平成 24 年度

建 設 技 術 報 告 会

報 文 集

平成 24 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

第 1 会場　報告技術

情報化施工に関する取り組みについて（報告）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
打ち込み式水位観測井　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
耐久性を考慮した加熱アスファルト系表面処理工法の開発　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　8
ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法設計・施工マニュアルの改訂　・・・・・・・・・・・・・・・　12
鋼橋の制震技術の最前線　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　16
山岳トンネルにおける新覆エコンクリート養生技術の適用事例の報告　・・・・・・・・・・・・・・・　20
Fi-mix 工法（自然石舗装用モルタル工法）の開発と施工事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　24
取替用高強度軽量プレキャスト床版（HSL スラブ）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　28
海岸護岸の越波抑制に資する新たな工法の研究　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　32
北陸自動車道　白山インターチェンジの開通　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　36
桁端狭隘部の調査・補修工法　－NSRV工法－　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　40
マルチジェット工法（自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　44
液状化対策工法（浸透固化処理工法、DEPP 工法）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　48
維持管理のための構造物トレーサビリティシステム　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　52
石川県建設新技術認定・活用制度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　56
SIMAR工法（吸水型振動棒締固め工法）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
水中不分離可塑性グラウトによる充填補修補強工法『パフェグラウト工法』　・・・・・・・・・・・・・　62
クレーン作業安全誘導システムの開発　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　65

第 2 会場　報告技術

雪崩検知システムの開発　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　69
積雪路面でも居眠り防止効果のある切削型注意喚起舗装　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　73
鋼床版橋への温水循環式無散水融雪の適用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　77
「あんしんバリアー工法」振動機能付側溝　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　81
切削オーバーレイ工事における情報化施工の適用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　84
再生中温化アスファルト混合物の適用性検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　88
下水汚泥焼却灰の安定化処理とアスファルトフィラー化　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　92
多機能型排水性舗装（フル・ファンクション・ペーブ）の特長　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　96
鋼殻吊降ろし式ニューマチックケーソン工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　100
コンクリート系がれきの有効利用技術　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　104
ガラリクリート工法の開発と適用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　108
1000m の長距離圧送を実現した高強度モルタル吹付『キロ・フケール工法』　・・・・・・・・・・・・　112
ピエゾドライブコーン（液状化ポテンシャルサウンディング）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　115
れんか（土留エブロック）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　119
河川堤防の耐震対策技術　－　SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ工法・SAVE-SP 工法　―　・・・・・・・・・・・・　123
バルーングラウト工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　127
「タフロード®工法」（液状化地盤上道路の変状防止対策）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　131
ゼロハチフェンス（エネルギー緩衝リング付落石防護フェンス）の開発　・・・・・・・・・・・・・・・　135

第1会場

第Ⅰグループ

情報化施工に関する取り組みについて（報告）

国土交通省　北陸地方整備局　企画部　施工係長　○山本　茂樹
施工企画課長　柴澤　一嘉
施工企画課長補佐　堀内　崇志
施工係　長谷川　崇

１　はじめに

情報化施工とは、建設事業の調査、設計、施工、監督・検査、維持管理という建設生産プロセスのうち「施工」に注目して、ＩＣＴ（情報通信技術）を活用することにより、建設生産プロセス全体における生産性の向上や品質の確保を図ることを目的としたものである。

情報化施工は、近年の測量、制御、通信、センサー技術の進歩により、汎用の建設機械を用いる土木工事や舗装工事等を中心に導入されており、欧米諸国では既に一般的な施工管理技術として広く普及されている。しかし、我が国の公共土木工事では様々な課題により、本格的な普及に至っていない。

本報告では、国土交通省並びに北陸地方整備局における情報化施工の普及推進に向けた取り組み・施策等とその効果・課題について報告するものである。

２　従来施工と情報化施工

情報化施工は、従来施工に比べて、ＩＣＴを活用し建設機械を自動制御等することから高効率・高精度な施工が可能であり、かつ丁張りや検測作業の削減が可能となり、時間短縮や補助作業員の省力化が期待できる（図－１参照）。

情報化施工技術を大きく分類すると、ＩＣＴを用いて建設機械の作業装置を自動制御するなどの「施工に活用する技術」と、施工の状況や結果の３次元座標情報などを計測・処理などして「施工管理に活用する技術」に分けられ、代表的なものとして以下の技術がある。

①施工に活用する技術

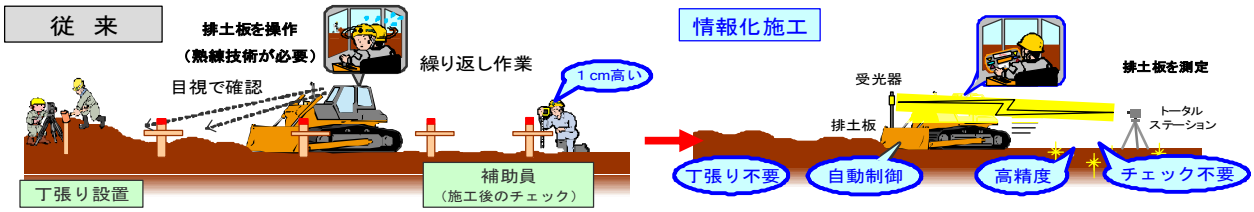
・マシンコントロール（以下「ＭＣ」）技術（モータグレーダ，ブルドーザ等）

・マシンガイダンス（以下「ＭＧ」）技術（ブルドーザ，バックホウ等）

②施工管理に活用する技術

・トータルステーション（以下「ＴＳ」）による出来形管理技術

・ＴＳ・ＧＮＳＳによる締固め管理技術



図－１　従来施工と情報化施工の比較

３　情報化施工の課題と対応方針

３．１　情報化施工の現況

現在、国土交通省では情報化施工技術を直轄工事において、積極的に普及させているところであるが、既に実用化段階であり平成２５年度の一般化に向けて普及措置を講じる技術を「一般化推進技術」と定義している。また、技術の適用性は確認済みであるが引き続き実用化に向けて検討が必要な技術を「実用化検討技術」と定義し、普及・推進している。（図－２参照）

①一般化推進技術

・ＴＳによる出来形管理技術

・ＭＣ（モータグレーダ）技術

②実用化検討技術

・ＴＳ・ＧＮＳＳによる締固め管理技術

・ＭＣ（ブルドーザ）技術

・ＭＧ（ブルドーザ）技術

・ＭＧ（バックホウ）技術

図－２　一般化推進技術・実用化検討技術

３．２　情報化施工の課題

情報化施工の一般化の普及目標として、適用対象工事の５０％以上の活用率を確保することが当面の目標である。しかしながら、表－１に示すように平成２２年度末までの活用状況を見ると未だ全国的にも北陸管内においても低い活用率であり、この活用率を上げて行くことが今後の課題である。

表-1　情報化施工　一般化推進技術の活用率

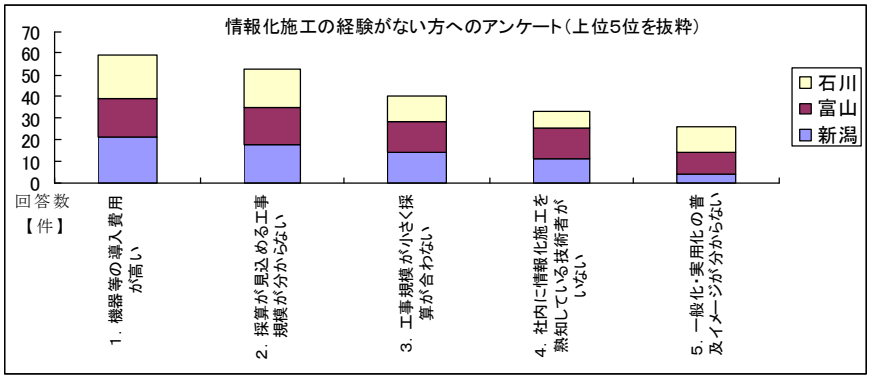
TS出来形（土工）

	H21年度		H22年度	
	全国	北陸	全国	北陸
活用工事件数(件)	103	9	225	22
活用率(%)	5.9	7.5	15.4	17.1

MC技術（モータグレーダ）

	H21年度		H22年度	
	全国	北陸	全国	北陸
活用工事件数(件)	26	8	56	5
活用率(%)	7.7	27.6	24.7	35.7

情報化施工セミナーでのアンケートによれば、図－３に示すように情報化施工の低い活用率の原因としては、導入費用が高い、採算の見込める工事規模が分からない、情報化施工を熟知している技術者がいない、普及のイメージが不明等の課題が上げられる。



図－３　平成２２年度　情報化施工セミナー　アンケート（抜粋）

３．３　対応方針

情報化施工技術を普及・推進するにあたっては、情報化施工を導入した工事の施工者に対する「導入インセンティブ」、受・発注者の「技術者の育成」、円滑に情報化施工を普及させるための「普及のための情報発信」が重要と考えられる。

４　情報化施工の普及の取組

４．１　導入インセンティブ

情報化施工の導入インセンティブとして以下の制度を導入している.

①入札契約時評価（図－４）、②工事成績評定（図－５）、③必要な経費の計上（表－２）

【北陸地整における運用】

一般化推進技術【MC(ﾓｰﾀｸﾞﾚｰﾀﾞ)、TS出来形管理技術（土工）】に限り、情報化施工技術を活用する場合（1点加点）
ただし、「新技術に対する取り組み」において評価される情報化施工技術 以外の技術を加点対象とする。
※平成24年4月25日以降に公告手続き開始工事を対象

図－４　情報化施工の入札契約時評価

「請負工事成績評定要領の運用の一部改正について（国官技第293号 平成21年3月24日付）」に基づき、「情報化施工」を実施した場合は、以下のとおり加点評価する。

主任技術評価官の評定点
考査項目：５．創意工夫
細　　別：Ⅰ．創意工夫
工夫事項：【施工】□ ICT（情報通信技術）を活用した情報化施工を取り入れた工事（２点の加点）
【新技術活用】□ ※新技術の活用において項目に該当した場合に加点（最大４点の加点）

図－５　情報化施工の工事成績評定評価

表－２　情報化施工で必要な経費

	技術名	項目＼活用区分		発注者指定型	施工者希望型
一般化推進技術	TS出来形管理技術	共通仮設費		従来の技術管理費（率分）	従来の技術管理費（率分）
	MC（モータグレーダ）技術	直接工事費	歩　掛	情報化施工による積算	従来施工による積算
			機器費	情報化施工機器の レンタル費用計上	計上しない
		共通仮設費		情報化施工機器の 初期費用計上（データ作成費等）	計上しない
実用化検討技術	TS・GNSS締固め管理技術	共通仮設費		従来の技術管理費（率分） （二重管理の場合は、従来方法に必要な費用を計上する。）	従来の技術管理費（率分）
	MC／MG（ブルドーザ）技術 MG（バックホウ）技術	直接工事費	歩　掛	情報化施工による積算 （MG（ブルドーザ）、MG（2Dーバックホウ）は、従来施工による積算）	従来施工による積算
			機器費	情報化施工機器の レンタル費用計上	計上しない
		共通仮設費		情報化施工機器の 初期費用計上（データ作成費等）	計上しない

４．２　北陸情報化施工推進委員会の設置

北陸地方整備局では、情報化施工の導入・普及・拡大の取組を検討・企画することを目的に、「北陸情報化施工推進委員会（以下「推進委員会」）を平成２１年１１月１２日に設立した。本委員会は、関連有識者及び行政関係者の委員で構成しており、普及の取組の一環として、情報化施工説明会、セミナー、現場見学会等の開催を企画し「技術者の育成」及び「普及のための情報発信」に努めている（図－６、７参照）。

図－６　平成23年度　情報化施工要領説明会

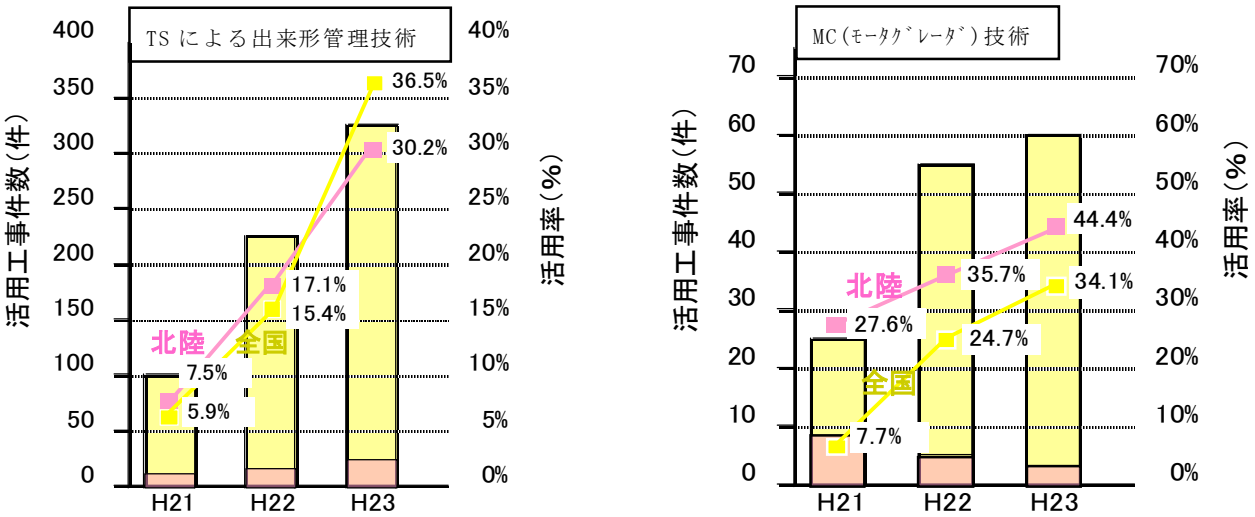
図-７　平成23年度　現場見学会

５　まとめ

５．１　普及の取組による効果（一般化推進技術の活用率の推移）

一般化推進技術である「ＴＳによる出来形管理技術」と「ＭＣ（モータグレーダ）技術」の全国と北陸の活用状況は以下のとおりである（図－８参照）。

北陸管内及び全国的にも両技術ともに平成２１年度から比べて約２０％強の上昇傾向にあり普及の取組による効果が現れている。



図－８　一般化推進技術　活用率の推移（全国・北陸）

５．２　今後の課題

情報化施工技術の現場での活用率は上昇傾向ではあるものの、未だ目標の活用率には達していない状況にある。

今後、まずは「一般化推進技術」を平成２５年度に一般化することが喫緊の目標であるが、目標達成するためには、現場実態と整合の取れた積算・要領等を整備し目標活用率を確保すること、導入の環境整備、普及・広報活動の拡充等が課題として上げられる。

北陸情報化施工推進委員会としては、現場へのアンケート調査の結果等を基に導入環境の課題を把握し、改善するとともに、引き続き現場見学会、説明会、セミナー、講習会等を開催し、受・発注者の人材育成や普及推進に取り組んで行く予定である。

５．３　次期戦略にむけて

国土交通省では、２０１２年度末までに次期戦略を策定する予定で、対象工種、技術の拡大、活用を進めるための環境整備などを検討課題として挙げている。

６　おわりに

情報化施工技術は、現場において受・発注者ともに、まだ不慣れなところや不明確なところがあるが、施工の効率化等の効果が明らかになってきている。

今後も普及に向けて積極的に推進してまいりますので、関係各位のご協力をお願い申し上げます。

打ち込み式水位観測井

応用地質株式会社　北陸支店　　主担　　○田中　康博
計測システム事業部　グループリーダー　　竹森　基

1　はじめに

一般的に、地下水位を長期間観測する場合には、ボーリングにより削孔を行った後、孔内に塩化ビニル製などの有孔管にフィルター材を巻いたものを挿入し、その外周を珪砂などで埋め戻す。さらに、有孔管の上部から地表付近まで粘性土やモルタルなどで充填し、遮水措置を施した後、孔内を水で洗浄する。しかし、コスト縮減、工期短縮、品質確保の観点から、作業者の経験や技量にかかわらず、より効率的に信頼性の高い観測結果が得られる地下水位観測手法に対するニーズは高まっている。

このようなニーズに対して、当社では独立行政法人土木研究所、および財団法人国土技術研究センターとの共同研究[1)]「堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測手法の開発（平成17年～19年度）」において、ラムサウンディングを用いた打ち込み式水位観測装置を開発した。打ち込み式水位観測装置の構造と設置方法については、上記の共同研究でフィルター部の材料検討および模擬堤体における適用実験などを実施しており、その有用性は検証済みである。

当報告は、打ち込み式水位観測装置を用いた地下水位観測を道路盛土に適用させ、コスト縮減、工期短縮を実現した事例報告である。盛土での適用事例としては、当報告の他に、[2)]八木・渡邊（2009）の報告があり、打ち込み式水位観測井とオールストレーナの塩化ビニル製のパイプを使用した観測井との比較を行い、打ち込み式水位観測井の現場への適用性について検証している。

2　打ち込み式水位観測装置の設置方法と構造

打ち込み式水位観測装置は、オートマッチクラムサウンディングやミニラムサウンディング（以下、ミニラム）などの打撃装置を使用する。設置手法を図－１に示す。

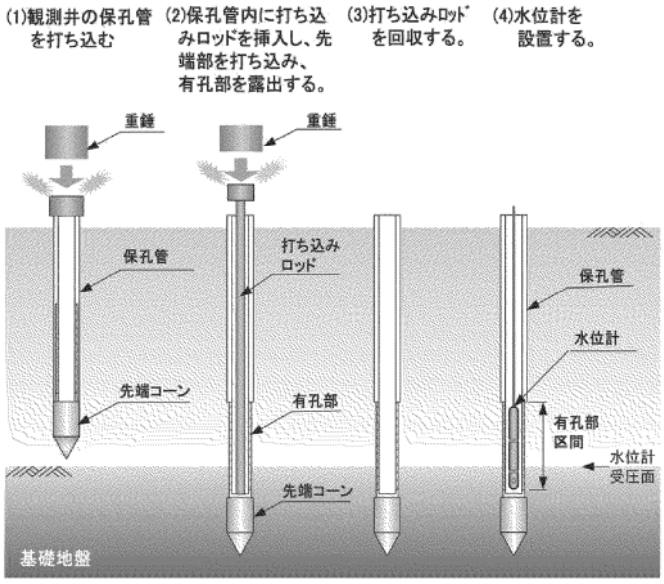
（１）保孔管（貫入ロッド）をミニラム試験機を使用して打ち込む。

（２）有孔部の露出には、貫入ロッドの内側に打ち込み用のロッドを挿入し、所定の深さで打ち込むことにより、有孔部を露出させる。

（３）打込みロッドを回収する。

（４）孔口を仕上げる。必要に応じて自記式の水位計を設置する。

有孔部のフィルターは、目詰まりが生じにくく、必要な強度を有する樹脂製フィルターを使用している。



図－１　打込み式水位計観測孔設置手順

３　現場への適用

３．１　打ち込み式水位観測装置適用に至る経緯

打ち込み式水位観測装置を設置した現場は、のり尻からやや上方で湧水が認められ、道路盛土の地下水位がのり肩でも浅いことが想定される現場であった（図－２）。当盛土では地震時の安定性評価のために、のり尻だけではなく、のり肩での地下水位を把握し、安定解析を実施する必要があった。しかし、水位観測井の設置において、以下の問題が生じていた。

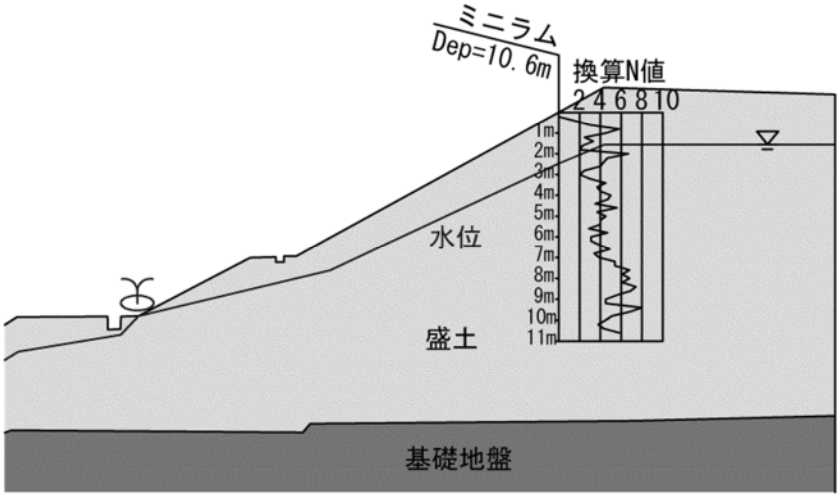
（１）設置箇所数が 11 箇所と多い。

（２）ボーリングの場合は地下水位観測井の設置に時間を要する。

（３）高規格道路であるため、ボーリングの場合は大規模な交通規制が必要である。

上記のような工期面とコスト面の問題から、ボーリングに替わる手法を求めらていた。

そこで、当現場には開発後間もない打ち込み式水位観測井が、工期短縮・コスト縮減の観点から、適してると判断し、設置することとなった。



図－２　盛土断面図

３．２　当現場への適用方法

当現場においては、現場特性を考慮し、通常とはやや異なる以下の手法で設置した。

（１）安定解析に必要な土質定数をもとめるために、ミニラムにより盛土のＮ値を把握し（写真－１）、ミニラムによる孔を再利用して地下水位観測井を設置した。

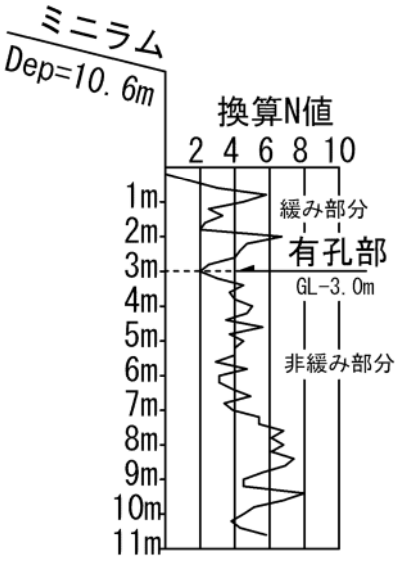
（２）再利用孔での設置においては、打撃装置として、ミニラムよりも機材が簡易なバイブロハンマーを使用して設置した（写真－２）。遮水性については、ミニラムによる再利用孔の孔径（φ36.6mm）が打ち込み式水位観測井の先端コーンの径（φ40.0mm）よりも 3.4mm 小さいことから、十分に遮水可能である。

（３）有孔部露出には、ミニラムより得られた低Ｎ値部分の緩んでいると考えられる位置に地下水位面が存在すると判断し、低Ｎ値部分の下端深度にて有効部を

写真－１　ミニラム状況

露出させ（図－３）、自記式の水位計を設置した。

写真－２　バイブロハンマー



図－３　有孔部露出位置

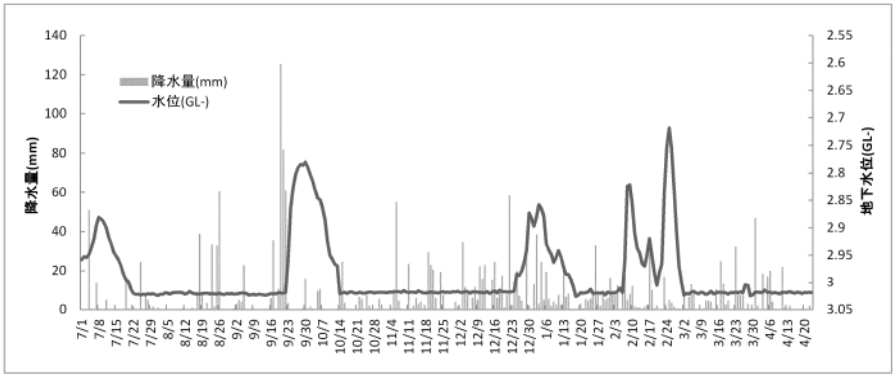
４　適用結果

４．１　コスト縮減および工期短縮

打ち込み式水位観測井の設置（全 11 箇所）は、2 箇所/日のペースで進捗したため、5 日半で現場は完了した。一般的なボーリングの場合は、搬入・仮設・掘進・設置・撤去で少なくとも約 1 週間/箇所かかるため、著しく工期を短縮することが可能となった。また、材料費が塩化ビニル製のパイプに対して高価なものの、交通規制が不必要であったため、設置費はかなり安価となった。

４．２　地下水位観測結果

図－４に自記式水位計を設置した箇所での地下水位と降水量の相関を示す。降雨後に地下水位の上昇が確認され、地下水位観測井としての機能を有していることが確認できた。



図－４　地下水位-降水量相関図

５　結び

今回の現場では、水位観測孔の設置前にミニラムを実施することで、盛土強度を把握するとともに、ミニラムによってできた孔を再利用する設置手法を試み、ボーリングの場合に比べ、著しい工期短縮が達成された。開発された技術は現場特性や現場状況に合わせて、工夫して適用させることで、その適用範囲が拡大されると考える。

《参考文献》

1)独立行政法人土木研究所：堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発に関する研究報告書，河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案），2009

2)八木一雄・渡邊弘志：打込み式水位観測装置を用いた地下水観測，全地連「技術 e-フォーラム 2009」松江，95，2009

耐久性を考慮した加熱アスファルト系表面処理工法の開発

○日本道路株式会社　技術グループ　長谷川淳也
日本道路株式会社 北信越支店　　水倉一夫

1. はじめに

我が国は、厳しい財政状況の中、増大する舗装ストックに対して、合理的かつ効率的に維持管理を行う事が求められている。舗装の維持修繕においては、これまでの事後的な保全ではなく、予防的な保全として予防的維持工法を用いて舗装の延命化を図り、LCC を低減させる管理方法の検討、導入が進んでいる。これまで我が社は予防的維持工法として、アスファルト乳剤を用いたマイクロサーフェシング工法で 20 年以上の実績を残してきたが、施工上の制約（専用機械、施工規模、気象条件、交通開放までの養生時間、使用骨材等）が多いため、ごく限られた範囲で適用されただけであった。

このため、特殊機械を必要としない汎用的で安価な予防的維持工法が求められ、加熱アスファルト系混合物を使用した表面処理工法「リフレッシュシール Mix(以下、RSM 標準タイプ)」を開発した。現在、現場での適用性、供用性、耐久性を評価しているところであるが、交通量の比較的多い箇所やタイヤによる据え切りを受ける駐車場等での耐久性において課題がみられた。また、RSM に対する適用範囲の拡大、施工性の向上等の要求性能の高まりもあることから、高耐久型表面処理工法、「リフレッシュシール MIX ハード」（以下、RSM ハードタイプ）の開発を行った。

本報文は、RSM ハードタイプの室内での混合物の検討結果と、現場で適用した事例をまとめたものである。

2. RSM 工法の改良

2. 1　RSM工法の特徴

RSM 工法は既設舗装の延命やリフレッシュ、ひび割れの抑制を目的として作られた加熱アスファルト系の表面処理工法である。使用する混合物は、中温化剤・改質剤・植物性繊維からなる特殊改質剤を添加した、骨材最大粒径 5mm の加熱アスファルト混合物である。標準タイプは以下の特徴を有する。

・平均厚さ 15mm と薄層施工のため、すり付けが可能で、路面切削や道路構造物の改築が不要
・混合物の粒度が細かくアスファルト量が多いため、ひび割れのシール、雨水浸入による破損の抑制が可能
・キメが細かく適度な凹凸を有する路面を構築でき、すべり抵抗性が向上、タイヤ/路面騒音の低減が可能
・特殊添加剤に含まれる中温化剤の働きにより、薄層施工が可能

主な適用箇所は、交通量 N_5 程度までの一般道路、住宅地、団地内の道路、農道、普通車用の駐車場である。ここ数年、わだち掘れの影響が大きい交差点や比較的交通量の多い道路、仕上がりが重視される商業施設の駐車場等の様々な場面での適用が増えてきており、耐久性と仕上がりに対する要求性能が高まってきた。

2. 2　RSM の配合の検討

標準 RSM の仕上がりと耐久性を改善するため、配合の検討を行った。RSM ハードタイプの配合を、標準タイプ、カーペットコートと比較したものを**表-1** に、骨材粒度曲線を**図-1** に示す。RSM ハードタイプの粒度範囲

はカーペットコートのそれに近く、標準タイプよりもやや粗めであることがわかる。これは、路面に適度なキメを持たせることで、舗装ジョイントやスクリードの段差の跡が目立たなくするためである。アスファルト量は 5.5～7.0%を標準とし、仕上がりのキメを重視するため MPD で 0.6～0.8mm を目標とし、マーシャル供試体作製時の目視観察等により最終的に決定する。

RSM ハードタイプの使用材料を**表-2** に示す。使用するアスファルトは、耐流動性を向上させるため改質Ⅱ型とした。また骨材粒度を粗くしたことで、アスファルト量が少なくなって、特殊添加剤の添加量も少なくした。

表-1 標準配合の比較

ふるい目	通過重量百分率(%)		
	RSM		カーペットコート
	ハードタイプ	標準タイプ	
13.2mm	100	100	100
4.75mm	90 ～ 100	90 ～ 100	90 ～ 100
2.36mm	35 ～ 50	65 ～ 90	30 ～ 50
300μ m	15 ～ 25	18 ～ 30	15 ～ 25
75μ m	8 ～ 13	5 ～ 15	8 ～ 13
アスファルト量(%)	5.5 ～ 7.0	7.0 ～ 8.0	6.0 ～ 9.5

表-2 使用材料

混合物の種類		As種類	特殊改質材(%)
RSM	ハードタイプ	改質Ⅱ型	0.2
	標準	ストレートアスファルト	0.4
カーペットコート		ストレートアスファルト	-

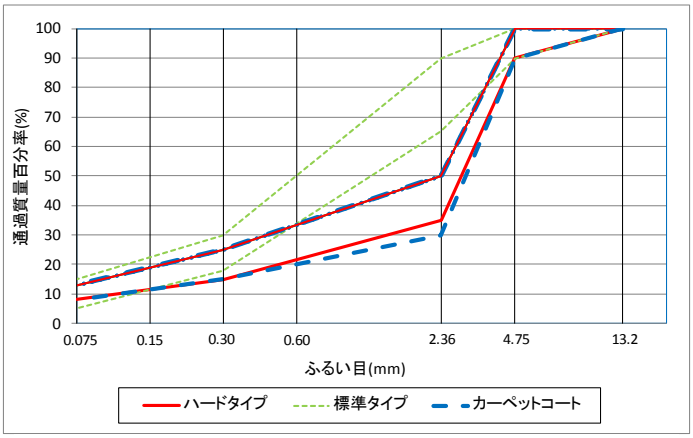


図-1 骨材粒度の比較

2．3 RSM ハードタイプ混合物の基本性状

RSM ハードタイプ混合物の基本性状を、標準タイプと比較した。試験項目は、マーシャル安定度試験と、WT 試験、曲げ試験、低温カンタブロ試験である。試験結果を**表-3** に示す。

（１）マーシャル安定度試験、ＷＴ試験の結果

RSM ハードタイプは標準タイプと比べると、安定度、フロー値の増加と、DS の大幅な改善がみられた。これは、アスファルトを改質アスファルトに変更した効果と考えられる。

（２）曲げ試験結果

ひび割れ抵抗性の評価として、曲げ試験を実施した。骨材粒度を粗くしたことで、ひび割れ抵抗性への影響が懸念されたが、室内試験では常温時・低温時ともに曲げ強度はハードタイプの方が大きく破断ひずみは同等の結果であった。これより、ひび割れ抵抗性は、標準タイプと同等と推測できる。

（３）低温カンタブロ試験結果

タイヤチェーン等の衝撃による骨材飛散現象に対する抵抗性の評価として低温カンタブロ試験を実施した。結果から、-20℃の損失率は10%以下であり、薄層SMAと同程度の飛散抵抗性を有すると考えられる。

（４）その他

RSM ハードタイプは、薄層であることに加え標準タイプより骨材粒度度が粗く、施工時の急速な温度低下に起因する締固め不足が懸念されたため、締固め温度の違いによる締固め度の影響を評価した。

表-3　RSM ハードタイプ混合物の基本性

種類	安定度 (kN)	フロー (1/10mm)	DS (回/mm)	曲げ試験				カンタブロ損失率(%)	
				曲げ強度 (MPa)	破断ひずみ	曲げ強度 (MPa)	破断ひずみ		
				20℃		-10℃		20℃	-20℃
標準タイプ	5．4	21	148	1.53	4.7E-02	7.66	4.0E-03	—	—
ハードタイプ	9．1	41	3938	3.22	3.4E-02	10.58	5.8E-03	0.8	9.0

結果を**図-2** に示す。これより、締固め温度が標準よりも 60℃低下した場合においても、十分な締固め度が確保できることが確認できた。

以上の室内検討により、RSM ハードタイプ混合物の耐久性の向上が確認できたため、試験施工を実施し、現道での適用性の評価を行った。

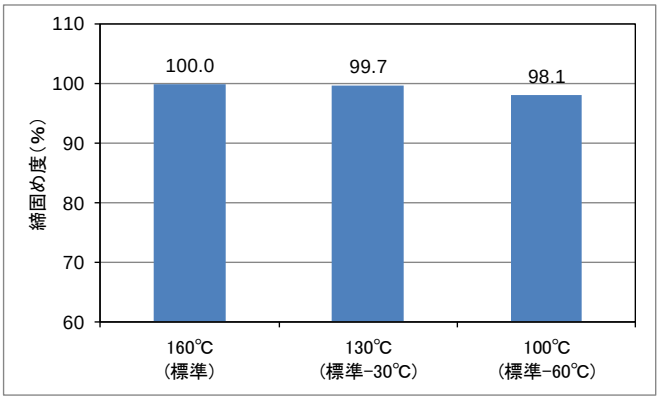


図-2 締固め温度の違いによる影響

3 施工事例

3．1 概要

施工事例の概要を以下に示す。

（1）施工場所：青森県五所川原市
（2）施工日　：2012年6月2日
（3）延　長　：180m
（4）面　積　：1,234m²
（5）舗装厚　：2cm

既設舗装の路面

写真-1 既設路面の状態

五所川原市の駅前通りに続く県道で、「青森のねぶた」と「弘前ねぷた」と並ぶ青森三大ねぶたの一つである立佞武多（たちねぶた）祭りが行われるメインストリートである。

施工路線は、電線の地中化・歩道の整備がされているが、車道の排水性舗装は古く、骨材飛散が激しく、補修跡が点在し、ガタガタな状態であった（**写真-1**）。

高さが最大で20m（重さ20t）を超える山車が通るため、仕上りと平たん性、耐久性が必要と判断し、RSM ハードタイプを適用した。

写真-2 施工状況

3．2 施　工

既設路面のポットホール、わだち掘れ箇所等は、事前に通常のアスファルト混合物で処理した。また、タックコートには、付着力を高めるためにタイヤ付着抑制型乳剤 PKM-T を使用した。

施工に用いる機械は**写真-2** に示すとおり、通常のアスファルト舗装と同様である。本現場の平均施工厚さは 20mm であるが、薄いところでは 10mm 程度の箇所もあり温度低下による施工性の低下が懸念されたが、特殊改質剤に含まれる中温化剤の効果により、良好な施工性が確保できた。品質管理は、表面処理工法であるため

写真-3 端部仕上げ状況

合材の温度管理で行った。到着は 165℃以上、敷き均し温度は 110℃以上を目標とした。

また、既設舗装との擦り付けの施工に関しても、**写真-3** に示すとおり、バーナー付きのコテを使用することで、綺麗に仕上げることができた。施工後の完成路面と仕上がり状態を、**写真-4、5** に示す。

写真-4 施工完了

写真-5 仕上がり路面状態(厚さ、キメ)

３．３　供用状況

施工1ヶ月後の 8 月 3～8 日に、立佞武多祭りが行われた。その時の供用状況を**写真-6～7** に示す。

写真-6 山車の走行状況

写真-7 立佞武多祭り終了後の路面の状態

20t を超える山車の通行による据え切り作用を受けたが、路面の荒れや骨材飛散等もみられず、良好な状態を維持している。

4　おわりに

標準 RSM 工法は、施工性が良く、寒冷地においても良好な路面性状を維持している。今回報告したハードタイプは、青森での施工事例であることから、北陸地方でも維持修繕工法としての適用拡大が期待できる。今後は、追跡調査を実施し、クラックの抑制効果や耐久性について、長期にわたって路面状況の観察を続けて行きたいと考えている。

(参考文献)

1)岡本信人:加熱アスファルト系表面処理工法の開発、北陸地方建設事業推進協議会「平成 22 年度　建設技術報告会」(2010.9.30)

2)荒尾慶文:舗装の延命に寄与するアスファルト混合物による表面処理、アスファルト合材、技術手帳(58)(2012.1)

ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法設計・施工マニュアルの改訂

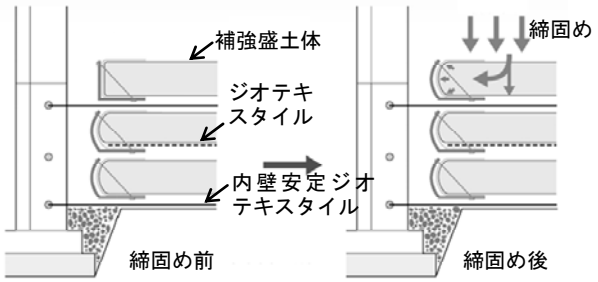
アデムウォール協会　○辻　慎一朗
アデムウォール協会　　小林　喬
（社）北陸建設弘済会　　市村　浩二

1　はじめに

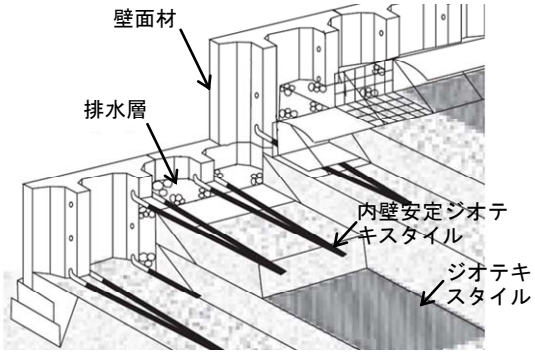
ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法検討委員会（委員長:長岡技術科学大学　環境･建設系教授　大塚悟）では，ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法設計･施工マニュアルを 2010 年 9 月に発刊し，ジオテキスタイルを用いた補強土壁工法の普及に努めてきた。本補強土壁は，**図-1** に示すように，コンクリートパネルによる壁面材と，ジオテキスタイルによる補強盛土体の間に空間を設けて，施工時の盛土の変形に伴う土圧を壁面材に作用させずに，壁面近傍まで盛土材料を十分に締固めることができる構造とした二重壁構造を有する補強土壁である。**写真-1** に施工事例を示すように，これまで多くの盛土工事に適用されている。また，壁面材と補強盛土体はベルト状の補強材（内壁安定ジオテキスタイル）で連結され，その間の空間には，補強盛土体の構築後に砕石が投入されて排水層としての役割を持たせた構造である。本補強土壁の設計・施工マニュアルに対して，1）本補強土壁の耐震性，2）2012 年 3 月に改訂の道路橋示方書を踏まえた維持管理性（修復性），3）塩害環境の厳しい北陸地域における塩害対策等について，新たに得られた知見を加えて設計・施工マニュアルを改訂することとなった。本報告では，上記の 3 つの項目について検討した結果を報告する。

2　補強土壁の耐震性

本補強土壁の耐震性を確認するために，動的遠心模型実験を行った。実験では，遠心加速度 50G 場で高さ 20.6m に相当する補強土壁の試験体を構築し，神戸波，正弦波（最大加速度 200gal～800gal）の地



(a) 二重壁構造



(b) 構造

図-1　補強土壁の構造

(a) 垂直補強土壁

(b) 軟弱地盤上の盛土

(c) 両面盛土

(d) 多段盛土

(e) 斜壁

(f) 護岸盛土

写真-1　補強土壁の適用例

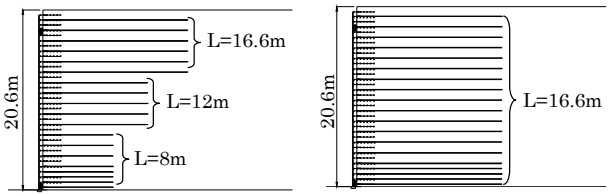
震動を与えた。実験では，**図-2** に示すように，高さ方向にジオテキスタイルの長さを変化させた試験体（CASE 1）と，すべて同じ長さとした試験体（CASE 2）を作成した。神戸波および正弦波 800gal 加振後の補強土壁の変形状況とせん断ひずみ分布を**図-3, 4** に示す。実験の結果，ジオテキスタイルの配置を，引抜けが生じない必要敷設長を確保した上で不等長配置としても，等長配置とした場合と同等の耐震性を持つことを確認した。試験体 CASE1 の STEP1（神戸波）加振中における壁面材，補強盛土体内の加速度の時刻歴を**図-5** に示す。本補強土壁の壁面材と補強盛土体の加速度は同様な傾向を示し，壁面材と補強盛土体が一体的に挙動していることを確認した。

東北地方太平洋沖地震後に本補強土壁の被災状況を調査した箇所の位置と，壁面の状況の一例を**写真-2** に示す。東北地方に位置する補強土壁は，震度 5 強～6 強の揺れを受けたものの，壁面や路面に変状はなく，耐震性に優れていることが実証された。

3　補強土壁の維持管理性

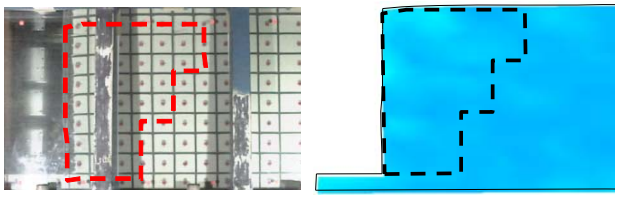
3．1　壁面の修復性

本補強土壁は，壁面材とジオテキスタイルによる補強盛土体が分離した構造であるため，壁面が想定外の外的要因によって損傷した場合，補強盛土体に影響を与えることなく壁面を補修することができる。2008 年岩手・宮城内陸地震の震央から 4.5km の地点に位置していた補強土壁で，壁面の補修を行った事例を**写真-3** に示す。壁面の補修は，排水層に充填されている砕石を抜きとった後，壁面材に連結されている内壁安定ジオテキスタイルを切断し，損傷した壁面材を取り外す。その後，新しい壁面材を設置して，盛土内に残る内壁安定ジオテキスタイルと連結し，壁面材の背面に砕石を充填する方法で行う。上記の手順で，3 名の作業員（世話役 1 名，運転手 1 名，普通作業員 1 名）で，一週間程度で補修を行い，短期間で経済的に補修ができることが確認された。

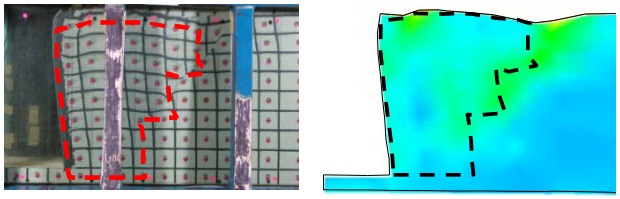


(a) CASE1　　(b) CASE2

図-2　実験ケース

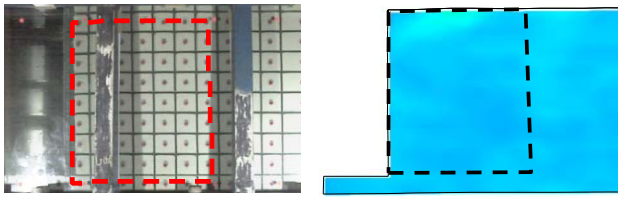


(a) STEP1（神戸波）

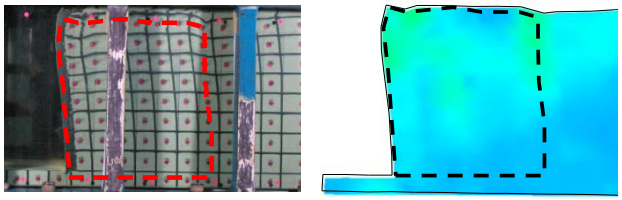


(b) STEP8（正弦波 800gal）

図-3　加振後の変形（CASE1）



(a) STEP1（神戸波）



(b) STEP8（正弦波 800gal）

図-4　加振後の変形（CASE2）

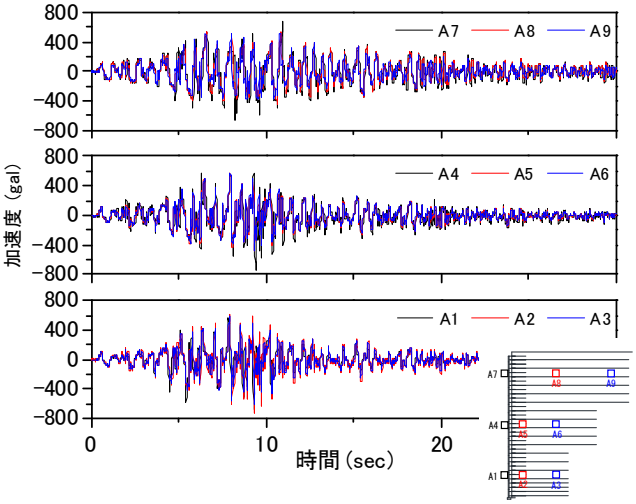


図-5　加速度の計測結果

３．２　修復の判断方法

本補強土壁の施工中および施工後の健全性を評価する方法として，**図-6** に示すような，ジオテキスタイルの縦ストランドに光ファイバーを挿入した「センサー機能付ジオテキスタイル」を開発・実用化し，実際の補強土壁に適用してきた。

センサー機能付ジオテキスタイルの計測精度を確認するため，室内引張試験を行った。室内引張試験は，**写真-4** に示すように，チャック間距離が 1m となるように，光ファイバーを内蔵したジオテキスタイルの試験片を引張試験装置に取り付けて，試験片を一定速度で引張る方法で行い，チャック間距離が 0.5%伸びるごとに引張試験装置を停止させてひずみ計測を行った。試験片に内蔵された光ファイバーによるジオテキスタイルのひずみ計測結果を**図-7** に示す。試験片の範囲（光ファイバー先端からの距離 3.5～4.5m の範囲）で，チャック間距離の変化に応じて一様なひずみが計測された。ひずみを積分して得られるジオテキスタイルの伸びと，引張試験装置のチャック間距離とジオテキスタイルの伸びが等しいと仮定して求めた伸びの理論値との比較を**図-8** に示す。ひずみの計測値から求めたジオテキスタイルの伸びは理論値と概ね一致している。また，室内引張試験において，光ファイバーのジオテキスタイルからの抜けはなく，ジオテキスタイルと一体化しており，盛土内のひずみを計測するためのセンサーとして十分に適用できることが確認された。

なお，本補強土壁に敷設されているジオテキスタイルは破断ひずみが 4.0～4.5%，設計引張強度に対するひずみが 2.0～2.5%である。このため，本補強土壁の健全性は，ジオテキスタイルの設計引張強度に対するひずみが 2～3%であることを考慮して，ジオテキスタイルのひずみが 2%以下である場合は「安全」，2.5%以上である場合は「危険」と評価することとしている。

(a) 宮城県内

(b) 福島県内

写真-2　東北地方太平洋沖地震後の調査の一例

(a) 壁面材のひび割れ

(b) 連結部の切断

(c) 壁面材の交換

(d) 壁面材の連結

(e) 砕石の投入

(f) 完成

写真-3　壁面の補修事例

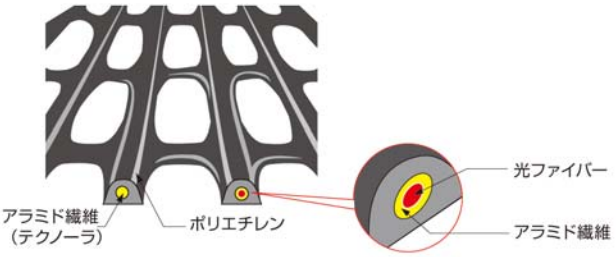


図-6　センサー機能付きジオテキスタイル

(a) 試験片

(b) 引張試験装置

写真-4　室内引張試験

4　補強土壁の塩害対策

北陸地方をはじめとする海岸線付近では，塩害の影響が懸念される地域に構築される鉄筋コンクリート構造物に対して，経年にわたり耐久性を保持するための対策が必要となる。本補強土壁の通常の壁面材は鉄筋コンクリート製であるが，本補強土壁を塩害が懸念される地域に適用する際は，鉄筋の代替材料として，**写真-5** に示すような短繊維（ビニロン繊維）を混入させたコンクリートによる塩害対策用パネルを用いる。塩害対策用パネルに対する曲げ試験を行った。曲げ試験の状況を**写真-6** に，試験で得られた荷重－変位関係を**図-9** に示す。本補強土壁の壁面材に作用する荷重に対して十分な強度を確保していることが確認された。

5　おわりに

補強土壁工法は橋梁と盛土の間に施工されることが多いが，2012 年 3 月に改訂された道路橋示方書により，橋台背面アプローチ部への補強土壁工法の適用にあたっては，路面の連続性の確保のため，橋台背面アプローチ部自体の不安定化や損傷により，橋の安全性や供用性，修復性に影響を及ぼさないようにする必要があることが明文化された。特に，修復性については，地震後に盛土等の変状の程度が点検で容易に確認でき，早期に供用の可否の判断が可能であることや，変状が生じた場合の修復の判断方法，さらに，修復の方法が明確であることが要求されようになった。このような背景のもと，ジオテキスタイル二重壁補強土壁工法検討委員会では，ジオテキスタイルを用いた補強土壁工法を対象に，補強土壁の耐震性，健全度の評価方法，壁面の修復方法，塩害が懸念される地域における塩害対策などについて検討し，マニュアルの改訂を進めた。今後も，本補強土壁の設計，施工，維持管理に携わる実務者の一助となるように，さらなる検討を行っていく予定である。

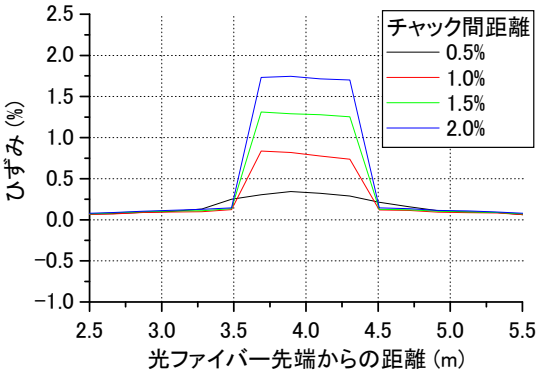


図-7　ジオテキスタイルのひずみ分布

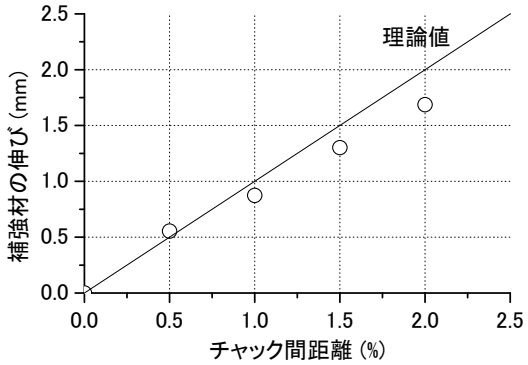


図-8　ジオテキスタイルの伸び

(a) ビニロン短繊維　(b) 繊維混入コンクリート

写真-5　繊維混入コンクリート

(a) 曲げ試験の状況　(b) 試験後の状況

写真-6　塩害対策用パネルの曲げ試験

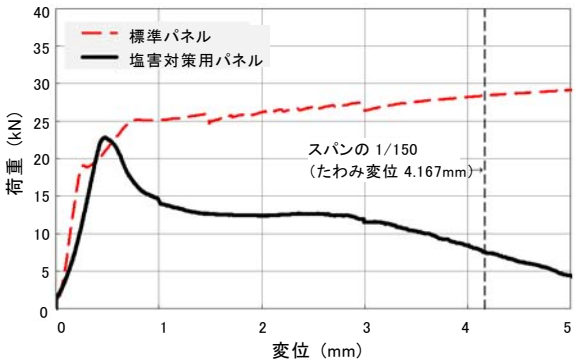


図-9　塩害対策用パネルの曲げ試験結果

鋼橋の制震技術の最前線

㈱横河ブリッジホールディングス　総合技術研究所　研究課主任　　三木　英二

1　はじめに

近年，鋼橋の耐震補強に関する検討および工事が数多く進められている．耐震補強には，広義には部材の断面補強の他，制震・免震デバイスを用いた制震・免震構造化が含まれる．鋼橋の場合，レベル２地震動に対する耐震設計では動的解析により算出された地震時断面力に対する断面設計を行うが [1]，従来はこの地震時断面力を低減するために免震支承を用いる免震構造化が採用される事例が多かった．しかし，既設橋梁の耐震補強に用いる場合，免震構造化すると地震時の橋体移動量が大きくなるため，桁端での衝突が問題となる場合があった [2]．また，桁橋には適用できるが，ラーメン橋やアーチ橋には適用できないという問題もあった．

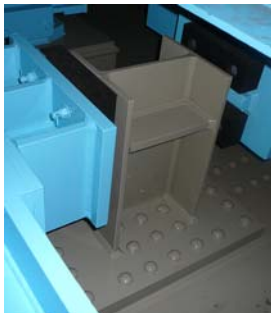
一方で建築の分野では，比較的古くから高層ビルの構造フレームに制震デバイスを設置し，制震デバイスが地震エネルギーを吸収することによって地震時応答を制御する制震構造化が採用されてきた．制震構造は免震構造に比べて構造物の地震時移動量を低減させることができる．さらには，取替可能な制震デバイスに意図的に損傷を集中させて主要部材の応答を弾性範囲内に抑え，供用に支障を及ぼす大きな残留変位を抑制することも可能である．

以上のような背景から，鋼橋の分野でも近年は制震デバイスを用いた制震構造化の耐震設計事例が増加しており，統一的な制震設計法に関する検討も各機関でなされている．例えば文献 3)，4)では，橋梁全体の制震設計法および制震デバイスの性能確認試験方法等について検討されている．また，先般改定された道路橋示方書・同解説Ⅴ（平成 24 年３月）では，制震デバイスのように地震の影響を支配的に受ける部材については，実験等の検証によりその限界状態などの性能を明らかにしなければならないことが新たに規定されている．このように，鋼橋において制震デバイスの適用は一般的になりつつある．

本稿は，橋梁で使用される制震デバイスの中でも多くの適用例がある粘性ダンパーと，近年採用が増えている鋼材ダンパーに着目し，その特徴と適用例についてまとめたものである．

2　制震デバイスの特徴

「制震」とは地震による振動を抑制するという意味であり，風や交通による振動を含むより広範囲な意味で用いられる場合は「制振」という使い分けがなされている．制振構造について分類した一例を**図－1** に示す．このうち橋梁の制震設計で用いられることが多いのは減衰付加方式の内蔵型ダンパーであり，鋼材ダンパーと粘性ダンパーはこれに含まれる．鋼材ダンパーの例を**写真－１**に，粘性ダンパーの例を**写真－２**に示す．鋼材ダンパーは塑性化部材の降

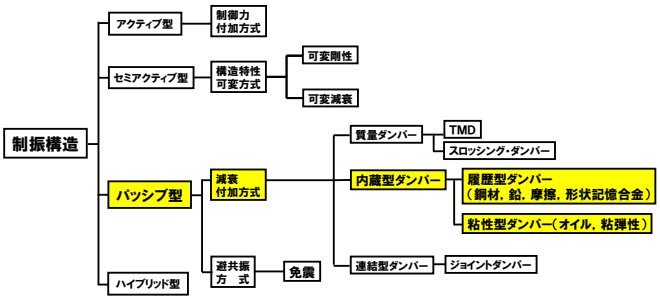


(a) 軸降伏型ダンパー　(b) せん断降伏型ダンパ

写真－１　鋼材ダンパー[6)]

写真－２　粘性ダンパー[6)]

伏形式により，軸降伏型，せん断降伏型，曲げ降伏型，ねじり降伏型に分類される．



図－１　制振構造の分類 [5)]

２．１　粘性ダンパー

粘性ダンパーは，内部の粘性体の流動抵抗によって減衰力を与えるものであり，抵抗力とダンパーストロークの組合せによって対象とする橋梁に適した制震設計が可能となる．粘性ダンパーの特性として抵抗力の速度依存性が知られており，常時の温度変化など緩速変形には抵抗せず，可動支承部への適用が比較的容易である．適用の際は，想定している地震応答速度と抵抗力の関係が確認された製品の選定が必要である．維持管理面では粘性体の漏れや経年劣化，ダンパーの金属部分の腐食について管理することが重要である．

２．２　鋼材ダンパー

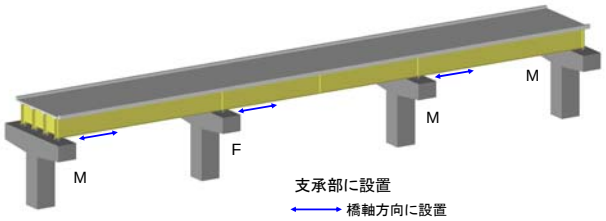
鋼材ダンパーは，鋼材の弾塑性履歴によって減衰力を与えるものであり，粘性ダンパーに比べて高い抵抗力を有し，小さな変形量で高い減衰効果が期待できる．通常の設計では，常時やレベル１地震動に対して降伏させないように設計を行う．また，鋼材に大きな塑性変形が生じるため，地震時の繰返し変形に対して安定した弾塑性履歴を示すことが確認された製品の選定が必要である．さらに，鋼材塑性化後は耐力が増加するため，取付部はこの影響を考慮して設計する必要がある．維持管理面では橋梁一般部と同様に鋼材の腐食について管理することが重要である．

３　制震デバイスの適用例

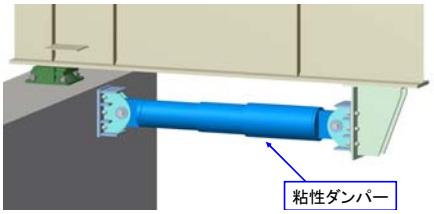
制震デバイスの適用例と期待される効果について，橋梁形式毎にまとめた結果を以下に報告する．

３．１　桁橋

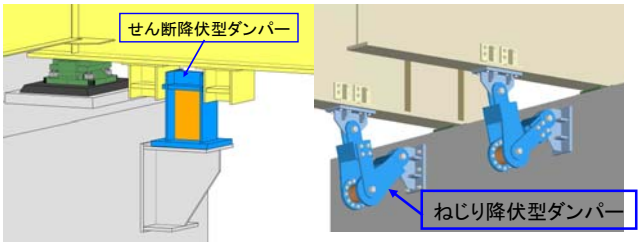
桁橋を対象とした制震デバイスの適用例を**図－２**に示す．橋軸方向地震動への対策として，支承部に制震デバイスを設置した例である．(b) は粘性ダンパー，(c) はせん断降伏型ダンパー，(d) はねじり降伏型ダンパーである．桁橋の場合，主に下部構造（橋脚）の応答値の低減が期待できる．過去の適用事例では，制震デバイスを用いずに橋脚を巻き立て補強する場合と比較して，せん断降伏型ダンパーを設置することで，工事費が約 60%，工期が 40%低減された例が報告されている [6)]．なお，橋軸直角方向地震動への対策として，これらのダンパーが橋軸直角方向に設置される例もある．



(a) 全体図



(b) 粘性ダンパー

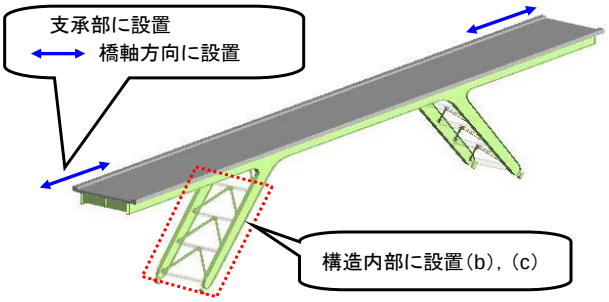


(c) せん断降伏型ダンパー　　(d) ねじり降伏型ダンパー

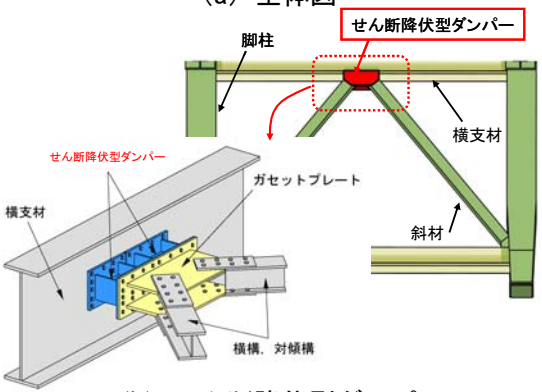
図－２　桁橋への適用例

３．２　ラーメン橋

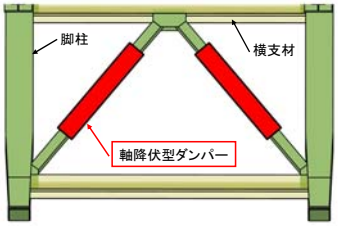
鋼方杖ラーメン橋を対象とした制震デバイスの適用例を**図－３**に示す．橋軸方向地震動への対策として，桁橋と同様に支承部に制震デバイスを設置した例である．また橋軸直角方向地震動への対策として，**図－３**（b），（c）に示すように二次部材である対傾構斜材に制震デバイスを設置した例である．このような構造内部に設置する制震デバイスとしては，せん断降伏型ダンパーや軸降伏型ダンパーがある．過去の適用事例では，軸降伏型ダンパーを用いることで，ダンパー設置前には許容値の３倍を超えていた脚柱の作用応力度を，全て許容値以内に抑えられた例が報告されている[7]．なお，橋軸直角方向地震動への対策として，桁橋と同様に支承部に制震デバイスが設置される例もある．



（a）全体図



（b）せん断降伏型ダンパー

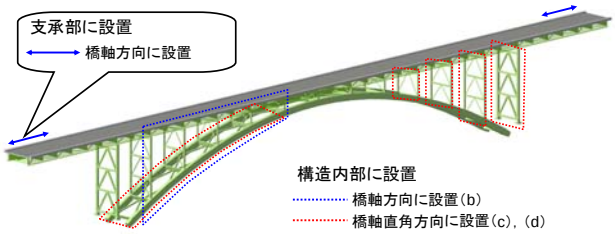


（c）軸降伏型ダンパー

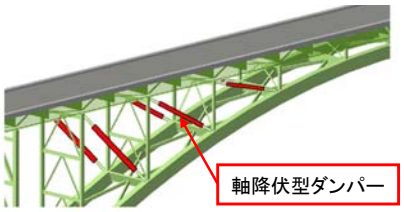
図－３　ラーメン橋への適用例

３．３　アーチ橋

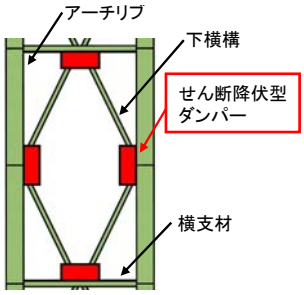
鋼上路アーチ橋を対象とした制震デバイスの適用例を**図－４**に示す．橋軸方向地震動への対策として，前述の２形式と同様の支承部の制震デバイスに加え，**図－４**（b）に示すように主構造内に制震デバイスを設置した例である．また橋軸直角方向地震動への対策として，**図－４**（c），（d）に示すように，二次部材であるアーチリブ下横構や支柱対傾構斜材に制震デバイスを設置した例である．構造内部に設置する制震デバイスとしては，せん断降伏型ダンパーや軸降伏型ダンパーがある．過去の適用事例では，軸降伏型ダンパーを用いて総鋼重を 12%減，上部工全体工事費を５％低減でき，さらに下部工反力が 70%減少したことで基礎補強が不要となった例が報告されている[8),9)]．なお，橋軸直角方向地震動への対策として，桁橋と同様に支承部に制震デバイスが設置される例もある．



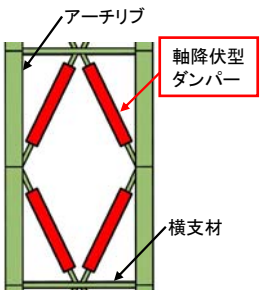
(a) 全体図



(b) 軸降伏型ダンパー（橋軸方向）



(c) せん断降伏型ダンパー（橋軸直角方向）

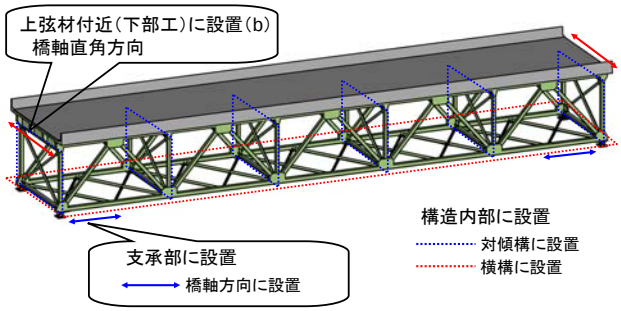


(d) 軸降伏型ダンパー（橋軸直角方向）

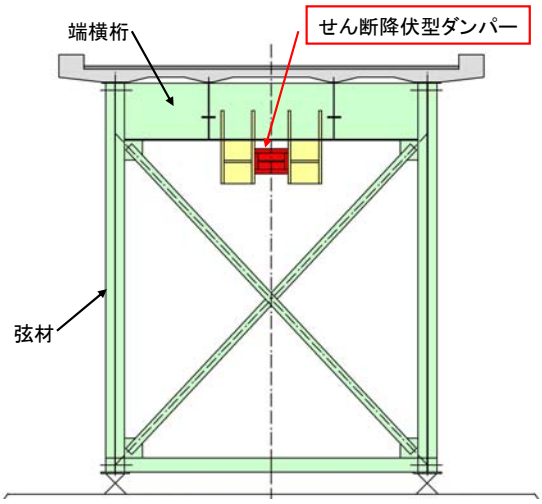
図－４　アーチ橋への適用例

３．４　トラス橋

鋼上路トラス橋を対象とした制震デバイスの適用例を**図－５**に示す. 橋軸方向地震動への対策として，桁橋と同じく支承部に制震デバイスを設置した例である．また橋軸直角方向地震動への対策として，アーチ橋と同様の構造内部の制震デバイスに加え，**図－５**（b）に示すように橋台パラペットの上弦材付近の高さ位置にせん断降伏型ダンパーを設置した例である．これにより，重量が大きい床版の慣性力を直接抑え，上部工応答変位や支承のアップリフトを効率良く抑えることが可能である．過去の適用事例では，免震支承と粘性ダンパーを併用して，上部工，下部工ともに少ない補強で作用応力を許容値以内に収めることができた例が報告されている [2)]．なお，橋軸直角方向地震動への対策として，桁橋と同様に支承部に制震デバイスが設置される例もある．



（a）全体図



（b）せん断降伏型ダンパー
（桁端部上弦材付近に設置）

図－５　トラス橋への適用例

４　まとめ

近年実績が増加している制震デバイスを用いることで，より合理的な耐震設計が可能となる．本稿では，各制震デバイスの特徴とともに，橋梁形式毎に制震デバイスの適用例を紹介した. 制震デバイスは，種類によってその特徴が異なるため，期待する効果に適した制震デバイスを選定することが重要である.

