

平成 29 年度
建設技術報告会
報文集

平成 29 年 11 月

北陸地方建設事業推進協議会

平成 29 年度「建設技術報告会」実行委員会

目 次

第1会場報告技術

1-I-1	橋梁下部工事の狭所施工における新技術の活用	1
1-I-2	長大トンネルにおける急速施工の取り組み	5
1-I-3	バリアレス縁石	9
1-I-4	トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィの開発	13
1-II-1	—FRP材を用いた検査路の既設橋梁へ後から設置した事例の報告—	16
1-II-2	積雪寒冷地域における簡易式路上表層再生工法「ヒートスティック」の供用性評価と新たな機能の付加	20
1-II-3	橋梁の部分撤去で導入された中間定着工法について	24
1-II-4	アスファルトフィニッシュ用の特殊保温プレートの開発	28
1-III-1	歩道除雪車の作業ガイダンス装置の開発	32
1-III-2	FFP(フル・ファンクション・ペーパー)が持つ「多機能効果の検証」について	36
1-III-3	性能実証型落石防護柵メガロックキーパーの実物実験	40
1-III-4	地すべり地に活用できる融雪量計の開発	44
1-IV-1	ドラグサクソン浚渫兼油回収船「白山」の投げ込み式油回収機更新について	48
1-IV-2	港内反射波を効率的に消波するコンパクトな没水型対策工	52
1-IV-3	拡張現実を用いた水中可視化技術「Beluga-AR」	56
1-IV-4	港湾工事における情報化施工技術	59

第2会場報告技術

2-I-1	水中点検ロボット(アクアジャスター搭載型ROV)の開発	63
2-I-2	老朽化した鋼矢板護岸・水路の迅速再生技術～ストパネ工法～の開発	67
2-I-3	信濃川下流における環境に配慮した河道掘削の取組	71
2-I-4	吸水性泥土改質材「ワトル」	75
2-II-1	「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」の概要	79
2-II-2	高い浸透性能を発揮する「極超微粒子セメント注入材料」	82
2-II-3	自律制御型振動ローラー「T-iROBO®Roller」の一般工事適用について	86
2-II-4	Holostruction(ホロストラクション)～三次元データの活用による生産性向上技術～	90
2-III-1	管路内水位監視サポートシステム(携行型)の紹介	94
2-III-2	靱性モルタルNAの開発	98
2-III-3	軟弱地盤におけるベル工法(塩化ビニル推進管による長距離・曲線推進)の施工	101
2-III-4	打音診断へのAI技術の適用	105
2-IV-1	重量鉄筋配筋作業支援ロボット(配筋アシストロボ)の開発	108
2-IV-2	砂防現場におけるICT活用工事の課題について	112
2-IV-3	GIB工法(落石衝撃緩衝工法)	116
2-IV-4	安全性と効率性を考慮した集水井内部の点検手法	120

第2会場

第 I グループ

水中点検ロボット（アクアジャスター搭載型ROV）の開発

(株)大林組 土木本部生産技術本部 ダム技術部副部長 徳永 篤

1 はじめに

我が国の多くの社会インフラ施設の老朽化が進行する中、年々リスクの高まる大規模地震や頻発する風水害などの災害対策および社会情勢として人口減少・少子高齢化といった重要かつ喫緊の課題がある。これに対して、近年、ICTなどの活用により効率的・効果的な対応を可能とする技術を開発し、導入することが求められている。そうした中、ダム水中部の潜水土による近接目視の代替・支援技術の現場検証が国交省から公募された。そこで当社開発技術であるアクアジャスター®を搭載した水中点検ロボット「ディアグ®」を新規製作し、供用中のダムで実証実験を行って、水中のダム堤体面やゲート設備などの鮮明な映像を取得することができた。

従来はダムなどの水中構造物・インフラ設備の点検を潜水土により行っていたため、潜水深度によって作業時間の制限や危険を伴っていたが、水上からロボットの遠隔操作により点検することで、安全かつ長時間連続して行うことが可能である。以下にディアグの機能と実証実験での結果について記述する。

2 ディアグ®の機能

ディアグ®は濁りや流れのある目視困難な水中でも的確な点検を実施できるように図-1に示す機能を備えている。

2.1 アクアジャスター®

当社が開発したアクアジャスター®は、東京スカイツリー®建設時に効果を発揮したクレーン吊荷制御装置スカイジャスター®を水中で使

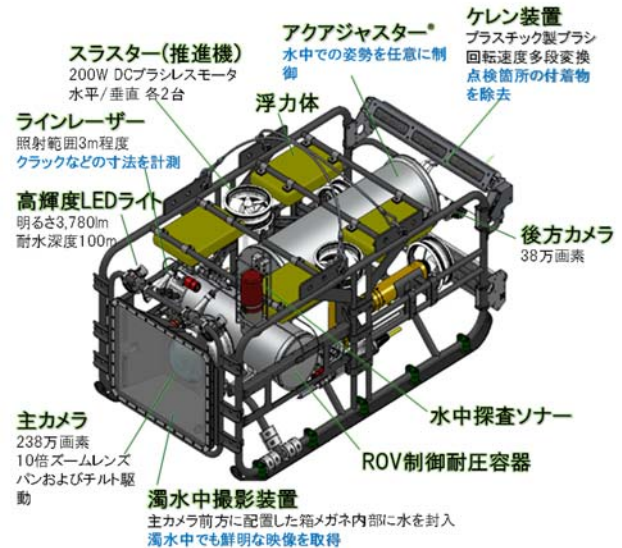


図-1 ディアグの機能

用できるようにした装置である。ジャイロ効果を利用することでディアグ®の姿勢制御が可能となる。ジャイロ効果とは、地球ゴマのように物体が自転運動をする際、回転速度が大きいほど姿勢が安定する現象である（図-2）。アクアジャスター®を搭載することで、流れのある水中（流速1ノットまで適用可能）でのロボットの姿勢が安定し、対象物を的確にとらえることが可能である。

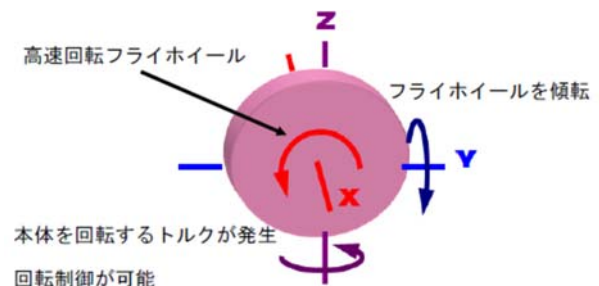


図-2 ジャイロ効果の説明

2.2 画像鮮明化技術

ディアグ®は主カメラとして238万画素のハイビジョンカメラを機体前方に搭載している。

水中での光量不足に対応するために照度 3,780lm の高輝度LEDライトを備えるとともに、濁りによる不鮮明な映像のノイズを除去し、最適化して映し出す「画像詳細強化装置」によりリアルタイムに鮮明画像を見ることができる（図-3）。さらに、主カメラ前方に配置した箱メガネ（濁水中撮影装置）内部に清水を入れて対象物に接近することで極端に濁った水中でも鮮明な画像を取得できる（図-4）。



図-3 画像詳細強化装置による効果

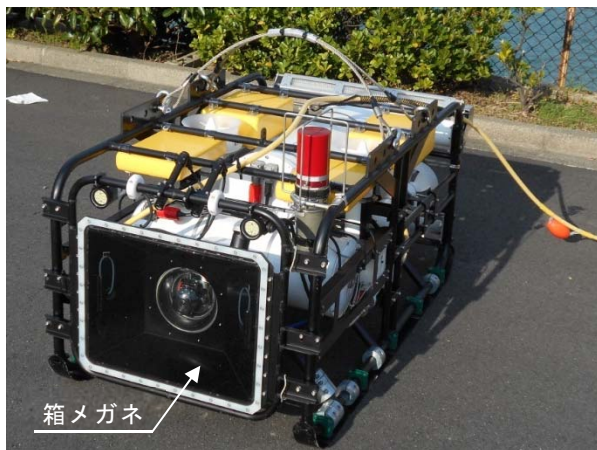


図-4 箱メガネ（濁水中撮影装置）

2. 3 耐圧機能

機器、電線、コネクターなどを耐圧仕様にすることで、水深 100m までの作業を長時間連続して行える。これにより、従来潜水土では作業できなかった大深度での作業が可能である。

2. 4 クラックなどの計測機能

機体前方から対象物に対してラインレーザーを照射することができ、クラックなどの寸法測定が可能である。ラインレーザーは幅 3mm、間隔 100mm で、取り込んだ画像からスケール

アップにより寸法測定を行う（図-5）。

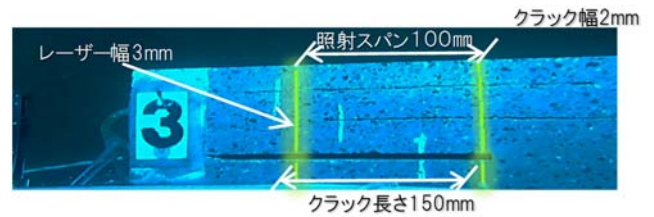


図-5 ラインレーザー照射状況

2. 5 点検対象物の清掃機能

本体後方にプラスチック製ブラシのケレン装置を搭載しているので、点検対象物の付着物を除去することができ、明瞭に撮影することができる（図-6）。

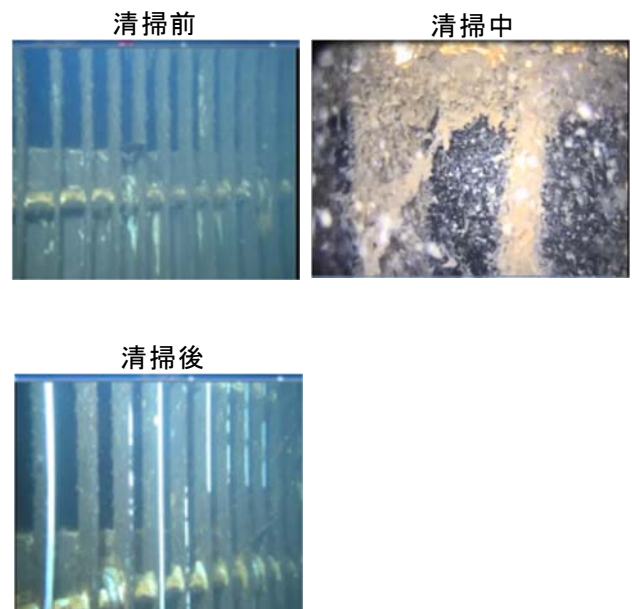


図-6 スクリーンの清掃状況

2. 6 位置情報取得機能

GPS または自動追尾機能付きトータルステーションとトランスポンダ（送信機と応答機の音波授受により位置情報を取得できる装置）を使用して水中にあるディアグ®の正確な位置を割り出し、撮影箇所の位置を把握することができる（図-7）。

2. 7 簡易な取扱い機能

ディアグ®の大きさは幅 780×奥行 1508×高さ 711mm、重さは約 130kg であり、作業員

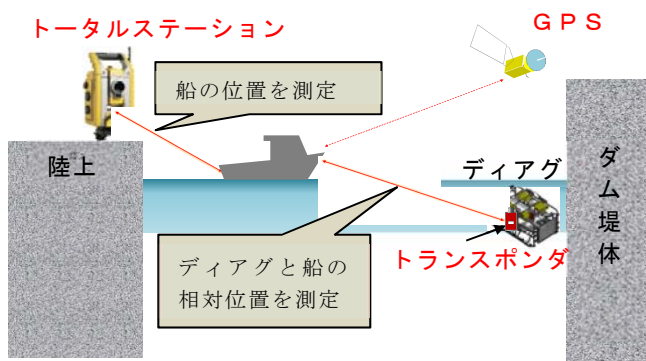


図-7 位置測定システム

4人で持ち運びが可能である。大型重機を使用することなく、地上または船上から人力で水中投入することができる。また、ワゴン車1台にすべての機材が積み込み可能で運搬が容易である。

ディアグ®の操作は陸上または船上のモニター画面を見ながらジョイスティック形式の操作リモコンを使用する。操作が簡単で資格も不要である（図-8、9）。



図-8 操作モニター



図-9 操作リモコン

3 ディアグ®のシステム構成

ディアグ®のシステム構成は図-10 に示すとおりである。

3.1 ディアグ®本体（図-10 ①）

一部を先述したが、アクアジャスター®、パンチルト機能付きハイビジョンカメラ、後方監視カメラ、高輝度LED照明、スラスタ、ケレン装置、ラインレーザー、プロファイリングソナー、深度センサ、姿勢センサを搭載し、鮮明な撮影データを取得する。

3.2 テザーケーブル（図-10 ②）

ディアグ®本体とコントロールユニットを接続する水中ケーブルで、本体への動作指示や取得した撮影データのコントロールユニットへの送信を行う。送電線、光ファイバー、テンションメンバで構成されている。

3.3 コントロールユニット（図-10 ③）

システム全体を制御するコントローラで、CPUやトランスなどを内蔵している。

3.4 操作リモコン（図-10 ④）

ディアグ®本体の運転を行う。アクアジャスター®やカメラの操作スイッチ、スラスタ操作のアナログスティックなどにより構成されている。

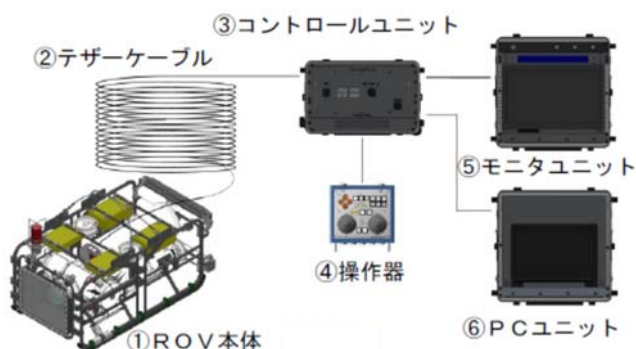


図-10 ディアグ®のシステム構成

3.5 モニターユニット（図-10 ⑤）

ディアグ®が撮影したハイビジョン映像を表示するモニタ、録画するレコーダおよびディア

グ®本体の傾きや方位を表示するディスプレイで構成されている。

3. 6 PC ユニット (図-10 ⑥)

ディアグ®のすべての情報を表示するとともにログ保存を行う。

4 実証実験結果

国交省公募事業での実証実験は、平成 27 年 11 月 20 日に天ヶ瀬ダム (京都府)、同年 12 月 7 日に弥栄ダム (広島県・山口県) で実施した。

各ダムでの調査項目は①横継目・水平打継目・堤体面の概査、②模擬版探索・精査、③予備ゲート戸当り変状調査、④低水放流設備および着底水深調査、⑤選択取水塔調査 (弥栄ダムのみ) であった。模擬版とは予め予備ゲート付近に設置されたコンクリート製の調査用試験体である。模擬版は、各ダムにおいて 4 種類設置されており、円柱状の突起や幅の異なるクラックが設けられている。①横継目、水平打継目、堤体面の概査ではクラックの有無を確認しながら水深 40m 付近まで潜行した。水中映像は高輝度 LED ライトと画像詳細強化装置を使用しながらハイビジョンカメラで撮影した。弥栄ダムでの横継目の概査状況を図-11 に示す。

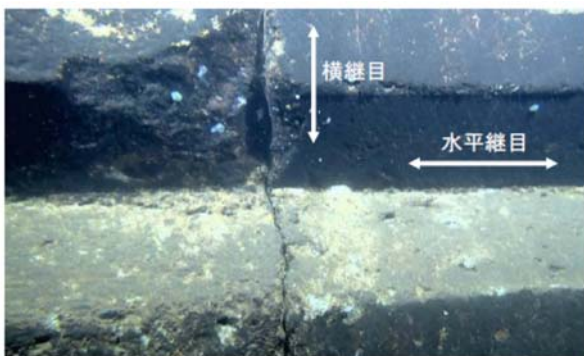


図-11 横継目概査状況 (弥栄ダム水深 30m)

②模擬版調査はアクアジャスター®とラインレーザーを用いて計測した (図-5)。③予備ゲートの戸当り調査では変状箇所が見られ

なかった。④予備ゲート下部着底水深調査では天ヶ瀬ダムで 40m、弥栄ダムで 82m であった。⑤選択取水塔調査では、水深 41m にて流木の堆積を確認した (図-12)。また、水深 20m 付近でディアグ®に搭載したケレン装置を使用してスクリーンの清掃を行った (図-6)。その結果、スクリーンに付着していたヘドロを除去でき、金属の光沢が現れた。



図-12 流木堆積状況 (弥栄ダム)

これら 2 つのダム現場での水 midpoint 検を実施した結果、点検撮影時にディアグ®の姿勢を安定させるアクアジャスター®によりブレない鮮明な動画を撮影できたことや、画像鮮明化技術を有してより精細な動画を撮影できたことが評価されて平成 27 年度末に国交省より最高評価となる「★★★」星 3 つの評価をいただき、試行的導入推薦技術とされた。そして平成 28 年度には国交省の管轄する 2 箇所のダムで今後の本格導入に向けた試行的導入を行った。

5 おわりに

合計 4 現場での実証実験では、堤体表面の状態を把握できる映像を取得することができ、一定の支援が可能な性能を有することが確認できた。今後はダムにおける水 midpoint 検ロボットの本格導入に向けて改良を行うとともに、護岸・栈橋といったダム以外の河川構造物や港湾・海洋構造物への適用範囲拡大に取り組む。さらに測量機能などを付加してダム再開発工事での適用も検討していく。

老朽化した鋼矢板護岸・水路の迅速再生技術～ストパネ工法～の開発

○（株）水倉組 営業本部技術営業次長 小林 秀一
新潟大学自然科学系（農学部） 准教授 鈴木 哲也
（国研）農業・食品産業技術総合研究機構 ユニット長 樽屋 啓之
藤村ヒューム管（株） 技術営業部課長 長崎 文博
藤村ヒューム管（株） 技術営業部主任 田村 淳也

1 はじめに

新潟県に代表される低平排水不良地域では、地域の過剰水や集中豪雨時の排水対策が不可欠であり、高度経済成長期以降、施工性と経済性の観点から鋼矢板を用いた水利施設が整備された。現在、これらの施設は生活・生産環境の基盤を成すだけでなく、水資源のかん養や洪水防止などの多面的機能を有し、国民の生活基盤としての役割も担う重要な社会資本となっている。

鋼矢板はその材料特性により、供用開始直後から腐食反応が進行し断面が減少する。特に干満帯付近（灌漑期と非灌漑期とで水面の高さが変動して、水面上に露出されたり水面下に沈降したりすることが繰り返される部分）では、早期に腐食が顕在化する（図-1）。腐食の進行による断面欠損を放置すると、鋼矢板の強度が低下して、倒壊などにより水路としての機能を果たさなくなることから、腐食対策が急務な技術的課題である。鋼矢板水路の設計では、供用期間中の腐食による断面減少を考慮し、断面減少後も構造安全性が確保できるように表裏あわせて2 mmの腐食代を設定している¹⁾。しかし、干満帯付近で局所的に進行する鋼矢板の腐食実態を踏まえると、腐食代が一定程度残存する段階から腐食対策を行う必要がある。

近年、既存施設の維持管理の重要性が広く認識されるようになり、産学官連携を積極的に促

す組織的取り組みも進められている²⁾。本報では、筆者らが取り組んできた「産学官連携に基づく腐食鋼矢板水路の迅速再生技術」であるストパネ工法の開発事例について概説する。

2 鋼矢板水路の迅速再生技術の開発

鋼矢板水路の腐食対策は、これまで主に有機系ないし無機系被覆材を腐食鋼矢板表面に塗布する技術が採用されてきた。被覆材の材料的特徴から、過湿条件や漏水がある場合、水路施設では施工が困難になる。加えて、従来工法では腐食層を完全に除去できない場合、被覆材の剥離や耐久性の低下が顕著になるなどの問題点が顕在化していた（図-2）。

これに対してストパネ工法は、耐久性に信頼性のある汎用資材のコンクリートに着目し、既設鋼矢板とプレキャストパネル（以下「PCa パ



図-1 鋼矢板水路の腐食と断面欠損

ネル」と記す)との間にコンクリートを充填し複合材とする表面被覆工法である(図-3)。被覆コンクリートの前面に残存型枠の機能も有するPCaパネルを配置することで、水利環境下における施工性が向上し、更にPCaパネルが有する密実で高強度な特性から供用後の流水摩耗の低減、耐凍結融解性の向上など長期耐久性を有することが確認されている³⁾。また、載荷試験によりコンクリート被覆が鋼矢板水路の耐力向上に寄与することを確認しており、今後補強工法としての発展も期待される⁴⁾。

ストパネ工法は、鋼矢板表面をコンクリートで被覆するため通水断面は減少するが、表面が平滑なPCaパネルを採用することで粗度係数が向上し、流下能力は補修前の施設と同等かそれ以上となる(図-4)。また、PCaパネルは、部材が薄く軽量であることから人力施工が可能で、都市化の進展により大型機械が進出できない狭隘な都市河川や橋梁下などでも施工可能で、幅広い護岸形式や現場条件に適用できる(図-5)。表面被覆材としてコンクリートを用いることの利点は、ライフサイクルコスト(以下「LCC」と記す)の低減のみならず、コンクリートのアルカリ性が鋼矢板の腐食進行を抑制する効果も期待できることにある。

3 補修後施設の水利特性

本技術の適用により粗度係数の低減が図られるが、これにより流速の上昇が予想され、河床が土砂である鋼矢板水路においては河床洗掘の影響が懸念される。この影響を確認するため、施工前後の2つの模型水路を製作し、流況比較試験を実施した。模型水路は、新潟県内で供用されている鋼矢板水路の平均的な断面寸法(幅4.0m×高さ2.0m)の1/5スケールに設定し、施工前後の水路をモデル化した(図-6)。施工前は



図-2 表面被覆材の再劣化事例

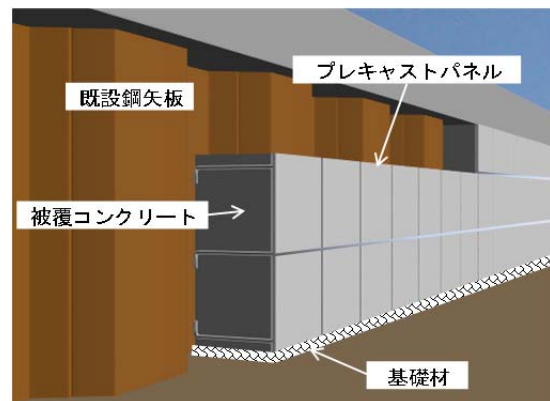


図-3 ストパネ工法概念図

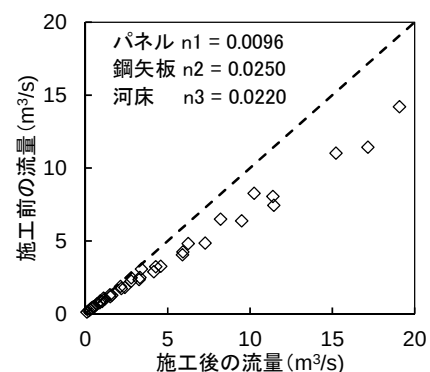


図-4 施工前後の流量比較



(A) 大断面の水路

(B) 狭隘で曲線的な水路

図-5 ストパネ工法による補修事例

鋼矢板水路を模した水路であり，施工後は補修後を模した PCa パネル被覆水路である．両模型水路の幅が異なるのは，既設水路の鋼矢板表面に PCa パネルを被覆する場合の通水断面の減少量を考慮したためである．模型水路の勾配は 1/1000 とし，施工前後の両模型水路にて，同一流量を流下させた場合の流速，水深および合成粗度係数を測定した．測定結果を表-1 に示す．結果，流下能力は施工後の模型水路において合成粗度係数の低減と流速の向上が確認された．

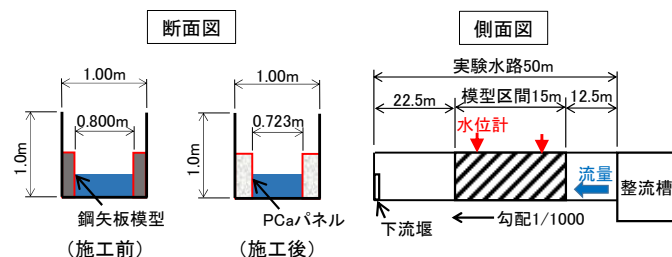
次に河床洗掘の影響を確認するため土砂掃流性を確認した．模型水路の渠底には，けい砂 5 号（1.18 mm 通過 0.075 mm 止り）を厚さ 50 mm で敷詰めた．一定時間流水（ $Q = 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ ， $t = 390 \text{ min}$ ）を続けた後，けい砂の流下量を確認した．

表-2 に示す試験結果より，施工後の模型水路では，けい砂の流下率の低減効果が確認された．施工後の模型水路において，流速の上昇に反して砂の流下率が低減した要因として，施工前は鋼矢板の凹凸形状部での水流の乱れを起因とする砂の巻上げによる浮遊砂の流下が見られたのに対して，施工後は護岸の平滑化に伴う整流化によって巻上げによる浮遊砂が減少し，流下が抑制されたものと推察される（図-7）．

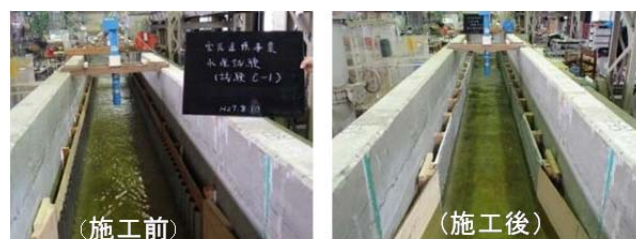
以上より，本技術を適用する際には，渠底土砂の下流域への流出抑制効果が期待できることが示唆された．このことから，下流域にある排水機場等における土砂堆積の低減に繋がり，施設管理者の維持管理作業の軽減にも寄与することが期待される．

