業における安全性が向上する。

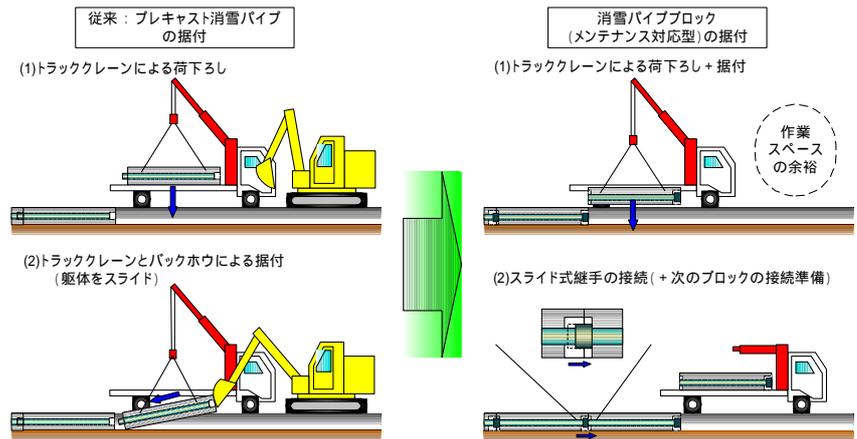


図 - 2 従来型と新型の据付方法の比較

2.4 配管の腐食防止

従来、消雪パイプ散水管の大部分にSGP（配管用炭素鋼鋼管）が使用されているが、水質の悪い地域では、散水管内の腐食等によりサビ水が発生し、路面を赤褐色に汚してしまう場合があった。

新型ブロックは、散水管にVP管（硬質塩化ビニル管）やHIVP管を加えて、配管の腐食防止対策を行った。

3. これまでの施工実績

開発後約3年間における施工実績を表-1に示す。

表 1 施工実績表

施工年	発注者	施工場所	施工延長	備考
2007年	北陸地方整備局	新潟県	約 16.5m	
2008年	北陸地方整備局	石川県、新潟県	約 1,017.5m	2008年7月以降
2009年	北陸地方整備局、新潟県	石川県、富山県、新潟県	約 3,751.0m	
合計施工延長			約 4,785.0m	

これまでの施工実績では北陸地方整備局や新潟県の発注工事を中心に施工されており、2008年にはNETISに登録をされ、2009年にはMadein新潟県に登録されている。

4. 今回の改良コンセプト

富山市街地において、富山地方鉄道（株）により運行される環状線の設置工事に伴い、ライトレールと国道41号が交差する富山市一番町交差点内に施工される軌道工事に併せて、軌道部及び交差点部の消雪を目的に消雪パイプが設置される事になった（図-3参照）。

環状線の軌道設置計画は、当初計画では単線計画となっているが将来の計画では複線計画を



図 - 3 施工箇所位置図



写真 - 2 ブロックジョイント部



写真 - 3 ブロック据付状況



写真 - 4 散水状況



写真 - 5 ライトレール運行状況

5. おわりに

メンテナンス対応型消雪パイプブロックは、維持管理・施工性・安全性の向上及び散水管の腐食防止を掲げて開発された。特に、維持管理の向上としては、従来の消雪パイプブロックに比較して配管の不具合により修繕を行う場合は必要最小限の入替が可能となった。また、配管の移設等が必要な場合は再利用が可能となるため工事費の削減にも繋がると考える。

以上の事からこれまでに道路部のセンターや路肩部を中心に設置された物を、ライトレールの軌道形状に合わせて製作した事で、将来ライトレールの複線化を実施する時には配管の移設及び再利用が可能となった。

最後に、本施工にあたり御指導、御協力を頂いた北陸地整富山河川国道事務所様、富山市都市整備部様の関係各位に深く謝意を表する。

〔参考文献〕

- 1) 路面消・融雪施設等設計要領 平成 20 年 5 月 同設計要領編集委員会
- 2) 平成 20 年度 建設技術報告会報文集 「施工性・メンテナンス性を向上した新型消雪パイプブロック」

ロードサスペイブ～道路交通振動低減型舗装～

前田道路株式会社 北陸支店 技術課課長 池田 孝司

1 はじめに

地球温暖化防止など環境に対する社会の関心が高まる中、道路舗装分野では環境改善の取り組みが積極的に進められている。北陸地方においても従前から高い水準のリサイクルの実現や、排水性（低騒音）舗装などといった舗装技術が実用化され、環境改善に大きな成果を上げてきている。

ここでは、近年の交通公害において騒音とともに苦情の多い交通振動を低減する舗装技術として実用化したロードサスペイブの概要ならびに長野県の実道における適用事例について報告する。

2 ロードサスペイブの概要

2.1 工法概要

ロードサスペイブは、表層または表基層の下に、振動減衰に有効な特殊制振シートを設置して道路交通振動の低減を図る舗装工法である。ロードサスペイブは、従来の振動軽減型舗装にみられる路床改良や路盤強化といった全層打換えによる大規模な対策を施すことなく、比較的簡易に道路交通振動の低減を図る、沿道の生活環境改善に資する舗装工法である。

2.2 振動低減のメカニズム

振動低減のメカニズムは、主に「振動エネルギーの吸収・減衰による制振作用」と「振動エネルギーの反射による絶縁作用」に大別できる。ロードサスペイブは、制振材料として有用なアスファルトの粘弾性により振動エネルギーを内部で吸収・減衰し、熱エネルギーに変換することによって振動の伝搬を少なくするものである。図-1に当該舗装のメカニズムを示す。

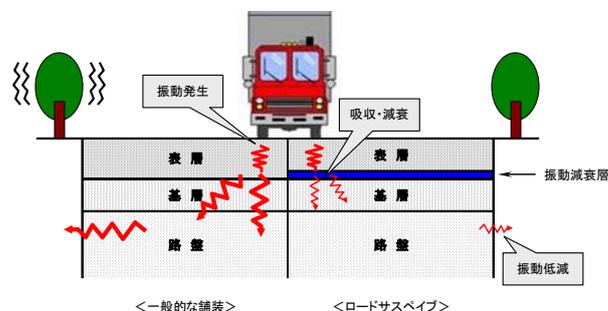


図-1 ロードサスペイブの概念図

2.3 特殊制振シート

ロードサスペイブに使用する制振用シートは、ガラス繊維を基材としこれに改質ゴムアスファルトを両面に積層したものである（図-2参照）。

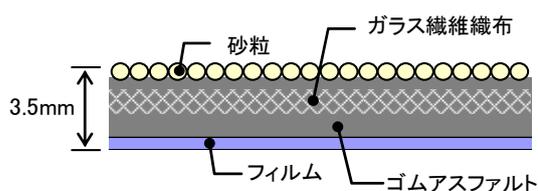


図-2 特殊制振シートの概略図



写真-1 特殊制振シートの外観

ロードサスペイブは、この特殊制振シートを表基層間に挿入し、ゴムアスファルトの弾性特性により振動低減効果を得るものである。本シートの外観を写真－1に示す。

3 舗装性状

3.1 振動減衰特性

ロードサスペイブの振動減衰特性の室内評価において損失係数を測定した結果を図－3に示す。ロードサスペイブは、表層を密粒度(13)、基層を粗粒度(20)とする一般的な舗装と比較して損失係数が1.5倍程度大きくなることが認められた。

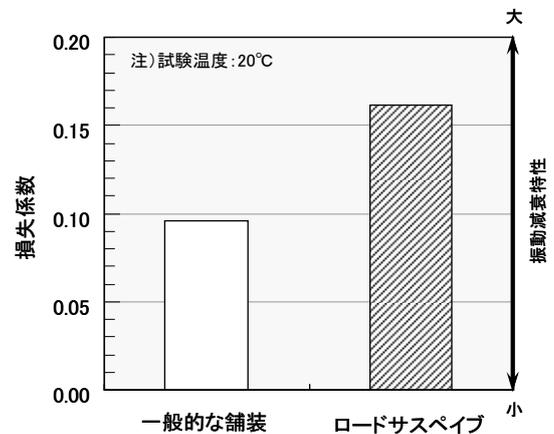
※ 振動減衰特性試験

現在のところ、アスファルト混合物に対する振動減衰特性を評価する標準的な試験方法がないため、「JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法」で示されている方法を参考とした。

試験方法は、幅15cm×長さ50cm×厚さ5cm/層の供試体をスポンジマット上に載せて、供試体上面にインパクトハンマーによる打撃加振を与え、その時の伝達関数と周波数の関係から損失係数を算出する。一般的に損失係数が大きい材料ほど振動減衰効果が大きいことを示す。

3.2 振動低減効果

振動低減効果は、一般的な舗装とロードサスペイブの実大舗装モデル上において大型荷重車を同一条件にて走行させ、1cmの段差通過時に発生する振動を測定し、その振動レベルの大小による両舗装の相対比較によって評価することとした。本走行試験状況を写真－3、4に示す。また、この振動レベルの測定結果は図－4に示すとおりである。ロードサス



図－3 振動減衰特性の比較



写真－2 振動減衰特性試験の状況



写真－3 大型車の走行試験



写真－4 振動レベル測定（段差通過時）

ペイブは荷重車中心からの距離の全ての測定位置において振動レベルの低減効果がみられ、とくに官民境界線付近の距離とされる6 m位置では、一般的な舗装に対して約5 dB程度振動レベルが低減する結果が得られた。

3.3 耐流動性

ロードサスペイブの耐流動性を評価するために実施したホイールトラッキング試験の結果を図-5に示す。ロードサスペイブは一般的な舗装と比べて変形量が小さく、特殊制振シートの影響による耐流動性の低下は認められない。

3.4 層間接着力

ロードサスペイブにおいて設置する特殊制振シートの層間接着力を評価するために引張試験を実施した。その結果を図-6に示す。ここでは、表層に密粒度(13)とポーラスアスファルト混合物13 mmの2種類を用い、基層には何れも粗粒度(20)を用いた。さらに、ロードサスペイブはこの一般的な舗装と同一の構造体において表基層間に特殊制振シートを挿入した。図-6に示すとおり、引張強度は両舗装においてあまり優位差はなく、ほぼ同等であることから、本シートの影響による層間接着力の低下は認められない。さらに、ロードサスペイブの表層をポーラスアスファルト混合物とする場合は、浸透した雨水等により層間はく離が進行し接着力が低下することが懸念されることから、層間はく離の影響をシミュレートできる水浸ホイールトラッキング試験を実施し、接着力低下の有無を確認した。当該試験の結果、水が滞留した状態で動的荷重が作用し続けても接着力は低下しないことが確認できた。

4 適用事例

4.1 施工

前述に示す室内評価などの結果をふまえ、平成22年4月、長野県東御市御牧原地内の県道において試験施工を実施した。試験施工の概要は表-1に示すとおりである。本施工場所は、沿道の民家手前に交通振動の発生源として疑われる舗装ジョイントがあり、大型車通過時に起こる交通振動に関して

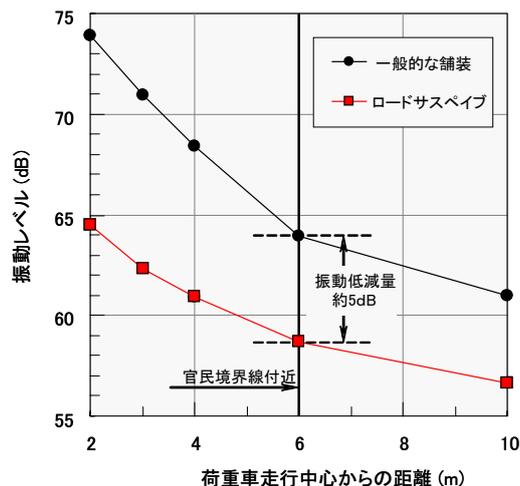


図-4 振動低減効果の比較

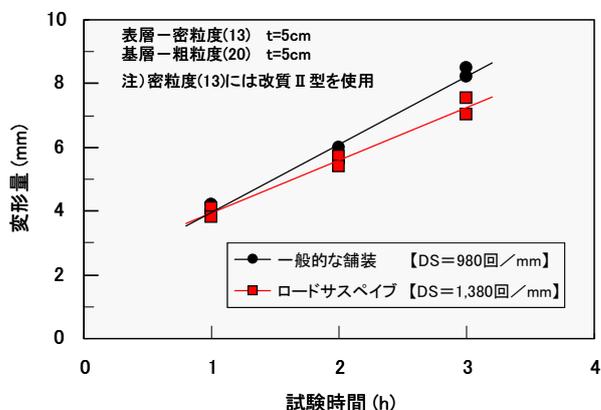


図-5 耐流動性の比較

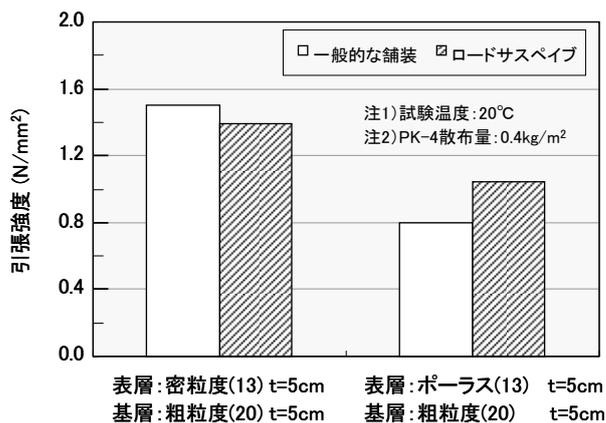


図-6 層間接着力の比較

当該住民から陳情が寄せられていた箇所である。

施工は、既設AS層10cmを切削撤去し、基層として再生粗粒(20)を5cm舗設した後、その面上に特殊制振シートを敷設し、さらに再生密粒(20F)にて5cm厚のオーバーレイを行った。

4.2 振動低減効果の検証

当該舗装の交通振動低減効果を検証するため、試験施工の前後において平坦性ならびに振動レベルピーク値の測定を行った。

4.2.1 平坦性

平坦性は表-2に示すとおり、施工後において左車線で0.73mm、右車線で0.9mmの改善が認められた。(1)式※によれば、平坦性の向上により左車線で1.5dB、右車線で2.0dBの振動低減が図られたものと推察される。

4.2.2 振動レベルピーク値

総重量20tの大型荷重車を40km/hで試験走行させ、施工前後における振動レベルピーク値を測定した(表-3参照)。これによれば、左車線で4dB、右車線で8dBの振動低減効果が認められた。

4.2.3 まとめ

以上、平坦性向上による振動低減量を差し引くと、本工法自体の振動低減効果は約2~6dBであったことが考えられる。また、施工後は測定値全てが振動感覚閾値と言われる55dBを下回り、安定した振動波形を示したことから振動伝播の抑制効果が確認できた。

5 おわりに

今回の実道における検証結果によれば、ロードサスペイブは道路交通振動の低減において十分有用な工法であると考えられる。今後は追跡調査を行い、当該効果の持続性や舗装の耐久性などについて定量的な評価を行っていく所存である。

【参考文献】

- 1) 前田、浅川ら：実道における振動低減舗装の効果の検証について、第28回日本道路会議
- 2) (社)産業公害防止協会：公害防止の技術と法規「振動編」、平成8年
- 3) (社)日本道路協会：舗装性能評価法 別冊、平成20年3月

表-1 試験施工の概要

施工場所	長野県東御市御牧原地内
施工時期	平成22年4月
舗装計画交通量 (台/日・方向)	100以上250未満
交通量区分	N ₄
施工規模	W=7m L=50m A≒350m ²
舗装構成	(既設)AS層10cm、路盤層40cm 表層:再生密粒度(20F) t=5cm 基層:再生粗粒度(20) t=5cm 表基層間:特殊制振シート設置

表-2 平坦性測定結果

(単位: mm)	左車線	右車線
施工前	2.11	2.09
施工後	1.38	1.19
推定振動 低減値 ΔL ₁₀	1.5dB	2.0dB

$$\Delta L_{10} = A(\log_{10} \sigma_b - \log_{10} \sigma_a) \dots (1) \text{式}^{\ast}$$

ここで、

ΔL₁₀: 平坦性の向上による振動レベル低減値 (dB)

σ_b: 施工前の平坦性 (mm)

σ_a: 施工後の平坦性 (mm)

A: 定数 (アスファルト舗装の場合 A=8.2)

※ (社)日本道路協会/「舗装性能評価法 別冊」による

表-3 振動レベルピーク値 (40km/h)

区分	(単位: dB)		測定方法
	施工前	X ₅ 平均	
左車線	施工前	54.1	測定機器: 振動レベル計 (JIS C 1510:1995) 振動レベル計の設置位置: (横断) 右車線側の官民境界付近、(縦断) 既設舗装ジョイント位置付近
	施工後	50.0	
	低減値	▲ 4.0	
右車線	施工前	61.2	
	施工後	53.2	
	低減値	▲ 8.0	

パーマコート工法の概要と適用事例

(株)竹中土木 名古屋支店 営業部 柿澤 雅樹
(株)竹中土木 技術・生産本部 海老原 由美子
(株)竹中土木 技術・生産本部 藤川 大輔

1 はじめに

近年、高度成長期に建設された橋梁、トンネルなどの構造物が耐用年数を迎えてきていることもあり構造物の維持管理、長寿命化、ライフサイクルコストの低減のニーズはますます増加している。

一方、1999年の新幹線トンネルにおけるコンクリート剥落事故以降、コンクリート片の剥落防止工法へのニーズが高まったことから、当社ではコンクリートの補修工法「パーマコート工法」を開発し、2004年からトンネル・高架橋などのさまざまな土木構造物に適用してきた。¹⁾

本報において、本工法の概要及び歴史的構造物の保存に適用した事例を紹介する。

2 工法概要

パーマコート工法は、紫外線硬化型 FRP シートをコンクリートの表面に貼ることにより、構造物を補修する工法である。シートは、ガラス繊維に紫外線硬化型の樹脂を含浸させたものであり、紫外線によって樹脂が硬化するとともにコンクリートと接着し、表面に FRP 層を形成する。シートの概要を図 - 1・写真 - 1 に示す。

このシートは施工時には柔らかく、任意の大きさに切断でき、局面や段差にも簡単に張ることができる。また、遮蔽性能が高く、劣化因子がコンクリート内に進入することを防ぎ、塩害や中性化等に対する耐久性を向上させる。シー

トの仕様を表 - 1 に示す。

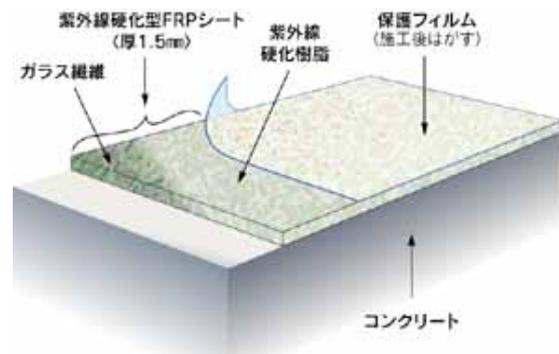


図 - 1 パーマコート工法の概要

用途・目的

- ・表面被覆による劣化防止
- ・コンクリート片の剥落防止

対象構造物

- ・トンネル覆工
- ・橋梁（床版・地覆・高欄）
- ・その他コンクリート構造物

特長

- ・紫外線で硬化させるので養生が不要で、短時間での施工が可能である。
- ・透明なシートなので、補修後もコンクリートの劣化の進展具合が確認可能である。



写真 - 1 紫外線硬化型 FRP シート

- ・厚さが 1~1.6mm と薄く、軽いので構造物への負担が小さい。
- ・シートは施工時には軟らかいため、任意に切断でき、曲面や段差に容易に追従する。

表 - 1 シートの仕様

繊維目付量	450g/m ²	600g/m ²
厚さ	約1.0mm	約1.6mm
引張強度	80N/mm ² 以上	80N/mm ² 以上
引張弾性係数	6.0×10 ³ N/mm ² 以上	6.0×10 ³ N/mm ² 以上

3 施工手順

下地処理

下地コンクリートの劣化層や汚れをディスクサンダー等で平滑に研磨する。また、コンクリート表面が濡れている場合や漏水がある場合は対策処理を行い含水率が8%以下であることを確認する。

プライマー工及びシートの貼り付け

プライマーを塗りむらの無い様、ローラーで塗布し指触乾燥後、シート粘着面をコンクリートに貼り付ける。この際、クロス貼り用のスムーサーやスクイージを使用し、空気が入らないように、片側から空気を押し出すようにして、コンクリート面に密着させる。

紫外線照射工

太陽光または紫外線ランプによってシートに紫外線を照射し硬化させる。この際、積算紫外線量で管理し、所定の紫外線量を照射することにより硬化品質を確保する。

仕上げ塗装工

紫外線照射後、シートの硬化を確認し、保護フィルムを剥がす。ただし、屋外の構造物では耐候性向上のため仕上げ塗装工を実施する。

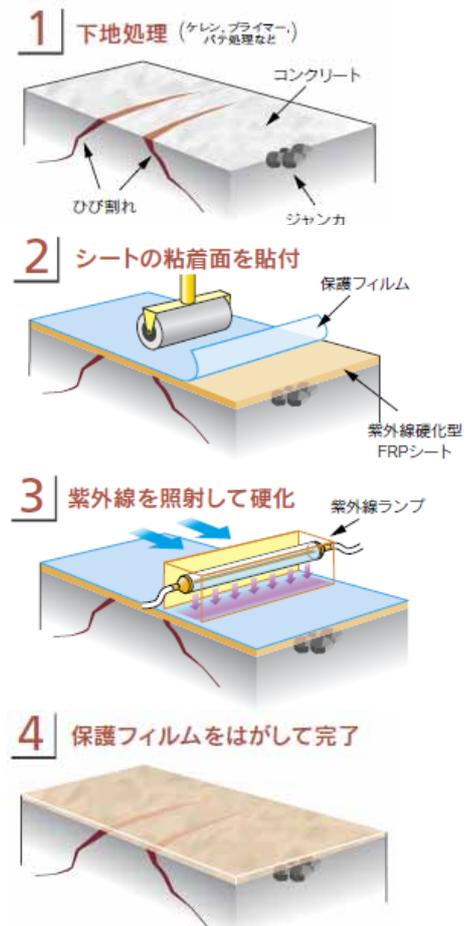


図 - 2 施工手順

4 歴史的構造物への適用事例

(1) 工事概要

件名：平成 19 年度淀川河川公園維持管理業務

発注者：国土交通省近畿地方整備局

工期：2007 年 4 月 21 日～6 月 30 日

施工数量：127.3 m²

施工場所：大阪市北区長柄東淀川河川公園内

淀川河川公園内の旧毛馬閘門は、淀川改修工事で施工され、1907 年に完成した。コンクリート構造物の黎明期に建



写真 - 2 旧毛馬閘門

造された土木遺産であり、2008年に国の重要文化財に指定された。当時は、水位差がある河川を船が航行するとき、水位調整するために使われていた。現在はその役目を終え、淀川河川公園の一部として整備され、一般に開放されている。

今回施工した箇所は閘門の付属物で、閘門を開閉する設備の基礎である。補修前は、コンクリートの劣化が進み、鉄筋が錆びて膨張し、部分的にかぶり部分のコンクリートが剥落している状態であった。公園の整備事業に伴い、構造物の周囲を遊歩道として開放するため、歩行者の安全確保と構造物の劣化防止としてパーマコート工法が採用された。

(2) 要求事項と課題

今回の補修工事は、コンクリート構造物の劣化防止および第三者災害の防止のための剥落防止の基本的事項の他、歴史的建造物であることから、補修後に外観上の変化が小さいことが発注者から求められた。パーマコート工法の適用にあたり、シートは透明であるものの、通常の表面の仕上がりは平滑なプラスチック面で光沢があるため、歴史的建造物としては不自然となる。可能な限り、構造物のありのままの風合いを残し、周囲の景観に違和感なく溶け込むように仕上げるのが課題となった。

(3) 課題の解決方法

上記課題を解決するために、各施工において工夫した点を以下に述べる。施工フローを図-3に示す。

下地処理工

通常は、ディスクサンダーで表面の汚れや脆弱部分を除去するが、今回は表面の骨材を削らずそのままにして自然な風合いを残すため、デッキブラシなどで表面の汚れを丁寧に除去した。

断面修復工および不陸修正工

当構造物にはコンクリートの剥離・剥落により大きな欠損があり、断面修復する必要があった。深さ5~10mm程度までの欠損であれば、従来使用している透明の光硬化型樹脂パテで対応できるが、深さ10mm以上の欠損箇所には光の透過性やダレなどの問題があり、対応できない。従って、断面欠損の大きい箇所はエポキシ樹脂モルタルで断面修復を行った。(写真-3)

断面修復材は白灰色であり、周囲のコンクリートの色になじむように顔料を混ぜたセメント系カチオン性アクリル樹脂モルタルを塗布して色合わせを行った。(写真-4)

シート接着工

構造物の形状は柱が多く複雑なので、シートの割

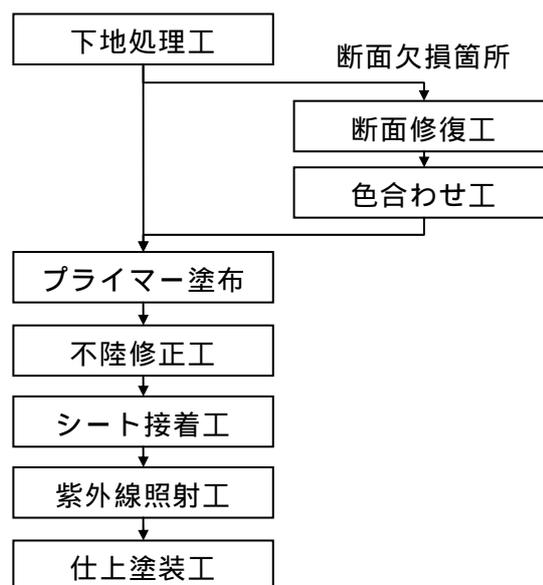


図-3 施工フロー

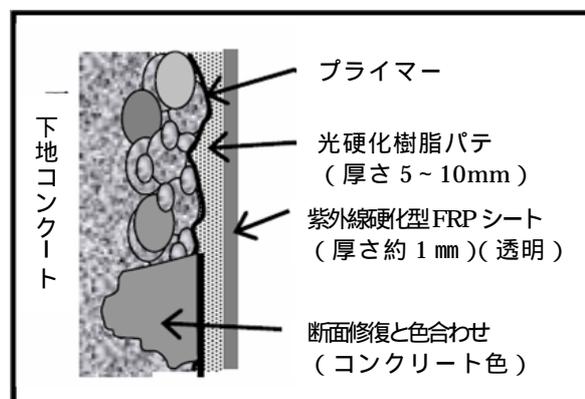


図-4 補修断面図

付けを行い、寸法どおりにシートを切断してから貼り付けた。

仕上塗装

屋外構造物は降雨や紫外線による劣化を防ぐために、耐候性のある塗料を塗布する。標準仕様の塗料は光沢があるが、本工事ではつや消しクリヤーのアクリルシリコン樹脂塗料を選定した。事前に試験体を用いてピンホール、浮き、はじき等がないかどうか、選定した塗料とシートとの相性を確認した。



写真-3
断面修復状況



写真-4
色合わせ状況



() 施工前



() 施工前

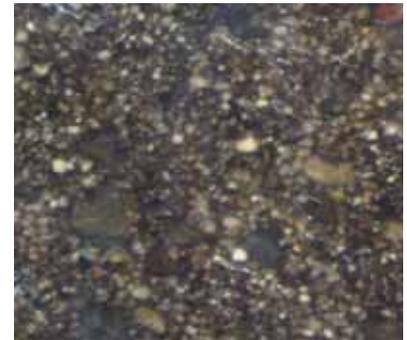


写真-7 施工後の骨材の状況



() 施工後

写真-5 全景



() 施工後

写真-6 近景



写真-8 施工後の
コンクリート表面状況

5 おわりに

本報では、パーマコート工法の概要と歴史的構造物の保存に適用した事例を紹介した。事例では、材料が透明であるという特徴を活かし、外観を大きく変化させることなく施工を完了し、景観維持に寄与することができた。

今後は、透明な材料であること、および短時間で施工ができるというパーマコート工法の特徴を活かし、さらに開発を進め適用範囲を広げていく考えである。

参考文献 1) 野田 健二、松本 由美子、和田 直也：コンクリートの面的補修工法「パーマコート工法」による複合構造の活用、第6回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、pp.47-1～47-6、2005.11

路面モニタリングのための加速度計等を搭載した簡易型測定車の開発

鹿島道路株式会社 生産技術本部技術研究所 主任研究員 ○遠藤 哲雄
同 上 主任研究員 富澤 健
同 上 第二研究室長 金井 利浩

1 はじめに

道路整備の進展にともない、道路舗装も新設から維持修繕の時代に移行している。多くの舗装技術者が既往のストックをいかに健全な状態に保つかに腐心しているところであり、適切な舗装マネジメントシステムの構築と運用が求められている。このような要請に応えるためには、まず舗装の現状を簡便かつ迅速に把握できる技術が必要である。これを行う装置として路面性状測定車があるが、測定車自体が高価であることや、解析には特殊な設備が別途必要なことから、より安価で取り扱いの容易な測定システムが望まれている。そこで、今般、一般の乗用車に各種計器を装着し、様々な路面情報を簡易に収集できる「多機能路面性状測定車」(以下、簡易型測定車)を開発した¹⁾ので、その概要と現場への適用結果²⁾を報告する。

2 簡易型測定車の概要

簡易型測定車の開発は、走行しながら路面のモニタリング(ビデオ撮影)、車両応答(車輪が受ける加速度)およびタイヤ/路面騒音の計測を行うことにより、舗装路面の健全度評価のためのデータを収集するというコンセプトで行った。簡易型測定車は、一般に図-1に示すような乗用車に各種測定装置を搭載したものであるが、ベースとなる車両の種類は、必要に応じて自由に選択でき、ダンプトラックのような大型車とすることも可能である。



図-1 簡易型測定車の概要

3 簡易型測定車の現場への適用性確認

簡易型測定車により現場測定を行い、まず段差のような不具合箇所の検出能力について調べ、当該測定車の有用性を検証した。次に、区間の評価として平坦性の指標である IRI (国際ラフネス指数) と加速度を関連付け、加速度による IRI の推定の可否について検討した。

3. 1 不具合箇所（段差）検出における有用性の検証

橋梁やマンホールといった構造物の周辺には、アスファルト舗装との剛性の違いから段差の発生することが多い。ここでは、マンホール周辺に生じた段差により生じる加速度を調べた。

3. 1. 1 段差における加速度の測定結果

段差における測定結果の一例を図-2に示す。図-2により、マンホールにタイヤが乗り上げる際、ピンポイントで車輪に大きな加速度が発生していることが明瞭に見て取れる。すなわち、簡易型測定車によれば、加速度の応答から段差のような不具合箇所を検出でき、同期して撮影しているビデオによってその位置と状態を視覚的にも確認できることがわかる。

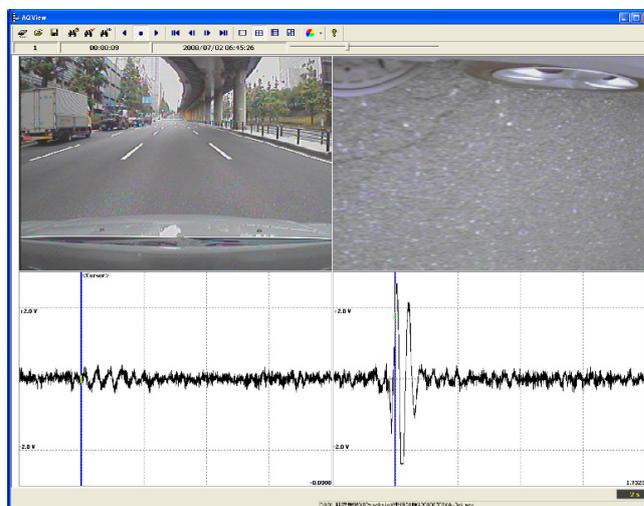


図-2 測定データの例（映像と加速度）

3. 1. 2 簡易型測定車の有用性の評価

以上のように、簡易型測定車は、段差のような不具合箇所を明確に検出できることから、詳細な調査・解析を行う必要のある箇所や、補修すべき箇所を抽出するためのツールとして有用であると評価される。

3. 2 IRI と加速度の関連性の検討

前節において、簡易型測定車が不具合箇所をピンポイントで検出するうえで有用なことが確認できた。そこで、次に、区間の路面凹凸の程度、すなわち平坦性（IRI）と簡易型測定車による加速度の関連性について検討することとした。

表-1 調査の概要

3. 2. 1 検討のための調査概要

検討にあたっては、表-1に示す要領で、路面の損傷が進行したアスファルト舗装の補修前と後の2回にわたって調査を実施した。補修は、既設路面をヒーター車で加熱して10~20mm程度掻きほぐし、その上に20mmの薄層オーバーレイを施す工法³⁾で行った。測定内容は、簡易型測定車による測定の他、IRI算出

工事名	20市単補修第7工事 市道7号線
調査場所	茨城県牛久市小坂町地内
調査時期	補修前：平成21年4月9日 補修後：平成21年4月24日
区間延長	延長540m（2車線：Lライン、Rライン）
測定内容	簡易型測定車による測定 車輦形式：NISSAN CARAVAN（平成16年式） （走行速度：30km/h、40km/h、50km/h） MRPによる路面の絶対プロファイルの測定（OWP）

のためのMRP（Multi Road Profiler：株式会社クマタカエンジニアリング製）による路面の絶対プロファイル測定である。なお、簡易型測定車による測定は、加速度の走行速度依存性を把握するため、法定速度である50km/hに加え、40km/hと30km/hでも実施している。

3. 2. 2 補修による平坦性の改善

補修前後において MRP により得られた絶対プロファイルを試みに 50m 毎に区切り、FHWA（米国連邦道路局）のフリーソフトである ProVAL⁴⁾により各区間の IRI(国際ラフネス指数)を算出した。各車線の計算結果は図-3(a)、(b)のとおりであり、L ライン、R ラインともに補修前に比べ補修後は IRI が全体的に小さくなっており、平坦性が改善されている。また、補修後の方が IRI のばらつきも小さくなっていることから、場所による乗り心地の変動も緩和されていることがわかる。

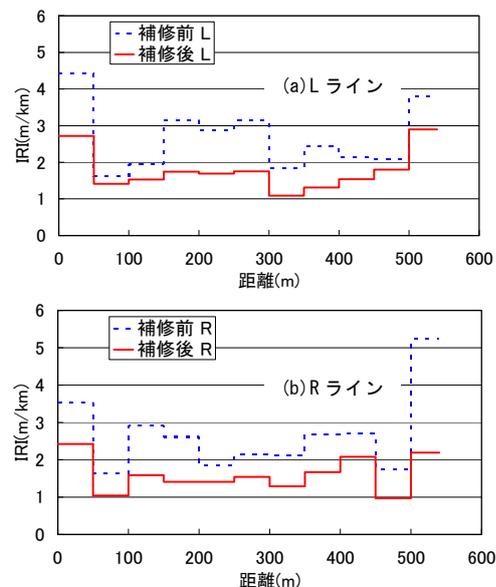


図-3 IRI の算出結果 (50m 毎)

3. 2. 3 路面性状の回復による加速度の変化

最も大きな加速度が得られた走行速度 50km/h の結果のうち、L ラインの補修前後における加速度（サンプリング周波数：

2kHz）と代表的な路面性状を図-4に示す。この図をみると、補修後の方が補修前に比べ加速度が全体に小さくなっていることがわかる。特に、路面の写真からも明らかとなおり、補修前に亀甲状ひび割れやパッチング上において生じていた著しく大きな加速度が、補修による路面性状の回復にもなっており、加速度の変動が著しく減少している点が注目される。