５　参考文献

1）（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説　V 耐震設計編，丸善出版株式会社，平成 24 年 3 月

2）新井弘，阿部淑夫，船津真一：柳沢第三橋補強工事報告，横河ブリッジホールディングス技報 No.36，pp.96～105，2007.1

3）（財）土木技術センター：道路橋の免震・制震設計法マニュアル（案），2011.12

4）（独）土木研究所ほか：橋梁に用いる制震ダンパーの性能検証法及び設計法に関する共同研究報告書（その 1　制震ダンパーの動的挙動に関する振動台加振実験），共同研究報告書第 438 号，2012.3

5）太田外気晴，江守克彦，河西良幸：耐震・振動・制御，共立出版，2001.12

6）（社）日本橋梁建設協会　技術委員会　設計小委員会：鋼橋の制震技術の最前線，平成 21 年度技術発表会資料，2009

7）上野慶太，前川 勉，森野真之：ダンパーブレースを用いた既設方杖ラーメン橋の耐震性向上策，土木学会第 62 回年次学術講演会，6-221, pp.441-442, 2007.9

8）四條利久磨，森下邦弘，川島一彦，浦辻和幸，田中昭人：ダンパーブレースによる新王渡橋（仮称）の耐震性向上，土木学会第 58 回年次学術講演会，I-033, pp.65-66, 2003.9

9）橋の制震／王渡橋上部工工事：日経コンストラクション No.367，pp.54-56，日経 BP 社，2005.1

第1会場

第Ⅱグループ

山岳トンネルにおける新覆工コンクリート養生技術の適用事例の報告

株式会社奥村組　東日本支社　土木技術部　技術１課　主任　　黒武者　貴幸

１．概要

覆工コンクリートの長期耐久性を向上させるため、材料や配合、打設時や養生の工夫が求められている。特に、養生については、さまざまな方法が提案され、実用化が進んできている。

当社では、実現場での養生環境やコンクリート性状の経時変化に応じて効果的に養生することに着目し、打設後のコンクリート内部温度や表面温度、坑内温度や湿度を調査し、各種養生方法（水中養生、散水養生、湿潤養生、乾燥収縮低減材、改質材）の効果を確認した上で、28 日散水養生（写真－１参照）などを実施工に適用し、効果を確認してきた。

本報告では、これらの経過と実施工での適用事例、その効果について紹介する。

写真－1　台車による 28 日散水養生

２　養生技術の開発内容

養生技術の開発課題とそのねらいをまとめて表－１に示す。

表―１　養生技術の開発課題とねらい

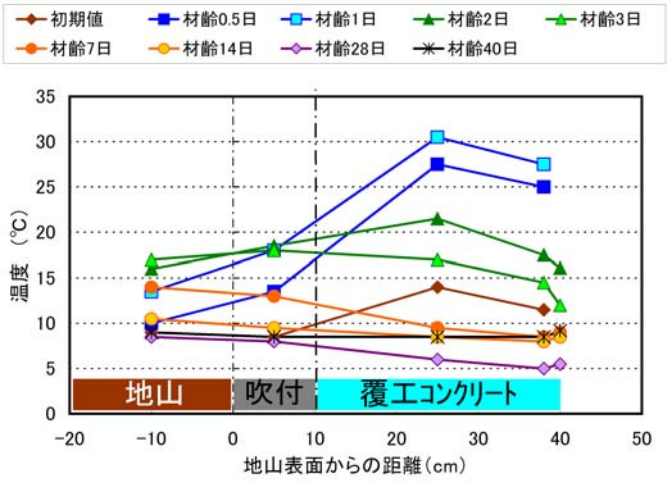
No.	開発課題	ねらい
1	覆工コンクリートにおける打設後の表面温度、内部温度の変化の確認	初期ひび割れの要因となる温度応力の実態把握
2	坑内温度、坑内湿度の変化の確認	ひび割れの要因となる坑内環境の把握
3	室内実験による各種養生方法の効果の確認	坑内湿潤環境を考慮した性能確認
4	28日継続散水システムでの耐久性検証	乾燥収縮抑制に最も効果のあると思われる散水養生の性能確認
5	覆工表面の温度・湿度を積極的に管理する加温・加湿自動制御機能付き養生システムの開発	初期材齢時の温度応力や乾燥によるひび割れ要因を完全排除するため、積極的に表面の温度、湿度を自動でコントロールする養生方法の確立

No.５の開発は、非排水トンネル（ウォータータイト形式）や超大断面トンネル、低土被りトンネルなど、巻厚が大きく温度応力によるひび割れが生じやすい場合や、外気の影響を受けやすく養生効果が得にくい坑門近くの打設の場合で、特に効果を発揮するものと考える。

３　各開発課題の適用事例

３．１　打設後の表面・内部温度の変化

図－１は、青森県発注の道路トンネルにおいて、２月から４月の間、覆工コンクリート打設後の周辺温度の変化を現場で計測した結果である。ピンク色が打設直後の初期値で、材齢１日で覆工中央部の温度が 30℃と最大



図―１　打設後の覆工周辺の温度変化

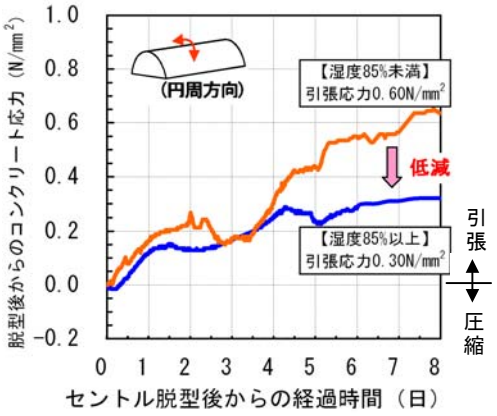
になり、その後徐々に低下して、材齢 28 日では覆工表面で 5℃まで下がっている。覆工背面の吹付けコンクリートや地山の温度は、コンクリート温度に追随して変化している。春先の計測であり覆工表面の温度が 5℃程度となっているが、厳寒期では内部と表面との温度差が大きくなると予想する。巻厚が大きいトンネルの場合は、内部温度が上昇しやすくなり内外温度差が顕著になると推察できる。

３．２　坑内温度・坑内湿度の変化

表－２に、四国の道路トンネル（延長 1,350m）掘削中、坑口から 200m地点と中央地点において、貫通前後および外気遮断用の遮風シートを設置した時の坑内風速・温度・湿度の変化を示す。温度については、坑口から 200mの位置で、貫通後 15.4℃であるが、貫通前とシート設置後では、それぞれ 22.8℃、20.8℃となり、5℃以上遮断効果が出ている。湿度については、坑口から 200mで貫通後 56.8%であるが、貫通前とシート設置後では、それぞれ 75.1%、86.1%となり、15%以上の高湿度状態となっている。また、図－２では、脱型後の天端部における引張強度の経時変化を、坑内湿度が 85%未満の場合と 85%以上の場合とで比較した。脱型後 4 日以降、コンクリート応力に差が出はじめ、7 日後には、約 50%の低減効果が確認できる。常時、坑内湿度が 85%以上維持できるように施工順序や遮風シートを工夫すれば、初期材齢時の内部に生じる引張応力は低減でき、潜在的なひび割れ要因が排除できる。

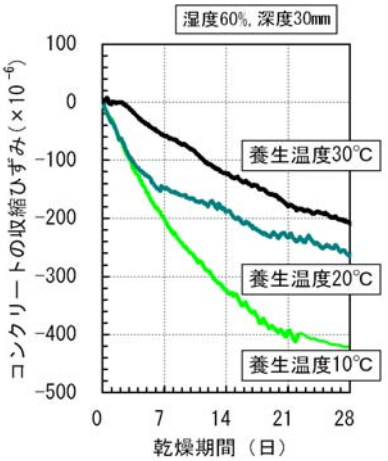
表―２　坑内の風速・温度・湿度の変化（貫通前後・遮風シート）

	各区間の平均値								
	風速(m/s)			温度(℃)			湿度(%)		
	坑口200m	中央	平均	坑口200m	中央	平均	坑口200m	中央	平均
貫通前	0.23	0.33	0.28	22.5	22.8	22.7	77.4	75.1	76.3
貫通後	0.57	0.42	0.5	15.4	16.4	15.9	56.8	55.9	56.4
シート設置後	0.3	0.21	0.26	20.8	21.3	21.1	86.1	81.2	83.7



図―２　養生湿度の違いによる効果

図－３は、坑内の養生温度の違いによりコンクリートにどのような影響があるかを室内試験で確認した結果である。巻厚 300mmを模擬して縦 300mm×横 500mm×高さ 500mmの試験体を作成し、正面一面を除き周囲に断熱材（50mm）を取り付け、雰囲気温度を 10℃、20℃、30℃と変えて 28 日間養生した。コンクリートの収縮ひずみは、養生温度 10℃の場合に比べて、20℃では 40%の低減、30℃では 55%の低減となっている。坑内温度を低下させない工夫が、コンクリート内部に生じる潜在的なひび割れ要因を排除するのに、有効であることがわかる。



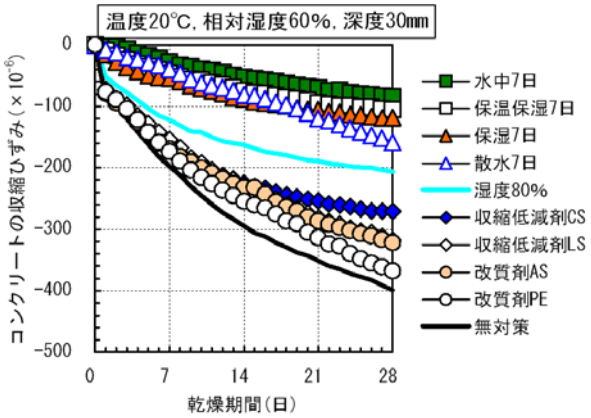
図―３　養生温度の違いによる効果

３．３　室内実験による各種養生方法の効果

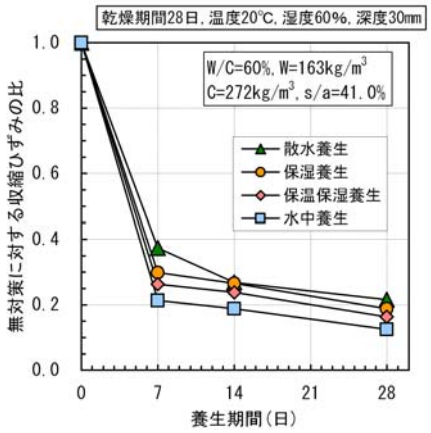
覆工の主な養生方法には、水中養生、散水養生、湿潤養生、収縮低減剤による水分逸散防止、改質材による表面緻密化がある。しかし、同じ材料や養生条件で、これらの効果を比較し養生性能を評価

した事例は少ない。当社は、道路トンネルで標準的に使用される配合のコンクリートを用いて、前述と同様の試験体を作成し断熱材を取り付けて、埋込み型ひずみゲージにより収縮ひずみを測定した。

図－４は、各種養生方法の違いによる収縮ひずみの経時変化である。収縮低減剤、改質材については、それぞれ２種類の性能の材料を用いて養生した。水中養生、保温保湿養生、保湿養生、散水養生は、コンクリートの水和反応を積極的に促進する方法である。一方、坑内湿度を 80%以上維持する方法や、収縮低減剤による表面塗布、改質材による表面塗布する方法は、コンクリート内部の水分をできるだけ発散させないものである。これら実験の結果から、無対策に比べて、水中養生、保温保湿養生、保湿養生、散水養生の積極的に水和反応を促進させる方法では、60%から 80%程度、収縮ひずみを抑制する効果があると言える。また、収縮低減剤や改質剤を用いた養生については、無対策に比べて 35%以下と、収縮ひずみの大幅な改善効果は見られない。

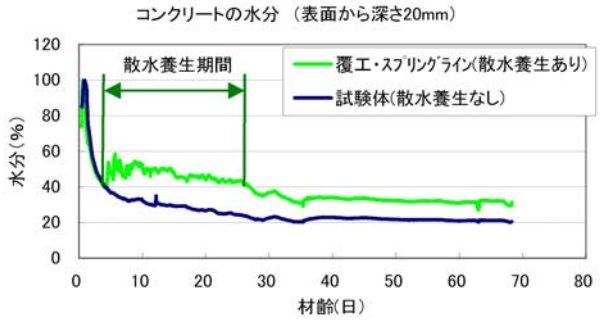


図―４　各種養生方法による収縮ひずみ



図―５　無対策に対する収縮ひずみ抑制効果

図－５は、収縮ひずみ改善効果の大きい上位４つの方法について、無対策に対する収縮ひずみの比の経時変化を示したものである。いずれの方法でも、養生 7 日間で約 80%の収縮低減効果を発揮し、それ以降 28 日まで緩やかに効果が継続する傾向になっている。

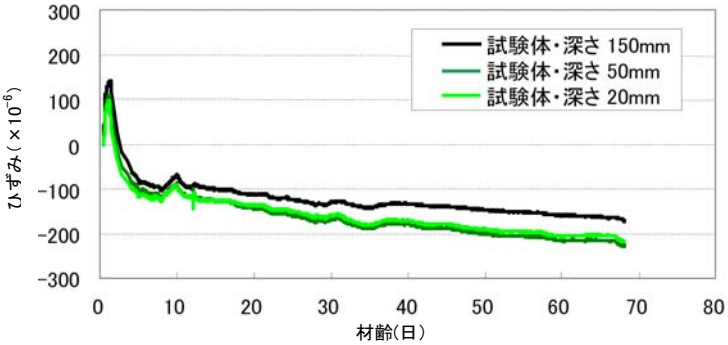


図―６　28 日間現場で散水した表面水分量

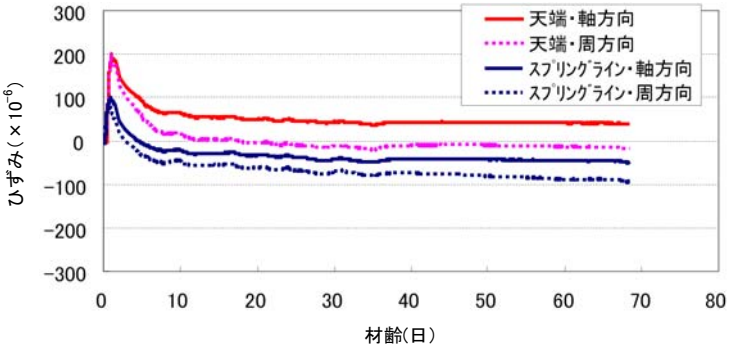
３．４　28 日継続散水システムでの耐久性検証

室内試験により、7 日間の水分供給で約 80%の収縮低減効果を得たことを示したが、実際に現場で覆工コンクリートに散水し続けた場合の効果を検証する必要があった。前述した青森県の道路トンネルで、28 日間自動で散水し続けられる養生システムを新規に考案して適用し、現地で表面水分量と実ひずみを測定した。このシステムは、写真－１にも示したように、専用台車に微量の水を噴霧する散水ノズルを取り付け、レール上の台車を自動で走行させるもので、24 時間作業員なしで行き来し、散水し続けることができる。図－６は、その覆工表面において、水分量の経時変化を 70 日間測定した結果である。図中の緑で示す範囲が、実際に連続散水した期間である。この図から、散水終了後も表面水分量を保持しており、水和反応が促進され継続できていることがわかる。

図－７は、特に養生しない試験体(300mm×300mm×300mm)を坑内に設置し、深さ 20mm、50mm、150mmにおけるコンクリートの収縮ひずみを計測した結果である。図－８は、散水養生した覆工コンクリート内(深さ 150mm)でひずみを計測した結果である。養生しない試験体では、材齢 28 日において約-130×10^{-6}の収縮ひずみが生じている。これに対し、28 日間の散水養生した収縮ひずみは、約-75×10^{-6}と約 60%程度を示しており、散水養生による収縮ひずみの発生抑制効果を示している。



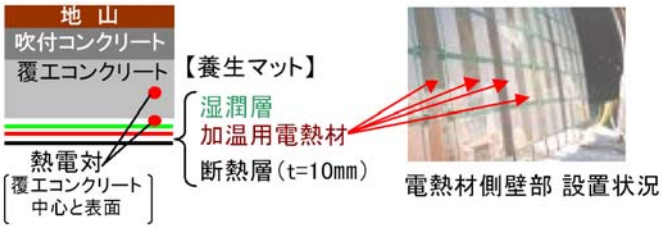
図－７ 散水養生なしの収縮ひずみ(試験体)



図－８ 散水養生した収縮ひずみ(覆工)

３．５ 加温・加湿自動制御機能付き養生システムの開発

これまでの結果から、初期材齢時の内外温度差の抑制と水和反応の促進とを同時に実施することができれば、コンクリートのひび割れ発生の抑制により効果があることに着目し、本システムを開発した。図－９に示すとおり、覆工表面側より湿潤層、加温用電熱材、断熱層を重ねた養生マットを専用台車に取り付け、バルーン方式で外に押し広げて覆工表面に密着させる。脱型直後から温度上昇し降下する 7 日間を対象に、コンクリート内外の温度差が 3℃以内になるよう加温用電熱材を自動制御し、同時に、自動給水システムにより表面湿度が 85%を下回らないよう給水して湿潤状態を維持する。現在、大きな巻厚の覆工コンクリートやマスコンの温度応力抑制に有効な技術として特許出願している。中部地整のトンネル現場で採用され、現在、コンクリートの特性に関するデータを採取中である。



図―９ 加温・加湿自動制御機能

４ 結び

脱型直後、28 日までの間に変化するコンクリート特性に応じた養生方法を適用することで、効果的にひび割れ発生を抑制でき、覆工コンクリートの長期耐久性を向上できる。今後も、覆工コンクリートの品質向上のため、脱型前養生も含めた創意工夫を重ねていく所存である。

参考文献

1) 廣中哲也，三澤孝史，石井敏之：覆工コンクリートの養生技術に関する一考察，トンネル工学報告集，第 20 巻，pp.15-20，2010.11

2) 三澤孝史，廣中哲也，白石祐彰，東 邦和：覆工コンクリートの養生効果について，奥村組技術研究年報，No.36，2010.8

Ｆｉ-mix（ファイ　ミクス）工法（自然石舗装用モルタル工法）の開発と施工事例

大林道路株式会社　技術研究所　　○小嶋　匠
技術研究所　　藤田　義憲
エンジニアリング部　光谷　修平

１　はじめに

近年，商店街モールや広場などで自然石舗装の採用が増え，車道に適用される場合も多くなるにつれ，敷きモルタル層と目地部の破壊による自然石舗装の破損事例が増えてきている。その破損原因として，交通荷重が作用することで，密度や養生の不足している敷きモルタル層が圧縮破壊し，自然石が沈下して目地モルタルが破壊するものと考えられている。また，目地モルタルは，それ自体の耐久性はあるものの，周りの変位に対する追従性がないため，破損が起きやすい。

Fi-mix 工法では，自然石舗装におけるこのような破損を防ぐため，交通荷重に対して弱点となる敷きモルタルと目地モルタルに繊維と特殊添加剤を混入することで引張補強がなされ，ひび割れの発生を抑制するとともに，モルタルと自然石との付着性を高めている。また，両モルタル材料をワンパック化することで，モルタル製造時の品質の安定を図るとともに施工性も改善されている。

２　Fi-mix 工法の概要

２．１　工法の特徴

Fi-mix 工法は，モルタルに繊維と特殊添加剤を混入することによって，その粘り強さ（靭性）を高め，自然石舗装の弱点である敷きモルタルや目地モルタルを強化する特殊モルタル工法である。本工法の特徴を挙げると，以下のような項目がある。

① 従来のモルタル工法と同様な方法で施工できる。
② 敷きモルタルのひび割れや細粒化を抑制する。
③ 目地の離脱(ポロ取れ)や角欠けを抑制する。
④ 急勾配の箇所においても，従来どおりに同様に施工ができる。
⑤ 使用材料（セメント，繊維，特殊添加剤，砂）をワンパック化することで，取扱いが楽になるとともに，安定した品質のモルタルが製造できる。
⑥ 耐久性が向上することにより，維持管理費が低減できる。

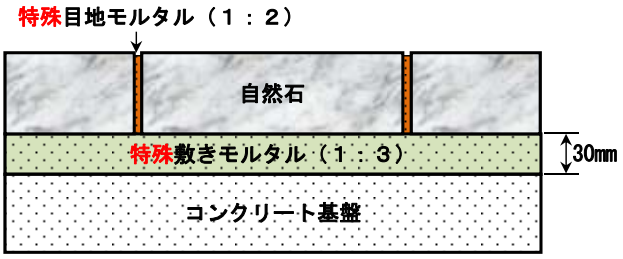
敷きモルタル用のワンパック材には，砂を除く使用材料を詰めたセミプレミックスと，砂も含めたオールプレミックスの２タイプがあるが,目地モルタル用は,オールプレミックスタイプのみである。

２．２　適用箇所

広場，公園，遊歩道など，歩行者が通行する箇所から，駐車場，アーケード街，建物アプローチなど，車両が通行する箇所までの自然石舗装に適用できる。

２．３　標準仕様

本工法の標準仕様は，図－１および表－１に示すとおりである。



図－１　標準舗装断面

表－１　モルタルの特性値

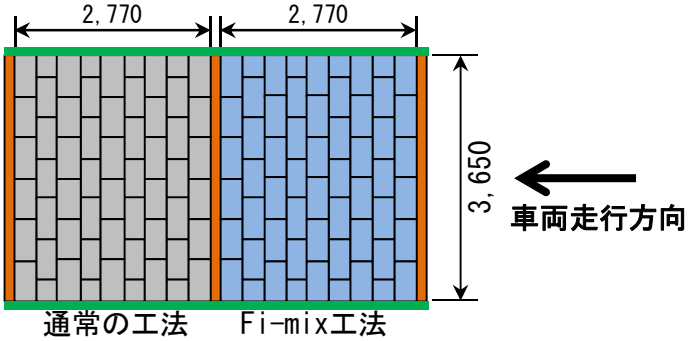
モルタル種別	配合（質量比）		
	繊維入りセメント	砂	水
敷きモルタル	25	75	10
目地モルタル	33.3	66.7	20

モルタル種別	材令	曲げ強度 (N/mm²)	折片圧縮強度 (N/mm²)
敷きモルタル	7日	4.5以上	25以上
目地モルタル		4.5以上	25以上

*敷きモルタル供試体の作製：2層に分け、0.5N/mm²の荷重で各層15回突固め
*目地モルタル供試体の作製：流し込み

３　車両走行試験

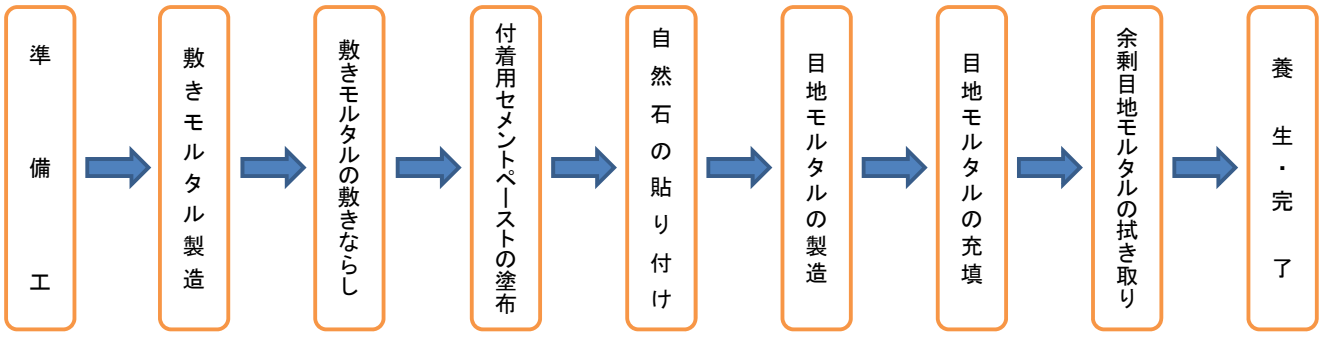
Fi-mix 工法の耐久性を確認するため，図－２に示すような試験ヤードを設けて車両走行試験を実施した。その施工手順を図－３に示す。



＊自然石の寸法：300 x 600 x 60mm
＊敷きモルタル：30mm厚、目地幅：6mm

図－２　車両走行試験ヤード

写真－１　車両走行試験状況



図－３　施工手順

使用したモルタルの室内試験結果を表－２に示す。その結果から，特殊敷きモルタルの強度は，通常のモルタルに比べ 10～20%程度大きくなっており，特殊目地モルタルの圧縮強度は，通常のモルタルと同程度だが，その他の強度は大きくなっていることがわかる。

表－２　モルタルの性状

モルタル種別	曲げ強度		折片圧縮強度		割裂引張強度		引張強度	付着強度	
	材令7日	材令28日	材令7日	材令28日	材令7日	材令28日	材令28日	材令7日	材令28日
	(N/mm²)								
通常敷きモルタル	6.13	7.43	37.5	47.2	2.37	3.17	–	–	–
特殊敷きモルタル	7.32	8.94	42.2	46.3	2.90	3.57	–	–	–
通常目地モルタル	3.84	5.61	29.9	31.8	2.11	2.20	0.90	0	0
特殊目地モルタル	4.70	6.28	28.4	29.1	2.30	2.38	1.96	1.11	1.40

写真－１に示すように，総重量 20t の大型ダンプトラックを延べ 4,271 回（49kN 換算輪数で 3,763 輪）走行させた結果，通常のモルタル工法では，石版のひび割れや目地の肌分れが見受けられ，施工面積の 50%に敷きモルタルの破損による異音が認められた。しかし，Fi-mix 工法では，ほとんど損傷や異音が認められず，大型車両の走行に対する耐久性を有することが確認できた。

４　施工事例

４．１　施工事例－１

(1) 施工概要

・施工場所：奈良県奈良市

・施工時期：平成 22 年 6 月～8 月

・施工規模：約 2,200 ㎡

・舗装断面：図－４に示す。

図－４　舗装断面（施工事例－１）

(2) 施工状況

奈良市内にある美術館で，急勾配の搬入車通路と駐車場における自然石舗装に採用された。当現場では，材料として，セミプレミックスタイプのワンパック材と現地で調達した砂（佐賀県唐津産）を使用した。施工後の状況を写真－２に示す。

【急勾配通路】

【駐車場】

写真－２　施工後の状況（施工事例－１）

(3) 供用後の状況

供用後約２年で２冬経過した段階であるが，良好な供用性状を維持している。

４．２　施工事例－２

(1) 施工概要

・施工場所：東京都千代田区

・施工時期：平成 23 年 7 月～8 月

・施工規模：約 120 ㎡

・舗装断面：図－５に示す。

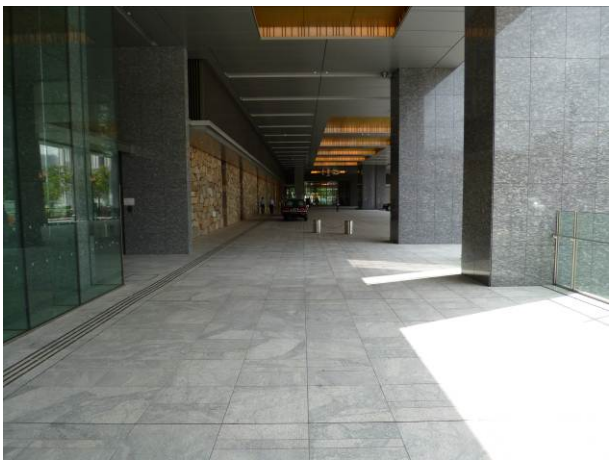
図－５　舗装断面（施工事例－２）

(2) 施工状況

東京都内のホテルのエントランスにおける自然石舗装に採用された。当現場では，オールプレミックスタイプのワンパック材を使用した。施工後の状況を写真－３に示す。

(3) 供用後の状況

供用後１年で１冬経過した段階であるが，良好な供用性状を維持している。



写真－３　施工後の状況（施工事例－２）

４．３　施工事例－３

(1) 施工概要

・施工場所：宮城県仙台市

・施工時期：平成 23 年 8 月～10 月

・施工規模：約 60 ㎡

・舗装断面：図－６に示す。

図－６　舗装断面（施工事例－３）

(2) 施工状況

仙台市内の大学構内の道路で，注意換気や景観性を目的として，横断的に幅 60cm 程度で断続的に施工する自然石舗装に採用した。当現場では，オールプレミックスタイプのワンパック材を使用した。施工後の状況を写真－４に示す。

(3) 供用後の状況

供用後１年で１冬経過した段階であるが，石のぐらつきや目地部の離脱も認められず，良好な供用性状を維持している。

写真－４　施工後の状況（施工事例－３）

５　おわりに

現道における施工および試験施工を通じて，Fi-mix 工法の有効性を実証できたと考えている。今後、早強セメントベースの材料も実用化し、早期復旧工事にも対応していく予定である。

＜参考文献＞

1) 土木学会舗装工学委員会舗装環境小委員会：街路における景観舗装－考え方と事例－，土木学会，2007 年
2) 藤林、北岡、清水：特殊繊維を使用した車道用自然石ブロック舗装工法の開発，第 29 回日本道路会議論文集，2011 年
3) 嶋崎明代：ガラス繊維混入モルタルによるブロック舗装の耐久性向上，第 23 回日本道路会議論文集，1999 年

取替用高強度軽量プレキャスト床版（HSL スラブ）

㈱IHI インフラ建設　PC 事業部　技術部長　○中村定明
㈱IHI インフラ建設　試験センター　副センター長　小林　崇

１．　はじめに

近年，車両の大型化や交通量の増加によって，既設道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下，RC 床版）の劣化が報告されている。床版の補修・補強工法の一つであるプレキャスト床版による床版取替え工法は，現場施工や交通規制の期間短縮および分割施工による片車線の交通開放や施工中の車線の工事時間外の交通開放が可能であるなど，橋梁の補修・補強で問題となる交通規制に対して高い対応力を有している。また，プレキャスト床版は工場で製作されるため，高い耐久性や品質が保証された工法である。

床版取替え工法においてプレキャスト床版を軽量化することは，車両の大型化や交通量の増加による既設鋼主桁の応力増加負担の軽減に有効である。また，運搬や架設機材の簡素化によるコスト縮減効果も期待できる。そこで，高強度軽量プレキャスト PC 床版（以下，HSL スラブ）による床版取替え工法を開発し，これまでに 20 橋以上の施工実績を有する。

本稿では，プレキャスト床版による床版取替え工法の特長である工事期間中の交通確保について，分割施工の際に配置する橋軸方向接合部の疲労耐久性の確認を目的として行った移動式輪荷重走行試験の結果を示すとともに，分割施工により片側車線の交通を確保して行った施工事例について報告する。

表-1 コンクリートの要求性能

項目	単位	材齢 2 日	材齢 28 日
単位体積重量	kN/m³	19.0 以下	
圧縮強度	N/mm²	35 以上	50 以上
静弾性係数	N/mm²	19500 以上	22000 以上

２．　高強度軽量コンクリートの性能

材料としての要求性能を表-1 に示す。

HSL スラブに使用する高強度軽量コンクリートは，粗骨材に膨張頁岩系の構造用人工軽量骨材を使用することにより，単位体積重量，圧縮強度および

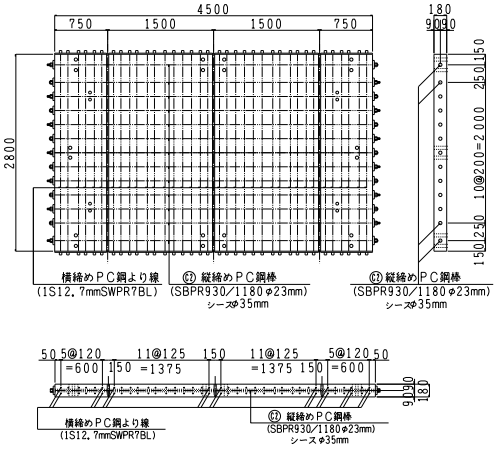


図-1 供試体 1 概要図

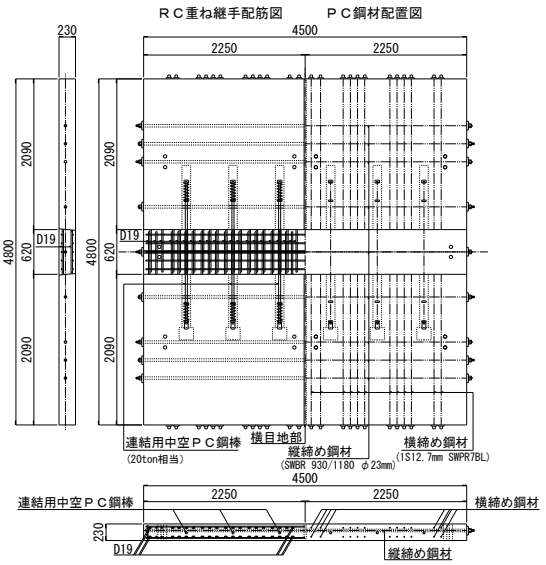


図-2 供試体 2 概要図

静弾性係数の要求性能を確保している。

３．　床版の疲労耐久性

道路橋床版は，輪荷重による疲労に対して高い耐久性が要求される。HSL スラブおよびこれを用いた床版取替え工法の開発に際しては，床版標準部および橋軸方向の接合部について，移動式輪荷重走行試験により走行車両に対する疲労特性の確認を行っている。

３．１　試験供試体の製作

試験供試体は，床版標準部をモデル化した供試体 1 および橋軸方向接合部をモデル化した供試体 2 の 2 体を製作した。供試体 1 は，図-1 に示すように 1.5×2.8m および 0.75×2.8m の HSL スラブ各 2 枚を接合した 4.5×2.8m の試験体である。供試体 2 は，図-2 に示すように 4.5×4.8m とし，2.25×2.09m の HSL スラブ 4 枚を幅 0.62m の部分に膨張コンクリートを用いた現場打ち接合にて一体化させた。供試体 1 の床版厚は，道路橋示方書の PC 床板の計算式を用い 180mm とした。供試体 2 は，接合部が RC 構造であるため，床版厚はハンチ部（一般的な 50mm を想定）を打下した厚さ 230mm(=180+50mm)と設定した。ここで，接合部に配置される鉄筋量は，鉄筋応力度が許容応力度（120N/mm^2）以下となるように決定し，接合部には耐久性の向上を目的として，コンクリートの平均圧縮応力度が 1.0N/mm^2 程度となるように付加的なプレストレスを導入した。

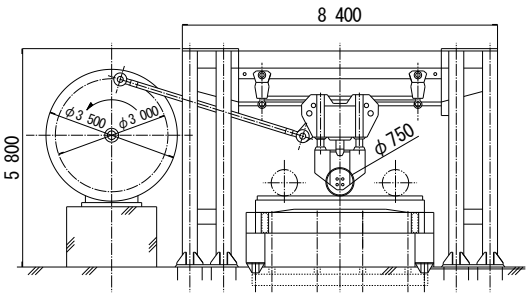


図-3 移動式輪荷重走行試験機

３．２　移動式輪荷重走行試験

図-3 に試験に使用した移動式輪荷重走行試験機を示す。本試験機は，鉄輪が一列に並べた 500×200mm の載荷ブロック上 3.0m を繰返し走行するものである。図-4 に供試体 1，および図-5 に供試体 2 の輪荷重走行範囲を示す。ここで，供試体-2 ではプレキャスト版と現場打ち接合部との境界面の疲労耐久性を確認するため，この位置で最大せん断力が生じるよう設定したものである。

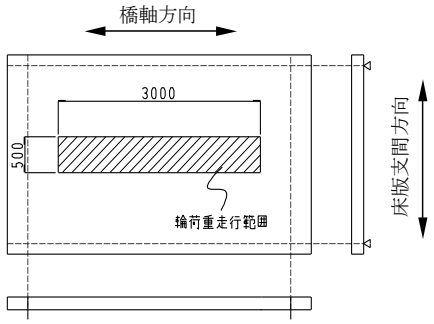


図-4 供試体 1 走行範囲

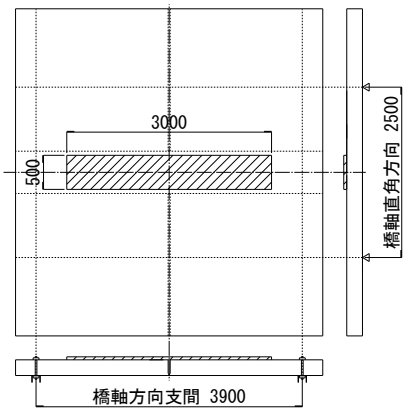


図-5 供試体 2 走行範囲

図-6 に走行試験の載荷パターンを示す。試験は初期荷重を 157kN とし，1 分間に 40 回の走行で 4 万回走行毎に荷重を 19.6kN 増加させる階段状荷重漸増載荷により行い，両供試体とも破壊荷重に達するまで繰り返した。

３．３　HSL スラブの疲労耐久性

図-7 に試験体中央部の変位と走行回数の関係を示す。ここで，CASE1 が供試体 1 に対する，CASE2 が供試体 2 に対する走行試験の結果である。また，基準 RC 床版とは，国土交通省土木研究所で行われた平成 8 年版道路橋示方書による RC 床版（床版厚 250mm）の走行試験の結果である。

本試験により，床版厚 180mm の供試体 1 および床版厚 230mm の供試体 2 ともに，床版厚 250mm の RC 床版に比べ高い疲労耐久性を有することを確認する事ができた。[1),2)]

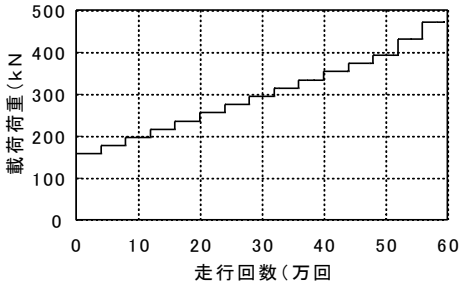


図-6 輪荷重走行パターン

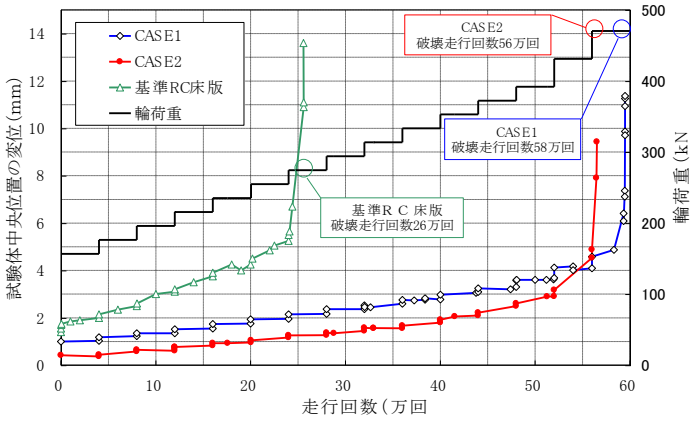


図-7 走行試験結果

４．　片側車線を確保した床版取替事例

４．１　工事概要

本橋は，一般国道 17 号線の三国峠に位置する橋梁であり，昭和 33 年の架橋から 47 年が経過している。この間，鋼板接着などにより床版を補強しながら供用されてきたが，床版コンクリート上面に著しい損傷が確認されたため，床版取替え・橋面防水・塗装などの橋梁補修工事が行われた。写真-1 に床版取替え施工前の状況を示す。

写真-1 施工前

床版取替工事では，TL-20 から B 活荷重へのグレードアップおよび既設鋼主桁の応力負担増加の軽減を目的として HSL スラブが採用された。また，施工は，近隣の交通事情から片側一車線の交互通行により交通を確保しながら床版の取替えが行える分割施工とした。さらに，走行車両の安全性の確保から部分的に既設床版の撤去と新設床版の架設を繰り返して行われた。

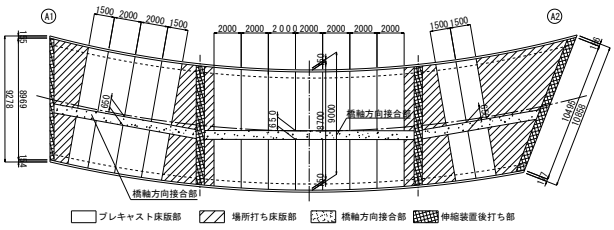


図-8 パネル割

４．２　床版の分割

本橋は，平面線形 R=80m，横断勾配 6%の山間地特有の厳しい道路線形にあり，また，片側一車線の交通を確保して施工であるため，車両の軌跡より通行が可能となるよう橋軸方向の分割位置を決定した。また，本橋では，全体の 30%を場所打ち床版とすることにより平面線形に対応した。図

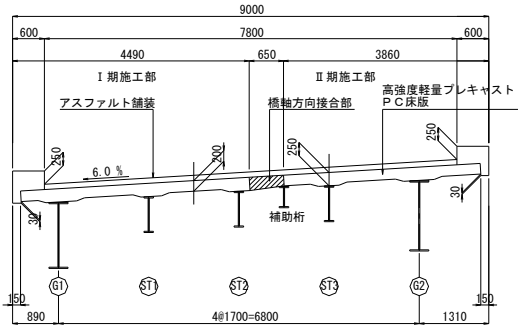


図-9 断面図

-8 に床版取替えのパネル割りを，図-9 に断面図を示す。ここで，分割施工により生じる橋軸方向の接合部は，RC 構造として設計し，さらに付加的にプレストレスを導入することにより耐久性の向上を図っている。

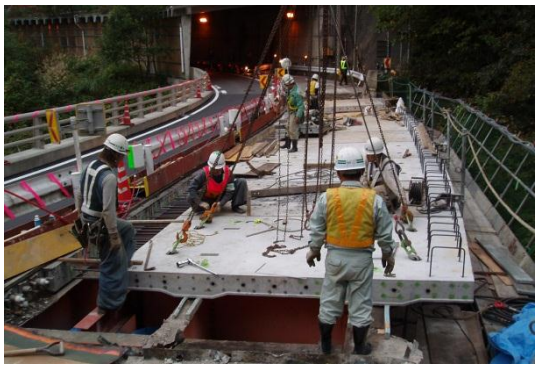


写真-2 HSL スラブ架設状況

写真-3 完成後

４．３　施工概要

施工は，Ⅰ期施工の間に一時的に生じるⅡ期施工側の既設床版の張出し部に補助桁を設置することから始まり，舗装・壁高欄を撤去，既設床版を切断し，25t ラフタークレーンにより既設床版の撤去および HSL スラブの架設を行った（写真-2)。HSL スラブを架設後，床版間の目地部やジベル孔，床版下面と鋼主桁の間に無収縮モルタルを充填し，場所打ち床版部の施工を行った後に縦締め PC 鋼材を緊張し，HSL スラブの一体化を行った。その後，橋面工，通行車線の切り替えを行い，同様の作業でⅡ期施工側の HSL スラブを取替えた後，橋軸方向の接合部を施工して橋軸直角方向の一体化を行った。これにより，片側一車線の交通を確保した状態での，片車線 13 枚計 26 枚の HSL スラブによる床版取替え工事を完了した。写真-3 に床版取替え施工後の状況を示す。

５．　おわりに

本稿では，移動式輪荷重走行試験による HSL スラブの疲労耐久性について述べ，さらに HSL スラブを用いた床版取替え工法において分割施工により片側一車線の交通を確保した事例の報告を行った。HSL スラブの疲労耐久性については，標準部および橋軸方向の接合部とも高い耐疲労特性を有する事が移動式輪荷重走行試験により確認できた。また，実際の床版取替え工事では複雑な線形を有する橋梁に対しても安全に施工を完了することができ，本工法が当該工事への高い対応力を有する事を示すことができた。

今後，プレキャスト床版による床版取替え工事の重要性は増すものと思われ，本稿が，その一助となれば幸いである。

【参考文献】

1) 中村，深山．小野辺，山下：高強度軽量プレキャストＰＣ床版の疲労耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.571-576，2002

2) 立松，中村，小野辺：高強度軽量プレキャストＰＣ床版接合部の疲労耐久性，第 14 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.187-192，2005.11

海岸護岸の越波抑制に資する新たな工法の研究

北陸地方整備局　新潟港湾空港技術調査事務所　設計室　清水　利浩

1　はじめに

福井港海岸に設置されている護岸の越波対策として，構造形式の検討を行った．図-1に対策範囲を示す．対策にあたっては，侵食海岸に設置されている護岸に求められる要求性能として，越波流量の抑制のほかに前面の海底地形に極力影響を与えない構造形式が望ましいと考えた．さらに，構造形式の選定においては、水理模型実験（二次元水路）による水理特性の確認を行い、より経済的となる断面の選定に努めた．

図-1　福井港海岸　対策範囲

2　構造形式

(1) 現況護岸の構造

対策を必要とする現況護岸の標準断面を図-2に示す．護岸構造は，前面に消波ブロックを有する重力式護岸である．

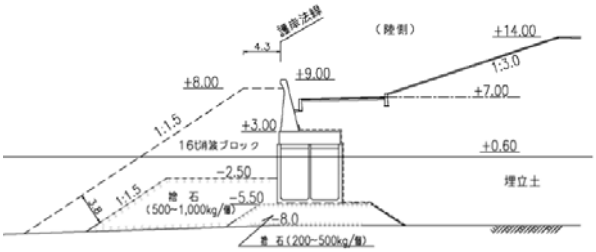


図-2　既設護岸標準断面

(2)構造形式の抽出（対策案）

許容越波流量を低減させる対策の構造形式イメージを図-3に示す．福井港海岸では，これまで沖合に大規模潜堤を設置し波浪の制御を行ってきた．潜堤は消波ブロックを海面上に出す離岸堤に比べて経済性で有利になることや，漂砂制御に優れていることを確認しているため，本対策区間の構造もその知見を活かすことを考えた．今回対策する区間は越波流量の抑制を最重要視することから，波浪を護岸の直前面で制御すべく，既設護岸消波工前面にさらに消波ブロックを腹付けし，ブロック天端は水面に没する形をターゲットにして水理模型実験を行った．本構造形式を，消波ブロック腹付工法（以下，腹付工法）と呼ぶ．

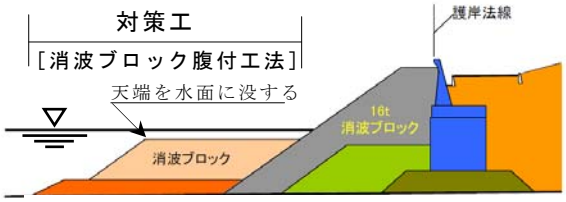


図-3　構造形式イメージ

3　検討方針

本護岸に求める要求性能に対し，水理模型実験での確認事項を以下のとおりとした．実験では，越波実験・反射波実験・安定実験により基礎データを計測した．

(1)実験での検討断面

腹付工法における最適な天端幅および高さの組み合わせを検討するため，図-4の組み合わせで検討を行った．

［検討断面の確認事項］

項　　目	目標とする値	摘　　要
許容越波流量	0.02m^3/m/程度	背後が重要な地区
反射率	極力抑制	前面の地形に与える影響を極力少なくする
消波ブロックの安定性	被災率1%	飛散等を考慮

(2)実験条件

a) 使用施設

実験施設は，当所が所有する長さ59.0m，幅1.25mの二次元造波水路を使用して行った．

b) 模型縮尺

実験の模型縮尺は，実験対象施設の規模や波浪条件を考慮し1/50(歪み無し)とした．

c) 海底勾配

深浅測量結果により1/30と設定した．

d) 波浪条件

実験で用いた波浪条件を表-1に示す．

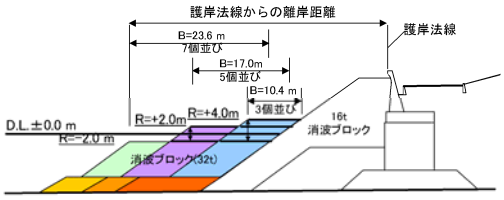


図-4　腹付け天端幅・高さの組み合わせ

表-1　波浪条件

	波種類	有義波高 $H_{1/3}$	周期T_0	作用波数	波群
越波実験	50年確率波	6.5m	13.2s	200	3
反射波実験	年数回波	5.2m	10.0s	200	1

4　実験結果

(1) 現況の把握

a) 越波流量

現況断面(図-2)のH.H.W.L.(+1.1m)時において，入射波高を$H_{1/3}$=6.0m，6.5m，7.0m(周期一定 $T_{1/3}$=13.2s)と変化させた場合の時間平均越波流量の結果を図-5に示す．

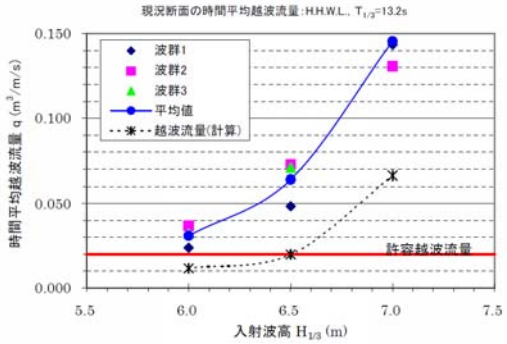


図-5　現況断面における入射波浪別越波流

同図によると，入射波高の増加に伴い，線形的に越波流量が増加しており，設計波浪の波高6.5mでは許容越波流量の約3倍の越波流量が発生することが判った．

b) 反射率

現況断面におけるH.W.L時の場合，反射率(kr)は0.37であった．

(2)腹付工法の実験結果

腹付工法の天端幅・高さの違いによる越波流量及び反射率の比較を図-7および図-8示す．図中

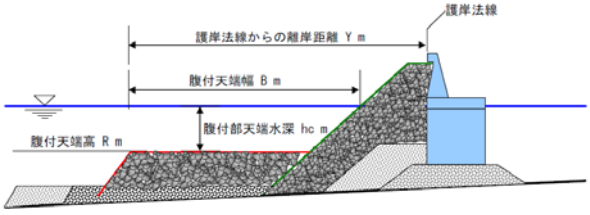


図-6　各部名称・記号

に示す記号の表記は 図-6を参考にされたい.

a) 天端幅 3個並び（B=10.4m）の場合

越波流量はR=±0.0m（静水面付近）をピークとする山型状の分布を示す．R=－2.0m～＋2.0m間は許容越波流量を超えるが，R=＋4.0mでは0.0135 $m^3/m/s$ となり，許容越波流量を満足する．一方、反射率は天端面が水没しているR=－2.0m～±0.0mではKr≒0.21～0.22と低いが，天端面が水面より高いR=＋2.0m～＋4.0mになると，急激に反射率は増加する．R=＋4.0mではKr=0.37となり，現況断面時と同じになる．

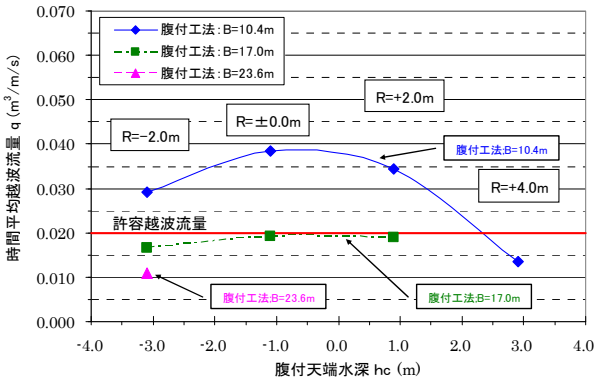


図-7　天端高の変化に対する越波流量の比較
（H.H.W.L.時）
【$H_{1/3}$=6.5m，$T_{1/3}$=13.2s：設計波】

R=＋4.0mでは腹付天端高が0.6m沈下すると許容越波流量を超えることから，天端高の保持に注意が必要となる．

b) 天端幅 5個並び（B=17.0m）の場合

天端高R=－2.0m～＋2.0m間の越波流量は許容越波流量よりやや少なく，R=±0.0m付近をピークとする小山状の分布となる．R=－2.0mの越波流量は3波群とも許容越波流量と同等もしくは少なくなっている．反射率は，天端幅3個並びとほぼ同様の値を示す．

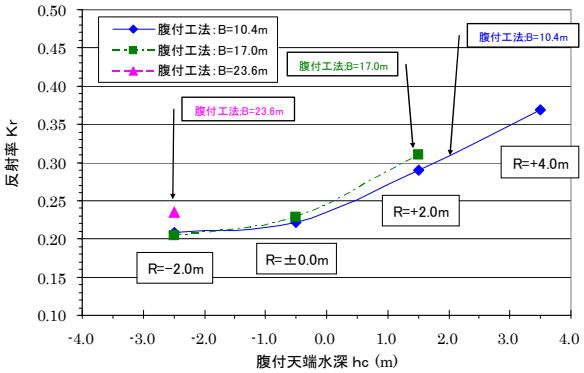


図-8　天端高の変化に対する反射率の比較
（H.W.L.時）
【$H_{1/3}$=5.2m，$T_{1/3}$=10.0s：年数回波】

上記の結果より，腹付けをする消波ブロックの天端高は，R=－2.0mが越波流量及び反射率とも低減に効果があることが判った．また，天端幅を広げることによって，天端高さの影響が軽微になることが判った．

c) 天端幅 7個並び（B=23.6m）の場合

天端幅7個並び(B=23.6m)に延伸した場合の天端高R=－2.0mを実施した．

越波流量は，0.0110 $m^3/m/s$ となり天端幅が広くなると越波量の抑制には効果がある．一方，反射率は Kr=0.24となり，やや増加傾向を示す．

d) 消波ブロック安定状況

消波ブロックの安定状況観察を越波実験に併せて行った．実験で用いた32t型消波ブロックについては，天端高を水中に没した場合(R=-2.0m)では被害が生じなかったが，R=±0.0m～＋2.0mでは，天端幅によらず被害が生じる結果となった(被害率：1.4%～7.4%)．このことから，消波ブロックの安定には，天端を水中に没することが有利であることが判った．

(3)天端幅・天端高設定の結果

これまでの実験結果から下記の理由により，腹付工法の諸元を決定した．

天端幅と越波流量の関係を図-9に示す.

［結果］天端高R=-2.0m，天端幅B=23.6mが適する.

