

自由課題 一般部門＜イノベーション I＞

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	河川マネジメントを意識した福井版CIMモデルについて	近畿地方整備局 福井河川国道事務所	渡邊 俊夫	4-1
2	那覇北道路橋梁詳細設計におけるBIM/CIM活用事例とその効果について	沖縄総合事務局 開発建設部 南部国道事務所 調査第二課	城間 和樹	4-7
3	働きやすい建設現場を目指して ～営繕工事における週休2日(現場閉所)の確保に向けた取り組み～	中部地方整備局 営繕部 技術・評価課	岩田 美穂	4-12
4	ICT浚渫工(河川)の出来形管理基準策定の検討	近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 調査課	山口 敦久	4-17
5	熊本地震からの新技術を活用した災害復旧	九州地方整備局 熊本復興事務所 工務第二課	森 英高	4-23
6	タブレット端末を用いた直営点検の効率化	独立行政法人 水資源機構 木曽川用水総合管理所 電気通信課	藤本 生	4-28
7	中部横断自動車道 猛禽類調査における先進的調査及び稀少観測結果の事例について	関東地方整備局 甲府河川国道事務所 工務第二課	番場 良平	4-32
8	岩国大竹道路における橋梁設計のための断層調査	中国地方整備局 広島国道事務所 調査設計課	三上 里奈	4-36
9	一般国道9号北条バイパスコンクリート舗装災害復旧(最終報告)について	中国地方整備局 倉吉河川国道事務所 道路管理課	河中 響平	4-42
10	iRICの実用事例を踏まえた札内川自然再生の取り組みについて	北海道開発局 帯広開発建設部 治水課	天羽 淳	4-48
11	除雪機械の情報化施工技術の検討について	北陸地方整備局 北陸技術事務所 施工調査・技術活用課	長谷川 崇	4-54

河川マネジメントを意識した 福井版 CIM モデルについて

渡邊俊夫¹・山本一浩²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 総括保全対策官 (〒918-8015 福井市花堂南 2-14-7)

²近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理第一課 (〒918-8015 福井市花堂南 2-14-7)

本稿は、一般的な CIM の定義に対し、河川の維持管理段階のフェーズに着目し、その課題から、福井版 CIM モデルの概念を提案するものである。

福井河川国道事務所では、ALB（航空測深レーザ）により河道の 3 次元点群データが整備され、河川全体の地形モデルを検討できる状況にある。そこで筆者らは河川における CIM モデルについて、モデルの定義と CIM 導入ガイドライン（案）第 3 編 河川編（以下：ガイドライン）において十分に検討することとなっている、地形モデルの詳細度について検討を行い、さらに、河川マネジメント全体の各フェーズを通しての CIM モデルの活用について検討を行った。

キーワード CIM モデル、詳細度、CIM 導入ガイドライン、河川マネジメント、ALB

1. はじめに

CIM の定義は、調査・計画・設計段階から 3 次元モデル(Modeling)を導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、3 次元モデルと連携させ、建設事業(Construction)で発生する情報(Information)をライフサイクル全体で共有・活用(Management)して建設生産性を向上させようとする考え方である。その概念として、構造物の 3 次元モデルが中心にあり、その周辺に建設生産システムの各フェーズが配置されている¹⁾。

しかし、河川の維持管理段階のフェーズに着目した場合、管理施設が既に完成し、維持管理されている施設が堤防も含め、多く存在するとともに、河川管理者が直接管理する施設以外に、河川法に基づき許可されている工作物も多く、それら全てを 3 次元

化することは、モデル作成に多大な時間と労力及びコストがかかるため、既設構造物については、今後の課題と言える。また、3 次元化にとらわれすぎて、本来の河川管理がおろそかになってはならない。

福井版 CIM モデルでは、上記のことを踏まえ、中心に河川マネジメントを置き、その周囲に、調査・計画、設計・積算、施工、維持管理の各フェーズを配置するとともに、さらに環境と防災も加えた建設生産システムとする概念を提案する（図-1）。

当事務所においては、平成 28 年度に九頭竜川の 18k~29k（約 11km）において ALB による 3 次元点

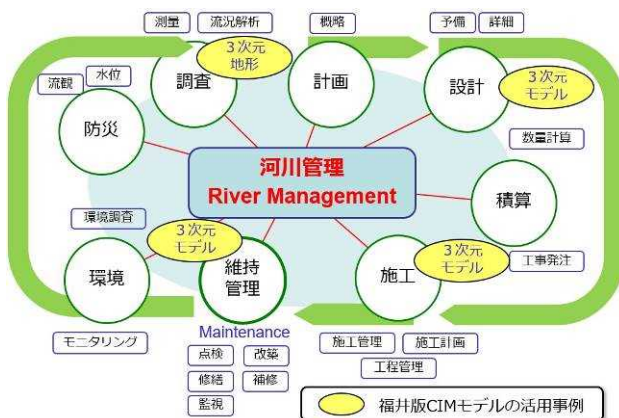


図-1 福井版 CIM モデルの概念

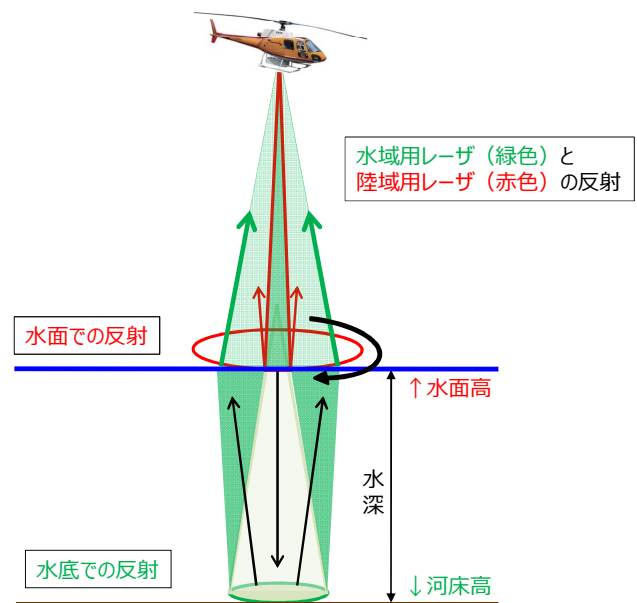


図-2 ALB 機器による測深イメージ

群データを取得しているため、地形モデルについては3次元によるCIMモデルの検討を行う状況にある。ALBとは、計測機器に水部用と陸部用の2つのレーザを搭載し同時に運用するもので、水部用のレーザは、可視域のレーザ光（緑色）を用いることにより、これまで取得できなかった、河床の地形も計測できるものである²⁾。なお測深性能は、透明度や水質に大きく依存するが、今回使用した計測機器の仕様によると透明度の1.5倍とされ、最大15mまで測深でき、その精度は±0.15mである。また、計測密度は、陸部10点/m²、水部1点/m²である。計測イメージを図-2に示す。

以上のように3次元点群データが整備されていることを踏まえ、河川全体の地形モデルに着目し、モデルの定義と詳細度について検討を行い、さらに前述した福井版CIMモデルの概念に基づいた、河川マネジメント全体におけるCIMモデルの活用について検討を行った。

2. 地形モデルの定義と詳細度

地形モデルとは、ALBによる3次元点群データからノイズ除去を行い、作成したオリジナルデータから、さらに建物・建造物、樹木・植生等をフィルタリング処理したグランドデータより現況地形をTINサーフェスで表現するもので、河川区域内の現況地形（堤防、低水路、高水敷）も含めたCIMモデルである（図-3）。

(1) 河川管理におけるCIMモデルの定義

河川管理における地形モデルの範囲は、河川区域とし河川法で区分している、1号地に該当する箇所を「低水路モデル」、2号地に該当する箇所を「構造物モデル（堤防）」、そして3号地に該当する箇所を「高水敷モデル」と定義する。なお、本稿では構造物モデルのうち堤防のみを検討するため、「堤防モデル」と定義することとする。

(2) 各モデルの詳細度

ガイドラインにおいて、地形モデルの詳細度については、「モデルの軽量化」を注意事項として記載され、「詳細度を十分に検討して作成する」となっている³⁾。

ALBから生成され、納品される地形モデルの最小

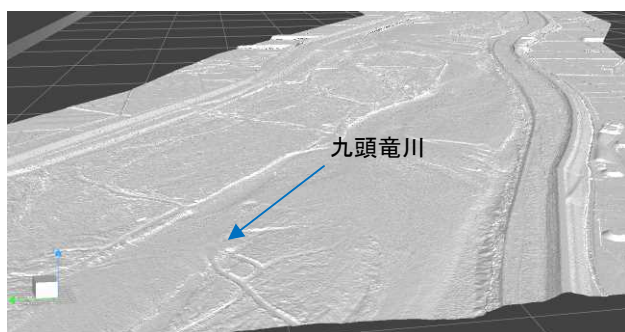


図-3 河川区域内の地形モデル

メッシュサイズは計測密度から0.5mグリッドで生成されており、今回の計測範囲の3次元点群データ数は30,774,532点、地形モデルの納品形式であるLandXML1.2とした場合のファイルサイズは5,847MBと、操作性を考慮した場合、そのままCIMモデルとして活用するには課題となる。

前項で定義した各モデルについて、河川管理を踏まえた詳細度について、最適なメッシュ間隔の検討を行った。

a)堤防モデル

堤防は洪水流を安全に流下させ、堤内地への洪水氾濫を防ぐための重要な河川管理施設であり、維持管理においては、堤防法面の変状等を把握し日常的に安全な状態にしておく必要がある。堤防は以上のような特性から堤防形状を正確に再現するため、堤防モデルのメッシュ間隔は0.5mグリッドとし、詳細度「400」を提案する。

b)低水路モデル

低水路は、常に流水がある箇所であり、河道形状が刻々と変化していくため、堤防と同等の詳細度とする必要はないと考える。河床地形が3次元形状で取得できることで、2次元不定流解析モデルが容易に作成できるようになった。例として平水流量の流下時の解析においては、2mグリッドでも流速分布等の流況情報を十分得ることができる。また、環境面においても瀬・淵や砂州等の形状が2.0mグリッドでも十分に表現できることから、低水路モデルのメッシュ間隔は2.0mグリッドとし、詳細度「200」を提案する。

c)高水敷モデル

高水敷の維持管理では、河岸侵食による高水敷幅の変化による堤防防護ラインへの影響等の把握が必要であるが、堤防や低水路と比較して、高い詳細度は必要がないことから、高水敷モデルのメッシュ間隔は5.0mグリッドとし、詳細度「100」を提案する。

以上の考え方より決定した、各モデルのメッシュ間隔で3次元モデルを生成した結果の3次元点群データ数及びLandXML1.2のファイルサイズを表-1に示すとともに、河道モデルを図-4に示す。ファイル容量が縮小されたことで、生成された河道モデルの利用において、データのインポート、エクスポートのスピードアップを実現した。このスピードアップは、河道モデルの活用において重要である。

表-1 地形モデル最適化前後の比較

最適化前		最適化後	
点群データ数 (ポイント)	LandXML1.2 (MB)	点群データ数 (ポイント)	LandXML1.2 (MB)
30,774,532	5,847	4,269,884	651

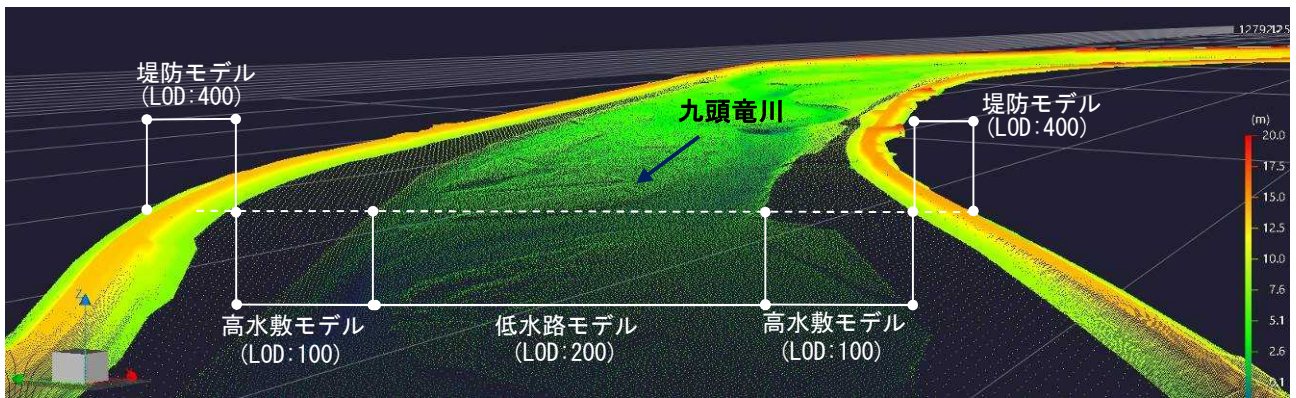


図-4 最適化後の河道モデル

デル、高水敷モデル、低水路モデルである。

3. 河川マネジメント全体での活用

第1章で提案した、福井版 CIM モデルの概念の中心である、河川マネジメント全体において、前章で定義し、検討した詳細度に基づく河道モデルの活用について、各フェーズの段階毎に取りまとめた。

(1) 調査・計画段階での活用

現在の流況解析は、主に 200m 間隔の定期横断面に基づいた準 2 次元不等流計算より、水位縦断や流下能力等の把握を行っている。しかし、河道モデルを活用することで、任意の箇所において横断面が作成できることから、これまで把握できなかった距離標間の流速把握が可能となる。例として、九頭竜川の 21.6k~21.8k において 20m 間隔で横断を作成し準 2 次元不等流計算を行った。その結果、右岸側の樹木と護岸の間で流速が変化していることが確認できた (図-5)。

また、面的な流況把握として 2 次元平面解析も低水路モデルを活用することで、容易に解析モデルを生成できる。

なお、この項で使用した CIM モデルは、堤防モ

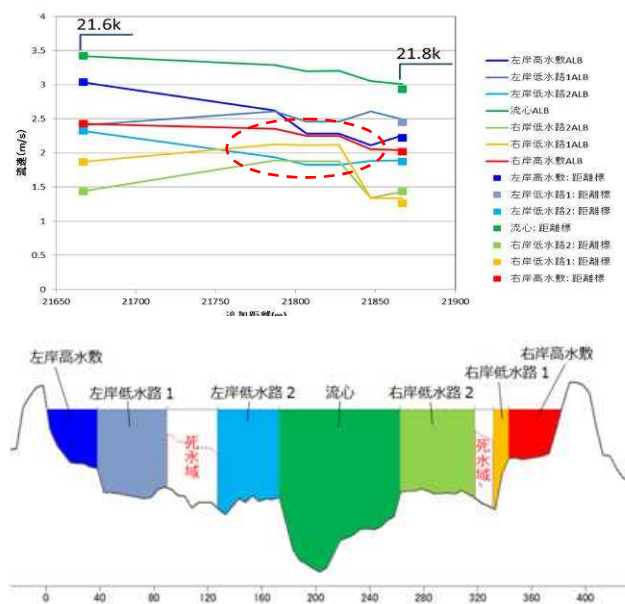


図-5 20m 間隔による不等流計算

(2) 設計段階での活用

既往研究において、ALB による横断面と実測による較差及び標準偏差において、河川定期横断面測量の実施要領の基準である $\pm 15\text{cm}$ を満たしているとの報告がされており²⁾、堤防の量的整備の設計をする際に、測量を省略し堤防法線と堤防モデルを活用した 3 次元設計が可能であると考えられる。

堤防法線は一般的に堤防表法肩としているため、現況堤防の表法肩を堤防法線とし、計画堤防高、定規断面を設定し、堤防断面が不足している区間において 3 次元モデルを生成した。なお、定規断面の 3 次元モデルを本稿では「堤防定規モデル」と定義する。その結果を図-6 に示す。

この図からもわかるように、堤防高は十分確保されているが、法面が所定の断面を有していないことが分かる。そのため、この区間において、余盛り高、堤防法面勾配及び堤防天端舗装等の条件を設定した上で、量的整備の 3 次元設計を行った。その結果を図-7 に示す。不足していた法面が確保され、完成断面となっている。この 3 次元設計で得られた土量算出結果を積算に、そして、土工モデルについては LandXML1.2 形式で施工段階にわたすことで、ICT 施工が可能となる。

なお、この項で使用した CIM モデルは、堤防モデル、高水敷モデルである。

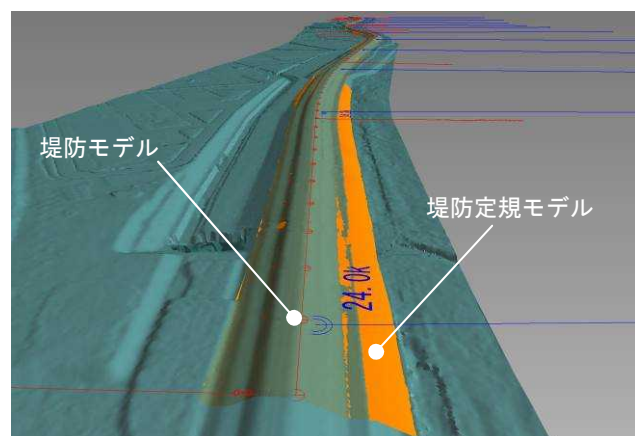


図-6 地形モデルと堤防定規モデル

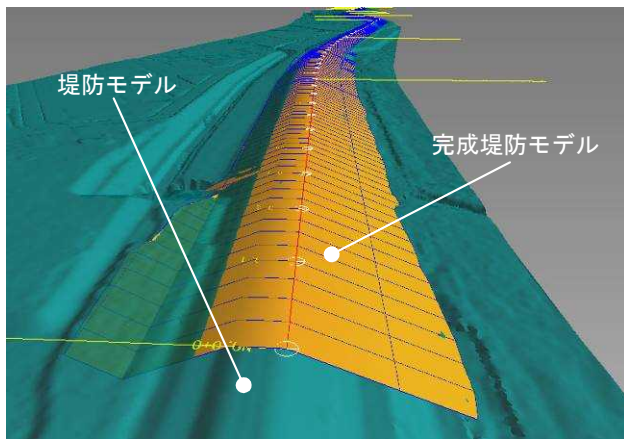


図-7 完成堤防モデル

(3) 施工段階から維持管理へ

前項の3次元設計から、ICT施工用の3次元モデルが受け渡されることで、施工段階では、建設会社が3次元モデルを作成する必要がなくなり、効率よく工事に着手できる。また、工事完成後に納品されるデータはLandXML1.2形式であるため、地形モデルの更新が可能であり、最新の地形モデルにより維持管理が可能となる。

当事務所でのALBは、平成28年12月に計測しているが、その後ICT施工による河道掘削工事が着手され平成29年2月に完了している。そのため、工事箇所においてはALB計測以降に、地形が変化しているため、地形モデルを工事後に納品された3次元モデルに置き替えている(図-8)。

(4) 維持管理段階での活用

a) 堤防法面の面的把握

TINサーフェスの三角形から外積計算により法線ベクトルを算出することで、勾配や方向が計算され

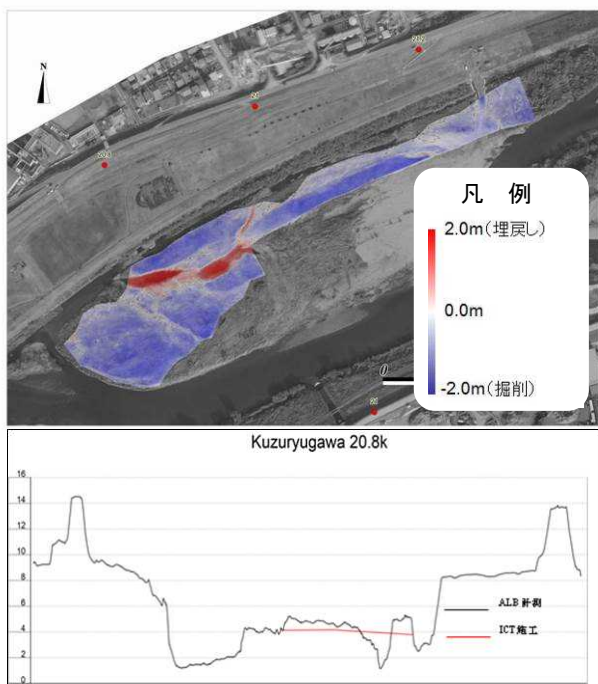


図-8 ALB計測後の工事完成データの活用

る(図-9)。この方法で算出された全てのTINに勾配による色分けを行うことで、面的に堤防法面勾配を把握することができる(図-10)。左岸19.6k付近(図-10(a))では、表・裏法面ともに1:2.5以上の緩やかな法面勾配であることが確認できる。右岸21.6k付近(図-10(b))では、表法面が1:2.5以上、裏法面が1:2.0の法面勾配で天端幅も広いことが確認できる。この箇所は堤内側に側帯を設けている箇所である。左岸20.6k付近(図-10(c))では、表・裏法面ともに、堤防上部が1:1.0、堤防下部が1:2.0と寺勾配となっていることが確認できる。

このように、勾配ベクトルによる法面勾配の把握は、堤防全体の量的整備状況について確認することができ有用な方法であり、法面勾配が1:2.0より急な勾配の堤防箇所においては、堤防断面が不足している可能性が高いことが容易に確認できる。このような区間を対象として、量的整備の必要性が把握できることで、堤防量的整備について、計画・設計段階へと繋げて行くことが可能と考える。

なお、この項で使用したCIMモデルは、堤防モデルである。

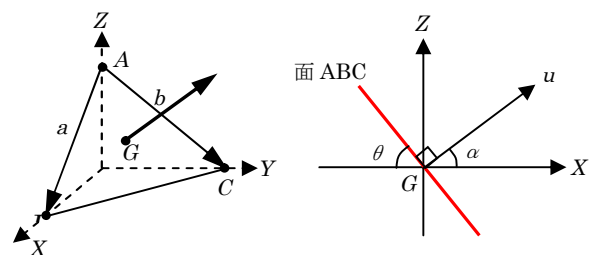


図-9 三角形ABC面の傾斜角の算出

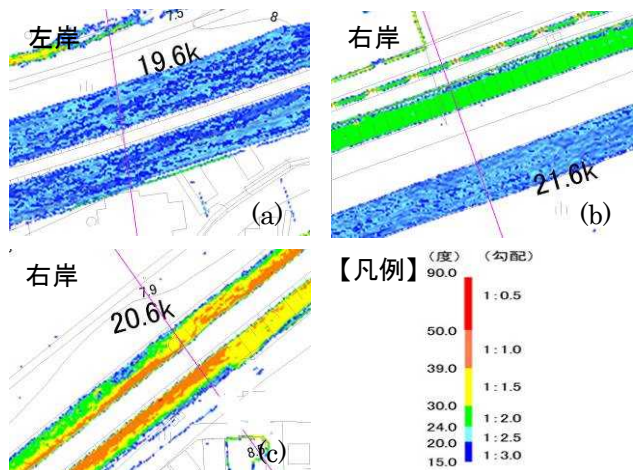


図-10 勾配ベクトルによる堤防法面の確認

b) 2次期の点群データによる樹木繁茂状況の確認

河道内樹木は主に砂州等に繁茂していることが多いことから、水部が取得されないLPデータも活用できる。そこで、平成25年度に取得したLPによるデータと、今回のALBによるデータとの差分により、河道内樹木群の変化を確認した。なお、樹木の点群データはオリジナルデータであるため、低水路モデルとの差から樹木高をそれぞれの年次で算出し、樹木高の2次期の差分から樹木の変化を捉えた。その結果、①成長している樹木、②新たに萌芽し繁茂している樹木、③消失した樹木が確認できた。この変化を捉えることで、樹木伐採計画や流況解析による死水域の設定に活用できるものと思われる(図-11)。

なお、この項で使用したCIMモデル及びデータは、低水路モデルとLP、ALBのオリジナルデータである。

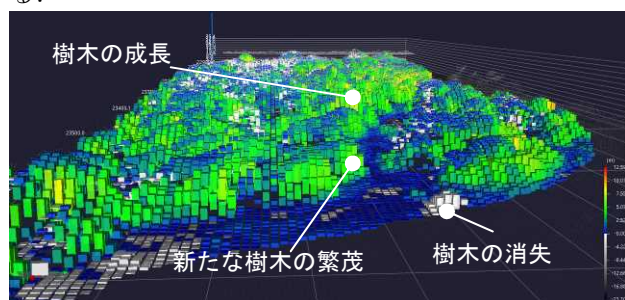


図-11 2次期の差分による樹木群の変化

c) 許可工作物の確認(橋梁)

許可工作物の一つである橋梁の橋脚部では、洗掘が発生している可能性が高い。しかし、著しい洗掘は河川の増水など洪水時に生じやすいことから、変状の確認が困難であることが多い。また、対象となる橋梁付近に定期横断の測線が存在しない場合には、洗掘の状況が確認できず、見逃す可能性も高い。ALBによる河道モデルを活用し、橋脚部の洗掘状況を確認した。

福井大橋(国道8号)を対象として、河川占用許可申請時の2次元図面から、LOD200で3次元モデリングを行い、橋梁の諸元及び世界測地系座標を属性として付与し、低水路モデルと統合(図-12)。これにより福井大橋の金沢方面(上り)の橋脚部周りでは、下流の範囲において洗掘されており、周辺の河床よりも最大で約3m洗掘され、フーチングから約1mの高さまで河床低下していることが確認できた。この洗掘状況については、今後の橋梁点検の基礎データとなるよう、道路管理者に情報提供を行っている(図-13)。

使用したCIMモデルは、低水路モデル、構造物モデル(LOD200)である。

4. おわりに

本稿は、一般的なCIMの定義に対し、河川の維持管理段階における課題から、福井版CIMモデルの概



図-12 LOD200で3次元モデリングした橋梁

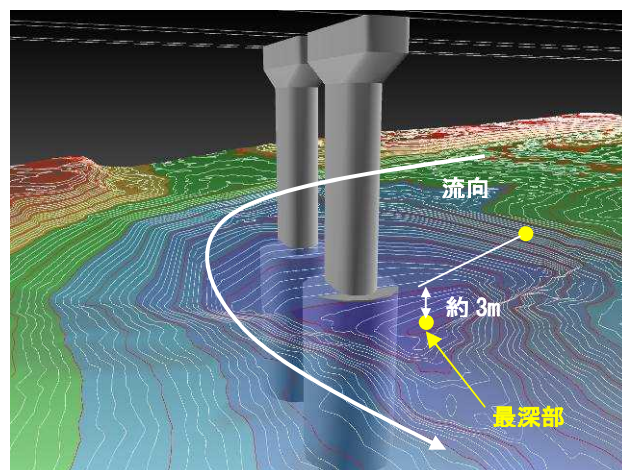


図-13 橋脚周辺の洗掘状況の確認

念を提案した。

また、当事務所において、ALBによる河道の3次元点群データが取得されていることから、河川全体の地形モデルについて、河川区域における河川管理を踏まえたモデルの定義を行うとともに、定義された各モデルの利用形態に応じ、詳細度の検討を行い、河道モデルを生成した。さらに、この河道モデルを河川マネジメント全体の各フェーズにおいて、CIMモデルの活用について検討を行った。

調査段階では、水位縦断や流下能力等の流況解析において、河道モデルを活用し、九頭竜川の21.6k~21.8kにおいて20m間隔の横断により、準2次元不等流計算を行い、従来の計算では解明できなかった、樹木と護岸間の流速の変化を確認した。

設計段階では、堤防の量的整備の設計において、堤防法線と堤防モデルを活用した3次元設計を試みた。設計の前段として堤防法線を確定するため、定規断面に基づく3次元モデルを生成。これを堤防定規モデルと定義し、設計条件を設定した上で、量的整備の3次元設計を行った。また、3次元設計で得られた土量算出結果を積算に、そして、土工モデルを施工段階にわたすことで、ICT施工の可能性を確認した。

今回の試みでは、3次元設計による土工モデルを活用したICT施工の実施までは出来ていない。今後は、

この3次元設計による土工モデルを活用したICT施工を行い、実用性について検証して行きたい。

施工段階では、前述のように、3次元設計で得られた土工モデルでのICT施工は実施していないが、過去のICT施工による河道掘削工事後に納品された3次元モデルを地形モデルに置き替え、常に最新の地形モデルで管理することができることを確認した。

維持管理段階では、堤防法面の形状を面的に把握出来ることから、堤防の量的整備箇所の特定制と、その箇所における計画・設計段階へと繋げて行くことの可能性について考察した。

また、河道内樹木の繁茂箇所を対象とはて、2次期の点群データの差分により、樹木の生長度、新たな繁茂、樹木の消失といった、樹木群の変化の把握を行った。

さらに、橋脚周りの洗掘状況について、低水路モデルと構造物モデルにより、洗掘状況を確認し、橋脚周りの河床低下状況の確認を行った。

今後は、本稿で提案した詳細度や河川マネジメント全体の各フェーズのCIMモデルの活用法について、さらなる検討を重ねた上で課題等を抽出し、河川マネジメントに即したCIMモデルのあり方について、研究を行って行きたい。

参考文献

- 1)土木学会誌：CIMから広がる新たな世界，第100巻 第6号，pp.8-9，2015.
- 2)山本一浩ら：グリーンレーザ(ALB)を用いた河川測量の試み，河川技術論文集，第23巻，pp.293-298，2017.
- 3)国土交通省：CIM導入ガイドライン（案）第3編 河川編，pp.84-86，2018.
- 4)牧野護ら：航空LPデータを用いた山岳地帯道路の散水融雪設備計画，土木情報利用技術論文集，Vol.18，pp.235-242，2009.
- 5)国土技術政策総合研究所：土木工事数量算出要領（案），2017.