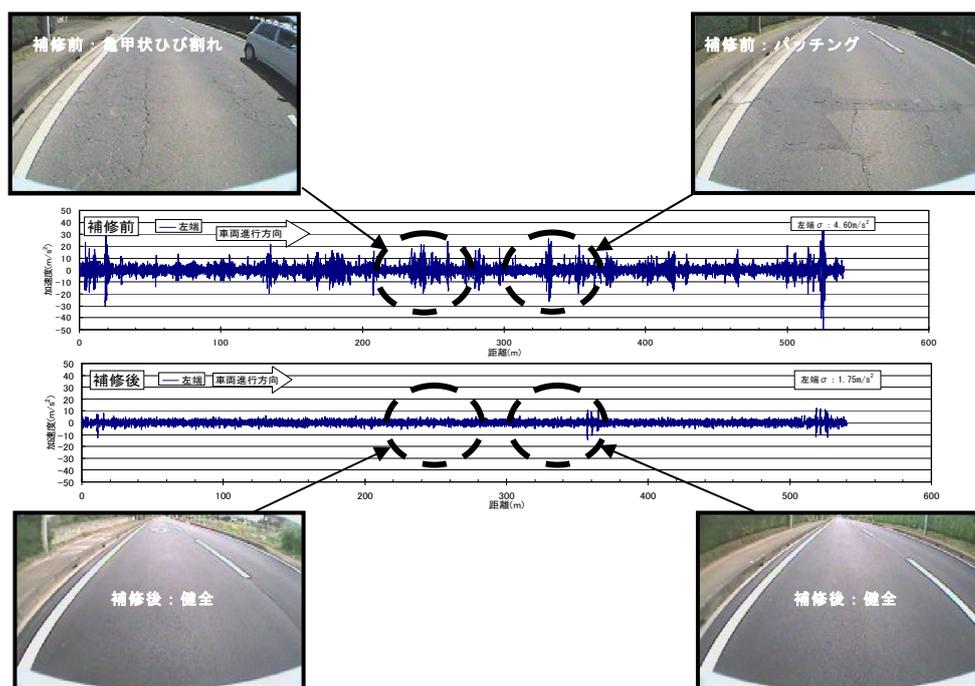


図-4 補修前後の加速度と代表的な路面性状

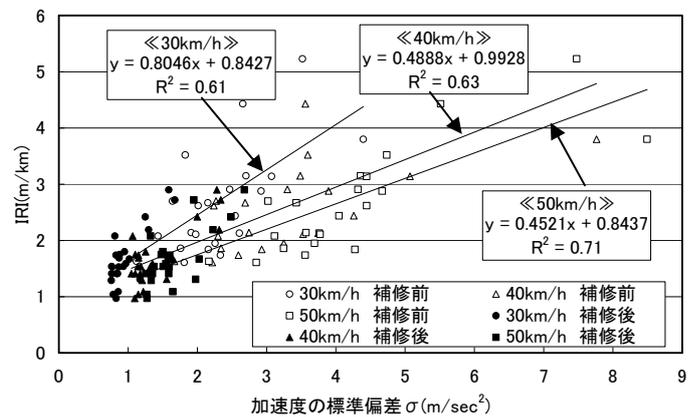
3. 2. 4 IRI と加速度の関連性

図-4でみたように、補修により路面性状が回復し平坦性が改善されたことによって、簡易型測定車による加速度の変動が著しく減少していることが判明した。

そこで、IRIと同様、加速度データについても 50m 毎に区切って変動の程度を表す標準偏差を求め、IRI と対比してみた。結果を速度毎に整理したものを図-5に示す。

図-5より、いずれの走行速度においても、加速度の標準偏差と IRI には正の相関があり、加速度の標準偏差が大ききほど、IRI も大きい、すなわち平坦性が悪いと評価される。なお、走行速度が

上昇するにつれて、加速度の標準偏差の範囲が広がり、回帰線が右側にシフトして相関係数はやや増加している。以上のことから、今後さらにデータの蓄積を図る必要はあるものの、定速走行させた簡易型測定車によって得られる加速度の標準偏差から、ある程度の精度で IRI を推定できるといえよう。



図－5 加速度の標準偏差と IRI の関係(50m 毎)

4 まとめ

本検討の結果をまとめると、次のようである。

- ① 今般開発した簡易型測定車によれば、段差のような路面の変状箇所を加速度応答の変化によってピンポイントで検出できる。
- ② よって、簡易型測定車は、詳細な調査および解析を行う必要のある箇所や、補修が必要な箇所のスクリーニングツールとして有用である。
- ③ 加速度の標準偏差と IRI には正の相関があり、加速度の標準偏差が大ききほど、IRI も大きい、すなわち平坦性が悪いと評価される。
- ④ 加速度の標準偏差と IRI の関係に基づき、簡易型測定車による加速度からある程度の精度で平坦性 (IRI) を推定することができる。

5 おわりに

道路舗装のネットワークがどのような状態になっているか、定量的に評価するには、多大な時間と費用が必要である。このような状況下にあつて、今般開発した簡易型測定車は、簡便かつ迅速に路面の不具合箇所を検出でき、道路管理指標である平坦性(IRI)の推定も可能であることから、詳細な調査・解析の必要な箇所や補修すべき区間を特定するための強力なツールになるものと考えられる。

今後は、さらに適用性を拡大するため、データの蓄積を図るとともに、路面の画像データ等からひび割れ率やわだち掘れ量などを定量的に評価する方法や、GPS を利用して地理的情報を収集するシステムについても検討していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 金井利浩・岡部俊幸・山口 将：路面モニタリングのための加速度計等を搭載した簡易型測定車の開発、第 28 回日本道路会議、平成 21 年 10 月
- 2) 遠藤哲雄・富澤 健・大嶋智彦・岡部俊幸・金井利浩：路面モニタリングのための加速度計等を搭載した簡易型測定車の開発、舗装、2010 Vol.45、pp.25～29 (2010.3) ㈱建設図書
- 3) 近藤健一：路面ヒーター車を使用した薄層補修新工法 ヒートスティック工法、北陸の建設技術、Vol.201、pp.23～26 (2008.3) 北陸地方建設事業推進協議会
- 4) <http://www.roadprofile.com>

透水性コンクリート舗装のプレパック化

株式会社 ガイアート T・K 技術研究所 藤本大生

1 はじめに

『透水くん』(写真-1 参照)とは、袋詰めした骨材とセメントに、水を加えて混合して透水性コンクリートを作り、これをコテやスコップで簡単に締固めて舗装に仕上げる、弊社の家庭用コンクリートのプレパック商品の呼称である。特長は、以下が挙げられる。



写真-1 透水くんの透水状況

本製品と水を練混ぜるだけで簡単に透水コンクリートが作れる。

骨材同士の間隙が小さく、変形しにくいいため、雑草の発生を抑制する。

季節を問わず、変わらぬ品質を有している。

路面がポーラス(多孔質)構造であるため、滑りにくく、足元に優しくフィットする。

地中に雨水を浸透、通気性に優れているため、土の活性化、地中生態系の保護など、自然環境に優しい舗装である。

日曜大工的に取り扱える透水性コンクリートとしての利用のほか、弊社所有の透水コンクリート舗装『NJP』の補修材料としても、透水くんを位置づけして利用拡大を図ろうとしたが、NJPの補修材料として使用するには強度が低いことと、透水機能の持続性が不足気味であることから、改良・改善が必要となった。そこで、品質向上を目的として、配合の検討を行った結果、所要の品質が得られるようになった。以下にその結果を紹介するものである。

表-1 透水くんの現行型、及び新型の規格値

試験項目	単位	試験方法	材齢	現行型規格値	新型規格値
曲げ強度	N/mm ²	コンクリートの曲げ強度試験方法 JIS A 1106 (日本道路協会)	28	-	2.7以上 ¹⁾
圧縮強度	N/mm ²	コンクリートの圧縮強度試験方法 JIS A 1108 (日本道路協会)	28	13.0以上	15.7以上 ²⁾
空隙率	%	開粒度アスファルト混合物の 密度試験方法 (日本道路協会)	-	16 ~ 30	同左
透水係数	cm/s	開粒度アスファルト混合物の 透水試験方法 (日本道路協会)	-	1 × 10 ⁻¹ 以上	同左
すべり抵抗値 (BPN)	BPN値	振り子式スキッドレジスタンステストによる すべり抵抗測定方法 (日本道路協会)	-	40以上	同左

1) N J P (一般配合) の規格値

2) セメントコンクリート舗装要綱(昭和59年版)より抜粋。歩道・自転車道に用いる場合。

2 試験項目及び試験方法

試験項目および試験方法は、表-1 に示す。

品質改良前の従来品（以下、現行型）の圧縮強度については、規格値を 13.0N/mm^2 以上としていたが、NJP の補修材としての機能を付加するため、走行する管理用車両の交通荷重を考慮して、曲げ強度を 2.7N/mm^2 以上、圧縮強度を 15.7N/mm^2 以上に更新（以下、目標値）して、改良試験を行った。

改良のためには、コンクリートの配合に着目することとして、表-2 に示す合計9タイプのコンクリートについて検討を行った。

表-2 各配合の強度試験結果

名称	強度試験			
	標準		曝露	
	曲げ	圧縮	曲げ	圧縮
	28日	28日	28日	28日
現行型	2.7	14.8	-	-
配合1	3.4	14.1	2.9	13.0
配合2	3.4	12.7	3.2	14.9
配合3	3.4	13.2	2.7	20.2
配合4	3.1	12.9	3.0	11.8
配合5	2.6	12.9	2.6	12.8
配合6	3.0	13.6	3.0	15.6
配合7	3.2	18.0	3.5	17.7
配合8	3.3	10.3	3.5	14.8
配合9	2.8	11.6	3.5	14.7

3 品質向上のための検討

現行型の強度試験を行った結果、曲げ強度が 2.7N/mm^2 、圧縮強度が 14.8N/mm^2 となり、目標値は満足しない結果となった。そこで、『透水くん』の強度を高めるための配合の検討を行う事とした。

9種類の供試体は、様々な混和材料を用いているものであり、現行型と同様に、標準養生の曲げ強度、及び圧縮強度試験を行った。更に、コンクリートは野ざらしになることから、ウェザリングの影響による性状の変化をチェックするため、曝露養生を行い、強度試験を行った。一連の試験を行った時期は、平成21年6月から8月の3ヶ月間（夏季）である。

図-1 曲げ強度試験

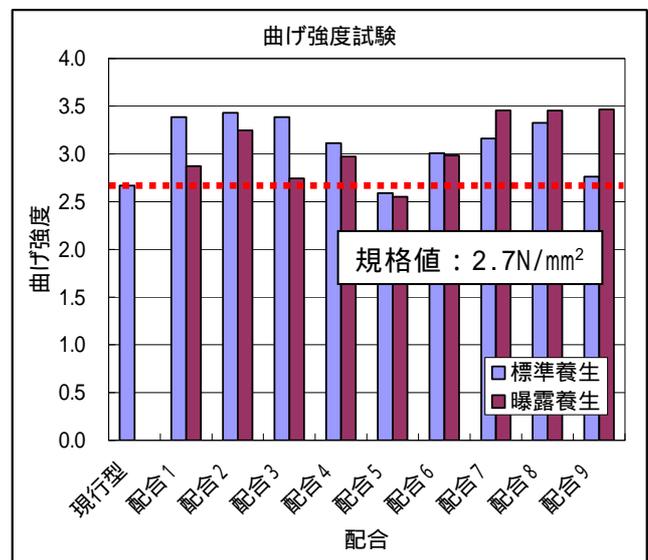
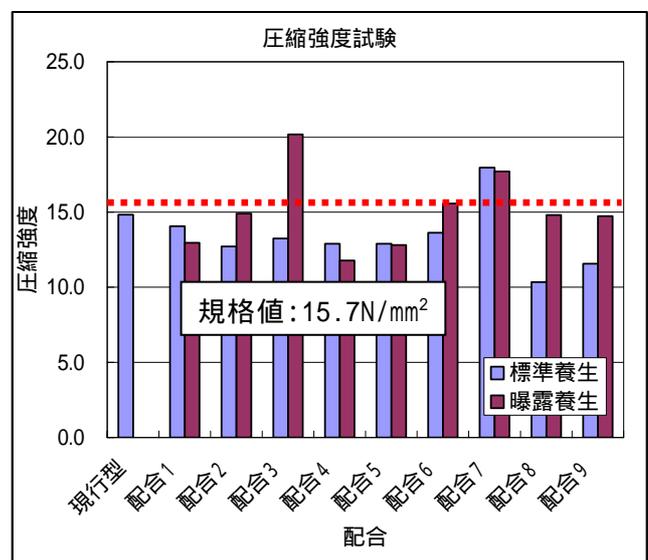


図-2 圧縮強度試験



4 各種試験結果について

4.1 曲げ強度試験

試験結果は表-2、図-1 に示すとおりである。標準養生を行った供試体は、若干の例外があるものの、規格値である 2.7N/mm^2 と同等以上のものとなっている。曝露養生を行った供試体を、標準養生と比較すると、大きな差は無かったので、この程度の曝露期間では、コンクリートの性状変化は非常に少なく、むしろ品質は安定しているものと

判断された。

4.2 圧縮強度試験

試験結果を表-2、図-2 にまとめる。標準養生を行った供試体については、規格値である 15.7N/mm^2 以上を満足したものは、配合 7 (以下、透水くん) のみとなった。曝露養生を行った供試体についても、同様に比較を行ったが、大きく伸びる傾向のもの、若干強度が落ちる傾向のもの、2 パターンあり、更にこれらの中で、曲げと圧縮の両方で強度が伸びるタイプである配合 8・9 がある。

4.3 空隙率測定試験

空隙率、透水係数、すべり抵抗値については、透水コンクリートの骨材粒度分布の影響が多分にあると思われ、また、現行型と同じ規格値を用いるため、強度の規格を満足した配合である透水くん についてのみ、確認試験を行うこととした。

表-3 空隙率、透水係数、すべり抵抗測定試験結果

供試体 番号	空隙率 (%)	透水係数 (cm/s)	すべり抵抗値 (BPN)
	22.1	2.78×10^{-1}	73
	21.8	2.57×10^{-1}	71

透水くん について、コンシステンシー試験の試験方法として、質量 4.5kg のランマーを高さ 45cm の位置から自由落下させて 10 回突固める、ランマー突固め試験を行った。試験結果を表-3 に示すとおりである。これにより、空隙率の規定値を満足しており、透水コンクリートとしての空隙を確保していると判断した。

4.4 室内透水試験

空隙率測定試験に用いた供試体を用いて、定水位透水試験を行った。試験結果を表-3 に示す。この結果より、透水係数の規格値を満足しており、透水機能を十分保有しているといえる。

4.5 すべり抵抗試験

舗装路面のすべり抵抗値を測定するために、振り子式スキッドレジスタンステストにおけるすべり抵抗試験により評価を行った。試験結果を表-3 に示した。この結果より、すべり抵抗値は規格値を満足しているといえる。

5 実用化に向けて

これまでの実績から比較的大きな歩道用の透水コンクリート舗装工事においては、NJP は迅速な施工が出来るという特長を有している。反面、プラントの確保や、搬入車両が必要となり、狭小部施工や、補修材としての少量利用には不向きであった。

一方、透水くん はプレパック商品として開発しており、1 袋当たりの練上がり量は約 14 となる。そのため、少量でも適



写真-2 透水くん の練混ぜ状況

宜製造でき（写真-2 参照）、ミキサー等を用いること（写真-3 参照）で、1 度に複数袋分を製造することも出来るという特長を有している。

更に、NJP の転圧のように特定の転圧機械を必要としないため、階段部分や、遊歩道、家庭用駐車場等、形状・寸法が変化しやすい箇所への使用に適していた（写真-4,5,6 参照）。今後は、NJP と透水くん の特性を相互に補完することで、透水コンクリートの普及を目指したいと考えている。



写真-3

ミキサーを用いた練混ぜ状況



写真-4 スロープ



写真-5 階段と歩道



写真-6 歩道

6 まとめ

プレパック商品としての、透水コンクリートの品質向上を目的として、種々の配合を変化させた供試体による評価試験を行ったが、強度試験では、目標値を満足する供試体は、一つしか見出すことが出来なかった。しかし、空隙率、透水係数、及びすべり抵抗値という舗装の機能にかかわる3種類の試験については特性値を十分満足していることから、『透水くん』として商品化することとした。

一番近い施工予定として、四国支店での工事があるので、この現場での実用化をふまえて透水コンクリートとして更に普及していく可能性を探りたい。

7 今後の課題

透水くん は、補修材としての使用実績が未だ無いため、補修材としての実績を得ることが急務であると考えます。

【参考文献】

- 1)セメントコンクリート舗装要綱，社団法人 日本道路協会，1984.2
- 2)構内舗装・排水設計基準 2001年版，社団法人 公共建築協会，2001.4

加熱アスファルト系表面処理工法の開発について

日本道路株式会社 北信越支店 岡本信人
日本道路株式会社 北信越支店 水倉一夫

1. はじめに

道路整備への投資額が年々減少傾向にある中、舗装の維持修繕においては、破損が進行する前に比較的成本が低い工法で維持を行い、舗装の性能低下を遅延させる「予防的維持」の考え方が注目されている。予防的維持に適用する工法としては、表-1 に示すとおり薄層オーバーレイ、あるいはマイクロサーフェシングやチップシールのような常温の材料を用いた表面処理工法等が挙げられるが、これらの工法に関しては以下に示す事項が課題となっている。

表-1 主な維持修繕工法の分類

工法名称	適用区分			施工コスト	施工時の環境負荷
	構造的対策	機能的対策	予防的維持		
打換え				高 ↓ 低	多 ↓ 少
切削オーバーレイ					
オーバーレイ					
薄層オーバーレイ					
表面処理工法 ・マイクロサーフェシング ・チップシール 等					

- ・薄層オーバーレイ: 施工時の急速な温度低下に起因する締固め度の不足、ひいては耐久性の低下
- ・表面処理工法: 耐久性の不足・複雑な工事条件(小規模施工、早期交通開放等)への対応

このような背景を踏まえ、従来の表面処理工法のように特殊な施工機械等を必要とせず、中温化技術を併用することで施工性や耐久性を向上させた加熱アスファルト系表面処理工法「リフレッシュシール Mix 工法」の開発を行った。本報文は、「リフレッシュシール Mix 工法」の概要、混合物性状、施工事例等についてとりまとめたものである。

2. リフレッシュシール Mix 工法とは

2.1 概要

リフレッシュシール Mix 工法(以下、本工法)は既設舗装の延命やリフレッシュ、ひび割れの抑制を目的として作られた加熱アスファルト系の表面処理工法である。使用材料と施工方法の概要、および本工法の特長を以下に示す。

(1)使用材料

本工法に使用する材料は、中温化剤・改質剤・植物性繊維からなる特殊改質剤(写真-1 参照)を添加した、骨材最大粒径 5mm の加熱アスファルト混合物(以下、RSM)である。RSM と従来の表面処理工法に用いられる材料(マイクロサーフェシング・カーペットコート)の骨材粒度を比較したものを図-1 に示す。RSM の粒度範囲はマイクロサーフェシングのそれに近く、カーペットコートよりもやや細かめであることがわかる。



写真-1 特殊改質剤の外観

アスファルト量は合成粒度・骨材の吸水率より暫定アスファルト量を設定し、マーシャル供試体作製時の目

視観察等により決定する。一般的には 6.7～7.5%程度となる。

RSM 製造時の混合温度は使用するアスファルトの推奨温度に準じる。特殊改質剤はアスファルト噴射と同時にミキサ内に投入し、通常のアスファルト混合物よりもウェットミキシング時間を 30～40 秒長くする。

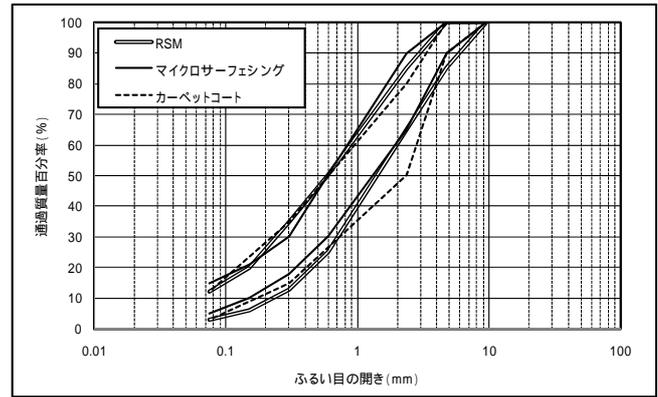


図-1 表面処理工法の粒度比較

(2)施工

本工法の標準施工厚さは 10～20mm である。前述したように、薄層舗装では施工時の急速な温度低下に起因する締固め度の不足が課題となっていたが、RSM に添加した中温化剤の効果により、温度低下時においても所要の締固め度を確保することが可能となっている。施工に用いる機械は通常のアスファルト舗装と同様であり、常温の材料による表面処理工法のような特殊な施工機械等を必要としない。

既設路面に 20mm を越えるわだち掘れがある場合は、事前に通常のアスファルト混合物でレベリングを行う。また、タックコートに使用する乳剤は、付着力を高めるためにゴム入り乳剤 PKR-T、またはタイヤ付着抑制型乳剤 PKM-T を使用する。

(3)特長

本工法の特長を以下に示す。

薄層施工であること、RSM の粒度が細かいために端部のすりつけが可能であること、等により既設路面の切削や既設構造物の改修が不要である。

既設路面の切削が不要なので舗装廃材の発生を抑制できる。また、廃材運搬も不要なので、切削オーバーレイ等に比べて施工時の環境負荷を軽減できる。

粒度が細かく、アスファルト量が多い材料を用いるので、既設舗装のひび割れをシールし、雨水の浸入による破損の進行を抑制できる。

キメが細かく適度な凹凸を有する路面を構築できるので、すべり抵抗性が向上する。また、タイヤ/路面騒音を低減できる。

2.2 工法の位置づけと適用箇所

アスファルト舗装の主な補修工法は図-2 に示すとおりであるが¹⁾、本工法はこの中の「表面処理」に該当する。通常のアスファルト舗装とは異なり、舗装構造を強化する性能は有していないので、いわゆる「摩耗層」として取り扱い、 T_A 計算等には含めない。主な適用箇所は

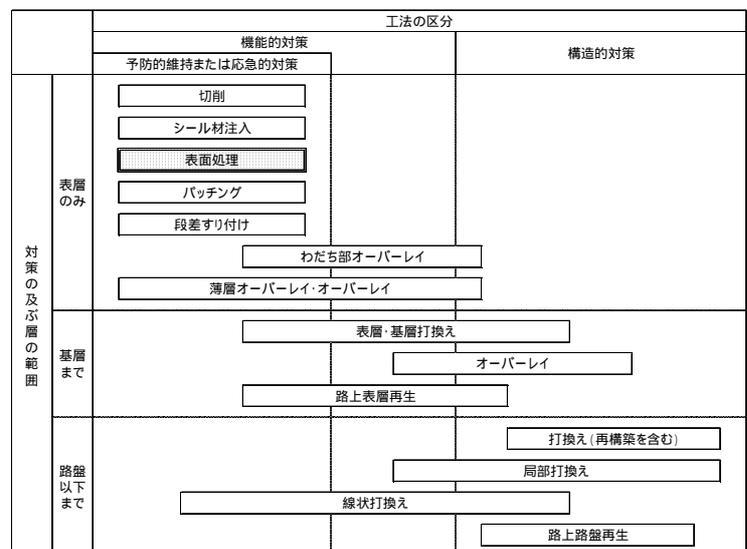


図-2 アスファルト舗装の主な補修工法

以下のとおりである。

- ・交通量 N_5 程度までの一般道路
- ・住宅地、団地内の道路、農道
- ・普通車用の駐車場

3 RSM の性状

3.1 配合設計事例

本工法は全国でいくつかの施工実績があるが、その配合事例を表-2 に示す。

いずれの事例においてもマーシャル安定度の数値はあまり高いものとはいえない。ただし、その中にあっても砕砂を使用した事例 A では比較的高いマーシャル安定度を示しており、骨材の噛み合わせ効果による安定度の向上が見られたものと思われる。

3.2 耐久性の評価

RSMの耐流動性・耐摩耗性を評価した結果を表-3 に示す²⁾。ホイールトラッキング試験は薄層施工を想定して厚さ2cmで実施しているが、前章で述べたような適用箇所であれば問題ない値を示している。

4 施工事例

4.1 事例

施工の概要は以下のとおりである。また、施工前後の路面を写真-2 に示す。

- ・施工場所：広島県内
- ・施工規模：幅員 $W=6.1\text{m}$ 、延長 $L=170\text{m}$ 、面積 $A=1,037\text{m}^2$
- ・施工時期：2009年10月

当該箇所の路面はひび割れが多く発生しており、そのひび割れが進行してポットホールも多数発生していた。またわだち掘れ量は5～30mmであった。

本事例における施工前後の路面性状測定結果を表-4 に示す。この結果から、本工法を適用することで路面性状が大きく改善されていることがわかる。

表-2 配合設計事例

	事例A	事例B	事例C	事例D	粒度範囲
通過質量百分率 (%)	13.2	100.0	100.0	100.0	100
	4.75	98.7	97.1	98.8	85～100
	2.36	77.0	72.4	78.2	65～85
	0.6	40.5	46.5	44.0	25～50
	0.3	22.3	20.9	21.2	13～35
	0.15	12.3	10.8	9.3	6～20
	0.075	8.4	7.6	7.1	3～12
常温骨材配合比 (%)	7号砕石	21	22	25	20
	粗目砂	47	56	56	62
	細目砂	-	14	12	10
	砕砂	25	-	-	-
	石粉	7	8	7	8
	合計	100	100	100	100
OAC (%)	7.0	7.5	7.3	7.5	
空隙率 (%)	5.7	6.9	7.1	7.3	
マーシャル安定度 (kN)	4.61	3.16	3.30	3.72	
フロー値 (1/100cm)	18	34	21	22	

表-3 耐久性の評価結果

評価項目	試験方法	試験結果	備考
耐流動性	ホイールトラッキング試験	548回/mm	t=2cmで試験実施
耐摩耗性	ラベリング試験	1.89cm ²	



写真-2 施工事例

4.2 事例

施工の概要は以下のとおりである。

- ・施工場所：新潟市内
- ・施工規模：幅員 W=6.6m、延長 L=210m、面積 A=1,386m²
- ・施工時期：2010年6月

当該箇所の路面でもひび割れが多く発生していたと共に、部分的な路面補修等によって美観が損なわれている状況であった。
 施工前後の路面、施工状況等を写真-3～写真-6に示す。

表-4 路面性状の測定結果

	施工前		施工後	
	左車線	右車線	左車線	右車線
わだち掘れ量 (平均値、mm)	12	14	4	5
平坦性 (、mm)	2.59	3.77	1.54	1.66
すべり抵抗 (BPN)	56	53	64	62



写真-3 着手前(事例)



写真-4 施工後(事例)



写真-5 施工状況(事例)



写真-6 仕上がり面(事例)

5 おわりに

本工法は施工性も良好であり、寒冷地においても良好な路面性状を維持できている事例もあることから、北陸地方でも維持修繕工法としての適用拡大が期待できる。今後は、クラックの抑制効果等、長期に渡って路面状況の観察を続けていきたいと考えている。

(参考文献)

- 1) (社)日本道路協会：舗装施工便覧(平成18年度版)(2006.2)
- 2) 徳光克也他：中温化施工可能な超薄層舗装の開発、第28回日本道路会議論文集 No.32014(2009.10)

第2会場 報告技術

富山大橋の整備について

富山県富山土木センター 宝島由治

1 はじめに

富山大橋は、富山県の県庁所在地である富山市を流れる神通川にかかる橋です。現在の橋は2代目であり、初代は、明治42年に架けられた木造橋（幅員6m）で、神通新大橋と名付けられていました。この橋は、神通川西岸へ移駐してきた陸軍歩兵連隊と市街地を結ぶ道路開設に伴い架橋されたことから、市民からは「連隊橋」と呼ばれ親しまれていました。

現在の橋は、神通川左岸から呉羽山を切り通し射水市（旧小杉町）に至る国道11号(当時)の改良事業に合わせて架け替えられたもので、昭和11年に竣工しました。形式はゲルバー式上路鋼鈹桁橋（幅員16m）で、当時県内第一の長大永久橋でした。このとき、富山大橋と名付けられています。

現富山大橋は、供用から74年が経過し老朽化が進んだことや、近年の車両の大型化を考えると通行の安全性を確保し難しい状況です。このため新しい橋に架け替え、現在の橋を撤去することとしています。

本稿では、架け替え中の富山大橋の概要と施工状況について報告します。



写真-1 明治42年(1909)神通新大橋架橋

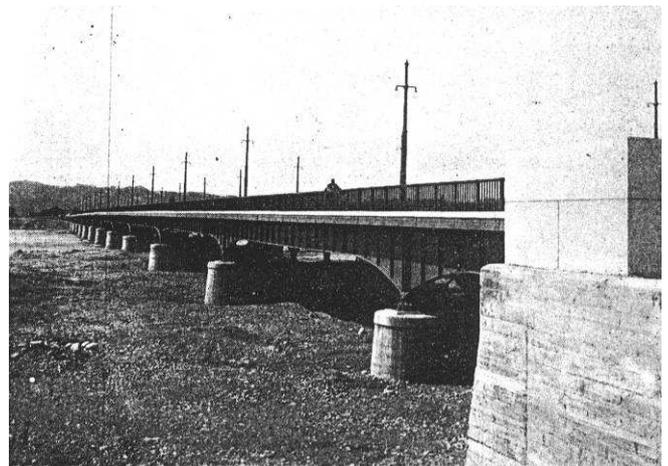


写真-2 昭和11年(1936)富山大橋竣工

2 計画概要

2.1 全体

- 道路名：都市計画道路呉羽町袋線（県道富山高岡線）
- 工事箇所：富山市五福～安野屋
- 延長：街路事業 約1.3km（内 橋梁部 466m）
：路面電車複線化 約1.5km
- 標準幅員：一般部（橋の前後）32.5m、橋梁部：30.5m

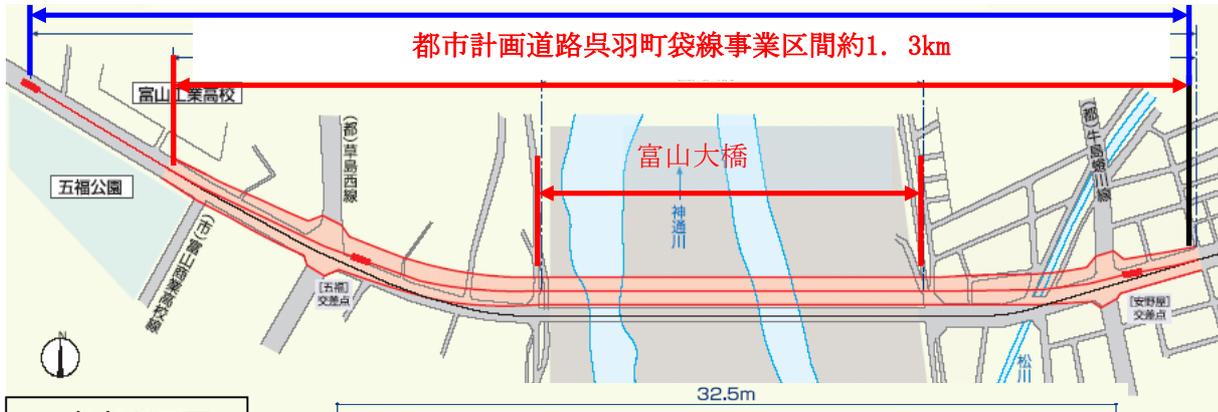
2.2 橋梁部

- 形式：上部工…8径間連続鋼非合成箱桁橋
：下部工…橋台：逆T式橋台、橋脚：壁式橋脚
：基礎工…橋台：杭基礎、橋脚：ケーソン基礎
- 橋長：466m

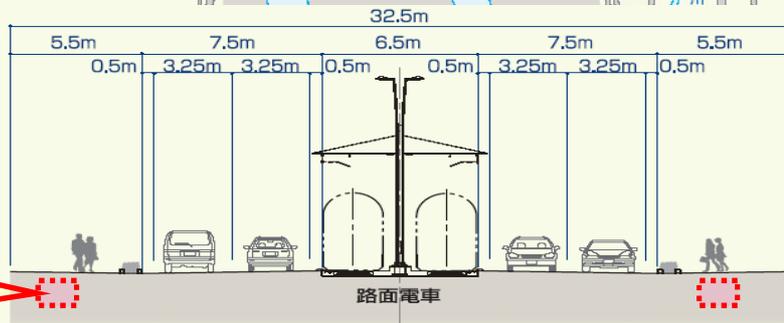
図-1 計画概要図

平面図

都市計画道路大学前安野屋線（特殊街路）
路面電車複線化区間約1.5km

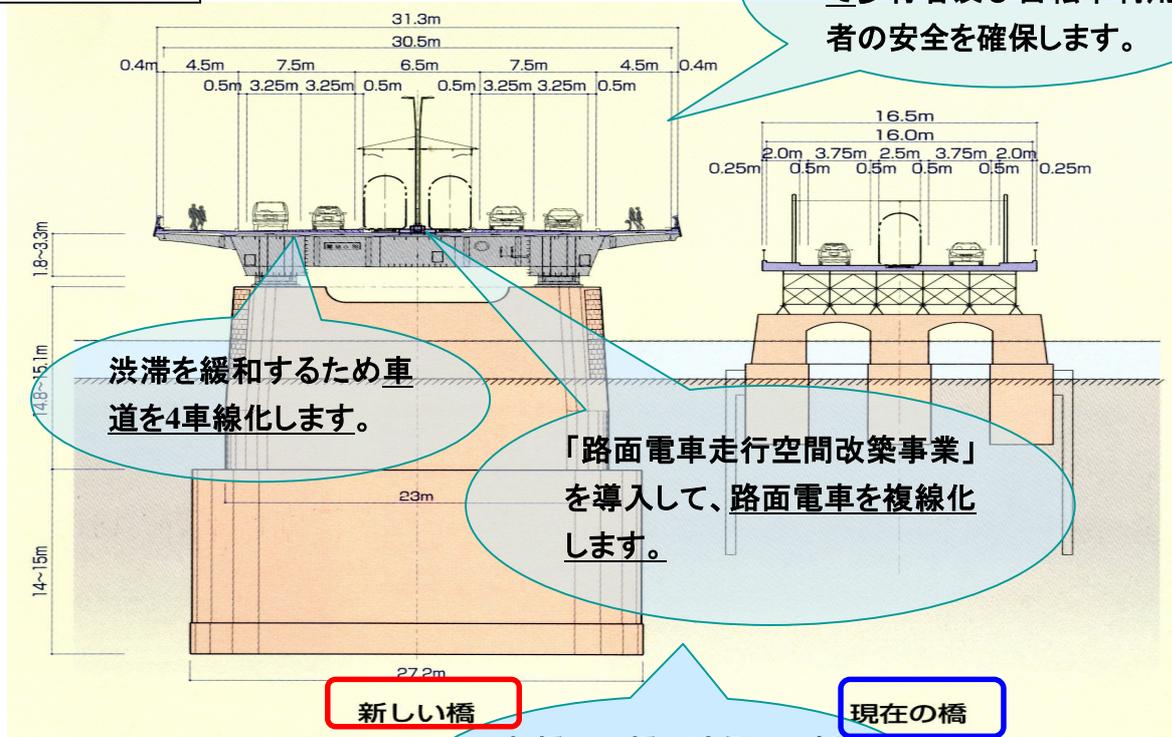


一般部断面図



電線類
地中化

橋梁部断面図



歩道幅員を2m→4.5mとして歩行者及び自転車利用者の安全を確保します。

渋滞を緩和するため車道を4車線化します。

「路面電車走行空間改築事業」を導入して、路面電車を複線化します。

新しい橋

現在の橋

新橋は現橋下流側に一括施工で架け替えます。

3 橋の設計

新しく架け替える富山大橋が、富山市民はもとより広く県民に親しまれる橋となるように、平成10年度富山大橋計画検討委員会（委員長：東京大学教授（当時）篠原修氏）を組織して橋梁形式を検討し、次のような基本方針を定めました。

- 立山連峰の眺望と調和した橋梁形式を基本とする。
 - これからも市民に愛される、絵になる橋の姿とする。
 - 親しまれる橋となるよう、人がくつろぎ、やすらぐことのできるバルコニーなどを整備する。
- これにより、「桁高変化を有する鋼箱桁橋」が推奨されました。



図－2 富山大橋完成予想図

3-1 橋梁景観デザインのポイント

○デザイン方針

「立山連峰（男性のイメージ）の景観を引き立て、利用者をやさしく包み込むような女性的でやさしいイメージの橋」と設定。

○桁高変化曲線

リズムが明快に刻まれる3次放物線を採用し、断面変化の表情を豊かに表現。

○桁色彩

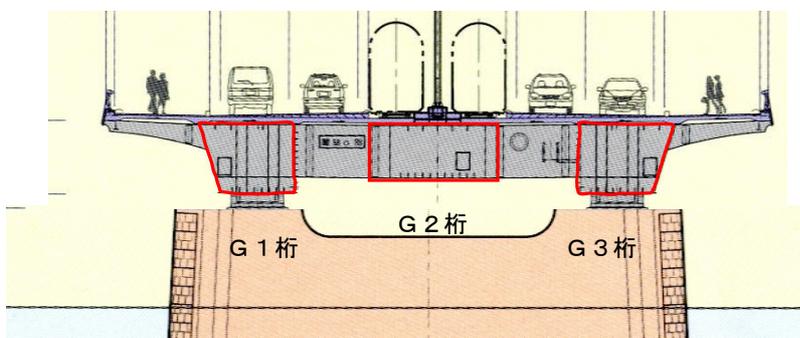
背景の立山連峰に調和し、現橋の記憶を継承できる色として、日本の伝統色の中から「青鈍（にび色）」を選定。