［理由］①越波流量が最も抑制でき，消波ブロックの安定性が最も良い.

②反射率が既設護岸より低減できる.

5　最適な構造断面の検討

最終的な構造諸元を選定するために，より経済的になる断面の可能性を検討した.

検証する断面を図-10に示す．腹付工法で最も良い結果が得られた天端幅・高さを基本とし，消波ブロックの個数を減らすために，既設の消波ブロックと腹付工法の間にV字型の空間を設ける構造とした．（以下，腹付工法V字型と呼ぶ）

(1) 水理特性の検証

図-11,12に腹付工法V字型の越波流量及び反射率の結果を示す．腹付工法V字型では，0.0140 $m^3/m/s$ とやや増加したが，許容越波流量0.02 $m^3/m/s$は満足する．また，反射率はKr=0.27とほぼ変わらない値を示す．また，消波ブロックの安定性についても被害率は0%であった.

(2) 最適断面の選定

上記確認結果により，既設の消波ブロックとの間にV字型の空間を設けても性能的には大差がなく，かつ，コストの縮減に繋がることが判明したため，本検討における最適な構造形式は，腹付工法にV字の空間を設ける，腹付工法V字型とした.

6　おわりに

今回選定した対策断面は，福井港海岸に求められる性能を満たし，十分現地で適応できる結果が得られた．ただし，全国的には例のない形式であると思われるため、現地施工時には十分注視していく必要がある。

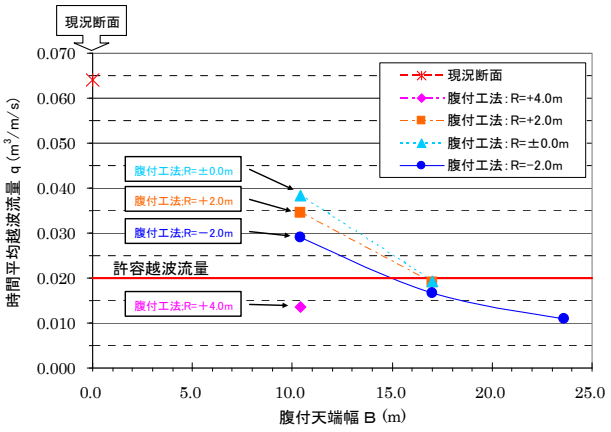


図-9　天端幅の変化に対する越波流量の感度分析
(H.H.W.L.時)
【$H_{1/3}$=6.5m，$T_{1/3}$=13.2s：設計波】

図-10　腹付工法V字型のイメージ

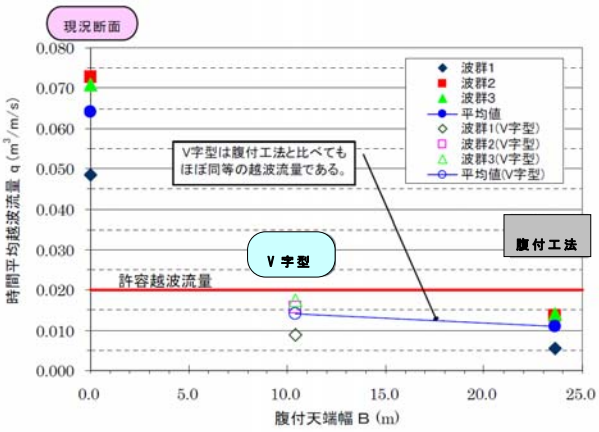


図-11　腹付工法と V 字型の越波流量の比較
(H.H.W.L.時)
【$H_{1/3}$=6.5m，$T_{1/3}$=13.2s：設計波】

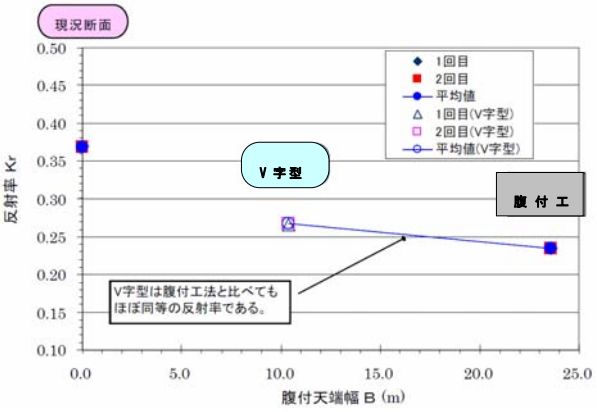


図-12　腹付工法と V 字型の反射率の比較
(H.W.L.時)
【$H_{1/3}$=5.2m，$T_{1/3}$=10.0s：年数回波】

第1会場

第Ⅲグループ

北陸自動車道　白山インターチェンジの開通

中日本高速道路㈱　金沢支社　金沢保全・サービスセンター　　大橋　由紀雄

１　はじめに

２０１２年４月２１日に北陸自動車道（北陸道）白山インターチェンジ（ＩＣ）が、石川県内の北陸道１０番目のＩＣとして、小松ＩＣ～金沢西ＩＣ間の開通４０周年の記念すべき年に完成し、開通することとなった。

白山ＩＣは、図－１と写真－１に示すとおり石川県が整備する金沢外環状道路海側幹線（海側幹線）と北陸道を連結し、高速交通ネットワークを形成することを目的として整備されたＩＣであり、接続する海側幹線Ⅱ期区間の４．１ｋｍも同日開通している。整備手法として石川県が事業主体となる『地域活性化ＩＣ制度』を活用しており、２００９年１０月に工事着手し、石川県と協議・調整を重ね今回完成に至ったものである。

本稿では、白山ＩＣの整備にあたって得られる効果や環境負荷低減や料金収受業務の効率化の面で取り組んだ内容及び開通後の交通状況について報告を行うものである。

図－１　白山ＩＣ位置図

写真－１　白山ＩＣ周辺写真

２　白山ＩＣの概要

白山ＩＣの概要は表－１に示すとおりであり、石川県が事業主体として地域活性化ＩＣ制度を用いて整備を行った。中日本高速道路㈱（ＮＥＸＣＯ）は制度要綱に基づき、北陸道本線ランプ部からノーズまでの土工及び舗装の構築と、料金収受に係る施設（トールゲート、料金所）の施工を行った。また、石川県の事業区分であるインターノーズ間においては北陸道に近接していることから石川県より工事を受託し、土工、舗装、道路付属物等の施工を行った。

表－１　白山ＩＣの概要

路 線 名	北陸自動車道
連結位置	白山市中新保町
連結施設	主要地方道松任宇ノ気線 (金沢外環状道路海側幹線)
ＩＣ形式	不完全クローバー型(上下線分離)

同日開通した海側幹線Ⅱ期区間と北陸道は、カルバートボックス（中新保アンダー）で立体交差しており、施工に際し北陸道への影響が懸念されるため、ＮＥＸＣＯが石川県より受託し施工を行った。中新保アンダーの施工においては非開削で施工するＨＥＰ＆ＪＥＳ工法を採用している。北陸道美川ＩＣ～金沢西ＩＣ間約３万台／日の断面交通を通しながらの施工となるため、２４時間体制の路面計測を併せて実施することで、供用中の北陸道に影響を与えることなく約４年間で３基のボックスカルバートの施工を終えることができた。

３　白山ＩＣの整備効果

白山ＩＣは北陸道と海側幹線を連結し、高速交通ネットワークを形成することで様々な役割が期待されるが、ここではその整備効果を具体的に３点紹介する。

３．１　周辺道路の交通渋滞の緩和

白山ＩＣ整備前までは、金沢西ＩＣなどを利用する車が国道８号に集中し、慢性的な交通渋滞が発生していたが、ＩＣの整備により国道８号から海側幹線などへ交通が分散・転換されることで交通渋滞の緩和につながるものである。開通後の交通状況については後述の６で詳細を説明する。

３．２　物流の効率化

白山ＩＣ周辺には多数の工業団地が存在し、ＩＣ整備により従来の金沢西ＩＣ利用と比較すると図－２のとおり北陸道までの所要時間は約１０分間短縮され、物流の効率化が図られるものである。

図－２　工業団地群からの所要時間

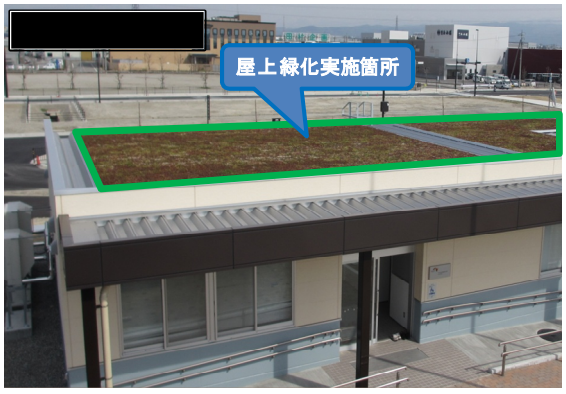
３．３　渋滞緩和による環境負荷低減

前述の周辺道路の交通渋滞の緩和や北陸道へのアクセス改善などの交通の円滑化によってCO_2排出量が年間で約８３０ｔ削減される見込みであり、約８３０ｔのCO_2を吸収する能力は、森林約７８ｈａに相当する。

４　白山ＩＣにおける環境負荷低減の取り組み

４．１　屋上緑化の採用

白山ＩＣ上り線料金所建屋では、乾燥に強い多肉植物のセダムを使用した写真－２に示す屋上緑化を行うことで地球温暖化抑制に取り組んでいる。これにより建物への熱の蓄積を抑制する断熱効果、夏期の温度上昇の軽減・冬期の保温による省エネ効果、植物の光合成によるCO_2削減などの効果が期待される。

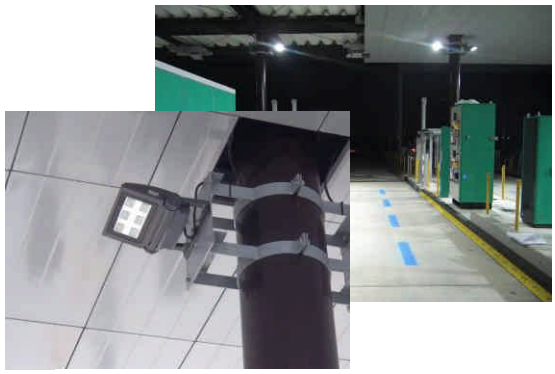


写真－２　料金所建屋の屋上緑化

４．２　ＬＥＤ照明の採用

白山ＩＣのトールゲートで使用している照明器具は、写真－３のようにＬＥＤ投光器を採用している。ＬＥＤ照明は、高照度が要求される料金所の照明に適しており、長寿命のＬＥＤを使用することでランプ交換の手間と、交換作業に伴うレーン閉鎖時間を削減できる。

従来採用していた蛍光灯と比較すると、年間消費電力、年間CO_2排出量ともに約３５％削減される見込みである。

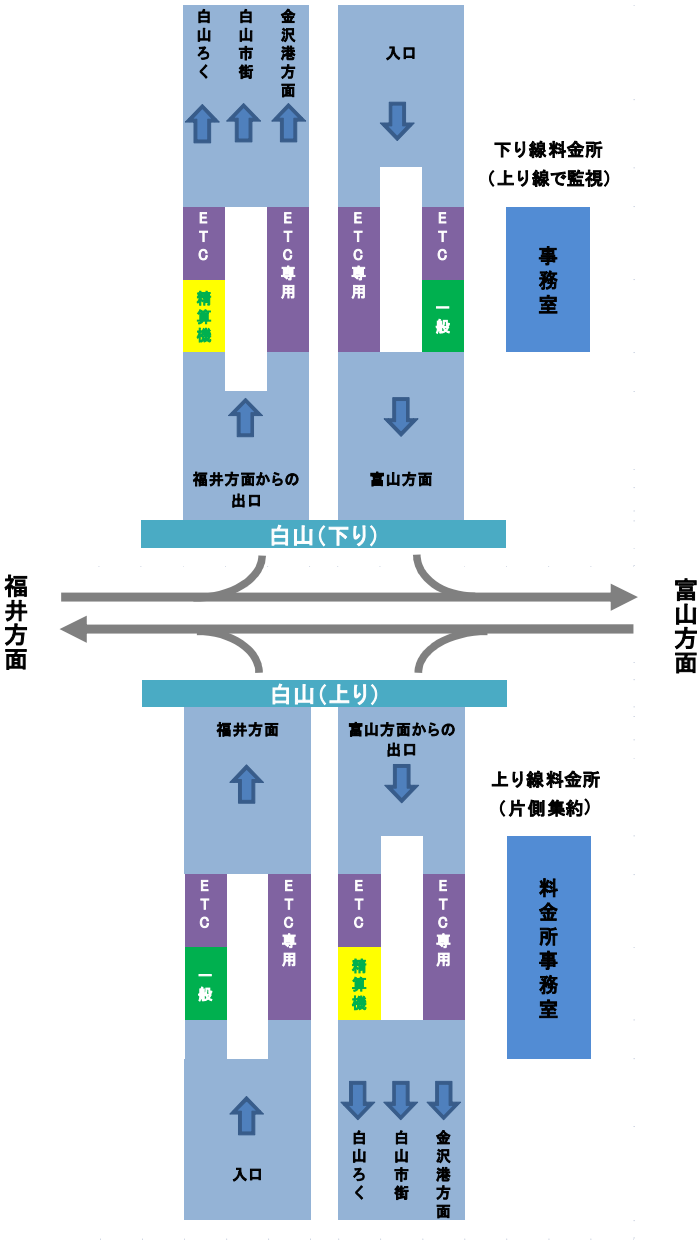


写真－３　トールゲートＬＥＤ照明

５　料金収受業務の効率化の取り組み

白山ＩＣは上下線分離のＩＣ型式を採用しており、出入り口は北陸道をはさんで上り線側（福井方面への入口と富山方面からの出口）と下り線側（富山方面への入口と福井方面からの出口）に分かれており、１つのＩＣで料金所が２箇所存在することになる。

料金収受業務の効率化を目的として、通常であれば２箇所の料金所で行うお客さまのサポートやトラブル時の対応を上り線側の１箇所に集約し、下り線側は遠隔設備にて対応する新しい試みや、出口のＥＴＣ・一般の混在レーンには図－３に示すとおりすべて料金精算機を導入し、収受業務の機械化対応に取り組んでいる。

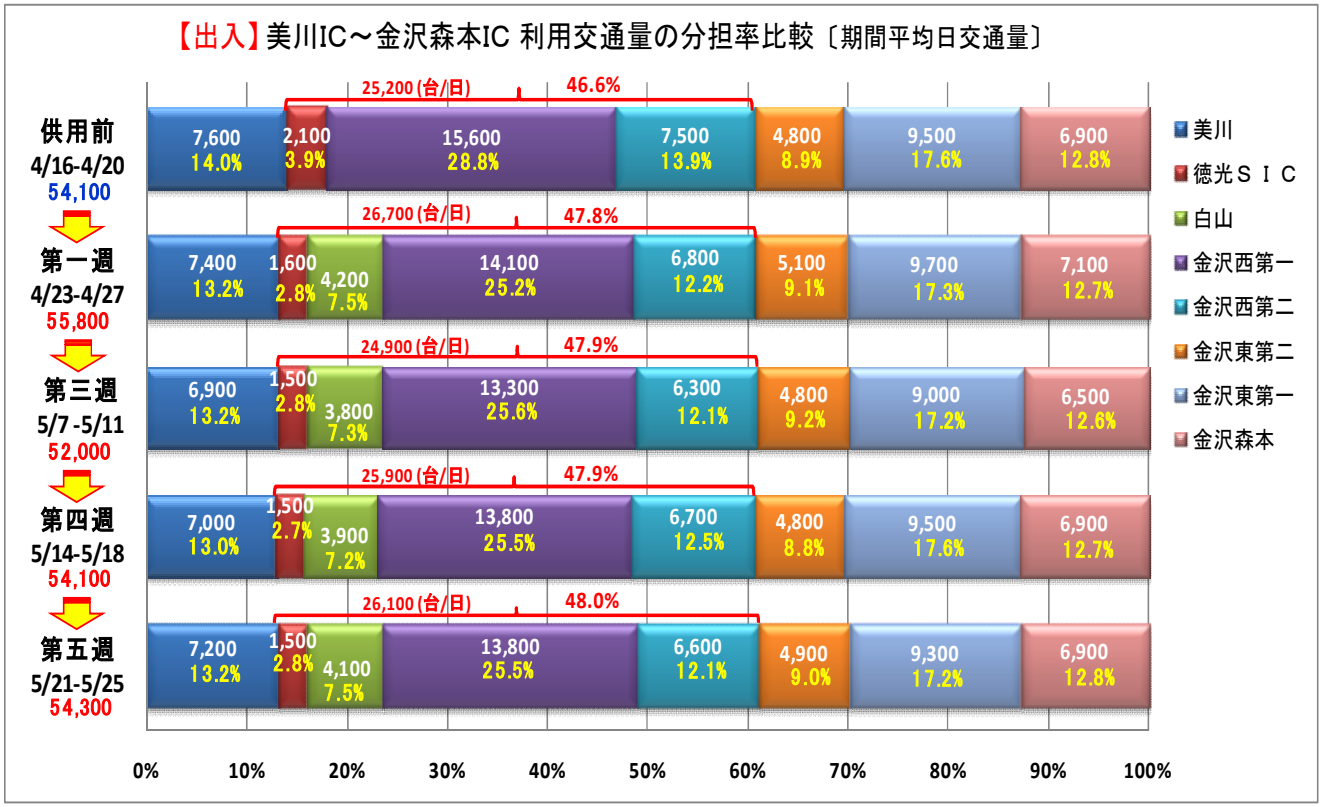


図－３　白山ＩＣ料金所レーン運用概要

６　開通後の交通状況

白山ＩＣ開通前後のＧＷ等の混雑期や行楽客の多い土日を除く通常の平日の交通動向を図－４に示す。これによると、白山ＩＣは初乗り客の落ち着いた第四週～第五週の段階で、安定して４，０００台／日の利用が定着しつつある。図－４で着目すべきは、開通前の週と同じ全体交通量を記録している第四週であり、これを見ると、金沢東ＩＣや、山側幹線でつながっている金沢森本ＩＣは白山ＩＣ開通後の減少が見られず、両ＩＣからはほとんど白山ＩＣに転換していないことがわかる。これは、ＧＷ中の観光

客が比較的長めのトリップ長を持ち、金沢市街へのアクセスとして同じ環状道路上にある金沢森本ＩＣから白山ＩＣへのわずかながら転換が見られることに対して、金沢都心部への通勤や配送など比較的トリップ長の短い平日では交通の転換がほぼ両側の金沢西ＩＣと徳光スマートＩＣ、また徳光がスマートであることからやむなく美川ＩＣを利用していたと見られる若干の層が白山ＩＣに転換しているものと見てとれる。



図－４　利用交通量の分担率比較

７　おわりに

白山ＩＣ開通前には、ＩＣ型式が上下線分離型になっていることから方面間違いによる誤侵入が数多く発生するのでないかと懸念されていたが、ＩＣ入口部の方面案内を確実に行うことによりこれまでのところトラブルもなく順調に運用している状況である。

今後も白山ＩＣが数多くのお客さまに利用され、ＩＣ周辺のみならず石川県全体の産業の発展や、白山・金沢・能登方面への観光客の増加などに寄与することを期待しているところである。

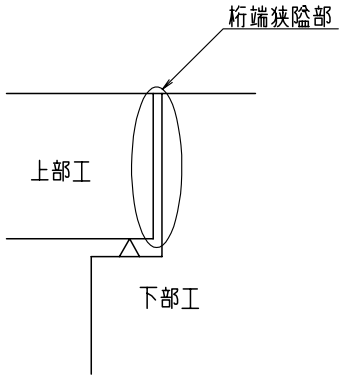
桁端狭隘部の調査・補修工法　－ＮＳＲＶ工法－

（株）ピーエス三菱　技術本部　開発メンテナンスＧ　　大林　敦裕

１　はじめに

寒冷地に建設された橋梁には、冬期間の交通の安全を確保するために多量の凍結防止材が散布されている。このような環境の橋梁においては、伸縮装置の損傷等により目地部から凍結防止剤を含んだ漏水が桁端部に回り、経年にわたり塩害や凍結融解作用等により、桁端部面のコンクリートに劣化が生じている事例が多く見られる。特にプレストレストコンクリート橋においては、桁端部にはPC鋼材の定着装置が配置されているため構造上非常に重要な部位であり、劣化が認められた場合には早急な対応が求められる。しかしながら、狭隘部のため調査が困難で補修が未対応のまま供用されているのが現状である。

写真－１　桁端損傷例



図－１　桁端狭隘部

このような現状をふまえて、ＰＣ橋桁端狭あい部の調査手法および規制時間を短縮し、早期の交通解放を目的とした補修方法の共同開発を行ってきた。

主な開発内容は

① ビデオスコープによる狭あい部コンクリート表面の調査技術

② 桁端狭隘部コンクリートの塩化物イオン含有量の調査技術

③ 桁端狭隘部におけるはつり方法

④ 塩分吸着剤を添加し、早期に強度が確保できる断面修復材の開発　である。

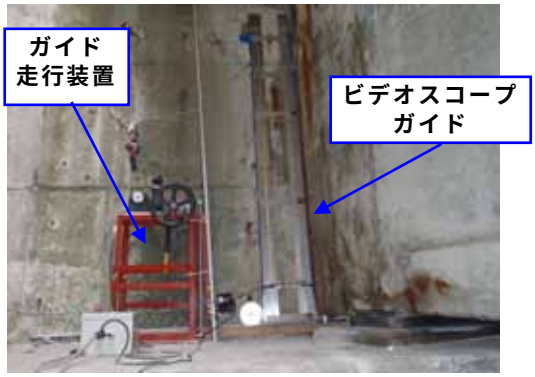
上記の開発した技術「ＮＳＲＶ工法（コンクリート橋桁端狭隘部鉛直面の調査・補修工法）」を検証するために、高速道路 山形自動車道 上蔵王橋にて試験施工を行ったので工法の概要とともに試験施工の結果を報告する。

２　橋梁の損傷状況調査・診断

２．１　ビデオスコープによる狭隘部コンクリート表面の調査技術

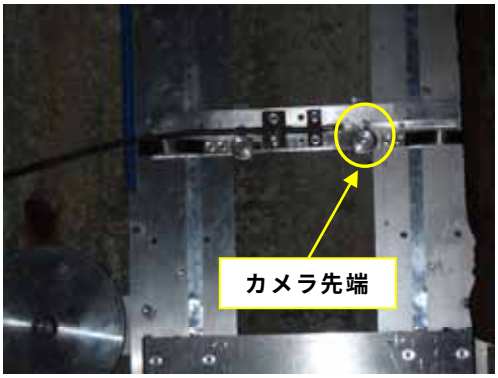
桁端狭隘部のコンクリート表面の調査は、工業用ビデオスコープと専用のガイドを使用して行う。ビデオスコープはケーブル長 12m、外径 6mm で、挿入長の検知ができる機能を持たせている（写真－２）。また、動画・静止画の記録を行うことができる。

写真－２　ビデオスコープ

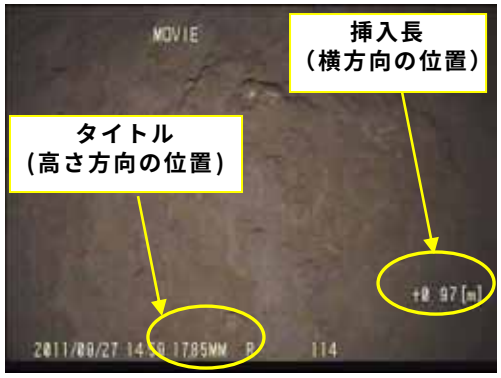


写真－３　ビデオスコープガイド

ビデオスコープガイドは，ビデオスコープのカメラ先端を固定でき、カメラ取付け位置は任意の高さに設置できる構造としている（写真－３，４）。また、桁端遊間 20㎜ まで対応可能な構造である。ビデオスコープはカメラ先端の位置情報が記録できるので、撮影した動画から損傷位置の確認が可能である（写真－５）。ビデオスコープにより撮影した動画から抽出した静止画を複数枚つなぎ合わせ、損傷部の静止画の作成を行うことが可能である。また、損傷部位の面積、ひび割れ幅、長さの想定が可能である。



写真－４　ビデオスコープ先端



写真－５　ビデオスコープ撮影画像

２．２　桁端狭隘部コンクリートの塩化物イオン含有量の調査技術

桁端部に配置された最外部の鉄筋付近のコンクリートの塩化物イオン濃度を調査するため、桁下の空間を利用して、コンクリート試料を採取する装置を開発した（写真－６，７）。

採取装置本体の大きさは厚さ 90㎜，幅 240㎜ とした。乾式のコアのビットを２重とし、さらにコアビットの中にドリルを取付けた３重構造とすることにより１回の削孔で 30g 程度の試料を採取可能な構造とした。

写真－６　試料採取装置

写真－７　試料採取状況

３　桁端狭隘部の補修

３．１　桁端狭隘部におけるはつり方法

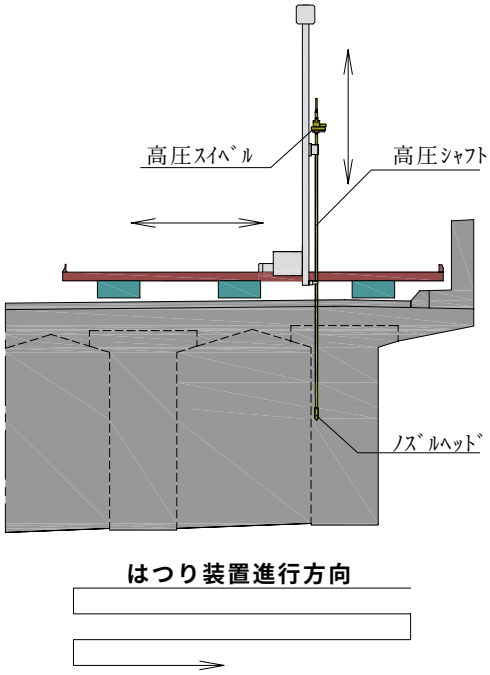
狭隘部のはつりは伸縮装置撤去後、ウォータージェット（以下、ＷＪ）工法により行う。

はつり作業は，超高圧水発生装置２台と X-Y 移動式コンクリート除去処理装置（はつり装置）に鉛直方向推進装置（Ｚ軸方向）を別途取付けた装置１台を使用した（写真－８）。

はつり作業は従来、鉛直方向の穿孔を繰り返す方法で行われていたが、今回使用した装置は、X-Y-Z 方向に移動可能な構造とすることにより途中段階でのはつり状況の確認や施工時間を短縮することが出来る。また、はつり面の平坦性の確保が可能となる（図－２）。

はつり深さは、横桁鉄筋の最外縁から２本目の鉄筋の半分が露出するまではつりを行う。ＷＪによるはつり完了後、ビデオスコープによりはつり面の確認を行うことも可能である。

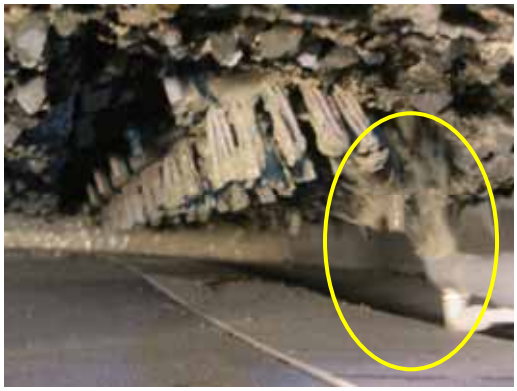
写真－８　ＷＪはつり状況



図－２　ＷＪはつり概要図

３．２　鉄筋防錆材塗布工

ＷＪはつり作業完了後、塩分吸着材を１０％プレミックスした鉄筋防錆処理材（以降、防錆ペースト：ポリマーセメント系）の塗布を行う。防錆ペーストの塗布は，狭隘部でも吹付けが可能な吹付け装置を製作し、これを用いて鉄筋およびコンクリートのはつり面に吹付けを行い、その後、鉄筋背面側まで防錆ペーストが付着するように刷毛を用いて塗布を行った（写真－９）。



写真－９　防錆ペースト吹付状況

３．３　断面修復材充填工

鉄筋防錆材塗布後､型枠の組立を行ってから断面修復材を充填する｡今までの断面修復材には、早期に強度を確保するものが無かったため、ＮＳＲＶ工法用に新たに開発した速硬型の塩害対策用断面修復材(ポリマーセメントモルタル)を使用した｡この材料は塩分吸着剤を１％プレミックスしているが、鉄筋付近のコンクリートの塩化物イオン含有量に応じて塩分吸着剤を後添加することも可能である。

断面修復材の性能を表－１に示す。

表－１　断面修復材の性能

試験項目		設定値	試験方法
フロー値(mm)		280±30 (30 分保持)	JIS R 5201 準拠 (静置フロー)
圧縮強度(N/mm^2)	材齢 8 時間	5 以上	JSCE-G541
	材齢 18 時間	24 以上	
	材齢 28 日	40 以上	
付着強度(N/mm^2)	材齢 28 日	1.5 以上	建研式

おわりに

伸縮装置からの漏水による塩害や凍結融解作用により損傷したコンクリート橋の桁端狭隘部の調査・補修工法（ＮＳＲＶ工法）について報告した。

今回の試験工事により下記の事項について確認ができた。

・桁端狭隘部の補修は，本線上からの施工であるため車線規制が必要であるが、片側２車線のうち１車線分を約３６時間という短時間での施工を可能とした。
・これまで調査が困難であった狭隘部コンクリート表面の状況をビデオスコープとガイドにより損傷位置とその状況を明確にすることを可能とした。
・桁端下面の最外縁付近の塩化物イオン濃度の測定について、今回開発した装置を使用する事により可能とした。
・断面修復材は今回の改良により早期に強度が発現することを可能とした。

謝辞

ＮＳＲＶ工法は東日本高速道路㈱、㈱ネクスコ・メンテナンス東北、㈱ネクスコ･エンジニアリング東北、㈱ピーエス三菱および三菱マテリアル㈱の５社で共同開発したものである。これら関係各位に心よりお礼申し上げます。

写真－１０　補修前

写真－１１　補修完了後

マルチジェット工法（自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法）

前田建設工業株式会社　土木設計・技術部　設計第２グループ長　○手塚　広明
土木設計・技術部　リーダー　山内　崇寛

１　はじめに

高圧噴射撹拌工法は，小型のボーリングマシンを用いてセメントミルクやエアーを超高圧で地中に噴射して原地盤と混合撹拌することでソイルセメント改良体を造成する深層混合処理工法の一種である．セメントミルクの噴射量や吐出圧力等によって，改良径の異なる各種の工法が実用化されており，主として土留め壁の欠損防護・先行地中梁・底盤改良，シールド工事の発進・到達防護等の仮設利用として広く用いられている．

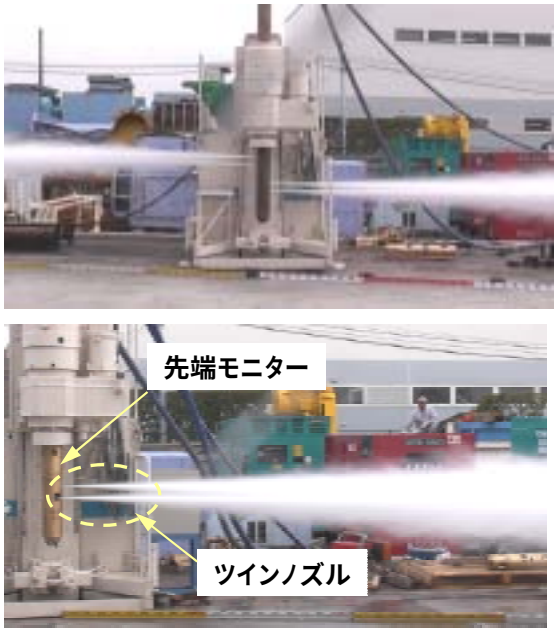


図-1　マルチジェット工法（気中噴射状況）

一方，2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震において沿岸埋立地域を中心に広範囲にわたって発生した地盤の液状化現象に伴い，多くの各種構造物が被害を受け，復旧に多大な時間とコストをかけざるを得ない状況になっている．このような状況から，近い将来発生することが予測されている東海・東南海・南海地震をはじめとする巨大地震に対して，地盤の液状化対策・耐震補強としての地盤改良の必要性が高まっている．

既存施設を対象とした地盤改良では，狭隘な箇所での施工や施設を供用しながらの施工を求められることが多く，小型の施工機械で施工可能な高圧噴射撹拌工法で計画・実施する事例が増加している．

このような背景を踏まえて，従来の円柱状の高圧噴射撹拌工法に比してコストダウン，工期短縮，既設構造物への影響低減，本設構造物としての高い品質確保機能等を目的として，自由形状・大口径改良が可能な新しい高圧噴射撹拌工法を開発した（図-1）．

２　工法概要

従来の高圧噴射撹拌工法は，円柱状の改良が主流であるため設定された改良範囲に対して，はみ出し部やラップ部など不要な部分が発生していた．また，最大改良径が小さいため，削孔本数が多くなり段取り替えが頻繁に発生するといった課題があった．

マルチジェット工法では，表-1 に示す３つの特徴を生かし，図-2 に示すように必要改良範囲に対して無駄なく合理的に改良することで，従来工法に対して３０％程度の改良体積削減を可能とし，コスト縮減と工期短縮を可能とした．また，造成時に発生する排泥量も同様に３０％程度の削減が可能のため，コストダウン効果に併せて環境負荷軽減も図ることができる．

表-1　マルチジェット工法の特徴まとめ

項目	ﾏﾙﾁｼﾞｪｯﾄ工法	従来工法
①自由形状改良	円柱状，扇形，壁状，格子状など，自由形状改良が可能	円柱状改良が一般的
②大口径改良	最大改良直径 8.0m までの大口径改良が可能	最大改良直径 5.0m まで
	改良直径 2.0～8.0m で任意な改良径の設定が可能	同一地盤での改良直径は固定
③高品質管理	吐出量・吐出圧・削孔造成深度・造成角度など，一括のリアルタイム施工管理	吐出量・吐出圧のみのチャート紙による管理
	造成直後の出来形確認，強度推定により高品質管理が可能	28 日後の出来形確認，強度確認が一般的

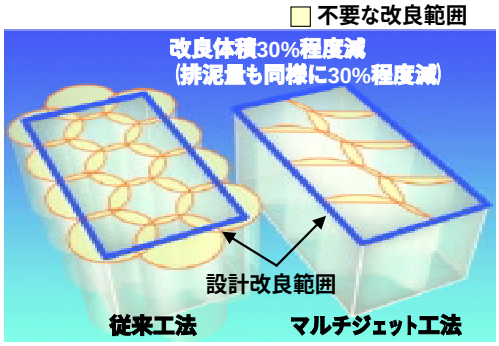


図-2　改良配置例

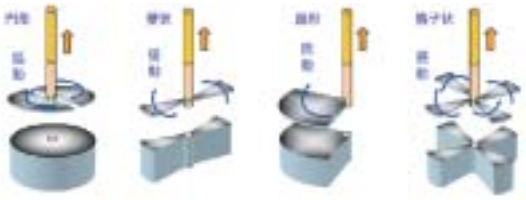


図-3　自由形状改良

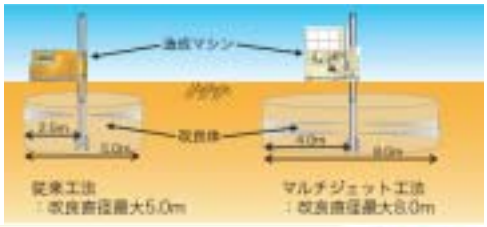


図-4　大口径改良

3　工法の特徴

3．1　自由形状改良

本工法では，専用ロッドを揺動式にし，複数方向の同時噴射方式を用いることで，従来工法で主流であった円形改良のみだけでなく，壁状や扇形・格子状など自由形状の造成を可能とした（図-3）．

3．2　大口径改良

従来工法の改良直径はφ2.0～φ5.0m程度なのに対し，本工法はツインノズルを用いた独自の高性能噴流装置の開発でφ8.0mまでの大口径改良を可能とした．また，噴射量とロッドの引上時間から独自のエネルギー評価を行い，改良直径はφ2.0m～8.0mの範囲で任意に設定することを可能とした（図-4）．

3．3　高品質管理

マルチジェット工法では，従来の仮設目的以外にも，本設構造物として適用できる高い改良体の品質を確保するために，リアルタイムで施工管理が行える専用の管理装置（写真-1）を開発した．

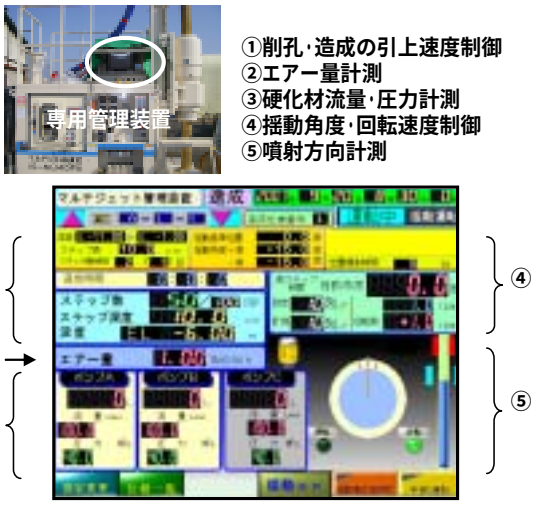


写真-1　専用管理装置

この管理装置を用いることで，削孔・造成の引上速度や揺動角度・回転速度の自動制御，硬化材の流量・圧力・空気量の流量をリアルタイムで計測，管理し，削孔位置も同時にリアルタイムで計測できる専用傾斜計測器を開発し，孔曲り計測しながら精度の高い施工を行うことを可能とした．また，造成直後の品質管理を行なうことを可能とするため，造成直後の改良体を直接目視確認が行えるビデオコーン（写真-2），及び造成直後の改良体を直接サンプリングが行えるサンプリングコーン（写真-3）を開発することで，造成直後の改良径確認と未固結改良体採取による２８日強度の若材齢予測（0～3日）を可能とした．

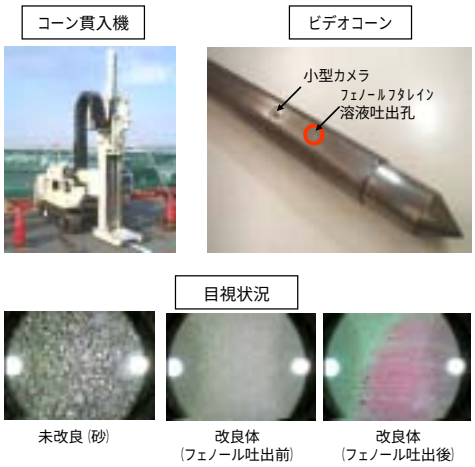


写真-2　ビデオコーン

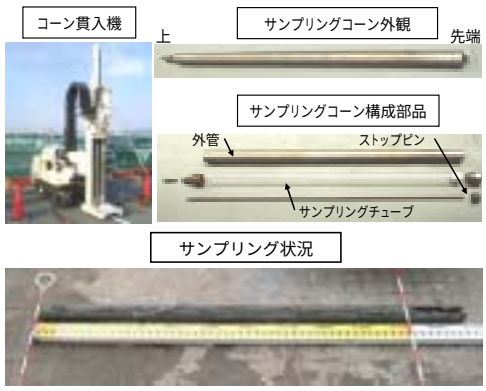


写真-3　サンプリングコーン

4　現場への適応事例

4．1　岸壁の耐震補強工事事例

岸壁背面の液状化対策の合理的な改良形状として格子状改良が採用される事例が増えている。マルチジェット工法は、岸壁に向かって噴射せずに格子状改良を施工することができるため、造成時に海域へのセメントスラリー漏洩といった環境リスクを大幅に低減（図-5）することができる。本工法を用いた岸壁の耐震工事事例を図-6に示すが、セメントスラリー漏洩といったことはなく工事を完了することができた。

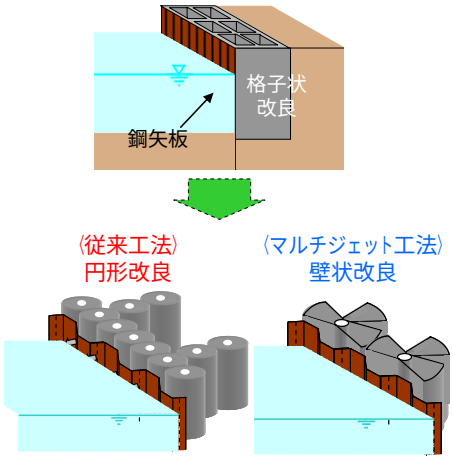


図-5 環境リスクの軽減効果

4．2　機械基礎の液状化対策工事事例

茨城県の埋立地に立地する産業施設のうち、機械基礎の液状化対策としてマルチジェット工法による格子状改良が採用された（図-7）。図-7に同等の液状化対策効果を有する従来の円形高圧噴射攪拌工法による格子状改良で施工した場合との改良体積と削孔本数の比較を示す。マルチジェット工法による格子状改良により改良体積は3割低減と削孔本数は6割低減でき、同等な比率でのコスト縮減と工期短縮を図ることができた。本地区は先の東北地方太平洋沖地震において、震度6弱の揺れが発生した箇所である。液状化対策を実施していない箇所は、大規模に液状化現象が発生したが、格子状改良を施工した格子内未改良部も含めて液状化現象は発生しないことが地震後の各種調査で確認することができた。マルチジェット工法による格子状改良による地震時のせん断変形抑制効果による高い液状化対策効果が検証される結果となった。

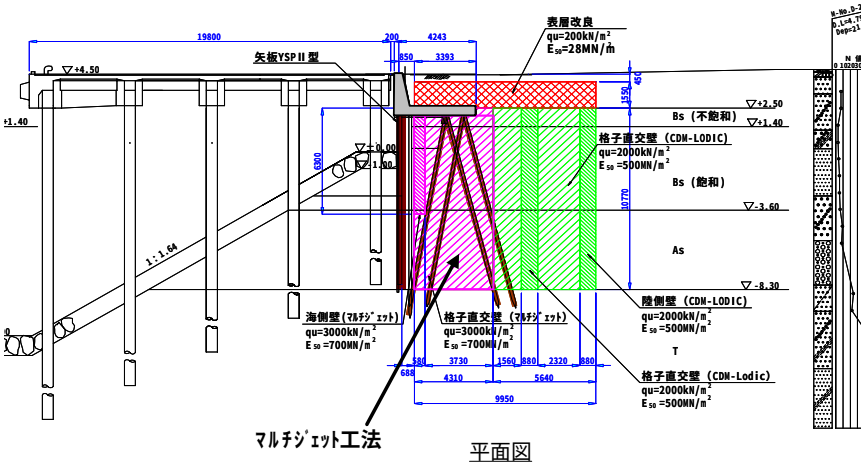


図-6　岸壁の耐震工事事例（愛知県）

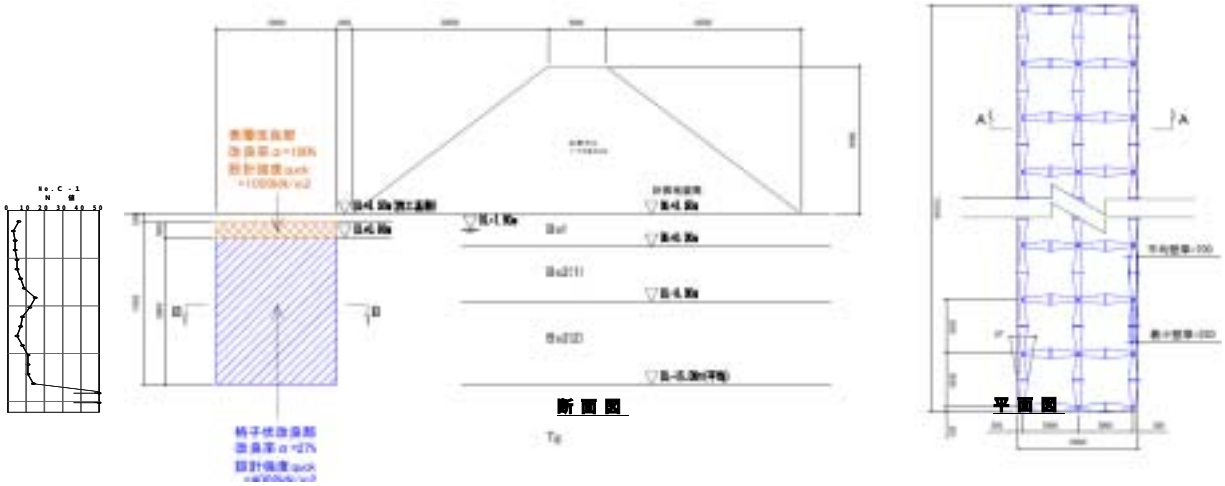


図-7　機械基礎の液状化対策事例（茨城県）

5　狭隘かつ空等制限のある場所への適応性拡大

マルチジェット工法を含む一般的な高圧噴射撹拌工法は，ロッドの建込みやマシンの移動のため，クレーンを相番として使用する必要がある．そのため，狭隘な場所や空頭制限があるような場所では，施工不能となる場合や，施工歩掛りが極端に低下しコストが増大するといった課題があった．

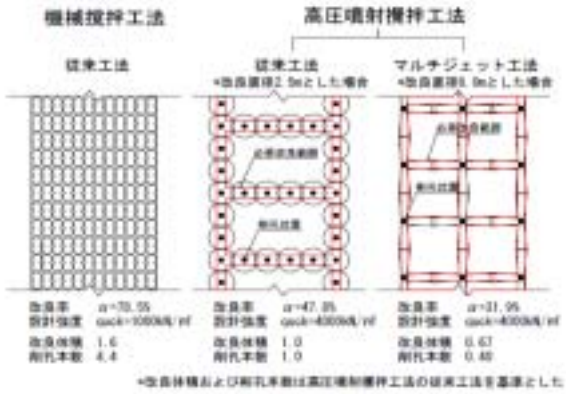


図-8　改良範囲の比較

そこで，狭隘かつ空頭制限条件でも，施工歩掛りを低下せずに施工可能な専用小型マシン（図-9）を開発した．専用小型マシンはロッド吊込み装置と，前後移動と回転が可能なスライドベースを備え，クレーンなしで自らロッドの建込みや移動が行える．最小幅 1.3m，最小高 2.3m の条件下でも施工可能であり，戸建住宅の軒先（図-10）や施設屋内からの地盤改良も経済的に行うことができる．

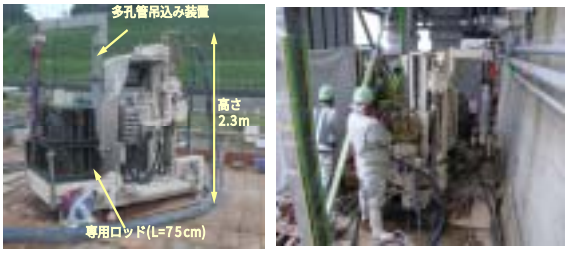


図-9　専用小型マシン

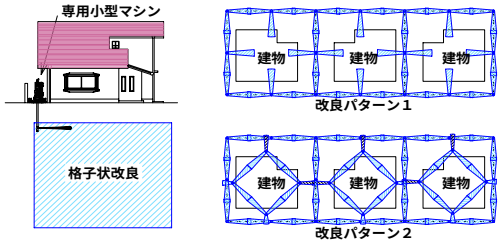


図-10　戸建住宅液状化対策例

6　さいごに

マルチジェット工法は 2007 年 6 月に液状化対策として本施工へ適用されて以降，民間を主体に液状化対策等の恒久対策目的で工法が採用されており，2011 年 3 月時点で 20 件以上の施工実績を有している．

東北地方太平洋沖地震による震災以降，地盤の液状化対策・耐震補強の必要性はさらに高まり，戸建住宅を含めた既存施設を対象として，狭隘な箇所で経済的に地盤改良を行える技術が求められていくと考えられる．マルチジェット工法はこのようなニーズに対応できる工法であり，震災後の復旧・復興・住環境の再生に貢献していきたいと考えている．

液状化対策工法（浸透固化処理工法、DEPP 工法）

五洋建設株式会社　技術研究所　主任　秋本　哲平

1　はじめに

我が国は、東北地方大震災により甚大な被害を受けた。甚大な被害となった主な要因は津波であるが、東日本広域にわたり、液状化の発生や液状化による被害も確認されている。液状化対策として、浸透固化処理工法や DEPP 工法を施した箇所の周辺でも被災しているが、改良範囲は、無災害であることが確認された。

本報では、浸透固化処理工法と DEPP 工法の概要について紹介するとともに、両工法により液状化対策が実施された岸壁における、被災調査結果を報告する。

2　浸透固化処理工法の概要

浸透固化処理工法は、液状化が予想される砂質地盤に対して、溶液型の恒久薬液を低圧力で浸透注入することにより地盤を低強度固化し、液状化を防止する地盤改良工法である。工法の概念を図-1 に示す。浸透固化処理工法は、低圧力での注入により、土粒子骨格を乱すことなく、間隙水を薬液に置換することができる。そのため、施工による周辺構造物への影響はほとんどなく、施設を供用しながら施工することができる。また、斜削孔や曲がり削孔を利用することにより、構造物直下の液状化対策も可能である [1)]。本工法

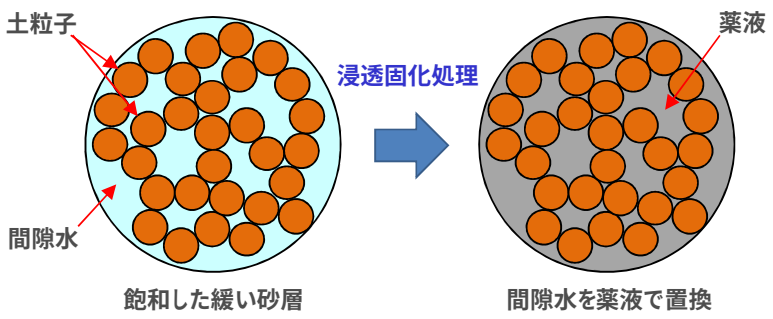
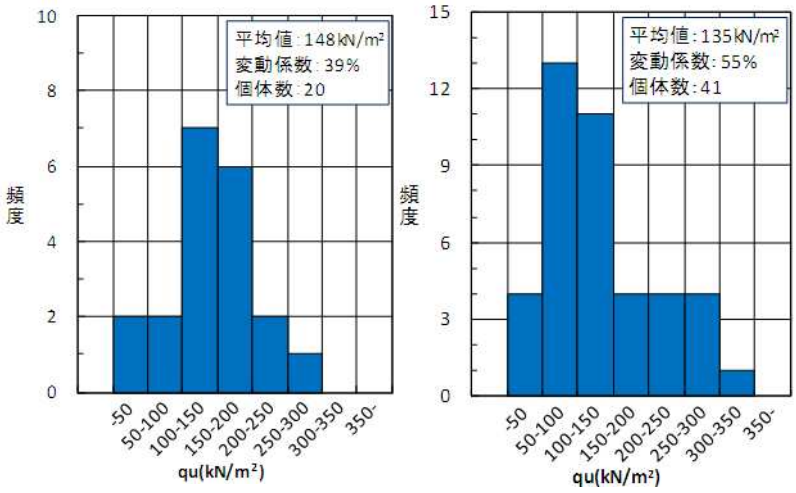


図-1　浸透固化処理工法の概念



5.5 年経過後　　11 年経過後

図-2　耐久性確認における強度試験結果

は、既設岸壁背面、空港滑走路および既設タンク直下等で適用されており、これまでに 180 件以上の施工実績を有している。注入薬液は、恒久型薬液を使用しており、その耐久性確認も継続して実施している。2000 年に施工された改良土を対象として、施工から 5.5 年および 11 年経過後に採取し、強度試験を実施している。図-2 に強度試験結果の分布を示す。施工直後の平均強度は、qu=104.7kN/m^{2}であったが、5.5 年経過後には 135kN/m^2、11 年経過後には 148kN/m^2 となり、浸透固化処理工法に使用する薬液(エコシリカ)の長期耐久性が確認されている。

3　ＤＥＰＰ工法の概要

DEPP 工法は、液状化の可能性がある砂地盤中に、合成樹脂製のドレーンを所定の間隔で鉛直に設置することによって、地震時に発生する過剰間隙水圧を効果的に消散させ、過剰間隙水圧の上昇を抑制する液状化防止工法である[2)]。図-3 に工法の原理を示す。岸壁背面、地中構造物の周辺・直下および既設埋設管周辺等での適用が可能であり、約 80 件の施工実績を有している。使用するドレーン材は、軽量かつ工場生産時にロール状に巻くことができることから、運搬・取扱が用意である。また、温度変化や衝撃にも強いため、耐久性にも優れている。

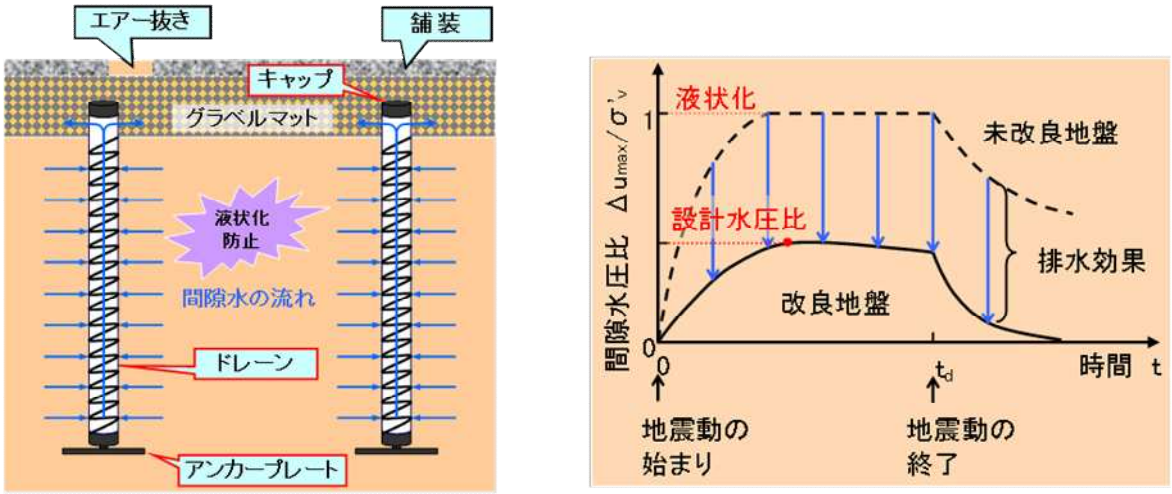


図-3　ＤＥＰＰ工法の原理

4　浸透固化処理工法の被災状況（仙台塩釜港仙台港区高松埠頭-12m 岸壁）

仙台塩釜港仙台港区高松埠頭-12m 岸壁では、液状化対策として浸透固化処理工法が採用されている。施工断面を図-4 に示す。岸壁は、控え組杭式鋼管矢板岸壁であり、改良範囲は、延長 105.4m、幅 19.1m、深度+1.6m～-3.7m(改良層厚 5.3m)である。設計基準強度 60kN/m^2 に対し、施工後の調査では、平均強度 112kN/m^2 であった。図-5 に施工時の事後調査結果を示す。設計での水平震度は、0.25 であり、変形量照査として最大 454gal の直下型地震動を用いた動的解析が実施されている。仙台塩

釜港仙台港区周辺(港湾地域強震観測仙台-G)で観測された加速度波形を図-6 に示す。継続時間が非常に長く、最大加速度は、600gal 以上であることから、設計時の想定を超える地震動が作用したと推定される。被災調査結果として、写真-1 に改良部の岸壁背面の状況を示す。この写真から、改良範囲は、全く被害を受けていないことがわかる。一方、隣接する未改良岸壁は、背面が大きく陥没し、岸壁法線は 1.3m 程度前面に変位していた（写真-2 参照）。

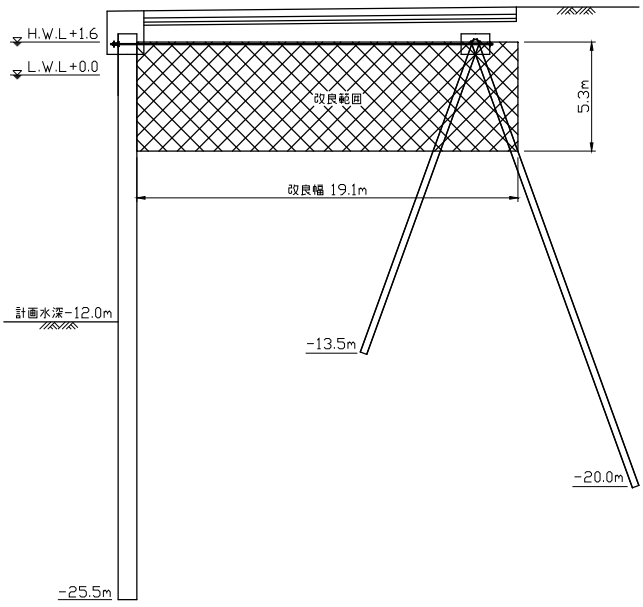


図-4　高松埠頭岸壁断面

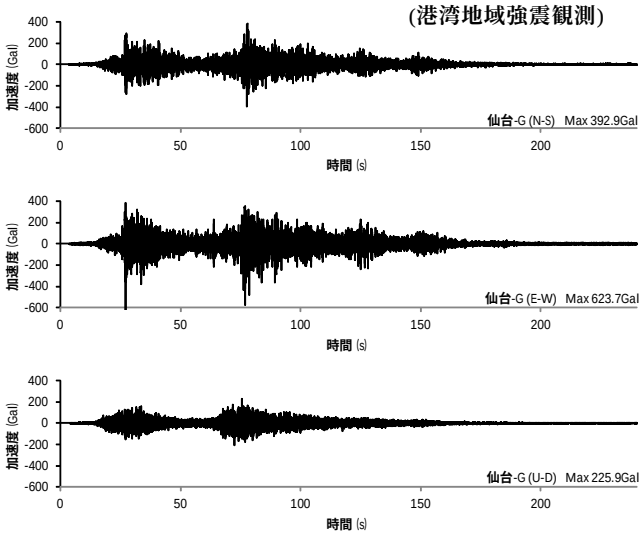


図-6　加速度波形(港湾地域強震観測仙台-G)

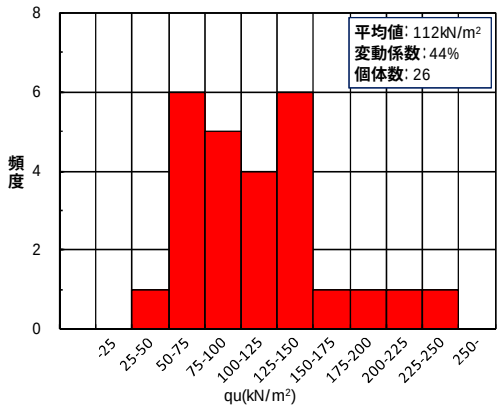


図-5　事後調査結果

写真-1　改良部岸壁背面

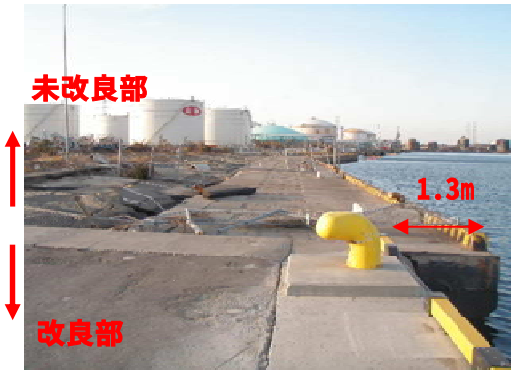


写真-2　隣接無対策岸壁

5　ＤＥＰＰ工法の被災状況(東京港 15 号地木材埠頭-12m 岸壁)

東京港 15 号地木材埠頭-12m 岸壁は、東京港江東区若洲に位置し、平成 13 年度～16 年度に液状化対策として、DEPP 工法を適用している。図-7 に断面を示す。排水溝より陸側(図面右側)が未改良範

囲であり、排水溝より海側(図面左側)が改良範囲となっている。使用ドレーンは、幅 165mm、厚さ 30mm の矩形ドレーンであり、半硬質塩化ビニール樹脂でできている。打設ピッチは標準部で 55cm である。東京港の地震動として、品川区(港湾地域強震観測品川-U)で観測された加速度波形を図-8 に示す。改良範囲においても概ね同程度の地震が作用したと想定される。写真-3 に調査結果として岸壁背面の状況を示す。中央に排水溝があり、右が海側で左が陸側である。海側の改良範囲は、全く被害を受けていないが、陸側の未改良範囲は、噴砂の跡が見られるなど、かなりの被害が発生していた。