那覇北道路橋梁詳細設計における BIM/CIM活用事例と効果について

知名 広道¹・城間 和樹²

¹沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第二課 課長 （〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14）

²沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第二課 調査係長 （〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14）

那覇北道路における上之屋IC部と漁港地区は、港湾施設および漁港施設を跨ぐ橋梁であり、各施設管理者や関係者等との円滑な関係機関協議が事業推進の上で特に重要となる。構造的特徴として、上之屋IC部は本線橋と上下線ランプ橋が3層構造で構成された複雑な橋梁であり、錯綜する下部工施工や上部工架設に対する全体的な施工計画の把握、施工時の各施設や現道への影響を確認する必要がある。本稿ではこれらの課題について、BIM/CIMを活用した事例と効果について報告を行う。

キーワード 橋梁詳細設計, BIM/CIM, 関係機関協議, フロントローディング

1. 事業概要とBIM/CIM活用目的

(1) 事業概要

那覇北道路は、沖縄西海岸道路（読谷村～糸満市）のうち那覇市港町から那覇市若狭間に至る延長2.2kmの地域高規格道路である。本道路は、那覇市都市圏の環状道路を形成し、一般国道58号の那覇市街地および周辺部の交通混雑の緩和を図るとともに、那覇港・那覇空港へのアクセス性向上による物流の効率化、観光振興を支援する道路で、那覇港航路や既存の漁港施設、港湾施設を跨ぐため、路線の全てが橋梁構造の高架道路で計画されている。特に、上之屋IC部は本線橋梁の上下にランプ橋が交差する3層構造橋梁となっている。



図-1 上之屋IC部（CIMモデルレンダリング加工）

(2) BIM/CIM活用目的

BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling/Management) とは、計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても情報を充実させながらこれを活用し、合わせて事業全体にわたる関係者間の情報を共有することにより、一連の建設生産システムにおける業務効率化・高度化を図るものである。

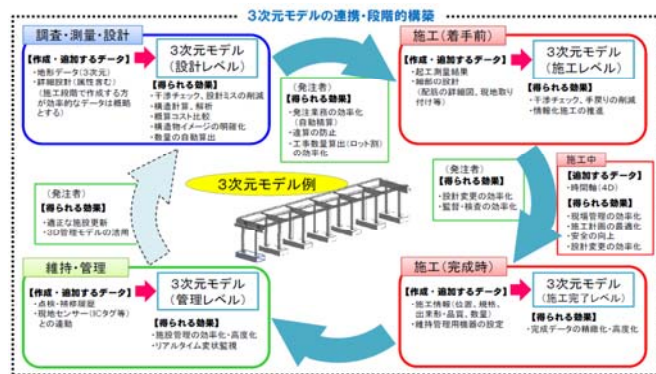


図-2 BIM/CIM の概念¹⁾

那覇北道路事業における橋梁設計を実施するにあたり、以下の課題が想定されていた。

- ・既存の漁港施設や港湾施設を通過する橋梁であることから各施設管理者や関係者との協議を円滑に行うことが事業進捗上、特に重要であること。
- ・上之屋 IC 部は、本線橋梁とランプ橋が交差する複雑な3層構造で構成されているため、錯綜する下部

工，上部工の施工計画の全体把握，各施設や道路への影響を事前に確認する必要があること。

上記課題に対して，BIM/CIM 活用し，効率的に事業の進捗を図るとともに施工時によく見られる鉄筋過密箇所での干渉を 3次元モデルで確認することで，施工段階での課題を設計段階で前倒し（フロントローディング）で解決を図ることを目的としている。

2. CIMモデル作成

(1) CIMモデル

a) CIMモデル作成範囲

CIMモデル作成対象は，那覇北道路の中間部に位置する上之屋IC部および漁港地区とした。

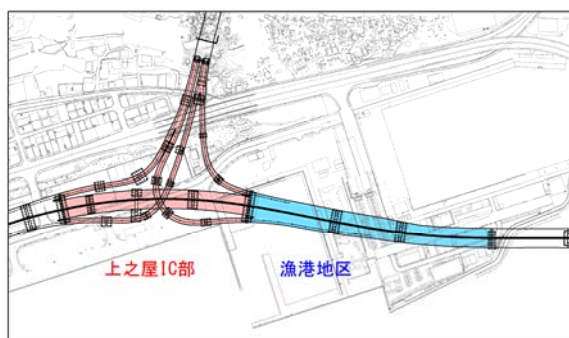


図-3 CIMモデル作成範囲

b) CIMモデル作成対象

CIMモデルとして作成する対象物は，表-1および図-4に示すとおりとする。

表-1 CIMモデル作成対象

統合モデルの構成	備 考
線形	道路中心線
地形	国土地理院・基盤地図情報(5mメッシュ)
オルソ画像	航空写真
構造物	設計対象構造物(橋梁主橋体, 下部工検査路)
仮設物	ベント, 重機(クレーン)
周辺構造物	周辺の家屋, 道路他

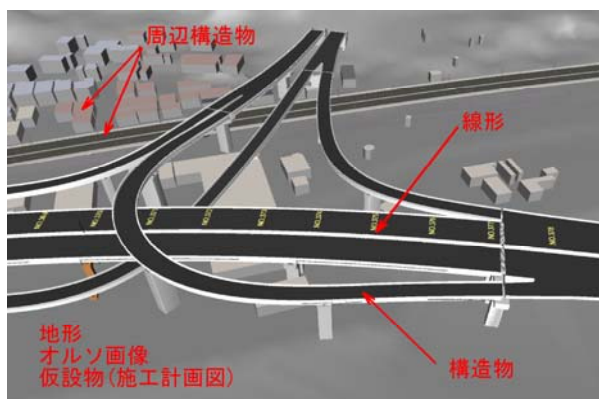


図-4 CIMモデル作成対象

c) 構造物の詳細度

CIMモデルにおける設計対象構造物の詳細度は，広域モデルは詳細度300，鉄筋等の干渉確認用モデルは詳細度400とした。

表-2 CIMモデルの詳細度

詳細度	共通定義	工種別の定義	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	構造物(橋梁)のモデル化 対象構造物の位置を示すモデル(橋梁)橋梁の配置が分かる程度の矩形形状、若しくは線状のモデル	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。 標準断面で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準断面図を対象範囲でスワイプさせて作成する程度の表現。	橋梁形式が確認できる程度の形状を有したモデル (橋梁)対象橋梁の構造形式が分かる程度のモデル。 上部工では一般的なスパン比等で主桁形状を定める。モデル化対象は主構程度で部材厚の情報は持たない。 下部工は地形との高さ関から概ねの規模を想定してモデル化する。	
300 広域モデル	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル(橋梁)計算結果を基に主構造をモデル化する。主構造は鋼板桁であれば床版、主桁、横桁、対傾構を指す。また、添接板等の接続部形状はここでモデル化する。 下部工は外形形状及び配置を正確にモデル化。	
400 鉄筋等の干渉確認用モデル	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造等の細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度300に加えて接続部構造や配筋を含めてモデル化 (橋梁)桁に対してリブや吊り金具といった部材や接続部の形状と配置をモデル化する。また、主な付属物(ジョイントや支窗)の配置と外形を含めてモデル化する。 接続部構造(ボルトはキャラクター等で表現)、床版配筋や下部工の配筋をモデル化する。更に、各付属物の形状と配置を正確にモデル化する。 下部工は配筋モデルを作成すると共に、付属物の配置とそれに伴う開口等の下部工の外形変化を追加する。	
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル	—	—

3. BIM/CIM活用内容

本設計業務におけるBIM/CIM活用内容として，以下に示す5項目を実施した。

- ・3次元モデルを用いた関係機関協議（詳細度300）
- ・鉄筋等の干渉確認（詳細度400）
- ・施工計画の全体把握（詳細度300）
- ・点検動線の確認（詳細度400）
- ・CIMモデルへの属性情報の付与（詳細度400）

(1) 3次元モデルを用いた関係機関協議

一般的に関係機関協議では，これまで2次元図面を利用する場面が多いが，関係者は土木分野に従事していない人が殆どであり，2次元図面の読み取り等において誤解を生じることがあった。本業務では，BIM/CIMを活用した3次元モデル（広域統合モデル）を協議に利用することにより，円滑な意思伝達を図った。

港湾施設および漁港施設管理者を対象として，橋梁完成後，周辺施設や交差道路に対しどのように影響を与えるか，3次元モデルを利用し説明を行った。

以下項目の情報伝達を明瞭に行うことができ，円滑に協議を進行することができた。

- ・路線全体の完成イメージ（図-5）

- ・不特定多数の視点場からの橋梁の見え方 (図-6)
- ・桁下道路走行車両からの視認性の確認 (図-7)



図-5 路線全体の完成イメージ



図-6 漁港内施設からの橋梁の見え方



図-7 走行シミュレーション(漁港内道路)

(2) 鉄筋等の干渉確認

鉄筋や部材間において干渉箇所があった場合、施工時に支障をきたすため、3次元モデルを活用し干渉確認を実施した。

本業務においては、RC門型橋脚の支承台座部と梁隅角部を対象とし、干渉確認を実施した。

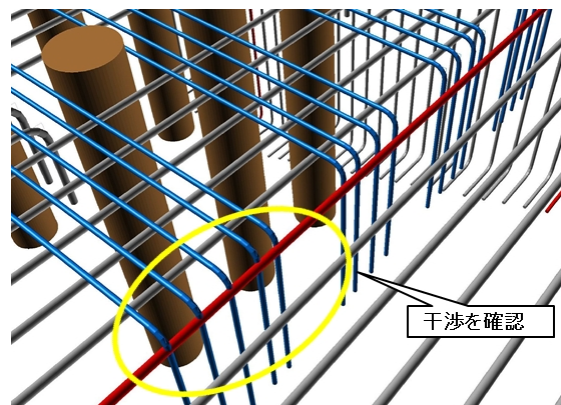


図-8 支承台座鉄筋と梁部鉄筋 (対応前)

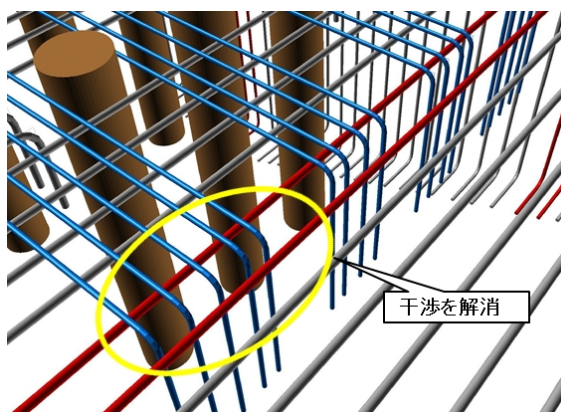


図-9 支承台座鉄筋と梁部鉄筋 (対応後)

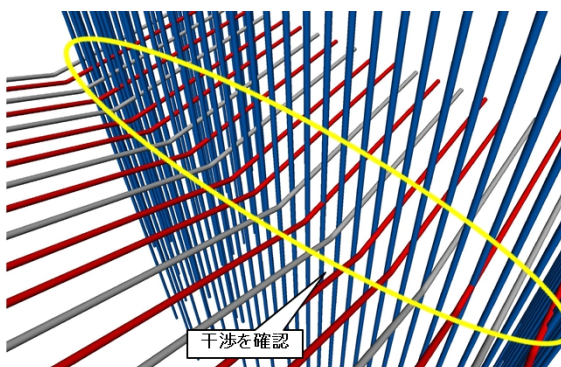


図-10 梁隅角部ハンチ鉄筋と柱鉄筋 (対応前)

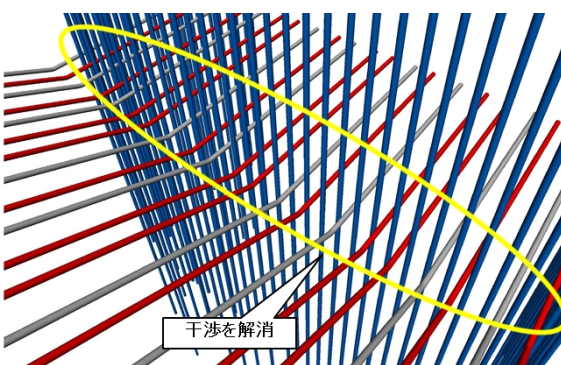


図-11 梁隅角部ハンチ鉄筋と柱鉄筋 (対応後)

3次元モデルの活用により、鉄筋や部材間の干渉箇所

が確認できた。干渉箇所に関しては、設計へのフィードバックを行い、干渉を避けた計画で再計算を実施した。

従来の2次元設計においては、このような干渉確認は見落とされがちであり、3次元可視化による効果といえる。

(3) 施工計画の全体把握

複雑な施工手順が想定される3層構造となる上之屋IC部を対象とし、施工計画を確認するため、3次元モデルを活用したシミュレーション動画を作成した。

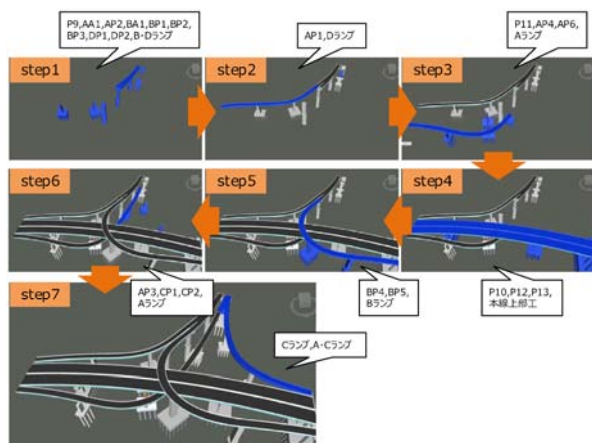


図-12 施工ステップイメージ（骨格）

本活用は、施工全体のイメージ把握や施工時の課題抽出に有効といえ、今後、本データに周辺構造物や重機・仮設材等を付加することで、詳細な施工計画に活用することが期待できる。

(4) 点検動線の確認

点検設備として計画している下部工検査路、昇降梯子等を利用する上での課題の有無を設計段階で確認することを目的として、点検動線のシミュレーション動画を作成した。

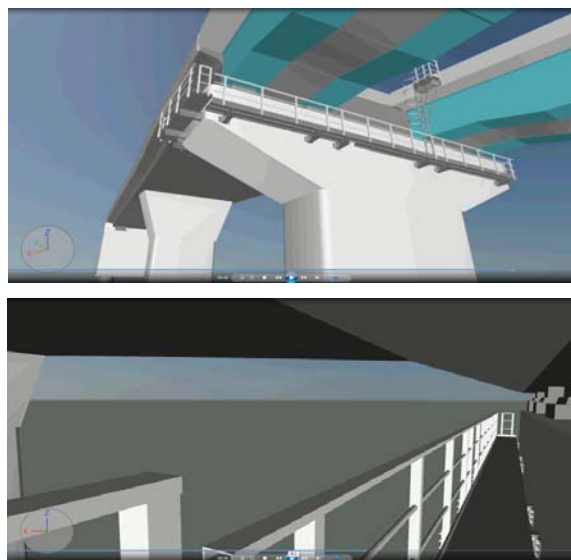


図-13 点検動線の確認

当該橋脚部は最終的に落橋防止装置が省略でき、下部工検査路動線の障害となるべく構造がなくなったため、2次元図面においても確認できるレベルとなった。しかし、複雑な取合い部においては、本手法が有用であると考えられる。

(5) CIMモデルへの属性情報の付与

施工および維持管理段階での活用を視野に、設計段階での各種情報を確認・更新できるよう3次元モデルに属性情報項目を付与した。

属性付与については、属性情報をEXCELデータよりCIMモデルへインポートする手法を採用した。なお、属性情報項目はCIM導入ガイドライン（案）に準拠した。

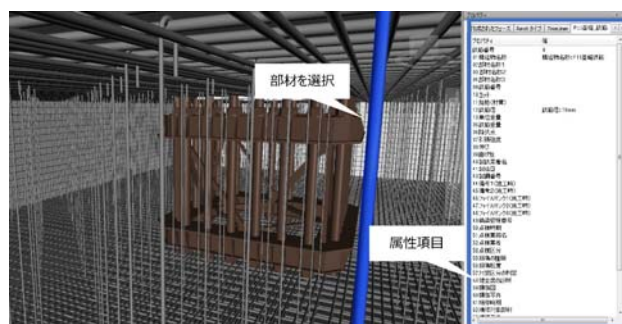


図-14 属性情報の表示

4. BIM/CIM活用による効果と課題

(1) BIM/CIM活用の効果

本業務を通じて得たBIM/CIM活用の効果を以下に示す。

- ・ 3次元モデルで表現することで、対象構造物が明確化されるため、土木技術者はもちろんのこと土木分野に従事していない人も含め、情報共有が容易に計ることができた。地元説明や関係機関協議において、BIM/CIMを活用することの効果は大きいといえる。
- ・ 設計段階での施工計画の確認や鉄筋干渉、点検動線確認を行うフロントローディングにより、施工段階での課題を事前に回避することで効率化が図れるものと考えられる。
- ・ 本業務の中では、属性情報の付与を実施したが、今後、属性情報と3次元モデルの形状データを連動させることにより自動数量算出に展開できると考えられる。自動数量算出により、数量算出の省力化と算出ミス防止に有効と考えられる。

(2) 今後の課題

BIM/CIM活用の効果を確認できた一方で、以下に示す課題についても確認できた。

- ・ BIM/CIMの導入あつては、設備面（CIMソフト、ハイスペックPC）や人材面（研修等）などにおいて整備が必要である。

- ・ BIM/CIM対応のソフトウェアは、現段階において万能ではないことから今後の機能充実に期待したい。
- ・ BIM/CIM活用は試行段階であるため、3次元データの作成は一部に限定しており、従来の2次元図面も作成する必要があり、従来よりも業務期間を要する。

最後にBIM/CIMは、試行段階ではありますが、今回の活用事例からも効果を確認しており、今後も多くの活用事例を収集し、活用の幅を広げることでより大きな効果が期待できるものと思われる。

参考文献

1)国土交通省 他：CIM導入ガイドライン(案)，平成29年3月

働きやすい建設現場を目指して ～営繕工事における週休2日（現場閉所） の確保に向けた取り組み～

岩田美穂¹・村上芳孝²・白金秀俊²・坪井貴司²

¹中部地方整備局 営繕部 技術・評価課（〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1）

²中部地方整備局 静岡営繕事務所（〒460-8514 静岡市葵区春日2-4-25）

営繕工事において、週休2日（現場閉所）を実現し、定着することは、大きな課題であるとともに、新たな魅力の創出であり、担い手確保に向けて大きな前進となる。

働きやすい建設現場を目指し、現状把握のため平成29年度の営繕工事受注者へヒアリングを実施し、問題点を洗い出すとともに、ありがたい姿に向かう取り組みを開始した。現在の取り組み状況及びこれまでに確認した課題とその対応（案）について紹介する。

キーワード：週休2日、現場閉所、意見交換会、ワーク・ライフ・バランス

1. はじめに

政府の「働き方改革実行計画」（平成29年3月）に基づく“建設業における働き方改革”は、建築分野でもスタートした。建築分野における公共工事のシェアは1割に過ぎず、官民が一体となって取り組むことが重要となる。官庁営繕は、その道しるべとして働き方改革の取り組みを先導することが求められる。

中部地方整備局営繕部は、週休2日（現場閉所）の阻害要因の把握や改善方策につなげるため、平成29年度の営繕工事受注者へヒアリングを実施し、課題とその対応（案）をまとめるとともに、昨年度、官庁営繕部から報道発表された週休2日（現場閉所）工事のモニタリングの実施（建設現場の就労環境の改善や担い手確保に向けて）に先駆け、静岡県警察学校炊食浴棟建設工事においてモニタリングを実施し、受注者との意見交換会を開催するなど、週休2日（現場閉所）の確保に向けた取り組みを実施している。（図-1）

2. 営繕工事の現状と課題

(1) 営繕工事の施工条件

営繕工事の現場は、更地に建設する新築工事のほか、

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Press Release

平成29年10月23日
国土交通省中部地方整備局
静岡営繕事務所

営繕工事で「土日祝日の現場閉所」（週休2日）のモニタリングを実施
～静岡県警察学校炊食浴棟の建て替え工事に着手～

1. 概要：
国土交通省中部地方整備局静岡営繕事務所では、警察庁から支出委任（警察庁の予算の執行を国土交通省に委任すること）により、静岡県警察学校炊食浴棟（食堂・浴室）の建て替え工事に着手します。
炊食浴棟の整備に当たっては、警察学校の学生の「熱い湯」となるよう、「快適性と機能性」を追求した計画としています。
また、施工段階では、「働き方改革」推進のため、「土日祝日の現場閉所（週休2日）のモニタリング」を行う工事とし、完成時には各工事受注者及び協力会社の方々にアンケートを実施して、土日祝日閉所の阻害要因の把握や改善方策につなげていく予定です。
なお、工事の善手に先立ち、工事受注者の主催による「安全祈願祭」が執り行なわれます。

2. 工事概要：建 物 名：静岡県警察学校 炊食浴棟
建 設 地：藤枝市下之郷1685-1（静岡県警察学校 敷地内）
構造・規模：鉄筋コンクリート造 地上2階建て
延べ面積 1,229㎡
工 期：平成29年9月から平成30年9月（約13ヶ月）
工事受注者
建築工事 名工建設(株)静岡支店
電気設備工事 小林電気工業(株)
機械設備工事 三建設工業(株)静岡営業所



炊食浴棟 完成予想図

図-1 報道発表資料

現施設の同一敷地内に新築する工事や使用中の庁舎を改修する工事など、施工条件は様々である。平成 29 年度の営繕工事を例にあげると、更地での新築工事は無く、現敷地内での新築工事が 1 割、現施設の改修工事が 9 割と新築工事の割合も低い状況ながら、全て現敷地内の工事であり、工事を進めるうえで施設管理者の理解と協力は不可欠である。

(2) 設計図書における規定とその対応

公共建築工事標準仕様書には、「行政機関の休日に関する法律に定める行政機関の休日に工事の施工を行わない。ただし、設計図書に定めのある場合又はあらかじめ監督職員の承諾を受けた場合はこの限りでない。」とある。

実態は、開庁日に施工可能な工事は限られており、停電、断水、騒音、振動、粉塵の発生する工事など執務に影響のある工事は、閉庁日を利用して進めることになる。このため、追加特記仕様書に施工条件を明記し、執務に影響を及ぼす作業は閉庁日に行うこととしている。

(3) 現状把握のための工事受注者へのヒアリング

このような与条件のもとで、週休 2 日（現場閉所）は実現できるのか、実現するための課題を探るべく、平成 29 年度の営繕工事のうち 13 現場、計 21 社の受注者の生の声を聞くことから始めた。主なヒアリング内容は以下のとおりである。

- ・工期設定は適切であったか
- ・建設現場の休暇取得状況
- ・週休 2 日（現場閉所）は可能か、またその理由
- ・営繕工事への要望

(4) ヒアリング結果から見える課題と対応（案）

a) 週休 2 日（現場閉所）にあたっての課題

工期設定は「適切」と 7 割以上が回答したにもかかわらず、4 週 8 休取得は 1 割程度で、約 7 割が 4 週 4 休以下であった。（図-2、3）これは、営繕工事の受注者に 4 週 4 休の休暇体系が定着していることを示している。

週休 2 日（現場閉所）は可能かについては、土日に作業が必要な工事のためできないという理由が約 8 割で、平日も開庁日に施工可能な作業を進める必要があるため、休工日は週 1 日であった。加えて工事書類は、残業や休工日に作成するといういわゆる現場閉所ができない理由を確認した。しかし、適切な工期設定がなされ、かつ曜日を限定しなければ可能など、条件付きで可能という意見であった。（図-4）ただし、下請け企業は日給制が多く、この現場が休みでも他の現場へ行くため、週休 2 日の働き方はしないという。その対策として賃金アップなど週休 2 日でも現在の収入を維持できる給与体系への見直しが求められる。

