

平成 21 年 度 建設技術報告会報文集

平成 21 年 10 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

1. 第1会場 報告技術

1-1 道路トンネル無人調査ユニットの開発	1
1-2 供用中の橋梁における補強工事実績	5
1-3 マンホール浮上防止対策工法 WIDE セフティパイプ工法	9
1-4 静的締固め砂杭工法 (SAVE コンポーザー工法) による河川堤防の液状化対策事例報告	13
1-5 ダム堆砂除去装置の開発	17
1-6 「土砂災害危険度情報」自動配信システムの構築	21
1-7 既設管きよとマンホール接続部の耐震化技術 マグマロック工法NGJ	25
1-8 ハーモニカ工法	29
1-9 トンネル坑口の騒音対策としてサイレントエコパネルの提案	33
1-10 10 年供用後の実路における路上路盤再生工法 (SKS 工法) の供用性について	37
1-11 アスファルト混合物の中温化剤「エコペープ」	41
1-12 加熱表面処理工法の供用性とライフサイクルに関する検討	45
1-13 排水性舗装冷却システム	49
1-14 袋詰脱水処理工法におけるSPADシステム	53
1-15 太陽光を独立活用した水環境改善装置の開発	57
1-16 折板屋根対応型軽量緑化パネル工法による屋上緑化について	61
1-17 カキ殻を活用した屋上緑化工法 折板屋根への応用	65
1-18 自生型飛砂防止緑化工法はまみどりの開発と効果の検証	69

2. 第2会場 報告技術

2-1 オールシーズン型環境舗装の効果	73
2-2 機能性SMAの路面テクスチャに着目した凍結抑制舗装「ザベック工法タイプS」	77
2-3 凍結抑制機能の付与を目的としたゴム粒子散布接着工法 (ラバーパック) の開発	81
2-4 KVSストレーナの開発と施工事例	85
2-5 スリングラムEM探査による河川堤防の地盤構造調査	89
2-6 地山状況に応じた全断面早期閉合の仕様の選定	93
2-7 岸壁を供用しながら改良・補強できる新工法「2段タイ材地下施工法」	97
2-8 「大型残存型枠 AKYパネル」の開発について	101
2-9 合理的な鉄筋挿入工ののり面工をもとめて	105
2-10 繊維シートを用いたはく落防止技術 (T-FREG)	109
2-11 H型PC杭を適用した連続地中壁工法の開発	113
2-12 ボックスカルバートの横送りを安く、早く、精度良く施工する。	117
2-13 PP工法 (RC橋脚巻立て補強工法)	121
2-14 ランブルストリップスの交通安全対策としての効果	125
2-15 LRT軌道の施工事例と課題について	129
2-16 新潟県立野球場(仮称)フィールド工事における情報化施工の取り組み	133
2-17 プレキャストRC版による踏掛版の施工	137
2-18 パイプレス消雪ブロックの開発	141

第一会場 報告技術

道路トンネル無人調査ユニットの開発

国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所 施工調査課長 宮島 実
○ 施工調査課施工調査係長 小林 弘朗
施工調査課主任 畑山 啓

1 はじめに

新潟県中越地震では震源に近い国道 17 号線の和南津トンネル（延長 300m）が被災し、覆工コンクリートのクラウン部で長さ約 20m、幅約 2m、重量約 50 t が剥落し、側壁は内側へ押し出され、路側排水溝が変状したため、全面通行止を余儀なくされた。また、近くを通る県道も被災したことから交通網が寸断され、災害の復旧・支援に大きな障害となった（写真 1）。

トンネル被害の早期復旧のには、被災状況を速やかに把握し、適確な復旧活動を実施する必要がある。しかし、本震後にも大きな余震が多発する場合には、更に崩落・崩壊の危険性が高まり、入坑調査は二次災害の恐れがあるため、余震が落ち着くまでは調査に入らず、迅速な被災状況把握や災害復旧活動が困難な状況となる。

本開発は、被災後に二次災害の危険のあるトンネルにおいて、無人で坑内の状況を確認できる映像情報の収集を可能とする装置を開発し、安全で迅速な復旧活動の支援に資することを目的として取り組んだものである。



写真-1 コンクリートの剥落

2 装備すべき機能の抽出

道路トンネル無人調査ユニット（以下「本ユニット」という）が装備すべき機能の抽出を目的として、和南津トンネルが被災後の初動点検から復旧工事まで行われた調査について、道路管理者、施工業者にヒアリング調査を実施した（表-1）。

調査の結果より、表-1 に示す第2回調査までに実施した調査内容については、動画撮影など既存技術を使い無人化が

可能であると判断された。また、映像情報取得が可能となれば専門家による「復旧可能か否かの判断、大まかな復旧工法の選定」が行え、映像情報を画像処理し、展開写真を作成することで「被災の範囲と程度の把握、復旧位置と範囲の設定、復旧工法の選定」ができる。これにより緊急復旧工事に着手できるため、本ユニットが装備すべき機能は映像情報取得までとした。

なお、装備すべき機能を満たす機器は、早期完成とコスト縮減のため、全て既存技術より選定し、技術が陳腐化した場合はその機器だけを入れ替えられるようユニット化する構造で検討した。

表-1 地震発生後の点検および調査

点検調査	10月											11月		実施者	実施内容	目 的
	23 土	24 日	25 月	26 火	27 水	28 木	29 金	30 土	31 日	1 月	2 火					
被災	●													(17:56 地震発生)		
パトロール	◎													道路管理者	目視確認 写真撮影	通行可否の判断 被災状況の把握
第1回調査			◎											道路管理者 専門家 (土木研究所)	目視確認 写真撮影	被災状況の把握 復旧可能か否かの判断 大まかな復旧工法の選定
第2回調査				◎										施工業者	写真撮影 被災位置と範囲の 作図	被災範囲と重度の把握 復旧位置と範囲の設定 復旧工法の選定
第3回調査					◎									施工業者	亀裂等の詳細調査 打音検査 背面目視確認	工事数量の把握 復旧工法の妥当性確認
復旧工事															(11/ 2:片側交互通行開始) (11/26:2車線開通)	

3 道路トンネル無人調査ユニットの概要

本ユニットは、映像情報をリアルタイムに基地局に伝送する「移動局」(写真-2)と、移動局の操作と伝送された映像を表示し記録する「基地局」(写真-3)からなる。

移動局は、トンネル壁面の映像情報を取得するために4台のカメラを扇状に配置した「壁面調査用カメラユニット」(写真-2)と、任意の位置および範囲の映像情報の取得を目的として、パン、チルト、ズーム可能なカメラ1台とスポットライト照明が一体となった「調査用カメラユニット」(写真-3)を用途に応じて付け替えが可能とした。

写真-5 は、調査用カメラユニット使用時のモニタ映像であり、移動距離、カメラのパン・チルト角度が表示され、これらの表示を行わない時には1/4画面をモニタいっぱい拡大することが可能である。

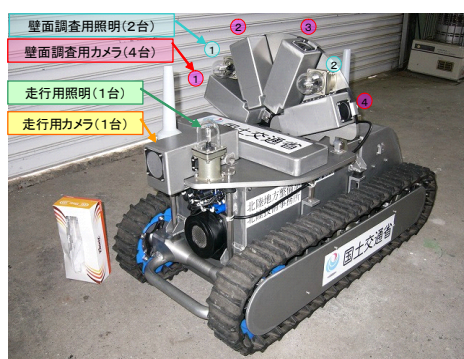


写真-2 移動局 (壁面調査用カメラユニット)



写真-3 基地局

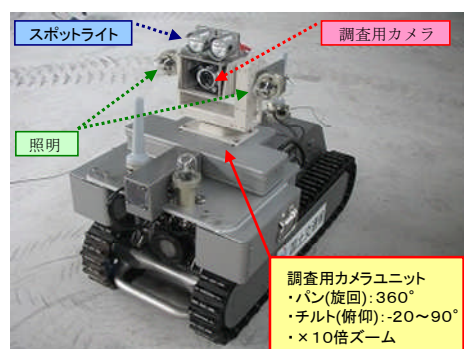


写真-4 移動局 (調査用カメラユニット)

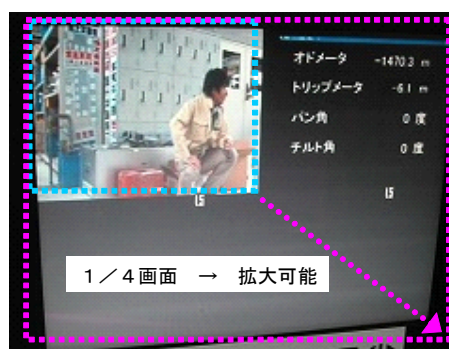


写真-5 調査用カメラユニット使用時のモニタ映像

4 実トンネルでの機能確認試験

冬期閉鎖トンネル (W8.19m×H5.75m) を使用した機能確認試験を実施し、無線・有線による稼働および映像取得において問題がないことを確認した (写真-6、写真-7 参照)。



写真-6 機能確認試験

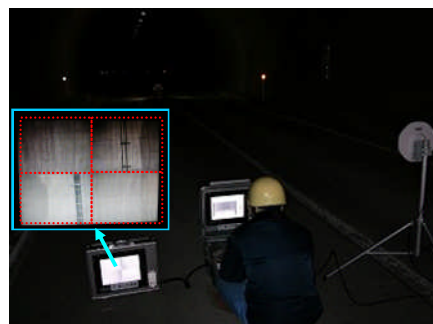


写真-7 無線による遠隔操作

また、この試験で取得した4台の壁面調査用カメラの映像データ (50m分) を使い、展開写真作成を行った (外注) (写真-8 参照)。

データ送付後の展開写真作成までに要した時間は、データ変換 1 日 + 展開写真作成 15 時間であった。

作成した展開写真は、トンネルの壁面が綺麗であったこともあるが、コンクリートの打ち継ぎ目が判別できる精度で出来上がり、被災後の覆工コンクリートの状況も判別できると判断した。

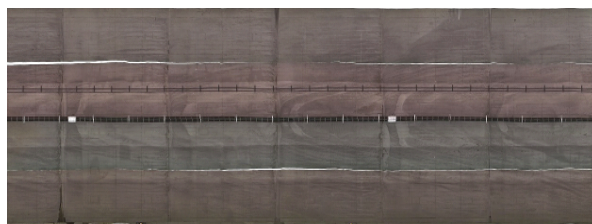


写真-8 トンネル展開写真

トンネル 1km 分の映像情報から展開写真作成を想定した場合、壁面調査用カメラ 1 台のデータ量は約 4GB (4 台分で約 16GB) になり、インターネットでのデータ送信は不可能である。また、記憶媒体による郵送では 1 日か 2 日を要してしまう。よって、早急に展開写真作成を行う必要がある場合には、損傷部のみの画像処理とするなどの対応が必要となる。

5 現場適応性試験

幅広い用途での活用を可能とするため、トンネル以外の施設における適応性試験により使い勝手や機能面での不具合を抽出することとした。また、試験終了後に対象施設の管理者から使い勝手や機能面に関する意見を聴取した。

この試験結果に基づき、「調査用カメラユニット」の機能追加を行った。

1) 新潟県長岡市山古志寺野地先

中越地震により天然ダムが形成された現場の排水堰堤完成に伴い、それまで仮設で埋設されていた排水路(高耐圧ポリエチレン管) $\phi 1.8\text{m}$ のコンクリート充填に際して管路約 200m の管内調査を行った(写真-9、写真-10 参照)。

【意見】

- ・カメラはズーム操作ができた方が良い
- ・バックで帰る際のカメラが必要(管路が小断面でありUターンしての帰還が不可能なため)
- ・ある程度水に浸かっても動けるように防水性能の強化 など

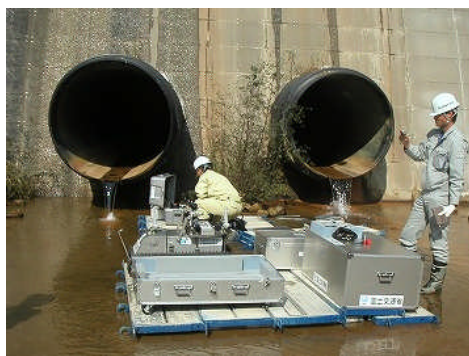


写真-9 仮排水路の出口



写真-10 管内調査

2) 茨城県稲敷市結佐地先

茨城県の霞ヶ浦と利根川を結ぶ霞ヶ浦導水利根排水路、導水路延長 2.5km、導水路内径 $\phi 4.0\text{m}$ の管路約 300m の管内調査を行った(写真-11、写真-12 参照)。

【意見】

- ・カメラはズーム、パン、チルトの遠隔操作機能が欲しい
- ・後進用カメラの増設(管路底部に障害物がありUターンしての帰還が不可能なため)
- ・防水性の強化 など



写真-11 導水路の入口



写真-12 管内調査

6 運用検証試験

本ユニットは、全国への迅速な輸送を目的として北陸地方整備局保有のヘリコプター「ほくりく号」による空輸と、現地付近ヘリポートから災害現場でのパトロールカーによる陸送を想定して設計している(図-1 参照)。

そのため「ほくりく号」の搭乗スペースに格納可能か検証を行った。検証は床の積載物固定用の固縛用リング位置、積載方法、固縛方法、固縛ベルト本数の検討を行い問題ないことを確認した(写真-13 参照)。

また、道路巡回用のパトロールカーへの積載の検証も行い問題がないことを確認した(写真-14 参照)。

■運用手順

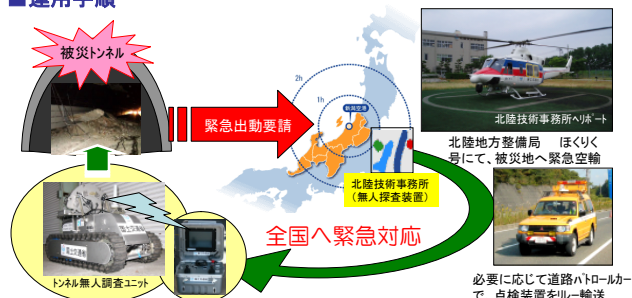


図-1 運用手順の想定図



写真-13 ユニットの
固縛状況

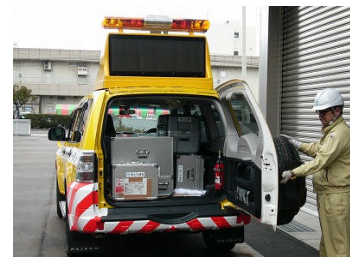


写真-14 ユニットの
積載状況

7 主な機能

- 1) トンネル内全景と壁面(アーチ、側壁)のリアルタイムな状況確認、映像の録画が可能
- 2) 無線(小電力データ通信2.4GHz:見通しがきく施設に有効)、または有線(光ケーブル:見通しがきかない施設に有効)で、各々500mの範囲で操作が可能(両坑口からの入坑で、延長1kmのトンネル調査が可能(北陸地方整備局管内のトンネルの9割をカバー))
- 3) 走行速度1km/h、稼働限界2時間(片道500mの往復を2回)
- 4) 分解能は、ハイビジョンカメラ画素数(200万画素)と撮影距離より、3mm程度のクラックが判別可能
- 5) 走破性能は、段差10cm程度(ピッチ角(前後):30°程度、ロール角(左右):20°程度)
- 6) 壁面調査用カメラユニットの防水性能は、降雨程度の中で使用可能(水深2cm以上での使用は不可能)(※調査用カメラユニットは、防水機能なし)
- 7) 映像および音声の出力を情報コンセントに接続することによりリアルタイムな情報の配信が可能
- 8) 像から展開写真の作成が可能(但し、別途発注)

8 まとめ

新潟県中越地震の経験から、トンネルが被災した場合の初動調査に使用可能な試作機を完成させ、更に他の施設における適応試験を経て、トンネル以外の施設においても使用可能な調査ユニットの開発を行った。

平成21年度より、北陸地方整備局では災害対策用機械として1台を保有し、有事の際には迅速に全国へ運搬できるよう、災害対応可能な体制を整えている。

供用中の橋梁における補強工事実績

鹿島建設(株) 北陸支店 所長

中村 公好

工事課長

○黒川 篤

工事課長代理

今井 俊一郎

1 はじめに

北陸自動車道 宮津橋は、1980年に建設された橋長259mのP C 3径間有ヒンジラーメン橋であるが、この供用中橋梁の耐震補強と車両大型化対策として、高速道路の昼夜連続車線規制により、中央ヒンジ部の連続化および外ケーブル補強を実施した。ここで、既設構造物にはP C鋼棒が配置されており、これを損傷することなく補強を実施することが本工事における課題のひとつであった。

本報文では、既設P C鋼棒の調査から補強完了に至るまでの施工実績を報告する。

2 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：北陸自動車道宮津橋(P C上部工)

主要工事数量：

補強工事

(1) 中央ヒンジ部連結 2箇所

企業者：中日本高速道路株式会社金沢支社

(2) P C ケーブル工 50,810kg

施工者：鹿島建設株式会社

(3) P C 鋼棒工 294kg

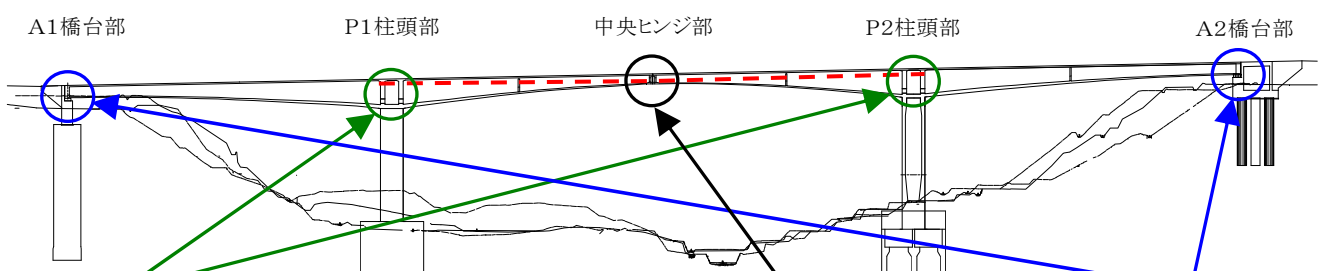
工事場所：富山県魚津市宮津

(4) 落橋防止構造 8本

工期：2008(H20). 1. 12～2008(H20). 12. 1

(5) 落橋防止構造 12箇所

(6) 支承取替工 8基

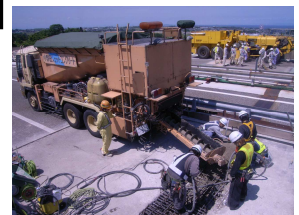


- ①PC鋼棒探査
- ②外ケーブル削孔
- ③連結アンカー設置
- ④型枠・鉄筋・PC組立
- ⑤コンクリート打設
- ⑥外ケーブル緊張



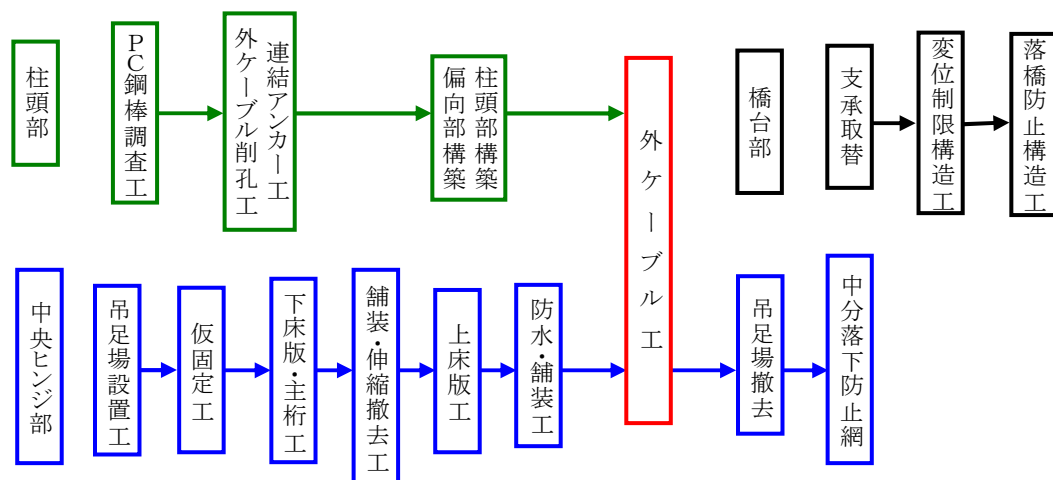
- ①吊足場設置
- ②仮固定
- ③構造物取壊し
- ④舗装・伸縮装置撤去
- ⑤型枠・鉄筋・PC組立
- ⑥コンクリート打設
- ⑦横締め鋼棒緊張
- ⑧床版面繊維シート
- ⑨舗装
- ⑩吊足場解体

- ①支承取替
- ②変位制限構造設置
- ③落橋防止ケーブル設置
- ④ライニング工



3 施工フロー

施工フローを以下に示す。



4 工事实績

4. 1 外ケーブル補強

4. 1. 1 既設鉄筋およびPC鋼棒調査

外ケーブルを設置するため、既設横桁にφ160のコア削孔を行ったが、削孔位置が、既設横桁に上下2段で埋設されたPC鋼棒の間を通る設計となっており、コア削孔による既設PC鋼棒の損傷を防止するため、PC鋼棒の埋設位置を特定する必要があった。ここで、PC鋼棒の埋設位置は、厚さ1000mmの横桁の表面から250mmの位置であったが、X線探査は、厚さ1000mmの部材には使用することが不可能であり、電磁波レーダーとして一般的に使用されるものは、PC鋼棒にむけた電磁波がそれより表面に配置された鉄筋と干渉することにより、探査することが困難であると考えられた。そこで、電磁波レーダー方式の機械の中でも多重反射が少なく、高性能アンテナを有する高性能レーダー探査機を使用することとした。使用機械の選定に当たっては、既設横桁を模擬した試験体（縦1.5m×横1.5m×高さ0.4m）を作成し、試験調査を実施した。試験調査に使用する機械は、比較検討ができるように、高性能レーダー探査機と一般的に使用されている探査機の2機としたが、一般的な探査機においては、表面の鉄筋による干渉のためPC鋼棒を特定することが出来なかったが、高性能レーダー探査機を用いることにより、PC鋼棒を特定することが可能であることが確かめられた。この試験調査の結果を踏まえ、本調査を実施し、PC鋼棒の位置を特定した。



写真－1 試験調査

4. 1. 2 外ケーブルと連結アンカーの削孔

外ケーブルおよび連結アンカー削孔に際しては、不用意な鉄筋の切断など施工に伴う構造物への影響を防止する必要があったため、あと施工アンカー鉄筋の削孔(φ32)は、コアボーリングマシンでは

なく、ハンマドリルにより実施することとし、万が一にもP C鋼棒を切断しないように配慮した。

4. 1. 3 補強梁構築

外ケーブル定着体を設置する柱頭部において、緊張力に抵抗するために補強梁を構築した。柱頭部の構造は、2枚壁構造であり、内空は橋軸方向に3.0m、橋軸直角方向に4.9m、高さが5.1mとなっている。この狭い空間に、19S15.2を10本緊張することによる緊張力に抵抗するための補強梁を橋軸方向に1.5mの範囲に設置するため、鉄筋量が 250kg/m^3 以上の非常に密な配筋となった。さらに、狭い施工空間であるため、コンクリート打設時にバイブレーターをかけることが非常に困難であり、未充填等の初期欠陥が発生する確率が高いと考えられた。そこで、使用するコンクリートとして、高流動コンクリートを採用した。なお、コンクリートの打設は、北陸自動車道の車線規制を行い、高速道路上にポンプ車およびアジテータ車を配置し、そこから箱桁内にポンプ車のホースを挿入することにより実施した。打設結果は、良好であり、型枠の隅々までコンクリートが充填されたことが確認された。



写真-2 高流動コンクリート

4. 1. 4 外ケーブル緊張

外ケーブルの仕様は19S15.2であるが、鋼線挿入は、19本束ねてウインチによる挿入を実施するための機材を配置するスペースを確保できないことから、プッシングマシンにて1本ずつ挿入することとした。また、緊張に関して、19本まとめて緊張するタイプのジャッキは、機械の寸法および重量が大きく、油圧ポンプを桁端部の底版開口部より桁内に投入することが出来ず、橋面配置となってしまうため、交通規制の日数も増加することとなる。そこで、機械が小さく1本ずつ緊張するシングルストランドジャッキを用いて緊張を実施した。また、桁内での作業を出来る限り減らすため、グラウトが不要なエポキシ被覆鋼線を使用することとした。

4. 2 中央ヒンジ部連結化

4. 2. 1 中央ヒンジ部仮固定

補強前の橋梁は、中央ヒンジ部にて主桁の縁が切れており、それぞれが単独の挙動をするため、中央ヒンジ部の連結を行うためには、仮固定により主桁の相対変位を抑制する必要がある。そこで、ゲレンク杓周りに4台のジャッキを設置し、主桁間に水平力を加えることにより得られる摩擦抵抗で相対変位を抑制する方法を採用した。



写真-3 中央ヒンジ部仮固定状況

4. 2. 2 既設構造物取り壊し

中央ヒンジ部の既設構造物取り壊しは、マイクロクラックの抑制を考慮し、ウォータージェットによるはつりを採用した。ウォータージェット工法は大量の水を使用するため清水の供給を絶えず確保するとともに、施工に伴って濁水も発生する。清水の供給は散水車を利用し濁水処理は車載のプラント設備を使用した。散水車とプラント車を高速道路規制内に頻繁に進入させることは、交通障害の原因となり得る。そこで、橋台脇に設けた仮設ヤードに給水タンク及びプラント車を設置し、桁内を經由して中央ヒンジまで送排水ラインを設置した。これにより、規制内へ進入する車両台数を抑制し、高速道路上に濁水が流出する可能性も排除できた。また、規制内では高速道路上を走行する一般車への飛来災害を防止するため、施工箇所には防護設備を設置した。



写真-4 はつり防護状況

4. 2. 3 鉄筋

中央ヒンジ部の躯体構築は、高速道路を供用しながら行うため、右図に示すように片側交通規制による分割施工により実施せざるを得ない。ここで、橋軸方向鉄筋については、既存鉄筋およびあと施工アンカー鉄筋と新設鉄筋とをフレア溶接にて接続し、橋軸直角方向鉄筋およびウェブ鉄筋は、施工ブロックごとに鉄筋を継ぐこととしたが、せん断力が発生するウェブ鉄筋を重ね継手とすることは好ましくない。このため、ウェブ鉄筋に機械式継手を適用し、確実な継手構造とした。

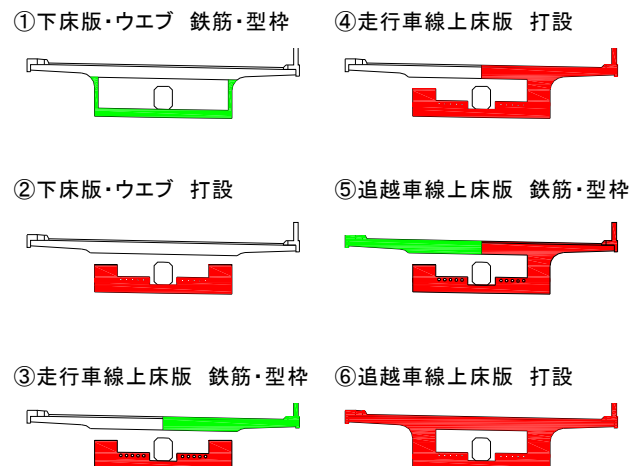


図-1 中央ヒンジ部施工順序

4. 2. 4 コンクリート

前述のとおり、中央ヒンジ部の構築は分割施工を余儀なくされる。また、最低限の養生期間で交通規制を開放しなければならないことから、上床版に打設するコンクリートには、超速硬コンクリートを採用した。

5 おわりに

本橋梁に限らず、耐震・車両大型化対策を行う必要のある既設橋梁は多く、同種の工事は、今後も増大することが予想される。このことに対して、本工事において、既設構造物を損傷することなく補強を実施するための有用な探査方法やコンクリート等の使用材料および機材選定の一例を確立することができたと考えている。

マンホール浮上防止対策工法 WIDE セフティパイプ工法

藤村ヒューム管株式会社 開発部 主任 ○高野 公昭
株式会社信明産業 営業技術部 部長 榎並 弘
財団法人下水道新技術推進機構 研究第二部 部長 松島 修

1 はじめに

1. 1 開発の背景

下水道施設は、水道や電気等とともに住民生活を支える重要なライフラインの1つであり、地震等の災害時においても最低限の機能を確保することが求められる。

新潟県中越地震（2004年10月23日）では、埋戻し土の液状化に起因すると想定されるマンホールの路面への突出が1,400箇所以上にも及び、下水道の排水機能はもとより交通への障害が発生する等、多方面に甚大な被害をもたらした。

こうした液状化によるマンホールの浮上を抑制し、下水道の排水機能や交通機能の確保を可能にする対策工法として、WIDE セフティパイプ工法を開発した。装置外観を写真－1に示す。

1. 2 開発体制

WIDE セフティパイプ工法は、財団法人下水道新技術推進機構が公募した「マンホールの浮上防止対策に関する公募型共同研究」として、藤村ヒューム管株式会社、株式会社信明産業、財団法人下水道新技術推進機構の3者で開発した。

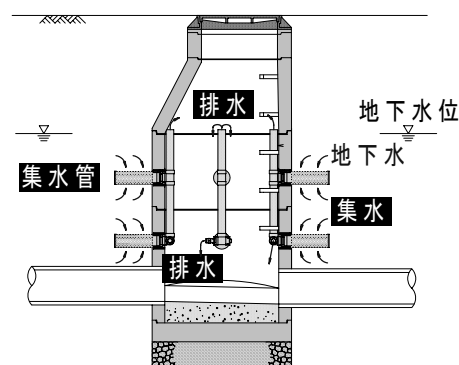


写真－1 装置外観

2 WIDE セフティパイプ工法

2. 1 概要

WIDE セフティパイプ工法は、図－1に示すように、地震によって発生したマンホール周辺地盤の過剰間隙水圧を消散し、マンホール内部に排水する。その結果、液状化によるマンホール周辺の摩擦力低下を抑制することと集水管に作用する土圧により、マンホールの浮上を抑制する。また、施工は既設マンホールの内部から集水管を設置できるため、周囲の掘削工事を必要としない。



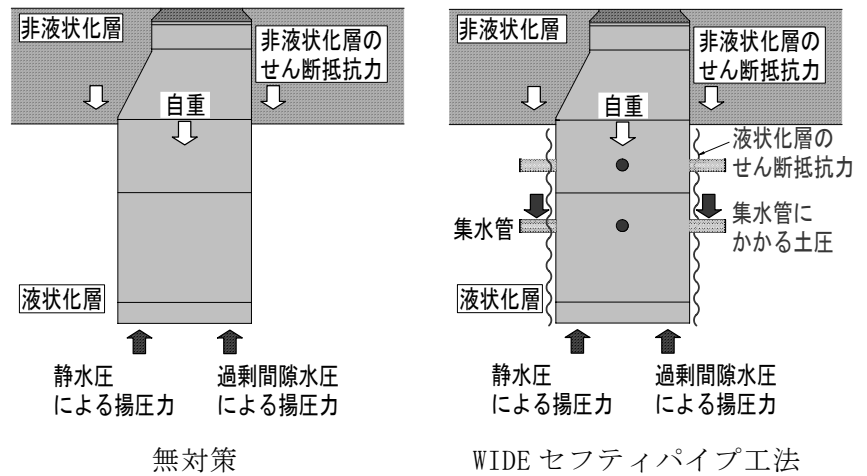
図－1 工法の概要

2. 2 メカニズム

地震時の液状化地盤において、マンホールを浮上させる揚圧力は、静水圧による揚圧力と地震時の過剰間隙水圧による揚圧力である。これに対する抵抗力は、マンホールの自重、非液状化層のせん断抵抗である。揚圧力が抵抗力より大きい場合、マンホールが浮上する。このメカニズムは共同溝設計指針に準拠している。よって、抵抗力に液状化層のせん断抵抗を考慮しない。

WIDE セフティパイプ工法を施すことで、集水管による排水によって発現される液状化層とマンホールのせん断抵抗および集水管にかかる土圧が、抵抗力に付加される。これらの抵抗力を揚圧力より大きくすることでマンホールの浮上を防止できる。

図－２に、工法のメカニズムを示す。



図－２ 工法のメカニズム

3 装置の仕様

3. 1 集水部

集水部はマンホール外側に設置され、集水管からなる。

集水管の構造を写真－２に示す。内管の外面にスペース棒を設け、その外層に外網および内網としてステンレス金網のフィルター材を配置して砂の流入を防止する。スペース棒は、内管へ水を流入し易くするため、内管とフィルター材との間に空間部を設けるように設置する。

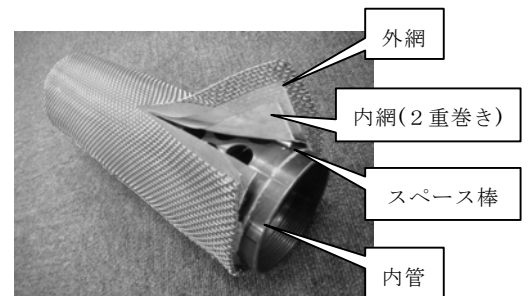
3. 2 排水部

排水部はマンホール内側に設置され、写真－３に示すように、誘導パイプ、逆止弁、点検孔等からなる。

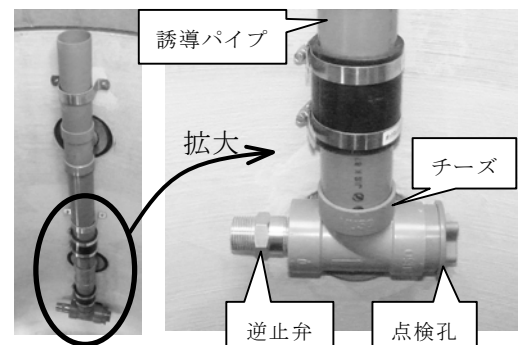
誘導パイプは、マンホール内部に垂直に設置した配管で、垂直方向に一行に並ぶ集水管を連結する。静水圧を超えた過剰間隙水圧が発生した場合、流入水は誘導パイプ上端部からオーバーフローして排水される。なお、誘導パイプは外径 75 mm 以下であることから、WIDE セフティパイプ工法の装置を設置することにより、対象とする最小である 1 号マンホールに施工する場合であっても、写真－４に示すように、0 号マンホールに相当する内径 750 mm の空間を確保できる。

逆止弁は、原則として誘導パイプの最下部に設け、所定の水圧が作用した場合に自動的に弁が開放され、水圧が低下すると自動的に閉塞する機能を有する。

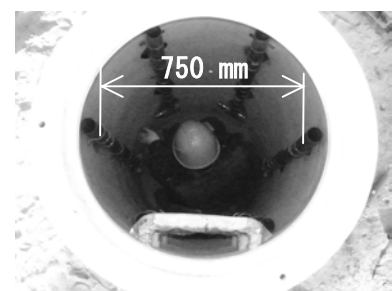
点検孔は、それぞれのチーズに設け、維持管理時における点検および洗浄に使用する。



写真－２ 集水管の構造



写真－３ 排水部の構造



写真－４ マンホール空間

4 効果の確認

4. 1 実験概要

マンホール模型をもちいた振動台実験により、WIDE セフティパイプ工法の効果を確認した。

実験はマンホールの浮上りを再現するために剛土槽に珪砂 7 号をもちいて液状化層を作成し、実物と同じ見掛け比重に設定した無対策マンホールと対策工をモデル化した対策マンホールを液状化層中に設置する実験モデルとした。

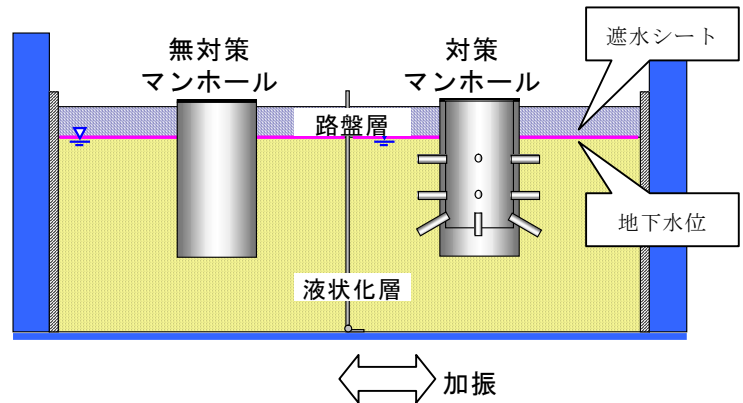
モデルの対象としたマンホールは 1 号マンホール（ $\phi 1.1 \text{ m} \times \text{高さ } 2.0 \text{ m}$ ）で、実験は 1/5 および 1/2 スケールとした。

地盤モデルは、実物に近い条件として路盤を模擬して設置する「路盤モデル」とした。舗装厚は実物 40 cm とし、アスファルトは使用せず碎石と遮水シートで路盤部をモデル化した。また、地下水位は路盤下とした。（図－3）

1/2 スケール実験では独立行政法人土木研究所保有の三次元大型振動台をもちいた。振動台実験施設を写真－5 に示す。

実地震波は、1994 年北海道東方沖地震の際に釧路川堤防の地盤上で記録されたものを、相似則を考慮して調整した上でもちいた。波形を図－4 に示す。なお、先立って実施した実験結果から地震動は水平動のみの加振よりも水平動と鉛直動を同時に加振した方が無対策マンホールの浮上量が大きくなる結果が得られたため、今回の実験では水平動と鉛直動の同時加振とした。

余震は繰り返し発生することから、加振は 3 回行い、繰り返しの地震に対する効果を確認した。

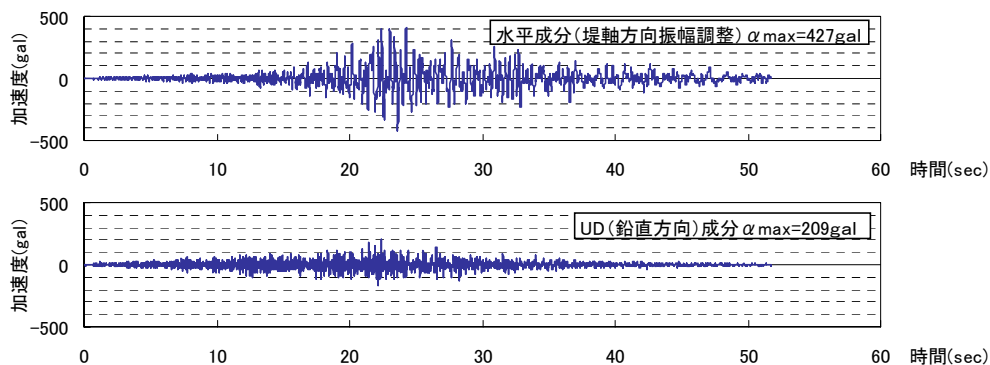


図－3 振動台実験の概要



写真－5 振動台実験施設

（1/2 スケール実験）



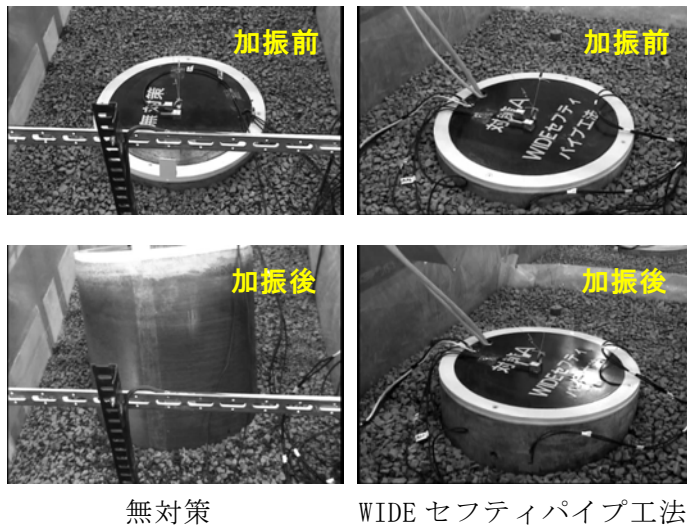
図－4 実地震波（1/2 スケール実験）

4. 2 実験結果

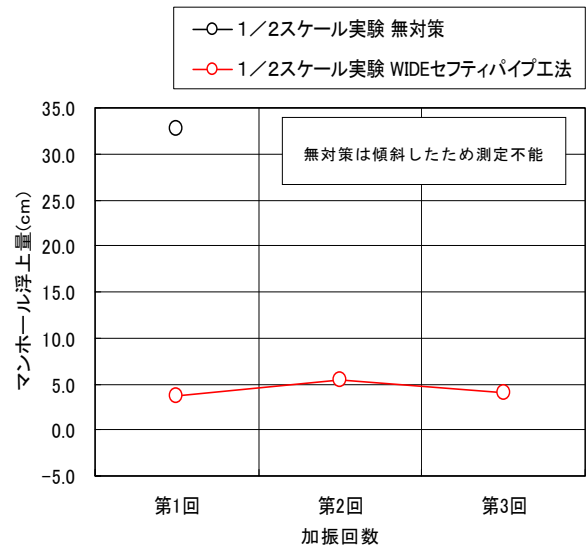
実験モデルを振動台上でレベル 2 相当の地震動で加振することにより地盤が液状化し、無対策マンホールは浮上がりが生じた。そして、写真－6 および図－5 に示すように、対策による浮上抑制効果が確認された。

集水パイプ付近のマンホール周辺では過剰間隙水圧比が原地盤と比較して低下しており水圧消散効果が確認された。また、消散効果が加振中も持続したことが対策効果につながったと考えられる。

また、3 回の繰り返しの地震に対して、第 1 回加振と同様の浮上抑制効果が得られた。



写真－6 第 1 回加振後のマンホールの状況
(1/2 スケール実験)



図－5 マンホール浮上量
(1/2 スケール実験)

5 まとめ

5. 1 効果

実験結果より、WIDE セフティパイプ工法は、地震時における埋戻し土の液状化に起因するマンホール浮上を防止する効果がある。

5. 2 特長

これらの経緯で開発された WIDE セフティパイプ工法は、以下の特長を持っている。

- (1) マンホール内部から集水管を設置するため、マンホール周辺の掘削工事を必要としない。
- (2) 掘削が不要であるため、地上の占有面積が小さくても施工が可能。
- (3) マンホール内への排水は地震が発生した時だけであるため、無用な水を下水に流さない。
- (4) オーバーフローおよび水圧により開閉する逆止弁を用いるため、繰り返しの余震にも性能は変わらない。

5. 3 参考文献

- (1) 「マンホール浮上防止対策工法 (WIDE セフティパイプ工法) 技術マニュアル 2008 年 6 月」

財団法人下水道新技術推進機構

- (2) 「共同溝設計指針 昭和 61 年 3 月」 社団法人日本道路協会

静的締固め砂杭工法（SAVE コンポーザー工法）による 河川堤防の液状化対策事例報告

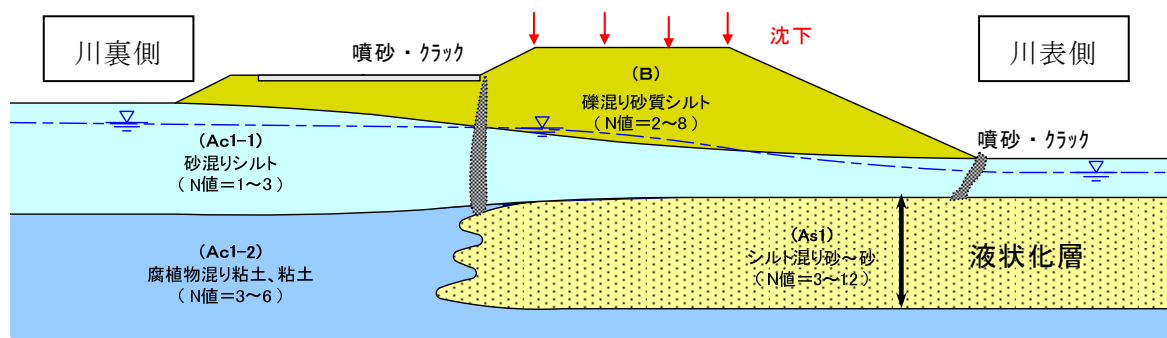
株式会社不動テトラ	工部部	貝塚 隆
株式会社不動テトラ	土木事業本部 地盤営業部	楞田 晃朗
株式会社不動テトラ	東京本店 研究室室長	橋本 則之
株式会社不動テトラ	北陸支店 研究室リーダー	○安藤 滋郎

1 はじめに

平成 19 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震により信濃川左岸・長岡市町軽井地区の河川堤防が被災した。今回報告する施工事例は、災害復旧事業の一環で、既設堤防の撤去と新設築堤盛土(前出し)および締固め砂杭工による堤防下基礎地盤の地盤改良工(液状化対策)をおこなったものである。工事は町軽井揚水機場付近を起点として「その 1 工事(延長 435m)」と「その 2 工事(延長 610m)」である。工事の特徴は、地盤改良工は現堤防の開削可能時期の関係で出水期(～10/31)に現堤防法先部(一次施工)を、非出水期(11/1～)に現堤防掘削撤去部直下の施工をおこなったこと、(二次施工)地盤改良工施工範囲は全線に渉り県道(長岡寺泊線)や民家連坦地区に近接し、地盤改良施工時は道路交通や周辺の住民生活に対する振動騒音の影響が懸念され、「SAVE コンポーザー工法」により施工したことである。

2 被災状況

新潟県中越沖地震による町軽井地区の被災状況を図－1 に示す。



図－1 中越沖地震による液状化被害状況（町軽井地区）※



写真－1 被災状況その 1 ※



写真－2 被災状況その 2 ※

3 工事概要

工事名 : 信濃川町軽井堤防災害復旧その1工事

工事場所 : 新潟県長岡市寺泊町軽井地先(信濃川左岸堤防)

工期 : 平成20年2月26日～平成21年3月27日(396日)

工事内容 : 既設堤防の撤去、新設および堤防下基礎地盤の地盤改良

河川土工	掘削工	38,300m ³	築堤盛土工	59,500m ³
法面整形工		6,650m ²		
地盤改良工	サトマツ工	7,160m ³		
静的締固め砂杭工		5,026本(φ700, L=8.3～10.3m)		
高圧噴射攪拌工		94本(φ2500, 削孔長13.3m 改良長8.1m)		
法覆護岸工	プレキャスト法枠護岸工他	247m ²		

工事名 : 信濃川町軽井堤防災害復旧その2工事

工事場所 : 新潟県長岡市寺泊町軽井地先(信濃川左岸堤防)

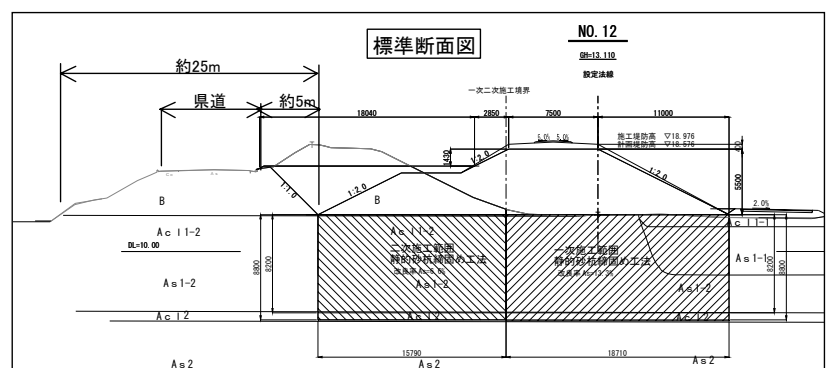
工期 : 平成20年2月26日～平成21年3月27日(396日)

工事内容 : 既設堤防の撤去、新設および堤防下基礎地盤の地盤改良

河川土工	掘削工	51,900m ³
築堤盛土工		87,700m ³
法面整形工		8,940m ²
地盤改良工	サトマツ工	9,800m ³
静的締固め砂杭工		5,042本(φ700, L=5.6～10.7m)
仮設工	工事用道路工	1,520m(B=6.0m)



写真－3 施工位置※



図－2 標準断面図

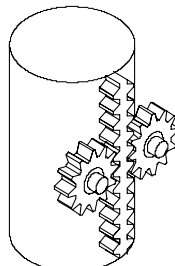
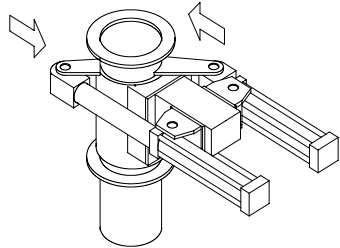
4 SAVEコンポーザー工法の概要

SAVEコンポーザーは強制昇降装置を用いた回転圧入施工（ウェーブ施工）の採用で、振動エネルギーを用いずに静的な圧入によって締固め砂杭（サントコンパクションパイル）を造成する工法である。施工フロー図を図－4に示す。このため、周辺への振動・騒音の影響を大幅に低減することを可能とし、従来の振動機を用いたSCP工法では施工不可能な市街地や既設構造物の近傍での施工を実現したものである。

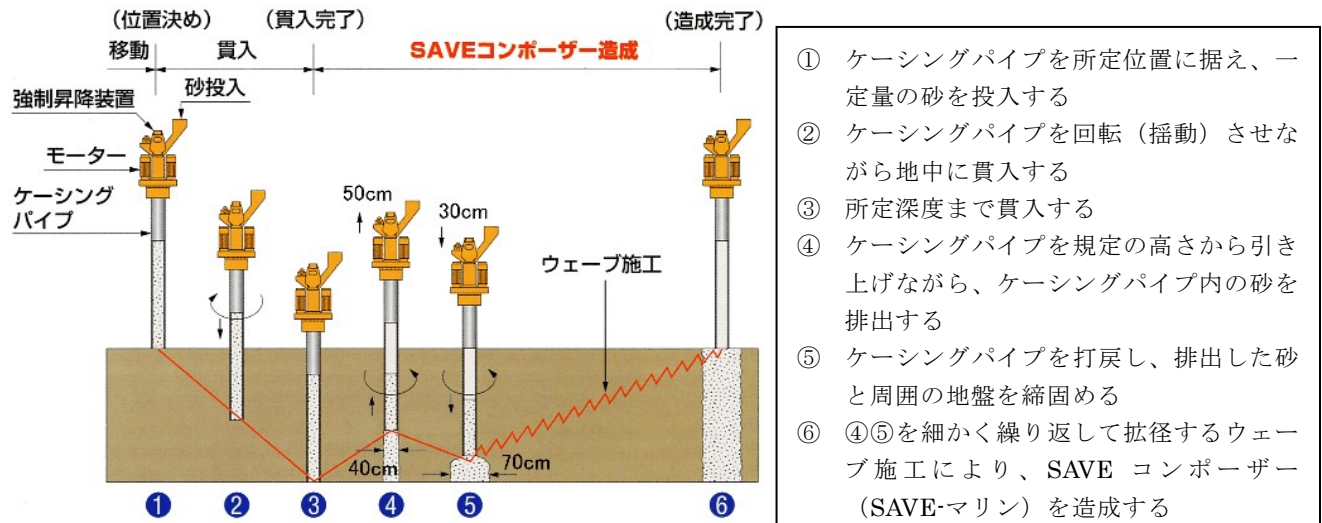
図－5、図－6に振動・騒音測定事例を示す。近年では、海上施工が可能な「SAVEマリン工法」も開発された。工法原理は、基本的に陸上コンポーザー工法と同じであり、締固めと補強および圧密排水を基本原理としている。砂質系地盤に対しては、原地盤の「締固め」を行うことにより支持力の増加、沈下の低減、水平抵抗の増加、液状化の防止を図る。

ラック&ピニオン方式（SAVE）

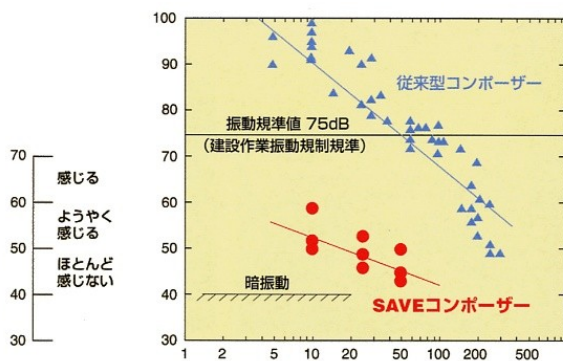
揺動方式（SAVE マリン）

	
圧入力： 25 ton	50 ton
引抜力： 35 ton	70 ton
重量： 2.7ton	6 ton

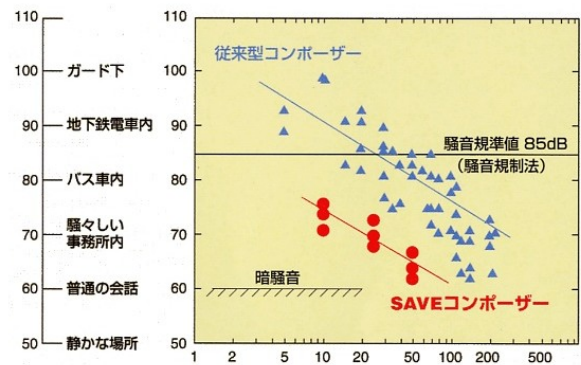
図－3 強制昇降装置



図－4 施工フロー図



図－5 振動測定事例



図－6 騒音測定事例

5 施工状況

5. 1 施工条件

地盤改良範囲は県道や民家連担地区に近接しており、特に二次施工時は県道までの最短離隔が約5m、民地境界までが約25mと極めて狭くなっている。施工時の周辺への振動騒音対策は重要課題で、振動式の従来工法(サントコンパクションパイル工法)では施工不能のため、SAVEコンポーザーでの施工をおこなった。本工事の施工手順図(地盤改良・河川土工)を図-7に、概略工程表を表-1に示す。本工事の工程上の問題点は、非出水期の現堤防掘削→地盤改良(二次施工)→盛土工がクリティカルであり、特に冬期施工となる築堤盛土工は降雨・降雪による施工能率の大幅な低下が予想された。このため、比較的天候の影響が少ない地盤改良工(二次施工)の工程をいかに短縮するかが築堤盛土工を確保する上での要点となる。今回は地盤改良二次施工の工期を約1ヶ月と設定し施工した。

表-1 工程表

工種	H20年							H21年		
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
準備仮設工	伐開整地 工事用道路	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
地盤改良工										
サントマット (一次施工)										
サントマット (二次施工)										
SAVE工 (一次施工)										
SAVE工 (二次施工)										
河川土工										
掘削工										
築堤盛土工										
法面工										
備考	出水期(堤防開削不可)					濁水期(堤防開削可能)				

5. 2 二次施工での工夫点

施工期間の短い二次施工において、工夫した点を以下に示す。

- ・SAVEコンポーザー施工機をその1,その2工事で計11台投入。
- ・地元説明会等で近隣の了解を得て作業時間を7:00~19:00(時間外3.0時間)とし、日当り施工量を確保。

5. まとめ

施工機の静粛性は非常に高く、近隣住民や県道利用者からの苦情もなく、周辺への振動騒音の影響もなかった。このことは、二次施工時の作業時間の延長にも寄与した。今回実績より、本工法は民家や構造物に極めて近接した施工にも適用が可能と実証した。

謝辞

本論文を結ぶに当たり、国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所の皆様には、多大なご指導、ご支援をいただきました。厚く御礼申し上げます。

出典

※北陸地方整備局信濃川河川事務所 HP 他

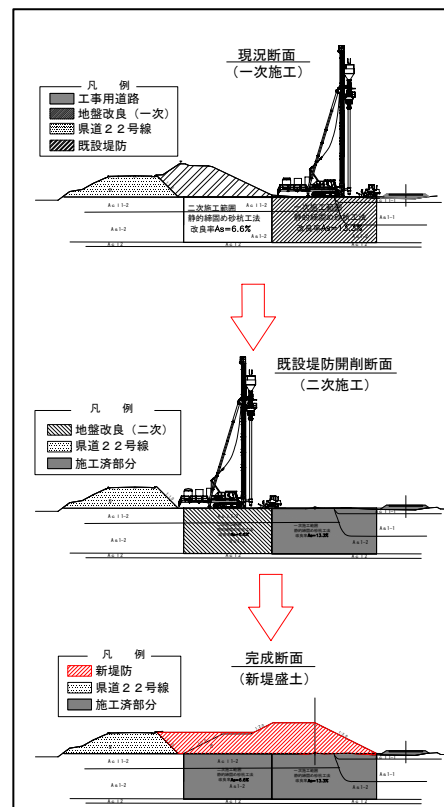


図-7 施工手順図



写真-4 施工状況

ダム堆砂除去装置の開発

東亜建設工業株式会社 機電部 機械グループリーダー ○泉 信也
機電部 機械グループ 宮下 広樹

1 はじめに

水力発電用ダムの調整池や貯水池では、年々土砂が流入堆積しており、堆砂の進行が、貯水量の低下を促し、若いては発電電力量の減少を引き起こすことにもなる。このため、堆砂の除去を行い、適正な維持管理を行うことが必要となる。

通常、堆砂除去には浚渫船などが用いられるが、一般的にダムは山間部に位置しているため、工事用船舶・重機の搬入が制限されることが多く、有効な堆砂除去の技術が確立されていない。

東京電力株式会社と東亜建設工業株式会社は、小型で運搬が容易な堆砂除去装置「マジックボール」を共同で開発し、2008年10～12月の高瀬川第五発電所調整池（長野県大町市）の堆砂除去工事に適用した。

この工事では、機材搬入用の車両が現場まで進入できず、ヘリコプターによる機材運搬・組立を行う必要があったため、小型・軽量の装置としたが、工事条件や現場条件に応じて様々なサイズ・能力で柔軟に設計・製作を行うことが可能である。

本稿ではこの堆砂除去装置マジックボールとその施工管理システムの概要について紹介するとともに、マジックボールを使用した工事について概説する。

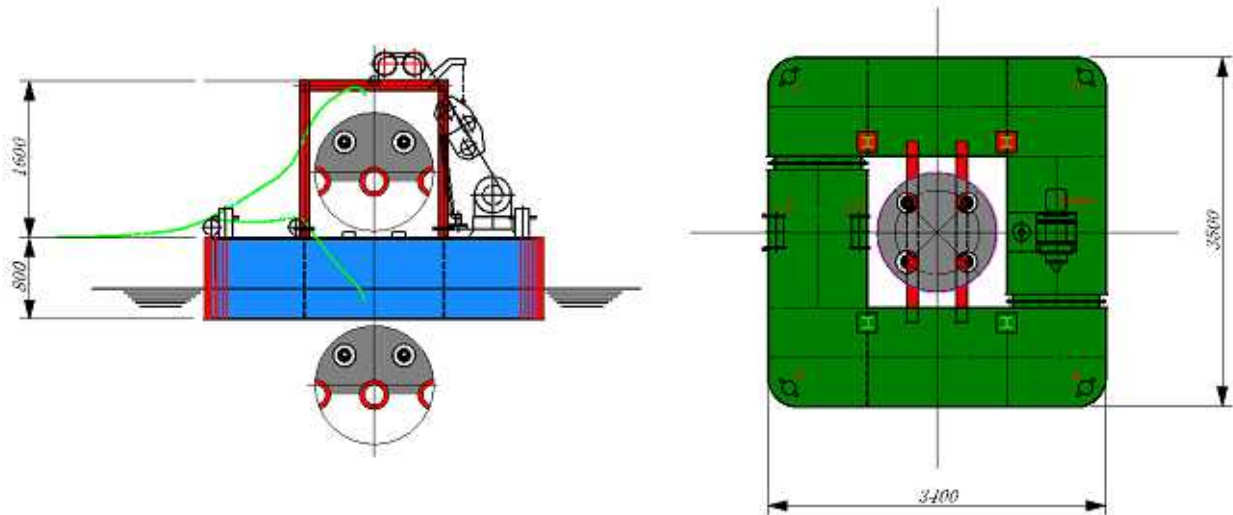
写真-1に堆砂除去装置「マジックボール」の概観を示す。



写真－1 堆砂除去装置「マジックボール」

2 堆砂除去システムの構成

今回高瀬川第五発電所調整池に適用した堆砂除去システムは、マジックボール（球形の堆砂除去装置）、マジックプレーサ（位置決め装置）、マジックコントローラ（遠隔操作盤）、マジックビューア（施工管理システム）から構成されており、これらを組み合わせることにより調整池の堆砂除去を効率的に行う。図－１に堆砂除去装置マジックボールと位置決め装置マジックプレーサを組み合わせた一般配置図を示す。