○3主桁2支承

通常は3主桁3支承だが、桁下に空間を設けることで、圧迫感が少なく、軽快な印象。

○橋脚デザイン

石張りパネルを貼り、風格のあるデザインを目指す。



図－3 主桁部断面図

4 上部工の施工について

上部工は、8径間連続の箱桁で、3本の主桁の鋼材総重量は約5,200トン、支承に超高減衰ゴム支承を用いた免震橋になっています。

架設工法は、神通川の流水部にあたるA1～P5間は送り出し架設とし、高水敷にあたるP5～A2間はトラッククレーンベント架設にて施工しました。

送り出しは、3主桁の内、中央のG2桁を最初に架設し、G2桁上を利用してG1、G3桁を引き出して架設しました。

床版は、鋼・コンクリート合成床版を採用しており、現在、施工を進めています。

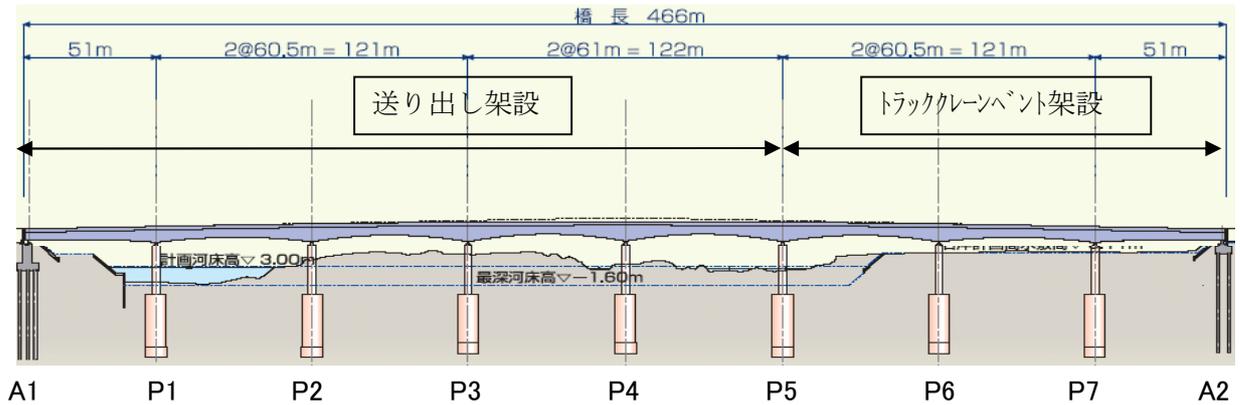


図-4 橋梁側面図



写真-3 G2桁送り出し架設状況



写真-4 G1桁の送り出し架設状況

5 おわりに

昨年8月、送り出し中のG1桁が台車から落下し、G2桁が損傷する事故がありました。多くの関係者の協力により、損傷部の復旧工事は今年6月に完了し、上部工工事は当初工程を取り戻しています。

今後は、橋梁部の工事を進めるとともに、路面電車軌道、取り付け道路、電線類地中化等の工事を進め、平成24年3月の供用開始に向け、努力していきたいと考えています。



写真-5 富山大橋施工状況 (H22.7月末現在)

振動ローラの加速度応答による舗装工事の品質管理技術

大林道路（株）技術研究所 工法研究室 主任研究員 ○牛袋 昭宣
 大林道路（株）技術研究所 工法研究室 室長 小関 裕二
 （株）大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任技師 古屋 弘

1 はじめに

振動ローラで地盤の締固めを行った場合、転圧の進行による地盤の剛性の増加に伴い、地盤からの反発を受けることにより振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数を分析することで締固め度の変化を計測することが可能となる¹⁾。土工事では、この加速度応答を利用して締固め度をリアルタイムに全体管理する評価手法が既に実用化されており²⁾、NEXCO 各社では路床の検査時に採用（JHS123：ローラ加速度応答法による剛性測定試験方法）されている。

筆者らは、この土工事で使用されている技術を舗装工事に適用し、広い地盤面を効率的、客観的に判定する合理的な品質管理技術の開発を目的に研究開発に取り組んでいる。

本文では、舗装工事に振動ローラの加速度応答による施工管理技術を適用することを目的とした試験施工から得た結果をもとに、合理的な品質管理技術の構築の可能性を述べるものである。

2 振動ローラの加速度応答による評価手法³⁾

本検討において計測した加速度応答値は、藤山・建山による理論式で地盤変形係数（以降 E_{roller} と記す）を求めた。図-1 に加速度応答の計測例および分析結果の一例を示す。転圧の進行による地盤の剛性の増加に伴い、振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数解析において振動ローラの振動数以外の成分（高周波スペクトル S_1, S_2, S_3 ならびに $1/2$ 分数調波スペクトル S_1', S_2', S_3' ）が卓越

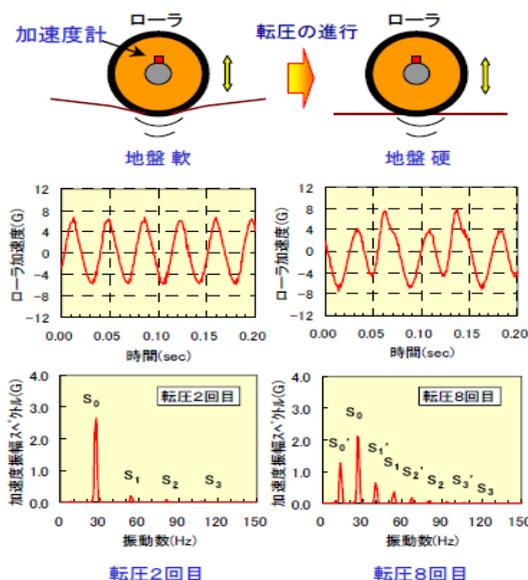


図-1 加速度計測および周波数分析例

する。この性質を利用して「乱れ率」を定義する。

図-2 には数値計算するためにモデル化したものを示す。式（1）に乱れ率の算出式を示す。乱れ率が大きいほど、地盤が締固まっていることを表す。

$$\text{乱れ率} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i + \sum_{i=1}^3 S_i'}{S_0 + S_0'} \quad (1)$$

$$\frac{F}{(m_1 + m_2)g}$$

ここに、 S_i, S_i' : 加速度スペクトル (G)

F : 起振力 (kN)

f : 振動数 (Hz)

m_i : 質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

藤山・建山による理論式を式（2）に示す。これで得られる E 値を E_{roller} とした。

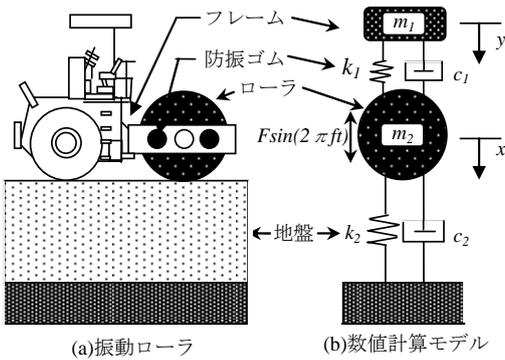


図-2 振動ローラの数値計算モデル

$$E = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{B \cdot \pi} \cdot \frac{\left(\frac{4}{3} \text{乱れ率} + 1\right)^2 \cdot (2\pi f_0)^2 \cdot m_2}{1 - 0.32\alpha + \sqrt{0.1024\alpha^2 - 1.64\alpha + 1}} \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{(m_1 + m_2)}\right)^2$$

ここに、 ν : ポアソン比 (0.33 と仮定)

B : 振動輪幅 (m)

f : 振動数 (Hz)

3 振動ローラの加速度応答による評価システム⁴⁾

振動ローラの加速度応答は地盤の締固めの進行に伴って変化する。したがって、振動ローラの振動輪の加速度を計測することによって、地盤の剛性や締固め度を判定することができる。また、施工を行いながらリアルタイムに、かつ施工面全体にわたって品質を判定することが可能である。機器は、加速度計、加速度解析装置、GPS、ノートパソコンで構成される。図-3 に機器構成、図-4 にデータの流れを示す。

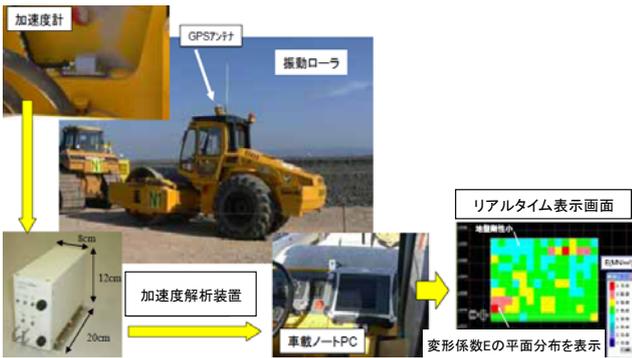


図-3 機器構成

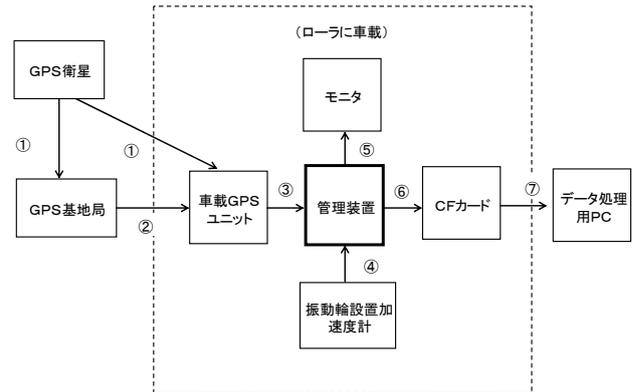


図-4 データの流れ

図-4 のデータの流れは次の通りである。

- ① GPS からの位置信号。
- ② GPS からの位置信号を受けて位置修正信号を車載 GPS ユニットに送信。
- ③ GPS と基地局からの修正信号により現在位置を確定し、管理装置に位置データを送信。
- ④ 振動輪に設置した加速度計からの信号を管理装置に送信。
- ⑤ 管理装置においてリンクされた位置データと加速度データを表示。
- ⑥ リンクされた位置データと加速度データを受信して時系列に記録。
- ⑦ データを記録した CF カードを解析プログラム内蔵の PC に接続し、種々の解析を行う。

4 実用化の検討^{5), 6)}

4. 1 試験施工

舗装の品質評価への適用可能性を確認するため、図-5に示すように、路床として砕砂を600mm、下層路盤としてRC-40 を150mm、上層路盤としてM-30 を100mm、表層として密粒度アスファルト混合物を

50mm の舗装を構築した。使用した振動ローラは、図-6に示す4 tコンバインドローラであり、舗装工事で一般的に使用されるものである。GPS、加速度計、解析装置、ノートPCを既存のコンバインドローラに取り付け、リアルタイムに転圧位置における E_{roller} をモニタリングしながら転圧作業を行うことができるようになっている。

ローラは同じレーンを通過するように往復し、転圧回数毎に加速度測定を行い、転圧後にRIによる密度測定、小型FWD（路床、路盤上）およびFWD（表層）によるたわみ量測定を行った。なお、小型FWDおよびFWDから得られたたわみは、下記の式（3）によって弾性係数 E_{fwd} を求めた。

$$E_{fwd} = \frac{2 \cdot (1 - \mu^2) \cdot P}{\pi r D} \quad (3)$$

ここに、 E_{fwd} : fwdによる弾性係数(MN/m²)

μ : ポアソン比

P : 荷重の最大値(N)

r : 載荷版半径(mm)

D : 変位の最大値(mm)

4. 2 試験結果

4. 2. 1 転圧回数と締固め度の関係

転圧回数と締固め度の関係を図-7に示す。路床、下層路盤、上層路盤、表層とも転圧回数とともに締固め度が大きくなる傾向がみられる。

4. 2. 2 転圧回数と E_{roller} の関係

転圧回数と E_{roller} の関係を図-8に示す。路床、下層路盤、上層路盤、表層とも転圧回数とともに E_{roller} が大きくなる傾向があり、表層を除けば、層ごとに E_{roller} が大きくなる。

4. 2. 3 転圧回数と E_{fwd} の関係

転圧回数と E_{fwd} の関係を図-9に示す。転圧回数とともに E_{fwd} は大きくなる傾向がある。すなわち、支持力が増加していることがわかる。



図-5 舗装構成



図-6 4トンコンバインドローラ

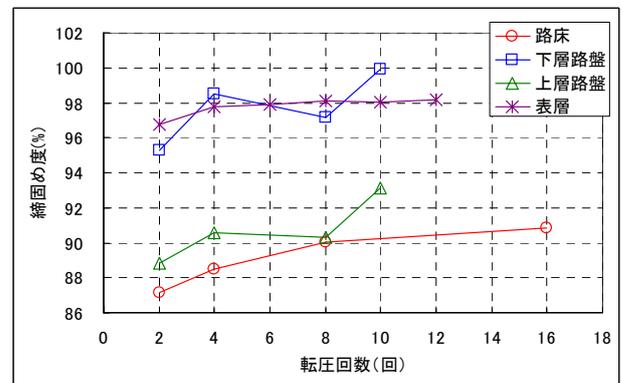


図-7 転圧回数と締固め度の関係

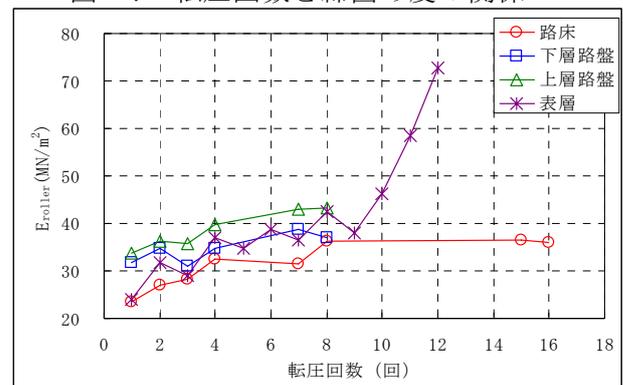


図-8 転圧回数と E_{roller} の関係

4. 2. 4 E_{fwd} と E_{roller} の関係

E_{fwd} と E_{roller} の関係を図-10に示す。表層のFWDは、路面温度が40℃程度になってから振動ローラで加速速度を計測した後に測定したものである。 E_{fwd} と E_{roller} は相関がみられる。

4. 2. 5 まとめ

試験施工を以下にまとめる。

1) E_{roller} は、転圧を重ね、強度の大きい層を重ねた際の増加変動を感知している。

2) E_{roller} と E_{fwd} には相関が見られる。

以上のことより、舗装工事において、振動ローラによる加速度応答値から地盤剛性を測定し、それが締固め度やFWDと同等に評価できることがわかった。

5 おわりに

現在の品質管理は、間接管理、局所管理であるため、測定箇所以外の品質の信頼性は低く、広い地盤面を効率的、客観的に判定することが困難であると思われる。本文で示した技術は、GPSによって施工中にエリア全体の品質を把握することが可能である。リアルタイムに評価が可能となることで、不具合の発見も容易になる。さらに、品質管理に必要な試験作業も少なくなり、安全性の向上も期待できる。今後更にデータを収集し検証、評価を進める予定である。最後に試験施工で多大な協力をいただいた関係各社の皆様に感謝の意を表するとともに、今回の試験施工が国土交通省の建設技術開発助成制度の適用によるものであることを付記する。

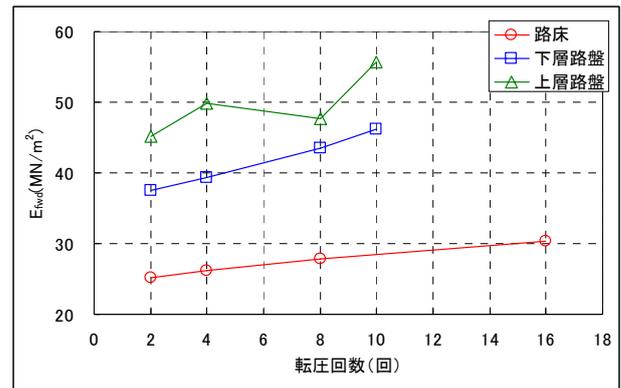


図-9 転圧回数と E_{fwd} の関係

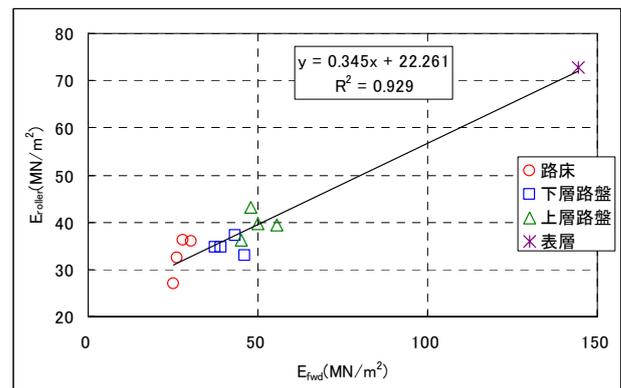


図-10 E_{fwd} と E_{roller} の関係

参考文献

- 1) 藤山哲雄、古屋弘：振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発，平成16年度管内技術研究発表会(近畿地方整備局)，2004
- 2) NETIS (KT-050054-V)：3次元情報と α システムによる情報化施工
- 3) 藤山哲雄、建山和由：振動ローラの加速度応答法を利用した転圧地盤の剛性評価手法，土木学会論文集 No. 652/III-51, pp. 115~123, 2000
- 4) 根元司、高倉拓、古屋弘：振動ローラの加速度応答による舗装工事の品質管理手法の合理化の検討、平成20年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集、社団法人日本建設機械化協会、2008
- 5) 小関裕二、高倉拓、古屋弘：振動ローラの加速度応答を利用した舗装工事の剛性評価，土木学会第64回年次学術講演会，講演概要集，2009
- 6) 小関裕二、牛袋昭宣、高倉拓、古屋弘：振動ローラの加速度応答を利用した舗装工事の品質管理に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第14巻、2009

プレキャスト RC 版舗装の汎用例

プレキャスト RC 版舗装協会 水倉一夫

1. はじめに

プレキャスト RC 版舗装 (PRCP) は、品質の安定した工場製品を現地に敷設することから日々交通解放が図れ、高強度コンクリートを使用し、耐摩耗性に優れていることからトンネルの舗装修繕に採用され、昭和 61 年一般国道 17 号二居トンネルの設置からこれまでに 26 のトンネルで 9,204 枚、77,277 m²の敷設が行われた。

近年、プレキャスト RC 版 (PRC) は、無散水融雪やカラー・意匠性の付加も対応可能なことから明かり部での適用が行われ、トンネル内舗装に限らず交差点やバス停、高速道路の料金所などの高耐久性舗装としての導入も行われている。

本報告は、プレキャスト RC 版舗装協会の取り組みとして PRCP の特徴や施工方法の改良と、中日本高速道路(株)金沢支社管内で施工された PRCP の設置事例について報告するものである。

2. PRCP の改良について

プレキャスト RC 版舗装協会は、これまでにコスト低減策としてリバーシブル型プレキャスト RC 舗装版の普及に努めてきたが、いくつかの問題が提起され改良が行われた。

2.1 ひび割れ等の不具合の解消

導入当初のトンネル内の PRCP の供用性調査から、版と版をつなぐ連結鉄筋を装着する切込み部や版の中央部などでひび割れが確認された。その対策としては、PRC 版を超大型のブロックと位置づけ、路盤にアスファルト中間層を設けることによる目地直下を含め版の支持力を増強することで対応した。また、連結部の不具合に対しては、トンネル内の PRCP では連結鉄筋を省略、交差点等の明かり部では版相互の連結確保の観点からスリット型ジョイントをスパイラル筋で補強した連結鉄筋挿入孔型ジョイントに改良した。(写真-1～写真-2)



写真-1 連結鉄筋の準備状況

2.2 PRCP の構造設計法の開発とコストの低減

PRCP は便宜上、通常のコンクリート舗装の設計法（舗装設計便覧/(社)日本道路協会）を準用しているが、適用箇所の交通条件や温度条件によっては上下に鉄筋を配した PRCP の構造的な特徴を十分に反映できない場合があった。そこで、コスト低減版を目標に PRCP 固有の理論的解析に基づく構造設計法確立に向け、供用中の一般国道 7 号朝日トンネル内で PRCP 版に発生する荷重・温度応力を測定し解析方法の有効性や妥当性を検証した³⁾ (写真-3)。この検



写真-2 連結鉄筋の挿入方法

討結果等から PRCP 構造設計プログラムを開発¹⁾, PRCP の版下面の疲労とその疲労破壊が生じた後の鉄筋の疲労の 2 段階を考慮することにより, 適用条件や舗装計画交通量に合った版厚の選定が可能となった²⁾. 適用箇所にあった版厚を選定できることから, 適切な初期コストの設定が可能となった. また, リバーシブル型プレキャスト R C 版舗装工法を開発し, 表裏両面での供用ができ長期的な観点からのコストダウン化が可能となった.



写真-3 朝日トンネルの載荷試験状況

3. 中日本高速道路(株)金沢支社での施工事例

3.1 工事の概要

高速道路(株)各社では, ETC の普及の伴い料金所職員の ETC レーン横断接触事故の防止を目的とした地下通路の設置工事が進められている. この工事に際しては, スルーゲートに設置されている支障物件の調査, 橋上・横断地下方式の決定, 横断ボックスの設置方法, 仮設工法ならび復旧方法等について支社における実施要領がまとめられたが, 舗装復旧に関しては設計要領第一集 舗装編の基準によるものと示されている.

中日本高速(株)金沢支社では, 高速道路利用者に配慮し ETC レーンの閉鎖を抑える目的から即日交通開放が必要な箇所では PRCP が採用された. 工事概要は次のとおりである.

工事名: 北陸自動車道 金沢管内料金所地下通路工事

工事場所: 石川県内 (6 料金所)

請負者: 竹沢建設株式会社

工期: 平成 20 年 3 月 4 日 ~ 平成 22 年 2 月 21 日

復旧面積: PRCP 工 347.0 m²



写真-3 供用中の ETC レーン (小松 IC)

工事名: 北陸自動車道 福井管内料金所地下通路工事

工事場所: 福井県内 (8 料金所)

請負者: 坂川建設株式会社

工期: 平成 21 年 2 月 3 日 ~ 平成 22 年 1 月 28 日

復旧面積: PRCP 工 434.1 m²



写真-4 供用中の ETC レーン (丸岡 IC)

工事名: 北陸自動車道 富山管内料金所地下通路工事

工事場所: 富山県内 (5 料金所)

請負者: 中越興業株式会社

工期: 平成 21 年 2 月 25 日 ~ 平成 22 年 2 月 19 日

復旧面積: PRCP 工 208.8 m²

3.2 施工の概要

この地下通路復旧工事は図-1に示すような施工断面となっており、これまでアスファルト中間層の上に PRC 版を設置、高さ調整後に間詰コンクリート打設と裏込めグラウトの注入、加熱目地材の注入後交通開放を行っているが、以下の状況から鋼製矢板の上に PRC 版を設置する施工方法を採用している。

仮舗装の撤去から交通開放までの施工時間内で、アスファルト中間層の舗設が厳しい。今回の復旧では PRC 版とアスファルト中間層が同じ位置にジョイントが出来てしまい本来の目的である目地から雨水の浸透による空洞化の抑制にならないため、プライムコートのみとした。

既設コンクリート舗装版との荷重伝達の向上と段差の抑制から、既設コンクリート版を削孔し連結鉄筋による一体化を図った。その際、割り付け図(図-3)に示すようなアイランドとの連結は行わず、車両が走行する PRC 版と PRC 版相互は連結鉄筋を使用した。

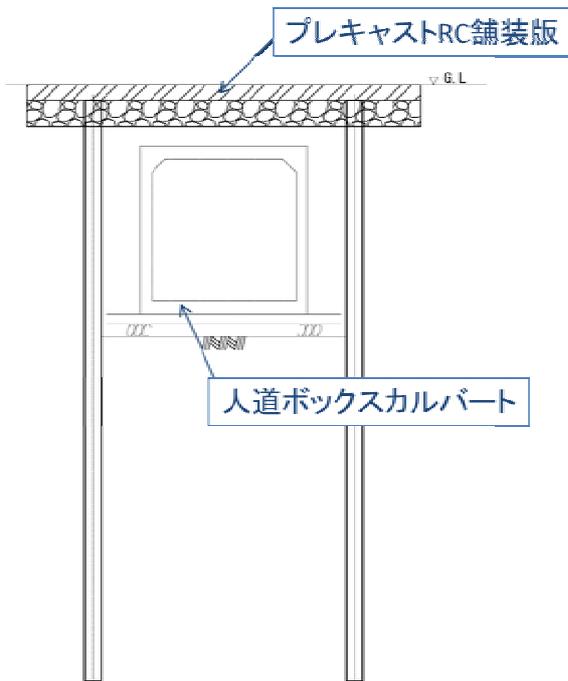


図-1 復旧断面図

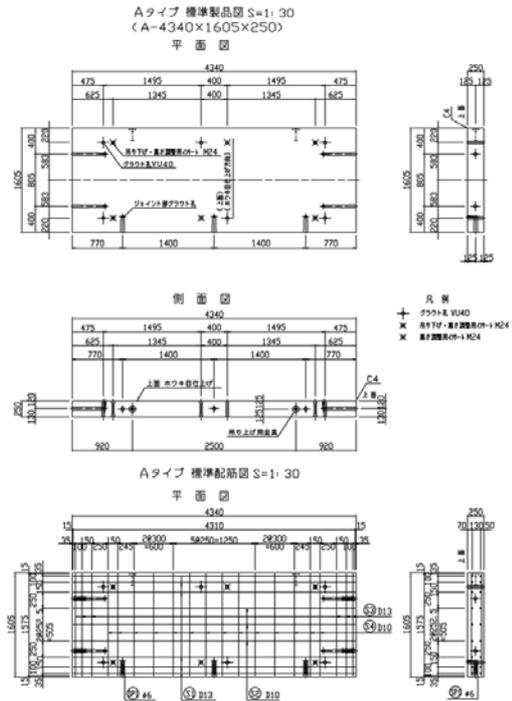


図-2 製品図(小松IC)

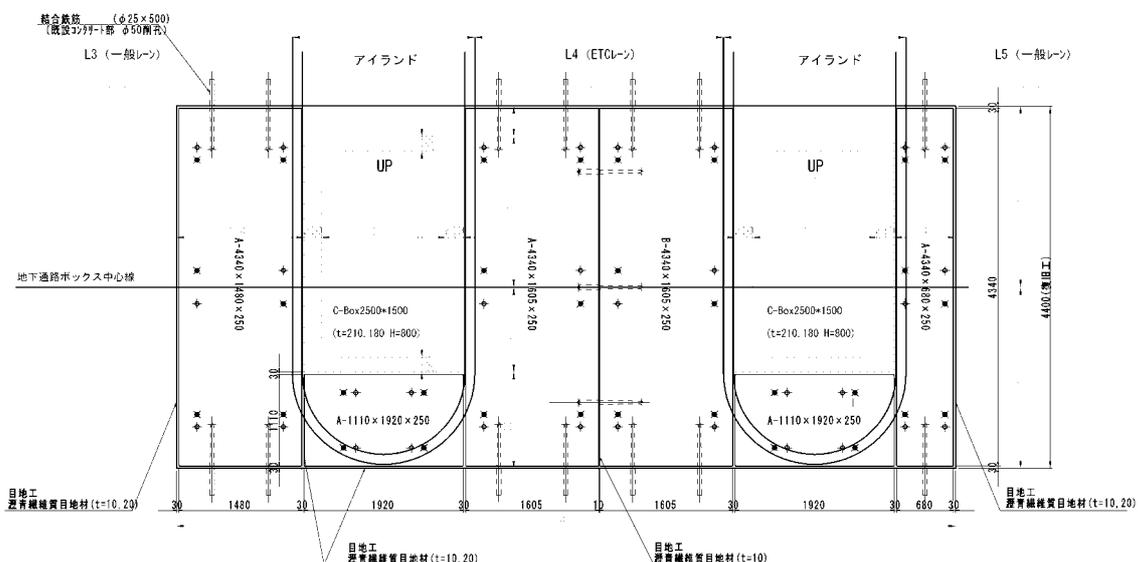


図-3 PRC版の割り付け図(小松IC)

3.3 施工上の課題

PRC版の設置については、これまでと同じであったが施工業者・製品製造業者による施工検討会において以下に示す課題が確認された。

規制時間内での施工完了。

- ・既設コンクリート版との連結鉄筋用削孔のタイミング。
- ・高さ調整用鉄板，グラウト流出防止テープの工場貼付。
- PRC版設置のクリアランス確保。
- ・既設舗装の切断と人道ボックス据付精度を考慮した目地幅。
- PRC版の搬入方法。
- ・料金所スペースへの運搬車両の進入方法。
- ・運搬車両の進入タイミング。

施工順序は、仮舗装の撤去・プライムコートを含む路盤工，連結鉄筋用の削孔後，ビニールシートと目地板設置，PRC版の設置と高さ調整，裏込めグラウトの注入と加熱目地材の注入，裏込めグラウトの硬化を確認し高さ調整ボルトの撤去とアイランド縁石の設置，という手順で行っている。

施工状況を写真-5～写真-7に示す。また，施工時において新たな問題が明らかとなった。主な問題は以下のとおりである。

ETCレーン供用状態にあり，ガントリー等の構造物をかわしたPRC版の据付。

施工重機の旋回および搬入時の安全確保。

RC版設置計画，工程の変更対応。

料金所やETCレーンの運用状況により夜間作業や昼間作業ではあったが，規制時間内の復旧工事を完工することができた。今後は，残る富山管内（富山IC～朝日IC）への製品供給と施工を行う予定である。



写真-5 既設コンクリート版の削孔状況



写真-6 復旧箇所のPRC版設置状況



写真-7 ガントリーをかわした設置状況

4. まとめ

これまでトンネル舗装における修繕工事での数多い実績はじめ，明かり部での融雪配管理設型のPRC版に加え，踏掛版への利用も昨年報告された。本工法は，即日開放が求められる現場環境において優位性が発揮されることがあらためて確認された。また，中日本高速道路(株)金沢支社での施工結果から，IC毎に異なるETCレーンのレイアウトにも対応できるものの，PRC版の寸法パターンの集約化が，コスト面の課題である。

(参考文献)

- 1)北口他：疲労解析に基づいたプレキャストRC版舗装の構造設計法の開発，土木学会舗装工学論文集(2006)
- 2)プレキャストRC版舗装協会：リバーシブル型・融雪配管理設型プレキャストRC版舗装設計施工マニュアル(2007)
- 3)水倉他：交通荷重によるプレキャストRC舗装版の力学的挙動，第59回年次学術講演会講演概要集(2004)

静的圧入締固め工法の液状化対策効果と隆起抑制対策

(株)本間組土木事業本部土木部 渡辺 善則
 同 土木事業本部土木部 松山 伸二
 同 土木事業本部土木部 渋谷 雄司
 同 土木事業本部技術部 黒坂 正博

1. はじめに

新潟空港は我が国の航空輸送上重要な拠点空港と位置付けられており、大規模地震に際しても空港機能の維持が求められている。今般、新潟空港において耐震性向上のための液状化対策として、静的圧入締固め工法（以下、CPG 工法）による地盤改良工事を行った。CPG 工法は、密度増大による液状化対策工法のひとつであり、極めて流動性の低いモルタルを地盤中に注入して固結体を造成し、この固結体による締固め効果で周辺の地盤を圧縮強化するものである。地盤改良対象土層は細粒分含有率 10%未満の砂層であり、改良形式は類似条件の石狩湾新港で実施された「実物大の空港施設を用いた液状化実験」における結果を参考に、改良効果が期待される最小改良率 5%、改良ピッチ 2m（正三角形配置）で計画されている。地盤改良工事では、CPG 工法における改良効果の確認と施工に伴う地盤隆起の管理手法の確立および周辺施設、地盤に与える影響を把握するため、事前・施工中・事後の調査・計測を実施した。本報は、実施工レベルでの最小改良率 5%における改良効果と地盤隆起抑制のための管理方法の事例を紹介する。

2. 工事概要

施工平面図、調査・計測位置図を図-1 に示す。地盤改良は、供用中の滑走路およびショルダー上の 8.7m×12m 範囲を通常施工（ボトムアップ方式）8 本，施工に伴う隆起抑制対策としてリバース併用方式 20 本の CPG 施工を実施した。施工地点の標高は TP+4.8m であり，改良深度は TP±0m～-10m（土被り約 5m），地下水位はおおむね TP±0m であった。改良対象地盤の土層は，N 値 6～28（一部 40）とバラツキがあり，全般的に深度方向に大きくなる傾向にあるが，改良下端付近では N 値が低下している。事前調査結果に基づく液状化判定では対象土層の上部と下部がレベル 1 地震動で「液状化する可能性のある範囲」と判定された。

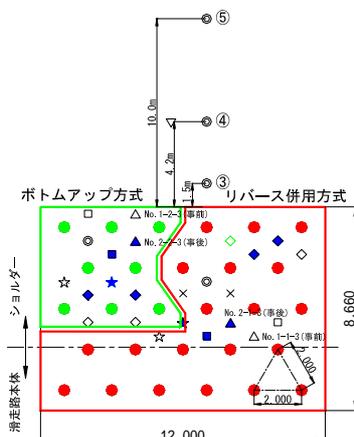


図-1 施工平面図，調査・計測位置図

- [事前・事後調査]
 : 標準貫入試験及び現場透水試験
 : サンプル及び室内試験
 : 孔内水平載荷試験 (SBP)
 : ピエゾドライブコーン (PDC)
- [施工中調査]
 × : 間隙水圧計
 : 地中変位計
 : 地下水観測

改良率 : 5%
 改良ピッチ : 2.0m
 施工本数 : 28 本

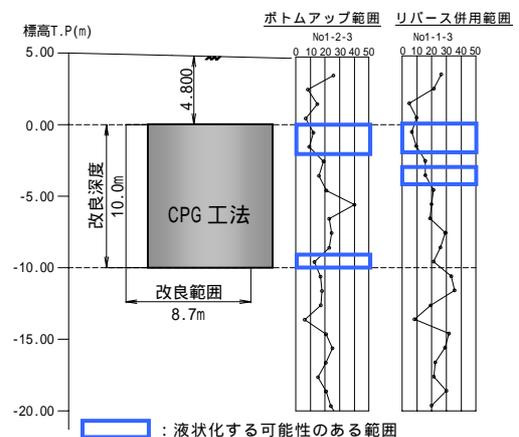


図-2 施工断面図

3. 施工方法

ボトムアップ方式は、固結体下端から上方に向かってステップ毎に順次圧入する方式であり、1ステップ33cmが標準である。改良深度が10mであることから、約30ステップの固結体を造成する。

リバース併用方式は、注入手順はボトムアップ方式と同じであるが、CPGポンプの正転運転中にリバース運転（逆転運転）を行うことにより、強制的に圧入圧力を除荷しながら圧入する方法である。この载荷（正転運転）と除荷（逆転運転）を繰り返すことにより、繰り返し圧入を再現させたものである。（図-4(b)）通常圧入の吐出速度30L/minに対してリバース併用方式では50L/minと設定し、1ステップの中でリバース運転を3~5回行うことで、注入1本あたりの全体平均としては、通常圧入とリバース併用方式による圧入がほぼ同じ施工能率となる。

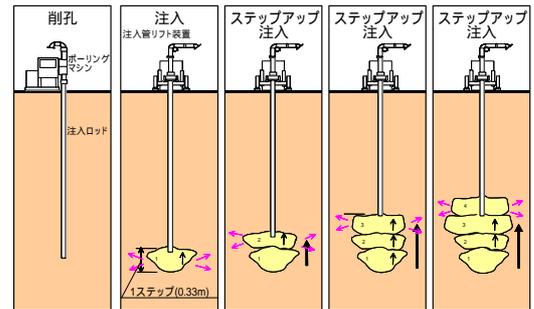


図-3 ボトムアップ方式施工手順図

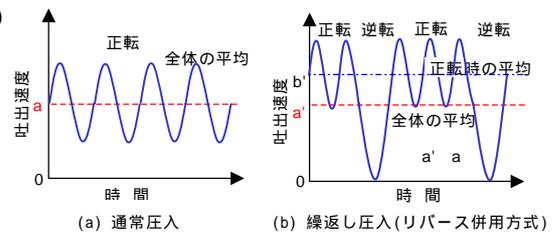


図-4 繰り返し圧入(リバース併用方式)のイメージ図

4. 隆起抑制対策の施工管理方法

地盤の隆起抑制対策として、リバース併用方式の採用、分散施工、ローテーション施工、注入圧力管理を実施した。分散施工は、固結体打設時の影響範囲に対して、同じ日に施工する固結体は影響範囲がラップしないように間隔をあけて分散させた施工を行うことであり、1本/日の打設とする分散施工とした。

注入材料の圧入により上昇した間隙水圧の消散には時間を要するが、間隙水圧が残留した状態で圧入を行うと隆起の原因となる。ローテーション施工は、固結体を隣接して打設する場合に、間隙水圧消散まで放置期間を置くことである。間隙水圧の計測結果（図-5）から、注入完了後の間隙水圧が施工前の値に回復するまでの時間は2~3時間であることが確認されたことから、1本/日の打設とすることでローテーション施工を行った。

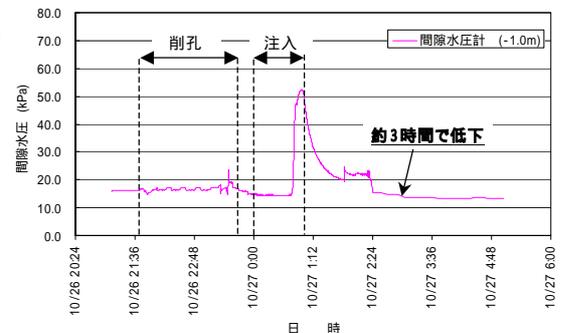


図-5 施工工程と間隙水圧の変化

これまでのCPGの実績より、N値が10~15を超ると注入圧力が上昇する傾向にあり、圧力の上昇は地盤を隆起させる原因となることから、圧力の上限値を6MPaに設定し管理を行った。固結体1本あたりの隆起管理値は、管理目標値5mm、二次管理値4mm、一次管理値3mmと1mm毎に移行することから、1ステップあたりの隆起管理値を0.5mmと設定した。注入圧力とステップ別隆起量に管理値を設定することで、1ステップあたりの注入量が計画注入量に満たない場合でもステップアップを行った。