4 流水条件下での迅速施工法の検討

鋼矢板水路の補修作業にあたっては，水路内の流水を切廻して作業範囲を締切る仮排水対策（仮締切）が必要となる．灌漑期，非灌漑期で



(A) 模型水路図



(B) 試験状況

図-6 流況確認試験

表-1 流下能力試験の結果

	流量 (m^3/s)	0.02	0.04	0.06
施工前 (鋼矢板水路)	流速 (m/s)	0.078	0.142	0.200
	合成粗度係数	0.1388	0.0792	0.0581
施工後 (Co被覆水路)	流速 (m/s)	0.088	0.162	0.227
	合成粗度係数	0.1214	0.0689	0.0509

表-2 土砂掃流性の確認結果

項目	施工前 (鋼矢板水路)	施工後 (Co被覆水路)
砂の敷設重量	912 kg	821 kg
砂の流下重量	63 kg	22 kg
砂の流下率	6.9%	2.7%

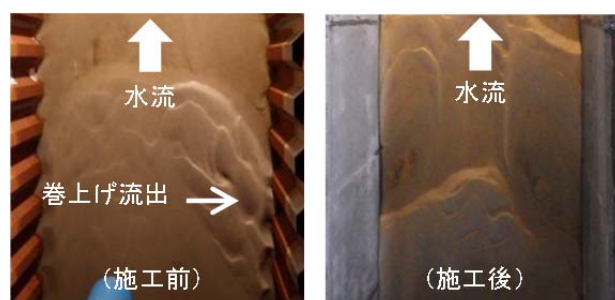
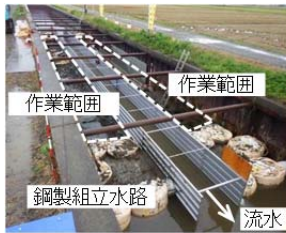


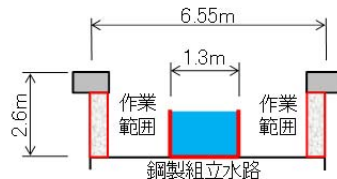
図-7 河床の砂紋分布状況



図-8 鋼製組立式仮設水路の設置状況



(A) 実証試験状況



(B) 実証試験断面図

図-9 鋼製組立式仮設水路の実証試験

表-3 鋼製組立式仮設水路の効果

(延長 100m 当り)

項 目		鋼製組立式	大型土のう	低減率
経済性	仮締切工費	604.6 万円	676.2 万円	11%
	産廃処分費	2.2 万円	65.5 万円	97%
工程短縮	仮締切工	5 日	22 日	77%
	補修工	40 日	80 日	50%

水位変動を繰り返しながら、常に流水環境にある水路内では、気象や水利条件に影響されずに施工環境が確保できる仮締切方法が求められる。本技術では、効率的な仮締切方法として鋼製組立式仮設水路を現地実証試験に適用し、従来の大型土のうによる仮締切に対する経済性および工程短縮の低減効果について検証した。図-8に設置状況、図-9に実証試験の概要を示す。表-3の検証結果から、経済性効果として仮締切工の設置費が 11 %低減すること、産業廃棄物の処分費が 97 %低減することを確認した。工程短縮効果として仮締切工の設置日数が 77 %短縮することを確認した。また、鋼製組立式仮設水路は、左右岸同時に施工することができるため、補修に関わる工程を 50%短縮することができた。

5 おわりに

本報では、喫緊の課題である鋼矢板水路の腐食問題に対する補修対策として、施工性および耐久性に優れる PCa パネルを活用したストパネ工法の有効性を報告した。

今後、既設の鋼矢板水路において LCC の低減を図りながら施設の長寿命化を試みる際には、LCC の低減と水理性能の向上を同時に実現できるストパネ工法の有効性は高いと思われる。また、鋼製組立式仮設水路を活用することで、経済的かつ効率的な仮締切工が可能となる。

謝辞

技術開発を進めるにあたり、新潟大学自然科学系（農学部）鈴木准教授および（独）農研機構・農村工学研究部門水利工学研究領域 樽屋ユニット長より、丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局：設計要領（河川編），pp.I-45-I.49，2016.
- 2) 鈴木哲也：鋼矢板水路の迅速再生工法の開発，産学官連携ジャーナル，Vol.13 No.5，2017.
- 3) 長崎文博，鈴木哲也，樽屋啓之，小林秀一，田村淳也：プレキャストパネルを活用したコンクリート被覆に基づく腐食鋼矢板水路の迅速再生技術の開発，ARIC 情報，Vol.126，2017.
- 4) 長崎文博，鈴木哲也，小林秀一，佐藤弘輝：コンクリートを被覆した鋼矢板の曲げ特性評価に関する研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.67 No.1，pp. 521-528，2013.

信濃川下流における環境に配慮した河道掘削の取組

北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所 調査設計課 ○青木 崇
調査設計課長 木伏 重男
調査設計課係長 若杉 康夫

1 はじめに

信濃川下流では、「信濃川水系河川整備基本方針」を平成20年6月に策定し、計画高水流量を安全に流下させるため、堤防整備と河道掘削により、流下能力を確保していくこととしている。河道掘削にあたっては、治水・環境機能の両面から一体的な河道計画を立てて掘削を実施しているところである。

また、国土交通省ではi-Constructionの取組である「ICT技術の全面的な活用」を推進しており、信濃川下流では、河道掘削工事においてICT土工により実施している。

本稿では、環境に配慮した河道掘削の概要と、ICT土工による河道掘削の事例と課題について報告する。

2 環境に配慮した河道掘削の概要

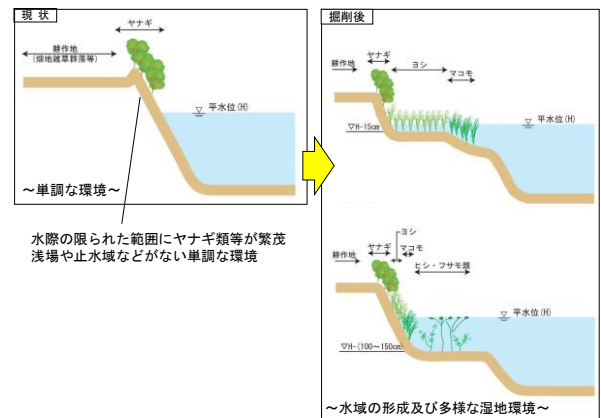
2.1 信濃川下流域の概要

かつて信濃川下流は、広大な水面とその流域の平野部には潟湖が多数存在する低湿地帯が形成され、生物の生息・生育場として自然豊かな環境が存在したと考えられる。

現在では、宅地・水田等の開発が進み、その多くが消滅した。また、河道内もその多くが耕作地として利用されているため、河道内の湿地環境は水際部の樹林地やわずかに残されたワンド、クリークなどの限られた範囲のみとなり、生物の生息・生育場としての機能は単調化している状況である。

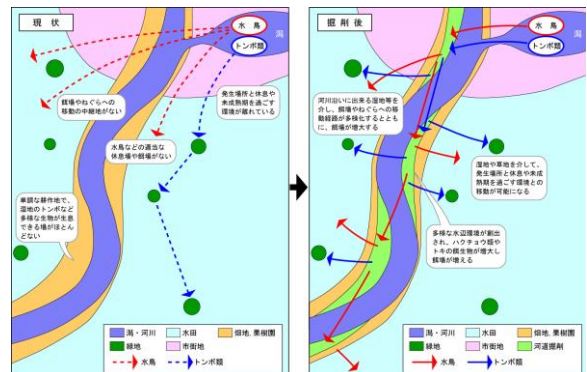
2.2 河道掘削による湿地環境の創出

信濃川下流管内における河道部の水際は、深く掘れた形状をしており、水際部のエコトーンは非常に狭い範囲となっている。河道掘削により、多様な植生が生育可能なエコトーンの拡大とそれに伴う多様な生物生息環境の創出が期待される（図－1）。



図－1 湿地環境の創出のイメージ

生物生息環境の創出の効果は、多くの生物の生息場、隠れ場の創出による生物多様性の向上と個体数の増加、生態系ピラミッドの充実と拡大、広域エコロジカルネットワークの中継地点としての機能（図－2）などである。



図－2 エコロジカルネットワーク中継地点

2. 3 山島新田地区の河道掘削計画

ここでは、信濃川下流山島新田地区の河道掘削計画について述べる。概要は、以下のとおりである。

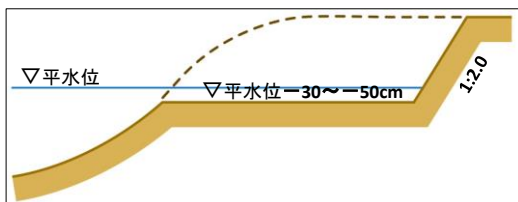
○対象：山島新田地区（信濃川下流右岸
30.5k 付近～32.5k 付近）

○範囲：延長 1,440m, 最大幅約 100m

掘削計画では、河道掘削の諸元設定のために、信濃川下流域を利用する生物から環境指標種を選定してこれらの生態を考慮したほか、取水施設に配慮した掘削形状とした（図－3）。掘削形状は、主に以下の4つの環境を想定して河道掘削計画を策定した。

（1）基本形状となる浅場

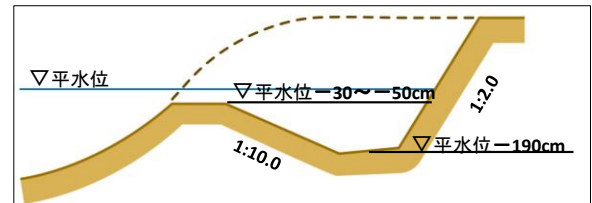
基本形状は、水生植物の形成や水鳥の利用に配慮して、平水位－30cm～－50cmとする浅場・緩流域の環境を想定した（図－4）。



図－4 横断面図イメージ

（2）ポンプ取水機能の確保を兼ねた水生生物の生息場となるクリーク状の深場

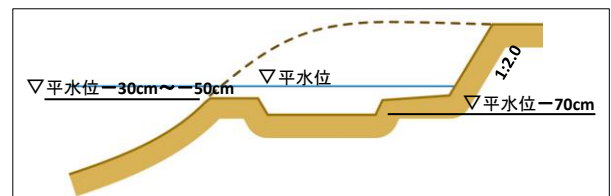
近傍にある取水施設のポンプ取水機能の確保を兼ねた、平水位－190cmのクリーク状の深場を形成し、本川側法面勾配 10 割の緩やかな勾配で、水生生物の多様な生息場となる環境を想定した（図－5）。



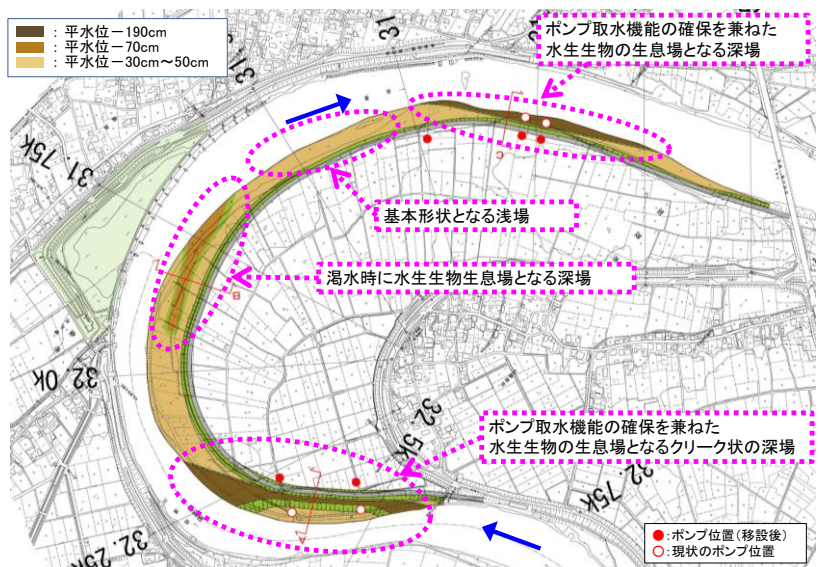
図－5 横断面図イメージ

（3）渇水時に水生生物の生息場となる深場

平水位－30cm～－50cmの浅場の一部に、両側の法面勾配 10 割で平水位－70cmの深場を設け、渇水時の水生生物の生息環境としての機能を持つ止水域・緩流域の環境を想定した（図－6）。



図－6 横断面図イメージ



図－3 山島新田地区河道掘削の平面計画

(4) ポンプ取水機能の確保を兼ねた水生生物の生息場となる深場

近傍の取水施設のポンプ取水機能を確保するため、平水位-190cmに掘り下げ、掘削幅が約40mと狭いため水路状ではなくオープンな深場の環境を想定した(図-7)。

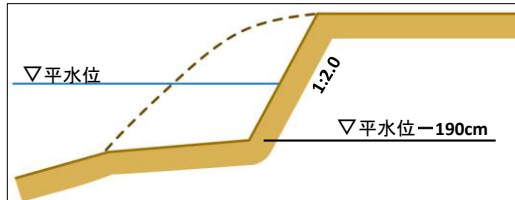


図-7 横断面イメージ

3 山島新田地区の河道掘削工事 (ICT土工)

3.1 河道掘削工事の概要

河道掘削工事では、河道掘削計画にて設定した掘削形状について、経験の浅いオペレータでも正確に施工できるICT土工を活用している(写真-1)。概要は、以下のとおりである。

○対象工事 : 山島新田地区河道掘削工事
その2~10工事 (全9工区)

○全体数量 : $V=346,200\text{m}^3$



写真-1 信濃川下流 山島新田地区

3.2 ICT土工の流れ

ICT土工は、三次元起工測量、三次元設計データ作成、ICT建設機械による施工、三次元出来形管理等の施工管理、三次元データの納品といった流れで行った(図-8)。

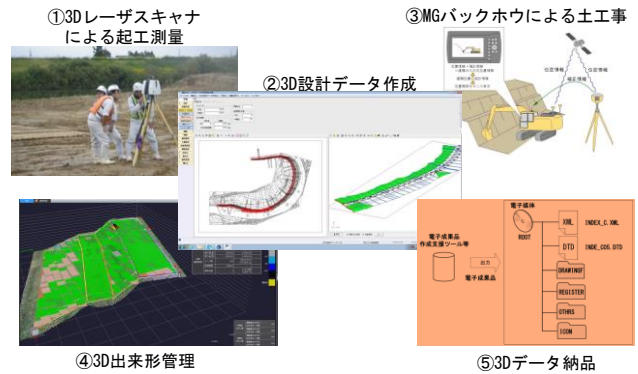


図-8 ICT土工の一連の流れ

(1) 三次元起工測量

本工事における三次元起工測量は、UAVによる空中写真測量(以下、「UAV写真測量」という。)と3Dレーザスキャナによる測量(以下、「3DLS」という。)により行った。また、水中部の測量には三次元測量が適用できないため、従来のトータルステーション測量(以下、「TS測量」という。)を用いた。

なお、UAV写真測量と3DLSとで同一範囲を測量したところ、掘削土量はUAV写真測量の $52,230\text{m}^3$ に対し、3DLSでは $52,258\text{m}^3$ と、ほとんど差異は見られなかった。

(2) 三次元設計データ作成

出来形管理の基準となる三次元設計データは、三次元測量の結果や、設計図の二次元の平面図・縦断面図・横断面図を組み合わせ、ソフトウェアを用いて作成した(図-9)。

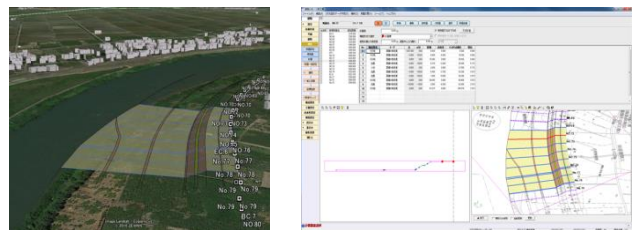


図-9 三次元設計データ

本工事での水中部の掘削は、ICT建設機械

を用いた情報化施工で実施することから、水中部の出来形計測が課題であった。平水位以下の測量は、水位が低ければUAV写真測量と3DLSで可能であるが、水位が高い場合にはTS測量で実施しなければならない。さらに土量算出には、平水位の上部、下部のそれぞれが必要となった。このため、平水位以上のデータ、面的出来形のデータ、平水位以下のデータの三種類を作成した(図-10)。

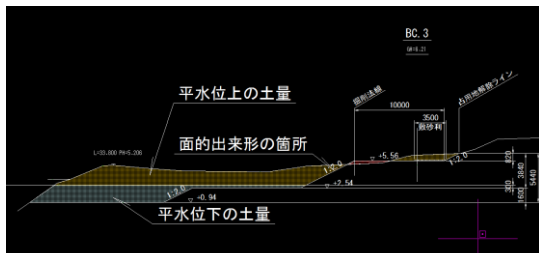


図-10 河道掘削箇所横断面図

(3) ICT建設機械による施工

ICT建設機械は、マシンガイダンス（以下、「MG」という。）とマシンコントロール（以下、「MC」という。）を用いた。

(4) 三次元出来形管理

ICT土工の出来形管理は、施工後の三次元測量計測データと設計データと重ね合わせて表示し、標高差で形状やばらつき等を確認した。出来形管理図は、出来形合否判定総括表（ヒートマップ）で確認した(図-11)。

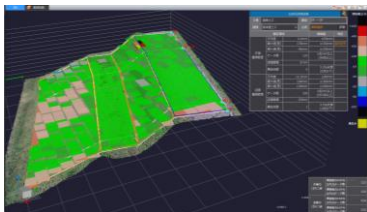


図-11 三次元出来形施工管理

3.3 工事関係者へのヒアリング結果

工事関係者へのヒアリングから、ICT土工に関する課題等が得られた。

- ・ 全体的に工事工程が安定していた。
- ・ ソフトや機器が高額であるため、一定程度の ICT 対象工事件数の確保が不可欠。
- ・ 三次元データ作業の迅速性確保が難しい。
- ・ ICT活用について、水中部の測量、施工等の基準の作成を期待する。

3.4 ICT土工における課題

環境に配慮した河道掘削においては、多様な生物生息環境を創出していくうえで、水中部の多様な掘削形状の形成が重要であるが、その水中部にはICT土工が適用できず情報化施工を適用しているのが現状である。

今後、水中部を含むすべての掘削箇所にICT土工が適用できるようになれば、さらなる生産性の向上が期待できる。これを実現するために、水中部における三次元測量の技術の確立と、関連する基準類の整備が今後の課題である。

4 おわりに

信濃川下流の概ね30年間の整備内容は、流下能力確保のための河道掘削が中心である。

河道掘削の計画においては、引き続き生物の生息環境となる湿地環境に配慮した掘削形状の検討を行っていく。また、掘削後には環境モニタリング調査を実施して、創出した湿地環境が持続されるかについて検証していく。

河道掘削の工事においては、引き続きICT土工の活用を推進し、建設現場のさらなる生産性向上につなげていく。

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご協力いただいた関係者の皆様に感謝の意を表します。

吸水性泥土改質材「ワトル」

五洋建設株式会社 土木部門土木 2020 事業部 専門部長 和栗 成樹

1 はじめに

吸水性泥土改質材「ワトル」は、吸水性の高いペーパースラッジ焼却灰（PS 灰）を主原料とした泥土改質材である。PS 灰に補助薬剤と反応水を添加し混合攪拌後に乾燥処理を施した泥土改質材である。ワトルを高含水の泥土に添加混合することで、ワトルが速やかに泥土中の水分を吸水し、泥土は土状もしくは砂状に改質される（写真－１）。



写真－１ ワトル瞬時改質

また、従来のセメント系や石灰系改質材を用いた場合、改質土は高アルカリを示すが、ワトルによる改質土は時間経過とともに中性域となり、植生土等への再利用が可能となる。吸水改質なのでセメント系や石灰系改質材では改質が困難な有機質土にも有効である。更に、PS 灰の持つ多孔性により腐臭を発する泥土に添加すると臭気を吸着し低減する特徴を併せ持つ。

河川、湖沼、港湾の浚渫土や建設汚泥、軟弱残土の地盤材料としての再利用。また、これらのダンプトラックでの早期運搬を可能とする泥土改質材である。軟弱地盤のトラフィカビリティ確保にも利用できる。

本報では以上の特徴の検証結果を報告するとともに、建設現場での適応事例を紹介する。

2 ワトルの特徴

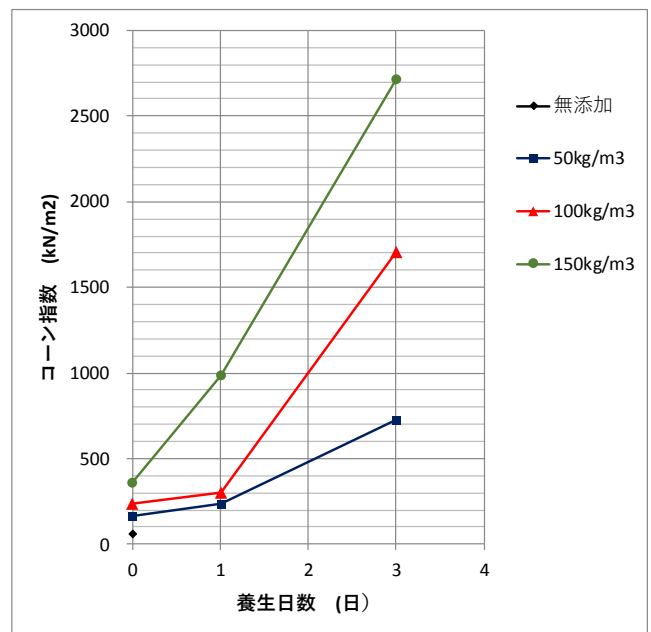
2.1 改質土の強度特性

ワトルを添加した泥土の強度増加は二段階で構成される。添加直後はワトルによる吸水改良が効果を発揮し、その後の時間経過（養生時間）とともに、ワトルに含まれる補助薬剤により水和物を形成し強度が増加する。

本項では含水比の異なる２種の泥土に対し、ワトルの添加量別の時間経過による強度増加の測定結果を示す。表－１および図－１は含水比 46%の泥土の改質結果、表－２および図－２は含水比 82%の泥土の改質結果を示す。

表－１ コーン試験結果（含水比 46%）

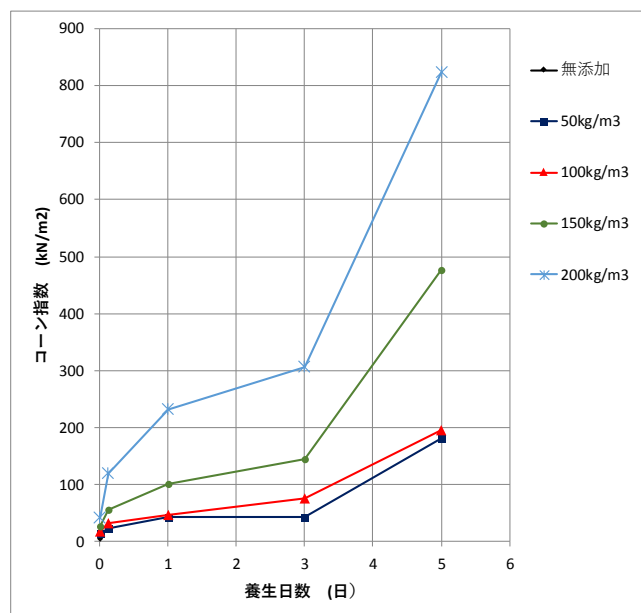
ワトル添加量		無添加	50kg/m ³	100kg/m ³	150kg/m ³
コーン指数 (kN/m ²)	添加直後	58	168	236	356
	1日養生後	—	235	305	988
	3日養生後	—	725	1708	2715



図－１ コーン試験結果（含水比 46%）

表－２ コーン試験結果（含水比 82%）

ワトル添加量		無添加	50kg/m ³	100kg/m ³	150kg/m ³	200kg/m ³
コーン指数 (kN/m ²)	添加直後	5	14	19	28	42
	3時間養生後	—	23	32	55	120
	1日養生後	—	43	47	101	233
	3日養生後	—	43	75	145	307
	5日養生後	—	181	196	476	823



図－２ コーン試験結果（含水比 82%）

ダンプトラックで運搬できる土のコーン指数は 200kN/m²程度である。含水比 46%泥土の場合泥土 1 m³あたりワトルを 100kg 添加するとコーン指数は 236kN/m²となり、添加直後にダンプトラックでの運搬が可能となる。同様に含水比 82%泥土では 200kg 添加の場合、添加翌日にはコーン指数 233kg/m²となり、添加翌日の運搬が可能となる。

養生期間を確保すればワトルの持つ水和反応によりコーン指数は増加し、第二種改良土以上（qc=800kN/m²以上）の強度となる。事前配合試験において、建設現場での土砂仮置場の有無や目標強度を勘案したワトル添加量を設定する。