図－１ 堆砂除去装置マジックボールと位置決め装置マジックプレーサの配置図

球形の堆砂除去装置であるマジックボールは、堆砂を吸引・吐出するための吸入装置を内蔵しており、遠隔操作盤にて吸入装置を起動し、堆砂除去を行う。マジックボールの昇降はマジックプレーサ（位置決め装置）に搭載した昇降ウインチで行い、水平方向の移動・位置決めは陸上部に設置したウインチ３台を操作することにより行う。



写真－２ 位置決め装置「マジックプレーサ」



写真－３ 遠隔操作盤「マジックコントローラ」

3 施工管理システム

施工管理システム（マジックビューア）はマジックボール専用の管理ソフトであり、管理項目は排砂管内流量（ m^3/min ）、排砂管内圧力（MPa）、浚渫深度（m）、浚渫座標（X,Y,Z）、浚渫土量（ m^3 ）である。写真-4に本管理ソフトのモニタ画面を示す。

3. 1 排砂管内流量

排砂管内の流量を記録し、アナログモジュールを通して計測用 PC ヘデータを転送する。管内流量を管理することで、排砂管の閉塞等のトラブルを未然に防止する。

3. 2 排砂管内圧力

流量計と同様に排砂管内の圧力を記録し、アナログモジュールを通して計測用 PC ヘデータを転送する。管内圧力よりポンプの稼動状況を管理する。

3. 3 浚渫深度

浚渫深度はマジックボール本体に取り付けた水位計により管理する。マジックプレーサ上の計測用の PC に一度データを蓄積し、無線 LAN を用いて陸上側の計測用 PC ヘデータを転送する。

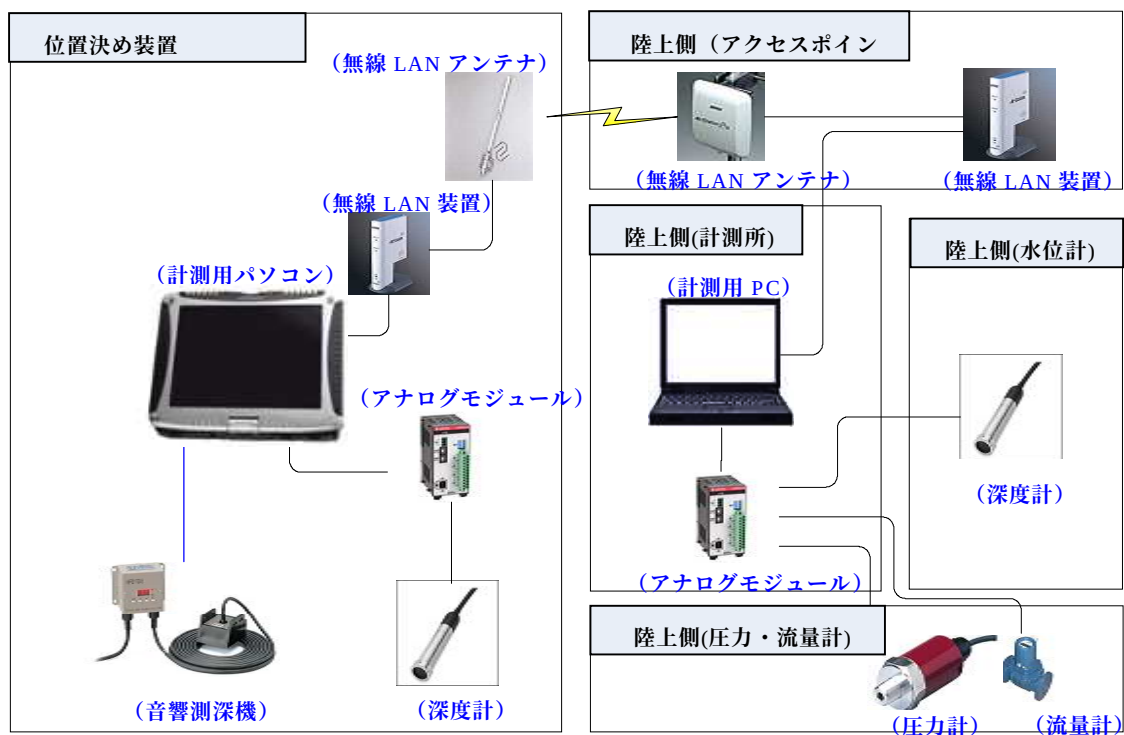
3. 4 浚渫座標

操作用ウインチの繰り出し長を演算することで浚渫座標を設定する。浚渫座標は遠隔モニタ上の平面図上に表示される。過去の浚渫記録は浚渫深度ごとに色分けし、平面図上に表示する。

3. 5 浚渫土量

浚渫深度より演算することで概算の浚渫土量を管理する。浚渫土量は1施工点の他に1日の累計、全浚渫土量の累計を表示する。

図－3に本施工管理システムの構成を示す。



図－3 管理システム構成

4 施工事例

高瀬川第五発電所調整池土砂排除工事（工期：平成20年10月～12月）において今回開発した堆砂除去装置マジックボールを採用した。

図－４に本現場の配置図を示す。

本現場は、標高 1,500m 付近の山間部に位置しており、機材搬入用の車両が現場まで進入できないため、ヘリコプターによる機材運搬・組立を行った。

マジックボールで吸入した土砂は、水上ならびに陸上の排砂管を通して土砂ストック箇所へ排砂した。実稼働期間は約1ヶ月の昼間作業で、約1,000 m³の堆砂除去を行った。

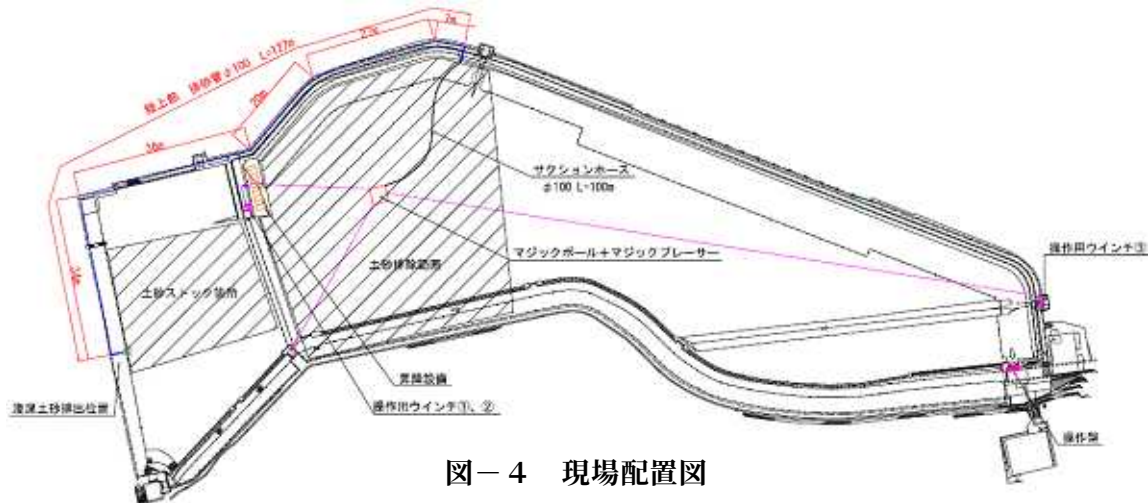


写真-4 マジックボール運転状況



写真-5 排砂口と堆積除去土砂ストック状況

5 おわりに

本稿で紹介したマジックボールは、車両による機材運搬・組立が行えない調整池向けに製作した小型・軽量の堆砂除去装置であるが、山間部のダムや調整池、貯水池だけでなく、一般の船舶・重機では対応が難しい河川、湖沼、港湾構造物近傍など狭隘な水域にも適用でき、性能向上や大型化などにも柔軟に対応できるものとする。

今後、さらなる改良を加え、各水力発電所用ダムの調整池や貯水池の有効な堆砂除去技術として採用していく予定である。

最後に本装置の開発ならびに現場施工に際して、ご指導・ご協力頂いた関係各位に感謝の意を申し上げます。

「土砂災害危険度情報」自動配信システムの構築

新潟県 土木部 砂防課 主任 嵯峨山 航

1 はじめに

例年の梅雨前線、台風等による豪雨や、近年の気候変動の影響等により、全国的に土砂災害が増加、激甚化している傾向にある。

このような状況の下、気象庁は注意報や警報がより防災活動に有効活用できるよう、平成20年5月に注意報・警報の発表基準を見直した。また、地方气象台と都道府県が共同で発表する新たな防災気象情報として、平成17年9月より土砂災害警戒情報（図-1）の運用が全国で順次開始された。（新潟県では平成19年6月に運用を開始。）この情報は、大雨警報発表中に土砂災害発生の危険度がさらに高まった際に発表される情報で、市町村長が避難勧告等を発令する際の判断や、住民の自主避難の目安となる情報である。発表時には報道機関等を通じて広報されるとともに、防災活動を行う防災関係機関へ情報が伝達される。（図-2）

これらの土砂災害警戒に関わる防災気象情報は、発表単位が県内を分割した区域（二次細分区域）や市町村となっている。そのため、防災担当者が面積の広い各市町村の中で危険な地域を特定することは難しく、その特定までの作業や情報伝達に時間を要するという問題があった。

そこで新潟県は、これらの問題を解決するため、より詳細な地域での土砂災害危険度を判定し、「土砂災害危険度情報」として防災関係機関へ提供、配信するシステムを構築した。（図-2）

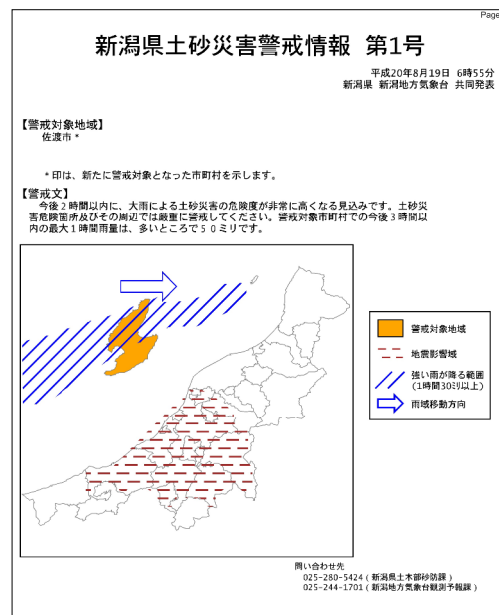


図-1 土砂災害警戒情報

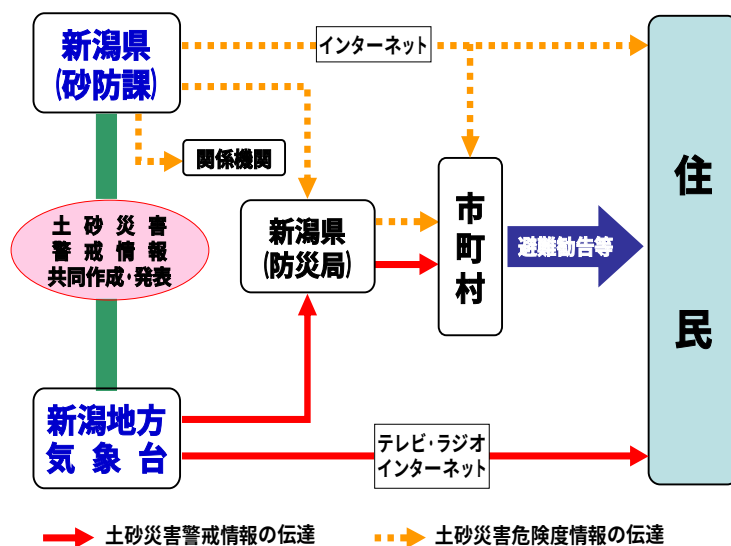


図-2 土砂災害警戒情報と土砂災害危険度情報の伝達・提供イメージ

2 構築システム紹介

2. 1 システム概要

本システムは新潟地方气象台から受信した気象データを基に土砂災害危険度を判定し、その判定結果を「土砂災害危険度情報」としてインターネットで防災担当者や住民に情報提供している。加えて、

土砂災害警戒に関わる大雨警報や土砂災害警戒情報が発表された際は、確実な情報周知を行うため、それを補完する情報としてこの「土砂災害危険度情報」を防災関係機関へメールで配信する。システムの構成を図-3に示す。

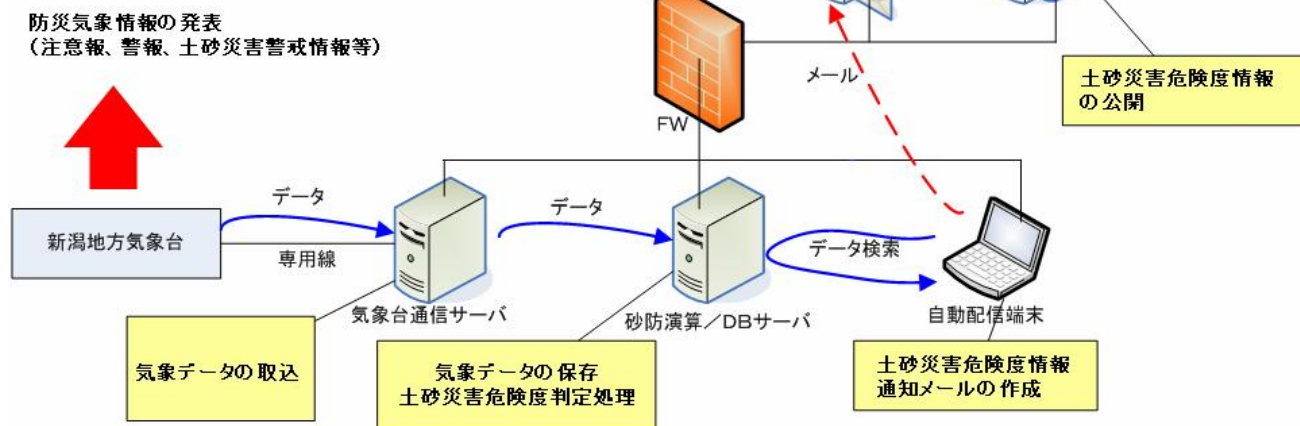


図-3 システム構成図

2. 2 土砂災害危険度の判定

土砂災害危険度は、新潟県全体を5km四方のメッシュに分割（計487メッシュ（図-4））し、次の情報を基に判定している。

- ・ レーダ雨量情報（解析雨量、降水短時間予報および降水ナウキャストの60分間積算雨量）
- ・ 土壌雨量指数データ（予測含む）
- ・ 5kmメッシュ単位の大雨警報基準情報およびCL（クリティカルライン）基準情報

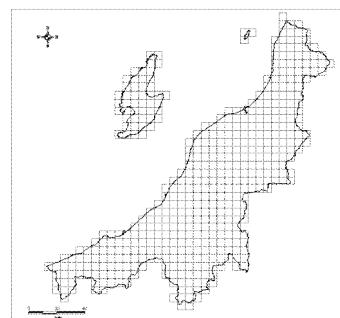


図-4 新潟県メッシュ図

土砂災害危険度の判定は、レーダ雨量情報（3時間先までの60分間積算雨量）のデータと土壌雨量指数のデータ値が判定図の基準（図-5）を超過しているかどうかで行う。（ただし、判定には予測雨量の精度や土砂災害発生までのリードタイムを考慮し、2時間先までの予測雨量データを利用する。）判定は5kmメッシュ毎に10分更新で行い、危険度のレベルを次の3段階で設定している。

① 前ぶれ注意レベル

大雨による重大な土砂災害が発生するおそれのあるレベル。危険地域内で災害時要援護者の避難を開始する目安。[現在値または1時間後予測値または2時間後予測値が判定エリアAへ]

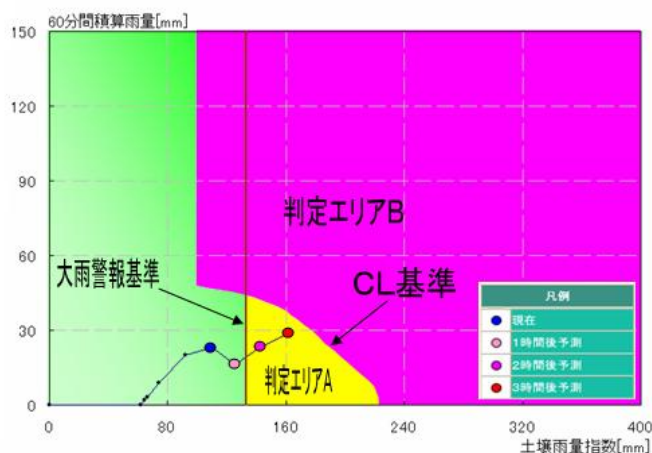


図-5 判定図イメージ

② 警戒レベル

今後2時間以内に危険レベルとなる可能性があるレベル。土砂災害警戒情報の発表が検討される。危険地域内の住民が避難を開始する目安。[1時間後予測値または2時間後予測値が判定エリアBへ]

③ 危険レベル

大雨による土砂災害が集中的に発生するおそれのあるレベル。危険地域内の住民が早期に避難を完了する目安。[現在値が判定エリアBへ]

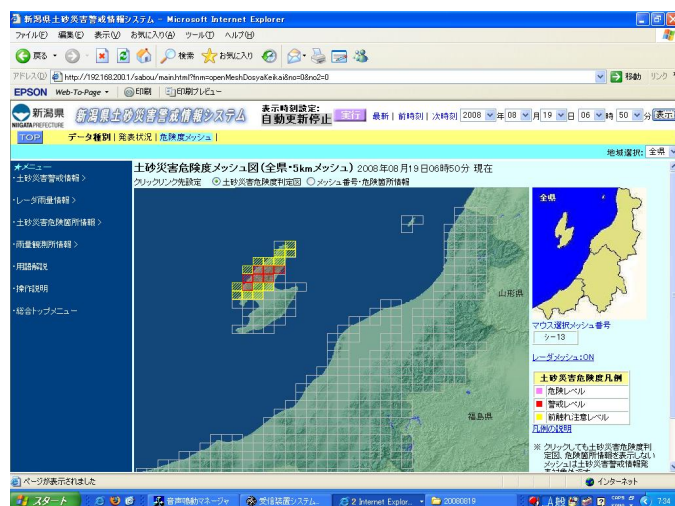
2. 3 土砂災害危険度情報の公開

前項の判定結果より得られた5kmメッシュ毎の危険度のレベルは、インターネットで一般公開している。(図-6)これにより、防災担当者が危険度の高い地域の防災活動を適時適切に行えるよう支援する。また、住民が自主避難するための判断材料として活用することもできる。

2. 4 土砂災害危険度情報の配信

インターネットでの情報公開だけでは、防災担当者が常時画面を参照していなければ危険度レベルが高くなったとしてもそのことを認識できない。非常時には様々な情報が集中する市町村等の防災関係機関において、担当者が常時画面を確認し続けることは現実的ではなく、このような状況下では土砂災害のおそれが高まった際に迅速な対応を取ることは困難である。

そこで新潟県では、新潟地方気象台から土砂災害警戒に関わる大雨警報や土砂災害警戒情報が発表された際に、確実な情報周知を行うため、土砂災害危険度情報を防災関係機関にメールで配信できるようシステムを構築している。この通知は防災関係機関への注意喚起と避難行動を促す情報で、土砂災害危険度情報の要点(5kmメッシュ番号やその所在地等)を記載している。なお、メールを受信する市町村側には受信を知らせる回転灯が設置されており、通知を見落とすことが無いよう配慮されている。実際の業務フローを図-7に示す。



<http://doboku-bousai.pref.niigata.jp/sabou/>

図-6 インターネット公開画面の例

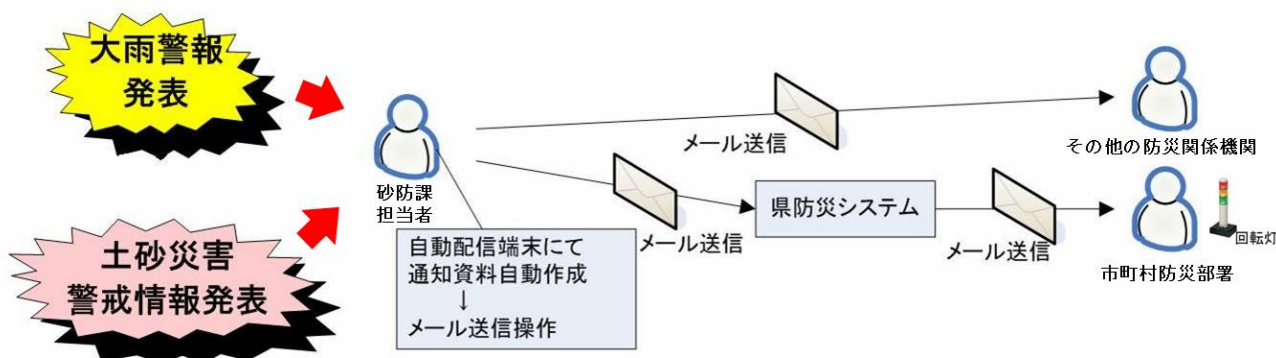


図-7 業務フロー図

① 土砂災害前ぶれ注意情報:大雨警報発表中にこれを補完する。(前ぶれ注意レベル)
② 土砂災害警戒情報(補完情報):土砂災害警戒情報発表後にこれを補完する。(警戒レベル)

図-8 自動配信端末の画面

図-9 実際の通知内容

土砂災害の発生は人命にかかわる事態を引き起こす危険性が高いため、当然、防災関係機関への情報伝達はできるだけ早く、確実に行われなければならない。この自動配信システムの構築によって、通知資料の自動作成およびメール配信先の自動抽出が行われるため、配信対象市町村が複数にわたる場合でも、砂防課の担当者は通知内容を確認して送信ボタンを押すだけで良い。これによって、送信間違いなどの人為的ミスも防ぐことができ、作業時間の大幅な短縮を行うことができる。また、情報を受け取る側の防災関係機関も、土砂災害危険度情報を適時確認できるようになった。

24

既設管きょとマンホール接続部の耐震化技術 マグマロック工法NGJ

東亜グラウト工業株式会社 技術部 部長 喜多島 恒
藤村ヒューム管株式会社 開発部 主任 ○田澤 貴光

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震において、下水道をはじめとする管路施設に生じた多大な被害状況を基として、下水道においては、1997年「下水道施設の耐震対策と解説」((社)日本下水道協会)が示され、それ以降、新設される管路の耐震化が急速に進んだことは記憶に新しい。一方でそれ以前に埋設された膨大な数の既設管きょとマンホールの接続部(管口部)については、これを容易に耐震化する技術そのものが見受けられないため、耐震性を有しないまま手付かずの状態であるのが現状である。このような耐震性を有しない既設管きょとマンホールの接続部(管口部)は、地震動や地盤の液状化による水平拔出しや屈曲による変位を生じた場合に、破損や複雑なひび割れが発生し、水密性の低下による侵入水(漏水)の発生を招くばかりでなく、地盤沈下や道路陥没を引き起こす原因に繋がる恐れがある。

本工法は、耐震性を有しない既設管きょとマンホールの接続部(管口部)を短時間でレベル2地震動に耐える耐震構造に改善することを目的として開発された非開削耐震化工法であり、平成21年3月に財団法人 下水道新技術推進技術機構から建設技術審査証明を取得した。

1. 1 技術の概要

本工法は、マンホールに接続する管きょの所定の位置に予め誘導目地を設けることにより、地震による大きな衝撃を受けた際に、誘導目地部に沿ってひび割れ、新しく継手部が出来た状態となる。このことから、管きょ側とマンホール側が別々に動けるフレキシブル構造となることで、他への影響を最小限に抑える事を目的としている。N

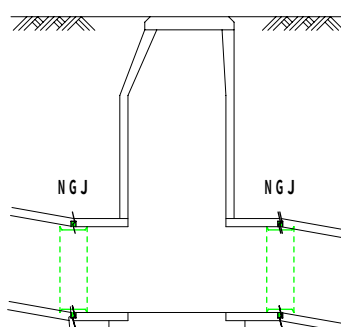


図-1 NGJによる地震時の
概念図

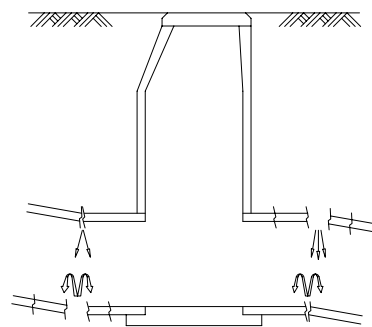


図-2 耐震性を有しない場合に
生じる被害の概念図

GJ (New Guide Joint=誘導目地) による地震時の概念図を図-1に示し、耐震性を有しない場合に生じる被害の概念図を図-2に示す。耐震対策として、NGJを施工した場合には、誘導目地設置後にマグマロック(耐震・止水リング)を設置する。マグマロックは、地震時に誘導目地部に沿ってひび割れ、その後の地震動によって水平方向や屈曲による拔出しに追従し浸入水や土砂の流入、下水の流出を防止する。

施工にあたっては使用する部材や施工装置は内径 600mmの既設のマンホール鉄蓋から搬入できるため、特別な搬入口を新たに設ける必要がない。更に、流水が有っても大掛かりな水換えを必要とす

ることなく施工が可能である。

1. 1. 1 適用範囲

適用範囲は以下の通りである。

管種類：鉄筋コンクリート管、更生管（自立管、複合管）

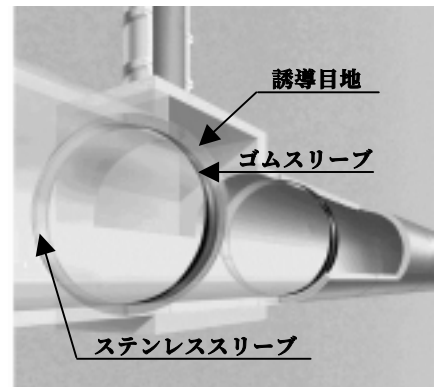
適用内径：200～700mm（マグマロック工法 mini・NGJ）、800～3000mm（マグマロック工法 NGJ）

1. 1. 2 使用材料

基本材料は、ステンレススリーブとゴムスリーブで構成されている。マグマロック工法NGJのイメージ図を図－3に示す。

（1）ステンレススリーブ

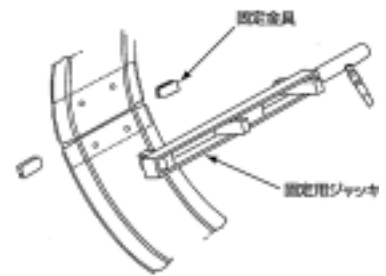
内径 200～700mmまでのステンレススリーブは、1枚のステンレス板を円筒状にロール加工されている。内径 800～3000mmのステンレススリーブは、3分割されている。図－4に示すように、各スリーブの端部を、くさび状の固定金具の挿入による拡張を行いながらゴムスリーブを管内壁面に圧着し強固な一体リングを形成し、地震による変位に対して追従し、高い水密性能を保持する。



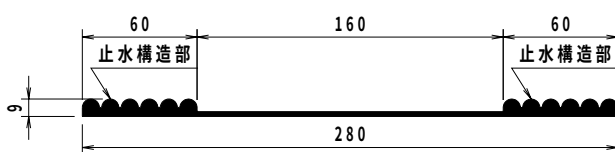
図－3 マグマロック工法NGJのイメージ図

（2）ゴムスリーブ

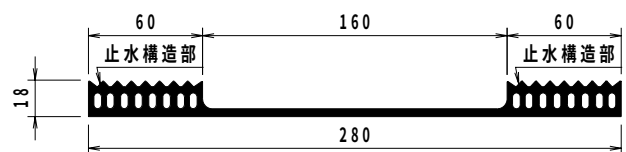
ゴムスリーブは、円筒状に一体成形加工され、図－5、6に示すように、断面の両端に止水構造部を設けている。止水構造部は、地震によって発生する水平方向の拔出しや屈曲による圧縮に対し追従し水密性を維持できる構造となっている。



図－4 固定金具の挿入作業



図－5 内径 200～700 用ゴムスリーブ断面図



図－6 内径 800～3000 用ゴムスリーブ断面図

1. 1. 3 施工装置

主な施工装置は、誘導目地を所定の深さまで切削する誘導目地切削機とマグマロックを設置する拡張・固定装置である。内径 200～700mm用と内径 800～3000mm用で仕様



写真－1 誘導目地切削機



写真－2 内径 1350 での施工機械使用状況

が異なる。誘導目地切削機の切削状況を写真－１に示し、呼び径 1350 による管内水深が 25%の状態でのマグマロック設置状況を写真－２に示す。

1. 2 開発目標に対する検討項目

本工法の開発目標は次のとおりである。

①誘導目地部にひび割れが誘導できること

A. 2点支持1点载荷による曲げ試験で誘導目地にひび割れが誘導できること

B. 片持ちばりによる曲げ試験で誘導目地にひび割れが誘導できること

②液状化した際の地盤の永久ひずみによる拔出し及び屈曲による拔出しが生じた場合でもマグマロックの水密性が維持できること

「下水道施設の耐震対策指針と解説 1997年版」社団法人 日本下水道協会（以下「指針」という。）に基き、拔出し量と屈曲角の目標値を次のように設定した。

A. 液状化した地盤の永久ひずみによる拔出し量

拔出し量については、最も厳しい条件となるレベル2地震動による液状化した地盤の永久ひずみの最大値 1.5%に設定する。管長が既設管きょ（ヒューム管）の標準長さ 2430mmの場合での拔出し量（ δ ）を算定すると、 $\delta = 2430 \times 0.015 = 36.5\text{mm}$ となる。

B. 地震動による屈曲角

「指針」では、既設管きょ（ヒューム管）の標準管長 2430mmの場合、レベル2地震動による屈曲角は、およそ $0.003 \sim 0.73^\circ$ と示されている。

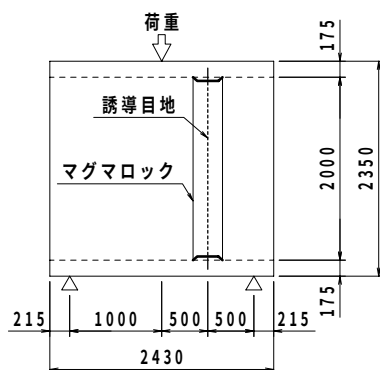
A、Bの条件より、本工法の耐震性については、次の条件下で、外水圧 0.1MPaに耐える水密性を有すること。

変位量は、①水平拔出し量 37mm②曲げ拔出し量 37mm、かつ屈曲角 0.8° とする。

2. 試験結果

①誘導目地部にひび割れが誘導できること

A. 2点支持1点载荷による曲げ試験で誘導目地に沿ってひび割れを誘導できることを確認した。

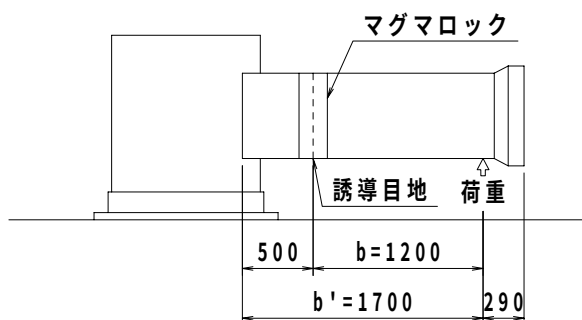


図一七 2点支持1点载荷による曲げ試験概略図



写真－３ 誘導目地に沿って破断した供試体

B. 片持ちばりによる曲げ試験で誘導目地に沿ってひび割れを誘導できることを確認した。



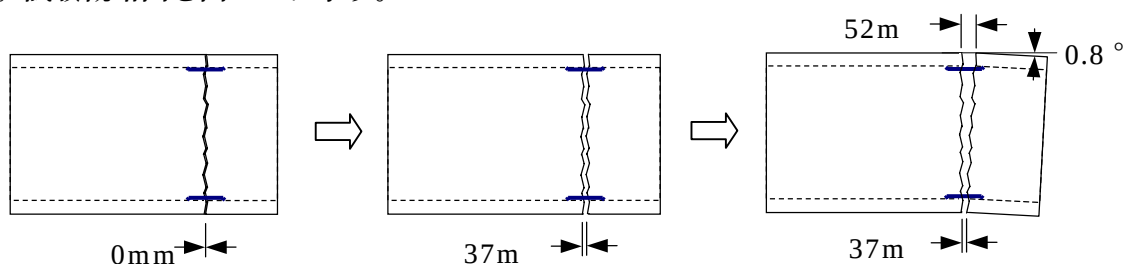
図－8 片持ちばりによる曲げ試験概略図



写真－4 誘導目地に沿って破断した供試体

②液状化した際の地盤の永久ひずみによる拔出し及び屈曲による拔出しが生じた場合でもマグマロックの水密性が維持できること

地震による液状化変位量を想定した試験設定値 37mmの水平拔出し状態に設定し、外水圧 0.1 MPaを加え、3 分間保持し、漏水の無いことを確認した後、更にレベル 2 地震動による屈曲角を想定した 0.8° の屈曲を行い、外水圧 0.1MPaを加え、3 分間保持し、漏水の無いことを確認した。試験概略図を図－9 に示す。



図－9 水密試験概略図

3. まとめ

マグマロック工法 NGJ は、一連の確認試験によって、既設管きょとマンホール接続部（管口）についてレベル 2 地震動に対し耐震性を有することが確認できた。ここに示さない内径 250～700mmを対象としたマグマロック工法 mini・NGJ については、建設技術審査証明書 既設管きょ・マンホールの継手部および接続部の耐震化技術「マグマロック工法」（平成 21 年 3 月版）を参照されたい。

4. 結び

マグマロック工法 NGJ は地震時に被害が集中する既設管きょとマンホール接続部（管口部）を耐震構造に改善する耐震化工法として開発を進めてきた。地震時に被害が多く見られたマンホールと管きょ接続部にこの工法を事前に適用することにより、地震災害時の甚大な被害を最小限に防止することができる耐震化技術である。

参考文献

- 1) 建設省都市局下水道部監修：下水道施設の耐震対策指針と解説-1997 年版-（社）日本下水道協会
- 2) 下水道施設耐震計算例 ー管路施設編ー 前編 2001 年版 （社）日本下水道協会

ハーモニカ工法

大成建設株式会社	技術センター	土木技術開発部課長	○高倉	克彦
	技術センター	土木技術開発部課長	足立	英明
	技術センター	土木技術開発部課長代理	新宅	建夫
	技術センター	土木技術開発部室長	森田	泰司

1 はじめに

都市部には「開かずの踏み切り」や「主要幹線道路との交差点」などの交通渋滞発生箇所があり、近年こうした交通渋滞を解消するために立体交差事業が進められている。

これらの場所にアンダーパス方式の立体交差を構築する場合、これまで地上部に施工ヤードを設置して開削工法にて躯体の構築が行われてきているが、広い施工ヤードを必要とすることや施工期間が長いことから新たな交通渋滞の発生や周辺環境に与える影響等が大きな問題となっている。

そこで、これらの問題を解決し、短期間でアンダーパスを構築できるハーモニカ工法を開発した。

2 工法概要

ハーモニカ工法とは、矩形断面の大きなトンネルをいくつかの小断面に分割し、小型の掘削機で繰返して掘削した後、その内周部に躯体を構築して大きな断面を構築する施工方法である。

小断面のトンネルを積み重ねた断面の形状が、ハーモニカの吹き口に似ていることからこの工法を「ハーモニカ工法」と命名した（図－2 参照）。

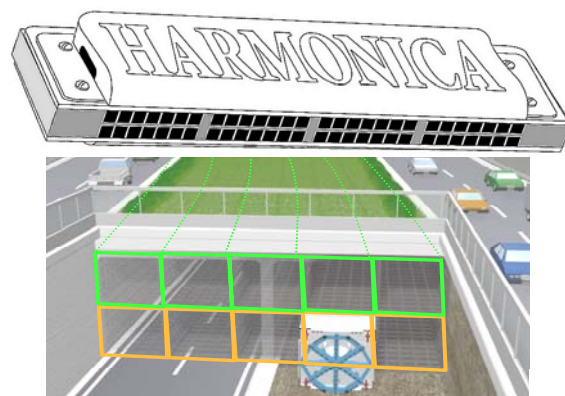
小断面のトンネルで使用する矩形のリングは鋼製（鋼殻と呼ぶ）を基本とし、鋼殻には隣接するトンネルとの離隔の制御と止水を兼ねた特殊構造の継手を配置する。写真－1 に鋼殻仮組状況、写真－2 に特殊継手の例を示す。

断面の分割数は、構築するアンダーパスの寸法、現場条件、掘削機・鋼殻の運搬条件などによって決定される。

また、トンネル同士を隣接して掘進するため、掘進方法はテール内で鋼殻を組立て



図－1 アンダーパスのイメージ



図－2 ハーモニカ工法のイメージ



写真－1 鋼殻仮組状況



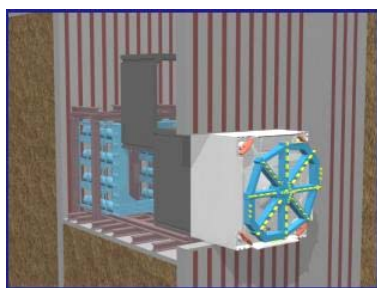
写真－2 特殊継手例

るシールド方式ではなく、立坑内で鋼殻を供給する推進方式とする。なお、掘削機には基本的に密閉型の泥土圧式を採用する。

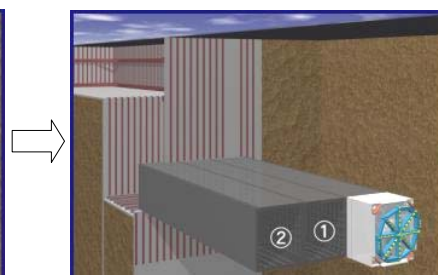
3 施工手順

ハーモニカ工法の施工手順を図－3に示す。

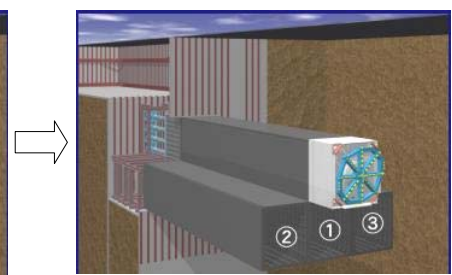
- (Step1) まず下段中央より最初のトンネル①を掘削する。このトンネルの掘進精度は全てのトンネルの掘進精度に影響を与えるため、より慎重な施工が要求される。
- (Step2) 引続きトンネル①に隣接するトンネル②、③を掘進する。
- (Step3) 次に発進、到達立坑下に構台を組立てた後、トンネル④～⑥を順次掘進する。
- (Step4) 全てのトンネル掘削完了後、トンネル間の継手に止水処理を行う。
- (Step5) 躯体の底版となる位置のスキンプレーートを切断撤去する。
- (Step6) 底版部の鉄筋を組立てる。
- (Step7) 底版コンクリートを打設する。以後、側壁・頂版の構築を行う。側壁上部ならびに頂版については締固め不要の高流動コンクリートを使用する。
- (Step8) 躯体内部に残された鋼殻部材を切断撤去する。
- (Step9) 躯体構築完了。



Step1 最初のトンネル掘削



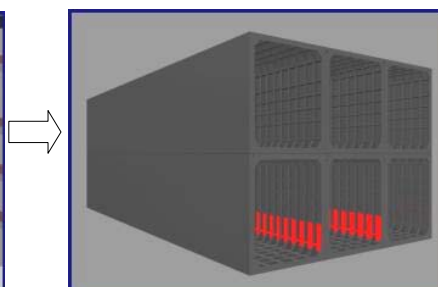
Step2 後続トンネルの掘削（下段）



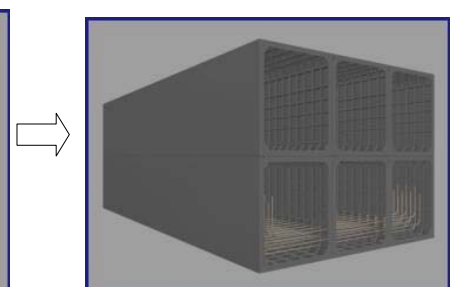
Step3 構台組立て，上段の掘削



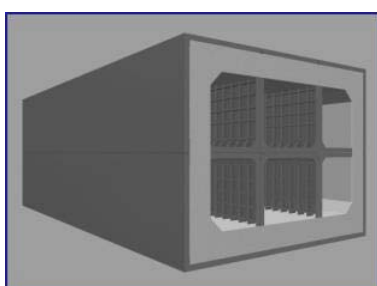
Step4 止水処理



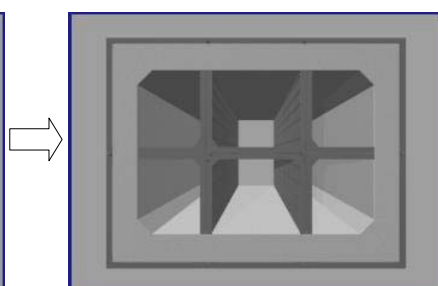
Step5 スキンプレーート撤去



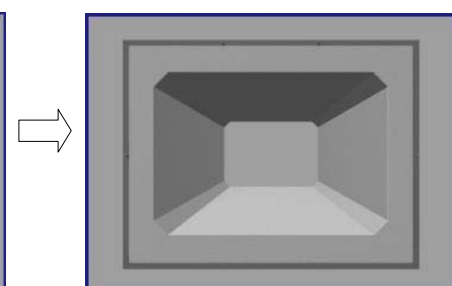
Step6 鉄筋組立て



Step7 躯体構築工



Step8 躯体内部鋼殻撤去



Step9 躯体構築完了

図－3 施工手順

4 工法の特徴

ハーモニカ工法には、既存の非開削工法である外殻先行工法やシールド工法などと比較して、以下の特長を有する。

4. 1 外殻先行工法と比較した場合

- ・100mを超える距離の掘削が可能。
- ・曲線施工が可能。
- ・発進部・到達部以外には薬液注入などの補助工法が不要。
- ・トンネルの掘進が完了した段階で、大断面の掘削作業が完了。

4. 2 シールド工法と比較した場合

- ・低土被りでの施工が可能。
- ・地表面に与える影響が少。
- ・施工ヤードが小規模。
- ・全断面の掘削機に比べ安価。

土被り及び施工距離について、ハーモニカ工法、シールド工法及び外殻先行工法の適用範囲を図-4に示す。ハーモニカ工法は外殻先行工法に比べてやや深い土被りまでの施工が可能であり、シールド工法に比べて浅い土被りでの施工を可能にしている。

5 ハーモニカ工法の適用例

2009年7月現在、ハーモニカ工法は4作業所5箇所の施工実績を有しており（表-1参照）、その用途は道路、鉄道、地下通路と多岐に渡っている。ハーモニカ工法適用状況を以下に述べる。

5. 1 東京ミッドタウンプロジェクト通路③・①通り

交通量や地下埋設物の多い都道下を横断して設置する連絡通路建設の一部において、地下埋設物を効率的に避けるための縦断方向曲線施工（R=190m）が可能であることならびに掘削機を90°回転し転用することにより、断面形状の異なる2箇所の通路を1台の掘削機で掘削可能であることからハーモニカ工法が採用された。図-5に2箇所の通路に対する掘削機の転用方法、

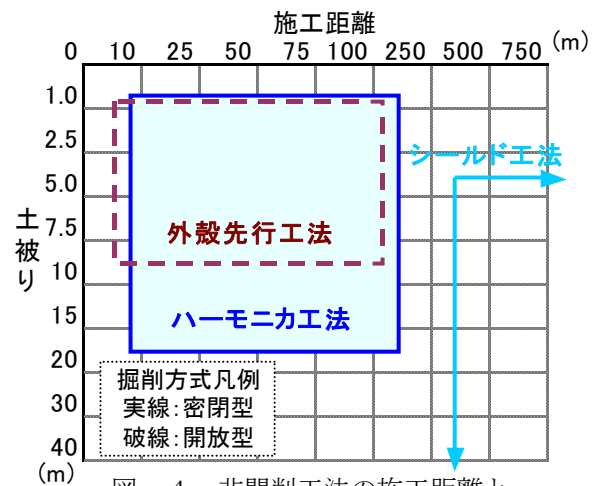


図-4 非開削工法の施工距離と土被りに関する適用範囲

表-1 ハーモニカ工法の施工実績

地域	工事名	用途	距離 ×断面	備考
東京	東京ミッドタウンプロジェクト通路③通り	地下道	30.0m × 4 函体	曲線施工（縦断方向） R=190m
	東京ミッドタウンプロジェクト通路①通り	地下道	40.0m × 6 函体	開削トンネルに接続
関西	西大阪延伸線建設工事 3工区	鉄道 トンネル	20.9m × 6 函体	下水道大型管渠横断 交差点部
千葉	第2ターミナル駅 増築工事（北側）	鉄道線 増設工事	37.5m × 4 函体	刃口推進 障害物（杭）撤去
横浜	国道1号原宿交差点 立体工事	道路部 立体交差	73.0m × 10 函体	曲線施工 （平面、縦断方向）

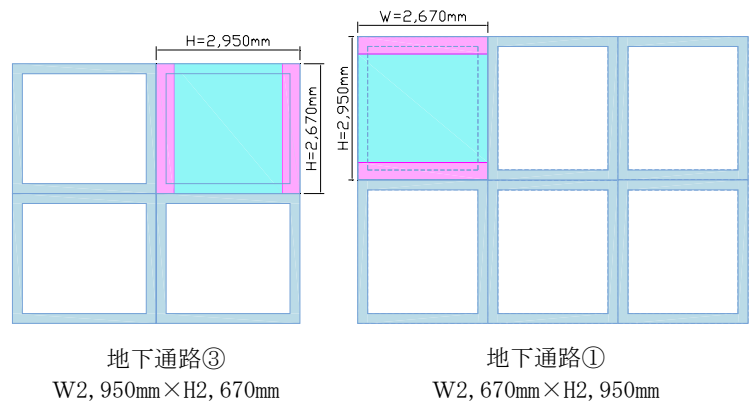


図-5 マシン転用（90°回転）

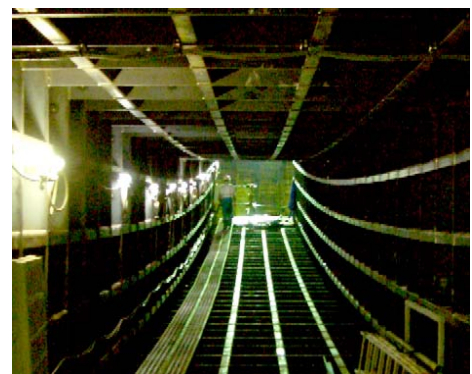
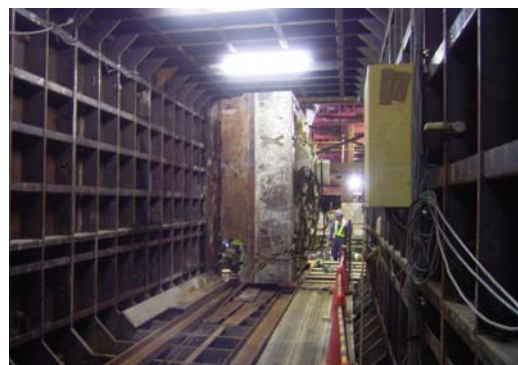


写真-3 縦断曲線（R=190m）

写真－３に縦断曲線施工時の鋼殻内部を示す。

５．２ 西大阪延伸線建設工事（３工区）

埋設物が輻輳して存在する交差点区間（延長 21.5m）において、原設計の開削工法に対して、掘削時の埋設物への影響を少なくすることおよび交差点内での作業を極力少なくするためにハーモニカ工法が採用された。なお、到達側に反力設備やその他の設備を設置することが工程上できなかったため、到達立坑にて掘削機を解体し再び発進立坑に移送する必要があったが、大型のクレーンを地上に設置すると周辺道路への影響が懸念されたため、到達立坑内で掘削機を解体後、掘削の完了しているトンネル内を利用して掘削機を発進立坑へ引戻すことにした。写真－４にトンネル内の掘削機移送状況を示す。



写真－４ トンネル内での掘削機坑内移送

５．３ 第２ターミナル駅増築工事（北側）

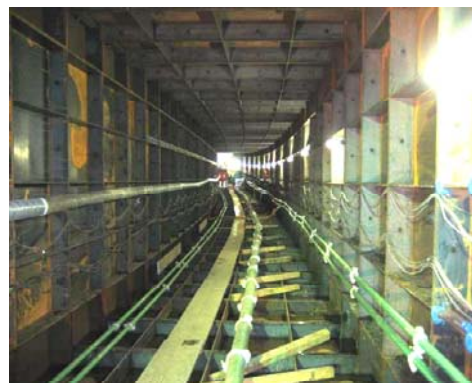
路線上に支障物（既設 P H C 杭）が存在し、開削工法はもとより他の非開削工法でも施工が困難な状況であったため、開放型掘削機によるハーモニカ工法が採用された。支障物撤去と掘進を交互に行いながらトンネルの構築を完了した。写真－５にその開放型掘削機を示す。



写真－５ 開放型掘削機

５．４ 国道１号原宿交差点立体工事

交通量が多いため非開削工法による施工となるが、平面曲線（ $R=320m$ ）と縦断曲線（ $R=1000m$ ）が複合する複雑な道路線形に対応するためにハーモニカ工法が採用された。複合曲線への対応としては、鋼殻構造を平面・側面ともに台形形状とすることとした。写真－６に複合曲線トンネル内部を示す。

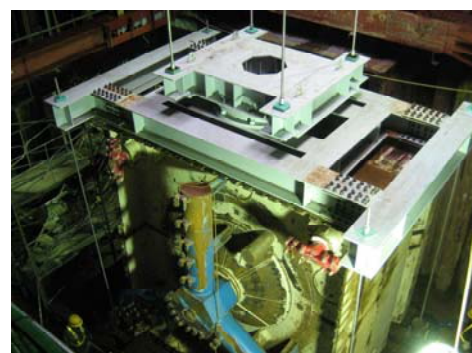


写真－６ 複合曲線

また、本工事では、両側の立坑に発進設備が設置可能であったこと、さらに掘削機を回転させるための特殊な治具の使用により、次の掘進のための準備を短時間で行うことができた。写真－７に掘削機の回転状況を示す。

６ むすび

ハーモニカ工法は、都市部における交通渋滞解消を目的として構築されるアンダーパス等を、厳しい環境下において、短期間に安全かつ低コストで構築する技術である。現在もこの特徴を伸ばすための開発を行っているところである。



写真－７ 掘削機回転状況

謝辞

この工法が採用されてきていますのは、発注者の皆様にご理解を頂いた賜物と考えます。ここに謹んで御礼申し上げます。

トンネル坑口の騒音対策としてサイレントエコパネルの提案

株式会社ガイアート T・K 新事業部担当部長 山田健之

1. はじめに

トンネル坑内では車両走行時のエンジン音やタイヤと路面間で発生する騒音（ロードノイズ）がトンネル内で反射すると共に、坑内の吸音力がほとんど見込めないため音圧レベルが上昇しトンネル坑口から外部へ放出される。

これは交通量の多い道路においては沿道住民に対する騒音公害となるケースもあり、この場合の騒音対策としては以下が考えられる。

- ① 騒音低減効果のある高機能舗装（発生音の低減）
- ② 遮音壁（音の回折による低減）
- ③ 環境施設帯（音の距離減衰による低減）
- ④ 交通流対策（速度規制や通行制限等による発生源自体の低減）

道路騒音の環境対策としては騒音低減効果のある①の高機能舗装による対策が一般的であるが、ロードノイズの中心周波数帯域とされる 1k Hz 付近の吸音が期待されるものの、エンジン音を中心とした 250～500 Hz 帯域付近の騒音周波数帯域の吸音効果は余り期待できない。更に、舗装面の空隙への目詰まりにより吸音性能も低下する為に、定期的な路面洗浄等の維持管理が必要となる。又、②や③の遮音壁や環境施設帯等との複合的な組み合わせにより確実な騒音低減も検討されるが、住宅地や観光地等においては日照や風の流れ及び景観等の阻害の問題や、用地取得並びに敷設費用の関係から、遮音壁や環境施設帯が設置できない場所も多いのが現状である。更に、④の交通流対策の内の通行制限に関しては対象道路に並行するバイパス道路の存在が不可欠となり、そうした道路が存在しない場合は実現できない事である。又、速度制限については法定速度を厳守させる措置を徹底する事で規制以上の速度で走行する車両から発生するロードノイズや風切り音等の抑制が期待されるが、エンジン騒音の抑制は余り期待できない。更に運転者の対応によってはロードノイズや風切り音等の騒音低減自体も確実なものではなくなってしまう。確実に吸音効果が期待できて維持管理も含め経済的な騒音対策工法が求められるところである。

今回は、トンネル坑内から放出されるエンジン音からロードノイズまでを含む比較的広い周波数帯域の騒音を、比較的小規模（抗口から奥に 30m 程度に設置）で安価な施工により確実に低減できる「サイレントエコパネル」の紹介を行う。

2. サイレントエコパネルの概要

サイレントエコパネルは、リサイクルガラスを使用した、軽量かつ低周波数領域の吸音性能が高いエコサウンドパネルと、ポーラスコンクリート製で耐久性に優れ、ロードノイズの中心周波数である 1,000Hz 帯域付近に高い吸音性能を持つサイレントポーラスパネルを組合せることで、広範囲の周波数帯域で、高い騒音低減効果が得られる複合式吸音パネルである。以下に、それぞれのパネルの説明

を行う。

① エコサウンドパネル

エコサウンドパネルは、リサイクルガラスを焼成発泡させた、軽量で加工性に優れた吸音パネルである。パネル厚さが 10 mm と薄く、背面の空気層の厚さを変えることが容易で、空気層厚さを調整することにより吸音率の卓越周波数帯域を調整することができる。



写真-1 エコサウンドパネル正面写真 (2 枚組)

表-1 エコサウンドパネル標準仕様

材質	リサイクルガラス
パネルサイズ	1,000×1,000×10mm
重量	10kg/枚

- 建設技術評価取得 建技評第 96431 号
- エコマーク認定商品 認定番号第 98064002 号
- 不燃認定 (吸音板) 不燃 (個) 第 11894 号

② サイレントポーラスパネル

サイレントポーラスパネルは、ポーラスコンクリートを材料とした不燃性で排水性能に優れた吸音パネルである。特に 1k Hz 付近の周波数帯域で吸音率が高く¹⁾、車両の走行に伴いタイヤと路面間で発生するロードノイズの騒音低減対策として有効である。



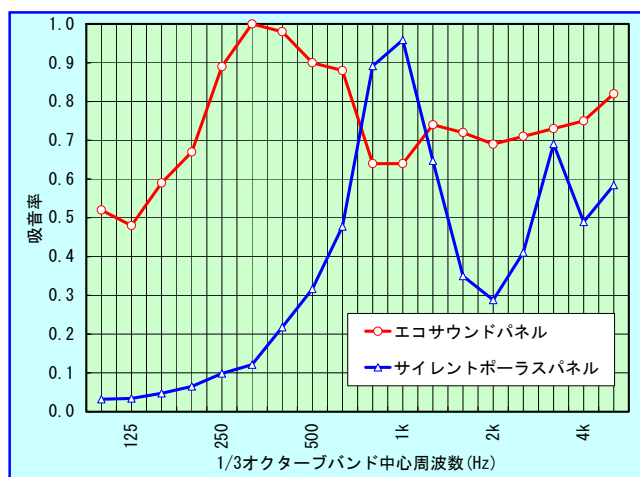
写真-2 サイレントポーラスパネル

表-2 サイレントポーラスパネル標準仕様

材質	ポーラスコンクリート
パネルサイズ	1,000×500×50mm
重量	45kg/枚
空隙率	24～30%
最大骨材寸法	5mm

両パネルを組み合わせることにより、図-1 に示すように、車両から発生するエンジン音を中心とした 250～500 Hz 帯域付近の騒音および車両の走行騒音を中心とした 1k Hz 帯域付近の騒音を大きく低減できる。

表-3 残響音室による吸音率



エコサウンドパネル背後空気層 200mm

サイレントポーラスパネル背後空気層 0mm

3. 京都北部クリーンセンターでの施工事例

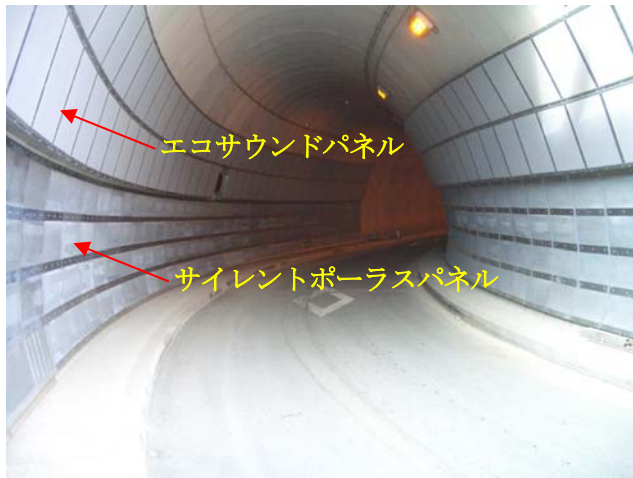


写真-3 施工完了写真（退出側）

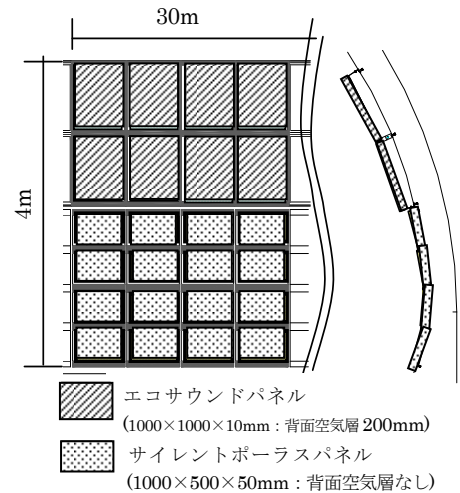


図-1 施工正面図及び側面図

サイレントエコパネルは京都市の北部に建設された清掃工場（京都市北部クリーンセンター）の出入り口（進入路及び退出路）の騒音対策として採用されて、平成18年7月～9月に初の施工を行った。騒音低減対策の目標値は、トンネル内を走行するパッカー車（ごみ収集車）の騒音を坑口から20m離れた敷地境界で7 dBA低減する事であった。この目標値を達成する為に低減予測検討の試算を行った上で、トンネル延長約250mのトンネルの坑口から奥に延長30mの範囲に高さ4m（サイレントポーラスパネル2m＋エコサウンドパネル2m）という施工数量を定めた。施工後にトンネル坑口から5mに音源（スピーカー）を設定し、敷地境界（坑口より30m）での音の吸音効果を測定した結果、9 dBAの低減効果が確認された。