5. 隆起および地盤変位

注入圧力の上限値を6MPaに設定し管理を行った結果、実施注入量は多くの地点で計画量を下回っ

た．実施注入率（計画注入量に対する実施注入量の割合）は両方式とも TP-4m を境に上下で平均注入率が大きく異なり，ボトムアップ方式で 42～66%，リバーズ併用方式で 53～85% となり（図-6），リバーズ併用方式の方が高い結果となった．注入圧力の深度分布は改良方式別で同様な傾向を示し，浅くなるにつれて圧力は小さくなる．一般的にリバーズ併用方式はボトムアップ方式と比べて同一深度での注入圧力がやや低い．

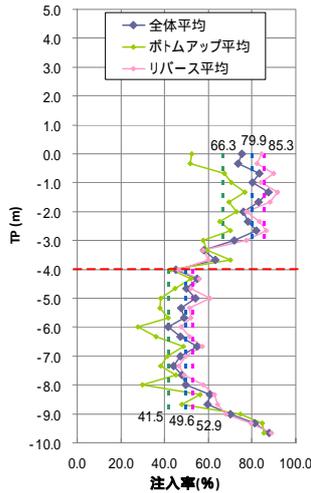


図-6 実施注入率と平均注入圧力の深度分布

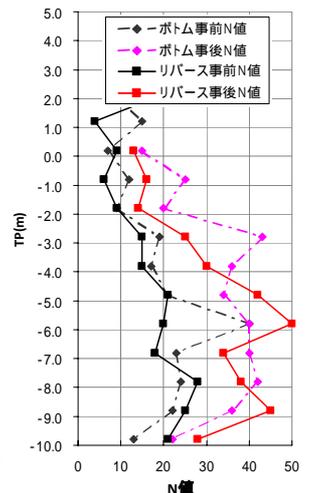
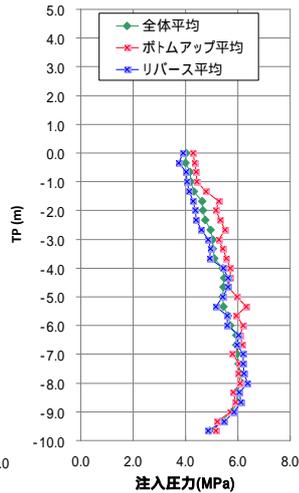


図-7 事前・事後 N 値

鉛直変位量は，施工完了時に観測した累計隆起量でボトムアップ方式およびリバーズ併用方式ともに最大で 1mm であり（図-8），CPG 施工に伴う顕著な隆起は生じず，改良方式による隆起抑制効果に違いは現れなかった．CPG の施工に伴う地中水平変位の影響範囲把握を目的に，施工範囲外側に地中変位計 ， ， を配置した．10m 位置の変位形 では，観測期間を通してほとんど変位が認められなかった． ， ， で観測された結果より，施工範囲から 13m 程度離れることで水平方向に対する影響はほとんどなくなる（図-9）．

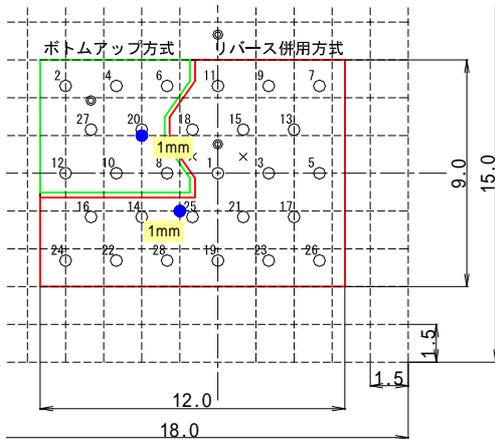


図-8 累計隆起量の分布

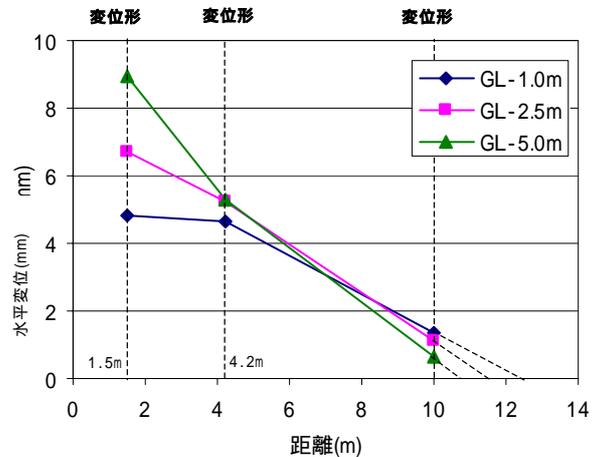


図-9 水平変位と施工範囲からの距離との関係

6. 改良効果について

改良前・後の等価 N 値の比較を図-10 に示す．改良後の地盤は，事前と比較してボトムアップ方式，リバーズ併用方式ともに 1.8～1.9 倍程度に N 値が増加し，施工方法による改良効果の明確な違いは認められなかった．改良後地盤の液状化判定では，「液状化しない」結果となり，深度にかかわらず一様に地盤改良効果が確認された．

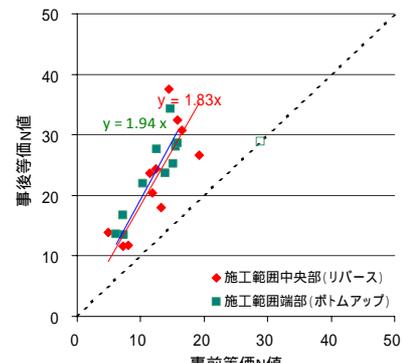


図-10 事前・事後の等価 N 値の比較

等価 N 値（N₆₅）は，有効上載圧が 65kPa の場合に換算した N 値

改良効果の評価として、液状化ポテンシャルサウンディング試験（間隙水圧測定を伴う動的コーン貫入試験）を実施した。調査ボーリングによる 1m 間隔での標準貫入試験に対して 20cm 毎の打撃による評価が可能であり、また、試験に要する時間が短く地盤の液状化強度を即座に評価できることから、地盤性状の変化・バラツキを深度方向および平面的に把握できる利点がある。ここでは、事前・事後の貫入試験結果（貫入抵抗 N_d 値）について紹介する（図-11）。 N_d 値は標準貫入試験結果とおおむね対応する値を示しており、標準貫入試験ではとらえられない地盤の性状、強度増加を把握することができる。

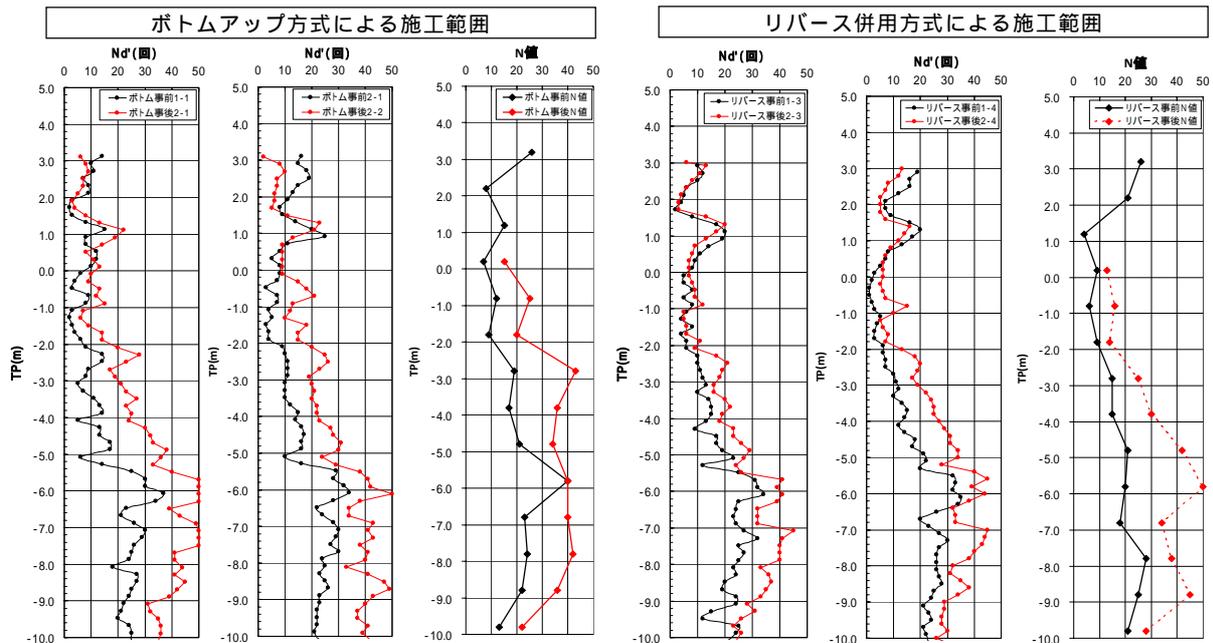


図-11 動的コーン貫入試験結果（液状化ポテンシャルサウンディング試験）とN値の比較

7. おわりに

ボトムアップ方式、リバース併用方式ともに 5%改良率で液状化対策効果を発揮することが確認された。施工方式別による改良効果および隆起抑制効果に明確な違いは現れなかったが、リバース併用方式は低い圧力で高い注入率を示した。また、注入圧力管理が有効な管理方法であることを確認したが、地盤隆起が抑制された要因としては低改良率であったことや既設舗装体の剛性等も影響しているものと考えられる。注入圧力は改良深度、地盤条件によっても異なることから、今後のデータの蓄積により新潟空港地盤における注入圧力の管理指標を設けることで、確実な改良効果と地盤隆起抑制が期待できると考える。

なお、掲載したデータは（財）沿岸技術研究センターから提供頂いた。記して謝辞を表す。

【参考文献】

- 1) 「液状化対策としての静的圧入締固め工法 技術マニュアル - コンパクショングラウチング工法 - 」平成 19 年 6 月、(財)沿岸技術研究センター
- 2) 山崎浩之・竹村淳一・大里睦男・池内章雄・藤井照久・高田圭太：細粒分の少ない砂地盤における静的圧入締固め工法の設計パラメータと地盤変位予測。土木学会第 65 回年次学術講演会，2010（投稿中）
- 3) 澤田俊一・菅野高弘・中澤博志・竹村淳一：間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法 - その 12 滑走路下の液状化対策評価事例 - 。土木学会第 65 回年次学術講演会，2010（投稿中）
- 4) 竹村淳一・池内章雄・黒坂正博・松山伸二：静的圧入締固め工法の液状化対策効果と隆起抑制対策。土木学会第 65 回年次学術講演会，2010（投稿中）

潜水作業管理システムの開発

株式会社本間組 土木事業本部土木部 担当課長 ○池田 仁
土木事業本部土木部 担当課長 飯塚 精也
土木事業本部技術部 係長 岩田 秀樹

1 はじめに

港湾工事における潜水作業では、高気圧障害（以下、潜水病と記述）を防止するための減圧管理を行う必要があると伴に、ブロックの据付け作業時等においては、潜水士が危険範囲に入るのを防止することが安全管理上重要な課題となっている。当社ではこのような課題を解決するため、潜水作業における安全性、施工性向上を目指した潜水作業管理システムを開発した。本システムは、潜水深度、潜水時間及び潜水士と作業船舶等の位置情報を一元管理するものである。本報では、開発の背景、技術の概要及び適用事例について報告する。

2 開発の背景

港湾工事においては、防波堤や護岸の基礎マウンドの均し作業、ブロックの据付け作業、水中溶接作業など、様々な工種で潜水作業を伴う場合が多い。潜水作業は、水圧が作用する高気圧条件下での作業となることから、潜水病（減圧症）の危険と常に隣り合わせた作業となっている。潜水病とは、潜水作業中の高気圧状態から、水面に浮上して常圧環境に戻る際、急激な浮上により血液中に溶け込んだ窒素ガスが血管内で気泡となり、血管を閉塞して障害を引起こすものである。潜水病を防止するためには、浮上に際し厳密な減圧管理を行う必要があるが、従来の潜水作業においては、潜水士の自己申告により潜水深度管理が行われるケースもあり、勘違いや誤認による潜水病の危険性があった。

一方、海上起重機船を用いてコンクリート製のブロックなどを水中に据付ける際には、水中の潜水士とブロックが錯綜してしまい、接触事故が発生するケースがあった。工事中の潜水士の位置は、これまで、潜水士の呼吸により発生する気泡による目視確認、有線電話による状況確認により行われてきたが、現実性の面で課題があった。

これらに対し、水中での潜水士の三次元的な位置を的確に把握し、潜水時間と浮上時間を確実に管理するとともに、ブロック等の吊荷位置と潜水士、潜水士船の位置を把握し適切に管理する「潜水作業管理システム」の開発を行った。

3 システムの概要

3.1 位置管理の概要

潜水士及び吊荷位置の管理概要を図-1に示す。潜水士の位置管理は、潜水士に携帯させた圧力計とトランスポンダが一体となった携行装置（写真-1参照）により行っている。トランスポンダとは超音波による応答装置のことで、作業船に取付けたトランスジューサからの超音波信号に対し応答信号を返信し、応答信号の位相差により潜水士までの距離と方位を計算して潜水士の平面位置 (X, Y) を求めるもので



写真-1 携行装置

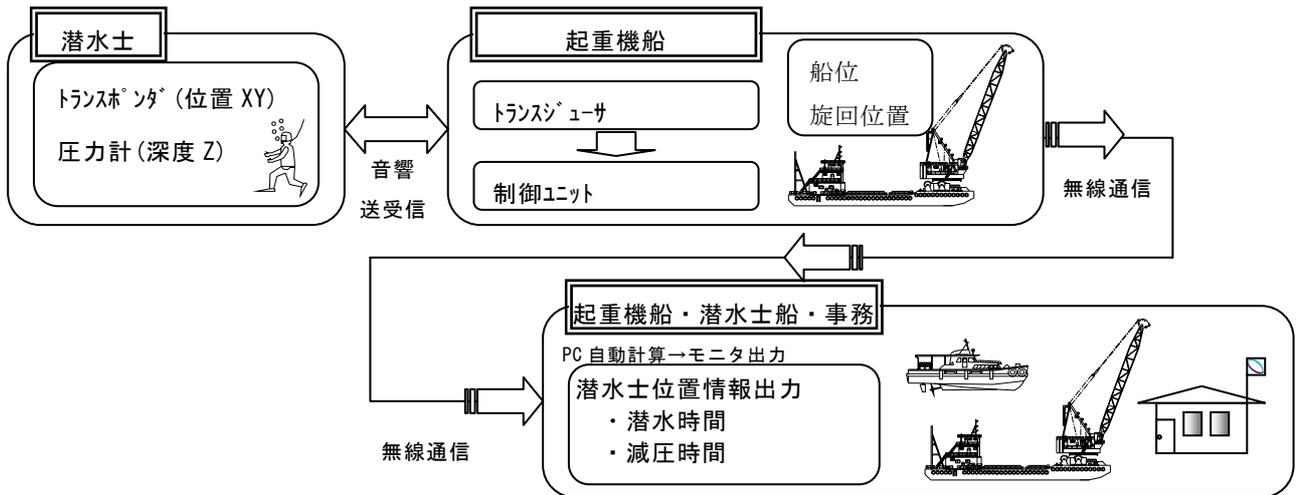


図-1 潜水士の位置情報管理の概要

ある。また、より精度を必要とする潜水深度(Z)については、圧力計により深度を測定し、超音波信号としてトランスジューサに送信している。これにより、潜水士の水中での三次元位置(X, Y, Z)を把握できる。

一方、吊荷の位置については、起重機船の任意の2カ所及びクレーンブーム先端にGPSアンテナを取付け、GPSから得られた座標データにより起重機船及び吊荷の位置を求めている(図-2参照)。

3. 2 潜水士安全管理システム概要

潜水士安全管理システムは、位置管理システムで得られたデータをもとに潜水士の安全管理を行うもので、潜水士の潜水状況、起重機船と潜水士との相対位置、起重機船と潜水士の全体作業状況が同一画面上に表示可能で、画面の選択により個々の画面を拡大表示できるようになっている。

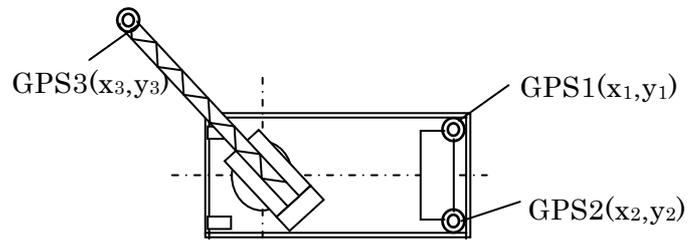


図-2 海上起重機へのGPS設置概要

モニターは、潜水士船、起重機船にそれぞれ設置してあり、各箇所を確認を行うことができる。また、現場事務所へもデータ転送が可能であり、現場事務所での総合的な管理が行える。

図-3に潜水安全管理システムの全体画面を示す。

3. 2. 1 潜水状況管理画面

潜水士の潜水状況管理画面は、潜水作業中にリアルタイムに得られる潜水情報を基に、潜水時間や減圧時間を算定することで、連続潜水時間、潜水回数、浮上速度を管理するものである。図-4に管理モニタの一例を示す。

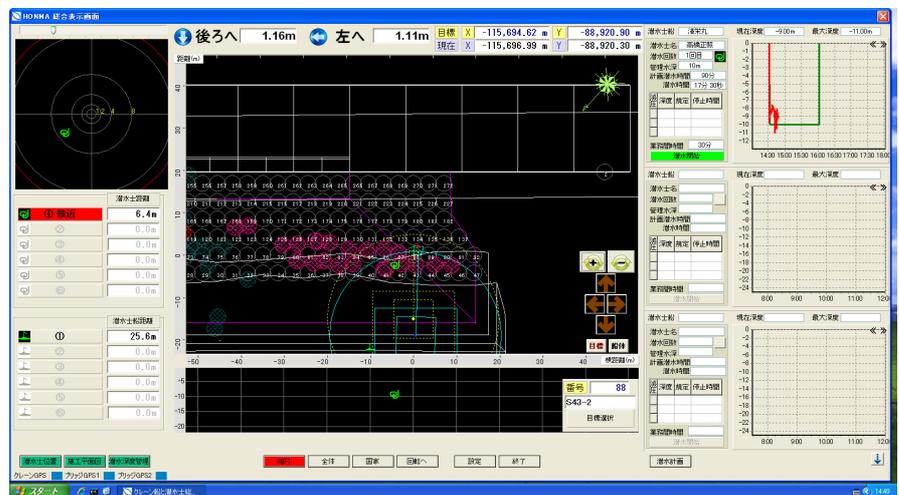
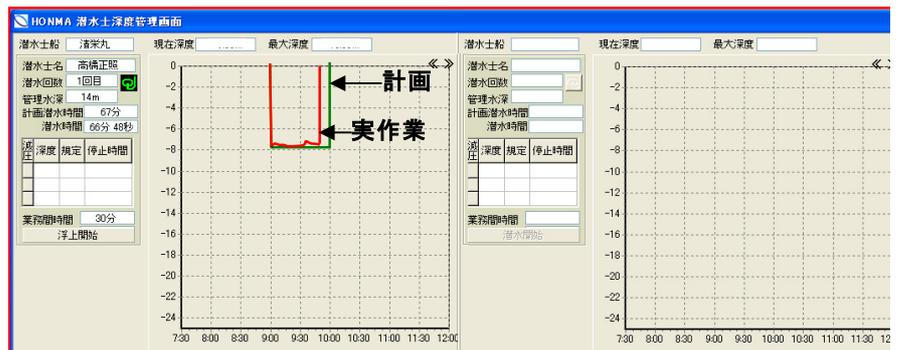


図-3 潜水安全管理システム全体画面

モニタには潜水計画の潜水深度、浮上時期、作業時間、減圧時間と実作業を同一画面上にグラフィック表示する。また、潜水1回目の実作業時間、深度測定記録を潜水2回目以降の潜水計画に反映させる事ができ、計画に基づいた潜水管理を行うことで潜水病に対する危険を未然に防

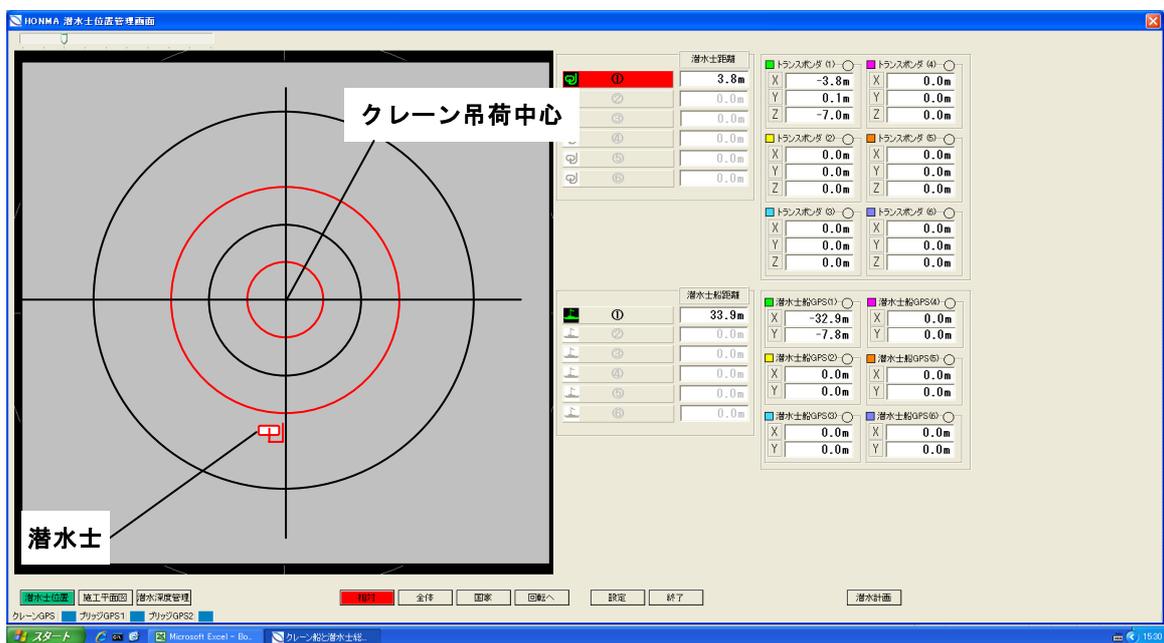


図一4 管理モニタ例

止することができる。なお、潜水状況の管理については、潜水士船にトランスジューサを設置することで、捨石均し作業等、起重機船を用いない潜水士単独作業においても利用可能である。

3. 2. 2 相対位置管理画面

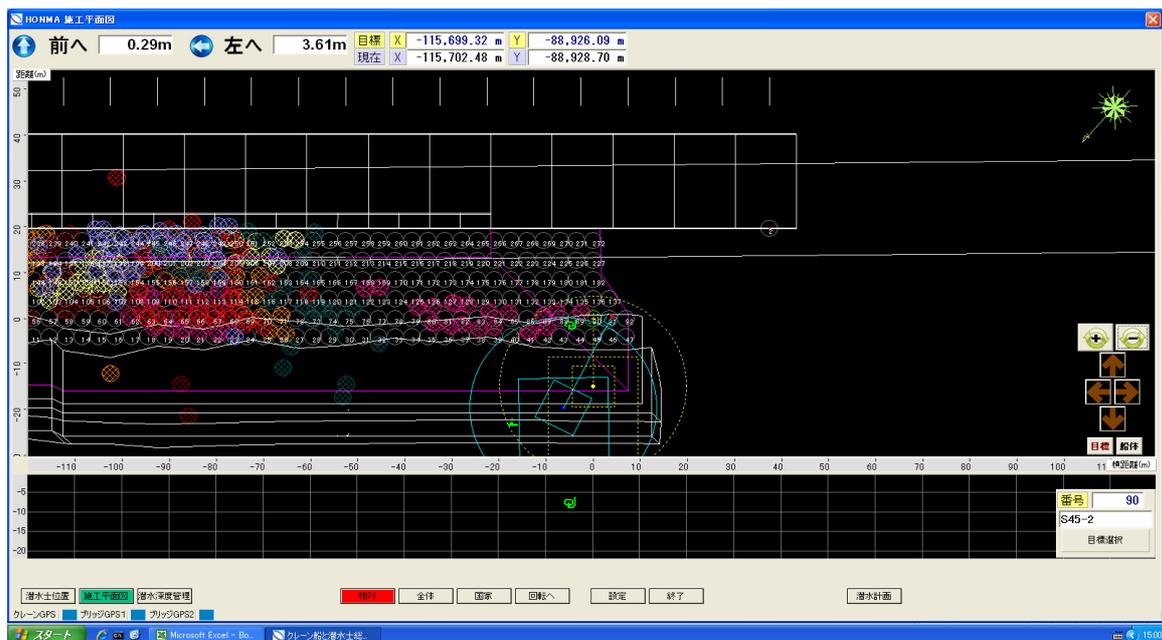
相対位置管理画面は、潜水士、潜水士船とブロック等の吊荷の位置を起重機オペレータから見た目線で相対的に表示するものである。吊荷位置に対する作業危険範囲を設定でき、その範囲内に潜水士や潜水士船が入った場合には警報を出せるシステムとなっている。これにより、潜水士とブロックなどの接触事故を未然に防止することが可能となる。図一5に相対位置管理画面を示す。



図一5 相対位置管理画面

3. 2. 3 全体作業状況管理画面

全体作業状況管理画面は、周辺構造物、起重機船の位置、潜水士の位置を総合的に表示するものある。また、ブロック据付け位置を事前に入力することで、ブロックの設置位置の誘導、設置管理が可能であり、船位誘導ブロック据付けシステムとしても活用可能である。図一6に全体作業状況管理画面を示す。



図－6 全体作業状況管理画面

4 適用事例

東北地方のブロック据付工事で本システムを適用してブロックの据付けを実施した。工事では、水中部に 300 個の 50 t 消波ブロックを据付けている。据付けに際しては、全体作業状況確認画面で起重機船を所定位置に誘導固定し、事前に入力したブロック据付け位置に合わせて、モニタを確認しながらブロックの設置を行った。潜水士の位置確認についても、相対位置管理画面で吊荷と潜水士の位置を的確に把握しながら安全に作業を実施した。潜水士の深度管理については、今回の据付け工事では、潜水士の水中での三次元位置(X,Y,Z)を的確に把握することができ、潜水深度、浮上時期、作業時間等の潜水作業情報を潜水士船から離れた場所でリアルタイムで把握することができた。



写真－2 オペレータ室モニタリング画面設置状況



写真－3 ブロック据付状況

5 おわりに

港湾工事において潜水作業は不可欠な作業であり、潜水時間と浮上時間を確実に管理するための方法や潜水作業の際の潜水士の位置確認を適切に把握するための技術が求められている。今回開発したシステムは、施工水深の増深や潜水従事者の高齢化といった社会背景からも特に重要な意味を持つと考えられ、工事の安全を確保するために積極的な活用を図っていきたい。

SKILLS 超長距離圧送ネオグラウト工法の開発

名工建設（株） 土木本部土木技術部 技術管理担当部次長 井手 邦彦

1 はじめに

過去、矢板工法にて建設されたトンネルの覆工コンクリートの背面には、空洞が多くあることが確認されている。トンネル施工後、背面土砂の流出により生じた場合と、矢板工法で施工されたトンネルに施工当時から存在したものなどがある。近年、空洞を放置することは、地震等による地山の崩落によってトンネル構造物が崩壊する危険性がありトンネル損傷原因の1つと想定されている。

このようなトンネル構造の弱点部の補修・補強工法としてトンネル背面空洞を充填し耐久性の回復・向上を図る注入工法が種々開発されている。これらの工法の多くは、トンネル内の注入箇所にて作業日毎にプラント設備・注入設備を搬入設置・移動・解体搬出と作業時間内における実注入時間が短く作業効率が低くなっている。更に、小断面のトンネルではこれら坑内設備が搬入出来ないため空洞の補修・補強が手つかずのケースもある。

当工法は、坑内設備を縮減し実注入時間が長く確保できる「圧送工法」を採用し、且つ長距離を圧送可能な注入グラウト材の開発を行った。

1. 1 技術の概要

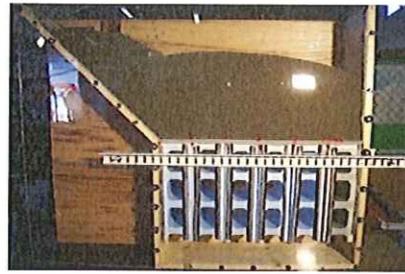
本工法は、セメントを主材とした「A液」とフライアッシュを主材とした「B液」の2液を別々に注入箇所まで、あらかじめトンネル内に設置した配管内を圧送する工法である。従来の工法では、圧送距離が200m～500mが限界であったが、「超長距離ネオグラウト圧送工法」においては、4Kmの圧送を可能としている。これにより、坑外にプラント設備を設け、注入材を注入箇所まで圧送することにより、坑内設備は注入箇所での注入装置のみとなり坑内設備が縮小できるため、小断面のトンネルでの注入工事も可能である。注入箇所へ事前に注入材を圧送しておく事により、作業員が注入箇所到着後直ちに注入作業に掛かる事ができ、作業時間の効率化も図れる。

1. 1. 1 注入グラウト（相反する性能の克服）

一般的な注入材は、非漏出性、充填性、水中分離抵抗性を高めるため、ベントナイト系の材料を添加したり粉体量を多くし高粘度となる配合設計が行われている、このような材料では圧送する際、粘性が高すぎポンプの圧送能力を越えてしまい長距離の圧送が困難となってしまう。これに対処するため単位水量を増やす配合設計が求められたが、液中での粉体と水が分離し粉体が沈降して圧送管の閉塞を起こす恐れや、粉体量の減少により所定の品質を満たす事が困難であった。この問題を解決するため、漏出しない程度の高粘度と、長距離まで圧送が可能な低粘度という矛盾した性能を併せ持つ材料の開発に着手した。注入グラウトは、混合した状態で圧送するとゲル化が起こり高粘度となり、圧送が困難になってしまう為、グラウト材をA液・B液の2液に分け、特殊増粘剤をそれぞれに混合し2液を別々の配管でポンプ圧送し、注入箇所にて混合注入する2液1.5ショットタイプのグラウト材とした。又、B液には沈降対策の必要のないフライアッシュを使用するものとした。



写真一 1 非漏出性試験



写真一 2 水中分離抵抗性

1. 1. 2 圧送技術

注入材の圧送は2インチの鋼管を使用し、圧送手段として配管内を水で満管としプラントにて仕切り材を投入し注入材の圧送を行う。仕切り材を入れる事により水と注入材を区分し注入材の希釈を防ぐと共に、必要以上の注入材の製造を抑える事ができる。

配管内は、水→仕切り材→注入材→仕切り材→水の順番となっている。注入箇所では、この仕切り材の到着の確認後、品質確認試験を行い注入作業に入る。



写真一 3 坑内配管状況



写真一 4 仕切り材検知装置

1. 2 技術の効果

グラウト材を配管にて圧送する事により、坑内への持ち込む器材は、グラウトミキシング装置・プラントとの通信設備、遠隔操作システムだけとなり坑内へプラント設備を持ち込めない小断面のトンネル空洞補修への対応が可能となった。また、坑外プラントで注入材を製造している為、当日の注入量の変更が容易にでき作業時間の有効利用に繋がります。作業時間の有効利用の点では、規制時間帯前に注入材を施工個所まであらかじめ圧送しておく事によって作業時間帯に入ると同時に注入作業が可能となり注入作業時間のロスが低減し1日当たりの注入量が従来より多くなり、道路規制回数の減等工期の短縮に貢献する。

実績では、従来の工法による注入量6 m³/日に比べ平均9 m³/日となり従来工法で計画した作業日数120日を約60日短縮している。



写真一 5 ミキシング装置



写真一 6 通信・遠隔操作装置



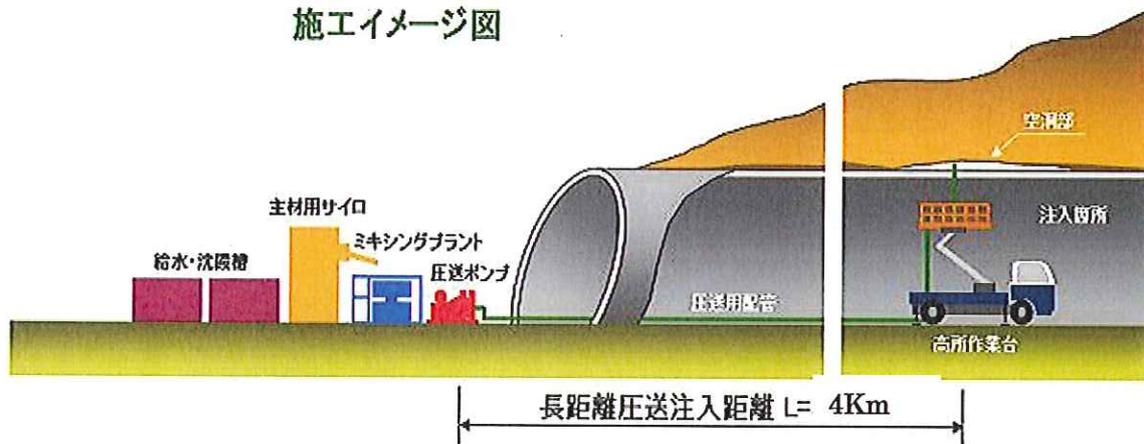
写真一 7 坑外プラント設備

2 施工イメージ図

4

超長距離圧ネオグラウト工法

施工イメージ図



坑外プラントより配管し、中継ポンプなしで4Kmの圧送。トンネル両端にプラントを設置すると全長8Kmのトンネル裏込め注入が可能です。

3 結 び

当社は、平成18年より長距離圧送工法の開発に着手し、各種試験を50回以上・延べ150日以上実施を経て、平成19年より鉄道トンネルでの注入作業を実施しております。

新設トンネルを建設する事なく、トンネル背面の空洞を充填し覆工と背面地山を密着させ地山反力を均等化し、トンネルの耐久性の維持・向上を図り経済的にも社会に貢献できる工法であると考えております。

ワイドウォール工法

(株) ミルコン 技術部 技術営業課係長 長谷川 剛久

1 技術概要

ワイドウォール工法は、大型ブロック積み擁壁等の従来工法と同様の施工により、1.5m程度の拡幅を行うことができる技術である。本技術では施工性や信頼性等を損なうこと無く安全な道路拡幅を行うことが可能である。急峻な地形での道路拡幅においては、従来工法と比較して擁壁高を低くできるため経済性においても優れており、また掘削による影響を最小限とすることができるため現道通行を妨げることなく施工できる。

このような事から、本技術は特に1.5車線の道路整備や用地等の制約を受ける場所において非常に有効な技術である。また大型ブロック製品内部には空間部を設けており、現地発生土砂を中詰材として利用することにより建設残土の低減を図れることから、環境にも配慮した技術である。

2 技術の特徴

本技術の特徴は下記のとおりである。

- ・コストの縮減

本技術は、前面側に垂直となる部分を有した大型ブロックを工場製作し、現場にて積み上げることで擁壁の一部に直壁部を設けるものである。そのため山間部等の傾斜地に基礎が設置される場合、従来工法（大型積みブロック擁壁等）に較べて基礎位置を高くできる。これにより、全体擁壁高を低くすることが可能となり、コスト縮減を図ることができる。