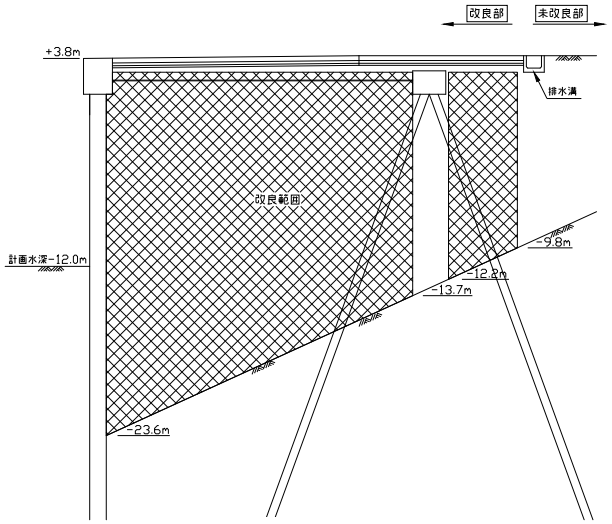


図-7　木材埠頭岸壁断面

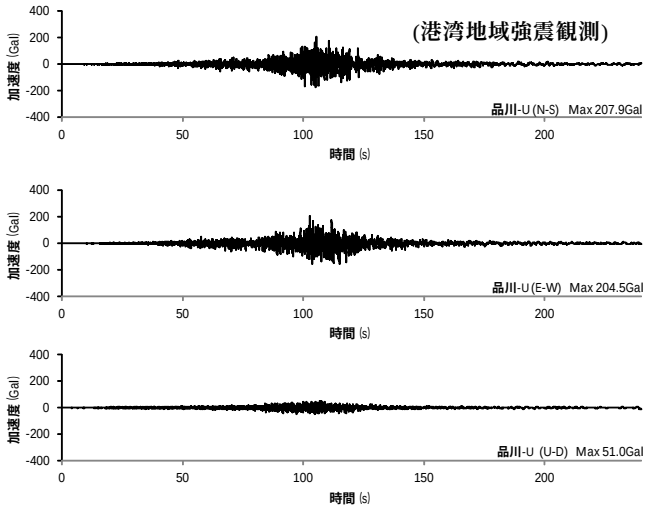


図-8　加速度波形(港湾地域強震観測品川-U)

写真-3　木材埠頭岸壁被災状況

6　おわりに

今回の被災調査により、浸透固化処理工法およびＤＥＰＰ工法を適用した地盤は、無被害であったことから、液状化対策効果が確認された。一方で、隣接する未改良範囲では、液状化により甚大な被害を被っていた。こういった経験を踏まえ、地震による液状化の被害が無くなることを願っている。

1)浸透固化処理工法技術マニュアル（2010 版），沿岸技術開発センター，2010
2)DEPP 工法技術資料，DEPP 工法研究会，2011

維持管理のための構造物トレーサビリティシステム

株式会社間組　経営企画部　情報システムグループ主任　○澤　正樹
技術研究所　技術研究第一部課長　黒台　昌弘

1　はじめに

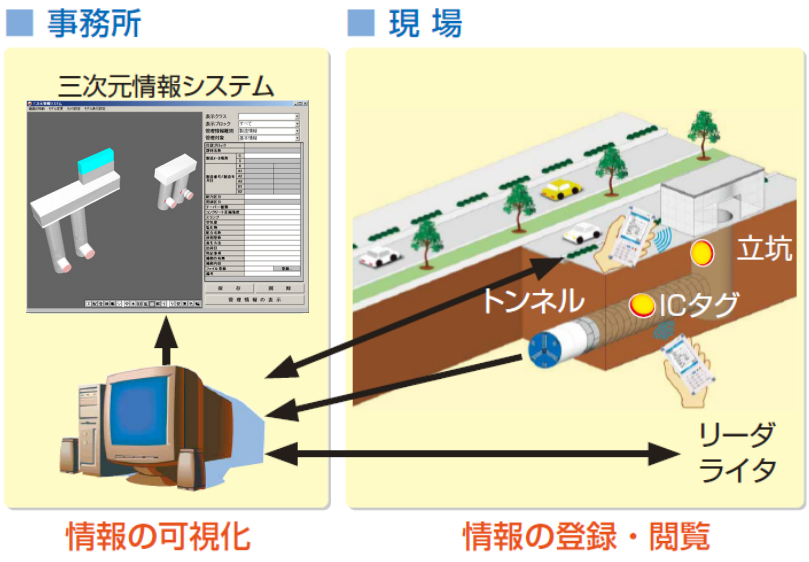
高度経済成長期に急速に整備されたわが国の社会資本は、築後 40 年以上が経過し全国で老朽化が問題になっている。そのため、費用対効果の高い維持管理を目的としたアセットマネジメントの必要性が認識され、一部の都道府県や政令指定都市などで導入が進みつつある。しかし、将来的な維持管理コストの把握や補修の優先順位付けが難しいこと、設計情報や施工時の記録が有効に活用されていないなどの理由から、現在は不具合箇所を発見・現認後に補修を行う「事後保全」が主な管理手法となっている。

「事後保全」では経済的損失が大きくなることが多いため、国や地方自治体では、大規模修繕などが必要になる致命的な損傷にいたる前に、きめ細やかな点検補修を行うことで構造物の長寿命化を実現できる「予防保全」への転換を進めている。この「予防保全」は、非破壊探査や各種センサの応用により現状を把握する点検技術だけでなく、設計から施工、維持管理までの各種情報を場所情報と連携しながらデータベース化し、予防に資する情報を手間無く取り出し利活用できる環境がその実行上、とても重要になってくる。

そこで、筆者らは、より効率的な維持管理計画の立案を支援するため、ライフサイクル全体における情報を一元管理し、これら情報を可視化することで容易に情報の利活用が可能なトレーサビリティシステムを開発し、現場へ適用した。

2　システムの概要

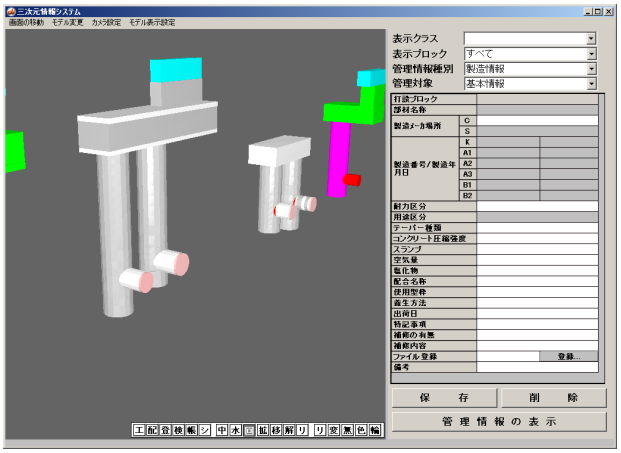
本システムは、ライフサイクル全体を通して維持管理に必要な情報を場所情報と連携させて一元管理し、これら情報を三次元的に可視化するための「三次元情報システム」、現場内で特に維持管理に必要な情報を登録・閲覧するための「IC タグとリーダライタ」から構成される。なお、現場の状況に応じて、「三次元情報システム」のみ、または「IC タグとリーダライタ」のみの選択も可能である。



図－１　システム全体図

２．１　三次元情報システム

「三次元情報システム」は構造物トレーサビリティシステムの中核となるシステムで、対象となる構造物を三次元的に表示し、各ブロックに構造物の設計情報や施工情報などを登録し、一元管理する仕組みになっている。また、一元管理されている情報群から任意の条件で検索を行うことができ、該当する情報を抽出するとともに、それに関連付いた構造物の部材部品をライトアップ表示する機能も有している。

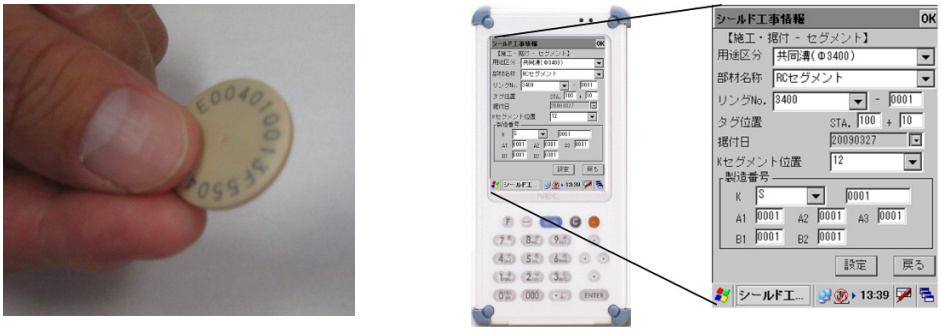


図－２　三次元情報システム
（分岐室、分岐シャフト、横坑のモデル図）

従来の紙図面や平面的な CAD データと、その場所における必要な情報など様々な資料から探し出すという長時間の情報収集作業から解放されるだけではなく、担当者間で空間把握に関する共通の認識を持つことができ、誤認も少なくなるといったメリットもある。共同溝や上下水道管など実際の構造物を外から立体的に確認することが難しい地下構造物では非常に有効なシステムである。

２．２　IC タグとリーダライタ

現場内で管理の対象となる部材部品に読み書き可能な IC タグを取り付けることで、専用のリーダライタにて現地での情報の登録および閲覧が可能になる。例えば維持管理時における点検情報などを点検直後にその場で情報登録することにより、誤登録や未登録などを防ぐことができる。さらに、部材部品の現認と同時に過去の点検履歴や補修履歴の閲覧も可能になり、より効率的な維持管理が期待できる。



写真－１　IC タグ（左）とリーダライタ（右）

３　現場への展開

３．１　シールドトンネル（共同溝）への適用

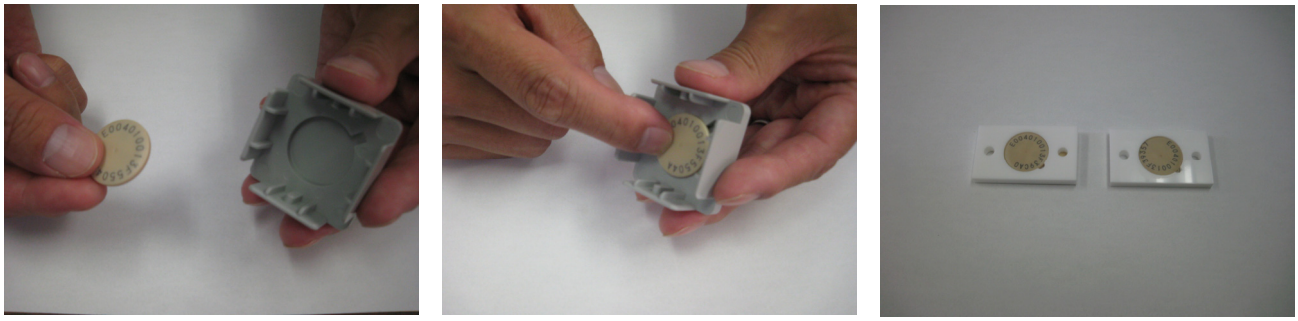
総延長約 3,900m の共同溝工事において「三次元情報システム」と「IC タグとリーダライタ」を導入し、トレーサビリティの対象となる 3100 リングのセグメントと 150 ブロックに区分した現場打ちコンクリートについて、設計、製造、施工、点検など 5 項目 100 種類の情報を一元管理した。

セグメントは 1 リングごと、現場打ちコンクリートは打設ブロックごとにそれぞれコイン型の IC タグ 1 個を取り付け、100 種類の中から現場内で登録・閲覧する必要がある情報を選別・登録し、

登録後は無線 LAN で「三次元情報システム」と接続して常に最新の情報を管理する処理を行った。

実際の運用では、まず、セグメントが所定の位置に据え付けられると、担当者がセグメントに IC タグを取り付け、製造情報や施工情報をリーダライタを介して IC タグへ登録する(写真－２参照)。施工時または維持管理時の点検情報、補修情報などは後から登録することができるので、常に最新の情報を現場内に“残す”ことが可能になっている。なお、IC タグは、セグメントおよび現場打ちコンクリートに傷をつけることなく、かつ容易に取り付け・取り外しができるようにする必要があるため、セグメント専用の取付キャップ、現場打ちコンクリート専用のアクリルプレートを新規に作成し、そこに IC タグを埋め込む手法を採用した（写真－３参照)。

写真－２　IC タグの取り付け（左)、情報入力（中央)、情報登録（右）

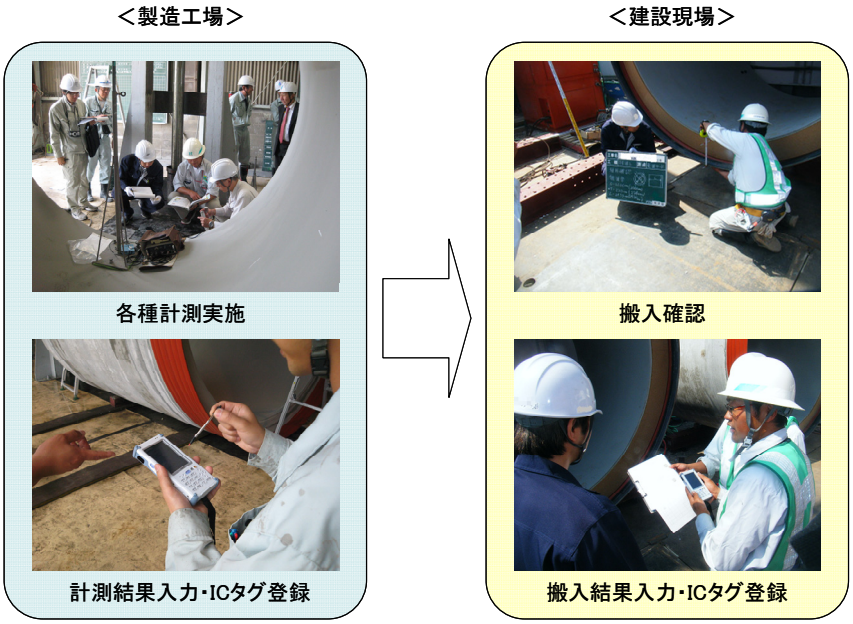


写真－３　取付キャップ（左、中央）とアクリルプレート（右）

３．２　推進管（用水路）への適用

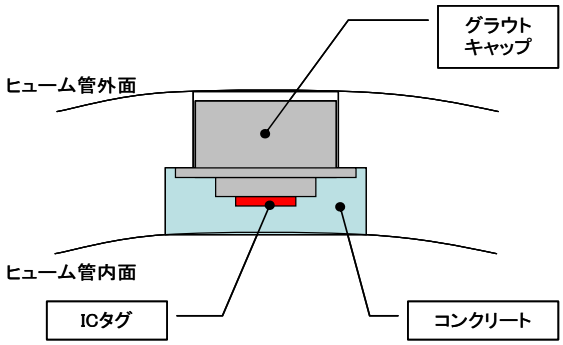
総延長約 520m の用水路工事において「IC タグとリーダライタ」を導入し、トレーサビリティの対象となる 205 本のヒューム管について、ヒューム管 1 本につき IC タグ 1 個を取り付け、設計、製造、受入検査の 3 項目 15 種類の情報を一元管理した。

本案件では、ヒューム管本体の品質確保も重要な目的の一つであることから、ヒューム管の製造工場にて設計情報、製造検査の登録を行うとともに、現場



写真－４　IC タグによる品質管理の状況

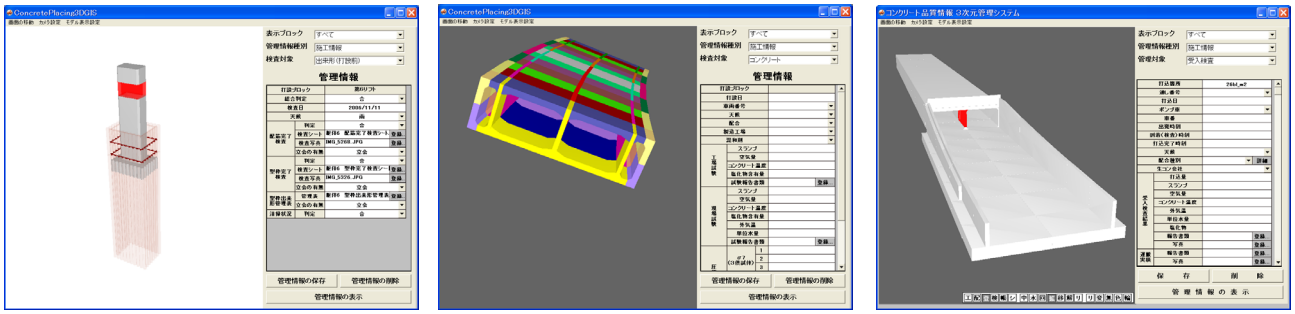
に搬入した際の受入検査として IC タグの情報確認、受入検査結果の登録およびヒューム管の目視確認を行うことで二重チェックを行った。使用した IC タグは３．１で使用したものと同様で、ヒューム管への取り付けは、直接グラウトキャップに接着剤で取り付け、その後内面を平滑化するためにコンクリートを充填した（図－３参照）。なお、コンクリート内に埋設した IC タグとの通信は、事前に弊社技術研究所で確認済である。



図－３　ヒューム管への IC タグ取付状況

３．３　コンクリート構造物への適用

橋脚下部工工事や沈埋函工事、カルバート工事などのコンクリート構造物や、建物内部の配管管理、地下発電所水路など、現場内での情報登録や閲覧の頻度が少ない工事については、「三次元情報システム」のみの導入となっている。現場内での情報登録・閲覧はできないが、IC タグとリーダライタの購入費および専用ソフトの開発費が抑えられるため、容易に導入できるメリットがある。



図－４　橋脚下部工工事（左）、沈埋函工事（中央）、カルバート工事（右）への適用事例

４　おわりに

全延長約 560m、打設ブロック約 840 箇所の沈埋函製作工事において、特定の打設ブロックにおける打設コンクリートの試験練中間報告書、打設年月日、施工状況の写真などを収集するのに要した時間を実測したところ、本システムでは電子納品の書類から取得する場合と比較して、平均して 10 分の 1 にまで減少させることができた。また、導入現場数もすでに 20 を超えており、システムの改良を含め引き続き導入現場を増やしていきたいと考える。

謝辞：

システムの開発および適用にあたり、ご協力いただいた工事関係者に深い感謝の意をここに表す。

参考文献：

1)　澤ら：維持管理性を考慮した IC タグとレーサビリティシステム、（株）セメント新聞社コンクリートテクノ、2010 年 6 月号、pp. 13-17

2)　黒台ら:GIS と RFID を組み合わせた構造物とレーサビリティシステムの開発と導入、土木学会 2010 年度土木情報利用技術論文集、Vol. 19、pp55-60

第１会場

第Ⅳグループ

石川県建設新技術認定・活用制度

石川県土木部監理課技術管理室　主任技師　　神﨑　暁史

1　はじめに

近年、公共工事のコスト縮減方策のひとつとして施工方法、製品、材料等における新技術の活用が求められている。石川県では、平成１７年度に「石川県建設新技術認定・活用制度」を創設し、県内の建設関連企業で開発された新技術を公共事業に活用し、低廉で質の高い社会資本整備と県内の建設関連企業の育成を図るよう取り組んでいる。本制度では、新技術を公共事業で活用するために、既存技術に対する優位性の評価と技術的課題解決や販路開拓等に向けた企業への指導・助言を行うとともに、石川県の公共工事に活用すべきものとして知事が認定することにより、公共工事への積極的かつ円滑な導入を図ることとしている。

2　制度の概要

2．1　応募要件

本制度に申請することができる新技術は、「県内の建設関連企業」が開発した「新技術」に限られている。ここで「県内の建設関連企業」とは下記のいずれかに該当するものとなっている。

① 本社または新技術の開発、生産に係る施設が石川県内にある企業

② 共同開発のために設立した団体で、前号に該当する企業が実質的な開発者として参画しているもの

また、「新技術」とは、県内の建設関連企業が新たに開発、改良した土木・建築等の工法、材料、製品等で、石川県の標準積算基準書等に記載されている既存技術と比較して、施工性、安全性、品質の他、コスト縮減、環境保全、リサイクルの促進等に優位性があるものとなっている。

2．2　新技術の評価

新技術の評価を公正かつ適切に行うため、産学官の有識者により構成される「石川県建設新技術評価委員会」を設置し、評価を行っており、具体的な評価基準は以下の４項目としている。

① 既存技術に対する優位性が社会的、施策的ニーズに適合しており、施工以外に環境、社会面等も含めた総合コストに優れていることが確認できること

② 石川県の各種仕様書、関係法令及び関係諸基準等への適合性が確認できること

③ 新技術の理論的根拠や構成要素が立証されており、技術の成立性が確認できること

④ 自然条件や現場条件での適用範囲、積算、品質、出来形の基準等が具体的であり、公共工事での適用性が確認できること

上記の４項目の基準をすべて満足する新技術は「区分１」、区分１の評価を得るため試験施工等が必要な新技術は「区分２」、技術的課題に対して今後検討を要するものは「区分３」の３段階で評価を行っている。

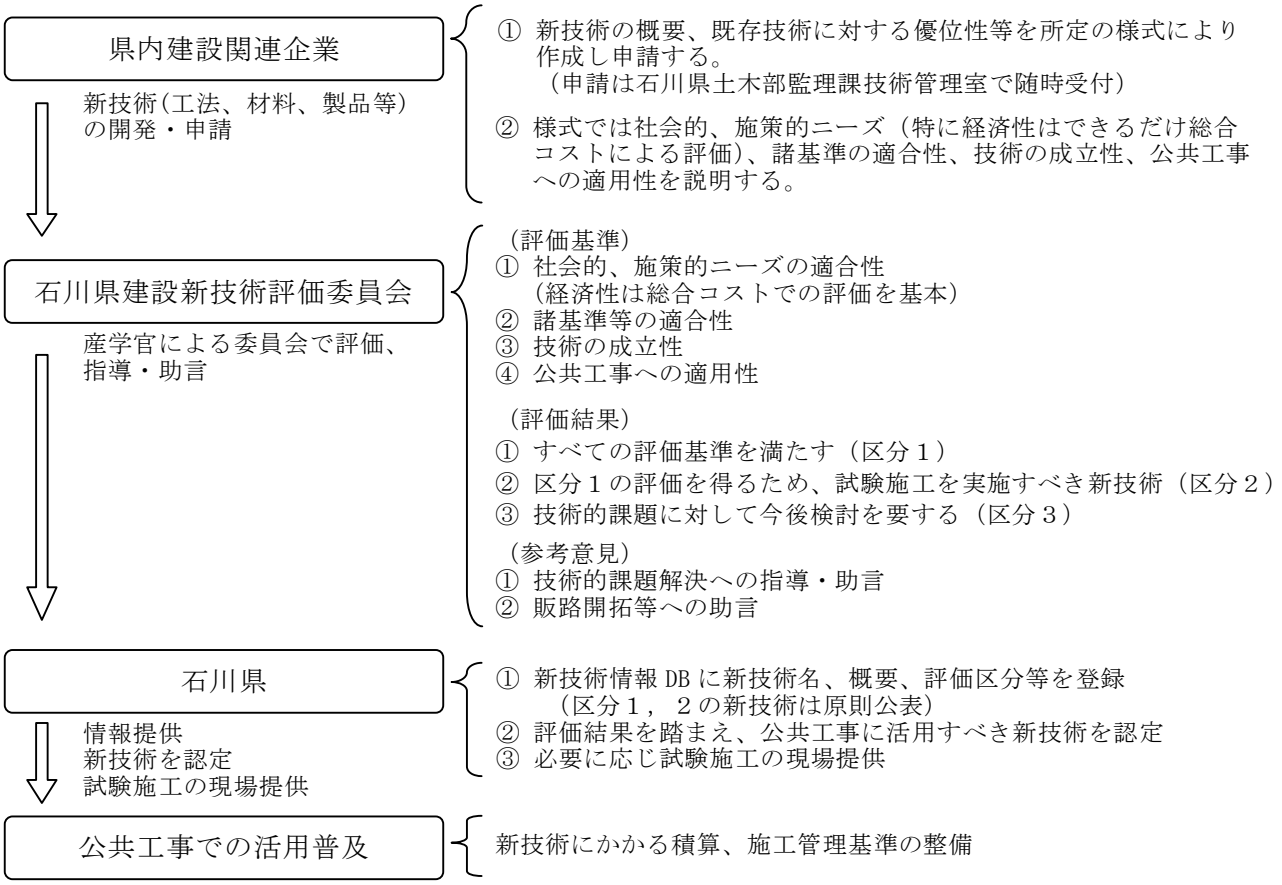
２．３　申請から認定・登録までの流れ

申請から認定・登録に至る流れを下記の表－１に示す。申請は石川県土木部監理課技術管理室で随時受け付けているが、評価委員会による新技術の評価並びに認定手続きは原則として年２回程度としている。

評価委員会で「区分１」に評価された新技術は公共工事に活用するものとして知事が認定し、県において歩掛等の整備も行うこととしており、「区分２」に評価されたものについては、県が試験施工の現場提供などを行うこととしている。

認定された新技術については、公共工事で活用するとともに、他県や民間工事などにも普及するよう新技術情報データベースに登録し、ホームページで公表している

表－１　申請から認定・登録までの流れ



２．４　新技術活用のメリット

新技術の利用促進を図るため、請負業者からの創意工夫で活用が図られた場合には、工事成績評定における加点措置（第１次評定：４点）を行っている。ただし、発注者が指定し、活用した場合は、加点措置は行われない。

3　これまでの登録工法

平成１７年度からこれまでに以下の１２件が新技術として認定されており、県発注の公共工事における活用実績は１３１件となっている。

表－２　登録工法一覧　　【平成 24 年 7 月 31 日時点】

登録番号	新技術名称	評価区分	技術の概要・評価
１	イージースラブ橋	区分１	桁にH形鋼を用いることで、架設機械の小型化を図るとともに、支保工を不要としたもので、従来の床版橋と比較して施工性に優れ、５～３０％のコスト縮減が図られる。
２	かんたん法枠工法	区分１	鉄筋は位置や断面の安全性の検討を行い、従来、標準であった法枠高さを１５ｃｍから１０ｃｍに縮小したもので、安定法面における緑化基礎工として、経済性、施工性に優れ、約２０％のコスト縮減が図られる。
３	石川県産軽石が主成分の濁水凝集剤	区分１	資源の有効利用とともに、市街地での建設工事現場における小規模濁水処理工で、従来のバキューム処理よりコスト縮減が期待できる。
４	袋型根固め工用袋材(ｷｮｰﾜ式ﾌｨﾙﾀｰﾕﾆｯﾄ ｴｺｸﾞﾘｰﾝ)	区分１	原料をペットリサイクル材、色をモスグリーンとしたもので、現場の景観に応じた使い分けを可能とし、リサイクルの促進につながる。
５	再帰反射性水性塗料（ブライトコート）	区分１	再帰反射性を有した水性塗料。夜間、車のヘッドライトで本塗料を塗布したガードレール、縁石、中央分離帯等を照らすと、ドライバーからは明るく見えるため、衝突、接触を回避する効果が期待できる。
６	TK ウォール(間伐材利用ｼﾞｵﾃｷｽﾀｲﾙ補強土壁)	区分１	ジオテキスタイルを用いた補強土壁工（巻込み形式）であり、壁面部に間伐材を利用することにより、自然環境への調和を図るとともに、間伐材の有効利用を促進することができる。
７	イージーラーメン橋	区分１	橋梁上部と橋台を一体化することにより、基礎杭に作用する水平力が小さくなるため、基礎杭の本数低減や下部工の規模縮小が可能となり、コスト縮減や施工期間の短縮などが期待できる。
８	靭性モルタル TYPE-1N	区分１	特殊な混和剤や繊維を混入したモルタルであり、従来製品と比べて磨耗が少なく、モルタルとコンクリートとの接着性が良いことから、耐久性が高く、施工性に優れた表面保護材としての活用が期待できる。
９	防草緑化工法	区分１	水路の法面や植樹帯等において、雑草の生えにくい防草土を敷き均し、防草土でも育成可能なヒメイワダレソウを密生させ、雑草の抑制と緑化を同時に行うことで、草刈りに要する維持管理費の削減が期待できる。
１０	ＲＳ緑化工法（H-100 型）	区分１	法枠工事における鉄筋の固定材を小さくし、鉄筋を確実、簡易に固定できるとともに、固定材はリサイクル製品であるため、施工性や環境面に優れている。
１１	環境負荷に配慮した生分解性防草シート「お墨付き」	区分１	綿ニットで製造した防草シートであることから、微生物により分解されるため、撤去処分が不要となるほか、色の種類も豊富なため、環境や景観に対する配慮に優れている。
１２	バサルトネット工法	区分１	コンクリート構造物の剥落防止工法。玄武岩製の粗めのネットを半透明の接着剤で貼り付けるため、施工後もクラック等の確認が可能であるほか、材料は耐候性に優れており、通常、表面保護のために施工される仕上げ塗りが不要となるなど、機能面や経済性の向上が期待できる。

【石川県建設新技術認定・活用制度に関するホームページ】

http://www.pref.ishikawa.jp/gijyutsu/singijyutu/index3.html

ＳＩＭＡＲ工法（吸水型振動棒締固め工法）

前田建設工業株式会社　土木設計・技術部　設計第２グループ長　○手塚　広明
土木設計・技術部　開発チーム長　清水　英樹

１　はじめに

東日本大震災によって首都圏を中心とする各地にもたらされた液状化被害は，その激甚さゆえに“液状化現象の恐ろしさ”を広く市民に認知させると同時に液状化対策の重要性を地盤技術者に再認識させるに至った．そして，液状化対策の適用範囲を拡大して多様なニーズへの対応が求められるであろう今後，既存技術の域を超えた，さらなる工夫・改良の責務が課せられたものと考える．液状化対策地盤改良工法のうち，最も豊富な施工実績を有する締固め工法にあっても，市街化地域に適用可能かつ，より経済性に富んだ工法が求められている．ここに紹介するＳＩＭＡＲは，独自の発想のもとに改良効果の増進を図り，工期短縮と工費低減を実現する技術として，適用拡大を目指すものである．

図-1　ＳＩＭＡＲ施工状況

２　工法概要

ＳＩＭＡＲの工法原理を図-2に示す．従来の振動棒締固め工法（ロッドコンパクション工法，以下「ＲＣ工法」と称す）では，振動締固め時に加振ロッド周辺地盤の過剰間隙水圧が上昇し，局所的に人為的な液状化が発生することで，振動エネルギーの伝播が阻害されているという現象が確認された．

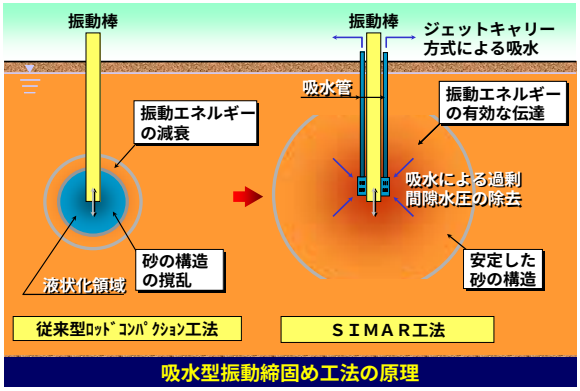


図-2　従来技術との工法原理の比較

そこで，従来型振動棒に吸水機能を付加して，ロッド加振時の過剰間隙水圧の消散を図り，ロッドの振動エネルギーを，より効果的に伝播させることで，改良効果の飛躍的な向上を実現したのがＳＩＭＡＲである．また，吸水システムにジェットキャリー方式を採用することで，吸水時の揚程問題を解決し，改良深度30m程度まで対応を可能としている．

３　工法の特徴

３．１　工期短縮及びコスト縮減

ＳＩＭＡＲは，振動締固め時に吸水を併用することで改良効果を高める工法であるため，透水性の高い地盤ほど，より高い改良効果が期待できる．図-3には地盤の細粒分含有率FcとＳ Ｃ Ｐ工法に対するコスト比の関係を示す．この図より，ＳＩＭＡＲのコストメリットが発現するのはFc≦30%の地盤で，Fcが10%前後の砂質地盤ではＳ Ｃ Ｐ工法に対して20%前後のコスト縮減が見込めることとなる．

図-4には細粒分含有率Fcが10%前後の地盤において実測された，同一改良目

標に対するＲＣ工法，ＳＣＰ工法，ＳＩＭＡＲの改良ピッチの比較例を示す．ＳＣＰ工法が□-2．1×2．1ｍの改良ピッチであったのに対して，ＳＩＭＡＲでは□-3．3ｍ×3．3ｍまで改良ピッチを拡大することが可能であった．その結果，改良杭の打設本数では，ＳＣＰ工法に対して60%程度（（1-2．1^2/3．3^2）=59．5%）の削減となり，工期短縮とコスト縮減を実現した好例となった．

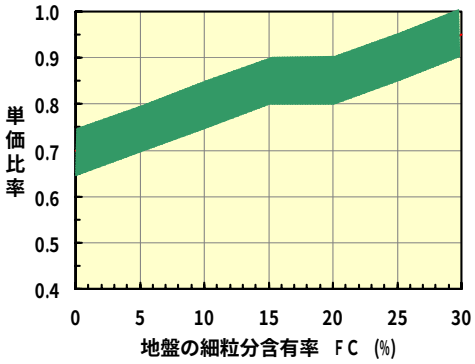


図-3　ＳＣＰ工法とのコスト比

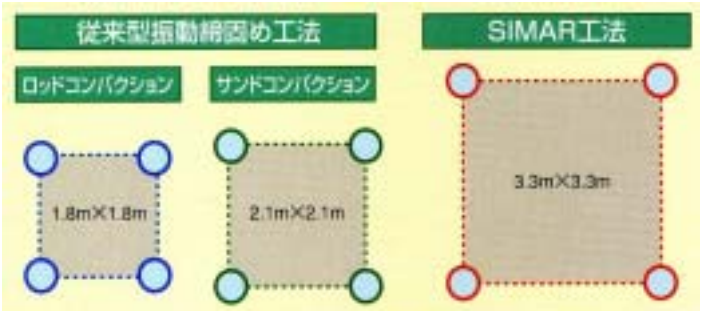


図-4　同一改良目標に対する改良ピッチの比較例

３．２　周辺地盤への影響（変位・振動）

従来より，ＳＣＰ工法ではφ400 ケーシングパイプから地中に砂を供給したのち，ロッドの引抜き→打戻し工程を繰り返すことでφ700 相当まで拡径した砂杭を造成するため，施工に伴う地中押出し変位が発生することが知られている．一方，ＳＩＭＡＲによる改良では地中に砂杭の造成は行われず，緩く堆積した地盤を直接的に締め固めるため，相対的な地位中変位は少ないことが確認されている（図-5）．したがって，改良エリア近傍に既設構造物等が存在する場合の影響が小さい工法であるといえる．

また，振動の距離減衰傾向を比較した図-6によれば，建設作業振動規制規則における基準値75dB以下となる振源からの離隔は，ＳＣＰ工法が60ｍ程度必要であるのに対し，ＳＩＭＡＲでは20ｍ程度で基準値を満足できることが確認されている．

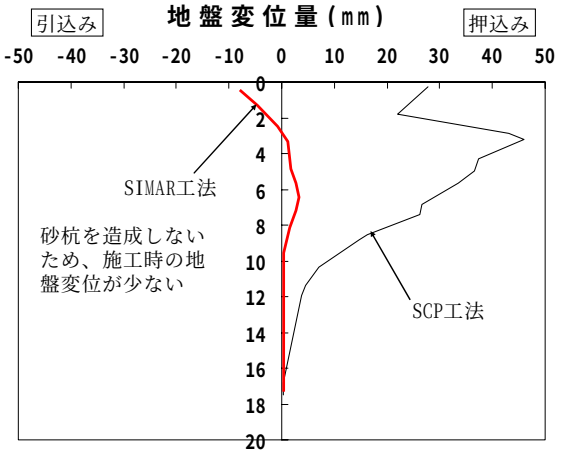


図-5　地盤変位の比較

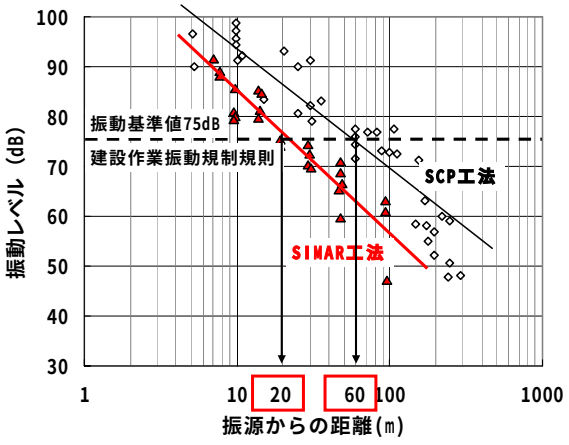


図-6　振動の比較

３．３　礫質地盤への適用性

前述のごとく，ＳＣＰ工法ではケーシングパイプを用いた砂杭の拡径造成を行

うため，初期Ｎ値が 20 を超える地盤や礫質地盤などでは，プレボーリングが必要となる場合や施工不可となるケースが報告されている．

一方でＳＩＭＡＲは，振動棒に H-400 形鋼を用いており，ロッド先端部の貫入抵抗が小さいため，Ｎ値 20 超の地盤や礫質地盤への適用事例も有している．写真-1 は，福井県某施設向けに岩砕土砂にて造成された埋土地盤への適用事例を示している．

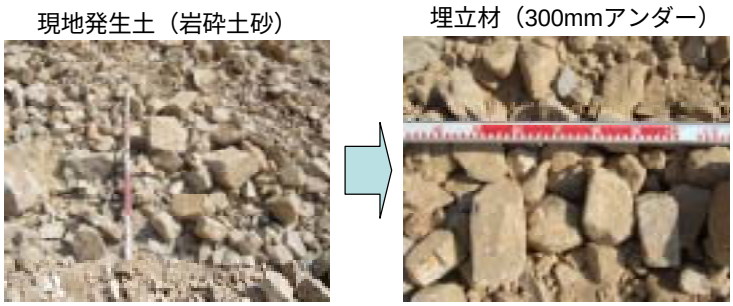


写真-1　礫質地盤への適用

4　東日本大震災における地盤の液状化対策効果

茨城県沿岸地域のライフラインを司る重要施設において，2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では深度 6 弱の地震動により，大規模な液状化現象が発生した．元々，当該施設が立地する地盤は，平成 9 年から平成 11 年の間に埋め立てられた箇所であり，約 20m の埋土層は細粒分含有率 20%程度以下，Ｎ値＝5～20 の緩い砂地盤であった．

当該施設の機能維持を目的とした液状化対策工事にＳＩＭＡＲが採用された（施工期間：2010 年 5 月～2011 年 12 月）．写真-2 は，まさに東北地方太平洋沖地震の発生直後に当該施工箇所にて撮影されたものであり，液状化対策の有無により，液状化の発生と被害状況に明らかな差異が確認される貴重な記録となった．

5　さいごに

震源地に近い茨城県沿岸地域において地盤改良工事を完了した直後に，この度の東日本大震災に遭遇することとなり，図らずも当該地盤改良工法の改良効果を実証することとなった．この機に各種サウンディング調査を実施し，改良効果の定量的評価を現在試みていることから，別途，報告の機会を得たいと考えている．

写真-2　SIMAR 工法による対策効果

水中不分離可塑性グラウトによる充填補修補強工法『パフェグラウト工法』

日特建設株式会社　技術本部　主任　　窪塚　大輔

1　まえがき

我が国の社会資本は、戦後の高度経済成長とともに着実に整備されてきたが、近年、急速に高齢化が進行している。そのため、我が国は、それらの社会資本の維持管理さらには更新するための費用が増加していくという課題に直面している。また、高齢化した施設の割合が増大していくと、それらを利用する国民が重大な事故に遭遇することが懸念される。

こうした社会状況を鑑み、構造物や基礎地盤に生じた空洞・空隙を施工条件や環境に応じた最適な方法で充填し、社会資本の長寿命化を図ることを目的としパフェグラウト工法を開発した。

本報文は、パフェグラウト工法について概説し、実際に施工した２例について報告するものである。

2　パフェグラウト工法

パフェグラウト工法は、基材と可塑材の２液を別々のラインで圧送し、先端で混合するセメント系の可塑性充填材「パフェグラウト」と注入制御装置「COGMA システム」を組み合わせた空洞・空隙充填工法である。以下にその特徴を示す。

2．1　可塑性

可塑性とは、グラウト材が加圧下では流動性を発現し、無圧下では流動性を失う特性である。すなわち、パフェグラウトは「柔軟性」、「自立性」を有したグラウト材である。したがって、空洞・空隙を確実に充填することができる一方で、空洞を限定的に充填することも可能である。（写真-1 参照）

写真-1　可塑性（柔軟性と自立性）

2．2　非収縮性

パフェグラウトは硬化後の非収縮量が 1%以下※であるため、空洞や空隙を隙間なく充填することができる。写真-2 に、パフェグラウトを実際の空洞・空隙に充填し、コア抜き調査により充填状況を確認したものを示す。パフェグラウトが空洞はもとより礫層部も密実に充填されていることが確認できた。

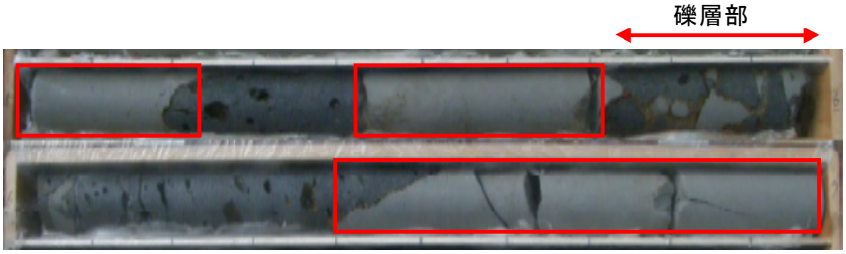


写真-2　非収縮性（赤枠：パフェグラウト）

２．３　水中不分離性

パフェグラウトは静水中で溶け出さない水中不分離性※を有していることから、湧水や宙水（たまり水）などが認められる空洞・空隙に対しても充填が可能である。(写真-3 参照)

※JHS 覆工背面空洞注入材の適用性確認試験方法（案）に準拠した試験結果。

写真-3　水中不分離性

２．４　COGMA システム

従来、2 液性のグラウト材の施工時の配合調整は、ポンプ操作者が基材の吐出量に合わせ添加材の吐出量を調整していた。しかしながら、こうした作業ではヒューマンエラーが発生し易く、それに伴いグラウト材の品質低下が散見された。そこでパフェグラウトを構成する基材、可塑剤、エアー量を設定した配合で自動吐出制御できる COGMA システムを開発した（写真-4 参照）。また COGMA システムに、注入孔口元に取り付けた圧力センサーが設定圧力以上になるとグラウトポンプを自動停止する機能も付加した。パフェグラウトの施工システムへ COGMA システムを導入したことにより、老朽化した構造物等に対しても充填材の吐出圧力による構造物の変位を発生させることなく安全に施工することができるとともに、高い品質を確保することが可能になった。

写真-4　COGMA システム

２．５　標準配合

パフェグラウトの標準配合として、2000m 程度まで圧送可能な 1 号（長距離配合）、エアミルクを基材とした 2 号（軽量配合）、24N/mm^2 の圧縮強度を有する 3 号（高強度配合）、エアモルタルを基材とした 4 号(エアモルタル配合)がある。また施工条件、環境に応じて特殊配合の設定も可能である。

３　施工例

３．１　海岸線護岸背面空洞充填工事

本工事は、既設護岸背面にできた空洞を充填し吸出し防止を目的とした緊急工事である。現場の護岸は、海に面し鉄道が並行していた。施工上の課題として、①プラントと充填箇所の間に鉄道が横断し圧送距離が 150m以上となること、②充填材に耐海水性が求められていることであった。耐海水性を有する 3 号（高強度配合）は、可塑材の粘性が高く長距離の圧送は不可能であった。

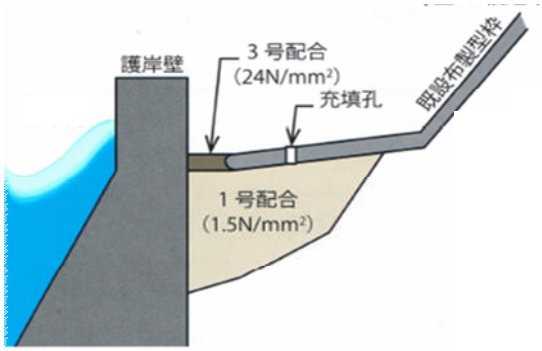


図-1　施工全景および施工概要図

対策として、3 号（高強度配合）の可塑材の性状を変え 150m の圧送が可能な特殊配合とした。また、吸出しで生じた大きな空隙は 1 号（長距離配合）で充填し、海水の飛沫を浴びる表面に 3 号（高強度配合）を適用し、施工性および経済性の向上を図った。（図-1 参照）

工事は、線路下を配管することで列車の運行に支障をきたすことなく、また、充填材の海面への流出や海水による分離等もなく施工ができた。（図-2 参照）

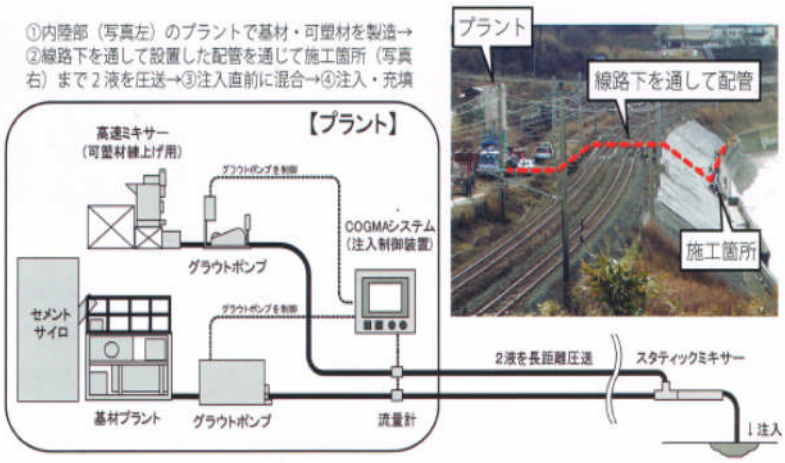


図-2　施工システムおよび配管全景

３．２　水路トンネル覆工背面空洞充填工事

本工事は、小断面長距離の導水路トンネルの覆工背面の空洞充填を行う補修工事である。空洞が生じた場所は、坑口から数 100ｍ～2000ｍ程度の範囲に点在していた。導水路トンネルは、小断面で注入機械を坑内に搬入し移動式で施工することは不可能であった。

長距離の圧送が可能な 1 号（長距離配合）を適用することで、導水路トンネル内の仮設は注入配管と通信線程度で施工することが可能となった。また、本導水路トンネルは老朽化が著しい箇所があったため、注入口元に圧力センサーを取り付け、急激な圧力上昇時にグラウトポンプを自動停止する方式を採用した。本方式の採用により過大な圧力による構造物の損傷や変位も発生させることなく施工を終えることができた。（写真-5 参照）

写真-5　プラント全景および導水路トンネル坑内

４　結び

本工法は平成 16 年度から開発を始め、翌 18 年度に初めて現場で適用された。これ以降、平成 23 年度末までに 90 件以上の施工実績を積み重ねた。

今後も様々な社会資本の補修補強に寄与できるよう改良、開発に励む所存である。

クレーン作業安全誘導システムの開発

株式会社本間組　土木事業本部 土木部　係長　　○馬場　俊哉
土木事業本部 土木部　担当課長　飯塚　精也
土木事業本部 土木部　係長　　皆川真一郎
土木事業本部 技術部　係長　　本間　義信

1　はじめに

海上クレーンによるブロック積込みからブロック据付けまでの一連作業において、船位誘導やクレーン吊荷の誘導時の安全確認はクレーンオペレーターや合図者による目視観測に頼らざるを得なかった。また、ブロックの据付け位置の確認はブイや既設構造物を基準にして管理されていた。他に、玉掛け作業時において、玉掛け作業員と吊荷との離隔確認は合図者のみで行っており、クレーンオペレーターは死角に入った玉掛け作業員の姿を直接確認できないまま、作業を行うこともあった。一方、海上クレーンを用いてブロックを水中に据付ける際には、水中の潜水士とブロックの接触が懸念されていた。工事中の潜水士の位置は、潜水士の呼吸気泡による目視確認、有線電話による状況確認により行われてきたが、確実性の面で課題があった。

この様な背景から、海上ブロック据付工事のブロック積込みから据付けまでの一連作業における安全性、施工性向上を目指した総合管理システムを開発した。

本報では、開発の背景、技術の概要及び適用事例について報告する。

2　課題の整理

表－１に海上クレーン作業各工程における課題について整理する。

表－１　海上クレーン作業各工程における課題

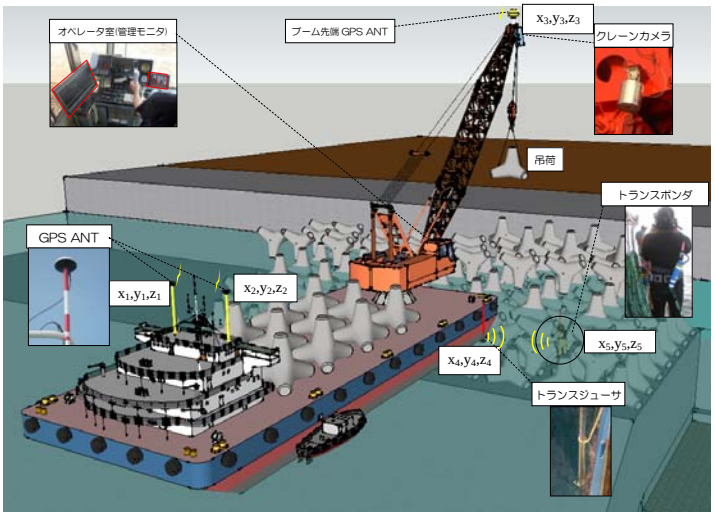
施 工 フ ロ ー	作 業 内 容	従 来 技 術 の 課 題
ブロック積込み	・仮置き場における玉掛け	玉掛け作業員がブロックによりクレーンオペレータの死角に入るため、クレーンの停止始動は合図者の確認指示に頼らざるを得ない。
	・船へのブロック積込み ・玉外し	
係船作業	・係船 ・転船	誘導作業には、測量作業（目印）と目視観測が伴う。
ブロック据付 （積出し作業）	・船上における玉掛け ・積出し	玉掛け作業員がブロックによりクレーンオペレータの死角に入るため、クレーンの停止始動は合図者の確認指示に頼らざるを得ない。
ブロック据付　（水中部）	・ブロック誘導	ブロックの据付け位置は潜水士の誘導に頼らざるを得ない。
	・クレーン旋回	吊荷と潜水士の離隔が明確ではない。
ブロック据付　（陸上部）	・ブロック誘導	ブロックの据付け位置は合図者の誘導に頼らざるを得ない。

これらのように、各作業工程には段階的に慎重かつ確実な合図誘導が必要であり、単独判断によるヒューマンエラーへの懸念などがあった。従って、限られた海象条件下で迅速かつ確実な施工が求められる海上クレーン作業では施工性や安全性の向上を図るための新たな支援方法が求められていた。

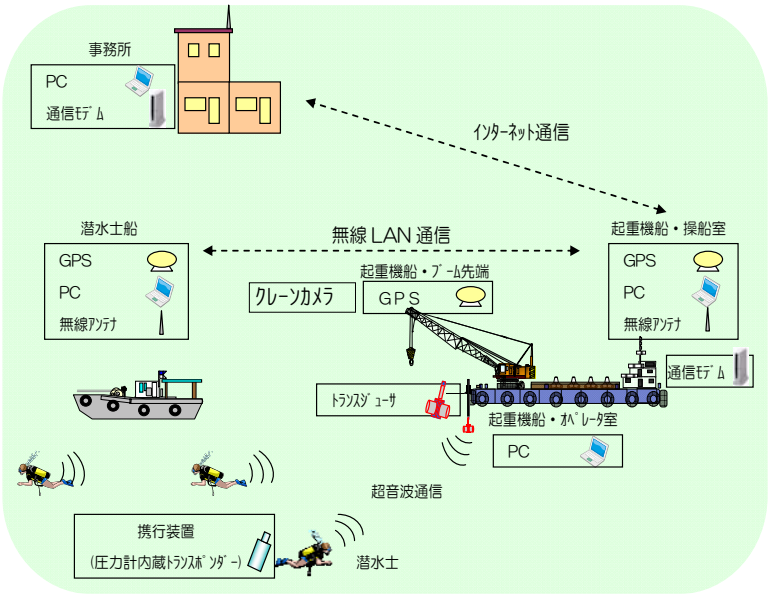
３　システムの概要

３．１　位置情報管理

本システムはクレーン船の船体位置、吊荷位置や旋回情報ならびに潜水士の位置情報の把握が運用上重要であるため、実績が多く信頼性の高いＧＰＳ技術と水中音波計測技術を採用している。計測概要を図－１に示す。潜水士の位置計測は、潜水士に携帯させた圧力計とトランスポンダが一体となった携行装置により行っている。トランスポンダとは超音波による応答装置のことで、作業船に取付けたトランスジューサからの超音波信号に対して応答信号を返信し、応答信号の位相差により潜水士までの距離と方位を計算して潜水士の平面位置（X,Y）を求めるものである。また、より精度を必要とする潜水深度(Z)については､圧力計により深度を測定し、超音波信号としてトランスジューサに送信している｡これにより、潜水士の水中での三次元位置(X,Y,Z)が把握できる。一方、吊荷の位置については、クレーン船の任意の２カ所及びクレーンブーム先端にＧＰＳアンテナを取付け、ＧＰＳから得られた座標データにより、クレーン船及び吊荷の位置をリアルタイムで計測している（図－２参照)。また、本システムではクレーントップカメラによるクレーン作業中の上空監視を採用しており、玉掛け作業時における玉掛け作業員と吊荷の相対的な位置が確認できる（写真―１参照)。



図－１　計測状況



図－２　システム概要

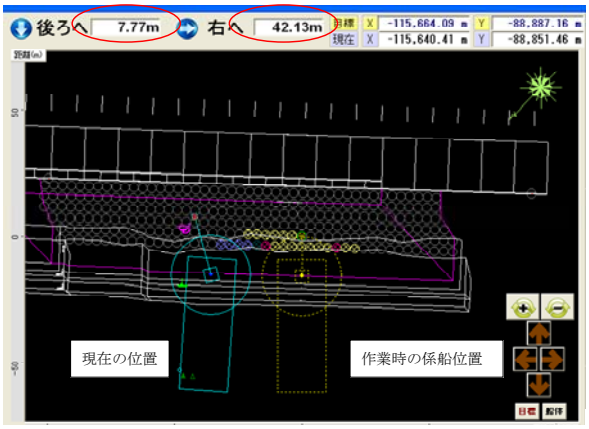
写真－１　クレーンカメラ

３．２　管理モニタの概要

位置情報のアウトプットデータをもとにクレーン船の船体位置、吊荷と潜水士との相対位置、ブロック据付区域の全体作業状況が同一画面上に表示可能で、画面の選択により個々の画面を拡大表示できるようになっている。管理モニタは、潜水士船、クレーン船にそれぞれ設置し、管理作業を行うことができる。また、現場事務所へもデータ転送が可能であり、現場事務所で総合的な管理が行える（図-２参照)。

３．２．１　船位誘導

転船、係船時は、クレーン船の現在位置と計画位置（転船、係船目標位置）を管理モニタで確認しながら操船する。操船員はモニタを確認することで、誘導員からの無線指示や合図に頼ることなくウインチ作業できるので、転船、係船作業の省力化と迅速化を図ることができる。図－３に船位誘導管理画面を示す。



図－３　船位誘導管理画面

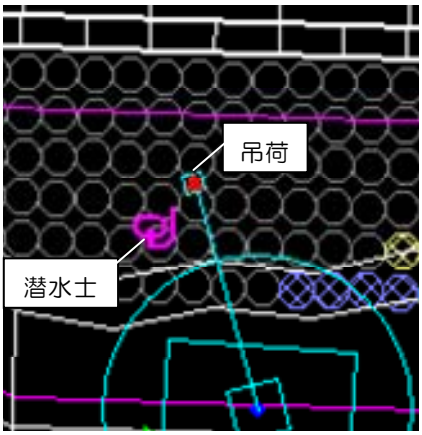
３．２．２　クレーンカメラによる上空監視

玉掛け作業時では、クレーンカメラにより吊荷周辺を上空監視する。カメラモニタをクレーンオペレータ室に設置することで、ブロックによってクレーンオペレーターの死角に入った玉掛け作業員とブロックの相対位置を確認しながらクレーン操作ができる。従って、玉掛け作業前後のクレーン旋回や巻上げ作業時における、作業員とブロックの接触防止対策に有効である。また、クレーン船へのブロック積込み作業あるいは陸上部のブロック据付け作業時には近接するブロックの配置状況を直上から把握可能であるため、ブロック配置が的確となる（写真－２参照）。

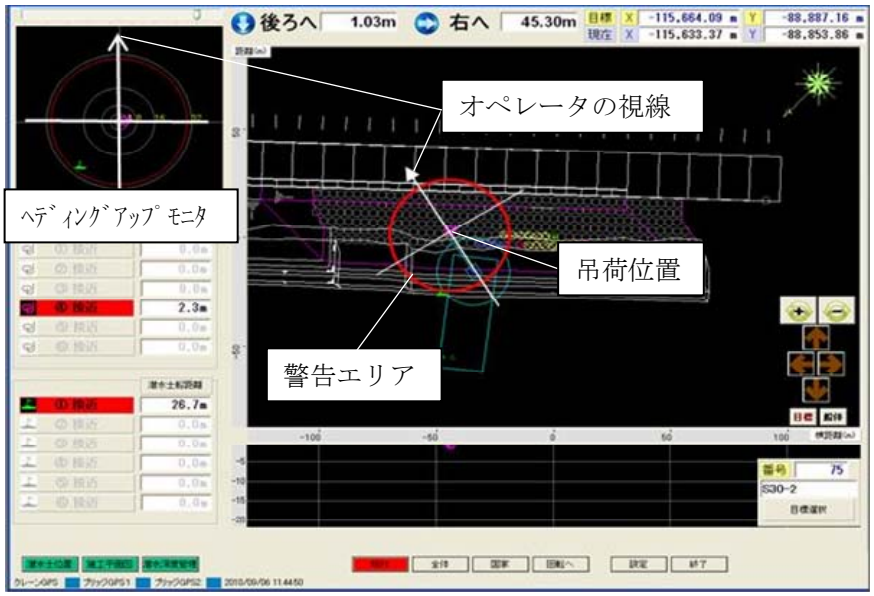
写真-２　クレーンカメラ映像モニタ

３．２．３　潜水士と吊荷の離隔確認と進捗管理

ブロック据付け作業中は、潜水士と吊荷の相対的な配置状況が平面的に把握可能である（図―４参照）。新たに採用したヘディングアップモニタは、潜水士と吊荷の位置をクレーンオペレータの目線で表示できるため、ヒューマンエラーによる誤った旋回操作を排除し、吊荷と近接する潜水士の接触防止対策に有用となる。さらに、吊荷を中心とした危険範囲を任意に設定可能で、設定した危険範囲内に潜水士が入った場合には警告音と警告表示を発することができる（図－５参照）。

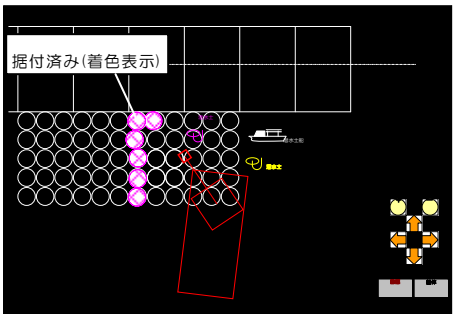


図－４　潜水士と吊荷の配置状況



図－５　ヘディングアップ状況と警告エリア

また、ブロックの計画配置の入力表示と据付け完了後のブロックの着色機能により、進捗管理が容易となる（図－６参照）。

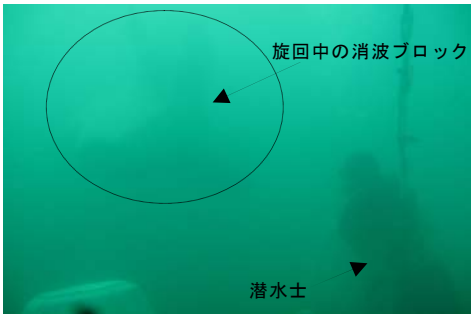


図－６　ブロック着色表示

４　適用事例

東北､北陸地方のブロック据付工事で本システムを適用した。工事では、それぞれ 1500 個、250 個の 50ｔ消波ブロックを据付けた。据付けに際しては、管理モニタを参照しながらクレーン船を所定位置に係船し、事前に入力したブロック据付け位置に合わせて、ブロックの設置を行った。潜水士と吊荷の位置確認についても、管理モニタで的確に把握しながら安全に作業できた。また、警告エリアを設定して作業を行い、ブロック据付け作業中、クレーンの旋回に伴って潜水士が警告エリア内に入った際に、画面で警告表示されると共に警告音が発生していることを確認した。これにより､潜水士に対し､吊荷の接近を事前に連絡することができた。このときの水中作業状況を写真－３に示す。作業時、海中の視程が不良な状況下でも、潜水士は安全な間隔を保ちつつ、ブロックの接近を目視によらず事前に確認することができた。