写真-4 施工完成写真（左側：進入路、右側：退出路）
（敷地境界付近より）

4. まとめ

平成20年10月～11月にかけては長野県内において2件目の工事を行い、5～12 dBA程度

の騒音低減効果が確認された。尚、本工法はトンネル坑内に設置した場合はトンネル坑口から放出される騒音に対して効果を発揮するものであり、トンネル外の騒音に対しての効果は期待できない。しかし、トンネル外においても中央分離帯や道路路側帯に設置した場合はそれなりの効果は期待できる為に、様々な現場条件に対応させる事も含めて工法の確立及び発展を図っていく所存である。

10 年供用後の実路における路上路盤再生工法 (SKS 工法) の供用性について

新潟市秋葉区 建設課 清野 章
鹿島道路(株) 技術研究所 ○神下 竜三
(株)エコロードコンサルタント 遠藤 哲雄

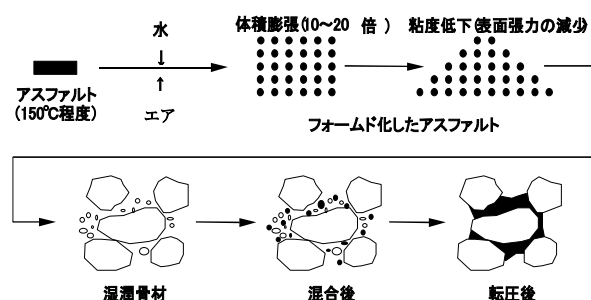
1 はじめに

近年、舗装業界においても省エネルギー、コスト削減、リサイクルに加え、炭酸ガス発生量抑制など環境保全に対する関心が急速に高まりつつある。このような社会的ニーズに対応する工法の一つとして常温混合方式である、路上再生路盤工法が挙げられる。路上再生路盤工法では、フォームドアスファルト、アスファルト乳剤、セメントなど種々の安定材を使用するが、その性状や供用性は使用する安定材によって異なる。

本文は、平成 10 年 9 月に新津市道（現：新潟市道）において、フォームドアスファルトを使用した混合物（以下 SKS 工法と称す）など 3 種類の路上再生路盤工法を同時期に施工した事例について、施工前から約 10 年経過後の現在までの追跡調査結果を報告するものである。

2 SKS 工法とは¹⁾

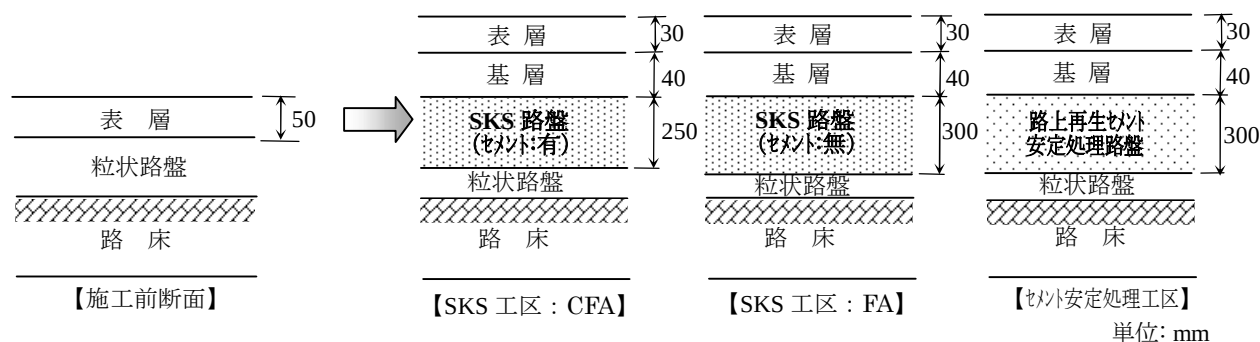
SKS 工法には、フォームドアスファルトのみによる常温瀝青安定処理工法（FA 工法）と、セメントを併用したセメント・瀝青安定処理工法（CFA 工法）の 2 種類があり、両工法ともに高温のアスファルトに少量の水（1.5～2.5%）とエアーを添加することによって、液状のアスファルトをフォームド（泡状）化し、アスファルトの持つ粘性および表面張力を減少させて、常温で湿潤状態の骨材とアスファルトを混合し安定処理するものである。（図－1 参照）。



図－1 フォームドアスファルト混合物のメカニズム

3 調査路線概要

- (1) 路線名：新津市道北上第 6 号覚路津線（現新潟市道）
- (2) 施工時期：平成 10 年 9 月
- (3) 施工断面：各工区の施工断面は、図－2 に示すとおりであるが、各工法の等値換算係数の違いにより路上再生路盤厚さが異なっている。



図－2 施工断面図

4 追跡調査結果^{2) 3)}

4. 1 FWDによる舗装の支持力測定

当該路線におけるFWD調査は工事完成後、継続的に行われており、今回の調査は供用126ヵ月経過したものである。よって、今回の検討では、前回まで（補修前、供用9、17、54ヵ月後）のたわみ量の調査結果とあわせて比較・検討を行った。

(1) 舗装全体の支持力について

図-3 に補修前、および供用9、17、54、126ヵ月後における各工区のたわみ量 D_0 を示す。

- ① 126ヵ月経過後のたわみ量 D_0 は、54ヵ月後の調査結果と同等の値であり、さらに3工区の中で最もたわみ量が多いSKS工区：FA（セメント無）であっても、舗装計画交通量：250以上1,000未満（台/日・方向）交通量区分：N₅）の限界たわみ量（= $D_0:0.6\text{mm}$ 以下³⁾）を十分に満足している。供用から126ヵ月（10年6ヵ月）経過したが、現在も舗装構造全体として健全な状態を保持していると考えられる。

- ② 各工区の舗装全体の支持力の差（たわみ量 D_0 の大小）は、上層路盤のセメント添加の有無に関係しており、舗装全体の支持力をたわみ量から判断すると、SKS工区：CFA（セメント有）とセメント安定処理工区は同程度であると考えられる。

(2) たわみ曲線の比較

図-4～6 に工区毎の代表的なたわみ曲線を示す。

- ① SKS工区のたわみ曲線の形状は、セメント添加の有無に拘らず、補修前と比較すると供用期間とともに直線に近い線形に変化してきている。たわみ曲線は、直線に近いほど舗装体の剛性が大きいと判断できることから、補修後の交通荷重の繰返し载荷により路盤中のアスファルトが延伸し、剛性が高まったものと推察される。
- ② セメント安定処理工区については、経時的なたわみ量の減少の傾向は見受けられず、補修を行った時点からのたわみ曲線の変化は非常に少ない。

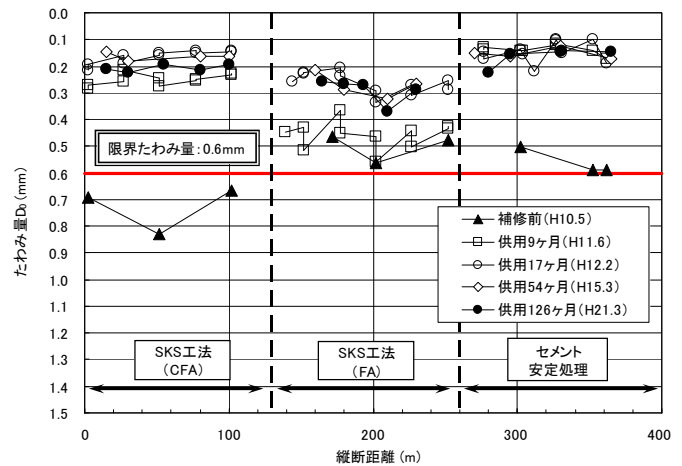


図-3 各工区のたわみ量 D_0

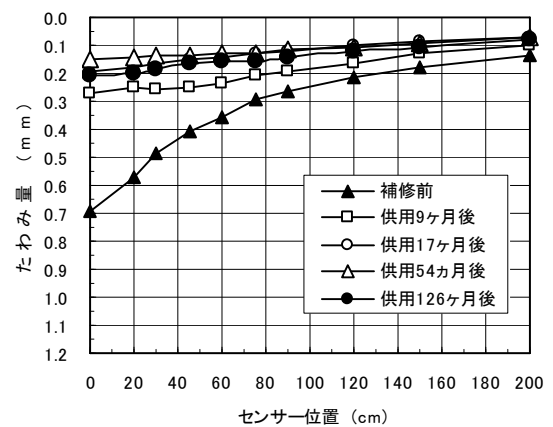


図-4 たわみ曲線 [SKS 工区(CFA)]

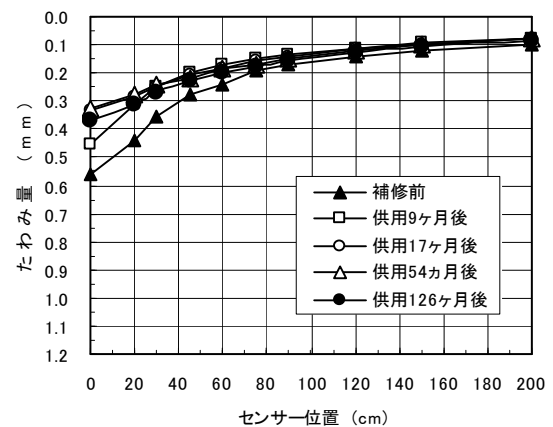


図-5 たわみ曲線 [SKS 工区(FA)]

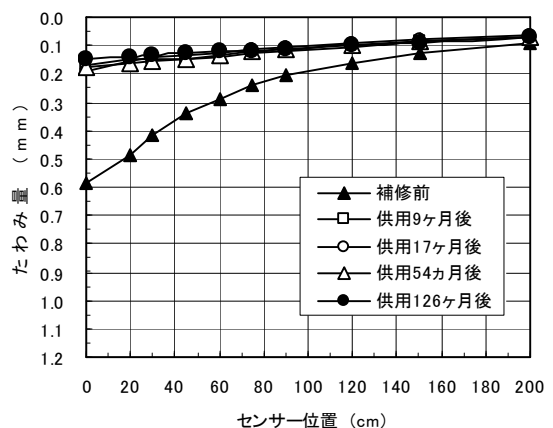


図-6 たわみ曲線 [セメント安定処理工区]

4. 2 振動測定

(1) 概要

126 ヶ月経過時の調査では、各工区の代表的な測点において、FWDを加振源とした載荷時の路面振動を測定した。データは、鉛直方向（Z 成分）の振動加速度を測定し、解析によってFWD載荷時のピーク値と卓越振動数を求めた。載荷荷重は24, 5kN、49kN、78kNとし、振動ピックアップはFWDのたわみセンサーに対して平行に0m（D₀の位置）、2m（D₂₀₀の位置）の位置に設置した。なお、比較対象として表層のみ切削オーバーレイ（t=30mm）で補修している隣接区間（以下、N区間という）でも測定した。

(2) 解析手法

振動加速度はサンプリング周波数を2,560Hz（1/2560s）として記録した。記録した振動加速度をある時間範囲△t_iごとに周波数解析（1/3 オクターブバンド解析）を行い、①式より振動加速度レベルのオールパス（周波数ごとの振動加速度レベルの総和）を求めた。ここで得られたピーク値の大きさにより振動加速度レベルを評価した。

$$L_a = 10 \log[(10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + \dots + 10^{L_{An}/10})] \quad -①$$

ただし、L_a：振動加速度レベル(dB)

L_{A1}... L_{An}：周波数ごとの振動加速度レベル(dB)

(3) 振動加速度レベルと周波数分析

FWD載荷荷重49kN、振動測定位置0mの時の振動加速度レベルのピーク時における周波数分析結果を図-7に示す。一般的に卓越周波数（振動加速度レベルが最大となる周波数）が15Hz以下の場合には軟弱地盤の可能性があるとされているが、今回の測定結果では補修工法に拘らず、概ね20～30Hz付近に位置する傾向を示した為、当該路線の地盤は軟弱ではないことが確認された。

(4) 振動加速度レベルとたわみ量の関係

FWDを加振源とした振動測定結果と、載荷時に測定したたわみ量の関係を図-8、図-9に示す。

振動測定位置0mにおける振動加速度レベルを各工区の同荷重で比較するとD₀のたわみ量と相関が認められ、より剛性の高い路盤が振動低減に寄与することを確認できた。一方、振動測定位置2mでは各工区でほとんど差が認められなかった。これは、この位置でのたわみ量が全工区で同条件である路床以深の支持力を評価したためであると考えられる。

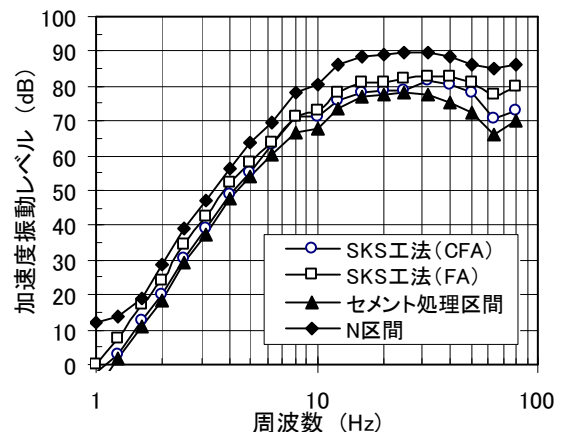


図-7 振動加速度レベル（ピーク時）の周波数分析（FWDの載荷荷重49kN）

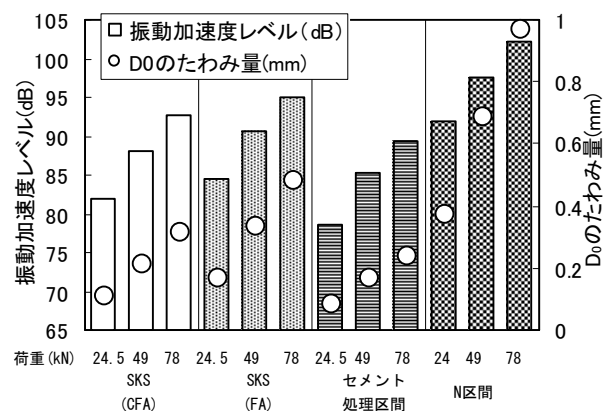


図-8 振動加速度レベル（0m）とたわみ量D₀の関係

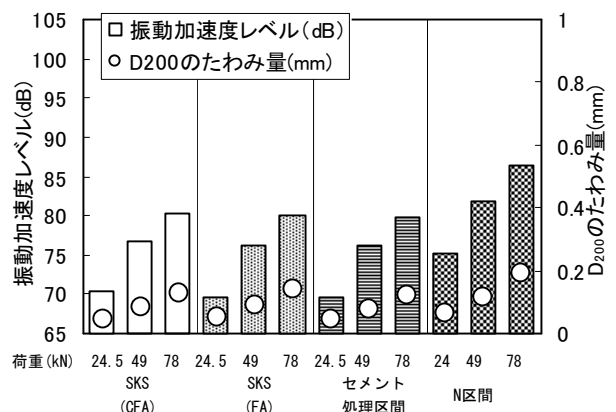


図-9 振動加速度レベル（2m）とたわみ量D₂₀₀の関係

4. 3 路面性状の測定

現況の路面性状の評価として、ひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性を測定し、各測定結果から路面性能の評価指標であるMC I（維持管理指数）を算出した。各工区の路面性状測定結果を表－1に、MC Iの経時変化を図－10に示す。

図－10より、3工区ともに前回（供用4年6ヶ月）の調査結果よりもMC Iは低下したものの、道路舗装の維持・修繕基準（MC I =5以上：望ましい管理基準）⁴⁾を満足していることが確認された。また、供用から10年以上経過した現在においてもSKS工区：CFA、FAはセメント安定処理工区と比較して、良好な結果を示している。これはセメント安定処理工区に発生した横断方向のひび割れ（写真－1参照）が影響していると考えられ、健全な路面性状を長期間維持するためには、路盤には剛性と共にアスファルトの添加等による適度なたわみ性も必要な機能であると考えられる。

5 おわりに

FWD測定結果と併せて今回の調査結果をまとめると表－2のようになる。同一路線において3種類の安定材による路上再生路盤工法を施工し、供用126ヶ月後（10年6ヶ月）の支持力調査および路面調査を実施した結果、供用後の時間経過とともに安定材の違いによる差異が認められ、補修工法としてのSKS工法の有効性が確認できた。また、当該路線ではFWDを加振源とした振動測定を今回の調査で初めて実施したが、振動加速度レベルとFWDによるたわみ量には相関があることが認められ、より剛性の高い路盤が交通によって発生する振動の低減に寄与していることが確認できた。今後は舗装断面の違いによる振動低減効果を確認すると共に、当該路線の追跡調査を継続することで、経時的な振動加速度レベルの変化についても確認していく予定である。

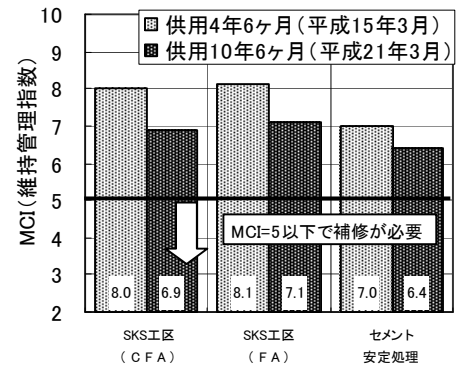
今後も路上再生路盤工法の特性や効果を明確にするとともに、その適性に応じた適用箇所についての検討を進めていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 岩原、海老澤、坂本他：フォームドスタビ混合物の性状および適用事例、舗装、1998. 10
- 2) 藤田、内海、谷本：路上再生路盤工法の供用性に関する報告、第23回日本道路会議一般論文集（C）
- 3) FWD運用マニュアル（案）：（財）道路保全技術センター
- 4) 舗装標準示方書：土木学会

表－1 路面性状測定結果

項 目	供用10年6ヶ月（平成21年3月）		
	SKS工区（CFA）	SKS工区（FA）	セメント安定処理
各工区の各車線			
ひび割れ率（%）	0～1.7	0.1～0.2	2.4～2.5
わだち掘れ量（mm）	8.0～11.0	10.0～12.0	6.0～9.0
平坦性（mm）	0.93～1.24	1.52～1.80	1.32～1.51
MC I	6.3～7.4	7.0～7.1	6.3～6.4
MC Iの平均値	6.9	7.1	6.4



図－10 MC Iの経時変化



写真－1 セメント安定処理区間に発生したひび割れ

表－2 供用性評価結果

工種	供用性評価
SKS工法（CFA）	たわみ量は供用時間の経過による大きな変化はなく、舗装支持力に問題ない。CFAは適度な剛性とたわみ性を有しているが、若干ひび割れ、わだち掘れ等の不具合が認められた。
SKS工法（FA）	たわみ量は供用時間の経過による大きな変化はなく、舗装支持力に問題ない。特に目立ったひび割れは認められないが、わだち掘れ量は3工区で一番大きい。
路上再生セメント安定処理工法	剛性が大きく、舗装支持力には問題ないが、セメントの硬化収縮に伴う横断ひび割れが進行しており、今後の耐久性に問題が残る。（写真－1参照）

アスファルト混合物の中温化剤「エコペーブ」

東亜道路工業株式会社 北陸支社 技術部 小河 浩幸

1 はじめに

近年の地球温暖化は、地球規模での環境問題とされており早急な対策が急務となっている。2005年2月に京都議定書が発効され、2008年7月に開催された洞爺湖サミットの議長総括で2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を少なくとも50%削減するというビジョンを掲げている。

また、舗装に関する技術基準類は、平成13年に「舗装の構造に関する技術基準・同解説」が発刊され、その中で「舗装の施工に当たっては、環境への影響の少ない施工方法を積極的に採用し、広域的な環境の保全に努めるものとする。」と明記されている。

このような中、わが国の温室効果ガスの約9割は、エネルギー消費による二酸化炭素（CO₂）の排出となっていることもあり、舗装分野においてもCO₂排出抑制機能を有する舗装技術の様々な取り組みが進められてきている。本報は、様々なそのような技術の中で、加熱アスファルト混合物の製造温度を低下させる技術（中温化技術）について報告する。

2 中温化技術について

中温化技術とは、特殊添加剤や特殊アスファルトを用い、加熱アスファルト混合物の製造温度を通常より30℃程度低下させ、燃料消費量を低減し、CO₂排出量を約15%削減できる技術である。また、混合物の温度低下が早く、施工時に十分な締固めが困難な寒冷期や橋面上の施工に用いて、その施工性を改善するために用いることもある。

これまでに開発されてきた中温化技術は、大別すると以下に示す3種類である。

（1）発泡剤、発泡強化剤および助剤を利用するもの

特殊添加剤によってアスファルトモルタル内に微細泡を発生・分散させ、その働き（ベアリング効果）によって製造時の混合性と舗設時の締固め性を向上させる。

（2）フォームド技術を利用するもの

アスファルトに少量の水を添加して泡状化するフォームドアスファルト技術を応用したもので、見掛け上の増量効果とアスファルトの粘度を低下させ混合性・施工性を向上させる。

（3）アスファルト被膜表面の粘度を調整するもの

アスファルトの粘度を低下させたりアスファルトおよび骨材界面における潤滑を高められる特殊添加剤を使用するもので、製造時の混合性と舗設時の締固め性を向上させる。

わが国で利用されている主な中温化技術は、発泡系である。発泡方式はその効果が、製造から舗設の間で発泡を適切に制御すること、また、バッチごとに添加剤を添加するあるいはプラント設備の改良が必要である。一方、粘度調整方式も添加剤を混合物製造時にバッチごとに投入する手間を要するのが一般的で作業性が劣り、舗設後のひび割れの発生や耐流動性の低下が懸念される。

3 エコペーブ（界面活性剤系）の概要

上記のような課題を克服するため、粘度調整方式でワックス系やオイル系よりも効果が高く、かつ事前にアスファルトに直接添加可能である新たな添加剤として、有機系界面活性剤の中温化剤「エコペーブ」を開発した。エコペーブの外観を写真－1に、性状を表－1に示す。

この有機系界面活性剤の中温化剤「エコペーブ」は、融点が100℃程度であることから、締固め温度領域（融点以上）ではアスファルトに溶解し、それ以下の温度では固化物として存在することになる。そのため供用温度域ではアスファルトの性状に影響なくアスファルト自体の粘度を低減するとともに、アスファルトと骨材の界面に作用することでアスファルト混合物の施工性・締固め性を改善できる。



写真－1 エコペーブの外観

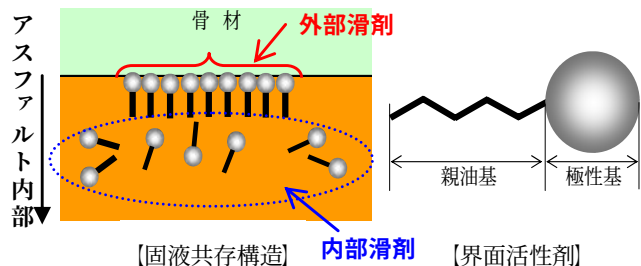
表－1 エコペーブの性状

項 目	代表性状
外 観	白色微粉末
融 点	101℃
密 度	0.965g/cm ³
添加方法	ﾌﾟﾚﾐｯｸｽ・ﾌﾟﾗﾝﾄﾞﾐｯｸｽ

4 作用機構

4. 1 溶解状態

エコペーブは、有機系界面活性剤であり、溶解状態のアスファルトにおいて、その粘度を低下させる作用（内部潤滑効果）とアスファルトと骨材界面のすべり性を向上させる作用（外部潤滑効果）が期待される。アスファルト中に分散するエコペーブの概念図を図－1に示す。

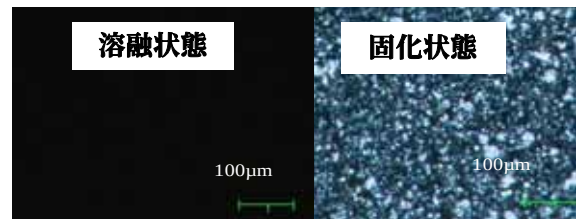


図－1 アスファルト中に分散するエコペーブの概念図

エコペーブは、長鎖脂肪酸からなる新油基と短分子からなる極性基で構成されている。溶解時は、骨材表面（シリカなどのマイナス極性）に親和性の高い極性基（プラス極性）が吸着し、骨材表面付近の中温化剤濃度が増すことで外部滑剤効果が発揮するものと考えられる。

4. 2 固化状態

エコペーブを添加したアスファルトの表面を CCD デジタル顕微鏡により観察（200 倍）したものを写真－2に示す。なお、観察を容易にするため中温化剤を10%添加した。



写真－2 エコペーブを添加したアスファルトの表面

固化状態に見られる白い粒は中温化剤である。エコペーブは、アスファルトが高温で溶解している状態では、アスファルト内部で均一に分散しているが、温度が低下し固化し始めると凝集して粒状に分散するためアスファルトの性状への影響が少ないと考えられる。

5 添加方式の相違による添加量

5. 1 締固め度の検証

エコペーブによるアスファルト混合物の締固め度を検証するために、ジャイレトリコンパクタを用い締固め試験を実施した。

評価方法は、通常の製造温度(改質Ⅱ型:160℃)で製造した混合物がマーシャル基準密度に達するまでの回転数を基準として、エコペーブの添加方式と添加量を変化させて比較を行った。添加方法は、プレミックスとプラントミックスを再現するために、エコペーブをアスファルトに添加する方法とミキサに直接添加する方式の2通りとした。

また、供試体の混合および締固め温度は、通常よりも30℃低い130℃とした。試験結果を図-2に示す。

エコペーブの添加量が増加するにともない、基準密度に達するまでの回転数は減少し、締固め特性の改善が見られる。また、プレミックス方式のほうが、締固め特性の改善効果が高いことが分かる。これは、プラントミックス方式では混合物中のエコペーブの分散が不均一になりやすいため、プレミックスと同等の効果を得るためには、多くの添加量を要するためであると考ええる。

このことから、エコペーブの添加量は、プレミックス方式で1.5%、プラントミックス方式で2.5%とすることで、通常の製造条件とほぼ同様な回転数で基準密度に達することが確認できた。

5. 2 耐流動性の検証

エコペーブによるアスファルト混合物の耐流動性(動的安定度)を検証するためホイールトラッキング試験を実施した。試験結果を図-3に示す。

エコペーブの添加量が増加するにともない、動的安定度(以下、DS)は低下する傾向にある。また、プレミックス方式のほうが、添加量の増加に伴うDSの低下率が大きいことも確認された。これは、温度低下により析出したエコペーブが影響しているものと考えられ、添加量が過多になると混合物性状への影響が無視出来なくなることが分かった。

このことから、DSを3,000回/mm以上確保する場合は、エコペーブの添加量は、プレミックス方式で2.5%、プラントミックス方式で3.0%が上限となる。

5. 3 その他の検証

マーシャル安定度試験、水浸残留度試験、曲げ試験において、エコペーブの添加量が3.0%以内の場合は、アスファルト混合物の性状を損なわないことを確認した。

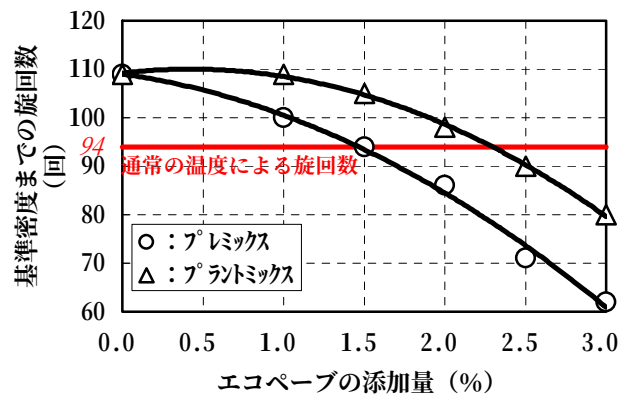


図-2 添加量と基準密度までの回転数

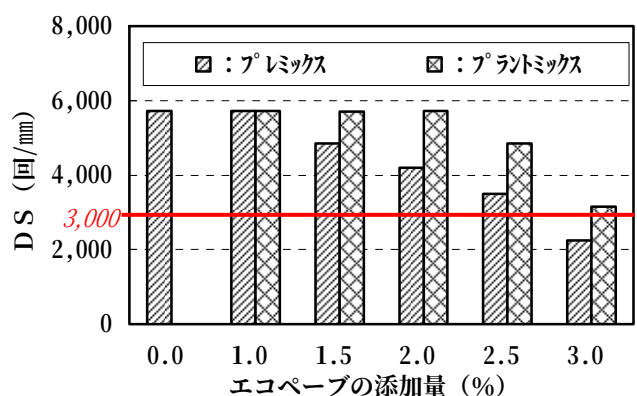


図-3 添加量とDSの関係

6 実路による試験施工

6.1 工事概要

実路での試験施工を実施した工事概要を表－2に示す。添加方式は、改質アスファルト製造工場で改質アスファルトをローリ車に積み込む際に所定量のエコペーブを投入することでプレミックスとした。また、エコペーブを添加した混合物の製造時の WET 混合時間は、中温化剤の分散を確実にするため、通常よりも 10 秒長い 45 秒とし、混合温度は、30℃低減したものとした。

表－2 試験施工の概要

施 工 時 期	平成20年9月
工 種	切削オーバーレイ (5cm)
舗装設計交通量	N5
比 較 工 区	中温化剤なし
試 験 工 区	中温化剤あり (2.5%添加)
混 合 物 種 類	密粒度753コ (20) 再生30%、改質Ⅱ型
混 合 時 間	中温化剤なし：DRY7s・WET35s 中温化剤あり：DRY7s・WET45s
中温化剤添加方式	プレミックス方式

6.2 施工温度

アスファルト混合物の敷均し時の路面温度状況をサーモグラフィで測定した様子を写真－3に示す。

プラントでの出荷温度は、中温化剤無しで 168℃、中温化剤有りで 143℃であった。敷均し時の混合物の路面温度差は 30℃程度であり、ほぼ出荷時の温度差を保持していた。

6.3 プラント燃料消費量の測定

実際にアスファルト混合物製造時の骨材加熱に要した燃料消費量および CO₂ 発生量を算出した結果を表－3に示す。

6.4 結果

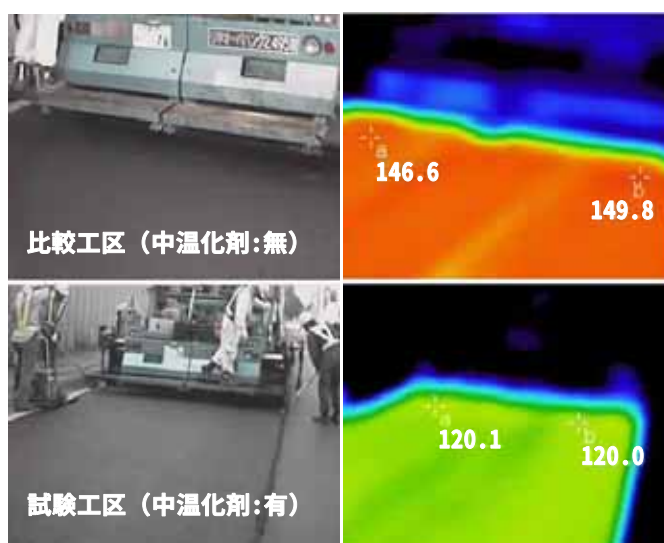
中温化剤「エコペーブ」を用いた混合物は、通常の混合物と比較して同様な製造・施工および路面性状が得られた。また、製造温度を下げることにより、プラントでの CO₂ 発生量が混合物 1 トン当たり約 3.7kg 軽減され、18%程度削減されることが分かった。

7 おわりに

今後は、界面活性剤系中温化剤「エコペーブ」を様々な種類の混合物および施工条件に適用し、その有効性を確認していく所存である。

【参考文献】

- 1) (社) 日本道路協会：「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック」平成 21 年 6 月
- 2) (社) 日本道路協会：「舗装性能評価法 別冊」平成 20 年 3 月



写真－3 サーマグラフィによる敷均し温度測定結果

表－3 骨材加熱に伴う CO₂ 発生量

項 目	比較工区	試験工区
A重油使用量 ℓ/t	7.7	6.3
A重油の原単位 kg-CO ₂ /ℓ	2.71	2.71
A重油によるCO2発生量 kg/t	20.9	17.1
中温化剤の使用量 kg/t	0.0	1.3
中温化剤の原単位※ kg-CO ₂ /t	—	65.38
中温化剤による増加分 kg/t	0.0	0.08
合計CO2発生量 kg/t	20.9	17.2

※ 改質Ⅱ型の原単位472.62kg-CO₂/tと中温化剤の原単位538kg-CO₂/tとの差分

加熱表面処理工法の供用性とライフサイクルに関する検討

福田道路(株) 技術研究所 ○渡辺 直利
福田道路(株) 事業本部 田口 仁
福田道路(株) 村上支店 石井 利明

1 はじめに

建設コストについては、これまでの建設・修繕を繰り返す短期的な計画から、ライフサイクルを意識した補修へと方針の転換が図られ、建設コストのみならず、維持管理を含めたコスト削減が求められている。道路部門においても、従来行われてきた大規模な維持工事から、低コストで舗装の延命を図る予防的修繕工法への移行が進んでおり¹⁾、より経済性に優れ長寿命な舗装技術が重要視されている。

また、最近では低炭素化社会の実現に向けた、地球レベルのCO₂排出量削減に対する取り組みも始まっており、多量の資源を消費する建設分野においては、効率的なリサイクルおよび省資源化が課題となっている。

加熱表面処理工法は、これらの背景を受け開発された、低コストで環境に優しい舗装の補修工法である。路上表層再生工法の技術を応用し、損傷した舗装の表面部分(t=2～3cm 程度)を現位置でリサイクルすることで、従来の修繕工法に比べて新規アスファルト混合物の使用量、および材料運搬に要するCO₂排出量を削減することを可能とした²⁾。

本報告は、加熱表面処理工法の試験施工における供用性ならびに耐久性を評価し、ライフサイクルコスト(LCC)およびライフサイクルCO₂(以下、LCCO₂)について検討した結果をまとめたものである。

2 加熱表面処理工法の概要

加熱表面処理工法の施工概略を図-2に、施工状況を写真-1に示す。施工行程は以下の6つの工程からなる。

- ① 路面ヒータ車による既設舗装の加熱
- ② 特殊添加剤の散布
- ③ 加熱された既設舗装表面のかきほぐし
- ④ 補足材となる新規アスファルト混合物の混合
- ⑤ 混合物の敷きならし
- ⑥ 転圧

施工方法については、特殊添加剤を用いること以外は、従来の路上表層再生工法と大きな違いはないが、補修の厚さを2～3cmと薄くしたことにより、路上表層再生工法と比べ、施工性の向上、さらには加熱燃

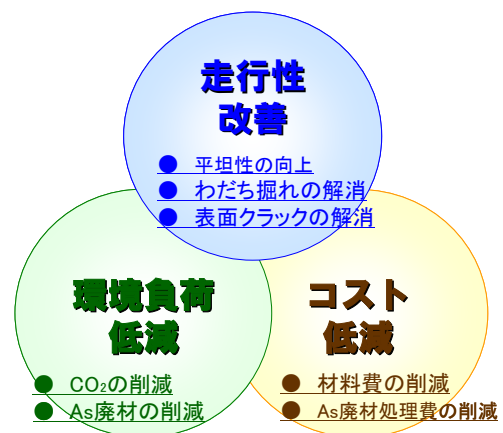


図-1 加熱表面処理工法の概念

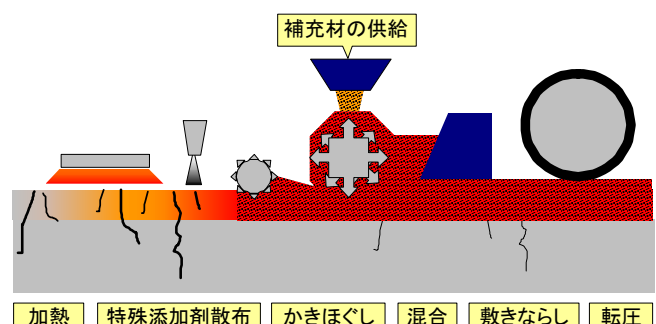


図-2 加熱表面処理工法の施工概略

料の削減が可能となった。

また、既設路面を加熱、かきほぐした後に、新たな表面処理層を構築するため、従来の表面処理工法に比べてひび割れが発生しにくく、残存舗装との付着に優れるなどの利点もある。

3 試験施工

3. 1 試験施工概要

これまで、北陸地域および東北地域の数カ所で加熱表面処理工法の試験施工を実施し、追跡調査を行っている。本報告では、加熱表面処理工法を予防的修繕工法の代替として施工した箇所の中で、最も供用期間が長い表-1 に示す箇所の調査結果について報告する。

なお、試験施工箇所に隣接し、路面のひび割れ状況等が同程度の区間に、当該地区の代表的な予防的修繕工法であるシール注入工法+わだち部分オーバーレイ工法を施工した工区を併設しており、供用性の比較を行っている。

3. 2 追跡調査結果

試験施工箇所においては、施工直後から1年経過後まで路面調査を実施している。試験施工箇所の1年経過後の路面状況を写真-2 に、路面調査結果を表-2 に示す。

試験施工箇所における、最大わだち掘れ量の平均値は1年経過時で1mm程度であり、タイヤチェーンによる摩耗やひび割れも見られない。また、平たん性も施工直後と同程度の値であり、良好な路面性状を維持していると考えられる。

一方、予防的修繕工法を施工した工区においては、一部で既設舗装のひび割れに起因するリフレクションクラックが発生している。

供用後1年程度の段階ではあるが、加熱表面処理工法と予防的修繕工法の供用性に差が現れる結果となった。



写真-1 施工状況

表-1 試験施工概要

項目	内容
施工日	平成19年9月
施工規模	W=3.5m, L=200m
設計交通量	交通量区分N ₆
大型車混入率	25%程度
路面状況 (施工前)	わだち掘れ 10~20mm 平たん性 2.30mm ひび割れ率 20.1%
	走行位置に線状ひび割れあり 一部に横断状のひび割れあり



写真-2 1年経過後の路面状況
(右側車線が加熱表面処理工法)

表-2 路面追跡調査結果

項目	測定値	
	施工直後	1カ年経過
わだち掘れ量	0mm	1.0mm
平たん性	1.23mm	1.25mm
ひび割れ率	0%	0%
	(ひび割れは確認されず)	

4 ライフサイクルの検証

予防的修繕工法の代替として、加熱表面処理工法を適用した場合の LCC・LCCO₂ 排出量を試算し、従来の予防的修繕工法および修繕工法と長期的なコストならびに CO₂ 排出量を比較した。

LCC・LCCO₂ 排出量の算定条件は、表-3 に示すように、①修繕なし(新規建設→再建設の繰り返し)、②修繕あり(再建設までに 1 度の修繕を実施)、③修繕と予防的修繕工法を併用(修繕前にシール注入+わだち部オーバーレイを施工)、④修繕と加熱表面処理工法を併用の 4 条件とした。

試算方法は、供用期間中の建設費ならびに建設時 CO₂ 排出量の積み上げ計算とし、維持管理、道路利用者、車両走行、時間損失等のコストならびに CO₂ 排出量については考慮していない。試算期間は 60 年とし、新規建設分の建設費ならびに建設時 CO₂ 排出量は各条件とも同じであるため除外した。試算に用いた建設費および建設時 CO₂ 排出量を表-4 に示す。

ライフサイクルを試算する場合、補修年数を調査し、それを考慮した舗装の補修・建設サイクルを設定する必要があるが、現段階では加熱表面処理工法の施工路面は補修に至っておらず、明確な補修年数を設定することは難しい。今回の試算においては、試験施工でのひび割れ発生の状況や、繰り返し走行試験よりリフレクションクラック抑制効果³⁾より、加熱表面処理工法の補修サイクルを予防的修繕工法の 3 年よりやや長い 5 年と仮定して試算を行っている。

表-3 補修・建設サイクルの設定条件

工 法	条 件 (仮 定)
①修繕なし	新規建設 ↓ 10年 再建設 10年 建設サイクル = 10年
②修繕あり	新規建設 ↓ 8年 修繕 ↓ 7年 再建設 8年 建設サイクル = 15年
③修繕+予防的修繕	新規建設 ↓ 7年 シール注入+わだち部オーバーレイ ↓ 3年 修繕 ↓ 7年 シール注入+わだち部オーバーレイ ↓ 3年 再建設 7年 建設サイクル = 20年
④修繕+加熱表面処理	新規建設 ↓ 7年 加熱表面処理 ↓ 5年 修繕 ↓ 7年 加熱表面処理 ↓ 5年 再建設 7年 建設サイクル = 24年

表-4 LCC・LCCO₂排出量算出のための各種工法の設定

条件 \ 工 法	再建設	修繕工法	予防的修繕工法	加熱表面処理工法
工 種	全層打ち換え (t=15cm) 路盤不陸整正	切削オーバーレイ (t=5cm) クラック処理	シール注入 (1m ² あたり2m) オーバーレイ (t=1.5cm, W=1.4m)	加熱表面処理 (t=3cm)
標準施工量 ^{※1}	420 m ² /日	1,050 m ² /日	800m ² /日	1,400 m ² /日
使用材料	表基層：再生混合物 As路盤：新規混合物 プライムコート、タックコート	クラック防止シート 再生混合物 タックコート	クラックシール材 新規混合物 タックコート	新規混合物 特殊添加剤 路面加熱LPG
建設費 (円/m ²)	6,600	2,700	900	1,400
建設時CO ₂ 排出量 ^{※2} (kg-CO ₂ / m ²)	20.0	7.2	2.9	3.8

※1 加熱表面処理工法は自社基準、その他工法の標準施工量は「国土交通省土木工事積算基準（平成20年度版）」より

※2 CO₂原単位は「田口：舗装技術におけるCO₂排出の環境負荷，道路建設，No.696」より

LCC の試算結果を図-3 に、LCCO₂ 排出量の試算結果を図-4 に示す。経過年数の増加に伴い、維持・修繕費用および CO₂ 排出量は増加しており、60 年経過時では、①修繕なし>②修繕あり>③修繕＋予防的修繕工法≧④修繕＋加熱表面処理工法の順に大きくなっている。LCCO₂ 排出量についても同様の結果である。

補修・建設サイクルの中では、再建設に要する建設費ならびに建設時 CO₂ 排出量のレートが大きく、これらの結果は、再建設までサイクルを長くことが長期的な維持・修繕費用ならびに CO₂ 排出量の削減に有効であることを示している。

補修・建設サイクルについては、今後の補修データと照合し、長期的に検討していく必要はある。しかし、今回の試算結果から、加熱表面処理工法が長期的な維持・修繕費用ならびに CO₂ 排出量の削減に有効な技術となる可能性が示唆できた。

5 まとめ

LCC ならびに LCCO₂ 排出量の比較を行った結果、加熱表面処理工法を修繕工法と併用することで長期的な維持・修繕費用を縮減することが可能であり、CO₂ 排出量の削減に対しても効果的であるとの見解が得られた。

6 おわりに

加熱表面処理工法については、これまで予防的修繕工法と同等の位置づけと考え施工を行ってきたが、経年調査より、ひび割れの再発に違いがみられる結果である。今後の調査結果次第では、現在想定している修繕サイクルより舗装寿命が長くなる可能性もあり、今後の路面状況について注視していく必要があると考える。

また、CO₂ 排出量等の環境負荷についてのデータ蓄積、施工コストの縮小、施工機械の改善なども今後の課題に挙げられる。これら課題を念頭に、今後も加熱表面処理工法、ならびに、更なる環境負荷低減工法の技術革新に取り組んでいきたいと考える。

【参考文献】

- 1) 舟橋弥生：直轄国道の舗装における「予防的修繕」工法の導入について，舗装，vol. 41，2006. 10，pp22-26
- 2) 平方ほか：ヒートドレッシング工法の試験施工および調査結果，平成 20 年度 建設技術報告会報文集，2008. 10
- 3) 藤井ほか：低コスト・環境負荷低減を考慮した加熱表面処理工法の開発，舗装，vol. 43，2008. 5，pp7-11

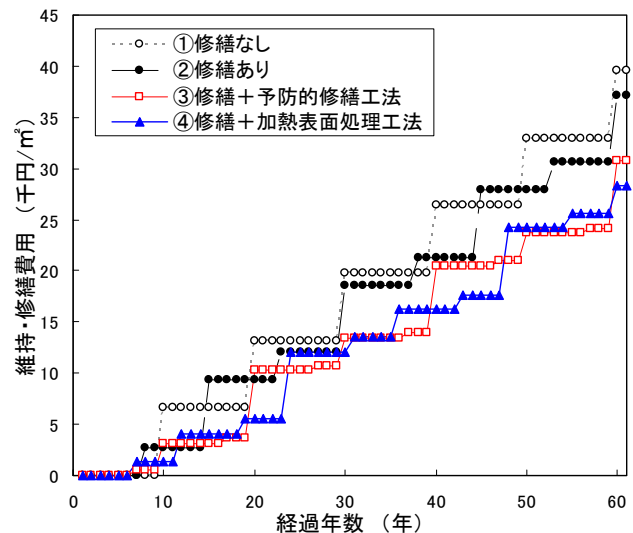


図-3 LCC の試算結果

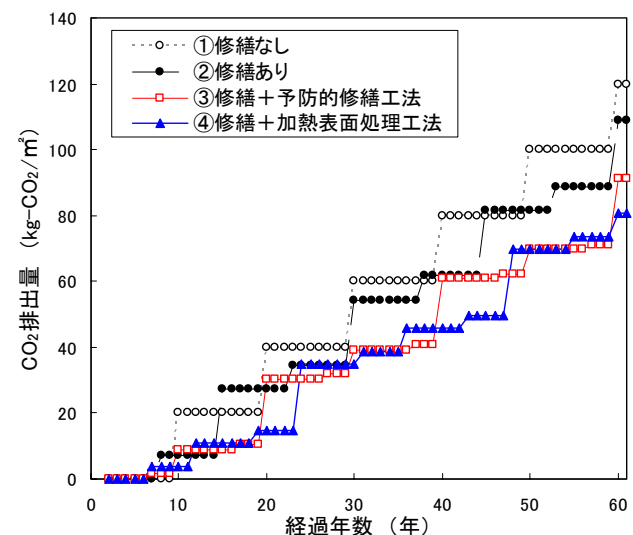


図-4 LCCO₂ 排出量の試算結果

排水性舗装冷却システム

(株) 興和	水工部課長代理	○藤野 丈志
(株) 興和	水工部 課長	坂東 和郎
(株) 興和	水工部課長代理	小酒 欽弥
(株) 興和	技術開発室課長	桑原 賢二

1 はじめに

東京や大阪をはじめとする大都市圏では、地盤沈下対策としての揚水規制により 1970 年頃を境に地下水位が上昇に転じ、近年では地下構造物への漏水・浮力の発生・外壁への水圧増加という悪影響が発生している¹⁾。一方、都市化による地表面被覆による顕熱蓄熱や、事務所・住宅等からの排熱は、局地的に気温を上昇させるヒートアイランド現象を引き起こしている。

そこで筆者らは、これら余剰地下水問題とヒートアイランド問題の解決を目標に、地下水を散水して舗装から大気へ放出される顕熱と放射の削減を行う「排水性舗装冷却システム」を考案した。平成 20 年度には、平成 20 年度環境省クールシティ推進事業（地下水等活用型）として、フィールド試験を実施し、散水量を変化させた場合の路面温度低下効果と舗装表面での熱収支を明らかにした。また、冬期の消雪への利用の確認試験もおこなった。

本報告では排水性舗装冷却システムにおける、地下水散水量とヒートアイランド対策効果の関係、および消雪施設としての消雪効果について報告する。

2 排水性舗装冷却システムの概要

排水性舗装冷却システムは、散水下地下水が舗装から奪う熱（流水熱フラックス）と舗装表面から蒸発する熱（潜熱フラックス）が舗装を冷却し、ヒートアイランド現象に寄与する長波放射フラックスと顕熱フラックスを削減するものである（図- 1）。

揚水井戸から汲み上げた地下水は、排水性舗装の内部から湧出、あるいは表面から散水し、舗装冷却後の地下水は、還元井戸あるいは雨水浸透施設等を通じて再び帯水層に戻される。地下水の汲み上げには、太陽光発電で駆動する水中ポンプを利用することで、システム運転時の CO₂ 排出を抑制するシステムである。

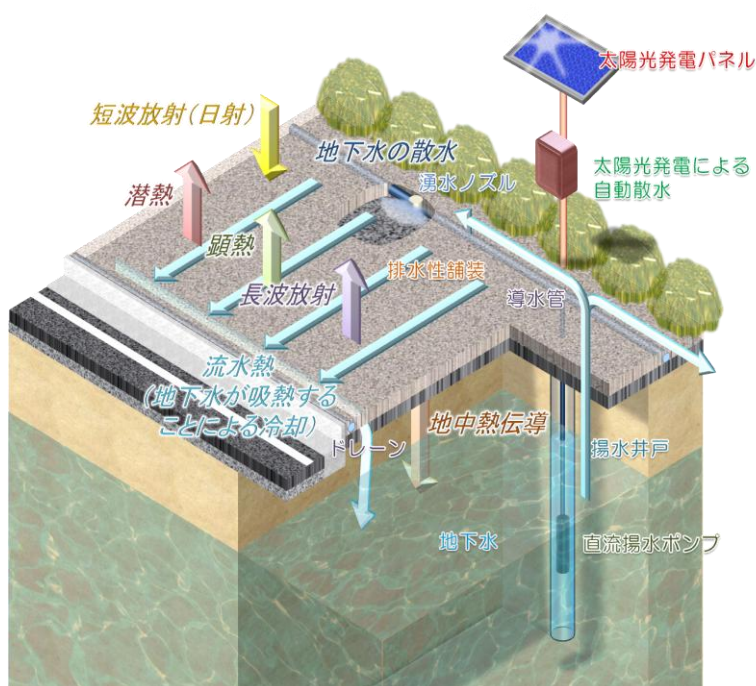


図- 1 排水性舗装冷却システムの概要

3 試験方法

新潟市西区中権寺地内に面積 114 m^2 の試験施設を設置した（図- 2）。舗装表層はポーラスアスファルト混合物(13) ($t = 5 \text{ cm}$) を用い、散水施設として深度 15 m の揚水井戸と還元井戸をそれぞれ設けた。実験舗装には、舗装内部からの湧出タイプと舗装端部から散水タイプをそれぞれ 3 区画設け、散水量を変えた 6 パターンの試験を行えるようにした。



図- 2 舗装冷却試験施設

散水試験は 2008 年 7 月 30 日～9 月 22 日に実施した。この間、散水量は $0.09 \sim 0.30 \text{ L/min/m}^2$ に変化させたほか、散水時間も 15～45 分の間欠散水、または連続散水と変化させ、午前 7 時から午後 4 時まで散水した。なお、散水量を安定させるため自給式ポンプで地下水を揚水し散水した。散水試験期間中は、気温、水温、舗装温度、長波短波放射収支等は 5 分間隔で記録した。

4 試験結果

4.1 熱収支と対策効果

図- 3 に、舗装 1 m^2 当たり 0.303 L/min で連続散水した場合の、路面温度（散水路面および散水なしの路面）、散水温度、排水温度、および温度の測定結果等から算出した各熱フラックスの例を示す。この日の最高気温は 36°C で、最大 820 W/m^2 の日射があり、散水しない場合の舗装表面温度は 60°C 程度まで上昇した。この気象条件のもと、散水下舗装の表面温度は最高 40°C で、約 20°C の温度低下となった。1 日の熱フラックスの合計は、日射 $22.4 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ に対し、流水熱フラックスが $13.8 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ 、潜熱フラックスが $2.1 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ となり、合わせて $15.9 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ と日射量の 71% となった。

図- 4 は、散水試験より得られたデータから、日散水量を変化させた場合における、日射量 $20 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ 当たりの各熱フラックスの変化、及び路面温度低下量を整理したものである。日散水量を増加させると、流水熱フラックス及び潜熱フラックスが増加し、逆に、顕熱フラックス、長波放射フラックス、地中熱伝導フラックスが減少していることが分かる。また、路面温度低下量も散水量の増加に応じて大きくなっていることが分かる。

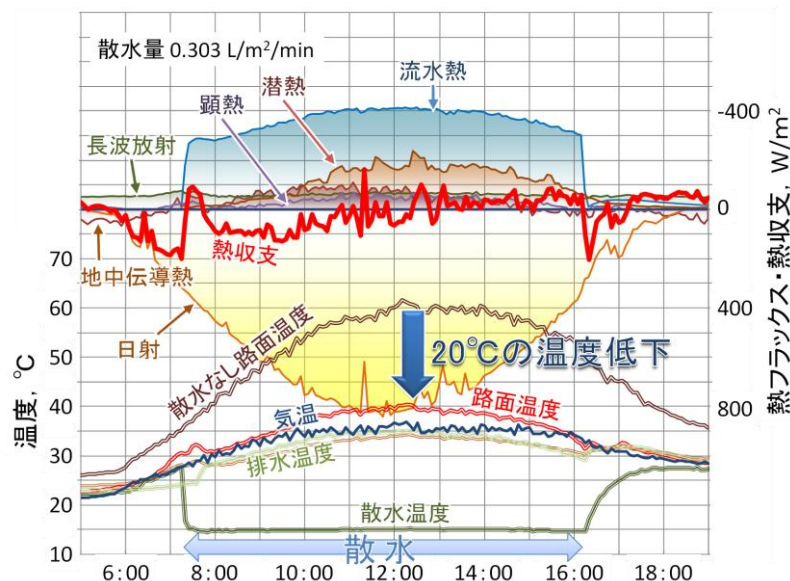


図- 3 温度および熱フラックスの 1 日の測定例

この結果を逆に利用し、任意の対策箇所において路面温度低下量を設定した場合、この図表から必要な日散水量を求めることが可能となる。例えば、路面温度を 15°C 低下させたい場合の日散水量は $115 \text{ L/m}^2/\text{day}$ 、この時の顕熱と長波放射の削減量は $11.2 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ と読み取ることができる。

4.2 冬期間の消雪効果

排水性舗装冷却システムは、商用電源を確保すれば冬期の消雪も可能となる。そこで、本実験施設において降雪検知器を取り付け、降雪があるときに自動的に散水を行うようにし、本システムの消雪施設としての機能を確認した。散水量は「路面消・融雪施設等設計要領」²⁾に基づき、新潟市における車両通行ない排水性舗装への必要散水量

0.314 L/min/m^2 （気温 -0.4°C 、風速 4.6 m/s 、時間降雪深 1.5 cm/h ）とした。図-5に、消雪状況と夏期散水状況および夏期の路面温度状況の例を示す。この時間帯はおおよそ $2\sim4 \text{ cm/h}$ の降雪があり、2種類の散水タイプともに路面面積の40%前後がシャーベットか積雪となった。完全に融けている範囲は、夏期の路面温度で 30°C 程度以下の範囲とおおむね一致した。散水量 0.314 L/min/m^2 で夏期の散水を9時間行う場合、日散水量は $170 \text{ L/m}^2/\text{day}$ となる。夏期の対策効果を図-4で読みると、 22°C の路面温度低下効果とおおよそ $13 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ の顕熱と長波放射の削減効果が得られると予想される。

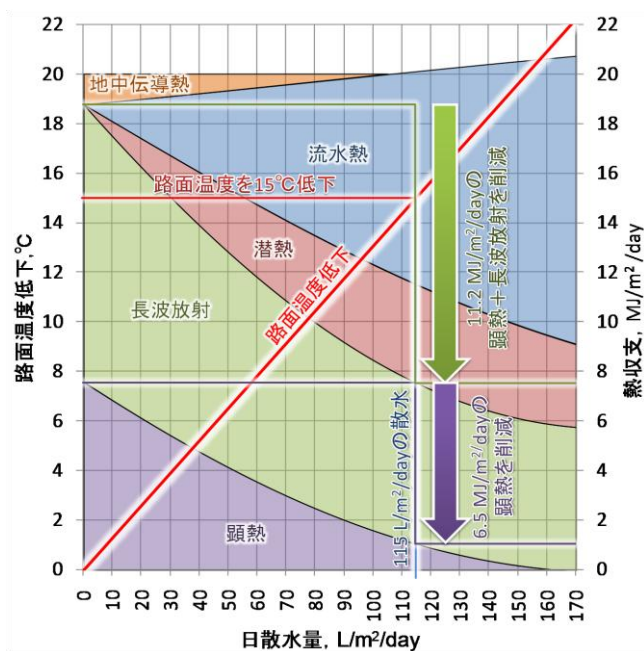


図-4 日散水量と各熱フラックスの割合
・顕熱削減量・路面温度低下量

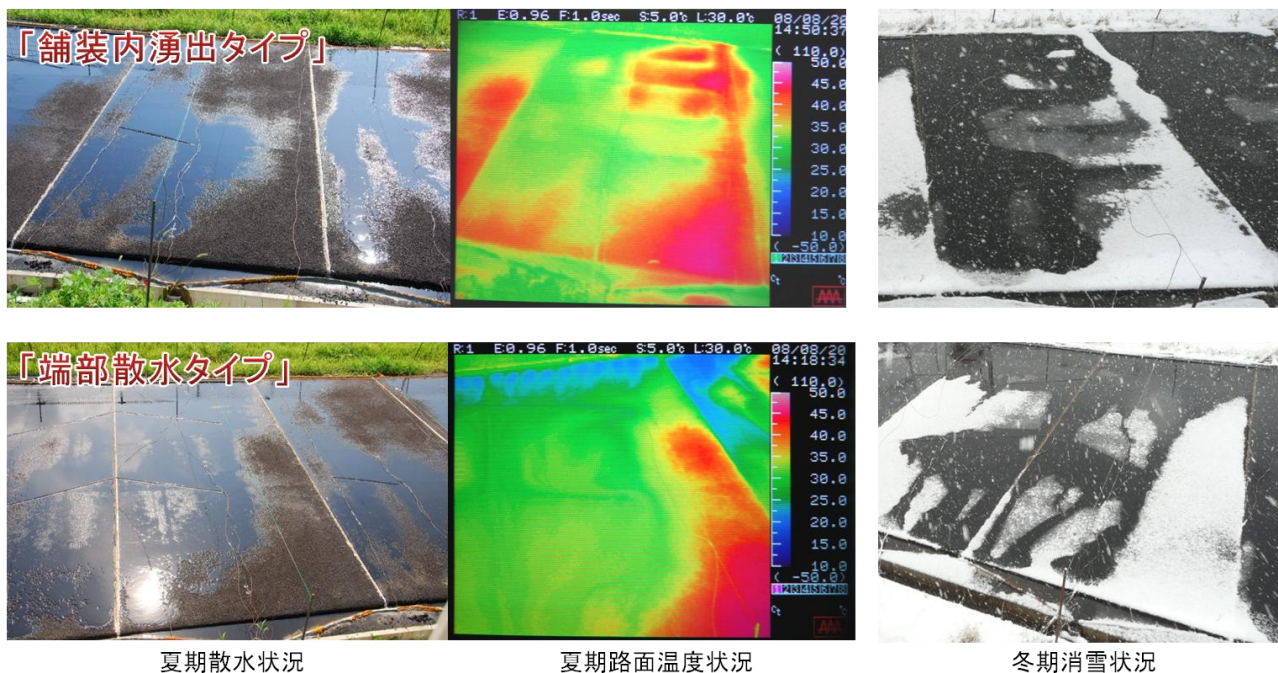


図-5 夏期散水状況・路面温度状況と冬期の消雪状況

4. 本システムの課題と今後の取り組み

本システムの適用箇所としては、図- 6 に示すようなバス停を候補の一つとして挙げ、歩行者を重視した夏期のヒートアイランド対策と冬期のバリアフリー対策を考えている。実用化にむけての課題として、地下水温・気象条件・道路構造が実験施設と異なる場合の熱収支及び対策効果の検証のほか、散水した地下水の水ハネによる通行快適性の低下、還元井戸への塵埃等の流入による目詰まりなどの構造的課題がある。また、システム設置時の費用対便益における、便益換算の課題も残されている。