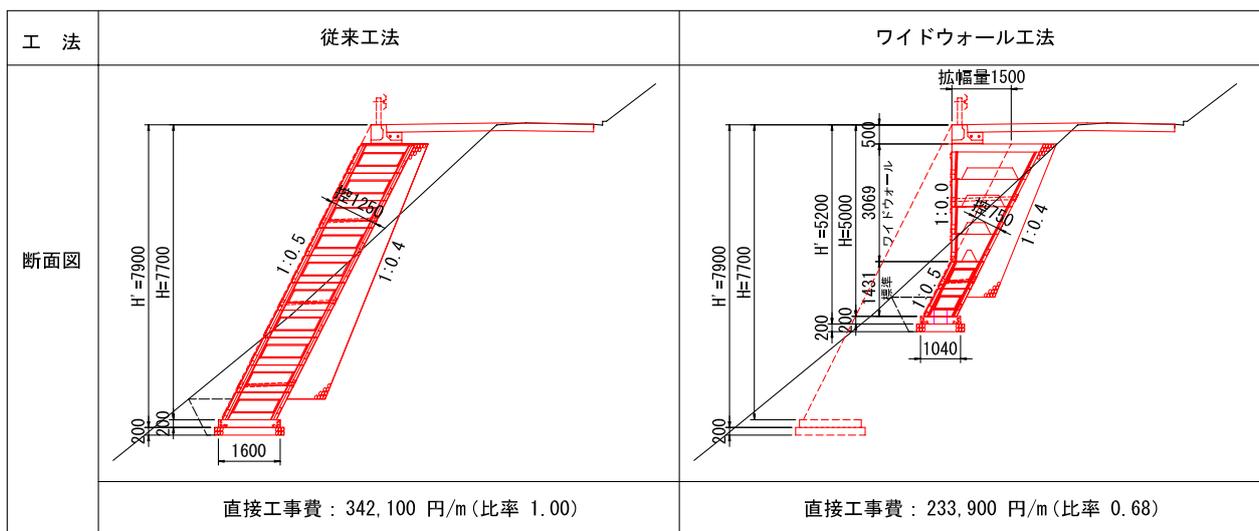


図-1 傾斜地における従来工法とワイドウォール工法の断面比較

・ローカルルール（1.5車線の道路）への対応

本技術は、現況の1車線の用地幅のままで、1.5m程度の道路拡幅をすることができるため、近年整備が進められている1.5車線の道路整備に対して最適な技術である。

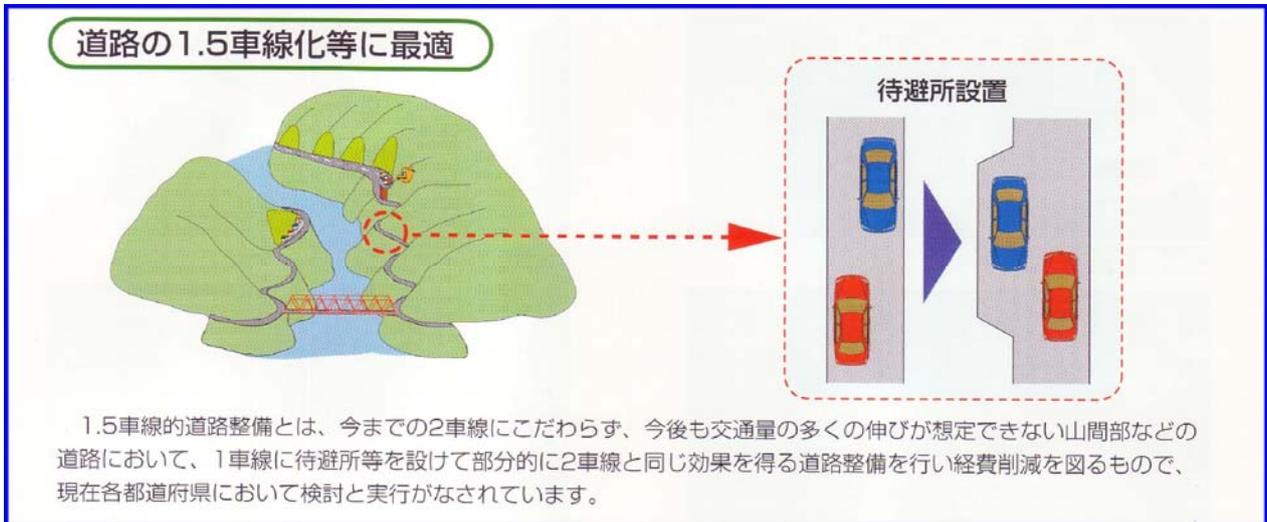


図-2 1.5車線の道路整備概要

・環境への配慮

当該現場にて発生した建設残土をその工事内で利用することが可能であるため、建設発生土の利用率の向上・残土処分費の削減及び残土の運搬に用いるトラックの排出ガスの低減などを図ることができる。

3 技術の適用範囲

大型ブロック積み擁壁やもたれ式擁壁が適用できる範囲であれば全て適用可能である。擁壁高の適用範囲は直高 5~15mを標準とする。但し、設計条件により適用範囲は変わる。また、軟弱地盤等での採用は十分な支持力検討を必要とする。

4 技術の施工実績（平成22年8月現在）

国土交通省	:	1件
その他公共機関	:	10件
民間	:	2件

5 結び

昨今、公共事業予算が削減傾向にある中、現場では総合的なコスト削減が求められている。そのため土木工事において大規模な整備を行うのではなく、必要な所に最低限の整備を行うことが要求されている。その方策として各地方で導入されている「1.5車線の道路整備」もその1つと言える。限られた予算で有効に社会資本整備を行うためには、このワイドウォール工法は最適な技術であると考えられる。

6 参 考

- ・ワイドウォール工法標準断面図

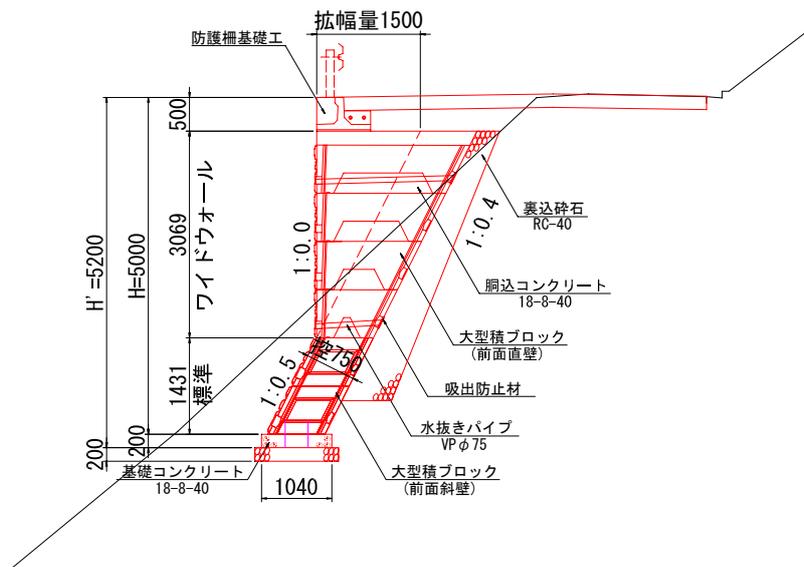


図-3 ワイドウォール工法標準断面図

- ・新技術情報提供システム（NETIS）に掲載
 技術名称：ワイドウォール工法
 登録No：SK-050012-A
 ※本技術は、ワイドウォール工法研究会の加入社により登録
 尚、北陸地区（富山県・石川県など）は（株）ミルコン社が担当
- ・第11回（平成21年度）国土技術開発賞 地域貢献技術賞 受賞
 後援 国土交通省
 財団法人 国土技術研究センター
 財団法人 沿岸技術研究センター

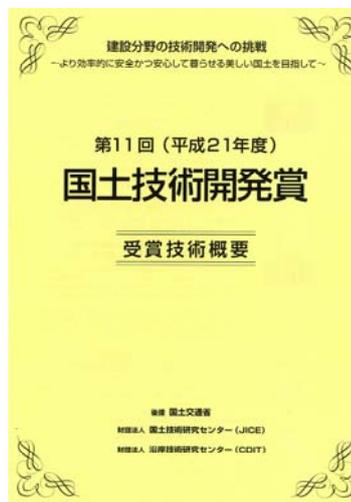


写真-1 国土技術開発賞

トンネル覆工コンクリートのひび割れゼロを目指す 「前田覆工マルチ工法」の開発

前田建設工業株式会社 九州支店 土木部 S E 原 秀利
本 店 トンネルグループリーダー ○鈴木 淳一

1 はじめに

1. 1 技術開発の背景

一般的にトンネルの覆工コンクリートには力学的機能ではなく、その供用性が要求されてきたこともあり、「化粧巻き」と称する時期もあった。このためコストの側面から、十分な締固めが難しいクラウン部コンクリートに、やむを得ずコンクリートを流動させて打ち込む事を容認してきた。しかし、平成11年に山陽新幹線福岡トンネルの覆工コンクリート塊が落下して、走行中の列車を直撃するという衝撃的な事故の発生をきっかけに、トンネルの安全性に対する社会的な懸念が増大した。

現在においては、覆工の耐久性の向上（長寿命化）が要求され、ひび割れ、空洞、出来栄えの課題を抱えていることにより、コンクリート打設から締固め・養生までの一連の作業をシステム化し、8つの開発技術を組み合わせることで覆工コンクリート施工品質の向上を図ることとした。

2 開発技術の概要

2. 1 前田覆工マルチ工法を構成する技術

「前田覆工マルチ工法」は以下の8つの技術にて構成される。

- ①高品質トンネル覆工天端部締固めシステム（NETIS 登録 No. TS-030008-A） 【締固め】
- ②浮きバイブレーターシステム（センサー付バイブレーター） 【締固め】
- ③クラウン部水平圧入打設工法 【打込み】
- ④コンクリート充填圧管理システム 【充填圧】
- ⑤パラソル30（さんまる）ミスト工法（NETIS 登録申請中） 【養生】
- ⑥隔壁バルーンによる養生システム 【養生】
- ⑦省力化・省人化システム 【打込み】
- ⑧マゴノテ工法（特許申請中） 【締固め】

2. 2 各技術の概要

①高品質トンネル覆工天端部締固めシステムは、あらかじめクラウン部にバイブレーターを設置して、打設完了後に引き抜きながら締固める工法である。これまで締固めが困難とされてきた鉄筋区間や施工継目部及びトンネルクラウン部の均一な締固めが可能となり、品質を向上させることができる。

②浮きバイブレーターシステムは、棒状バイブレーター頂部に浮き子を取り付けたもので、打設コンクリート面の上昇に追従しながら所定の深さでのコンクリートを締固める工法である。また、このバイブレーターには上昇したバイブレーターホースを巻取るゼンマイ式巻取りリールと間欠運転制御装置が組み合わせられており、締固め作業を自動化している。

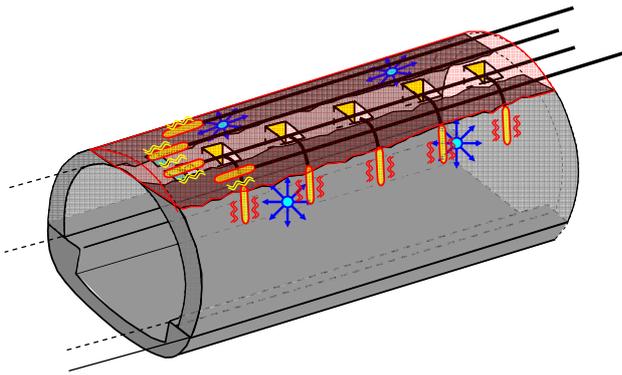


図-1 締固めシステム概要

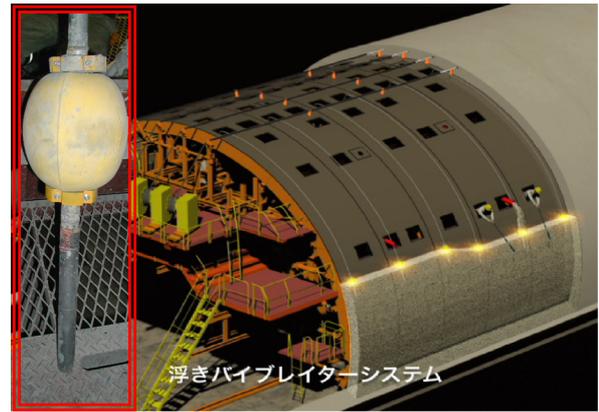


写真-1 浮きバイブレーター×12台

③クラウン部水平圧入打設工法は、アーチ肩部に油圧式開閉バルブ付の打設孔を4箇所増設することで、妻側・ラップ側左右交互に水平に打ち込む工法である。打設孔より下側までは自己充填、上側は圧入充填してクラウン部まで打設できるのが大きな特徴である。本工法により、クラウン部打設孔（天端部吹上口）からの打設数量、打設時間を標準工法と比べて約半分と最小限にすることで、より確実な充填が実現し、空洞のない耐久性に優れた覆工コンクリートを構築することができる。

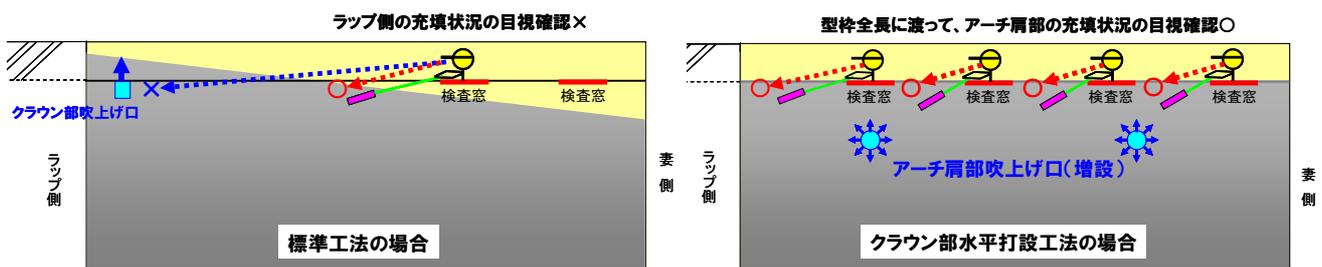
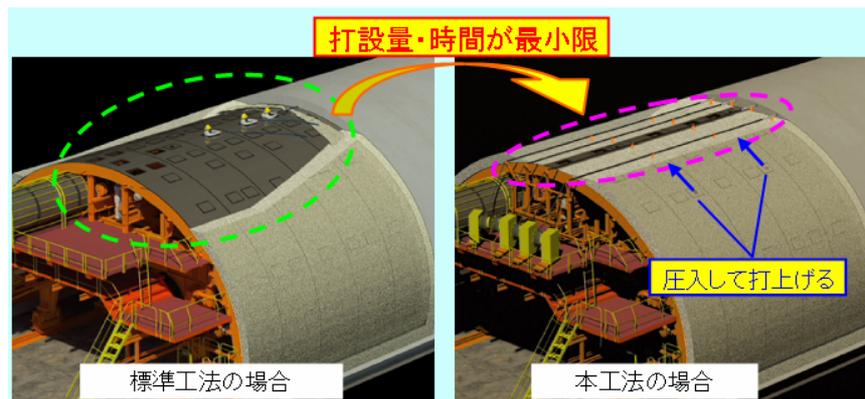


図-2 標準工法とクラウン部水平打設工法のクラウン部打設量比較図

④コンクリート充填圧管理システムは、セントルクラウン部に圧力センサー（5箇所）を設置し、パソコン画面でコンクリートの充填圧をリアルタイムに確認しながら打設を行う打設管理システムである。型枠の設計強度を考慮しながら最大限の充填圧で打設することが可能となり、空洞の無い密実なコンクリートを構築することができる。また、充填圧を保持した状態で打設を終えることで、コンクリート強度も増大することが確認された。

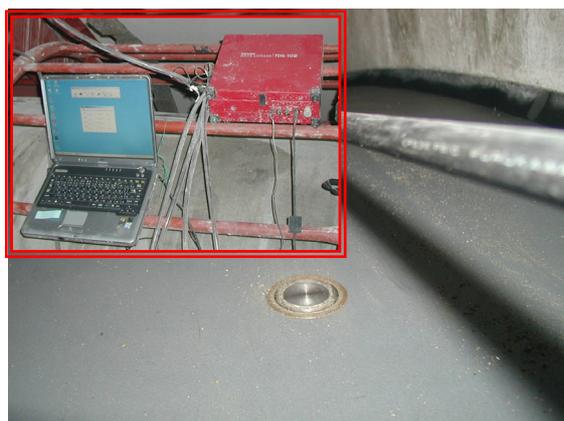


写真-2 圧力センサーとデータロガ

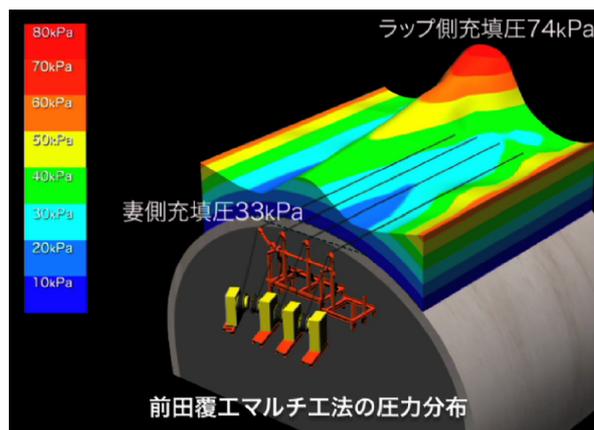


図-3 充填圧力分布

⑤ パラソル30ミスト工法は、軽量パイプの骨組みを覆工天端に懸架し、その骨組みをシートで密閉した移動式パラソル内に5ミクロンのミストを高圧噴射してミストを充満させ、十分な湿潤養生を可能とする工法である。設備の延長は31.5メートルあり、設備による空間損失や視界不良を発生させることなく、乾燥収縮ひずみ量が最大となる期間1週間の湿潤養生が可能である。

⑥ 隔壁バルーンによる養生システムは、貫通後の通風による乾燥収縮ひび割れを抑制するためにトンネル中央部にバルーンを設置するものである。これによりトンネル貫通後も坑内湿度70%以上を保持することが可能となる。バルーンには2台の送風機で常時空気を送っている。



写真-3 パラソル30ミストによる養生



写真-4 隔壁バルーンによる養生

⑦ 省力化・省人化システムは、カメラ2台、モニター4台でコンクリートポンプ車、配管切替え装置(4P)を遠隔操作して省人化を図るものである。また、アーチ肩部の打設孔の開閉には4連マルチバルブをセントル(型枠)中央に集約し、さらに側壁部からアーチ部打設に切り替えるための配管切替え装置(2P×4箇所)を設置して省力化を図った。コンクリートの締固めには、上記②工法と補助バイブレーター4台を併用することで品質を確保しながらの省人化を実現することができる。

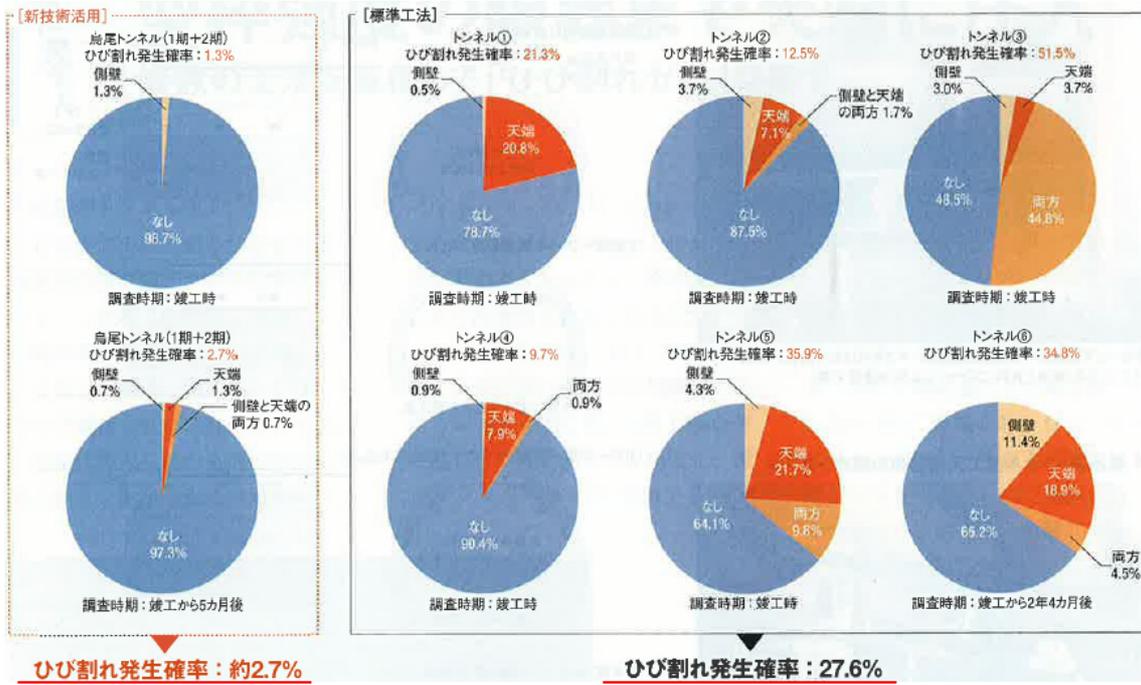
⑧ マゴノテ工法は、クラウン部の検査窓にバイブレーター挿入孔(φ100mm)を設け、コンクリート打設完了と同時に棒状バイブレーターを数メートル挿入することでその周辺を締固める工法である。本工法により、工区境両ラップ区間等上記①工法では締固めする事ができなかった箇所の締固めが可能となり、品質・出来映えを向上させることができる。

3 開発技術の効果検証

3.1 ひび割れ発生状況

「前田覆工マルチ工法」は九州管内3件のトンネル現場の集大成であり、3現場全てにおいて0.3mm以上のひび割れが発生しなかったほか、0.2mm以下のひび割れ発生率も2.7%であった。

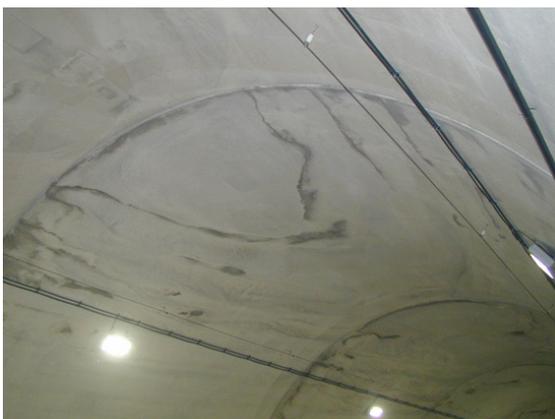
標準工法によるひび割れ発生率は平均27.6%（当社調べ）であるため、従来の1/10程度まで抑制することができ、耐久性の向上を図ることができた。



図ー4 ひび割れ発生確率比較グラフ

3.2 出来栄え

標準工法と比較してトンネル特有の竹割り縞模様がなく、出来栄えが向上した。



写真ー5 標準工法（竹割り縞模様）



写真ー6 本工法（縞模様なし）

4 おわりに

今後、当社トンネル工事において本工法を標準的な工法として全国水平展開していく予定である。また、施工後データの収集を進めていくことで、さらに効果的な施工方法を追求し、「高品質で耐久性のあるトンネル覆工コンクリート」を構築していきたいと考えている。

ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法設計・施工マニュアルの発刊

アダムウォール協会 ○竜田 尚希 土橋 和敬
(社)北陸建設弘済会 市村 浩二

1. はじめに

ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法検討委員会（委員長：長岡技術科学大学 環境・建設系教授 大塚悟）は、ジオテキスタイルを用いた補強土壁工法の適正設計や安全施工、普及を図ることを目的として、調査・設計・施工・維持管理について検討を行ってきた。

我が国は、地形条件や用地の制約などにより、標準のり面勾配で盛土できない場合が多く見受けられる。このような状況に対処するため、急勾配で盛土することが求められている。また、近年では地震により盛土をはじめ擁壁等の土木構造物にも大きな被害が発生しており、地震に強い土木構造物が求められている。

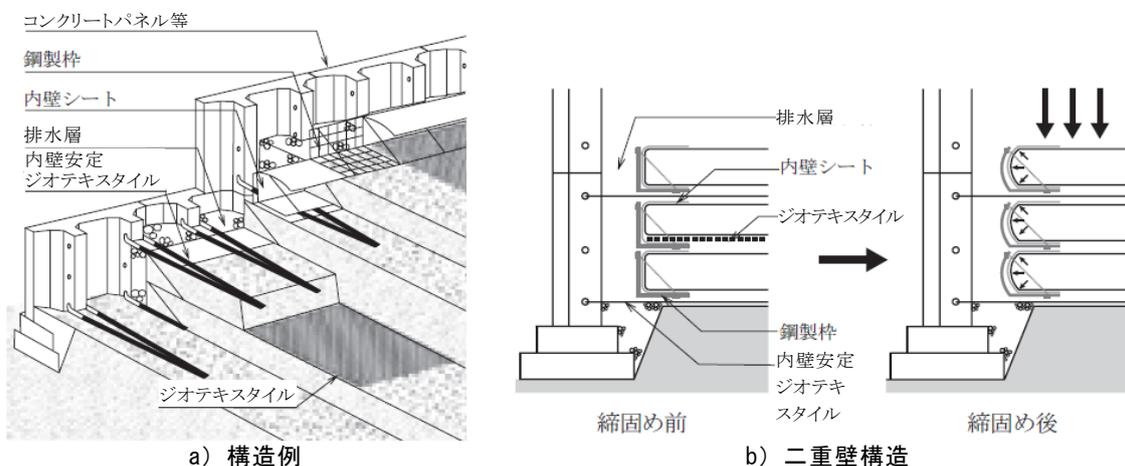
ジオテキスタイルを用いた補強土壁工法は、盛土の急勾配化に有効であり、かつ、地震にも強い特性をもち、その施工実績も年々増加している。その中でも、ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法は、従来の補強土壁工法の汎用性、耐震性を高めたもので、他の擁壁類に比べ潜在能力が高い構造物である。

2. 工法の概要

「ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法」は、ジオテキスタイルを配置して補強した盛土（以下補強盛土体という）、外壁（コンクリートパネルなどの壁面材）および内壁（鋼製枠、内壁シート、内壁安定ジオテキスタイルからなる）で構成される補強土壁である。盛土材料の土質の適用範囲が広く、建設発生土の活用が可能である。耐震性、経済性および施工性などの面で優れた特性を示し、適確な設計と施工を行うことで信頼性の高い構造物となる。



写真－1 施工例



図－1 ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法の構造

2. 1 構造

補強盛土体は、ジオテキスタイルと土との摩擦抵抗力（インターロッキング）による補強と、補強材自体の高い引張り強さによる引張補強により盛土の安定が図られる。すなわち、ジオテキスタイルを配置することで土塊の変形が拘束され、ジオテキスタイルを横切るすべり（せん断）破壊が生じにくくなり、一体化効果が現れて安定性が向上することとなる。また、外壁は密に配置した内壁安定ジオテキスタイルにより内壁および補強盛土体と一体化している。

本工法は、内壁と外壁の間に空間を設けた二重壁構造が特徴であり、これにより補強盛土体の施工時の土圧が外壁に直接作用しない安定性の高い構造となっている。

2. 2 特長

- ① 壁面近傍（内壁）の締固めが十分にできる：施工時は、内壁と外壁の間に一定の空間があり、重機の転圧荷重が外壁に影響することなく壁面近傍（内壁）の締固めを十分に行うことができ、品質の高い盛土が構築できる（写真－1）。
- ② 壁面の補修が可能：補強盛土体と壁面材とが独立した構造であり、補強盛土体に影響を与えることなく壁面の修復および取替えができる。
- ③ 外壁の選択肢が豊富：内壁と外壁の間に空間を有することで、外壁に補強盛土体の土圧が直接作用しないので、外壁材料の構造や意匠を自由に選択することができる。
- ④ 優れた耐久性：環境に配慮した高分子材料（アラミド繊維、高密度ポリエチレン、ポリエステルなど）を主材料としており、耐久性に優れている。
- ⑤ 耐震性に優れている：本工法の振動台模型実験を行い、内壁および外壁の位相がずれることなく一体構造として挙動することを確認している。また、2001年芸余地震、2004年新潟中越地震、2007年能登半島地震、2007年中越沖地震でも本工法の変状は見られなかった。
- ⑥ 盛土の健全度評価が可能：センサー機能付ジオテキスタイルを補強盛土体に敷設し、盛土内部の状態を確認することにより、長期的に盛土の健全度評価ができる。
- ⑦ 盛土材料の適用範囲が広い：ジオテキスタイルを盛土補強材として使用するため、盛土材料に使用できる土質の適用範囲が広い。建設発生土の有効利用が可能である。
- ⑧ 軟弱地盤でも適用可能：不等沈下が生じる軟弱地盤上に構築する場合、補強盛土体を先行して構築し、基礎地盤の圧密沈下終了後に、壁面材を設置することができる。これにより、施工後の不同沈下による壁面材の変形（はらみ出し現象など）を抑えることができる。
- ⑨ 簡単な基礎工：従来のコンクリート擁壁などと比べると、基礎地盤の多少の不等沈下にも追従し得る柔な構造を有しているため、壁面箇所のみを堅固に支持する必要はなく、簡易な基礎処理で良い。



写真－2 重機による壁面近傍締固め状況

3. 設計手順概要

ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法は、盛土や地山を含む構造物全体が安全であるとともに、用途に応じた機能を保持するように設計する。

3. 1 内的安定の検討

内的安定の検討では、想定される設計荷重に対して設計安全率を満足するのに必要となるジオテキスタイルの引張力を求め、必要引張力が十分に発揮できるように、ジオテキスタイルの引張強さ、敷設間隔および敷設長さを決定する。ここでは以下の事項について検討を行う。

- (1) ジオテキスタイルの必要引張力の算出
- (2) ジオテキスタイルの敷設間隔の算出
- (3) ジオテキスタイルの敷設長の算出
- (4) ジオテキスタイルの敷設配置

3. 2 外的安定の検討

外的安定の検討では、ジオテキスタイルによる敷設領域を仮想的な擁壁とみなし、以下の項目について安定照査を行う。

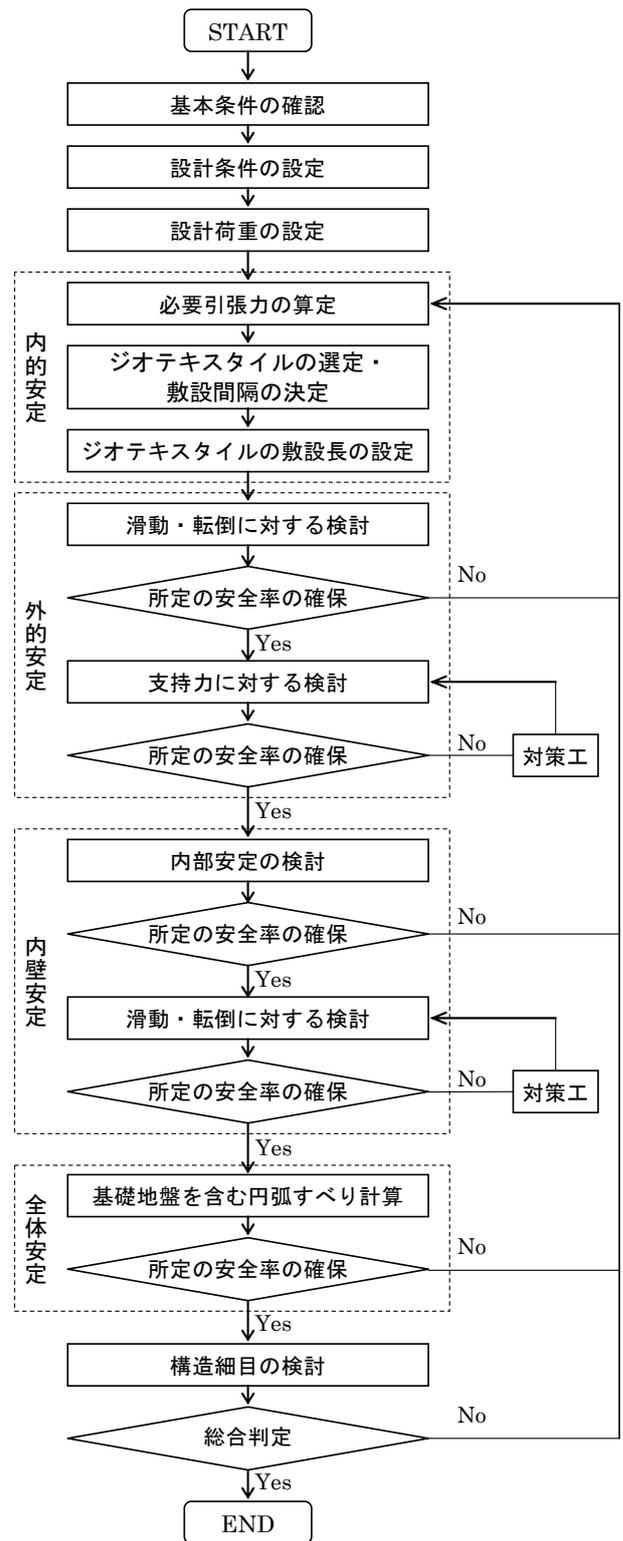
- (1) 滑動に対する検討
- (2) 転倒に対する検討
- (3) 支持力に対する検討

3. 3 内壁安定の検討

内壁安定の検討にあたっては、内壁と補強盛土体を連続して通過する複合すべりによる作用力に対し、ジオテキスタイルと内壁安定ジオテキスタイルの引張力が十分抵抗しているか安定照査を行う（内部安定）。また、内壁を仮想的な擁壁とみなし、外的安定の検討も行う（滑動に対する検討、転倒に対する検討）。

3. 4 全体安定の検討

補強盛土体、上載盛土および基礎地盤を含む全体的なすべり破壊に対する安定性は、円弧すべり計算によって検討する。また、基礎地盤の沈下が予想される場合には、沈下に対する対策を検討する。

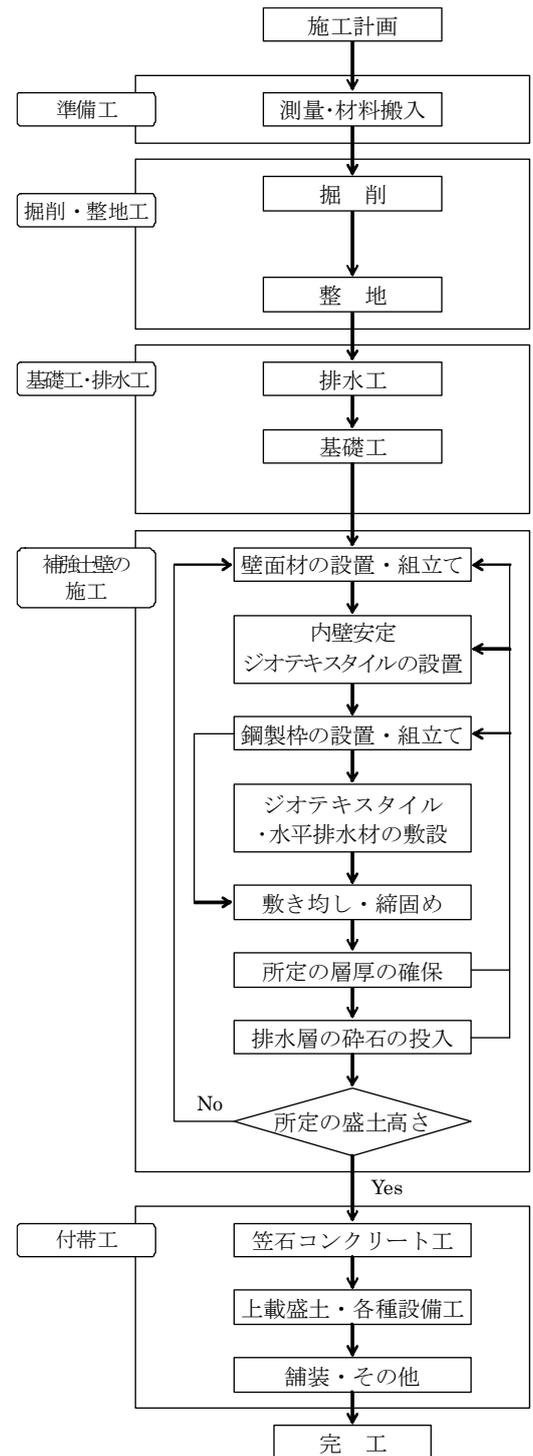


図ー2 ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法の設計手順（常時および地震時）

4. 施工手順概要

ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法の施工にあたっては、本工法の特徴を十分に理解して、設計図書に示されている形状および品質が満たされるようにしなければならない。ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法の施工を円滑・確実に実施するため、施工フローに従い、現場条件をよく検討して施工する。

- (1) 壁面材の設置・組立ては、水平，勾配および直線性を確認し、入念に施工しなければならない。
- (2) 内壁安定ジオテキスタイルは、壁面材との接続箇所より下方に設置し、緩みやねじれが生じないように固定する。
- (3) 鋼製枠の設置は、壁面より所定の間隔を空けて設置する。所定の部材を確実に取り付けて組立てる。
- (4) ジオテキスタイルは、設計図書に示された規格、形状、長さのものを定められた位置に敷設する。
- (5) 盛土材料のまき出し・敷均し作業は、所定の締固め度と仕上がり層厚が得られるように十分な管理のもと行う。
- (6) 盛土材料の締固めは、ジオテキスタイル二重壁補強土壁の安定性および耐久性に最も影響する工程であり、目標とする締固め度が盛土全体で均等に得られるように十分に管理する。
- (7) 排水層への碎石の投入は、5m 程度盛土される毎に、その高さの半分程度まで碎石を投入する。最上段壁面材の上部穴位置まで盛土が終了したら、笠石コンクリート下端の高さまで碎石を投入する。盛土材料が粘性土など圧縮性の大きい材料の場合は、碎石の投入時期を別途検討する。



図－3 施工フロー

5. おわりに

ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法検討委員会では、工法選定手法の目安を示し、本工法の適正設計や安全施工、普及を図ることを目的として、調査・設計・施工・維持管理についてのマニュアルをとりまとめた。

本マニュアルが、設計、施工に携わる実務者の一助となることを期待する。

SPD-M 工法（不透気部付きドレーンを用いた真空圧密工法）の開発

東亜建設工業 技術研究開発センター 地盤・防災技術グループリーダー 田口 博文
 技術研究開発センター 地盤・防災技術グループ研究員 西田 浩太

1 はじめに

プラスチックボードドレーン工法は軟弱地盤改良工法の1つであるが、盛土の荷重で圧密促進する工法である（図-1）。真空圧密工法は軟弱地盤の表面に排気および排水を兼ねたサンドマット（敷砂）を施工し、気密シートで密閉した後、真空ポンプで空気および水を排除して負圧状態にし、地盤内の圧力と大気圧差分を载荷重として加える大気圧を利用した工法である¹⁾。また、本工法は漏気を防ぐためにシートを用いている（図-2）。このシートを用いた工法は全体施工費に関わるシート敷設工の割合が比較的大きい、水面下の地盤に対して施工が困難である等の課題を有していた。この課題を克服するために、SPD-M 工法（不透気部付きドレーンを用いた真空圧密工法）の開発を行った。本文では、SPD-M 工法の内容、施工事例について報告する。