2. 2 有機質土の改質効果

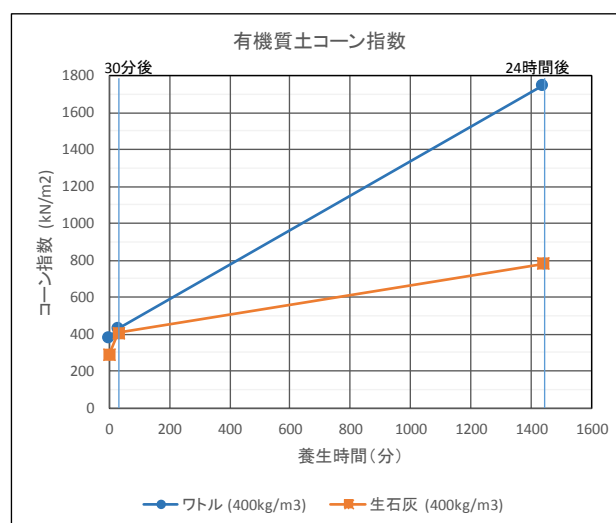
有機質土に含まれるフミン酸やフルボ酸はセ

メントや石灰の水和反応を阻害し改質効果が低下する。ワトルは物理的な吸水改質作用があるため、化学的改質であるセメントや石灰では困難な有機質土の改質に有利となる。

表－３および図－３は含水比 300%、強熱減量 22.6%の有機質泥土 1 m³に対し、ワトルおよび生石灰をそれぞれ 400kg 添加しコーン指数を計測した結果である。24 時間後のコーン指数はワトル改質土 1,745kN/m²、生石灰改質土 782kN/m²であった。生石灰と比較しワトルは有機質土に対して有効である。

表－３ 有機質土の改質効果

		ワトル (400kg/m ³)	生石灰 (400kg/m ³)
コーン指数 (kN/m ²)	添加直後	379	286
	30分養生後	429	406
	24時間養生後	1745	782



図－３ 有機質土の改質効果

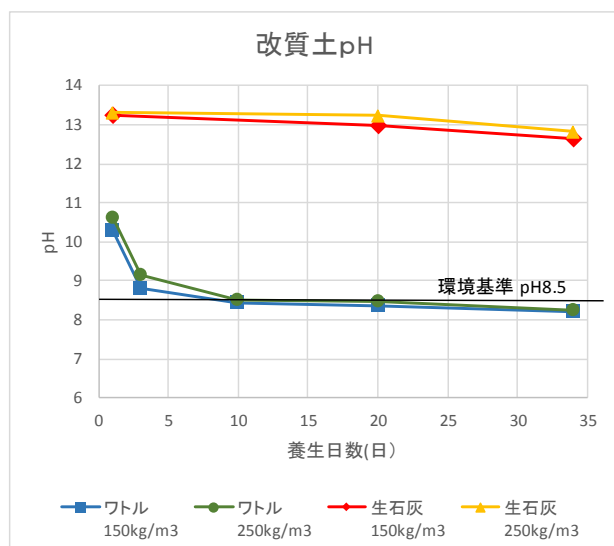
2. 3 改質土の pH

従来のセメントや石灰系改良材で改質した土砂は pH12 以上の高いアルカリを示す。これら改質土が降雨等に曝された場合、高アルカリ水が流出し河川や周辺植生への影響が懸念される。

ワトル自体の pH は 10～11 程度のアルカリ性材料である。混合当初は改質土の pH が 10～

11 となるが、改質土を気中養生することで pH は徐々に低下し pH8.5(環境基準)以下となる。

図－4 にワトル改質土と生石灰改質土の pH 測定結果を示す。軟弱泥土 1 m³ に対しにワトルおよび生石灰をそれぞれ 150kg、250kg 添加した改質土の pH を時間経過とともに測定した。生石灰改質土は pH12 以上の高アルカリを維持する。一方、ワトル改質土は 10 日程度で環境基準値 pH8.5 以下となる。気中養生の条件にもよるが、ワトル改質土は時間経過とともに改質土が中性化の特徴を持つ。早期の中性化には、養生中の改質土のバックホウ等によるかき上げが有効と推測する。



図－4 改質土 pH 測定結果

2. 4 臭気低減効果

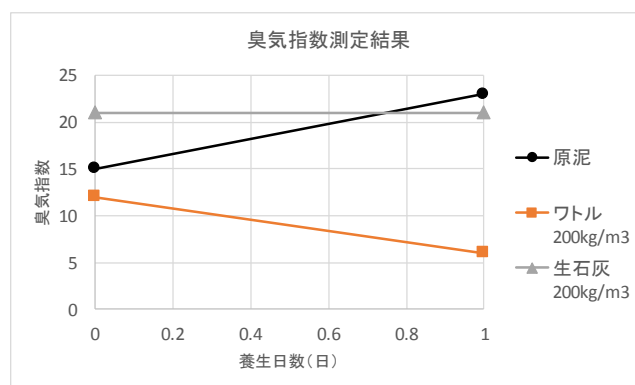
湖沼や港湾の浚渫土には腐臭を発する泥土がある。これらを陸揚げすると腐臭は周囲に拡散し周辺環境に影響を及ぼすことが問題となる。ワトルの主原料である PS 灰は、その多孔質性により臭気を吸着する作用がある。腐臭を発する泥土にワトルを添加することで、改質土の臭気低減を図ることが可能である。

表－3 および図－5 は原泥、ワトル改質土、生石灰改質土の臭気指数の測定結果である。港

湾の底質土を対象にワトルおよび生石灰をそれぞれ泥土 1 m³ に対し 200kg 添加した。原泥、ワトル改質土、および生石灰改質土について、改質当日および翌日に臭気指数を測定した。原泥は陸揚げ直後の臭気指数は 15 であるが、気中放置した翌日には泥土に皮膜する水分が減少し臭気指数は 23 と増加した。生石灰改質土は添加直後に高熱を発し臭気が増加する傾向が見られ、翌日の臭気指数も 21 と変化が無い。一方、ワトル改質土は改質当日の臭気指数が 12、翌日が 6 となり臭気の低減効果が認められた。なお、悪臭防止法での規制範囲は工業用に供されている地域で 21 以下、その他の地域で 18 以下とするのが適当とされている。

表－3 臭気指数測定結果

	原泥	ワトル 200kg/m ³	生石灰 200kg/m ³
改質当日	15	12	21
改質翌日	23	6	21



図－5 臭気指数測定結果

3. 建設現場での適応事例

3. 1 地盤改良工事

茨城県内で既存の田圃を駐車場に造成する工事である。既存の田圃表土では路床としての強度が不足するため、ワトルで路床改良を行った。周辺は耕作中の田圃に取り囲まれており、セメントや石灰で改良した場合、改良土からの

流出水は高アルカリとなる。このため、中性固化材であるワトルを使用し路床改良を行った。所定量のワトルを表土に敷き均しスタビライザーで攪拌混合する工法とした。施工状況写真を写真－２および写真－３に示す。



写真－２ 敷き均し



写真－３ 混合攪拌

３．２ 港湾浚渫土改質

茨城県内の発電所港内浚渫工事において、浚渫土を発電所構内に陸揚げし速やかに陸送により構内利用場所まで運搬する工事である。浚渫土は含水比が高く、現状ではダンプトラックによる陸送が不可能である。よって、浚渫土の改質が必要となるが、陸揚げ後の改質エリアが狭く、浚渫土改質後翌日にはダンプで運搬できる強度の確保が必要であった。瞬時改質が可能なワトルの使用で課題解決に至った。ポンドに投入した浚渫土にワトルを添加し、バックホウで攪拌混合し改良を行った。施工状況写真を写真－４および写真－５に示す。



写真－４ 改良エリア



写真－５ 改良状況

３．３ トラフィカビリティ確保

東京都内の漁港防潮堤改良工事において、漁港周囲の防潮堤を建設する工事である。漁港入出港部の水門を締め切り、漁港内の海水を排水した後重機を搬入し防潮堤を構築する。排水後の底質土は含水比が高く、現状では重機の搬入

が不可能である。底質土をワトルで改質し重機のトラフィカビリティ確保を図った。工期短縮のため改質した部分に直ちに重機が前進するため、瞬時の改質が必要であった。また、漁港内の止水域の底質土であるため、腐臭が激しく有機質を多量に含む。消臭効果と有機質土改質も使用目的の一つである。施工状況写真を写真－６および写真－７に示す。



写真－６ 現場全景



写真－７ 混合攪拌

３．３ 湖沼護岸の構築

千葉県印旛沼の護岸築造の試験工事において、陸揚げされた浚渫土により湖沼の緩斜護岸を構築するものである。岸部の底質土を改質し重機足場とした後、改質した浚渫土を撒き出し緩斜護岸を構築するものである。重機足場構築のための瞬時改質と、中性域で緩斜護岸形状を維持できる強度の必要性からワトルの使用に至った。施工状況写真を写真－８および写真－９に示す。



写真－８ 浚渫土改質



写真－９ 撒出し

４．おわりに

昨今、泥土の再利用にあたり環境に配慮した改質材が求められている。建設残土の処分先が逼迫している現在、ワトルはそれらの要望に対し十分貢献できると考える。

第2会場

第Ⅱグループ

「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」の概要

新潟県 土木部 技術管理課 主任 倉地 勇二

1 はじめに

「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」(以下、「本制度」という。)は、新潟県内の企業が開発した土木、港湾および建築分野の新技術を募集し、新潟県が発注する工事に使用した結果を含めて広く情報提供を行う制度である。県内企業が開発した新技術の普及と活用を促進することで、県内建設関連産業の活性化に資することを目的としており、平成 18 年度に創設した制度である。

また、県では開発企業だけでは難しい県外への販路開拓を支援するとともに、県発注工事等で活用した結果を公開することにより、全国での普及・活用を促している。

2 制度の必要性

2. 1 建設産業の現状

このような状況のもと、新潟県では、「第三次・新潟県建設産業活性化プラン」を策定し、建設産業の優れた技術と経営を確保するとともに、地域の守り手として持続的に発展していくため、官民一体となって取り組んでいる状況である。

新潟県の建設産業は、地域発展の基盤となる社会資本の整備等を担うとともに、災害対応や除雪などの地域の安全・安心の確保に重要な役割を果たし、また、これを通して地域経済や雇用を支えるなど、本県にとって欠かすことのできない主要な産業である。

一方で、長らく建設投資の減少が続いており、新潟県土木部予算も同様の傾向(図-1)にある。また、将来を担う人材不足などにより、建設産業は厳しい経営環境に置かれている。

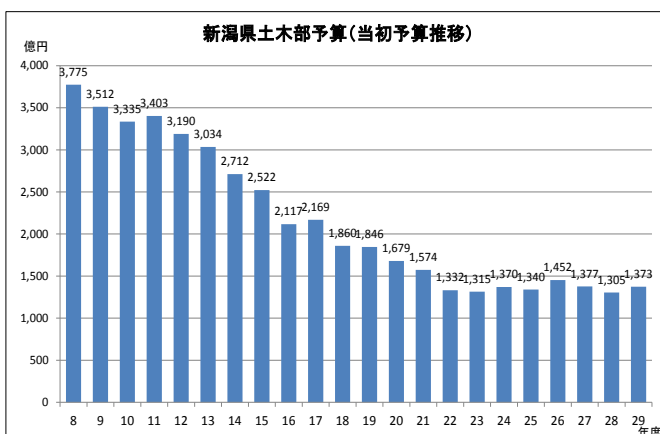


図-1 新潟県土木部予算の推移

2. 2 制度の意義

新潟県内の建設関連企業は、厳しい経営環境下においても、創意工夫と自助努力により、地域の保全に貢献しており、県がこれらの企業やその試みを後押しすることには大きな意義がある。

また、県内企業が開発した新技術の普及・活用を促すことは、開発企業の経営基盤の強化につながり、地域の守り手である建設産業の活性化や、ひいては地域住民の安全・安心につながる。

これらを背景に、新潟県は建設産業の振興策の1つとして、平成 18 年度に本制度を創設し、新技術の普及と活用を促し、県内建設関連産業の活性化に取り組んでいる。

3 制度の概要

3. 1 技術の申請要件

本制度への登録を申請できる技術は、以下のすべての要件を満たす技術としている。

- 申請者は、主たる営業所(本社・本店)が新潟県内にある民間事業者

- 申請者が単独または共同で開発した新技術
- 土木、港湾および建築の工事等現場に活用できる新技術
- 普及が見込まれる新技術
- 実用化されている新技術

3. 2 登録審査

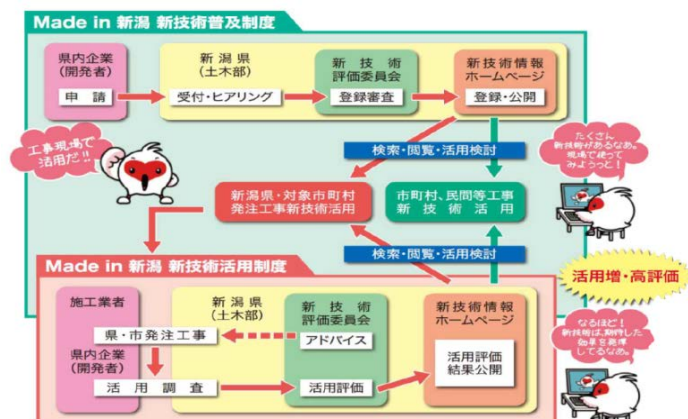
登録申請のあった技術について、学識経験者および有識者等で構成される新技術評価委員会（以下、「評価委員会」という。）で、登録の可否を審査する。

3. 3 「普及制度」と「活用制度」

本制度は「Made in 新潟 新技術普及制度」と「Made in 新潟 新技術活用制度」の2つで構成される（図－2）。

「普及制度」は、評価委員会の審査で登録適当とされた新技術を登録し、登録した技術の情報をホームページ等で公表し、広く一般に提供することで、新潟県、県内の市町村や国等の官公庁、民間企業、そして県外まで広く普及することを促す制度である。

「活用制度」は、登録新技術を新潟県や対象市町村が発注した工事で活用して得た効果を調査し、評価委員会で評価した結果をホームページ等で公表し、広く一般に提供することで、他の工事での活用や技術改良を促す制度である。



図－2 制度の概要

3. 4 登録技術の称号

登録技術の中で、活用評価結果が良好で、活用実績（活用件数または売上額）の多い技術を「Made in 新潟 ゴールド技術」に認定している。ゴールド技術に認定することにより、当該新技術の信頼性を高め、普及と活用をさらに促進することを目的としている。

また、ゴールド技術の中でも、特に優れた技術で、全国的な需要が期待できる技術を評価委員会が選定し、「Made in 新潟 プラチナ技術」に認定している。プラチナ技術に対し、新潟県標準歩掛の整備や県単価表への単価掲載等の標準化支援を実施している。また、開発企業に対し、県外見本市への出展費用や県外デモ施工費等を補助する販路開拓支援事業により、県外販路開拓を支援することで、新技術を『広く普及した技術』へと昇華するよう後押ししている。



図－3 ロゴマーク

4 登録状況と活用実績

4. 1 登録状況

平成29年8月31日現在の登録技術数は188技術（土木168技術、建築20技術）となっている。また、登録技術のうち17技術がゴールド技術に認定されており、17技術のうち8技術がプラチナ技術に認定されている。

4. 2 活用実績

平成18年度から平成28年度までの登録技術の活用件数および売上の推移を示す。（図－4）

平成18年度の制度創設から平成28年度までの累

計の活用件数は約 44 千件、売上額は約 840 億円となっている。また、平成 28 年度の売上額約 99 億円のうち、6 割以上が県外での売上げであり、登録技術が全国で活躍している状況がうかがえる。

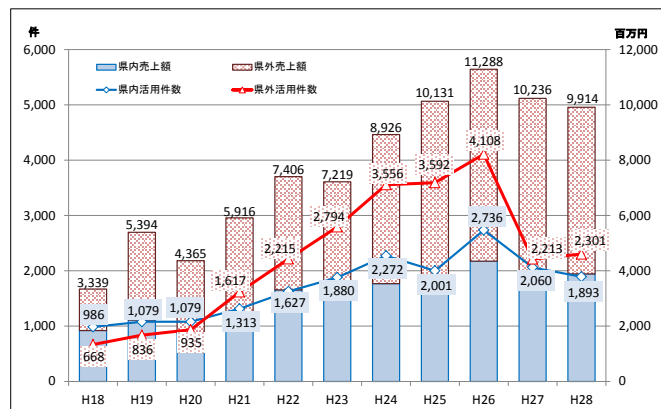


図-4 登録技術の活用・売上状況

5 普及・活用に向けた取組

5.1 県内イベントの開催

本制度及び登録技術について、新潟県内での知名度を高め、登録技術の県内の普及と活用を図るため、「Made in 新潟 新技術展示・発表会」及び「Made in 新潟 新技術説明会」を毎年開催している。

「展示・発表会」は毎年 11 月に主に朱鷺メッセコンペティションホールで開催し、約 80 技術の展示会と約 10 技術の技術発表や特別講演を行うイベントで、約 400 名の来場がある。

「説明会」は毎年 1～2 月に上中下越の 3 会場で 13 技術の技術説明を行うイベントで、3 会場合計約 400 名の来場がある。

5.2 県外見本市への参加

県外での本制度及び登録技術の知名度を高め、県外での普及と活用を図るため、県外で開催される建設見本市へ登録企業と合同で出展を行っている。平成 29 年度は仙台市、東京都、熊本県、名古屋市で開催される見本市への出展を行い、新潟県の有用な新技術を PR した。

5.3 新潟県発注工事での活用に向けた取組

登録技術の信頼性を高め、また、更なる技術改良を行うためには、新潟県が発注する工事で積極的に活用する必要がある。そのため、工事の各段階で下記の取組を実施している。

設計段階① 本制度や NETIS 等の新技術・新工法を積極的に活用・検討することを新潟県標準仕様書に位置づけ

設計段階② 概略設計業務、予備設計業務等の比較検討案の選定において、本制度の登録技術を含めることを特記仕様書により義務づけ

入札段階 総合評価落札方式において、本制度の登録技術の活用を提案した場合に加点

施工段階 受注者の提案で登録技術を活用した場合に工事成績評定時に加点

6 おわりに

建設産業は社会資本の整備を担い、災害対応等の地域の安全・安心の確保に重要な役割を果たす本県にとって欠かすことのできない主要な産業である。一方で、建設産業が置かれている厳しい経営環境のもと、建設産業が持続的に発展していくための様々な取組が官民一体で行われている。

建設工事における新技術の導入は、建設産業全体の技術力を高め、建設コストの低減、社会資本の長寿命化等の良質な社会基盤の整備に寄与するものでもある。新潟県では「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」により県内企業が開発した新技術の普及と活用を促し、地域の守り手である建設産業を活性化させていきたいと考えている。

最後に、本制度に登録されている新潟県の有用な新技術について、「Made in 新潟 新技術」のホームページで広く情報提供しているので、是非一度ご覧いただければ幸いである。

Made in 新潟 検索 
<http://www.shingijutu-niigata.jp/>

高い浸透性能を発揮する「極超微粒子セメント注入材料」

日特建設(株) 技術本部 設計部 竹内 仁哉

1 はじめに

液状化対策、耐震補強、地盤強化、止水等を目的として薬液注入工法が用いられている。この工法は、ミキサー内で混合した注入材料を地盤内に浸透させて固結させる工法であり、他工法に比べて建設副産物の発生が少なく、施工設備も小規模で済むため利便性が高い。しかし、砂質土地盤に十分に浸透し、かつ強度発現性に優れた注入材料は今まで存在しなかった。そこで高い浸透性、強度発現性、耐久性を有する新しい注入材料を得るために、従来のセメント系注入材料よりも更に粒子径を細かくした極超微粒子セメント注入材料を開発した。本論文では、この極超微粒子セメント注入材料の注入特性と施工事例について報告する。

2 極超微粒子セメント注入材料の特性

2.1 セメント粒子径

極超微粒子セメント（以下 USFC と略す）は、注入材料としての浸透性能を向上させるために、セメント粒子を極力、微細に粉砕・分級する特殊な工程を経ることによって製造されている。図-1 にレーザー散乱・回折法で測定した USFC の粒度分布を示す。図中には、市販の超微粒子セメント（以下 SFC と略す）と普通ポルトランドセメント（以下 OPC と略す）の粒度分布も併記した。図-1 から USFC の平均粒径（ D_{50} ）は $1.5\mu\text{m}$ であり、SFC の $4\mu\text{m}$ に比べて約 $1/3$ 、OPC の $20\mu\text{m}$ に比べて約 $1/13$ と極めて微細なセメント粒子であることが理解できる。写真-1 に USFC と SFC の電子顕微鏡写真（5000 倍率）を示すが、両者の粒子径の差異はより明瞭である。そしてこの粒子径の差異（大小）が、後述のとおり、地盤への

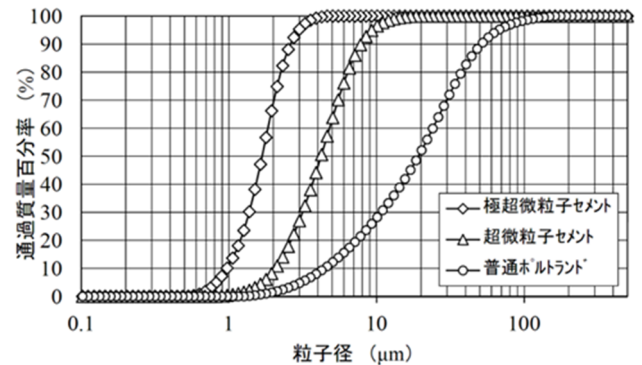


図-1 各種セメントの粒度分布

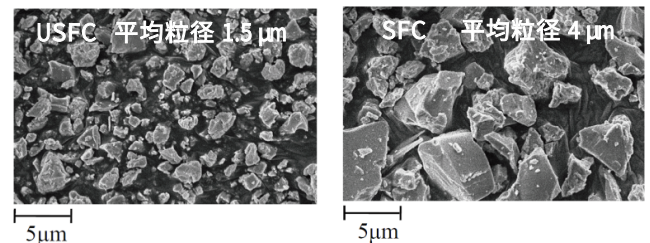


写真-1 セメント粒子の電子顕微鏡写真

浸透に対して大きな影響を与える。

2.2 浸透性能

USFC の浸透性能を評価するために、比較対象として SFC 及び OPC を選定し、写真-2 に示す配合 $W/C=200\%$ のグラウトの自然流下による浸透試験を行った。この試験は容器内に模擬砂層として①珪砂 4 号、②豊浦砂、③ガラスビーズ (JIS R6001 J-150) の 3 層を設け、試験容器の上部からそれぞれの注入材料を注ぎ各層への浸透状況（浸透可否）を確認して、その注入材料の浸透性能を評価するものである。各砂層の D_{50} および D_{15} を表-1 に、粒度分布を図-2 に示す。また浸透試験に用いた各注入材料の粒子径（ G_{50} 、 G_{85} ）を表-2 に示す。

試験の結果、USFC のみが 3 層を全浸透通過したのに対し、SFC は豊浦砂層と珪砂 4 号層を、OPC は珪砂 4 号層のみを浸透通過した時点で目

詰まり現象が発生し、それよりの下層への浸透は不可であった。この結果から、注入材料に含まれる粒子径が砂層への浸透に大きな影響があること、および最も微細粒子である USFC の浸透性能が最も高いことが理解できる。

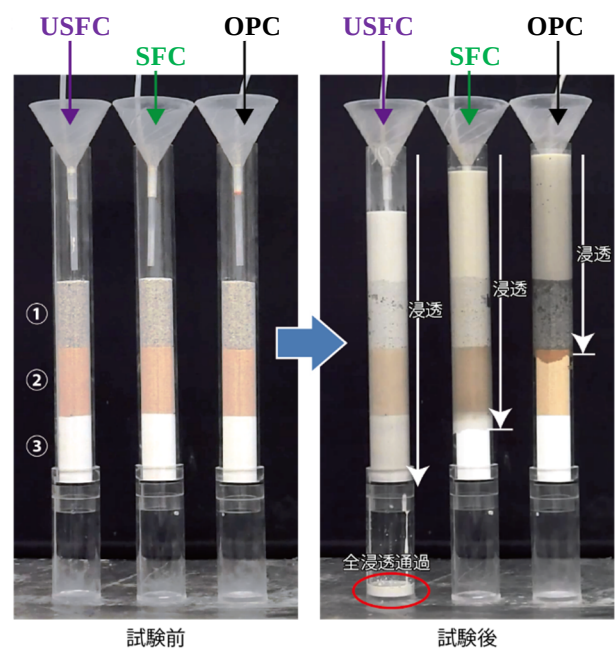


写真-2 自然流下による浸透試験¹⁾

表-1 試験砂層の粒径

粒径	①珪砂4号	②豊浦砂	③ガラスビーズ*
D ₅₀ (μm)	800	230	82
D ₁₅ (μm)	660	190	64

表-2 注入材料の粒子径

粒径	USFC	SFC	OPC
G ₅₀ (μm)	1.5	4.3	17.9
G ₈₅ (μm)	2.1	7.2	41

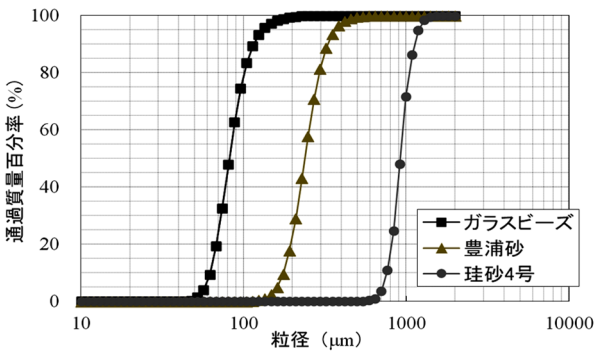


図-2 試験砂層の粒度分布

従来から、セメントグラウトを含む懸濁型注入材料が地盤に浸透するためには、土粒子間隙に対して注入材料の粒子径が十分に小さくなければならないと言われている。一般に懸濁型注入材料の浸透限界は、次式に示すグラウタビリティー比 (N₁) で判断することが可能である。