本年度は、太陽光発電のみでの自立運転による散水を実施するなか、課題の解決に向けて、通行者の快適性の指標となる WBGT 指数を把握するための測定機器を追加し、対策効果の調査を継続している。今後、調査結果をもとに、歩行者を中心とした便益の評価をおこなうとともに、快適な歩行ができるような舗装構造の検討、維持管理が容易となるような散水設備の見直しを継続し、本システムの実用化を目指すことにしている。

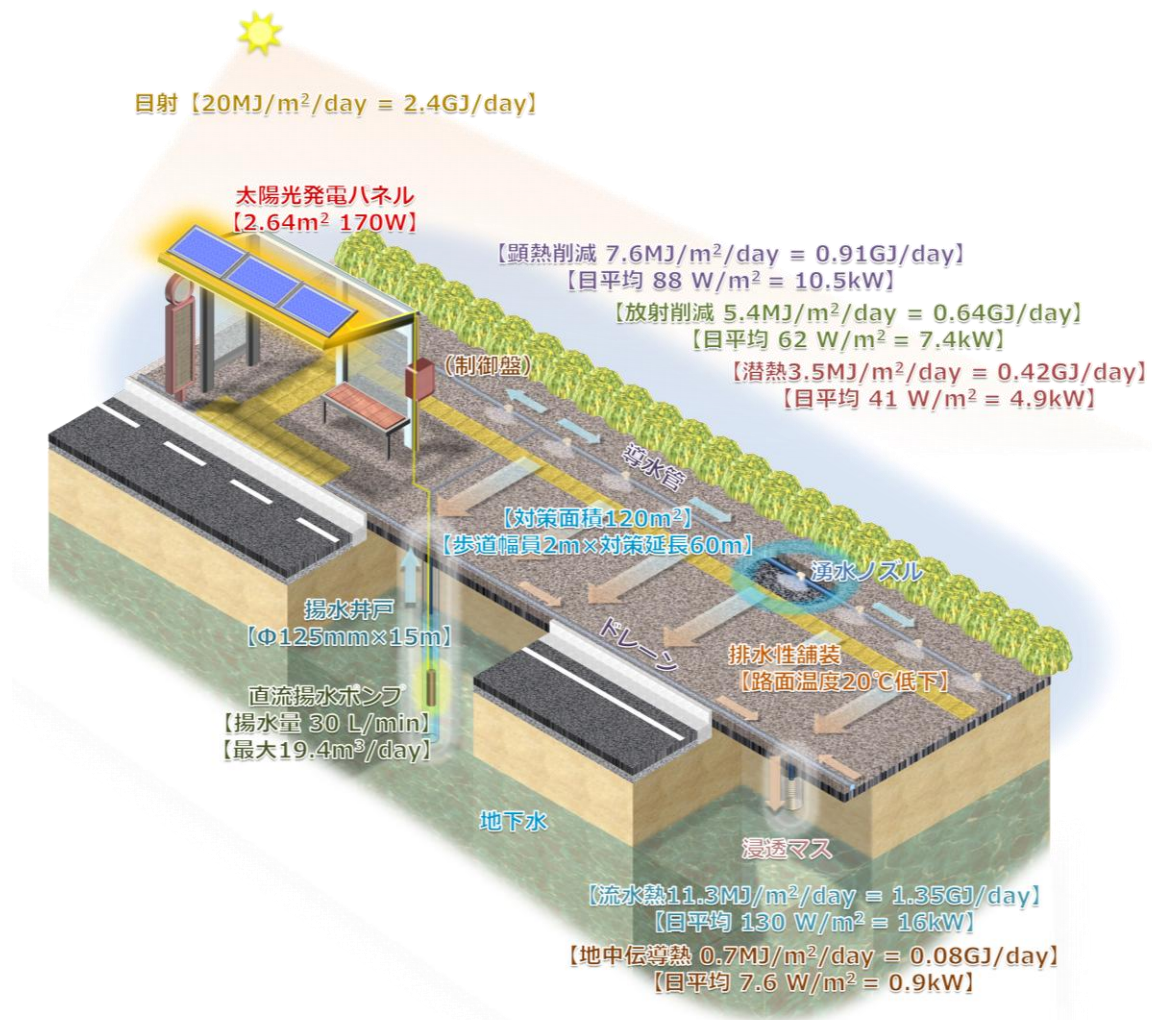


図- 6 歩道排水性舗装冷却システムの適用イメージとヒートアイランド対策効果

文 献

- 1) 清水満：建設工事・地下構造物に見られる地下水問題，応用地質学会予稿集，26-50，2004. 5
- 2) 路面消・融雪施設等設計要領編集委員会：路面消・融雪施設等設計要，2008

袋詰脱水処理工法における S P A D システム

株式会社ピーエス三菱 技術研究所 環境グループ ○佐伯 博之
技術研究所 環境グループ 杉本 昌由

1. はじめに

袋詰脱水処理工法（エコチューブ）はジオテキスタイル製の袋に浚渫土などの高含水比粘性土を充填し、脱水・減量化するとともに袋の張力を利用して盛土や埋土の材料に有効利用する工法である。さらにジオテキスタイル製袋のろ過機能により、ダイオキシン類に汚染された高含水比底泥を封じ込めることができることから実工事に採用されている。同工法は土木研究所と民間各社により開発され現在、普及段階に移行している。

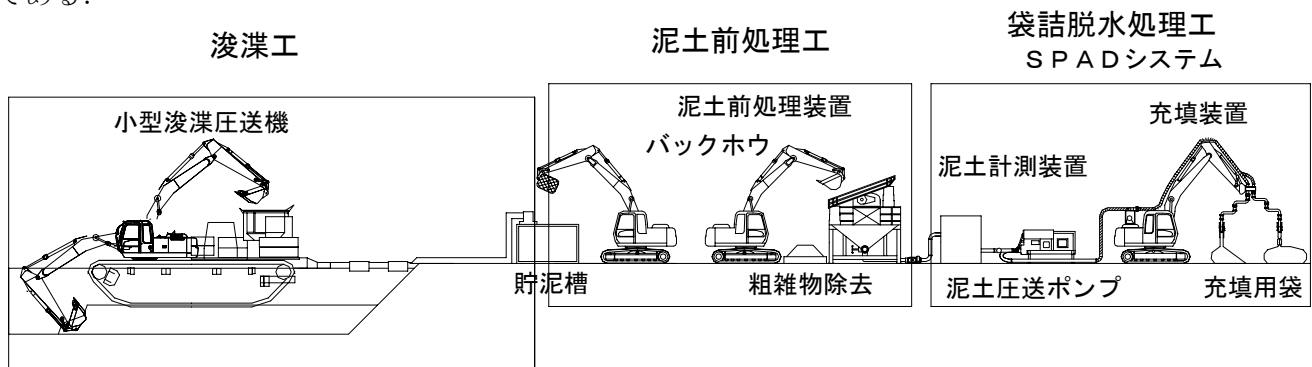
当社は、袋詰脱水処理工法の環境対応型量産施工設備である S P A D システム (Slurry Pac and Decrease System)を開発した。今回本施工システムを用いて施工した事例と追跡調査を実施したので実証結果を報告するものである。

2. 開発の目的

袋詰脱水処理工法は、高含水比の泥土を袋に充填するため充填後の減量化率が非常に大きい。このことで充填した泥土の含水比により脱水後の出来型に大きく影響する。盛土材としての機能を満たすためには沈下量や最終出来型を管理できなければならない。また、袋の充填施工時のホース引抜き時に泥土が周辺に飛散しやくダイオキシン類の底泥処理時には大きな課題であった。これらの課題解決のために、泥土の袋充填時に適時含水比を計測する装置および充填時の飛散防止対策としての特殊充填装置を開発したのが S P A D システムである。

3. 施工システム概要

本システムは（図一１）のように、小型浚渫圧送機（写真一１）で底泥を袋詰脱水ヤードまで空気圧送し、利用盛土ヤードで土砂内の夾雑物除去等の前処理を施した後、当社が開発した環境対応型量産設備（写真一２，３）である SPAD システム（Slurry Pack and Decrease System）で充填するものである。



図一１ 施工システム概念図

3. 1 泥土前処理装置

夾雑物（40mm 以上）を除去し泥土の調泥を行いワーカビリティの確保を行う装置

3. 2 泥土計測装置

充填する泥土の含水比と数量を計測できる装置であり本システム全体をコントロールする管理装置

3. 3 泥土圧送ポンプ（マッドソイルポンプ）

泥土を自給できる高速圧送ポンプ．圧送能力：MAX-55m³/h

3. 4 充填装置

連続充填可能な2連の充填装置であり，充填時および袋体の取り替え作業時に土砂が飛散しないようにエアバックで袋体注入口を締め付ける装置（ロジオストップシステム）



写真一 1 小型浚渫圧送機

写真一 2 泥土計測装置，圧送ポンプ

写真一 3 充填装置

4. 施工事例

4. 1 河川底泥の公園用地盛土基盤材への有効利用

施工場所は木曽川の本流が取り残されてできた河跡湖と呼ばれる支流の池であり，長年の生活排水底泥が堆積し，悪臭気などで地域環境に悪影響を与えていた．

この堆積土砂を除去し環境改善を図るとともに，新設公園用地内の窪地に盛土基盤材として有効利用するものであった．

4. 2 浚渫土砂の土質性状

袋詰脱水処理する河川底質の土質性状を表一 1 に示す．底質は河川浚渫土一般に見られる様な有機物を含んだシルト質砂であった．また，浚渫作業時の底質は河川敷に見られる礫，ゴミ等を多く含んでいた．

表一 1 充填土の土質性状

一般	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.472	コンシステンシー特性	液性限界 W_L %	72.7
	自然含水比 W_0 %	72.4		塑性限界 W_p %	40.8
粒度	礫分 %	0		塑性指数 I_p %	31.9
	砂分 %	64	分類	地盤材料の分類名	シルト質砂
	シルト分 %	22		分類記号	SMH
	粘土分 %	14	強熱減量	Li %	8.1

4. 3 袋材の性能

ジオテキスタイル製（ポリエステル製織布）であり充填量最大 10m³、幅 1.5m、長さ 15m、ポンプ充填用口 φ100×2 を持つ充填用袋（V=7.25m³ 用袋）を使用した。（写真—4）。袋材の基本性能を表—2 に示す。

表—2 袋材の性能

試験分類	試験項目	試験値	試験方法
排水・ろ過機能関係	鉛直方向の透水性能	1.5×10^{-3}	JIS A1218 土の透水試験方法に準拠
構成材料関係	引張強度 N/3cm	1,800×1,800	JIS L1908 ジオテキスタイル試験法
	引裂強さ N	850×850	JIS L1096 一般織物試験方法
	縫目強さ N/3cm	1,100×1,100	JIS L1093 繊維製品の縫目強さ試験方法



写真—4 袋体（V=7.25m³ 袋：1.5m×15.0m）

4. 4 袋の充填管理

袋への充填量は始めに袋への乾燥土量を設計する。施工時に随時変化する含水比を泥土計測装置で管理しながら充填量を決定した。設計乾燥土量（表—3）に満たすまで再充填を繰り返すことにより、均一化された袋体を充填管理（写真—5）しながら施工した。

表—3 設計乾燥土量計算表

袋タイプ	設計充填量 V (m ³)	幅 B (m)	長さ L (m)	設計充填乾燥土量 $v = V \times \rho_d / \rho_s$ (m ³)
15m	7.25	1.5	15.0	2.59

$V = 0.87 \times (0.247 \times B^2 \times L)$: 袋詰脱水処理工法 技術資料より

$\rho_s = 2.472$: 土粒子密度

$\rho_d = 0.886$: 乾燥密度（自然含水比 72.4%）



写真—5 充填状況

4. 5 処理土の減量化・沈下量予測

処理土の体積変化を予測し積み上げ施工を行った。本施工では最高で6段積み上げ（写真—6）を実施している。施工完了後、2ヶ月の脱水養生後に覆土を1m行い植栽をして工事（写真—7）を完了した。脱水量の計算は含水比と間隙比の関係式から計算した。（表—4）



写真—6 6段積み状況



写真—7 覆土・植栽状況

$$\text{脱水量} : q = V_{adm} \{ (e_0 - e_f) / (1 + e_0) \}$$

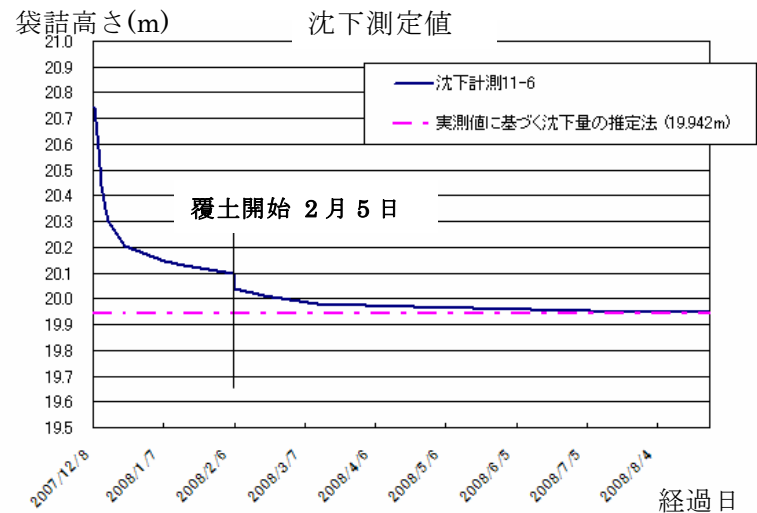
表—4 脱水量の予測値

V_{adm}	袋への充填量	1.00	m^3
e_0	充填時の初期間隙比	1.793	$(\rho_s \cdot W_0 / 100)$
e_f	脱水後の間隙比	1.184	$(\rho_s \cdot W_f / 100)$
ρ_s	土粒子の密度	2.472	g/cm^3
W_0	充填時の初期含水比	72.7	%
W_f	脱水後の含水比	44.5	%
S_r	脱水後の飽和度	93	%
q	脱水量	0.218	m^3

5 追跡調査

覆土後6ヶ月間、沈下計測をするとともに脱水後の確認試験のためボーリング調査（シンウォールサンプリング）とポータブルコーン貫入試験を実施した。

覆土後6ヶ月後には圧密・沈下（図—2）は収束した。また、ボーリング調査で得られた採取土から土質試験を実施した結果、平均含水比は $W_n=43.8\%$ であり予想した塑性限界の1.1倍である $W_n=44.5\%$ まで脱水しており、湿潤密度も $\rho_t=1.70g/cm^3$ になった。コーン貫入抵抗値も平均で $q_c=680kN/m^2$ であり第3種建設発生土（ $q_c=400kN/m^2$ 以上）を越えており盛土構造物として安定している。



図—2 沈下測定グラフ

6. おわりに

本施工システムにより袋詰脱水処理工法における盛土充填管理手法が確立し、安定した多段積みが可能になった。追跡調査の結果から袋詰脱水処理工法による土工構造物として土の強度、圧密状態、沈下収束とも十分満足しえるものが得られ今後のますますの普及が望まれるものである。

参考文献

(1) 杉本・他：袋詰脱水処理工法におけるSPADシステム，建設機械 2008/11

太陽光を独立活用した水環境改善装置の開発

株式会社本間組	土木事業本部	土木部	係	長	○高松 秀行
	同		係	長	阿部 顕二郎
	同		係	長	小林 雅彦
	同		主 任		池田 徹

1 はじめに

ダム貯水池(ダム湖)や湖沼などにおいては、富栄養化に伴う植物プランクトン(アオコ)の異常増殖が水質を悪化させ、利水や環境保全面に悪影響をおよぼすケースが多く発生している。また、海域においても、運河部や湾奥部などの閉鎖性水域においては、海水交換が悪く貧酸素状態となるケースが多く見られ、水底に堆積した有機汚濁物質の分解による酸素消費に伴い、嫌氣的雰囲気長期化し、悪臭の発生や魚貝類の斃死、親水環境の悪化などが大きな問題となっている。

それらの水質保全対策の一つとして、曝気循環が採用されているが、圧縮空気供給に要するコストが年間数百万円という施設もあり、ランニングコスト縮減が課題とされている。

弊社では、ランニングコストを削減した貧酸素水塊の改善対策として、太陽光を独立活用した低コスト型の水環境改善装置(曝気装置)の共同開発を行った。ダム湖で行った装置の長期安定性(耐久性)試験結果を含め、「太陽光独立活用による水環境改善装置(曝気装置)」の概要について報告する。

2 技術の概要

自然エネルギーを利用した環境への取り組みは、地球環境保全の観点から多方面で開発が行われている。その中でも太陽光エネルギーは、実用性の高いエネルギーとして一般的に認知されており、太陽エネルギーを回収し、曝気循環に役立てればコスト削減と環境負荷の軽減が同時に解消できると考えられる。弊社では、国土交通省国土技術政策総合研究所とLWJ(株)と共同で「太陽光独立活用による水環境改善装置(曝気装置)」の開発を行った。

本装置は、①太陽電池、②電力制御装置、③直流(DC)駆動モータ、④リニアクランク式空気圧縮機から構成される、太陽光を完全独立型で活用した我が国初の曝気システムである。

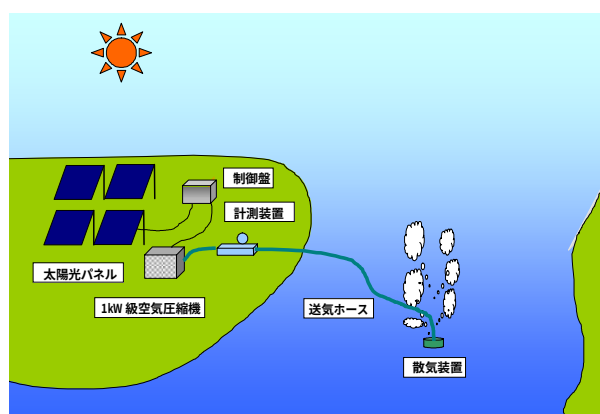


図-1 装置の全体構成概念図



写真-1 装置構成

3 装置の特徴

3.1 独立活用型曝気装置

太陽光による発電システムは大別すると、太陽電池の出力不足時に商業電源より電力を補う連携型システムと、商用電源の補完を受けない独立活用型システムとがある。連携システムの場合、「蓄電設備によるコスト高」「商用電源支援に伴うコスト高」「コスト高に伴う費用対効果の低下」「設置場所の制約(商用電源確保)」等の問題があり、商用電源の補完を受けない独立活用型の装置の開発を行った。

太陽光発電の場合、天候や時間帯、季節変化に伴う日射量の変動や温度変化などにより、得られる電力量が大幅に変化する。効率的な水質浄化を行うためには、連続的な曝気が必要であり、電力変動に対して安定的に稼働する装置とする必要があった。

一般的に使われている交流式(AC)の誘導モータでは、一定の電力供給が必要であるため、蓄電設備がない状態では太陽電池の出力低下に伴い停止し、連続曝気を行うことが困難となる。この課題に対しては、DC モータを採用することで解決を図った。

図-2 は、日射強度の変化と DC モータおよび誘導モータの稼働範囲について示したものであるが、直流モータが誘導モータを採用した場合より稼働範囲が広いことがわかる。

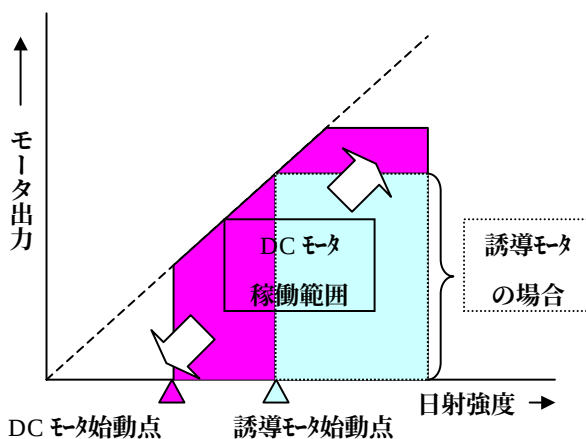


図-2 モータの可動範囲

3.2 小発電量に対する対応

一般的なピストン型の空気圧縮機では、気筒数を多くすると圧縮空気量は増加するが、それに伴う回転トルクも大きくなるため、日射量が少ない場合は装置の稼働が停止してしまう。

これに対応するため、空気圧縮機の所要出力を設定し、メーカーと共同で空気圧縮機の開発を行った。開発した空気圧縮機は2気筒を基本としているが、日射量が少なく駆動モータの回転トルクが小さい時は、片方のシリンダバルブを開放し、単気筒だけで運転を行う機能を持たせることにより、回転トルクが低減した状態でも運転が継続できるようするとともに、空気圧縮機では初めてリニアクラック方式を採用し、ピストンヘッドを完全直線駆動させることにより摩擦損失を最小限に抑え、小さなモータトルクでも稼働可能な装置とした。

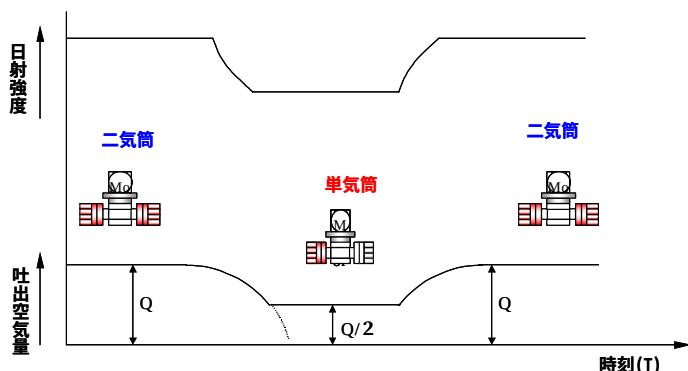


図-3 日射変動による気筒運転変化

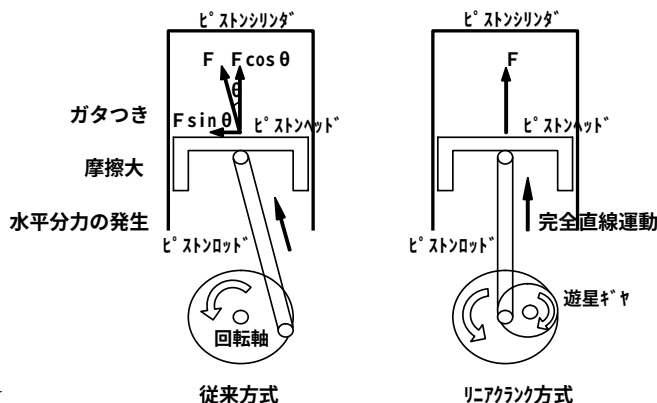


図-4 従来方式とリニアクラック方式との比較

4 実験結果

装置の開発では、曝気システムの開発検討から曝気効果の検証および装置の耐久性を評価する一連の実験を行った。大型水槽実験とダム湖での適用実験（フィールド実験）の概要を以下に示す。

4. 1 大型水槽実験

①実験場所：水中環境実験施設（直径 20m、深さ 20m）－(独)土木研究所所有

②実験期間：平成 16 年 10 月～平成 17 年 3 月

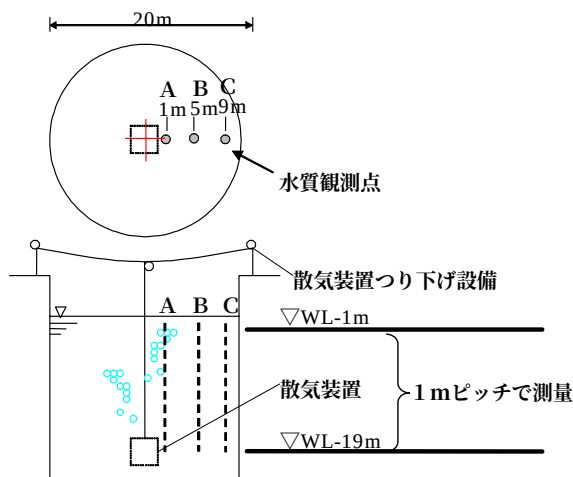
③実験内容および結果

本装置の曝気効果を確認するため、写真－2 に示す(独)本研究所の水中環境実験施設で、曝気前後の溶存酸素量(DO)と水温を測定した。散気装置中心部から 5m 離れた測点 B における曝気前後の DO と水温の変化は図－7 に示すとおりである。曝気後、DO と水温の勾配が、ほぼ鉛直に変化したことが分かる。

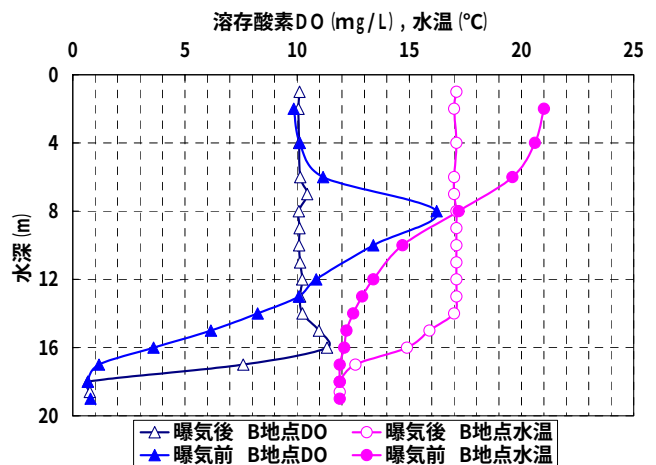
また、測点 A と C においても同様な現象が起こったことから、水槽内の水が曝気循環により混合されたものと考えられる。実験結果によれば、曝気後 30 分で C 点の全層で DO が上昇しており、曝気による循環効果が確認された。



写真－2 水中環境実験施設



図－5 水質測定箇所



図－6 測点Bにおける曝気前後の水質変化

4. 2 ダム湖での適用実験（フィールド実験）

①実験場所：千葉県亀山ダム

②実験期間：平成 16 年 11 月～平成 17 年 9 月末

③実験内容および結果

約 10 ヶ月のダム湖での実証実験（写真－3）を実施し、装置運転時の長期安定性(耐久性)について検証を行った。表－1 および図－7 に実験期間中の日射時間と曝気装置の運転時間の関係を示す。

全運転期間で平均した日射時間に対する曝気時間の割合は81%であり、日平均運転時間は約7時間となっている。この値は、雨天や曇天時を含む全日射時間に対する稼働割合であり、少ない日射量に対しても安定して稼働していたことが分かる。実験期間中は、トラブルの発生も無く全自動で連続運転を行うことができ、本装置の長期安定性について確認することができた。



写真-3 ダム湖での適用実験状況

表-1 日射量と運転時間の関係

	日照時間 (時間)	運転時間 (時間)
平成16年11月	78.7	71.0
12月	193.7	161.7
平成17年1月	216.4	187.5
2月	185.8	160.5
3月	239.4	203.6
4月	270.6	167.9
5月	247.6	139.6
6月	261.1	205.6
7月	281.4	238.6
8月	294.4	270.9
9月	251.3	233.4
Σ	2520.4	2040.3

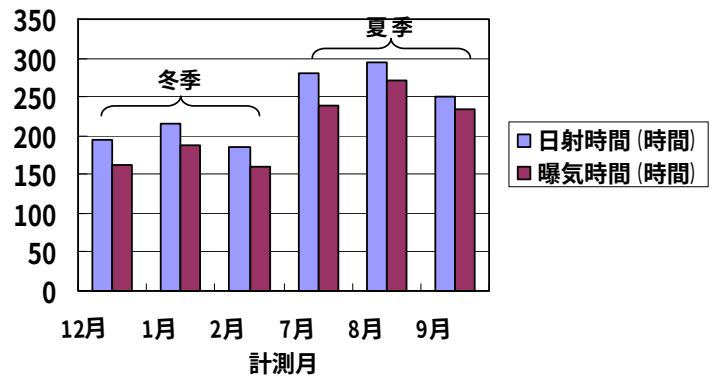


図-7 日射量と運転時間の関係

5. おわりに

太陽光を独立活用した水質改善装置（曝気装置）の開発について紹介させて頂いた。ダム湖での適用実験を通して、装置の長期安定性についても確認が行え、実用に耐えうる装置の開発が行えたと考える。本装置の場合、現在の太陽電池の価格のみを考えると高価となるが、商用電源使用の場合、受電配電機器類が高価であることや数年後に半額にする太陽電池に関する政策等を考慮すると両者の費用差は僅かとなる考えられる。

また、不安定な太陽電池出力に効率的に対応できる今回開発のコンプレッサによって、商用電源使用よりも格段に安い運転費用で、高効率の圧縮空気生産を行うことが出来ることから、長期的には本装置が有利となる可能性が高い。さらに、配線商用電源の確保が困難な箇所や自然エネルギーの有効利用等、本装置の特性が生かせるフィールドで用いる場合は、現段階における初期費用(インニシャルコスト)の比較においても経済性を有すると考えられる。

最後に共同開発に際し、協力を頂いた国土技術政策総合研究所、LWJ(株)の関係各位に謝辞を申し述べる。

参考資料

1)国土技術政策総合研究所資料：共同研究 太陽光活用のダム水質浄化装置の開発報告書、平成17年12月

折板屋根対応型軽量緑化パネル工法による屋上緑化について

株式会社 植木組 原 克也

1 はじめに

屋上緑化工法は種々の工法があるが、当社ではマンション、病院、学校等の屋上緑化を普及・推進することを目的とし、簡単な芝生を主体としたより安く、より軽い、軽量緑化パネル工法を開発した。

本工法は人工基盤材として吸水ポリマーを充填した発泡スチロールパネルを使用することで、従来の軽量土屋上緑化工法よりも 1/2 程度に軽量化すると共に、作業を省力化した屋上緑化工法であり、その概要については昨年度報告したが(図1 参照)、今回、新たに、工場等の折板屋根に対応したメンテナンスをほとんど必要としない軽量緑化工法を開発したのでその概要と特徴および現在実施している実証試験の経過について報告する。

2 工法概要

この工法は図2 に示すとおり、工場等の折板屋根に対応した軽量緑化パネル工法であり、折板屋根にアルミ鋼材のステーシング及び見切り縁を組み立て、その上に吸水ポリマーを充填した軽量緑化パネルを敷設し、さらに、その上に厚さ 2cm 程度の花壇土を敷き、セダム等を植える工法である。

また、この工法では原則として夏季の灌水は行わないことことから、植生は自然の雨水のみで夏季を過ごせる種類を使用することとしている。なお、吸水ポリマーは重量比で 100 倍程度の吸水能力を持ち、自然の雨水の保水に効果を発揮する。

3 特徴

- ・折板屋根を緑化することにより折板屋根の温度は気温と同等なり、折板屋根直下の作業場等の室内温度が低下する。
- ・荷重が 30kg/m^2 と通常の軽量土緑化工法の 1/2 程度と非常に軽いため、折板屋根への荷重の負担が少ない。
- ・吸水ポリマーの使用により、最大 $7\ell/\text{m}^2$ の保

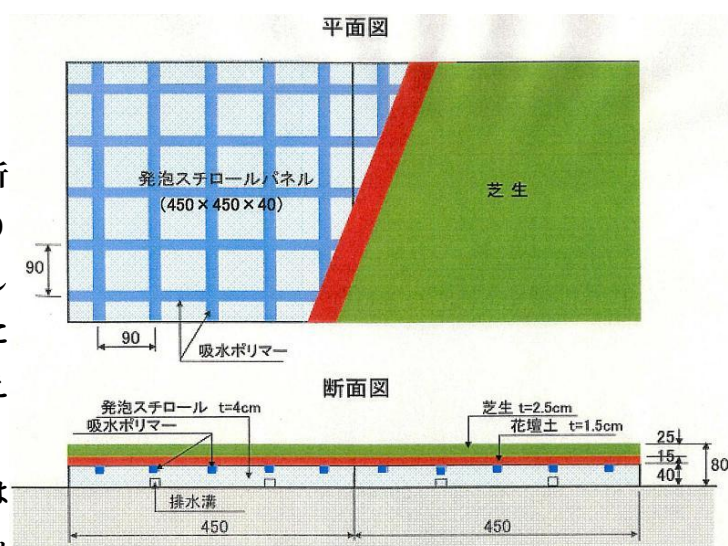


図1 軽量緑化工法概要図

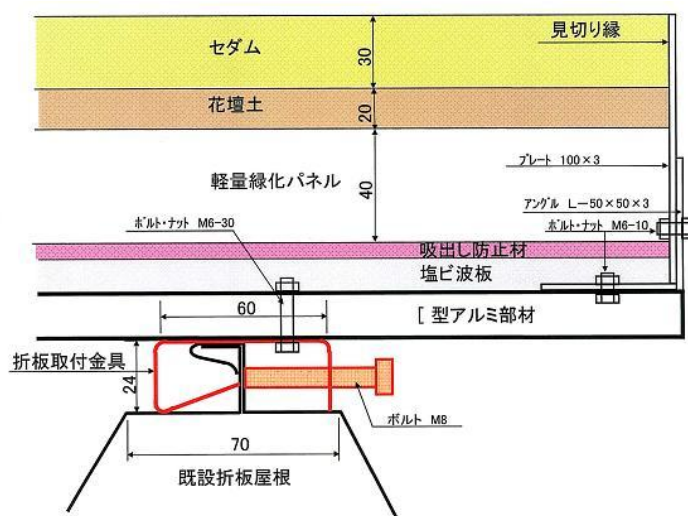


図2 折板屋根対応型緑化工法概要図

水が可能であるため、夏季でも自然の雨水を保水する能力を持ち、植栽の維持に効果を発揮する。

(表1 参照)

- ・折板屋根の形状に係らず、取り付け可能であり、通常の風に対して飛散することはない。
- ・軽量のため、設置も省力化ができる。

表1 軽量緑化パネルの仕様

発泡スチロール	サ イ ズ	450W×450B×40H
	重 量	吸水時：8kg/㎡
	圧縮強度	14N/cm ²
吸水ポリマー	成 分	架橋ポリアクリル酸ソーダ
	吸 水 量	100～150cc/g

4 実証試験

4. 1 試験目的および試験概要

1) 試験目的

折板屋根緑化において無灌水状態での植生の生育状況の確認と強風時の折板屋根緑化の安定性の確認。

2) 試験概要

- ・試験場所：(株)植木組荒浜リサイクルプラント内
- ・試験期間：平成20年8月20日～
- ・植生の種類：セダム（メキシコマンネングサ）
- ・植生面積：1.0㎡（1m×1m）

4. 2 施工手順

- ①折板屋根に適応した取付け金具を設置する。
- ②取付け金具上にアルミ鋼材のステーキングを組み立てる。
- ③ステーキング上にアルミ板材の見切り縁を取り付け、塩ビ製波板を床面に設置する。
- ④塩ビ波板の上に吸水ポリマーを充填した軽量緑化パネルを敷設し、十分に、吸水させる。
- ⑤軽量緑化パネルの上に2cm程度の花壇土を敷く。
- ⑥植生は灌水のメンテナンスを省くため、夏期の渇水期にも少ない水分で対応できるセダムを植える。

4. 3 セダムの生育状況

- ・平成20年8月初旬にセダムの植え込みを実施した。（写真3）
- それ以来、灌水はまったく行わなかった。
- ・10月頃から緑色のセダムの色は若干、赤みが

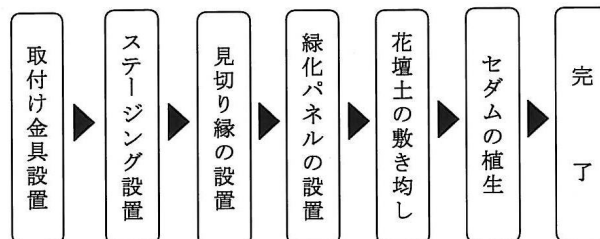


図3 施工手順

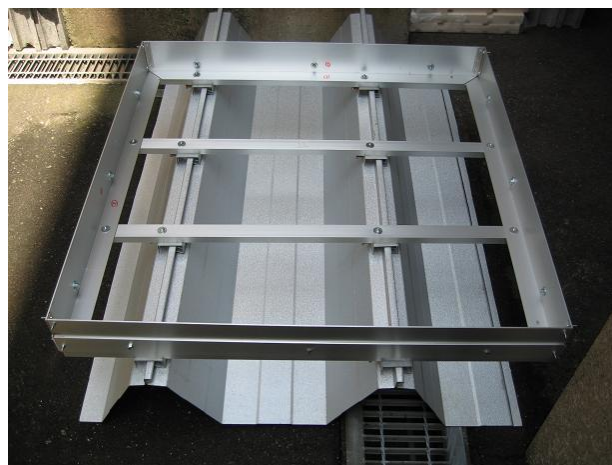


写真1 ステージング・見切り縁設置



写真2 軽量緑化パネル設置

ってきた。

- ・冬期間は雪が積もった状態であった。（写真4）
- ・3月には雪が溶けたが、セダムは冬枯れの状況となった。（写真5）



写真3 平成20年8月状況



写真4 平成21年2月状況



写真5 平成21年3月状況



写真6 平成21年8月状況

- ・5月には新芽が出てきて、セダムは再生したので、化成肥料を散布した。
- ・8月現在、ほぼ再生し、繁茂している。（写真6）

4. 4 環境測定結果

1) 環境測定項目

- ①温度：気温、折板屋根の表面温度、セダム内部の温度、折板屋根の直下の温度の4箇所です。10分毎データログ型温度計にて測定した。
- ②降雨量：データログ型転倒枳型雨量計を設置して降雨量を1時間毎に測定した。

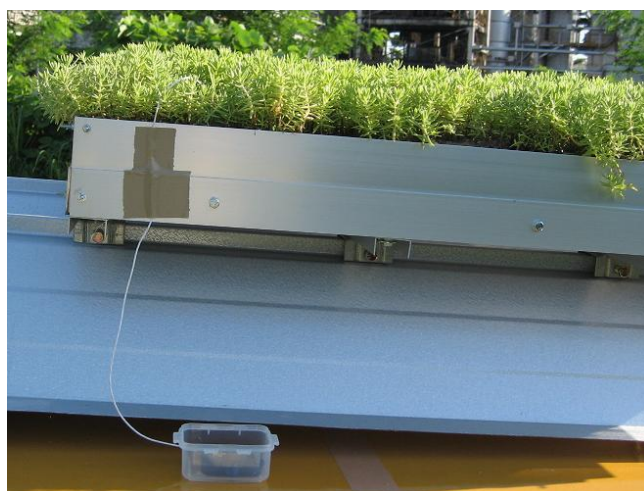


写真7 温度測定状況

2) 測定結果

図2は夏季の最も暑かった1日の温度の測定結果であるが、12時頃には気温が35℃に上昇し、折板屋根表面温度は最高で56℃まで上昇したが、セダム内部の温度は気温よりも若干高い42℃であり、折板屋根直下の温度は35℃であり、気温と同じであった。

折板屋根緑化により屋根直下の温度は屋根表面温度と比較して約20℃低減していることから、屋根直下の部屋空間の温度は低減するが十分期待できる。

図3は月別の降雨量を示しているが、5月、6月は晴天が続き、降雨量が100mm/月程度と非常に少ないにも係らず、植生は問題なく維持されていた。

また、強風に対するシステムの安定性についてもまったく問題はなかった。

ただし、自動風速計での計測を実施しなかったため、最大風速を確認することはできなかった。

7 まとめと今後の課題

今回、開発した折板屋根対応型軽量緑化パネル工法の実証試験は冬季間を含み、1シーズンを経過したが、セダムの生育については、無灌水状態でも十分に生育することが実証できた。

また、強風時にも折板屋根からの離脱等の現象は見られずに安定していたことから、取付け金具の配置や強度には問題ないことが実証できた。

今回の実証試験の結果を踏まえ、現在、当社の県央土質改良センター（燕市）にて、事務所棟の折板屋根において、セダム等、数種類の植物による屋根緑化を実施しているが（写真8）、折板屋根直下の事務所内の室温の低減効果を確認中である。

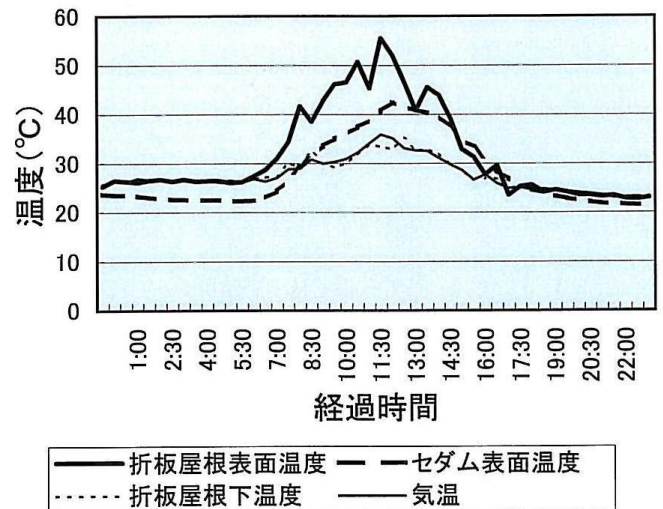


図4 温度測定結果

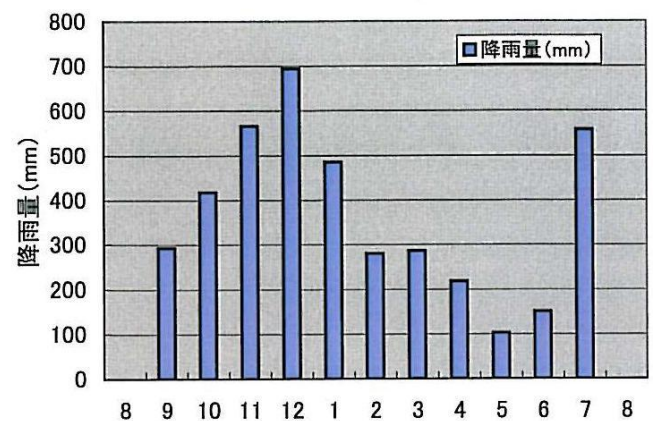


図5 雨量測定結果



写真8 折板屋根緑化状況

カキ殻を活用した屋上緑化工法 折板屋根への応用

株式会社本間組	建築事業本部企画設計部	担当課長	○阿部 信夫
	土木事業本部技術部技術開発研究室長		川浦栄太郎
本間道路株式会社	技術部	主任	村山 勝利
株式会社本間造園	営業部	次長	加藤 直人

1 はじめに

ヒートアイランド現象の抑制や建物の省エネルギー化・景観保全などの環境問題対策として、屋上緑化工法の開発が進められているが、当社でも「カキ殻を活用した屋上緑化工法」を開発し、去年の技術報告会で、緑化基盤としての基本性能及び陸屋根における屋上緑化の効果について報告させていただいたところである。

本報告では、「カキ殻を活用した屋上緑化工法」の応用技術として開発した折板屋根の屋上緑化工法とその効果について陸屋根との比較を含め報告する。

2 目的

折板屋根は、工場や店舗の屋根によく使われるが、陸屋根に比べ断熱性が低く冷暖房負荷を押し上げる要因となっている。そこで昨年開発した「カキ殻を活用した屋上緑化工法」を応用して、カキ殻基盤を折板屋根対応屋上緑化の基盤材として活用する技術開発を行った。

3 技術の概要

建築屋根の構造には多くの種類があるが、屋上緑化が適用可能な屋根構造は一般的に陸屋根と折板屋根である。陸屋根とは平坦な防水施設を施した屋根で、折板屋根とは勾配の付いた鋼板を材料とする屋根である。そのため冷暖房効率の改善による省エネルギー化が特に求められている。折板屋根屋上緑化は、カキ殻基盤を容器に敷き均し植栽したものを折板屋根に固定するものである。折板屋根の場合も、カキ殻の保水性を有効に生かしながら、排水性も確保する必要がある。保水量は 16 ㍓/m^2 以上を確保するよう設定した。

4 基盤の構造

折板屋根屋上緑化の構造は、基盤を敷き均し植栽をするパレットとそのパレットを折板屋根に固定する金具部材からなる。パレット及び固定金具については市販の材料を使用した。

施設の総重量は、既存建物に適用可能とすることと、公共建築工事標準仕様書より湿潤状態で 60 kg/m^2 以下にした。

また、各々の保水量は芝用で 18.0 ㍓/m^2 、ポット用で 20.7 ㍓/m^2 を確保し、目標の 16.0 ㍓/m^2 以上をクリアした。



写真－1 実験施設全景

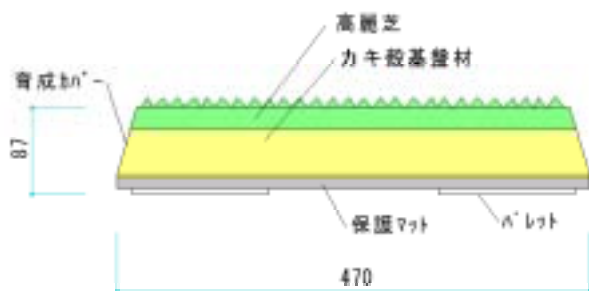


図-1 芝生用パレット

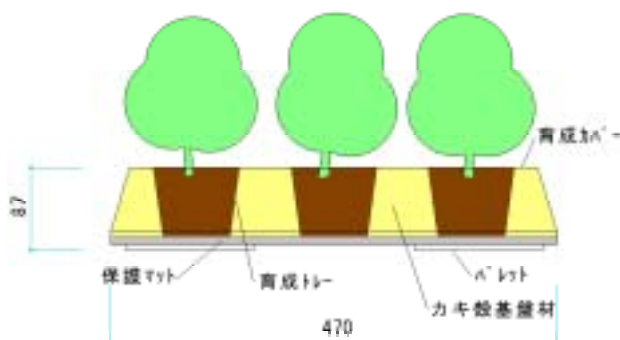


図-2 ポット用パレット

パレットには、図-1のとおり陸屋根用同様に保護マットとカキ殻基盤材を敷き均した上に芝を張った。また、ポット用パレットは図-2のとおりカキ殻を詰め、図-5の苗を植栽した。植栽種は、丈が高くなならないで乾燥や厚さに強く繁殖力の旺盛なものを選択した。

5. 折板屋根屋上緑化試験

試験では、折板温度・芝生表面温度・基盤下温度の変化を測定した。カキ殻の特性である酸性雨中和効果を確認するため、雨水と基盤からの排水のpHを測定した。芝生以外に14種類の植物を

植え屋上緑化に適応可能な樹種選定のための観察を行った。試験結果を以下に示す。

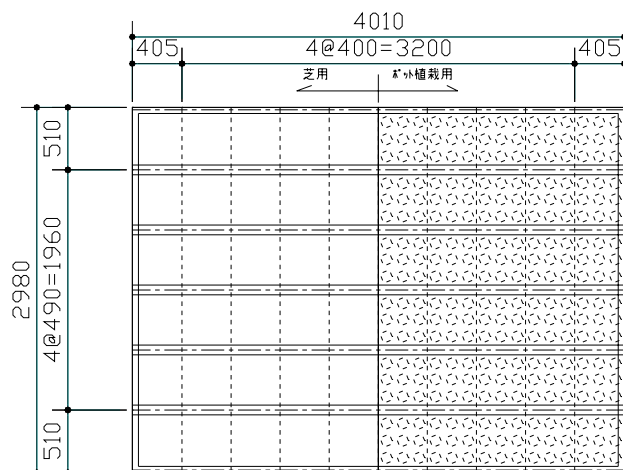


図-3 実験施設平面図

5. 1 温度変化

図-4に示すとおり温度上昇抑制効果については、屋上表面温度が最高値 64.0℃（気温 27.3℃）の時芝生表面温度 44.0℃であった。これは芝生の蒸散効果による温度低下でありヒートアイランド現象の抑制効果が確認できた。同時に基盤下温度が 31.6℃と更に 10℃以上も低く、かつ毎日 30℃前後に安定している。これは芝と土壤基盤の断熱効果であり省エネルギー効果が期待できる。

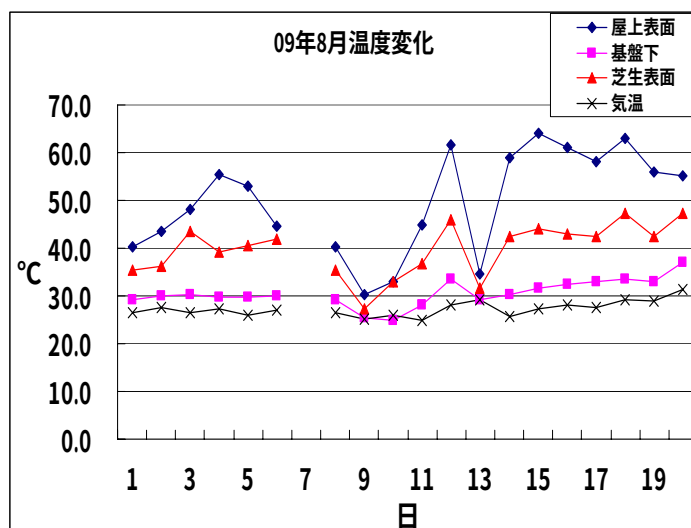


図-4 日別最高温度

5. 2 pH 測定

測定した降雨が pH5.43 の時、カキ殻基盤を通過した排水が pH6.91 に中和されていることを確認した。【酸性雨の目安として pH5.6 以下とする場合が多い：気象庁HPより】

5. 3 生育状況

図－5のとおり高麗芝の他、苗 14 種類植え、その生育状況を観察した。

設置をしたのが 7 月 6 日で、当日は十分な散水をしたが、以後は一度も散水せずに現在に至っている。これは、7 月の気候が例年より降雨日が多かったことにもよるが、事前にパレットへ植栽し養生ができるというメリットによることと、カキ殻基盤の高い保水性とその持続性によるものである。

設置後、2 ヶ月を過ぎるが写真－2 の通り枯れたものはなく、カキ殻基盤材は陸屋根同様に折板屋根にも有効であることが分かった。

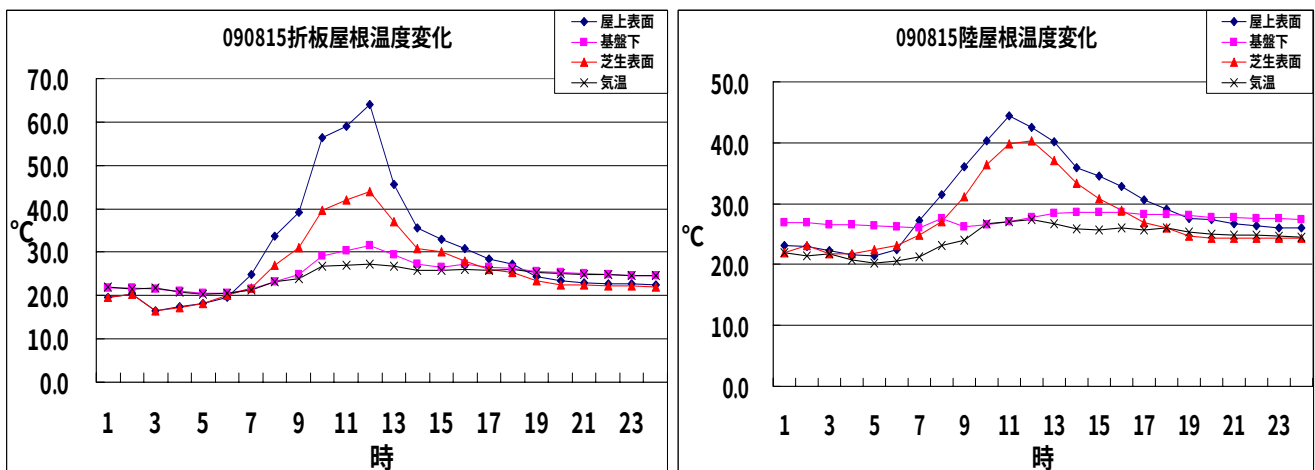


写真－2 生育状況

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	高麗芝					⑬キリンソウ		⑭オカメサ ^サ		
5						⑪セイヨウイワナンテン		⑫ヤブ ^ラ ラン	⑧ヒペ ^リ カム カリシナム	
4						⑨ヘダ ^ラ カナリエンス		⑩ヘデ ^ラ ハ リックス		
3						⑥マツバ ^キ ク		⑦タマリユウ		
2						③ヤブ ^コ ウジ ^シ		④フッキソウ	⑤クラビ ^ア	
1						①リュウノヒゲ ^サ		②ニシキテイカス ^ラ		

図－5 植栽樹種配置表

6. 折板屋根対応と陸屋根対応の比較



図－6 温度変化グラフ

折板屋根対応と陸屋根対応の温度測定データを比較したものを図－6 に示す。8 月 15 日は曇・最高気温 27.3℃であった。折板屋根・陸屋根とも、屋上表面温度・芝生表面温度・基盤下温度の一日の変化は同じような動きをしていた。芝生表面温度は双方とも 20℃から 40℃で同じような温度変化であった。これにより芝の蒸散効果によるヒートアイランド現象抑制効果は同程度であることが分かった。

基盤下温度は、双方とも 20℃から 30℃の間で、芝生表面温度より 10℃以上温度低下があり、芝生と基盤の断熱効果による省エネルギー効果が確認できた。

7. 平成 20 の実証実験温度測定結果

昨年 6 月から開始したカキ殻を活用した屋上緑化工法（陸屋根対応）の実証実験施設にて測定した 1 年間のデータを集計した。1 年間を冷房期（5 月から 10 月）暖房期（11 月から 4 月）に分けて、冷房期は屋上表面の最高温度・暖房期は最低温度を各月毎に選定し、同時刻の芝生表面温度と基盤下温度及び気温（新潟気象台）を集計したものを図－6 に示す。

単位:℃

年	2008年						2009年					
期	冷房期				暖房期				冷房期			
月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
屋上表面	54.5	51.8	49.8	39.8	0.1	-1.0	-0.9	-1.9	0.2	4.5	44.2	49.0
芝生表面	43.5	39.7	43.0	34.4	1.6	-0.4	-1.2	1.4	0.9	3.2	46.3	51.5
基盤下	30.6	30.6	25.7	22.3	10.9	9.6	7.4	9.7	11.1	13.2	26.3	27.6
気温	32.1	32.9	27.3	25.6	1.3	0.4	-0.5	-0.2	0.5	4.6	25.9	29.2

※ 各月のデータは、冷房期は屋上表面の最高温度時、暖房期は最低温度時の各測定温度

図－6 月別温度変化

結果、冷房期の特に 7 月から 9 月は屋上表面温度約 50℃に対し芝生表面温度約 40℃と 10℃の温度低下が見られ、芝生の蒸散効果によるヒートアイランド現象抑制効果が確認できた。また、同時に基盤下温度が約 30℃と 20℃も低く、蒸散効果を合わせ基盤の断熱効果による省エネルギー効果が確認できた。更に、暖房期では、11 月から 3 月の間は屋上表面温度の 0℃前後に対し基盤下温度が 10℃前後と安定しており、これは基盤の断熱効果による省エネルギー効果である。なお、同時に芝生表面温度は屋上表面温度と同程度の温度であった。これは、低温下では芝生の蒸散効果が見られないことによるものである。

8. おわりに

昨年開発した「カキ殻を活用した屋上緑化工法」の陸屋根対応技術を基に、折板屋根対応への応用技術を今回開発した。折板屋根でも陸屋根同様の植物の蒸散効果によるヒートアイランド現象の抑制効果及び植物と土壌基盤の断熱効果による建物の省エネルギー化が可能であることが明らかとなった。

また、酸性雨の中和効果も同様に確認することができた。更に、芝生以外にも植栽可能な植物が多くあることも確認できたので、今後はカキ殻基盤を活用しながら多品種の植栽が可能な屋上緑化が可能となった。

今後は、カキ殻基盤を一般の人が手軽に使用して屋上緑化ができるような製品開発を進めていきたいと考えている。屋上緑化の普及が進みヒートアイランド現象抑制や建物の省エネルギー化など、環境問題の解決の一助になればと期待しているところである。

自生型飛砂防止緑化工法はまみどりの開発と効果の検証

グリーン産業株式会社 調査設計部々長 真見 和樹
調査設計部係長 ○滝沢 有紀

1 はじめに

新潟県沿岸部では冬期の風浪等で発生する飛砂被害が著しく、その対策が必要とされてきた。古くから行われてきた対策工法として、垣類などの補助工作物を設置した後方に植生を導入する方法がある。植生（砂草）の定着を促す工法は、その繁殖形態から長期的な飛砂抑制効果が期待できるが、垣類は老朽化や埋没した場合は更新が必要であり施工にも高い技術と手間を要する。一方、施工の比較的容易な砂地表面を粘着材や無機資材で被覆する方法は、短期間で大面積を覆って飛砂を防止できる点で有効であるものの、激しい飛砂地では堆砂によって効果を失ってしまう。よって植生による、より単純な手順でかつ機械施工が可能な飛砂防止工法の開発は意義のあるものと考えられる。本研究ではその一手法として、砂浜に有機質を中心とした生育基盤層を設けることで、植栽は行わずに潜在植生を一面に発生させて飛砂を抑制する工法を開発する。その効果の検証のため、試験施工及び現地実測を行い現象把握を行った。

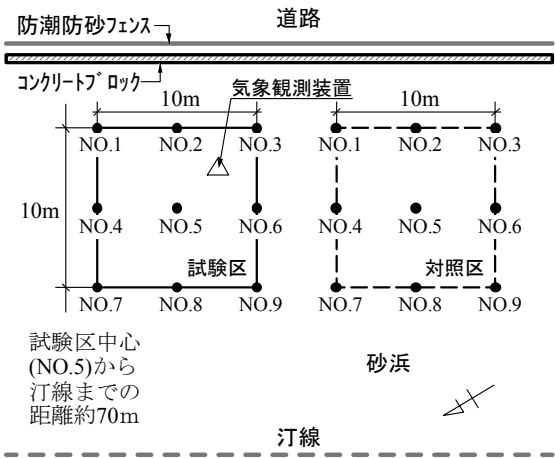


図-1 試験区・対照区の概要

2 施工方法および調査内容

図-1に試験施工の実施状況を示す。柏崎市荒浜海岸の砂浜（汀線までの距離約70 m）を10 m四方の正方形で深さ約0.5 m掘削し、主となる有機質基盤（新潟県特産の食品製造後の培地を二次利用）を約30 cm敷均し、動物系有機質肥料や微生物資材等を散布した後、現地砂で埋め戻す。施工範囲を“試験区”とし、その隣に通常の砂浜である“対照区”を設け両者を調査対象とした。施工完了時は基本的に地上構造物はなく、通常の砂浜と変わらぬ景観である（写真-1上）。調査内容を表-1に示す。