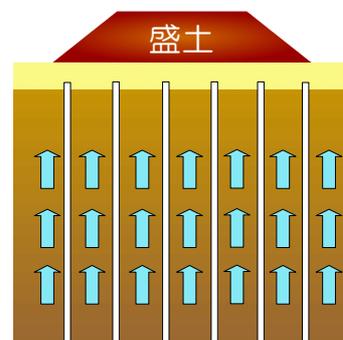


図-1 载荷盛土工法

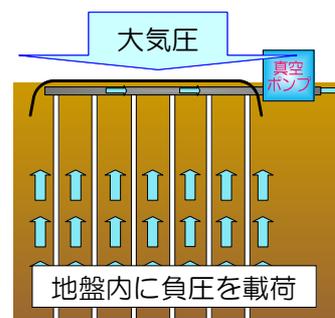


図-2 シートを用いた真空圧密工法

2 SPD-M 工法

2.1 SPD-M 工法の概要

SPD-M 工法は Suction Plastic Drain Method の略語であり、地盤表層部を不透気層とすることにより大気圧シート敷設が不要となる真空圧密工法である（図-3、4）。ドレーン材の上端部は不透気構造となっている。シート敷設が不要となるのでコストや工程の縮減が図れるとともに施工困難であった海上での適用が可能となり得る。

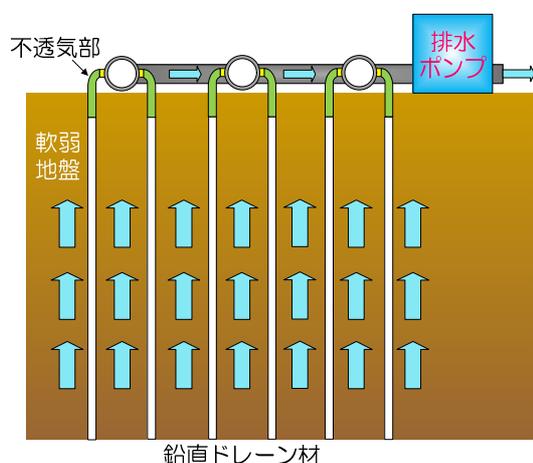


図-3 SPD-M 工法断面図

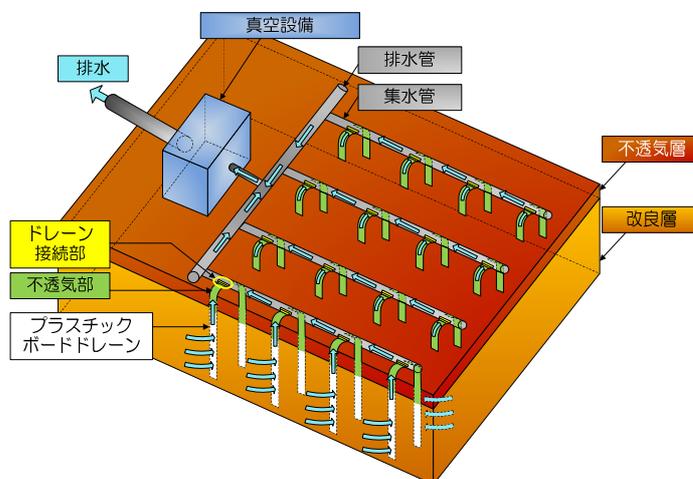


図-4 SPD-M 工法俯瞰図

2. 2 特徴

SPD-M 工法の特徴は次の通りである。

- ①工期・工費の縮減が可能：段階的な盛土载荷が不要で、盛土併用で急速施工も可能である。
- ②シートが不要：シート敷設が不要でコスト縮減できる。
- ③水面下の施工にも対応：シート不要のため、水面下の軟弱地盤へも対応可能である。
- ④地盤の強度増加を直接確認：シートがないため、ポンプを停止せず原位置試験が可能である。

2. 3 適用例

SPD-M 工法の適用例は次の通りである。

- ①载荷盛土の代替、②掘削地盤の施工性改善、③山留め計画の改善、④廃棄物処分場の減容化、
- ⑤地盤改良の急速施工、⑥前面水深や航路の増深

また、本工法では、载荷圧力：70kN/m²以上、圧密期間：2ヶ月程度（地盤条件等により変動する）を標準的な仕様としている。

2. 3 施工フロー

SPD-M 工法の施工フローを図-5に示す。

- ①施工基盤の整備：鉛直ドレーンの施工に当たり施工基盤の整備を行う。地表面付近の異物等により地表にある不透気部が損傷することのないよう留意する。

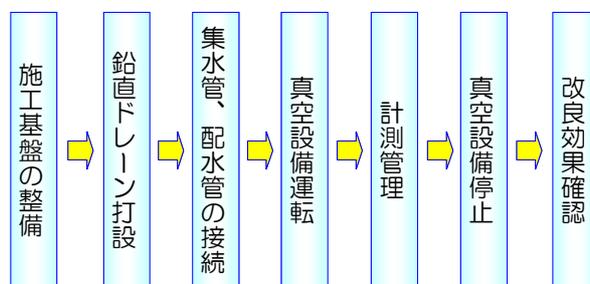


図-5 施工フロー

- ②鉛直ドレーン打設：鉛直ドレーンの施工は、計画された打設深度を確認するため、施工エリア全体に試験打ちを行い、その結果を参考に実際の打設深度を決定する。
- ③集水管の布設：鉛直ドレーンの接続：集水管は鉛直ドレーン間隔にドレーンとの接続口を設け、配管後に鉛直ドレーンを接続する。接続に当っては漏気が生じないように慎重に施工する。
- ④真空設備運転：真空設備は真空ポンプ、排水ポンプ（渦巻きポンプ）、セパレータタンクで構成する。また施工管理用として真空圧力、水量、冷却水の温度などを計測する計器を設置する。
- ⑤計測管理：真空設備関係の計測は、SPD-M 工法の基本構成単位毎に圧力を計測し、真空設備毎にポンプ圧力と流量を計測する。
- ⑥改良効果確認：圧密沈下量は地表面沈下計、層別沈下計で常時計測し、その傾向を当初設計時の予測と比較して確認する。当工法はシートを使用しないため、直接地盤の強度増加を確認できる。圧密促進による強度増加は貫入試験によるなど、現場条件に適した方法により確認する。

2. 4 使用材料

SPD-M 工法は原則的に表-1に示す材料を用いる。ただし、適用条件や施工条件により材料を変更する。ドレーンと集水管の接続は、不透気加工した鉛直ドレーン材を直接集水管に接続するので、負圧ロスの低減や排水状況の目視確認が可能である。

表-1 SPD-M 工法材料例

材料名称	仕様	備考
鉛直ドレーン	t=3.4±0.5mm B=98.5±5mm	シオドレーン (プラスチックボードドレーン)
不透気部	—	ポリホース(PE)
接続部材	—	PP製
集水管	φ30mm	硬質塩ビ管 フレキシブルサクションホース
排水管	φ100mm	硬質塩ビ管 フレキシブルサクションホース

3. 施工事例²⁾

3. 1 実証実験場所の地盤特性

実証実験は福岡市の埋立地盤で実施した。図-6に当該地の地盤特性と物理試験結果を示す。表層から厚さ4m程度の礫混じり砂質土層、その下部に厚さ6mの浚渫土層、さらに厚さ5mの在来粘土層が分布している。DL+5.29m (GL-1.5m) で原位置透水試験を実施したが、透水係数は $5.26 \times 10^{-4} \text{cm/s}$

であった。粒度分布より、表層から2m程度は礫や砂が50%以上、その下の粘土層からは80%以上の粘土・シルト分が含まれているのがわかる。自然含水比は液性限界のほぼ中間、粘土層では60~70%程度で、液性限界の中間であった。

3. 2 施工条件

図-7に施工区域平面図および断面図を示す。施工条件は次の通りである [①サイト：埋立地盤、②施工エリア：25m×25m=625m²、③ドレーン打設本数：24×24=576本、④ドレーン打設長：13m、⑤ドレーン打設間隔：1m、⑥真空ポンプ稼働日数：50日間、⑦計測項目：地表面沈下(25箇所)、負圧(管路12箇所)、ポンプ(1箇所)、ドレーン負圧(4箇所)、側方変位(1箇所)、流量(1箇所)]。打設したドレーン1本当たりの不透気部は4m、その内3mは土中に貫入している。このように土中不透気部を3mとしたのは、表層から4mは礫層が混入していることが確認されており(図-6参照)、真空載荷時に吸気の恐れがあったためである。写真-1にドレーン打設・配管直後状況を示す。



写真-1 打設・配管直後状況

3. 3 試験施工結果

本施工ではドレーン打設→真空ポンプ稼働→真空ポンプ停止に至るまでの負圧の損失、地盤改良効果等を調べるために図-8に示す計測機器を設置した。

3. 3. 1 ドレーン作用負圧

図-9にドレーン材とともに設置した間隙水圧計測結果を示す。真空ポンプを稼働して2日後には、ポンプ本圧の-80 kPaに至り、その後は停止まで維持続けていることから、負圧が損失することなく管路およびドレーンにまで伝わっていたことがわかる。

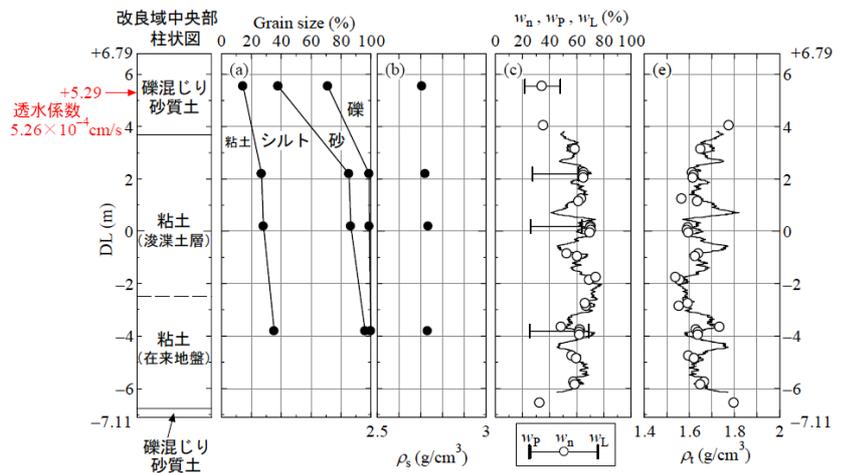


図-6 地盤・物理特性

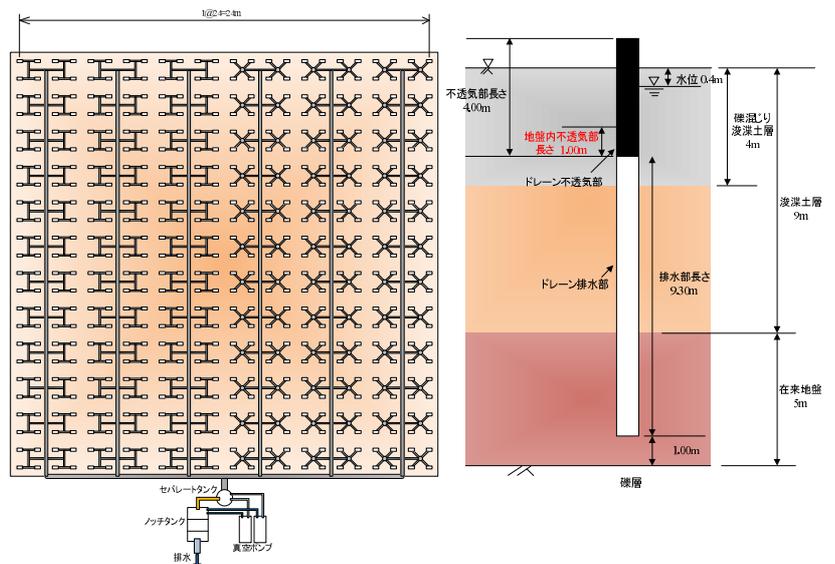


図-7 施工区域平面図および断面図

3. 3. 2 沈下量

図-10に、No. 5~19、No. 24~T25の沈下量の経時変化を示す。真空ポンプ稼働時(■)にドレーン打設前と比較して7cm程度沈下が生じているのは、ドレーンを打設したことにより未圧密地盤の自重圧密が促進されたためであると考えられる。真空ポンプ稼働50日目で中央部(No. 12)が42cmと最も沈下量が大きく、中央部から離れるに従い、沈下量は小さい値となっていることがわかる。改良域端部(No. 9, 15)の沈下はそれぞれ中央部の60%, 61%であった。

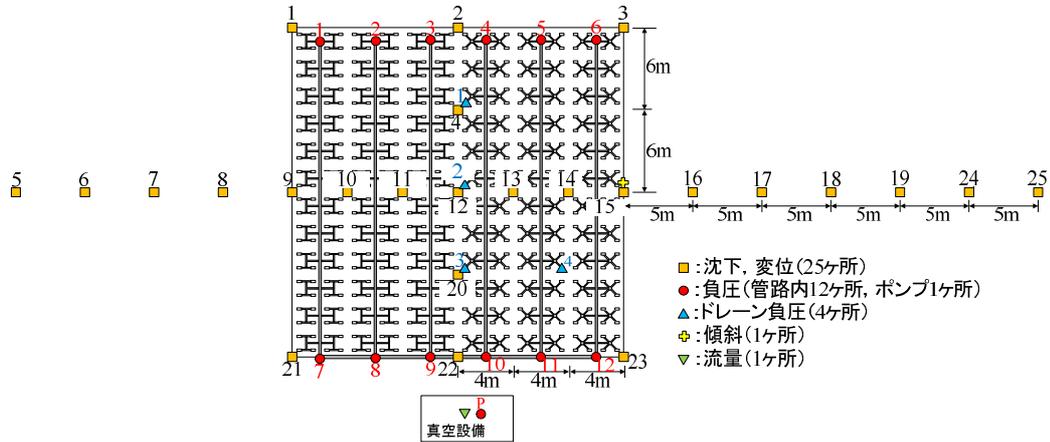


図-8 計測項目および計測装置設置箇所

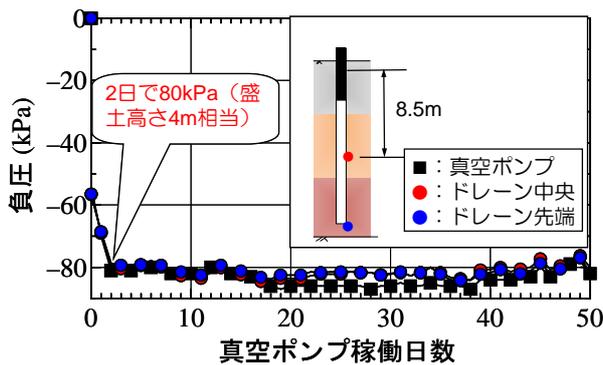


図-9 ドレーン作用負圧の経時変化

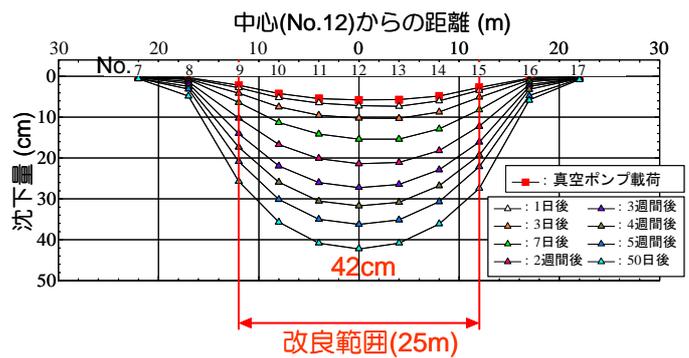


図-10 沈下量経時変化

4 終わりに

本工法全体に関するまとめとして以下に示す。

- ①SPD-M 工法は真空圧密工法の1つであり、試験施工でシートを使用しないことを確認することができ、湖沼や埋立処分場の減容化にも適用可能となり得る。
- ②SPD-M 工法はサンドマットや盛土が不要であり、また生分解性プラスチックドレーン材を用いることで更に環境に配慮した工法となる。

なお、本工法の開発はSPD-M工法研究会(東亜建設工業、東急建設、若築建設、キャドテック、チカミルテック)の5社の共同開発による。

[参考文献]

- 1) 社団法人 地盤工学会：地盤工学用語辞典、pp. 412-413, 2006.
- 2) 西田浩太：不透気部付ドレーン材を用いた真空圧密工法の実証実験、第54回地盤工学シンポジウム、pp. 557-561, 2009.

新しい消波ブロック —テトラネオー—

(株)不動テトラ ブロック環境事業本部技術統轄部 担当部長 ○錦織 和紀郎
北陸技術部 部長 西田 耕一
北陸技術部 萩原 照通

1 はじめに

近年、海岸・港湾構造物が設置される水深帯においても来襲波高が大きくなってきており、被災等を受け難い構造物が望まれている。このことは離岸堤や護岸、防波堤等に使用される消波ブロックの場合も同様で、高波浪の来襲にも耐え得る高い耐波安定性が従前にも増して求められている。また、建設コスト縮減の要請により、消波ブロックも施工費を低減することが要求されている。

消波ブロックの耐波安定性を向上させるためにはブロック相互のかみ合わせを良くする必要があり、一般にはブロックの脚等を細長くすることが有効である。また、脚の長い方が空隙率が大きくなる傾向があり、施工費の低減につながることも多い。

また、消波ブロックは長期間にわたり厳しい波力の作用を受けるため、十分な構造強度を有することが不可欠である。しかしながら、耐波安定性や経済性の向上を目的とした脚の細長化は構造強度と相反することとなり、従来これら要求性能の両立は難しいという課題があった。

そこで、耐波安定性、施工費の低減および構造強度に優れた新しい消波ブロックを開発することを目的に、基礎的な形状検討を実施し、目標を満足する新しい消波ブロックの形状を定めた。また、現地への適用性を確認するため、系統的な安定実験等を実施した。

2 ブロック形状の検討

2.1 開発目標

新しい消波ブロックの開発に際し、①耐波安定性、②経済性、③構造強度に関して、既往の消波ブロックと比較して最上位の性能を有することを開発目標とした。また、海域環境との親和性（藻類の着生機能等）も重要な付加機能として考慮することとした。

2.2 ブロック形状

上記のように、脚を細長くすることにより耐波安定性は向上するが、逆に構造強度は低下する。そこで、脚の細長化以外による耐波安定性、すなわちかみ合わせ性能の向上を検討することとした。具体的には、脚の太さは十分に保ちつつ脚先に突起を設け、その絡み合いによる耐波安定性の向上を目指し、試行錯誤の結果、図-1に示す形状に定めることとした。このブロックの模型を積んだ状況を写真-1に示す。突起が互いに絡み合い、かみ合わせの良さが確認できる。



図-1 ブロック形状



写真-1 かみ合わせ状況

また、施工費に影響する空隙率は60%であり、後述(図-5)するように既存ブロック中最上位である。

3 性能の確認

3.1 耐波安定性

開発した消波ブロックの耐波安定性を確認するため、混成堤の前面被覆を対象に安定実験を行った。

3.1.1 実験条件

表-1に実験条件を、図-2に実験断面を示す。ブロック模型の質量は253.6gで、これを現地で50t型ブロックとすると、実験縮尺は1/58.2である。実験波浪は不規則波(有義波周期 $T_{1/3}=1.6s$ 、 $1.9s$ 、 $2.2s$)とし、波群は $T_{1/3}=1.6s$ の場合2波群、 $1.9s$ および $2.2s$ のケースで各3波群とした。

表-1 実験条件

		模型量	現地量
実験縮尺		1/58.2	
構造条件	ブロック質量	253.6g	49.984t
	設置水深	34.3cm	20.0m
	法面勾配	1:4/3	
	海底勾配	1:30	
波浪条件	有義波周期	1.6, 1.9, 2.2s	12.2, 14.5, 16.8s
	有義波高	10~18cm	5.8~10.5m

現地量：ブロックを50t型とした場合の値

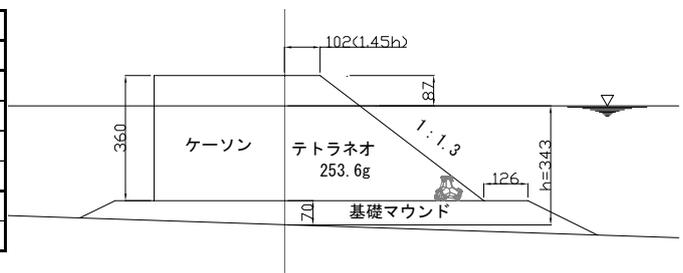


図-2 実験断面

3.1.2 実験方法

各ケースとも有義波高 $H_{1/3}=10cm$ から波当てを行い、1,000波の波作用後、次の波高ランクの波当てを行った。このときブロックの積直しは行わず、ブロックの被害個数はそれまでの被害個数に当該波高で新たに発生した被害個数を加えた累計数とした。ここで、ブロックの被害は目視およびビデオ画像、波作用前後の写真により観察した。

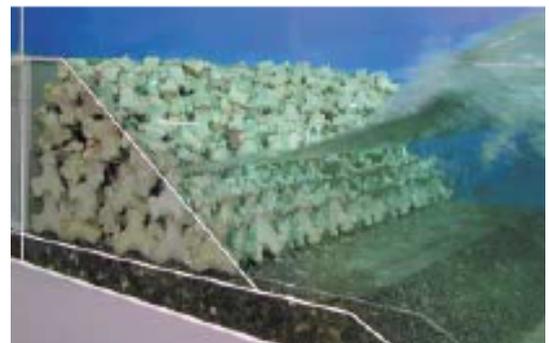


写真-2 実験状況

3.1.3 実験結果

本実験における波の作用状況を写真-2に、実験結果として被害率と安定数KDの平均的な関係を図-3に示す。ここで、一般に消波ブロックの所要質量Mはハドソン式(式(1))により算定されることから、安定数KDは、式(1)から逆算して求めた。

$$M = \frac{\rho r \cdot H^3}{KD \cdot (Sr - 1)^3 \cdot \cot \alpha} \quad (1)$$

ここに、 ρr ：コンクリートの密度、 Sr ：コンクリートの海水に対する比重、 H ：設計有義波高、 α ：法面と水平面のなす角度である。

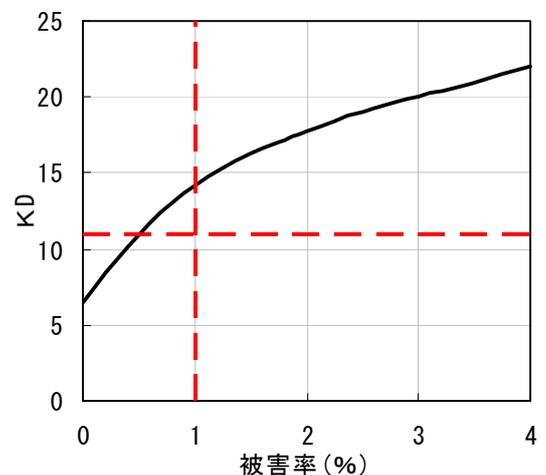


図-3 実験結果

図-3より、被害率1%に相当するKDの平均は14程

度である。よって、安全性を考慮し、設計用の安定数KDは11に定めることとした。

3. 1. 4 従来技術との比較

設計波高=8.0mの条件で、各種ブロックの所要質量を比較した結果を図-4に示す。図-4より、開発した消波ブロックの所要質量は最も小さく、既往のブロックと比べて安定性が高いことが判る。

3. 2 施工費

図-5は、各種ブロックにより混成堤前面を被覆した場合の施工費（ブロック製作、据付費）を比較したものである（開発したブロックの施工費に対する比率で表示）。図より、開発したブロックの施工費が最も低廉となることが確認できる。なお、先に触れたように、図-5には空隙率を併記したが、最上位の空隙率である。

3. 3 構造強度

ブロックの脚に荷重が作用すると脚付け根の断面には曲げ応力度 σ が生じ、 σ が曲げ強度より大きくなると現地においてブロックは折損に至ることがある。 σ は曲げモーメント $M(=P \cdot L$ 、 P :荷重、 L :脚の長さ)と断面係数 Z の比 $P \cdot L / Z$ で表されることから、作用する荷重が同一であれば、断面係数 Z と脚の長さ L の比 Z / L が大きいほど σ が小さくなり構造的に強いと言える。そこで、各種ブロックの Z / L を比較した結果を図-6に示す（開発したブロックの Z / L に対する比率で表

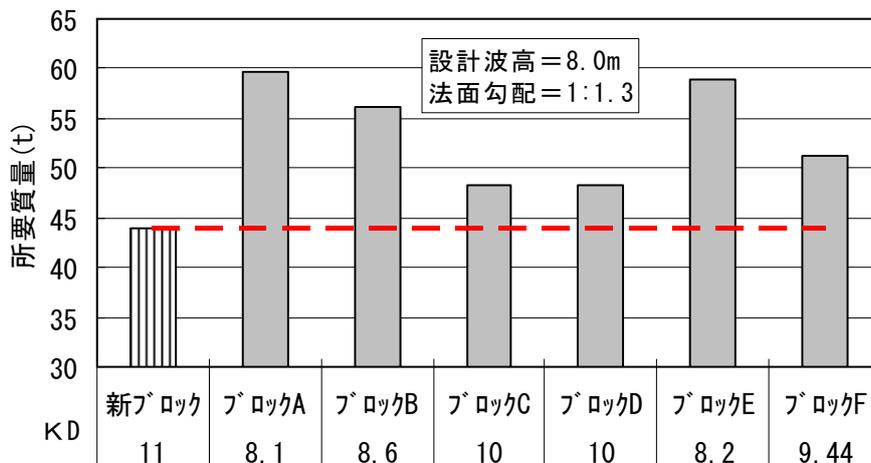


図-4 安定性の比較

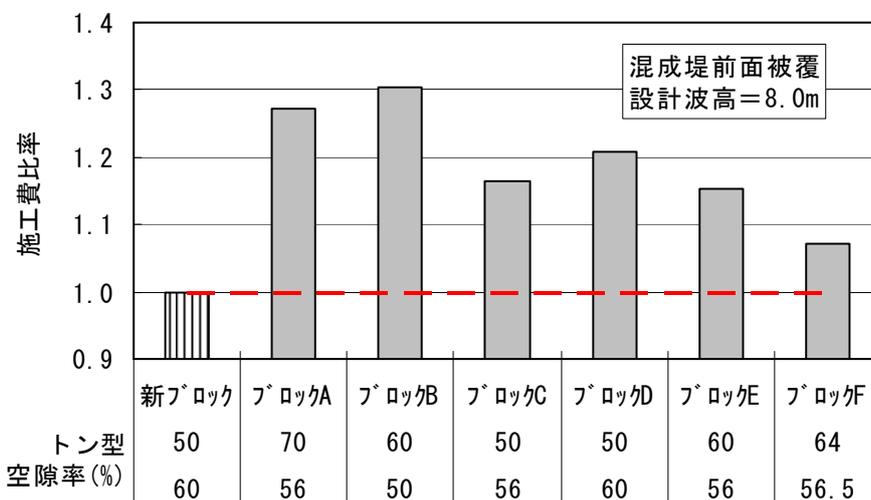


図-5 施工費の比較

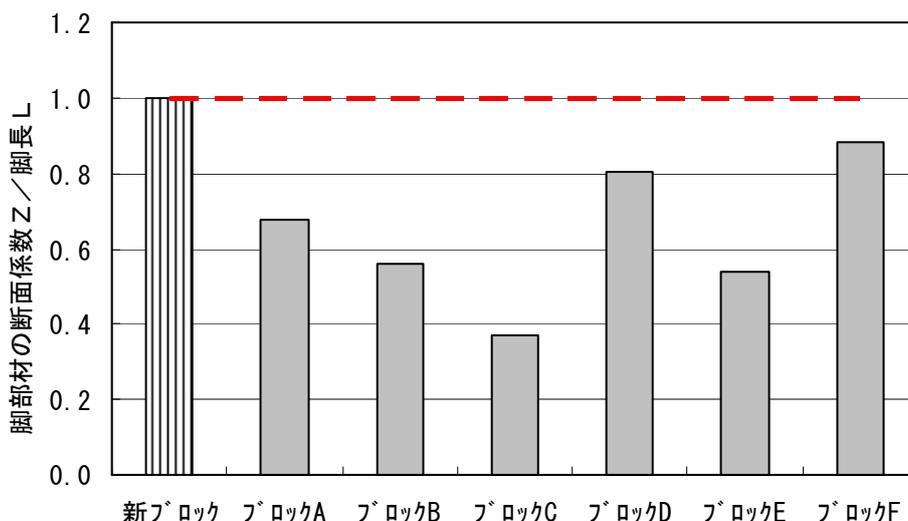


図-6 構造強度の比較

各種ブロックの Z / L を比較した結果を図-6に示す（開発したブロックの Z / L に対する比率で表

示)。図より、開発したブロックの構造強度は最上位にある。

3. 4 海域環境との親和性

一般に、海域に設置されたコンクリートブロックは、多様な生物の生息の場を提供することが知られている。特に、コンブ科の海藻等はブロックの稜線付近に着生し易い傾向にあり¹⁾、稜線が長い方が海藻の着生の可能性を高めるため、海域環境との親和性に優れるブロックとみなされる。

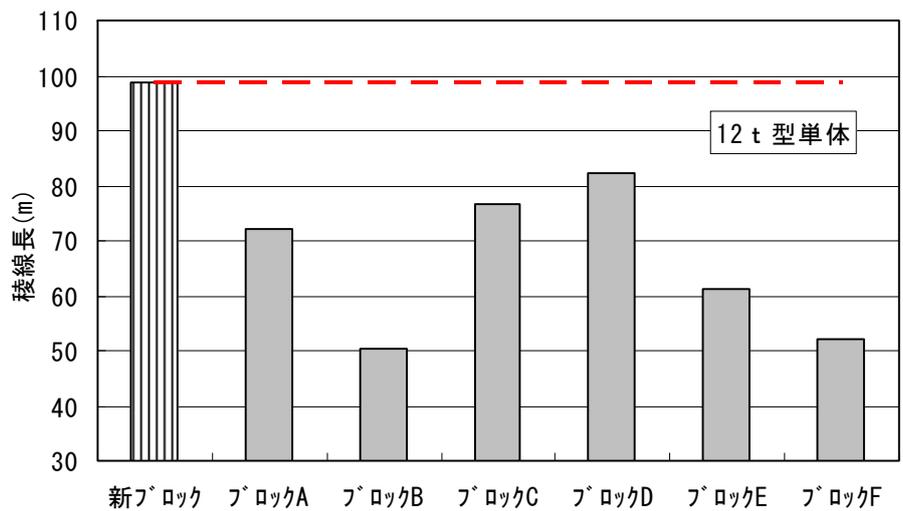


図-7 稜線長の比較

図-7に、各種ブロック（12t型）の稜線長を示す。図より、開発したブロックの稜線長が最も長いことが確認できる。また、様々な大きさの空間が多く、魚類や貝類など移動性の小動物が棲み家、隠れ家として利用するため、海域生物にとっては絶好の生息環境を提供するブロックと言える。

5. 結び（現地への適用性）

以上記したように、①耐波安定性、②経済性、③構造強度および④海域環境との親和性に関して最上位の性能を有する新しい消波ブロックを開発した。その現地への適用性は次の通りであり、適用性の高いブロックである。

5. 1 耐波安定性

耐波安定性が高く、「被災等を受け難い構造物」という現地の要望に応えるブロックである。また、高い耐波安定性に基づき小型のブロックを使用できるため、現場での施工性や安全性が飛躍的に向上するものと考えられる。

5. 2 施工費

施工費を低減することができ、建設コスト縮減の要請に対応できるブロックである。

5. 3 構造強度

構造強度が高く、現地で折損等の問題が生じ難いブロックである。

5. 4 海域環境との親和性

稜線長が長く海藻の着生の可能性を高めること、および多くの空隙は魚類や貝類など移動性の小動物が棲み家、隠れ家として利用することから、海域生物にとっては絶好の生息環境を提供するブロックである。

参考文献

1) 山本秀一ら：相模湾西部海域におけるカジメ場造成試験，水産土木，Vol. 23, No. 1, pp. 13-18, 1986.