一方、最近では、働き方改革の方針で残業を断る下

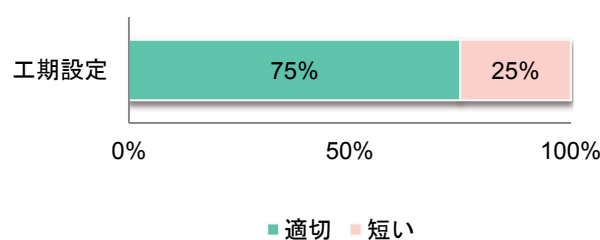


図-2 工期設定は適切であったか

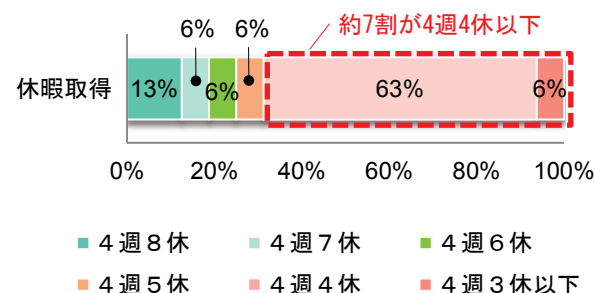


図-3 建設現場の休暇取得状況

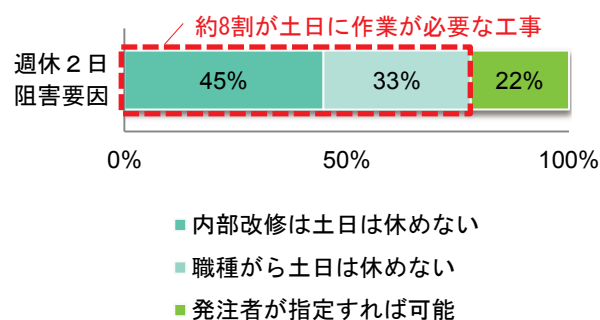


図-4 週休 2 日（現場閉所）ができない理由

請け企業もあるという。建設業全体にこのスタイルが浸透していくことが望ましく、適切な工期設定は、益々求められる。

そのほか、民間工事は工期が短く週休 2 日（現場閉所）の確保は不可能という意見が多く聞かれた。しかし、様々な理由により断れないことも多いという。

適切な工期が確保されなければ、品質の低下はもとより、労働者に過酷な労働条件を突き付けることとなる。建築分野の 9 割を占める民間工事に、適切な工期設定を浸透させることが、大きなポイントとなる。

なお、営繕工事の受注者は、主に地元の公共工事の受注割合が高いことを確認した。営繕部から地方公共団体（以下、「地公体」という。）への情報提供による発注者側の働きかけと、営繕部の工事を受注した企業が、その経験を活かし地公体工事を行うことにより、官庁営繕の働き方改革の取り組みは、地公体工事に浸透することが期待される。

b) 営繕工事への要望

営繕工事への要望は、工期関連が最も多く、次いで工事関係図書関連であった。（図-5）

工期関連の主な意見は、使用中の庁舎における改修工事の工期設定が厳しい、不足の事態への対応が必要な工事における柔軟な工期の見直し、というものである。新築と改修では施工条件が全く異なる。見えないものへのリスクも大きい。施設管理者のニーズも踏まえ、設計段階における十分な精査と柔軟な対応が必要である。また、原則一品生産であり、着工から完成まで多工種に渡る建築工事では、設計に施工合理化を如何に反映するかが、現場の生産性や品質を左右する。経済的かつ合理的の本意を今一度考える必要がある。そのほか、国債工事の年割りによる出来高のハードルが高く、苦労したという意見もあった。これは発注者も一体となって向き合う課題であり、品質の低下を招くような事態は避けなければならない。これらの意見より、適切な工期設定では、予算要求、設計着手、設計完了、工事着手と段階ごとに精査し、その結果を次ステップへ意図伝達することの必要性を確認した。

工事関係図書については、工事書類は多いが必要な書類との認識が過半を占め、提出頻度や添付書類の見直しなど、運用面の改善要望があげられた。

また、技術者の配置について、安全、品質確保のためには、工事書類担当と現場担当の2名を配置したいが、6千万円未満の小規模工事において、2名以上の配置は難しいという費用面の改善要望と、採用の減少という技術者不足の問題があげられた。

c) 施工合理化技術が週休2日（現場閉所）にもたらす効果

ヒアリングでは、情報共有システムの活用について、工事書類の提出や質疑回答へのストレスが減った、電子検査により検査前の書類整理が大幅に減ったなど、効果を実感する意見が大半であった。なかには、システム契約は工事ごとのため、関連工事間の情報共有が不十分となる事例も見られ、運用における課題も確認した。

電子小黑板の活用は、1割程度に過ぎないが、安全管理のリスク軽減や工事写真の明瞭化、写真整理の所要時間の削減など、手応えを実感する声を聞くことができた。一方、活用しなかった理由として、費用面や新しい技術への抵抗感、特に6千万円未満の小規模工事において、限られた工期のなかで時間と労力の初期投資はできないという意見や、建築工事用のフォーマットがあれば、初めてでも分かりやすいという声もあった。と同時に電子小黑板をもっと知りたいという意見も多く、8割が勉強会などの機会があれば参加すると回答した。（図-6）これを受け、電子小黑板を実際に活用した現場の体験をもとにした勉強会の開催を検討中である。

このように、情報共有システムや電子小黑板の活用により、生産性の高い書類整備が行われることは、残業

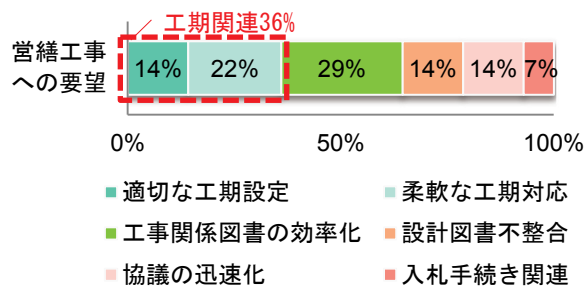


図-5 営繕工事への要望

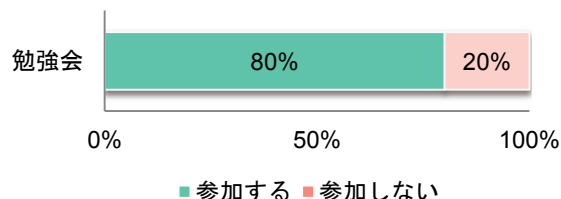


図-6 電子小黑板勉強会への参加希望



図-7 平成29年度 営繕工事における電子小黑板活用事例

時間や休日出勤の削減に繋がる。今回確認した運用面の改善を行うことで、より効率的な書類整備が期待できる。

d) 意識改革

ヒアリングにおいて、意識改革の必要性を痛感した言葉がある。

「この働き方が染み着いているし、家族も理解してくれている。今さら休めと言われても何をすればいいのかわからない。家族も家に居る方が困るんじゃないか。」40代後半以上の技術者に多く聞かれた言葉である。

週休2日（現場閉所）を実現するためには、この意識を変えていくことが重要であり、考える場をつくり、繰り返し伝えていくことの必要性を確認した。

3. ワーク・ライフ・バランスの取り組み

平成 29 年度の営繕工事受注者ヒアリングの結果を受け、静岡県警察学校炊食浴棟建設工事において実践中の取り組みを紹介する。

本工事は、警察学校の要望により、工期延長できない条件のなか、着工して間もなく、想定地盤と異なる地質が確認され、設計見直しを余儀なくされるなど、工程への影響も避けられない事態となった。遅れを取り戻すため、作業員の増員はもとより、デッキ型枠の採用を設計協議するなど鋭意施工中であり、平成 29 年 10 月着工から平成 30 年 4 月末における現場閉所率（累計）は 28.5% 超（現場閉所日数／対象期間）である。

(1) 週休 2 日（現場閉所）に向けた意見交換会

週休 2 日（現場閉所）工事のモニタリングの実施では、4 週 4 休の働き方が定着している受注者の意識改革を目的に、建築工事、電気設備工事及び機械設備工事の受注 3 社と監督職員の参加により、毎月、意見交換会を開催している。最近では、各社若手技術者を呼ぶなど受注者自ら意識して取り組んでいる。

工事の進捗と問題点を確認するなかで、関連工事間の連携が不十分、情報伝達が遅いなどの問題点が確認された。対応策として、定期的集まり情報共有する場を作ることとした。これにより、活発な意見交換がされるようになった。また、残業時間の増加、かけた時間に見合う進捗を実感できていない、などの問題点が見えてきた。そこで働き方そのものに改善の余地はないか、ワーク・ライフ・バランス（仕事と生活の調和）の視点から、ありたい姿に向けた取り組みを開始した。

(2) 現状を知る

今までの働き方が当たり前になっているために気付かない無駄を省き、生産性の高い働き方に変えるため、ワーク・ライフ・バランスの取り組みでは、現状を知ることから始めた。取り組みの目的を説明したうえで、建築工事の技術者 3 名に、“私たちの仕事は何か”、“この現場の問題点、改善点は何か”を話し合ってもらった。上下関係を気にすることなく、自己主張が苦手な人も平等に意見が出せるブレインライティングの手法を活用し、意見を書き出した。

(3) 目標設定

次にこの意見のグループ分けを行った。

“私たちの仕事は何か”では、「豊かな社会・日本の発展を担う仕事」という使命感を持ち、そこに向かうために建設業界として、現場として、個々としての段階ごとに何が必要かを示されており、技術者 3 名が高い意識を持って取り組んでいることをお互いに確認した。

“この現場の問題点、改善点は何か”では、「工事の

順調な進捗」という目標が掲げられ、その実行のための 3 本柱として、チームワーク、施工合理化技術による作業の効率化、作業員の確保があげられた。なかでも、技術者 3 名が特に重要だと感じるチームワークのための実践項目、“関係者を巻き込んで進める、相互確認、役割分担”について取り組むこととした。（図-8）さらに実際に行動できるところまで具体化し、それぞれの行動内容を難易度と効果の軸に分類し、難易度が低く効果が高い領域の項目から実践することとした。（図-9、10）

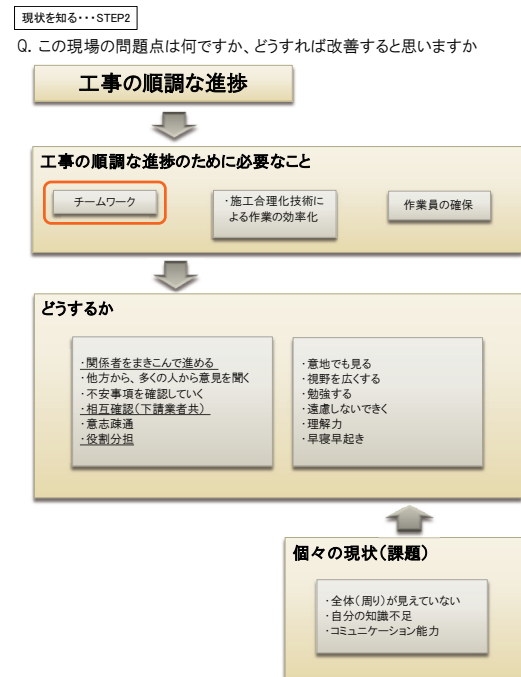


図-8 技術者意見のグループ分け
（この現場の問題点、改善点は何か）



図-9 行動レベルに具体化した実践項目

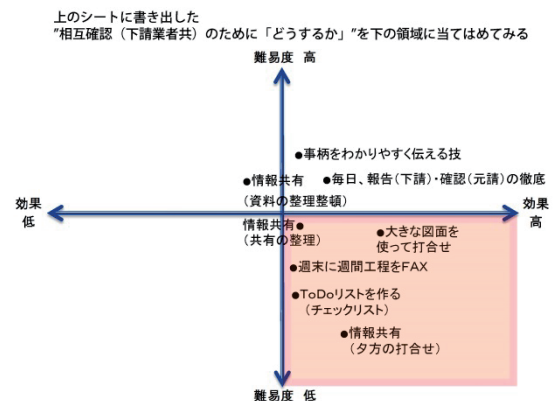


図-10 難易度と効果に基づく優先順位の決定

(4) 実践と振り返り

一例をあげると、作業内容の説明に不安を感じていた担当技術者は、相互確認において、「図面を使って打ち合わせを行う」ことを実践した。その結果、相手の理解が早まり、思い違いの減少、打ち合わせ時間の短縮、さらには「話しやすくなった」というコミュニケーションの改善に繋がり、不安は解消され本人の自信に繋がった。

一方、最盛期を向かえた現場では、目の前のことの消化が優先であり、取り組みを付加要素と捉え、後まわしになってしまうという課題が見えてきた。そこで現場が優先すべきと思っていることに紐付けた実践で再度取り組む予定である。

このように、効果が現れない場合や、立ち止まってしまうこともあるが、問題点を振り返り、次に繋げていくことが大切である。また、立ち止まらないよう毎月進捗状況を確認し、振り返る場を設けている。今後も工事完成まで継続し、取り組みの効果と改善点を確認していく予定である。

(5) ワーク・ライフ・バランスの定着に向けて

今回の取り組みより、建設現場で取り組む鍵は、工事中手時に取り組みを開始し、全員で本気で取り組むことと考える。特に現場所長の本気度が重要になる。必要性を理解し本気で実践することが変化を生み、自信になり、その繰返しに成果に繋がる。つまり、生産性の高い働き方になり、週休2日（現場閉所）の確保に繋がる。

発注者の役割は、取り組みの初動と、定期的に進捗状況を確認し、問題点の確認や改善に向けて協力することにある。

4. まとめ

今回の取り組みで確認した週休2日（現場閉所）の確保に向けた課題について、今後の対応（案）を表-1にまとめる。なかでも、確実な効果が期待できる次の項目について、優先的に取り組みを進める。

- ・建設現場のワーク・ライフ・バランスの取り組み推進
- ・適切な工期設定のための段階確認と意図伝達の徹底
- ・電子小黒板の活用推進に向けた勉強会の開催

表-1 週休2日（現場閉所）の確保に向けた課題への対応（案）

対応項目（案）	調整内容
建設現場のワーク・ライフ・バランス	初動説明と定期的な進捗状況の確認及び問題点、改善点に向けた協力 進め方のマニュアル整備
意識改革 (現場見学会の開催)	現場定例の活用や意見交換会など、定期的に話す場を設ける 掲示物による置換づけ 受注者の家族を招待する (お父さんの働く姿と家族の理解と将来の担い手確保)
適切な工期設定	チェックシートの活用（予算要求段階、設計段階、現場着手段階） 段階ごとの確実なチェックと次ステップへの意図伝達の徹底 エリアごとに順次施工する工事の引越期間の考慮 計画、設計段階における入居官署への説明（理解と協力体制の確保）
電子小黒板勉強会の開催	保全指導・監督室、静岡営繕事務所と調整 説明内容：費用、使い方、活用効果、課題など
情報共有システム	運用注意事項の周知：同一敷地内関連工事間の連携 利用アンケートとりまとめと機能向上に向けた改善点の把握
適切な経費の計上	ほか〇件工事で工事期間が重複する場合の現場経費の検討 電子小黒板の諸経費計上の検討（担当技術者経費の検討含む）
工事関係図書の効率化	重複図書の削減の徹底→具体的な削減例の作成 必要図書の再整理
設計意図伝達	新築のみでなく、全工事で実施 図面説明のみでなく、設計意図（特に注意が必要な事項など）を必ず伝える 入居官署要望、施工条件、工期設定の考え方など 設計における施工合理化の考え方の説明
図面不整合	設計段階における審査方法の改善 設計時プロット図による干渉チェック（BIM活用など）
協議の迅速化 (設計変更協議)	情報共有システムの活用 協議ルートの効率化（回答者以外は同報とし、同報者の意見は必要に応じ回答者がとりまとめ、回答） 設計変更指示の段階的期限の設定 色彩計画（案）は設計段階で作成し、意図伝達で説明（工事の円滑な進捗のため） 不測の事態（撤去後にわかる設計図書との不整合など）への工期対応
入札手続き期間の短縮等	技術・評価確認、土木工事調整（技術管理課） 入札手続き期間及び入札時の書類効率化の検討

5. おわりに

ヒアリングで得た現場の貴重な意見には、発注者が取り組むべき課題が多くあった。働き方改革の実行に向け整備されたルールを如何に運用するか、働きやすい建設現場の実現を目指し、発注者は責任を持って実行する必要がある。

ワーク・ライフ・バランスの取り組みは、どの現場においても実践でき、効果が期待できる。今後も取り組みを継続し、営繕工事での定着を目指す。さらには建設現場の働き方改革の一端を担い、週休2日（現場閉所）の礎となることを期待する。

最後に、ヒアリング等にご協力いただきました工事請負業者の皆さまをはじめ、関係者の方々、また、ワーク・ライフ・バランスの取り組みに関し、ご指導賜りました(株)ワーク・ライフバランス様に深く感謝致します。

ICT浚渫工（河川）の出来形管理基準策定の検討

山口 敦久

姫路河川国道事務所 調査課（〒670-0947兵庫県姫路市北条1-250）

国土交通省は建設現場の生産性向上の施策としてi-Constructionを提唱し、そのトップランナー施策であるICTの全面的活用について、2016年度に開始したICT土工に続き、2017年度はICT舗装工並びにICT浚渫工（港湾）、2018年度は新たにICT浚渫工（河川）を開始した。ICT浚渫工（河川）の開始には、バックホウ浚渫船による面的な施工管理基準の適用を図る方法の一つに、MGバックホウによる施工履歴データの活用に着目した。実現場等での出来形により収集されたデータから現場実態を整理し、施工履歴データを用いた面的な出来形管理に対応した精度管理手法や規格値案を検討した。

キーワード i-Construction, バックホウ浚渫船, 施工履歴データ, MGバックホウ

1. はじめに

国土交通省が推進するi-Constructionのトップランナー施策である「ICTの全面的活用」については、3次元起工測量、3次元設計データ作成、ICT建設機械による施工、3次元出来形管理及び3次元データでの納品を行うものであり、2016年度よりICT土工として取組を開始し、2017年度にはICT舗装工及びICT浚渫工（港湾）が開始されている。2016年9月の政府の「未来投資会議（第1回）」では建設現場の生産性を2025年度までに2割向上させること等を打ち出している中、新たな生産性向上を図るため、対象工種の拡大が求められている。

このような状況のもと、河川の浚渫工事では、以前よりバックホウ浚渫船における情報化施工技術として、MGバックホウ（MGはMachine Guidanceの略）による河川浚渫での普及も進められており、3次元設計データを利用して行われるため、工程全体での効率化も期待できることから、2018年度より「ICT浚渫工（河川）」として取組を始めることとなった。

情報化施工技術のうち、MGバックホウ等のICT建設機械による施工では、丁張の削減や作業効率の向上等、様々な導入効果が得られるが、ICT建設機械の作業装置における施工中の軌跡（以下「施工履歴データ」とする。）を記録することが出来るものがあり、適切な精度管理を行ったうえでこの軌跡データを出来形管理に活用することにより、出来形管理作業の大幅な効率化・省力化が期待できる。特に施工中や施工後に降雨に伴う河川の水位増加等により、常にあるいは一時的に水面下に没する河床部分の掘削や、浚渫工における水底の掘削では、

地上型レーザースキャナー（以下「TLS」とする。TLSはTerrestrial Laser Scanningの略）やUAV（UAVはUnmanned Aerial Vehicleの略）等の既存の出来形計測技術による出来形計測が困難であるが、代替として施工履歴データを活用した出来形管理手法を用いることにより、作業効率が飛躍的に向上する。

そこで、河川浚渫におけるバックホウ浚渫船による施工履歴データでの出来形管理の適用を目指し、実現場等での出来形で収集されたデータから現場実態を整理し、施工履歴データを用いた面的な出来形管理に対応した精度管理手法や規格値案を検討した。

2. 施工履歴データの計測機器としての精度検証

図-1に施工履歴データの精度検証のイメージを示す。施工履歴データを出来形計測に使用するには、施工履歴の計測機器としての精度検証を実施する必要がある。これは過年度のバックホウ浚渫船現場における結果において、施工履歴データを用いた出来形管理結果が、トータルステーション（以下、TSとする。）やレッド測深による測定結果と比較して、40cm程度の差異が見られたためである。この要因の一つとして、実際の施工形状と施工履歴データによる出来形形状の違いが発生することが考えられ、これは連続的に取得される施工履歴データの取得間隔が疎であるため、実際の出来形と記録点間をつないだラインが適合しないことが原因であると考えられた。そのため、施工履歴データから求められる出来形

計測結果が実際の出来形形状に適合するために必要なデータ取得頻度や、計測前のICT建設機械の精度管理方法とその管理値について、真値（TSで計測された刃先の軌跡）と施工履歴データで比較検証を行うため、まず最初に施工履歴データの計測機器における精度検証を行った。

精度検証を行う項目は、MGバックホウによる静止状態での計測精度の検証（静的計測）、動作状態での計測精度の検証（動的計測）と実施工を想定した整形後の出来形と軌跡データの比較検証を行った。なお、実現場における精度検証は、現場条件の制約や時間的制約が大きく、誤差の原因が現場条件に起因するものか、ICT建機自体に起因する物かの切り分けが困難であるため、ICT建機の精度検証実験をテストヤードに於いて実施した。

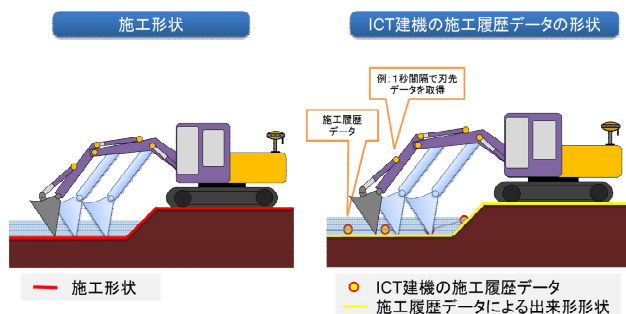


図-1 施工履歴データの精度検証イメージ

(1) 静止状態での計測精度の検証及び結果（静的計測）

a)検証内容

図-2に静止状態での計測精度検証内容を示す。MGバックホウのブーム・アームを最も開いた状態から、最も抱えた状態になるまで、10点の異なる位置でバケットの刃先を静止させ、各静止点で施工履歴データとTSで計測する刃先の三次元座標を記録し、両者の差を確認することにより施工履歴データの静止観測時の精度を評価した。

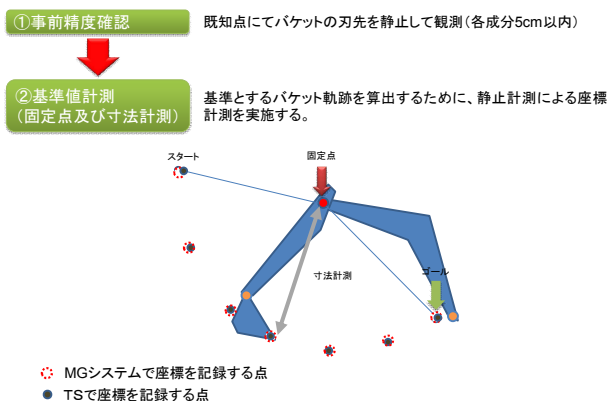


図-2 静止状態での計測精度検証内容

b)検証結果

図-3に静止状態での計測精度の検証結果を示す。静止状態で計測した施工履歴データとTSで計測した真値

との距離誤差は、最大で50mmであった。また、距離誤差の標準偏差は 3σ で33.6mmであり、ICT土工の出来形管理に適用できる精度の目安（ $3\sigma < 50\text{mm}$ ）¹⁾を満足する結果であるが、x, y座標のばらつきが大きい。

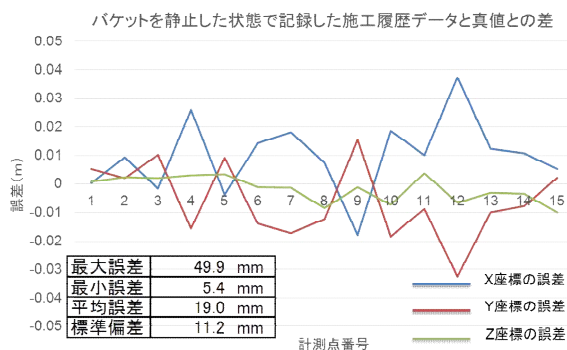


図-3 静止状態での計測精度の検証結果

この検証結果から、施工履歴データを用いた出来形管理に記載する精度管理方法として、以下の2点を記載する必要があると考えられた。

- ・河床掘削の施工を行う日の始業時に、ICTバックホウの刃先の位置をTSで計測し、計測される刃先の位置座標との差異から計測精度を確認することを施工者に課す必要がある。
- ・計測精度の管理値は、x, y, zの各成分について $\pm 50\text{mm}$ とする。

(2) 動作状態での計測精度の検証及び結果（動的計測）

a)検証内容

図-4に動作状態での計測精度検証内容を示す。バケット静止状態での精度確認により、 3σ で50mm程度以下の精度を有することが確認されたが、実現場において出来形管理に用いることを想定しているのは、施工中（バケット動作中）に記録される刃先の位置精度であるから、MGバックホウのバケット動作中の精度をTSの自動追尾計測（以下「自動追尾TS」とする。）との比較により検証した。

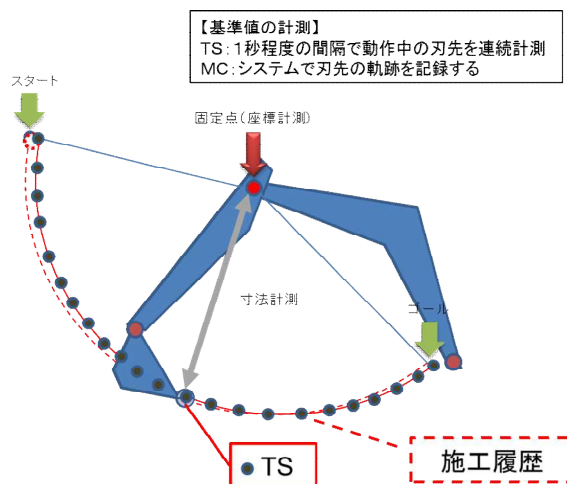


図-4 動作状態での計測精度検証内容

b) 実験手順

図-5に実験手順を示す。実験は既知点にてバケットの刃先を静止観測し、x, y, zの各成分の誤差が5cm以内で有ることを確認した後、掘削を模した動きでバケットを動作させ、施工履歴データと刃先の自動追尾TSを実施した。実験ケースでは、動作中の施工履歴データの記録頻度を1秒毎、2秒毎、10cm毎、50cm毎の4パターンに変化させると共に、各パターンについてバケット移動速度を高速と低速の2パターンを組み合わせた計8ケースで各ケース3回実施した。自動追尾TSによる刃先の位置計測の頻度は、全てのケースで1秒毎に設定した。なお、高速とはMGバックホウによる整形ではない掘削作業を想定したバケット動作速度で有り、低速とはバックホウによる河床の整形作業を想定したバケット動作速度である。実際の施工では、高速、低速の区別無く施工履歴データが記録されるので、高速でも所要の精度を満足する必要があるため、実験ケースに設定した。

図-6にパターン別の施工履歴データ結果と自動追尾TS結果によるデータ処理手順を示す。精度の評価は、自動追尾TSで計測した刃先の位置座標（1秒毎に計測）を直線で結び、このライン（基準線と呼ぶ）に対する施工履歴データの離れ距離を計測精度として評価した。