クレーンカメラの効果についても作業毎に確認した。吊荷周辺を上空監視することで玉掛け作業員と吊荷の相対位置が確認でき、クレーンオペレーターの死角を排除することができた。また、陸上部においては、クレーンオペレータがブロックの離隔を直接目視できるので適切な配置間隔が確保できた（写真－４、５参照)。なお、施工中は、故障などのトラブルは発生していない。



写真－３　水中作業状況

写真－４　クレーンオペレーター目線（オペレータ室）

写真－５　カメラモニタ

５　おわりに

本システムは海上ブロック据付工事のブロック積込みから据付けまでの一連作業における総合管理システムの構築を目指したもので、吊荷と潜水士の相対位置のリアルタイム監視、吊荷周辺の直接監視、ブロック据付けの進捗管理が容易となり、安全性、施工性の向上が実現できた。今後の新規工事においても、本システムを積極的に活用し、安全性、施工性向上や省人化を図っていきたい。

第2会場

第Ⅰグループ

雪崩検知システムの開発

（株）興和　水工部　課長　○大川　滋
同上　部長　斎藤　浩之
（独）防災科学技術研究所　雪氷防災研究センター　主任研究員　上石　勲

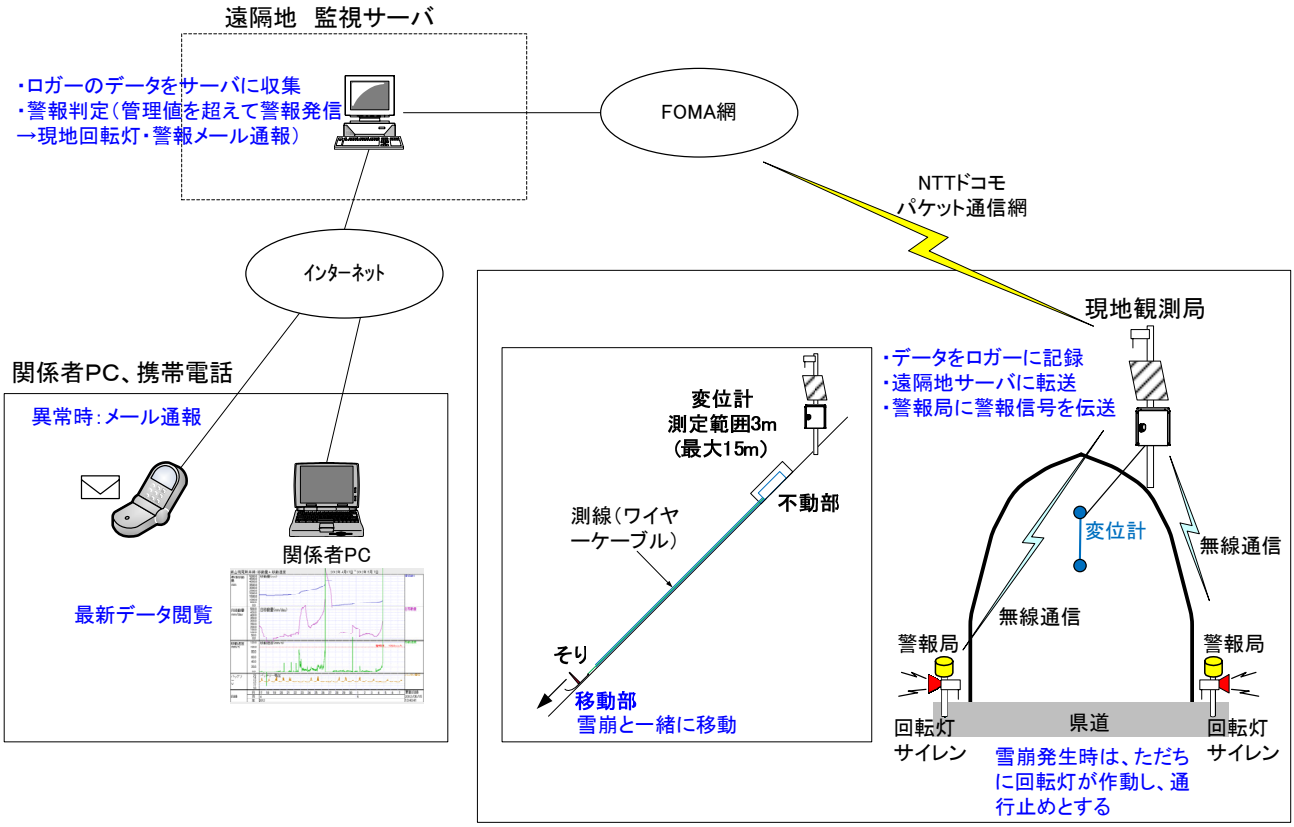
1　はじめに

近年、積雪地方の道路の整備が進むに従い、冬期の道路斜面で発生する雪崩の影響が深刻になっている。特に人工斜面に積もった雪は滑りやすく、車道までせり出したり、あるいは道路面に崩落したりして交通障害を起こしたりしている。時には人身事故にいたる恐れもありうる。

このような状況の中、地すべり計測で培った技術を雪崩計測に応用し、斜面積雪の移動量や移動速度を自動観測するシステムを開発した。今回は、雪崩検知システムの概要と新潟県内で積雪移動量観測を行った事例を紹介し、その有効性について述べる。

2　システム概要

雪崩検知システムは、積雪地方の道路斜面などに設置し、雪崩の監視、警報発令、データ蓄積を行うシステムである。雪崩発生を把握するのに有効と考えられる検知装置を、斜面に設置し、観測を行う。変位計、データロガー、携帯パケット通信端末を取り付けることで、斜面積雪の移動量の計測、雪崩発生の監視、雪崩発生時の警報発令などが可能となる。



図－１　雪崩検知システム概要

雪崩検知システムの特徴は次のようなものが挙げられる。

- 斜面積雪の移動量を自動的に測定・記録・判定することが可能。
- 低消費電力なので、バッテリーおよび太陽電池で運用が可能。
- 回転灯などの警報機を配置することで、移動量増加時に警報を発令することが可能。
- 携帯パケット通信端末を接続することで、インターネットで現地状況を把握したり、雪崩発生を通知するメールを出したりできる。

3　観測事例

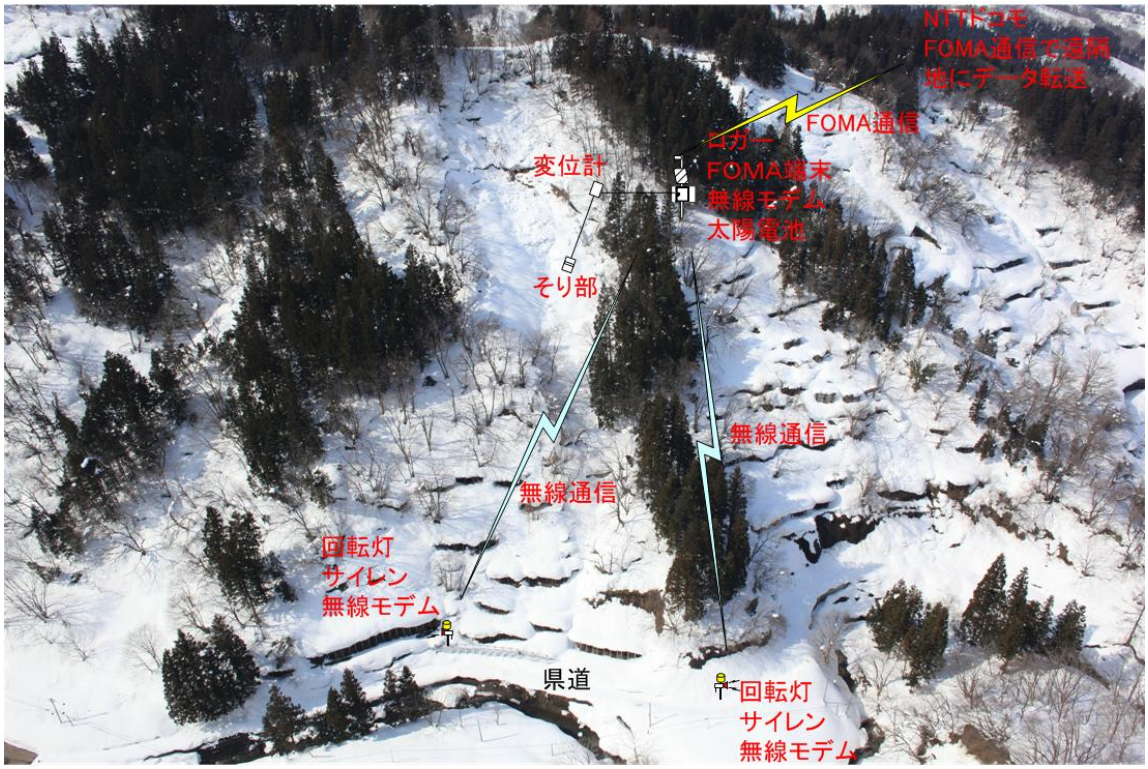
3．1　設置状況

新潟県上越地方の県道沿いの斜面に設置し、雪崩の挙動を監視した事例を示す。

設置箇所は、県道から100m～150mほど斜面上部で雪崩が発生する危険があり、長期間全面通行止めとなっていた。現地調査の結果、通行規制解除のためには雪塊の移動観測および監視が必要であるという判断となり、全面通行止めから夜間通行止めへ規制変更する前に雪崩検知システムを設置し、継続的に観測と監視を行った。

写真－１の航空写真に雪崩検知システムの配置状況を示す。県道から斜距離で150mほど斜面上部に変位計を設置し、移動部となるそりを配置した。変位計わきの林にロガー、通信装置、電源を設置し、変位データを判定・蓄積している。さらに警報発生時は、特定小電力無線を利用して県道に設置してある回転灯・サイレンを作動させ、道路上の監視員が通行止めの措置を行う。

また、携帯パケット通信端末を取り付けて、遠隔地にある監視用サーバにデータを転送し、データグラフのインターネットへの公開、および雪崩発生時の関係者携帯電話へのメール通報を行う。



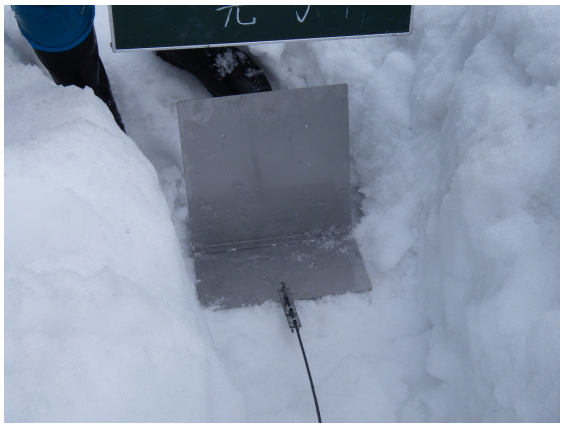
写真－１　システム設置事例

積雪移動量の計測には写真－２の変位計（不動部）から引き出されるワイヤーの長さを電圧値の変化として出力し、データロガーに取り込むことで行っている。写真－３の先端のそり（移動部）については、ステンレス板に縦30ｃｍの受け板を取り付け、雪崩監視斜面の積雪を堀りこんだところに埋め戻して設置した。変位計とそりはワイヤーを数十m延長して連結した。

観測方法は、斜面に先端のステンレス製の移動部を、斜面上部にセンサを固定し、雪崩監視斜面から離れた林内の木に写真－４のようにロガー等をセットして移動距離と移動速度を計測した。雪崩発生時には県道に設置してある写真－５の回転灯とサイレンが自動的に作動する。

また、取得したデータはインターネット上に公開し、雪崩監視の関係者がほぼリアルタイムで見られるようにした。

写真－２　変位計（不動部）設置状況



写真－３　そり（移動部）設置状況

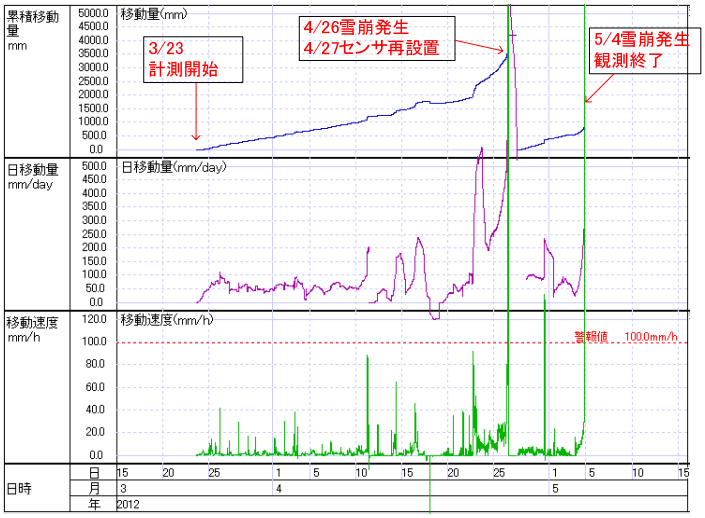
写真－４　ロガー・無線機等設置状況

写真－５　回転灯・サイレン設置状況

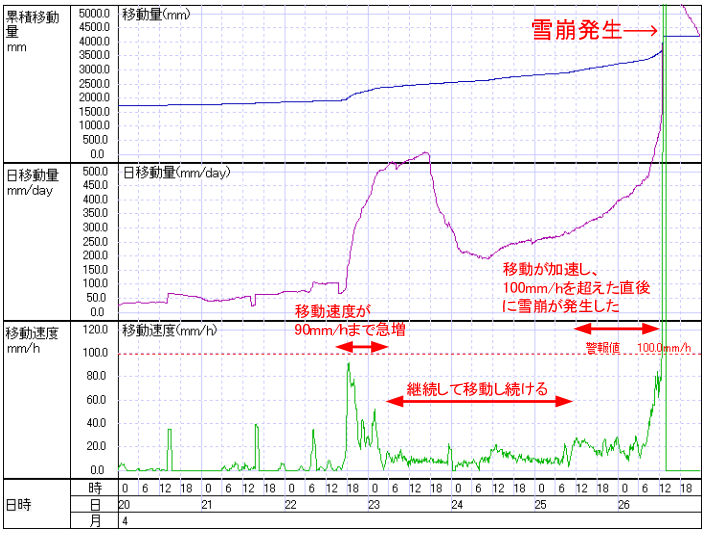
３．２　観測結果

観測は平成24年3月23日に開始し、5月4日に終了した。そのときの観測グラフを図－２に示す。このように累積移動量、日移動量、移動速度をそれぞれ算出して、視覚的にわかりやすいようにグラフ化し、インターネットで関係者に公開した。

図－３には雪崩発生期間の１週間グラフを示す。4月22日～23日にかけて移動が大きくなり、最大で時間90mm/hの移動速度を記録した。23日～25日には継続的な移動が続き、25日の途中から再度移動が加速した。最終的に26日に移動速度が100mm/hを超え、その直後に積雪が大きく移動し雪崩が発生した。なお、このとき発生した雪崩は比較的小規模だったため、県道まで移動した積雪が到達することはなかった。



図－２　全体観測期間グラフ(3/23～5/4)



図－３　雪崩発生時の観測グラフ抜粋(4/20～4/26)

４　まとめ

本システムを利用して斜面積雪の移動量と移動速度を長期自動観測できることが確認された。実際の道路斜面で雪崩の兆候をキャッチし、監視・警報発令・データ蓄積を行うことが可能である。

雪崩の発生は現地の斜面状況や気象条件など、様々な要因と関係しており、今後雪崩観測データを蓄積し、それを解析することにより、雪崩発生を数時間～数十分前に予測することに役立つと考えられる。

また、今後データを蓄積することにより、効率的な雪崩対策工の設計に役立つとともに、雪崩対策工の定量的な効果判定にも活用できると考えられる。

積雪路面でも居眠り防止効果のある切削型注意喚起舗装

株式会社ＮＩＰＰＯ　北信越支店　技術グループ　　村上　　浩
同　生産技術機械部 生産技術グループ ○ 河野　圭吾

１．はじめに

平成 24 年 4 月に関越自動車道で発生した高速バスの事故により、7 名の尊い命が失われ、39 名が重軽傷を負った。原因は過労勤務による居眠り運転ということであった。この事故を契機に、バスの運転手の労働条件が見直されている。しかし、8 月 1 日にも東北自動車道で 31 名が軽傷を負う事故が発生している。これらの事故に先立つ今年の 3 月末に、フランスでは、居眠り運転防止のために高速道路においてランブルストリップスを設置することを義務化した。フランスの高速道路における死亡事故の 1/3 が居眠り運転によるものとされている[1)]。

フランスで設置が義務化された「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て、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注意喚起舗装である。日本でも平成 14 年から北海道を中心に設置されている工法である。本報告では、切削型のランブルストリップス設置箇所を通過した際の効果などについて報告する。

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**）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。開発当初は、安価でかつ手軽に設置できる「転圧型」が主流であったが、振動で 12.6 倍、騒音で 3.4 倍の効果があり、既設路面にも設置できるといったメリットから、現在では、『「切削型」が主流』となっている。

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鋲など
施工時期	任　意	舗設時（As舗装）	打設時（Co舗装）	任　意

２．２　日本における開発経緯

日本にランブルストリップスを導入するために、現在の寒地土木研究所において様々な検討が行われた。それらを時系列で示すと次のとおりである。

平成 12 年：正面衝突事故対策（一般国道 5 号 八雲町）として検討を開始（北海道開発局開発土木研究所；H13.4～H18.3：北海道開発土木研究所，H18.4～(独)土木研究所寒地土木研究所）

平成 13 年：北海道開発土木研究所苫小牧寒地試験道路において３種類の規格による走行試験（被験者 62 名）を実施。騒音・振動測定、走行実験による被験者アンケートなどを勘案し、２輪車も安全な規格を確立（350mm 幅、12mm 深さ）

平成 14 年：一般国道 5 号 八雲町に切削型のランブルストリップスを設置し、事故防止効果が確認

平成 15 年：数種類の切削パターンによる試験を上記試験道路で実施し、被験者 106 名による走行実

験による被験者アンケートおよび騒音・振動測定を実施し、規格を設定。

平成 23 年末現在：全国で約 1,765km の設置延長

２．３　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) 車線逸脱に対する高い覚醒効果が得られる。

(2) 設置費用が安価である（チャッターバーの 1/3 以下、センターポールの 1/2 以下）。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 積雪寒冷地で路面標示を覆うような圧雪路面でも音と振動の効果を保つことができる。

(6) 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。

(7) 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。

２．４　ランブルストリップスの適用箇所

推奨される適用箇所は、次のとおりである。

(1) 正面衝突や路外逸脱等の車線逸脱事故発生箇所　・・・事故の再発防止

(2) 郊外部２車線道路の平たんで長い単調な道路　・・・居眠り運転防止

(3) 死亡事故等の重大災害があった区間　・・・事故の再発防止

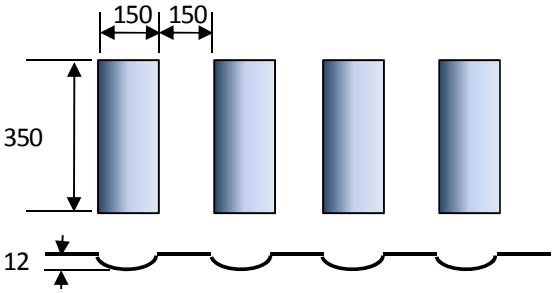
(4) 橋梁やトンネル等の構造物手前　・・・重大事故の防止

(5) 故意に車線を逸脱する車両が多い箇所　・・・カーブにおけるショートカット抑制

ただし、設置にあたり、原動機付き自転車や自転車などの安全には十分に留意して設置することが望ましい。

２．５　ランブルストリップスの設置形状

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、**図－１**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。



図－１　ランブルストリップスの形状

２．６　施工

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

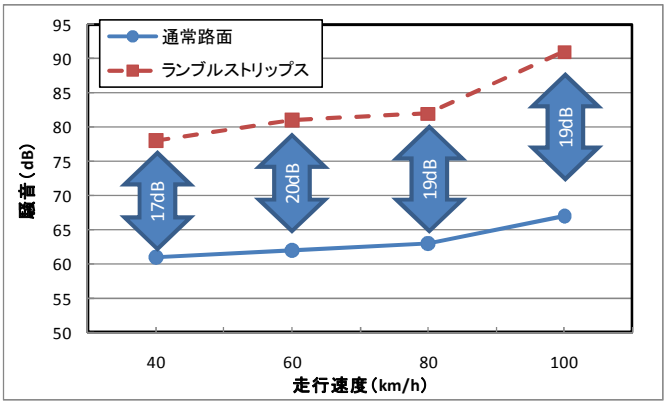
写真－１ 使用機械

ピッチで切削縦幅 15cm のランブルストリップス設置することができる。(**写真－１**参照)

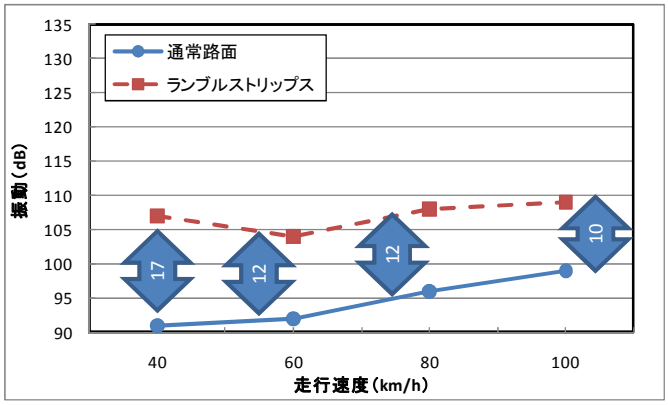
３　各種試験結果

３．１　騒音および振動測定

３種類の深さに調整したランブルストラップスを設置し、その上を乗用車（ワゴンタイプ：1800cc）で走行させ、車内の助手席ヘッドレスト部分に騒音計、ハンドルの軸上に振動を測定するピックアップをセットしてそれぞれ測定した。測定結果を**図－２，３**に示す。



図－２　騒音測定結果



図－３　振動測定結果

なお、騒音は３回走行して最大値の平均値としている。**図－２**に示すように、ランブルストリップスを走行した場合の騒音増加量は、どの走行速度においても 15dB(A)以上となっている。

振動については、どの走行速度においても 10dB 以上の増加量を示しているが、一般道で最も多い 40km/h における測定値が最も増加量が大きかった。ここで、60km/h における振動値が最低値であったが、これは、サスペンションなどの車両特性が影響していると考える。

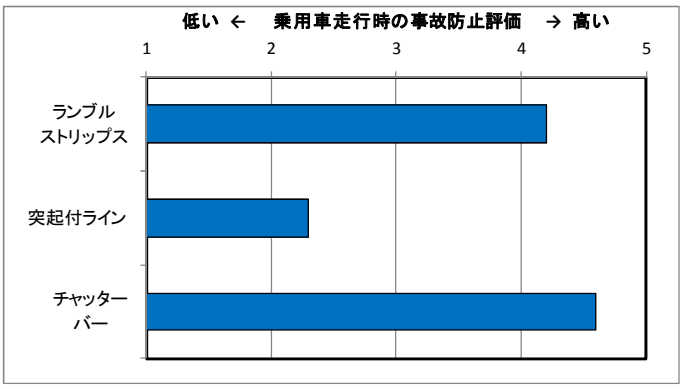
表－２　対象車両と被験者数

実験車両	乗車被験者数
普通乗用車	105
自動２輪車	69
原動機付自転車	101
自転車	105

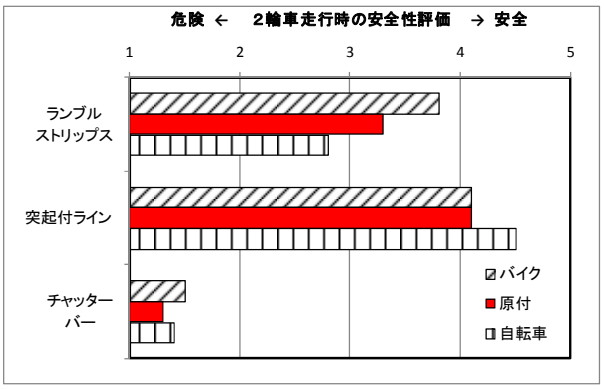
３．２　被験者アンケート

一般道路利用者による走行実験を行った。被験者総数の内訳は**表－２**に示すとおりである。

乗用車を使用して走行した際に感じた事故防止の効果について得られた５段階評価を**図－４**に示す。



図－４　乗用車走行のアンケート結果



図－５　２輪車走行のアンケート結果

この結果、事故防止に対する評価はランブルストリップスよりもチャッターバーの方がわずかながら高い結果となった。一方、２輪車による走行試験をおこなった結果を**図－５**に示す。こちらは、ランブルストリップスなどの上を走行してみて、危険を感じるかどうかとして聞いてみた。その結果、安全性は最も高かったチャッターバーについては、平均で２点を下回る結果（走行して危険と感じる）となった。ランブルストリップスについては、３～４点程度と比較的安全であるとの評価であった。

３．３　冬期路面時の測定結果

冬期路面の条件下で騒音と振動とを測定した。騒音計と振動計は３．１と同様の位置に設置した。**表－３**に示すように、路面状態はシャーベット～圧雪と様々な状態であったが、ランブルストリップスが設置してある区間も設置していない区間もセンターラインは、積雪により全く見えない状態であった。この結果、走行速度 40km/h における騒音値を比較すると、通常路面では 60～65dB(A)であったものがランブルストリップス上を走行すると 73～81dB(A)と大きくなった。また、振動も通常路面で 90～95dB であったものが 105～114dB となる結果が得られた。このように、センターラインが見えない状況でも車線を逸脱したことをドライバーに警告する効果が十分にあるといえる。さらに、除雪と凍結防止剤散布により窪みにたまった雪も散逸する様子が確認されており、冬期路面管理において本工法を設置したことによる不具合の発生はみられていない。

表－３　冬期路面条件下における ランブルストリップス走行時の 車内騒音と振動（40㎞/h）

天候	路面分類	車内騒音	車内振動
		dB(A)	dB
曇	シャーベット	75.6	105.8
雪	シャーベット	77.7	112.4
晴	圧雪	73.6	110.2
晴	シャーベット	81.2	113.9
晴	圧雪	75.5	111.3

４　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。特に、正面衝突を回避するために設置した北海道では設置前後２年間で 152 件から 79 件と 5 割近い事故件数の減少となっている。さらに死亡者数も 46 人から 14 人と 70%減となっていることから、整備効果は確実にあがっている。

さらに、今年の 5 月末には、高速道路株式会社 3 社連名でランブルストリップス（切削型および隆起ライン）の増加をプレス発表するなど、今後も設置対象延長が増加することが予想されている[4)]。

今後は、これまでの研究成果を踏まえ、現在増加している転圧型のランブルストリップスと切削型との比較を行うことで、車線逸脱への注意喚起舗装としてはどれが最適であるかを検証していきたい。

【参考文献】
1)「海外ニュース　フランス 2012 年 3 月 23 日 Le Monde／居眠り運転を防止するため、高速道のランブルストリップスの設置を義務化」，高速道路と自動車 第 55 巻 第 7 号，2012.7.
2) 澤匡介、相田尚、浅野基樹、斎藤和夫：新しい事故対策手法としてのランブルストリップスの開発と実用化に関する研究，土木学会論文集 No.800，Ⅳ 69,101 113，2005.10.
3) 平澤匡介、葛西　聡、相田尚：正面衝突事故対策としてのランブルストリップスの開発と整備効果，土木技術　64 巻 9 号，2009.09.
4) 「関越自動車道における高速ツアーバス事故を踏まえた対応について」，高速道路各社 HP，2012.5.23.

鋼床版橋への温水循環式無散水融雪の適用

（株）興和　水工部課長　　○桑原　賢二
水工部課長代理　　石田　謙介

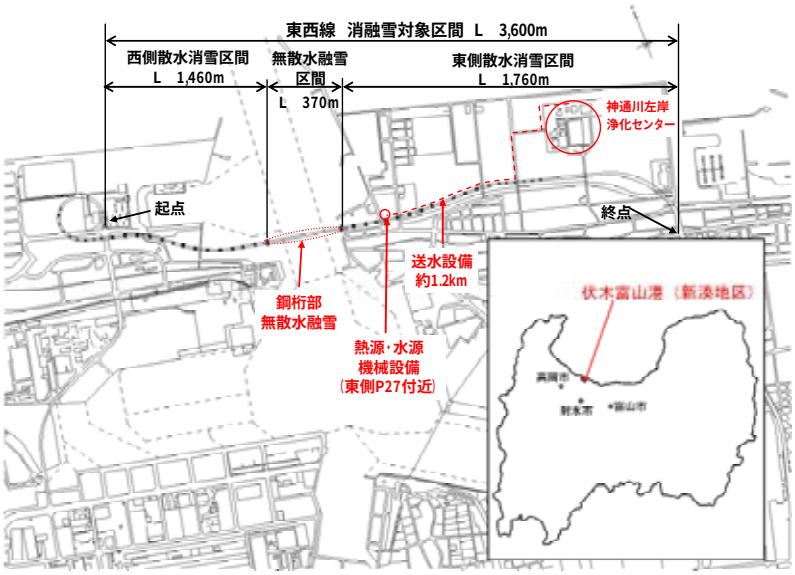
1　はじめに

伏木富山港（新湊地区）臨港道路東西線は、富山新港の東西を結ぶ延長 3.6㎞ の臨港道路であり、富山新港で取り扱うコンテナ貨物を中心とする物流の円滑化・効率化や東西地域の利便性向上を図るため、港湾整備事業として整備が進められている。その橋梁部の名称は、一般市民からの公募により、「新湊大橋」に決定している（写真－１）。

写真－1　新湊大橋

弊社は、2011 年 3 月から 2012 年 3 月までの約 1 年間、新湊大橋の冬期道路交通を確保するための消融雪設備のうち、主として鋼桁部に設置された無散水融雪設備の大部分(熱源機械・橋梁地覆送環水管・放熱管）と、接続する東西の PC 桁部･土工部の散水消雪設備のうち水源機械設備の工事を担当した。

本稿では、鋼桁部に設置された無散水融雪設備を中心に設備内容や施工技術の技術的要点について紹介する。



図－1　新湊大橋消融雪設備平面図

2　設備概要

2．1　消融雪設備の概要

図－１に消融雪設備平面図を、表－１に消融雪設備設計条件を示す。

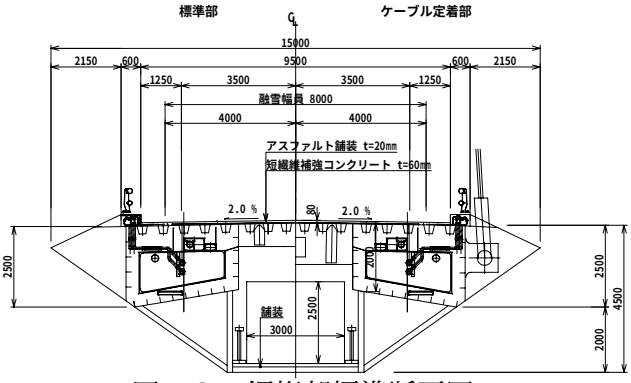
消融雪対象区間は、東西線約 3,600mの全延長となっている。主塔に挟まれた鋼桁部約 370mには無散水融雪が、西側約 1,460m、東側約 1,760mの延長を有するＰＣ桁部および土工部に散水消雪が設置された。総延長約 3,600m、全体消融雪面積約 29,000m^2 の規模は、消融雪設備として国内最大級とな

る。さらに、無散水融雪の熱源に下水処理水熱を利用する水熱源ヒートポンプが設置されたが、圧縮機容量 200kW、加熱能力 1,118kW を誇り、これも融雪目的としては国内最大級のヒートポンプのひとつとなる。

図－２に無散水融雪が設置される鋼桁部の標準断面図を示す。鋼床版下には歩道が設置されるものの、コンクリート床版と比較し放熱が大きいことが見込まれる。無散水融雪の熱効率は、0.50 と設計され[1)]、単位面積あたり必要熱量が海岸部としては比較的大きい 277.2W/m^2 となっている。

表－1　消融雪設備設計条件

気象条件	時間降雪深	2.13 cm/h
	気温	－0.2 ℃
	風速	2.6 m/s
水源	取水温度	13.0 ℃
無散水融雪	必要熱量	277.2 W/㎡
	循環温度	設計：送水11.0℃→還水5.9℃ 実施：送水17.0℃→還水11.4℃
散水消雪	散水温度	10.0 ℃
	基本散水量	0.21 L/㎡・min

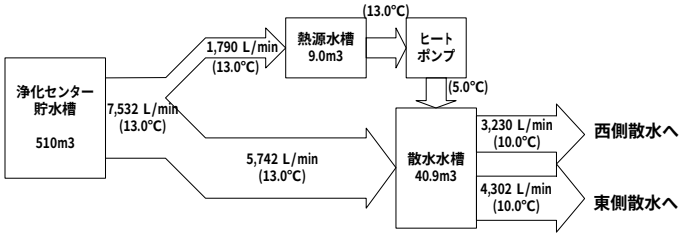


図－２　鋼桁部標準断面図

２．２　下水処理水の利用

本設備は、近隣の神通川左岸浄化センターから海へ放流される直前の「下水処理水」を無散水融雪の熱源および散水消雪の水源に利用している。浄化センター既設排水路の脇に新設した貯水槽から約 1.2㎞ 離れた熱源水槽・散水水槽まで下水処理水を送水する。下水処理水の設計取水温は 13.0℃であるが、熱源水槽での 2 月中旬の測定では常に 16.0℃を上回っており、充分な温度を有していることを確認している。

図－３に下水処理水の水収支イメージを示す。無散水融雪設備は、下水処理水の熱のみをヒートポンプの熱源に利用して融雪用放熱管へ通水する循環不凍液に熱を与え、鋼桁部の路面を温める。散水消雪設備は、無散水融雪で熱を奪った処理水を捨てずに再利用しながら、新たな処理水と混合して直接路面に散水する。



図－３　下水処理水の水収支イメージ

３　無散水融雪設備の省エネルギー性

ヒートポンプを評価する場合に成績係数＝COP という指標を用いるが、それは加熱能力(出力)を圧縮機投入電力(入力)で除した値であり、大きいほど高効率であることを意味する。ポンプ等補機類を含めた全消費電力で評価する場合はシステム COP と呼ぶ。また、省エネ法に規定される電気の１次エネルギー換算効率は約 37%程度であるため、電気駆動のヒートポンプ類はシステム COP に 0.37 を掛けることで簡単に省エネルギー性を評価することができる。

表－２に本設備の省エネルギー性評価(機器定格容量基準)を示す。下水処理水を利用することにより、本設備のシステム COP は、一般的な空気熱源を大きく上回る 4.02 となった。しかし、熱源水を約 1.2㎞ 移送すること、熱源設備と融雪対象箇所が離れていることから、ポンプ等補機動力が大きくな

り、融雪部近接に機械及び水源がある場合よりシステム COP は小さくなる。とはいえ、１次エネルギー変換効率としては約 1.5 あるため、充分に省エネルギー型設備であるといえる。

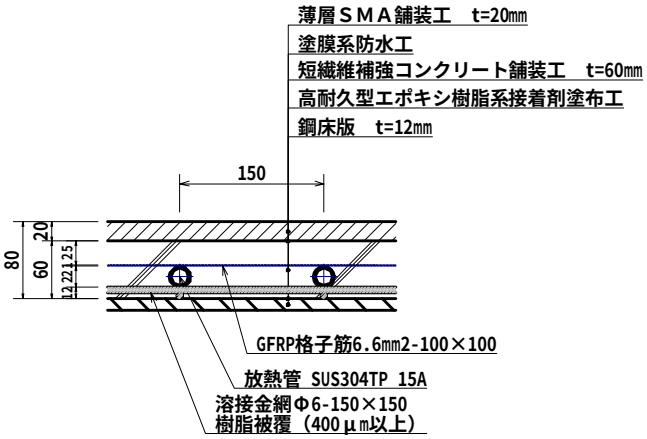
表－２　ヒートポンプの省エネルギー性評価

		新湊大橋				
		COP（ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ単体）	システムCOP	[参考]水源・熱源が融雪部近接の場合のシステムCOP	[参考]（一般的な）空気熱源ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟのシステムCOP	[参考]電熱ﾛｰﾄﾞﾋｰﾃｨﾝｸﾞの場合
入力エネルギー（kW）	圧縮機動力	200	200	200	-	-
	循環ポンプ動力	-	37	15	-	-
	熱源水ポンプ動力	-	11	11	-	-
	取水ポンプ動力	-	30	-	-	-
	合 計	200	278	226	-	-
出力エネルギー（kW）	ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ加熱能力（メーカー保証値）	1,118	1,118	1,118	-	-
COP（成績係数）		5.59	4.02	4.95	2.5～3.0	1.0
[参考]1次エネルギー変換効率		2.07	1.49	1.83	0.925～1.295	0.37

４　融雪用放熱管の施工

４．１　放熱管仕様と溶接接合方法

図－４に放熱管設置断面図を示す。本工事においては、耐久性を考慮して放熱管材質にステンレス(SUS304TP-15A)が指定され、かつ接合方法についてもＴＩＧ溶接と指定されていた。



図－４　放熱管設置断面図

ＴＩＧ溶接には小配管用全周自動溶接機を用いた。自動溶接機には単純な突合せ溶接を行うものが多いが、本工事においてはワイヤ供給機能を持った溶接機による「肉盛り溶接」を行った。突合せ溶接の場合は、管軸のズレ等による管端同士のわずかな隙間が溶接不良を引き起こす危険性があり、現場溶接には不向きと判断したためである。

溶接の健全性確認には、全接続箇所を目視確認する気密試験とあわせて、施工開始前に公的機関にて JIS Z 3122、3124 に規定されるローラ曲げ試験を行って、溶接機やその自動溶接プログラムの信頼性の確認をした。

また現場は海面から 50m 上がった橋梁上であり、頻繁に強風に晒される。強風時には、溶接ヘッドまわりをカバーで覆い、溶接不良の原因となる不活性ガスの散逸を防いだ。

４．２　絶縁対策

放熱管は耐久性を考慮したステンレス製となっているが、それに対し床版や桁材料は全て鉄製である。耐久性に配慮した放熱管仕様であるものの、互いが電気的に接触した場合、異種金属接触腐食の危険性が生じる。

放熱管パネルの組立てに必要な溶接金網は、設計仕様として防錆塗装(塗装厚数十μm)が指定されていたが、さらなる絶縁対策として、この塗装を被覆厚 400μm 以上が確保できる流動浸積法による樹脂被覆に変更した。さらに、放熱管を保護する SFRC 舗装の繊維には、ステンレスが指定されていたが、試験練りにてコンクリート強度を確認した上でポリプロピレン樹脂繊維（クラックバスター[NETIS 登録:HK-030007-V]）に変更した。

４．３　放熱管ユニットの一次撤去と再設置

設計では、鋼床版と舗装コンクリートの付着性確保、鋼床版の防錆性能向上等の目的のため、鋼床版上に高耐久型エポキシ樹脂系接着剤を塗布することが指定されていた。通常の舗装と異なって融雪舗装の場合には放熱管や溶接金網等が接着剤塗布の障害となり、施工後の舗装破損や鋼床版や放熱管の腐食が懸念される。さらに採用した接着剤（ＫＳボンド[NETIS 登録: KT-090029-A]）の可使時間が３時間であるため、塗布からコンクリート打設までをその時間内に終えなければならない。

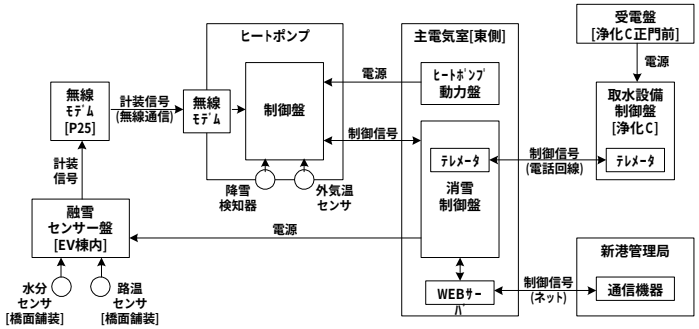
そこで本工事では､現場で溶接金網や GFRP 格子筋と共に組み立てた放熱管ユニットを事前に反対車線側へ一旦撤去して、接着剤塗布～放熱管ユニット設置～舗装コンクリート打設の工程を連続的に行う方法で施工した。放熱管の撤去・再設置にあたっては、本工事用に特別な吊具を製作した上で事前に吊上げ試験を行って施工性を確認した。

５　監視制御システム

本消融雪設備は、気象・路面状況に応じた自動制御により運転停止を基本とし、必要に応じて新湊大橋の管理主体である富山新港管理局から強制運転停止が可能なものとした。

図－５に監視制御システムを示す。消融雪の対象となる橋梁、熱源・水源設備、取水設備、運転を監視する新港管理局が分散しており、運転制御に関わる制御盤が５面ある複雑な監視制御システムとなっている。

自動運転に使用するセンサー類は、センサー部とコントローラ部の延伸可能距離が定められている場合が多い。橋梁無散水路面上のセンサー類（路温・水分）と自動運転判別を行うヒートポンプ制御盤が 300m 以上離れているため､センサーのコントローラを納めるセンサー盤をＥＶ棟内に増設した。さらに運転条件の設定・変更をヒートポンプ制御盤１箇所で行うため、路面温度についてはセンサー盤からアナログ値で無線伝送している。



図－５　監視制御システム

６　おわりに

本稿執筆時点では新湊大橋は完成しておらず、秋に開通予定となっている。新湊大橋は海面から約 50m の高さに位置し、冬は強風に見舞われる厳しい環境であるが、本消融雪設備が冬期交通安全に貢献することを願っている。

最後に、本工事の施工にあたって発注者である北陸地方整備局伏木富山港湾事務所ならびに新湊東分室の皆様方に多大なるご指導・ご協力を頂いたこと、誌面をお借りして感謝の意を申し上げます。

【参考文献】

１）平成 21 年度伏木富山港(新湊地区)臨港道路東西線(消融雪設備)修正設計報告書、H22.3、日本シビックコンサルタント㈱

「あんしんバリアー工法」振動機能付側溝

株式会社ミルコン　技術部　技術営業課　北陸エリア長　新　浩三

1　はじめに

昨今、国内外の道路においてリブ付き区画線の設置が進められている。センターラインやサイドラインに突起が設けてあり、ライン上を車両が走行すると振動が発生する仕組みのものである。ドライバーに振動で注意を促し、正面衝突や路外逸脱による交通事故を未然に防ぐための安全施設として、今では道路使用者にもなじみが深いものになっている。

本報告は、プレキャスト製の道路側溝の天端に小さな凸部を設け、車線を逸脱して側溝上を走行すると振動でドライバーに注意を促す交通事故防止機能を付加した、
“「あんしんバリアー工法」振動機能付側溝”の機能と効果について紹介するものである。

2　技術の特徴

2－1　安全・安心の確保

本技術は、車両のドライバーに路外逸脱の危険を知らせる振動（バイブレーション）機能付きの側溝を用いて、逸脱車両による交通事故防止及び軽減を図るための技術である。

側溝のタイプや天端の形状を選ばず、あらゆる側溝への採用が可能であるため、現場条件に適した側溝の設置ができるとともに安全・安心の確保ができる。

【施工イメージ図】

図－１　施工イメージ図

2－2　技術の適用範囲

道路側溝の使用ができる範囲であれば全て適用可能である。

2－3　コストの縮減

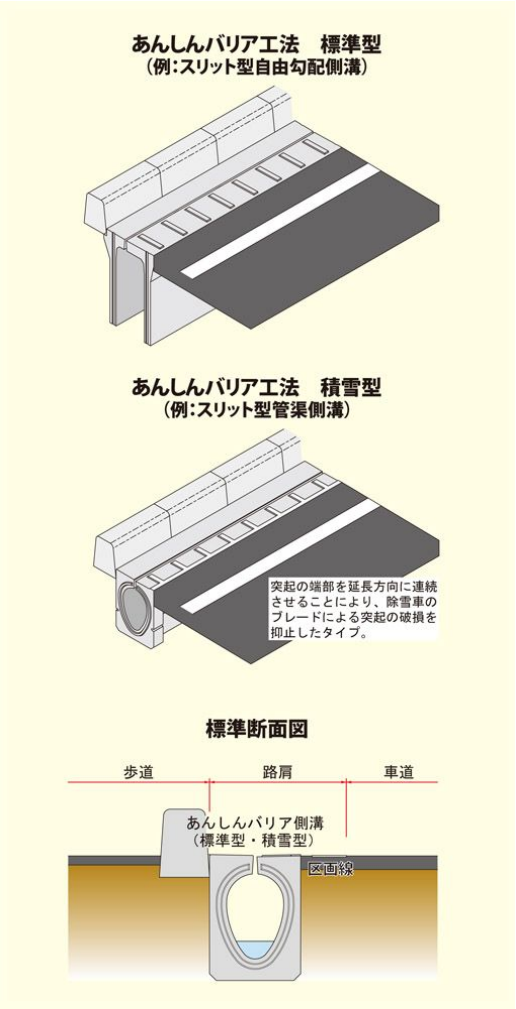
側溝上部に突起が一体形成されているため、側溝を設置するだけでリブ付き区画線と同様の構造が経済的に構築される。また、本体と一体化されたわずかな突起構造のため、凸部が削られることや摩耗することが無く、ランニングコストが不要となりコスト縮減を図る事ができる。

2－4　環境への配慮

突起が摩耗し粉塵が飛散することがなく、また、騒音や振動による周辺住民への影響がない環境に優しい工法である。

２－５　積雪地への対応

積雪地域仕様として、突起の形状が標準型と異なり、突起端部を延長方向に連続させることにより、除雪車のブレードによる突起の破損を抑止する積雪型がある。



図－２　工法概要図

４　実験

４－１　実験目的

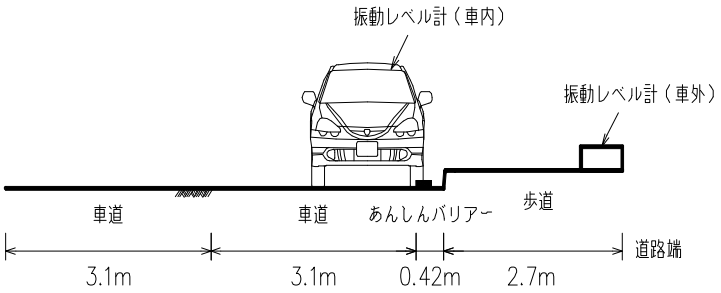
①社内外における振動効果の確認。

②二輪車の走行安全性の確認。

４－２　実験方法

①車内外に振動計を設置し、走行速度２０ｋｍ／ｈと４０ｋｍ／ｈでそれぞれ３回の測定を実施。

②２輪車による走行実験を実施。



図－３　振動測定断面

表－１　走行速度条件

条　　件	自動車速度	
通常走行	２０ｋｍ／ｈ（３回）	４０ｋｍ／ｈ（３回）
あんしんバリアー	２０ｋｍ／ｈ（３回）	４０ｋｍ／ｈ（３回）

４－３　考察

①振動実験結果考察

運転者に対しては振動が伝わり脇見や居眠りによる車線逸脱の注意を促す効果を有する一方、周辺住民に及ぼすような騒音や振動が無いことを実験により確認した。

写真－１　２輪車走行実験状況

表－２　振動測定結果一覧　　（単位：ｄＢ）

走行速度	測定項目	走行条件		アイドリング時
		通　常	あんしんバリアー	
２０ｋｍ／ｈ	社内振動	９６．７	１０６．７	７２．８
	社外振動	２７．５	３９．９	－－－－
４０ｋｍ／ｈ	社内振動	９７．７	１０８．７	７２．８
	社外振動	３３．４	４１．３	－－－－

備考）測定値は３回実測した値の平均値とした。

②２輪車走行実験結果考察

２輪車による路肩走行の安全性については、実験参加者が交互に側溝上を自転車やオートバイで走行を重ね、二輪車走行の安全性を確認した。

5　技術の施工実績（平成２３年１０月現在）

国土交通省　　：　　１５件

その他公共機関　：　　３１件

民　　間　　：　　０件

写真－２　標準型施工例

写真－３　積雪型施工例

6　おわりに

我が国では平成２３年度より第９次交通安全基本計画が推進されており、この計画では自動車と比較して弱い立場にある歩行者や高齢者及び障害者、子ども等の交通弱者の安全を一層確保する「人優先」の交通安全思想が基本理念として唱えられている。

しかし残念ながら、通学路などの歩道部に車両が突入し悲痛な事故につながる例が後を絶たず、歩車道境界部の安全性を高めることは安全・安心の観点からも急務となっている。

そういった背景や歩行者の安全確保などの社会的ニーズを元に開発されたこの“「あんしんバリアー工法」振動機能付側溝”の普及拡大により、交通事故の防止・減少の一助となれば幸いである。

切削オーバーレイ工事における情報化施工の適用

世紀東急工業（株）技術部　技術グループ　○片山　潤之介
技術グループ　板東　芳博
技術研究所　草刈　憲嗣

１．　はじめに

平成２５年度からの直轄工事において，舗装工事におけるマシンコントロール（ＭＣ）が一般化されることが決定しており，モータグレーダのＭＣ技術の普及が進んでいる。ＭＣ技術はこの他にアスファルトフィニッシャやスリップフォームペーバ，路面切削機への対応もされている。本文では，今後舗装工事で大きな割合を占めることが予想される修繕工事へ情報化施工を適用し，検証を行ったので報告する。

２．　適用した情報化施工技術

情報化施工は，異なる２件の工事において，それぞれ違った情報化施工技術を適用した。

一つは，道路の延伸に伴う交差点改良工事における路面切削工で，事前測量に３次元レーザースキャナシステムを用い，切削時には路面切削機のマシンコントロールシステムを適用した。

もう一つは，切削オーバーレイ工事においてトータルステーション（ＴＳ）を用いた出来形管理システムを適用した。

３．　３次元レーザースキャナシステム

３．１　３次元レーザースキャナシステムの概要

３次元レーザースキャナは，器械自身が回転しながら周囲 360°の形状を点群データとして記録するものである（写真－１）。

写真－１　３次元ﾚｰｻﾞｰｽｷｬﾅ

３．２　３次元レーザースキャナシステムの適用

３次元レーザースキャナによる計測は，切削深さや切削ボリュームを算出するための事前測量に適用した。

写真－２　レーザースキャナ計測状況

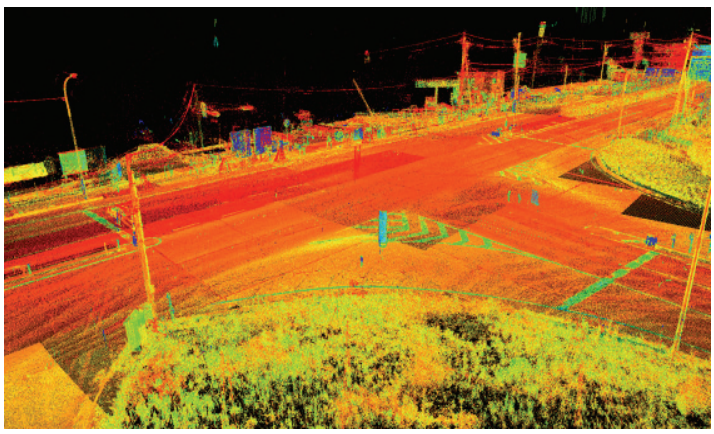


図 - １　計測結果に基づく点群データ

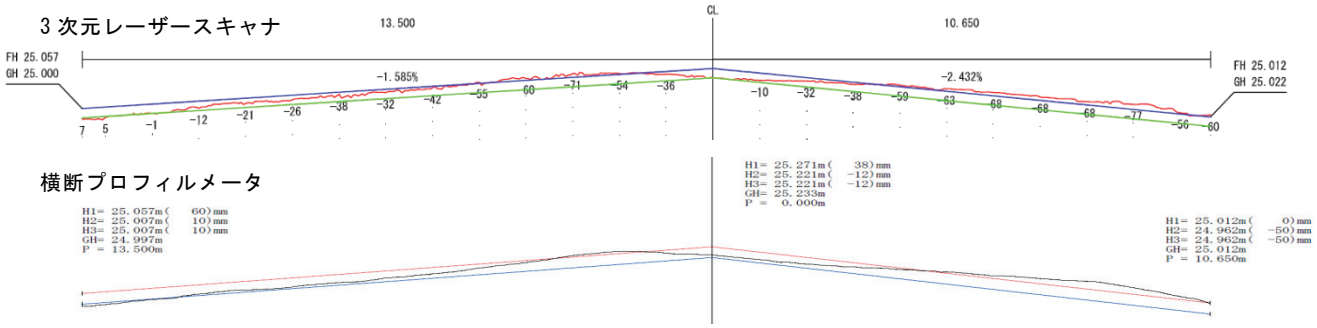


図 - ２　３次元レーザースキャナと横断プロフィルメータによる横断形状

通常，事前測量は交通規制を行い水準測量や横断プロフィルメータを用いて行うが，３次元レーザースキャナを用いた場合は，歩道や路肩に器械の設置が可能なため交通規制を行う必要がなく，安全性の向上や交通渋滞の緩和などの効果が期待できる。

計測作業は，３次元レーザースキャナを歩車道境界付近に設置し，１回の計測で器械から半径 10m 程度の範囲をスキャニングし，道路延長に沿って器械を順次盛り替えて行った。その計測状況を写真－２に，計測したデータを結合し得られた点群データの一部を図－１に示す。

３．３　３次元レーザースキャナシステムによる計測結果

本工事では，通常の計測方法である横断プロフィルメータを用いた計測も行い，３次元レーザースキャナシステムを用いた計測との精度を比較した。

両計測方法により得られた同一測点の横断形状を図－２に示す。それぞれの横断形状を比較すると，路面形状は同様な傾向を示しているが若干の差が見られた。表－1 に他の断面を含めた全体の比較結果を示すが，横断プロフィルメータの測定値に対して左端部で-6.8 ㎜，道路中心で+6.6 ㎜，右端部で 0 ㎜の差であった。現場工程上，３次元レーザースキャナの測定と横断プロフィルメータの測定時期が異なり，その間中央分離帯や路肩の改良があり路面形状が変わったため，箇所のデータ個数が異なっている。

表－１　水準測量とレーザースキャナの差

	計測位置		
	左端部	道路中心	右端部
データ個数	38	18	22
高さの差の平均（㎜）	-6.8	+6.6	0.0
標準偏差（㎜）	4.5	9.1	11.9

※高さの差の平均は，「（横断プロフィルメータの測定結果）-（３次元レーザースキャナ）」を表している。

４．　路面切削機のマシンコントロールシステム

４．１　路面切削機のマシンコントロールシステムの概要

路面切削機のＭＣシステムは，モータグレーダ等のＭＣシステムと同様，ＴＳやＧＮＳＳ（汎地球測位航法衛星システム）の計測技術を用いて，施工機械の位置情報及び現場状況（施工状況）と設計値（三次元設計データ）との差異を計算し，設計値に従って切削ドラムの高さを自動制御する技術である。当システムの適用性については，事前の検証作業において実用レベルの施工精度が確保できることを確認済みである[1)]。今回の現場では，自動追尾ＴＳを用いたシステムを適用した。写真－３はＭＣ機器を取り付けた路面切削機である。

４．２　路面切削機のマシンコントロールシステムの適用

ＭＣに用いる３次元設計データは，水準測量および横断プロフィルメータによる計測結果を用いて作成した。

自動追尾ＴＳの設置は，第二走行車線（道路中心側）施工時は規制内に設置し切削機の後方から自動追尾を行い（写真－４），第一走行車線（路肩側）施工時は舗装に設置して自動追尾を行った（写真－５）。尚，切削機はホイール型で作業速度は 10m/分を標準とした。

写真－３　ＭＣ機器を取り付けた路面切削機

写真－４　第二走行車線の施工状況

写真－５　第一走行車線の施工状況

４．３　施工精度の確認

施工精度の確認は，自動追尾ＴＳを用いた検測キットで切削面の高さを 10m 間隔で測定し，設定した施工高さからのズレの平均とバラツキ（標準偏差）を求めると共に，３ｍプロフィルメータによる平たん性も測定した。平たん性は切削面に加え，表層仕上がり面でも測定した。また，ＭＣの効果を確認するため，ＭＣを用いない切削オーバーレイの現場でも同様のデータ収集を行った。現場はいずれも厚さ５㎝の一層切削オーバーレイで，表層は密粒度アスファルト混合物（改質Ⅱ型）である。

表－２　測定結果（単位：㎜）

		ＭＣによる切削	ＭＣを用いない切削
設定した施工高さの	ズレの平均	+0.15	-2.60
	バラツキ	5.60	7.70
切削面の平たん性σ		1.69	2.10
表層の平たん性σ		0.88	1.16

表－２に測定結果を示す。ＭＣを用いた施工では設定した施工高さ（切削仕上がり高さ）からのズレの平均は+0.15 ㎜，そのバラツキ（標準偏差）は 5.60 ㎜でほぼ設計通りの高さで安定した施工ができていることが確認できた。また，平たん性もＭＣを用いない施工と比較して切削面，表層面ともに

優れた数値を示していることから，ＭＣを用いた施工は良好な平たん性を確保するうえでも有効であることが確認できた。

４．４　施工上の課題

優れた出来形を確保できることが確認できた路面切削機のＭＣであるが，実路での適用に際してはいかにMCの追尾を切れないようにするかが課題であった。追尾を遮断させないために，切削完了までスィーパーによる路面清掃ができず，後続作業の開始時期が遅れる状況が生じた。また，追尾が切れると切削機の作業も止まってしまうため，ＴＳにも専属の人員を配置する必要があった。

５．　トータルステーションを用いた出来形管理システム

ＴＳを用いた出来形管理は上記とは異なる現場で実施した。当工事においては施工箇所が複数に点在していたが，施工面積1,000㎡以上の箇所に限定してＴＳ出来形管理を実施した。

測定は「施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領（案）（平成22年12月)」（以下，要領）に従って実施した。要領では，基本設計データは線形データ（平面，縦断）を用いて作成することになっているが，当現場は平面，縦断線形の資料が残されていないため，現況測量を行い，そこから平面，縦断線形を計算し，基本設計データを作成した。実際の計測作業では，当初ノンプリズムでの測定を予定していたが，図－３に示すように切削端部の測定時に既設舗装や構造物の陰になって正確な測定ができないことが懸念されたため，プリズムを用いて計測を行った。プリズムを用いた場合，計測点までプリズムを正確に誘導するのに時間を要し，計測作業に手間取ったというのが実際の計測作業にあたった担当者の感想であった。

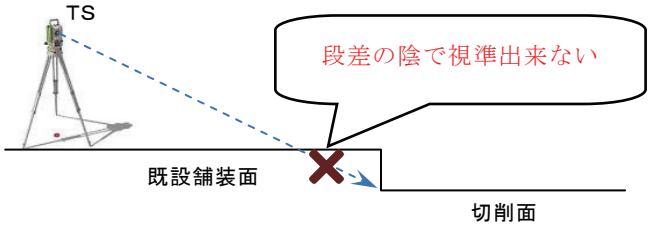


図-3 ノンプリズムによる端部測定イメージ

６．　まとめ

今回２件の切削オーバーレイ工事で異なる情報化施工技術を適用した結果を以下にまとめる。

・３次元レーザースキャナを用いた事前測量は，交通規制を行わずに計測が可能である。

・路面切削機のＭＣについては，設計データどおりの施工が可能であるが，ＴＳの追尾が切れないよう工夫が必要である。

・従来の点（測点）管理をＴＳで行う方法は，かえって測定時の手間が煩雑になる。面的管理など新たな管理手法の導入が望ましい。

７．　おわりに

今回適用した情報化施工技術は，今後大きな割合を占めることが予想される，舗装修繕工事でも活用できることがわかったが，課題も多く見つかった。今後はこれらの課題に対し有効な対策を見出し，「TSを用いた出来形管理要領（舗装工事編)」に対応させ、情報化施工が有効に活用できるよう更なる検証を重ねていく所存である。