エコマックス（可塑性注入材）

（株）熊谷組 土木事業本部リニューアル事業部 森 康雄
岩井孝幸
技術研究所建設材料研究グループ 金森誠治

1. はじめに

矢板工法によってつくられたトンネルでは工法上、覆工とその背面の地山との間に空洞が残っていることが多い。地山の経年劣化などにより地山の一部が岩塊として崩落し覆工を破壊したりトンネルが崩落することがある。このような災害を未然に防ぐためにもトンネル覆工背面の空洞を充填し耐久性、安定性を向上させることが重要である。

本編では、可塑性混和剤と大量のフライアッシュを使用し水中分離抵抗性に優れ可塑性を有するトンネル覆工背面空洞注入材（エコマックス）と施工事例を紹介する。

表－1 トンネル背面空洞注入材の品質規格（NEXCO）

試験項目		規格項目	規格値
流動性	静置時	フロー値（静置時）	練り直後：80～155mm、60分後：100mm以下
	打撃時	フロー値（打撃時）	練り直後：130～205mm、60分後：170mm以下
強度		一軸圧縮強度	$\sigma_{28}=1.5\text{N/mm}^2$ 以上
比重		比重	非エア系：11～15kN/m ³
充填性		充填性	容器全体に注入材が充填され角材やH形鋼との間にも隙間がなく密実に充填されている。
非漏出性		隙間への非漏出性	60分経過後において5mm以下の隙間に完全に流出がない。
水中分離抵抗性		濁度	水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と投入後60分経過後の水の測定値の増減比率が±2%以内である。
		pH	注入直後からの60分経過後のpH測定比率が±10%である。
非収縮性		収縮量	28日経過後の収縮量が2cm以下であること。

2. 使用材料と配合

（1）使用材料

使用材料は、フライアッシュ、セメント、練混水を主な材料とし、空気量・水中不分離性・可塑性を確保するための補助剤として可塑性混和剤を使用する。また、フレッシュ性状を保持する必要がある場合には凝集剤を添加する。

エコマックスは起泡剤を使用しない非エア系の材料であるため、空気量は材料混練時に混入した空気となるが、ここでは既往の実績より想定値として20%としている。また、可塑性混和剤の添加量は予備実験の結果からA剤、B剤それぞれ水量×1.5%、凝集剤の添加量は15kg/m³とする。

（2）基本配合

材料の種類としては普通ポルトランドセメントを使用したN型と、高炉セメントB種を使用したB型の2種類ある。目標強度は強度のバラツキを考慮して4.5N/mm²としている。

NEXCO 規格に適合する基本配合を表-2に示す。

表-2 基本配合 (NEXCO 適合)

種類	単位量 (kg/m ³)					
	水	セメント	フライアッシュ	可塑性混和剤		凝集剤
				A剤	B剤	
N型	472	192	608	7.08	7.08	15
B型	417	168	747	6.26	6.26	15

3. 性能

(1) 流動性

流動性の試験結果を表-3に、試験状況 (N型) を写真-1に示す。

表-3 流動性試験結果

種類	条件	フロー値 (mm)	
		練混ぜ直後	60分
N型	静置時	127×125	89×88
	打撃時	192×192	141×140
B型	静置時	120×118	81×81
	打撃時	181×183	117×116



練混ぜ直後

60分経過後

写真-1 流動性試験結果

(2) 強度

表-4 圧縮強度と密度

種類	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	密度 (kN/m ³)	空気量 (%)
N型	1.97	13.32	16.3
B型	5.55	14.88	13.5

(3) 充填性

図-1に示すような試験装置にモルタルを注入し障害物周辺にも確実にモルタルが充填されていることを確認した。充填性は非常に良好であり、試験装置内に設置した角材やH形鋼の周辺にも注入材が隙間なく密実に充填された。障害物周辺の充填状況を写真-2に示す。

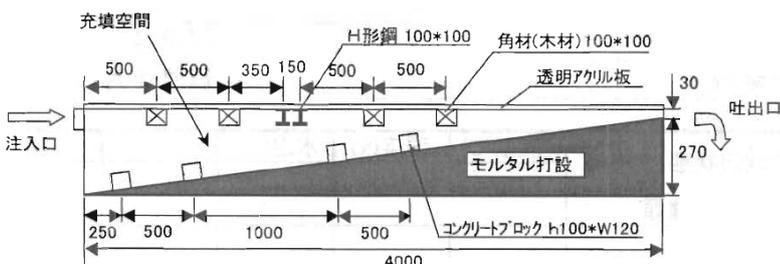


図-1 充填性試験装置 (側面図)



写真-2 充填状況

(4) 非漏出性試験

非漏出性については、フローが大きいN型では 10mm の隙間から若干の漏れがみられたが、B型においては漏出は見られなかった。

NEXCO の規格では“60 分経過後において 5mm 以下の隙間に完全に流出があってはならない”となっており N型および B型共に規格を満足した。

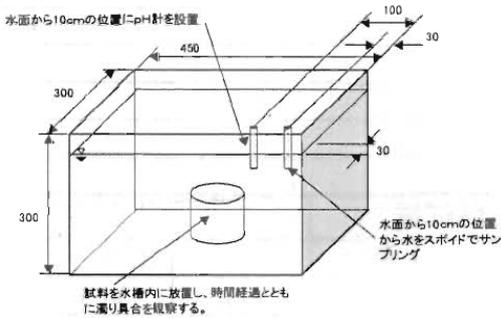
60 分経過後の状況を写真－3 に示す。



写真－3 非漏出性試験状況

(5) 水中分離抵抗性

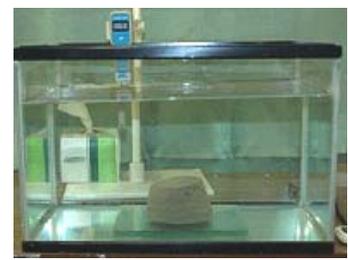
材料投入 60 分経過後も水槽の水は懸濁することはなかった。濁度、pH に関しては N型および B型共に初期の値からの変化がなく規格値を満足した。



図－2 水中不分離性試験装置



N型



B型

写真－4 水中分離抵抗性試験状況 (60 分経過)

表－5 水中分離抵抗性試験結果

種類	pH測定比率 (%)	濁度増減比率 (%)
N型	-2	0
B型	-1	0

(6) 非収縮性

φ300mm、高さ 1,000mm の硬質塩化ビニール管の下端に平板を放り付けた容器に注入材を入れ、28 日経過後の表面の沈降量を計測した。状況を写真－5 に示す。表面の沈降 (収縮) は見られず、計測限界値以下 (0.1mm) であった。



N型



B型

写真－5 収縮性試験状況 (28 日経過)

4. 施工事例

上水道取水トンネルの緊急復旧工事でエコマックスの施工性の確認を行ったので、以下に紹介する。本トンネルは昭和 4 年に建設された水路トンネルで延長 1.5km、直径 2.34m の馬蹄形トンネルであ

る。標準断面を図-4に示す。

施工システムを図-3に示す。ミキサーは強制練りとし、可塑性混和剤（A剤、B剤）の混合方式は1ショットである。練混ぜ方法はセメント、フライアッシュ、水（B剤混合）を混合攪拌し、A剤を添加し再攪拌する。練り上がった材料をモルタルポンプで空洞に注入する。

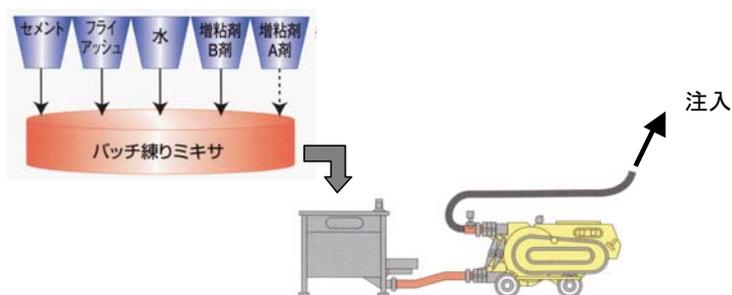


図-3 空洞注入施工システム

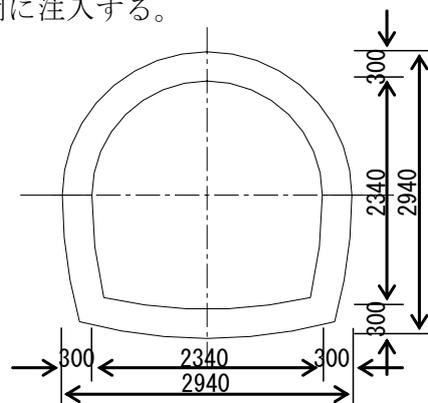


図-4 標準断面図

エコマックスは水セメント比を変化させることにより発現強度を調整することが可能であり、Type1（目標強度：1.5N/mm²）とType2（目標強度：18 N/mm²）の2種類について施工した。それぞれのタイプの基本配合を表-6に示す。

表-6 可塑性注入材の基本配合

種類	水 (kg)	セメント (kg)	フライアッシュ (kg)	空気量 (%)	可塑性混和剤 (kg)	
					A剤	B剤
Type1	375	187	815	20	5.63	5.63
Type2	405	585	467	20	6.08	6.08

注入箇所は3区間で現場条件は表-7に示すとおりである。

A区間とC区間はトンネルの耐荷力向上（覆工強化）を目的にType2の材料を、B区間は通常の空洞注入（トンネルの安定性向上）としてType1の材料を使用した。注入状況を写真-6に示す。

表-7 注入場所の概要

位置	地表状況	延長 (m)	地質	空洞深さ (cm)	注入量 (m ³)
A区間	立坑周辺	50	チャート	50~60	37
B区間	立坑から500m下流	70	チャート	20~30	41
C区間	下流端から250m上流	180	段丘堆積物	15~20	25



写真-6 空洞注入状況

雁木工法（1車線対応PCスノーシェッド）の施工報告

日本サミコン株式会社 工務部工事課課長代理
同 工務部長

波形 武晴
小倉 博志

1 はじめに

雪国の雪崩対策工法としてスノーシェッドが一般的である。しかしながら、未改良の狭小道路においては道路改良を含めた規模の大きい工事を余儀なくされることが多い。1車線対応PCスノーシェッド（以下雁木工法と呼ぶ）は、未改良の狭小道路において、早期の積雪時道路安全確保、交通規制による社会的影響の軽減、および工事費の縮減を目的として開発された。

さらにこの工法は、雁木工法を構成する1車線対応部材の施工後に（以下 期施工と呼ぶ）、これらを活かし2車線用のスノーシェッドへ増設すること（以下 期施工と呼ぶ）が可能な構造となっていることも大きな特徴である。

ここでは、雁木工法の構造的特徴と新潟県中魚沼郡津南町での 期施工工事について報告する。

2 構造と特徴

期施工と 期施工の構造およびその特徴は以下の通りである。

期施工 3つのプレキャスト部材（底版、側壁、頂版）を現場で組み立てることにより、短期間に片持ち式構造の1車線対応スノーシェッドを構築することができる。（図 - 1）

期施工 将来、谷側下部工の構築と2つのプレキャスト部材（増設頂版、柱）を増設することにより、2車線道路対応のスノーシェッドへと再構築することができる。（図 - 2）

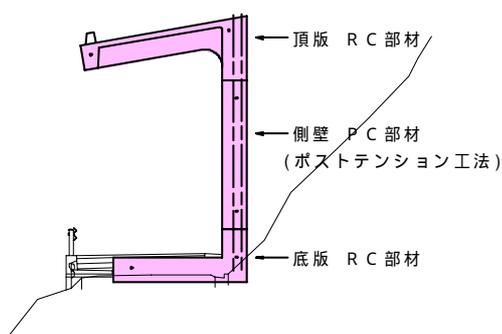


図 - 1 部材構成（期施工）

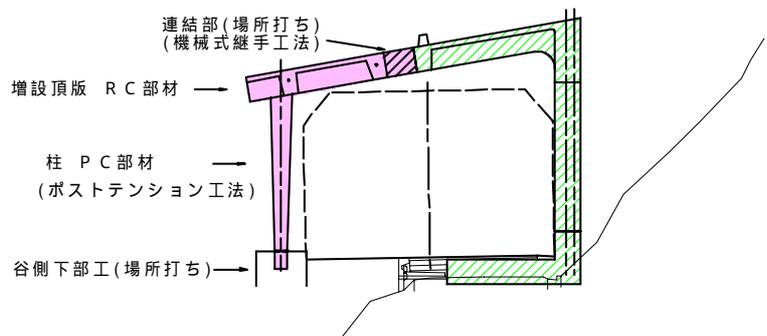


図 - 2 部材構成（期施工）

期施工における頂版・側壁・底版の連結構造を図 - 3 に示す。それぞれの部材は鉄筋コンクリート部材であり、設計基準強度は $40\text{N}/\text{mm}^2$ である。工場で製作後現地に運搬した。組立てはPC鋼棒で緊張するポストテンション方式を採用し、使用したPC鋼棒の規格はSBPR1080/1230 C種1号 32である。また部材1セットの組立てにPC鋼棒は8本使用し、作業緊張力は1本当たり600kNとした。

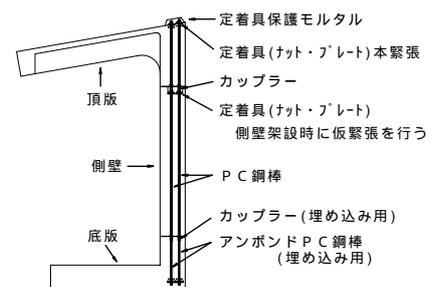


図 - 3 連結構造

3 施工

現地施工は平成20年7月に行った。現地の道路幅員は約4.0m、道路平面線形はR = 60m、縦断勾配は4.8%である。また山側の平均斜面勾配は60度と45度である。設計条件は、30年確率設計積雪深5.0m、積雪時の雪密度3.83kN/m³、雪崩時の雪密度4.50kN/m³である。この条件により、頂版、側版、底版の部材厚は700mm、道路方向の部材幅は1500mmとなっている。

3.1 施工手順

期施工までの上部工施工手順を図 - 4 に示す。

3.2 輸送工

製品は全てプレキャスト部材であり、予め工場で作成・保管された製品を運搬車により搬入した。

3.3 支承工

底版施工前に部材の位置出しをおこない、基礎上にゴム支承を設置した。また、底版架設後は山側および谷側の基礎工に削孔し、アンカーバーを設置し、空隙は無収縮グラウトで充填し支承部を構成した。支承部の詳細を図 - 5 に示す。

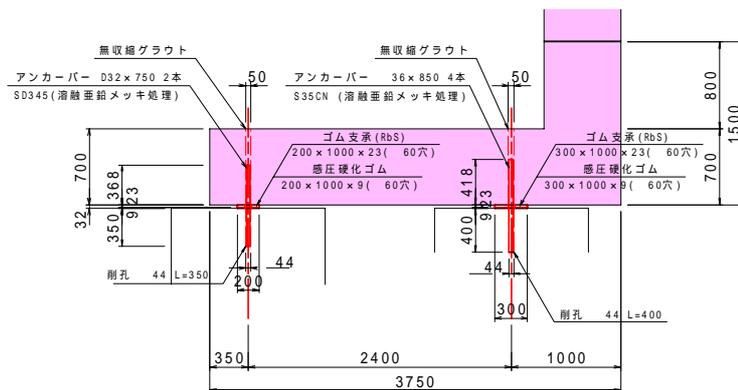


図 - 5 支承部詳細図

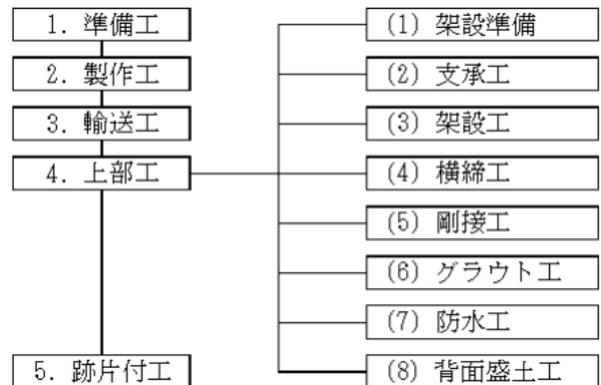


図 - 4 上部工施工手順



写真 - 1 ゴム支承設置



写真 - 2 アンカーバー施工状況

3.4 架設工

架設時は道路上にクレーンを据付けての作業となり幅員の都合上、通行止規制が必要となる。本工事は夜間の時間通行止規制 (22:30 ~ 5:00) により施工をおこなった。

3.4.1 底版架設

基礎上に45t吊ラフタークレーンを据付けたあと、運搬車後方より底版を吊り上げ設置した。架設速度は1日あたり4枚であった。架設後は碎石と敷鉄板により路面の段差擦付け処理および谷側路盤の復旧をおこなったのちに通行規制を解除し、昼間は交通開放した。底版架設時の概要図を図 - 6 に示す。

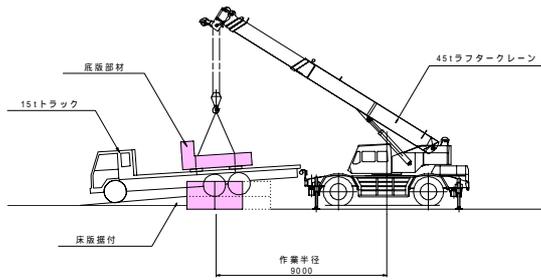


図 - 6 底版架設概要図



写真 - 3 底版架設状況

3.4.2 側壁架設

側壁の架設は、すでに架設した底版上にクレーンと運搬車を配置したあと、いったん道路上に仮置きし、縦断および横断勾配調整のための反転機や滑車を取付けて吊り上げた。底版との連結用のPC鋼棒を挿入後、位置調整して上部の定着具を締付け固定した。架設速度は1日あたり4～7枚であった。その後、頂版を架設する前に連結部の仮緊張をPC鋼棒1本あたり200kNでおこない、架設途中の安全性を確保した。



写真 - 4 側壁架設状況

3.4.3 頂版架設

頂版架設に先立ち、側壁との連結用のPC鋼棒をカップラーで連結して建て込んでおいたのち、頂版のダクトをPC鋼棒に誘導し架設した。位置・角度を調整し、連結部を仮緊張することにより頂版を固定した。架設速度は1日あたり4～7枚であった。

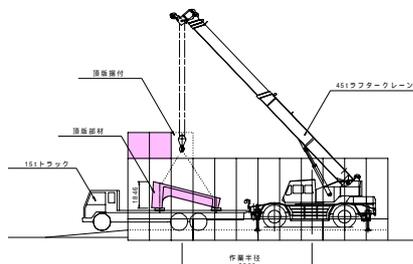


図 - 6 頂版架設概要図



写真 - 5 頂版架設状況

3.5 横締工

頂版、側壁、底版をそれぞれ7枚架設した状態を1ブロックとし、1ブロック毎にスノーシェッドと同様に横締緊張をおこなった。横締用PC鋼材を挿入後、部材目地部に目地モルタルを充填し、翌日に緊張力を導入した。鋼材はPC鋼より線 19.3を使用し、緊張力は1本当たり300kNとした。その後、緊張定着部に無収縮モルタルを打設し、グラウト工を実施し横締工を完了した。



写真 - 6 横締PC鋼材挿入状況

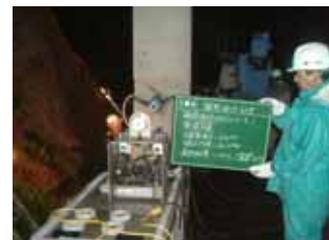


写真 - 7 横締緊張

3.6 剛接工

頂版架設および横締工の完了後、底版、側壁、頂版の一体化のための連結部の本緊張作業をおこなった。緊張定着後はグラウト工を実施し、緊張材・定着具の保護材として無収縮モルタルを打設して部材の組立てを完了した。



写真 - 8 剛接緊張



写真 - 9 定着具保護モルタル

3.7 背面盛土工

部材目地の防水工完了後、山側背面の部材と斜面のポケット部に土圧軽減工法としてEPSブロックを積層した。また、EPSブロックの天端処理工として、紫外線対策を兼ねて保護コンクリートを打設した。



写真 - 10 EPS施工状況



写真 - 11 保護コンクリート完了

4 おわりに

狭小道路の積雪期の早期安全確保等を目的として研究開発された本工法は、一般的な2車線対応のスノーシェッドの設計技術を取り入れながら、道路の谷側を現状のまま期施工が完了できる点により、現場への迅速な反映を可能とした。また、上部工部材の大部分が工場製作のプレキャスト部材であることや、下部工の施工規模が小さくなることもあり、部材の品質の確保や現場施工期間の短縮による交通規制等の社会的影響の低減も可能とした。しかしながら、施工実績はまだ少ないことや夜間の部材架設から昼間の交通解放への切り替えに多少の時間を要することもあり、施工技術の積み重ねや課題はまだ残されている。

本施工報告の場所は平成18年豪雪時大きな影響を受けた路線であるが、通常の積雪時の道路除雪の面からも有効であると思われる。今後、期施工部分の工事が予定されていることもあり、実績を重ねながら本工法の施工技術の向上と確立を図っていく所存である。



写真 - 12 冬期供用状況

斜面スリット型透過式ケーソン「S-VHS 工法」の開発

五洋建設(株) 技術研究所 主任 ○安野浩一郎
 五洋建設(株) 技術研究所 課長 森屋 陽一

1 はじめに

1986年以降、旧建設省によるMMZ(Marine Multi Zone)計画を契機に多くの新型海域制御構造物が開発され、実海域に適用されている。MMZ計画による構造物は、沿岸漂砂制御や静穏海域の確保といった国土保全機能に加え、沿岸域の水産や環境保全等に資するという観点から透過性の消波構造物であり、一定の水理性能を有することが要求されている(対象海域のエネルギー平均波に対して反射率0.5以下、透過率0.6以下)。



図-1 S-VHS 工法

透過水平版付スリットケーソン型構造物(以下、従来型VHS工法)はMMZ計画の一環として開発された鉛直および水平方向のスリット壁からなる構造物であり、富山県生地鼻地区をはじめとして多数の実績を有している。しかしながら、この構造物は優れた消波性能を有する反面、前面スリット壁に加わる波力が比較的に大きいため各部材断面が増大し、コストが割高となる課題があった。そこで著者らは構造物の前面を上部斜面堤として波力を大幅に低減、また、部材断面の縮小により堤体の軽量化を図り、同時に規定の水理性能も満たす新型の構造物(以下、S-VHS工法)を開発した(図-1)。

2 S-VHS 工法の性能確認

2.1 基本形状の決定

S-VHS工法の開発においては、最初に様々な数値解析¹⁾および簡易的な水理実験を行い、規定の消波性能を満足しつつ、経済性に優れた堤体の基本形状を決定した。

前面斜面部は、数値解析の結果による波力低減特性の傾向から、 $h_4/h_3=0.5$ が最適と判断し、反射性能を維持するために斜面部は15%の開口率を持たせた。後壁は、越波後の波による衝撃的波力の作用を避けるように、VHS工法よりも開口率を増加させた。同様に、水平版、底版は揚圧力の低減を促進するため、それぞれ開口率を増加させた。なお、開口率の増加は、堤体全体の剛性をRC部材で保持可能な範囲内に留めている。最後に、海底の不陸に応じて選択できるように

2種類の底面クリアランス比(h_2/h_3)の堤体構造を新たに提案することとした(表-1)。

表-1 開口率の比較

諸元	開口率	
	VHS工法	S-VHS工法
前壁	25%	斜面部15% 直立部25%
水平版	15%	30%
中間壁	25%	25%
後壁	25%	35%
底版	0%	30%
h_4/h_3	-	0.5
h_2/h_3	0	0.05, 0.2

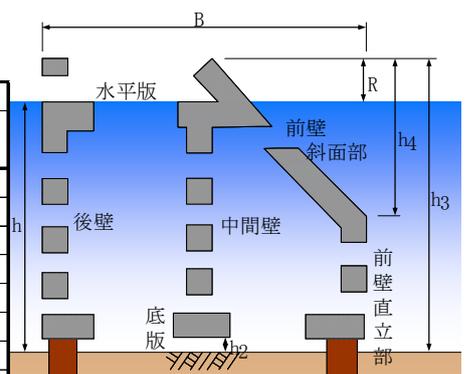


図-2 S-VHS 工法

2. 2 消波性能 (透過率・反射率)

2. 1にて決定した S-VHS 工法の基本形状を対象に二次元水理模型実験を行い、消波性能を詳細に把握した²⁾。実験においては、波浪条件に加え堤体幅を変化させたケースについて行った。図-3 および図-4 より、S-VHS 工法は消波性能の制約条件を十分に満足することが確認できる。なお、S-VHS 工法は、低天端構造であるものの、適切な堤体幅の設定によって、現地の波浪条件や要求される透過率、反射率に応じた消波性能を発揮させることが可能である。

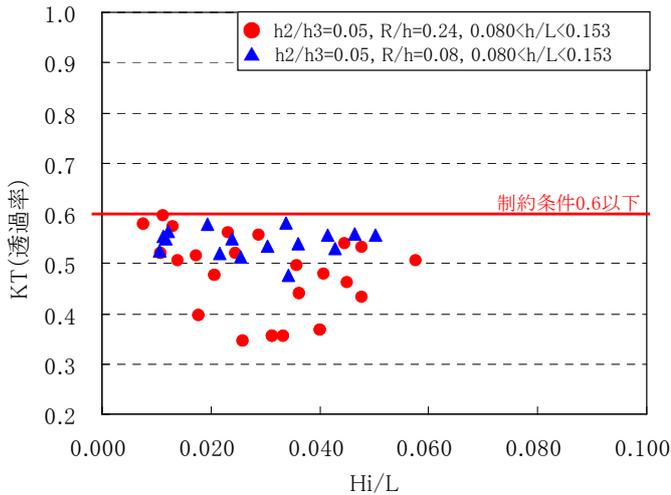
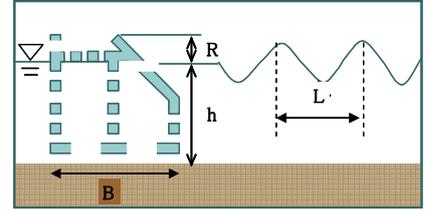


図-3 透過率と波形勾配 (堤体幅 9.5m)

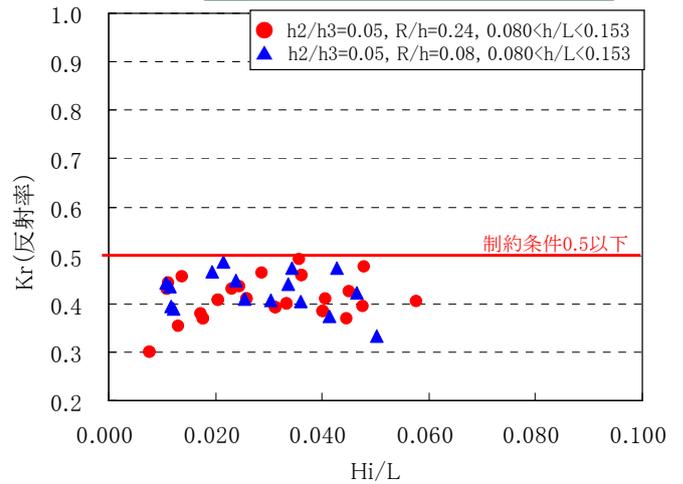


図-4 反射率と波形勾配 (堤体幅 9.5m)

2. 3 波力性能

次に、二次元水理模型実験により、波力特性を詳細に把握した²⁾。実験においては、消波性能の確認実験同様に波浪条件に加え堤体幅を変化させたケースについて行った。実験の目的は、従来型 VHS 工法に対する波力の低減効果の確認、ならびに新たな波力設計手法の構築とした。作用波力について比較した結果、S-VHS 工法は従来型 VHS 工法よりも作用波力を 3~5 割程低減可能であることを確認した (図-5)。また、実験結果の検証を得て、S-VHS 工法の波力算定式を新たに構築し、その妥当性²⁾を確認した (図-6)。

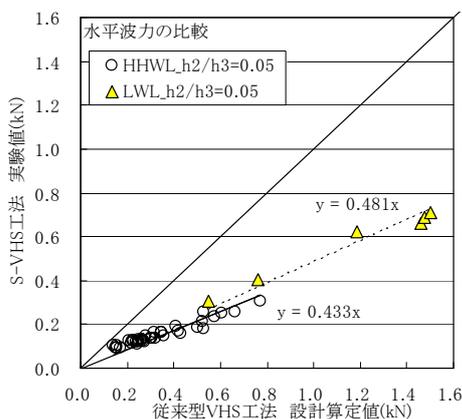


図-5 水平波力の比較 (h2/h3=0.05)

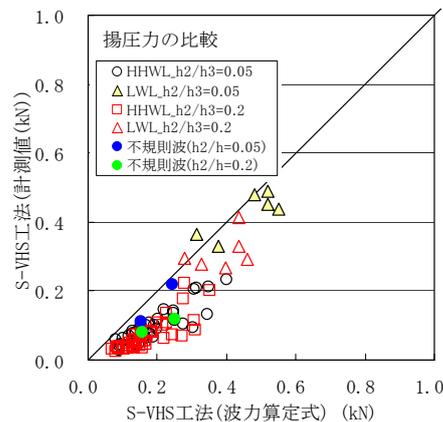


図-6 波力算定式の妥当性検証例

2. 4 洗掘特性

S-VHS 工法と従来型 VHS 工法を対象に二次元移動床実験を行い、洗掘特性について検証した³⁾。実験においては、波浪条件に加え基礎杭の配置を変化させたケースについて行った。実験の結果、S-VHS 工法の堤体前後の洗掘量や深さは、従来型 VHS 工法と同等かもしくはそれ以下に抑えることが可能であることを確認した。

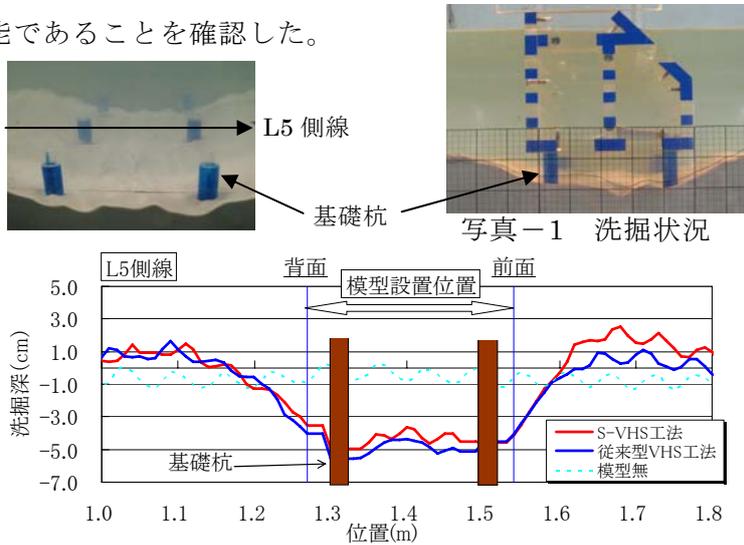


図-7 砂面高の比較 (造波 6 時間経過後)

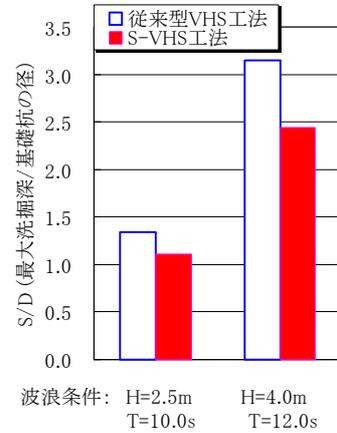


図-8 最大洗掘深の比較

2. 5 施工性

最後に、双方の施工性について比較検討を行った。検討の結果、S-VHS 工法は施工性の向上を得られることを確認した。作用波力の低減により耐波性能が向上し、基礎杭の規格を縮小できるため、鋼管杭打設工の工期縮減を得ることが可能となる。また、堤体全体の開口率を増加したことにより全体重量は低減され、堤体据付時の起重機船の規格を小さくするなどの合理化を図れる。また、それに伴う起重機船の海域占有面積の低減を図れるなど海上工事における安全性を向上させることが可能である (図-9)。

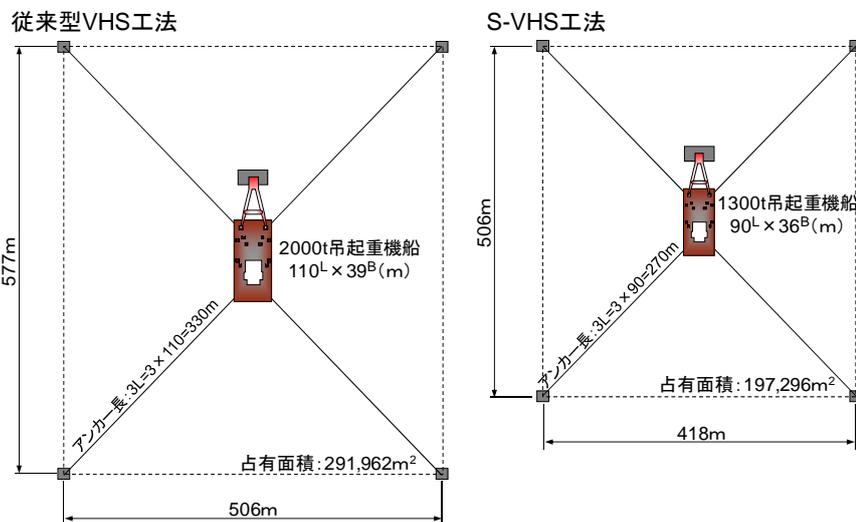


図-9 占有面積の比較 (堤体据付時)

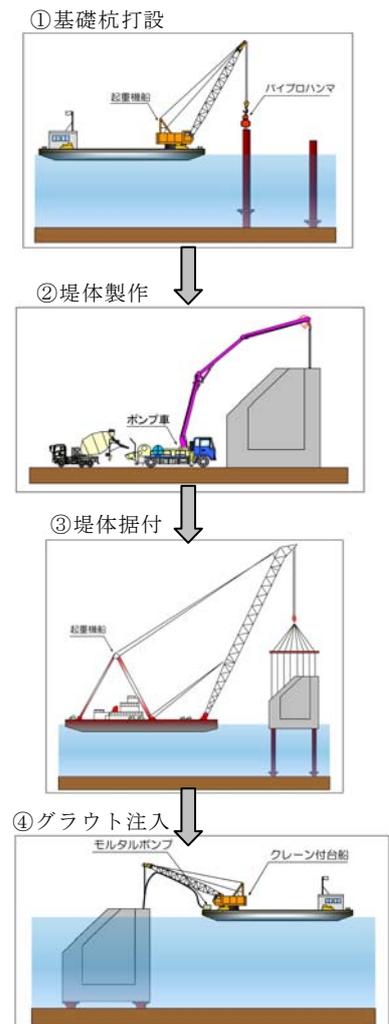


図-10 施工フロー (S-VHS 工法)

3 研究成果の反映について

今回開発した S-VHS 工法は、平成 20 年に寄り回り波により被災を受けた富山県生地鼻地点において、平成 21 年度の北陸地方整備局発注の高度技術提案型工事(Ⅱ型)に初めて適用されることになった(図-11)。平成 23 年 12 月のしゅん工に向けて、詳細設計を実施中である。

高度技術提案においては、これまでの研究成果をさらに発展させ、同じ開口率の構成であるが、基礎杭の間隔が広い下部構造の形式(S-VHS 工法(張出型))⁴⁾を提案した(図-12)。S-VHS 工法(張出型)を導入した経緯は、堤体の両側壁を張り出した形状とすることで、隣接する函体同士の隙間を広げずに基礎杭同士の間隔を大きくでき、隣接函同士の張り出し部により新たなスリットを構築させて消波性能を高めることが可能となるためである。また、供用開始後に堤体下部の洗掘が発生した場合においても十分な透過・反射性能を有することを実験により確認している(図-13)。最後に、S-VHS 工法(張出型)は経済性にも優れることを確認した(表-2)。

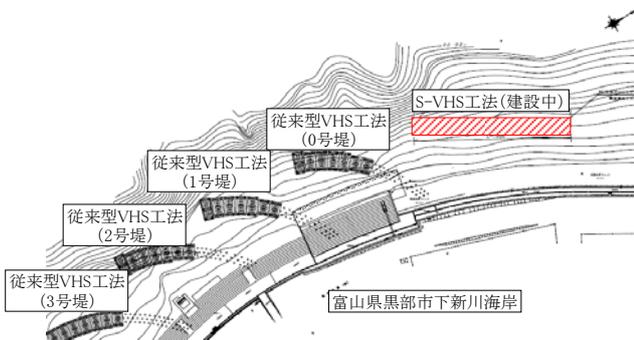


図-11 S-VHS 工法の建設位置

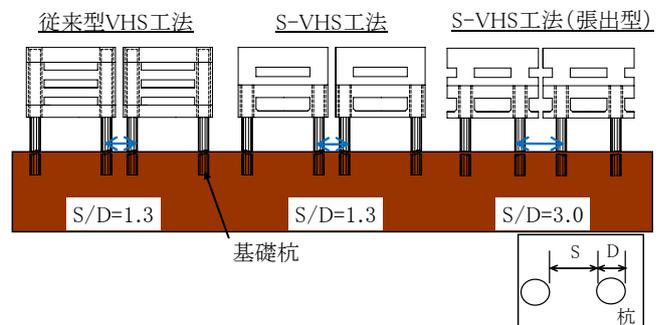


図-12 各構造形式の正面図

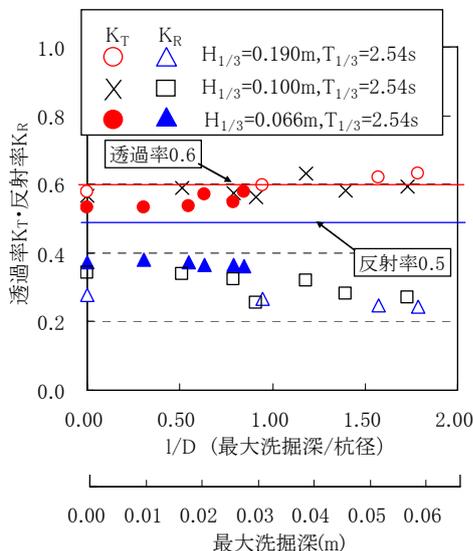


図-13 洗掘後の透過・反射率

表-2 建設コストの比較結果

工種	VHS工法	S-VHS工法 (基本型)	S-VHS工法 (張出型)
函体製作工	1.00	0.97	0.98
基礎杭 製作工		0.91	0.89
基礎杭 打設工		1.00	0.99
杭頭処理工		1.05	1.05
総価格	1.00	0.90	0.88

- 1)西畑剛, 安野浩一朗, 下村直己, 山本敦, 羽田宏, 関本恒浩: 波力低減型海域制御構造物の開発, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp525-530, 2008.
- 2)建設技術審査証明報告書(建技審証 第 0809 号) 斜面スリット型透過式ケーソン「S-VHS 工法」, 平成 20 年 12 月, 財団法人 土木研究センター.
- 3)安野浩一朗, 西畑剛, 関本恒浩: 斜面スリット型透過式ケーソンの洗掘特性に関する実験的研究, 第 65 回年次学術講演会(投稿中)
- 4)安野浩一朗, 森屋陽一, 山本敦, 熊谷隆宏, 吉保範明, 奥井淳: 下新川海岸における波力低減型海域制御構造物の性能特性に関する研究, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp987-992, 2010.