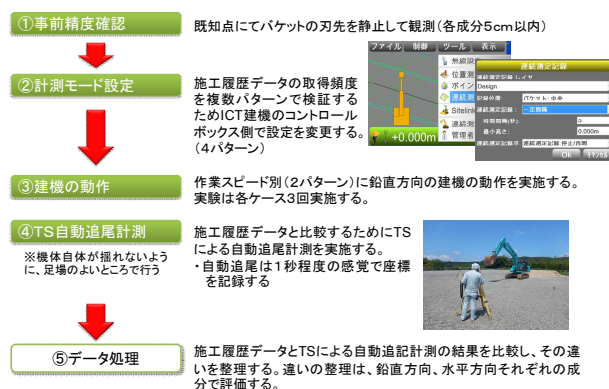


図-5 実験手順

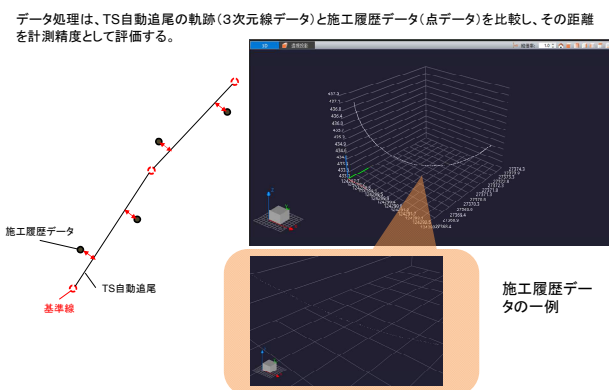


図-6 データ処理手順

c) 検証結果

図-7に動作状態での計測精度の検証結果を示す。MG

バックホウのバケットを動作させている途中の施工履歴データのx, y, z座標と、同時に自動追尾TSで計測した刃先の位置座標との比較を行い、x, y, zの各成分についての差を算出した結果、以下のことが分かった。

- ・施工履歴データの誤差はZ座標で最大でも約50mm程度の誤差で収まっている。
- ・出来形管理で最も重要視されるZ座標については、全体的な傾向としてはx, y成分と比較して誤差が小さい傾向があるため、施工前の精度確認試験により、x, y, z各成分の誤差が50mm以内であることを確認しておけば、Z成分の精度を十分担保出来ることがわかった。

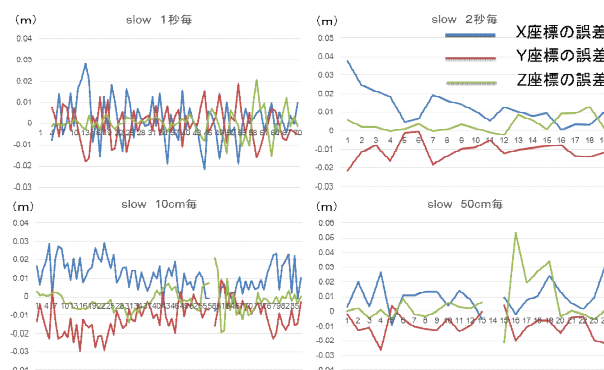


図-7 動作状態での計測精度の検証結果

図-8に高速及び低速でのバケット刃先位置の誤差結果を示す。バケット動作中の施工履歴データと自動追尾TSで計測した真値とを50点比較した結果、施工履歴データと自動追尾TSとの誤差（距離誤差）は施工履歴データの記録頻度やバケット動作の速度によらずほぼ一定で、15mm~20mmの程度である。よって、動的な計測精度はデータの取得頻度の影響を受けにくいと考えられたため、精度担保の観点からは、取得頻度についての規定は不要と考えられた。

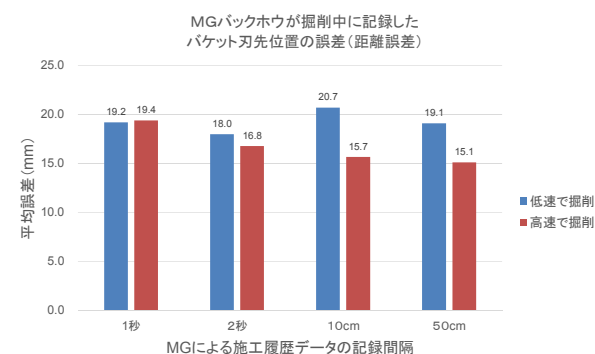


図-8 バケット刃先位置の誤差結果

(3) 整形後の出来形と軌跡データの比較

a) 検証内容

図-9にMGバックホウによる整形後の出来形と軌跡データの比較を示す。施工履歴データの取得間隔の違いによる計測精度の変化を確認するために、作業パターン別の比較検証を実施した。この検証は、施工履歴データと

実際に整形を行った地盤の出来形との比較である点で、前述した(2)の検証とは異なっており、実現場における施工履歴データを用いた出来形管理を想定した精度検証実験となっている。なお、実験手順は基本的に(2b)と同じ手順で行っているが、建機の動作は低速パターンのみで行った。

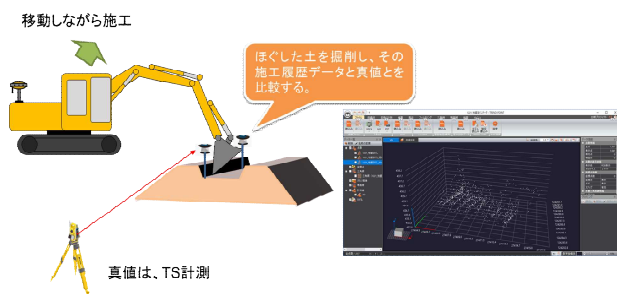


図-9 整形後出来形と軌跡データの比較イメージ

b) 計測密度についての検証結果

図-10に計測点群密度の検証結果を示す。施工履歴データは、TLS、UAV写真と比較して計測点数が大幅に少なく、出来形評価を行う1m×1mメッシュの個数に対して点が不足しやすい傾向が見られる。面的出来形管理には少なくとも1m²に1点以上の点群密度が必要であるが、10cm刃先が移動する度に1点の頻度で施工履歴データを記録する設定で整形作業を行った場合、施工範囲全面で1m²に1点以上の割合で点が記録されているものの(図-10の赤メッシュが該当)、50cm毎に施工履歴データを記録した場合、1点も記録されていないメッシュ(図-10の黄メッシュ)が見られた。以上の結果より、施工履歴データの記録頻度について、計測精度の観点からは規定を設ける必要は無いが、出来形評価に最低限必要となる点群密度を担保する観点からは、10cmに1点以上の計測頻度に設定するよう規定を設ける必要がある事がわかった。ただし現時点では、MGバックホウのICT建機メーカーによって計測頻度の設定方法が異なり、一定距離毎や一定時間毎、あるメッシュサイズ毎に1点代表点を記録する等、様々な方式があることから、計測頻度に関する管理値を一義的に要領に記載することが困難である。そこで、要領には「1m×1mメッシュに1点以上有効な施工履歴データを記録すること」という規定を設けることが適切であると考えられた。

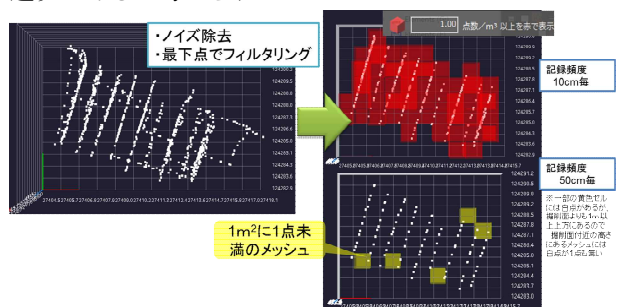


図-10 計測点群密度の検証結果

c) 計測精度についての検証結果

図-11及び表-1にMGバックホウで掘削中に記録した低速モードにおけるバケット刃先位置と出来形の差の平均及び偏差を示す。施工履歴データと出来形との平均誤差(距離誤差)は施工履歴データの記録頻度によらずほぼ一定であり、50～60mm程度であった。またデータのばらつきは、4ケースの平均で $\sigma \div 22.71\text{mm}$ $3\sigma \div 68.13 \div 70\text{mm}$ であった。平均誤差(50～60mm程度)は、実験時刻での衛星配置等が原因の誤差であると考えられるため、GNSS衛星の配置などに偏りが無い条件における実際の平均誤差は、GNSSの公称精度 $\pm 30\text{mm}$ 程度になると考えられる。以上の誤差の傾向を踏まえた結果、計測精度全体としては、施工履歴データとTS計測との差が $\pm 100\text{mm}$ 程度になることがわかった。

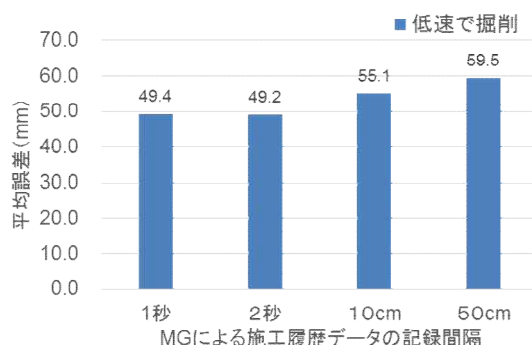


図-11 バケット刃先位置と出来形との差

表-1 バケット刃先位置と出来形との平均及び偏差

		施工履歴記録間隔			
		1秒	2秒	10cm	50cm
低速で掘削	平均(mm)	49.4	49.2	55.1	59.5
	偏差(mm)	19.2	26.5	18.3	26.9

3. バックホウ浚渫船による出来形実態の分析

ICT活用工事の浚渫工(河川)への適用に必要な出来形管理手法や管理基準の整備に向け、2.で実施した精度検証結果により施工履歴データが浚渫工(河川)の出来形値として利用できることが確認できた後、河川浚渫の現場で実際に取得されているレッド測深のTS計測出来形値を真値とし、施工時に取得されたMGバックホウによる施工履歴データとの同一平面上での標高較差を利用して精度検証を行い、出来形実態の分析を行った。

表-2に出来形実態調査を行った近畿地方整備局管内及び中部地方整備局管内の対象工事を示す。

表-2 出来形実態調査対象工事

工事名	事務所名	年度
戸ノ内地区掘削工事	猪名川河川事務所	2016
熊野川相筋・鮎田地区上流部河道浚渫工事	紀南河川国道事務所	2017
平成29年度庄内川前田しゅんせつ工事	庄内川河川事務所	2017

(1) 施工履歴データを用いた出来形管理の施工精度確認

図-12に出来形実態調査を行った現場での施工履歴データとレッド測深によるTS計測（真値）の標高差を示し、表-3に標高差の平均および標準偏差を示す。近畿地方整備局管内での現場では、真値よりも施工履歴データの結果が深い（－方向）傾向にあったが、中部地方整備局管内での現場では、真値よりも施工履歴データの結果が浅い（＋方向）傾向にあった。

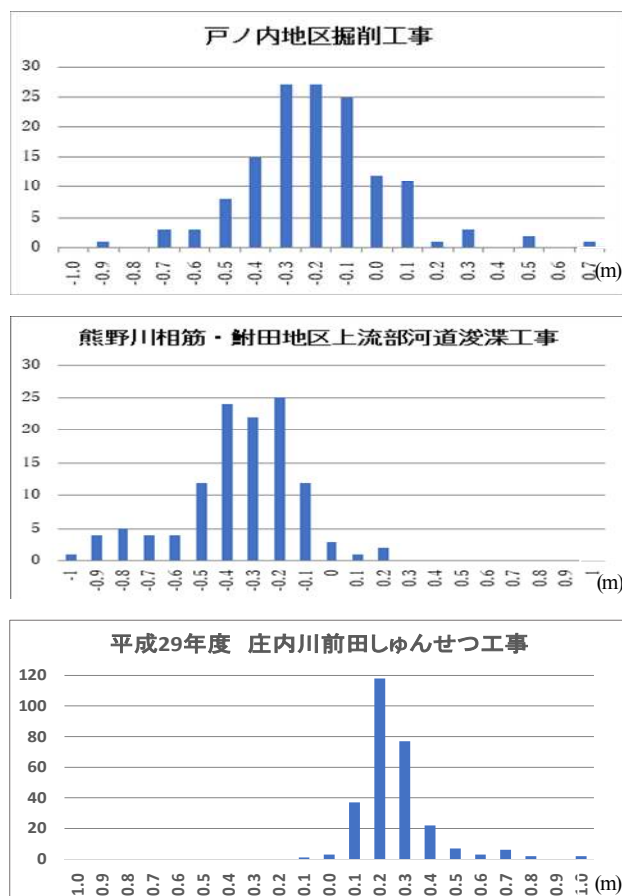


図-12 施工履歴データと真値との標高差

表-3 標高差の平均および標準偏差

工事名	差の平均値	標準偏差
戸ノ内地区掘削工事	-241mm	233mm
熊野川相筋・鮎田地区上流部河道浚渫工事	-296mm	224mm
平成29年度庄内川前田しゅんせつ工事	210mm	142mm

(2) 施工履歴データと真値との標高差の要因

近畿地方整備局管内の戸ノ内地区掘削工事及び熊野川相筋・鮎田地区上流部河道浚渫工事のように刃先が真値を下回る誤差の原因としては、以下の点が考えられる。

- ・施工者ヒアリングによるとバックホウのオペレータは、バケットで抱える土量を最大化し、掘削効率をあげるため、はじめの掘削は刃先を設計面より深めに入れて掘削するが、掘削がある程度進むと平たんに仕上げるために、刃先の位置を設計に沿うように動かす傾向がある。この場合、はじめに深く掘削した時点で記録された刃先の履歴データを用いて出来形計上を算出するため、最終仕上がり面よりも深めに出来形が記録されることになる。

- ・刃先と根本のどちらの座標を施工履歴データとして記録しているかにより、施工履歴と出来形との差異が生じる。本現場では、バケットの爪先の履歴を施工履歴データとして記録しているが、掘削の進展により刃先が摩耗するため、徐々に実際の刃先の位置よりも施工履歴データが深く記録される傾向が生じる。

- ・掘削直後に埋まるため、刃先データが深くなる傾向にある。

また中部地方整備局管内の現場においては、施工履歴データの値が真値よりも浅い結果（＋方向）となる現場もあった。その誤差の原因としては、提供データのフィルタリング方法が最下値ではなく平均値としていたため、実際の川底よりも高い位置の履歴データになったと考えられる。

以上の誤差要因を考慮して、施工履歴データを用いた出来形管理をする場合には、日々の刃先位置の精度確認を行うだけでは不十分であり、事前にテスト施工を実施し、施工履歴データから求まる出来形とTS等による出来形の実測値との比較を実施し、その差異を加味して施工を行うとともに、施工履歴データの算出時にテスト施工で確認した差異を反映する必要があると考えられる。

2. 及び 3. の結果により、施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）1-2-2 施工履歴データの計測性能及び精度管理及び、精度確認試験実施手順書及び試験結果報告書に反映されている。

4. 面的出来形管理基準の規格値案検討

従来管理と同等となる面的な出来形管理基準および規格値案を検討するため、該当工事の設計面とレッド測深の出来形値の同一平面上での標高較差を利用し出来形実態調査を行った。

(1) 出来形実態調査結果の整理

表-4に表-2の近畿地方整備局及び中部地方整備局管内の工事を含め、浚渫工4現場のデータを合わせて、各現場で適用した出来形管理の規格値を基準とした場合の不良率（上側・下側）を算出した結果を示す。現場1、現場2は基準高の規格値が+200mm、現場3、現場4については規格値が0mmなので、従来規格値を参考に200mm下がり仮に設計値とした場合の設計値からの離れを合わせ

て括弧書きで表記している。いずれの工事も、従来手法としては検査に合格している。

表4 不良率一覧

現場	現場名	平均	標準偏差	最大値	最小値	母数	不良 個数 (上)	不良 個数 (下)	不良率 (%)	不良率 (上) (%)	不良率 (下) (%)
1	戸ノ内地区	-0.294	0.233	0.265	-1.402	139	1	0	0.7	0.7	0.0
2	熊野川	-0.125	0.125	0.300	-0.390	140	3	0	2.1	2.1	0.0
3	庄内川一色	-0.594 (-0.394)	0.189	0.662 (0.862)	-0.953	214	3	0	1.4	1.4	0.0
4	庄内川前田	-0.421 (-0.221)	0.095	0.172 (0.372)	-0.642	278	2	0	0.7	0.7	0.0
	全データ	-0.385 (-0.265)	0.237	0.662 (0.862)	-1.402	771	9	0	1.2	1.2	0.0

(2) 調査結果の評価と方針と規格値（案）の検討
表-5及び図-13に不良率を許容した正規分布のパラメータと規格値（案）の検討結果を示す。表4の結果から、上限規格値においては設計値もしくはバラツキ調査結果の平均値を中心として、現状のバラツキ調査から割り出した不良率を踏まえた正規分布について、ICT土工の規格値と同じ0.3%を棄却してよい上限値として設定した値に、計測精度を加えた値で規格値を検討した。なお、余掘りを前提としており、下限値は設けず、平均値規格は設計値である±0mm以下とした。

結果、全数の面的管理となる規格値の上限としては、+302mmとなった。施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）では、+302mmに加え、施工精度±100mmを加えた+400mmが個々の規格値として設定されている。

表-5 不良率を許容した規格値（案）

4現場	①規格値 (mm)	②平均値 (mm) 【現場実 態の値】	③規格値の範囲外 となる割合P% (上限/下限) 別 【現場実態の値】	④ k _p	④標準偏 差 σ _p (mm) 【 ①－ ② / √k _p 】	全数管理 の上限値案 ②+275σ _p (mm)
(案) 平均値を 現場実態 で設定	200	-265	12 (1.2/0)	2.257	206	302

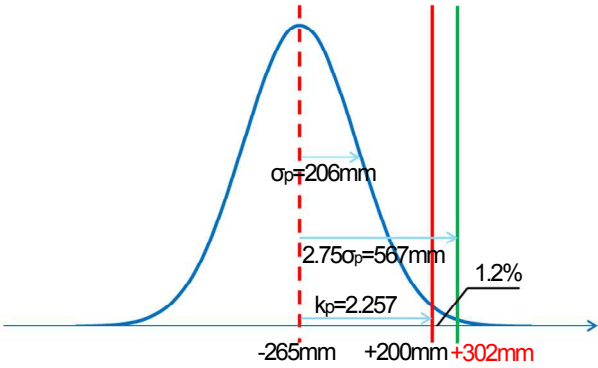


図-13 不良率を許容した正規分布のパラメータと規格値案

5. おわりに

ICT浚渫工（河川）適用にあたり、バックホウ浚渫船による面的な施工管理基準の適用を図る方法の一つに、MGバックホウによる施工履歴データの活用に着目した。結果、施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）において、施工履歴データの計測性能、精度管理、精度確認試験実施手順書及び試験結果報告書に反映され、出来形管理の規格値（案）においても提案することができた。現場数の少ない中で施工管理基準を検討していることから、今後はフォローアップを行った上で、逐次見直しを行い、カイゼンを行っていくことが必要と考える。

謝辞：近畿地方整備局猪名川河川事務所、近畿地方整備局紀南河川国道事務所、中部地方整備局庄内川河川事務所につきましては、貴重な現場及びデータ提供いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 近藤弘嗣，長山真一，藤島崇，石田大輔，服部達也，池田広貴：i-Construction で適用する土工出来形の面管理に関わる基準類の検討，第 16 回建設ロボットシンポジウム論文集，2016

熊本地震からの新技術を活用した災害復旧

森 英高¹・福原 茂¹・橋爪 隆介¹

¹九州地方整備局 熊本復興事務所 工務第二課 (〒869-1404熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽3574)

2016年4月に発生した熊本地震により阿蘇地域一帯の道路が寸断され、それら道路の早急な復旧が求められた。本稿では、熊本地震による災害復旧事業において国が権限代行として工事を所管した区間である県道28号熊本高森線および村道栃の木～立野線を対象として、新技術を活用した災害復旧の実例紹介を行うものである。

キーワード 災害復旧、新技術・新工法、工期短縮、施工性向上

1. はじめに

2016年4月に発生した熊本地震（以下「本地震」）は、最大震度7を短期間に2回観測するというかつて経験したことのない地震であり、熊本県を中心に各地で甚大な被害が発生した。九州地方整備局では、本地震発生直後より担当部局や熊本県内に位置する熊本河川国道事務所、立野ダム工事事務所が、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」）および国立研究開発法人土木研究所（以下「土研」）などと連携して、緊急復旧工事や緊急点検・調査にあたった。

2016年5月10日には本地震を大規模災害復興法の定める「非常災害」に指定する政令が閣議決定された。これは、国が振興対策本部を設置できる「特定大規模災害」に次ぐ規模に位置づけられる。これにより、高度な技術が必要である箇所や甚大な被害が生じている箇所について、都道府県や市町村の要請に応じて国が災害復旧業務を代行できることとなった。同年5月13日には熊本県及び南阿蘇村からの要請を受け、俵山トンネル等を含む県道28号熊本高森線の一部区間（以下、「俵山トンネルルート」）、阿蘇長陽大橋を含む村道栃の木～立野線の復旧事業を、直轄代行業として実施することが決定した。本地震において国が権限代行した箇所について表-1にまとめる。

上記のような対応が進む中、九州地方整備局としては2016年7月には「熊本地震災害対策推進室」を設立、2017年4月からは「熊本復興事務所」を南阿蘇村に新設し、現在も鋭意復旧事業を進めている。

表-1 国による権限代行箇所

対象地区	根拠法令
阿蘇大橋地区斜面対策	砂防法
国道325号	道路法
県道28号熊本高森線	大規模災害からの復興に関する法律
村道栃の木～立野線	〃

図-1に南阿蘇周辺の被災状況のうち、熊本復興事務所が所管する工事位置を示す。表-1中にある国道325号の工事においては阿蘇大橋の復旧が含まれており、工事完了まで長期間を要することが予測された。そのため、九州地方整備局としては国道325号の復旧を進めると同時に、地域分断された地元住民が生活する上でも活用可能な迂回路として、俵山トンネルルートおよび村道栃の木～立野線について、特に早期の復旧に向けて事業に取り組んできた。俵山トンネルルートおよび村道栃の木～立野線の復旧工事においては、多くの労働力を割くとともに新技術等を活用していくことで早期の復旧を試みている。本稿は、災害復旧時における新技術の活用例及び熊本復興事務所の取組み等を紹介することで、本地震に限らず今後の復旧事業においても新技術を活用した設計・施工等を検討する際の一助とすることを目的とする。

なお本稿の構成としては、2. 3. ではそれぞれ俵山トンネルルート、村道栃の木～立野線の概要について記載した後に、復旧方針を明示する。その上で新技術が活用された工区特有の課題を明記し、新技術を活用した早期復旧事例についてまとめる。以上を踏まえ4. では得られた知見等をまとめる。



図-1 南阿蘇周辺の被災状況

2. 俵山トンネルルート事例

(1) 概要

俵山トンネルルートは、熊本市と南阿蘇村・高森町間の移動時間を短縮し、連携強化や観光需要の拡大を目的に平成15年に供用し、地域の重要幹線道路として観光振興はもちろん地元住民の生活に大きく寄与してきた。

本地震において、俵山トンネルルートでは橋梁の被災が著しく、本ルート上に存在する6つの橋梁全てが通行不可となった。また、本ルート上の南阿蘇・俵山の2つのトンネルはともに被災しており、全ての被災箇所を完全復旧するには時間を要することが判明した。ただし、

- 1) 他の権限代行箇所と比較した場合、本ルートは橋梁区間や被災が著しい箇所について旧道等を活用した迂回ルートが設定可能である
- 2) 地域住民の生活に大きく寄与してきた経緯がある等の観点から、熊本市と南阿蘇村・高森町間を結ぶ道路として、本ルートを最も早期に供用する計画が策定された。そのため、本ルートの設計・施工においては工期短縮や施工性の向上のための取組みが強く求められた。

(2) 復旧方針

俵山トンネルルートの復旧方針を検討する上では、橋梁・土工及びトンネルについてそれぞれプロジェクトチームを設置し、国総研、土研の技術支援を受けるとともに、必要に応じて学識経験者の意見を得て決定した。ただし、橋梁復旧には多くの時間を要することが想定されたため、本ルートを暫定供用するにあたっては、被災橋梁を避けたルートを設定するとともに、土工部とトンネルについて早急に対応する必要がある。

土工部では、斜面や高盛土部の崩落が至るところで発生していた。崩壊土砂等の発生土への対応や当時の周辺環境から、以下のような課題があった。

- 1) 崩壊土砂等の発生土は主として火山灰質粘性土であり、そのまま活用するとトラフィカビリティー（作業性）が低下する
- 2) 発生土の土捨場を確保することが困難である
- 3) 供給プラントも被災し、生コン供給量の確保が厳しい
- 4) 施工場所までの道路についても復旧工事を行いながらの施工となる

そのため、発生土については移動式土質改良機を活用し、盛土材として使用の方針を立て、擁壁はコンクリート使用量の少ない工法を採用する方針とした。これにより、コンクリート打設・養生期間の短縮や工事車両台数の削減にもつながると考えられた。

一方、俵山トンネルは以下のような被災状況や課題があった。

- 5) 覆工コンクリートの崩落やひび割れしている箇所が見られた

- 6) 余震の影響により工事用進入路が片側からに制限されていた
- 7) 本地震後の大雨等の影響により、坑口上部斜面等が不安定であった

上記5)の対策としては、延長の約8%となる160m区間で全面打替えを実施すると同時に、炭素繊維シートの設置やひび割れ注入など状況に合わせて様々な補修対策を行うこととした。実際に、覆工コンクリートの取壊しは2016年7月15日から開始され、設計と施工を並行して進められた。また、施工業者の努力により24時間体制、全国から最大200人/日体制で施工を行えることとなった。

一方、上記6)7)の対策として、施工現場の安全性を確保しつつ、輻輳する工事が互いに与える影響を最小限に抑える工法を検討する必要がある。

(3) 新技術・新工法を活用した早期復旧事例

暫定供用ルート開通前の熊本市と南阿蘇村・高森町間の迂回路としては、グリーンロード（図-1参照）を使用していた。しかしグリーンロードの最高標高点は1,000mを超えており、例年は初積雪以降、安全性が確保できるまで通行止めとしていた。そのため、12月の暫定供用を目標とし、工期短縮を図ることになった。また、専門家や学識経験者の意見および前節の復旧方針をふまえ、図-2に示すような暫定供用ルート（平成28年12月24日開通）を計画した。以下、暫定供用ルートの中でも早期開通に大きく寄与した旧道（村道）を活用した迂回路（以下、「旧道迂回路」）において、工事の中でも、新技術が多く採用された鳥子地区を対象に、安全性を確保しつつ設計・施工の短縮に取り組んだ事例について紹介する。

a) 旧道迂回路のコンクリート擁壁

旧道迂回路を早期に啓開するためには、

- 1) 狹隘でカーブの多い旧道の拡幅（図-3・図-4参照）
- 2) 崩壊した路肩・擁壁の復旧
- 3) コンクリート使用量を抑えた上で施工時間の短縮や工事車両台数の削減