【浸透する条件】 $N_1 = D_{15}/G_{85} \geq 15$

D₁₅: 地盤の土粒子の粒径加積曲線の 15% 粒径

上述の浸透試験に用いた砂層および注入材料からグラウタビリティー比 N₁ の算出値と、浸透試験から得られた浸透可否をまとめると表-3 のようになる。表中の○×は N₁ 比から見た浸透可否を示している。N₁ 比と今回の試験結果が整合的であることと同時に、理論上からも USFC の浸透性能の高さが理解できる。

表-3 グ라우タビリティー比 N₁ と浸透試験結果

	USFC	SFC	OPC
①珪砂4号	314 ○	92 ○	16 ○
②豊浦砂	90 ○	26 ○	5 ×
③ガラスビーズ*	30 ○	9 ×	2 ×

3. 野外での極超微粒子セメント注入試験²⁾

自然地盤において、実機を用いた実物大規模の注入試験を通じ、改良体の 3 次元的形状や強度等を確認する目的で野外注入試験を行った。

3. 1 野外注入試験の概要

3. 1. 1 地盤条件

注入試験は千葉県富津市内の沖積層地盤で実施した。事前に
行った地質調査結果から得られた注入対象地盤の特性を表-4に示す。

表-4 注入対象地盤の特性

土質分類	礫まじり中砂～細砂
細粒分含有率	F _c = 3%
間隙率	n = 36%
相対密度	D _r ≒ 100%
透水係数	k = 4.7×10 ⁻⁵ m/s
N 値	N = 17～27

3. 1. 2 注入試験の諸条件

注入試験孔は 4 孔とし、USFC の配合 (W/C) 及び注入速度は、表-5 のとおりに設定した。充填

率（ α ）は、事前に行った室内試験で貧配合条件ほど注入材料の浸透長が短縮した結果を考慮し、通常よりも高い値とした。計画注入量 Q は改良体（球体）の直径を $\phi 2.0\text{m}$ と仮定し、充填率 $\alpha=125\%$ と設定して、次式を用いて算出した。

$$Q=V \times n \times \alpha = (4/3 \times \pi \times 1^3) \times 0.36 \times 1.25 = 1,880 \text{ L/孔}$$

V ：改良体の体積（ m^3 ）

表-5 野外注入試験の諸条件

注入孔番	W/C (%)	注入速度 (L/min)	充填率 (%)
1	400	15	125
2	800	15	
3	800	20	
4	1200	15	

3. 1. 3 注入方法

注入に用いた試験用パイプの概要を図-3 に示す。試験用パイプは、孔径約 100mm のボーリング削孔した孔内に、注入区間長 $L=1.0\text{m}$ のストレーナー加工した $\phi 40\text{mm}$ の塩ビ製パイプを挿入した。なお、地表部への注入材料の漏出防止として、布製パッカを注入区間上部に取り付けている。

USFC の注入は、一定速度で行い計画注入量に達した時点で注入完了とした。作業中の注入速度、注入圧力及び積算注入量は、電磁流量計を使用し

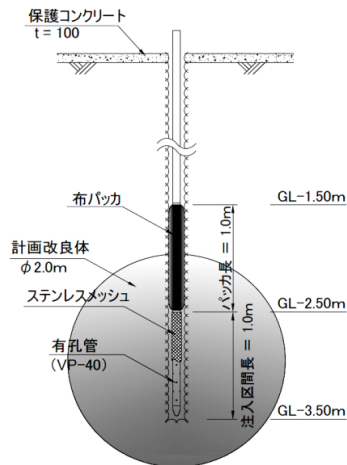


図-3 注入方法の概要図

3. 2 野外注入試験結果

3. 2. 1 改良体の強度

注入完了後、試験孔からそれぞれ 0.25, 0.50, 0.75m 離れた位置でチェックボーリングを行い、採取したコアを用いて一軸圧縮試験（材齢 28 日）を行った。結果を図-4 に示す。特筆すべき事項と

して、1) $W/C=400\%$ は改良体外周部付近(0.75m)でも 7000kN/m^2 以上の高強度を発現した、2) $W/C=800\%$ 以上の貧配合条件でも 3000kN/m^2 以上の強度を有していた、ことが挙げられる。理由は不明であるが $W/C=800\%$ 、 20L/min の試験孔における 0.50m 部の異常高値を除けば、各試験孔における大きな強度差は無く、高強度かつ均質な改良体が造成されたものと推察できる。

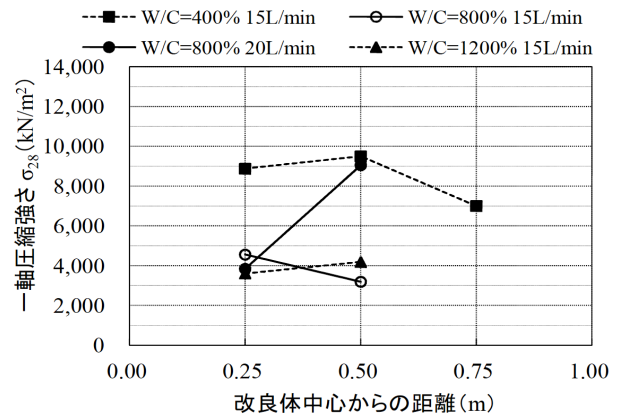


図-4 一軸圧縮強さと改良体中心からの離間距離

3. 2. 2 改良体出来形

注入完了後、地盤を掘削し改良体の出来形確認を行った。確認した改良体の一例を写真-3に示す。各試験孔の改良体のいずれも球体状を呈しており、注入材料の割裂脈は無く浸透注入形態で改良されたものと

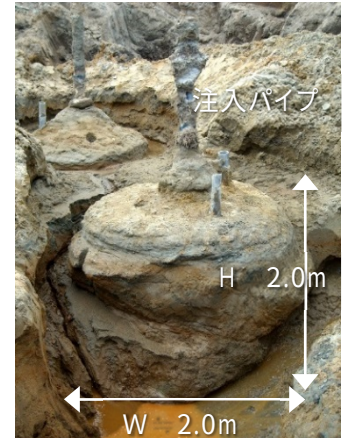


写真-3 改良体出来形
($W/C=400\%$ 15L/min)

推察できた。出来形径は貧配合条件ほど改良体径が小さくなる傾向があり、頭部改良径で比較すると、 $W/C=400\%$ が $\phi 1.9\sim 2.0\text{m}$ 、 $W/C=800\%$ が $\phi 1.8\sim 1.9\text{m}$ 、 $W/C=1200\%$ が $\phi 1.5\sim 1.6\text{m}$ であった。この結果から、 $W/C=400\sim 800\%$ の範囲が適切な改良体径を得られる配合であると判断された。

4 施工事例³⁾

4. 1 工事概要

本工事は、ガントリークレーンの大型化に伴い重量が増加することで、既設レール基礎の曲げ耐力（地震時）が不足したため、荷役作業を止めることなくその対策をとる必要性から、地盤改良によって基礎直下の地盤バネを強化した事例である。図-5 にそのレール基礎断面を示す。地盤改良の対象は基礎砕石および基礎栗石であり、栗石層の間隙には砂等が詰まっており、その粒度分布は礫分 83%、砂分 13%、シルト分 4%、また基礎砕石は礫分 72%、砂分 24%、シルト分 4%であったことが事前調査で判明している。

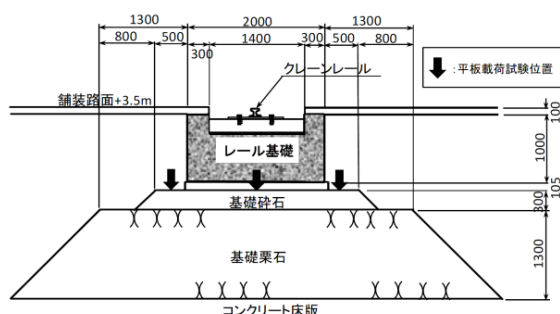


図-5 レール基礎断面

4. 2 施工方法

施工方法は、以下の観点から USFC 注入材料を用いた注入工法が最適であると判断された。

- ①岸壁を供用しながらの施工であり、短時間で作業エリアを開放できる。
- ②対象は粗石が多数混入する礫質土であるが、間隙は砂および細粒分で詰まっている。
- ③地盤改良によってレールに変状を与えない。
- ④改良体上面に高い支持力が求められる。

注入方法は、まず任意方向への浸透制御が可能な FDC グラウチング工法により対象範囲の外側に 0.5m 厚さの隔壁を作った後、内部を浸透注入によって改良する手法が採用された。その概念図を図-6 に示す。内部浸透注入はダブルパッカ工法が採用され、一次注入材料（CB）の注入率は 5%、二次注入材料（USFC）の注入率は 36% の設定で注入が行われた。工事延長は 350m あり、その全体工事数量を表-6 に示す。

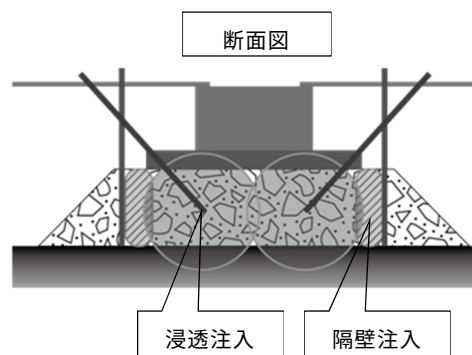


図-6 施工概略

表-6 全体工事数量

項 目	隔壁注入工	浸透注入工
注入工法	FDC グラウチング工法	ダブルパッカ工法
注入孔数	736本	349本
計画数量	一次注入 (CB)	約 27,500 L
	二次注入 (USFC)	約 181,000 L
		約 94,000 L
		約 659,000 L

4. 3 効果確認

注入効果確認は平板載荷試験、チェックボーリングコア観察および孔内水平載荷試験を実施している。いずれにおいても良好な結果を示し、必要な支持力が得られたことを確認した。

5 おわりに

極超微粒子セメントは、これまでのセメント系注入材料にはない高性能を有しているものの、特殊な工程を経て製造される材料であるために非常に高価である。従って、用途や地質条件別に最適な配合や注入方法を検討し確立する必要がある。今後も試験や施工事例を通じてデータの蓄積を図り、より経済性・品質特性に優れたものを目指す必要がある。

参考文献

- 1) 日特建設(株)：極超微粒子セメント Hyper NP-1500、製品カタログ
- 2) 竹内仁哉ら：極超微粒子注入材による地盤注入工法の開発（その 3）－現場注入特性－，土木学会第 65 回年次学術講演会，2010
- 3) 二田義規ら：供用中のガントリークレーン基礎直下の地盤の補強について、平成 28 年度近畿地方整備局研究発表会論文集、2016

自律制御型振動ローラー「T-iROBO®Roller」の一般工事適用について

大成建設株式会社 技術センター 先進技術開発部○青木 浩章

大成建設株式会社 技術センター 先進技術開発部 片山 三郎

大成建設株式会社 北信越支店 新潟環境エコパーク 3 期工事作業所 阿部 祐規

1 はじめに

自律制御型振動ローラー（以下、T-iROBO Roller と記載）は、2012～2014 年度に国土交通省建設技術研究開発助成制度「次世代無人化施工システムの開発」（以下、助成制度と記載）に採択されて開発したものである。11t 級振動ローラーにセンサーや演算装置、あるいはロボット機構等を搭載し、作業計画や現場条件を与えて作業開始を命令するだけで自動走行を実施するシステムである(図-1)。

従来の無人化施工はモニターを見ながら遠隔操作をするため、設備面では作業箇所の状況映し出すカメラ設備や通信設備が多く必要ある。一方、作業面ではカメラ映像を見て操作するため、通常の搭乗操作と比べて運転操作が特殊で、操作できるオペレーターが年々減少し不足してきているという問題点があった(図-2)。この様な課題を解決するため、無人化施工の操作支援ツールとして振動ローラーを自動運転するT-iROBO Rollerを開発した。本システムは、前述した助成制度による開発終了後の2015年度には、国土交通省「次世代社会インフラ用ロボット開発現場検証」において無人化施工現場における適用性評価として7段階評価中上位から2位の「活用を推薦する★★」の高評価を得ており、無人化施工において効果があることが示された技術である。

その一方で一般工事に目を向けると、無人化施工同様、人手不足や、熟練技術継承不足といった課題は共通事項として存在する。このため国土交通省においてもi-Constructionと称してICT技術

やロボット技術を活用し建設現場の生産性向上を目指おり、本システムの様な自動運転技術も将来を見据えると、生産性向上に大きく寄与すると期待されている技術である。

本論では、無人化施工として発展してきたロボット技術であるT-iROBO Rollerを一般施工に適用した事例を紹介するとともに、適用時の走行精度などについて報告する。

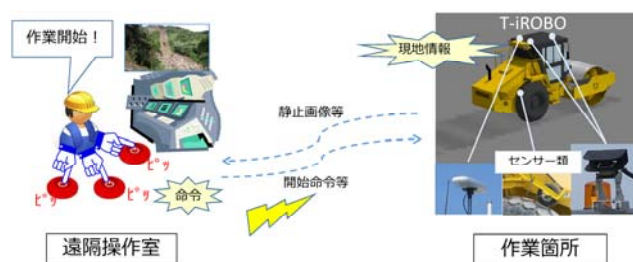


図-1 T-iROBO Roller の概要



図-2 従来の無人化施工

2 T-iROBO Rollerについて

2.1 システム概要

本システムの全体構成を図-3、センサー取付け状況を図-4、操作イメージを図-5 に示す。T-iROBO Roller は、ホスト PC 上で施工範囲などの作業計画を入力しスタートボタンを押すと、

そのデータに基づきレーン数と走行基線（レーンの中心線：黄矢印）を自動構築する。その後、作業開始命令を与えると、自律制御用 CPU が行う制御演算により走行基線に沿って正確に走行する。

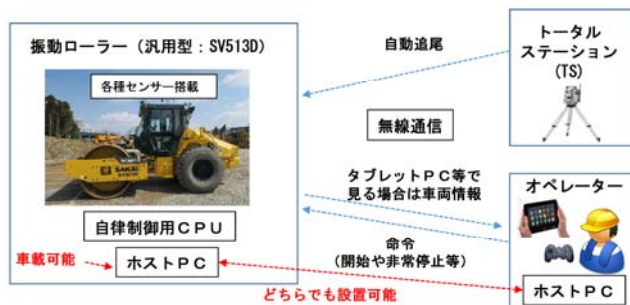


図-3 TiROBO Roller 全体構成



図-4 センサー搭載状況

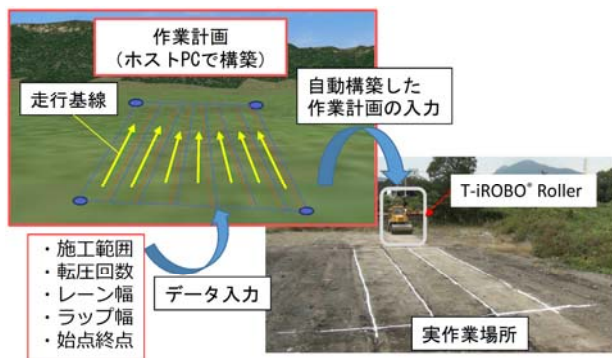


図-5 操作イメージ

2.2 一般工事適用のための改造

2.2.1 自律制御のための電子制御化

自律制御用 CPU による制御信号によって建設機械を制御するには、電子制御化（以下、電制化と記載）対応の建設機械が必要である。助成制度で開発した際に使用した振動ローラーは、製作メーカー純正の遠隔操作型の電制化された機械であった。しかし現在では、当該機械は新

規製造が殆ど無く、市中台数が少ない。そのため一般工事に展開していくためには、汎用機械に外付けして電制化するシステムが必要であった。そこで、ハンドルやアクセルといった物理的な駆動部分に電制化可能なステッピングモーターを外付けするロボット機構を開発した(図-6、図-7)。ロボット機構は、脱着が容易に可能な機構で、システム搭載した状態においても搭乗操作可能な構造である。



図-6 ハンドル部のロボット機構



図-7 アクセル部のロボット機構

2.2.2 システム対応

T-iROBO Roller は、元々は「遠隔操作仕様」であった。そのため、遠隔操作室などの建設機械から離れた遠隔地にホスト PC を設置し、施工状況や機械の状態は無線通信を介して監視する仕様としていた。しかし、遠隔操作室を配置するのは、設備が過大になり適用に対して障害となるため、一般工事で容易に適用可能にするため、以下の二点を改良した。

- ①ホスト PC の車載化（遠隔操作室不要）
- ②ホスト PC を使わない操作・車両情報監視
（ハンディードバイスによる操作と
電光掲示板による状態監視）

図-8、図-9に遠隔操作仕様と一般工事仕様の全体システムをそれぞれ示す。ホストPCを車載することで、設置に場所と手間が掛かる遠隔操作室

は不要で、オペレーターはハンディーデバイスを用いて作業開始命令等を与えることができる。この改良により無人化施工でない一般工事においても導入し易くなった。また今まで、ホストPCで監視していた情報は、建設機械に設置した電光掲示板に表示した。これにより作業場所で容易に作業状態を把握できるようになった(図-10)。自律作業する機械と通常作業機械が、近接協働する場合などにおいて適用すれば、作業の「見える化」となり安全性が向上する。



図-8 無人化施工仕様の全体システム



図-9 一般工事仕様の全体システム



図-10 電光掲示板による「見える化」

3 一般土工事における適用事例

3.1 工事概要

工事件名：エコパークいずもぎき第3期

最終処分場建設工事 (図-11 参照)

(新潟県三島郡出雲崎町稲川字池ノ尻地内)

工期：2016.4.26～2018.8.31

発注者名：(公財) 新潟県環境保全事業団

工事内容：敷地 5.3ha, 容量約 93.7 万 m³



図-11 現場鳥瞰図

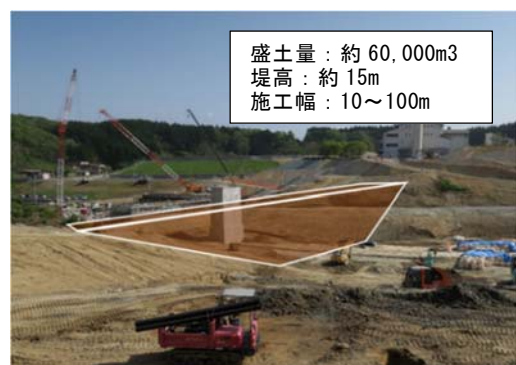


図-12 施工対象箇所

適用箇所は、廃棄物を貯留する埋立箇所の下流側に位置するアースダム形式の貯留構造物を構築する盛土転圧であった。現場は、図-12に示すよう盛土構造物の中央付近にコンクリート製の構造物を有している。T-iROBO Rollerの現行能力では、障害物には一時停止機能のみ考慮されており、障害物を回避する能力が無いため、障害物付近と法肩付近の自律運転は、作業所との協議の上、4t級の小型振動ローラーで有人作業を行うこととした。従って、T-iROBO Rollerは障害物が無い、広範囲な施工部位を担当した(図-13)。



図-13 T-iROBO Rollerによる施工状況

3.2 実施工での適用結果

施工は表-1 の条件にて実施した。転圧対象の土砂は、現場付近の切土残土や外部搬入されたものであり状態は様々であった。転圧後の轍(車輪跡)が 5cm 以上と未満で、図-14、図-15 のように走行精度がやや変化した。計画基線と実走行の誤差の標準偏差 σ は、10cm 程度という結果であった。

表-1 施工条件

走行速度	3km/h
走行回数	無振動1往復, 有振動2往復
1層の施工面積	約600m ² (80m×7レーン程度)
データ数	約15,000データ/層
締固条件	最大乾燥密度の90%以上

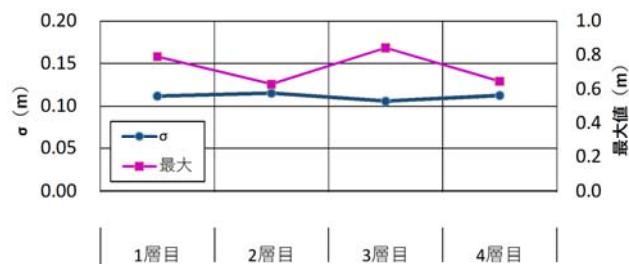


図-14 轍5cm以上の走行精度

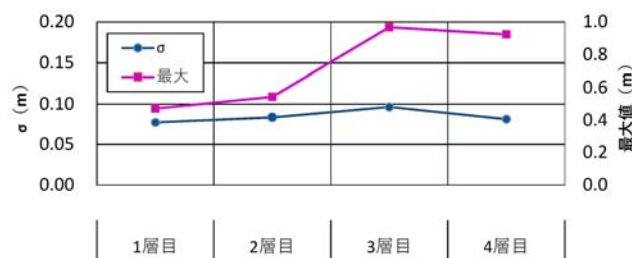


図-15 轍5cm未満の走行精度

4 まとめ

今回工事で T-iROBO Roller と協働したブルドーザーやキャリアダンプの運転手は、施工当初は次層盛土のための準備としての輻輳作業を行わず、自律運転状況を遠くで眺めていたようであった。しかし、何度も安定した自律走行を行う様子や、障害物発見等の偶発的事象において、一時停止する様子、強制停止する方法を確認することができたので、エリア区分をおこない、一方のエリアでブルドーザーによる敷き均し作業をおこない、もう片方のエリアで T-iROBO Roller による転圧作業を実施した。これにより敷き均し作業と、転圧作業を交互に実施できたため施工の効率化に繋がった。

冒頭で述べたとおり、このシステムは無人化施工をターゲットに開発したオペレーターの操作支援するツールであった。しかしながら今回の様に一般工事への適用を通して無人化施工現場以外でも十分活躍できる性能を有することが実証することができた。

本技術のように、建設機械を自動化することは、施工現場の生産性向上に期待ができると考えている。

謝辞

本現場実証にあたり(公財)新潟県環境保全事業団と工事作業所の関係者に、多くのご協力とご意見を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

青木浩章, 片山三郎, 阿部祐規: 自律制御型振動ローラー「T-iROBO®Roller」の一般土工事における実証, 大成建設技術センター報第 50 号, 47, 2017.