鉄筋コンクリート集水井設計・施工マニュアル

鉄筋コンクリート集水井検討委員会 委員 細野 義則

1. はじめに

地すべり防止抑制工 - 深層地下水排除工の一つである集水井工は、1955年（昭和30年）に現場打ち鉄筋コンクリート製、1966年（昭和41年）には鋼製のライナープレート製集水井が初めて施工された。プレキャスト鉄筋コンクリート製については、1970年（昭和45年）に初めて施工され、今日までに約1,900基の実績を重ね様々な変遷を遂げている。全国的に集水井の主要材料としてはライナープレート製が広く使用されており、鉄筋コンクリート製は主に北陸地方を中心に使用されている実態であるが、地すべり地における地形的条件や地層状況・水理地質によって集水井主要材料の選定を行う必要があると考える。

本マニュアルでは、プレキャスト鉄筋コンクリート製集水井の普及を図ると共に、鉄筋コンクリート製とライナープレート製を対比し長所・短所をまとめた適応比較表、集水井工の選定基準フローチャート等を記載し、集水井工に資する事を目的としたものである。

本報告では、鉄筋コンクリート集水井設計・施工マニュアルの概要を報告する。

2. 鉄筋コンクリート集水井設計・施工マニュアルの構成

本マニュアルの構成は以下のとおりである。

・第1編 鉄筋コンクリート集水井

1章) 総則

(目的、適用の範囲、用語の意味)

2章) 設計

(集水井本体、蓋の設計)

3章) 規格

(種類)

4章) 施工

(施工手順、工事ヤード、安全管理、環境対策)

5章) 施工歩掛

(鉄筋コンクリート集水井の施工歩掛)

・(参考資料)

1章) 集・排水ボーリング工

(集水ボーリング工、排水ボーリング工)

2章) 水路工

(排水路、落差工、その他)



図 - 1 鉄筋コンクリート集水井
集水井設計・施工マニュアル表紙

3. マニュアルの要点

本マニュアル中の要点である集水井主要材料の適応比較表及び、深層地下水排除工（集水井工）の工法選定フローチャート図を抜粋し、ここに紹介する。

3.1 集水井主要材料の適用比較

集水井を構成する主要材料は、鉄筋コンクリート製と鋼製ライナープレート製に大別され、各々の長所・短所をまとめたものを表 - 1 に示す。

表 - 1 集水井主要材料の適用比較表

項目	鉄筋コンクリート製	鋼製
施工	<ul style="list-style-type: none"> 大型車の運搬が主体 井筒本体の組立にはクレーンの仮設必要 (最大重量)コンクリート材天蓋:2.38t 自重沈下工法主体のため余堀りは小さい 自重沈下施工が不能になった場合セグメントブロックによる逆巻工法に切り換え、安全に施工可能 壁体は剛性に富み不慮の土圧にも抵抗可能 後年の井筒内作業に対し安全に施工可 本体組立は地上作業 自重沈下工法と下継工法の組合せで掘削 	<ul style="list-style-type: none"> 小型(2t)での運搬可能 補強材の組立にはクレーンの仮設必要 (最大重量)鋼材天蓋:0.15t 掘削径余堀りが15cm程度必要 補強材はある程度の深さになって取り付けるので、土圧により変形の危険あり 後年の井筒内作業に対し危険を感じる 本体・補強材組立は地中作業 50cm掘削毎に組立て補強材取付部分は余堀り必要
材料・材質	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製 耐用年数は50～100年以上であり、施工箇所環境による影響はあまり無い 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製（ライナープレート） 耐用年数は溶融亜鉛めっきの耐久性であり、一般的に、25～113年とされているが施工箇所環境、気象条件によって大きく異なる
天蓋	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート製で重量は重い、積雪地での耐久性に富む 半円板形状であり、枯葉等が井筒内に堆積することは無い 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製で重量は軽い、積雪地での耐久性は低い エキスパンドメタルの面積が大きく、枯葉等が井筒内に入り込み、機能低下に繋がる
地層	<ul style="list-style-type: none"> 粘性土・・・沈下困難の場合載荷必要 砂礫・砂質土・・・ボイリング・井壁の崩落がある場合でも施工可能 ヒーピング発生時・・・問題なし 酸性土・・・加工により使用可能 鉄筋コンクリート製は全層にほぼ適する 地熱地帯でも使用可能 強アルカリ性、強酸性、温泉性でも使用可能 	<ul style="list-style-type: none"> 粘性土・・・問題なし 砂礫・砂質土・・・ボイリング・井壁の崩落により施工不可能の場合あり ヒーピング発生時・・・問題あり、施工不可能の場合あり 酸性土・・・使用不可能 鋼製はボイリング・ヒーピング現象を生ずる地層・酸性土には不適
その他	<ul style="list-style-type: none"> 維持管理が容易で耐久性あり 施工期間長い 地下水取水井筒や用水井に使用可能 	<ul style="list-style-type: none"> 維持管理はやや困難で耐久性に欠点あり 施工期間短い

〔(社)地すべり対策技術協会：地すべり防止技術研修テキスト 上巻、平成12年度版 地すべり抑制工 P.31 表3-1 主要材料の適用比較表（寺川 俊浩1955）より引用 一部加筆〕

3.2 深層地下水排除工（集水井工）の選定

地すべり抑制工深層地下水排除工（集水井工）の選定基準フローチャートを図 - 1 に示す。

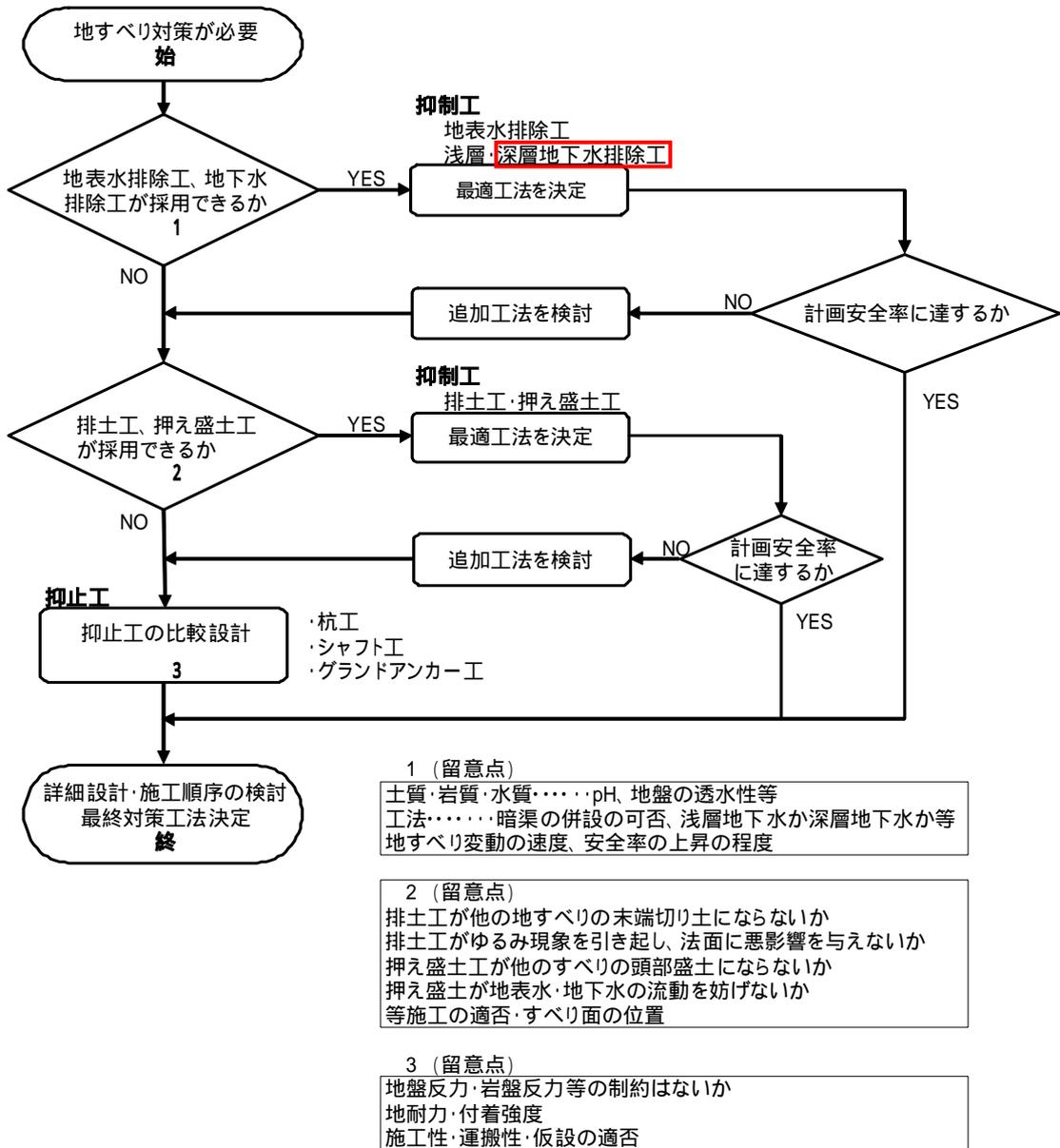


図 - 2 地すべり対策工法選定フローチャート

〔(社)日本道路協会 道路土工 切土工・斜面安定工指針 第11章 地すべり対策工 P.405
解図 11-23 地すべり対策工検討フローチャートより引用 一部加筆〕

4. 参考資料

マニュアル中の参考資料の章にて記載されている、集水井天蓋の恒久化対策実例をここに紹介する。

近年、鋼製天蓋の腐食老朽化により掛替えを行う際に同じ鋼製ではなく、ややコスト高ではあるがライフサイクルコストを考え鉄筋コンクリート製天蓋に掛け替えるケースが多くなってきており、以下にその概要を記す。

(集水井天蓋掛替え概要)

- ・ライナープレート集水井頂部外周の床堀を行い、1/4 円に分割された基礎ブロックを設置し、ボルトにて連結を行う。
- ・鉄筋コンクリート製天蓋を基礎ブロック上部に設置し、埋め戻しを行い完了。



写真 - 1 集水井天蓋掛替え工事状況

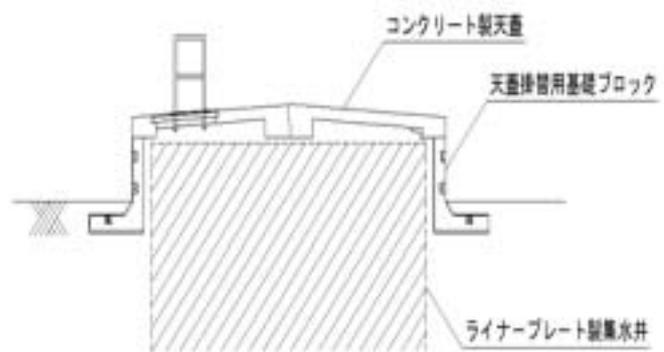


図 - 3 集水井天蓋掛替え断面図

5. 結び

集水井工の地すべり抑制機能は、主に集水井本体と集水・排水ポーリングの機能にかかっており、施工から長期間を経過した施設にて集水井筒本体あるいは保孔管に鋼製材料を使用しているものは、腐食による老朽化は避けられないものである。地すべり防止施設としての機能低下は地すべり地の不安定化を招くものであり、地すべり防止施設の機能回復を行うと共に長期的に維持させる必要がある。本マニュアルでは鉄筋コンクリート製集水井の普及を目的にまとめているが、集水井工の長期的な機能維持の為にライナープレート製を含めた維持管理に資する調査・点検及び、補修・恒久化対策についての記述を今後盛り込んでいきたいと考える。

6. 謝辞

末尾となりましたが、本マニュアルの作成に御尽力いただきました委員長ならびに委員の皆様に、深く感謝し謝辞とさせていただきます。

(参考文献)

〔(社)地すべり対策技術協会：地すべり防止技術研修テキスト 上巻、平成12年度版 . 地すべり抑制工 P.31 表3-1 主要材料の適用比較表(寺川 俊浩1955)より引用 一部加筆〕

〔(社)日本道路協会 道路土工 切土工・斜面安定工指針 第 11 章 地すべり対策工 P.405 解図 11-23 地すべり対策工検討フローチャートより引用 一部加筆〕

構造物直下の地盤改良工法ーグランドフレックスモール工法ー

大成建設 技術センター 土木技術研究所 研究員 ○松井 秀岳
主任研究員 石井 裕泰

1 はじめに

近年の巨大地震の発生によって各種耐震基準の見直しが行われるなど、土木・建築構造物に対して高い耐震性能が求められるようになってきている。既存構造物に対しては、上部構造の補強のみならず、液状化対策などの地盤改良も有効であるが、新設工事とは異なる施工制約が課されることになる。加えて、施設・建物を所有する事業主・住民にとっては、日常の利用を妨げられることなく施工できることが望ましい。本グランドフレックスモール工法は、このような社会的な需要、技術的な要求に応えるべく開発された工法で、



図-1 専用削孔機

斜め・曲がり・水平方向の制御が可能な自在ボーリング技術と、各種地盤改良技術を組み合わせた工法である¹⁾。専用の削孔機(図-1)を用いて構造物直下改良対象部まで削孔したのち、削孔管を利用して、薬液注入管などを地中に敷設することができる。

薬液注入では、地盤を乱すことなく間隙を薬液に置き換えるため、上部構造物への影響が小さく、構造物の利用を妨げることなく直下の地盤を改良することができる。

また、薬液注入以外にも、浄化剤・空気注入井戸を使用した土壌浄化、二種類の材料を供給直前で混合する装置を使用した空洞充填、高圧の固化材を地中で噴射・攪拌させる固結改良など、種々の地盤改良への応用利用が可能である。

本報文では、削孔工・薬液注入工、および薬液注入以外の応用技術について説明し、実施工への適用事例として旧法タンクの液状化対策工事を紹介する。

2 工法の概要

2.1 削孔工

自在ボーリングで使用する削孔管の先端には、受圧面を持つ先端ビットが取り付けられている。削孔管を回転させずに推進すると、この受圧面には一定方向に偏った土圧が作用し、削孔管の進行方向を変えることができる。逆に、削孔管を回転させながら推進すると、受圧面に作用する土圧が一定方向に偏らず、直線方向に削孔することができる。

削孔中の削孔管先端の位置・傾斜、先端受圧面の向きは、適宜計測を行うことで知ることができる。本工法では、削孔管先端に搭載した機器が発信する信号を地上で受信する方法、削孔管内にジャイロを挿入する方法の二種類の計測方法を採用しており、削孔管先端上部の状況(構造物の有無)で

これらを使い分けている。計測データをもとに削孔方向を制御することで、計画線に沿った削孔を行うことができる。

削孔中は、必要に応じて打撃貫入機能（パーカッション機能）を併用することが可能で、事前の地盤調査では判明しなかった固い地盤、コンクリート、転石などに遭遇した場合でも、これらを貫通・回避することができる。また、長距離削孔や作業時間に制限が課された場合に想定される削孔中断後の再削孔においても、パーカッション機能を使用することで、残置した削孔管周辺の地盤を緩めることができ、推進不能の事態を回避することができる。

図-2 に削孔から削孔管回収までの施工手順を示す。削孔完了後、二重管構造となっている削孔管先端部のインナーヘッドを回収し、削孔管先端を開放する。次に、削孔管内に注入外管を挿入した後、削孔管のみを回収することで、注入外管を地中に敷設することができる。

2. 2 薬液注入工

薬液注入工は、地中に設置した注入外管の中に注入内管を挿入して行う。本工法では、従来から薬液注入に用いられるダブルパッカー方式のほか、新しく開発したセルフパッカー方式（図-3）の利用も可能である。セルフパッカー方式では、注入外管内に密閉された注入源を確保する

際、地盤内に注入する薬液の圧力で、注入内管に取り付けられたパッカーを膨らませることができる。そのため、従来方式のようにパッカー専用の圧力供給経路を必要とせず、注入内管の構造を、単純かつ小型にすることが可能となった。また、複数点の同時注入が可能であり、注入作業の効率化にも有効である。

2. 3 応用技術

土壌浄化への利用では、薬液注入と同様に地中に設置した注入外管から浄化剤を注入することができる。また、揮発性有機化合物の汚染地盤に対しては、揮発促進のための空気注入井戸、揮発した

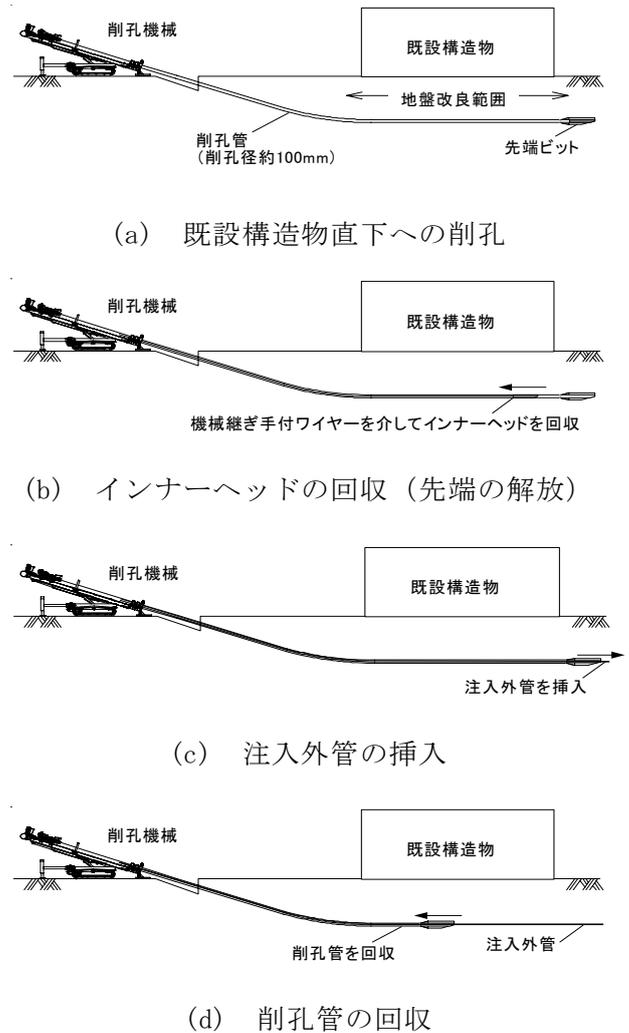


図-2 施工手順

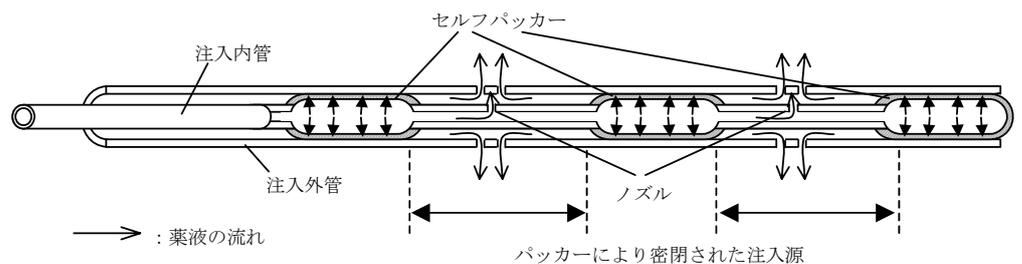


図-3 セルフパッカーを用いた注入方式

ガスを回収するガス回収井戸を、それぞれ自在ボーリングで設置し浄化することが可能である²⁾。

地中空洞部の充填への利用では、削孔管先端部で二液を混合する機能をもつ先端ビットを使用する。セメントおよびベントナイトを削孔管内の独立した経路で供給し、注入直前で両者を混合することで、充填用セメントベントナイトとして、空洞部に充填することができる³⁾。

噴射攪拌による固結改良への利用では、削孔管を利用して噴射装置を地盤内に挿入し、噴射口から高压の固化材・圧縮空気を地中に噴射する。噴射の圧力で地盤を切り崩し、噴射装置を回転させて攪拌・混合することで、円柱状の改良体を造成することができる。施工試験において、一軸圧縮強さで $1\text{MN}/\text{m}^2$ を超える強度を確認した⁴⁾。

また、先端ビット後方に取り付けた計測器で得た削孔管の傾斜・方向データを、無線通信で地上に送信する位置計測システムも実用化に至っている⁵⁾。

3 旧法タンクの液状化対策工事

3.1 工事概要

本工事は、特定タンクの液状化対策工事で、対象タンクは、8,000kL タンク 2 基、2,000kL タンク 3 基、計 5 基である。図-4 に現場の平面図を示す。改良対象は、タンク直下の GL-2.0m~-4.0m のゆるい砂質土層（埋土）で、施工中の施設利用が可能な薬液注入による基礎地盤改良が計画された。防油堤外部に立坑を設け、そこから水平削孔を行う案も検討されたが、安全性・工期・工費において優位かつ、タンクの稼動に必要な構内道路の確保が可能なグランドフレックスモール工法が採用された。

表-1 に施工数量を、図-5 に計画断面の一例を示す。構内道路の利用を妨げないよう、構内道路外側からの削孔開始を前提に、計画線を定めた。また事前の施工試験で 100m 程度の削孔が可能であることを確認した上で、2,000kL タンク 2 基については

図-5 に示すように、一括して削孔するよう計画し、削孔総延長および工期の短縮を図った。

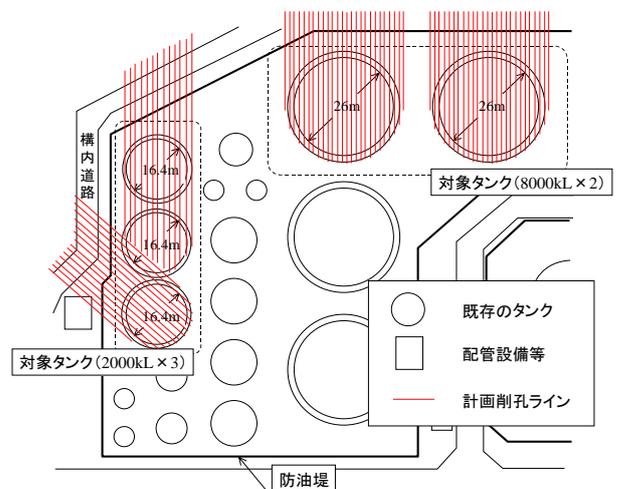


図-4 平面図

表-1 施工数量

総削孔延長	4,769 m
削孔本数	92 本
注入薬液量	1,776 kL
改良球体数	2,019 個

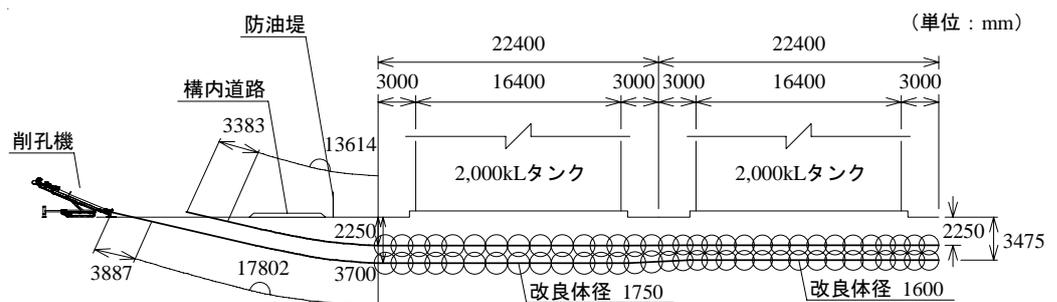


図-5 計画断面の一例 (2,000kL タンク)

3. 2 削孔結果

削孔機を2セット投入し、全工程を計画どおりの約3ヶ月で終了した。図-6に、削孔結果の一例を示す。適宜計画線との誤差を計測し、方向制御を行うことで、精度良い削孔を行うことができた。削孔中は転石や薄いコンクリート板に遭遇することがあったが、適宜パーカッション機能を併用することで問題なく施工することができた。また、騒音などに配慮シタ方以降の作業を制限したため、削孔途中で作業を中断し、翌日、削孔を再開することが度々あった。作業中断から再開まで削孔管は地中に残置したが、パーカッション機能を使用することで、再削孔時に推進不能となることはなかった。

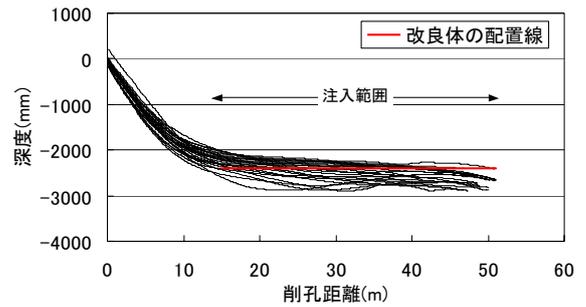


図-6 削孔結果

3. 3 注入結果

注入改良には恒久グラウトのパーマロックを使用し、セルフパッカー方式による2点同時注入を行った。注入時の地表面変状は全体的に小さく、変位が制限値を超えることはなかった。そのため、タンクを含む施設の稼動を妨げることなく施工を完了することができた。

タンク外周部から採取したボーリングコアを用いて、一軸圧縮試験、繰り返し非排水三軸試験を実施し、改良効果を確認した。一軸圧縮強さによる設計基準強度 60kN/m^2 に対して得られた平均値は 117kN/m^2 となり、各タンクで必要となる液状化強度比 0.31 に対しては $0.50\sim 0.84$ が得られた。

4 まとめ

自在ボーリングを用いた既設構造物直下の地盤改良工法であるランドフレックスモール工法について、工法の特徴と適用事例を示した。今後も本工法を、日常の事業活動を妨げることなく足元の地盤を固める有効な手法として提供し、事業主や社会に貢献していきたい。

なお、本工法は、大成建設(株)、(株)キャプティ、三信建設工業(株)、強化土エンジニアリング(株)、成和リニューアルワークス(株)との共同開発工法である。記して関係各位の尽力に謝意を表す。

参考文献

- 1) 石井裕泰、檜垣貫二、川井俊介、三和信二、小泉亮之祐、小山忠雄：自在ボーリングによる地盤改良に適した浸透注入方式の開発と実証試験、土木学会論文集 F、Vol164、No3、pp. 272-282、2008.
- 2) 下村雅則、中島秀也、樋口雄一、今村聡：水平井戸を用いたエアスパーキングによる構造物下部の浄化効果、地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会、第10回講演集、pp. 351-354、2004.
- 3) 石井裕泰、檜垣貫司：既設構造物直下の地盤改良工法の開発、電力土木、No. 326、pp. 70-73、2006.
- 4) 石井裕泰、松井秀岳：自在ボーリングを併用した高圧噴射攪拌による現位置地盤改良工法、電力土木、No. 344、pp. 115-117、2009.
- 5) 石井裕泰、檜垣貫司、三和信二、勝田力、小泉亮之祐、小山忠雄、安部章正：自在ボーリング技術を用いた地盤改良工法-無線式リアルタイム位置確認システムを用いた削孔試験、大成建設技術センター一報、No. 40、pp. 24、2007.

「コニカルマット工法」の開発について

(株)アドヴァンス 開発部 開発課 渡辺 威一

1 はじめに

我が国日本は、世界でも有数の軟弱地盤国と言われ、その軟弱地盤は国土の全域にくまなく分布している。そのためか、我が国には、軟弱地盤対策として古来より伝わる伝統的基礎工法が多数存在する。その伝統的基礎工法である玉石基礎、梯子胴木基礎、粗朶沈床などは、メカニズムや明確な数値根拠のないまま使用されてはいるものの、土木・建築の分野において多数の実績を残しており、性能について疑う余地は無い。

その伝統的基礎工法を参考に開発された工法が「コニカルマット工法」であり、従来の性能(特に、支持力補強と不同沈下抑制)を向上させ、且つ、施工性を飛躍的に改良した工法である。また、本工法は汎用性が高く、様々な現場に対応できるものとする。

以下に、本工法の概要、性能実験、用途開発等を報告するものである。

2 工法の概要

コニカルマットは、円錐形コンクリートブロック(20cm、h11cm)と繊維シートを接着一体化したマット状のものであり、あらかじめ敷設された碎石層が円錐ブロックにて拘束されることによる支持力の増加や、円錐ブロックと繊維シートの相互作用による荷重分散効果で変位・沈下抑制を目的とした軟弱地盤安定工法である。

当工法は、以下に示すような用途での使用が期待される。

(用途)

- ・軟弱地盤上の盛土や構造物の支持力補強
- ・道路路盤の補強、不同沈下、わだち等の抑制
- ・工事用道路などのトラフィカビリティ確保

マット寸法は、L6.02m×B1.72m(約 10.3m²、0.9ton/枚)と大型化しており工程短縮・省力化が図れる。施工方法は、あらかじめ敷設された碎石層の上に、クレーン等によりマットを敷設する。その後、上層碎石を撒き出しその上から転圧し、碎石層に円錐形コンクリートブロックを貫入させ、施工完了となる。非常に簡素化された施工方法であるため作業性に優れ、日最大施工量は 300～500m² 程度まで達するものとする。



写真 - 1 コニカルマット



写真 - 2 コニカルマット敷設

3 性能確認実験

コニカルマット工法は、性能確認を目的とした様々な実験を実施している。以下に、その内の幾つかの実験概要を報告する。

3.1 繰返し荷重実験

大型トラックが常時走行し繰返し荷重がかかる実験サイトにおいて、コニカルマット施工有・施工無地盤での地盤反力、沈下、変位について経時観測を行い、コニカルマット設置による効果を確認した（参考文献1）より。実験結果は、施工有区間は施工無区間と比較して、沈下量・変位量の抑制効果が確認された。なお、施工無区間では、わだちや水たまりの発生が顕著であった。



写真 - 3 実験サイト全景 (80日経過後)

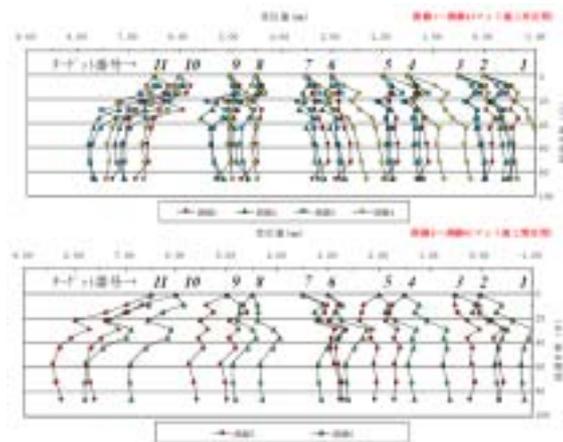


図 - 2 変位量の経時変化

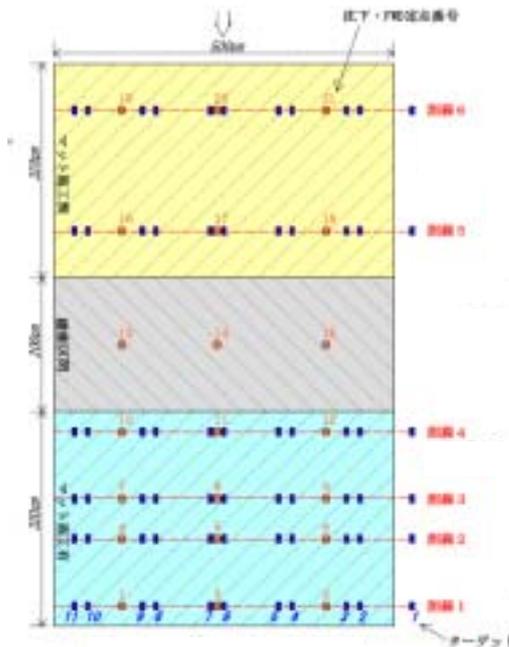


図 - 1 施工ヤード及び調査観測位置

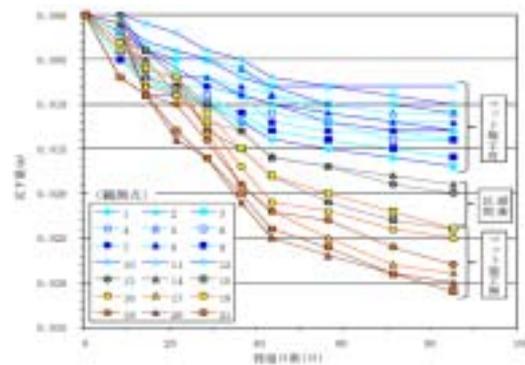


図 - 3 沈下量の経時変化

3.2 静的荷重下での地盤支持力確認実験

コニカルマット施工有地盤において正方形載荷板（1m×1m）での平板載荷試験を実施し、静的荷重下での地盤支持力、沈下、変位について観測を行い、コニカルマット設置による効果を確認した（参考文献2）より。実験結果は、500kN/m²の極限支持力を確認し、施工無地盤の極限支持力185kN/m²に比べ約2.7倍の支持力向上が確認された。また、載荷後のコニカルマットの状況は、大きく変位した箇所に若干の繊維シートの破断が確認されたが、円錐形コンクリートブロックの破損や接着面の剥離等は確認されなかった。



写真 - 4 実験サイト全景

表 - 1 平板載荷試験結果

	降伏荷重 Py (kN/m ²)	極限支持力 Pu (kN/m ²)	備 考
マット施工有地盤	300	500	平板載荷試験結果
マット施工無地盤	—	185	支持力公式からの算定値

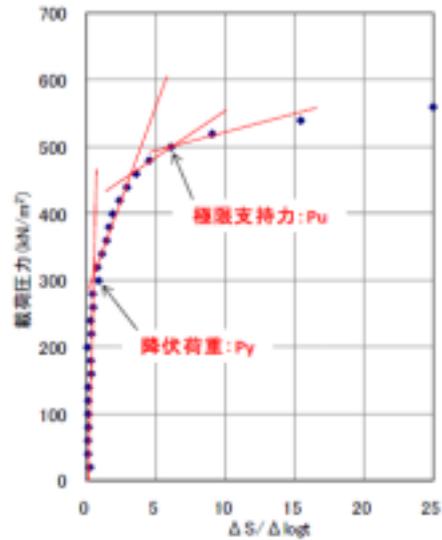


図 - 4 平板載荷試験結果

4 用途開発

現在、コニカルマット工法の新たな用途開発として、河川堤防などの耐震補強に取り組んでいる。以下に、用途の概要と実施実験を報告する（参考文献 4）～ 6）より）。

4.1 用途の概要

河川堤防や海岸堤防といった土構造物は、地震時の振動や基礎地盤の液状化に起因して堤体に沈下・亀裂等の変形が生じることがある。堤頂部に亀裂や不陸が発生すると、避難路やとしての機能喪失されることが予想される。全ての土構造物で十分な対策が取られているとは言い難く、振動によるテンションクラック等を防止する具体的な対策は決して多くない。

その対策として、コニカルマットを堤体の天端部を中心に覆い被せるように敷設し円錐形コンクリートブロックを地盤に埋め込むことで、堤体との一体化と締固めの効果を発揮し、さらにシートの強度によって堤体が横断方向に開口することを防止するものである。

4.2 大型振動台実験

縮尺 1/2 のコニカルマットを敷設した堤防模型と無対策堤防との同時加振によって対策工の有効性の検討を行った。振動台は、港湾空港技術研究所所有の三次元水中振動台を用いた。加振は堤体の横断方向とし、周波数 5Hz の正弦波を用いて、最大入力加速度 300gal で 5 秒間加振した。



写真 - 5 被災事例 (2003 年十勝沖地震)

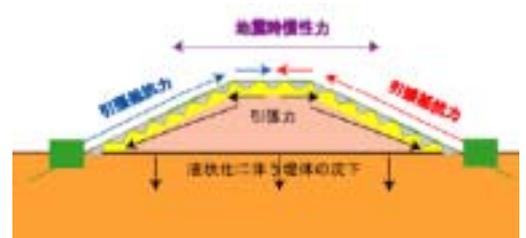


図 - 5 コニカルマットの抵抗メカニズム



写真 - 6 水中振動台と堤防模型

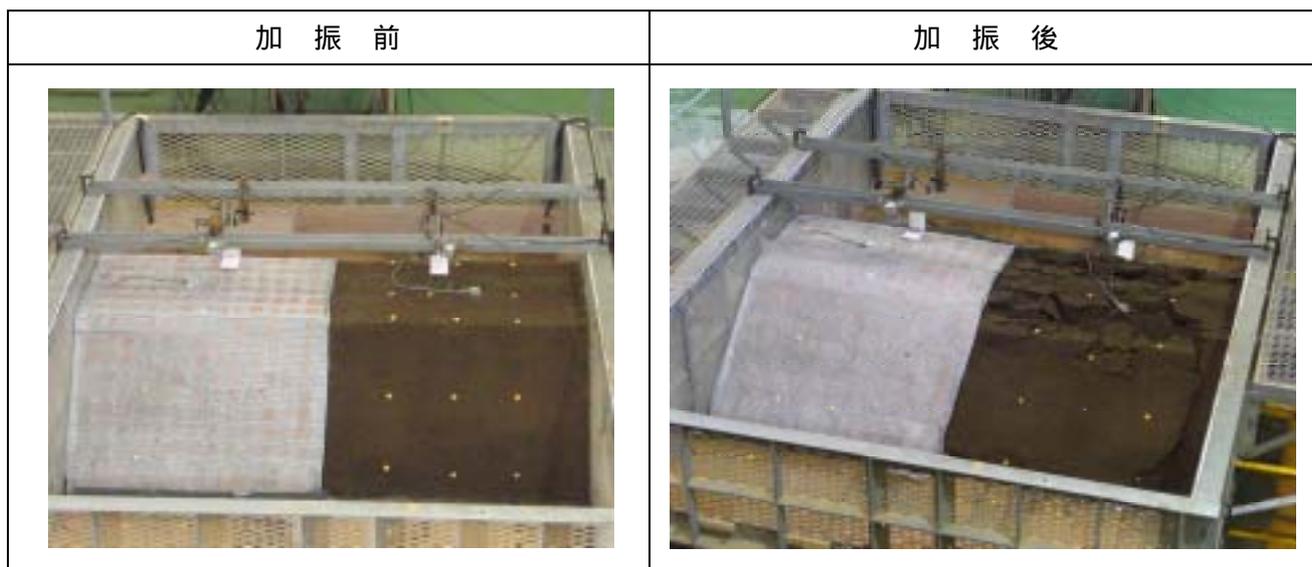


写真 7 加振前後比較

無対策の断面は、加振開始直後から両方向に大きく開きながら振動し、天端に多数のクラックが生じ、ブロック状になった。一方、対策断面は加振直後から堤体全体が一つの塊として振動し、マットの拘束効果もあって、天端部が法面へ崩れ落ちることも無く、コニカルマットによる土構造物の変形抑制効果を確認した。

5 まとめ

軟弱地盤対策や堤防耐震対策としてのコニカルマット工法は、未だ使用効果の予測式構築までは至っていないが、上記した数回の確認実験により、各種用途にて一定量の効果があることは明らかである。また、施工面においても、工期短縮・省力化効果が期待でき、トータルコスト削減に寄与するものと考えられる。

今後、試験施工などの実施工現場において、コニカルマット工法の経済性を含めた効果を実証していく方針である。なお、実験を実施するにあたり、関東学院大学、(株)興和、旭化成ジオテック(株)の皆様の協力を得た。ここに感謝の意を表します。

以 上

参考文献

- 1) 石黒ら:地盤補強マット工法の適用性(変位抑制対策として),第44回地盤工学研究発表会,2009.
- 2) 石黒ら:地盤補強マット工法の適用性(地盤支持力について),第64回年次学術講演会,2009.
- 3) 石黒ら:地盤補強用マット(コニカルマット)による地盤剛性向上の確認実験,第45回地盤工学研究発表会(投稿中),2010.
- 4) 規矩ら:コニカルマットを用いた河川堤防の耐震対策について(その1,メカニズムと適用性),第45回地盤工学研究発表会(投稿中),2010.
- 5) 規矩ら:コニカルマットを用いた河川堤防の耐震対策について(その2,小型振動台実験),第45回地盤工学研究発表会(投稿中),2010.
- 6) 規矩ら:コニカルマットを用いた堤防の耐震対策に関する大型振動台実験,第45回地盤工学研究発表会(投稿中),2010.