写真-1 試験地全景（上：施工完了2002年7月，下：植生発生後2003年8月）

表-1 調査内容

調査項目	調査方法	調査期間/頻度
気象観測	測定器はアメリカDAVIS社製の気象観測装置ヴァンテージ・プロ。地上約1.6mの高さで気温、湿度、雨量、気圧を計測、約2mの高さで風速、風向、日射量を計測	2003年9月から2004年8月 /全測定項目を10分間隔で自動測定

砂の捕捉量調査	地盤高調査による間接的飛砂量（堆砂量）の測定．試験区及び対照区（通常の砂浜）内の各9点	2002年7月施工時から 2004年5月/約1ヶ月おき
植生調査	目視により区全体及びプロット1×1 m内の発芽状況，植物種，被覆状況，生育状況等の確認．断面調査として約0.6×0.7mを掘削し根系状況を確認	同上（断面調査は2005年 12月）

3 調査結果

3. 1 気象観測

3. 1. 1 風向・風速の発生頻度

図-2より全体に北からの風が多く，特に強風時に北風が非常に卓越している．図-3では1年間の全ての風速について求めた結果と季節風の影響の強い冬期（ここでは11月～3月）のデータのみで求めた結果を比較して示す．冬期は低風速側の累積頻度が小さく，高風速の発生頻度が非常に高いことが分かる．

3. 1. 2 飛砂の発生状況の推定

試験区における風速の観測結果から，当該地区での飛砂の発生状況を推定する．まず風速の鉛直分布に以下の対数則を仮定して，風速の観測値から砂面の摩擦速度 U_* を推定する．

$$U_* = \frac{U_z}{5.75 \log_{10} \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad (1)$$

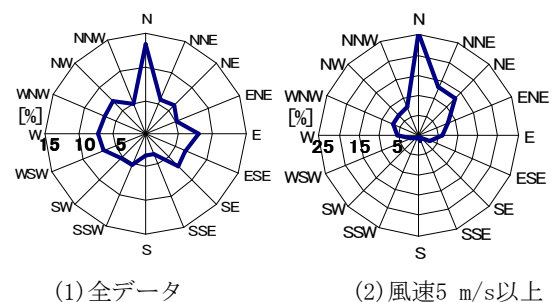
ここで U_z は風速の測定値（地上高さ $z=2.0$ m）， z_0 は砂面の粗度長（本研究では， z_0 は 1.0×10^{-3} [m]とする）である．また砂面の限界摩擦速度 U_{*t} は次式で求める．

$$U_{*t} = A \sqrt{gD \frac{\sigma - \rho}{\rho}} \quad (2)$$

A は数値定数（ $=1.0$ ）， D は砂の粒形， σ は砂粒子の密度， ρ は空気密度である．現地の砂粒子の分析結果から粒径 D として 0.5 mm，砂の密度 σ として 2.6 g/cm³を用いると， U_{*t} は 0.24 [m/s]と求められる．飛砂量 q は，次式の河村式から推定するものとする．

$$q = K \left(\frac{\rho}{g} \right) (U_* + U_{*t})^2 (U_* - U_{*t}) \quad (3)$$

ここで $K=2.78$ とした．図-4に10分間隔で計測された地上 2.0 mの10分間平均風速から算出した飛砂量（単位時間に単位幅を移動する砂の質量）の推定結果を示す．なお砂面上の摩擦速度(2)式で求めた限界摩擦速度 U_{*t} 以下の場合，及び降水量が観測された時間には飛



(1) 全データ

(2) 風速5 m/s以上

図-2 風向発生頻度分布（試験区地上2 m）

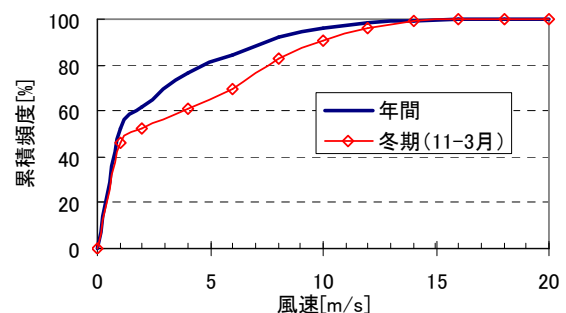


図-3 風速発生頻度分布（試験区地上2 m）

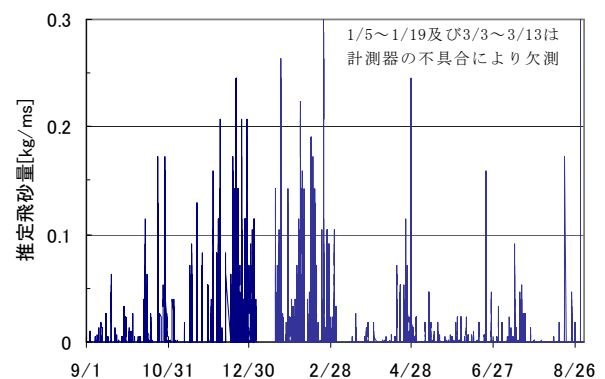


図-4 風速の観測結果から推定した飛砂の発生状況（2003年9月1日から2004年8月31日）

砂は起きないものとした．この結果から10月頃から飛砂量が増加し始め，季節風の影響の強い12月から2月終わりまで相当量の飛砂が発生していると推定される．

3. 2 砂の捕捉量（レベル）調査

図-5は試験区及び対照区における仮地盤高の推移を全9測点の平均により示したものである．両区共に上昇傾向がみられるが，測定開始から2年半で対照区は10 cm前後，試験区は40 cm前後の地盤上昇がみられ，約30 cmの地盤高の差があった．2003年8月頃に試験区の地盤高が急激に上昇しているのは，試験区植生の草高がピークとなり，飛砂粒子の捕捉量が最も多くなったためと考えられる．

また図-4に示したように，飛砂量は10月頃から2月末までが多いと推定されるが，その時期の仮地盤高の変動

は比較的小さい．この時期は植生が枯死した状態になり捕捉量が減少し，侵食量と堆積量が平衡した結果，冬期の飛砂発生期の地盤は比較的安定した状態になったともと考えられる．また4月の植生の出芽時期より再び地盤が上昇し始める．

3. 3 植生調査

施工翌年の2003年4月及び5月に発芽本数を計測したところ5月の段階で試験区内の本数は大きく増加し顕著な差が認められた（表-1）．対照区は主に昨年茎からの出芽であるのに対し，試験区は現地土壤に含まれる種子からの発芽であるのが特徴的である（写真-3）．植物種は主にハマヒルガオ（海浜に生育する多年生草本）で，所々にメヒシバ（1年生草本）の出芽がみられた．また基盤改良を行うことで写真-2のように周囲の砂浜より表面湿度が高い状態になっていることが確認できる．以上のことにより試験区は通常の砂浜よりも発芽環境として優れていることが示された．

表-1 発芽本数

	4月	5月	
試験区	211	→ 1,114	（本/区）
対照区	217	→ 422	



写真-2 植生発生前の試験区



写真-3 種皮付き発芽個体

施工翌年の発芽後，夏に向けてメヒシバが著しく伸長し群落を形成し，8月の植生ピーク時には草高約80 cm，植被率80%に至った（写真-1下参照）．しかしメヒシバとハマヒルガオはどちらかが一方を被圧によって消滅させることはなく，ハマヒルガオはメヒシバの下層やその縁を囲うように棲み分ける．さらに翌年春よりハマヒルガオは前年茎から出芽し，より確実に全面被覆された．一方メヒシバの勢力は発生後から年々抑えられる傾向で，飛砂の少ない6月時の平均的な草高を比べると2003年約30 cm，2004年10～15 cm，2005年5～10 cmと推移した．また試験区内で確認された植物種は，調査期間を通してハマ

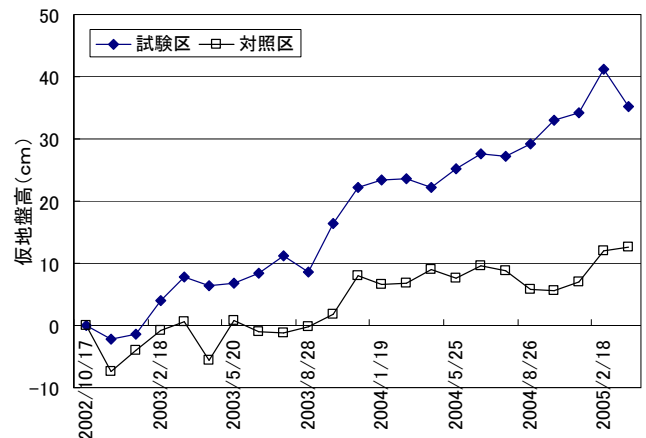


図-5 測定開始を0とした場合の仮地盤高の推移

ヒルガオ、メヒシバ、コウボウムギ、ヨモギ、タカサブロウ、アメリカネナシカズラ、メマツヨイグサ、シロザ、アメリカセンダングサ、クサネム、オカヒジキ、オオオナモミなどで、この他に種子から発芽しても大きく生長できず姿を消すものもある。

3. 4 断面調査

施工3年後の2005年冬、試験区の一角を掘削し根系状況を調査した（写真-4）。根系は深さ最大90 cm、基盤改良層に達する。白く見える太根はハマヒルガオで、深さ0～50 cm付近まで最も根の密集がみられる。ハマヒルガオは深さ-1 m以上根を伸ばすことができるのに対し1年生草本のメヒシバの根はおおむね深さ-25～30 cmまで分布する。冬期は植生の地上部は葉を落として無くなるが、地下部は充実した多年生草本の根系により砂が保持される。



写真-4 断面調査による根系状況

4 結び

本研究により飛砂防止工法の効果や特長は以下のように要約される。施工範囲は基盤改良により発芽環境が向上し、ハマヒルガオや先駆的な1年生草本の埋土種子が自然発生し一面が植生で覆われた。植生により砂浜の粗度が高まり実際に植生が砂を捕捉させている状況が確認された。さらに植生遷移により優占した海浜性草本は、砂に埋もれても上へ伸長する繁殖形態から緑化機能は毎年更新される。つまり堆砂垣などの耐用年数が2～3年程度の構造物と比べ、劣化することなく持続性が高い。冬期は充実した基盤環境に張り巡らされた根系の緊縛により砂浜の安定を保っている。以上により本工法は、飛砂量を減じるための工法が有すべき4つの条件「風速の低下、砂表層の含有水分低下の防止、飛砂粒子の移動の遮断あるいは捕捉、不断の継続性」を総合的に満たし、基盤改良のみを行う極めて単純な方法によって、現地性の植生を自然発生、繁茂させ長期安定型の植生を成し飛砂を抑制するという一手法の可能性を示した。今後、沿岸道路や近接する生活圏、養浜海岸等での慢性化した飛砂被害の早急な対応策として本格的採用が望まれる。

最後に、気象観測データの収集及び解析、並びに多大な助言を頂いた新潟工科大学富永禎秀教授に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 河村龍馬：飛砂の研究，東大理工研報5(3/4)，1951
- 栗山善昭・上堂菌孝一：後浜から砂丘前面にかけての飛砂量の数値計算，海岸工学論文集，第46巻，1999
- 近藤哲也・坂井明子・佐々木真二郎：播種時期と埋土深がハマヒルガオとハマエンドウの出芽と生残に及ぼす影響，日緑工誌，28巻2号，2002
- 佐藤慎司・大谷靖郎・橋本新・堀口敬洋：新潟海岸における飛砂の実態と防砂フェンスの機能，海岸工学論文集，第46巻，1999
- 塩澤俊彦・中谷内信一・赤澤守・玉城重則・黒木敬司：新潟西海岸における飛砂の現地観測，海岸工学論文集，第40巻，1993
- 中島勇喜：海岸林の環境保全の働きと評価2. 飛砂防止，村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編，日本の海岸林，1992
- 船越晴世・大野正人・阿部勝雄・鈴木幸一・黒木敬司・玉城重則：飛砂防止対策について，海岸工学論文集，第40巻，1993
- 堀田新太郎：飛砂，本間仁監修／堀川清司編，海岸環境工学，1985

第二会場 報告技術

オールシーズン型環境舗装の効果

株式会社ガイアート T・K 技術研究所 ○佐沢 昌樹
同 鈴木 秀夫
同 斉藤 一之

1 、はじめに

当社では、吸水性ポリマー（砂漠の緑化などでつかわれている）を舗装の中に入れて塩分や水分を吸収させることによって、ひとつの舗装で夏の高い温度対策（路面温度を下げる）と冬の低い温度対策（凍結しないようにする）の両方の対策に対して、効果を発揮する舗装工法“バイロメントペーブ”を開発し、2007 年以來の試験施工の実施と、その効果の検証を行ってきた⁽¹⁾。

本報告は、冬季凍結抑制効果を発揮させるためには、凍結防止剤の散布量をどのように設定したらよいかについて検討を行い、その結果から凍結抑制剤の散布量を決定し、凍結抑制効果についての確認と施工後 2 年目の路面温度低減効果について報告するものである。

2 、冬季凍結抑制剤散布量の検討

2007 年 1 月 29 日に福井県において実施した試験施工箇所（80 m²、幅員=4m、L=20m、t=5 cm、図-1 参照）において、2007 年 12 月 13 日、12 月 24 日、1 月 18 日にそれぞれ凍結抑制剤として塩化カルシウムを、それぞれ通常の 5～6 倍に相当する量（210g/m²～330g/m²）、通常の使用量（60g/m²）、通常の 1/2 の使用量（30g/m²）の散布を行い、残留する塩分濃度（NaCl%相当）についての経時変化を調べ、同時に最寄のアメダスデータにより積雪量と降水量との関係について調べた。結果を図-2 に示す。



写真-1 試験施工箇所の凍結抑制剤
（塩化カルシウム）の散布状況

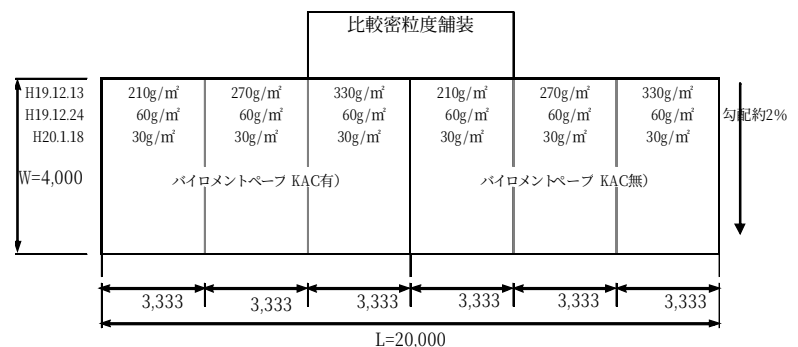
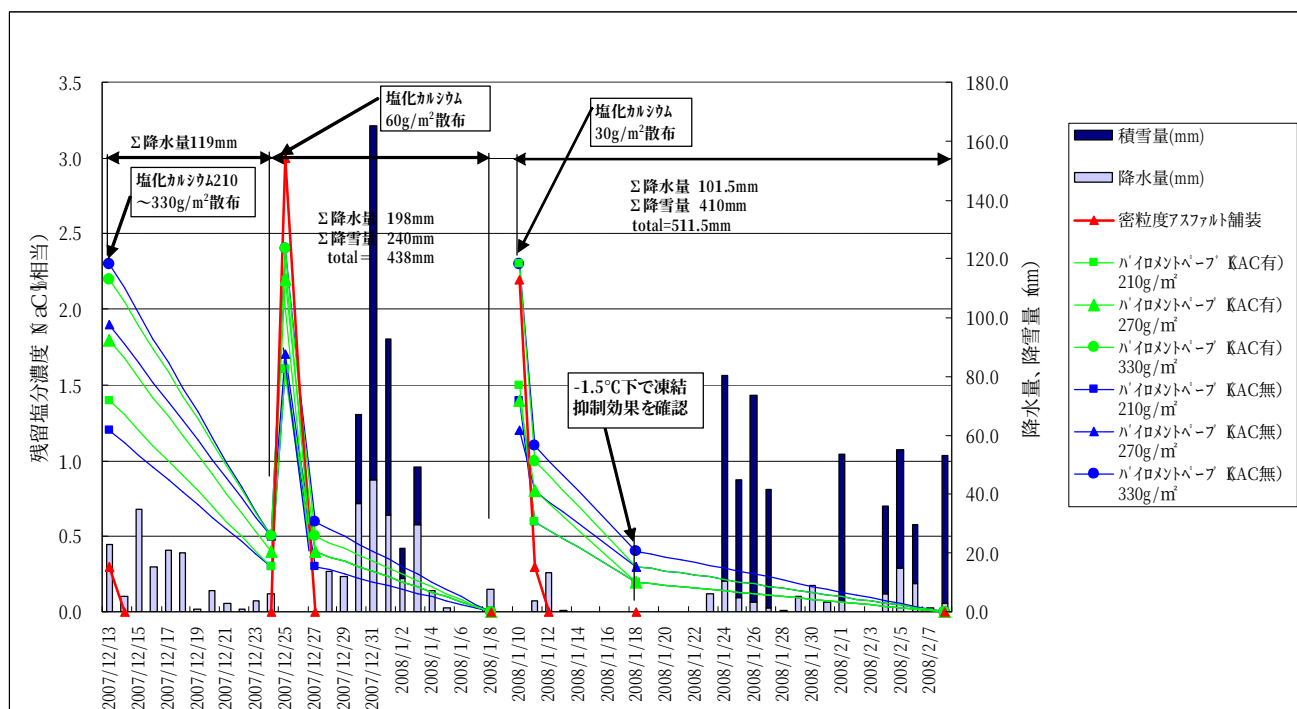


図-1 試験施工箇所の概略図



図ー２ バイロメントペーパーの積雪量、降水量と残留塩分濃度（NACl%相当）の経時変化

なお、バイロメントペーパーは施工後直ぐに、凍結シーズンとなる場合には、セメントミルクに凍結抑制剤としてKAC（酢酸カリウム）を添加するタイプと、施工後凍結シーズンまでに期間がある場合には、無添加とする２種類のタイプがあり、図ではKACの有無の凡例で分けているが、当初配合のKACは数ヶ月で流出するため、基本的に同じものといえる。

図から、シーズン前に通常の散布量の５倍～７倍に相当する210g～330g/m²の塩化カルシウムの散布を行っても、降雪や降雨の条件次第では濃度の低下傾向はかなり早くなることが明らかである。今回の気象条件をベースにすると、シーズン中は降雨量＋降雪量が概ね500mmに一回の割合で30～60g/m²の塩化カルシウムを散布すれば濃度を維持することが確認できた（この年の１月17日の調査では、-1.5℃で凍結抑制効果を確認できた際の表面濃度は0.3%であった）。

これより、多量の凍結防止剤をシーズン前に散布するよりは、シーズン中は気象条件に合わせた散布を繰り返し行うことでより効果（塩分を保持して凍結を抑制する効果）を発揮することが判った。

３、冬季路面管理と凍結抑制効果

福井県における凍結抑制剤の散布量の検討結果を基に、2008年7月8日、「中国自動車道高田～六日市間舗装補修工事」、本郷PA（下り）内において実施した試験施工（3.5×26＝91m² t＝4cm 母体7%の空隙率＝17%）個所において、現地の気象条件から判断2008年12月24日に、塩化カルシウム90g/m²相当の散布を行い、その後は、一般的な路面管理と同様の管理を行う状態での追跡調査を実施した。

ここでは、2009年1月10日から11日にかけて、試験施工個所には、累積で約50cmの降雪があり、11日午前7時33分、気温-2.1℃の状況下において、路面の状態について目視観察したところ、一般アスファルト舗装では、圧雪または、凍結状態であるのに対して、試験施工個所はシャーベット状、

または、融雪状況であることが確認された。(写真2、写真3) また、屈折型塩分濃度計により、塩分濃度 (NaCl 相当) を測定したところ、一般アスファルト舗装部 1.3% (N=3) に対して、試験施工箇所では、2.5% (N=3) であり、約 2 倍の濃度差が確認でき、これらのことから凍結抑制に効果があることが確認できた。



写真-2 冬季路面の状況

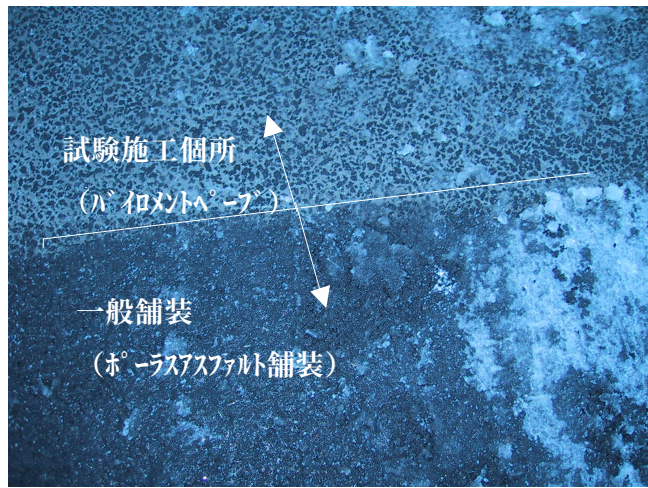


写真-3 路面凍結状態の差

<上：試験施工箇所 (ハイドロメントペーパー、シャーベット状態)>

<下：一般舗装 (ポラスアスファルト)、圧雪・氷版状態)>

4 、施工2年目の路面温度低減効果

夏場の効果の調査として、2009.8.18 AM12:59 (天候晴れ、気温 30.1℃) に測定したサーモグラフィカメラによる表面温度測定結果を写真-4に、表面の状態を写真-5にそれぞれ示す。

これによれば、比較工区の碎石マスチックアスファルト舗装に比べて、平均で 8.6℃の温度低減が確認でき、散水後の調査であれば「東京都性能規定」の 12℃以上の路面温度低減を満足するものであると推定される。また、表面の状態はかなり黒くなってきてはいるが、骨材間のセメントは残っており安定した路面性状であることも確認することができた。

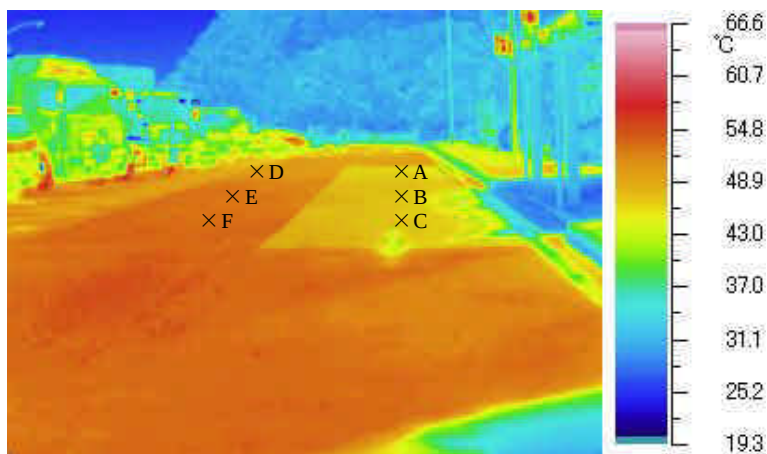


写真-4 サーモグラフィカメラによる施工2年目の表面温度測定結果



写真-5 施工2年目の表面の状態

＜バリエート舗装 A 点：45.4℃、B 点：45.2℃、C 点：45.8℃、平均 45.5℃＞

＜碎石マツタツアスファルト舗装 D 点：53.3℃、E 点：54.2℃、F 点：54.8℃、平均 54.1℃＞

5、 まとめ

2箇所を実施した試験施工を通して、以下の点が明らかになった。

- 1) 冬季凍結抑制剤の散布量については、降雨量＋降雪量が概ね 500mm に一回の割合で 30～60g/m²の塩化カルシウムを散布すれば濃度を維持することが確認できた。
- 2) 多量の凍結防止剤をシーズン前に散布するよりは、シーズン中は上記 1) を目安に気象条件に合わせた散布を繰り返し行うことでより効果を発揮する。
- 3) 塩化カルシウム 90g/m²相当の散布を行い、その後は、一般的な路面管理と同様の管理を行うことで、累積で約 50cm の降雪に対して効果が発揮できた。
- 4) 施工 2 年目の路面温度低減効果として、散水無しで 8.6℃の結果となり散水した場合には、12℃以上の路面温度低減効果を発揮するものと思われる。

今後も、経年変化の追跡調査を行い、更に完成度を高めていきたいと考えている。

＜参考文献＞

- 1) 佐沢昌樹「オールシーズン型環境舗装の効果」, 北陸地方建設事業推進協議会、平成 20 年度建設技術報告会論文集, pp.77-80, 平成 20 年 10 月

機能性SMAの路面テクスチャに着目した 凍結抑制舗装「ザペック工法タイプS」

世紀東急工業(株) 技術研究所 ○吉野 敏弘
同上 同上 廣藤 典弘
同上 技術部 永渕 克己

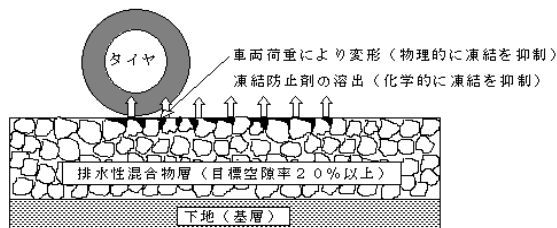
1 はじめに

寒冷地における凍結抑制対策は、これまで多数の機関が検討し、研究開発が行われている。当社においては、物理的効果と化学的効果を併せ持つ凍結抑制材をポーラスアスファルト混合物の表面空隙や密粒系母体のグルーピング溝に充填し凍結抑制効果を発揮する工法の実績を有している。

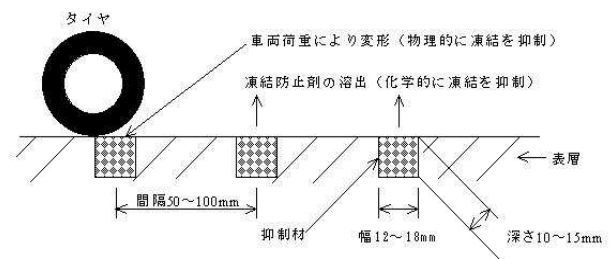
本文は、従来工法の母体を機能性碎石マスチックアスファルト（以下、機能性 SMA）とし、さらに当社独自のテクスチャ管理技法を適用して検討した凍結抑制舗装について述べるものである。

2 既存工法

当社既存の凍結抑制舗装（ザペック工法）は廃タイヤによるゴムチップとウレタン樹脂による混合物(以下、抑制材という)をアスファルト舗装の表面部に配置する工法で、ゴムチップの一部を CMA(酢酸マグネシウムカルシウム)に置き換えることで物理的凍結抑制効果に化学的凍結抑制効果も付加できるものである。本工法は充填方式から2種類に大別され、図－1に示すポーラスアスファルト混合物の表面付近の空隙に抑制材を配置するタイプPと図－2に示すような密粒タイプ（透水性を必要としない）舗装にグルーピング溝を設け、その溝に抑制材を充填するタイプGがある。

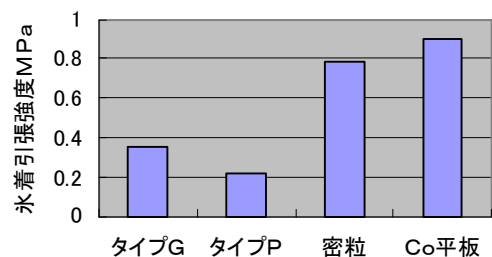


図－1 タイプPの概念図



図－2 タイプGの概念図

公共工事の性能規定化にともない凍結抑制舗装については氷着引張試験による評価法が定められている¹⁾。当社既存工法と比較供試体の氷着引張強度試験結果を図－3に示す。なお、過去に氷着引張強度で性能規定された工事の指標値は0.5MPa以下であった²⁾。



図－3 氷着引張強度試験結果

3 検討方針

過去に施行された凍結抑制舗装の性能規定工事では舗装に透水性まで求めるものではなかった。母体混合物が非透水性を対象としたタイプGは溝の設置と抑制材充填の2工程があるため、母体混合物を非透水性の機能性SMAとし、タイプPの要領で舗装表面付近の空隙に抑制材を充填するタイプ（以下タイプS）について検討した。タイプSの概念を図-4に示す。タイプSを検討するに当たって、その方針は次のように設定した。

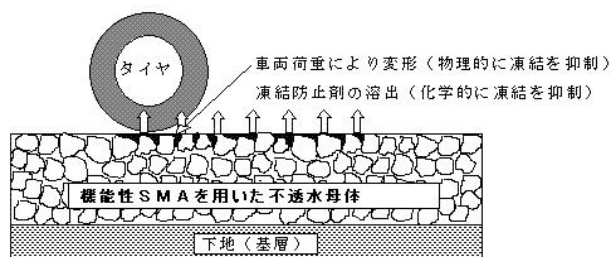


図-4 タイプSの概念図

- ①母体混合物は不透水とする。
- ②凍結抑制効果に大きく関与すると思われる舗装表面の空隙は路面テクスチャで評価することとし、テクスチャの目標値はタイプPで標準の母体としている空隙率 20%最大粒径 13mm のポーラスアスファルト混合物と同程度以上とする。
- ③塑性変形抵抗性、摩耗抵抗性、骨材飛散抵抗性等の舗装としての基本性能はタイプPと同程度とする。

路面テクスチャについては、経験的に路面の凹凸が大きくなると路面の平均キメ深さ（以下MPD(Mean Profile Depth)）の測定値の変動が大きくなり、安定した測定が出来ない傾向を得ている³⁾。当社では、写真-1に示す面的測定が可能なSTメータ（Surface Texture Meter）を独自に開発している。本測定器は、定面積内において複数のデータを平均化することにより、精度の高いMPDの評価値が得られるMPD(S)（SはSurfaceの略）を提案出来るものである。一般的なMPDの定義⁴⁾を図-5に示し、面的に路面テクスチャを評価するイメージを図-6に示す。

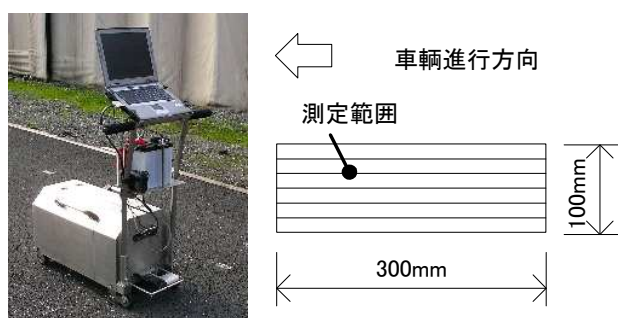


写真-1 STメータ

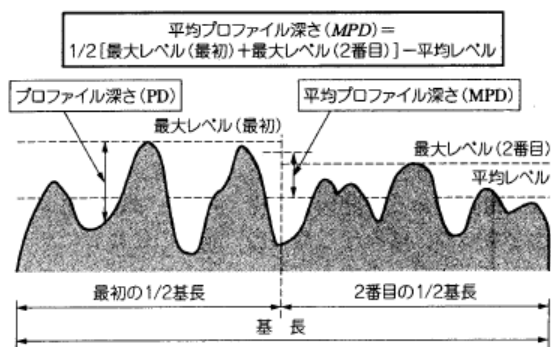


図-5 一般的なMPDの定義

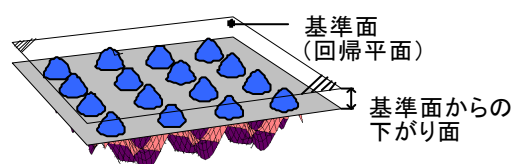
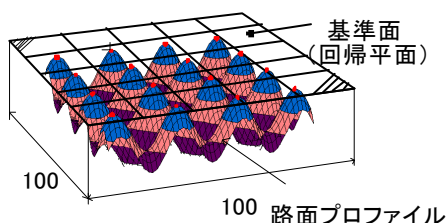


図-6 面的に路面テクスチャを評価するイメージ

4 室内検討

今回検討したタイプ S の母体混合物である機能性 SMA の最大粒径は 13mm（タイプ S (13)）と 20mm（タイプ S (20)）の 2 種類とし、バインダーはタイプ P で実績のあるポリマー改質アスファルト H 型とした。凍結抑制材はタイプ P で使用しているものとし、比較として空隙率 20%最大粒径 13mm のポーラスアスファルト混合物を母体としたタイプ P についても実施した。なお、混合物に使用した骨材は通常プラントで使用しているものである。試験結果を表－1 に示す。

表－1 室内検討項目と試験結果

試験・測定方法	測定項目	凍結抑制材	タイプP	タイプS(13)	タイプS(20)	目標値
STメータによる路面の粗さ測定	MPD(S) (mm)	無	1.69	1.51	1.72	1.6以上
ホイールトラッキング試験	塑性変形輪数 (回/mm)	無	8,000	10,000	10,000+	3,000以上
ラベリング試験	摩耗量 (cm ²)	無	0.86	0.72	0.66	1.1以下
		有	0.45	0.24	0.14	
加圧透水試験	透水係数 (cm/s)	無	1.4×10^{-2}	不透水	不透水	不透水
ねじり骨材飛散試験	飛散量(g)	有	9.6	10.5	9.8	-
	飛散率(%)		9.4	10.1	8.8	-

ここで、路面の粗さと透水性は相反する関係であり、今回検討した骨材では、最大粒径 13mm の機能性 SMA で不透水を確保しようとした場合、路面テクスチャはタイプ P の母体混合物の値を確保することが出来なかった。また、路面テクスチャの関係から最大粒径 13mm は 20mm に比べて凍結抑制材の充填量が少なくなるにもかかわらず、骨材飛散抵抗性による飛散量は同程度であったため、母体に残留する抑制材の量は最大粒径 20mm の方が有利であると判断した。その他の塑性変形抵抗性や摩耗抵抗性については、従来のタイプ P と同程度以上の結果が得られた。特に塑性変形輪数に関しては舗装計画交通量 N7（3,000(台/日・方向)以上）の基準値（3,000(回/mm)）⁵⁾ を十分満足する結果であった。以上より、今回検討した材料においては、最大粒径 20mm の機能性 SMA を母体混合物として推奨することとした。なお、タイプ S(20)における氷着引張強度は 0.25MPa であった。

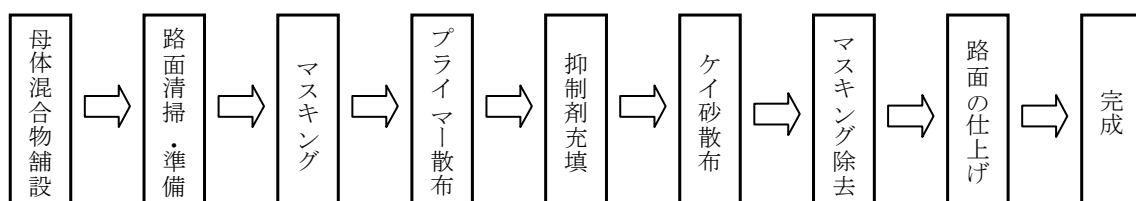
5 実路における検証

実路における検証の現場概要は表－2 に示すとおりで、国道 253 号での維持修繕工事の一部を試験フィールドとして実施した。施工手順は、図－7 に示すとおりである。

表－2 現場概要

項目	実施内容
施工箇所	新潟県上越市上千原地内(国道253号)
道路管理者	新潟県上越地域振興局
施工年月	平成20年12月
舗装計画交通量	1000≦T<3,000(台/日・方向)
交通量区分	N6(旧交通量区分:C交通)
施工規模	72.6㎡(幅員=3.3m、延長=22m)

なお、実路での施工に先立ち当社構内で母体混合物の試験練りおよび試験施工を実施し、粒度と締め方法の最終確認を行った。



図－7 施工手順

完成後切り取り供試体による凍結抑制材の充填状況は写真－２に示すとおりで、路面凹部に十分充填されていることが確認できた。

施工直後および一冬経過した３ヵ月後に実施した調査結果を表－３に示す。ここで、透水係数および氷着引張強度は現場切り取り供試体によるもので、MPD（S）はパテにより路面の凹凸を型取りしたもので計測した値である。



写真－２ 抑制材充填状況

施工直後および３ヶ月後の舗装の基本性能(平たん性、わだち掘れ量、すべり抵抗値)および目視の結果は特に問題なかった。施工直後の路面テクスチャは室内検討より若干大きな値であった。これは室内の締固め度が100%であったのに対し、現場では97.7%であった影響と考える。施工直後の透水係数および氷着引張強度については当初の目標を十分満足するものであった。

写真－３は冬季の路面状況で、当該工法適用箇所はタイヤ通過位置で凍結が抑制されており、適用外の反対車線や前後で路面は凍結状況であった。

表－３ 施工直後および３ヵ月後の性状

調査項目	施工直後	3ヵ月後
平たん性 (mm)	1.44	1.71
わだち掘れ量 (mm)	0(初期値)	1～2
すべり抵抗値(μ_{60})	0.39	0.44
母体部のMPD(S) (mm)	1.88	1.77
締固め度 (%)	97.7	－
透水係数 (cm/sec)	不透水	－
氷着引張強度 (MPa)	0.22	－



写真－３ 凍結抑制状況

6 おわりに

今回の母体混合物を機能性 SMA とした本工法は、塑性変形輪数で舗装計画交通量 N7 の基準値を満足でき、氷着引張強度で過去に性能規定された工事の指標値を満足する凍結抑制舗装であることが確認出来た。今後は更なる追跡調査を実施するとともにポリマー改質 As II 型を検討する等により、適用性の拡大について図ってゆきたいと考える。

最後に実路での検証機会を頂いた新潟県上越地域振興局への感謝の意をここに記し、お礼を申し上げます。

<参考文献>

- 1) (社)日本道路協会：舗装性能評価法別冊，(2008.3)
- 2) 中国地方整備局：国道 9 号篠目舗装工事入札説明書，(2007.1)
- 3) 草刈ほか：路面プロファイルによるタイヤ/路面騒音およびすべり抵抗の推定法に関する基礎検討，土木学会第 62 回年次学術講演会 第 5 部門 CD-ROM，(2007.9)
- 4) 井上：口座 路面評価（第 4 回） 路面性状に関する国際委員会の動き－PIARC／ISO－，舗装，(2001.11)
- 5) (社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，(2001.7)

凍結抑制機能の付与を目的としたゴム粒子散布接着工法 (ラバーパック) の開発

大林道路（株）技術研究所 材料研究室 主任研究員 ○東本 崇
技術研究所 材料研究室 室長 鈴木 徹
技術研究所 材料研究室 船井 俊孝

1. はじめに

冬期の道路における交通安全確保のために、凍結抑制舗装が各地で施工されている。凍結抑制舗装はロードヒーティング等の消雪効果を発揮するものではなく、降雪時や凍結初期に凍結抑制効果を発揮し、冬期の路面管理を補う工法である。つまり、路面の凍結する時間帯や期間を短くできること、凍結防止剤の散布量や散布回数を減らすことおよび除雪作業回数を減らすことなどの効果をねらったものである。このような効果から、スリップ事故の低減による交通安全確保、凍結防止剤散布量の低減による沿道環境保全および冬期路面管理コスト低減につながると考えられる。

当社では、「物理系凍結抑制舗装」に属するゴム粒子混入型凍結抑制舗装について研究開発してきており、現在、「ギャップ混合物型¹⁾（ルビット舗装）」、「ポーラス混合物型²⁾（オークサイレント）」、「表面処理混合物型³⁾（RAペープ）」の3タイプのゴム粒子混入型凍結抑制舗装について開発・改良を行い、施工実績に結びつけている。

今回、新たな凍結抑制舗装として経済性に優れたゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」を開発した。本工法は新設あるいは既設舗装表面にゴム粒子を散布接着して凍結抑制機能を付与する工法で、施工が容易で経済的である。また、副次的な効果として舗装表面に存在するゴム粒子の弾力性によりタイヤ加振音の発生が抑制され、騒音が低減される。

本論文は、本工法の施工事例を中心に、室内試験および追跡調査による凍結抑制効果、耐久性および騒音低減効果について報告するものである。

2. ゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」の概要

ラバーパックの概念図を図-1に、施工機械編成を図-2に示す。本工法には、既設舗装に適用する「ラバーパックE」と、新設舗装に適用する「ラバーパックN」の2タイプがある。ラバーパックEは、既設舗装表面に乳剤を散布後、ゴム粒子を散布し、赤外線路面ヒータで舗装表面を加熱してローラによりゴム粒子を圧入・接着させる工法である。ラバーパックNは、アスファルトフィニッシャーによる敷きならし後、ゴム粒子を散布し、ローラにより転圧してアスファルト舗装の締固めとゴム粒子の圧入・接着を行う工法である。

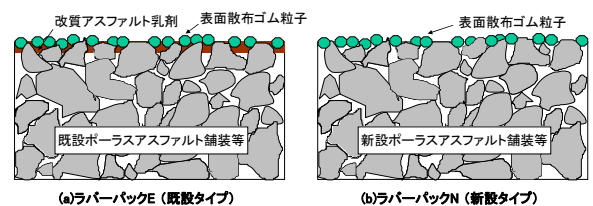


図-1 ラバーパック概念図

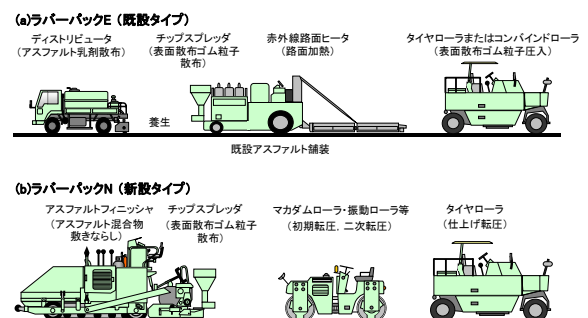


図-2 施工機械編成

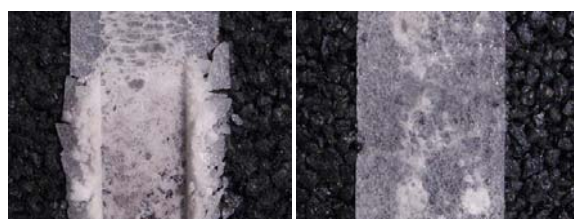
ゴム粒子は、アスファルトとの接着性に優れた特殊ゴム粒子（直径 3mm）を使用している。両タイプとも、ゴム粒子を均一に散布するために開発した専用のゴムチップスプレッダ⁴⁾ 以外は汎用的な機械を使用し、ワンパスで施工することができる。

3. 凍結抑制効果の室内検証

凍結抑制効果は、交通荷重により氷板が破砕し剥がれる状態をシミュレートしたオリジナルのホイールトラッキング（以下、WT）試験により確認した。本試験は、WT 供試体（30×30 cm）の表面に厚さ 4mm の氷板を作製し、試験温度-5℃の恒温室内で車輪を 60 分間走行させて、氷板のひび割れやはがれ状況を目視観察するものである。試験状況を写真-1 に、試験後の供試体の状況を写真-2 に示す。ポーラスアスファルト混合物の場合、車輪を走行させても氷板は試験前の形状を保っていたが、本工法の場合、車輪の走行により氷板にひび割れが発生して破壊に至ることが確認された。



写真-1 試験状況



a) ラバーパック b) ポーラスアスファルト混合物

写真-2 試験後の供試体の状況

4. 実道における施工事例

4. 1 ラバーパック E

ラバーパック E の施工概要を表-1 に、施工状況および施工前後の路面を写真-3、4 に示す。なお、比較工区として、当社において施工実績のあるポーラス混合物型凍結抑制舗装工区を設けた。

本工法は、ワンパス施工のため、スムーズに短時間で施工が終了し、表面の仕上がり状態も良好であった。また、各工区とも、乳剤およびゴム粒子散布量は目標値を満足しており、均一に散布できていることが確認された。

供用 9 か月後（一冬後）までの浸透水量およびすべり抵抗性を図-3、4 に示す。また、凍結抑制効果に直接関わる舗装表面のゴム粒子数を計測し、残存率で評価した結果を図-5 に示す。

図-3 より、浸透水量は施工直後に若干低下するが 1000ml/15 秒程度であり、供用後も大きな低下が見られないことから、十分な透水性を有していると考ええる。

図-4 より、施工直後の動的摩擦係数は $\mu = 0.31 \sim 0.40$ であり、供用期間の経過とともに動的

表-1 施工概要

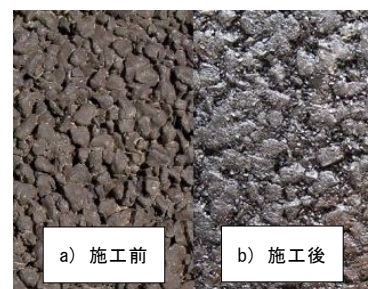
施工場所	秋田県横手市奥羽山麓大規模農道			
施工日	平成19年8月9日			
施工面積	546.2m ²			
既設母体混合物	ポーラスアスファルト混合物(13) 空隙率17%			
工 区	乳剤散布量 (kg/m ²)		ゴム粒子散布量 (kg/m ²)	
	実測値	目標値	実測値	目標値
1工区	0.40	0.4±0.1	0.36	0.3±0.1
2工区	0.30	0.3±0.1	0.32	0.3±0.1
3工区	0.39	0.4±0.1	0.42	0.4±0.1
4工区	0.30	0.3±0.1	0.42	0.4±0.1
比較工区	ポーラス混合物型凍結抑制舗装(オークサイレント)			



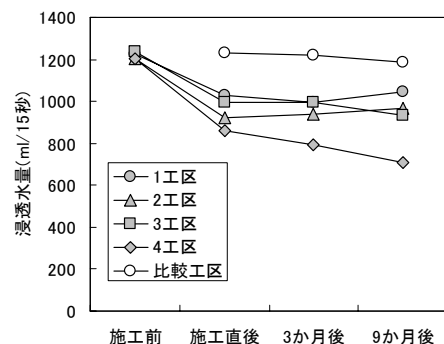
写真-3 ラバーパック E の施工状況

摩擦係数が大きくなることから、すべり抵抗性に問題はないと考える。

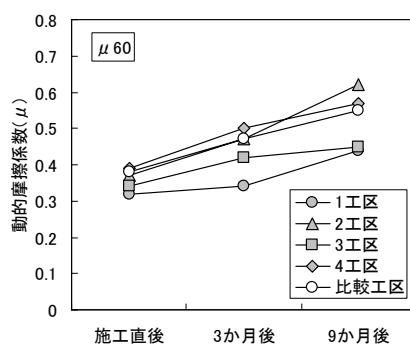
図－5 より、ゴム粒子残存率は、供用 9 か月後（一冬後）において約 50%であり、比較工区のポーラス混合物型凍結抑制舗装と同程度である。ポーラス混合物型凍結抑制舗装の過去の追跡調査においても同様の残存率であり（一年経過後で残存率 40～60%），ゴム粒子の接着性は問題ないと考える。なお，この程度の残存率であれば凍結抑制効果があることは，過去の追跡調査から確認されている。



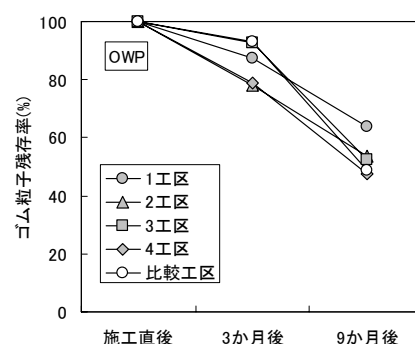
写真－4 施工前後の路面



図－3 浸透水量



図－4 すべり抵抗性



図－5 ゴム粒子残存率

写真－5に、供用 1年 6か月後における降雪時の路面状況を示す。本工法を適用した舗装表面では、圧雪が車両の走行によりひび割れ、容易に剥がれる状態となっており、隣接舗装と比べて路面の露出が多く、凍結抑制効果が確認できる。



写真－5 降雪時の路面状況

4. 2 ラバーパック N

ラバーパック Nの施工概要を表－2 に、施工状況を写真－6 に示す。ラバーパック Nは，専用のゴムチップスプレッダおよびゴム粒子供給の人員を必要とする以外は，一般的なポーラスアスファルト舗装と同様の

施工が可能である。

表－2 施工概要

施工場所	長野県塩尻市広丘吉田地先
施工日	平成20年3月21日
施工面積	808.3m ²
母体混合物	ポーラスアスファルト混合物(13) 空隙率17%
ゴム粒子 散布量	0.3kg/m ²

表面散布ゴム粒子の散布量を確認したところ平均で 0.31kg/m² と目標

値を満足しており，均一に散布できていることが確認できた。

施工直後および供用 6 か月後の追跡調査結果から，透水性能，すべり抵抗性およびゴム粒子の接着性に問題がないことが確認された。



写真－6 ラバーパック Nの施工状況

また、施工 1 週間後に、当社保有のタイヤ／路面騒音測定装置で測定したタイヤ／路面騒音を図-6 に示す。なお、比較のため、同時期に施工した隣接のポーラスアスファルト舗装の結果も併せて示す。図より、本工法のタイヤ／路面騒音は、ポーラスアスファルト舗装と比較して 0.7～1.9dB 低くなっており、本工法の騒音低減効果が確認された。

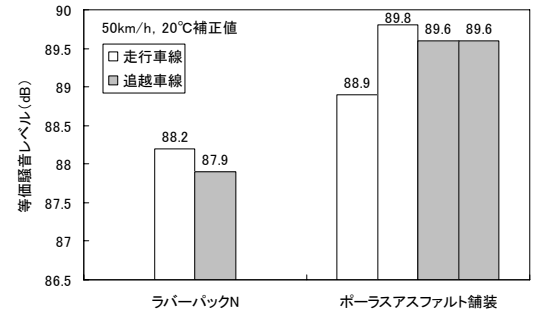


図-6 タイヤ／路面騒音

5. まとめ

ゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」の凍結抑制効果を中心に施工性および性能を評価した結果、以下の知見が得られた。

- ・ラバーパック E およびラバーパック N の両タイプとも施工性が良好であることが確認できた。
- ・両タイプとも施工直後および供用後において十分な透水性能とすべり抵抗性を有していることが確認できた。ただし、ラバーパック E は、乳剤を散布することで浸透水量が若干低下する。
- ・ゴム粒子の接着性は、凍結抑制舗装として実績のあるポーラス混合物型凍結抑制舗装と同等であり、問題ないことが確認された。
- ・凍結抑制効果に関しては、室内試験および現道での追跡調査両方において、舗装表面での雪氷のひび割れ、剥離が確認されるとともに、一般舗装と比較して降雪時の路面露出にも優位性が確認された。
- ・本工法のタイヤ／路面騒音は、ポーラスアスファルト舗装と比較して 0.7～1.9dB 低くなっており、騒音低減効果が確認された。
- ・本工法は、専用のゴムチップスプレッダ以外は汎用的な機械を使用し、ワンパス施工で舗装表面に凍結抑制機能を付与できるため、非常に経済性に優れた工法である。

6. おわりに

本検討により、ゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」の凍結抑制効果、耐久性および騒音低減効果が確認された。今後も追跡調査を行い、凍結抑制効果の持続性および耐久性を検証していく予定である。本工法は容易かつ経済的に凍結抑制機能を付与することができるので、冬期の道路の交通安全確保のために一助となれば幸甚である。

<参考文献>

- 1) 谷口ほか：粒状ゴム系凍結抑制舗装のメカニズムと効果，道路建設，No.564,pp.66～72 (1995.1)
- 2) 小澤ほか：積雪寒冷地におけるゴム粒子を用いた多機能舗装，第 26 回日本道路会議，(2005.10)
- 3) 工藤ほか：ゴム粒子を用いた表面処理型凍結抑制舗装の性状と施工事例，第 61 回土木学会年次学術講演会講演概要集，(2006.9)
- 4) 芳賀ほか：ゴム粒子混入型多機能舗装用ゴムチップスプレッダーの開発，第 27 回日本道路会議論文集，12001，(2007.11)

KVSストレーナの開発と施工事例

(株) 興和 水工部 次長 田辺 一弘
水工部 主任 ○中山 俊範
技術開発室 課長 桑原 賢二

1 はじめに

消雪パイプに代表される地下水取水井戸の施工において、水質の悪い地域や砂層から取水せざるを得ない地域でも採用可能な、VP管（硬質塩化ビニル管）に丸穴削孔した原管にSUS製V型ワイヤー巻線を装着した「KVSストレーナ」を開発した。取水性能が高く、腐食による材料溶出がない、高性能低環境負荷型ストレーナとなっている。

本稿では、開発にあたって行った各種性能試験結果の一部と現場施工事例において確認した取水性能について報告する。

2 開発コンセプト

2.1 従来のストレーナ

地下水取水井戸におけるケーシング管には、原管に大部分が比較的安価で市場性のある鋼管（SGP等）、塩化ビニル管（VP等）が使用されており、水質の悪い地域等では、ステンレス鋼管（SUS）やFRP（繊維強化プラスチック）管が使用されることもある。

一方、ストレーナとしては、大別して原管に縦溝加工をした“スリット型”と、原管に通水部となる小孔を開け、その上から金属製連続ワイヤーを一定間隔で水平方向に巻いた“巻線型”がある。安価な塩化ビニル管を使用した井戸には、原管に小孔を開けた上から網を巻いて砂粒子の進入を防ぐ“ネット巻き形式”も使用されている。揚砂を止めつつ、より多くの取水が必要とされる場合、一般には“巻線型”が適しているといわれている。

2.2 KVSストレーナのコンセプト

オールステンレス巻線ストレーナは、耐食性金属を使用した巻線型であることから、水質が悪く、かつ帯水層が砂層しかない地域での取水が可能であり、上水道水源として採用されることがある。しかし、ケーシング管を含めた井戸材料全体のコストが非常に大きくなるため、消融雪施設の水源としてはあまり採用されない。

一方、消融雪用井戸材料として、塩化ビニル管に樹脂ネット巻きをしたものが使用されており、これも耐食性材料のみで構成されている。しかし、ネット巻き形式は、目詰まりを起こしやすく揚水量

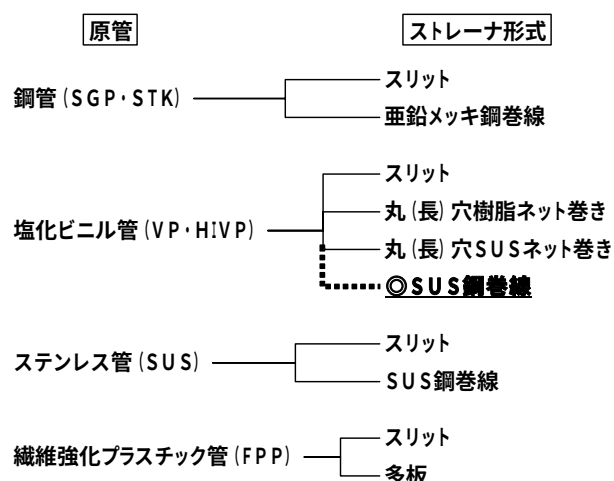


図-1 ストレーナ形式

を維持するため頻繁に洗浄作業を必要とすることや、その洗浄作業でネットが破損するトラブルが発生することが確認されている。

そこでわれわれは、安価で、耐食性材料であり地下環境への材料溶出のない“塩化ビニル管”と、耐食性金属であり、取水性能の高い“ステンレス巻線”とを組み合わせた、「KVSストレーナ」を考案した。ケーシング管に塩化ビニル管を採用できるため、井戸材料全体としては比較的安価に抑えることが可能となる。

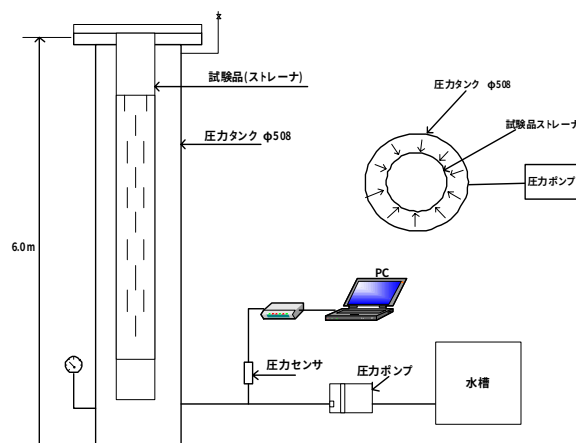
3 性能試験

3.1 外圧試験

① 試験方法

(社)新潟県融雪技術協会にて試験を実施した。
図－2に試験装置図を示す。

φ250×4.0m のストレーナをそのまま格納可能な圧力容器に、側面にポリフィルムにて遮水処理をしたストレーナを納め、外側から水压を掛ける。徐々に加圧を行い、圧力を自動記録する。ストレーナが変形すると圧力が降下するので、圧力の最大点を破壊圧力として評価する。



図－2 試験装置図

② 試験結果と評価

表－1に試験結果と、協会で試験した他のストレーナの試験結果を併記する。今回の試験では、0.87[MPa]の破壊圧力が確認された。

KVSストレーナは、孔明率4.2%のVP丸穴ネット巻きストレーナ、およびSGPスリットストレーナとほぼ同等の破壊圧力を持っている。それに対し、VPスリットストレーナは強度が低下しており、またSGP垂鉛メッキ鋼巻線ストレーナは、著しく大きな強度を有しているといえる。外圧強度の等しい他2種の実績を考慮すると、KVSストレーナは、仕上がり井戸深度100m程度の井戸に使用することが可能であるといえる。

表－1 外圧試験結果

	原管孔明率	破壊圧力	備考
KVS (VPステンレス巻線)	7.6 %	0.87 MPa	今回試験
VPスリット	3.3 %	0.38 MPa	協会データ
VP丸穴ネット巻き	4.2 %	0.87 MPa	〃
SGPスリット	3.3 %	0.87 MPa	〃
SGP垂鉛メッキ鋼巻線	25 %	4.9 MPa	〃

3.2 取水性能試験

① 試験方法

表－2に示すKVSストレーナを含む4種類のストレーナについて、φ250×有効長0.5mの供試体を製作し、図－4に示す試験装置

表－2 取水性能試験の供試体一覧

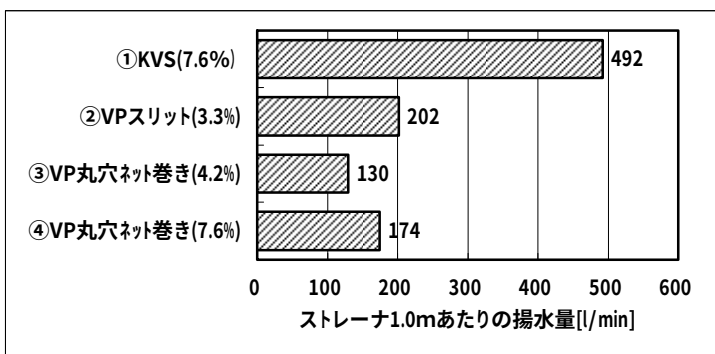
	原管	原管孔明率	外装孔明率
① KVS (VPステンレス巻線)	VP250φ× 有効長0.5m	7.6 %	20.0 %
② VPスリット		3.3 %	—
③ VP丸穴ネット巻き		4.2 %	46.7 %
④ VP丸穴ネット巻き		7.6 %	46.7 %