等が求められた。一般的にはこのような工事を施工する場合においては比較的安価で汎用性の高い工法である『ブロック積み擁壁』にて復旧することが多い。ただし、

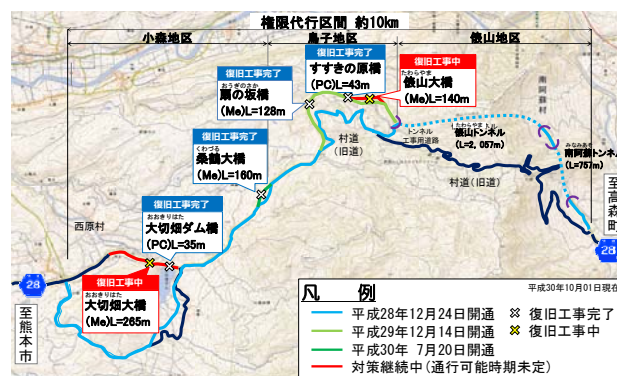


図-2 俵山トンネルルート：被災および復旧状況



図-3 旧道迂回路の被災および復旧状況



図-5 ラップブロック施工状況

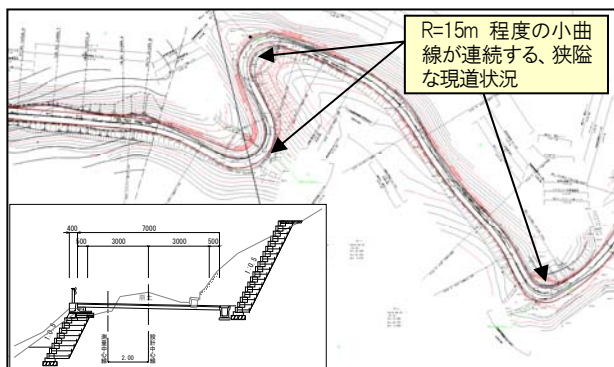


図-4 旧道迂回路復旧の平面および横断計画

上記3)の課題を踏まえ比較検討の結果、新技術である『アンカー式ブロック積み擁壁（ラップブロック工法） | NETIS : KT-020077-VG、掲載終了』を発注者指定で施工することとした。本新技術は経済性では従来工法より劣るものの、以下のような利点が得られた。

- ① コンクリート打設の必要がないためコンクリート使用量が抑えられると同時に、養生期間が不要なため工期短縮につながる
- ② ブロック重量が軽く大型重機を必要とせず、狭隘な箇所でも施工可能である（図-5参照）
- ③ R=10m程度のカーブ施工が可能である
- ④ 裏込め材に現地発生土を利用可能である

結果として、旧道迂回路の全2.8kmにわたる復旧工事において、前節で記載した復旧方針等を遵守しながらも工期短縮を図ることができ、暫定供用ルート全体の早期啓開にもつながった。

b) 俵山トンネル熊本側坑口の施工

俵山トンネル熊本側坑口は鳥子地区の旧道迂回路と暫定供用ルートとの接続部となっている。本坑口は本地震による被害に加え、本地震後の豪雨の影響を受け斜面崩壊や地すべりが発生し、坑口部で図-6にも示すとおり大きな被害を受けた。そのため、坑口の打替えの他、斜面対策を実施する必要がある。

施工箇所は、南阿蘇・俵山トンネル工事箇所と、旧道工事箇所の車両が頻繁に通行していた。特に南阿蘇・俵山トンネル内の工事は24時間体制で施工中であり昼夜を問わず工事車両が輻輳していた。そのため、坑口部の工事が他の工事に与える影響を最小限に抑えることが、暫定供用ルート全体の工期短縮にもつながると考えられた。そこで坑口部の復旧工法として、図-7で示すように、坑



図-6 俵山トンネル熊本側坑口部：被災および復旧状況



図-7 俵山トンネル熊本側坑口部：施工状況

門工をプレキャスト化することにより工期短縮を図ると同時に、不足していた生コンの供給量の削減にもつなげる計画とした。

一般的な現場打ちで本坑門工を施工した場合には約1ヶ月を要するのに対して、プレキャスト化はその約半分の工期で施工することが可能となり、大幅な工期短縮となった。

また坑口部背面の斜面崩壊部の切土掘削作業・法面整形作業では、複雑な坑口部の上部切土法面での片切掘削を行う必要があり、以下の課題があった。

- 1) 狭隘な箇所では重機と人の輻輳による安全性低下
- 2) 法面の途中から法勾配が変化する様な複雑な切土形状での丁張り作業の精度確保の困難さ
- 3) 掘削面の仕上がりを確認するために重機を乗り降りして目視確認する手間の煩雑さ

その課題を解決する新工法として『バックホウ3Dマシンガイダンスシステム（以下「3DMGシステム」） | NETIS : HR-140026-VE』を採用し、課題の解消を図った。

本工法は、GNSS（Global Navigation Satellite System；全球測位衛星システム）により機械の位置情報を把握し、オペレーターへ周辺情報をデジタルデータとして提供する技術であり、そのマシンガイダンスに基づき重機操作

を行うシステムである。

本工法を採用することで、以下の課題を解消できた。

- ① バックハウ周辺への作業員立入回数の軽減による作業安全性向上
- ② 初期設定完了後は3DMGに従い施工精度の確保と、丁張り作業削減による作業効率化
- ③ オペレーターは重機操作をしながら仕上がり状況を確認できることによる作業効率化

結果、丁張り設置作業における人工の削減と、掘削工程自体も丁張り待ち時間の削減として約8日間の工期短縮が図れた。

(4) 復旧状況

前節までのような取り組みの結果、それぞれの工区で抱えている課題を新技術・新工法で解消することができ、震災からわずか8ヶ月後の2016年12月24日に俵山トンネルルートを一時的に供用することができた。その後、2017年12月14日に鳥子地区、2018年7月20日には桑鶴大橋の復旧も完了した。

現在もルート全体の本復旧に向け、橋梁補修工事を鋭意施工中である。

3. 村道栃の木～立野線事例

(1) 概要

村道栃の木～立野線の位置図を図-8に示す。本線は南阿蘇村の栃の木交差点と立野交差点を結ぶ生活道路であったが、国道57号の寸断区間および阿蘇大橋を迂回するルートとして利用可能であることから早期開通が強く望まれた路線である。しかし、地震による被害は甚大かつ多様で、早期開通のためには複数の工事を並行して行うことが必要であった。そのため、多くの工事車両が輻輳することが予想され、幅員を確保しつつ復旧工事を進めていく必要があった。

本稿では、工事車両が特に多く輻輳することが予想されるとともに、施工条件も厳しい被災箇所の1つである、村道栃の木～立野線の栃の木側の復旧に焦点をあてる。

(2) 復旧方針

対象とする工事現場の詳細位置と被災状況を図-9に示す。当該箇所は、急勾配かつ急カーブ区間の斜面上の擁壁で造成された道路であり、地震の影響により擁壁のクラックや開き、舗装面の沈下が生じていた。また、擁壁下部では斜面崩壊も見られ、安全性が確保されていない状況であった。

当初の復旧方針は、擁壁構造での原形復旧であった。しかし、

- 1) 地質調査の結果、基礎底面地盤は軟弱で、それ以深にも玉石や転石が介在し、直接基礎および地盤改良

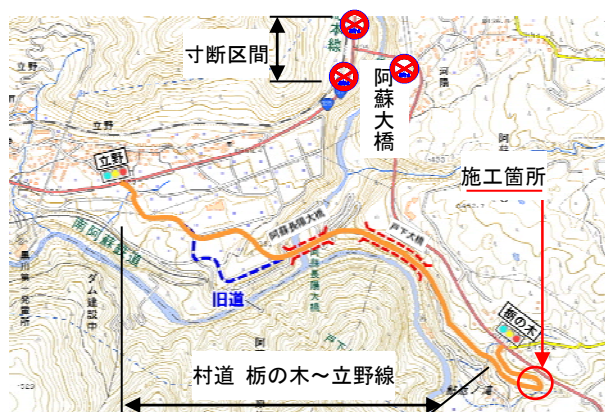


図-8 村道栃の木～立野線：位置図

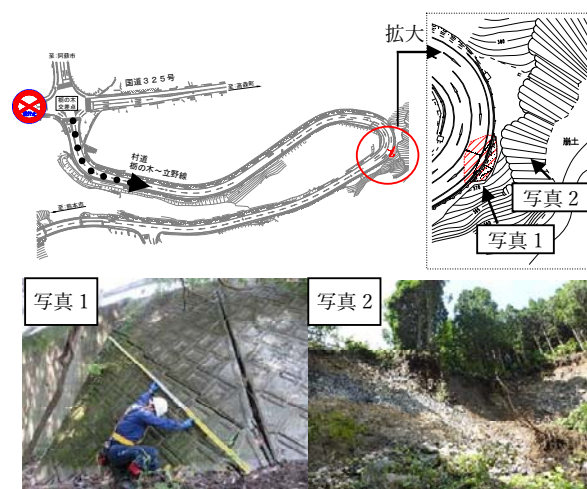


図-9 村道栃の木～立野線：詳細位置と被災状況

が困難な状況である

- 2) 通常の背面掘削を行った場合、その先の工事車両の通行を遮断する必要がある
- 3) 下部斜面への応力が増加した場合、その応力に耐えられず斜面が崩壊する可能性がある

等が懸念された。そのため、斜面上部の道路幅員を確保しながら、悪い地盤状況でも施工可能で、応力増加に耐えることのできる工法を検討する必要があった。その上で、最も工期を抑えることができる工法を採用することが求められた。

(3) 新技術・新工法を活用した早期復旧事例

前節で上げた課題を解消する新技術として、比較検討の上で『フォームライトW (R-PUR工法) | NETIS: QS-990001-VG、掲載終了』を発注者指定で採用した。本技術の採用によって以下のような利点が得られた。

- ① 図-10に施工中の道路幅員とプラントヤードの状況を示す。また、図-11に本工区の横断図を示す。従来施工の場合、断面復旧は荷重増加による下部斜面への影響を軽減するために、工事車両の通行は確保できる範囲で、崖崩層を排土し軽量盛土に置換えることが想定される。しかし、本技術は他の

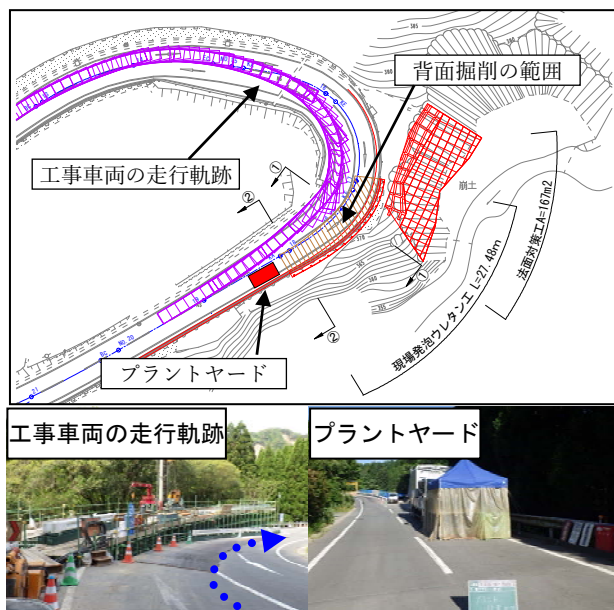


図-10 村道橋の木～立野線：施工現場

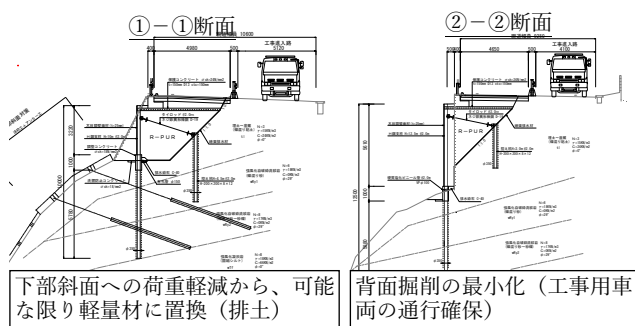


図-11 村道橋の木～立野線：横断計画

軽量盛土工法と異なり、水平作用力に対してアンカーで拘束させているため盛土底面に荷重が作用していない。そのため本技術を採用することで背面掘削を小さく設定することが可能となる。また、使用原料は盛土体積の約1/30で、専用プラントも4車に積載可能なため、施工ヤードを非常にコンパクトにすることが可能であった。そのため、強度を担保しつつ、工事車両の通行を確保することが可能であり、輻輳する他工区の工事車両の交通を制限することなく、施工することが可能であった。

- ② 図-12に本技術を用いた曲面部及び実際の施工現場を示す。本技術は、標準施工数量が118m³/日（従来工法の発泡スチロールブロック工法の約2倍）と施工性に優れ、現地形状に沿って発泡硬化するため廃材ロスが無く、結合部や継ぎ目のない地山と一体化した盛土を形成できる。また、曲線加工等も必要なく、狭小部や断面が変化するような施工箇所でも施工可能であり、当該地に最も適した工法であった。

以上の効果もあり、本技術を採用することによって工期を短縮することができたと考えられる。



図-13 R-PUR工法施工状況

(4) 復旧状況

他の軽量盛土工法と比べると経済性は劣っていたが、道路幅員を確保できたことにより輻輳する工事を妨げることがなかったため、当初計画した工期より早く、当該箇所を含む戸下大橋や阿蘇長陽大橋等の村道復旧工事が可能となった。結果として、新技術の採用により村道橋の木～立野線は2017年8月27日という早期に暫定供用できたと考えられる。

4. おわりに

本稿で紹介した事例は、震災からの復旧工事という通常の工事とは異なる環境下における新技術の活用事例である。そのため、経済性においては中位な新技術の採用であっても、以下のような利点があったと考えられる。

- 1) 施工性向上等による工期短縮
- 2) 震災直後の不安定な状況での安全性の確保
- 3) 限られた資材の有効活用
- 4) 早期供用という地元ニーズへの対応

また、震災時に限らず、新技術の採用を検討する上では、下記の点に留意しなければならないと再認識した。

- 1) 経済性に限らず、多様な観点からのメリット・デメリット比較の必要性
- 2) 受注者指定だけではなく、発注者指定の場合においても対応することのできる新技術への知識
- 3) 少ない実績の中でも、エビデンスをベースとした直接的・間接的効果まで考慮したマネジメント

ただし、上記で列挙した項目を定量的・絶対的に評価する方法や、新技術を採用するにあたっての明確なマニュアルは存在しない。そのため多くの事例を通して一人一人が新技術に対する知識を醸成していくことが求められる。上記項目を考慮すると、本稿は知識醸成という面においても後進への蓄積の1つになると考えられる。

なお、本稿で取り上げた工事を始め、熊本復興事務所が所管している復旧事業を推進するにあたっては、国総研や土研、ならびに調査・設計コンサルタント、施工業者等の関係者一体となった取り組みが不可欠であり、ここに感謝を申し上げる。

最後となるが、熊本復興事務所は引き続き恒久復旧に向けた工事を継続し、一日でも早い復旧に努めていく所存である。

タブレット端末を用いた直営点検の効率化

藤本 生¹・菅井 卓弥²

¹水資源機構 木曽川用水総合管理所 電気通信課（〒495-0036 愛知県稲沢市祖父江町馬飼寺東26-1）

²水資源機構 設備保全室 設備保全課（〒330-6608 埼玉県さいたま市中央区新都心11番2）

機構の管理における業務量は年々増大しており、多様な面から業務効率化を図り、職員への負担を軽減する事が組織的に大きな課題となっている。一方で、近年多方面で導入されている IoT 技術を活用し、管理の高度化を目指すべく、各現場で様々な取り組みがなされているところである。

今回、2016 年度に池田総合管理所管内で導入された「機械設備管理支援システム」を活用し、導入費用及び維持費用を抑え、利便性を向上させたうえで、中部管内に一斉導入した。

本稿では、既存システムからの改善点及び管内一斉導入における留意事項について報告するものである。

キーワード 業務効率化、タブレット端末、クラウド

1. 施設点検における現状と課題

各現場では、ダム施設や水路施設の巡視の他、電気設備や機械設備の点検を日々実施している。これらの巡視点検では、どれも Excel で作成した紙の帳票を現場に持参し、点検項目等にペンでチェックを入れ、写真についてはデジカメで撮影するという手法が一般的である。作業終了後は事務所にて Excel シートに点検結果を入力し、写真を貼り付ける必要がある。従って、作業の二度手間となるだけでなく、Excel シートに入力する際に転記ミスが発生する事がある。また、事務所に戻ってから点検のチェック漏れや定点写真の撮り忘れに気づくこともあると考えられる。



図-1 巡視点検支援アプリ

2. タブレットを用いた業務効率化

施設点検における現状の課題を解決し、業務効率化を図るツールがある。（図-1）

Excel 帳票を現場においてタブレット上でダイレクトに入力できるアプリで、カレンダーやテンキー等による様々な入力支援機能を有しており、現場での入力作業に特化したアプリである。（図-2）

このアプリを活用する事により、事務所に戻ってからの整理作業は無くなり、現場で作業を完結させることができる。



図-2 入力支援機能

3. 先行導入事例

池田総管では、既にこのアプリを導入している。システムは、サーバ、タブレット端末、ルータ、管理用 PC、インターネット光回線で構成され、機構組織内のネットワークシステムであるアクアネットからは独立して構成されている。（図-3）

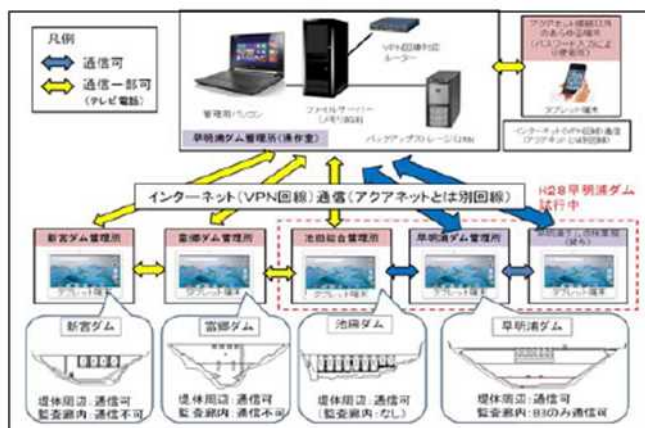


図-3 池田総管システム図

また、アプリを使用するに当たり、既存の Excel 帳票からの変換作業が必要である。タグ付けと呼ばれる作業で、タブレット上で各セルをタッチした時に、カレンダーやテンキー等用途に応じた入力支援を行うために予め各セルに用途に応じたタグ（文字列）を入力する必要がある。（図-4）

先行している池田総管では、各ダム100枚以上の帳票変換作業を全て外注している。

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2												
3												
4												
5												
6												

図-4 タグ付けの例

4. 中部管内への導入に向けて

池田総管の先行導入事例（以下、「既存システム」）を参考に、IoT を推進するため、中部管内の全事務所にも導入が可能であるか検討することとした。今回、池田総管で先行導入されていることから、中部管内導入前にアプリを試行することが可能であった。（図-5）

既存システムの仕様確認の他、実際に支社で帳票変換作業を行い、管内機械設備直営点検で試行した結果、次

の課題を抽出した。

- ① アプリに細かい所で使い勝手が悪い部分がある。
- ② 帳票タグ付けに相応の労力と慣れが必要。
- ③ 既存の帳票そのままでは現場で入力し辛い場合がある他、PC 上で最終整理する事を想定して作成されている帳票は、現場でのタブレット入力（アプリの機能）だけは整理にも限界がある。
- ④ システムが独立しているため、各職員の PC から作業ができず、利便性が悪い。
- ⑤ 独立した物理サーバを用いており、導入費用が高い。



図-5 管内直営点検での試行の様子

5. 課題等への対応

課題①については、試行を繰り返す中で、逐次メーカーに課題が改善できるか確認した。その結果、既存システム導入時には対応していなかった、写真サイズ（画素数）の変更や、帳票の個別ダウンロード等について、要望に沿って対応可能であることが確認できた。また、対応が困難な部分についても、使い方を工夫することで、概ね要望どおり使用することが可能となり、実際に現場で使用する職員目線（機構業務）で大きな問題は無く使える事を確認した。

課題②③については、ある程度慣れてルーチン化できれば、マクロ等を活用する事で大幅に労力を減らせる他、帳票を自ら工夫し、マクロを活用する事で大部分の対応は可能である事を確認した。ただし、各現場では業務多忙である他、パソコンの取扱いが苦手な職員もいることから、中部支社が支援し、直営で帳票を作成（タグ付け）することとした。

課題④⑤については、既存システムの抜本的な見直しが必要であったが、検討途中でクラウドサービスが開始されたため、本サービスを活用することとした（図-6）クラウドサービスを利用することで、既存システムと異なり物理サーバの構築が一切不要となり、かつサーバのメンテナンスや中間整備も一括してアウトソーシングする事ができるため、ネックとなっているサーバ整備が不

要となり大幅な業務量及びコスト削減に繋がる他、冗長性にも優れており、障害時の対応に困ることがない。費用は、クラウドサーバの月額利用料金(1ライセンス6千円/月)を支払うだけで良い。

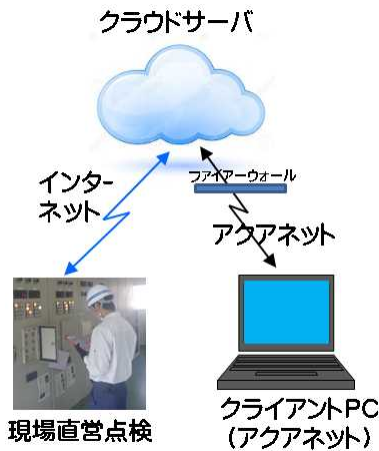


図6 中部管内システム図

6. クラウドサービスにおけるセキュリティ確保

クラウドサービスは、その便利さの反面、データの保存領域をインターネット上に置くこと、また運用を外部に委託する事により、様々なセキュリティリスクが存在する。機構では、セキュリティポリシーでクラウドサービスの選定にかかる規定を定めており、今回はそれに従い選定を行った。

情報資産をインターネット環境上に置く際に注意しなければならない点は、「クラウドサービス上で取り扱う文書の機密性及び管理体制」、「クラウドサービスを提供するサーバ自体のセキュリティ性」、「クラウドサーバが国内に存在するか」等である。今回の事例では要機密情報を扱うものではないことから、クラウドサービスによる一定のセキュリティリスクは受容できるものと判断し、注意点の基、サービスの選定を行った。

その結果、国内にサーバ拠点を置き、かつ情報漏洩・改ざんの防止において、第三者機関の発行する証明書を用いて暗号化することで、通信の機密性を確保しつつ、クラウド上に保存する情報資産の盗聴・改ざんを防ぐ対策のあるサービスを選定した。

7. 現場への提案・導入

クラウドサービスを活用することにより、設備投資を無くし、導入費用を安価に抑え、さらに支社サポートにより直営でタグ付けする方針で各現場に導入の提案を行った。結果、中部管内全9管理事務所の同意を得て、中

部支社において集約発注した。導入費用は総額で100万円未満であり、各事務所僅かな負担で導入が実現した。（表-1）

●導入費用

名称	単位	数量	単価	金額	備考
ライセンス	個	11	48,000	528,000	8ヶ月間
初期設定費用	式	1	50,000	50,000	導入時のみ
講習会費用	式	1	200,000	200,000	導入時のみ
計				778,000	
消費税				62,240	
合計				840,240	

●2年目以降

名称	単位	数量	単価	金額	備考
ライセンス	個	11	72,000	792,000	12ヶ月間
消費税				63,360	
合計				855,360	

表-1 費用表

8. さらなる活用

本システムは、基本的に、既存帳票を現場でタッチ入力し、事務所で書類整理を無くすものであるが、使い方次第で別の効果も発揮することができる。

例えば、防災時等のゲート放流前においては、ゲートが可動する条件が成立しているかをゲート室内の操作盤面（図-7）を見ながらチェックシートに基づき確認する。

この際、従来は紙ベースのシートを用いており、シートに記載されたチェック項目（文言）を読みながら、盤面の表示灯点灯状態を確認していたため、ヒューマンエラーを起こす可能性があった。（図-8）



図-7 操作盤面表示

正常：レ 異常：×			
分類	点検箇所	点検内容	点検結果
機側操作盤表示灯		①赤色シール部分のランプが点灯しているか	
		②故障表示がでていないか	

図-8 従来の紙によるチェック方法

しかし、本システムを活用すれば、タブレットに表示された盤面表示を実際の盤面と同じように点灯している部分だけタッチして画面上で点灯させることができ、さらに条件が成立している場合のみOKを表示させることもできるため、チェックミスをする可能性は極めて低い。(図-9)

当然このような活用方法は、既存の帳票のタグ付けを外注しただけでは不可能であり、職員自らが工夫して作成する必要がある。

また、中部管内では、タブレット端末を用いた施設管理への展開として、専門技術者がいない事務所や設備系職員が一人勤務の事務所等への遠隔支援対策に、コストを抑えた形でタブレット端末を簡易ヘッドマウントディスプレイ的な活用できないか検討し実証実験を行ってく。

【放流前_盤表示灯確認①】

レ		レ		
動力電源	機側操作	通常操作	単独操作	No.1ポンプ選択
	レ		レ	レ
制御電源	遠方操作	点検操作	連動操作	No.2ポンプ選択
				レ
		緊急操作入	インターロック解除	交互運転選択

判定結果 レ

【放流前_盤表示灯確認①】

レ		レ	レ	
動力電源	機側操作	通常操作	単独操作	No.1ポンプ選択
	レ			レ
制御電源	遠方操作	点検操作	連動操作	No.2ポンプ選択
				レ
		緊急操作入	インターロック解除	交互運転選択

判定結果 ×

[設定誤り]機械担当への確認が必要です

図-9 タブレットを活用したチェック方法

9. おわりに

近年多方面で導入されている IoT 技術を活用し、管理の高度化を目指すべく、各現場で様々な取り組みがなされているところである。その導入されたシステムについての効果の有無は、実際に使用する職員がどう感じるかが最も重要である。

新システムを導入する際は、現場職員の理解を得ながら十分に配慮のうえ推進する必要がある、導入にあたり、現場の負担を強いることのないようにしなければならない。

本システムは 2017 年 8 月より運用を開始しており、講習会も終えて各現場順次使用を始めているが、システムを定着させるためには、今後も継続して支社からサポートし、随時改善を施し、システムに慣れていく必要がある。(図-10,11)



図-10 操作方法講習会の様子

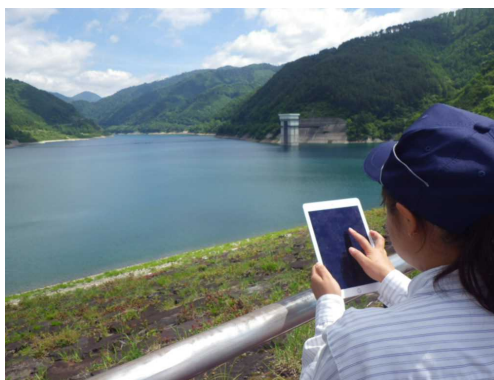


図-11 味噌川ダム貯水池周辺巡視の様子

参考文献

- 1) 水資源機構:タブレット端末を用いた機械設備管理支援システム構築. 2016技術研究発表会

中部横断自動車道 猛禽類調査における 先進的調査及び稀少観測結果の事例について

番場 良平

関東地方整備局 甲府河川国道事務所 工務第二課 (〒400-8578 山梨県甲府市緑が丘 1-10-1)