Holostruction (ホロストラクション) ～三次元データの活用による生産性向上技術～

小柳建設株式会社 ITシステム課 吉田 康

1 はじめに

近年、建設生産性向上を目的としたICTやUAV（ドローン等）活用など様々な新技術の取り組みが進行しているが、3次元データを含むデジタルデータの利活用は測量、施工、検査などの一部または、段階ごとにとどまり、工事全体での運用までには至っていない。

そこで、当社は国土交通省が推し進めるi-Constructionにて提言されているフロントローディングやコンカレントエンジニアリングの考え方のもと、すべての建設生産プロセス（計画・設計・施工・維持管理）における建造物の3次元データや関連書類などを一元管理し、複合現実技術（MR: Mixed Reality）によりそれらを利活用できる仕組み作りを行っている。

2 本技術の概要

本技術は、複合現実技術（MR）を用いて建設生産プロセスにおけるすべてのデータを3次元ホログラフィックとして現実空間に投影し、実物大から様々なスケールにおいて建造物を確認できるとともに、関連書類の検索を直感的に可能とする技術である。

また、遠隔地を含む複数人とこれら投影された様々な情報をリアルタイムに共有することが可能であり、共同操作による計画や施工協議を円滑に進めることができる。

2. 1 複合現実技術（MR）

本技術の説明に先立ち複合現実技術（MR）について説明する。

2016年はVR元年と呼ばれ、仮想現実技術（VR: Virtual Reality）や拡張現実技術（AR: Augmented Reality）による様々なソリューションが誕生した。

本技術で用いる複合現実技術は現実世界と仮想現実の丁度中間に位置する技術と言える。（図－1）



図－1 技術イメージ

なお、仮想現実技術（VR）については背景を含む全ての空間を仮想世界として表現する技術である為、現実世界の視界は完全に遮断され、自由な移動などが制限される。

また、拡張現実技術（AR）については補助的な情報提供用途として主に利用されている。

これに対し複合現実技術（MR）は、Microsoft社のHoloLens（以下ホロレンズ）（写真－1）というヘッドマウントディスプレイを頭部に装着し、現実世界に3次元モデルを融合しながら表示する技術である。（表－1）



写真－１ Microsoft 社ホロレンズ

表－１ 仮想世界使用技術比較

技術名	技術概要
仮想現実 (VR)	背景を含む仮想世界内に人が入る
複合現実 (MR)	現実世界に仮想世界の情報を融合する
拡張現実 (AR)	現実世界に仮想世界の情報を重ね合わせる

ホロレンズは常にデバイス上のレーザースキャナとカメラにより投影する場所の空間認識を行う為、レンズ装着者は投影された３次元オブジェクトがあたかもその場所に存在するものとして立体的に認識することができ、自ら投影空間を自由に移動しながら様々な角度や縮尺により投影物を現実に近い形で目視することができる。（写真－２）



写真－２ 1/100 スケールの確認イメージ

また、複合現実技術（MR）では現実世界が実際に見える状態である為、複数のレンズ装着者と同時に同一の投影物を確認で

き、机などの障害物や他の利用者などと衝突する事無く投影空間内を自由に移動できる点が大きな特徴である。

３ Holostruction 技術

３．１ 技術の説明

当社が開発を進めている Holostruction（以下ホロストラクション）では、複数の利用者がホロレンズを用いて建造物の３次元データや関連情報を会議室などの空間に投影し、ディスカッションを行うことができる。

また、単なる３次元ビューワとは異なり、独自技術の TimeSlider 技術（以下タイムスライダー技術）により、現在・過去・未来の時間軸を自由に行き来することができ、確認したい工程段階の状態を３次元モデル上で容易に確認することができる。

これにより、複数の利用者が同一の３次元モデルを建設生産プロセスの各段階において、確認や協議を行うことが可能となっている。

３．２ タイムスライダー機能

本技術の大きな特徴であるタイムスライダー技術は３次元データに時間属性を持たせることにより実現している。

建造物の３次元データを複数のレイヤーに分割し、レイヤー毎に時間属性を定義することで、指定された任意の時間軸に存在する３次元モデルを空間に投影することが出来るようになっている。（写真－３）

さらに、操作者は簡単な手の動き（ジェスチャー操作）により工程表上の見たい時間を指定することで、未来及び過去の施工状態を直感的に３次元モデルにより確認す

ることができる。(図-2)



写真-3 3次元モデルの表示イメージ

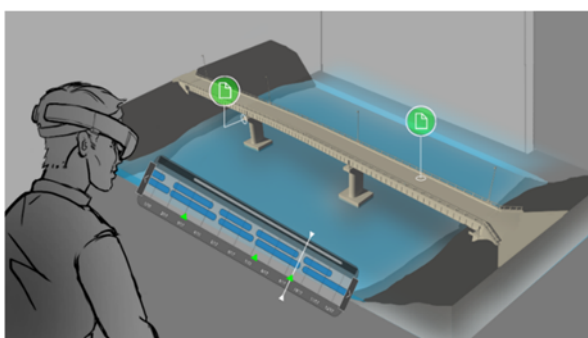


図-2 指定した時間軸の状況を確認

3.3 コミュニケーション機能

建設業務には、数多くの会社や人が存在している。それらの人々のイメージの共有は非常に重要である。そこで、ホロストラクション技術では、複数の利用者が同一の3次元モデルを同時に参照、操作しながら、工程毎の詳細な打ち合わせや現場の安全性の確認など行える機能を有している。

(写真-4)

また、遠隔地の利用者ともネットワーク回線を介し、同一モデルを投影しながら、お互いの位置や視線などを認識しながらディスカッションを行うことができる。

なお、遠隔地の利用者は空間上にアバターとして表示させることにより、より現実に近いコミュニケーションが可能である。

(図-3)



写真-4 複数人での協議イメージ

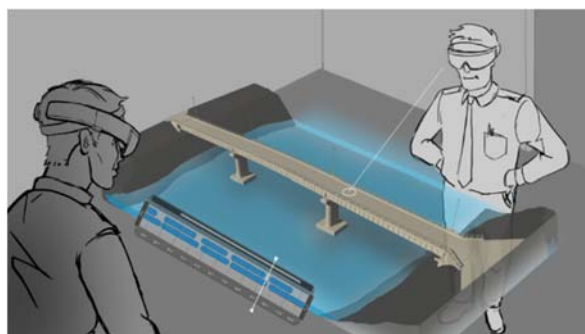


図-3 遠隔地者はアバターとしてディスカッションに参加

3.4 ドキュメント機能

協議や検査に必要なデータや文書もシステム内に格納することで、3次元モデルを投影しつつ、工程段階に応じた必要書類を投影空間上に3次元モデルと共に表示できる仕組みである。(写真-5)

3次元モデルや工程表に紐づいた検査データなどを同一空間に可視化することで、広いスペースを使用した確認や協議が行える。

(図-4)



写真-5 ドキュメントの表示イメージ



図－４ 各種検査データの表示イメージ

4 ホロストラクションによる課題解決

ホロストラクションの継続的な取り組みにより、建設業が抱える様々な課題の解決に寄与できると考える。

4. 1 生産性の向上

設計や計画段階で、リアルに施工計画を立案することができ、現場の施工方法や問題点などを関係者が集中的に協議、検討することができるようになり、設計変更による手戻りのリスクを抑える。

また、全ての関係者が会議室や現場へ行くことなく、オンラインでこれら協議を行える事により時間効率を高め生産性を向上させる。

4. 2 労働者不足・担い手不足の解消

3次元モデルを使用した打ち合わせを行う事により、経験の浅い若年者労働者や言葉の壁が存在する外国人労働者などが、熟年労働者の持つ経験や専門的知識を持たずに工事全体の流れや自身の作業工程の内容を直感的に理解することが可能となる。

4. 3 安全性の確保

作業工程で生じる危険個所を予めシミュレーションし把握することができる。

重機や人員配置など3次元モデル上に実際に配置し1：1スケールにて確認できるほか、人が行きにくい危険個所などの状況をリモートで確認できるようになる。

4. 4 検査業務の負担軽減

3次元モデルと検査書類を統合することにより、段階検査での必要データを容易に検索、確認することができる。

5 まとめ

本報告では、現時点でのホロストラクションの取り組みについて報告した。

現在、2017年4月に発表したホロストラクションのコンセプトモデルを産学官の様々な箇所で、デモンストレーションを行っている。体験者からは高い評価をいただいている一方、解決しなければならない課題もまだまだ多い。

しかしながら建設業が抱えている様々な課題を少しでも解消、低減させるため、今後も引き続き、現場での実証実験などを通して、各所と協力しながら、さらなる機能拡充を図っていく予定である。

第2会場

第Ⅲグループ

管路内水位監視サポートシステム(携行型)の紹介

株式会社 興和 水工部課長 土田 健太郎

1 はじめに

管路内水位監視サポートシステムとは、下水道管路内工事の安全確保のため、作業現場の上流側に水位計及び警報発信機を設置し、水位の上昇を検知したら、直ちに下流側へ警報を無線伝達するシステムであり、平成 21 年に開発したものである。

今回、下流側に配置する警報の受信部を新たに開発し、コンパクトで扱いも容易な携行型に改良したので、その概要について報告する。なお、この受信部の携行型は平成 28 年度に「Made in 新潟 新技術」として登録した。

2 開発の経緯

2.1 管更生工事における通常の安全管理

管更生工事における合流管渠(汚水雨水併用)内での作業は突然の降雨や溢水放流などで急激な管渠内水位上昇の危険を伴う。平成 20 年 8 月には東京都で、ゲリラ豪雨による管渠作業員の流失事故が発生し、下水道管更生工事の管内で作業を行っていた方が犠牲となった。

このような事故を防止するために、これまで通常では、常に監視員が水位及び降雨を監視し、避難水位となったら管路内の作業員に警報を発する安全管理体制がとられていた。

2.2 水位監視サポートシステムの開発

これまでの通常の安全管理をサポートするため、作業箇所の上流側管路内水位を自動監視し、避難水位に達する前に作業員に水位上昇を知らせるシス

テムを開発した。

2.3 インターネットと E メールで情報取得

本システムは上流側での水位の異常を無線で下流側の作業現場へ警報を発することの他に、インターネットにより計測記録を現場事務所や会社内のパソコン(図-1)や、携帯電話(写真-1)、スマートホン(写真-2)などで最新の水位を閲覧することが可能となる。

このインターネットによる計測記録は、管路内の水位の変動を、システム設置期間中は自動で記録として残すことができる。そのため、悪天候による水位上昇などの記録を残すことが可能である。さらに、このインターネットの計測を活用することで、作業の可否判断を現場でマンホールを開け、内部を確認しなくても可能となる。

また、水位上昇時や一定降雨時には工事関係者に E メールで通知することも可能である。

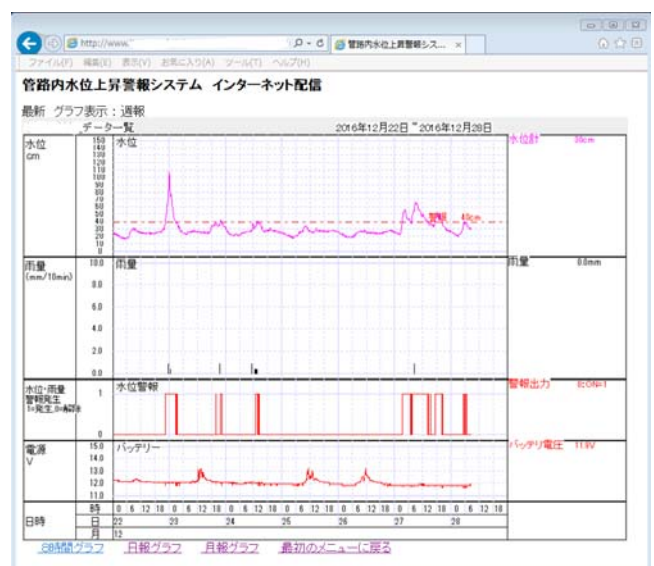


図-1 パソコンでの配信画面



写真－１ 携帯電話での配信画面



写真－２ スマートホンでの配信画面

2. 4 携行型の警報受信部の開発(新技術)

これまで定置型だった警報の受信部(写真－6)は、その設置場所の確保、複数箇所の現場への警報発信が難しいという課題があったことから、それらの課題を解消するために、新たにコンパクトで扱いも容易な携行型の受信部(写真－7)を開発を行った。

3 システム概要

本システムの警報は、水圧式水位センサにより水位上昇を検知して行う。計測は工事施工箇所より、数十m～数百m上流部に水圧式水位計と発信部を、工事箇所のマンホール付近に受信部を設置する。水位の計測間隔は約 5 秒に 1 回程度となっている。

発信部において警報設定値を超えると、おおむね 5 秒以内に受信部へ伝送し、工事施工箇所に回転灯とブザーで警報出力を行う。

また、オプションで雨量計を取り付けることで雨量計による警報発令も可能となっている。

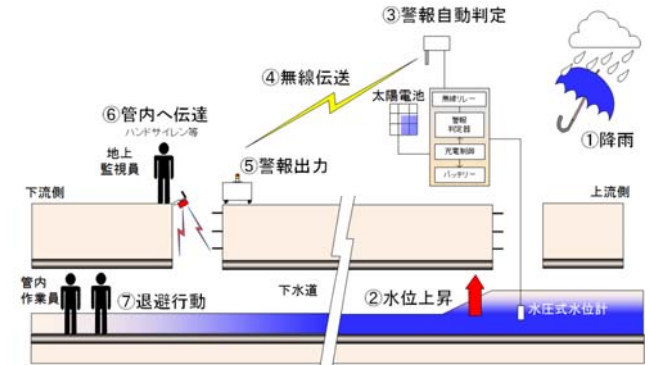


図-2 システム概要図

3. 1 発信部

本システムの発信部は、水位に異常が発生すると警報を発信する。発信部では、データの自動判定と警報出力、このデータ及び警報を小エリア無線による下流への警報伝達とFOMAによる遠隔地へのデータの転送を行う。

本システムの電源は太陽電池とバッテリーを使用し運用している。また、オプションで雨量計を設置することも可能である。(写真－3)



写真－３ 発信部設置状況写真

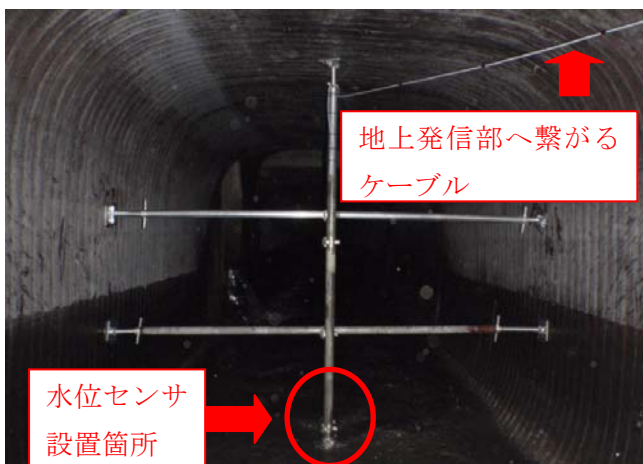
3.2 水位センサ

本システムの管路内で水位を計測する水位センサは、水圧を検知する投げ込み式を使用している。このセンサは下水・排水に対応する耐環境型となっている。(写真－4)

管路内での水位センサの設置は、管路内に設置した仮設の単管パイプに固定し設置する。(写真－5)



写真－4 水位センサ



写真－5 管路内センサ設置状況

3.3 受信部

受信部は発信部から出された水位等による警報を受信する重要な部分である。この受信部の初期型は定置型(写真－6)で使用していたものを、小型軽量化し携行が可能となった(写真－7)。警報受信時にはブザー付きのパトライトが作動し異常を知らせる。この受信部はバッテリーが内蔵されており、このバッテリーの充

電は AC アダプタを使用し充電することが可能である。

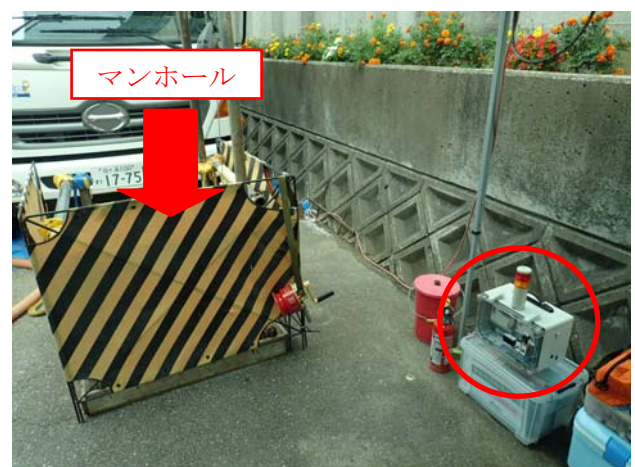
受信部の大きさは片手で簡単に持つことが可能であり、機械重量は 6kgとなっている。



写真－6 定置型受信部 (従来型)



写真－7 携行型受信部



写真－8 携行型受信部現場内設置状況

4 導入の効果（従来技術との比較）

従来は受信部を現場近くの植え込みなどへ仮設の単管等を建柱し設置していた。しかし現場付近での建柱場所が確保できない場合に本システムの設置ができず、従来型の受信部の設置が難しくなっていた。

そこでこの受信部を小型軽量一体型にすることで受信部の移動が容易に行えるようになり建柱の必要もなくなった。そしてどの現場でも管路内水位の常時監視が容易に可能となった。

そのため、同一幹線上に複数の工事が発注された場合でも水位センサを上流側1箇所に設置すれば下流の複数地点でそれぞれ警報を受信することが可能となった。

5 導入実績

管路内水位監視サポートシステム（携行型）は、平成 26 年以降、新潟市の管更生工事の 12 現場で安全管理に導入されている。（平成 29 年 3 月時点）

現在も新潟市発注工事において、新潟市中央区で本システムが稼働している。

また、定置型を含む管路内水位監視サポートシステムは、平成 22 年以降で新潟市の管更生工事現場を中心として、長岡市、仙台市、松山市、北九州市など 20 現場以上で導入されている。

6 適用条件及び今後について

本システムの適用条件は以下のようになっている。

適用できる現場条件としては、発信部と受信部間で無線通信が可能であることが条件となる。市街地で数百 m～3km となっており、無線中継局を立てることで距離の延長が可能である。また、発信部と受信部の見通しがよい区間では

特に効果を発揮することができる。

逆に適用できない現場条件としては、電波が届かない、無線中継局の設置が困難などといった、無線通信が困難な場合となっている。

なお、現在使用している小エリア無線は、無線局のデジタル化に伴い平成 34 年 11 月末で使用ができなくなる。そのため、本システムもそれまでにデジタル無線へ移行する予定である。

7 終わりに

本システムを開発・導入をしたことで、合流下水道管内で作業を行う場合に、現場内の安全管理体制において、監視員の配置と自動警報の二重の監視体制がとれるようになった。特に受信部が携行型になったことでより便利で扱いやすくなり、作業箇所が移動しても作業を行うすぐ近くに受信部を配置できるようになった。さらに同一幹線上の複数地点で施工をする場合にも監視が容易に行えるようになった。

本システムはインターネットでリアルタイムに水位や降雨の把握ができるため、現場作業の中止の判断等の際に実際に管渠内に入らずに見えない部分の監視も可能になった。これによって下水道管渠内作業実施の際に安全かつ容易に現場作業の可否を判断することが可能となった。本システムは安全管理面で非常に大きな役割を果たしている。今後もこのシステムを有効活用し安全作業に努めていきたい。

韌性モルタル NA の開発

株式会社レックス 本社 技術部次長 小林 徹

1 はじめに

コンクリート構造物の断面修復工や表面被覆工の補修材料として、ポリマーセメントモルタル(以下 PCM という)が広く使用されている。しかし、その脆性的特性により、ひび割れやすさとそれに伴う耐久性低下等の課題を有した材料である。特に北陸地方のように厳しい環境条件(塩害・凍害等)下においては、ひび割れ等に起因した早期劣化に関する指摘も少なくない。



写真-1 PCM 早期ひび割れの例

近年、ひび割れ抑制の目的で、有機系の短繊維(PVA 繊維)を多量に混入することで韌性や延性等の性質を付加し、ひび割れ抑制性能を大きく向上させた韌性モルタルが注目されている。その高いひび割れ抑制効果は、マトリックス中の繊維がひび割れをつなぎ止める(ひび割れ架橋効果)作用によるもので、土木学会コンクリートライブラリー127「複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料(High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, 以下 HPFRCC と呼ぶ)設計・施工指針(案)」¹⁾にその特性、規格、性能評価方法並びに活用方法等について詳しく記述されている。

HPFRCC の一種である韌性モルタルは、その優れたひび割れ抑制性能が評価され、コンクリー

ト構造物の断面修復工や表面被覆工の補修材料として幅広く適用されている一方で、練り混ぜ機械(ミキサ)や施工方法の制限等が大きな課題であった。

2 韌性モルタル NA の開発

韌性モルタルにおける前述の課題を解決するため、新材料「韌性モルタル NA」の開発を行った。その概要について以下に述べる。

2.1 開発目標

韌性モルタルの課題は以下の通りであり、韌性モルタル NA の開発ではこれらの解決を目標とした。

- ① 材料の施工面への塗布方法は、吹付けポンプ施工が必須である。(左官工法に未対応)
- ② 材料混合において、モルタル中に繊維を均一に分散させるため、(高性能)専用モルタルミキサが必要である。
- ③ 材料は、紛体・繊維・混和剤の3材現場混合である。

2.2 研究・開発の概要

韌性モルタル NA の研究・開発に当たり、次の内容について検討を行った。

① 材料の配合検討

結合剤(セメント・フライアッシュ・シリカフューム等)や骨材、ポリマーの種類や配合の見直しを行い、専用ミキサや混和剤に頼らず繊維が分散しやすい配合の検討を行った。

② 施工性の確認

検討した配合について、ミキサ練混ぜ性能の確認やコテ塗り及び吹付け性能の確認を行った。

③ 材料物性値の確認

配合検討，施工性確認をクリアした材料について，圧縮強度等の材料性能評価試験を行い，目標値を満たすことを確認した。

上記の検討を繰り返し行い，開発目標を満たす新材料の開発に至った。

2. 3 開発成果

靱性モルタル NA の開発により得られた成果は以下の通りである。

① コテ塗り施工が可能

小規模・狹隘断面等における施工も対応しやすくなり、施工適用範囲が拡大する。

② 汎用ミキサ、ハンドミキサで練混ぜ可能

施工機械の制約がなくなり、施工の効率化が図られる。

③ 製品のプレミックス化

材料練り混ぜ時の配合ミスが低減し、品質向上に寄与する。

④ コストダウン

材料単価を低減した。（経済性向上）



図-1 従来技術と新技術の比較

また，従来靱性モルタルと靱性モルタル NA の改良点の比較概要について図-1 に示す。

2. 4 物性値

靱性モルタル NA の物性試験結果を表-1 に示す。従来靱性モルタルと同等の性能であるが，一般的な PCM と比較すると，引張りや曲げ性能はもちろんのこと，耐摩耗性や耐凍結融解性等についても優位性が確認できる。

表-1 靱性モルタル NA の試験結果

試験項目	試験結果	試験条件
フロー値	155mm	JIS R 5201
圧縮強度	47.1N/mm ²	JSCE K 561
曲げ強度	15.3N/mm ²	JIS A 1171
硬化収縮率	0.01%	JIS A 1129
付着力	1.58N/mm ² 以上	JSCE K 561
摩耗量	0.342g	JIS K 7204
中性化深さ	3mm	JIS A 1153
透水量	1.6g	JIS A 1404
相対動弾性係数 (凍結融解性能)	99.9%	JIS A 1148
引張強度	5.79N/mm ²	ダンベル型一軸
引張終局ひずみ	4.47%	直接引張試験

3 施工事例

H28年度に靱性モルタル NA を使用した施工事例について紹介する。工事概要は以下の通り。

【発注者】新潟県 村上地域振興局

【構造物】農業用コンクリート用水路

【工 種】表面被覆工（無機系ライニング）

施工手順は、ウォータージェット工法による下地処理後に、コンクリートの補修（ひび割れ補修，断面修復，漏水処理）を行い，側壁 5mm，底版 9mm 以上の施工厚さで靱性モルタル NA の吹付け塗布を行った。

図-2 に施工フローを写真-2 に現場の竣工写真を掲載する。

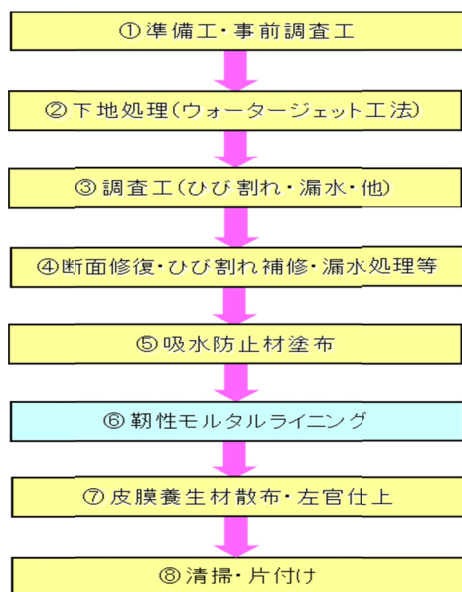


図-2 表面被覆工の施工フロー



写真-2 竣工写真

4 耐震補強への適用

今後の取り組みとして、靱性モルタルの特性を生かし、コンクリート橋脚の耐震補強、コンクリート床版の補強及びトンネル内面補強等の補強材料として適用するための検討を開始したところである。



写真-3 正負交番繰り返し載荷試験の状況

靱性モルタル NA を巻き立て補強した橋脚供試体を作成し、正負交番繰り返し試験(写真-3)により耐震性能の評価²⁾を行った。試験の結果、補強により最大荷重と耐震靱性が大幅に向上することが確認された。(図-3)

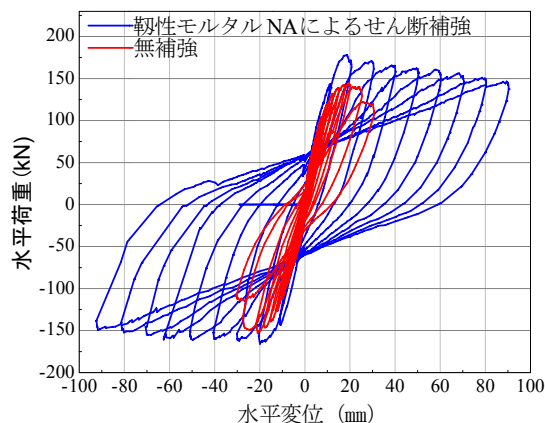


図-3 水平荷重-変位関係

5 おわりに

今回、靱性モルタルの優れた物性はそのままに、従来からの課題であった施工性や取扱い性を解決する新材料「靱性モルタル NA」を開発することができた。

また、本技術は、平成 28 年度に Made in 新潟 新技術普及制度に登録(登録名:吹付け・コテ塗り併用型靱性モルタル, 登録番号: 28D1001)されている。

最後に、靱性モルタル NA の開発に当たりご支援とご協力を頂いた新潟県靱性モルタルライニング工法協会、ならびに共同開発に取り組んで頂いた(株)デーロス・ジャパン等関係各位に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリートライブラリー127:「複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)」, 2007 年
- 2) 林承燦・小林徹・岩山健治・国枝稔:吹付け HPFRCC による RC 橋脚の耐震補強に関する評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017 年 9 月

軟弱地盤におけるベル工法 (塩化ビニル推進管による長距離・曲線推進) の施工

真柄建設株式会社 土木事業本部 土木技術部長 上田 信二

1 はじめに

従来、小口径の長距離・曲線推進工法は、高耐荷力管（鉄筋コンクリート管）が用いられ、低耐荷力管（硬質塩化ビニル管）では不可能とされていた。そこで、ベル工法は、長距離を可能とする特殊なインナー装置および高精度な曲線線形の計測を可能とする管内測量システム（自走式計測ロボット）の開発により、世界で初めて硬質塩化ビニル管での長距離（250m）・曲線（R=60m）推進の開発に成功した。

ベル工法は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のイノベーション実用化助成事業として土木分野で初めて採択され開発された。また、平成 22 年第 12 回国土技術開発賞最優秀賞、平成 24 年第 4 回ものづくり日本大賞内閣総理大臣賞を受賞した。標準掘進機を写真－1、新たに開発した礫対応型掘進機を写真－2 に示す。