にて試験を行った。

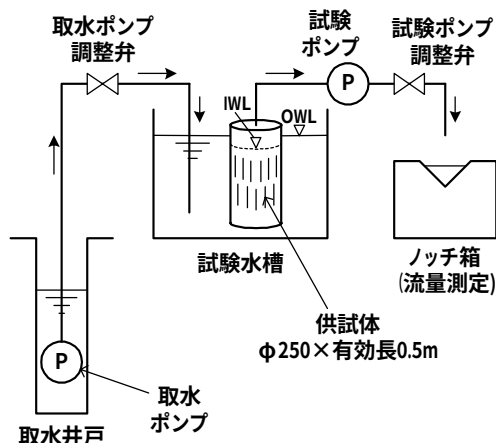
十分な水量を確保できる取水井戸から揚水して試験水槽に供給し、試験水槽に設置した供試体の中からさらに取水する。水位が変動せず安定するように二台のポンプを受け持つ二つのバルブを調整する。図－3に示すように、実際の地下設置状況に近づけるため、ストレーナ周囲を充填砂利で覆っている。そして供試体内外の水位差を測定し、水位差がほとんど無くなった（3cm 以内）時点の流量をその供試体の適正揚水可能量とし、評価した。



図－3 内外水位差測定状況



図－5 取水性能試験結果



図－4 取水性能試験装置図

② 試験結果と評価

図－5に試験結果を示す。試験では、井戸内部の状況に近づけるため砂利充填を行っているが、KVSストレーナは、VPスリットの約2.5倍、外圧強度の等しいVP丸穴ネット巻き（4.2%）の約3.5倍もの揚水量が確保でき、その水量は、1.0mあたり約500[l/min]となる。

井戸内外水位差がほぼ等しい条件下で試験をしているため、同じ水量を揚水した場合には、KVSに代表される巻線型ストレーナは、ストレーナ面を通過する流速や圧力がより小さく、緩やかな通水が可能となるため、目詰まりしにくい構造であるといえる。

3. 3 電食試験

耐食性能が高いことを確認するため、KVSストレーナと一般的なSGP垂鉛メッキ鋼巻線ストレーナを水中で同時に電圧を掛けて、腐食による重量減を測定する電食試験を行った。図－6に電食試験前後の変化を示す。試験は、 $\phi 13\text{mm} \times 50\text{cm}$ のミニチュアモデルにより行い、 $\text{DC}12\text{V} \times 0.3\text{A}$ を7日間印加した後の重量を測定した。

その結果、KVSとSGP垂鉛メッキ鋼巻線の減少重量割合は、それぞれ管単体では0.01%と0.41%、巻線単体では0.90%と7.63%となった。耐食材料で構成しているため当然ではある



図－6 試験前(左)、後(右)の変化
(双方とも右管がKVS)

が、KVSストレーナの方がより腐食に強いことが確認できた。

これは見方を変えると、腐食による地下帯水層への材料溶出が無いため、KVSストレーナは低環境負荷型であるともいえる。

4 現場施工事例

長野市内における施工事例を紹介する。

平成20年度に施工された、国道19号線の歩道無散水融雪施設用のさく井工事中において、KVSストレーナが使用された。採用された理由は、近隣の既存井戸のSGP垂鉛メッキ鋼巻線ストレーナで腐食による破損が確認されたことによる。SGP垂鉛メッキ鋼巻線ストレーナは、消雪用井戸に広く使用されており、長野国道事務所管内においても多く使われている。

この地区における帯水層は、深度約25m以深に広く断続的に分布する玉石混じり大中礫層であり、既設井戸の多くは50m以深にストレーナが設置されている。井戸仕上げは、近隣の既設井戸と同様、径φ250mm×深度100mで、うち36mにKVSストレーナが設置されている。

施工後、取水能力の確認のため、当該井戸と、約200m離れたSGP垂鉛メッキ鋼巻線ストレーナを使用した既設井戸（図-6平面図参照）について揚水試験を行った。図-7にQ-S線図（揚水量-水位降下線図）を示す。この線図では、揚水量を上げてても水位降下が少ない場合、取水能力が優れていることを示している。図-7では、KVSストレーナを使用した井戸の方がより水位降下が少なく、取水能力が高いことが確認できた。



図-6 平面図

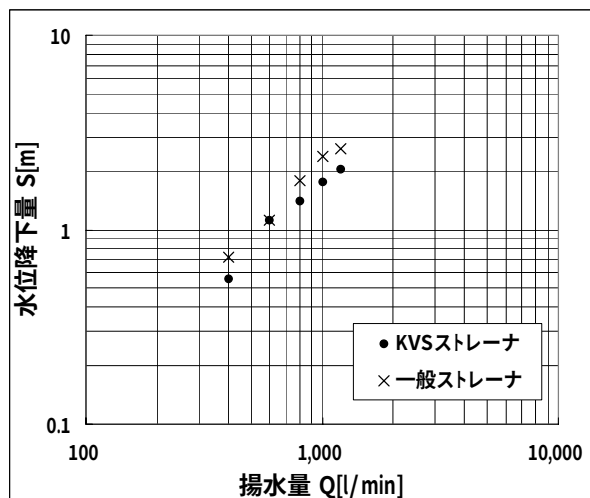


図-7 Q-S線図

5 おわりに

このたび、高性能低環境負荷型である「KVSストレーナ」を提案した。水質が悪く井戸寿命が短い地域の消雪用井戸や、材料溶出が少ないため上水道水源としての活用が望まれる。

最後に、現場施工にあたり、ご指導、ご協力を頂いた関東地方整備局長野国道事務所様、北陸地方整備局新潟国道事務所様、新潟県三条地域振興局様、同長岡地域振興局様の関係各位に感謝の意を表する。

[参考文献] 散水消雪施設設計施工・維持管理マニュアル、平成20年8月、同編集委員会編

スリングラム EM 探査による河川堤防の地盤構造調査

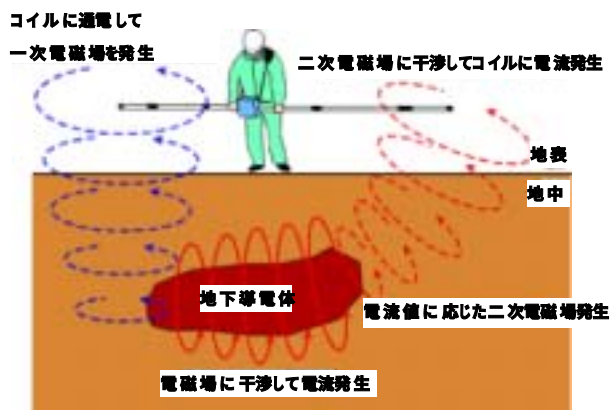
川崎地質株式会社 事業本部 保全グループリーダー 山田 茂治

1 はじめに

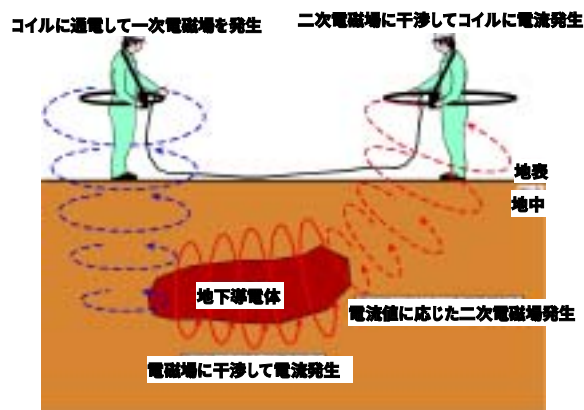
スリングラム EM 探査は、電磁誘導を用いて地下の導電率構造を求めることのできる物理探査手法である。測定に係わる作業が非常に簡便であるため、効率的に二次元の地下導電率構造を求めることができる。当社では、本技術の探査結果と実際の土質構造を対比研究し、その成果から二次元土質評価技術として活用している。本論文では、実際の調査事例から判明した特徴や、これまでに蓄積した解析値と土質特性（粒度・含水比等）の相関関係を示し、河川堤防調査に対する適応性について紹介する。

2 スリングラム EM 探査の概要

スリングラム EM 探査は、電磁誘導現象を利用した物理探査であり、図－1 や図－2 に示したように送受信一対のコイルによって地下導電率を計測することができる。計測面での特徴は、通電電極を地盤に打ち込む必要が無く、計測員の持つコイルによって間接的に大地に通電できるため、計測作業が極めて簡便なことである。



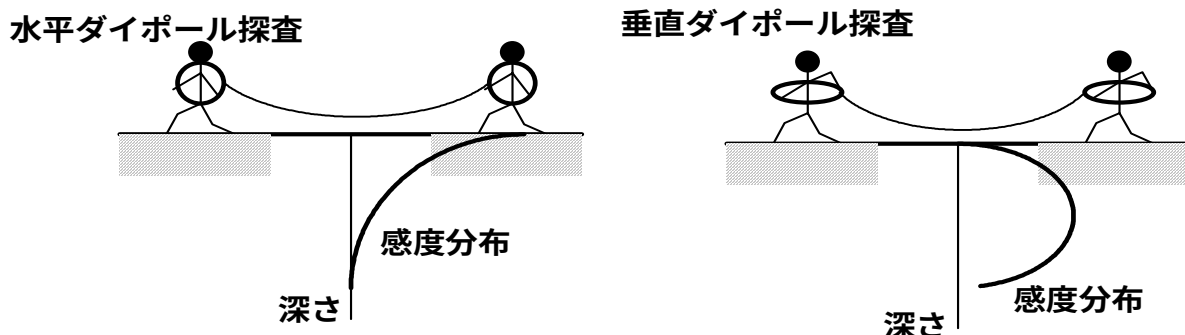
図－1 浅部用探査装置（地下 6m まで対応）



図－2 深部用探査装置（地下 20m まで対応）

探査できる深度は地下 20m 程度であるが、堤防調査においては十分な能力を持つ。特徴としては、図－3 に示すように二つの計測モードを有しており、水平ダイポール計測では浅層域で感度の高い計

測を、垂直ダイポールでは特定深度で感度が高める計測を行うことが可能である。両計測モードをい
かし、また駆動周波数やコイル間隔を変更して計測することによって優れた分解能力で地盤の導電率
構造を解析できる。



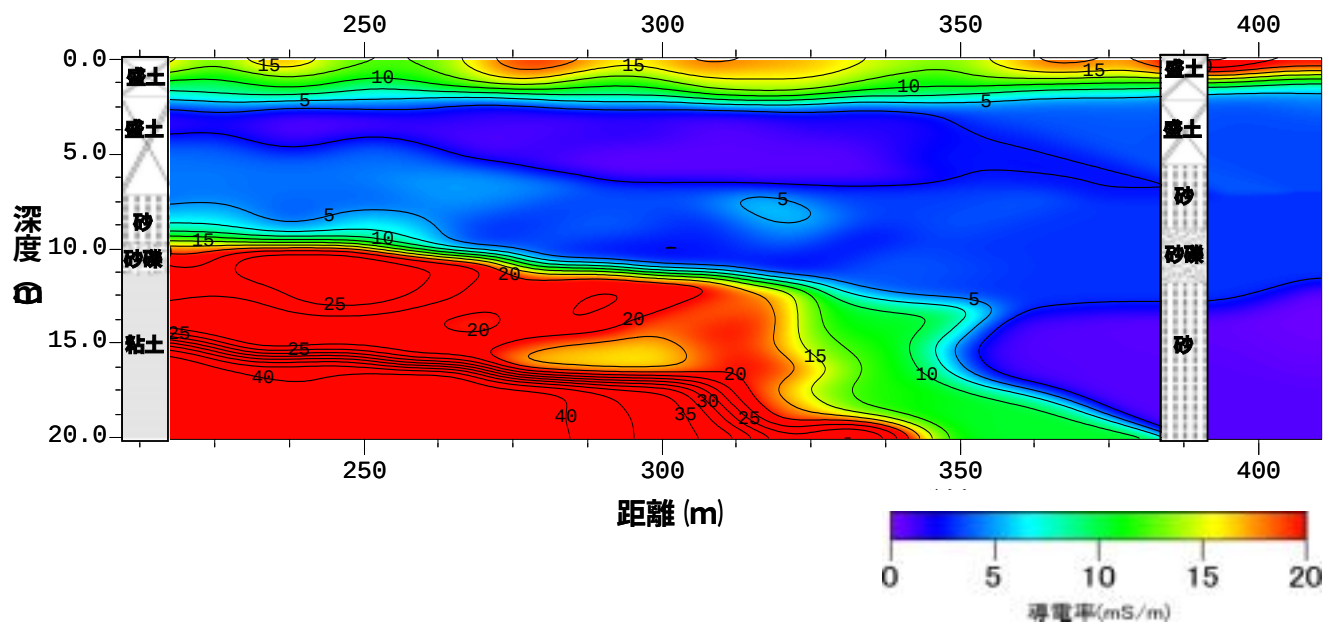
図－3 二つの計測モードと感度特性

3 調査事例

図－4に河川堤防における調査事例を示す。事例は、堤防天端を縦断方向に調査したものであり、
天端から地下 20m までの領域の導電率構造を示した二次元断面図である。

本事例では、ボーリング調査から判明した土質構造に対してほぼ整合的な導電率コントラストを示
している。特にA c層（粘性土層）を表す高導電率領域は、極端に傾斜する構造を示し、右端（終点）
付近の柱状図に見られるA c層の消失を裏付けている。

土質と導電率の関係では、含水比の高い粘性土で高導電率となる傾向が得られている。これは他の
事例の多くでも認められた傾向であり、特に粘土層等の難透水層の分布について高い検出力を示すこ
とが判明している。

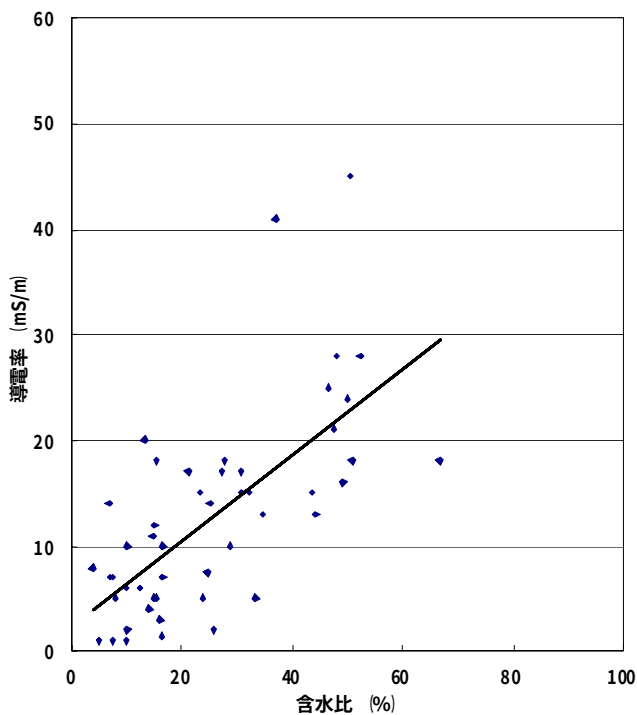


図－4 河川堤防におけるスリングラムEM探査事例（堤防天端から調査を実施）

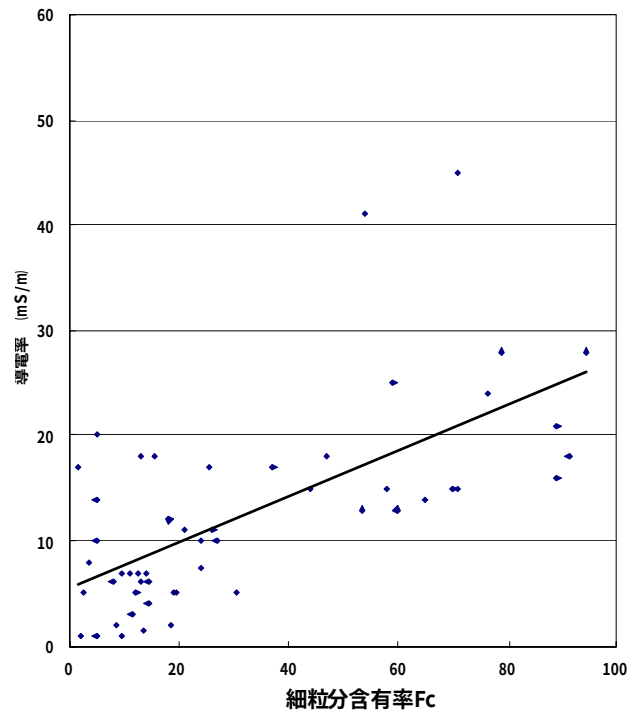
4 解析導電率と土質材料物性の対比

土の導電率を決定する要素としては、含水比および保水性があり、これらが大きくなると共に導電率は基本的に上昇する。このことは導電率が土の粒度特性に関連することを示唆するものである。細粒土は一般に含水比や保水性が高い特徴を持つことから導電率が高く、粗粒土の混入量が増すと共に導電率が下降することが予想される。このような土質特性と導電率の関係を検証するため、河川堤防でこれまでに蓄積したEM探査結果と土質材料物性の実際の関係を比較した。

図－5にEM探査から解析された導電率と対応する土質の自然含水比 w_n の関係を示す。基本的には含水比の上昇と共に導電率も大きくなり、ほぼ予想した関係が得られている。図－6には解析導電率と細粒分含有率 F_c の関係を示したが、この関係もほぼ予想された状況に合致するものであり、基本的に細粒分の増加と共に導電率も上昇する傾向が示された。ただし両結果には少なからず“バラツキ”が見られることも事実であり、これについては地下水の水質や現場環境の違い等が影響しているものと考えられる。



図－5 導電率と自然岩水比の関係



図－6 導電率と細粒分含有率 F_c との関係

以上のように材料物性と解析導電率の比較結果では、概ね含水比や粒度組成との相関性が得られ、基本的には含水比や細粒分の増大と共に解析導電率が高まることが検証された。しかしながら地質調査における土質判別は、材料物性のみから判断されるものではなく、試料の観察結果等を含めて従事技術者が総合的に判断するものである。このため、最終的に下された土質判定結果と解析導電率を比較することが重要であり、その上で相関性やバラツキの範囲を把握するものとした。

5 解析導電率による土質評価能力

図－7は、地質技術者が最終的に判断した土質名と対応する解析導電率を比較したものである。ま

たこの結果を更に整理し、解析導電率による土質評価の目安を示したものが表－1である。これらの資料は、粗粒分が卓越する砂礫から細粒分が優勢な粘性土まで、土質と導電率の相関性を示した中で、評価精度に関わる土質別の解析導電率のバラツキ範囲についても明示したものであり、解析導電率によって土質区分を行う際の基礎資料となるものである。

これらの資料によれば、粗粒土から細粒土に変化するにつれて解析導電率は増大しており、これらによって大局的な土質区分を把握することは十分に可能であると考ええる。土質相互間で解析導電率が重複する範囲が少なからず認められているが、大きく粗粒土と細粒土を誤るほどのものではない。ただし、砂礫、砂、シルトおよび粘土に細分することについては、現場環境や水質に影響されて導電率が変化する部分が大きいため、現段階では正確な判定を行うことは難しいものと判断する。

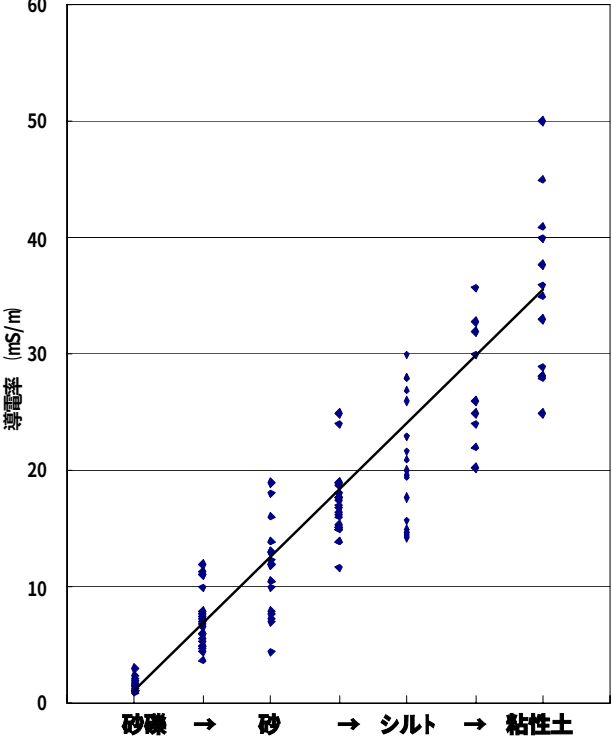
なお、EM探査の適用にあたっては、既存土質調査資料の検討や確認ボーリング調査と平行して評価を進めることが必要であり、現場のローカル条件に応じた誤差修正によって精度向上を図ることが重要である。

6 まとめ

現在の河川堤防調査では、堤防の質的評価を目的として一連区間の土質構造を連続的に評価できる技術が求められている。このような中で、今回紹介したEM探査のように、粗粒土と細粒土の土質区分が可能な探査技術の利用価値は高いものと考ええる。さらに、効率的な探査手法であることから二次元または三次元的調査に展開できる調査技術であり、河川堤防の質的構造把握に関して有効な資料を提供できるものと考ええる。

参考文献

- 1)岡 二三生・小高猛司・木元小百合・芝田弘一・服部浩二・北川義治・山田茂治：河川堤防の内部構造調査における各種物理探査手法の適用性の検討、地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム、地盤工学会関西支部、2005
- 2)J.D.Mcneill：Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers Technical Note TN-6、Geonics Limited、1980



図－7 導電率と土質判定結果との関係

表－1 導電率と土質判定結果との関係

土質分類	導電率 (mS/m)			
	下限値	上限値	平均値	判定指標
砂礫	1	10	5程度	10以下
砂	8	20	12程度	10以上15未満
シルト	15	30	23程度	15以上25未満
粘土	25	50	30程度	25以上

地山状況に応じた全断面早期閉合の仕様の選定

西松建設株式会社 北陸支店 七尾トンネル出張所 ○一般 原島 大
係長 奈良 聡
主任 鬼頭 夏樹
一般 山本 悟

1. はじめに

近年、トンネルの変形を抑制するために、地山不良部や小土被り部で全断面早期閉合が適用される事例が多くなってきている^{1)~5)}。この工法は、切羽から近い位置において、一次インバートにより早期にトンネル断面を閉合するものである。掘削直後、安定性の高いトンネル形状を形成することによって、トンネルの変形を抑制することができる。また、一次インバートの施工によりトンネル全体の支持面積が拡大するため、沈下抑制効果も期待できる。本稿では、さまざまな地山条件に応じた全断面早期閉合の施工実績を示し、計測データを用いて、全断面早期閉合の効果検証結果について述べる。

1.1 工事概要

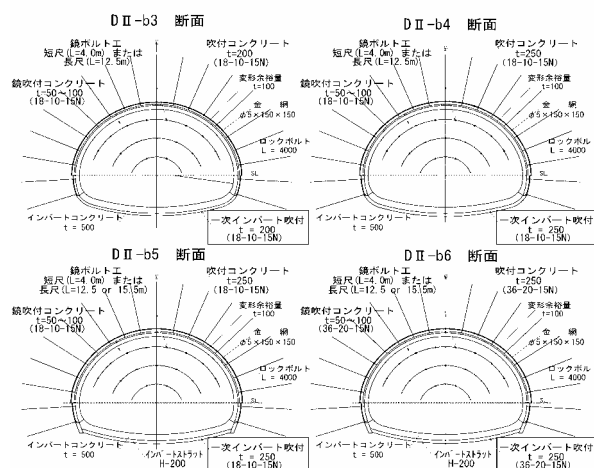
能越自動車道は、石川県輪島市と富山県砺波市を結ぶ延長約 100km の高規格幹線道路である。七尾トンネルは、この能越自動車道に含まれる全長 1760m の二車線道路トンネルである。トンネル掘削工法は、当初トンネル全線にわたり、機械掘削による上半先進ベンチカット工法で計画されていた。

2. 七尾トンネルにおける全断面早期閉合の適用

2.1 全断面早期閉合の適用経緯

坑口より 550m 付近から、硬質粘土が出現し、変位が急激に増加したために、増しボルト、ウィングリブ付鋼製支保工等の対策工を実施した。しかしながら、変位は収束せず、変形余裕量を超過する変形が生じ、縫返し掘削を行った。その後も変位が収束しなかったため、上半仮閉合および下半閉合による対策を実施した結果、変位の抑制に効果が確認された。

変位増大の原因は緩みが拡大することにより鉛直荷重が増大するとともに、膨張圧も作用したためであると考えられ、これらの荷重が相乗的に作用することによって、トンネルが内空側に変形するとともに、応力集中により強度が低下したトンネル脚部の支持力が不足して、トンネル全体が沈下したと推測された。そこで、早期の変位抑制を目的とし、坑口より 620m 付近より、上半先進ベンチカット工法から全断面早期閉合に変更した。本トンネルの全断面早期閉合の支保パターンを図-1 に示す。



図ー1 早期閉合区間支保パターン

2.2 地山状況に応じた仕様の選定

全断面早期閉合を適用後、トンネルの坑内変位は抑制された。しかし、トンネル掘削を進めるに従い、地山条件はさらに悪化し(図-2参照)、再度、坑内変位が増加する傾向を示した。そこで、地山状況に応じて、全断面早期閉合の仕様を変更して、変形を抑制しながらトンネル施工を行う必要が生じた。

本トンネルでは、切羽前方探査(DRISS)により前方地山を予測するとともに、坑内計測 A および B 計測データ、切羽観察結果を踏まえて、支保工および一次インバートの構造や、閉合距離を変更しながら掘削を行った。

ここで、本トンネルで実際に採用した全断面早期閉合の仕様選定フローを表-1 に、当該区間における縦断図を図-3 に示す。

2.3 施工実績(地山悪化時のランクアップと地山良化時のランクダウン)

図-4 に、全断面早期閉合適用区間のトンネル坑内変位データを示す。

変位が増大するたびに、仕様のランクアップを行った結果、閉合距離の短縮、インバートストラット、高強度吹付けに、変位抑制効果が確認された。

坑口より 770m 付近において、切羽より多量の湧水(約 200ℓ/min)が生じるとともに、地山が硬質粘土から亀裂性の岩盤に変化する傾向を見せ、地山条件が急激に良化した。

当初、ランクアップと逆の順序で、ランクダウンを行う予定であったが、急激な地山の良化および多量の湧水により、一次インバートの施工に多大な時間を要するようになったため、仕様のランクダウンの変更を行い、表-2 に示すフローに従って、ランクダウンを実施し、坑口から 785m 地点で上半先進ベンチカット工法へ変更した。

結果的に、当該変状区間においては、約 170m にわたり全断面早期閉合を適用した。

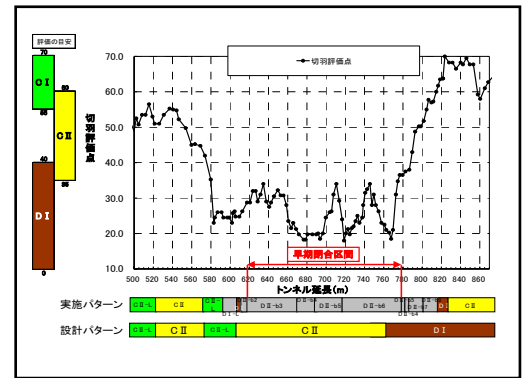


図-2 切羽評価点の推移

表-1 全断面早期閉合の仕様選定フロー

	対 応	条 件
軽 ↓ 重	●全断面早期閉合の検討を開始	DRISS探査結果より 穿孔エネルギー<300J/cm ² 以下
	●全断面早期閉合開始 H-150 吹付け厚t=20cm 最大閉合距離8m	1) レベル以上 ^{※1} 1断面 2) 初期変位速度20mm/日以上 3) 切羽評価点下降
	●支保部材の増強 H-200 吹付け厚t=25cm 最大閉合距離8m	1) レベル以上 ^{※1} 1断面 2) 初期変位速度20mm/日以上 3) 切羽評価点下降
	●閉合距離の短縮 L=8m⇒L=6m	1) レベル以上 ^{※1} 1断面 2) 初期変位速度20mm/日以上 3) 切羽評価点下降
	●鋼製インバート ストラット (H-200)の適用	1) レベル以上 ^{※1} 1断面 2) 初期変位速度20mm/日以上 3) 切羽評価点下降
	●高強度吹付けの適用 閉合距離の短縮 L=6m⇒L=5m	1) レベル以上 ^{※1} 1断面 2) 初期変位速度20mm/日以上 3) 切羽評価点下降

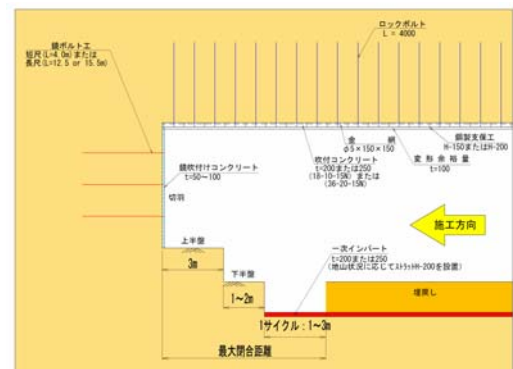


図-3 トンネル縦断図(全断面早期閉合区間)

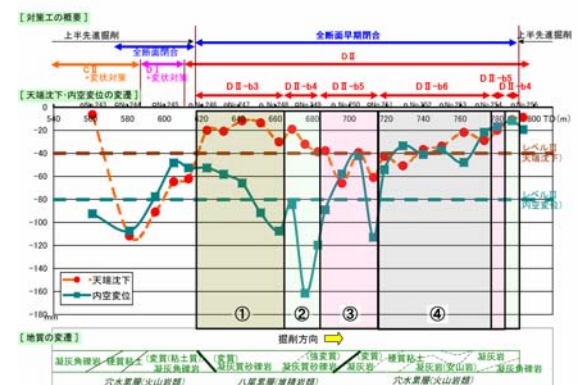


図-4 全断面早期閉合区間の坑内変位データ

3. 全断面早期閉合の効果検証

3. 1 初期変位速度

全断面早期閉合区間における内空変位の初期変位速度を図-5に示す。初期変位速度は、計測ポイントの設置から1日(24時間)後の計測値とした。

ここで、吹付けコンクリートの強度増加($18\text{N/mm}^2 \rightarrow 36\text{N/mm}^2$)前後の初期変位速度(それぞれ3計測断面の平均値)を比較すると強度増加前は、初期変位速度が 43.8mm/日 であったのに対し、強度増加後は 17.3mm/日 に抑制できたことがわかる。これは高強度吹付けコンクリートにより、トンネル支保の初期段階の剛性が向上し、掘削直後の初期変位が抑制できたものと考えられる。

初期変位速度を抑制することにより、全変位量も抑制可能となり、高強度吹付けコンクリートが、非常に高い変位抑制効果を有することが確認できた。

表-2 全断面早期閉合のランクダウンフロー

	対 応	条 件
重 ↓ 軽	●高強度吹付けコンクリート 省略	1) レベルⅡ以下※1 1断面 2) 初期変位速度 10mm/日 以下 3) 切羽評価点25点以上(目安)
	●鋼製インバートストラット(H-200) 省略	1) レベルⅡ以下※1 1断面 2) 初期変位速度 20mm/日 以下 3) 切羽評価点上昇
	●閉合距離の延長	1) レベルⅡ以下※1 1断面 2) 初期変位速度 20mm/日 以下 3) 切羽評価点上昇
	●早期閉合終了	1) レベルⅡ以下※1 1断面 2) 初期変位速度 20mm/日 以下 3) 切羽評価点下降
	●支保部材の軽減 H-200⇒H-150 吹付け厚 $t=25\text{cm} \Rightarrow 20\text{cm}$	1) レベルⅡ以下※1 1断面 2) 初期変位速度 20mm/日 以下 3) 切羽評価点下降

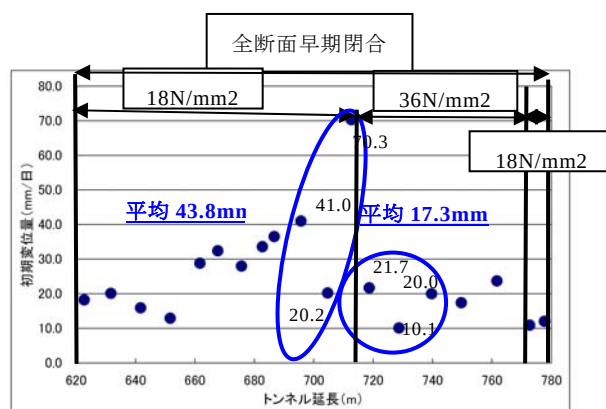


図-5 初期変位速度

3. 2 一次インバート閉合前の内空変位量

坑口より686.7m地点における経距変化図を図-6に示す。これより、閉合直後の内空変位は収束傾向を示しており、早期閉合による高い変位抑制効果が確認できる。

当該断面では、切羽はなれ5m地点で、早期閉合の施工を実施しているが、閉合を行うまでの変位速度は、ほぼ一定であることより、切羽から閉合箇所までの距離(閉合距離)を短縮することにより、全変位量を小さく抑えることが可能になると言える。

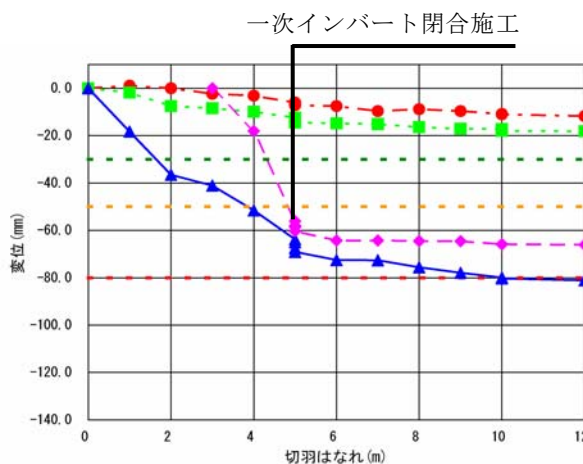


図-6 TD686.7m 経距変化図

3. 3 一次インバート閉合後の内空変位の増加率

図-7にインバートストラットの採用を開始した位置での閉合後の内空変位の増加率(最終変位量/閉合前の変位量)を示す。これよりトンネル延長685m付近から、一次インバートによる閉合後の内空変位の増加率が減少したことがわかる。

ランクアップ前後の内空変位の増加率(それぞれ3計測断面の平均値)を比較すると、ランクアップ前は1.9倍であるのに対し、ランクアップ後は1.4倍に抑制できている。

これよりインバートストラットの採用によって、トンネル閉合後の変位が抑制されたことがわかる。

4. まとめ

全断面早期閉合の適用後、トンネルの変形は抑制され、縫返し掘削が必要となる状況は生じていない。これより変形抑制効果、および沈下抑制効果を確認することができたと考える。

また、今回の施工実績から、高強度吹付けコンクリートが、インバートストラット、閉合距離の短縮と同等以上に、変形抑制効果が高いことがわかった。

この実績を踏まえて、次に全断面早期閉合を実施する際には、経済的かつサイクルに影響を与えない高強度吹付けの採用を優先したランクアップを計画している。

また、支保工が荷重に抵抗し、大きな荷重を負担すること、また閉合距離を短縮しても、支保としての剛性が不足する場合、変位の抑制効果が発揮されにくい事実も確認された。

そこで、全断面早期閉合では、鋼アーチ支保工 H-200、吹付けコンクリート $t=250\text{mm}$ の採用を標準とし、計測データ等に応じて、早期に高強度吹付けコンクリートおよびインバートストラットによるランクアップを行なう予定にしている。

既往の文献では、計測データ等に基づき全断面早期閉合の仕様を選定している施工事例の報告は少ない。今回の施工報告が、類似の施工の参考になれば、幸いである。

謝辞. 今回の一連の全断面早期閉合の仕様を選定について、ご指導頂いた独立行政法人 土木研究所 角湯上席研究員、はじめ関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)御手洗良夫, 森崎泰隆, 今田徹: 全断面早期閉合による施工法の考え方とその実例, トンネルと地下 第38巻9号, pp.51-61, 2007.9.
- 2)徳留修, 大津敏郎, 広瀬雅明, 澤田一也: 断層・褶曲作用を受けた脆弱泥岩地山における変位抑制対策, トンネル工学報告集 第17巻, pp.29-34, 2007.11.
- 3)浜野善治, 宮崎俊英, 熊谷幸博: 膨張性地山での坑口部の対策工法 ―ふるさと農道整備工事 七海トンネル工事―, 土木技術 60巻10号, pp.28-34, 2005.10.
- 4)河邊信之, 久保田良司, 海老子川啓, 日野道雄: 未固結な土石流堆積物におけるトンネル断面早期閉合の効果について, 土木学会第62回年次学術講演会, pp.279-280, 2007.9.
- 5)秋田修, 真弓英大, 玉井昭雄, 岡山徹: 中央構造線擾乱帯を貫く―三遠南信自動車道 三遠トンネル―, トンネルと地下 第39巻10号, pp.17-27, 2008.10.

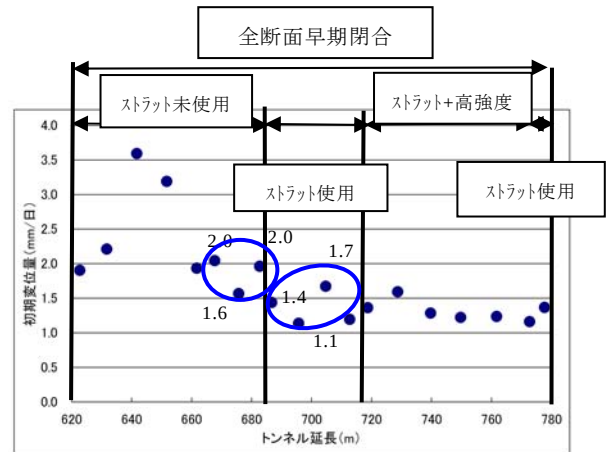


図-7 一次インバート閉合後の
内空変位の増加率

岸壁を供用しながら改良・補強できる新工法「2段タイ材地下施工法」

(株)大林組 東京本社 生産技術本部都市土木技術部主任 伊奈 啓輔

1 はじめに

近年、船舶の大型化により、岸壁の大水深化、既設岸壁の機能増やリニューアル、更に耐震強化が要請されている。しかし、改良工事のために岸壁を長期に休止できない場合が多く、岸壁を供用しながら改良・補強する工法の開発が望まれている。

そこで、官民共同で実海域での実証実験工事を行い、岸壁を供用しながらの改良・補強の有効性の確認および設計手法の確立を行なった「2段タイ材地下施工法」の開発成果について報告する。

2 2段タイ材地下施工法とは

2段タイ材地下施工法とは、図-1のように既設岸壁のエプロン背後の陸上から、小口径推進工法により新設タイ材を設置し、既設タイ材との2段タイ材で外力に抵抗させる工法である。この方法により、船舶の接岸や荷役作業を阻害することなく、岸壁の増深補強等の工事を行なうことができる。また、従来の工法に比べて経済的である。

この工法の考え方は以前よりあったが、施工機械、設計法の未開発により実用化に至っておらず、2段目のタイ材を設置した場合の矢板岸壁の実際の挙動も把握されていなかった。2段目のタイ材を精度よく施工できる小口径推進機を採用・開発したことで、実海域での実証実験工事により施工性の成立を確認し、設計法の確立を行なった。

3 実証実験工事

平成18年8月に、仙台塩釜港高松木材埠頭において実海域での実証実験を行なった。施工条件は、図-2に示すように鋼管矢板岸壁の背後約24mの陸上から、小口径推進機により斜め15°下方へ削孔

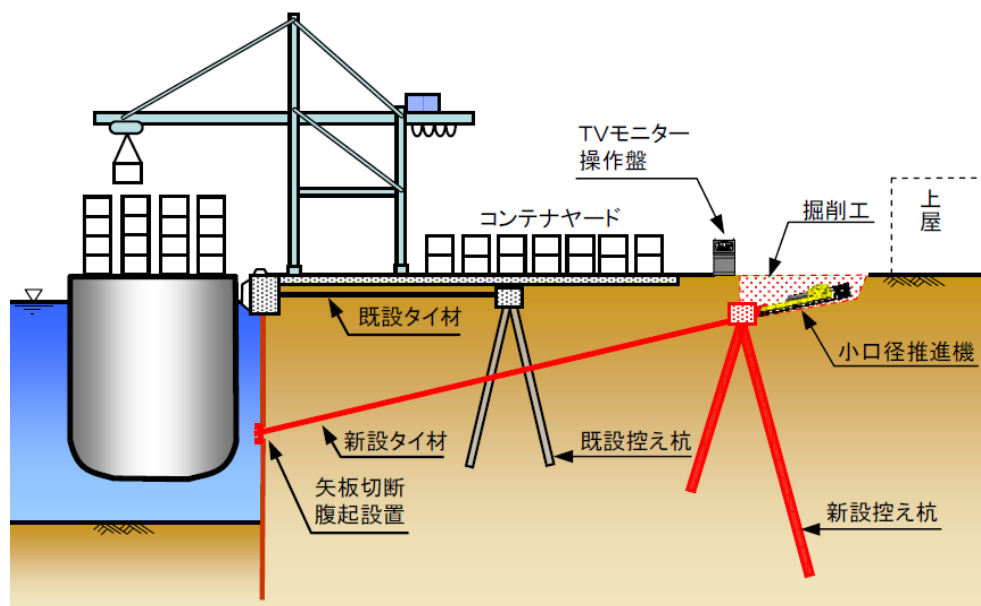


図-1 2段タイ材地下施工法概要図

図-3 に施工フローを示す。陸上作業と海中作業を並行して行うことで効率よく作業を行うことができる。陸上で控え杭の打設、推進工の架台設置を行なうと同時に、海中にて腹起し取付け位置の鋼管のケレンと到達位置の位置出し測量を行なう。到達位置を決めた後、小口径推進機により φ 150mm の埋設管を設置する。実証実験では、小口径推進機の施工精度を把握するため、到達直後に鋼管矢板の継手部を切断し、精度の確認を行った。その後、コーピング工、タイロープの挿入を行い、水中での腹起しの取付けとタイロープの固定、陸上でのタイロープの緊張、埋戻しという工程である。

岸壁を使用しての作業は、海中での準備工、鋼管矢板の切断、および腹起し設置・タイロープ固定の3工種のみであった。いずれの作業も長時間ではなく、船舶の接岸に支障をきたすことなく、また荷役作業を阻害せずに全工程を終了できた。

4 小口径推進機

推進工の到達先が海中であるため、従来の推進工法では矢板を大きく切斷して海中で先端ビットを回収する必要がある。その場合、矢板の斷面欠損が大きくなることに加えて、削孔土砂が直接海中に流出するおそれがある。そこで、2段タイ材地下施工法の開発にあたっては、先端ビットを発進側に引き戻して陸上で回収できる機構を持つ小口径推進機を新たに開発した。これにより、削孔は矢板直前まで行ない、削孔完了後の矢板切斷範圍



はタイ材が通過できる大きさだけでよく、矢板の断面欠損を最小限に抑えることができる。また、海水中への背面土砂流出を抑制するとともに、海中での作業を削減できる。このように、新しい小口径推進機の開発によって、2段タイ材地下施工法の実用化とともに、港湾環境への影響低減と工程の短縮が可能となった。

4. 2 施工精度

推進工でもうひとつの課題は到達精度であった。今回の実証実験は、幅約100mmの鋼管矢板継手部に向けて $\phi 150\text{mm}$ の埋設管を26m設置し、端部径が $\phi 68\text{mm}$ のタイロープを挿入するものであった。高い施工精度が必要なため、推進機のオーガ軸内部に取り付けた発光ターゲットをTVカメラ付セオドライトで視準し、それをモニターで常時監視しながらリアルタイムで方向修正する手法を採用した（写真-1）。その結果、到達精度は目標位置に対して $\pm 10\text{mm}$ 以内となり、高い施工精度を確認した（写真-2）。

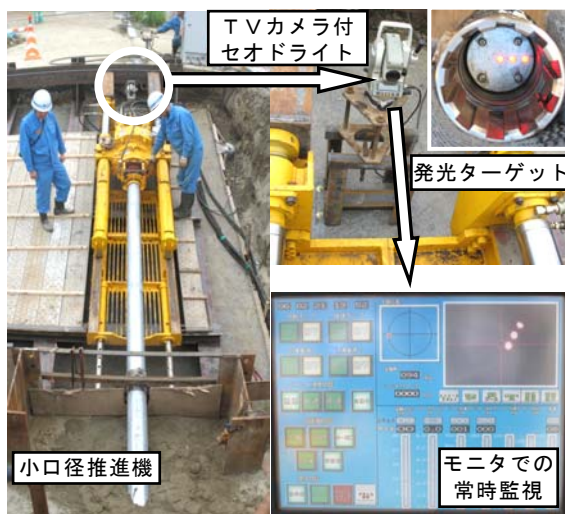


写真-1 推進精度管理

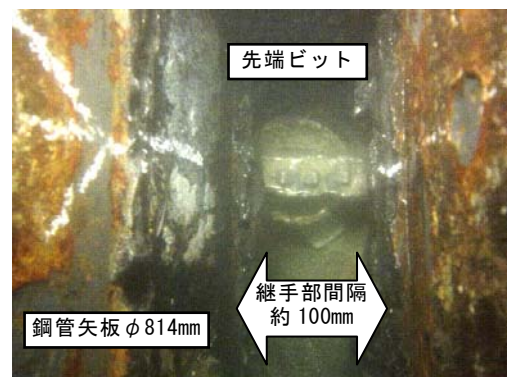


写真-2 到達精度確認状況
（鋼管矢板継手部）

5 設計手法の確立

5. 1 静的照査手法の開発

静的照査手法については、実証実験で計測した新旧タイ材の静的張力データを基に再現解析を行なった。鋼矢板式岸壁解析モデルの「フリーアースサポート法」と「仮想梁法」の組合せによる照査法の適用性の検証および、「弾性上の梁理論」による2段タイ材式矢板壁の検証を実施し、設計法を確立した。

5. 2 動的照査手法の開発

2段タイ材地下施工法による耐震補強効果を確認するために、縮尺1/30の模型土槽を用いた遠心模型実験を実施した（写真-3、4）。

実験結果の一例を図-4に示す。2段目のタイ材を取り付けることにより、矢板に発生する最大曲げモーメント



写真-3 遠心模型実験装置



写真-4 実験に用いた模型土槽
（土槽寸法 1900mm×800mm）

が大幅に低減されるなど、耐震補強効果が確認できた。

遠心実験の結果と動的応答解析プログラム(F L I P)による再現解析結果を比較したものを図-5に示す。両者はよく一致しており、2段タイ材で補強した岸壁のレベル2地震時の挙動は、F L I Pにより精度よく評価できることが確認された。

6 まとめ

本工法は、船舶の接岸および荷役作業への影響を最小限に抑え、港湾機能を休止させずに岸壁を増深改良・補強するというニーズに応える工法である。従来技術の延長上の工法であるため特別な設備や技術指導の必要がなく、実海域での実証実験で施工性が確認され、設計手法が確立されたことにより、施工条件に見合う岸壁であれば実工事として適用することが可能となった。

今後本工法が普及し、より安全な港湾施設の整備に貢献できることを目指していく所存である。

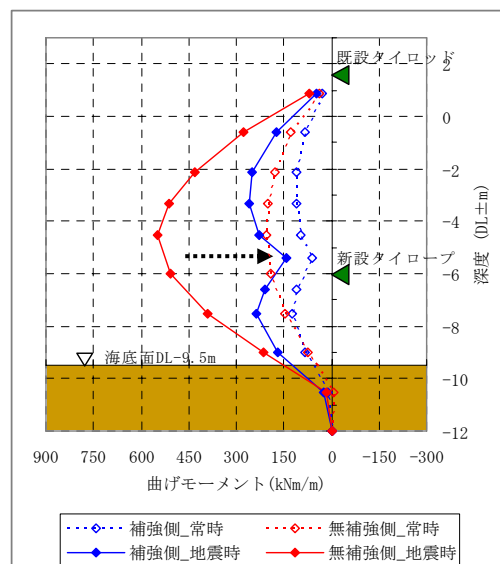


図-4 遠心模型実験による矢板の発生曲げモーメント

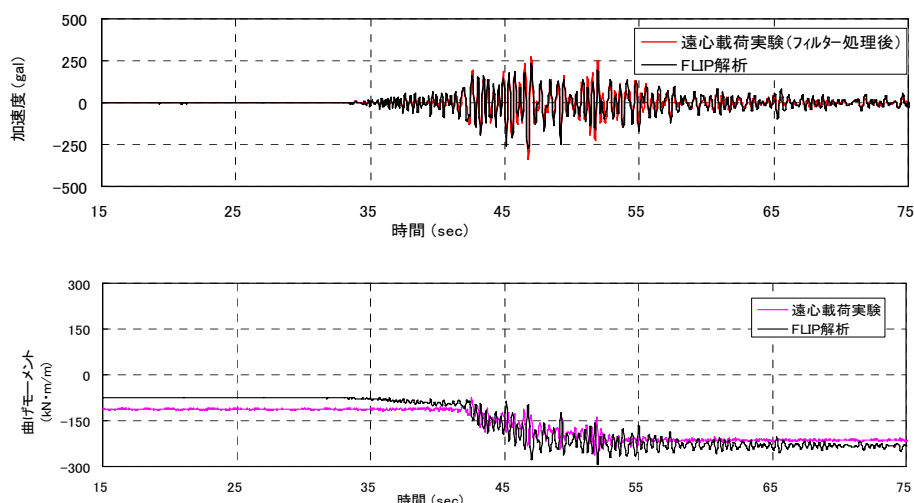


図-5 遠心模型実験とF L I P解析との結果の比較

7 謝辞

本工法は、国土交通省東北地方整備局、(独)港湾空港技術研究所、(株)日本港湾コンサルタントとの共同開発である。本工法の開発、実証実験の実施、設計法の確立にあたりご尽力いただいた関係者の皆様に、ここに御礼を申し上げる次第である。

「大型残存型枠 A K Yパネル」の開発について

(株)アドヴァンス 企画開発部 開発課 渡辺 威一

1 はじめに

H19 年度発注の上荒沢横山沢砂防堰堤工事において、発注者北陸地方整備局飯豊山系砂防事務所より残存型枠に関して開発要望があり、当社は既存残存型枠の課題点を踏まえ関係会社と共に工期短縮、省力化、安全性の向上を主眼とした新技術開発の取組みを行い、発注者に新技術大型残存型枠 A K Y パネル（以下、A K Y パネル）を提案したところ快諾して頂き、製品開発・実施工の運びとなった。その後、公的試験機関による性能確認試験を経て、北陸地方だけでなく東北・関東地方に実績を挙げ目だった問題点もなく無事に完工している。

以上の開発経緯を纏め報告するものである。

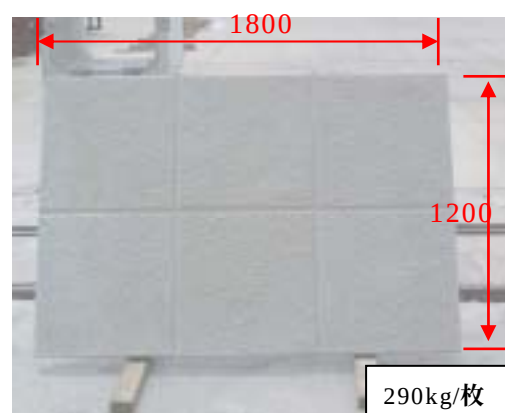
2 開発のコンセプト

既存の残存型枠は人力施工が基本であり、製品の大きさは 1m^2 / 枚以下で重量は 100kg / 枚以下のものが大半であった。以前より発注者、及び施工関係業者より挙げられていた課題点を踏まえ、工期短縮・省力化・施工の安全性向上をポイントに開発を行った。

2. 1 製品形状（大きさ）

既存残存型枠は人力施工を基本とした製品であるため、型枠組立の作業効率が悪い。また、現地において施工重機による機械施工でも十分対応が可能であった。

よって、A K Y パネルを大型化(2.16m^2 /枚)することにより、残存型枠設置・組立作業の工期短縮、省力化を図った。(写真－1)



写真－1 製品単体

2. 2 製品強度・剛性の向上

コンクリート打設の1リフト高をなるべく高く打設することで、より顕著な工期短縮効果が得られると考え、A K Y パネルの部材厚・コンクリート基準強度を向上させ1リフト高を最大1.8mまで打設可能とした。

また、躯体本体との一体性確保のため、製品背面にトラス形状鉄筋を配置し、コンクリートとの付着性を向上させた。(写真－2)



写真－2 施工状況

2. 3 施工性の向上

施工時のA K Yパネル上下左右連結に使用する専用金具を、A K Yパネル端面に埋め込むことで現地での作業が軽減され(写真－3)、且つ、A K Yパネルの上下連結の際に端面開口部に調整板バネを差し込みジョイントするようにパネルを設置することで、勾配調整が容易となり、施工時のパネルの落下・脱落や手の挟まれが減少し作業の安全性を確保した。(写－4)



写真－3 パネル連結



写真－4 パネル据付

2. 4 安全性の確保

転落・墜落はその高低にかかわらず重大な事故に繋がる。よって、転落・墜落防止対策として、A K Yパネル端面に専用金具を取付け単管柵により作業員の安全性を確保した(写真－5)。

また、A K Yパネル1枚 290kg あり且つ砂防堰堤の構造上型枠を斜めに据付ける必要がある。よって、パネルを堰堤なりに斜めに吊ることが出来る(1：0.0～1：1.0まで対応可能)専用吊り具を開発し、パネル設置の作業効率向上と作業の安全性を確保した。(写真－6)



写真－5 転落防止柵



写真－6 専用吊り具

3 実工事での活用

3. 1 第1号実績による活用結果

第1号実績である上荒沢横山沢砂防堰堤工事では、残存型枠と残存化粧型枠とが使い分けしており、残存型枠として既存残存型枠を使用し残存化粧型枠として新技術A K Yパネルが活用された。型枠設置作業については、既存残存型枠に比べA K Yパネルは1.5倍程度の作業効率を発揮し、調査結果を基に試算したところ約20%の工期短縮効果が期待できる結果となった。

そして、現場が山間部であったため天候が心配されていたが、比較的天候に恵まれ、A K Yパネル使用により型枠設置作業時間の圧縮と高リフト高による打設(約1.8m)により、当初工程とおりに事故も無く完工することができた。



写真-7 現場状況

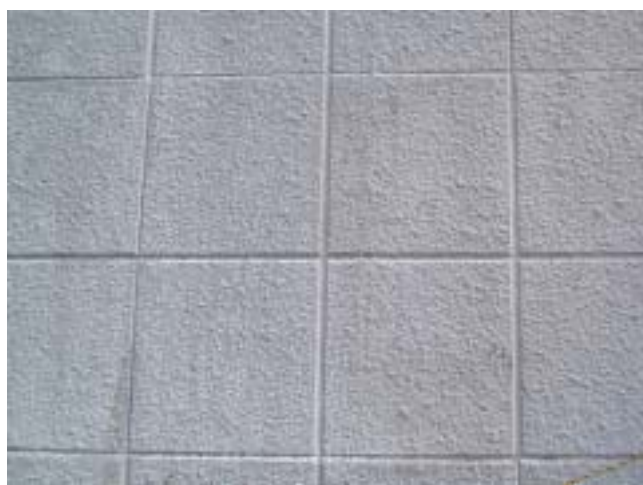


写真-8 表面模様

3. 2 その他実績の紹介

H19年度に第1号実績が完工して以来、現在(H21.8月時点)において3千m²を超える実績を上げており、新潟県内だけでなく福島県、群馬県にも実績を残しており徐々に広がりを見せている状況である。また、A K Yパネルの使用方法についても、砂防堰堤の残存型枠としてではなく一般コンクリート構造物の残存化粧型枠の使用方法も存在する。

以下に、その他実績の使用状況写真を紹介する。



写真-9 柏崎市別山川での実績



写真-10 群馬県高崎市での実績

4 AKYパネルの性能確認試験

コンクリート構造物を構築するための残存型枠として、所定の品質及び安全性を確保するために必要とされる基本的性能は、発注機関の特記仕様書等に規定されている。その基本的性能を確認する6種の試験項目を、公的試験機関である国立大学法人長岡技術科学大学に委託しており、H21年3月をもって終了している。

表－1 性能確認試験一覧

試験項目	基本的性能	概 要	結 果
曲げ試験	強度特性	コンクリート側圧が作用してもひび割れが発生しない	良 好
コンクリート側圧 載荷試験		コンクリート側圧に対して変形が少なく、耐力を有する	良 好
梁曲げ試験	一体性	現場打ちコンクリートと AKY パネルが容易に剥離しない	良 好
充填確認試験		AKYパネル内側へ現場打ち コンクリートが十分充填する	良 好
衝撃試験	耐衝撃性	AKYパネルに衝撃を与え、現場打ちコンクリートとの剥離	良 好
凍結融解試験	耐久性	普通コンクリートと比較し、耐凍結融解性が同等である	良 好

5 まとめ

今回の開発のポイントは、「製品の大型化」と「最大 1.8mまで打設可能」とした点であると考える。大型化することにより型枠据付の作業効率が向上し、1リフトの打設高を極力高くすることで打設回数が減少するため、トータルとして工期短縮・省力化が可能になる。

また、残存型枠として既存残存型枠と AKY パネルとの決定的な相違点は、人力施工であるか機械施工であるかという点と思われる。既存残存型枠の開発当初は、施工機械能力が低く砂防堰堤の現場において重機の搬入・搬出が出来ず人力施工に頼るしかない状況でなかったかと想像できる。しかし、現在において機械化施工は基本であり、そういった意味においては AKY パネルが現在の施工現場におけるニーズに答えていると考える。

以 上

合理的な鉄筋挿入工ののり面工をもとめて

東京製鋼株式会社 エンジニアリング事業部 環境建材部長 田代 元司

○株式会社ジオデザイン 代表取締役 桜中 正吉

1. はじめに

鉄筋挿入工法（地山補強土工法）は、1980 年代にヨーロッパからわが国に工法導入され、近年、のり面・斜面の比較的浅いすべりに対応する抗土圧型のり面工として定着してきた。また、補強メカニズムも、模型実験や実物大実験が盛んに実施されたことにより、設計手法も確立されつつある。

鉄筋挿入工法は、自然地山または既設盛土に補強材を挿入し、のり面工で頭部を結合、地山と補強材の相互作用およびのり面の補強効果によってのり面全体の安定性を高める工法である。同のり面工は、鉛直に近いほど、地山の固結度が低いほどりのり面工と補強材を結合する重要性が増してくる。補強材は S D 345, H D Z 55 以上に統一されたが、のり面工はコスト縮減、施工性、耐久性、景観・環境に優しい社会資本に対応して、多くの工法が開発され、広く普及している状況にある。

本稿は、同のり面工の一種であるロープ付鉄筋挿入工法の概要と今後の課題について述べる。

2. ロープ付鉄筋挿入工法の概要

2. 1 開発の背景

北陸地方整備局管内で鉄筋挿入工が導入されたのは、昭和 55 年頃からであり、この時代ののり面工は 1) 支圧板のみ、2) 支圧板+吹付のり砕工、3) 支圧板+モルタルまたはコンクリート吹付工、4) 支圧板+コンクリート張工としていた。平成に入ってから、コスト縮減、耐久性、景観などの問題から二次製品を用いたものが多く普及してきた。しかし、現在は更に厳しい財政状況から、より一層のコスト縮減と耐久性の向上、環境の保全や景観に配慮したのり面工が求められるようになってきている。

このような背景を踏まえ、経済的で全面緑化工法であるロープ付鉄筋挿入工法を開発した。

2. 2 ロープ付鉄筋挿入工法とは

本工法は、鉄筋挿入工法ののり面工の新技术であり、2 枚のプレート（支圧板・固定板）、ロープ・金網、ナットでのり面工を構成し、補強材と一体化し、のり面工としての機能である補強効果、表層土塊の拘束、補強材間の中抜け防止を図るものである（図-1 参照）。