≪参考文献≫

１）板東，草刈：路面切削機へのマシンコントロール技術の適用について，第29回日本道路会議，2011.11

第2会場

第Ⅱグループ

再生中温化アスファルト混合物の適用性検討

鹿島道路(株)　技術研究所　グループリーダー　○　五傳木　一
〃　主任研究員　芳賀　潤一
〃　研究員　阿部　昌徳

1　はじめに

中温化舗装は、低炭素舗装の一つとして注目が世界中で高まりつつあり、我が国においては 1997 年頃から施工実績を有している。2010 年 2 月にはグリーン購入法にもとづく「環境物品等の調達の推進に関する基本方針」に定める特定調達品目に中温化アスファルト混合物が追加され、今後ますますの活用が期待されている。

特定調達品目に追加された中温化混合物は、新規の密粒系混合物に限定されており、中温化混合物の適用実績についてもその多くは新規混合物が対象となっているが、アスファルト混合物全体の製造量では、およそ 75%を再生アスファルト混合物が占めているのが実情である。

そこで本検討では、中温化技術の再生アスファルト混合物への適用性について、室内だけでなくプラントでの混合性等も含めて検討を行ったので、以下に得られた知見について取りまとめ報告する。

2　中温化舗装技術の現状

一般に、中温化舗装技術は、中温化剤等を用いて通常の加熱アスファルト混合物の製造温度、施工温度を通常よりも 30℃程度低減しても、必要とする品質が確保できるものと定義されている。加えて、寒冷期においては施工改善剤として通常の混合温度で使用されることもある。

現在、使用されている中温化技術の種類は表－１に示すとおりであり、様々な種類のものが適用されているが、例えば少量出荷の際はプラントミックスを、出荷量が多い場合にはプレミックスを使用するなど、目的や用途に応じて中温化技術を使い分けることにより、効率的な対応を図ることが可能となっている。

表－１　中温化技術の種類と概要[1)]

技術の種類	技術の概要	使用方法
発泡系	アスファルトの発泡作用により見掛け上のアスファルト容積を増加させることにより、製造時の混合性向上、舗設時にはベアリング効果によって締固め性を向上させる	プラントミックス
粘弾性調整系	混合物の製造温度や施工温度領域の高温域での粘弾性を調整することによって、混合物の製造・施工温度を低下させることを可能とする	プラントミックス プレミックス
滑剤系	中温化剤の融点以上になるとアスファルトに溶融し、アスファルトと骨材の界面における潤滑を高め、アスファルト混合物中の骨材間の摩擦抵抗が低減する	プラントミックス プレミックス
瀝青材料	30℃程度温度低減させた場合においても、通常の加熱アスファルト混合物と同等の締固め性が得られ、必要な品質も確保可能な中温化舗装用バインダ	プレミックス (中温化舗装用バインダ)

3　検討内容

本検討では、再生アスファルト混合物の中でも出荷実績の多い再生密粒度アスファルト混合物(St.As.60/80)を対象として、プラントミックスの発泡系とプレミックスの粘弾性調整系の中温化技術の適用性を試みた。対象とした再生密粒度アスファルト混合物の再生骨材率は、30%と 60%である。

3．1　再生骨材率 30%の再生密粒度アスファルト混合物の適用性検討[2)]

再生骨材率 30%の適用性検討については、既存の発泡系中温化剤を使用し、室内の混合物性状の確認と実機により練落した混合物の作業性を確認することとした。

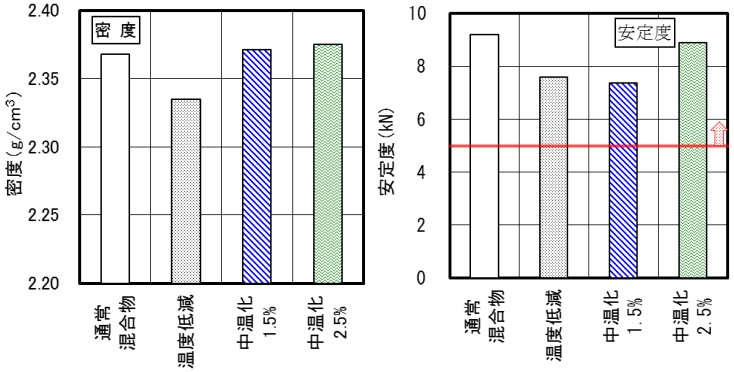
3．1．1　混合物性状の確認

検討に用いた混合物は、表－２に示すとおりであり、通常の混合温度で作製した混合物および中温化剤の添加量を変えた中温化混合物２種類と、中温化混合物と同じ温度条件で中温化剤を添加しない“温度低減混合物”を加えた計 4 水準についてマーシャル安定度試験で評価した。なお、中温化剤の添加量については、標準的な使用範囲の上限値と下限値で設定した。

表－２　発泡系中温化技術の検討

種類	中温化剤※(%)	混合温度(℃)	締固め温度(℃)	作製時期
通常混合物	0	160	145	混合直後
温度低減	0	130	115	
発泡系中温化	1.5	130	115	混合後、同じ温度で1時間養生後※※
	2.5	130	115	

※ 中温化剤の添加量は、アスファルトに対しての質量百分率
※※ プラントから舗設までの時間を想定



図－１　マーシャル安定度試験結果

検討結果を図－１に示す。中温化混合物の密度は、通常の混合物と比べて同等以上であるのに対し、温度低減混合物の密度は、通常温度のものよりも低下している。マーシャル安定度に関しては、中温化剤の添加量が 2.5%の場合に通常温度と同等の結果が得られた。これらの結果より、中温化混合物では中温化剤の添加量の違いにより得られる物性値は異なっているものの、添加量が 2.5%の場合に通常温度と同等の混合物性状であることが確認できた。

写真－１　転圧状況と仕上がり面

3．1．2　作業性の確認

作業性の確認は、表－２の混合物を対象とし、練落としから１時間経過した後にレーキで敷均し、その際のハンドリングや転圧後の路面を目視で評価した。

写真－１に仕上がり面の一例を示すが、中温化混合物は中温化剤を使用していないものよりも緻密に仕上がり、通常の混合物と同等の作業性を有しているものと判断できた。

よって、ここでの検討結果からは、既存品の発泡系中温化剤を使用した場合でも、再生骨材率 30%の再生密粒度アスファルト混合物への適用が可能であるものと考えられた。

３．２　再生骨材率 60%の再生密粒度アスファルト混合物の適用性検討[3)]

プラントミックスの発泡系中温化剤は、見掛け上のアスファルト容積を増加させることにより、製造時の混合性や舗設時の締固め性を向上させる機構であることから、再生骨材を多く含む再生アスファルト混合物の場合には、再生骨材を被覆している旧アスファルトを混合物製造時のウェットミキシングの 40 秒程度で発泡させるのは困難であると考え、再生骨材率 60%の検討では新たに開発したプレミックスの粘弾性調整系の適用性を主として発泡系の適用性も試みた。

３．２．１　混合物性状の確認

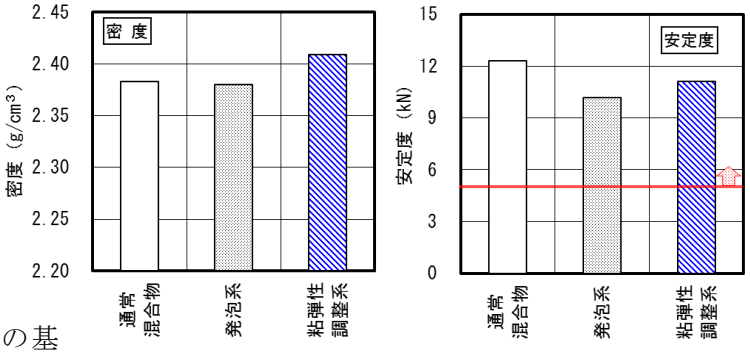
表－３に検討条件を示す。中温化剤の添加量は、事前に行った試験結果より、粘弾性調整系で明確な締固め特性の向上が認められた添加量:3%とし発泡系も同じ添加量とした。

表－３　再生骨材率 60%の検討条件

種類	中温化剤※（%）	混合温度（℃）	締固め温度（℃）	作製時期
通常混合物	0	160	145	混合直後
発泡系中温化	3	130	115	混合後、同じ温度で１時間養生後※※
粘弾性調整系中温化	3	130	115	

※ 中温化剤の添加量は、アスファルトに対しての質量百分率
※※ プラントから舗設までの時間を想定

検討結果を図－２に示す。発泡系中温化混合物の締固め特性は、通常の混合物と同等であるものの、同添加量である粘弾性調整系より劣る傾向となっている。



図－２　マーシャル安定度試験結果

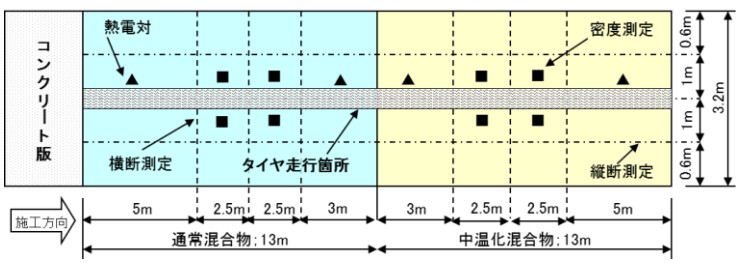
一方、安定度については、いずれの混合物とも再生密粒度アスファルト混合物の基準値である 4.9kN 以上を満足しているものの、発泡系中温化混合物の安定度は通常の混合物よりも２割程度の低下、粘弾性調整系についても１割程度の低下が認められた。

しかし、粘弾性調整系の締固め特性は、通常の混合物よりも優れていることから、現場舗設時の締固め作業が円滑に行え、その結果として所定の性能を確保することが可能であると考えられる。

以上の結果を踏まえ、粘弾性調整系の中温化技術を適用した再生アスファルト混合物については、実施工を想定した試験施工を行い、作業性や舗設された混合物性能を確認することとした。

３．２．２　作業性・混合物性能の確認

粘弾性調整系の中温化技術を適用した再生密粒度アスファルト混合物の試験施工は、前述した再生骨材率 60%のものを対象とし、図－３に示すような実荷重の走行試験が可能なロードシミュレータ内に、通常の混合物と粘弾性調整系の中温化混合物を同規模で施工し、施工時の作業性や舗設直後の走行試験による初期わだちの発生量および現場切取り供試体による締固め度等の確認を行った。



図－３　試験施工ヤード

なお、試験施工における混合物の温度条件は前述の表－３と同一とし、舗設は混合物出荷から１時間ダンプトラックに

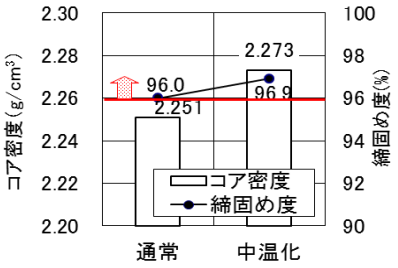
積み置きした後に行った。表－４に試験施工時の温度測定結果を、図－４に現場切取り供試体による密度測定結果を示す。

試験施工は、冬期の低温下における厳しい条件であったが、舗設後のコア密度はいずれの工区とも締固め度 96%を確保し、室内試験結果と同様に中温化混合物の方が、良好な結果であった。

次に舗設直後に行った走行試験条件を表－５に、走行試験の状況を写真－２に示す。走行試験の開始は、施工後の交通開放温度である 50℃を目標としていたが、冬期施工の影響により舗設直後の表面温度が目標温度を下回ってしまい通常工区と中温化工区とでは走行試験開始前の温度条件が若干、異なる結果となった。

表－４　試験施工時の温度測定結果

項目	通常	中温化	転圧条件
施工時の気温(℃)	3.1～4.2	5.7～6.9	－
1時間後の合材温度(℃)	155	120	－
敷均し温度(℃)	127	96	－
初期転圧温度(℃)	80	73	2往復(ｺﾝﾊﾞｲﾝﾄﾞ)
二次転圧温度(℃)	46	39	4往復(ﾀｲﾔﾛｰﾗ)

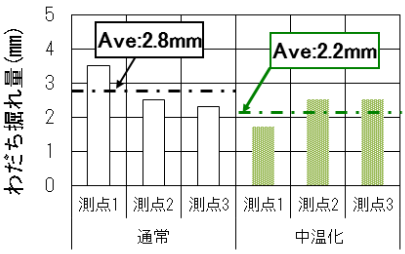


図－４　コア密度測定結果

表－５　走行試験の条件

項　目	設定条件
輪荷重	49kN
トラバース	無し
走行前の表面温度	通　常：42℃ 中温化：37℃
走行輪数	500 輪
走行速度	5km/hr

写真－２　走行試験状況



図－５　わだち掘れ量

500 輪走行後のわだち掘れ量を図－５に示す。わだち掘れ量は、両工区とも概ね 2～3mm となっているが、中温化混合物の方がやや小さな傾向を示している。これは、前述したとおり走行試験の開始温度が、通常の混合物よりも低いことが影響しているものとも考えられるが、これまでの経験も含めて判断すると中温化混合物を実道の工事等において使用した場合、通常の混合物よりも交通開放温度を低減させることが可能であり、それによって初期わだちの発生抑制にも寄与できるものと考える。

4　おわりに

今回の検討結果から、再生アスファルト混合物へ中温化技術を適用する場合には、再生アスファルト混合物の再生骨材率に応じて中温化剤を選定することも選択肢の一つとして、有効であることが分かった。しかし、今回の検討では、使用した中温化剤が発泡系，粘弾性調整系のそれぞれ１種類であること、適用した混合物については再生密粒度アスファルト混合物の１種類であることから、他の中温化剤や異なる再生アスファルト混合物への適用性についても継続した検討を行いたいと考える。

以上のように、実態として最も出荷量の多い再生アスファルト混合物への中温化舗装技術の適用は十分可能であることがわかり、環境保護等の観点からも道路舗装工事から発生する CO_2 削減効果に期待できる技術であると考える。

【参考文献】
1）(一社)日本道路建設業協会「中温化(低炭素)アスファルト舗装の手引き（平成 24 年 4 月)」
2）葛西，五傳木，坂本，村上「再生アスファルト混合物への中温化技術の適用性検討」 第 29 回 日本道路会議
3）五傳木，坂本，芳賀，窪田「ロードシミュレータによる中温化混合物の冬期初期わだちの検証」 第 12 回 北陸道路舗装会議

下水汚泥焼却灰の安定化処理とアスファルトフィラー化

㈱金沢舗道　生産部　生産係長　○大矢　昌樹
工務部　工務係長　　橋野　智洋
工務部　工務係長　　宮本　和宗

1　はじめに

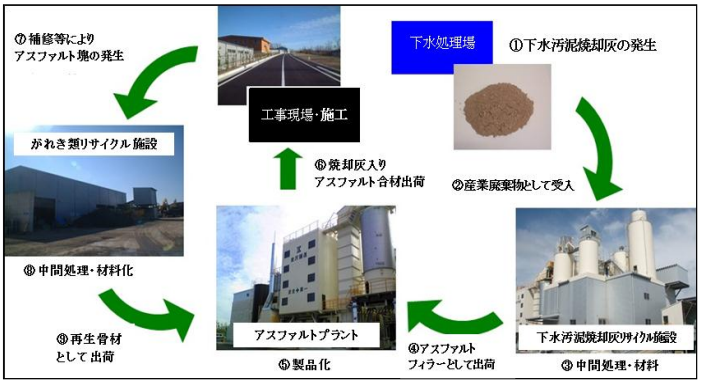
近年、下水道は快適な生活環境の確保に不可欠な施設として、自然環境の保全と人々の生活環境の改善を目的に年々普及率が高まりました。その結果、汚泥の量も増加する一方です。

下水汚泥を処理する過程で、減量化を図るために焼却処理が用いられていますが、焼却処理した際に発生する下水汚泥焼却灰は、環境安全面の問題等により有効利用がなされず、埋立場で最終処分されているのが現状です。しかし、埋立場の残余年数もわずかとなってきていることから、下水汚泥焼却灰を有効利用し、安全な資源として循環させることが急務となってきました。

そこで、下水汚泥焼却灰の性状が、アスファルト混合物に用いるフィラーとほぼ同等であることから、下水汚泥焼却灰中の環境に有害な重金属類を安定化処理し、安定化処理後下水汚泥焼却灰（以下、処理灰）をアスファルト混合物製造時に使用するフィラー（石灰岩系石粉）の代替品として混入した、安定化処理後下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物（以下、焼却灰入りアスファルト混合物）とすることによって、資源循環型社会に寄与できると考えました。

表－１　下水汚泥焼却灰の基本性状

項目 ふるい目		一般的なフィラー	下水汚泥焼却灰	目 標 値
通過質量	600μ mm	100	100	100
	300μ mm	100	98.7	－－－－
	150μ mm	94.9	85.9	90～100
	75μ mm	80.2	53.8	70～100
密度試験		2.710	2.530	－－－－
フロー試験		26～32	115.0	50以下



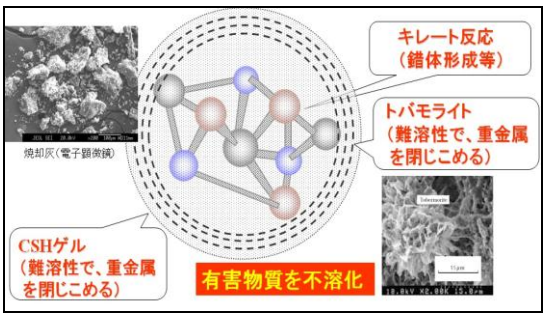
図－１　有効利用のフロー

2　安定化処理後下水汚泥焼却灰の環境安全面とアスファルトフィラーとしての品質面

２．１　下水汚泥焼却灰の安定化処理技術の概要

下水汚泥焼却灰単体での環境安全性の問題を解決する為、金沢市企業局、金沢市環境技術顧問（金沢大学名誉教授）、金沢市環境指導課との産･学･官の共同研究で確立した技術が安定化（不溶化）処理技術であり、下水汚泥焼却灰とキレート剤（薬剤）等を混練し、重金属類を安定化する技術です。

写真－１　安定化処理後下水汚泥焼却灰



図－２　安定化処理の概要

２．２　安定化処理前後下水汚泥焼却灰の環境安全面

下水汚泥焼却灰の環境安全面に対する評価は、溶出試験を実施し、環境省の定める「土壌の汚染に係る環境基準」を満足するか否かを基に評価します。安定化処理前下水汚泥焼却灰（以下、原灰）は、試験の結果、ヒ素、セレン等が基準値を超える又は超える恐れがあります。しかし、安定化処理後の処理灰は、全項目において基準値以下であり、環境安全面を確保しています。

表－２　安定化処理前後下水汚泥焼却灰の溶出試験結果（主要分析項目結果のみ）

分析項目	基準値	原 灰	処理灰	分析項目	基準値	原 灰	処理灰
カドミウム	0.01	< 0.001	< 0.001	水銀	0.0005	<0.0005	<0.0005
シアン	不検出	< 0.01	不検出	アルキル水銀	不検出	不検出	不検出
鉛	0.01	< 0.005	< 0.005	セレン	0.01	0.27	< 0.002
六価クロム	0.05	< 0.01	< 0.01	ふっ素	0.80	0.02	< 0.05
砒素	0.01	0.01	< 0.005	ほう素	1.00	1.70	0.30
土壌の汚染に係る環境基準値（環境告示第46号）【単位：mg/l】							

また、溶出試験とともに、リサイクル材料の環境安全面の評価基準とされる、有害物の含有量による評価方法（含有量試験）においても、処理灰は全項目において基準値以下であり、環境安全面を確保しています。

表－３　安定化処理前後下水汚泥焼却灰の含有量試験結果

分析項目	基準値	原 灰	処理灰	分析項目	基準値	原 灰	処理灰
カドミウム	150	2.7	3.7	水銀	15	<0.02	< 0.02
シアン	50	<0.2	< 1	セレン	150	0.1	< 0.2
鉛	150	48	30	ふっ素	4000	160	170
六価クロム	250	<0.3	< 2	ほう素	4000	29	28
砒素	150	1.0	0.2				
土壌汚染対策法の指定基準（環境告示第19号）【単位：mg/kg】							

２．３　過酷な環境下における処理灰の環境安全面評価試験

前述以外の環境安全性評価として、過酷な環境下においても安定化処理作用が保持されているか否かを目的として、処理灰及び焼却灰入りアスファルト混合物において、下表の試験を実施した結果、環境基準値以下の結果が得られており、過酷な状態においても安定化処理作用が保持され、処理灰及び焼却灰入りアスファルト混合物の環境安全性が確保されていると考えられます。

表－４　過酷な環境下における各種の溶出試験結果

分析項目	基準値	試験対象：処理灰			試験対象：焼却灰入り混合物	
		※１	※２	※３	※４	※５
カドミウム	0.01	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
シアン	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
鉛	0.01	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
六価クロム	0.05	< 0.01	< 0.01	0.02	< 0.01	< 0.01
砒素	0.01	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
水銀	0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	< 0.0005	< 0.0005
セレン	0.01	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
ふっ素	0.80	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.06	0.22
ほう素	1.00	< 0.1	0.1	0.1	< 0.1	< 0.1
土壌の汚染に係る環境基準値（環境告示第46号）【単位：mg/l】						

※１）溶出条件：溶媒をｐＨ＝２．５に調整して溶出（強酸性状態における安全性評価）

※２）溶出条件：溶媒をｐＨ＝１１に調整して溶出（強アルカリ性状態における安全性評価）

※３）溶出条件：加熱処理（常温⇒２００℃）を５回繰返し後、溶出（熱に対する安全性評価）

※４）溶出条件：促進耐候性試験（紫外線２００時間照射）後、溶出（紫外線に対する安全性評価）

※５）溶出条件：ラベリング試験機にて粉塵を発生させ、発生した粉塵を回収し、溶出試験を実施（焼却灰入り舗装から発生する粉塵の安全性評価）

２．４　処理灰のアスファルトフィラーとしての品質面

処理灰単体では（社）日本道路協会の定めるフィラーとしての品質において、フロー試験によるフロー値（アスファルトの吸収性を示すもの）のみ目標値を満足していません。しかし、アスファルト混合物１ｔ当りの全フィラー量の３割（フィラー：焼却灰＝７：３）以下で使用することにより、品質を十分に満足することが可能となります。

表－５　処理灰入りフィラーの品質

項目			処理灰	処理灰:ﾌｨﾗｰ＝3:7	規格値（目標値）
水分試験(%)			0.6	0.2	1.0以下
粒度	通過百分率(%)	600μmm	100.0	100.0	100
		300μmm	99.3	99.2	-----
		150μmm	94.5	91.8	90～100
		75μmm	89.4	80.1	70～100
密度試験(g/cm³)			2.539	2.663	-----
塑性指数(PI)			NP	NP	(4以下)
フロー試験(%)			87.8	39.4	(50以下)
剥離抵抗性試験			合格	合格	(1/4以下)
浸水膨張率試験(%)			0.1	0.0	(3以下)
加熱変質性試験			なし	なし	(変化なし)

３　焼却灰入りアスファルト混合物の品質面

３．１　力学的特性評価

マーシャル安定度試験結果により、各特性値において一般のアスファルト混合物と同程度であります。また、高温時におけるアスファルト混合物の耐流動性評価試験（表―７）及びアスファルト混合物の耐摩耗性評価試験（表―８）においても、良好な結果が得られております。

表－６　マーシャル安定度試験結果

混合物名	密度 (g/cm³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (KN)	フロー値 (cm)
密粒(20F)再生	2.339	3.4	79.9	11.70	33
密粒(20F)再生焼却灰	2.332	3.7	78.5	11.92	29
規格値	---	3～5	75～85	4.90以上	20～40

混合物名	密度 (g/cm³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (KN)	フロー値 (cm)
一般的な透水性カラー混合物	1.925	21.8	28.3	3.99	24
焼却灰入り透水性カラー混合物	1.928	21.4	29.6	3.68	23
規格値	---	---	---	3.43以上	20～40

表－７ ホイールトラッキング試験結果

混合物名	動的安定度（回/mm）
密粒度Ac(20F)改質材	4,850
密粒度Ac(20F)改質材焼却灰	3,940
規格値	1500以上

表－８ ラベリング試験結果

混合物名	摩耗量 (cm²)
密粒度Ac(新20FH)【新材】※１	0.74
密粒(13F)再生焼却灰	0.42
規格値	---

※１）依頼試験機関での過去試験結果（参考値）

４　焼却灰入りアスファルト混合物の試験施工及び追跡調査結果

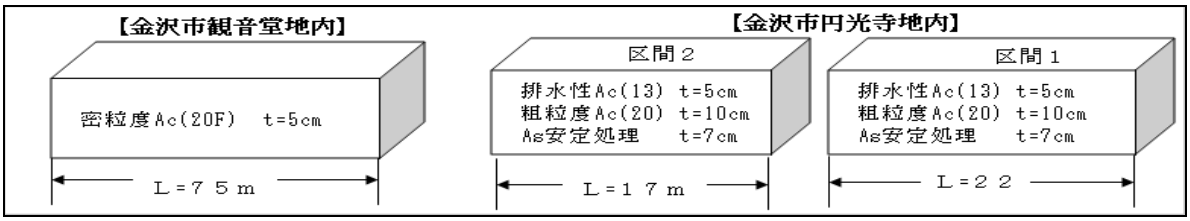
４．１　試験舗装概要

（１）施工日　：平成17年5月～6月　（２）施工場所：金沢市円光寺・観音堂地内

（３）全施工面積　：約2500m²　（４）全使用合材量：約230t（焼却灰使用量：6.2t）

（５）追跡調査面積：【円光寺】195m²【観音堂】340m²

（６）舗装計画交通量（台/日・方向）：【円光寺】1,000以上3000未満【観音堂】100未満



図－３　追跡調査区間舗装構成

４．２追跡調査（舗装性能評価及び環境安全面）の実施

４．２．１　追跡調査の概要

本現場における追跡調査は、施工後の「道路」としての供用性評価を目的としたＭＣＩ（維持管理指数）評価方式による舗装性能試験、及び焼却灰入りアスファルト混合物施工後の長期的環境安全性経年変化評価を目的とした現場抜取りコアによる溶出試験を実施しました。

４．２．２　追跡調査結果(舗装性能評価)

調査の結果、道路としての供用性に問題は無く、良好な状態を維持していると考えられます。

表－９　追跡調査結果（舗装性能評価）

	観音堂地内				円光寺地内			
	ひび割れ率（%）	わだち掘れ量（mm）	平坦性（mm）	ＭＣＩ	ひび割れ率（%）	わだち掘れ量（mm）	平坦性（mm）	ＭＣＩ
第１回追跡調査結果（H17.9月下旬調査）	0	1(4)	1.36	9.2	0	3(8)	1.62	8.8
第２回追跡調査結果（H18.2月下旬調査）	0	1(4)	1.86	9.2	0	3(8)	1.87	8.8
第３回追跡調査結果（H20.3月上旬調査）	0	2(6)	2.00	9.0	0	4(10)	2.00	8.7
	<備　考> 1.わだち掘れ量の( )は、わだち掘れ量の最大値 2.円光寺地内の結果は、区間１，２の結果を平均した値							

４．２．３　追跡調査結果（環境安全性評価）

施工現場においてコアを採取し、環境庁告示第 46 号に基づく溶出試験を実施した結果、全項目で基準値以下となり、環境安全性に問題は無いと考えられます。また、長期的経年変化においても、溶出量に大きな変動は無く、環境安全性が保持されていると考えられます。

表－１０　現場抜取りコア溶出試験結果（主要分析項目結果のみ）

		金沢市観音堂地内								金沢市円光寺地内							
分析項目	基準値	H17.9.26	H18.2.13	H19.3.9	H20.2.29	H21.2.9	H22.2.25	H23.2.23	H24.2.28	H17.9.21	H18.2.14	H19.3.13	H20.3.4	H21.2.17	H22.2.26	H23.2.24	H24.2.29
カドミウム	0.01以下	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
シアン	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
鉛	0.01以下	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.001	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.001	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
六価クロム	0.05以下	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
砒素	0.01以下	< 0.005	0.005	< 0.005	0.001	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	< 0.005	0.005	< 0.005	0.002	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
水銀	0.0005以下	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01以下	< 0.002	< 0.002	0.002	< 0.001	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.001	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
ふっ素	0.8以下	0.24	< 0.05	0.05	< 0.05	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.15	< 0.05	< 0.05	< 0.05	<0.05	<0.05	< 0.05	< 0.05
ほう素	1以下	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
施工後経年数		半年後	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後	半年後	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後

５　最後に

下水汚泥焼却灰の安定化処理技術並びにアスファルトフィラー化は、資源循環型社会の構築、石川県環境総合計画における下水汚泥のリサイクル率 70%の達成にも寄与できると考えております。

今後とも品質面、安全面、コスト面及び「道路」としての供用性評価に十分に配慮し、安定化処理後下水汚泥焼却灰の他の建設資材への利用も視野に入れ、取り組んでいきたいと思います。

最後になりますが、御協力頂きました金沢市企業局並びに関係各位の皆様方には改めて敬意を表する次第でございます。

多機能型排水性舗装（フル・ファンクション・ペーブ）の特長

株式会社ガイアートＴ・Ｋ　技術研究所　　齊藤　一之
○ 藤本　大生

1　はじめに

排水性舗装は、路面の水はね防止や雨天時の視認性向上，車両走行の安全性に優れた舗装として普及しており、低騒音舗装としても有効な舗装である。また、近年では粗面系の凍結抑制舗装として活用されている。

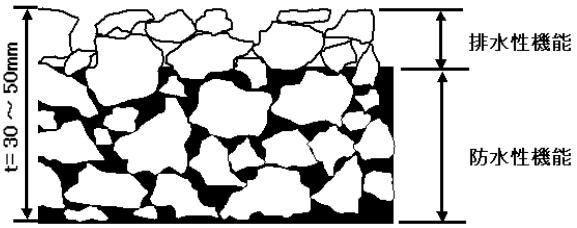


図-1 多機能型排水性舗装の構造イメージ

しかし、長年使用されていく中で、排水性機能の低下や、浸透した水分による下層のはく離等の影響により、修繕時に 2 層の打換えが必要になる等の不具合も顕在化してきている。また寒冷地では、舗装体内に残った水分が氷結することで膨張し、アスコン層そのものが破壊するケースもある。

写真-1 FFP の施工状況

そこで、上記の問題点を解決するため、弊社では多機能型排水性舗装（フル・ファンクション・ペーブ、以下 FFP）を開発した。この舗装は、表面付近に排水性舗装と同等の排水機能を持ち、下部は砕石マスチックアスファルト混合物（以下、SMA）と同等の防水性能を併せ持つ舗装である（図-1 参照）。さらに、敷均し時に路面を粗面に仕上げるように改造したアスファルトフィニッシャ（以下、多機能型 AF）を用いて施工する事で、グルービング状の溝を形成することができ（写真-1）、路面のブラックアイスバーンの解消も期待ができる。なお、この多機能型 AF は、混合物の温度低下対策として、ホッパを加温する改造も施してある（サーマルホッパ、写真-2（ホッパの矢印は、温排熱の流れ方向を示す））。

写真-2 サーマルホッパ

2　開発における目標値

表面付近の排水性能は、最低でも 800ml/15s 以上（空隙率 17%程度の排水性舗装の浸透水量と同等）、下部の水密性は SMA と同等とし、不透水性能は透水係数 1×10^{-7}cm/s 以下を目標とした。

その他の性状については、表-1 に示す性能指標を目標とした。

表-1 多機能型排水性舗装の目標値

項　　目		多機能型排水性社内目標値	参　考　値 ※4	
			排水性舗装	SMA
マーシャル突固め回数	(回)	両面50回	両面50回	両面50回
マーシャル安定度	(kN)	5.0以上	3.43以上	5.0以上
残留安定度	(%)	75以上	75以上	75以上
カンタブロ損失量 (-20℃)※1	(%)	12以下	20以下	—
透水係数※2	(cm/sec)	1.0×10^{-7}以下	1.0×10^{-2}以上	1.0×10^{-7}以下
動的安定度 (DS)	(回/mm)	6,000以上	3,000以上	3,000以上
路面のキメ深さ (MPD)	(mm)	1.2以上	—	—
浸透水量	(ml/15sec)	800以上※3	1,000以上	—
すべり抵抗値 (BPN)		60以上	60以上	60以上

※1 寒冷地での使用の場合。一般地域での使用では20℃
※2 加圧透水試験による
※3 空隙率17%の排水性舗装の浸透水量相当
※4 舗装設計便覧

3　配合の検討

3．1　粒度範囲の設定

FFP 排水層が 10mm 程度となる混合物をベースにして暫定配合を設定し、室内試験およびプレ試験施工により混合物性状および排水性機能を確認しつつ配合の検討を行い、FFP 混合物の粒度範囲を決定した。その仕様を、表-2 および図-2 に示す。FFP は排水性機能と水密性とを併せ持たせるため､排水性舗装の粒度範囲に比べ、細かい粒度である事が特長である。

表-2 FFP の粒度範囲

フルイ目 (mm)	通過重量百分率 (%)								
	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
粒度範囲	100.0	100.0 ～ 90.0		40.0 ～ 21.0	29.5 ～ 15.5				12.5 ～ 6.5

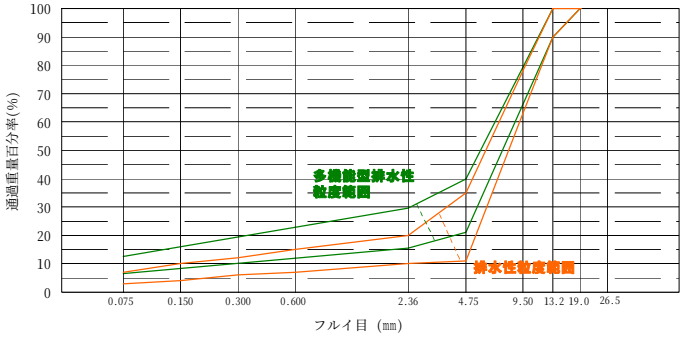


図-2 FFP の粒度範囲

3．2　混合物の性状確認

FFP 用混合物の性状確認を行うため、2.36mmPass が 23.9%となる配合を用い、強度及び耐久性，防水性等の試験を実施した。試験結果を、表-3 に示す。これによれば、いずれの試験においても社内基準値を満足しており、混合物の性状について問題はなかった。特に、ねじり飛散抵抗性について、空隙率 20%の排水性混合物は、ねじり骨材飛散率 24.1%であるのに対し、FFP は 0.8%となり、高い耐久性があることが分かった。この結果より、FFP を骨材飛散が懸念される交差点へ適用した場合でも、排水性舗装の排水能力を損なわずに耐久性向上が可能になると考える。

表-3　多機能型排水性混合物の性状試験結果

2.36mm 通過重量百分率 (%)	As量 (%)	マーシャル試験									
		理論最大密度 (g/cm³)	真空パック法		かさ密度		標準マーシャル		水浸マーシャル		
			真空パックかさ密度 (g/cm³)	空隙率 (%)	かさ密度 (g/cm³)	空隙率 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	残留安定度 (%)
23.9	5.4	2.478	2.249	9.2	2.372	4.1	7.33	32	7.23	41	98.6
社内基準値				8～11			5.0以上				75以上

2.36mm 通過重量百分率 (%)	混合物の性状確認試験							
	カンタブロ試験		ホイールトラッキング試験			ねじり抵抗試験	加圧透水試験	ラベリング試験
	損失量 (20℃) (%)	損失量 (-20℃) (%)	路面キメ深さ MPD (mm)	動的安定度 DS (回/mm)	圧密変形量 d0 (回/mm)	ねじり骨材飛散率 (%)	透水係数 K15 (cm/s)	すり減り減量 (cm³)
23.9	3.6	10.6	1.557	21,000	2.140	0.8	1×10⁻⁷以下	0.29
社内基準値	12以下	12以下	1.2以上	6,000以上		※空隙率20%排水性 24.1%	1×10⁻⁷以下	

4　プレ試験施工

4．1　混合物温度管理に関する検討

FFP は空隙率が高いため比較的温度低下が早く、また下層の水密性を高めるためには混合物温度は高い状態での施工が望ましいため、極端に高過ぎず、かつ低くならないように、バインダのメーカー推奨温度の中央値から+10℃～-5℃で範囲を厳しく管理するようにしている。また、初期転圧温度もメーカー推奨値より高めに設定することとした。目標温度管理条件を、表-4 に示す。

表-4 目標温度管理条件

項　　目	管理目標および混合条件	管理規格値
骨材加熱温度	195±10℃	—
アスファルト温度	170± 5℃	—
アスファルト混合物混合温度	170+10℃ 170 - 5℃	170±14℃
混合時間	Dry　5秒 wet　35秒	—
初期転圧温度	155± 5℃	—

4．2　施工時の粗面化に関する検討

FFP は舗装体内に残った水分が凍結時に膨張して舗装が破壊することを防ぐため、ポーラス状態にするのは舗装表面付近 10mm 程度としているが、そのままでは目標の浸透水量を確保できないことから､アスファルトフィニッシャによる敷均し時に粗面状態が強調できるように改造を施すこととした。

上記のような施工改善を図った上で、プレ試験施工を行ったところ、浸透水量の確保はできるもの

の、締固め度を確保することが困難であることが分かった。そこで更に、突起の形状や設置位置の検討を行ったところ、締固め度の確保に加え、施工直後からしっかりとしたグルービング状の溝を形成することができる、独自の方法にする事ができた。

5　試験施工

5．1　試験施工箇所

実道における施工性と路面性状等の確認を行うため、弊社が平成23年7月から運営している白糸ハイランドウェイ（以下、白糸 HW。図-4 参照）にて試験施工を実施した。白糸 HW は、12 月から 3 月までの期間は気温が氷点下となり、特に最低気温が-15℃を下回る [2]こともあるなど、冬期は非常に厳しい気象条件となる場所であるため、施工管理に注意を払った。

図-4 試験施工箇所（白糸 HW）

表-5 混合物の温度測定結果

混合物	10tD	運搬時間	出荷目標値（社内）	出荷温度（℃）	到着温度（℃）	初期転圧（℃）	二次転圧（℃）	運搬後のダレ	敷均し時のFat Spot
FFP As 5.2%	1台目	197分	170+10℃	176	170	152	66	なし	なし
	2台目	244分		176	171	145	80	なし	なし
FFP As 5.4%	3台目	222分	170－5℃	177	171	145	68	なし	数箇所
	4台目	221分		177	171	154	80	なし	数箇所

5．2　混合物の温度測定結果

試験施工に用いる混合物は、表-3 で用いた配合にて行った。試験施工における練落しからの混合物の温度測定結果を、表-5 に示す。測定結果より、目標温度範囲内で施工を行うことができた。また、本試験施工における運搬時間は 3.5～4.0 時間を要したものの、荷台へのダレや冷えた混合物の塊、および舗設面の FatSpot はほとんど見られず、路面状況は良好であった。これは、バインダを改良したことに加え、3 重シートおよびコンパネ設置等の温度低下対策効果が得られた為と考える。

写真-3 FFP 仕上り路面

表-6 路面性状の試験結果表

配合	工区	転圧条件	現場試験結果					
			路面のキメ深さ	現場透水試験	すべり抵抗試験			
			MPD (mm)	浸透水量 (ml/15s)	BPN	DFTによる動摩擦係数		
					BPN_{20}	μ_{40}	μ_{60}	μ_{80}
FFP As 5.2%	①工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回65℃	1.756	1,013	64	0.31	0.30	0.33
	②工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回80℃	1.720	757	73	0.38	0.36	0.37
FFP As 5.4%	③工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回65℃	1.825	1,043	77	0.39	0.37	0.38
	④工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回80℃	1.825	727	73	0.43	0.41	0.43

表-7　路面性状の追跡調査試験結果

配合	工区	転圧条件	供用期間	現場試験結果					
				路面のキメ深さ	現場透水試験	すべり抵抗試験			
				MPD (mm)	浸透水量 (ml/15s)	BPN	DFTによる動摩擦係数		
						BPN_{20}	μ_{40}	μ_{60}	μ_{80}
FFP As 5.2%	①工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回65℃	直後	1.756	1,013	64	0.31	0.30	0.33
			3ヶ月	1.538	655	68	0.45	0.41	0.42
	②工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回80℃	直後	1.720	757	73	0.38	0.36	0.37
			3ヶ月	1.521	742	65	0.42	0.40	0.40
FFP As 5.4%	③工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回65℃	直後	1.825	1,043	77	0.39	0.37	0.38
			3ヶ月	1.558	775	65	0.47	0.43	0.43
	④工区	初期転圧 11回 二次転圧 3回80℃	直後	1.825	727	73	0.43	0.41	0.43
			3ヶ月	1.669	756	68	0.49	0.45	0.46

特に、3 枚目の保温シートについて、2 台目（As 量 5.2%，運搬時間 244 分）に弊社の特殊保温シート（以下、G シート）を、それ以外は他社製品を使用し比較を行った。表-5 より、G シートを用いたダンプトラックの運搬時間が最大であったものの、温度低下量は最小であったことから、G シートによる温度低下対策の向上が確認できた。

５．３　施工後の性状試験結果

舗設後の路面は、多機能型 AF による敷均しにより、舗装全面に縦グルービングを施したような仕上がりとなった（写真-3）。また、舗設後における路面性状試験の測定結果を、表-6 に示す。

試験結果より、路面のキメ深さは社内基準値 MPD 1.2mm 以上を満足し、適度な路面の粗さを有する事ができると言える。また、浸透水量については、混合物下層の水密性が高まるために表面付近の空隙を 10mm 程度に限定しているが、空隙率 17%の排水性舗装と同等の排水能力（800ml/15s 以上）を有していた。さらに、すべり抵抗は、全工区で 20℃補正した BPN_{20} が社内基準値 60 以上を満足しており、DF テスタによる動摩擦係数 μ 40（40km/h）、μ 60（60km/h）も良好な値が得られた。

以上の結果より、路面性状には問題は無いと判断した。

５．４　追跡調査試験結果

供用 3 ヵ月後における路面性状試験の測定結果を、表-7 に示す。試験結果より、路面のキメ深さや浸透水量に若干の機能低下が見られるものの、大きな変化ではなく、良好な路面性状を維持している。

５．５　現場における凍結抑制効果

供用 5 ヵ月後（平成 24 年 2 月 19 日）における降雪後の路面状況を写真-4 に示す。前日に凍結防止剤を散布したが、密粒舗装部分ではブラックアイスバーン（非常に滑りやすい氷膜状態の事で、路面の光っている部分）となっているのに対し、FFP ではブラックアイスバーンにはなっていないことが判る。これは、FFP は凍結防止材の残存率が高いことと、表面の浮き水が無いことによる効果の表れで有ると考える。

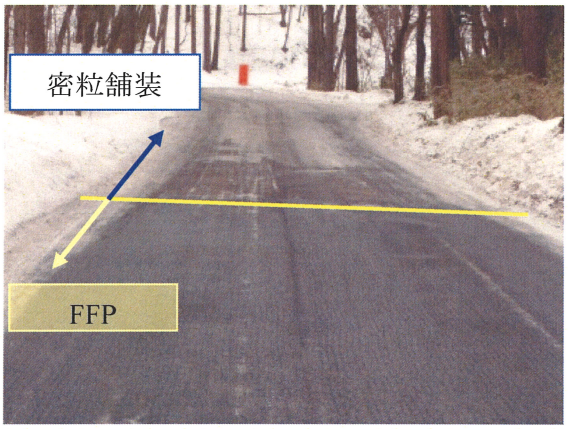


写真-4 施工ヤードの冬期路面状況

６　まとめ

FFP に関する配合設計、試験施工及び供用 5 ヵ月後までの調査結果から以下のことが挙げられる。

① FFP は、配合と施工を高度化する事で、多くの機能を有する舗装となっている。
② G シートの保温効果は高く、4 時間を経過しても温度低下は 5℃程度で、非常に有効である。
③ FFP は的確な温度管理を行えば、厳寒期であっても締固め度を十分確保できる事が確認できる。
④ 凍結防止材の残存率が高いため、凍結抑制効果が十分に期待できる。
⑤ 追跡調査の結果、路面性状は施工直後と同程度の結果を有した工区があるため、適切な施工方法を採用すれば、機能の持続性が高いと言える。

また、現在進行中の工事として、広島県内の国道や、秋田県内の橋面舗装などがあるので、その結果も含めて、今後発表していきたいと考えている。

【参考文献】

1) 気象庁：過去の気象データ検索 http://www.jma.go.jp/jma/
2) 齊藤 一之：多機能型排水性舗装の開発 北陸道路舗装会議 2012.6
3) 藤本 大生 他：フル･ファンクション･ペーブの施工事例 北陸道路舗装会議 2012.6

鋼殻吊降ろし式ニューマチックケーソン工法

鹿島・大本異工種建設工事共同企業体揚川橋工事事務所　小滝　勝美

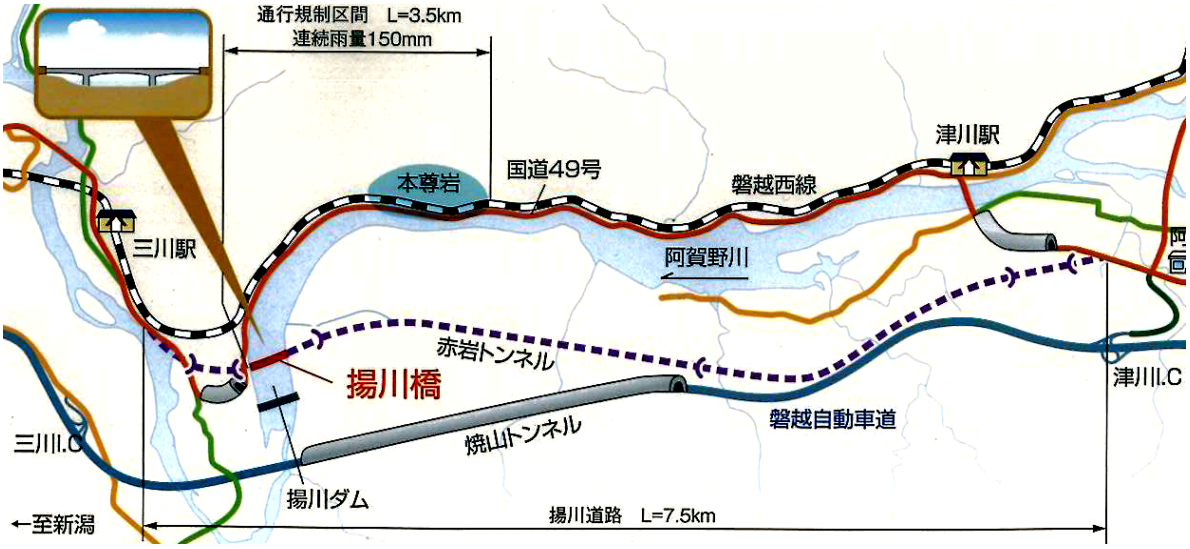
1　はじめに

一般国道４９号線（福島県いわき市～新潟県新潟市）は、太平洋側と日本海側を結ぶ主要幹線道路であり、国道４９号線沿線市町村と新潟市を結ぶ幹線道路として重要な役割を果たしている。

このうち、東蒲原群阿賀町清川から同町谷花に至る区間は、渓谷裾部に沿ってＪＲ磐越西線と国道４９号が併走し、急峻な岩盤斜面が阿賀野川に迫っている。このため、線形が悪く幅員も狭いことに加え、度重なる土砂災害・岩石崩壊および雪崩の危険性に晒され、この間は通行規制区間（連続雨量 150mm）に指定されている。

これらの問題や危険を回避し、安全で円滑な交通を確保することを目的として、阿賀野川対岸にバイパスを整備する揚川改良事業が実施されたもので、このうちの阿賀野川を横断する揚川橋新設工事は、全長 343mの橋梁工事で上部工がＰＣ３径間連続ラーメン箱桁橋、下部工が鋼殻吊降ろし式のニューマチックケーソン基礎（平面 15.5m×15.5m、高さ 7.8mと 8.3mの２基）である。

本稿においては、下部工工事の中でも主に鋼殻吊降ろし式ニューマチックケーソン基礎の施工方法について報告するものである。



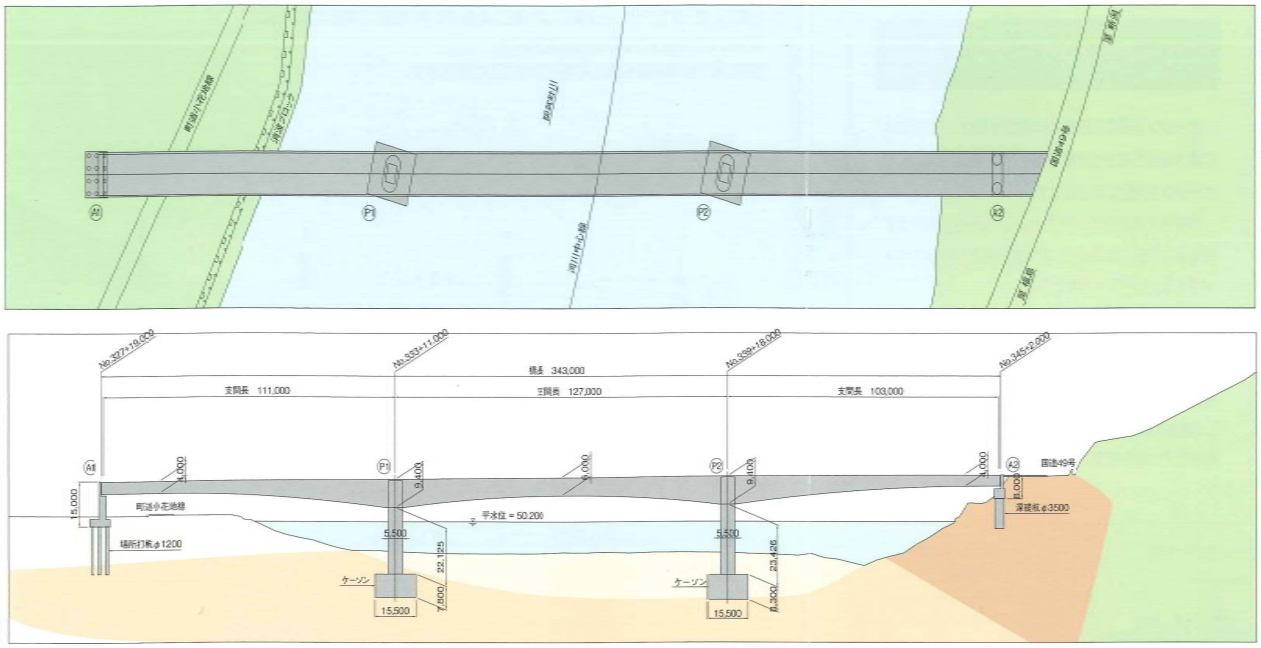
図－１　揚川橋位置図

2　構造概要

揚川橋の中央支間長は 127mで、河川内に２基のニューマチックケーソン基礎が配置されている。

平面形状は 15.5m×15.5mの矩形で、平面積は 240.3m2 である。河床からの掘削深さは 15.0m～15.3mで、掘削土量は P1 橋脚で 3,566m3、P2 橋脚で 3,650m3 である。土質的には支持層となる鹿瀬層（流紋岩質凝灰岩）の上層部に河床堆積物として砂礫層（玉石混り）が存在している。

支持層となる鹿瀬層は傾斜が大きく、特に P1 橋脚では比較的浅い位置から岩盤が現れたため、全掘削土量の 1/3 程度が発破による岩掘削となった。

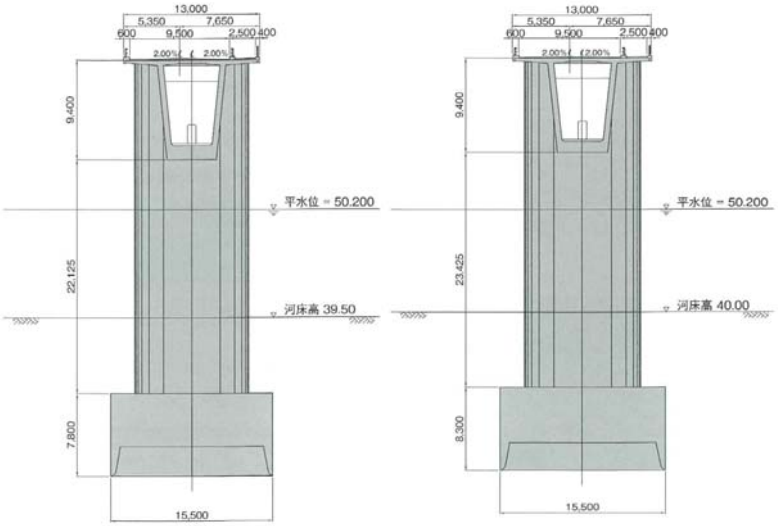


図－２　揚川橋全体一般図

３　鋼殻吊降ろし式の採用

鋼殻ケーソンの施工は、ドライドックで組立した後に進水・浮上させて曳航・据付するのが一般的である。本工事においてもドライドックの候補地が据付現場より上流 4.5ｋｍ付近にあったが、鋼殻の運搬距離が長く曳航に時間が掛かり、航路も狭いなどの制約条件があった。

また、下流部に近接した揚川ダムの放水情報開示が１時間前と緊迫し、鋼殻曳航中の非常時対応に課題があった。



図－３　P1、P2 橋脚一般構造図

このため、ケーソン沈設位置に設けた桟台上で鋼殻を組み立てて、直下に鋼殻を吊降ろしてケーソンを構築する、鋼殻吊降ろし式ニューマチックケーソン工法を採用した。

鋼殻吊降ろし式によるニューマチックケーソン工法の施工は、鋼殻の曳航方式を採用できない施工条件において用いられており、表－１に示すように現在までに12現場で17基が施工されている。

表－１　鋼殻吊降ろし式ニューマチックケーソンの施工実績

順位	橋　梁　名	発　注　者	工事時期	ケーソン形状	基　数	鋼殻部寸法 平面×高さ(m)	鋼殻部体積 (m^3)
1	新横山橋	国土交通省	平成19年	矩　形	1基	16.0×16.0×18.0	4,608.0
2	宇治川橋	旧建設省	平成11年	小判型	1基	9.0×38.5×9.0	3,118.5
3	員弁川橋	日本道路公団	平成11年	矩形	他2基	11.0×26.0×9.0	2,574.0
4	滝谷川橋	福島県	平成17年	円形	1基	13.0×13.0×13.5	2,281.5
5	勝瀬橋	神奈川県	平成　9年	小判型	1基	8.0×26.0×10.0	2,080.0
6	新大川橋	国土交通省	平成14年	小判型	他1基	25.0×10.0×8.0	2,000.0
7	揚川橋	国土交通省	平成22年	矩形	2基	15.5×15.5×7.8	1,858.4
8	宮川五号橋	岐阜県	平成14年	矩形	1基	12.0×10.0×8.0	960.0
9	新三好橋	徳島県	平成11年	矩形	他3基	14.0×11.0×5.5	847.0
10	十島橋	福島県	平成　8年	小判型	1基	7.0×11.0×10.0	770.0
11	新四万川橋	国土交通省	平成17年	円形	他2基	9.5×9.5×4.3	388.1
12	市川大橋	兵庫県	平成16年	小判型	1基	12.0×6.0×5.0	360.0

4　施工概要

4．1　施工順序

仮設桟橋・桟台の施工完了後のニューマチックケーソン工法の施工手順を図－4に示す。

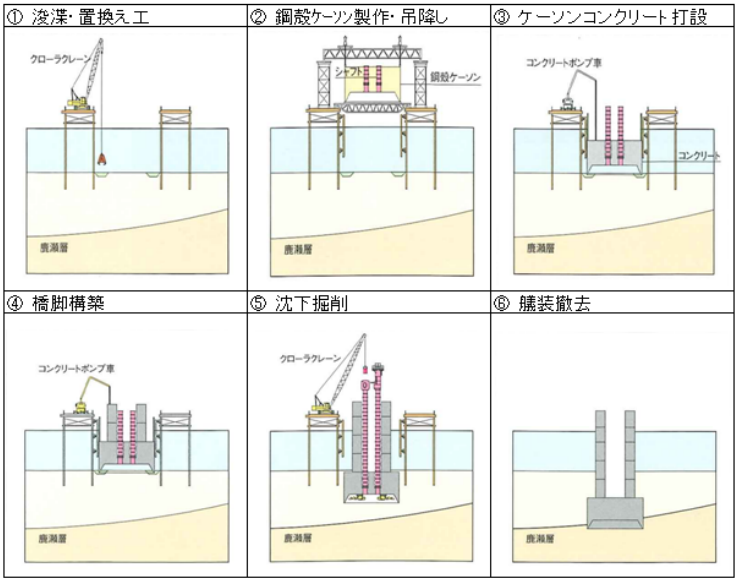
4．2　鋼殻製作・組立

鋼殻ケーソンは分割して工場製作されたものを陸上運搬により現地に搬入した。鋼殻部材は沈設位置の直上の水面上に設置した組立架台（ＨＳトラス）の上で現場溶接により接続し組立を行った。なお、ケーソン沈設精度確保のため、桟橋杭を利用してガイドを設置した。

4．3　鋼殻吊降ろし工

吊架台支柱にはパイプ支柱を採用し吊桁（トラス構造）および鋼殻の全荷重を支持させた。

なお、吊桁上には吊降ろし用のジャッキとして、300t吊のセンターホールジャッキを6基配備した。鋼殻の吊降ろし作業は、先ず鋼殻のジャッキアップ作業を行い、組立用架台を撤去した後にジャッキを盛替えながら順次降下させた。降下管理は鋼殻本体に有害なひずみ、変形が発生しないよに各ジャッキのストローク長の差に管理値を定め、油圧計並びに変位計により計測したジャッキ反力と降下ストロークをパソコンにより集中管理し、モニターにてリアルタイムに確認しながらジャッキ操作を実施した。なお、吊荷重は鋼殻本体と鋼殻内部に組み立てられた鉄筋を含め、総重量は約320tであった。



図－4　施工順序図

写真－1　組立用架台

写真－2　鋼殻組立完了

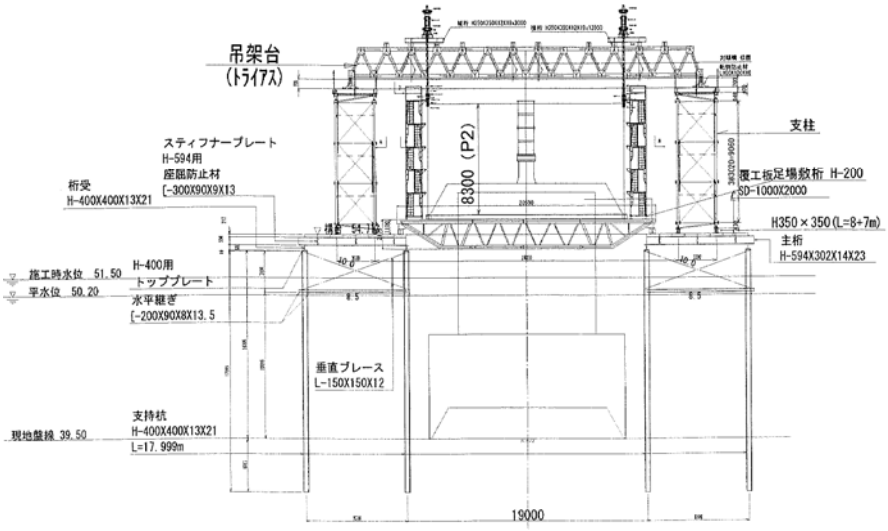
写真－3　吊降ろし設備全景

写真－4　吊降ろし状況

写真－5　ジャッキ操作状況

４．４　止水壁工

鋼殻ケーソンの着水完了後、鋼矢板Ⅲ型を用いて止水壁を設置した。止水壁内部には腹起しとして火打ちを二段設置し、さらに上流側については洪水時の流速増加の対策として、もう一段の腹起しを追加設置した。なお、鋼殻と止水壁との接続部には、漏水防止としてゴムパッキンを設置し、接続完了後にはモルタルを打設した。



図－５　鋼殻吊降ろし設備図

４．５　躯体構築工

ケーソン部と橋脚の一部では、マスコンクリートとなることから、温度ひび割れ抑制対策として、ガラス繊維ネットの設置やブローパイプを利用したエアパイプクーリングを実施した。