写真－1 標準掘進機



写真－2 礫対応掘進機

2 ベル工法の概要

ベル工法は、硬質塩化ビニル管を対象にした泥水方式－工程式の推進工法であり以下に仕様、長距離推進理論および測量システムを記述する。

2. 1 ベル工法の仕様

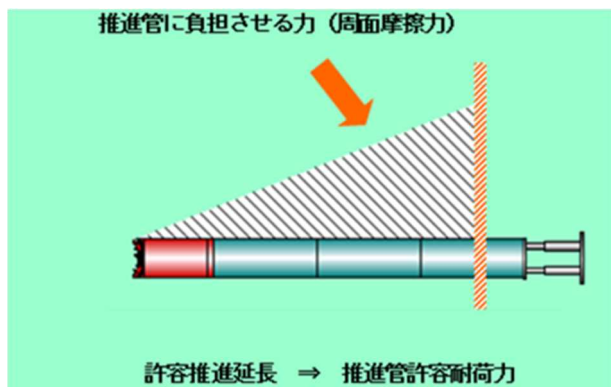
ベル工法の仕様を表－1 に示す。

表－1 ベル工法の仕様

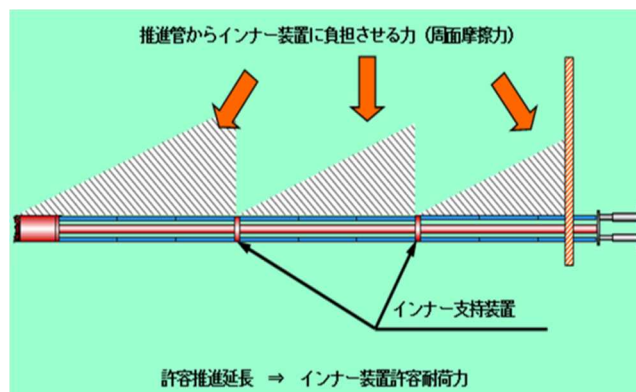
排 土 方 式	泥 水 方 式－工 程 式		
	標 準 型		礫 対 応 型
	V 型（直線）	VC 型（曲線）	
型 式			VC-D 型 （礫対応曲線）
呼 び 径	300	350	300
管 種	VP	VM	VP
最 大 礫 径 (mm)	30	35	120
礫 率 (%)	20		50
透 水 係 数 (cm/s)	1×10^{-3}		
最 小 曲 率 半 径 (m)	60（複数曲線可）		
推 進 可 能 延 長 (m)	250		200
最 小 発 進 立 坑 寸 法 (m)	$\phi = 2.5$		
最 小 到 達 立 坑 寸 法 (m)	$\phi = 1.2$		
管 芯 と 底 版 高 (mm)	発進 500 到達 400		

2. 2 長距離推進の理論

図－1 に示すように、従来の硬質塩化ビニル管による推進工法は、先端抵抗力を推進力伝達ロッドに負担させ、地山との周面摩擦力を推進管に負担させている。そのため、推進管の許容耐荷力と地山の周面摩擦力が等しくなる距離を推進可能距離としている。



図－１ 従来工法の概念図



図－２ ベル工法の概念図

ベル工法では、地山の周面摩擦力が推進管の許容耐荷力を下回る 16m 毎にインナー装置に設置している支持部材（写真－３ 参照）で硬質塩化ビニル推進管を支持する。

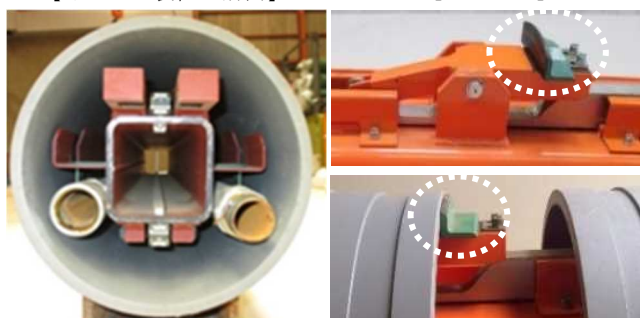
この方式は、インナー装置によって、先導体と推進管の両方を支持しながら掘進するシステムである。これにより、推進管への負担を大きく低減し、長距離推進を可能にした（図－２ 参照）。

【インナー装置の全景】



【インナー装置の断面】

【支持部材】



写真－３ インナー装置と支持部材の写真

推進管到達後、支持部材は、インナー装置内に格納することができ、インナー装置は、推進管と切り離して発進立坑内で回収可能としている。

2. 3 ベル工法の測量システム

ベル工法の測量システムは、「自走式測量ロボット」による自動化測量システムを採用している。写真－４に示す「自走式測量ロボット」は光学式ジャイロ及び加速度計を搭載し、自走により発進立坑内のランチャーから掘進機後部のステーションまで、インナー装置の内部を走行路として往復測量することで、推進された塩化ビニル推進管の全管で高精度の水平位置計測が実施できる。

したがって、地上から行う磁力線測量では土被りや既設埋設管に測量精度が大きく影響されるが、ベル工法は、管内での測量となることから、河川、水路横断および交通渋滞する道路などの施工環境下においても正確で安全な測量が可能である。

図－３に測量システム概要、図－４に測量フローを示す。



写真－４ 自走式計測ロボット

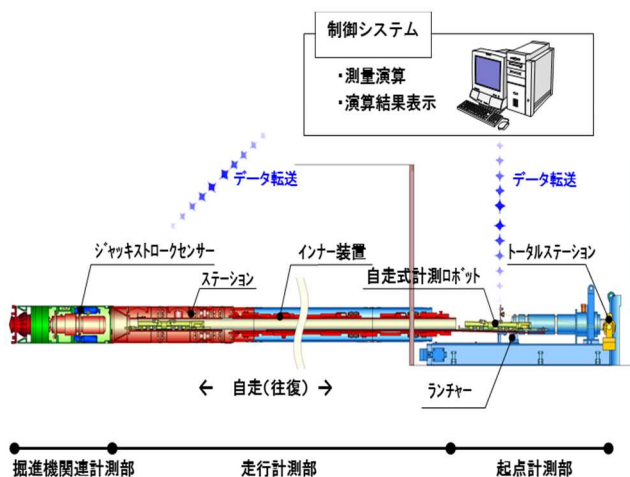


図-3 測量システムの概要

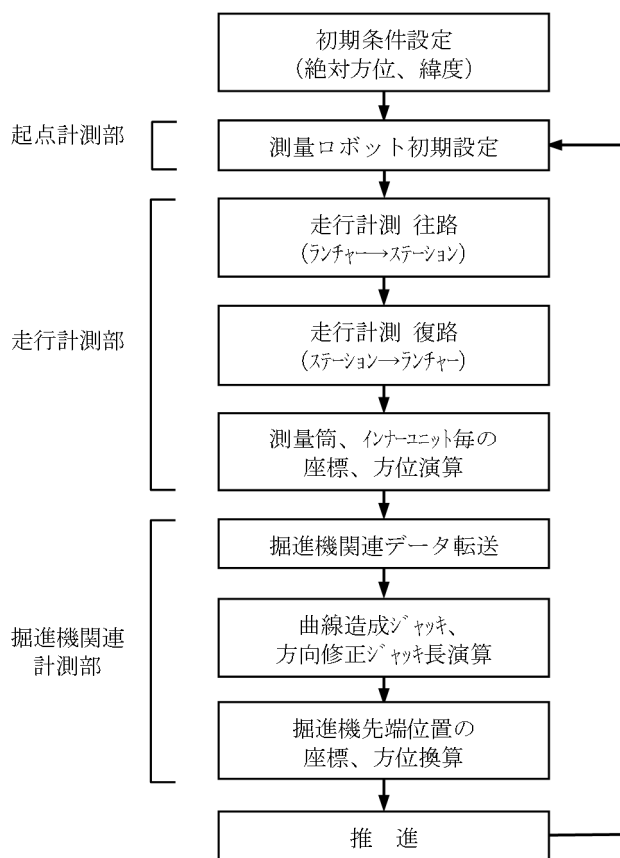


図-4 ベル工法の測量フロー

3 軟弱地盤におけるベル工法の施工

3.1 軟弱地盤への対応

ベル工法の掘進機外径は、硬質塩ビ推進管に合わせた寸法となり、推進管 $\phi 300$ で 350mm （高耐荷力管の推進工で 450mm 程度）となる。このように、ベル工法では、掘

進機外径を 100mm 程度小さくでき、機械重量を軽量化することができる。さらに、ベル工法では軟弱地盤の場合、掘進機・ポンプ筒・測量筒・インナー接続装置の全てをボルトで連結（ $L=3.783\text{m}$ ）し、掘進機底面の地盤に作用する荷重を分散させることで、軟弱地盤における掘進機の自沈やノーズダウンを防止している。

3.2 軟弱地盤での施工事例1

施工場所：千葉県

推進延長： $L=143.18\text{m}$

線形： $R=60\text{m}$ が 2 箇所 S 字

管径： 300mm

土質：シルト質細砂 $N=1$

土被り： $4.0\sim 4.4\text{m}$

駅前通りが渋滞するため、脇道から発進し、主要道路に向けて推進を行った。また、到達も脇道の既設 2 号人孔に S 字カーブの曲線で到達させ、先導体は鉄蓋から回収した。対象地盤が N 値 $=1$ の軟弱地盤であったため先導体の自沈が懸念された。しかし、ベル工法の先導体を一体化させたことで、自沈を防止し、S 字カーブも含めてベル工法の特徴を活かした工事であった。

（図-5 参照）

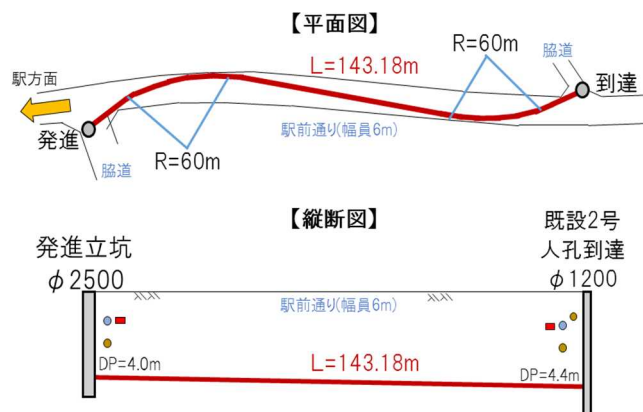


図-5 施工概要図

3. 3 軟弱地盤での施工事例 2

施工場所：静岡県

推進延長：L=112.29m

線 形：R=60m

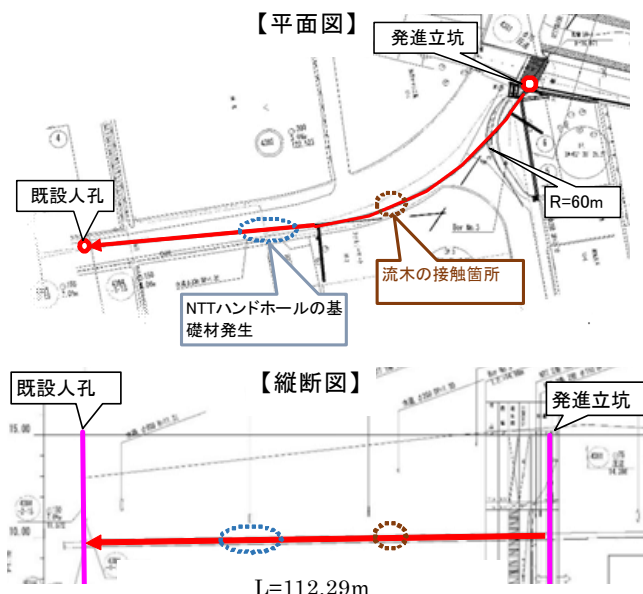
管 径：300mm

土 質：腐植土 N=1～2

土 被 り：3.07～5.42m

発進立坑に NTT の既設人孔が隣接していたとともに、発進から 6 m 程度で急曲線（60 R）を描く線形であった。また、掘進対象地盤が軟弱な腐植土層（N 値 1～2）であったため、先導体の自沈や既設人孔への影響が懸念された。そこで、先導体（掘進機～インナー接続装置）はボルト連結にて延長を長くし、荷重の分散を図れるシステムを採用したことで、薬液注入などの補助工法も実施せずに施工を完了させることができた。また、河川に隣接した推進であり、流木の存在が予想されたため、事前に「流木対応ビット」を取り付けた。掘進するにしたがって、予想通り流木に遭遇したが、事前の対応により流木も削り取り、無事に到達させることができた。

（図－6 参照）



図－6 施工概要図

4 おわりに

ベル工法の実績は、平成 28 年度末までに総件数：59 件、施工総延長：L=8.6km と平成 21 年度より着実に実績を重ねてきている。また、ベル工法協会は、平成 27 年 1 月に（公社）日本推進技術協会に加入し、平成 27 年 8 月には国土交通省 N E T I S に登録・公開された。（登録番号：KT-150038-A）

小口径管推進工法においては、工事コストの低減として、ますます長距離・曲線推進施工の技術が要求されるとともに、下水道事業費におけるライフサイクルコストの低減も求められてきている。

ベル工法では、更なる品質向上、システムの高度化および技術提案を積極的に行い、長寿命化や生産性向上を視野に入れたライフサイクルコストの低減に貢献できる工法として活躍できるよう努力していく。

以 上

打音診断への AI 技術の適用

佐藤工業株式会社 土木事業本部 ICT 推進部長 京免継彦

1 はじめに

佐藤工業はコンクリートの健全性を評価する「健コン診断ポータブル」を 10 年前に開発し運用している（写真-1）。ハンマーの加力値データとマイクロフォンによる音データの 2ch による打音解析手法は、様々な打音システムが開発されている現在でも一定の評価を受けている。また、当社は昨年より AI 解析技術にも注力し、最新の演算装置 FPGA を利用した高機能な「AI 解析機」を開発した。この両者を組み合わせた「打音診断ポータブル-AI」を今回開発し、その解析能力と適用性について報告する。



写真-1 健コン診断ポータブル

2 AI 解析の有効性

AI 解析の有効性について覆工打音結果の解析例を紹介する。

2. 1 打音データの取得について

以下の内容で施工中トンネルの覆工打音データを取得した。

- ・打設後、材齢 3 日～17 日の覆工対象。
- ・測定は 1 日で実施。
- ・同時に同じ個所でコンクリート表面水率と弾性波速度を測定。

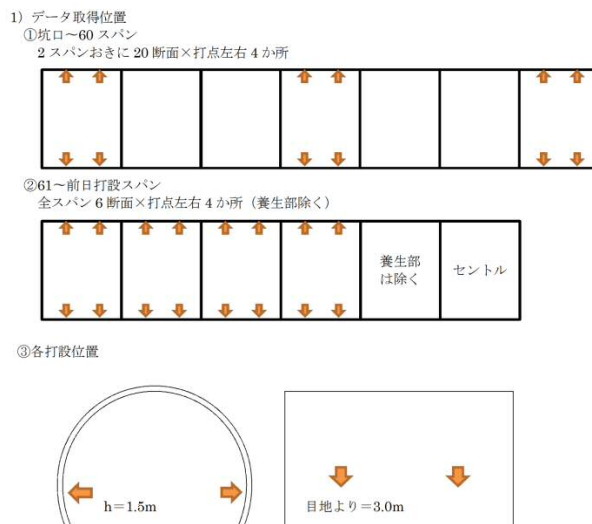


図-1 打音測定箇所

2. 2 従来方法による解析結果

打音データの FFT 解析、表面水率、弾性波測定の結果示す。

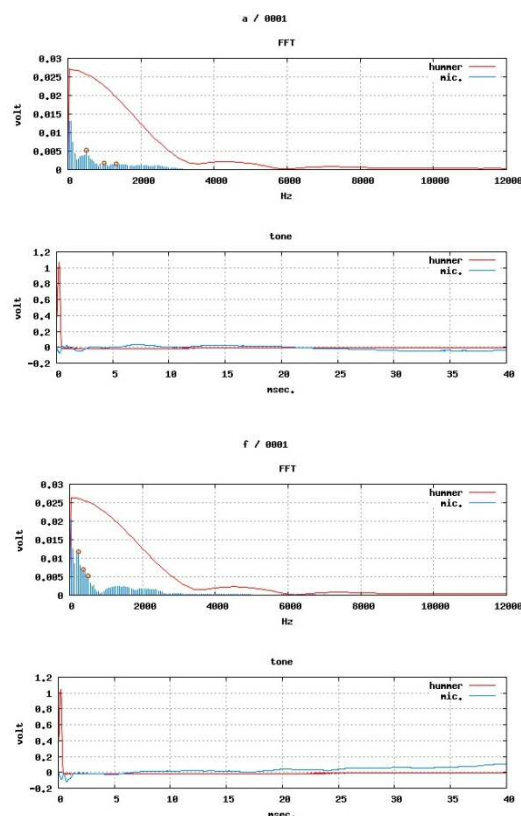


図-2 FFT 結果 (a および f)

表-1 表面水率・弾性波速度

		表面水率 %		弾性波速度 m/s	
a	1	4.5		3950	
	2	4.6		3550	
	3	4.6		3920	
	4	4.6	4.6	3800	3805.0
b	1	4.5		3870	
	2	4.5		3700	
	3	4.4		3690	
	4	4.5	4.5	3700	3740.0
c	1	4.3		3550	
	2	4.6		3610	
	3	4.4		3570	
	4	4.3	4.4	3870	3650.0
d	1	4.4		3750	
	2	4.2		3690	
	3	4.7		3900	
	4	4.6	4.5	3800	3785.0
e	1	4.8		3850	
	2	4.7		3690	
	3	4.8		3840	
	4	4.5	4.7	3620	3750.0
f	1	4.7		3790	
	2	4.7		3630	
	3	4.7		4080	
	4	4.5	4.7	3890	3847.5

サンプル a=3 日、b=5 日、c=9 日、d=11 日、e=13 日、f=17 日材齢の覆工に対して打音及びその他計測を行った結果である。この FFT その他の解析結果より、何らかの差異、特徴点を観測することは困難と考えられる。

2. 3 AI による解析結果

前述の打音結果データを AI 解析（主成分分析クラスタリング）した結果を以下に示す。

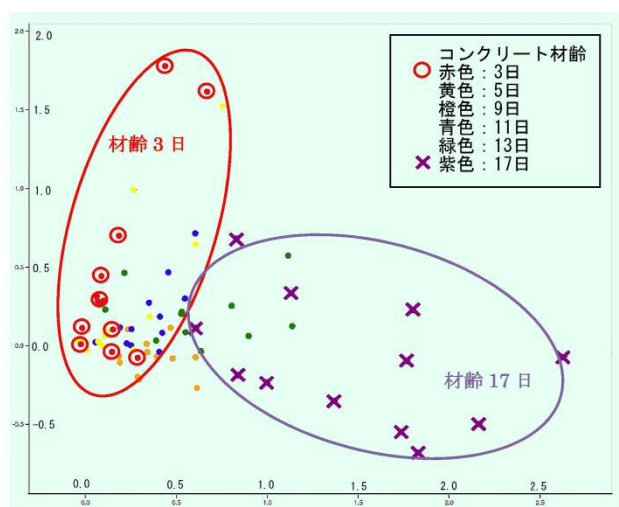


図-3 AI 解析結果

コンクリート材齢 3 日（赤丸）と 17 日（紫×）は完全にクラスタリング（区分け）することができている。この結果は従来方法（人間）では判別不能な特徴点を AI 解析（主成分分析）により判定可能な事実を示している。この結果とコンクリート性状（強度、表面水分、材齢）などを相関することで、計測技術に発展させることが可能となる。

2. 4 AI 解析技術について

人間の技術者がデータを解析する場合、「条件統一」「特徴点の抽出」「比較検討」「フィードバック」といった手順を行うが、実際の現場では、様々な影響因子により条件統一が難しくなり解析が困難となるケースがままある。AI による解析は影響因子を包括し純粋な統計結果として処理するため、人間以上の解析力を発揮する。ただし「技術的根拠付けが希薄」となる場合もありうる。

3 打音診断ポータブル-AI について

「打音診断ポータブル-AI」は「AI 解析機 α」、「AI 解析 β」および「健コン診断ポータブル」の組み合わせにより構成される。

3. 1 AI 解析機 α

当社が開発した「AI 解析機 α」は、小型パソコン程度の大きさではあるが、最新の FPGA (Field-Programmable Gate Array) ユニットを 7 台搭載し、一般的なパソコンとは別次元の速度で処理することが可能である。一般的なパソコン等に使われる高性能 CPU (演算装置) は、クワッドコア (4 列並列処理)、オクタコア (8 列) というように一度に処理できる数が固定されている。100 個の処理をする場合は 4 個もしくは 8 個ずつ順番に処理するようなイメージである。今回 AI 解析機に採用した FPGA はプログ

ラム可能な演算装置で、100 個処理したければ 1 回で 100 個処理するプログラムを書き込むことができ、そのため圧倒的な高速処理が可能である。入力データとしては、波形データ・FFT 解析データ・画像データなど様々なデータフォーマットに対応している。



写真-2 AI 解析機 α

3. 2 AI 解析機 β

「AI 解析 β 」は FPGA ユニットを 1 枚装備し、実際の計測現場に持ち出し可能としている。



写真-3 AI 解析機 β

3. 3 システムの構成

「打音診断ポータブル-AI」システムの構成を示す。

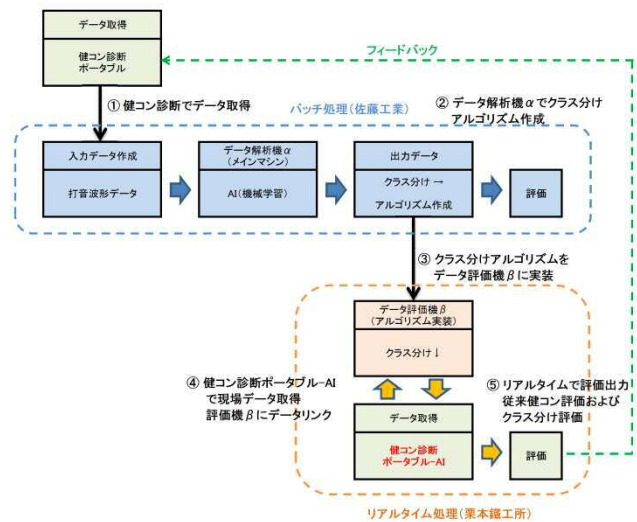


図-4 システムの構成

本システムの運用手順は以下となる。

- ① 健コン診断ポータブルで打音データを取得。
- ② AI 解析機 α でデータを解析、クラス分けアルゴリズムを作成。
- ③ アルゴリズムを AI 解析機 β に実装。
- ④ 現場で打音データ取得→AI 解析機 β で瞬時に解析。

4 おわりに

これまで、数種類の打音（波形）データを AI 解析しているが、いずれも高いクラスタリング結果を示している。AI による解析アルゴリズムと波形系データの相性は非常に良いといえる。現在、初弾として鋼構造物の健全性評価システムを開発中であり、ほぼ最終段階となっている。評価結果としては非常に優秀な解析能力が得られている。このシステムの特徴はアルゴリズムを入れ替えれば、様々な打音データに対応可能な点である。コンクリート、杭、アンカーなどあらゆる打音データが解析可能なシステムに発展可能と考えている。

第2会場

第Ⅳグループ

重量鉄筋配筋作業支援ロボット（配筋アシストロボ）の開発

清水建設株式会社 土木技術本部 開発機械部 開発G課長 大木 智明

1 はじめに

建設業では、高齢化による大量離職等により今後 10 年間で技能労働者が約 130 万人減少することが予測されている。このような中、必要な社会インフラを整備していくためには、生産性向上は喫緊の課題である。

また、コンクリート工においては、近年の耐震化により鉄筋が太径化・高密度化し、鉄筋組立時の負担が増大している。さらに、技能労働者の高齢化も相まって生産性が低下している。

そこで、本開発では重量鉄筋の配筋作業に着目し、熟練技能労働者のコツを生かしながら作業負担を大幅に低減できる、人間の腕の動きを模した重量鉄筋配筋作業支援ロボット（配筋アシストロボ）（以下「本ロボット」という）を開発した。本ロボットは、配筋作業の省力化・省人化、苦渋作業の軽減が図れ、安全性も向上する技術であり、実現場においてその効果を確認した。写真－1 に本ロボットを示す。



写真－1 本ロボット全景

2 技術の内容

2. 1 技術の概要

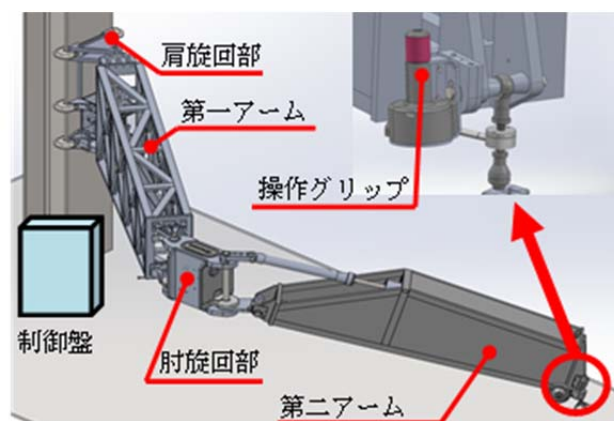
本ロボットは、人間の肩、上腕、肘、下腕、手にそれぞれ相当する 5 パーツと制御盤で構成されている。図－1 に構造概要を示す。人間の

手にあたる部分（ロボット先端部）で鉄筋の中心を把持し、操作グリップ（ロボット先端部に設置、6 軸力覚センサー内蔵）を握り、鉄筋を移動したい方向に軽く押すだけで、重量負担なく思い通りに、なめらかに鉄筋を移動させることが可能な技術である。諸元を表－1、水平可動範囲を図－2、鉛直可動範囲図を図－3 示す。