中部横断自動車道（富沢 I C～六郷 I C）の事業地周辺では、オオタカ・クマタカ・サシバといった稀少猛禽類の営巣が確認されている。猛禽類は生態系における高次消費者であり、その生息・繁殖状況は工事影響の指標となることから、正確に調査・把握する必要がある。しかしながら、定点調査等の既往の調査手法のみでは、工事音や作業員の接近等に対する忌避行動などの工事影響を定量的に把握・評価することが困難である。そこで当該計画路線では、猛禽類に対する工事影響の定量的な分析を目的として、カメラ撮影調査やGPS調査といった先進的な調査を実施しており、これらの調査手法の必要性と期待される効果について考察する。

キーワード 中部横断自動車道, 猛禽類保全, カメラ撮影調査, GPS 調査

1. はじめに

中部横断自動車道は、静岡県静岡市を起点に、山梨県甲斐市を經由して長野県小諸市に至る延長132kmの高速自動車国道である（図-1）。

このうち山梨県区間（富沢 I C～六郷 I C間）の延長 28.3km については、平成 18 年の第 2 回国土開発幹線自動車道建設会議において国による整備が位置づけられ、新直轄方式による整備が進められている。

当該路線周辺にはクマタカ、オオタカ（図-2）、サシバ等の希少猛禽類の生息が確認されており、工事影響の把握等を目的として、行動観察調査及び繁殖状況調査を実施している。

2. 中部横断自動車道における猛禽類の確認状況について

中部横断自動車道では平成 19 年 1 月から猛禽類調査を実施しており、工事予定箇所及びその近傍にクマタカ、オオタカ、サシバの生息が確認されたことから、保全対策のための調査を継続している。これまでに、2 科 11 種の重要な猛禽類が確認されており、このうち、クマタカ、オオタカ、サシバ、ハチクマ、ハヤブサの 5 種の繁殖が確認されている。

また、猛禽類の生息及び繁殖状況の調査結果に基づき、調査方針及び保全対策について検討を行うことを目的として、専門家からなる「中部横断猛禽

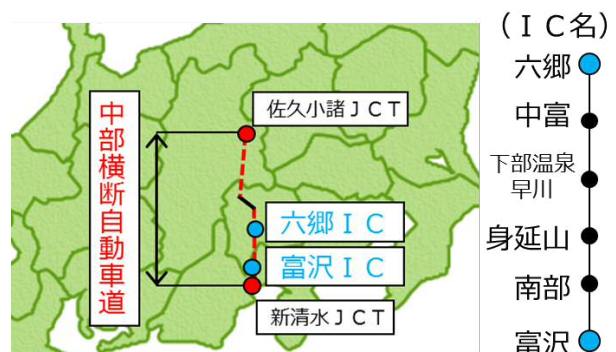


図-1 中部横断自動車道-事業範囲



図-2 左：クマタカ、右：オオタカ
（事業範囲周辺にて撮影）

類保全検討委員会」を設け、工事実施中の保全対策検討・立案を行い、保全対策を実施している。

3. 中部横断自動車道において実施されている先進的な猛禽類調査

猛禽類保全のための調査において、既往の手法では遠方から双眼鏡にて行動及び繁殖状況を観察することとなっている。

しかしながらこの方法では、行動圏が広く移動能力の高い猛禽類の行動は、一部しか記録することができない。また、調査員を投入可能な日数にも限りがあり、期間的にも限られた情報しか得ることができない。また既往の調査手法では、「餌の量及び搬入餌種が何%変化した」「工事現場を何m離れて飛ぶようになった」等、定量的な分析が難しい。

そこで中部横断自動車道では、常時観察及び定量的な分析が可能な調査手法として「カメラ撮影調査」「GPS 調査」を実施している。

(1) 繁殖期におけるカメラ撮影調査

工事中の繁殖期データを取得するため、営巣木の近くに設置したカメラにより撮影を行い、育雛期間中の生態について映像を記録し、データを整理している。なお、営巣中にカメラを設置すると、親鳥が警戒し、繁殖が失敗してしまう恐れがあるため、過年度の繁殖実績がある箇所事前にカメラを設置している。

この調査により、餌の消費量及び搬入された餌の種類(図-3、4) についての情報が得られる。

また常時撮影であるため、いつ、何が起きたのかを把握(図-5)することができる。

(2) GPS 調査

平成20年よりクマタカ、オオタカ、サシバを対象としてGPS発信器を装着し、位置情報を収集している。発信器の装着に際しては、専門家の指導の



図-3 雛にヤマカガシ(蛇)を与えるサシバ

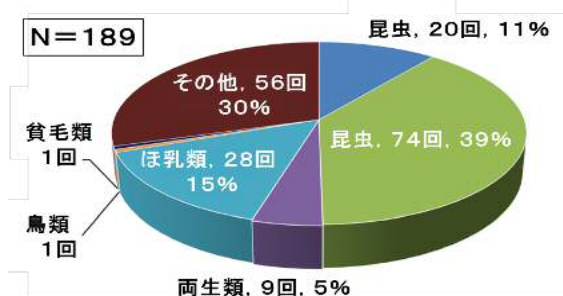


図-4 カメラ撮影調査を実施したサシバの餌の内訳



図-5 猿がクマタカの卵を持ち去った様子

もと捕獲(図-6)を行い、発信器及び個体識別のためのカラーリング(図-7)を装着し、放鳥している。

GPS調査では、猛禽類の位置を通年で確認することができ、時期毎の行動圏を正確に把握することが可能である。このため「工事現場を何m以上離れて行動していることから、工事現場に対して忌避行動を示している」といった分析を行うことができる。また、個体の識別が可能であることから、工事に対して忌避行動を示した個体が次の年に戻ってきたかどうかなど、年をまたいだ分析が可能である。

本事業におけるGPS調査において、猛禽類の行動範囲は目視可能な観察範囲よりもはるかに広い、ということを示すデータが得られているので紹介する。平成28年より、中部横断自動車道の沿線で営巣したサシバの雌個体についてGPSによる追跡を実施している。GPS調査から得られたデータより、この個体は越冬のため日本から台湾へ移動し、中国大陆～朝鮮半島を経由して戻ってきたことが



図-6 GPS発信器を装着した個体
左：クマタカ、右：オオタカ



図-7 カラーリングを装着したサシバ

判明している（図-8、9）。なおGPSで実証した事例としては、中国大陸～朝鮮半島経由での飛来ルートが確認されたのは初めてのことである。またオオタカについても、越冬のため山口県へ移動した後、山梨県まで戻っていることが確認されている。これらの調査結果より、目視による観察調査には限界があり、実際の行動範囲を踏まえた調査・評価手法を設定することが、猛禽類の保全対策を検討する上で重要といえる。

4. 稀少な観測結果の事例

猛禽類の生態については未解明の部分が多く、中部横断自動車道における猛禽類調査においても、通常では営巣しないと考えられる箇所において営巣・繁殖が成功した稀少な観測結果が得られている。

平成29年度の調査において、工事箇所目前でのサシバの営巣・繁殖成功が確認された（図-10）。この箇所では、谷内に土砂を仮置きする工事が行われており、非繁殖期中から土砂搬入を実施していた。平成29年度の繁殖期においても継続的に土砂搬入・整地作業が行われていたが、6月の調査において工事箇所に近接したモミの木にサシバが営巣していることが確認された。雛は3雛確認されており、7月に巣立ち・分散した。この間、巣の直下で土砂を下ろすなどの作業があったが、忌避行動は見られなかった。

通常、猛禽類は騒音や震動を忌避するため、工事箇所の近傍では繁殖しないと考えられている。また、外敵の接近にも敏感であることから、工事箇所の近傍で猛禽類の営巣が確認された場合には、営巣箇所周辺への人の立ち入りを控えてもらうなどの配慮が必要である。



図-8 日本から台湾への移動中に取得されたGPSデータ

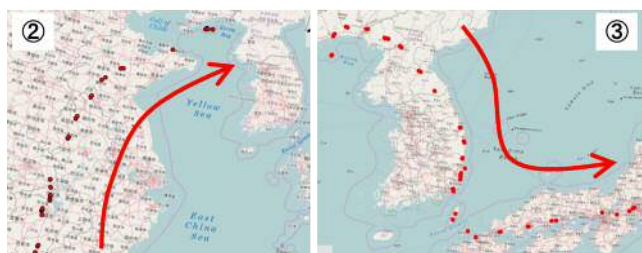


図-9 中国大陸から日本への移動中に取得されたGPSデータ



図-10 工事箇所と営巣木の位置関係

一方で、上記事例においてサシバの繁殖が成功したのは、繁殖期にかけて大きく工種・工法を変えずに工事を継続して実施したことで、工事への馴化ができたためと考えられる。

前述した通り、猛禽類の生態については未解明の部分が多い。工事影響を評価する上で重要となる、猛禽類は具体的にどのようなものを拒否し、忌避行動としてどのような反応をするのか、ということについては現状完全に把握できているとは言いがたい。また、猛禽類には上記の例でみられたような馴化能力が備わっていることが知られてきており、明確に工事の影響がある中で繁殖成功する場合もある。

このような中で工事影響を正確に評価するためには、カメラ撮影調査やGPS調査など、猛禽類の行動を正確かつ定量的に分析可能な調査手法を採用し、生息実態に関するデータを蓄積しながら、工事箇所に対する反応と、繁殖の成否の関係性を分析していく必要がある。

5. 先進的調査の必要性について

猛禽類は生態系ピラミッドにおける高次消費者であり、猛禽類の生息・繁殖状況は、周辺の自然環境の変化に対する敏感な指標となる（図-11）。そのため、事業が周辺の自然環境へ影響を与えたかどうか判断する上で、猛禽類の生息・繁殖状況は重要な判断材料となることから、正確に調査・把握しなければならない。

しかしながら、双眼鏡を用いた定点観測調査（図-12）など、既往の調査手法で得られる情報には限界があり、定量的で正確な分析は難しい。定量的な情報に基づく正確な分析を行うためには、上述したようなカメラ撮影調査やGPS調査などの調査手



図-11 生態系ピラミッドにおける猛禽類への影響



図-12 従来の調査方法の様子

法が有効であり、中部横断自動車道における環境調査では、これらの調査手法が用いられている。

カメラ撮影調査では、親鳥が雛に与える餌の内訳から、営巣箇所周辺の餌環境及び周辺生物の生息状況変化について推察が可能となる。餌の内訳において、特定の生物の割合が一定数減少しているようであれば、その生物の生息環境が崩された可能性が予測でき、餌場の周辺の環境と工事箇所の関係を調査・分析することにより、工事影響の有無を判断することができる。また、カメラ撮影調査を行うことにより、繁殖の失敗が確認されたとしても、図-5に示した場合のように、その原因を特定することが可能であり、工事の影響の有無について迅速かつ正確に分析することが可能となる。

GPS調査では、時期毎の行動圏データと工事箇所を照らし合わせることで、猛禽類が工事箇所を避けるように移動していないかどうかを分析し、工事影響の有無を判断する。また、工種についても照らし合わせることで、どのような工種に対して忌避行動を示すのか、情報を蓄積することで、今

後の保全対策に活用する予定である。また、GPSを装着した個体については、越冬のため南下した後も追跡が可能であり、年度をまたいだ行動分析を行うことができる。

今後、中部横断自動車道については、工事影響の有無及び調査終了の判断を行う必要がある。その際に、上述した先進的調査の結果・分析を活用した、定量的な評価・判断に向け、データを蓄積していく予定である。また、中部横断自動車道における環境調査で得られたデータや知見が、今後の道路事業における環境保全対策や工事影響評価に活用できるよう、技術継承に取り組んでいかなければならない。

6. 謝辞

中部横断自動車道における猛禽類調査及び本論文の執筆にあたり、多くの方からご協力を頂いており、ここに関係者各位に感謝の意を表する。

岩国大竹道路における 橋梁設計のための断層調査

別紙— 1

庄司 彰¹・三上 里奈¹

¹広島国道事務所 調査設計課 (〒734-0022 広島県広島市南区東雲2丁目13-28)

広島県大竹市の御園地区において、岩国大竹道路の御園高架橋を計画していたが、計画地には活断層である大竹断層が存在していることから、平成28年の熊本地震を踏まえ発出された事務連絡「断層変位が生じると考えられる場合の橋梁の計画」により、活断層の影響を考慮した橋梁設計を行う必要が生じた。

本報告は、橋梁設計に伴う活断層の影響を検討するにあたり、活断層の位置を正しく効率的に調査するため、土木研究所の助言を得ながら調査計画を策定し、活断層位置の把握を行うまでの過程をまとめたものである。

キーワード 効率的な活断層調査、活断層、橋梁設計、高品質ボーリング

1. はじめに

一般国道2号岩国大竹道路は広島県大竹市小方から岩国市山手町に至る延長約9.8kmの地域高規格道路であり、大竹市～岩国市間の交通渋滞の緩和および、交通安全対策、大竹～岩国地域の連携強化、広域的な都市間の交流促進等を図ることを目的として計画されている。広島県側は平成28年度に一部工事に着手しているが、用地買収および調査・設計も継続している状況である。

御園高架橋は、岩国大竹道路の起点側に位置し、県道乙瀬小方線や新町川、市道等を跨ぐ高架橋である。また、山陽自動車道と並行し、供用中の広島岩国道路と連結予定の大竹西IC（仮称）と隣接する位置に計画されている。

変位に起因する落橋の被害が発生し、平成28年9月13日に「断層変位が生じると考えられる場合の橋梁の計画」についての事務連絡が国土交通省道路局より発出され、活断層と交差する位置に架橋を計画する際は、活断層の位置などの調査および橋の位置、橋梁形式、構造の検討が必要となった。

御園地区には活断層である大竹断層が存在し、御園高架橋の区間で大竹断層と交差すると想定されることから、活断層の影響を考慮した橋梁設計を行うための断層調査を行うこととなった。

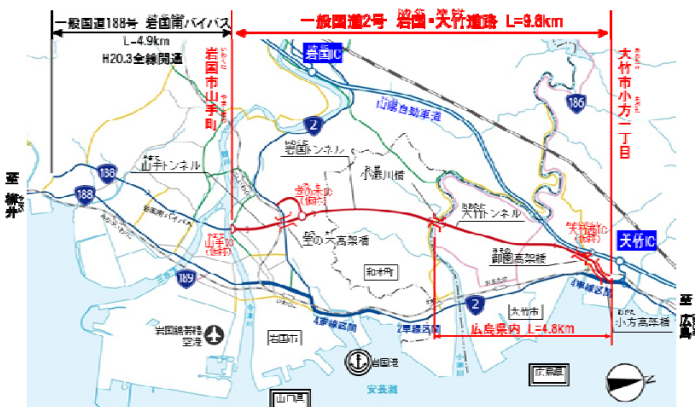


図-1 岩国大竹道路 概要図



図-2 断層帯平面図

2. 断層調査の経緯

平成28年4月14日に発生した熊本地震では、活断層の

3. 大竹断層と岩国大竹道路の現状について

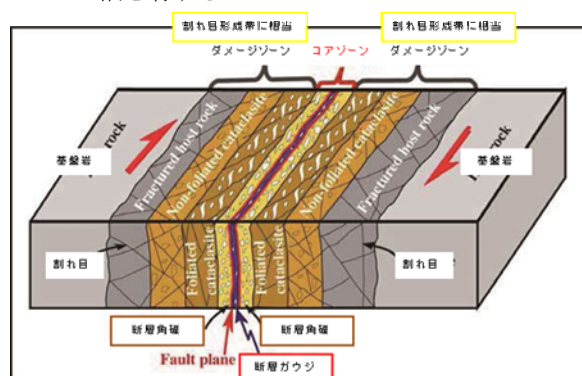
御園高架橋は、山陽自動車道と並行し岩国方面に向かって新町川を渡った先で大竹トンネルに至るルートが都市計画決定されており、また前後区間の用地買収も進捗していることから、大竹断層を避けたルートに変更することは不可能な状態となっている。

また、大竹断層と交差すると考えられる場所は新町川の堆積物が厚く堆積していることから、活断層の痕跡を直接目視できないため、大竹断層の位置が把握できない状況にある。

4. 活断層の特徴

活断層の特徴として、角礫状の幅のある破碎帯（ダメージゾーン）の中に断層ガウジがあることが挙げられる（断層破碎帯）。これらの特徴をもつ部分を発見できれば、断層の可能性があるとみなすことができる。

- ・断層ガウジ：活断層の運動において岩盤同士が擦れ合い1～2cm程度の粘土状の層を成したもの
- ・破碎帯：断層運動に伴い岩石が機械的に破碎された不規則な割れ目の集合体であり、ある程度の幅を有する



図－3 断層破碎帯の概念図

5. 調査範囲の絞り込みに伴う問題点と解決策

(1) 調査範囲の絞り込みに伴う問題点

平成29年1月11日に国土技術政策総合研究所及び土木研究所に大竹断層の対応方針について合同打合せを行ったところ、地表踏査等で大竹断層の大まかな規模や性状を把握し、その後位置を絞り込むための物理探査や断層を直接目視するためのボーリング調査を行っていくことが効率的であるとの助言を頂いたが、当該地域での調査は下記①～②のような課題があり、調査方法をさらに検討する必要があった。

①地表面からの直接観察が不可能

表層には沖積層が10m程度堆積しており、断層地形が地表に現れていないため、目視などで大竹断層を直接確認できない。

②住宅地における調査の課題

一般的な活断層の調査は、ダムや原子力発電所等の山間部や人里離れた場所に計画する施設で実施されたものが多いため、調査を行うにあたり用地上の制約が少なく、断層を直接目視することができる大規模なトレンチ調査を行うなど費用及び時間をかけて行うことができる。当該地域は市街地に近く、住宅や道路等の支障物が近傍に位置している場所であることから、山間部での調査のような大規模なトレンチ調査は不可能であり、周囲への影響も考慮した他の調査方法を検討する必要がある。



写真－1 御園地区 上空からの様子

(2)調査方針案の決定

当該地域では地表から直接大竹断層を確認できないことから、既存の文献（都市圏活断層図及び活断層詳細デジタルマップ）の解読や近傍にある露頭（岩国市甘木及び山陽道トンネル坑口付近）の調査を行い、大竹断層の大まかな性状を確認した後に物理探査や大竹断層本体を確認するためのボーリング調査を行う計画とした。

(3)当該地域の特性を考慮した詳細な調査計画の決定

既存の文献の解読及び近傍の露頭から樹脂固化試料等作成し目視観察を行い、大竹断層及び近傍の地質の性状・規模・方向性を確認することにより、大竹断層は北東から南西方向に走向する高角度の右横ずれ断層であることを事前に把握することができた。

これらの情報を踏まえ、平成29年6月16日に当該地域の特性を考慮した詳細な調査計画を検討するため、土木研究所と地質調査業務および御園高架橋設計業務の受注者と合同現地踏査を実施し下記の見解を得た。

- ・弾性波探査を行う場合は、住宅が近傍にあることからより大きなエネルギーでハッキリとした波形を得ることができる発破による調査が実施できないため、探査深度が浅くなり確実に断層を捉えることはできない可能性がある。
- ・電気探査を行う場合は、調査エリアに市道や建物等が存在するためガードレールや水道管等の埋設物の影響により調査に影響が生じる可能性がある。
- ・上記のリスクを踏まえた調査範囲の確定や、調査を段階的に行い様子を見ながら調査を進めていくことが望ましい。

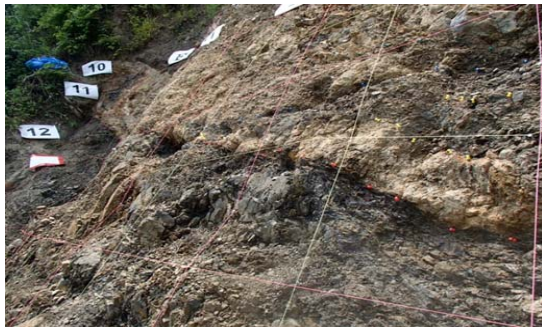


写真-2 近傍の露頭状況



写真-3 合同現地調査の様子

土木研究所の見解を踏まえ、橋梁計画位置と大竹断層範囲が近接する範囲において断層を面的に捉えられるような位置に調査測線を複数配置した。また、弾性波探査及び電気探査それぞれのメリデメを考慮し、各測線で弾性波探査及び電気探査を行うこととし、調査を2段階に分け、1回目には得られた結果を2回目の調査計画にフィードバックして調査範囲の見直しを行うことで、手戻りが生じない計画とした。

大竹断層の概ねの位置を絞り込むための弾性波探査および電気探査についての概要は下記のとおりである。

・弾性波探査

地下を伝わる弾性波（振動）が物性の異なる境界で屈折や反射などの現象を生じることを利用し、発破やハンマー等で地面に衝撃を与え、地下構造を調査するための手法。

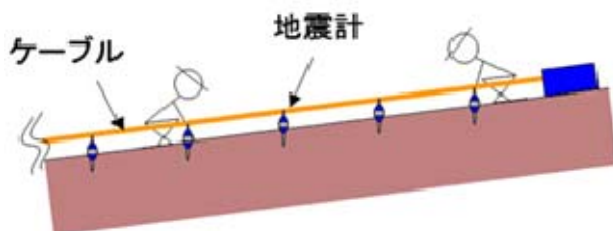


図-4 弾性波探査の概要図

・電気探査

地面に刺した電極から地下に通電させ、地盤を構成する物質の電気的性質を測定して、地盤の地質的及び土木

工学的な解釈を行う手法。

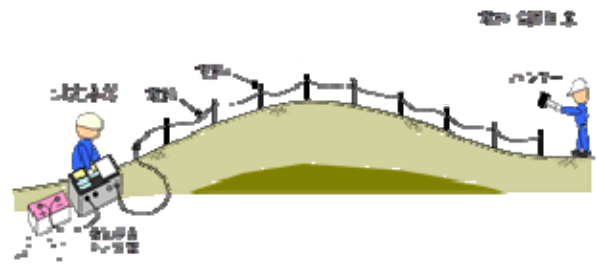


図-5 電気探査の概要図

また、弾性波探査及び電気探査は、橋梁や地下埋設物（金属製の水道管など）等の影響を受け、正しいデータが得られない可能性があることから、より精度を正確なものとするためにS波速度構造が推定できる表面波探査、微動アレイ探査を追加で実施することとした。S波速度は、弾性波探査で得られるP波速度の $1/2 \sim 1/3$ 程度を示すことで、低速度帯での走時の遅れがP波よりも大きくなるため、断層位置で速度構造としての違いとして認識しやすい利点がある。

(4)物理探査による絞り込み調査結果

弾性波探査及び電気探査等の結果から、大竹断層の御園高架橋付近での分布は、都市圏活断層図および活断層詳細デジタルマップに示される2つの断層の間に位置すると推定された。その結果を踏まえ、大竹断層を捉えられる位置でボーリング調査を行うこととした。

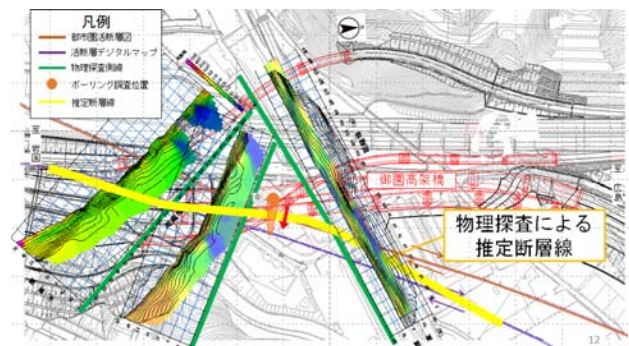


図-6 物理探査の計画図

6. ボーリング調査時の問題点とその解決策

(1)当該地層における活断層コア採取時の問題点

物理探査等で大まかな大竹断層位置を絞り込んだ後、大竹断層面を直接観察するためのコアを採取するボーリング調査を実施する計画であったが、当該地域の地盤は粘板岩およびチャートが主体の付加体であるため小さな割れ目が発達しており、また、断層運動に伴い岩石が機械的に破碎され不規則な割れ目を有する断層破碎帯を含む地層であるため、大竹断層部分を示すボーリングコアを確実に採取するためにボーリング調査の方法に工夫が必

要であった。

(2) コア採取および解析計画の決定

大竹断層のコア採取を行うにあたり、付加体や断層破碎帯による亀裂に伴う孔壁の崩壊によるコアへの影響を低減し高品質なコアを採取する必要があることと、大竹断層は高角度で地中に位置していることから、地層の特性を考慮し、なおかつ文献で示された走向角を基に最大の想定範囲をカバーできるよう、φ86mmの高品質斜めボーリング工法を採用することとした。高品質ボーリングは、掘削に使用する水の送水量および給圧を低く設定し、水圧や掘進速度等目に見えないものを数値化し、モニターでリアルタイムで管理しながら掘進し高品質の状態でもコアを採取することができる工法である。

また、活断層の判断においては、断層ガウジの幅や方向、破碎帯の発達状況等の把握が重要な要素となることから、ボーリング孔壁の全周方位展開画像を得ることのできるボアホールカメラ観察も併せて行い、活断層を含む断面や層理面、割れ目の走向傾斜を把握することとした。

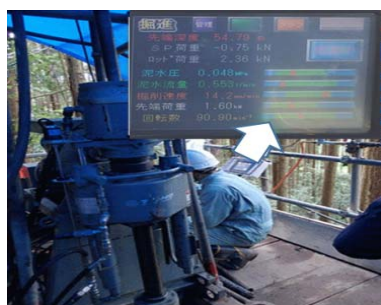


写真-4 高品質ボーリング掘進状況管理モニター

(3)高品質斜めボーリング調査結果

断層ガウジの有無の判断には、連続的かつ乱れが少なく採取率の高いコアの採取が必須となるが、φ86mmの高品質のボーリングを慎重に実施したことで、断層の可能性のある箇所を3箇所採取することに成功した。

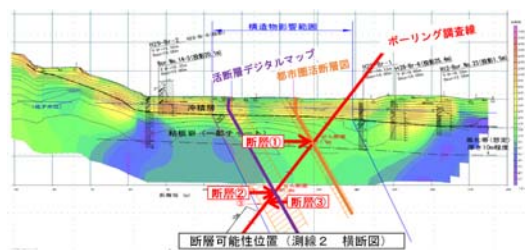


図-7 想定断層線と斜めボーリングの位置関係

また、ボアホールカメラ観測の実施により、断層面の分布方向（走向傾斜）など断層の構造を把握することができた。

断層 ガウジ	深度 (m)	コア写真 浅→ 一深	ボアホールカメラ 展開画像	ボアホールカメラ 解析値	
				走向	傾斜
①	17.87		17.80	N11° E	54.09° W
	17.91		17.90	N9° E	65.04° W
	17.92		18.00	N9° E	63.56° W
②	37.37		37.30	N19° E	44.05° W
			37.40		
			37.50		
③	42.51		42.30	N27° W	48.32° SW
			42.40		
			42.50		

写真-5 断層部の高品質ボーリングとボアホールカメラ映像の対比

7. 活断層の特定

(1) 活断層の特定に伴う問題点

活断層の可能性のある部分が3箇所（断層①～③）発見されたが、当該地域では、付加体による亀裂が密に存在しており、活断層との違いをそれぞれの特徴から判断する必要があったため、活断層の推定検討を行った。以下に、断層①～③の箇所の特性を示す。