本工法は、マイティネット工法に含まれる G F アンカーを改良したものである（特許 2829825 号）。

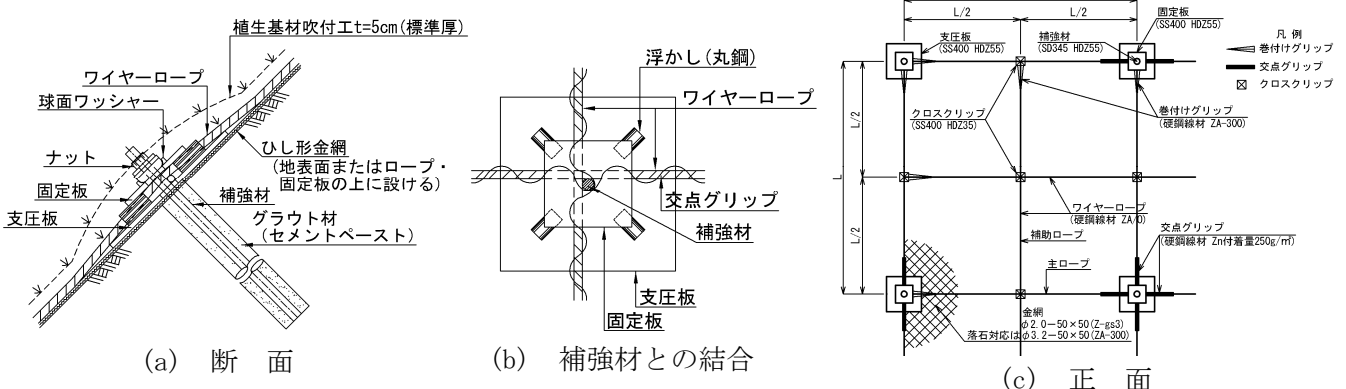


図-1 ロープ付鉄筋挿入工法の標準構造

2. 3 のり面工の種類と比較

のり面工の施工事例としては、旧 J H で調査¹⁾したものがある（図-2 参照）。最近では景観・耐久性を考慮し、コンクリート（モルタル）吹付工は使用しない場合が多い。同図に示したように、現在、標準的に使用している吹付のり砕工は全体の 19% であり、施工例は少ない。

最近では経済性、景観への配慮などからプレキャスト製品ののり面工が多く用いられるようになってきた。

のり面工の種類を、構造からグループ分けし、比較したものを表-1 に示す。同表に示したとおり、5 グループに分類でき、支圧板のみと吹付のり砕工を除いては、補強効果、耐久性、景観性がほぼ同等であることが分かる。

したがって、のり面工を決定する重要なポイントは経済性である。支圧板+ロープのグループの中でも、本工法は経済性に優れている。

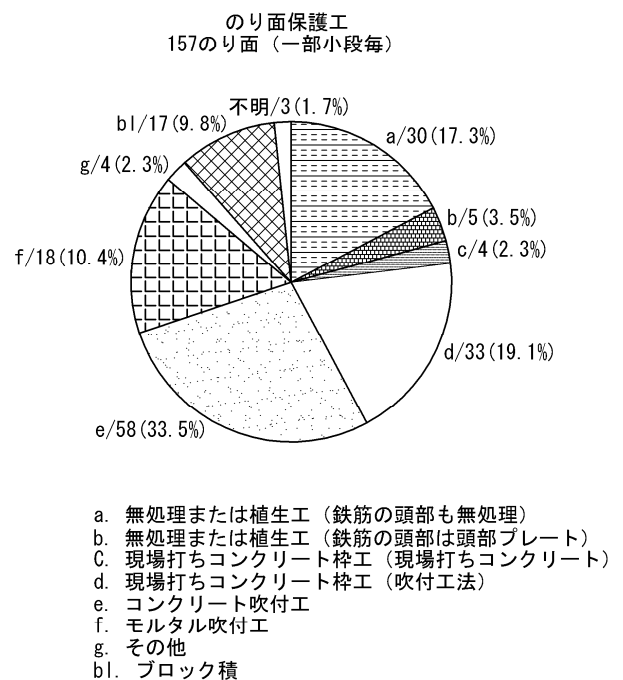


図-2 のり面工の実態¹⁾

表-1 のり面工の種類と比較

NETIS を参考に作成

グループ	標準断面図	適 応 性	補強効果	耐 久 性	景 観 性	直接工事費 植生工は除く (円/㎡)	総合評価
支圧板のみ (格子状FRP等 プレキャスト製品)		パネルが0.7～1mと大きいいため、凹凸が大きいと適用不可。	補強材の相互連結がなされていないため、補強効果が不明。	耐久性に優れる。 △ (50～70年) ◎	全面緑化となり、景観性に優れる。 ◎	7,500～11,000	補強効果が不明。 △
吹付のり砕工 (従来工法)		あらゆる箇所に適用可。	補強材とのり面工が剛結されているため、補強効果が高い。	品質にバラツキが生じやすく、耐久性に劣る。 ◎ (30～40年) △	部分緑化となり、景観性に劣る。また、外観が汚い。 △	(F200～F300) 12,000～17,000	比較的高価であるほか、景観重視箇所には不適。 △
支圧板+ネット		同 上	補強材と、のり面工が厚ネットの連結のみなので補強効果が不明。	耐久性に優れる。 △ (50～70年) ◎	全面緑化となり、景観性に優れる。 ◎	10,000～11,000	補強効果が不明。ただし、比較的安価である。 △
支圧板+ロープ (本工法も含む)		同 上	補強材が相互連結されているため、補強効果が高い。	耐久性に優れる。 ◎ (50～70年) ◎	工法によって全面緑化～部分緑化となる。 (本工法は全面緑化) ◎	8,000～18,000 本工法 8,000～10,000	工法によって工事費に大差がある。本工法は最も安価である。 ◎
コンクリートブロック		急勾配切土のり面に適する。	補強材が剛なブロックで連結されているため、補強効果が高い。	耐久性に優れる。 ◎ (50～70年) ◎	コンクリートのり面は景観性にやや劣る。 △	35,000～40,000	高価であるため、適用箇所が限定される。ただし、補強効果が高い。 ◎

3. 設計・施工

3. 1 設計基準と施工

本工法の設計・施工方法は、平成 18 年 5 月に「GF 式（ロープ付）鉄筋挿入工の設計・施工マニュアル（案）」にとりまとめた。その後、施工実態等を踏まえ、平成 20 年 5 月に第 1 回改訂版²⁾を作成している。

なお、同マニュアル作成にあたっては、「切土補強土工法設計・施工指針」¹⁾の設計手法に準拠している。ただし、支圧板に作用する反力（軸力）は、以下に示す考え方で設計している。

図-3 は、のり面工が無い場合に、補強材が引抜けられない状態で不安定土塊が中抜けする状態を示したものである。この対応として同指針¹⁾では、不動地山側の引抜き抵抗力 T_1 と不安定土塊側の拔出し抵抗力 T_2 を比較し、小さい方の軸力を取り、これに低減係数（ λ 、 μ ）を乗じて求めている。 λ は軸力の低減係数、 μ はのり面工の低減係数である。

本工法は、表層をロープと金網で拘束しているほか、支圧板の反力を地盤の許容支持力以下としていることから、以下の設計手法をとっている。

支圧板に作用する反力 T は、 λ を考慮した T_1 から拔出し抵抗力を減じたものとする。この拔出し抵抗力を求める場合、不動地山と不安定土塊の境界付近は補強材の変形によって拔出し抵抗力が減少する恐れがあるため、

移動土塊厚さの半分を有効長とした計算で求める（ $T = T_1 - T_2/2$ ）。ただし、移動土塊の N 値が 4 以下の軟質な地盤は、周辺摩擦抵抗力の信頼性が乏しいので抵抗力を無視する。

3. 2 現場への適用

本工法の一般的な適用条件は、崩壊対策としては、概ねすべり面の深さが 5m 以下（人力削岩機は 3m 以下）、鉄筋に作用する軸力は 60kN/本以下が経済性から妥当と考えている。

これまでの施工実績による適用例を図-5 に示す。

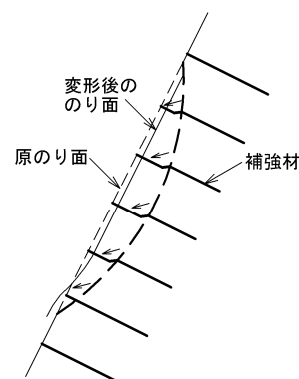


図-3 のり面工が無い場合
不安定土塊が中抜け・崩壊

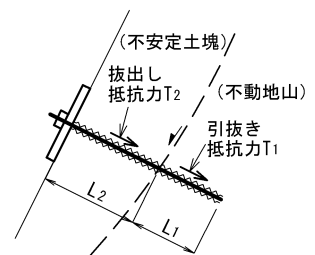
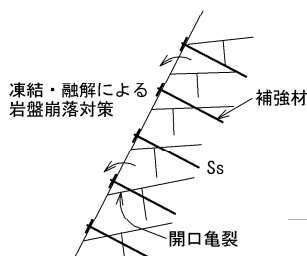
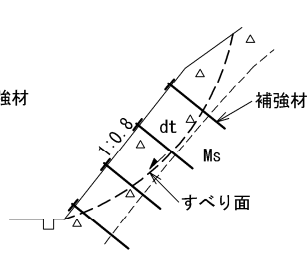


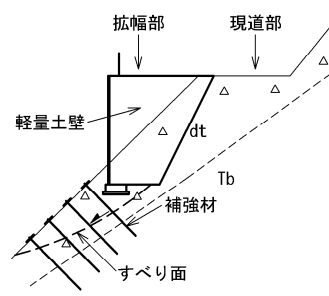
図-4 引抜き・拔出し



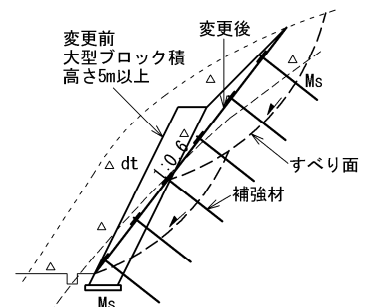
(a) 山腹崩壊対策



(b) 切土のり面(急勾配)
崩壊対策



(c) 擁壁基礎地盤の
補強



(d) 切土部擁壁を鉄筋挿入工
とし、コスト縮減と全面
緑化を図った。

図-5 ロープ付鉄筋挿入工の適用例

3. 3 品質・出来高管理

経済性と耐久性を重視した本工法は、品質・出来高管理基準を設けてあり、NETISもこの基準値を示したうえで登録している。同基準値は、「GF式（ロープ付）鉄筋挿入工の設計・施工マニュアル（案）」²⁾のCD中に記載してある。

4. 今後の課題

鉄筋挿入工は、のり面・斜面の崩壊対策の恒久構造物としての利用が積極的に進められている。また、新潟県中越地震では耐震性が高いことが立証され、今後の耐震補強工としての利用も期待されている。

本工法では、更なるコスト縮減と耐久性の向上および環境問題に対応するため、以下の課題に取り組んでいる。

(a) のり面工の耐久性の向上

本工法は、鋼材二次製品を組み合わせた工法であり、溶融亜鉛メッキのみで、一般構造物に求められている50～70年のメンテナンスフリーを確保している。これらは追跡調査で確認し、今後の設計の参考とする。

(b) 更なるコスト縮減

鉄筋挿入工は、全体工費に対し、削孔費の占める率が高い。このため、削孔機械の改良によるコスト縮減を図る必要がある。

(c) 環境への配慮

施工後、半年～10年を経過した現場の追跡調査をした結果、総ての現場で植生が活着しており、固定板・ロープ・金網を完全に被覆している。今後は、在来植物への変遷状況、特に低木類の活着状況を調査する必要がある。また、急傾斜地崩壊対策においては、自然の立木および草本類植物を出来るだけ生かすため、植生基材吹付工を行わない施工方法も検討中である。

(d) のり面工設計手法の確立

現在、不安定土塊が移動しようとしたときの鉄筋に作用する定着部の引張力（軸力）は、ほぼ解明されている。しかし、同軸力がのり面の支圧板に作用する反力に未解明な点がある。旧JHでは前述した軸力に表-2の μ を乗じて求めることができるとしているが、本工法は植生のり面とのり枠工の中間領域に入るため、3.1で述べた設計手法としている。

今後は、補強材に軸力計、補強材頭部に荷重計、ロープに引張荷重計などを設け、設計手法を確立したいと考えている。この実現には発注者の協力が必要と考えている。

表-2 のり面工タイプと低減係数 μ の目安¹⁾

のり面保護工タイプ	μ	備考
植生工のり面	0	支圧板付
コンクリート吹付工	0.2～0.6	
のり枠工	0.7～1.0	
擁壁類	1.0	連続した板タイプのり面工

〔参考文献〕

- 1) 旧日本道路公団：切土補強土工法設計・施工指針 平成14年7月
- 2) GF式（ロープ付）鉄筋挿入工法普及会：GF式（ロープ付）鉄筋挿入工設計・施工マニュアル（案）第1回改訂版 平成20年5月

繊維シートを用いたはく落防止技術（T－F R E G）

佐藤工業 技術研究所 主任研究員 ○宇野 洋志城
佐藤工業 技術研究所 主任研究員 歌川 紀之
金沢工業大学 環境土木工学科 教授 木村 定雄

1 はじめに

二次覆工コンクリートにおいて、アーチ部分に発生する浮きやひび割れなどの変状に対するはく落防止対策には繊維シート接着などの内面補強工法が施されるケースが多く¹⁾、その技術は広く認められているが²⁾、要する維持修繕費は多大なものとなる。一方、コンクリートの打込み前の型枠面に連続繊維シートを敷設し、脱型時からコンクリートの表面近傍に埋設した状態で供用開始する工法に関しては、これまでに橋梁上部工の下面（交差部の橋梁下面）³⁾や二次製品のシールドトンネル用セグメントの内面（高流動コンクリートセグメント）⁴⁾を対象に実用化されているが、山岳トンネルにおける二次覆工コンクリートへの適用例はない。

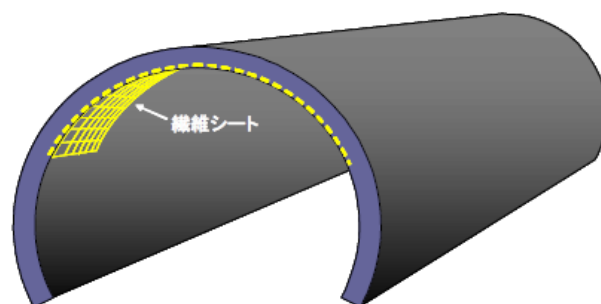
そこで、筆者らは計画段階から保全行為自体を予防する保全予防の概念に基づいた対策として、二次覆工コンクリートの表層に繊維シートを埋め込みはく落を未然に防止するT－F R E G（Tunnel－Fiber Reinforced EdGing）工法を開発し、道路トンネル工事において試験的に導入した。

本報告は、適用前のはく落防止などの耐久性能に対する検証の結果について述べるものである。

2 適用技術の概要

2. 1 適用のイメージ

T－F R E G工法は、二次覆工コンクリートの各BL 端部におけるアーチ部分を対象に適用した。BL 端部への適用のイメージおよび目地付近の繊維シート使用によるはく落防止のイメージをそれぞれ図－1、図－2に示す。



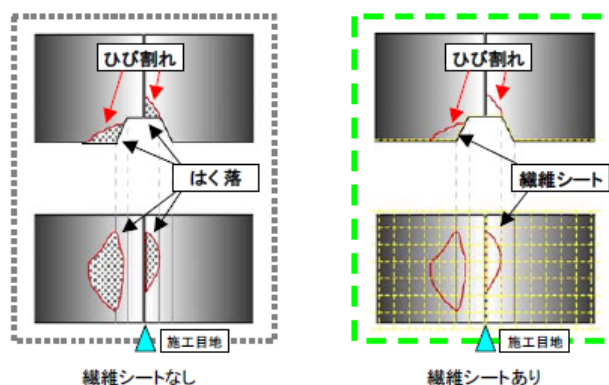
図－1 T－F R E G工法適用のイメージ

2. 2 繊維シートの種類

T－F R E G工法に使用した材料は、その加工性を検証した上で、これまでに使用実績のあるメッシュ状の耐アルカリガラス繊維シートとした。

2. 3 適用範囲

今回試験的に導入した道路トンネル工事における繊維シートの適用範囲は、縦断方向には目地部を含み棲面から内側に約50cmまで、横断方向には建築限界をカバーし、かつセントルをジャッキダウンできる120°範囲で円周方向に11.8mとした。



図－2 はく落防止のイメージ
（上：側面 下：平面）

3 事前の検証

3. 1 はく落防止性能

現時点では、T-FREG工法のように保全予防の概念に基づいて新設のコンクリート表層に繊維シートを埋設して適用する場合の評価方法は整備されておらず、明解なはく落防止に対する効果の評価方法はまだ存在しない。

そこで、今回T-FREG工法のはく落防止性能を評価するに当たっては、既存の試験方法による曲げ靱性係数と押抜き耐力の基準を満足することで十分なはく落防止性能があると判断することとした。曲げ靱性係数および押抜き耐力の検証実験に使用したコンクリートを表-1に示す。

3. 1. 1 曲げ靱性係数

試験体の寸法、形状は15cm×15cm×53cmの直方体とし、底面に繊維シートを敷設、固定は行わない状況でコンクリートを打ち込み作製した。材齢18時間で脱型した後は20℃の恒温室内で湿潤養生を行い、材齢28日に曲げ靱性試験を実施した。

載荷方法に関してはJHS 730-2003『繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性試験方法』⁵⁾に準拠した。本来は載荷面を側面とするが、繊維シートを埋設した側を下面とするため、仕上げ面とした。

試験結果を図-3に示す。曲げ靱性係数は平均値で2.02N/mm²が得られ、繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性係数の基準である1.40N/mm²を十分に上回る結果を示した。その数値は非鋼繊維を容積混入率で0.3%使用した場合の短繊維補強コンクリートが示す水準を超えており⁶⁾、曲げ靱性係数のばらつきも明らかに小さい。その要因は繊維シートによる繊維配列方向が短繊維の分散状況に比べて安定していることに関係していると考えられた。

3. 1. 2 押抜き耐力

試験体の寸法、形状は600mm×400mm×60mmの平板とし、底面に繊維シートを敷設、固定は行わない状況での打込みから脱型材齢、養生方法、試験材齢までは曲げ靱性試験と同じとした。

載荷方法に関しては基本的にJHS 424-2004『はく落防止の押抜き試験方法』⁷⁾にならい、試験前に試験体中央部を繊維シート面の反対側（打設面）からφ100mmの形状で55±0.5mm深さまで削孔した。載荷速度は開始時点で0.2mm/min、以降変位2.0mmから終了までは1.0mm/minとし、2.0mmの変位毎に2.0分間載荷を停止して載荷面反対側のはく離範囲を目視観察した。最終変位は23mmまでとして最大荷重を記録したが、変位10mmまでに得られた最大荷重データは無視した。

表-1 試験体作製に用いたコンクリート配合

Gmax (mm)	スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
40	15	60.0	47.1	166	277	863	975	2.77

セメント：高炉セメントB種、密度3.04g/cm³

細骨材：大月市初狩産砕砂と富津市鶴岡産陸砂の混合（8:2）、表乾密度2.62g/cm³

粗骨材：大月市初狩産碎石、表乾密度2.64g/cm³

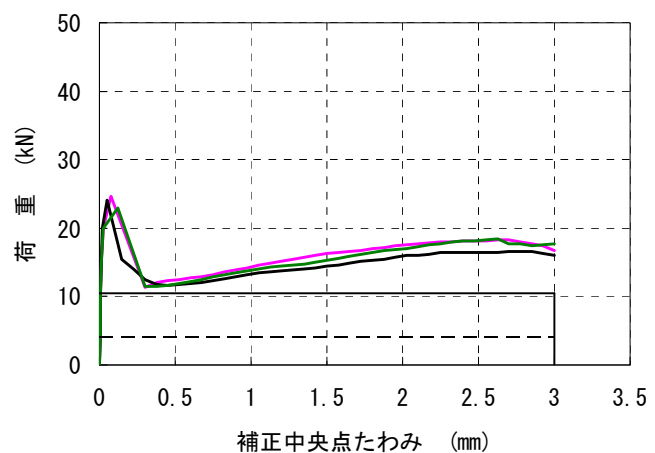


図-3 曲げ靱性試験結果

試験結果を図－４に示す．変位10mm以上における最大荷重は平均値で2.62kNが得られ，連続繊維シート後貼り工法の基準である1.5kN⁸⁾を十分上回る結果を示した．

これより，押抜き耐力と前項の曲げ靱性係数のどちらの結果から判断しても，T－F R E G工法は十分な落防止性能のあることが明らかとなった．

3. 2 耐火性能

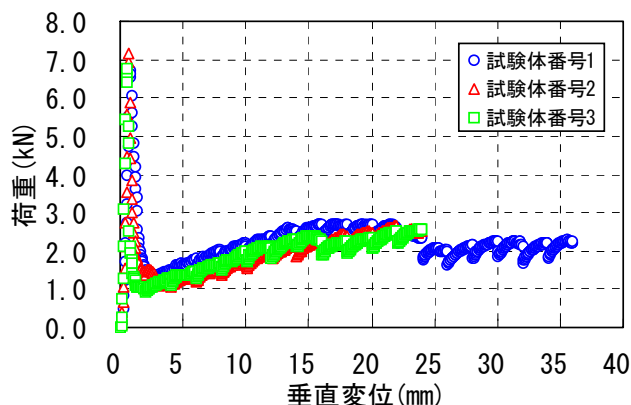
二次覆工コンクリートをトンネル構造物内での施設の一部とすれば，他施設と同レベルの耐火性能が求められる．そこで，平成12年に改正された建築基準法で定めるところの防火材料3ランク（不燃材料，準不燃材料，難燃材料）に対して，目標は準不燃材料ランクに適合することとした．

防火材料を評価するときの要件は，『通常の火災による火熱が加えられた場合に，①燃焼しないものであること，②防火上有害な変形，溶融，亀裂その他の損傷を生じないものであること，③避難上有害な煙またはガスを発生しないものであること』であり，準不燃材料に適合するには10分間は性能を保持しなければならない．試験方法および合格の判定基準を表－2に示す．なお，試験体の厚さに制限があるため，検証実験には表－1のコンクリートから粗骨材を取り除いたモルタルを使用した．

3. 2. 1 発熱性

試験体の寸法，形状は99mm×99mm×24mmの平板とし，底面に繊維シートを敷設，固定は行わない状態で打ち込み作製した．材齢18時間で脱型した後は20℃の恒温室内で湿潤養生を行い，材齢28日以降に発熱性試験を実施した（第三者機関での実施のため，試験日は指定できなかった）．

試験結果を表－3に示す．10分間の総発熱量は8MJ/m²の1/10以下であり，最高発熱速度も200kW/m²の1/100程度までにしか達しなかった．繊維シートはモルタル表面には現れておらず，着炎することなく10分間の加熱時間を終了した．その結果，有害な亀裂や損傷は認められなかった．



図－４ 押抜き試験結果

表－2 試験方法および合格の判定基準

試験方法	規格	合格の判定基準
発熱性試験	ISO5660-1に準拠	①加熱開始後10分間の総発熱量が8MJ/m ₂ 以下であること ②加熱開始後10分間，防火上有害な裏面まで貫通する亀裂および穴がないこと ③加熱開始後10分間，最高発熱速度が10秒以上継続して200kW/m ² を超えないこと
ガス有害性試験	旧建設省告示1231号に準拠	マウスの平均行動停止時間($X_s = X - \sigma$)の値が6.8分以上の基準を満足すること ただし， X ：8匹のマウスの行動停止までの時間の平均値(単位：分) σ ：8匹のマウスの行動停止までの時間の標準偏差(単位：分) (マウスが行動を停止するに至らなかった場合は15分とする)

表－3 発熱性試験結果

試験体番号	1	2	3
10分間の総発熱量 (MJ/m ²)	0.6	0.5	0.3
最高発熱速度 (kW/m ²)	2.2	2.1	1.7
200kW/m ² 超過継続時間 (秒)	なし	なし	なし
防火上有害な裏面まで貫通する亀裂および穴の有無	なし	なし	なし
着炎時間 (秒)	0	0	0
判定	合格	合格	合格

3. 2. 2 ガス有害性

試験体の寸法、形状は220mm×220mm×24mmの平板とし、底面に繊維シートを敷設、固定は行わない状況での打込みから脱型材齢、養生方法、試験材齢まで発熱性試験と同じとした。

マウスは行動停止せず、発熱性の検証において燃焼するものがないことを裏付ける結果となった。

これより、有害なガスの発生しないことは明らかであり、前項の発熱性試験の結果と併せて判断して、T-FREG工法は十分な耐火性能のあることが明らかとなった。

4 おわりに

保全予防の概念に基づいたT-FREG工法を適用するにあたり、耐久性能に関する検証では良好な結果が得られ、実施工に十分通用する技術であることが証明できた。

実施工における打込み作業を通常の二次覆工コンクリートと同様に行った結果、充てん状況に問題のないことが確認できた。また、締固め作業の影響による繊維シートの損傷も認められなかった。

繊維シートの適用による外観の特徴に関しては、脱型直後には目視確認できた繊維シートの境目は時間経過とともに目立たなくなり、脱型後4週が経過すれば境目もわからない程度となった。写真-1に示すように仕上がりには違和感は認められない。

今後は、T-FREG工法をはく落防止対策に有効な方法の一つとして水平展開させるための準備を行う予定である。

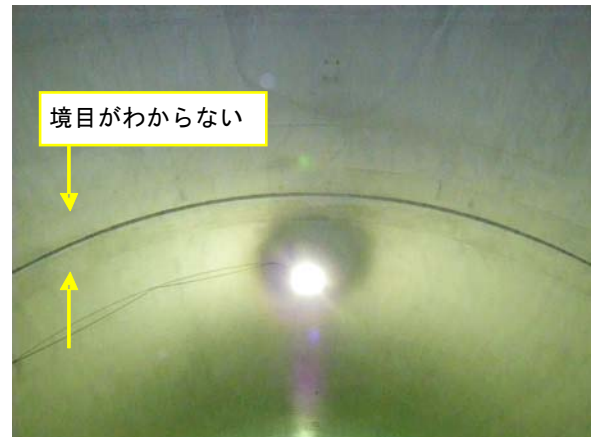


写真-1 脱型4週経過後の外観

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 2009，2009
- 2) 小島芳之，吉川和行，六車崇司，小林朗，若菜和之，松岡茂，朝倉智深：繊維シート接着工法によるトンネル覆工コンクリートの剥離対策設計法，土木学会論文集，No. 756，VI-62，pp. 101-116，2004. 3
- 3) 寺田典生，青木圭一，中井裕司：繊維シートによる剥落防止対策の開発，橋梁と基礎，pp. 27-32，2003. 11
- 4) 玉井攻太，木村定雄，松浪康行，倉木修二，水上博之：コンクリート系セグメントの表面補強材としての繊維シートの適用，トンネル工学報告集，Vol. 14，pp. 389-394，2004. 11
- 5) 東日本高速道路，中日本高速道路，西日本高速道路：トンネル施工管理要領，2006
- 6) 山本一也，木村定雄，宇野洋志城：繊維シートを適用したトンネル覆工コンクリートのつま部のはく落現象の防止，トンネル工学報告集第 18 巻，pp. 31-36，2008. 11
- 7) 東日本高速道路，中日本高速道路，西日本高速道路：試験方法第 4 編構造関係試験方法，2006
- 8) 日本道路公団：コンクリート片はく落防止対策マニュアル，2000

H型P C杭を適用した連続地中壁工法の開発

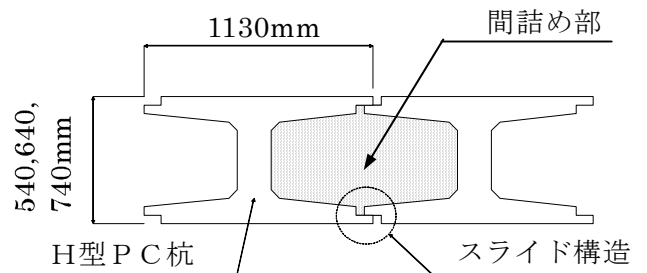
株式会社ピーエス三菱 本社 主任技師 植村 典生

1 はじめに

都市部の地中連続壁工事は、周辺に商業ビル等が建ち並び、人通りおよび交通量が非常に多く、工事に伴う住民生活の利便性の低下に最も配慮しなければならない施工環境下にある。そのため、工期の短縮・施工の省スペース化が必要不可欠な施工条件であり、また高い遮水性および耐震性が構造物に求められる。既存の技術である場所打ちコンクリートで連続地中壁を構築する場合には、仮設の土留め壁が必要であり施工スペースの問題が生じるため、本設が仮設の土留め壁を兼用でき施工の省スペース化を図ったP C a P C部材のP C矢板がある。ただし、P C矢板では、対応できる壁高が4～5m程度までであること、施工時に部材間に目開きが生じて遮水性能を満足できないこと等の不具合があり、これらを解決するために、P C a P C部材であるH型P C杭の開発を行った。本稿では、H型P C杭工法の概要、H型P C杭を適用した構造物の要素技術の確認試験結果および施工事例について報告する。

1. 1 H型P C杭工法の概要

H型P C杭は、工場製作されるプレテンション方式P C部材である。その曲げ性能は、ひび割れ抵抗曲げモーメント（許容ひび割れ幅を0.05mmとした時の最大曲げモーメント）としている。断面形状の特徴は、①H形であるため曲げ剛性が高い②礫質土での施工時に、開断面であるため礫による閉塞が起こりにくい③スライド構造を有しており施工誤差を吸収することが出来ることである（図－1）。H型P C杭の種類は、部材高さは540、640、740mmの3種類、部材幅は1130mm、コンクリートの設計基準強度は70N/mm²である。

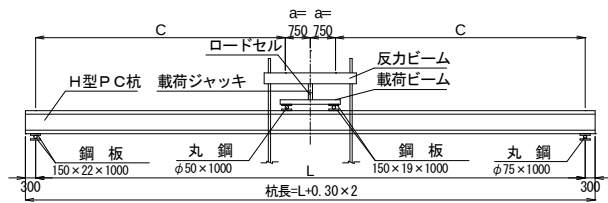


図－1 H型P C杭

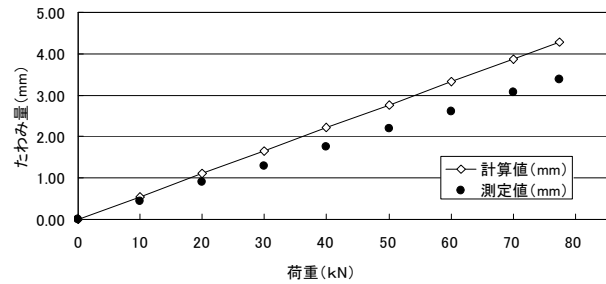
H型P C杭は、平成20年8月（財）土木研究センターより建設技術審査証明（第0803号）を取得し、NETIS（No. KT-040028）にも登録されている。

1. 2 H型P C杭の特性

H型P C杭の曲げ性能の確認のため、中央2点載荷による供試体の単純曲げ試験を行った（図－2）。ひび割れ抵抗モーメントに相当する荷重を加えたときのひび割れ幅が、許容ひび割れ幅（0.05mm）以下であることを確認するとともに、実測たわみが、全断面有効と考えた弾性理論による計算値以下であることを確認を行った。その結果、ひび割れ幅および変位ともに許容値以下であり、実部材が計算値以上の性能を有することが確認できた（図－3）。



図－２ 荷重状況図



図－３ 荷重と中央変位量の関係

２ 要素技術の性能試験結果

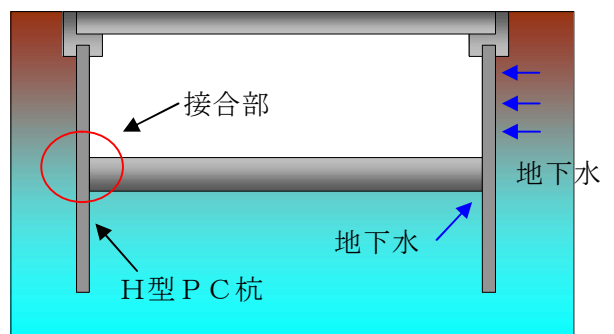
H型PC杭を適用した構造物の要素技術をまとめると以下ようになる（図－４）。

（１）遮水性能の高い連続壁

間詰め部にコンクリートを打設することで漏水が抑制され遮水性能の高い連続壁を構築することができる。

（２）H型PC杭と底版との接合方法

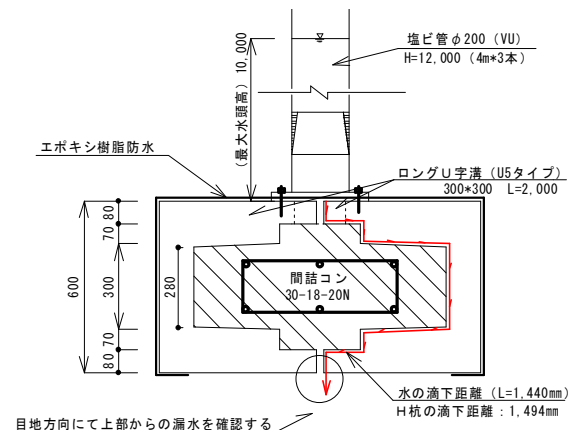
H型PC杭製造時に埋込まれた特殊な結合治具に鉄筋およびPC鋼棒を接続し緊張力を導入し接合する（PRC構造）方法とすることで、RC構造よりも力学的性能および遮水性能の向上を図った結合方法ができる。



図－４ イメージ図

２．１ 遮水性能に関する試験

遮水性能の検証を行うために、短期高压試験（水压 0.1・0.2MPa で 1 週間）と長期低压試験（水压 0.02MPa で 3 年間）の 2 種類の試験を行った。供試体は、H型PC杭を模擬した部材を泥水中に設置し、実際の現場と同様な条件で間詰め部のコンクリートの打設し製作された。その結果、何れも漏水が確認されなかった。遮水試験状況を図－５および写真－１に示す。



図－５ 短期高压試験供試体



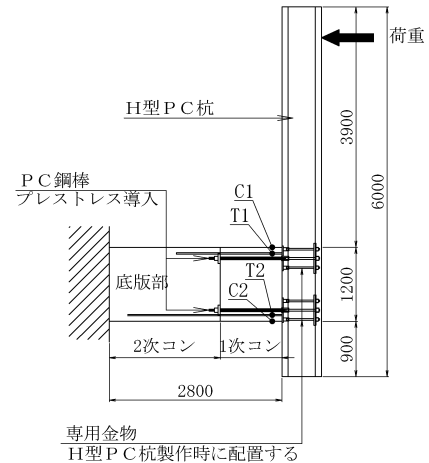
写真－１ 長期低压試験状況

2. 2 結合方法に関する試験

レベル1地震時に接合面に発生する曲げモーメントに相当する集中荷重（以下、地震時相当荷重）とした実物大の試験を行った。試験概要および特殊治具の構造を図－6、図－7に示す。①力学的性能は、一体施工による剛結構造としてRC計算により求めたひずみの計算値と実測値を比較すること、結合部の引張側の目開き幅の計測を行うことにより検証した。②遮水性能は、接合部のひずみ分布により検証を行った。試験結果を以下に示す。

①力学的性能：地震時想定荷重時の接合部のひずみ分布を図－8に荷重に荷重と目開き幅の関係を図－9に示す。その結果本接合方法は、圧縮側のひずみの実測値は計算値とほぼ近似していたため、一体施工による剛結構造と同様な力学的性能を有していること、荷重除荷後は目開き量が小さくなっているため復元性が高いことが確認された。

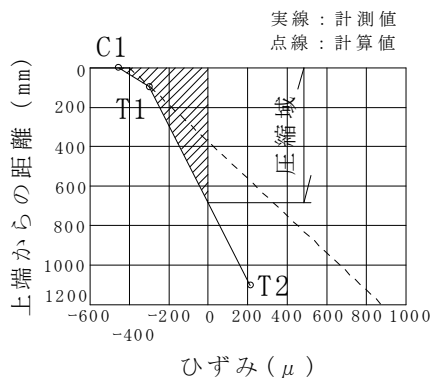
②遮水性能：図－8より接合部断面での圧縮ひずみの範囲が約70%残存しているため、遮水性が保持されていることが確認された。



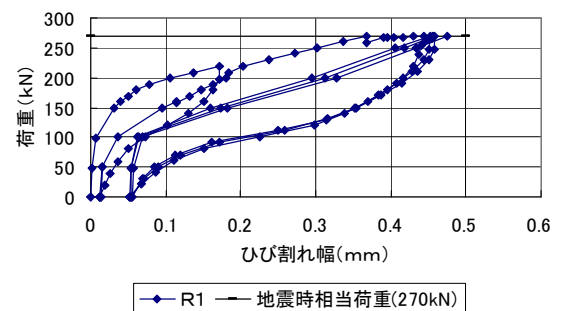
図－6 試験概要図



図－7 特殊治具



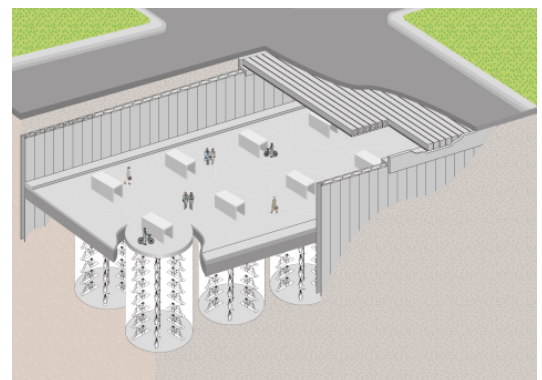
図－8 結合部のひずみ分布図



図－9 荷重と目開き量の履歴

3 各要素技術を適用した施工事例

本地下構造物は、環状線および地下鉄駅に面する人・車両共に通行量の多い場所に位置し、3mほどの道路を隔てて建ち並ぶ商業ビルに近接する。また、軟弱で地下水位の高い地盤の中へ構築される。本構造物の要求性能は、①省スペース施工②構造物の遮水性能③環境不可低減であった。本構造物のイメージ図を図－10に示す。地中連続壁の工事概要を表－1に、土質柱状図を図－11に示す。



図－10 構造物のイメージ図

3. 1 施工状況

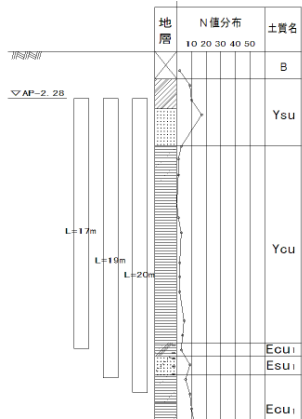
H型P C杭を使用した地中連続壁の施工方法は、二軸オーガスクリューを装着した三点式杭打ち機による中掘り杭工法としている。施工状況を写真－2に示す。連続壁の施工は、現地の土質状況から掘削土をバキュームにより吸引し清掃を行い、コンクリートポンプ車のフレキシブルホース先端をコンクリートに常に貫入させながらコンクリートを打設した。また、底版との接合部における鉄筋・P C



写真－3 鉄筋・P C 鋼棒設置状況

表－1 工事概要

工 期	5ヶ月
地中壁延長	東口：190m、西口：200m
H型P C杭	東口：L=17m, 128本
	L=19m, 51本
	西口：L=17m, 143本
	L=20m, 45本



図－1 1 土質柱状図

3. 2 環境特性

実施工における振動・騒音測定を行い、環境に対する特性を確認した。その結果、振動・騒音は規制値以内であることが確認された。表－2に実測結果を示す。

4 おわりに

今後、高齢化社会の進行に伴い益々利便性の高いに都市部への人口流入が加速されるものと思われる。その結果、多機能性を持つコンパクトシティとしての整備が求められる、これまでの仕事空間を生活空間に改善しなければならない。よって、本稿のように数多くの制約条件下での市街地施工が増加するものと思われ、その一助となれば幸いである。また、実験に際しご指導頂いた八戸工業大学名誉教授塩井幸武様に深謝の意を表します。



写真－2 施工状況

表－2 振動・騒音測定結果

測定項目	実測値 (dB)	規制値 (dB)	測定位置	測定時間
騒音	67	80	音源から12m (敷地境界)	昼
	64	80	音源から12m (敷地境界)	夜
振動	57	70	震源から10m	夜
	47	70	震源から10m	夜

ボックスカルバートの横送りを安く、早く、精度良く施工する。

株式会社 丸山工務所 土木部係長 広田 真澄

1 はじめに

この工法は東日本高速道路㈱関東支社様発注で、料金所に地下通路を設けるためにボックスカルバートを布設する工事において考案しました。料金所は交通量が多く、工事によるレーン規制を行うとすぐに渋滞が発生してしまうためこれを回避する工法が求められました。

1. 1 開発の目的

渋滞を回避するために適している工法は1レーンのみの規制で、ボックスカルバートをそこで吊り込み、横送りするものでした。工法としてはコロ工法や二次製品メーカーでも考案されたものがあります。従来のコロ工法では移動はたやすく行えますが設置の際の位置調整に手間がかかることなど作業効率は決して良いとは言えません。設置精度や作業効率を向上させるには二次製品各メーカーが取り入れている工法は素晴らしいものですが準備日数に時間がかかることや施工費用の増加などデメリットもありました。それらの工法を参考に安く、作業効率が良く、設置精度の良い工法を現場で対応できないものかと考え、チルローラと凸型基礎コンクリートによる横引き工法を考案しました。

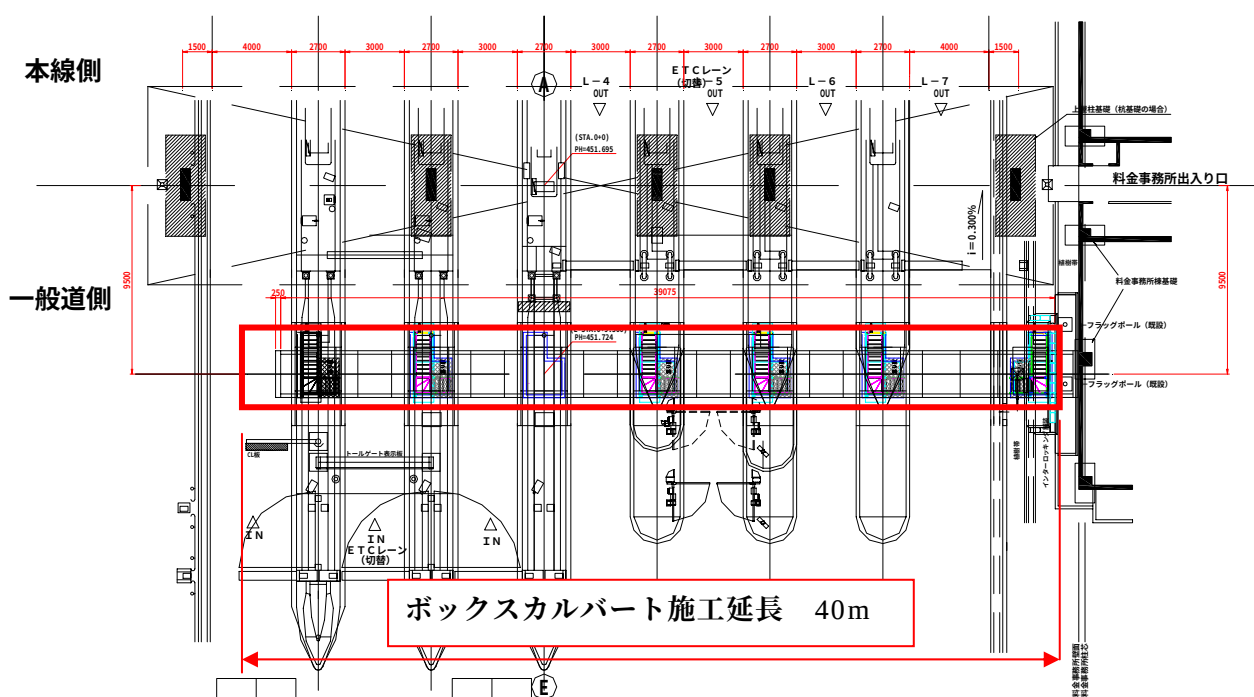


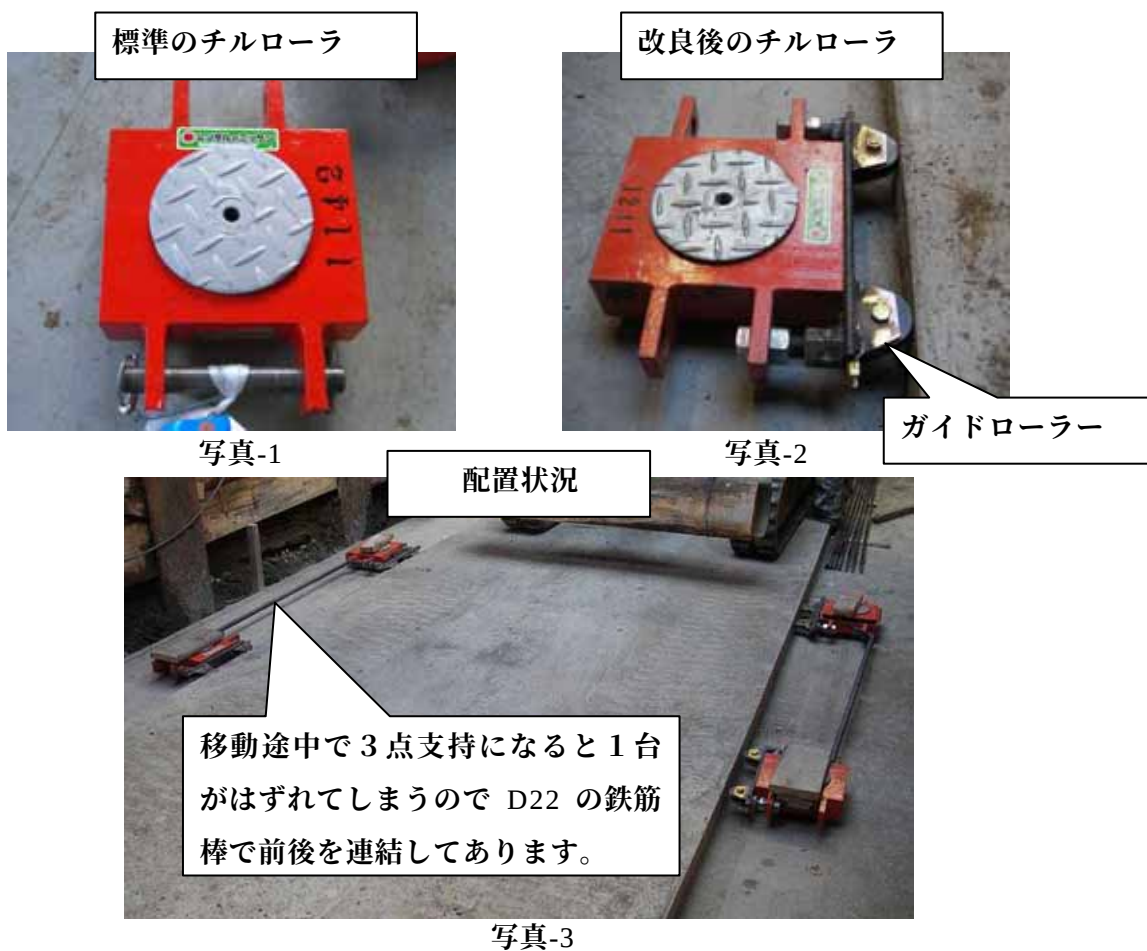
図-1

2 工法の概要

基礎コンクリートを凸型に形成し、ガイドローラーを取付けたチルローラ(株チルコーポレーション社製)を左右2個ずつ、基礎コンクリートをはさむ形で配置します。チルローラにボックスカルバートを載せて人力またはミニバックホウなどで押して移動し、所定の位置でジャッキアップによりチルローラを取外し、そのままボックスカルバートを降ろして設置完了となります。

3 工法の特徴

従来のコロで移動する方法は移動中に法線がずれてしまい、設置する場所で調整を必要としましたがこの工法では凸型に形成した基礎コンクリートをチルローラに取付けたガイドローラーが左右から挟むことで法線がずれずに移動することが可能になり、製品設置時の調整が不要となりました。



3. 1 チルローラの選定

一つ当たりが製品重量の 1/3 の耐加重のものを選定します。(移動中に3点支持になる場合があるためです) チルコーポレーション社製では2～20tまでのサイズが有ります。

3. 2 移動重量

チルローラの走行抵抗値はコンクリート面では 0.07、鉄板などを敷いた上では 0.05 になります。従って4tの自重のものを鉄板上で水平移動する場合は200kg(4000×0.05)を動かせばよいことになりますので作業員4人程度で十分移動が可能であり、移動機械を必要としません。

4 施工方法

4. 1 基礎コンクリート打設

基礎コンクリートを図-2のように打設します。

基礎コンクリートの加工

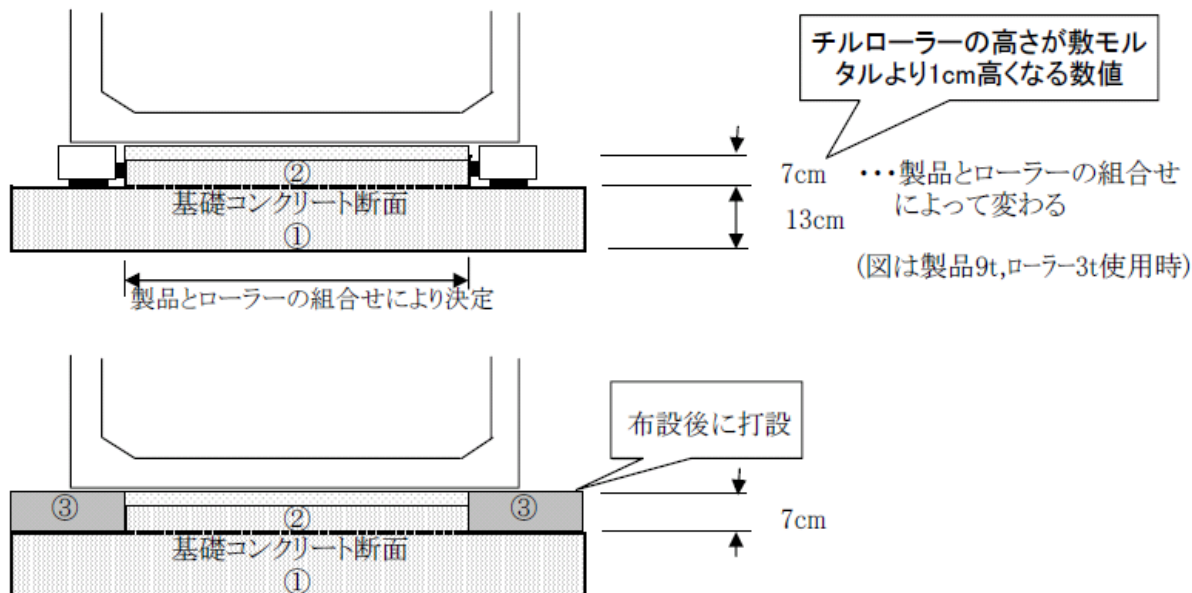


図-2

4. 2 チルローラにボックスカルバートをセット

製品と作業半径に適したクレーンで吊りこむが、このとき墨や糸などで設置する法線に合せます。

4. 3 移動

移動は製品重量が4t程度であれば人力で行い、4t～24t未満ならミニバックホウを使用します。

この工法は24t未満の製品重量までが適していると思います。

バックホウで押して移動させるときは排土板にクッション材(バタ角等)を取付けます。

4. 4 設置・ローラー取り外し

設置場所に到達したら既設のものに慎重に接触させます。チルローラを取外すときは爪付ジャッキを用いて4箇所同時に持ち上げて取り除きます。そのまま4箇所同時にジャッキダウンして設置完了となります。



写真-4

5 結果

5. 1 工程の短縮

当初計画していたクレーンによる直接布設では7日間の作業日数を見込んでいましたが、今回この工法を採用したことにより作業時間帯などの規制にとらわれないため4日で終えることができました。また、従来のコロ工法に比較すれば移動、設置の手間がかからないため1日くらいは短縮できたのではないかと思います。

5. 2 渋滞の発生

ETCレーンを閉鎖することなく施工できたため渋滞の発生は1度もありませんでした。

5. 3 施工精度

チルローラに載せる際に法線を合わせておけば設置場所で調整を行わなくても設置後の偏心量は±1cm以内で収まっていました。

5. 4 費用

実際に沼田工区(L=40m)でかかった費用を下にまとめます。(基礎砕石工含まず)

(ボックスカルバート概要・・・幅 2.0m、高さ 2.5m、長さ 1～2m、最大重量 9t)

- ・ 基礎コンクリート打設 ポンプ打設3回・・・計 459,000 円
- ・ ガイドローラー取付け(キャスター、鋼材)・・・計 6,000 円
- ・ 移動手段器具(ミニバックホウ、チルローラ、爪付ジャッキ)・・・計 42,000 円
- ・ ボックス設置人件費(4日×4人)・・・・・・・・計 203,200 円
- ・ 吊り込み用クレーン(25t ラフター)・・・・・・・・計 220,000 円
- ・ 合計・・・・・・・・930,200 円

クレーン工法を行った場合

- ・ 基礎コンクリート打設 ポンプ打設1回・・・・計 237,400 円
- ・ ボックス設置人件費(7日×4人)・・・・・・・・計 355,600 円
- ・ 吊り込み用クレーン(25t ラフター)・・・・・・・・計 385,000 円
- ・ 合計・・・・・・・・978,000 円

結果 47,800 円のコストダウン。

5. 5 むすび

- ・ 今回施工した現場は上り勾配 0.45%でしたが上り 2%勾配までは実験で確認しました。
下り勾配で使用する際はワイヤー等で機体とつなぐなどの逸走防止が必要と思われます。
- ・ 沼田工区では20回の移動がありましたが使用した器具に変形や損傷は見られず、機能を損なう障害は見られませんでした。
- ・ 一部ガイドローラーによりコンクリートの欠けが見られましたが、これはガイドローラーが角付近に当たっていたことによる欠けでした。これを解消するにはL型の鋼材を使用することやガイドローラーの取付け位置をできるだけ低い位置にすることで問題は解決されます。他の工区ではL-75×75をガイド部分にセットして行い、よりスムーズな施工が行えました。

PP工法（RC橋脚巻立て補強工法）

（株）加賀田組 営業事業本部 技術企画推進部 東 英則

1 はじめに

老朽化した橋脚や昭和 55 年以前の道路橋示方書により設計された橋脚の中には、現在の耐震基準を満足しないものが存在する。そのため、重要性・緊急性等を考慮し、順次、橋脚の耐震性能を高める工事が進められている。

橋脚の耐震性能を高める工法としては、RC 巻立て工法・鋼板巻立て工法・FRP 巻立て工法等があるが、今回紹介する PP 工法(Polymer cement mortar magnetite Pier reinforce)は、RC 巻立て工法に分類される。

PP 工法は、河川内の橋脚で RC 巻立て工法による補強を行うと河積阻害率が問題になる場合や、複雑な形状の橋脚のため鋼板巻立て工法を採用すると鋼板の特殊加工が必要な場合等における諸問題を解決するために開発された工法である。

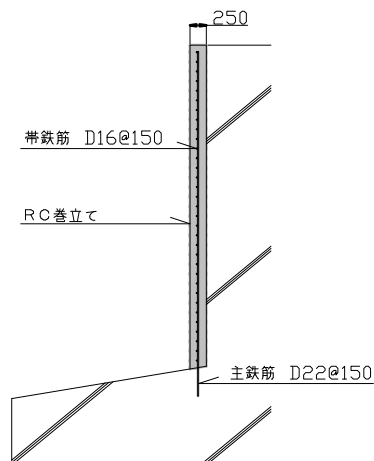
2 工法の概要

PP 工法は、既設コンクリート橋脚に補強鉄筋を配置し、多機能特殊ポリマーセメントモルタル（PP マグネライン）を塗り込んで一体化させる工法である。

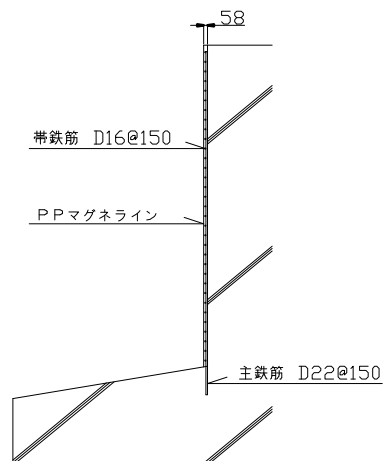
基本的な補強設計の考え方は、RC 巻立て工法と同じく、既設コンクリート部材と巻立て補強材が一体化した合成断面として取り扱う。

RC 巻立てによる橋脚の耐震補強と比較した場合、PP 工法で使用する PP マグネラインは、最大粒径が 4mm 以下の材料を使用し、補強後の中性化速度が遅く、高い防食性能を有していることから、補強鉄筋のかぶり厚さを小さくすることが可能となり、断面を薄くできる。

RC 巻立て工法では、一般的に補強に要する厚さが、250mm 程度必要となるが（図－1 参照）、PP 工法では、主鉄筋 D22・帯鉄筋 D16 を用いて補強した場合、58mm 程度の厚さで RC 巻立て工法と同等の補強効果が得られる。（図－2 参照）



図－1 RC 巻立て工法



図－2 PP 工法

3 PP工法の特長

3.1 特長

- ◆補強後において、変形性能の向上、じん性向上等の補強効果が得られる。
- ◆河川内の橋脚補強では、補強断面が小さいことから、河積阻害率を小さくできる。
- ◆建築限界に制限のある橋脚や特殊な形状の橋脚補強において、適応可能である。
- ◆橋脚下部の基礎構造に対する死荷重の増加を抑えることができる。
- ◆施工時に型枠を必要とせず、連続施工が可能である。
- ◆軽量で、一般的な材料を使用するため、重機や熟練工を必要としない。
- ◆施工後において、外見から劣化や損傷状況を目視確認できる。