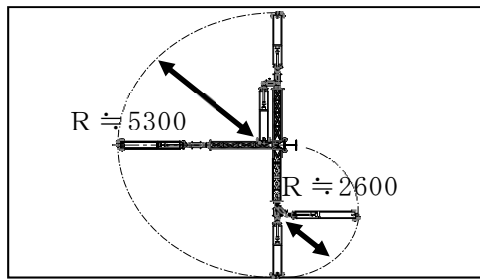
なお最初の本技術の展開先として、都市内開削トンネルでのボックスカルバート築造を想定した。そのため、本技術の使用はそれに合わせ、本ロボットの固定は中間杭（H 鋼材）に取り付ける方式を選択した。

表－1 本ロボット諸元表

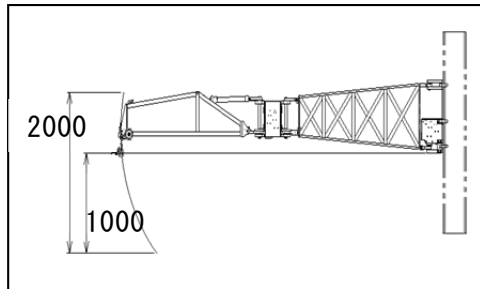
定格荷重	250kg
作業半径	約5.3m
揚程	約2.0m
分割数	4分割
入力電源	三相AC200V
水平方向操作	操作グリップ式 (6軸力覚センサー内蔵)
上下方向操作	ボタン式(昇降スイッチ式)
肩関節軸	100Wサーボモータ
肘関節軸	50Wサーボモータ
昇降軸	750Wサーボモータ



図－1 本ロボット構造概要



図－２ 水平可動範囲図



図－３ 鉛直可動範囲図

2. 2 開発のコンセプト

構造物を構築する際、どこにどのような鉄筋をどれだけ配置するのか、その鉄筋の太さや長さ、配置間隔等、いわゆる配筋の仕様は構造物によって異なり、まったく同一のものはない。その上構築する場所も同じ場所ではないため、配筋作業の自動化の弊害となっている。また、効率よく鉄筋配筋作業を行うには組立て順序等に熟練者のノウハウが必要である。しかし、配筋作業は体力が必要なため、熟練者が高齢化すると体力が落ち、配筋作業についてのノウハウを持っていたとしても、体力的な面から配筋作業に従事することは困難であった。

そこで、体力のいる力仕事部分はロボットで補い、高齢化した熟練技術者のノウハウを継続して活用可能とする‘人とロボットの融合したシステム’の構築をコンセプトにして、鉄筋組立作業の大幅な生産性向上を目指した。

2. 3 技術の特徴

本ロボットは以下の特徴を持っている。

①【人とロボットの協働作業の実現】:

力仕事は本ロボットが分担し、操作（ノウハウ）は人が分担することにより、お互いの強みを生かす‘協働作業’が実現。

②【人間の腕のモデル化】:

自らの腕のような直感的操作が可能。

③【分解組立方式の採用と軽量化】:

軽量化の追求と分解組立方式採用（４分割可能）により人力での組立・解体を容易に行うことが可能。

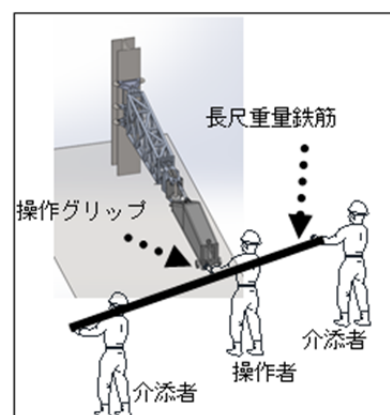
④【サーボモータとアシスト制御の採用】:

なめらかな動作性を持ち、細かい調整が必要とされる詳細位置決めにも支障なく使用が可能。

2. 4 運用方法

本ロボットは、鉄筋配筋作業において、対象の鉄筋重量に関わらず操作者１名、介添者１～２名で使用することを基本としている。その使用イメージを図－４に示す。操作者は、本ロボット先端にて操作をして鉄筋を移動する。介添者は、鉄筋端部に配置し、鉄筋移動時の荷ぶれ防止や鉄筋の正確な位置への誘導と鉄筋の固定を行う。配筋作業時は、本ロボットを固定した後昇降ボタンを操作して重量鉄筋を持ち上げる。その後、操作者が操作グリップを移動したい方向に押すだけで、動きに合わせてサーボモータが稼働し、アームがアシスト制御され、操作者の意図する方向に水平移動できる。

アームが操作者の意思と判断に合わせて直感的かつなめらかに動くため、計画線（墨）に合わせて難なく配筋できる。



図－４ 使用イメージ図

3 本技術の効果

3. 1 現場への適用

2017 年 6 月現在 3 つの現場で適用した。ここでは、その適用結果の一つを紹介する。

適用例：ランプ道路用 1 連ボックスカルバートの頂版部の主筋 D51 で適用した。以下図－5 に鉄筋加工図を示す。なお、本適用箇所は埋設型枠を使用しているため、鋼製リブ材や鋼材が存在し、特に鉄筋組立のしづらい場所であった。

本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合の比較を定量的に行った。以下に本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合の比較を表－2 に示す。ここでは生産性を評価する指標として、1 分で 1 人あたりに施工した鉄筋重量を「物的労働生産性」と定義して比較した。この結果より、本ロボットにより物的労働生産性は約 1.9 倍となった。1 箇所での配筋作業がおこなえる施工量は配筋の仕様(鉄筋間隔、鉄筋径、長さ)により変化するが、参考として本ロボットの準備・解体時間を考慮しても約 1.4 倍の効果があることが確認できた。



図－5 鉄筋加工図

表－2 適用結果例

	本技術(A)	従来(B)	(A)/(B)
鉄筋組立時間(分)	120	150	0.80
鉄筋工数(人)	4	6	0.67
物的労働生産性(*1)	8.33	4.44	1.88
一人あたり重量負担(kg)	0	28	
(参考) 準備・解体時間(分)	20+20	0	
準備解体を含めた物的労働生産性	6.25	4.44	1.41

*1(施工量(kg))/(工数(人)×時間(分))

3. 2 本技術の効果

以上の適用結果を踏まえ、開発の効果を述べる。

①生産性向上

純粋な配筋作業の効率性を評価する指標として、物的労働生産性(施工鉄筋重量/施工人数

/施工時間)を定義し比較を行った。比較の結果従来比 1.9～1.3 倍の生産性向上がみられた。

②省人化

長く重い鉄筋ほど省人化効果大きい。また、削減できた人員は他の鉄筋組立作業に従事できるため、施工効率が上がる。

③省力化

配筋時の鉄筋重量は、本ロボットが負担するため、作業員の配筋時重量負担はない。

④安全性向上・労働環境改善

鉄筋組立作業に必要な作業人員も取扱重量も減り、かつ自分で操作するため危険回避へのレスポンスもあがる。この結果、事故リスクが減り安全性が向上するとともに、重量物取扱い作業からも開放されるため、労働環境の改善につながる。

⑤機動的運用

四分割可能で、持ち運びが人力で容易に行える。したがって、重量負担が大きい作業にピンポイントでの使用が可能である。

⑥人とロボットの協働作業実現により、高齢熟練者のノウハウを継続して活用できる。(体力が落ちてでも使える)

4 課題と改良点

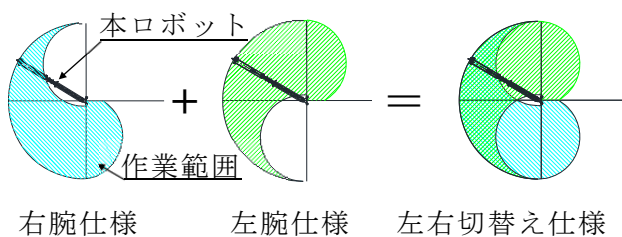
現場実証を行った結果以下の2点の改良を行うこととした。

4. 1 作業範囲の拡大(汎用性の拡大:一回の設置で作業できる範囲を増やす)

適用例で使用した時点ではアームの腕の動きは右腕同様の作業範囲であった。これは、操作グリップで感知した方向に肘関節部のモータを角度制御する際には、どちらか一方の方向に曲がるように制御する必要があったためである(ソフト的な制御の問題から困難であった)。そこで、人は一般的に右利きが多いため、自分の右腕のように直感的に操作できるように、右肘

同様の動き（回転）をするように回転角度を制限した。

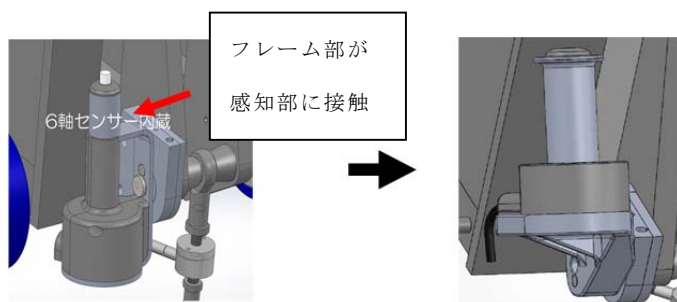
今回は、一度の設置でより広い旋回範囲を確保し、汎用性を上げるために、左腕同様の動きも可能になるように（図－6）制御システムの改造と左右切り替えスイッチの増設を行った。切り替えのタイミングとしては、肘部がまっすぐになった時点で右腕仕様と左腕仕様を切替えることでソフト的な問題を回避した。本年秋に現場に適用し、効果を確認する予定である。



図－6 旋回範囲の拡大

4. 2 操作グリップの操作性向上（操作グリップの形状変更）

当初想定した持ち方以外で操作した場合、極端な操作（上部へ目いっぱい動かす等）をおこなった場合、操作者の思う方向へ行きづらい事象が何回か見られた。これは、フレーム部にゆがみが生じセンサー感知部に接触していたことが原因であった（図－7）。そこで、原因となるフレーム構造を見直し、フレームのない新たな形状を採用することとした。今後適用を進める中でその有効性を引き続き検証していく。



図－7 操作グリップの改造

5 まとめ

本開発により、人とロボットの協働作業が実現し、重量のある鉄筋配筋作業において、省力化・省人化が可能となるとともに、安全性の向上、労働環境の改善が可能となった。

本技術は配筋作業にとどまらず、建設分野以外でも、一般的な重量物の移動・設置作業に適用が可能であり、広い汎用性を持つ。なお、現在の設置方法はH鋼材に取り付ける方式であるが、施工条件により変更可能である。

課題としては、上筋等の鉄筋架台上での適用時には、操作者の足場が必要なことや、鉄筋の縦起こしへの対応等があり、今後、取り組んでいく所存である。

【参考文献】

- 1) 大木智明、配筋作業をアシストするロボットアーム型作業支援ロボット『配筋アシストロボ』、電力土木、第388号、pp. 97-99、2017
- 2) 金丸清人、配筋アシストロボの開発、月刊技術士、6月号、pp. 4-7、2017

砂防現場におけるICT活用工事の 課題について

北陸地方整備局 湯沢砂防事務所 工務課 樋口 拓也

1 はじめに 湯沢砂防事務所の概要

湯沢砂防事務所は、信濃川の支流である魚野川、清津川、中津川の流域、約2200平方キロメートルにおいて、砂防事業を行っている。管内には、谷川岳・苗場山などからなる「上信越高原国立公園」、越後三山・守門岳・浅草岳などからなる「越後三山只見国定公園」、巻機山を中心とする「魚沼連峰県立自然公園」があり、四季の変化に富んだ自然豊かで美しい地域となっている。また、貴重種の動植物が多数存在し、その数は鳥類で37科131種、哺乳類で50種に及んでいる。

その一方で、豊かな自然の恵みを与えてくれる山々は非常に脆弱な地質と急峻な地形からなっており、梅雨から秋にかけては集中豪雨や台風により、冬から春にかけては豪雪および融雪によって土砂流出や崩壊などが発生しやすく、土砂災害が起きやすい地域となっている。そのため、砂防工事の現場は厳しい条件が多く、工事の実施にあたっては、安全施設の設置や出来形管理のための仮設などにコストがかかるケースも多く、現場内の作業スペースも少なく狭隘な現場条件にあるなど、他工事に比べ生産性が低下する傾向にある。

2 ICT土工の導入の動機について

建設業界では、就業者の高齢化と若年入職者の減少により将来的な人材不足が懸念されており、これらの対応として建設現場における生産性の向上が大きな課題となっている。国土交通省では、建設現場における一人当たりの生産性の向上を図ることで、建設業における人材不足に対応するため、建設現場への「ICTの全面的な活用」を推進している。ICTの導入により、測量、施工、管理などあらゆる場面において省力化が図られるとともに未熟な作業員の機械操作能力の補助・向上や、バラツキの少ない施工管理が期待されている。

3 三俣溪流保全工の事業概要について

清津川中流域の三俣地区では、日本海側と関東圏域を最短ルートで結び、災害時の緊急輸送道路にも指定されている国道17号と清津川が並走している。この地域は湯沢町の主要観光施設が多いことから、毎年多くの観光客が訪れている。平成23年9月の台風

12号による増水においては、上流から多量の土砂が流出するとともに、溪岸浸食等の被害が沿川の至る所で発生した。また、平成25年9月に台風18号による増水でも、同様に土砂移動により一部の護岸が被災を受けている。このため、重要交通網である国道17号の保全や清津川沿川地域の土砂災害を防止するため三俣溪流保全工の整備を推進している。（写真-1）なお、本稿で対象とするICT活用工事は、当地区にて清津川に合流する土石流危険溪流（八木沢）において、護岸工などを設置する工事である。施工範囲を図-1に示す。



写真-1 三俣溪流保全工の整備範囲

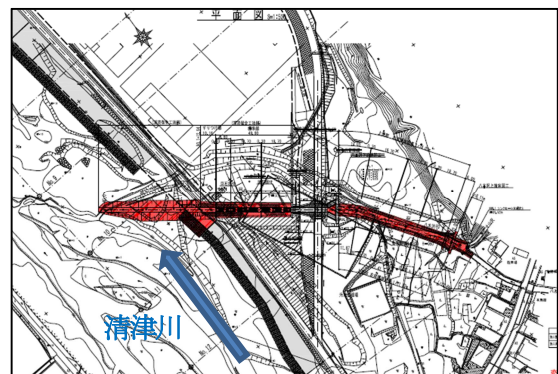


図-1 三俣溪流保全工その4工事の施工範囲

4 ICT土工の実施項目

4. 1 UAVによる3次元起工測量

UAV（無人航空機）（写真-2）を用いて上空から撮影された連続する空中写真を使い、対象範囲のステレオモデルを作成するとともに地物の3次元座標値を抽出することで起工測量を実施をした。



写真-2 本工事で使用したUAV

従来の測量方法では、地形測量・縦断測量・横断測量の3種類の測量を行う必要があり、多くの工程を要したが、UAVによる空中写真測量では、1フライトの飛行時間が約20分でおおよそ200、00m²を計測することが可能となる。（高度50M、オーバーラップ90%、サイドラップ60%の場合）

4. 2 設計図面の3次元化と事前調査

既存の2次元の図面（平面図、縦断図、横断図）から、3次元データを作成し、これに空中写真測量から得られた点群データを取り込むことで、設計図と現況地形の重ね合わせた3次元図面を作成した。これにより、必要となる切土量や盛土量が自動的に算出され、施工量が簡易かつ明確に把握することが可能となった。

3次元図面の作成と同時に施工適用範囲がGNSSの受信可能な環境である事を確認した。受信状況の確認は、RTK-GNSSを用いて常にFIX解（GNSSの公称精度を満足する測位が可能な衛星補足状態にあることを言い、一般的には上空に5個以上の衛星が必要となる）が得られる状況にあることをチェックすることで行った。（写真-3）



写真-3 RTK-GNSSを使用して受信状況を確認

4. 3 ICT建設機械による施工

4. 3. 1 ICT土工の範囲及び時期の検討

ICT土工の施行範囲の選定にあたっては、降雪があるとUAVによる出来形測定が困難であることを考慮し、降雪の影響がない箇所を選定するとともに、11月中のICT 土工部の施工を完了することを目標にした。ICT土工施工範囲を図-2に示す。

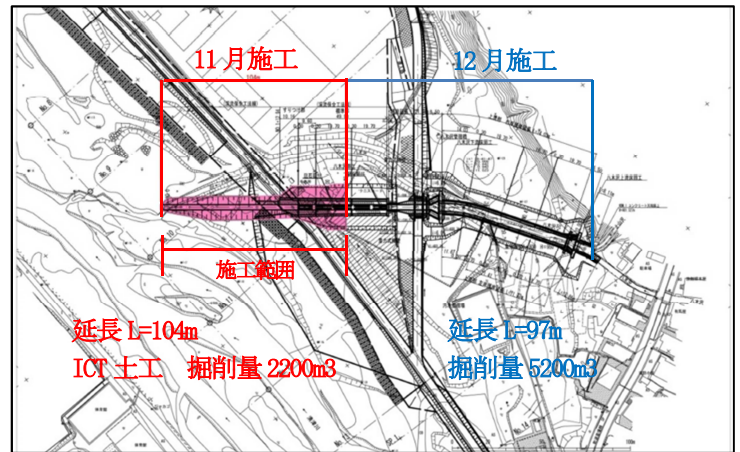


図-2 ICT土工の施工範囲

4. 3. 2 ローカライゼーション

現場管理で使用する座標系とGNSSで取得される位置情報（緯度・経度・楕円体高）が異なるため、事前にGNSS座標系を現場座標系に変換する必要がある。

（図-3）そのため、施工エリア内最低4点の現場基準点（X、Y）をGNSS測量機で観測し、変換データを作成後、建設機械に入力を行う。

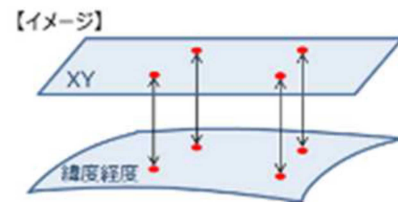


図-3 変換データの作成イメージ

上 現場座標系 下 GNSSで取得した位置情報

4. 3. 3 ICT 建設機械による施工

本施工では、マシンコントロールバックホウ（以下、「MC バックホウ」とする）を用いて土工の施工を行った。MC バックホウは、予め設計面の座標値を入力しておくことで、設計面に沿って自動でブームが稼働し、かつ、バケットの幅・輪郭点の中で最も設計面に近い点を自動検出しながら稼働範囲を制御するため過剰な掘削を防ぐことができる。（図-4、5、6）これにより、熟練のオペレータでなくとも過掘などのミスなく正確に床掘や法面作業ができる。又、掘削丁張りの設置の必要がないため、丁張り設置時の待機や降車しての掘削確認作業が不要となり、作業効率が向上する。併せて掘削箇所に補助作業者が進入する必要がなく安全性が向上する。

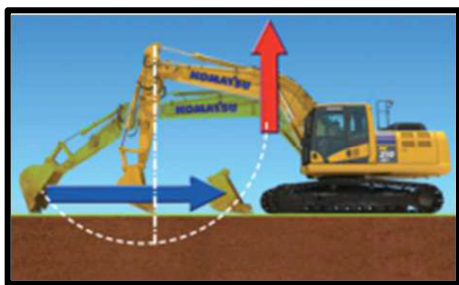


図-4 自動整地アシスト



図-5 最短距離制御

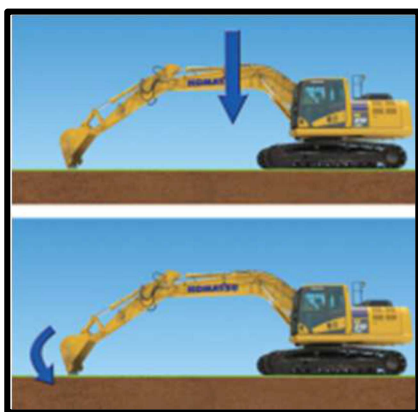


図-6 自動停止制御

バックホウに搭載された GNSS 機器及び配信される補正情報と建設機械に内製されている各センサーによりバケット刃先の位置の座標値が 3 次元で算出される。これらの値と 3 次元の設計データをリアルタイムで参照することにより、車載コントロールボックスのモニターに設計データと現状を表示され、これを確認しながら施工する。(写真-4) また、セミオート機能を併用する事により、自動制御で設計面以上の深掘を防止など、自動アシスト機能は、オペレータの技量に左右されない一定以上の品質を確保できる。



写真-4 切土法面整形の掘削作業状況及びモニター表示状況

4. 3. 4 精度確認方法

日々の点検はチェックシートに記載した項目について作業開始前に実施する。始業点検と合わせ、あらかじめ設置した既知点を用いて建設機械にて算出される座標値の精度確認を行う。精度確認は、既知の座標値を持ったチェック杭に MC バックホウの刃先を当て算出された座標値と既知の座標値との誤差が出来形管理値（基準高 $\pm 50\text{mm}$ ）以内であるかどうかを確かめて行うものであり、必ず作業前に実施する。(写真-5)



写真-5 チェック杭確認画面

4. 4 UAVによる3次元出来形管理

UAVを用いた空中写真測量により施工面の3次元点群データを取得することで出来形計測を行う。設計の3次元データと取得された施工面の3次元データを対比することで出来形を管理する。(写真-6)



写真-6 UAVによる出来形測定

5 従来工法とICT土工との比較

5. 1 測量について

従来工法では、縦横断測量を実施し、2次元測量成果を作成したうえで、3次元化する必要があるため、これに相当な時間が必要となる。これに対し、UAVを活用した写真測量等では、短時間で3次元測量を実施することができる。

5. 2 設計図面の3次元化

従来の方法では、単位延長あたりの断面から土量

などをその都度算出する必要があったが、設計図を3次元化し現況地形と参照することで、必要土量を自動的に算出・把握することが可能となり、施工量の算出や書類の整理が、効率的に実施することができる。

5. 3 施工について

従来方法では、熟練オペレータが、丁張りを指標としていたため、手間もかかるだけではなく、安全確保にも留意が必要であったが、MCバックホウによる「自動アシスト機能」を活用することで、丁張りの設置や、掘削面を確認しながらの作業が必要ないため熟練オペレーターでなくとも設計面付近の土工作業をスムーズに行うことができる。また、MCバックホウでは、法面整形時に施工範囲外にバケットの移動することが自動的に制御されることから、施工範囲外で作業する作業員との接触の危険性が無くなり安全性が向上した。

6 留意事項

今回、ICT施工を実施した結果、施工効率及び施工の観点で、従来工法と比較して優位であることを確認できた。

しかし、砂防現場の特殊性から以下の留意事項に配慮する必要があると確認できた。

6. 1 UAVによる空中写真測量

UAVによる空中写真測量では、計測対象範囲に作業員や仮設構造物、建設機械などが配置されている場合、地形面のデータが取得できない。そのため、可能な限り地形面が露出している状況で計測する必要がある。くわえて、砂防の現場で降雪期が早く撮影に適した期間が限られている。また、山間部のため樹木が生い茂っており、草木があると測量の精度が落ちる。

6. 2 建設機械の調達

MCバックホウなどは建設機械専門業者からの1ヶ月単位リースとなるため、リース期間に見合う工事量が必要となるが砂防の現場では左岸、右岸の掘削や本堰堤、副堰堤など掘削範囲が複数に分かれていて施工時期が異なるため一連では作業できない。

6. 3 出来形管理

掘削に伴い巨石や転石が多く、石を撤去又は存置する必要があり、定規断面で施工ができない場合が多く別途出来形管理の方法を検討する必要がある。

7 おわりに

今回の試行により、ICT技術を導入することで、従来

施工と比較して、施工の効率等が向上したという結果が得られたことは、「生産性向上」という目的を果たす手段として、ICT施工が効果的であることを確認出来たが、砂防の現場は、その特殊性によりいくつかの留意事項に配慮する必要があると確認出来た。

今後も事務所管内において、ICT活用工事の導入を推進することで、多様な現場条件における普及の可能性について検証を進めていきたい。

謝辞：本論文を作成するにあたり、「株式会社 森下組」や「株式会社 小松製作所」の皆様には資料提供等のご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

G I B工法（落石衝撃緩衝工法）

日本サミコン株式会社 技術本部 ○村田 佳久
補修事業部 大嶋 雅光
技術部 青木 裕

1 はじめに

経済の成長の中で、これまで整備されてきた我が国の社会資本ストックは、一方で老朽化が進んでいる。またこれまでのような経済成長が見込まれなくなった現代、新規建設に加え、このような既存社会資本ストックの適切な維持管理による長寿命化や有効利用を図ることがますます重要となっている。

道路際に設置する重力式コンクリート製落石防護擁壁は、設計対象となる落石衝撃力が小さいため、落石衝撃力の緩衝を目的とした緩衝体が設置されていないのが通常である。しかしながら、建設後の斜面危険度再点検や風化の進行により、近年では建設当初の想定設計荷重を超える評価がなされることもある。また、擁壁背面に緩衝体が設置されていないために落石衝突時にコンクリート表面が局部損傷した事例も報告されている。

このような背景から耐衝撃性能の向上やコンクリート面の局部損傷の回避を目的に、落石の受撃面にソイルセメントを用いた三層緩衝構造を設置した落石防護擁壁や、ジオセル緩衝体を設置した落石防護擁壁が提案され、その有効性が確認されている^{1), 2)}。

本研究では、重力式コンクリート製落石防護擁壁の受撃面に単粒度碎石を充填したジオセル緩衝体構造を設置した場合の合理的設計法の確立に向けて、重錘衝突実験²⁾から得られた重錘速度の時間的変化や反発係数に着目し、検討を