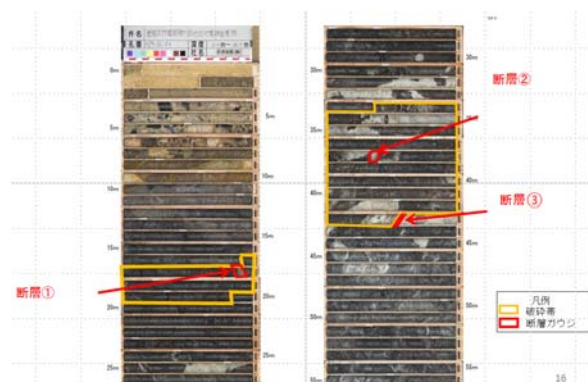


写真-6 高品質ボーリングコアによる断層位置の抽出

<断層① 深度17.85～17.94m>

- ・破碎帯16.9～19.8mの間に断層ガウジが分布
- ・物理探査等で推定した断層範囲に相当
- ・走向は大竹断層全体と整合
- ・破碎帯幅が約3mと小さい

<断層② 深度37.35～37.40m>

- ・破碎帯33.4～43.9mの間に断層ガウジが分布。
- ・探査などで推定した断層範囲に相当しており、既往の文献（活断層デジタルマップ）の位置にも近接している。
- ・走向は大竹断層全体と整合。

- ・破碎帯の幅が 10m と大きく、やや固結した古い断層と軟質な断層が分布し、細粒花崗岩が多く貫入するなどの特徴が甘木の断層露頭や御園地区南側の断層近傍露頭に類似する。
- ・断層破碎帯の下位は、地質がチャート質に変化する。

＜断層③ 深度 42.53～42.55m＞

- ・断層ガウジが分布するが、やや固化しており古い断層と推定。
- ・探査などで推定した断層範囲の東側外に位置する。
- ・走向は大竹断層の分布と相違がある。

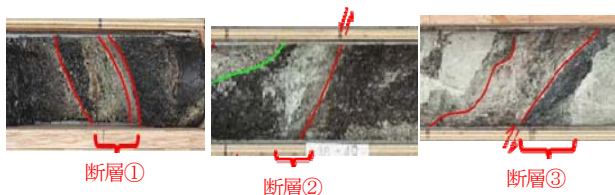


写真-7 断層①～③部分のコア拡大写真

(2) 主断層を絞り込むための判断要素

付加体による亀裂と活断層の違いを判断するためには、大竹断層の性状や走向、これまでの調査で推定した範囲に相当しているか等が判断の要素となる。文献及び近傍の露頭で判明した大竹断層の特性は以下のとおりであった。

- ・角礫状の幅のある破碎帯の中に断層ガウジが認められる（断層破碎帯）
- ・北東から南西方向に走向している。

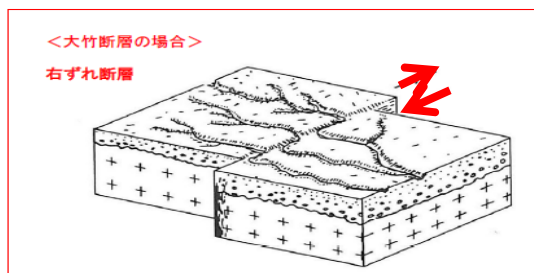


図-8 右横ずれ断層 イメージ図

(3) 大竹断層の絞り込み

断層③は大竹断層の走向傾斜と異なり、地質もやや固化した古い断層であることが確認できたため、断層③は候補から除外し、断層①及び②での比較を行うこととした。

断層①及び②については、大竹断層の走向や断層破碎帯の状態が類似していたため、非破壊で1mサイズのコアを直接詳細に観察することが可能なX線CT画像調査を行い、コア内部の断面観察を行った。

コア内部の断面観察では活断層のズレに伴い生じた断層面の傷の向きを読み取り、あらかじめ近傍の露頭で採取した試料の傷の向きと比較観察することで、活断層と

の判別を行った。また活断層の活動に伴う破碎帯の範囲を判断するため、簡易な強度試験も用いた。

＜断層① 深度 17.85～17.94m＞

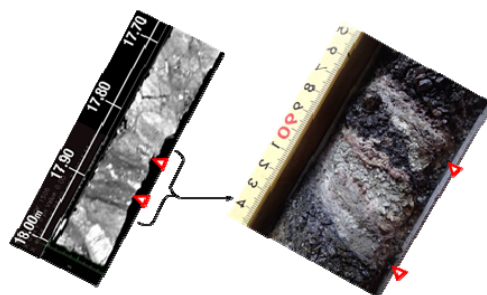


写真-8 断層ガウジ① CT画像とコアとの比較

＜断層② 深度 37.35～37.40m＞

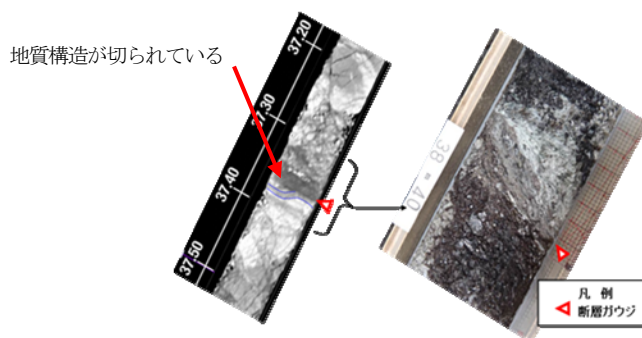


写真-9 断層ガウジ② CT画像とコアとの比較

コアやX線CT画像で確認した結果、断層②については断層ガウジに接する層が、断層ガウジに巻き込まれて地質構造が切られている構造を確認することができた。これは、活断層による大きな摩擦運動によって、周辺の層が巻き込まれたものと推測できる。また、幅を有した破碎帯であることや、地質条件も大竹断層の特徴と類似していることから、断層②が最も活断層の特徴を有していると判明し、平成30年1月16日に土木研究所に結果報告に行き、断層②大竹断層の可能性が最も高いとの見解を得た。

8. 技術活用後の評価

ボーリング調査を行う場所の選定については、複数の物理探査を組合せ絞り込みを行い、効率的に正しい位置を選定することができた。

今回は事前に大竹断層の特徴を文献や近傍の露頭部の調査で把握し、高品質斜めボーリングで採取したコアの観察およびボーリング孔でのボアホールカメラ観察の実施により、断層面の分布方向（走向傾斜）など断層の構造を把握することができたため、活断層と考えられる部

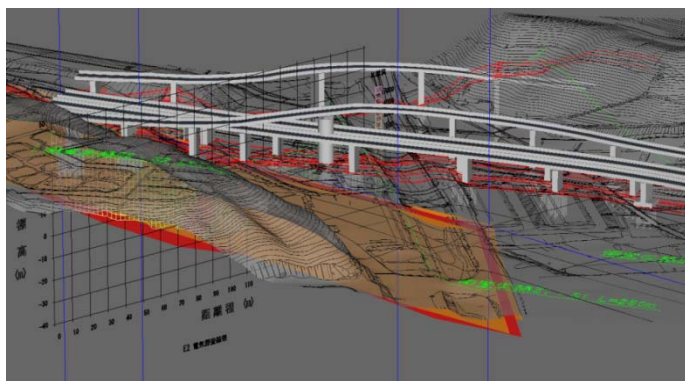
分の特定は比較的容易であった。

また、活断層をボーリングコアで客観的に判定するためにコア観察以外にも活断層と裏付けるための指標が必要であったため、活断層と考えられる部分をコアの X 線 CT 画像で確認し、加えてコアの簡易強度試験などを行うことで、活断層の判定を行うための視覚的・数値的指標を得ることができた。

9. 今後の課題とその改善方策（案）、他の現場への活用提案等

橋梁設計のための活断層調査は、調査方針などは確立されたものは無く、用地上の制約や期間的な制約、費用的な制約などにより大規模な調査を行うことができないため、効率よく断層の位置を特定するためには、今回の調査のように調査方法の検討を入念に行い、各調査手法を組み合わせ効率的に活断層の位置を推定する必要がある。

また、橋梁と断層の位置関係は3次元で把握する必要があることから、調査で得たデータを3次元の断層モデルとして作成し視覚的に表現することで、断層を予め避けた構造に変更する等、橋梁設計を効率的に実施することができた。



参考文献

- 1) 都市圏活断層図（岩国断層帯とその周辺「岩国」「下松」解説書）
- 2) Lin & Yamashita (2013) 「Journal of Structural Geology」 （国際学術誌） 第 57 卷
- 3) 土木研究所（2017）
- 4) 活断層研究会編（1991）〔新編〕日本の活断層—分布図と資料（東京大学出版会）
- 5) 活断層デジタルマップ

一般国道9号北条バイパス コンクリート舗装災害復旧(最終報告)について

河中 響平¹・竹本 啓伸¹

¹ 中国地方整備局 倉吉河川国道事務所 道路管理課 (〒682-0018 鳥取県倉吉市福庭町 1-18)

一般国道9号北条バイパスの連続鉄筋コンクリート舗装(約2.4km)は、1987年8月の供用開始以来約30年が経過している。2016年10月21日、鳥取県中部を震源とした鳥取県中部地震では最大震度6弱が観測され、バイパスの原地盤である砂丘の緩い砂層が液状化し、舗装面の連続性は保たれたまま、路面に最大20cm程度の不同沈下が生じた。この被災状況に対応するための工法として「完全付着型オーバーレイ工法」を国内の道路舗装として初めて採用し、2018年3月に復旧が完了した。この工法について、連続鉄筋コンクリート舗装における一補修方法としての展開を図るため報告する。

キーワード 連続鉄筋コンクリート舗装, 完全付着型オーバーレイ工法

1. はじめに

2016年10月21日に鳥取県中部を震源とする最大震度6弱の鳥取県中部地震が発生し、北条バイパスにおいて、原地盤である砂丘の砂層の液状化によると考えられる被害が生じた。図-1に示す被災箇所のうち、連続鉄筋コンクリート舗装(以下、CRCPと略す)区間においては、路面にうねるような不同沈下(写真-1)が発生した。

この被災状況に対応するため、道路舗装としては国内初の「完全付着型オーバーレイ工法」を採用し、平成30年3月に復旧が完了した。(写真-2)



図-1 北条バイパス被災箇所位置図



写真-1 CRCPのうねり



写真-2 北条バイパス復旧完了後

2. 完全付着型オーバーレイ工法の選定

今回のCRCPのオーバーレイ(以下、O.L.と略す)対象箇所は、地震による路面の不同沈下が生じた箇所であり、沈下量を埋めて道路縦断の平坦性を確保する方式となっているため、一般的な薄層O.L.とは異なる特徴が次のようにある。

- (1) O.L.厚さが最大20cm程度と厚いこと。
- (2) 沈下要因とも考えられる「路床～路盤の劣化の可能性が高いこと。

これらの特徴を踏まえ、下面の既設コンクリート舗装との付着性の確保及び曲げ強度・耐久性向上の

観点から、表-1より工法の比較を行った。

20cmもの厚さのO.L.は、道路コンクリート舗装では事例が無いが、成田空港での実績から完全付着型O.L.工法の適用が考えられた。既設コンクリート表面に十分な表面処理を行った上で、所定の強度を有するO.L.コンクリートを10cm以上の厚さに打設し、完全付着することで、コンクリート版の増厚効果により、仮に路床～路盤の状態が劣化していても十分な強度と荷重支持機能は期待できる。¹⁾

また、O.L.工法は撤去費用が高額な再構築と比べて、経済性に優れているという利点もある。

3. O.L.後の疲労寿命予測の検討

疲労設計を行う際には次の3つのステージ(段階)に分けて考えた。(図-2, 図-3)

- (1) ステージⅠ：1987年の供用開始後から縦ひび割れ発生までの期間。(供用後1年と仮定)
- (2) ステージⅡ：縦ひび割れ発生後からO.L.前までの期間。(1989年～2016年 供用期間28年)
- (3) ステージⅢ：O.L.後、完全付着によりコンクリート厚が厚くなった状態。

疲労度はステージⅠ～Ⅲの疲労蓄積量と疲労破壊の関係より求めることになる。試算によればステージⅠで供用1年後(1988年)に縦ひび割れが右側タイヤ近傍に発生(破壊確率11.5%、疲労度1.05)し、そのまま2016年まで左側タイヤ近傍に縦ひび割れなく供用(破壊確率25%、疲労度0.64)し、ステージ

ⅢでO.L.後の設計耐用期間を50年(破壊確率10%)とした場合、2017年のO.L.後、2067年まで供用可能(疲労度0.86)な結果となった。

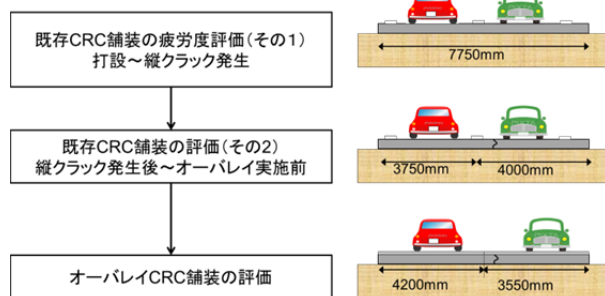


図-2 疲労設計における3つのステージ

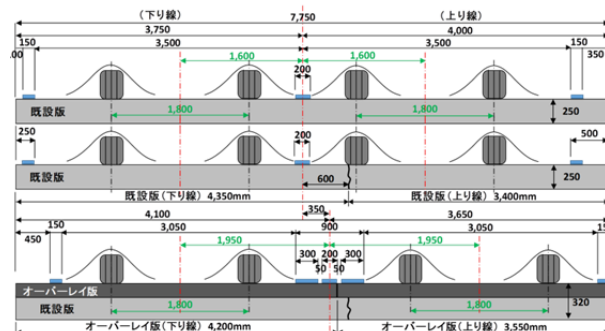


図-3 3つのステージの車輪走行位置分布

4. 完全付着型O.L.工法による再生計画

北条バイパスにおける完全付着型O.L.は不同沈下が生じた箇所の沈下量を埋める方式となっている。その起終点を結んだラインが補修の計画縦断線であり、その区間を沈下量に応じて分類した。(図-4)

表-1 工法の比較表

	完全付着型	付着型		
材料	鉄筋コンクリート	短繊維補強コンクリート(FRC)	樹脂モルタル	アスファルト合材
表面処理	ウオータージェット+ショットブラスト	ショットブラスト	ショットブラスト	タックコート塗布
適用厚	○ OL厚≧10cm	× OL厚≒5～8cm	× OL厚≒0.5～1cm	○ OL厚≧4cm
構造性 (路盤対応)	○ 路床～路盤が劣化していてもCo厚増加により荷重支持性能は確保可能	× 路床～路盤が劣化していれば、Co版の荷重支持性能が確保できない	× 同左	× 同左
耐久性 他	△ 事例として、成田空港のエプロンで実施はある。道路舗装としては国内初となるが、有識者の助言を得られる	× 10cm以上の厚さで表層に用いた事例がなく、表面仕上げの品質、リフレクショクラックや収縮に伴うひび割れの発生、接着性などについて、品質確保が困難	× 1cm以下の厚さが標準的であり、10cm以上の事例はない。また単位体積当たりの材料費が非常に高い。	× アスファルト合材そのものの耐久性はセメントコンクリート系より低く、さらに接着性も完全密着に対して劣る。
評価	○ 既設コンクリートとの完全付着により舗装の耐久性が向上	× 構造性、耐久性などに劣る	× 構造性、耐久性などに劣る	× 構造性、耐久性などに劣る

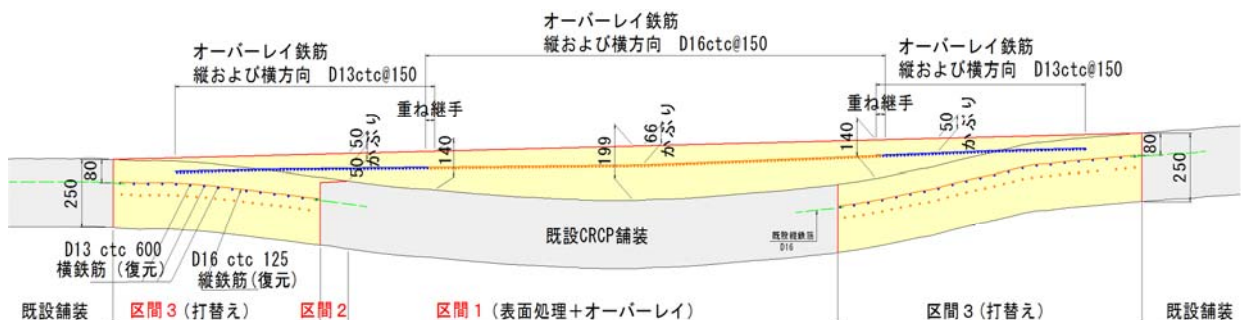


図-4 北条バイパスにおける完全付着型O.L.の構造

区間1は10cm以上のO.L.が可能な区間であり、計画縦断線と既設コンクリート版の表面の厚さ（O.L.厚さ）が10cmとなるところを区間1と区間2の境界とした。

区間2は計画線から5cm下がりのところに既設コンクリート表面が来る位置までとする。これは既設コンクリート舗装の鉄筋がかぶり8cmのところに入っていることから、この鉄筋よりも下まで既設面をはつことが難しいためである。

区間2より沈下量の少ない区間3では既設鉄筋の下側までウォータージェットではつることになり、ウォータージェットの適用が難しいこと、O.L.厚さも薄く舗装版全体の強度確保が難しいことなどから、コンクリート版を取壊し全厚打替えとした。

5. 既存の縦ひび割れへの対策

北条バイパスの既設のCRCPは、7.75m幅で縦目地を設けなかったため、供用開始直後から道路中心線（白線）よりも上り線側に0.4～0.9mの箇所に縦ひびわれが多く発生している。この縦ひび割れ位置を大型車の後輪が踏む確率は、0.68m位置のひび割れ位置の場合、55%と高い値になる。O.L.部分にリフレクションクラック（図-5）が発達した際に車輪走行により、「角欠け」や「パンチアウト」等の大きな破損が懸念されるため、縦ひび割れの位置やO.L.の厚さによって次の複数の対応（予防措置）を選択して行った。

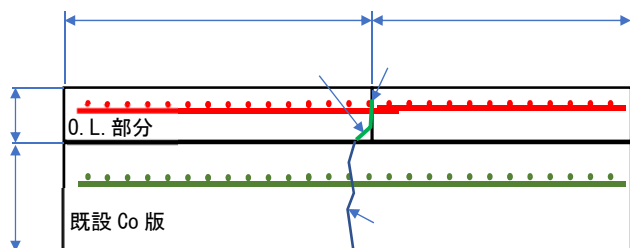


図-5 リフレクションクラック

(1)道路中心線を上り線側に0.35mシフト、減速破線の設置による縦クラック上の車輪走行頻度を55%から10%未満に軽減（図-6）。

(2)縦ひび割れが下り線にある場合など(1)の対応を行っても縦ひび割れ上の車輪走行頻度が高い区間において、O.L.の横方向鉄筋を上下面に配置し、鉄筋コンクリートとしての強度を向上（図-7）。

(3)O.L.厚さが薄いなど、(1)、(2)どちらの対応もできない場合、既存の縦ひび割れを除去するよう2.0m幅員の既設コンクリート舗装を撤去して打ち替え。

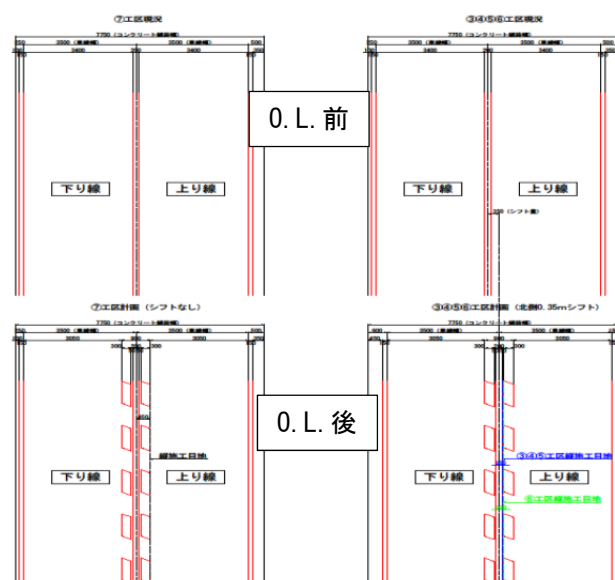


図-6 中心線シフト、減速破線の設置

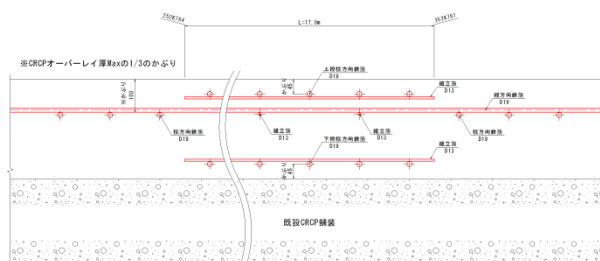


図-7 横方向鉄筋の上下面配置

6. 表面処理の検討

完全付着型O.L.では新旧コンクリートの付着面に乾燥収縮や上下面の温度差に加えて輪荷重により大きなせん断応力と引張応力の合成応力が生じる。付着面を剥がす力に耐えて、新旧コンクリートを一体化するためには、既設コンクリート表面処理において次の3点が重要である。

- (1)ウォータージェット（以下、W.J.と略す）による既設粗骨材（最大径40mm）の洗い出しによる凹凸、ショットブラスト（以下、S.B.と略す）による粗面化とW.J.により生じるノロの除去。（図-8）



図-8 W.J. + S.B. による表面処理

(2)O.L. コンクリートの確実な充てん（ワーカビリティ、パイプレータ等）

(3)O.L. コンクリートの収縮ひずみの低減（膨張剤の使用）．

表面処理に用いるW. J. 及びS. B. については有識者立会の元、供試体を用いた試験施工、更には現地においても同じ機械を用いた調整を行うことで、本施工実施前に機械の設定・仕様を確立させた．

7. 低収縮コンクリートの配合設計

完全付着型 O.L. コンクリートの配合にあたっては次のような留意点がある．

(1)新旧コンクリートの付着面に生じるせん断応力と引張応力の合成応力(図-9)の低減（膨張材の配合）．

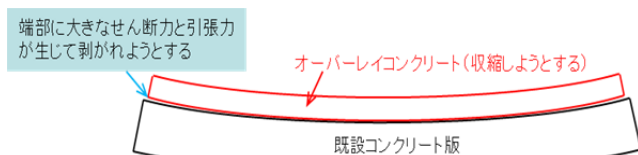


図-9 O.L. 付着面に作用する力

(2)完全付着させるために必要な付着強度を確保するためのコンクリート強度（呼び強度 49N/mm²）．

(3)舗装コンクリートとしての強度（曲げ強度 4.4N/mm²）．

(4)旧コンクリートの表面処理後の凹凸に確実に充てんされるワーカビリティ（スランプ 6.5cm）．

(5)コンクリート厚が薄くまた鉄筋も縦横密に配置するため、粗骨材最大寸法を通常の 40mm ではなく 20mm とする．

これらについて留意し、収縮量を低減する膨張材の使用量を決定するために試験プラントにて一軸拘束膨張・収縮量試験を実施した．さらに実際に採用する生コン工場において、施工性（ワーカビリティや材料分離が無いこと）を確認しつつ試験練を行い、収縮ひずみを最も低減できる EX23-SR に配合を決定した(表-2)．

表-2 試験練に用いた配合と決定した配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						SR (C×%)	HP11 (C×%)	AE	AF
			W	C	EX	S1	S2	G				
EX19-SR	40	40.0	132	311	19	515	222	1164	1.3	—	9.5A	—
EX21-SR	40	40.0	132	309	21	515	222	1164	1.3	—	9.5A	—
EX23-SR	40	40.0	132	307	23	515	222	1164	1.3	—	9.5A	—
EX0-HP11	40	40.0	132	330	—	515	222	1164	—	0.95	5A	0.3A

記号の説明 EX: 混和材(膨張材)
S1: 細骨材1(加工砂70%)
S2: 細骨材2(陸砂30%)
G: 粗骨材(碎石)
SR: 高性能AE減水剤(収縮低減タイプ)
HP11:高性能AE減水剤
AE: AE剤
AF: 消泡剤

8. 施工順序と迂回路計画の検討

迂回路規模を抑制するために上下線分割施工とした．施工に必要な幅員として、舗設機械のレール等の設置幅が 500mm、安全施設帯幅も 700mm 必要である．また、分割施工にすることで上下線の打ち継ぎ目が弱点にならないよう、O.L. 部分の横方向鉄筋を上下線の打ち継ぎ目において千鳥配置で接続することとした．このために 650mm 幅の接続鉄筋長が必要となる．

これらの幅員確保のため、下り線先行施工を採用した(図-10)．

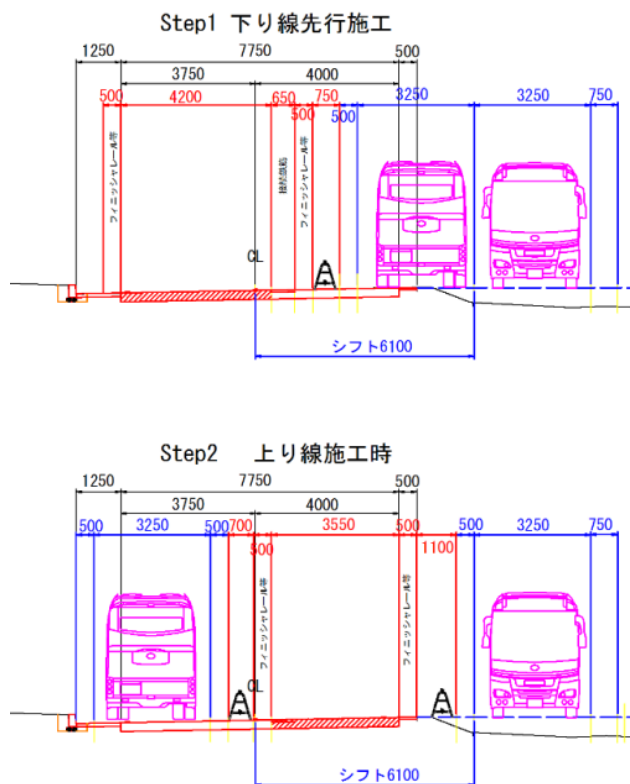


図-10 施工順序と迂回路計画（断面図）

9. コンクリート打設～養生

コンクリート打設は夜間に1車線を片側交互通行規制して、実施した。主な機材配置を図-11に示す。

スランプが小さいことに加え、収縮ひび割れを分散し、また既存の縦ひび割れからのリフレクションクラックを抑止するため鉄筋を縦横に125～150mmピッチで配置していることから、コンクリートの充てん性は低い状態である。しかし、既設コンクリートの凹凸に十分入念な充てんを行って、新旧コンクリートの密着性を高める必要がある。

そこで一般的なフィニッシャーに設置されている平板状バイブレーターの締め固め性能を補完するため、フィニッシャーの前方で縦横とも棒状の高周波振動バイブレーターを用いて、人力による締固めを行うものとした(写真-3)。この締固めにおいては、縦横50cm程度の間隔でそれぞれ約10秒間バイブレーターを挿入することとし、さらにコンクリートフィニッシャーの速度は0.5m/min以下の低速とした。