なお、鋼殻ケーソン部のコンクリートは３回に分けて打設した。

写真－６　ガラス繊維ネット設置

４．６　沈下掘削工

本施工の最大函内気圧は 0.26MPa であり、通常であれば 0.18MPa からは無人化工法が採用されることとなるが、当該地盤は掘削当初から玉石混り砂礫が存在し、支持層も凝灰岩であったことから、転石の破砕・除去や発破作業が伴ったため、最終沈下まで有人による掘削作業を実施した。なお、作業員の安全確保のため、本現場においては 0.2MPa を超える掘削沈下からは、減圧時に酸素呼吸を行う酸素減圧法を採用した。

写真－７　沈下掘削状況

５．おわりに

鋼殻の組立が開始されたのが 2009 年 12 月の真冬で、この年は例年にない豪雪に見舞われ、除雪作業を行いながらの施工を強いられた。また、非出水期内での内工期なども設定され、非常に厳しい工程ではあったが、施工に際してご指導いただいた新潟国道事務所の方々に感謝するとともに、無事工事を完成させた鹿島・大本異工種建設工事共同企業体の関係者に敬意を表するものである。

第2会場

第Ⅲグループ

コンクリート系がれきの有効利用技術

大成建設　技術センター土木技術研究所　主任研究員　○堀口　賢一
室長　　丸屋　剛

1　はじめに

東日本大震災で発生したがれきの量は，岩手，宮城，福島の 3 県で 1800 万トンを超えると推計されている。このうち，コンクリート系がれき（コンクリート，軽量ブロック，レンガ，タイル，瓦などの無機質がれきを含む。）は 300 万トンを超えるとみられている[1)]。これらのがれきは，震災以降，集積と処理が進められているが，コンクリート系がれきの再利用は進んでいない。これはコンクリート系がれきが木質がれきと異なり，焼却による減量ができないことや，従来の再利用方法では，道路用砕石やコンクリート用再生骨材として用いるために，細かく破砕して骨材に付着したモルタルを除去し，洗浄，分級が必要になり，時間と労力を要することが要因と考えられる。ところで，震災復興に必要とされるコンクリートは，必ずしも JIS で定めるような高品質を必要せず，例えば，盛土材や埋戻材で 0.5～1.5N/mm^2 程度，堰堤中詰材で 1.5～3.0N/mm^2 程度，護岸工内部材で 3.0～6.0N/mm^2 程度の圧縮強度でよい[2)]。このようなことから本技術開発は，コンクリート系がれきを再生資源として，短期間に，大量に活用することを目的とし，また，費用と労力を大幅に削減するために，粗く破砕したコンクリート系がれきにセメントと水を混合して利用するセメント硬化体の開発を目指した。

開発したセメント硬化体は,要求される圧縮強度が低く,施工は振動ローラーによる転圧を想定し，単位セメント量と単位水量が比較的小さい，目標スランプがゼロの超硬練り仕様として検討した。

2　実験内容

技術開発のための実験は，コンクリート系がれき破砕後の品質を確認した材料試験，セメントや水と混合したときの性状を確認した練混ぜ試験，およびその硬化後の物性を確認した強度試験を実施した。次にそれらの結果を受けて，実際の施工を想定した実機実験を行い，超硬練りコンクリートとしての製造と施工ができることを確認した。なお，実験は岩手県釜石市災害廃棄物処理作業所内の実験ヤードで実施した。また，コンクリート系がれきも写真－１に示すように，同作業所に集積されているものを破砕して実験に使用した。このコンクリート系がれきは，津波により陸上に運ばれた，比較的粒径の細かい津波堆積物と呼ばれる砂などを多く含んでいた。

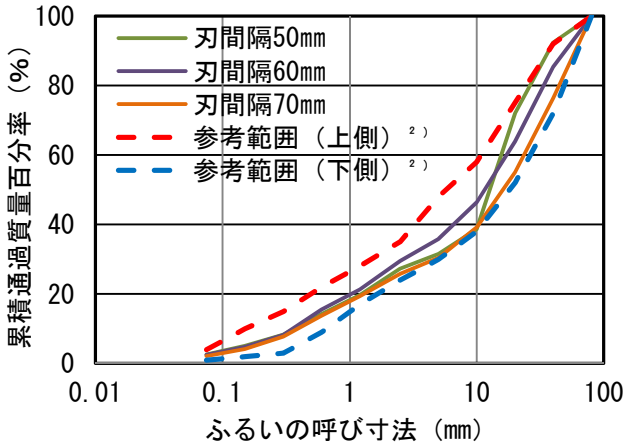
写真－１　実験に使用したコンクリートがれき

3　実験結果

3．1　材料試験結果

材料試験は，粒度分布，密度・吸水率，含水率，および単位容積質量・実積率を測定した。コンクリート系がれきは，写真－２に示す可動式破砕機を用いて破砕し，破砕機の刃間隔を 50，60，70mm の 3 通りに調整して試料を製作した。

写真－２　コンクリートがれきの破砕状況



図－１　粒度分布の測定結果

図－１に粒度分布の測定結果を示す。刃間隔を調整することで，破砕後の粒度をある程度調整できることがわかった。また，津波堆積物の多寡によって粒径の細かい成分量が影響を受けることもわかった。図－１には「砂防ソイルセメント活用ガイドライン」[2)] に示されている，類似工法での実績に基づく粒度分布の範囲を破線で示している。これを目安とすると，今回実験した刃間隔は 50，60，70mm のいずれでも範囲に入ることが確かめられたため，練混ぜ試験以降の試験では，刃間隔を 50 ㎜で破砕したものを試料として用いた。

表－１　材料試験の結果

測定項目	5mm以上	5mm以下	レディミクスト コンクリート用 骨材の規格値
微粒分量 （%）	2.30	22.5	粗骨材：1.0%以下 細骨材：3.0%以下
絶乾密度 （g/cm^3）	2.26	2.05	粗骨材：2.5g/cm^{3}以上 細骨材：2.5g/cm^{3}以上
表乾密度 （g/cm^3）	2.41	2.31	規定なし
吸水率 （%）	2.48	11.0	粗骨材：3.0%以下 細骨材：3.5%以下
単位容積質量 （kg/L）	1.39	1.30	規定なし
実積率 （%）	61.5	63.4	規定なし

表－１にその他の材料試験の測定結果を示す。レディミクストコンクリート用骨材の規格値と比較した場合，微粒分量はコンクリート用細骨材が 3.0%以下の規格値であるのに対し，コンクリート系がれきの 5mm 以下では 22.5%と多い。また，吸水率についても，細骨材が 3.5%以下の規格値であるのに対し，がれきの 5mm 以下では 11.0%と大きいことが確認された。さらに，練混ぜ試験時の含水率は，5mm 以上のがれきで 5～10%程度，5mm 以下のがれきで 15～20%程度であり，破砕後の管理方法にもよるが，通常のコンクリート用骨材よりも高い状態であることも確かめられた。

写真－３　コンクリートがれき練混ぜ後の状況

３．２　練混ぜ試験結果

写真－３に破砕したコンクリート系がれきとセメント，水との練混ぜの状況を，写真－４に練混ぜ後の加振締固め性試験の実施状況を示す。また，写真－５に加振締固め性を測定した後の供試体を示す。いずれも水セメント比は 100%，スランプは 0cm であったが，写真左は充填率 98%に達するまで

写真－４　加振締固め性試験の状況

加振締固め性が良好な配合

セメント量 125kg/m³
がれき量 1959 kg/m³
S/A=27.8 %

加振締固め性が不良な配合

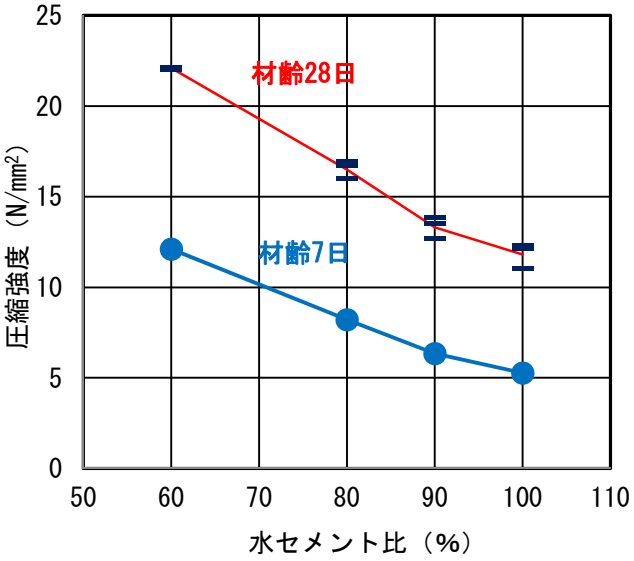
セメント量 140kg/m³
がれき量 1920 kg/m³
S/A=20.0 %

写真－５　加振締固め性試験後の外観

の時間が 26 秒と良好であったのに対し，写真右では 200 秒間加振しても充填率は 86%に留まった。この 2 つの配合は，配合設計上はいずれも完全充填できるものであったが，がれきの吸水率が高いことや，津波堆積物を含むことによるモルタル性状への影響などにより，充填性に違いが現れたと考えられる。なお，ここで示す S/A は，がれき全質量に対する 5mm のふるいを通過するがれきの質量比を意味している。このような加振締固め性試験で適切な配合を選定すれば，コンクリート系がれきを母材としたセメント混合物でも，密実なセメント硬化体を製作できることが確かめられた。

３．３　強度試験結果

図－２に水セメント比と圧縮強度の関係を示す。配合は，単位セメント量を 100kg/m³ で一定とし，水セメント比を 100，90，80%と変動させた。また，比較のために水セメント比 60%（単位セメント量 300kg/m³）の供試体も製作した。これによれば，コンクリート系がれきを母材とするセメント硬化体でも，圧縮強度は通常のコンクリートと同様に水セメント比に応じて発現することが確かめられた。



図－２　圧縮強度試験結果

３．４　実機実験結果

写真－６に実機実験の状況を示す。また，表－２に実験に用いた配合を示す。練混ぜには，土質改良機としても用いられる可動式ミキサーを用いた。練り混ぜられたセメント混合物は，４ｔダンプトラックで受けて場内運搬した。次に３ｔ級ブルドーザで敷き均し，３ｔ級振動ローラーで転圧して締固めを行った。転圧は無振動２回＋有振動８回とした。その後，養生マットを敷設，散水して材齢 28 日まで養生した。転圧時には転圧 2 回ごとの沈下量と，転圧終了後に RI（放射線測定）法による現地密度を測定した。また，養生後にコアを採取して，圧縮強度と密度を測定した。

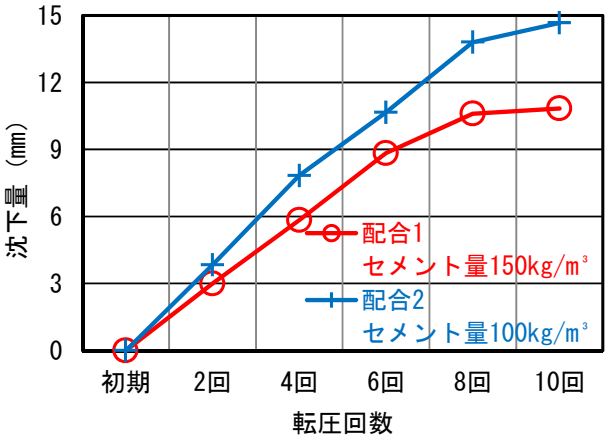
図－３に沈下量の測定結果を示す。今回の実機実験では，沈下量は単位セメント量が少ない配合 2 の方が大きかった。これは，練り上がり状態での間隙が多いため，配合 2 の方が転圧で大きく沈下し

①練混ぜ状況　②敷均し状況　③転圧状況　④養生状況

写真－６　実機実験の状況

表－２　実機実験に用いた配合

配合種類	水セメント比（%）	単位量(kg/m^3)		
		水	セメント	がれき
配合1	105	158	150	1848
配合2		105	100	2011



図－３　沈下量の測定結果

たと考えられる。RI 法による現地密度の推定値は，配合 1 で 2.170t/m^3，配合 2 で 2.017t/m^3 で，コアによる密度は配合 1 で 2.168t/m^3，配合 2 で 2.076t/m^3 であったことから，RI 法による推定結果と概ね一致するものであった。一方，圧縮強度はコアによるものが配合 1 で 8.08N/mm^2，配合 2 で 4.11N/mm^2 に対し，実機で練り混ぜたセメント混合物をテーブル加振装置で充填，整形した供試体では，それぞれ 8.11N/mm^2，2.27N/mm^2 と配合 2 で違いが見られた。配合 2 では，振動ローラーによる場合とテーブル加振装置による場合の締固め性の違いが現れたものと考えられる。

４　まとめ

本技術は，津波堆積物を含むコンクリート系がれきを破砕し，コンクリートがれき以外の混合物の除去や，粒度調整などをできる限り行わずに活用することを目指して開発を進めたものである。実験の結果，セメントと水を混合したセメント硬化体として適用できることが確かめられた。今後は品質管理のための評価方法を整理し，被災地で積極的に活用できるように成果をとりまとめる予定である。

謝　辞

本技術開発は，国土交通省が主管する平成 23 年度建設技術研究開発助成制度【震災対応型技術開発公募】に応募し，課題採択されて実施したものです。同制度のもとに設立した産学官テーマ推進委員会においては，宇治公隆委員長（首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 教授）をはじめ，各委員から適切な助言と評価をいただきました。ここに厚く感謝申し上げます。また，本技術開発に際しては，釜石市のご厚意によりコンクリートがれきと実験ヤードをご提供いただきましたことに重ねて御礼申し上げます。

参考文献

１）環境省：災害廃棄物の処理の推進に関する関係閣僚会合資料，2012.6

２）砂防ソイルセメント活用研究会編：砂防ソイルセメント活用ガイドライン，2002.1

ガラリクリート工法の開発と適用

清水建設株式会社　土木技術本部基盤技術部主査　○久保　昌史
土木技術本部基盤技術部主査　　江渡　正満
土木技術本部基盤技術部　　山田　雄太

1　はじめに

高度経済成長期以降、大量に建設されたインフラストックの多くが設計耐用期間を終え大更新時代の到来が迫っていることや、東日本大震災復興事業の本格化など、今後、大量の解体ガラが発生すると考えられている。また、CO_2削減のため資源再利用の社会的要請がますます高まっている。こうした状況のなか環境負荷やコストを低減することを目的に、工事現場などで発生したコンクリート解体ガラなど（以下、解体骨材）を現場内で完全再利用する技術「ガラリクリート工法」を開発し、コンクリートダムにおける場内放流設備下部の置換コンクリートに適用した。

本報では、ガラリクリート工法の概要、開発の経緯、適用事例について報告する。

2　ガラリクリート工法の概要

ガラリクリート工法は、最大粒径 400mm 程度に粒度調整した解体骨材と、解体骨材の粒度分布や必要な強度を考慮して配合したモルタルを混合し、振動ローラーで振動・転圧してコンクリート構造物を構築する技術である。

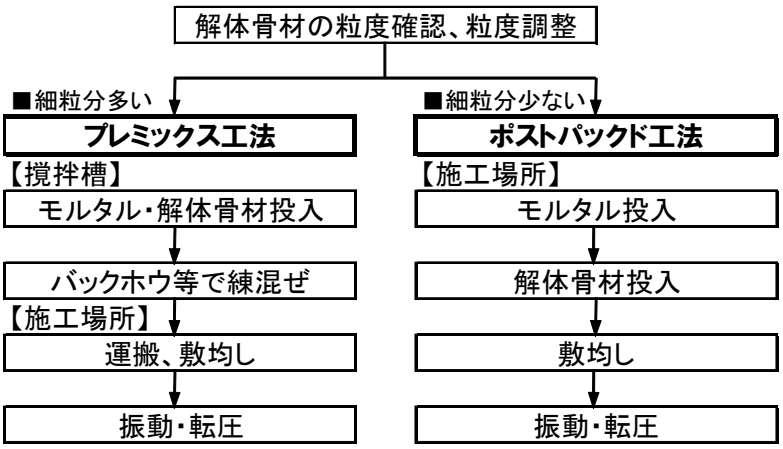


図-1　工法の概要

本技術は、既往の技術である「解体骨材転圧コンクリート工法」[1)]をもとにコンクリートダムにおける超硬練りコンクリートを使用する RCD 工法の技術を参考にして、コンクリートの配合設計手法と施工方法を見直すことで、使用する骨材の最大粒経を約 400mm 程度まで拡げたものである。

施工方法は、解体骨材に含まれる細粒分（粒径 5mm 以下）が多い場合に適用する「プレミックス工法」と少ない場合に適用する「ポストパックド工法」がある。施工フローを図-1 に示す。

プレミックス工法は場内に別途準備した大型撹拌槽にモルタルと解体骨材を投入して、バックホウ等で撹拌し、ダンプ等に積込んで施工箇所に運搬後、バックホウやブルドーザーで敷均し、振動ローラやタンパで振動転圧を行うものである。　一方、ポストパックド工法は、施工箇所に直接モルタルを打込んだ後、解体骨材の投入、敷均し、振動転圧を行うものである。解体骨材の細粒分が少ないため振動転圧によりモルタルが解体骨材間の空隙に確実に充填される。

本技術の適用可能な用途として、置換コンクリート（マンメイドロック）、中埋めコンクリート、凍害環境にない重力式擁壁などのコンクリートや、防潮堤の根固め部、地盤の嵩上げ部等がある。

表－1　室内試験の試験ケースとコンクリートに換算した配合および試験結果

ケース	モル※タル	解体骨材粒径(mm)	配合（コンクリート換算）						工法	試験結果		
			W/C(%)	単位量(kg/m^3)						充填性	圧縮強度(N/mm^2)	充填状況
				W	C	S	G	Ad				
1	1:0.7[1)]	0～40	50	137	273	187	1505	C×0.25%	ポストパックド	○	—	充填良好
2	1:3		65	90	139	417	1505			△	3.6	充填不良点在
3	1:5		57	60	104	522	1505			×	—	振動時材料分離
4	1:3	2.5～40	65	120	185	556	1362			△	9.3	上方にモルタル浮いてこない
5	1:3	5.0～40	65	135	208	625	1249			○	14.5	充填良好
6	1:3	0～40	65	90	139	417	1505		プレミックス	○	12.6	充填良好

※セメントと細骨材の質量比

3　開発の経緯

本技術を開発するにあたり、配合や施工方法などを決めるための室内試験、その妥当性を評価するため適用現場での試験施工を行なった。

試験で使用した解体骨材は、実際の施工に使用するもので壁厚 50cm の骨材貯蔵設備のコンクリートおよび堤体コンクリートの残コンクリートなどを解体したものである。コア採取による解体骨材の圧縮強度は、骨材貯蔵設備で 43.0N/mm^2、残コンクリートで 31.5N/mm^2 であった。

写真－1　試験体作製状況

表－2　空隙率試験結果

解体骨材粒径(mm)	$G_{0\sim350}$※	$G_{0\sim150}$	$G_{150\sim300}$
容量(m^3)	2.46	2.46	2.46
解体骨材質量(t)	4.1	4.1	3.2
水投入量(m^3)	0.8	0.7	1.2
空隙率(%)	33	28	49
密度(g/cm^3)	2.47	2.33	2.55

※混合比率 $G_{0\sim150}:G_{150\sim350}=2:1$

3．1　室内試験

室内試験では、解体骨材の粒度分布の違いや施工方法(ポストパックド工法とプレミックス工法)による充填性への影響についての検討を行い本施工で使用するモルタルの配合選定を行った。試験はφ150×300 のモールドにモルタルと解体骨材をポストパックド工法およびプレミックス工法を模擬した方法で充填し、充填性および圧縮強度を評価した。試験で使用したモルタルは既往の文献 [2)]および経済性と汎用性を考慮して選定した。また、解体骨材はモールドの大きさを考慮してモールド内径の 1/3 程度を最大径とし、40mm 以下とした。試験ケースとコンクリートに換算した配合および試験結果を表－1 に、試験の状況を写真－1 に示す。これらの結果から、1：0.7 および 1：3 モルタルの適用が考えられたが、汎用性および経済性の観点から 1:3 モルタルを採用することとした。

3．2　試験施工

本施工を行う前に、実際に使用する解体骨材を用いて現場で試験施工を行い、使用するモルタルの量および施工方法を決定した。まず、使用するモルタルの量を決めるために解体骨材の空隙率試験を行った。空隙率は、容量 2.46m^3 のベッセルに解体骨材を投入後転圧し、満水になるまで投入した水の量により求めた。試験結果を表－2 に示す。

表－３　試験ケースと試験結果

ケース	解体骨材混合比率		モルタル量(%)	施工方法	施工時間※(分)	転圧回数(回)	試験結果		
							沈下量(mm)	採取コア	
	$G_{0\sim150}$	$G_{150\sim300}$						充填状況	圧縮強度(N/mm^2)
1	2	1	40	ﾌﾟﾚﾐｯｸｽ	40	6	10～20	良好	17.5
2	1	1	40	ﾌﾟﾚﾐｯｸｽ	40	6	10～20	良好	16.0
3	0	1	50	ﾎﾟｽﾄﾊﾟｯｸﾄﾞ	50	10	50～80	良好	12.7

※施工時間は材料投入から振動・転圧が完了するまでの時間である。

次に、幅 3m×長さ 10m の試験ヤードを 3 区画設け、実際に使用する重機（敷均し：0.45m^3 バックホウ、振動転圧：4t 振動ローラー）や材料を用いて 1 層（層厚 50cm）の施工性試験を行った。試験ケースと試験結果を表－4 に示す。試験結果はいずれのケースも良好であり、実施工は可能であることを確認した。ただし、ポストパック ド工法の場合、充填状況は良好であったもののプレミックス工法に比べて沈下量が大きく、圧縮強度も相対的に低い結果となった。

(a)粒径 150mm 未満の解体骨材

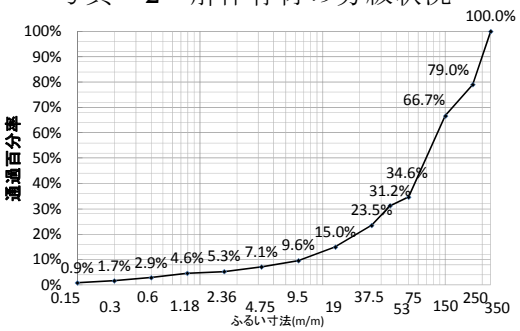
(b)粒径 150～350mm の解体骨材

写真－2　解体骨材の分級状況

4　適用事例

4．1　現場適用の経緯

当初、場内で発生した解体ガラは場外搬出による産業廃棄物処理を行い、購入した生コンクリートで場内放流設備下部の置換コンクリートを打設する計画であった。しかし、環境負荷やコスト低減の観点から、解体骨材の場内再利用を検討した。解体骨材の利用にあたって、関係各所と協議・調整した結果、産業廃棄物である解体ガラを粒度管理することによって、市場性のある有価物相当品であるコンクリート用骨材と評価できることになり、全量使用が可能となった。



図―2 使用した解体骨材の粒度分布

4．2　現場適用状況

施工箇所は、幅約 5m×延長約 40m×高さ 6.5mの場内放流設備下部の置換コンクリート（設計基準強度は地盤相当の 1N/mm^2）約 1100m^3 であった。今回使用した解体骨材は、発生した解体ガラを全量使用するため、粒度 150mm 以下と 150～350mm に分級し、混合容積比率で 2 対 1 とした。使用した解体骨材の粒度分布を図－2 に示す。モルタルは市中生コン工場より購入する 1：3 モルタルとし、使用量は試験施工結果から空隙率（33%）の 1.2 倍の 40%とした。施工方法は、解体骨材の細粒分（5mm 未満）が 7%以上であったためプレミックス工法とし、モルタルと解体骨材をあらかじめよく撹拌させるため、大型撹拌槽を用いて撹拌した。

表－4　コンクリートの示方配合

骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	単位量(kg/m³)					
		W	C※1	S※2	$G_{5\sim150}$	$G_{150\sim350}$	Ad※3
350	65.0	120	185	556	932	510	C×0.25%

※1：高炉セメントB種
※2：モルタルの細骨材+解体骨材粒径5mm未満
※3：ポゾリスNo.70(AE減水剤)

コンクリートの示方配合を表－4 に示す。

品質管理は、2 回/日のモルタルスランプフロー測定（JIS A 1101)、1 回/日の粒径40mm以下のウエットスクリーニング試料を用いて圧縮強度試験（供試体寸法φ150×300）を行った。

施工方法は 1 層 50cm で 13 層に分け、0.45m³バックホウにより 1 層毎に敷均し、4ｔ振動ローラーにより 1 層 6 回の振動転圧を行った。施工には10 日間を要した。施工状況を写真－3 に示す。

モルタルのスランプフローは455～570mm()、コンクリートの圧縮強度は6.7～14.6N/mm²で平均10.7N/mm²、標準偏差は2.2N/mm²(試験回数13回、39試料)であった。

施工の結果、場外に搬出する産業廃棄物が削減できるとともに、生コンクリートの使用が不要となったことから、置換コンクリートを打設する場合と比較して環境負荷が少なく、コストも約35%削減された。

(a)練混ぜ状況

(b)転圧状況

写真－3　施工状況

5　おわりに

最大粒径 400mm 程度までの解体ガラを使用した新しいコンクリート再生技術「ガラリクリート工法」について紹介した。現在、解体ガラはそのほとんどが産業廃棄物処理され主に粒径40mm程度の路盤材としてリサイクルされている。本技術は、こうした解体ガラの産業廃棄物処理が不要となり、かつ大粒径で使用することにより解体処理の省力化も図ることが可能となり、省力化やコストダウンが期待できる。

今後は、大量の解体ガラが発生する大型コンクリート工事をはじめ、震災復興等の大量の解体処理を含む工事に積極的に提案していきたいと考えている。

【参考文献】

1)渡辺俊朗　他:解体骨材転圧コンクリート工法の研究、日本建築学会大会学術講演便概集(北海道)、1995年8月

2)土木学会：コンクリートライブラリー96資源有効利用の現状と課題、p94、1999年10月

1000m の長距離圧送を実現した高強度モルタル吹付『キロ・フケール工法』

日特建設株式会社　技術本部　主任　　窪塚　大輔

1　まえがき

近年、地球温暖化に起因するとされる気象変動によって、驚異的な集中豪雨やゲリラ豪雨が多発し、全国において水害や土砂災害が頻発している。こうした現状から、道路分野では豪雨により斜面災害や落石災害が発生しないよう積極的に災害防除事業が行われている。

災害復旧事業や災害防除事業では、斜面対策において多くの実績のあるモルタル吹付工が多用されてきた。しかしながら、近年の事業における吹付技術に対する要求事項は多様化し、従来技術では対応することが難しくなってきた。

多様化する要求事項に対応していくために、モルタルにチクソトロピー性を付与することで、1000m 超の長距離圧送を可能とした「キロ・フケール工法」（以下、「本工法」という）を開発した。なお、本工法は、宇都宮大学との共同研究により開発したものである。

本報文は、本工法について概説し、施工事例を紹介する。

2　キロ・フケール工法の概要

本工法は、チクソ材をモルタルに加え従来のモルタルにない性状であるチクソトロピー性を付与させることによってモルタルを低圧力で長距離圧送し、モルタル圧送先端部（吹付ノズル）で急結剤と圧縮空気を混入して吹付を行う工法である。

2．1　チクソトロピー性

チクソトロピー性とは、レオロジー特性の一種で、力が作用すると見かけの粘性が減少し、静置により回復する可逆変化を示す特性である。チクソトロピー性の概念を図-1 に示す。

2．2　モルタル物性値

本工法のモルタル（フレッシュ時）の物性値および急結剤を添加後の硬化したモルタルの物性値を表-1 に示す。モルタル（フレッシュ時）はテーブルフロー値が 300mm 程度と非常に流動性が高い。一方、1000m 圧送した後の吹付硬化後の圧縮強度および付着強度は、それぞれ通常の吹付コンクリートやモルタルに求められる要求仕様を上回る値を示す。

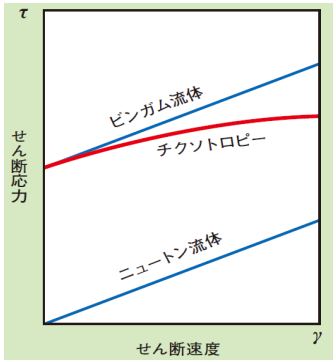


図-1　チクソトロピー性概念

2．3　施工方法

本工法の施工方法は、モルタルを圧送するラインと、急結剤を圧送するライン、圧縮空気を供給するラインの 3 ラインから構成され、吹付ノズル先端でモルタルと急結剤を一定の配合比率で混合し圧縮空気を混入させ、吹付対象面にモルタルを吹付けるものである（図-2）。

表-1　物性値

試験項目	数　値	状　態
フロー値	325±25mm	フレッシュ
比　重	2.0±0.10	
可使時間	180分	
圧縮強度	24N/mm^{2}以上	吹付硬化後
付着強度	1.5N/mm^{2}以上	

施工手順を以下に示す。

①チクソトロピー性を有したモルタルをグラウトミキサーで製造し、材料圧送ポンプにより吹付ノズルまで圧送する。

②急結剤は、急結剤ポンプにより吹付ノズルまで圧送する。

③モルタルと急結剤を一定の配合比率で混合させるために、両者のポンプ吐出量を「COGMA システム」で制御する。

④コンプレッサーからの圧縮空気を吹付ノズルに混入させ、吹付を行う。

なお、「COGMA システム」とは、材料圧送ポンプと急結剤ポンプの吐出量の制御や監視をコンピューターにより自動で行うシステムである。

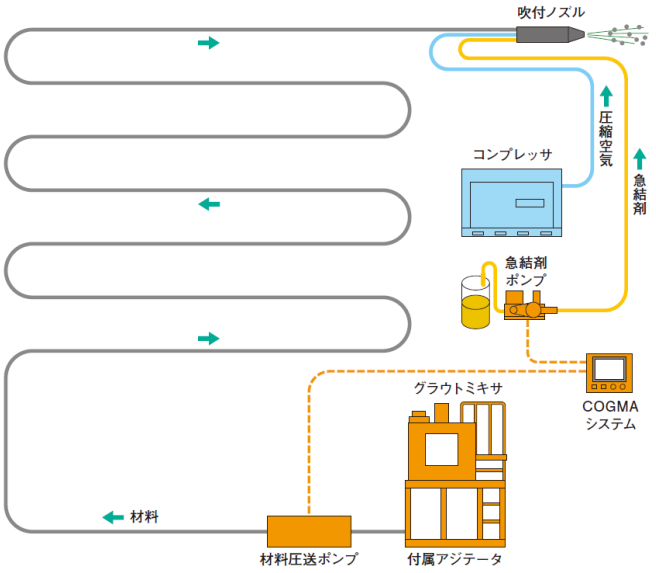


図-2　施工システム

２．４　特長

本工法の特長を、以下に整理する。

a) 長距離吹付

本工法に用いるモルタルは、チクソトロピー性を有しているため、材料圧送ポンプの吐出圧力が 3MPa 以下で 1000m 超の長距離圧送が可能である。すなわち、施工箇所近傍にプラント機械を搬入することなく、施工が可能となった。

b) 容易な配管

低圧力でのモルタル圧送であるため、使用する配管は、鋼管ではなくゴムホースの使用が可能となり、またモルタルの材料特性から 1.5 インチと小さい配管径で施工が可能である。そのため配管作業が容易となり緊急性を伴う吹付工事に対して迅速に対応できる。

c) 高度な品質管理

「COGMA システム」を用いることで、モルタルと急結剤の配合比率を自動で一定に保つことができる。すなわち、モルタルの吐出量を変動させても、自動で急結剤の吐出量が変動し、安定した品質を確保できる。

３　施工事例

当該事例は、道路に面する斜面上部に点在する巨石を、本工法を用いて根固め吹付したものである。施工条件の概要を図-3 に示す。

斜面下部の道路は交通量が多いため、道路の片側車線にプラントを仮設し、長期間にわたり通行規制することは困難であった。そこで施工箇所の山の反対側にプラントを仮設し、その地点からモルタルを圧送し吹付を行うことが求められ、本工法を適用した。配管はプラント仮設位置（図-3、写真-1）から標高差約 90m の山頂まで上げ、そこから約 40m 下方にある巨石まで敷設した。山が急峻であることから、配管を斜面に対して斜め横断的に敷設したため、配管の総延長は、上り部で 425m、下り

部で 275m の計 700m に及んだ。　吹付時のポンプ吐出圧力は、計画通り 3MPa 以下に抑えることができ、施工は無事に終えることができた。なお、当該現場には吹付対象の巨石が 3 箇所あったが、使用している配管がゴムホースであるため、現場内の取り回しもスムーズに行うことができた。施工時の巨石根固めの吹付状況を写真-2 に、吹付完了後の状況を写真-3 に示す。

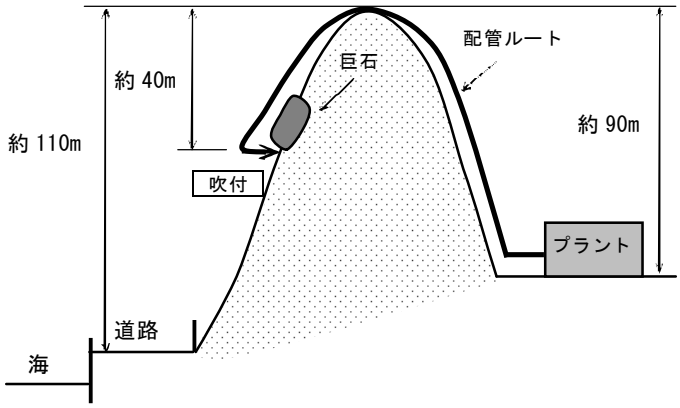


図-3　施工条件と現場概要

写真-1　モルタル製造プラント

写真-2　巨石根固め吹付状況

写真-3　巨石根固め吹付完了後

4　適用範囲拡大への評価

近年、老朽化が進む社会資本の維持管理が大きな課題となりつつあり、本工法の適用分野も増えている状況にあると考える。小断面で延長が長い導水路トンネルもその中の 1 つである。こうした導水路トンネルの覆工面への増厚吹付に対し、本工法の適用性を評価するための実験を行っている状況である。

5　結び

本工法は平成 21 年度に開発を終え、翌 22 年度に初めて現場で適用された。これ以降、根固め工への適用が 2 件、斜面対策への適用が 1 件、トンネル坑内裸坑部への適用が 2 件の施工実績がある。

今後も様々な社会資本整備の中で本工法が適用できるよう改良、開発に励む所存である。

ピエゾドライブコーン（液状化ポテンシャルサウンディング）

応用地質株式会社　エンジニアリング本部　○吉澤　大造
同上　藤井　紀之
同上　澤田　俊一

1　はじめに

地盤の液状化被害を予測する場合において液状化判定を行う為には、「N 値」の他に「細粒分含有率 F_c」が必要となる。従来は、これらの地盤定数をボーリング調査と室内土質試験から得ていたが、結果を得るまでに要する時間（費用）が設計におけるボトルネックとなっていた。ここで紹介する Piezo Drive Cone（以降“PDC”）は、それらの地盤定数を「原位置計測」で「簡易」に「短時間」で評価することが可能な新しい調査法である [1)2)]。本報告では、PDC の試験法の概要と地盤定数の推定方法および液状化判定の方法を紹介する。また、実務への適用事例として、空港施設の耐震化事業に伴う滑走路の地盤改良工事において耐震対策の効果を調査した事例を紹介する。

2　試験法の概要

PDC は、動的貫入試験機を用いて地盤の貫入抵抗 N_d 値を計測すると伴に、動的貫入時に先端コーン周辺で発生する過剰間隙水圧を計測することにより細粒分含有率 F_c を推定し、土木・建築構造物の設計指針・基準の液状化判定法（F_L 法）を用いて簡便に液状化判定を評価する原位置試験である。

PDC の測定装置は、図-1 の概要図に示すとおり以下の装置から構成される。

①先端コーン：打撃貫入時に地盤で発生する過剰間隙水圧応答を計測する圧力センサーを内蔵
②変位計：打撃による動的貫入量をロッド頂部において計測する磁歪リニア変位計
③トリガー：重錘が自由落下によりノッキングヘッドを打撃するタイミング（打撃貫入開始）を検知する近接センサー
④データ収録装置：打撃貫入時の貫入量と間隙水圧応答を高速サンプリング・収録する装置
⑤動的貫入装置：重錘の自由落下による打撃エネルギーで先端コーンを地盤に貫入する装置

動的貫入装置の標準仕様は、ミニラムサウンディング試験機（以降“MRS”）である。その他に、スウェーデンオートマチックラムサウンディング試験機（以降“SRS”）にも装着が可能である。

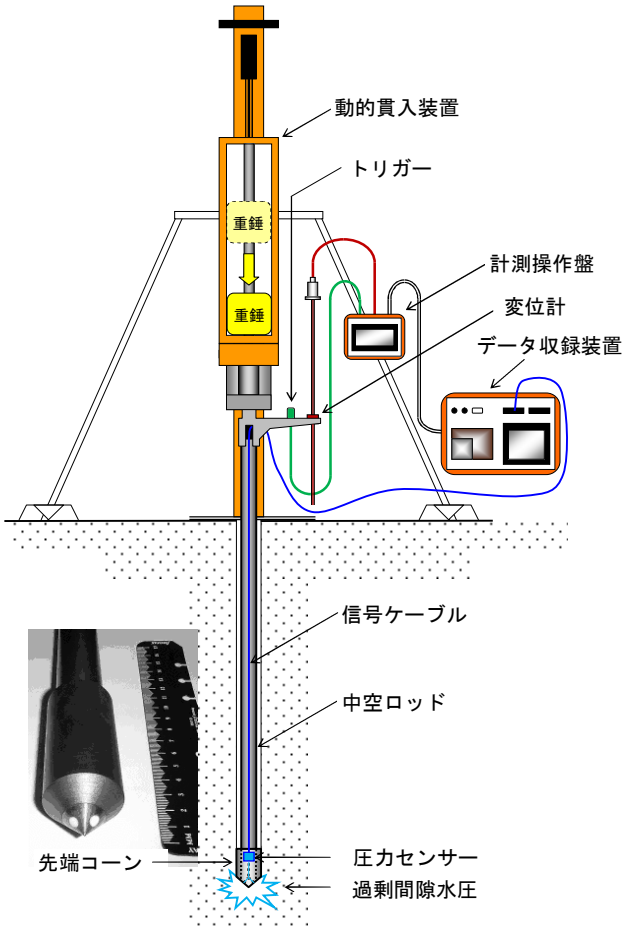


図-1　PDC 試験装置に概要図

データ収録装置が記録するデータは、圧力センサーの応答電圧と変位計の応答電圧の 2 成分である。打撃貫入時に先端コーン位置で計測された間隙水圧の応答値は、電気信号として中空ロッドに通した信号ケーブルを伝わり、地上のデータ収録装置で A/D 変換され自動収録される。1 回の打撃貫入で記録されるデジタルデータは、サンプリング周期 100 μsec（10 kHz）、プレトリガー10 msec（100 データ/CH）を含む 0.2 秒間（2,000 データ/CH）である。

3 地盤定数の評価法

3．1 地盤の貫入抵抗（N_d 値：換算 N 値）

MRSは、20㎝貫入に要する打撃回数（N_{dm}値）がSRSの2倍となるように設計されている。SRSは、20㎝貫入に要する打撃回数（N_{dm}値）が標準貫入試験のN値と等しくなるように設計されている。MRSとSRSでは、N_{dm}値からロッドの周面摩擦の影響を式(1)と式(2)で補正し、地盤の貫入抵抗N_d値（換算N値）を求める。なお、PDCでは1打撃毎に貫入量dを20㎝貫入に要する打撃回数（N_{dm}値）に換算し、N_d値を算出している。

MRS： $N_d = \frac{1}{2} N_{dm} - 0.16 M_r$　式(1)　　SRS： $N_d = N_{dm} - 0.04 M_r$　式(2)

N_d　：地盤の貫入抵抗 N_d 値（換算 N 値）
N_{dm}　：20cm 貫入に要する打撃回数（計測値）
M_v　：ロッドの回転トルク（N･m）

3．2 細粒分含有率（F_c）

打撃貫入時に発生する過剰間隙水圧の消散は、地盤（土質）の透水係数 k に依存する。細粒分含有率の異なる土で測定された過剰間隙水圧 Δu の時刻歴波形の一例を図-2 に示す。細粒分が多い土ほど、過剰間隙水圧 Δu の消散が悪く、水圧が残留することが分かる。連続的な打撃で累積される残留間隙水圧 u_R を有効上載圧 σ_v'で除した累積間隙水圧比 u_R/σ_v'と、室内土質試験（粒度試験）による細粒分含有率 F_c の関係図を図-3 に示す。同図より両者の相関性は高く、式(3)で近似式される。PDC では、式(3)を用いて累積間隙水圧比 u_R/σ_v'より細粒分含有率 F_c を推定する。

$$F_c = 18 \cdot u_R / \sigma_v' \qquad \text{式(3)}$$

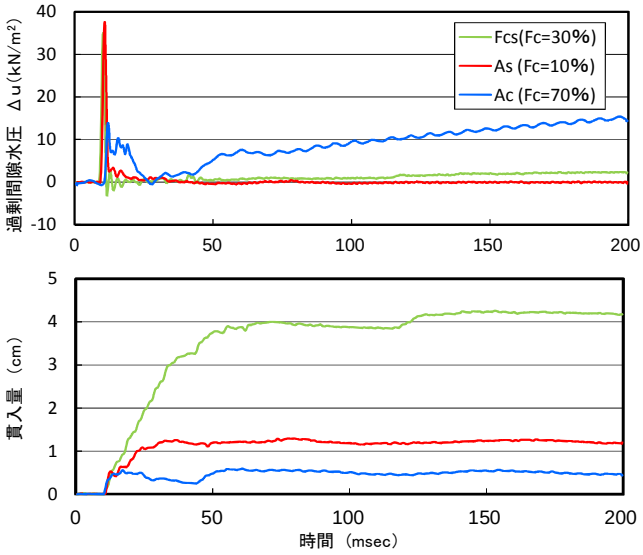


図-2　過剰間隙水圧と貫入量の時刻歴波形記録例

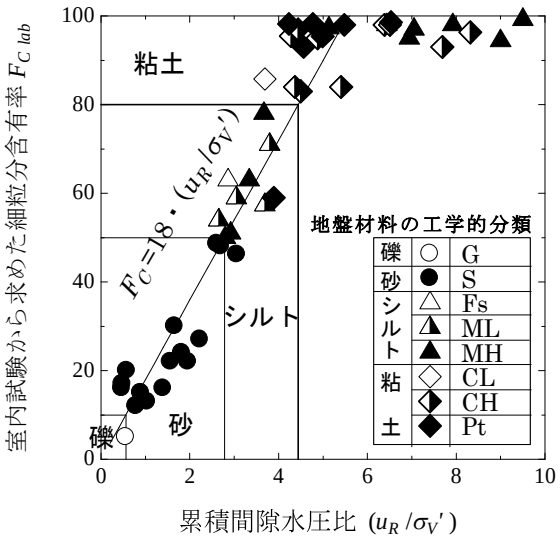


図-3　累積間隙水圧比と細粒分含有率の関係

３．３　地下水位（GWL）

PDC では、地下水位を累積される残留間隙水圧 u_R の深度分布から推定する。累積される残留間隙水圧 u_R は、地下水位以浅では負の値を示し、地下水位以深では正の値を示す。よって、累積される残留間隙水圧 u_R が負から正に転ずる深度が地下水位となる。その他に、ロッド回収後の貫入孔を利用した水位計による地下水の確認も行う。

３．４　液状化判定（F_L 値）

PDC による液状化判定の手順を図-4 に示す。まず単位体積重量 γ_t は PDC では得られないことから仮定して全上載圧 σ_v を算出する。次に、累積される間隙水圧 u_R が負から正に転じる深度を地下水位 GWL と推定し、有効上載圧 σ'_v を算出する。最後、累積間隙水圧比 u_R/σ'_v を算出し、土質分類と細粒分含有率 F_c を推定する。なお、得られた土質分類と最初に仮定した単位体積重量 γ_t の関係が相応しくない場合は、単位体積重量 γ_t を変更し、再度一連の作業を行う。一方、計測される打撃貫入量から標準貫入試験に相当する換算 N 値（N_d 値）が算出する。単位体積重量 γ_t、細粒分含有率 F_c および換算 N 値（N_d 値）が求まれば、各種構造物の設計指針・基準等に示された方法により液状化強度比 R_L や液状化抵抗率 F_L 値が算出される。

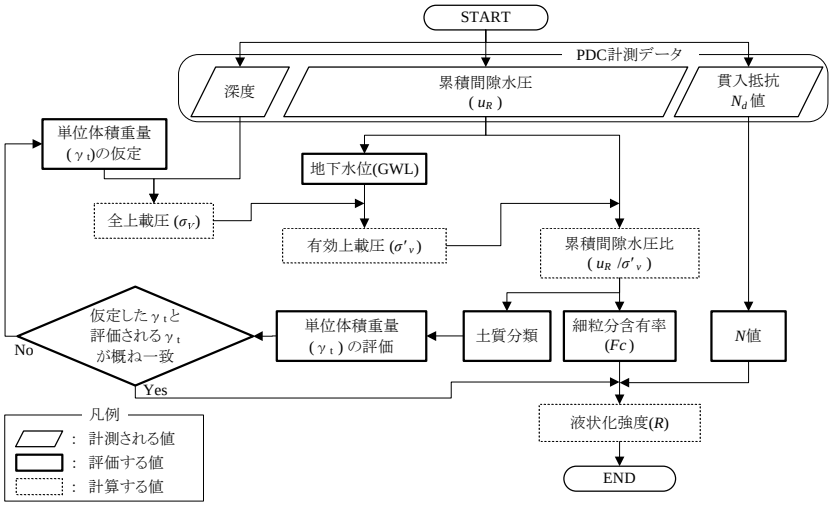


図-4　PDC による液状化判定の手順

PDC による液状化判定と従来の標準貫入試験の N 値および粒度試験による液状化判定の比較例を図-5 に示す。同図には、標準貫入試験の N 値および MRS の換算 N 値（N_d 値）も併記した。なお、液状化抵抗率（F_L 値）は道路橋示方書・同解説（平成 14 年）[3]のレベル 2 地震動のタイプⅠ（プレート境界型の大規模地震動）についての結果である。PDC による液状化判定結果は、標準貫入試験と粒度試験による結果と調和的で、かつ、空間的分解能（解像度）が高いことが分かる。

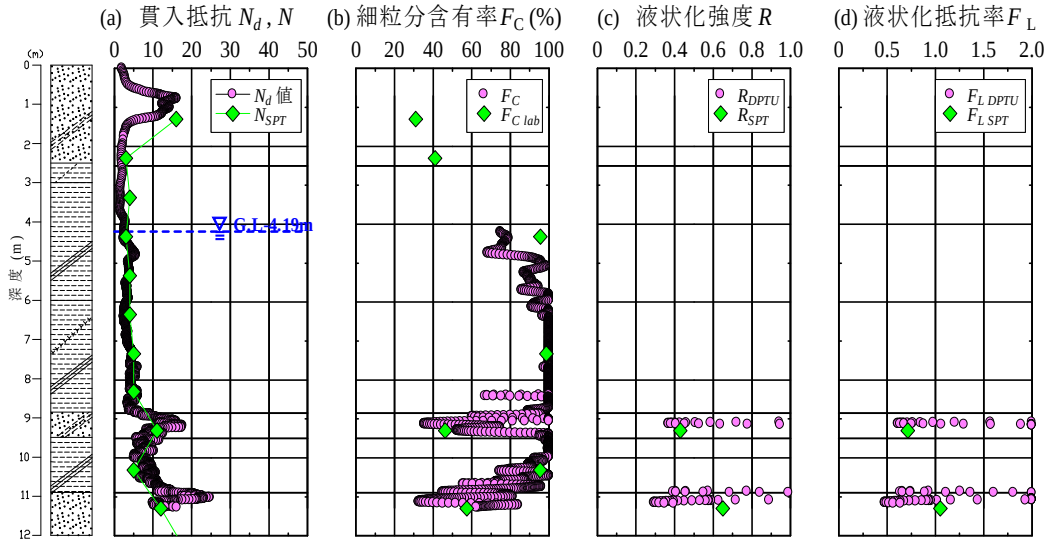


図-5　PDC とボーリングおよび粒度試験による液状化判定の比較例

４．地盤改良による耐震対策効果の調査事例

滑走路の耐震対策として作用された地盤改良工法は、密度増大工法に分類される CPG 工法である。改良杭は、図-6 に示すように 2m 間隔の正三角形配置で施工された。改良深度は図-7 に示す通り標高 T.P.±0m から T.P.-10m である。PDC は、事前と事後に改良杭の杭間位置で T.P.-12m まで実施した。

PDC の調査結果として図-8 に地盤の貫入抵抗 N_d 値、細粒分含有率 F_c、液状化強度比 R_L、事前の液状化強度比 R_L に対する事後の液状化強度比 R_L の比と示す。CPG 工法の改良深度である T.P.±0m から T.P.-10m は、地盤の貫入抵抗 N_d 値と液状化強度比 R の増加が見られ、耐震対策の効果を確認した。

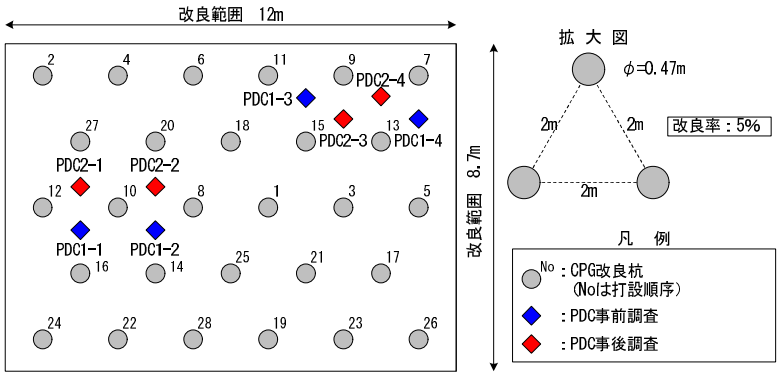


図-6　CPG 工法の打設位置と PDC の調査位置

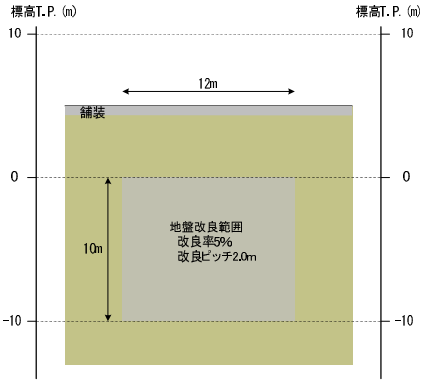


図-7　CPG 工法の改良深度

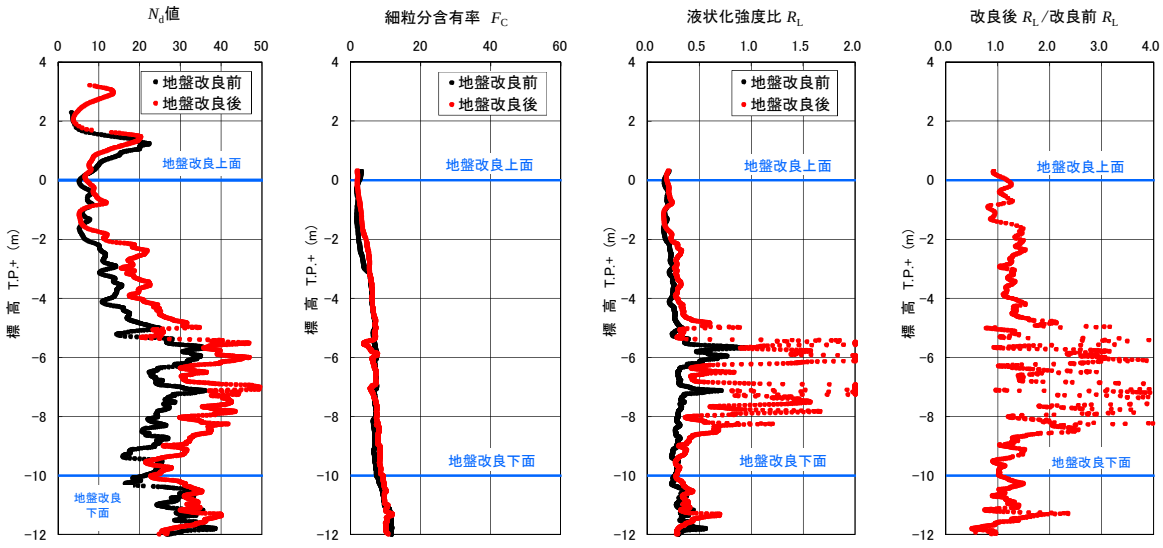


図-8　地盤改良効果の調査結果の一例

５．おわりに

PDC は原位置で N 値と細粒分含有率を評価することが可能で、液状化の評価に特化したサウンディング技術である。滑走路の耐震対策に伴う地盤改良工事（CPG 工法）の事前と事後に PDC を実施し、ボーリングと粒度試験よりも短時間に高い空間的分解能（解像度）を持って、地盤改良の効果を確認することができた。今後は、累積残留水圧 u_R と粒度試験による細粒分含有率 F_c の比較データを蓄積することで液状化判定の精度向上に努めていきたい。

【参考文献】

1)　Shun-ichi Sawada,Ikuo Towhata:ISSMGE Bulletin:Volume5,pp15-25,February,2011
2)　澤田俊一，吉澤大造，藤井紀之：間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法－その 13　地盤情報の相似性－，第 46 回地盤工学研究発表会，神戸,pp107-108,2011
3)　（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ.耐震設計編，pp120-126

れんか(土留工ブロック)

㈱アドヴァンス　事業本部営業部　大野　美広

1　はじめに

海岸や河川での使用を目的に作られた消波根固ブロックが山間部で、土留工や治山ダムに使用されてきた。　その理由は、施工の安全性からブロックを積むだけで構造物が構築でき、排水性も良く、工期短縮が求められることによる。

しかしながら、消波根固ブロックは現場製作が基本のため、数量が多い場合は広大な製作・仮置きヤードが必要になることから、山間部では製作・仮置きヤードの確保が課題となっていた。

また、現場製作では、養生日数として製作後 28 日が必要であり、工期短縮が困難であった。

このため、災害や工期短縮が求められる現場のほか、土石流や落石等の危険性のある現場での無人化施工を可能にできる土留工ブロックの二次製品化を行った。

2　工法の概要

(1)消波根固ブロックの現場製作状況

通常、海岸でのブロック製作は専用の製作・仮置きヤードを確保している。

特に写真-1 のとおり、海岸付近では、平地が多いため、製作ヤードの確保が比較的容易である。

しかし、山間部では平地が少なく、現場付近での製作ヤード確保が困難である。

写真－1 通常の消波根固ブロック製作ヤード

(1-2)ヤード算出例

標準平型ブロック２ｔ型　製作個数 500 個　型枠 50 組の製作・仮置きヤードを算出してみた。

〔ブロック形状　L1.50m×B1.50m×H0.64m　仮置きを 3 段積みと設定〕

〔表-1 標準平型ブロック 500 個の製作･仮置きヤード〕

項　目	内　訳	小　計	備　考
打設ヤード	3.50m×(2.50m×50 組)	437.50 ㎡	L＝125.0m
転地ヤード	〃	437.50 ㎡	
道　路	L125m×W6.0m	750.0 ㎡	
仮置きヤード	(2.0m×2.0m)×500 個÷3 段	666.7 ㎡	3 段積み
	合　計	**2291.7 ㎡**	

上記より、2ｔ型ブロック 500 個を製作するには、2000 ㎡以上のヤードが必要となる。

一般的に、山間部で、2000 ㎡以上の平地の確保は難しい。

二次製品化にする事で製作・仮置きヤードの確保を回避できる。

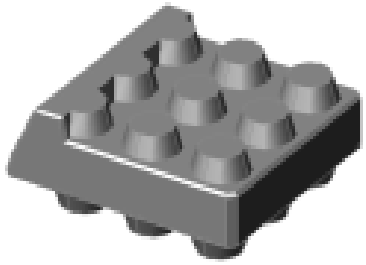
(2)ブロック形状

長方形のブロック上下面に円錐形の突起を設け、積重ねると、上下の突起が噛合う構造にした。

控長は 3 種類あり、必ず、上下に噛合う。

３分・５分勾配タイプの２種類がある。

写真-2 は、５分タイプの斜面タイプ(B-Ⅲ型)。



写真－2 土留工ブロック「れんか B-Ⅲ」

(3)無人化施工への取組み

現在、3 分勾配タイプでの無人化施工に取組んでいる。

吊り荷の向きを誘導・ロックができる「にくる」を使用し、ブロック据付実験を行った。

写真-3 「にくる」の吊り実験

「自動脱着機」でブロック上部穴に差込み吊る

写真-4 「にくる」+「自動脱着機」での吊り実験

「自動脱着機」で吊ったﾌﾞﾛｯｸを積み重ねる

写真-5 自動脱着機 取付作業

写真-6 自動脱着機 据付作業

上記写真のとおり、ブロックを吊る作業は人的作業が伴うが、吊った後は、クレーンで移動し、無線操作で向きをロックし、無人での据付が可能である。

但し、最下段部のブロックの位置や高さの調整は、人的作業が必要。

3 従来技術との比較

①製作・仮置きがヤード不要

②工期〔製作〕が短縮

③工事の安全性が向上

4　事例紹介

H22 災害地第 3 号　上越市中ノ俣地内
〔3 分勾配タイプ　土留工〕

写真-7　新潟県上越地域振興局　農林振興部

H23 離地第 1 号　佐渡市白瀬地内
〔3 分勾配タイプ　治山ダム〕

写真-8　佐渡地域振興局　農林振興部

浦川砂防堰堤設備補強その 2 工事　長野県小谷村浦川地内
〔5 分勾配　護岸工(土留工)〕

写真 9～11 北陸地方整備局　松本砂防事務所

5　まとめ

①施工スピードのアップ〔工期短縮〕

従来の消波根固ブロックは現場製作により、製作・仮置きヤードの確保が課題であった。二次製品化により、山間部のように平地が少なく、施工ヤード確保の難しい場所では、その必要がなく、工期短縮が求められる場所ではより優位性がある。

現場製作は、季節毎の生コンの打設温度管理や豪雨時の対処など、製作に関わる管理も必要であったが工場製品にする事により、安定した品質が確保できる。

②据付歩掛の構築

ブロックの据付歩掛は消波根固ブロックの「層積」を設定している。

〔2.5ｔ以下→50 個/日　・　2.5ｔ～5.5ｔ以下→43 個/日〕

この歩掛は海岸や河川での据付に対応したものである。

山間部での多段積みに合わせ、適正な歩掛を提案するため、実際の据付状況を調査し、ブロックに合った据付歩掛を今後、提案したい。

③無人化施工

H24 年度工事での実施に向けて取組んでいる。

工事がより安心安全に施工できるブロックを開発していきたい。

<参考文献>

1) 災害復旧工事の設計要領(平成 23 年度版)　社団法人　全国防災協会
2) 平成 23 年度版　国土交通省土木工事積算基準　一般財団法人　建設物価調査会

第2会場

第Ⅳグループ

河川堤防の耐震対策技術―SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ工法・SAVE-SP 工法―

株式会社不動テトラ　地盤事業部　研究室　室長　　鈴木　亮彦
地盤事業部　設計課　課長　　田邊　重雄
北関東支店　研究室　主任　○関　友亮

1　はじめに

従来の砂杭締固め工法は、バイブロを用いた振動式のため振動や騒音が大きく、市街地を流れる河川堤防の液状化対策工事では、民家や構造物等が近接する場合など適用が困難なケースが多い。また、施工機は大型のため狭隘な施工ヤードでの適用も難しいことから、近年では周辺環境に配慮した静的に締固めを行う工法や施工機の小型化などの開発が進められており、現場状況に対応した工法が選定できる。

本文においては、代表的な液状化対策である締固め工法のうち、SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ工法(静的締固め工法)および新工法である SAVE-SP 工法(砂圧入式静的締固め工法)について紹介する。

2　SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ工法　(NETIS:CB-980039-V)

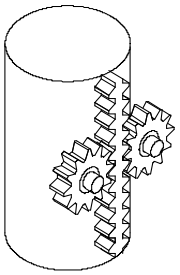
2．1　工法概要

SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ工法とは図-1 に示す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（ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ）を造成し、緩い砂地盤を締固めて液状化を防止する工法である。

2．2　施工方法

図-2 の SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ施工フローに示すように、貫入・造成時とも φ400mm のケーシングパイプを回転させながら強制昇降装置によって行い、同図の過程④～⑤の引抜きと打戻し（ウェーブ施工）を繰返し行い、φ700mm に拡径された砂杭を造成する。