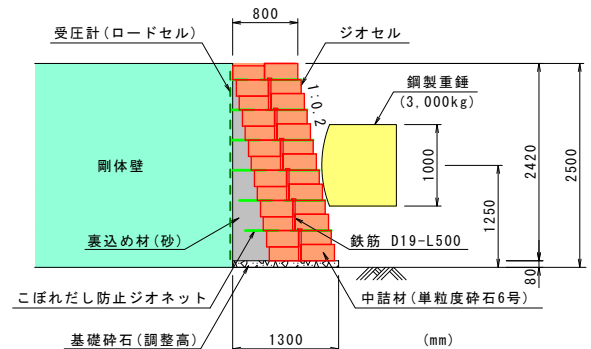


図-1 試験体の形状寸法



写真-1 ジオセル

写真-2 実験状況

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	重錘重量(kN)	落下高さ(m)	緩衝体(中詰材)	実測重錘衝突速度(m/sec)	入力エネルギー(kJ)
No.1	30	2.00	ジオセル緩衝体(単粒度碎石6号)	6.31	59.0
No.2		3.75		8.74	114.3
No.3*		5.00		9.61	138.5
No.4		7.00		12.37	233.3
No.5		9.00		13.42	273.3
No.6**		7.00		12.12	220.3

*: 緩衝体の部分的修復 **: 緩衝体の修復なし

行った。

2 実験概要

2.1 試験体の概要

図-1には試験体の概要を示している。試験体は、幅5,000mm、高さ2,500mmであり、コン

クリート製の剛体壁前面にジオセル緩衝体を全て覆うように施工した。写真-1に示す緩衝体の施工に使用したジオセルは、展開時の寸法が厚さ 800mm、幅 2000mm、高さが 200mm 部分と 170mm 部分をもつ階段状となっており、高さの異なる部分を交互に積層し 2 分勾配で全 12 段設置した。ジオセル緩衝体の中詰材には全国的に入手しやすく空隙により排水性能や凍上防止性能のよい単粒度碎石 6 号を充填し、1 層ごとに裏込め材の砂と合わせて振動プレートで転圧した後、次段のジオセルを積み上げた。また、各段の連結性を高めるために鉄筋を所定の間隔で打ち込んでいる。

剛体壁には全 24 個の伝達衝撃応力測定用のロードセルを、重錘衝突位置を基準に水平方向に 11 個、鉛直方向に 12 個規則的に埋設している。また、重錘にはひずみゲージ式加速度計を設置した。

2. 2 実験方法

実験は、写真-2に示すように門型の鋼製フレームに吊り下げられた鋼製重錘をクレーンにより所定の高さまで吊り上げ、振り子運動により緩衝体に重錘を一度だけ水平に衝突させることにより実施した。落下高さは、吊り上げられた重錘の衝突面中央から計測した。

本実験に用いた重錘は質量 3,000kg、直径 1m の円柱状であり、衝突面は球面状となっている。重錘衝突位置は、重錘中心が剛体壁の半分の高さとなるように地表面より 1,250mm 上方の位置としている。また、延長方向の重錘衝突位置は剛体壁の幅 5,000mm の中央としている。

表-1 には実験ケースの一覧と実測重錘速度、および速度から計算した入力エネルギーを示している。衝突速度は落下高さの計測位置の関係から理論値より大きい値となっている。なお、ケース No.3 に関しては No.2 の衝突後における

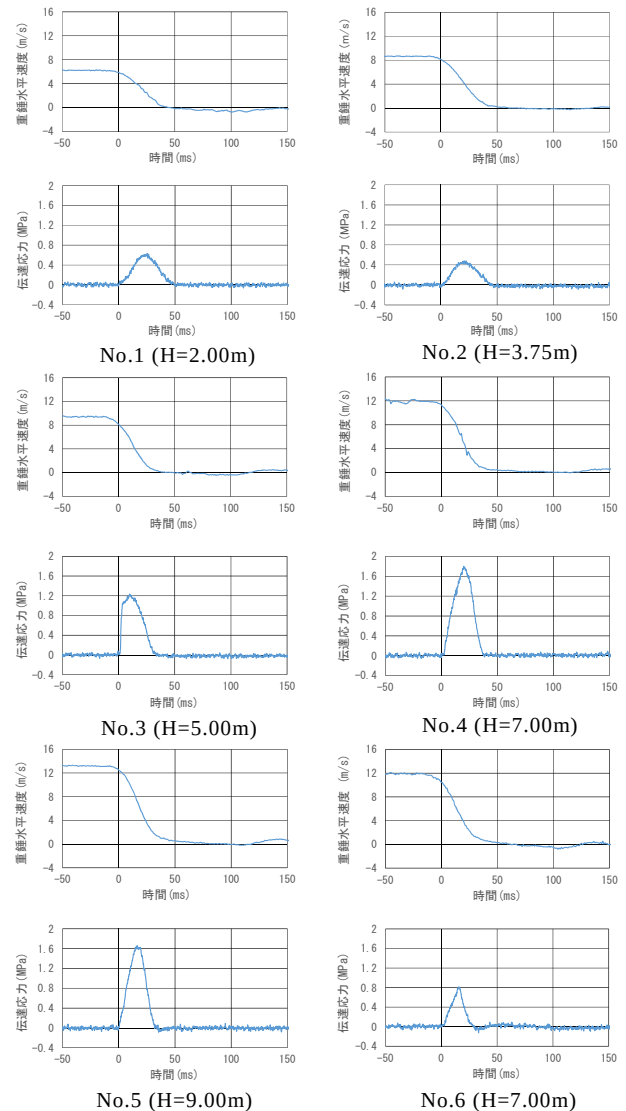


図-2 重錘水平速度と伝達応力の時間的变化

試験体の損傷が軽微であったことより部分的な修復とし、また、ケース No.6 に関しては、ジオセル緩衝体衝突後の損傷耐力を確認するため、No.5 の衝突後のジオセル緩衝体を修復することなく、重錘を衝突させている。

測定項目は、1) 重錘加速度、2) コンクリート製剛体壁前面に埋設された伝達応力、および 3) 高速度カメラによる重錘の衝突速度および貫入量である。なお、重錘の衝突速度および貫入量は高速度カメラにより撮影された画像データを用いて、重錘に貼付したターゲットマーカの移動量から算出した。

3 実験結果および考察

3.1 緩衝体への衝突速度

図-2には、実験ケースNo.1~6で得られた重錘衝突速度および衝突位置近傍における伝達応力の時系列を示している。なお、波形のゼロ軸は、衝撃力伝達開始時をゼロとしている。これによると、重錘の速度は緩衝体に衝突した時点から減速し始め、最大貫入量を経て重錘が緩衝体から離れた時点ではほぼゼロとなることが分かる。この傾向は衝突速度にかかわらず類似である。また、衝突（速度減少の開始）時点からゼロ近傍に達するまでの時間は、いずれの場合においても100msec以内である。

一方、伝達応力は重錘が衝突した時点から急激に立ち上がり、重錘が緩衝体を離れる（重錘速度がほぼゼロ）時点までの中間付近で最大値を示している。表-2には、これらの実測結果より得られる重錘の衝突速度を V_0 (m/sec)、最大伝達応力発生時における速度を V_m (m/sec)として整理している。 V_m は V_0 の約40%~66%の範囲にあることが分かる。

なお、表中のNo.3は部分的修復後に、No.6は緩衝体を修復することなく、重錘を連続衝突させていることから、これら2ケースを除外すると、 V_m は V_0 の40%~59%の範囲となる。このばらつきは、ジオセルの中詰材に使用した単粒度碎石や裏込め材砂の締固め程度や含水量等の影響によるものと考えられる。

以上より、コンクリート製剛体壁の最大伝達応力発生時刻において、重錘衝突による最大衝撃力を受けると考えた場合には、その速度は衝突時の60%以下まで減速されると判断される。

3.2 重錘の反発係数

図-2に示した重錘速度波形を見ると、衝突後一度減少しはじめた速度は、その後大きく変化すること無くほぼゼロとなっていく。このこと

表-2 各ケースにおける重錘速度

実験ケース	重錘重量 (kN)	落下高さ (m)	実測重錘衝突速度 V_0 (m/sec)	最大応力時重錘速度 V_m (m/sec)	比率 V_m / V_0
No.1	30	2.00	6.31	2.54	0.40
No.2		3.75	8.74	5.06	0.58
No.3 *		5.00	9.61	6.31	0.66
No.4		7.00	12.37	6.53	0.53
No.5		9.00	13.42	7.89	0.59
No.6 **		7.00	12.12	5.85	0.48

*: 緩衝体の部分的修復 ** : 緩衝体の修復なし

は、重錘が緩衝体に衝突後、ほとんど反発することなく、静止していることを示唆している。これより、重錘がジオセル緩衝体に衝突した際の反発係数はほぼゼロであると考えて差し支えない。なお、実験時に撮影した高速度カメラからの映像でも重錘の反発はほとんど生じていないことを確認している。

3.3 ラーメの定数

図-3には、重錘衝撃力および重錘貫入量と入力エネルギーの関係を示している。図-3(a)には、落石対策便覧³⁾に準拠し、下式(3-1)により算出した理論値を破線にて示している。上側の破線が $\lambda = 1,000(\text{kN/m}^2)$ 、中央の破線が $\lambda = 1,500(\text{kN/m}^2)$ 、下側の破線が $\lambda = 2,000(\text{kN/m}^2)$ で算出した結果である。

$$P_{\max} = 2.108 \cdot \lambda^{2/5} \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot H^{3/5} \cdots (3-1)$$

ここに、 λ : ラーメの定数(kN/m^2)、 m : 重錘質量(ton)、 g : 重力加速度(m/sec^2)、 H : 落下高さ(m)である。

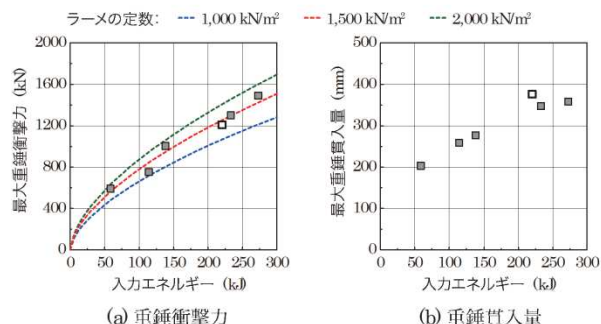


図-3 衝撃力および貫入量と入力エネルギーの関係

(a)図より、重錘衝撃力の最大値は、単一載荷や連続載荷にかかわらず、入力エネルギーの増大とともに増加しているのがわかる。また、単一載荷、連続載荷にかかわらず、すべての実験ケースにおいてラーメの定数が $\lambda = 1,500(\text{kN/m}^2)$ の破線に概ね一致することがわかる。

(b)図より、最大重錘貫入量は、単一載荷の場合では重錘衝撃力と同様に、入力エネルギーの増大に比例して大きくなるのがわかる。実験 No.6 の連続載荷の場合には、同程度の入力エネルギーである実験 No.4 と比較すると、貫入量が30mm 程度大きい。

4 研究成果の現場への反映

本研究では、重力式コンクリート落石防護擁壁に見立てた剛体壁にジオセル緩衝体を設置し重錘を衝突させ、実験結果から得られた重錘衝突速度から、吸収可能な落石エネルギーが増加することがわかった。これにより過去に建設された既存の重力式コンクリート製落石防護擁壁の受撃面にジオセル緩衝体を新たに設置することで対応可能な落石エネルギーを増やし、既存の重力式コンクリート擁壁の対落石対応能力の増大と、延命化が図れる。



写真-3 既設擁壁の背面

また、コンクリート擁壁落石受撃面へのジオセル緩衝体の新たな設置は、大型機械を必要とすることなく比較的簡単でかつ短期間で施工可能なことから、現場への迅速な対応も可能である。

5 まとめ

- 1) ジオセル緩衝体を配置することにより、コンクリート剛体壁への伝達応力が最大となる時点において、重錘の速度は、衝突時速度の60%以下に低減する。エネルギー換算すると36%以下に低減され、重力式コンクリート製落石防護擁壁のエネルギー吸収能力の観点から、ジオセル緩衝体は非常に有効であると考えられる。
- 2) ジオセル緩衝体を設置して重錘を衝突させた場合は、重錘の反発は極めて少なく、反発係数はほぼゼロと考えられる。
- 3) ジオセル緩衝体を設置した場合の重錘衝撃力の最大値はラーメの定数を $\lambda = 1,500(\text{kN/m}^2)$ として計算した値と概ね一致する。

謝辞

本論文のとりまとめにあたり、国立大学法人室蘭工業大学の小室雅人准教授、栗橋祐介講師、東京インキ株式会社の大山亮貴氏に多大なるご指導をいただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 牛渡裕二，岸 徳光，保木和弘，前田健一：ソイルセメントを有する三層緩衝構造を設置した1/2 スケール落石防護擁壁模型に関する重錘衝突実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.2，pp.727-732，2012.7
- 2) 大山亮貴，小室雅人，栗橋祐介，村田佳久，渡部忍：単粒度碎石を充填したジオセルの緩衝効果に関する実験的研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.61A，pp.1022-1011，2015.3
- 3) 社団法人 日本道路協会：落石対策便覧，2000.6

安全性と効率性を考慮した集水井内部の点検手法

国立研究開発法人 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター

研究員 ○金澤 瑛

特任研究員 丸山 清輝

上席研究員 石田 孝司

1. はじめに

地すべり等防止法施行（1958 年 3 月 31 日）から 60 年近くが経過し、地すべり対策施設全般に老朽化が進んでいる。地すべりの主たる誘因となる地下水を速やかに地すべり地外に排出することを目的に設置される地下水排除施設においても例外ではなく、これまでに整備された地下水排除施設の 30% 程度に機能低下を示す異常が確認されているとの報告がある¹⁾。地下水排除施設のひとつである集水井においては、井筒の破損、変形、腐食、湛水や、集水管・排水管の閉塞、天蓋や柵の変形、破損、腐食などの異常が確認されている（図-1）。これらの異常を放置すると地下水排除が適切に行われず、地すべりの安定度低下が危惧されることから、集水井の異常を早期に発見し対処するため、集水井内部の点検が実施される。

しかしながら、集水井内部の点検に際しては、有毒ガスや酸欠、管理施設であるトラップや踊り場の腐食・劣化による落下などの危険性がある。またこれら作業時の危険性に加えて、各地に数多くの集水井が設置されているという現状から、点検実施には多くの時間と手間を要しているという課題がある。そのため、安全かつ効率的な集水井内部の点検手

法が求められており、点検業務を受注するコンサルタント事業者においても 各種の検討が進められている^{2) 3)}。

当センターでは、集水井内部の点検において安全性と効率性を考慮した点検手法の実用化に向けて、集水井内観察カメラを用いた井戸内部の点検手法を考案し、開発を進めている⁴⁾。本稿では、考案した集水井内観察カメラを用いた点検手法の概要を報告する。

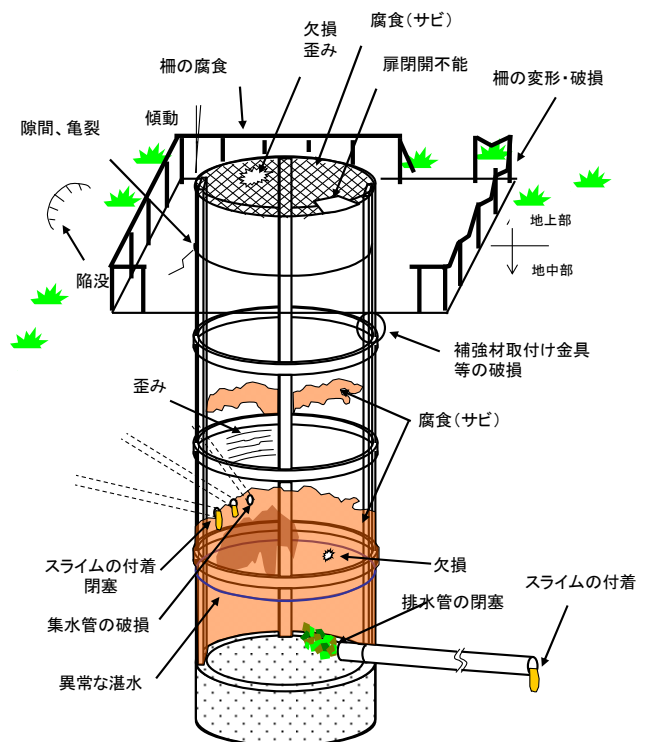


図-1 集水井の老朽化による異常:参考文献 1)

2. 集水井内部点検手法

2.1 集水井内部点検手法の概要

集水井の点検を安全に行うためには、点検者が集水井内に立ち入ることなく、集水井の外から井戸の内部を点検することが望ましい。そこで、井戸内部を遠隔点検できる集水井内観察カメラを考案した。

図-2は、考案した集水井内観察カメラを用いた点検手法のイメージを示したものである。集水井内観察カメラは大きく分けて撮影部と昇降機から構成されている。撮影部には周囲360度全方位を一度に撮影できる全方位カメラを備えており、この撮影部を昇降機からリボンロッドで吊り下げ手動で上下させることで、集水井内部全体を一度に撮影しながら点検できる手法とした。撮影部を吊り下げた際、撮影部の重みにより振り子運動や回転運動が生じ撮影の支障となることから、それらの運動を抑制するも手法についても検討した。

を高速回転させジャイロ効果を発揮させることで、カメラの水平方向の回転を抑制する仕組みである。小型DCモーターは単三乾電池3本で駆動させた。

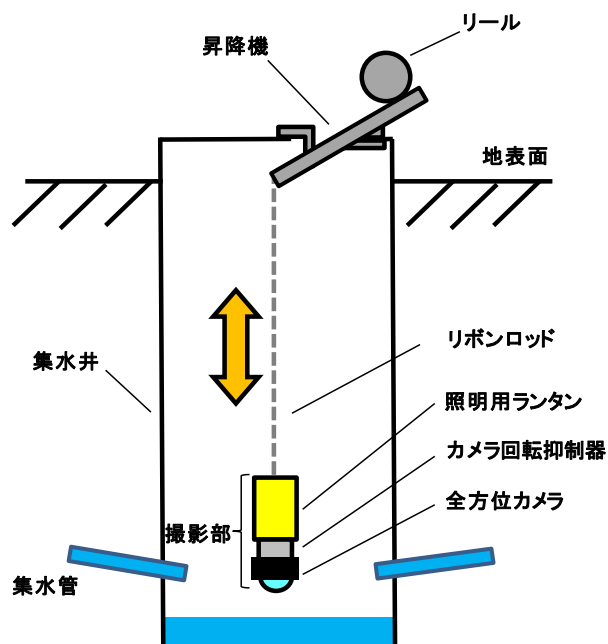


図-2 集水井内観察カメラのイメージ

2.2 撮影部

図-3左には、撮影部の全体を示した。撮影部は、防水ケースに収納した全方位カメラ、照明用ランタン、カメラの回転運動を抑制する回転抑制器から構成されている。全方位カメラは4K画質の360度アクションカメラ（Kodak社製PIXPRO SP360 4K）を用い、照明用ランタンは光量1000ルーメンのLEDキャンプ用ランタンを用いた。タブレット端末を用いて全方位カメラとWi-Fi通信することで、撮影した映像をリアルタイムで確認することが可能である。

図-3右には、回転抑制器を示した。回転抑制器は、フライホイール（円盤）とジンバル軸（回転台）を組み合わせた機構である。2台の小型DCモーターによりフライホイール

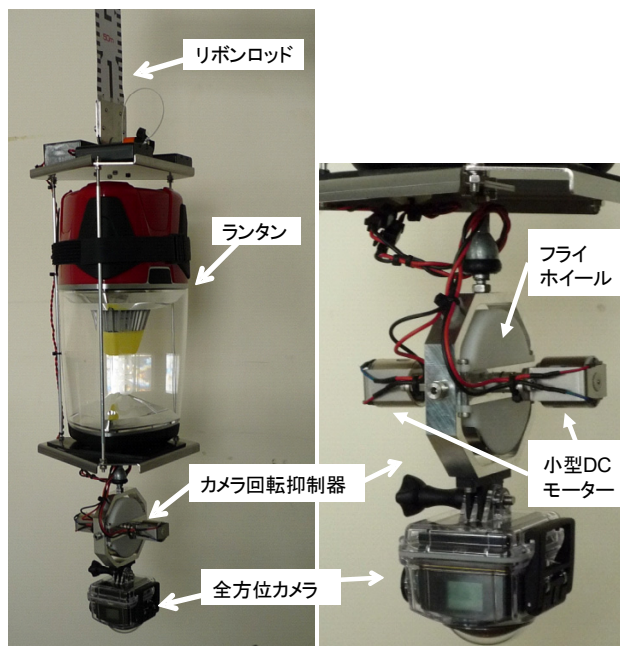


図-3 撮影部（右図：カメラ回転抑制器拡大）

2.3 昇降機

図-4には、試作した昇降機の全体を示した。昇降機は、架台とリールで構成されている。集水井出入り口から井筒中心に向けて架台を挿入し、前後2点で集水井出入り口の枠に固定する構造である。リールにはリボンロッド（長さ50m、幅60mm）が巻かれており、伸ばしたリボンロッドの先端に撮影部を取り付ける。リボンロッドは、幅が広くねじれ難いことから回転運動が生じ難く、また幅方向には振り子運動が生じ難いという特徴があることから、回転運動と振り子運動を抑制するために採用した。点検時は、リールに取り付けた昇降ハンドルを手動で回すことによりリボンロッドの長さを調節し撮影部を上下させることで、任意の位置での撮影を可能とした。なお地すべり地での運搬を考慮し、大部分をアルミ製とすることで軽量化を図った。

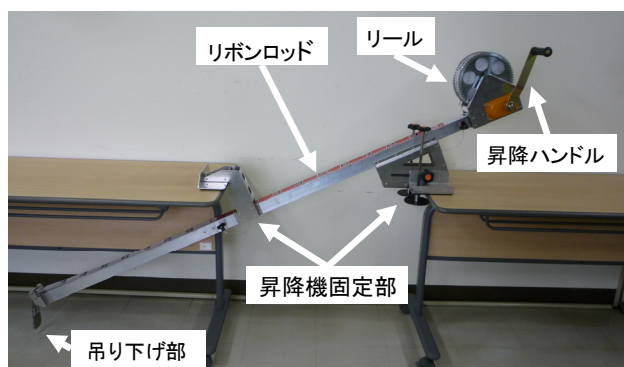


図-4 昇降機

3. 集水井内部点検手法の現地試験

現地試験は、新潟県上越市の猿供養寺地すべりに設置されている集水井1基、及び群馬県藤岡市の譲原地すべりに設置されている集水井5基において実施した。

図-5には集水井内観察カメラを集水井に設置した状況を示した。昇降機を設置する集水井出入り口の形状は設計時の仕様により様々であるが、今回実施した2箇所の集水井6基で

は適切に設置し固定することが可能であった。集水井内の撮影は、集水井出入り口から挿入し吊り下げられた撮影部が静止したことを確認した後、昇降ハンドルをゆっくりと回し、撮影部を降下させることで実施した。

図-6には猿供養寺地すべりと譲原地すべりにおいてそれぞれ全方位カメラで撮影した映像から作成した展開写真を示した。図-6上図ではコンクリート製の井筒本体の状況や集水管の閉塞状況、踊り場の劣化状況などが確認できる。図-6下図ではライナープレート製の井筒本体、パーティカルスティフナー（補強用の鉛直鋼材）、トラップの腐食、劣化の状況などが確認できる。本点検手法を適用することによりこれらの映像（画像）を取得することが可能であったことから、集水井内部の状況を概略的に確認するには本手法が有効な手段となると考えられた。一方で、本手法の課題として、展開写真にすることで発生するゆがみ（偏心）や写真拡大時の画質の粗さ、解像度の低さが挙げられた。そのため、詳細な点検に用いるためには、より高性能・高解像度のカメラを用いることや画像処理を施すなど、さらに工夫すべき点があることが明らかとなった。



図-5 集水井内観察カメラ設置状況

4. おわりに

本論文では、地すべり対策施設である集水井内部の点検において、当センターで開発を進めている安全性と効率性を考慮した点検手法の概要を報告した。

点検手法の適用性を検証する現地試験では、本試験地においては集水井内観察カメラの現地集水井への設置及び撮影を問題なく行うことができ、集水井の内部の概略的な状況を効率的かつ安全に映像で確認することが可能であった。一方で、展開写真のゆがみや画質の粗さが現時点の課題として浮き彫りとなり、より詳細な点検に用いるためには、さらなる改良を施す必要があることが明らかとなった。

今後は、展開写真のゆがみや画質の粗さに関する課題点について、本点検手法においてどこまでの精度が要求されるのかを見極めた上で、必要とあればより高性能・高解像度のカメラを用いるほか画像処理を施すなどの工夫により、ゆがみのない高画質な映像（画像）の取得を目指す必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 野呂智之，丸山清輝，中村明，ハスバートル：地すべり防止施設の維持管理に関する実態と施設点検方法の検討ー地表水・地下水排除施設ー，土木研究所資料第4201号，2011
- 2) 井藤嘉教，山邊康晴，齋藤真，浅野広樹，折谷佳城，丸井英明：芋川地区地すべりにおける集水井工内部点検カメラを用いた施設点検事例，第55回日本地すべり学会研究発表会講演集，p.159-160，2016
- 3) 川俣英之，神野忠広，工藤卓也，小嶋伸一，山部哲，川崎巧，奥山遼佑：全方位カメラによる集水井の撮影事例，第55回日本地すべり学会研究発表会講演集，p.288-289，2016
- 4) 金澤瑛，丸山清輝，石田孝司：集水井内観察カメラの開発，第55回日本地すべり学会研究発表会講演集，p.292-293，2016



図-6 集水井内部展開写真（上図：猿供養寺地すべり，下図：譲原地すべり）