主鉄筋 D22・帯鉄筋 D16 を用いた PP 工法による補強例を、図-3 PP 工法概要図に示す。

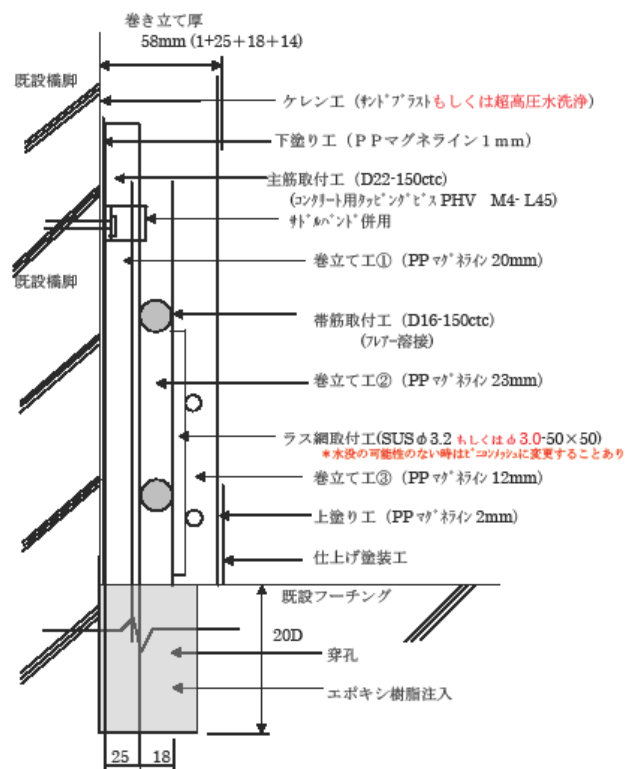


図-3 PP 工法概要図

3.2 PP マグネラインの材料特性

- ◆マグネコンパウンド（無機質主材）とマグネエマルジョン（複合高分子）を混合し、容易に安定した、多機能特殊ポリマーセメントモルタル（PP マグネライン）を製造することができる。
- ◆普通コンクリートに比べて、引張破壊ひずみが大きく、変形追従性に優れている。
- ◆普通コンクリートに比べて、ヤング係数が小さい。 $(1.5 \times 10^4 [\text{N}/\text{mm}^2])$ 程度である。
- ◆既設コンクリートとの付着力が大きく、ほとんどの RC 構造物に適用可能である。
- ◆普通コンクリートに比較して、中性化進行速度は約 $1/5$ 以下である。
- ◆防食性、耐塩害性、耐アルカリ性、耐熱・耐冷性、衝突など化学的、物理的耐久性に富んでいる。
- ◆補修後は、基本的にメンテナンスフリーである。
- ◆仕上がりがきれいであり、美観に優れている。

3. 3 施工フロー



写真-1 施工フロー

4 検証実験

既存柱部と増厚部の縮尺比を、想定する橋脚の1/5程度とした供試体を作製し、検証実験を行った。写真-2 正負交番載荷試験終了時状況および図-4 PP補強柱の荷重変位履歴曲線を示す。

実験結果より、復旧仕様によって計算した耐荷力、終局変位を十分にクリアしたものであった。

また、従来の鉄筋コンクリート柱では十分なひび割れが形成される $3\sigma_y$ の変位で、初めてひび割れが発生し、PPマグネラインの引張伸びひずみの大きな効果が実証された。

結果として、内部の主鉄筋の座屈が抑制され、座屈耐力およびモルタルの圧潰変位が大きく伸びた。

正負交番載荷試験

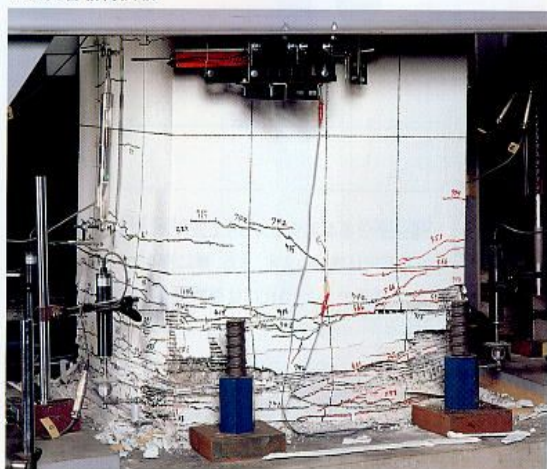


写真-2 正負交番載荷試験終了時状況

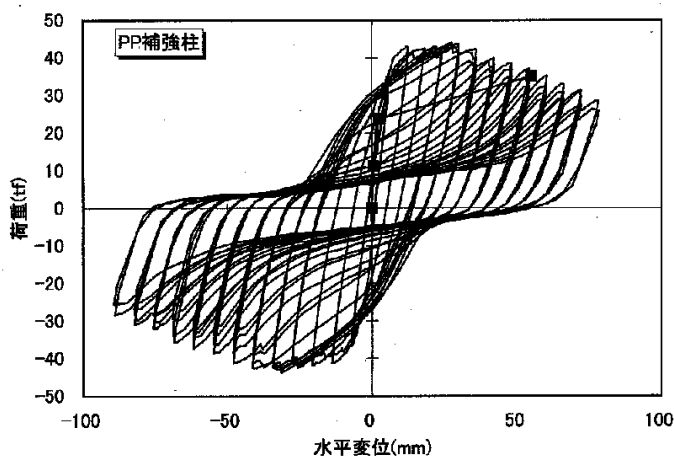


図-4 PP補強柱の荷重変位履歴曲線

5 PP工法の施工事例



写真-3



写真-4



写真-5

写真-3：建築限界に制限がある橋脚を補強した事例

発注者：関東地方整備局 横浜国道工事事務所

工事名：幸浦地区 新交通耐震補強工事

施工箇所：神奈川県横浜市金沢区

施工時期：平成11年 9月

写真-4：特殊な形状の橋脚を補強した事例

発注者：岩手県 盛岡地方振興局

工事名：106号中の橋橋脚補強工事

施工箇所：岩手県盛岡市

施工時期：平成19年 1月

写真-5：基礎に荷重を負担させることができない橋脚を補強した事例

発注者：神奈川県 東部漁港事務所

工事名：城ヶ島大橋耐震補強工事

施工箇所：神奈川県三浦市

施工時期：平成18年 2月

6 まとめと今後の展望

PP工法は、補強断面を小さくできるという大きな特徴とPPマグネラインの耐久性が高いという材料特性を生かし、河川内の橋脚補強に対し、有効な工法であるといえる。

今後は、これまで同様、河川内の橋脚・建築限界に制限のある橋脚・特殊な形状の橋脚等の補強対策工法として、利用価値を広げるとともに、型枠を必要とせず、作業占有地が少ないことを生かし、車や列車の往来が頻繁な箇所での橋脚補強対策工法として利用範囲を広げていきたいと考えている。

なお、PPマグネラインの材料特性である耐塩害性および耐久性が大きいことを利用して、北陸沿岸地域の橋脚補強対策としても、広く利用されることを期待したい。

[参考文献]

1) PPマグネラインで補強した橋脚の正負交番載荷試験報告書 平成10年 3月 PP工法研究会

2) PPマグネラインによる高架橋柱の耐震補強工法 設計・施工指針 平成10年12月 マグネ化学(株)

ランブルストリップスの交通安全対策としての効果

株式会社NIPPON 北信越支店 技術グループ 水嶋 厚

1. はじめに

我が国の交通事故による死亡者数は、昭和 45 年の 16,765 人をピークに除々に減少し、昨年の平成 20 年度は 5,155 人まで減少してきている。これは交通安全に関する施策や対策技術によるものであるが、交通事故防止は道路政策上重要課題であり、さらなる対策が望まれている。

ランブルストリップスは、道路の路肩あるいは中央部に溝を連続的に設置したものであり、この上をタイヤが通過するとき、ドライバーに振動と音で警告し、車線逸脱事故を未然に防ぐ工法である。

本稿は、北海道を初め全国で施工した箇所のその後の効果について報告する。

2. ランブルストリップスの概要

2.1 ランブルストリップスの種類

ランブルストリップスは、1990 年代から米国において普及し始め、施工法により切削式、転圧式、成形式および隆起式の 4 種類（表－1 参照）に分類され、現在米国では 34 の州に様々な規格が設置されている。その中で、既設のアスファルト舗装に安価でかつ迅速に施工でき、かつその効果が大きい切削式のランブルストリップスが最も普及している。

表－1 ランブルストリップスの種類

呼び名	切削式	転圧式	成形式	隆起式
成型方法	切削機または専用機で路面を切削する	ローラあるいは路面側に型を用意して成型する		凸型のストリップで溶着ラインや鋳など
施工時期	任意	舗設時 (As舗装)	打設時 (Co舗装)	任意

2.2 ランブルストリップスの特長

ランブルストリップスを設置した場合の特長としては、以下のことが挙げられる。

- ①新設舗装路面はもちろん既設舗装に対しても、施工が容易である。
- ②材料を使用しないので費用が最小限に抑えられる。
- ③破損や摩耗による性能低下がないので効果が長期間保持され費用対効果に優れている。
- ④大雨や積雪等で区画線の視認性が悪い場合には、音や振動が車線位置の目安となりうる。
- ⑤路面に対し凹型であるため、除雪作業の妨げにならず破損がない。

2.3 ランブルストリップスの適用箇所

適用箇所は、表－2 に示すような単調な道路、事故多発区間、景勝地および山岳道路等が挙げられる。なお、高速道路においては、暫定 2 車線区間の中央分離帯付近に設置されている。

表－2 ランブルストリップスの適用箇所

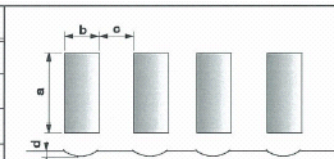
適用箇所		期待される効果
郊外の道路、高速道路	単調な道路	居眠りによる車線逸脱防止
車線逸脱事故が多発する箇所	事故多発区間	事故の再発防止
観光地の道路	景勝地等	脇見による車線逸脱防止
故意に車線を逸脱する車両が多い箇所	山岳道路等	カーブでのショートカット防止

2.4 ランブルストリップスのパターン

ランブルストリップスの設置は、専用の施工機械を用いて行われる。一般道路利用者によるアンケート調査の結果から、表－3 に示すパターンが推奨されている。発生する振動や音は切削深さに比例し大きくなる。

表－3 ランブルストリップスの推奨パターン

項 目	パターン1	パターン2
切削横幅：a	350	350
切削縦幅：b	130	150
切削間隔：c	170	150
切削深さ：d	9	12

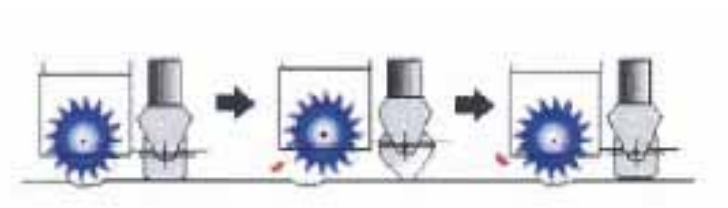


3. 施工

3.1 切削機械

切削機械は、ビルトゲン社の切削機をベースマシンとし、特殊な異径車輪と切削ドラムを装着したものである。異径車輪は、4角形の形状を持ち、進行方向へ走行することにより回転し、切削ドラムに上下運動を与える。切削ドラムが上に位置したときは路面から離れるため路面を切削せず、下に位置したときに切削する原理である。これにより、約30cmのピッチで切削縦幅15cmのランブルストリップスを設置することができる。(図－1参照)

切削横幅は最大35cmまでとし、切削ドラムに装着したファインビットを取り外すことにより横幅を5cm毎に調節できる。



図－1 異径車輪による切削方法



写真－1 切削機械



写真－2 切削直後の路面

3.2 施工方法

1) 施工編成

施工編成は、図－2 に示すとおりであり、使用機械は切削機、廃材を除去する路面清掃車、散水車および廃材運搬用ダンプトラックである。



図－2 施工編成

2) 施工手順

施工は、以下の手順にて実施する。

- ①準備工：切削のガイドラインを路面にマーキングする。
- ②切削工：約 10m 毎に出来形を確認しながら、施工速度 3～5m/min で切削を行う。(写真－3,4 参照)
- ③清掃工：切削廃材を切削溝からはき出し、小型清掃車にて廃材を撤去。(写真－5 参照)
- ④路面標示工：切削後は、センターラインの視認性が低下することから、一定の厚さで施工できる工法によるセンターラインを設置。(写真－6,7 参照)



写真－3 切削状況



写真－4 出来形測定



写真－5 廃材撤去



写真－6 清掃後切削面



写真－7 ライン工



写真－8 完成

4. 設置前後における事故件数

当社施工のランブルストリップスは、平成 14 年度の北海道開発局での施工開始から、これまで全国で約 1,300km の実績を有している。北陸 3 県（新潟、富山、石川）では平成 16 年 3 月に国道 8 号に施工したのが最初で、これまで約 26km の実績を有している。

また、設置による効果については、これまで新聞記事等で公開されている中で、積雪地を中心にランブルストリップス設置前後の事故発生状況を調べたところ、以下に示すとおり、各箇所とも効果を上げていることが分かった。(表－4 参照)

- ①北海道では、設置前 2 年間と設置後 2 年間の正面衝突事故が約 49%減少、正面衝突事故死亡者数が約 71%減少と大幅に減少している。
- ②岩手県（国道 4 号）では、事故多発地区（危険区間）45 箇所に設置し、設置後 3 年目に死亡事故が 1 件発生したが、その他の 44 箇所では重傷事故も発生していない。

- ③岐阜県（国道 21 号）では、設置前年に人身事故 3 件、物損事故 12 件であったものが、設置後半年ではあるが人身事故 0 件、物損 2 件となっている。
- ④富山県（国道 41 号）では、カーブが連続する事故多発地帯で、例年正面衝突事故が 2～3 件発生している箇所、設置後 1 年間は正面衝突事故は 0 件となっている。
- ⑤福井県（国道 8 号）では、設置前 74 日間で事故が 19 件発生していたものが、設置後 74 日間で事故 6 件に減少している。

表－4 設置前後の事故発生状況

設置年月	設置路線	設置前の事故発生状況	設置後の事故発生件数
平成14年度～平成16年度	北海道全域	正面衝突事故 73件 正面衝突事故死者数 28人	正面衝突事故 37件 正面衝突事故死者数 8人
平成16年 平成19年	国道4号 岩手県	事故多発地区(危険区間)に 3年間で45箇所設置(延べ35km)	3年目で死亡事故1件 他の44箇所では重傷事故もなし
平成18年3月	国道21号 岐阜県	設置前年 人身事故3件、物損事故12件	設置後半年間 人身0件、物損2件
平成18年11月	国道41号 富山県	カーブが連続する事故多発地帯 例年正面衝突が2～3件発生	設置後1年間 正面衝突事故0件
平成20年7月	国道8号 福井県	設置前74日間の事故数19件	設置後74日間の事故数6件

5. おわりに

交通事故対策として設置されているランブルストリップスは、北海道を初め全国の事故多発地区等に設置し、その効果が認められてきている。北陸地区への設置に当たっては、除雪作業への支障やたまり水の凍結等が懸念されたが、これまでは問題なく推移している。

本工法は、設置費用の安価に加え、積雪路面、滞留水の凍結や雨天時にもその効果を発揮することが立証されており、積雪寒冷地である北陸地区の交通事故対策として、最も有効な工法であると言える。

今後は、本工法が今年度より新技術情報提供システム（NETIS）において、我が国で初めて「推奨技術」に登録されたことを機に、さらなる普及展開を推進し、交通事故減少に少しでも役立つよう努めて行きたい。

【参考文献】

- 1)相田尚、渡辺徹、平澤国介：ランブルストリップスの積雪寒冷地への適用、第 18 回北陸雪氷シンポジウム、2003.11
- 2)平澤国介、浅野基樹、斎藤和夫：ランブルストリップスの設置効果と費用便益について、第 10 回北陸道路舗装会議、2006.06
- 3)独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：ランブルストリップス整備ガイドライン(案)、2006.8
- 4)相田尚、村岡克明、山田和弘：交通安全対策舗装の取組、建設の施工計画、2007.02

LRT 軌道の施工事例と課題について

○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
日本道路株式会社 技術営業部 永瀬一考

1. はじめに

昭和 40 年代以降の急速なモータリゼーションの進展により、市街地は郊外へと拡大して形成される傾向となっている。その結果として、公共交通のサービス水準低下、従来の中心市街地の衰退、等の問題が深刻化している。

現在、顕著になっている課題としては、

- ・中心市街地の活性化
- ・少子高齢化社会に対応した交通手段の確保
- ・増加した自動車による環境負荷の軽減
- ・福祉サービス等の行政コストの削減

等が挙げられ、これらの課題を解決する方策の一つとして、「公共交通と徒歩で移動できるコンパクトなまちづくり」が求められている¹⁾。コンパクトなまちづくりには基幹となる公共交通が必要であり、従来型の路面電車を使いやすさ・快適性等の面で改善したLRT (Light Rail Transit) が注目され始めている。

LRTの新しい軌道構造である「樹脂固定軌道『INFUNDO』」については既報告済であるが²⁾、本報文では樹脂固定軌道の道床となるスラブ部分についてその施工方法や施工事例等を紹介するとともに、現状で考えられる課題等を取りまとめて報告する。

2. 軌道スラブ工法について

2.1 樹脂固定軌道の概要

樹脂固定軌道の特徴はレールの固定方法にある。通常、レールは犬釘やボルト等の金具を用いて枕木やスラブ軌道に固定されるが、樹脂固定軌道ではコンクリートスラブに設けられた溝にレールを設置し、樹脂によって固定する。樹脂固定軌道の概念図を図-1に



図-1 樹脂固定軌道の概念図

示す。また、国内で適用されている他の固定方法との比較を表-1に示す。表-1からわかるように、樹脂固定軌道には、

- ・メンテナンスが大幅に軽減される
- ・騒音、振動が抑制できる
- ・漏洩電流による電触が起らない

等の特長がある。また、道路舗装の設計指針に準じた構造設計をしており、併用軌道における自動車走行にも対応可能であることから、近年、福井鉄道や富山ライトレール等、数件の適用事例がある。

表-1 軌道固定方法の比較

項目		軌道の種類			
		たわみ構造	剛質構造	接続ブロック	樹脂固定軌道
構造	道床	砂利	RCコンクリート	PCコンクリート	溝付RC・PCコンクリート
	レールの締結方法	枕木に犬釘、またはボルトで固定	スラブにボルトで直結	パット付締結装置	特殊樹脂で溝に固定
	舗装	板石、アスファルト、PCパネル、コンクリート等	アスファルト、コンクリート等	PCパネル	アスファルト、コンクリート、ブロック、芝生等
性能	振動・騒音	○	×	△	◎
	軌道の狂い	発生しやすい	経年後に発生する	少ない	発生しない
	レールの摩耗	少ない	波状の摩耗	波状の摩耗	少ない
	たわみへの対応	砂利	なし	レール底面にゴムパット設置	特殊樹脂+ゴムパット
	水対策	アスファルト	アスファルト	アスファルト、またはゴム	樹脂による完全防水
	点検	犬釘等の点検 内部点検は不可	ボルト等の点検 内部点検は不可	締結装置等々の点検 内部点検は不可	点検は不要
	レールの交換	舗装の撤去・再構築が必要	舗装の撤去・再構築が必要	PCパネルを外して交換	舗装撤去は不要
	電触	対策なし	対策なし	対策なし	樹脂による絶縁
コスト	建設時	◎	◎	△	○
	保守	△	○	◎	◎

2.2 樹脂固定軌道に適用するスラブ構造

これまでに国内で施工した樹脂固定軌道では、スラブの構築方法として現場打ち工法とプレキャスト工法の2種類が適用されている。現場打ち工法には経済性、プレキャスト工法には施工の迅速性という大きな利点はあるものの、適用事例が増えるに連れて問題点も明らかとなってきた。

各工法の比較を表-2に示す。なお、表-2にも示したように、現場打ち工法は型枠式とスリップフォーム式の2種類に細分化できるが、国内においてスリップフォーム式の適用事例はまだない。

表-2 スラブ構築工法の比較

項目		プレキャスト	現場打ち(スリップフォーム)	現場打ち(型枠式)
概要		 溝を形成した工場製作のプレキャストコンクリート版	 現場で鉄筋を組み立て専用機械でコンクリートを打設(型枠不要)	 現場で型枠設置してコンクリートを打設
スラブの単位長		4～5m	現場施工なので連続	現場施工なので連続
スラブ重量		幅広なので重量大	—	—
レール締結		樹脂固定式	樹脂固定式	樹脂固定式
現場条件		コンクリート養生がないので迅速施工に対応可能	・型枠式と同様 ・施工延長は長い方が工法の特長を活かせる	コンクリート養生のため、長期の工事規制が必要
コンクリート	打設	・現場では不要 ・グラウトミルク(超速硬タイプ)の注入充填が必要	・型枠式と同様 ・特殊な配合となり、通常のコンクリートに比べて品質管理が難しい	打設量が多いので、天候や外気温が工程に大きく影響する
	養生	・現場では一切不要 ・後工程(樹脂注入等)への早期移行が可能	・養生が必要 ・水分蒸発後に後工程(樹脂注入等)に移行	・養生が必要 ・水分蒸発後に後工程(樹脂注入等)に移行
出来型・品質		工場製作のため、軌道精度・軌道の据付精度は高い	機械施工であるが、軌道精度・軌道の据付精度はプレキャストより劣る	プレキャスト・セミプレファブに比べると仕上がり品質・精度は劣る
工期		天候等の影響を受けにくく、現場打ちに比べて大きく短縮	型枠の組立て、溝部の箱抜き等の工程がない分型枠式よりも短縮可能	現場での作業工程が多く、時間を要する

3 樹脂固定軌道の施工事例と抽出された課題

3.1 富山ライトレール

2006(平成18)年4月に開業した富山ライトレールでは、延長1.1kmに樹脂固定軌道が適用され、2009年9月現在国内で最長の適用となっている。この工事においては、交差点部等、即日交通開放が必要な箇所ではプレキャスト工法、長期間の交通規制が可能な箇所では型枠式現場打ち工法を適用している。

この施工によって明らかとなった、現場打ち工法の主な課題は以下のとおりである。

- ①現場での施工が長期に渡るため、一般車両・沿道住民等、周辺環境への影響が大きい。特に市街地においては大きな問題となる。
- ②コンクリートの打設・養生時における、天候等の外部環境が品質に大きく影響する。結果として、長期供用後のクラック発生等が懸念される。
- ③レール溝部の精度が落ちるので、樹脂の使用量にバラツキが生じる。また、乗り心地の低下等につながる恐れもある。

施工時の状況を写真1～写真2に示す。また、この施工事例に基づいて作成した、各工法の工程を比較したものを図-2に示す。なお図-2は、施工延長100m、昼間施工という条件下で検討した結果である。



写真-1 コンクリート打設状況(富山)



写真-2 現場打ち軌道の完成(富山)

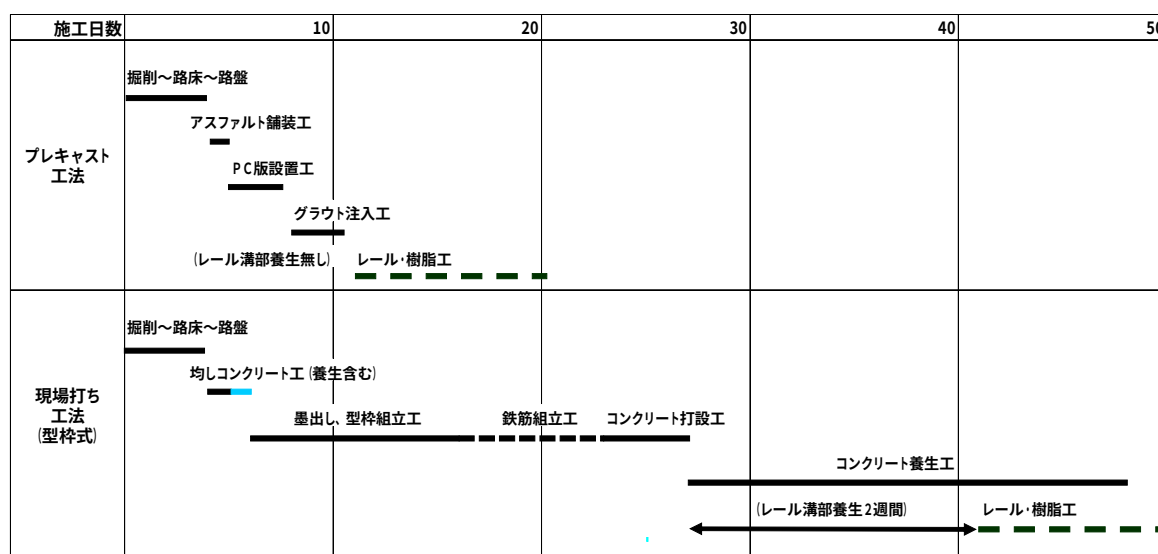


図-2 スラブ構築工法の工程比較

プレキャスト工法は現場打ち工法に比べて、工期が大幅に短縮できる利点がある。したがって、交差点部等即日交通開放が必要な箇所のみならず、市街地等においては有効な施工方法であるといえる。ただし、①施工条件によっても異なるが、施工コストは現場打ち工法に比べて約3倍に上昇すること、②曲線部等、線形が複雑な箇所に適用する場合は、線形に応じた形状に作成する必要があり、さらなるコスト上昇を招く恐れがあること、等が適用に向けての大きな課題となっている。

3.2 福井鉄道(道路橋への適用)

2007(平成19)年に施工した福井鉄道の事例では、道路橋への適用が行われた。橋長100mを越える大きな橋梁で、250mmの伸縮を許容する伸縮装置を含めて樹脂固定軌道を適用するのは国内で初の試みであった。軌道部・車道部ともに融雪パイプを備えるため、軌道部のコンクリートは全て現場打ちで施工している。

施工は、①下地となるSFRC床版コンクリートの打設、②床版コンクリートの粗面化(ショットブラスト)とジベル筋設置、③レール溝部(立ち上がり部分)のSFRC床版コンクリート打設、④レール設置、⑤樹脂充填、という手順で行っている。

溝部の施工状況を写真-3～写真-5に示す。また、この施工によって明らかとなった、橋梁部における主な課題は以下のとおりである。

- ①橋梁のたわみが影響するため、一般部よりもレール溝部の精度を確保することが困難になる。
- ②橋梁部の縦断線形に軌道(レール)が追従できない部分が生じ、結果としてレールと溝の高さに不均一が生じる。ひいては樹脂量にもバラツキが生じる。

写真-6に供用後約2年経過した伸縮装置部の状況を示す。橋梁部は一般部と異なりたわみが大きいので、長期供用後のクラック発生や、クラックがレールと樹脂の締結に与える影響等について追跡調査を行う予定である。

5. まとめと今後の展望

富山ライトレールの施工結果より、現場打ち工法の課題が明らかとなり、プレキャスト工法の優位性が確認された。また福井鉄道の施工結果から、橋梁部においてもプレキャスト工法の適用が望まれるところであるが、コスト面の課題は大きいものといえる。

今後は、LRTの先進地である欧州の事例等を調査し、コスト削減方法、あるいは新たな施工方法等を検討していきたいと考えている。

(参考文献)

- 1) (社)日本交通計画協会ホームページ、<http://www.jtpa.or.jp/contents/lrt/index.html> (2009.8)
- 2) 水倉一夫: LRT(超低床路面電車)軌道の施工、平成17年度建設技術報告会報文集(2005)



写真-3 レール溝部の型枠・配筋 (福井)



写真-4 レール溝部の清掃 (福井)



写真-5 樹脂充填 (福井)



写真-6 供用後の伸縮装置部 (福井)

新潟県立野球場(仮称)フィールド工事における情報化施工の取り組み

新潟県土木部都市局都市整備課 渡辺 剛
丸運建設(株)舗道部 ○佐藤 智
同 上 田原光雄

1. はじめに

新潟県新潟市中央区長潟の鳥屋野潟公園(新潟県スポーツ公園)内に建設された県立野球場(仮称)(後にネーミングライツにより、HARD OFF ECO スタジアム新潟、写真-1 参照。)は、両翼100m、センター122mで、内野2万、外野1万の計約3万人を収容する大スタンドを備え、県立野球場としては、宮崎県「サンマリンスタージアム」に次ぎ、47番目の都道府県球場である。

そのフィールドにおける県内初の全面透水性ロングパイル人工芝グラウンドを施工するにあたり、品質の向上、施工期間の短縮及び安全性の確保などを目的に、路盤構築時において3次元マシンコントロールシステム(以下、3D-MCと記す)搭載のモーターグレーダ(以下、MGと記す)を導入した。

本報告は、その概要、導入効果、施工管理の結果、課題等について述べるものである。

2. 工事概要

2.1 主な工事内容

本工事における主な工事内容を以下に示す。

工事名：県立野球場(仮称)フィールド工事

場 所：新潟市中央区長潟(図-1 参照)

発注者：新潟県

工 期：平成20年6月19日～平成21年6月10日

人工芝舗装：14,113m²(全面透水性ロングパイル人工芝)

混合土舗装：226m²(マウンド黒土、塁ベースアスツカー)

透水管：2,007m(φ100・150mm)

給水施設：一式(小型散水栓他)



写真-1 県立野球場



図-1 建設位置図(略図)

2.2 人工芝舗装の構成

フィールド(内野・外野・外周)において採用したロングパイル人工芝は、明治神宮野球場と同等の材料で、パイル形状(ヤーンの断面構造)が特殊製法による三角断面の「Delta(デルタ)構造」と幅1.5mmのワイドタイプで、従来のモノフィラメントと比べ充填物の飛散を解消し、捕足性とプレー性が一段と向上、天然芝に近いものである。人工芝舗装の標準断面を図-2に示す。

2.3 施工上の条件

平坦性に優れた人工芝舗装の施工には、下地（砕石路盤及び開粒アスコン等）の精度が大きく影響するといわれており、下地の出来が人工芝の出来映えを大きく左右すると考えられた。また、野球場の勾配形状は通常の道路と違いゆるい勾配（0.5%）で、ピッチャーマウンドを中心とした同心円を描く勾配であるうえ、路盤1層目までが先行工事の工程上、分割施工としなければならない等の制約条件があった。そのため、分割施工による勾配形状および平坦性の確保が課題となった。下地である開粒アスコンの出来映え、設計高、平坦性等に最も影響のある工種を路盤工と設定し、これらの対策として、3D-MC搭載のMGを導入し、施工精度の向上を図ることとした。

施工分割図及び勾配を図－3に示す。

3. 情報化施工の概要

3.1 選定理由

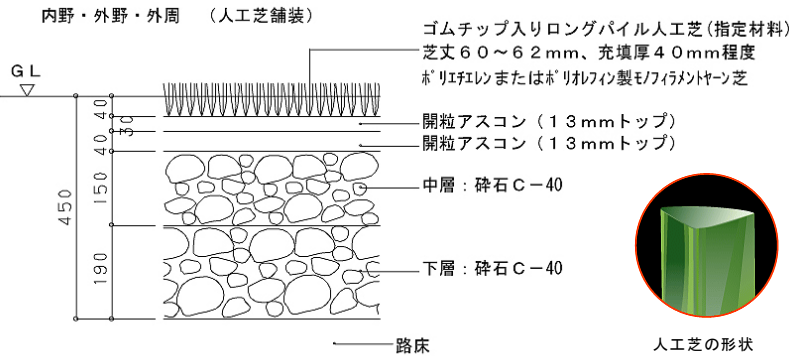
3D-MCは大別して、測位衛星のデータを利用するGPS方式と自動追尾トータルステーション（以下、TSと記す）を利用したTS方式がある。今回は、下記の理由により、TS方式を選定した。

- 1) システムがコンパクトである。（表－1 参照）
- 2) Z方向（高さ）の精度が高い。
（TS方式の場合、垂直精度±10mm程度）
- 3) コスト的に安い。
- 4) 施工環境が適している。（作業範囲約300m）
- 5) 実績が多く、システムがほぼ確立されている。

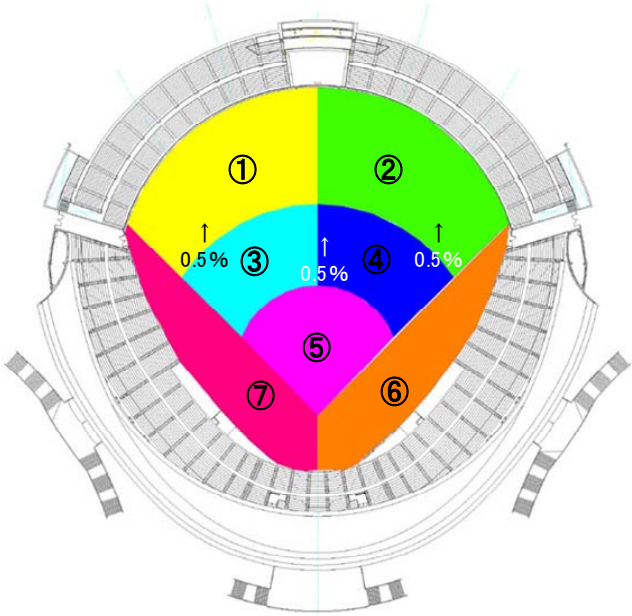
3.2 実施手順

3D-MC（TS方式）の実施手順を以下に示す。

- 1) 事前に、設計データを基に三次元座標データ（三角メッシュ、図－5参照）を作成。
- 2) 作成したデータをコンパクトフラッシュにて、TS、MG、測定用の移動局に入力。
- 3) TSをあらかじめ設定した基準点（作業に支障にならず、施工エリア全体が見渡せる場所→外



図－2 人工芝舗装の標準断面



図－3 施工分割図及び勾配

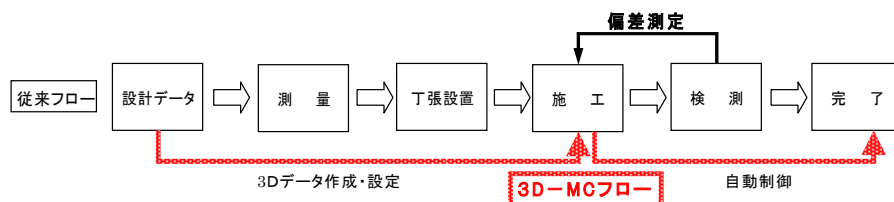
表－1 TS方式のシステム構成

主要機材	型式及び品名
自動追尾トータルステーション	GPT-9003A/MC-Edition
モーターグレーダ	GD-655 ブレード3.7m
	全周プリズム A6R
	SS無線装置 RS-2
検測機械	データコレクター FC-200
	FC-200用ソフトPocket-3D
	全周プリズム A6R
3Dデータ作成機材	ノートPC CF-19
	データ作成ソフト 3D-Office

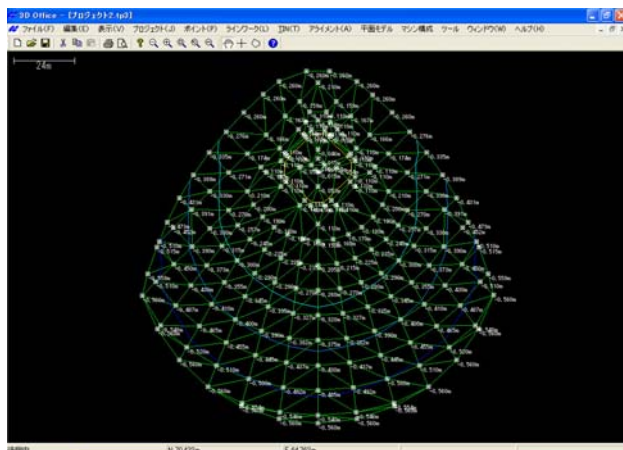
野スタンド) に設置。

- 4) 作業時は、MG に装着された 360° 全周プリズムを TS が捉え、その時点における MG の平面座標を認識し、TS から

送信された「計画高・勾配データ」を MG のユニットが受信し、ブレードを自動制御（写真－2 参照）。従来の施工と 3 D－MC の施手順の比較図を図－4 に示す。



図－4 実施手順の比較図



図－5 三次元座標データ

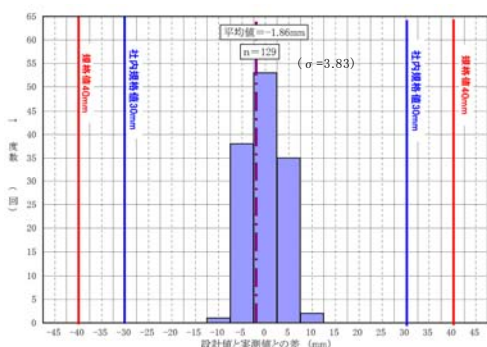


写真－2 TS設置及びMG施工状況

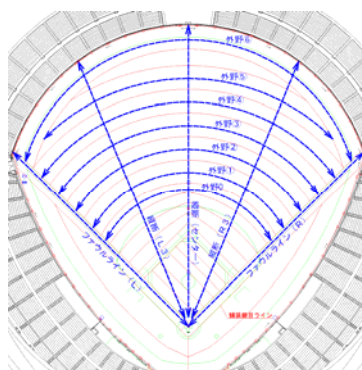
4. 導入効果と課題

4.1 導入効果

- 1) **施工能力の向上**：従来施工と異なり、丁張間の水系検測による機械停止のロスがなくなり連続作業が可能となった。今回は障害物も無く、路盤の不陸整正では1.5～2倍程度（当社比）の施工能力を確認した。
- 2) **操作技能の確保**：経験年数の違う2名のオペレーターが交代で作業したが、出来形の差は見られず、ブレードの自動制御による仕上がりは操作技能などに左右されないことが実証された。
- 3) **測量作業の省力化**：丁張設置の不要（マウンド部を除く、管理測点168箇所）や施工中の水系検測が必要ないため、人員の省力化が図られた。
- 4) **安全性の確保**：MG作業時における水系検測作業の省略を含め、作業員との近接作業が減少したことは安全性の向上につながり、無事故での施工ができた。
- 5) **施工品質の向上**：3D－MC搭載のMGを導入した結果、路盤工は非常に精度の高い仕上がりとなった。特に、野球場の計画高さはセンターを軸とした左右対称の設計であるが、左右の仕上りの差はほとんどなかった。また、フィールド内路盤工（中層）の設計高と実測高の差は、90%以上が±10mm以内（図－6 参照）に収まり、従来の丁張間も含め線から面への連続的な品質確保ができた。平坦な路盤精度に付随して、開粒アスコン舗装の平坦性（図－7 参照）は横断方向で平均：0.84mm、施工ジョイントを多数含んだ縦断方向の測定を加えても全体平均：1.06mmと高い精度の下地施工ができた。



図－6 路盤工設計高の測定結果



図－7 平坦性の計測位置及び測定結果

測定位置	平坦性 (σ)mm	
	測定値	平均
ファールライン(L)	0.97	0.84
ファールライン(R)	0.76	
外野 0	1.04	
外野 ①	0.87	
外野 ②	0.69	
外野 ③	0.65	
外野 ④	0.51	1.72
外野 ⑤	1.12	
外野 ⑥	0.97	
縦断センター	1.58	
縦断 L3	1.85	1.06
縦断 R3	1.72	
平均	1.06	

4.2課題と対策

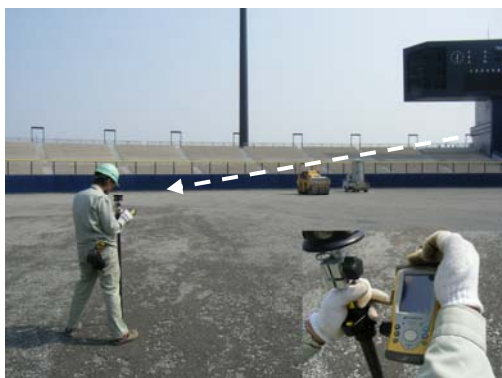
1) システム取扱い時の課題として、MGに取付けているプリズムボールが振動により傾き、仕上りに影響を及ぼした事象があり、ボールとブラケットをボルト貫通させて固定（写真－3参照）することにより解消した。その後、作業前の点検事項として、ボールの垂直及びプリズム高の確認は日々実施した。

2) 出来形計測を移動局にて計測（写真－4参照）したが、TSが移動局のプリズムを見失うと、自動追尾するまでしばらく時間がかかり、長距離（100m以上）になるほどデータ通信用無線のレスポンスも悪くなった。これらシステム機器の性能向上は、今後に期待するものである。

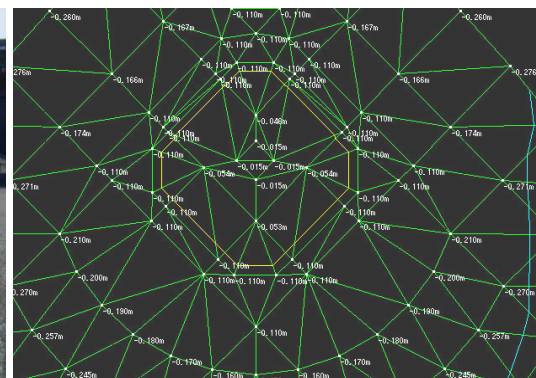


写真－3 プリズムボールの固定

3) ブレードの自動制御において、勾配変化の多い内野部（写真－5参照）では、走行方向によって仕上がり形状が異なったため、走行方向を一定にして施工する対策とした。



写真－4 移動局による出来形測定



写真－5 勾配変化の多い内野3Dデータ

5. おわりに

情報化施工の活用により、限られ

た期間内に精度の高い路盤・下地舗装及び良好な人工芝舗装が可能となった。今後は、小規模な現場への導入や現在実用化されているmmGPSのMGやアスファルトフィニッシャー、ローラーの転圧機械用管理システム等の情報化システムを積極的に採用し、更なる品質の向上・施工の効率化を図っていきたい。

最後に、導入するにあたりご協力いただきました金井度量衡(株)、西尾レントオール(株)のみなさまに感謝の意を表します。

（参考文献） 1) 山口達也:「道路建設工事における情報化施工」、建設マネジメント技術(2007.6)

プレキャストR C版による踏掛版の施工

プレキャストR C版舗装協会 今井 寿男
 福田道路株式会社 ○ 高橋 博之

1 はじめに

プレキャストR C版は、これまで工場製品で品質が安定していることや現地での養生に掛かる時間短縮が図れる等の利点から、コンクリート舗装版としての実績を増やしてきた。また、近年ではその利点を更に進展させ、複雑な配管作業が必要な融雪施設を組み込んだ融雪用プレキャストR C舗装版も開発され、コンクリート舗装版に限らず多用途化への検討もされてきている。ここではその一例として、プレキャストR C版を踏掛版（以下 プレキャスト踏掛版）に適用した施工例について述べる。

2 踏掛版の施工

2. 1 施工実績

プレキャスト踏掛版の施工例を表－1に示す。

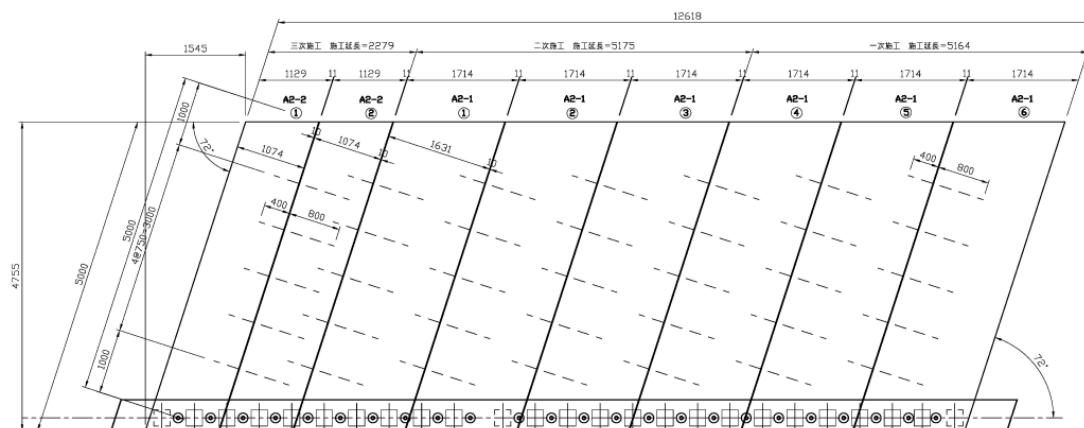
表－1 踏掛版の施工箇所

発注者	年度 (平成)	路線名	施 工 場 所 (工事名等)	厚さ (cm)	RC版寸法 (代表値)(cm)	施工面積 (㎡)
国土交通省	19	国道7号	新発田IC舗装工事	40	473*200	89.4
新潟県	20	国道351号	大手大橋(長岡市)	25	500*149	37.5
国土交通省	20	国道8号	豊田橋(柏崎市)	30	433*148	140
国土交通省	20	国道113号	松浜橋上流橋(新潟市)	30	500*200	100
計						366.9

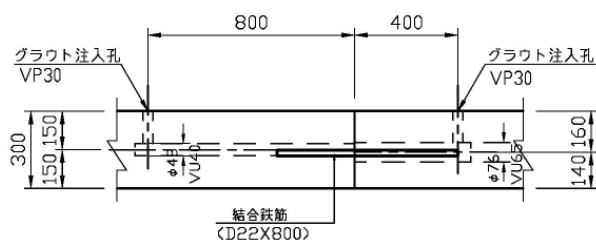
これまでに実施された施工実績としては4件であるが、ここでは国道8号線の豊田橋における例を主に紹介する。豊田橋は、新潟県中越沖地震で損傷を受け、早期復旧が必要とされた橋である。

2. 2 構造と特徴

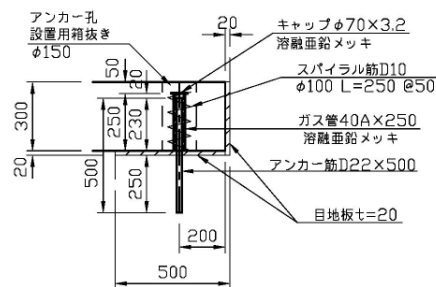
国道8号線の豊田橋における踏掛版配置図例を図－1に、ジョイント部詳細およびアンカー部詳細



図－1 踏掛版配置図（豊田橋 A 2 橋台側）



図－２ ジョイント部詳細



図－３ アンカー部詳細

をそれぞれ図－２、図－３に、踏掛版施工概要を表－２に示す。

プレキャスト踏掛版 1 枚当たりの幅は 1 m、

1. 5 m、2 m を標準としており、斜角については橋台に合わせ任意に調整可能である。工場

生産された各プレキャスト踏掛版の連結は、1 枚当たり 5 箇所配置された結合鉄筋により行い（図－２）、橋台への固定はアンカーにより行う（図－３）。

表－２ 豊田橋踏掛版施工概要

場所	踏掛版寸法	斜角	枚数
A1側	1488 × 4330 × 300	60°	6
	815 × 4330 × 300		1
A2側	1714 × 4755 × 300	72°	6
	1129 × 4755 × 300		2

2. 3 交通規制日数の削減

従来、橋台背面に施工される踏掛版は、現場打ちで施工されてきた。しかし、豊田橋付近は交通量の多い道路であり、交通渋滞の発生を抑えることが重要な条件となった。現場打ちでの施工とプレキャスト化では、作業帯の制限等から車線規制方法にも差異が生じるが、ここでは施工方法から生じる交通規制日数についての比較を試みる。

プレキャスト踏掛版													
	日数												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
カッター・舗装撤去	■												
中間層舗設	■												
アンカー孔削孔	■												
支承工		■											
踏掛版設置			■										
表層他舗設				■									
通行規制(片側1車線)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
現場打設踏掛版(従来)													
カッター・舗装撤去	■												
中間層舗設	■												
アンカー孔削孔	■												
支承工・配筋工		■	■	■	■								
コンクリート打設					■								
コンクリート養生						■	■	■	■	■	■	■	■
表層他舗設													■
通行規制(片側交互)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

図－４ 施工日数と交通規制（1 分割施工当たり）

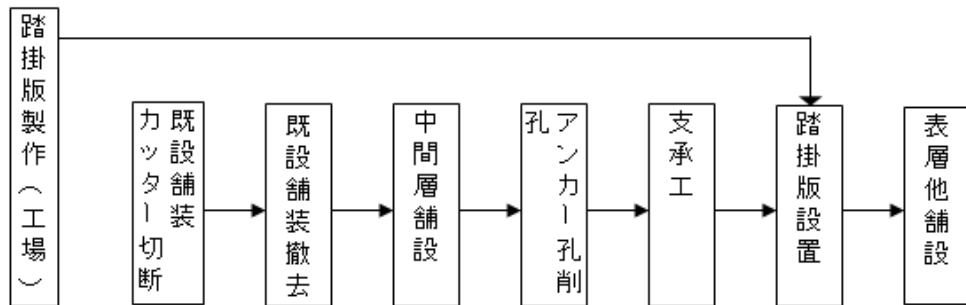
本工事では、2 車線の

通行帯を確保しながらの 3 分割施工でのプレキャスト踏掛版が採用された（図－１ 参照）。図－４は、3 分割による施工時の 1 分割施工当たりの工事所要日数と同様な条件で現場打設した際の日数を比較

したものである。交通規制形態については問わず、単純に交通規制日数で比較するとプレキャスト踏掛版を活用することで、9日間程度の交通規制日数削減が図れたことになる。

3 施工概要

プレキャスト踏掛版に関するコンクリート版製造から施工完了までのフローを図－5に示す。



図－5 プレキャスト踏掛版施工フロー

工事は、原則として昼間施工で実施されたが、通行帯の切替は交通量の減少する夜間に行った。

図－4 および図－5 から、踏掛版が工場製品となることにより、現場における大幅な工程短縮が図られ、天候等の環境に左右されない品質の安定した踏掛版が作製できた（写真－1 参照）。

3 分割による現場施工では、交通規制切替に要する時間を除き、4 日間を 1 サイクルとし実施することができた。第 1 日目が既設舗装のカッター



写真－1 プレキャスト踏掛版製作状況



写真－2 アンカー孔削孔状況



写真－3 敷きモルタル施工状況（踏掛版設置）

切断からアンカー孔削孔（写真－２参照）まで、第２日目に支承工、第３日目に踏掛版設置（写真－３，４参照）、第４日目に表層工までの埋め戻しという工程で実施された。しかし、今回踏掛版設置時の高さ調整には敷きモルタルを用いたが、作業当初には高さ調整に手間取り、設置までに時間を要したことから、今後作業手順の見直しも必要と考えている。

また、施工はＡ１側、Ａ２側双方を平行作業で行っており、これも工程短縮や規制日数の縮減に寄与したと考えている。

本例のように踏掛版をプレキャスト化することの利点としては、コンクリート版の品質安定や工期短縮だけでなく、現場打設に比べコンクリート型枠設置スペース等の作業エリアの制限も緩和されることにある。これにより橋梁幅員によっては、２車線の通行帯を確保しながらの施工が可能になるケースも生まれ、供用中の橋梁でも踏掛版設置の可能性が拡大された。

３ おわりに

プレキャスト踏掛版を活用することにより、踏掛版設置工事の大幅な工程短縮や交通規制の緩和が可能ことが確認できた。工事に伴う交通渋滞等が課題になる箇所では、対応策の一つとしてプレキャスト踏掛版は十分に検討の価値がある工法であると推薦したい。しかし、一方で橋梁ごとに踏掛版の形状が異なることもあり、現場に合わせ製作する必要があることから、コストが高くなる課題も残されている。

プレキャストＲＣ版は、コンクリート舗装版や融雪用プレキャストＲＣ版等多用途化が図られているが、今回の踏掛版への適用についても課題への対応を含め、今後も更に普及拡大を図っていく所存である。



写真－４ プレキャスト踏掛版設置状況



写真－５ プレキャスト踏掛版設置完了

パイプレス消雪ブロックの開発

○株式会社アドヴァンス 企画開発部 開発課 細野 義則
株式会社アドヴァンス 企画開発部 開発課 渡辺 威一

1. はじめに

従来のプレキャスト消雪パイプブロックは、路面散水消雪を行うための消雪パイプを二次製品化したものであり、プレキャスト化により現場施工とそれに伴う交通規制の期間短縮や工場製作による品質の向上に貢献してきた。

プレキャスト消雪パイプブロック躯体を形成する材料として、通水部はSGP（配管用炭素鋼管）とVP管（硬質塩化ビニル管）が広く用いられ、コンクリートはこの管材を保護する目的とした位置づけであるが、一般的にコンクリート二次製品としてヒューム管や側溝等の躯体内面に直接通水させる用途の製品があり、コンクリートの水密性を高め、そのものを通水管として使用する事が出来るのではないかという発想により開発に着手した。

これによりSGP（配管用炭素鋼管）管内のサビによる散水ノズルの目詰まりや路面のサビ汚れを解消出来、管材を無くす事によるコスト縮減が可能であると考えた。

併せて、これまでの現場据付作業における問題点の解決を開発コンセプトに加えた。
本報告では、開発概要及び、性能確認試験の概要を報告する。

2. 開発概要

2. 1 製品形状について

パイプレス消雪ブロックの製品形状については、従来のプレキャスト消雪パイプブロックの形状寸法を基本とし、施工性、製造性を勘案し、製品長さ・断面寸法を決定した。

従来の製品長さはSGP（配管用炭素鋼管）、VP管（硬質塩化ビニル管）の定尺長さ $L=5.5\text{m}$ から決まっており、パイプレス消雪ブロックについては、従来の $1/2$ の長さ $L=2.74\text{m}$ とした。

また、断面形状は「散水消雪施設設計施工・維持管理マニュアル 第6章 技術資料 6.2.2 設計条件」に基づいた設計計算により、従来と同じ断面形状とした。

2. 2 接続ジョイントの開発

パイプレス消雪ブロックに用いる接続ジョイントについては、これまでのジョイント部付近の破損事例を基に、一般的に使用されているSGP（配管用炭素鋼管）や機械構造用炭素鋼管のような剛となる材料ではなく、ゴムを主材料とする事と挿入長さを短くする事で接続箇所がヒンジ構造となり、繰り返し作用する交通荷重に対し柔軟に追従することで破損を防ぐことが出来ると考え開発を行った。

試作 No.1 は（写真－1）のように硬度の高いゴムのみとしたが、実施工における挿入時の設置不良により、確実に通水断面内にフィットすることが不確定である事と材料の劣化が懸念され、確実に通水断面にフィットし、円環形状を永きに渡り保持することが可能な構造とする事を開発コンセプトに加えて、腐食の進行が極めて遅い薄肉 SUS 管を芯材として円環形状を保持し、止水・追従性をゴム材が受け持つ構造とした。（写真－2）



写真-1 硬質ゴムジョイント



写真-2 SUS管+ゴムライニングジョイント

2. 3 コンクリートについて

従来のプレキャスト消雪パイプブロックにおけるフレッシュコンクリートはスランプにより管理されたものを打設し製造されており、水密性の高い緻密なコンクリート躯体とするため遠心締め固めやオートクレーブ養生等の検討を行ったが、パイプレス消雪ブロックの製造方法・設備と合致せず、製造方法では無くフレッシュコンクリートの性状を有スランプからフロー（流動化）とすることで、型枠内へのコンクリート打設時の振動締め固め時に生じる、ブリーディングによる僅かな水みちの形成を抑制する事が出来、水密性の高い緻密なコンクリート躯体とすることが可能となった。

表-1 コンクリート性状試験結果一覧

項目	規格値	測定値①	測定値②
フロー	50(cm) ± 7.5(cm)	47 (cm)	50 (cm)
空気量	4.5(%) ± 2.5(%)	5.3 (%)	4.4 (%)



写真-3 コンクリート性状試験

2. 4 通水管内のライニング

パイプレス消雪ブロックの通水管内面について、コンクリート表面の摩耗による損失を防ぐ事と微細な気泡や凹みへの充填を目的としたエポキシ樹脂系塗料によるライニングを施す事とした。

ライニング材料の選定にあたっては、耐食・耐久性及び、コスト・作業性を勘案してタールエポキシを選定したが、環境への有害性を考慮してタールを含まない特殊変性樹脂とエポキシ樹脂から構成される同様の効果の得られるライニング材料とした。



写真-4 通水管内ライニング状況

3. 性能確認試験

3. 1 曲げ試験

「散水消雪施設設計施工・維持管理マニュアル 第6章 技術資料 6.2.2 設計条件」に基づいた設計計算により決定した RC 断面・躯体の強度確認を目的とした曲げ試験を実施し、十分な強度を有することを確認。試験結果を下記（表－2）に示す。

表－2 曲げ試験結果一覧

試験 No	試験スパン	設計ひび割れ荷重	測定ひび割れ荷重
No.1	2.50 m	22.5 kN	48.8 kN
No.2	2.50 m	22.5 kN	49.6 kN



写真－5 曲げ試験状況

3. 2 止水性能確認試験

接続ジョイントの止水性能確認試験については、「散水消雪施設設計施工・維持管理マニュアル 第3章 3.4.10 プレキャストブロック工法 (4)機能・性能」に基づき、直線・2.0° 曲げで各々（STEP-①0.3Mpa－60 分間保持）、（STEP-2②0.6Mpa－60 分間保持）と段階的に試験を行い漏水の無い事を確認。



写真－6 止水性能確認試験状況



写真－7 2.0° 曲げ状況

表－3 止水性試験結果一覧

項 目	No	加圧力及び時間	結果
直 線	1	0.3Mpa 60min	漏水無し
	2	0.6Mpa 60min	漏水無し
2° 曲げ	1	0.3Mpa 60min	漏水無し
	2	0.6Mpa 60min	漏水無し

4. 施工性の向上

4. 1 設置路線への対応

従来のプレキャスト消雪パイプブロックの長さを1/2 (L=2.74m) とした事で、様々な線形、曲線部での施工にも柔軟に対応出来る。

4. 2 専用引き寄せ金具

これまでの施工現場内での安全上の問題点として、プレキャスト消雪パイプブロック敷設時に接合部での手や指を挟まれるといった事故例があり、これを解決すべくコンパクトで操作が容易な専用引き寄せ金具を開発。

これにより、接続部付近で目地間隔を目視で確認・調整しながらの人力での引き寄せが可能となった。



写真-8 専用引き寄せ金具取り付け状況



写真-9 引き寄せ状況

(専用ハンドルにて直径約 12cm のリールを廻しベルトを巻き取ることでブロックが引き寄せられる。)

5. 今後の課題

- ・従来のプレキャスト消雪ブロックの管径 (SGP、VP 管) に対する製品規格の選定。
- ・製品長さを1/2 (L=2.74m) とした事による、歩掛調査の実施。
- ・パイプレス消雪ブロックの維持補修対応 (メンテナンスタイプ) の開発。

6. まとめ

パイプレス消雪ブロックは、従来の製品長さや通水断面径の仕様を変えた事で初期導入段階では計画・設計にて若干の手戻り等の問題が生じる事と考えられるが、これまでの消雪パイプ設置地域での路面の赤サビ汚れの解消による環境面への貢献と管材を省く事によるコスト縮減に貢献できる製品であると考えられる。(当社比にて約 14.0%/m 当のコスト減となる。)

今後の予定として、弊社工場敷地内の道路にて試験施工を行い経過観察により本体及び、散水ノズル付近の損傷や機能低下が無い事を再度確認し、その後に本試験施工へ移りたいと考える。

〔参考文献〕 散水消雪施設設計施工・維持管理マニュアル 平成 20 年 8 月

■主催 北陸地方建設事業推進協議会「平成21年度 建設技術報告会」実行委員会
北陸地方整備局／新潟県／富山県／石川県／新潟市／東日本高速道路(株)新潟支社
中日本高速道路(株)金沢支社／(社)日本土木工業協会北陸支部
(社)日本道路建設業協会北陸支部／(社)建設コンサルタンツ協会北陸支部
(社)日本建設機械化協会北陸支部／(社)新潟県建設業協会／(社)富山県建設業協会
(社)石川県建設業協会／北陸土木コンクリート製品技術協会
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会北陸支部／北陸PC防雪技術協会
新潟県融雪技術協会／(財)新潟県建設技術センター／北陸地質調査業協会
(社)日本埋立浚渫協会北陸支部／(社)北陸建設弘済会

北陸地方建設事業推進協議会「平成 21 年度 建設技術報告会」実行委員会事務局
(国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所内)
〒950-1101 新潟県新潟市西区山田 2310-5 TEL : 025-231-1281 (代)
ホームページアドレス <http://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/>