ラック＆ピニオン方式



圧入力：　25 ton
引抜力：　35 ton
重量　：　2.7ton

図-1　強制昇降装置

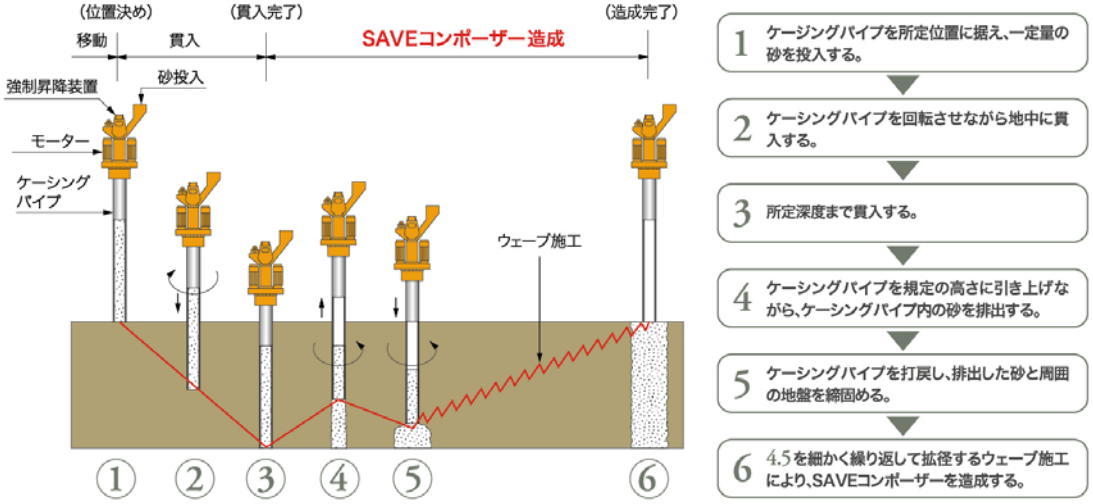


図-2　SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ施工ﾌﾛｰ

２．３　周辺影響

SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ工法で施工した現場の施工中の振動・騒音測定結果を図-3～4 に示す。

併記したＳＣＰ工法の結果と比較すると、振動で 25～30dB、騒音で 10～15dB の低減が図られ、打設地点から 5m の離隔を確保することで、振動・騒音規制値以下となることが確認できる。

これにより、周辺への振動・騒音の影響を大幅に低減することで、従来のバイブロを用いた SCP 工法では施工が難しい市街地や既設構造物の近傍での施工を可能とした。

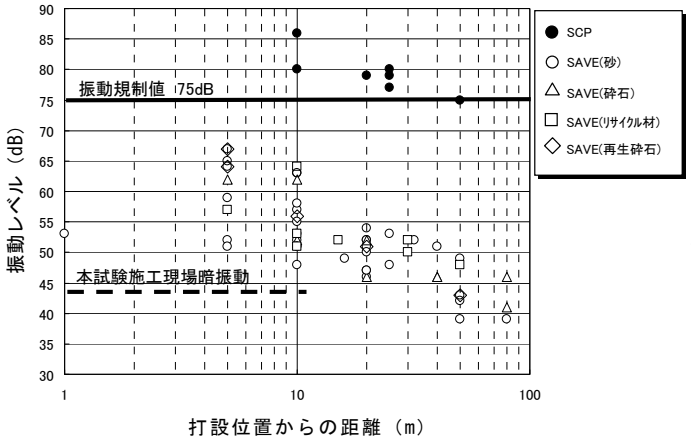


図-3　振動レベルの距離減衰

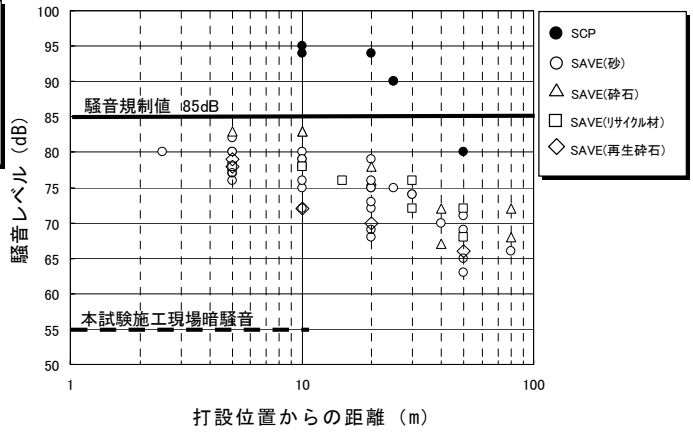


図-4　騒音レベルの距離減衰

２．４　施工事例

工事名称：阿賀野川河口部地震対策

事業主　：北陸地方整備局

施工時期：2010/7～2010/12

工事概要：阿賀野川河口部の川表側にヤードを造成し、堤防法尻部に３列，1.9m ﾋﾟｯﾁ (as=10.6%)で SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰの施工を行ったものである。

周辺環境：施工域に近接して民家はそれほど多くないが、非常に静かな地域であることから広範囲まで騒音の影響が懸念された。また、県道や橋梁に近いことから構造物や利用者に配慮が必要な地域である。(図-5,6 参照)

図-5　施工状況

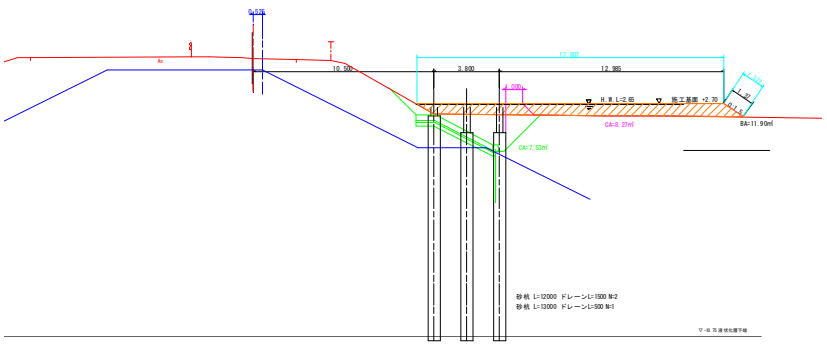


図-6　標準断面

3　SAVE-SP 工法　(NETIS:SKK-090002-V)

3．1　工法概要

SAVE-SP 工法とは、流動化させた砂を超小型施工機のロッドを通じて地盤内に圧入することにより周囲の地盤を静的に締固めて液状化を防止する。施工方法は異なるが、先に紹介した SAVE ｺﾝﾎﾟｰｻﾞｰ工法と同様の改良効果が期待できる工法である。

3．2　使用材料

SAVE-SP 工法で使用する材料は、ＳＣＰ工法などに用いる砂を流動化剤（アニオン系高分子材）と混練することでポンプ圧送可能な図-7 に示す状態とする。なお、地盤圧入後に流動性が消失するように遅効性の塑性化剤（カチオン系高分子材）を併せて添加した状態で施工機へ圧送する。

これらの流動化剤と塑性化剤を添加した流動化砂の安全性に関しては、土壌浄化対策法に準じた溶出試験並びに含有量試験ともに不検出で、生物・土壌に対する安全性は確認されている。

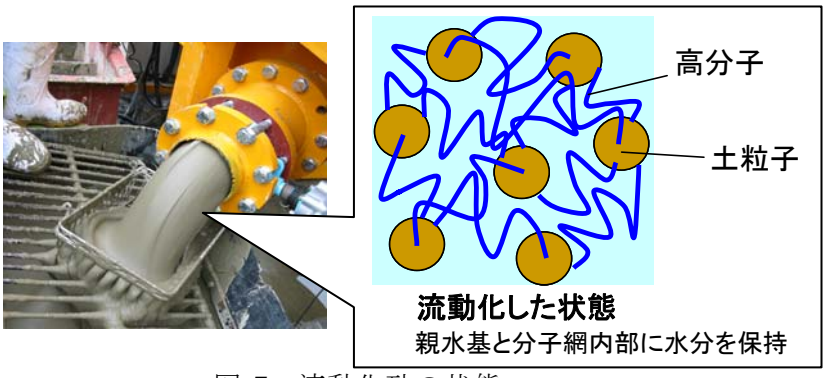


図-7　流動化砂の状態

3．3　施工方法

図-8 の SAVE-SP 施工フローに示すように、①所定深度までロッドを貫入、②φ70cm 相当の流動化砂をロッド先端から排出・圧入、③ロッドを所定の高さまで引き上げる、④所定深度まで②③を繰り返すことで従来の SCP 工法と同等の品質の締固めを行うことができる。

また、施工機は図-9 に示すように現場条件に合わせて超小型機からボーリングマシンタイプまで幅広い選定が可能である。

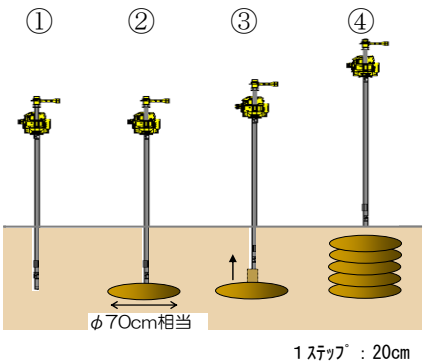


図-8　SAVE-SP 施工フロー

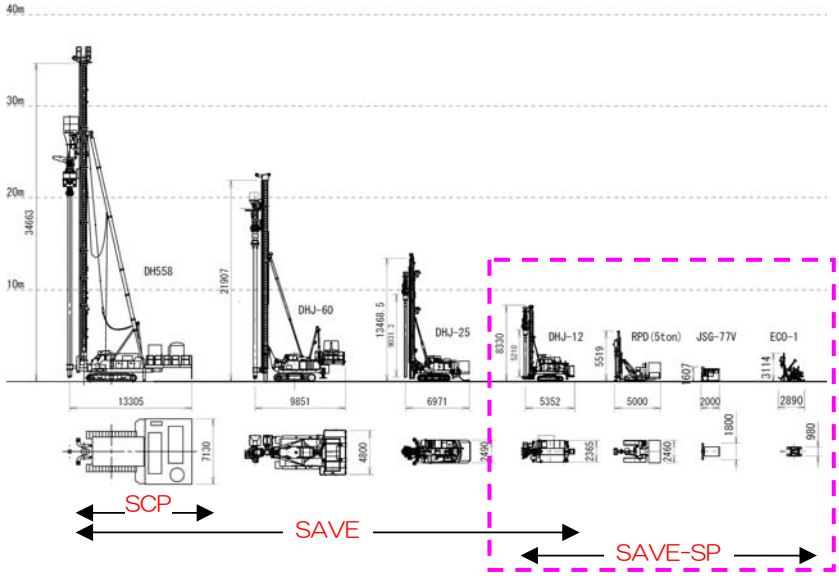


図-9　SAVE-SP 施工機

３．４　改良効果

SCP 工法の既存設計方法から推定される改良後 N 値と、SAVE-SP 工法の試験施工結果(改良後 N 値)を比較した 2 現場の事例を図-10 に示す。

同図より、既存設計方法から推定した N 値に対し、本試験施工の結果、設計値と同等以上の効果が得られており従来の砂質系地盤に対する設計方法が本工法においても適用できることが確認された。

また、図-11 に田原緑が浜で行われた試験施工の状況と機械設備を示す。

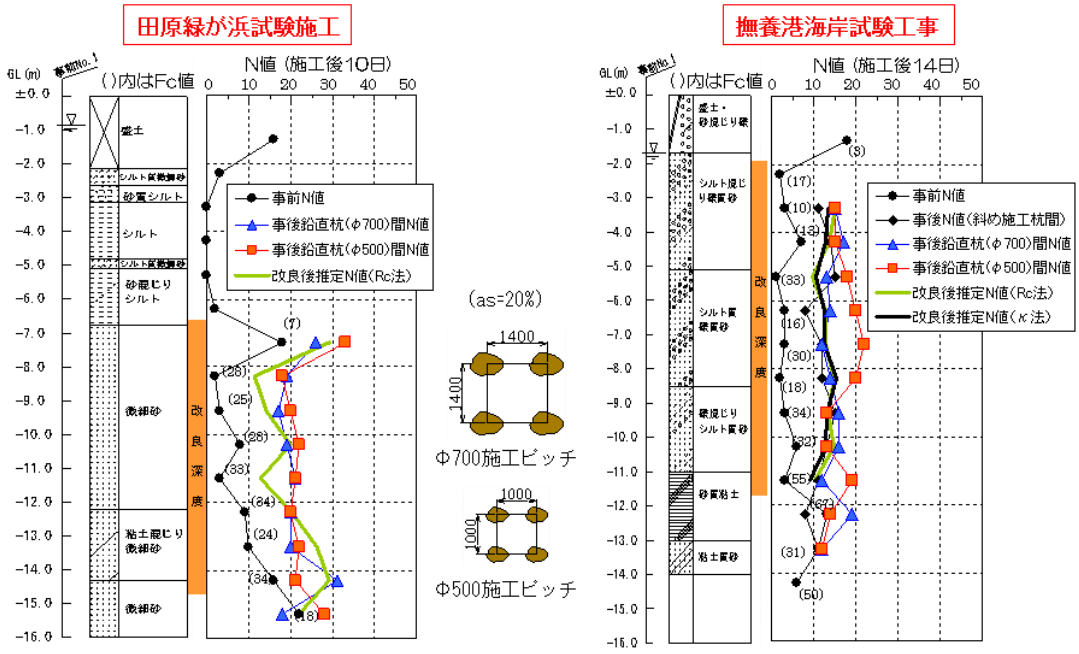


図-10 従来設計方法と改良後 N 値の関係

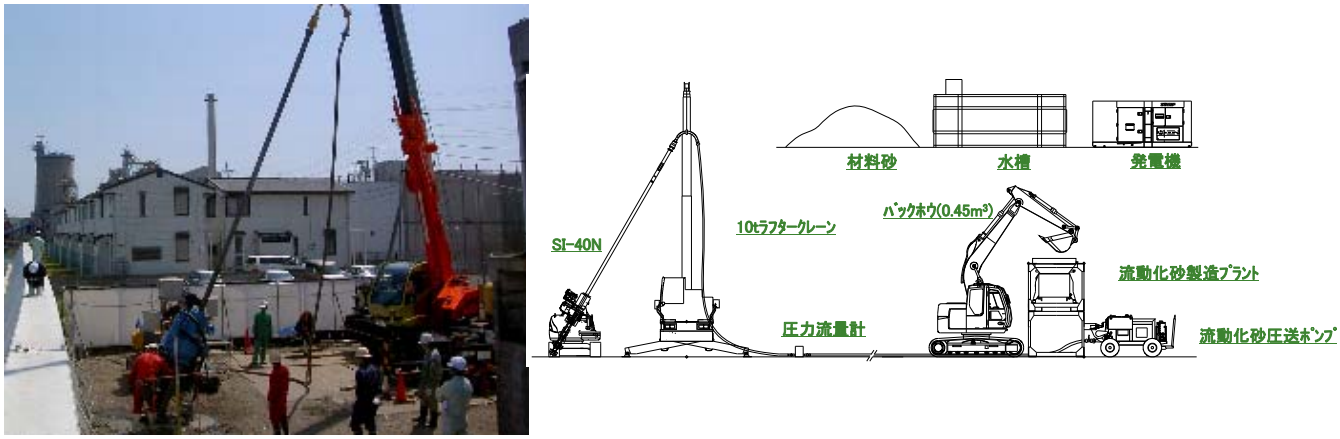


図-11 試験施工の状況と機械設備

４　おわりに

一般的に砂材を用いた締固め工法は、セメント系の固結工法に比べ経済性に優れる点や、自然材料を使用することから環境負荷軽減など総合的に判断して他工法に比べて優れた特徴を有してきた。今回紹介した周辺環境に適応した締固め工法の開発により、これまで施工が困難であった狭隘地や構造物直下，民家等への近接施工が可能となり適用範囲が広がることで、今後の河川堤防の耐震化工事においても役立てていきたいと考えている。

バルーングラウト工法

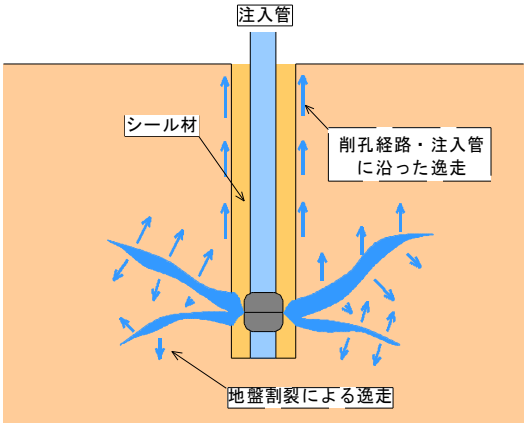
東亜建設工業㈱　土木事業本部エンジニアリング事業部　　大野　康年

1　はじめに

近年，岸壁施設，工場施設等，既存構造物直下地盤の液状化対策や，岸壁裏埋め土砂の吸い出し対策に長期耐久性を有する特殊シリカ液を用いた薬液注入工法が多く適用されている。この理由は，薬液注入工法が既存施設を供用しながらの施工が可能であること，および狭隘箇所に適用可能であることによる。しかしながら，従来の薬液注入工法には，地盤へ注入した薬液が逸走することにより改良品質が低下するといった施工上の課題があった。本文では，従来の薬液注入工法の課題に対して，薬液逸走防止機能の向上させた薬液注入工法「バルーングラウト工法」(NETIS No.SK-110016-A)について紹介する。

2　従来の薬液注入工法の課題

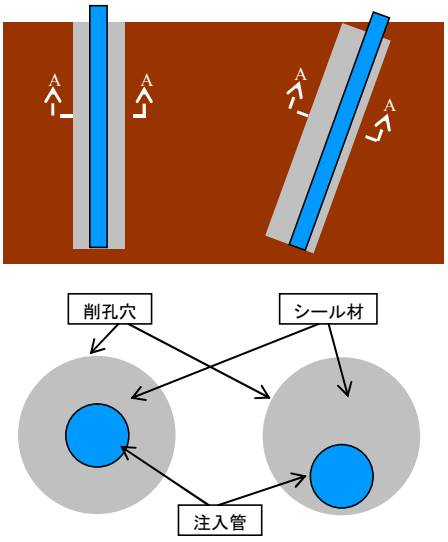
改良品質低下の原因である注入時の薬液の逸走は，図－1 に示すように，地盤割裂による薬液の逸走と削孔軌道および注入管に沿った薬液の逸走とに分類される。地盤割裂による薬液の逸走は，注入圧力を低くして薬液を注入することによりおおむね対応可能であるが，削孔軌道および注入管に沿った薬液の逸走は，施工方法の工夫が必要となる。従来の薬液注入工法は，削孔軌道および注入管に沿った薬液の逸走を防止するため，1)注入外管と地山との隙間にセメントベントナイト等のシール材を充填したり，2)注入外管に設置されたパッカーを地山に押付けるといった施工方法を採用していた。しかし，それぞれの施工方法には以下に示す a),b)の課題があった。



図―1 従来の薬液注入工法の課題

a)シール材を充填する施工方法では，図―2(a)に示すようにシール材が注入外管と地山の間に均等に充填されている必要がある。しかし，削孔深度の深い場合や斜め削孔および曲り削孔時には，注入外管の建て込み精度や注入外管の自重により，図―2(b)に示すように注入外管周りのシール材厚に偏りが生じる。シール材の薄層部では，薬液逸走を防止する性能が低下するため，注入外管と地山の間隙に沿って薬液が逸走しやすい。

b)注入外管にパッカーを設置する方法では，礫混じり土砂等の地盤種別によっては削孔穴周辺地盤の乱れやパッ



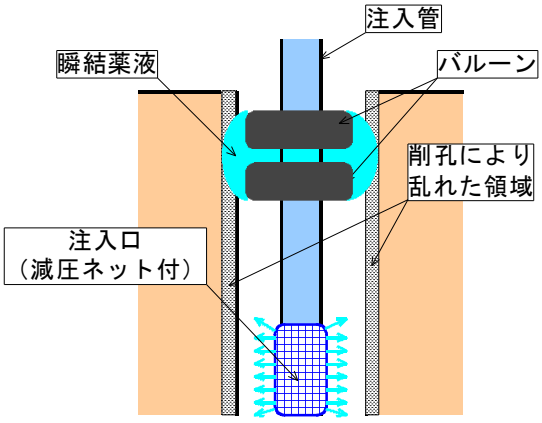
(a)正常　　(b)偏りが生じた状態

図―2　施工上の課題

カーと地山との密着性の不足により，削孔により乱れた地盤領域や地山とパッカーの隙間を通って薬液が逸走しやすい。

3　工法概要

バルーングラウト工法の構造概要を図―3 に示す。本工法は，5～20 秒程度でゲル化する特殊水ガラス系の瞬結材にて注入管と地山との隙間を充填することで，注入管と地山との隙間への薬液の逸走防止性能を向上させている。具体的には注入口の上下に二つのバルーンとバルーン間に瞬結材の吐出口を配置し，瞬結材充填によるバルーンの膨張と削孔地山周辺地盤への瞬結薬液の注入により注入管と地山との隙間への薬液の逸走を防止する。また，当工法の特長を 1)～4）に示す。



図―3　バルーングラウト工法

[特　長]

1)瞬結材にて注入管と地山との隙間を充填することで注入管と地山との隙間への薬液の逸走防止性能が向上している。

2)薬液の注入圧力が低く（0.5～2kN/m^2 程度），施工に伴う周辺への影響がほとんどない。

3)注入材は，溶液型の特殊シリカ液（恒久型）の他，特殊シリカ液の 10 倍程度の発現強度を有する微粉末スラグ系注入材も条件に応じて使用可能である。

4)作業ヤードは，削孔時：28m^2 程度，注入時：120m^2 程度とコンパクトである。

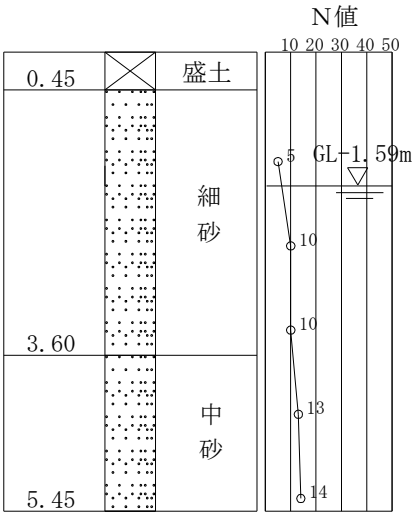
4　改良効果と適用実績

ここでは，本工法の改良効果を確認するために実施した現地注入実験 [3)]と適用実績について紹介する。

（1）現地注入実験 [1)]

1）実権サイトの概要

実験サイトは，愛知県津島市神守町内の自然堆積地盤で，地層は地表面から GL-0.45m まで盛土，その下部に細砂～中砂が分布する。図―4 に柱状図と標準貫入試験結果を示し，図―5 に改良対象層である細砂層の粒径加積曲線を示す。細砂層は，N 値が 5～10 程度，地下水位は GL-1.59m，土粒子密度は深度によらず ρ s=2.65 g/cm^3 と一定である。また，平均粒径 D_{50}=0.18mm，細粒分含有率 Fc=16.5%で，緩く液状化危険度が極めて高い地盤である。

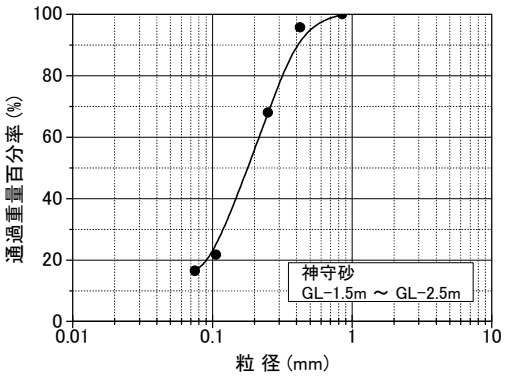


図―4　柱状図を標準貫入試験結果

2）実験内容

実験は，GL-3m 位置に注入口を配置した注入外管を地盤

内に設置した後，恒久型薬液である特殊シリカ液を浸透形態にて注入した。注入仕様は，注入率λ=40.5%，1 改良体当たりの薬液注入量 Q=4,172 ﾘｯﾄﾙ，注入速度 q=10 ﾘｯﾄﾙ/分および薬液シリカ濃度は 8%とした。注入完了 14 日後に改良体を発掘し，出来型を確認するとともにブロックサンプリングにより改良体の乱さない試料を採取し，一軸圧縮試験等の力学試験を実施した。なお，試料採取位置は，改良体半径の中心とした。



図―5　粒径加積曲線（改良対象層）

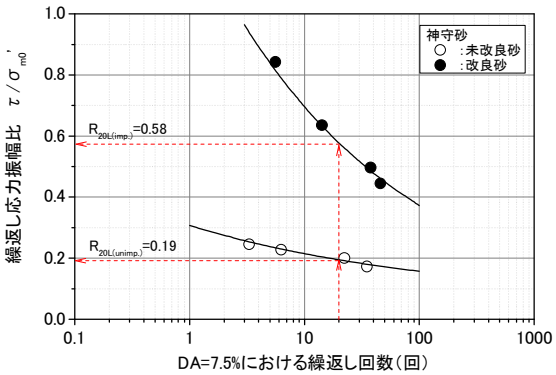
3）実験結果

写真―1 に改良体の発掘写真を示す。改良体天端は，計画天端 GL-1.65m に対して実測天端 GL-1.59m，計画改良径φ2.7m に対して実測改良径φ2.75m と計画出来型を満足している。また，現地観察により改良体には未改良領域は見られず，連続した一体固結体となっている。

写真―1　改良体発掘全景

改良体の一軸圧縮強さ q_{uf} は，q_{uf} = 99.4～137.6kN/m^2 の範囲にあり，平均では q_{uf} = 119kN/m^2 であった。改良体の現地における一軸圧縮強さは，現地砂を使用した室内配合試験にて得られた室内平均強度 q_{uL} = 199kN/m^2 の約 1/2 であった。

改良地盤の液状化強度比を確認するため，未改良砂および改良体の非排水繰返し中空ねじり試験を実施した。改良砂はトリプルチューブサンプリングにより改良体と同深度にて採取した試料を使用した。図―6 に未改良砂と改良体の 7.5%せん断ひずみ両振幅における繰返し回数と応力比の関係を示す。液状化強度比 R_{20L}(20 回の繰返しせん断によってせん断ひずみ両振幅が 7.5%に達するようなせん断応力振幅比)は，未改良砂では $R_{20L(unimp.)}$＝0.19 であるのに対して，改良体では $R_{20L(imp.)}$＝0.58 となっており改良体の液状化強度比 R_{20L} は未改良砂の 3 倍以上に大きくなっている。



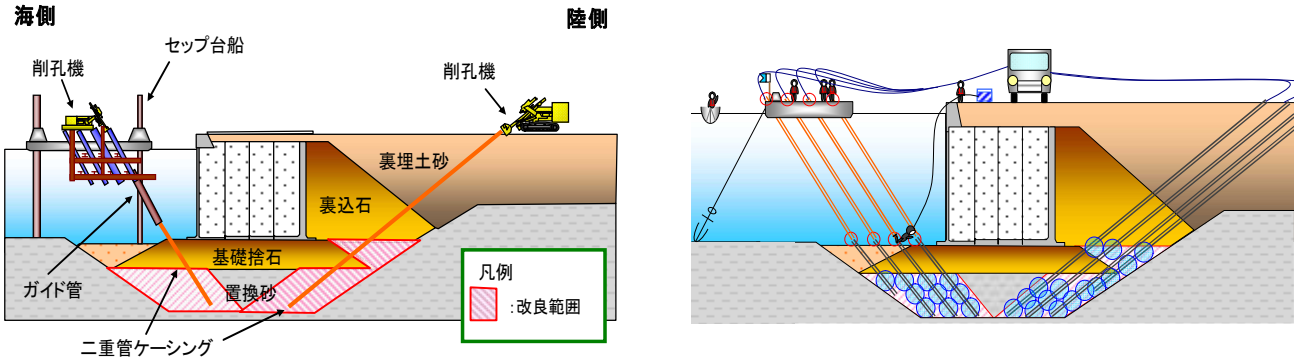
図―6　液状化強度曲線

（2）適用実績と適用例

バルーングラウト工法は，2008 年に開発されて以来，2012 年 3 月現在で 29 件の施工実績がある。その内訳は，液状化対策 17 件，岸壁・護岸裏埋土砂の吸出し対策：8 件，止水対策 2 件，土圧軽減対策 1 件およびすべり対策 1 件である。また，液状化対策では、岸壁・護岸、タンク基礎、河川堤防、工場建屋他の実績がある。ここでは，本工法を重力式岸壁下部の置換砂の液状化対策として適用した例[3)]を紹介する。

当該工事は，供用中岸壁下部の置換砂の改良を行うものであり，施工は，図―7 に示すように海側

および陸側より斜め削孔にて注入管を設置し，恒久型薬液（特殊シリカ液）を地盤に注入した。施工状況写真を**写真—2** に示す。写真—2 に示すように岸壁を供用しながらの施工であったため，施工に使用する機材は全て車載式とし，岸壁の供用に大きな影響を与えることなく改良を行っている。



図—7　施工方法

写真—2　施工状況写真

５．まとめ

本報告では，薬液逸走防止機能の向上による改良品質の向上を目指して開発したバルーングラウト工法について紹介した。本工法は、既存構造物の直下および周辺地盤の地盤強化に有効な工法である。今後は、現行基準を満足しない既存の岸壁・護岸、河川・海岸堤防、地下埋設物等の液状化対策に提案していきたいと考えている。

参考文献

1) 大野康年：恒久型薬液を用いた注入固化工法の開発と適用例，土木学会土木建設技術発表会 2009 講演集 III-4, pp.181-186
2) 東亜建設工業株式会社ホームページ(http://www.toa-const.co.jp/)

「タフロード®工法」（液状化地盤上道路の変状防止対策）

(株)大林組　生産技術本部技術第二部　課長　○光本　純
技術研究所構造技術研究部　担当課長　伊藤　浩二
技術研究所生産技術研究部　主任技師　古屋　弘

1. はじめに

従来、液状化が予想される地盤上の道路では、一般的な対策として地盤の一部もしくは全部を置換する方法、砂杭の造成により地盤の密度を増大させる方法などにより、地震時の道路変状（残留沈下、残留傾斜）を防止する対策がとられてきた。しかし、これらの方法には地盤の掘削や削孔に多大な手間や時間がかかる、周辺環境に与える影響が大きい、対策費が高くなるといった課題があった。

そこで、性能設計の考え方にもとづいた道路本体の変状防止構造により、地震時に原地盤の液状化の発生は許容するが道路の性能を確保する経済的な道路補強技術「タフロード工法」[1)]を開発した。

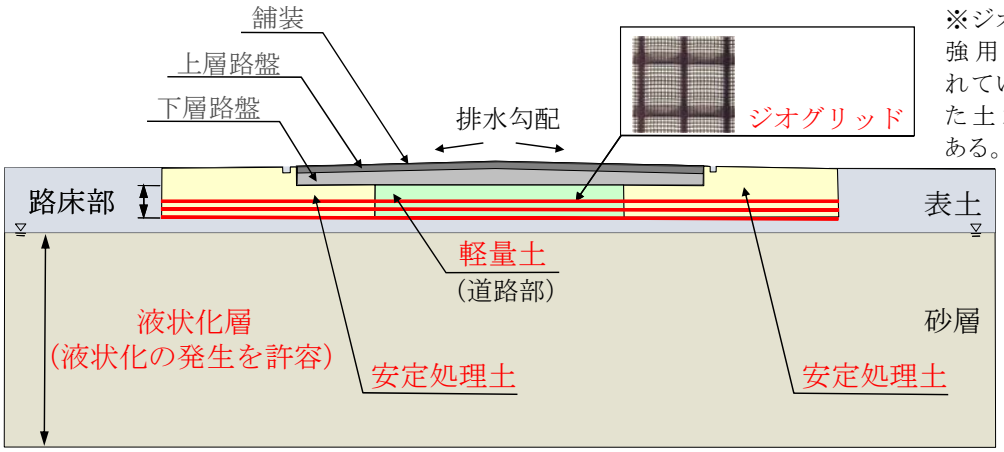
タフロード工法では、「ジオグリッド※＋軽量土、安定処理土（現地発生土）」の構造（タフロード）により変状を防止、抑制する。さらに、ジオグリッドにより路床部の一体化を図り、段差を軽減できる。

本報では、タフロード工法の概要、特長、原理について整理するとともに、道路機能の補強効果検証結果などについて報告する。

2. 工法の概要

工法の概要図を図-1 に示す。

タフロードでは、路床部以深の液状化層は無処理とし、道路下の路床部に対して、路床底部にジオグリッドを敷設するとともに、路床部の埋戻しを軽量土と安定処理土の複合とすることで、構造的な道路変状対策を実現する。



※ジオグリッドは、盛土の補強用材料などとして活用されている高分子材料でできた土木用ネット型シートである。

図-1　タフロード概要図

3. 工法の特長

タフロードの特長を以下に示す。

① 道路機能の確保

地震時に発生する基礎地盤の液状化による排水勾配の変化、極端な沈下や隆起などの道路変状（残留沈下、残留傾斜）を抑制し、地震後に人や車が通行できる道路機能（段差、排水勾配）を確保する。このため、地震発生直後でも、大型消防車などの緊急車両が走行でき、迅速な災害対応が可能となる。

② 工期短縮、経済性の向上

道路路床部までの浅層部での施工となることから、工期を短縮でき、早期の導入が可能である。性能設計の考え方により液状化の発生は許容し、液状化層への対策を行わないため、例えば、従来の液状化対策（サンドコンパクションパイル工法）と比較して約 50%まで経済化を図れる。

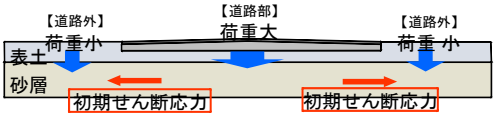
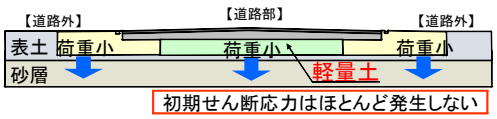
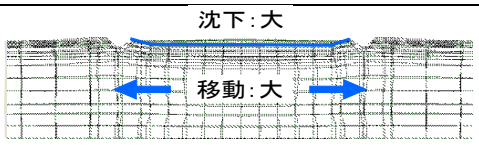
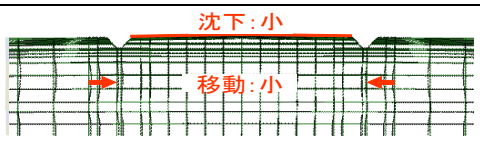
③ 環境負荷の低減

通常の道路工事用施工機械で施工でき、大きな騒音や振動が発生しないので、周辺環境に配慮した施工を行える。また、石炭火力発電所で発生するクリンカアッシュや製鉄所（高炉）で発生する水砕スラグなどの軽量な副産物を軽量土として有効利用できる。

4. 変状抑制原理

タフロードの変状抑制原理を表-1 に示す。通常の道路（対策なし）の場合、道路部（舗装部分）の荷重は、舗装や路盤の重量により道路外（周辺地盤）と比較して大きく、道路部と道路外との荷重差が大きい状態である。このため、液状化地盤で生じる初期せん断応力が大きくなり、地震時には液状化地盤が側方へ広がり、大きな残留変位を生じやすいと考えられる。

表-1　タフロードの変状抑制原理

工法	対策なし	タフロード
原理	道路外の荷重に比べて道路部（舗装部分）の荷重が大きい状態である。 地盤（砂層）が液状化すると、道路外と道路部との荷重差の影響で道路部直下の地盤が道路外の方向に移動し、道路部に大きな沈下変状が発生する。 道路部と道路外との荷重差大 ↓ 初期せん断応力大 ↓ 地震による残留変形大  	道路部に軽量土を用いるため、道路外の荷重と道路部（舗装部分）の荷重がほぼ等しい状態である。 地盤（砂層）が液状化しても、道路外と道路部との荷重差が小さいことから、地盤の移動がほとんど発生せず、道路部の沈下変状も抑制される。 道路部と道路外との荷重差小 ↓ 初期せん断応力低減 ↓ 地震による残留変形小 
液状化後の状況（有効応力解析結果）	 	

これに対し、タフロードは路床部に軽量土を用いるため、道路部と道路外との荷重差が小さくなる。このため、液状化地盤で生じる初期せん断応力が小さくなり、液状化地盤の地震による残留変位を抑制できる。

なお、路床底部に敷設するジオグリッドは、路床部における変状抑制のための引張補強材の効果を発揮する。

5. 道路機能の補強効果の検証

5. 1 検証方法

タフロードの設計では、道路部の残留変位を変状抑制効果の指標としている。このため、地震時の残留変位に着目した対策効果を有効応力解析および遠心力模型実験により確認した。

①有効応力解析

液状化地盤で生じる初期せん断応力を規定する路床部の埋戻土（軽量土、安定処理土）の諸元（単位体積重量、埋戻し幅）を変数として有効応力解析（地震後の過剰間隙水圧の消散までを考慮）を行った。

②遠心力模型実験

有効応力解析で得られた変位抑制効果の高い断面の仕様を模擬した遠心力模型実験により対策の効果を検証した。

5. 2 検証結果の概要

有効応力解析および遠心力模型実験の結果より、道路部の横断方向の残留変位分布図を図-2 に示す。解析および実験ともに、「対策なし」の道路部で大きな残留変位が発生し、路面の横断方向の排水勾配を確保できていない。これに対し、「タフロード」では、残留沈下は小さく、路面の排水勾配を概ね維持できていることが確認できる。

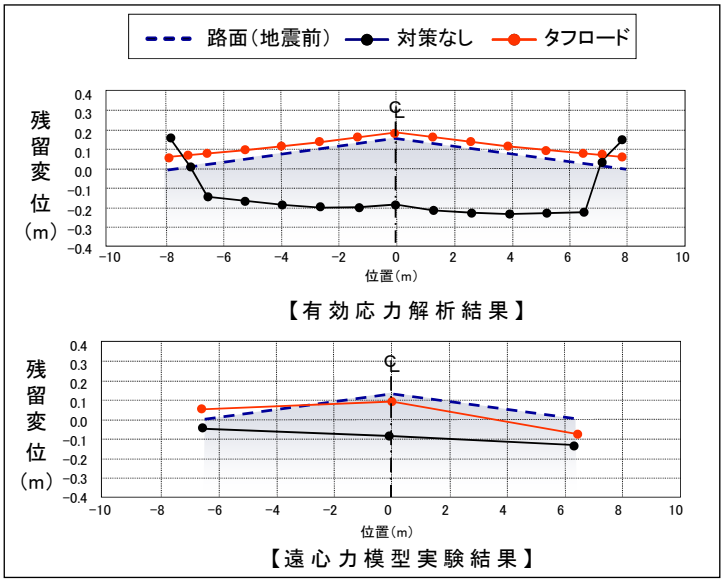
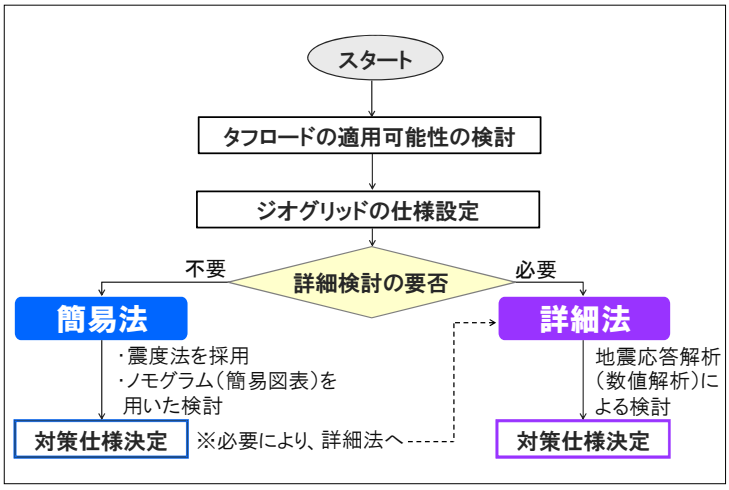


図-2 残留変位の検証結果（地震時）

6. 設計フロー

タフロードの設計フロー[2)]を図-3 に示す。

ジオグリッドの仕様は、円弧すべり



図－3 概略設計フロー

を用いた地震時安定解析より得られる必要最大抑止力に対して設定するものとした。

埋戻材の仕様は、舗装、路盤等の自重により生じる液状化地盤の初期せん断応力、道路下の平均有効土被り圧をもとに設定するものとした。

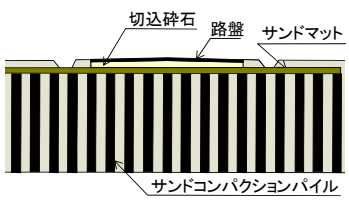
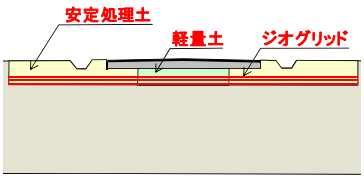
道路変状防止効果の指標である道路部の残留変位では、震度法を援用した簡易法（ノモグラム：簡易図表を使用）、あるいは有効応力解析にもとづく詳細法により推定するものとした。

ここに、詳細検討の要否は、高精度の道路変状防止効果の必要性をもとに判断するものとしている。

7. 工事費、工期の削減

工事費および工期の試算例を表-2 に示す。タフロードは、路床部までの浅層部を対象とした対策であり、液状化層には対策を施さないことから、液状化対策技術の中で最も安価と言われているサンドコンパクションパイル工法と比較しても、工事費は 50%程度、工期は 40%程度と試算され、工事費および工期を大幅に削減できることを確認した。

表-2　工事費・工期の比較例

工法	サンドコンパクションパイル工法	タフロード工法
断面図		
主要数量	・道路延長：L=600m、　道路幅：B=15.6m	
	・SCP平均打設長：Have＝6.0m ・SCP平均打設幅：B'=25.9m	・ジオグリッド敷設幅：B'＝21.6m
コスト	100%	50%
工期	100%	40%

8. おわりに

性能設計の考え方にもとづいた道路本体の変状防止構造により、地震時に原地盤の液状化の発生は許容するが道路の性能を確保する経済的な道路補強技術「タフロード工法」を考案し、対策効果の検証、設計手法の確立を行ってきた。

道路補強性能や経済性、工期面で優れているタフロード工法は、震災復旧における「強化復旧」や、今後想定される東海地震などに備えた「対策工」として有効な技術と考えている。

＜参考文献＞

1）例えば、伊藤浩二、疋田喜彦、古屋弘：軽量土とジオグリッドを併用した道路変状防止の地震後残留変位に基づく対策効果、第 66 回年次学術講演会講演概要集、pp.371-372.（2011）

2)伊藤浩二、疋田喜彦、古屋弘：液状化地盤上の地震時変状防止対策「タフロード®」、大林組技術研究所報、No.75（2011）

ゼロハチフェンス(エネルギー緩衝リング付落石防護フェンス)の開発

日本サミコン株式会社　　渡部　敏

1　はじめに

山岳道路において落石などによる災害から交通の安全を確保するために，種々の落石対策工が用いられてきた．特に近年は，高エネルギー吸収タイプの落石防護柵は新しい工法が数多く開発されている．

このたび，落石エネルギー300kJ までの中規模落石に対応する落石防護柵(商品名「ゼロハチフェンス」)を開発した．

開発に際して実物大の重錘落下実験を行い，300kJ の落石に対して十分な耐落石性能を確認したので報告する．

1．1　ゼロハチフェンスの特徴

落石の抜け出しの可能性が高いフェンス下部での変位制限ワイヤロープの設置および支柱間の衝撃分散プレートの密な配置により，ゼロハチフェンスは落石の抜け出し防止に優れた構造である．これらにより広い支柱間隔(標準 10m)とすることができ，経済性に優れる．

緩衝装置は構造が単純で，一般的に防護柵に多く使われている摩擦による緩衝機構と比べると，ワイヤロープのクリープや錆び付きなどの経年変化による性能の低下が少なく，また変形量も小さいため落石によるフェンスのせり出し量が比較的小さく抑えられる構造である．

支柱にφ406.4mm と太径の鋼管を使用することで，ワイヤロープと支柱の接触部において応力が集中しないため，接触部でよく発生するワイヤロープの切断を回避し，張力のスムーズな伝達を可能とした．

ゼロハチフェンスの構造図，緩衝装置詳細図および変位制限ワイヤロープの詳細図を各々図-1,2,3 に示す．

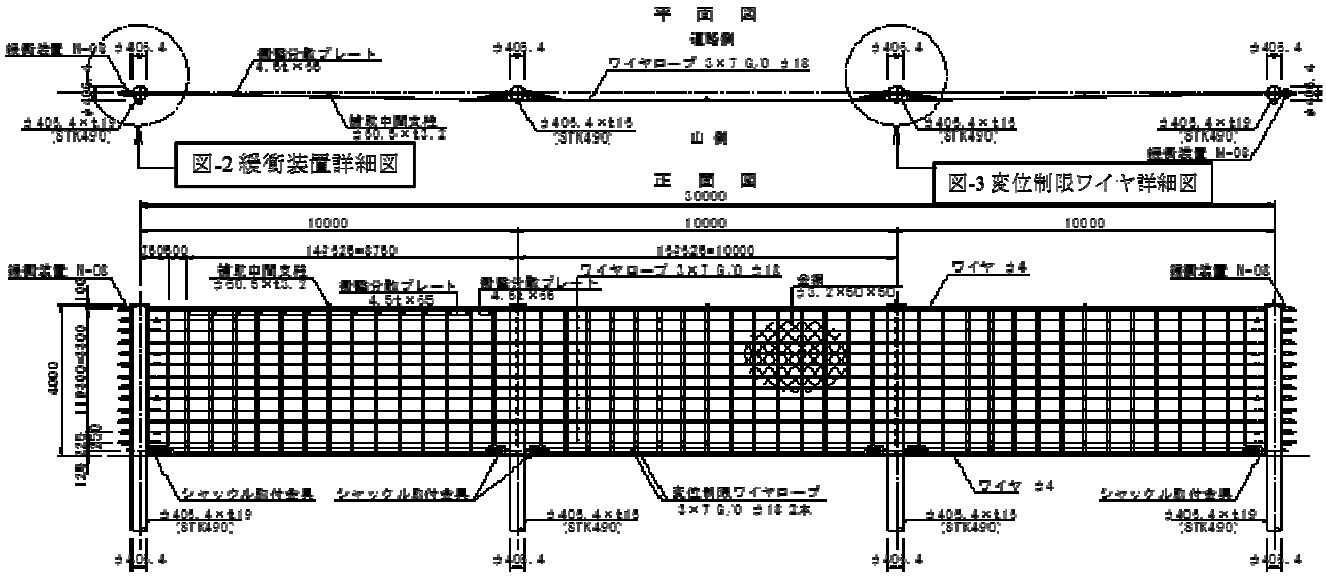


図-1 ゼロハチフェンス構造図

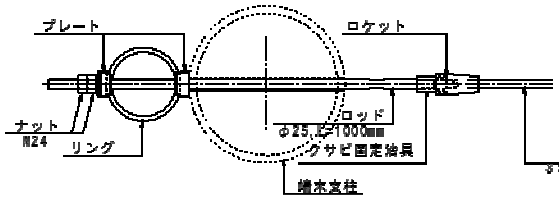


図-2 緩衝装置詳細図

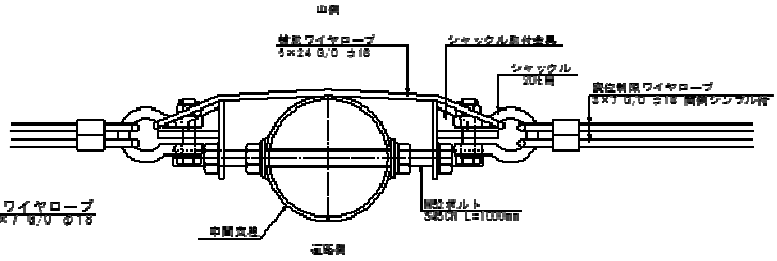


図-3 変位制限ワイヤ詳細図

１．２　エネルギー緩衝リング

エネルギー緩衝リングは，ブロック端部の索端金具に配置しワイヤロープの張力によりリングが潰れてエネルギーを吸収する構造で，リング形状と前後に配置するプレート形状の組み合わせによって吸収エネルギーを設定する．緩衝装置 1 箇所当たりの吸収エネルギーは 9.0kJ を見込んでいる．

エネルギー緩衝リングのエネルギー吸収概要図を図-4 に示す．

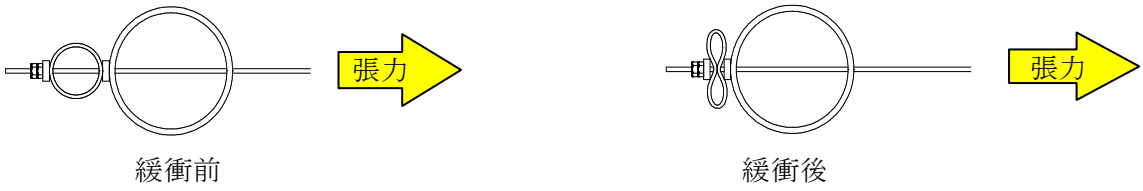


図-4 緩衝リングのエネルギー吸収概要図

２　実物大重錘落下実験

２．１　実験方法

あらかじめ H 鋼で組み立てた架台を地盤に見立て，高さ 4m，延長 30m，10m/スパン×3 スパンのゼロハチフェンスを設置し，50t クレーンで吊り上げた重錘を，衝突速度が 25m/s となる 32m の高さから落下させた．

架台は H 鋼山留材（H300×300×10×15）を使用した．架台構造の図面，実験概要および設置状況を図-5,6 と写真-2 に示す．

施工材料の一覧は表-1 に，実験ケースの一覧は表-2 に，各ケースの衝突位置図を図-7 に示す．

重錘は 3kN と 9kN の 2 種類を使用し，形状は SAEFL（スイス連邦の環境・森林・景観に関する機関）の基準に準拠した．(写真-1 参照)

測定項目は以下の 3 点とした．

・支柱およびワイヤロープの残留変位(光波測距儀および水準儀によりターゲットの位置を測定)

・支柱およびワイヤロープの瞬間最大変位(高速度カメラによる撮影)

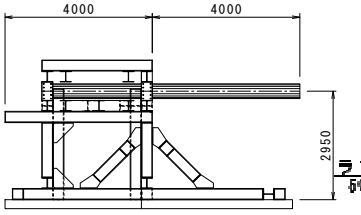


図-5 架台構造図

写真-1 重錘形状

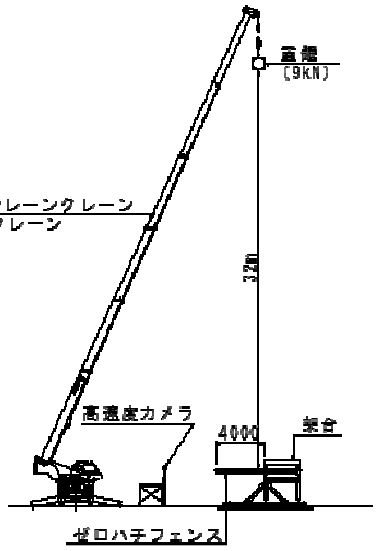


図-6 実験概要図

写真-2 架台設置状況

・緩衝装置の変形量(緩衝装置のリング変形量をメジャーで測定)

表-1 施工材料一覧

材料		規格
支柱	端末支柱	φ406.4×t19.0
	中間支柱	φ406.4×t12.7
衝撃分散プレート		FB-65×t4.5
緩衝装置		N-08
変位制限	変位制限ワイヤロープ	3×7G/0 φ18
ワイヤ	M52ボルト	M52×1000
ロープ	補助ワイヤロープ	6×24G/0 φ18
ワイヤロープ		3×7G/0 φ18
金網		φ3.2×50×50 Z-GS3

表-2 実験ケース一覧

実験ケース	落下位置	エネルギー	重錘重量	落下高	衝突速度
ケース１	端末スパン	300kJ	9.20kN	32.6m	25m/s
ケース２	中間スパン	300kJ	9.20kN	32.6m	25m/s
ケース３	中間スパン	100kJ	3.09kN	32.4m	25m/s
ケース４	端末スパン	100kJ	3.09kN	32.4m	25m/s
ケース５	下段位置	300kJ	9.26kN	32.4m	25m/s
ケース６	衝撃分散プレート間	300kJ	9.26kN	32.4m	25m/s

※．ケース３および４はケース２の終了後一切補修をしない状態で実験を行った

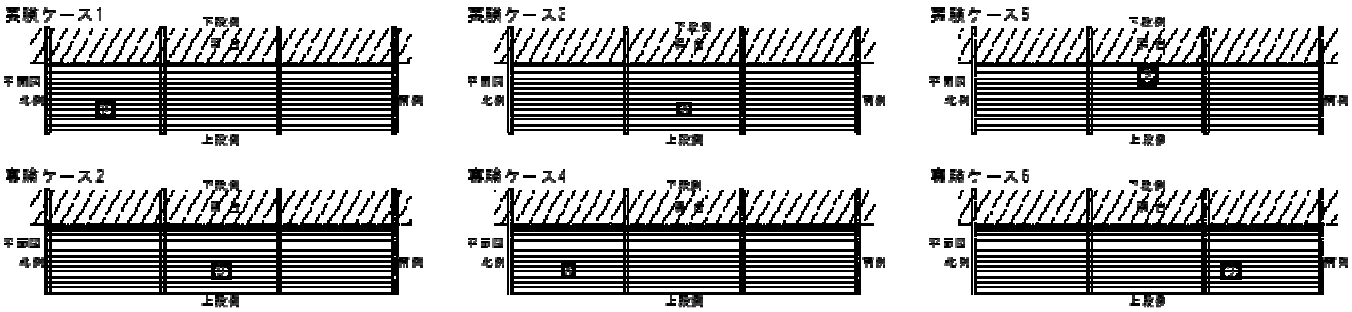


図-7 各ケースの衝突位置図

２．２　実験結果

実験結果の一覧を表-3 に示す．なお，表中の○印は想定した性能を確認したことを示す．

支柱の残留変位の結果一覧を表-4 に，瞬間最大変位の結果一覧を表-5 に，実験ケース１のせり出し量状況および実験状況を写真-3,4 にそれぞれ示す．

表-3 実験結果一覧

目的＼実験ケース名	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
300kJの落石に対して，ゼロハチフェンスが，捕捉することの確認	○	○	－	－	○	○
300kJの落石に対して，緩衝装置N-08が，有効に作用することの確認	○	○	－	－	－	○
300kJの落石に対して，変位制限ワイヤロープが，有効に作用することの確認	－	－	－	－	○	－
300kJの落石載荷による変形後に，再度100kJの落石を捕捉することの確認	－	－	○	○	－	－

表-4 支柱残留変位一覧　(m)

実験ケース名	位置	支柱			
		北側端部	北側中間	南側中間	南側端部
ケース1	付根	0.009	0.012	0.010	0.008
	中間2	0.006	0.004	0.006	0.006
	中間1	0.008	0.019	0.015	0.017
	先端	0.027	0.007	0.005	0.010
ケース2	付根	0.007	0.003	0.012	0.012
	中間2	0.010	0.009	0.011	0.013
	中間1	0.007	0.006	0.009	0.008
	先端	0.030	0.005	0.010	0.010
ケース3	付根	0.012	0.004	0.011	0.006
	中間2	0.016	0.012	0.007	0.004
	中間1	0.011	0.003	0.006	0.005
	先端	0.007	0.011	0.007	0.008
ケース4	付根	0.004	0.005	0.003	0.004
	中間2	0.001	0.007	0.001	0.008
	中間1	0.006	0.006	0.005	0.001
	先端	0.003	0.010	0.006	0.000
ケース5	付根	0.013	0.020	0.023	0.032
	中間2	0.016	0.014	0.021	0.026
	中間1	0.013	0.016	0.019	0.023
	先端	0.006	0.007	0.015	0.031
ケース6	付根	0.010	0.005	0.014	0.009
	中間2	0.006	0.007	0.010	0.012
	中間1	0.006	0.002	0.015	0.004
	先端	0.033	0.001	0.034	0.030

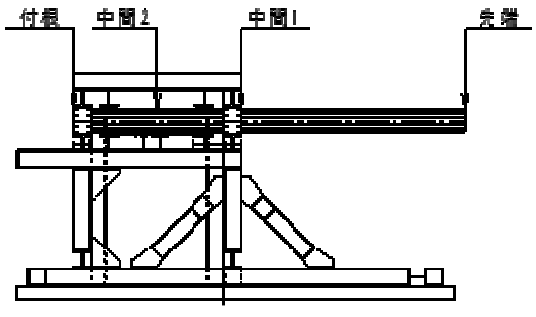


表-5 瞬間最大変位一覧

単位:mm

実験ケース名	ワイヤロープせり出し量	支柱先端変位量							
		北側端部		北側中間		南側中間		南側端部	
		上下	水平	上下	水平	上下	水平	上下	水平
ケース1	1899	63	228	95	-44	4	-25	-58	-215
ケース2	1953	-58	231	104	-10	126	-7	-57	-220
ケース3	1648	-21	129	---	---	46	-3	-13	-137
ケース4	1610	26	130	60	49	20	-3	-20	-141
ケース5	1787	-17	84	25	20	27	8	-45	-96
ケース6	1826	-44	223	8	13	196	-50	---	---

上下方向は下が正,水平方向は南が正とする

写真-3 せり出し量状況

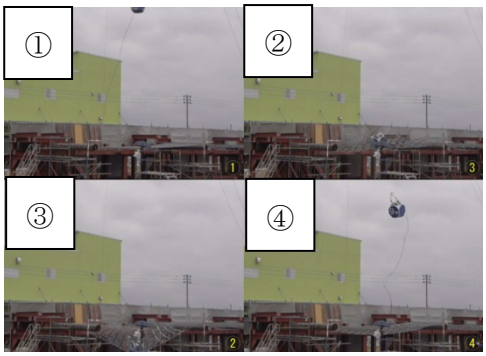


写真-4 実験状況

２．２．１　落石エネルギー300kJ の結果について

ケース 1，2，5 およびケース 6 の結果より，下記の事項が確認できた．

・ 重錘はフェンス衝突後に衝突面から約 6.7m(ケース 1)，約 8.8m(ケース 2)の跳ね返りが認められた．
・ 重錘落下後のフェンスの破損状況を確認したところ，ケース 1，2 では，ワイヤロープは健全であった．
・ ケース 5 では，通常部のワイヤロープ 1 本および変位制限ワイヤ部の M52 ボルト 1 本が破断したが，変位制限ワイヤロープ自身および補助ワイヤロープは健全であり，重錘が抜け落ちることはなく，下段載荷時の落石の捕捉が確認できた．
・ 緩衝装置は両側がほぼ同様に変形しており，また，重錘が衝突したワイヤロープ付近のワイヤロープにも荷重が分散していることが確認できた．
・ 端部スパン・中間スパン共に，また，下段載荷・衝撃分散プレート間のいずれの位置の落石に対しても，捕捉が確認できた．
・ 支柱の残留変位は，端末支柱の先端位置で 33mm(折れ角で 0.48 度以下) ，中間支柱の先端位置で 34mm(折れ角で 0.49 度以下)となった．
・ 重錘載荷位置のせり出し量は，上段載荷時で約 1.95m，下段載荷時で約 1.8m となった．

２．２．２　落石エネルギー100kJ の結果について

ケース 3 およびケース 4 の結果より，300kJ の落石載荷による変形後に再度 100kJ の落石を載荷させたところ，フェンス衝突後の跳ね返り(ケース 3 では約 6.7m，ケース 4 では約 7.7m)が認められ，ワイヤロープは健全であり金網・衝撃分散プレートの損傷も軽微であったことから落石の補足が確認できた．

３　おわりに

本研究では，300kJ までの中規模落石に対して開発した落石防護柵ゼロハチフェンスを用いて，実物大重錘落下による実証実験を行い 300kJ の落石に対して，端末スパン，中間スパン，下段位置，支柱付近および衝撃分散プレート中間に対する捕捉を確認できた．

300kJ の落石載荷後，無補修でも 100kJ に対する捕捉が確認できた．これより，連続した落石に対しても 100kJ までの落石であれば，捕捉が可能であることが確認できた．

(参考文献)

・落石対策便覧：（社）日本道路協会　平成 12 年 6 月 版
・鈴木ほか：ゼロハチフェンス実物大性能実証実験の報告
第 29 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会　PP.56-59,2011