写真-3 バイブレーターを用いた人力による締固め

タイムスケジュールを立てて一晩の打設延長は最大80m程度となった。

また、コンクリート打設を行うにあたり、一般に外気温が4℃以下であれば次の寒中コンクリートの対策を行なうこととした。

(1) 予報の最低気温が氷点下の場合、凍結する恐れがあるためコンクリート打設を行わない。

(2) 生コンの練り混ぜに使用する練り混ぜ水は水温が外気温に影響されない地下水とし、練り混ぜ温度10℃～20℃を確保する。(地下水温18℃)

(3) 生コン練り上げから荷卸しまでの生コンの温度低下を抑制するため、荷卸までの時間を40分以内とする。生コン工場から現場までの運搬距離は約3kmと近いものの、生コン工場と連絡を密にとり待機時間を短くする。

打設から7日間以上は、養生シートに散水を行い、湿潤状態を維持することとした。一般車両の供用は、現場養生で曲げ強度3.5N/mm²以上、かつ圧縮強度35N/mm²以上(呼び強度の70%)が発現し、かつ7日間以上の湿潤養生経過以降とする。また、冬季においては下記の配慮を行った。

(1) 保温のため、養生は2重シートを用い、ある程度コンクリートが硬化した状態を確認した後に散水を行った。(夜間打設完了日の12時頃を目安)

(2) 散水養生に使用するタンク内の水をパイプヒーターにより40℃に加熱した。

(3) 養生期間中はコンクリート内部や表面の温度を観測し、散水は概ね4時間ごとに2時間連続散水とし、圧縮強度が5MPa発現するまで散水養生を繰り返す。このときにコンクリート表面温度が5℃以下にならないように温度確認を行った。

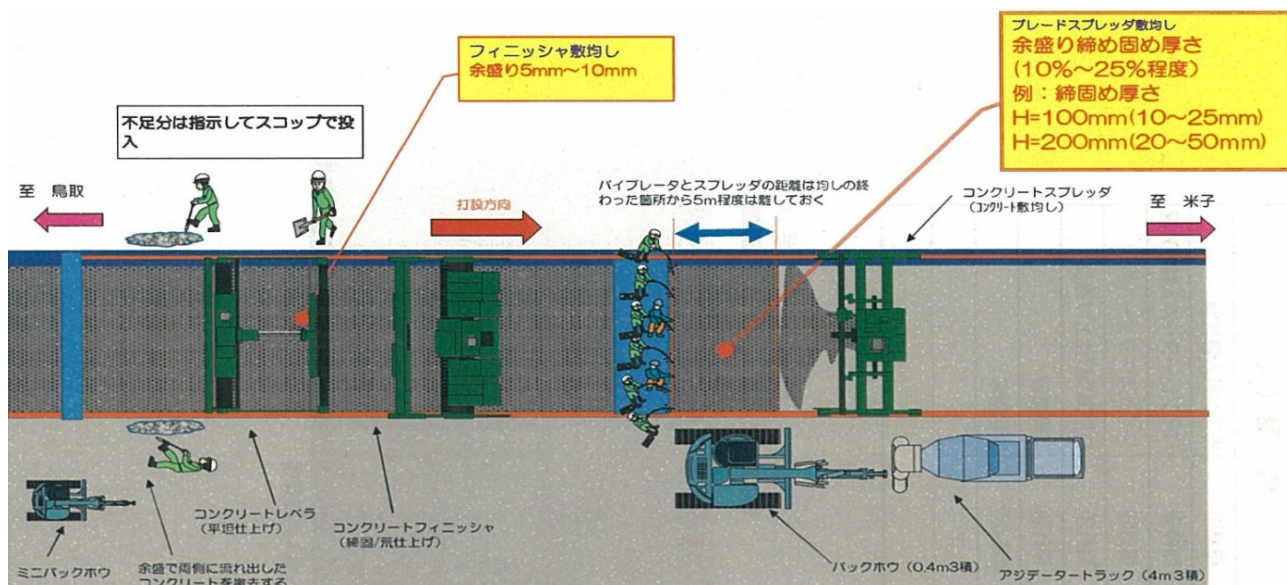


図-11 コンクリート打設における機材配置

10. 耐久性の追跡調査について

既設コンクリート撤去部から作成した打設後 4 週間経過時点の供試体を用いて引っ張り試験を実施した。試験では界面では破壊せず、つかみ部近傍で破壊した。(写真-4)その引張強度はおよそ 3 N/mm^2 で、付着強度は 3 N/mm^2 以上であることが明らかにされており、成田空港と同様長期にわたって一体性が確保されると期待される結果であった。(表-3)今後、次の試験等を継続して実施し、付着性能の強度確認を行うとともに、曲げ疲労試験により疲労性能の確認を実施する予定である。

- (1) 付着界面引張試験
- (2) 曲げ強度試験 JIS A1106
- (3) 曲げ疲労試験

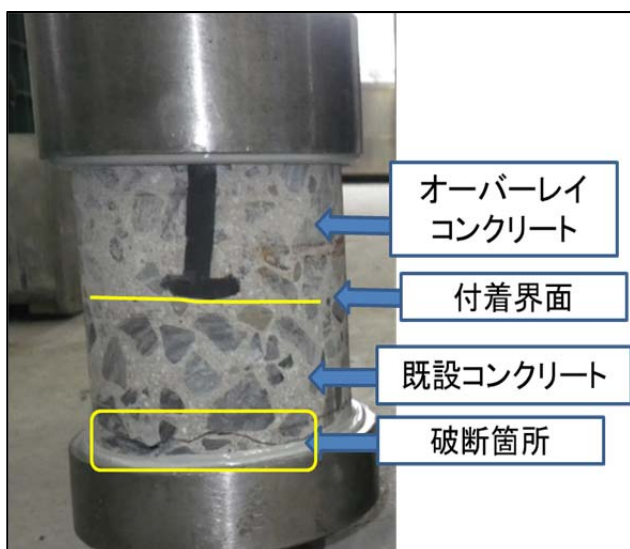


写真-4 つかみ部近傍で破壊した供試体

表-3 付着界面引っ張り試験の結果

供試体番号	直径 (mm)			荷重 (kN)	付着強度 (N/mm ²)	破壊状況
	1	2	平均			
No1	99.84	99.55	99.70	21.35	2.74	旧コン根元
No2	99.81	99.84	99.83	24.05	3.07	旧コン根元
No3	99.86	99.88	99.87	24.3	3.10	旧コン根元

11. まとめ

今後、完全付着型 O.L. の施工が完了した北条バイパスにおける施工の実績や供用性能を評価するための各種調査・試験を踏まえ、CRCP における再生技術としての展開及び普通コンクリート舗装への適用を検討していく。これらの取り組みにより、耐久性に優れたコンクリート舗装の普及率を高めることができれば幸いである。

謝辞： 完全付着型 O.L. 工法について、被災発生直後の計画時点から各種試験施工、設計、施工に至るまで、貴重な助言や熱心なご指導をいただいた広島大学名誉教授 佐藤良一先生、鳥取大学名誉教授 井上正一先生、元(株)NAA ファシリティーズ 現ニチレキ 亀田昭一博士、(一社)セメント協会 研究所 所長 谷村充氏、(一社)セメント協会 研究所 吉本徹氏 復旧工法の検討から施工計画に至るまで絶大な協力をいただいた各氏に深甚なる謝意を表したい。

参考文献

- 1) 佐藤良一、亀田昭一、吉本徹：コンクリート舗装の版厚設計のあるべき姿とは、セメント・コンクリート No. 836, 2016 年 9 月

iRICの実用事例を踏まえた 札内川自然再生の取り組みについて

天羽 淳¹・谷 昭彦²・米元 光明³

¹～³北海道開発局 帯広開発建設部 治水課 (〒080-8585 帯広市西4条南8丁目)

2016年8月出水を受けて、札内川の河道は大きく変化し、河畔林や礫河原の様相は一変した。これまで、札内川では河道変化の予測を踏まえて、礫河原再生・回復を図る取り組みを実施してきたが、既往最大の出水前後の現象を踏まえて、これまでの対策効果や今後の取り組みの方向性についてiRICによる検証を行った。

本稿は、これまでの札内川礫河原再生技術を紹介するとともに、2016年8月出水後に生じた河道変化や今後の対応策について、iRICによる再現性の確認及び礫河原再生技術の検証と今後の取組方針について報告する。

キーワード iRIC、礫河原再生、樹林化、自然再生

1. はじめに

札内川は一級水系十勝川の一次支川であり、中札内村、帯広市、幕別町を流れている複列流路と広い礫河原が特徴の河川である。

2005年以降、特に支川戸蔭別川との合流点から上流区間で河道内の樹林化が著しく、札内川では礫河原が急速に減少している(写真-1)。これは、2006年から2010年の年最大流量の大幅な減少等が影響し、河道内の攪乱が発生しにくくなったためと考えられる²⁾。礫河原面積の減少により、ケショウヤナギやチドリ類など、礫河原がなければ世代交代が困難な動植物の衰退が懸念されており、ケショウヤナギ生育環境の保全に加え、札内川特有の河川環境・景観の保全を目的とした礫河原の再生が喫緊の課題であった。

このため、札内川の礫河原再生を目的として、2012年より6月末に札内川ダムから確率規模1/1出水相当の最大約120m³/sの中規模フラッシュ放流(以下、ダム放流という)を実施している。実施にあたっては、ダム放流や旧流路引き込み等の対策効果をiRICで検証しながら進めており、現在では徐々に礫河原面積の回復が見られ、概ね良好な成果を挙げてきた。

しかし、2016年8月に大規模な出水が発生し、礫河原は大幅に広がり比高差も拡大した。このため、2016年8月出水の再現と出水後の河道変化予測を行い、今後の取り組みの方向性をiRICにより検証することとした。

以上のことを踏まえ本稿では、今後の他河川への適用性を考慮し、礫河原再生技術について様々な取組事例を紹介する。

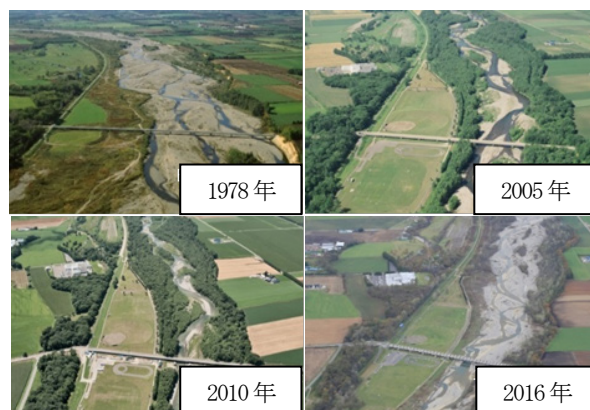


写真-1 札内川の変遷 (KP35付近)

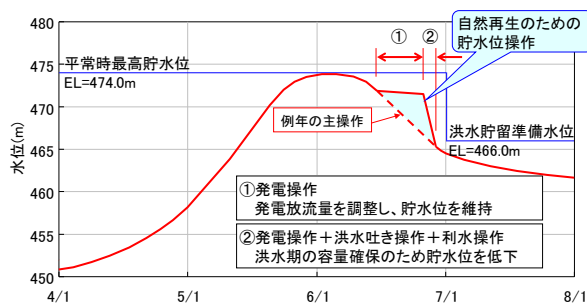


図-1 中規模フラッシュ放流の操作イメージ

2. これまでの礫河原再生の取り組み

(1) 札内川ダムからの放流の概要

札内川ダムでは、夏の洪水期に向けて、非洪水期の平常時最高水位EL474.0mから洪水貯留準備水位EL466.0mまでダムの貯水位を低下させる操作を毎年7月1日までにしている(図-1)。

この時期は樹林化の主な原因となっているオノエナギ等の種子の散布時期（6月上旬～下旬）であることに着目し、種子流亡効果をねらって、種子散布後期に合わせ6月下旬に最大約120m³/sの放流を実施している¹⁾。なお、下流河川における上流区間の水位上昇量は0.5m~0.8m程度、流速は3.0m/s程度である。

(2) 礫河原再生の手法と効果

礫河原を再生・維持するには流路の定期的な移り変わりが必要であり、ダム放流に加え、以下の二つの手法により礫河原再生の取組を実施している。

一つ目は、2011年出水で、河道内の旧流路沿いの湾曲外岸側や旧川流入部で比較的大規模な樹木流亡が発生している状況が見られたことに着目し、ダム放流の効果を最大限に引き出すための手法として2013年から「旧流路引き込み」を実施している（写真-2）。これは2011年出水でも変化が小さかった旧流路が存在し、その旧流路は土砂が流入部に堆積し閉塞していることが分かったことから、これを除去した後、ダム放流を行うことで川の営力を利用した比較的大規模な樹木流亡を期待するものである。なお、実施にあたっては、平面形の変遷や水面縦断形など河道状況を把握し、「フシ」の直下流で実施することが最も効果的であると示唆されている（図-2）。

二つ目は、2014年出水で、流路が固定化した直線流路区間で砂州が発達し、その影響で側岸侵食が発生、流路が蛇行化している状況が見られた点に着目し、2015年から「置き砂」を実施している（写真-3）。これは、旧流路引き込みのための流入部掘削により発生する土砂の有効活用も兼ねており、直線区間の上流側水衝部に置き砂を施し、自然の営力で掃流させることで砂州の発達を促し、河道の蛇行化を期待するものである。

(3) 礫河原と樹林の面積の状況

かつては複列流路と広い礫河原が特徴の札内川であったが、2005～2009年の年最大流量の大幅な減少等が影響し、河道内が著しく樹林化、これにより流路は固定化し礫河原の面積は急速に減少した（図-3,4）。

このため、2012年から2015年まではダム放流と下流河川における「旧流路引き込み」、「置き砂」の効果により、徐々に礫河原の回復が見られている。さらに図-3より、2015年と2016年と比較すると2016年は既往最大の出水の発生により、さらに礫河原の面積は増大した状況である。

3. 2016年8月出水に生じた河道変化

(1) 出水の概要

札内川流域では、8月30日から8月31日にかけて総雨量約507mmを記録し、札内川で既往最大の出水が発生した。このため、札内川ダムでは、非常用洪水吐から放流が開始され、最大放流量は約655m³/sを記録し、その下流河川



写真-2 H工区旧流路引き込みの状況

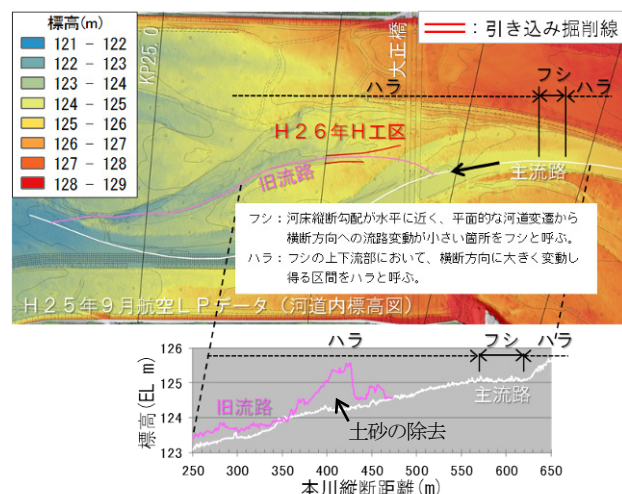


図-2 H工区旧流路引き込み位置と河道状況の関係

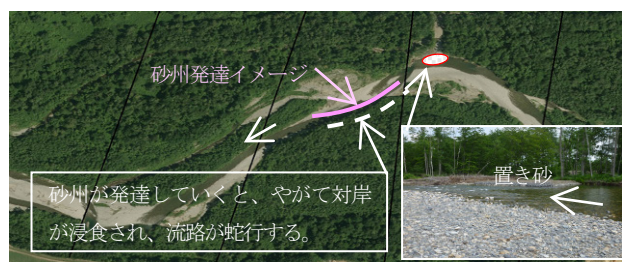


写真-3 置き砂の状況

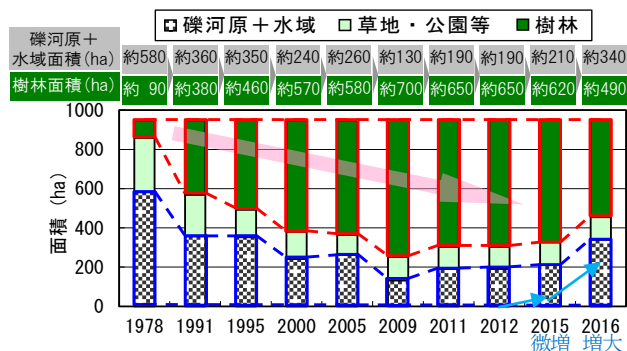


図-3 河道内の礫河原と樹林の変化状況

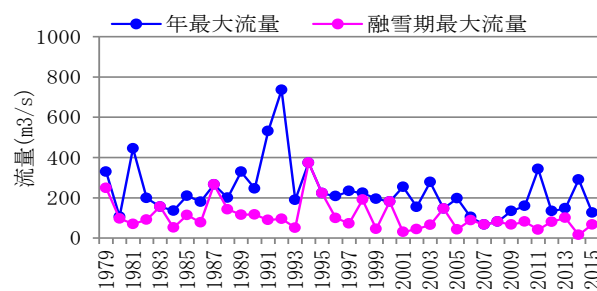


図-4 年最大・融雪期最大流量の変遷（上札内観測所）

である札内川では、4観測所のうち、3観測所で既往最大水位を観測した。

(2) 河道内の状況

出水により、大きく変化した札内川の河道状況を把握するため、河床高や土砂動態の変化、礫河原面積と比高差の関係について整理し、今後の札内川礫河原再生の取り組みをどのように継続すべきか検討を行った。

a) 河床高について

平均及び最深河床高は、局所的に低下してる箇所は見受けられるものの、既往の縦断経年変化から河床低下を助長するような様子は見られないことを確認した。

b) 土砂動態について

図-5のLP地盤高差分図より、全体的に上流区間は堆積は殆どなく、側岸侵食が発生し、下流区間は上流からの土砂の堆積や側岸侵食と河床が侵食されている状況を把握した。図-5に示すLP地盤高差分を、KPごとの土砂動態量として図-6に示す。図-6より、KP25上流は堆積が僅かで侵食量が多く、KP14からKP25は上流と比べると堆積が増加したものの侵食の方が多かった。これらの区間では側岸侵食が多数発生したが、侵食による生産土砂は上流区間ではあまり堆積せず、下流区間まで流下して堆積したためと考えられる。KP14下流は、侵食と堆積が同程度の規模で発生した。上流からの供給土砂量と下流からの流出土砂量が同程度だったためと考えられる。

c) 礫河原面積と比高差の関係について

図-7,8よりKP25から上流側は、側岸侵食により低水路幅が広がり、非冠水面積が広く水面比高差が大きい礫河原が比較的多くなった。KP14からKP25の区間は、側岸侵食と局所的な河床低下から非冠水礫河原面積は概ね広く、水面比高差が大きい礫河原が若干多くなった。

KP14から下流側は、非冠水礫河原面積が概ね減少しており、水面比高差は殆ど変わっていない。

d) 課題と今後の対応方針

写真-1や図-3のように、2016年の出水後は、一時的に礫河原は回復したかのように伺えるが、KP14の上流側のように、今後中規模フラッシュ放流を実施したとしても水面比高差が拡大している区間は河道内で二極化する恐れがあり、高比高箇所は再樹林化が懸念される。このため、比高差の高い区間に流路引き込みのような、冠水や攪乱を促す新たな対応策が必要と考えられる。なお、KP14の下流側は河道状況が大きく変化していないため、対応策の必要性は低いと考えている。

4. iRICによる取り組み効果の検証

これまで、札内川礫河原再生では、旧流路の引き込み効果、ダム放流による効果など、iRICにより礫河原再生に寄与する様々な検証を現地試験と同時に試みた。その結果、現地の事象とiRICにより実施した結果は概ね同じ結果となったため、以下にこれまでのiRICの実用事例等を示す。

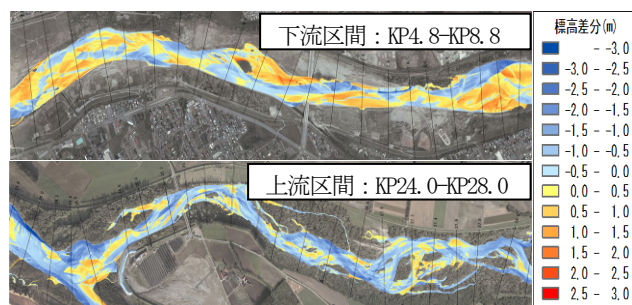


図-5 H28.8出水後LPとH25.9LPとの地盤高差分図

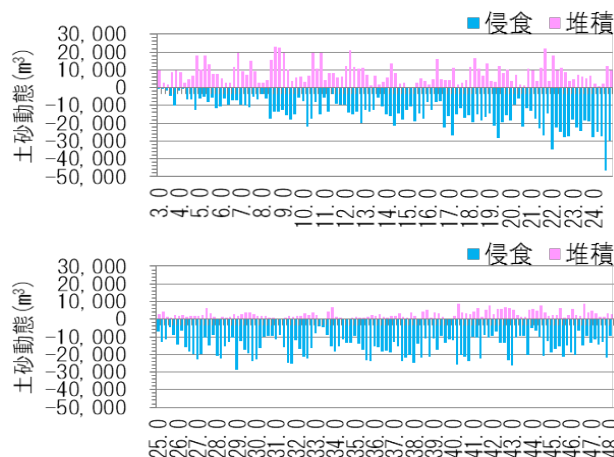


図-6 H28年8月出水による札内川の土砂動態量

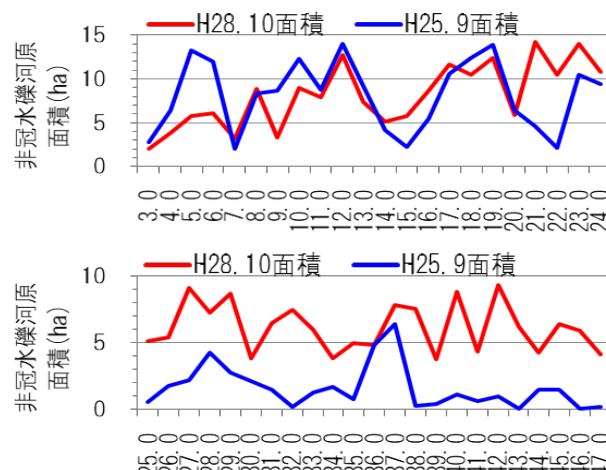


図-7 中規模フラッシュ放流推定ピーク水位時の非冠水礫河原面積

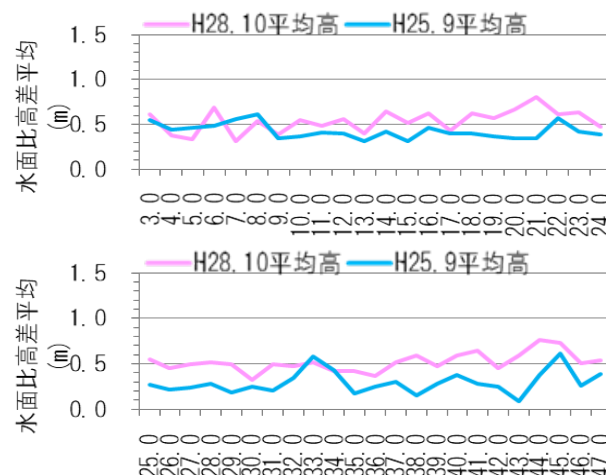


図-8 中規模フラッシュ放流推定ピーク水位時の礫河原水面比高差

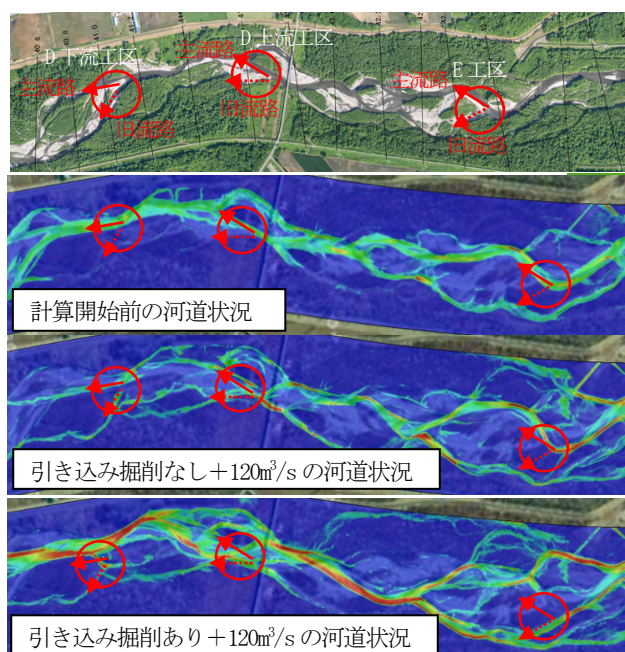


図-9 旧流路引き込み掘削有無による河道変化の状況

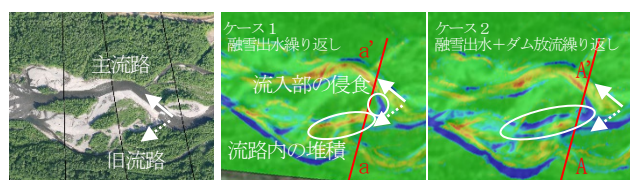


図-10 放流有無による河床変動量の状況

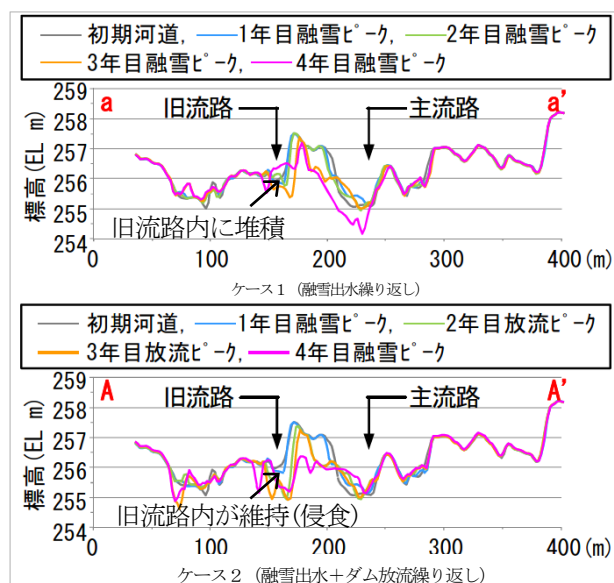


図-11 放流有無による経年的な横断変化図

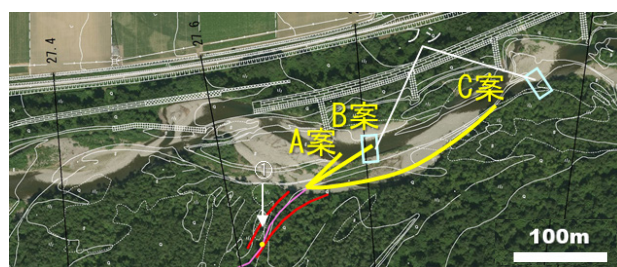


写真4 引き込み位置

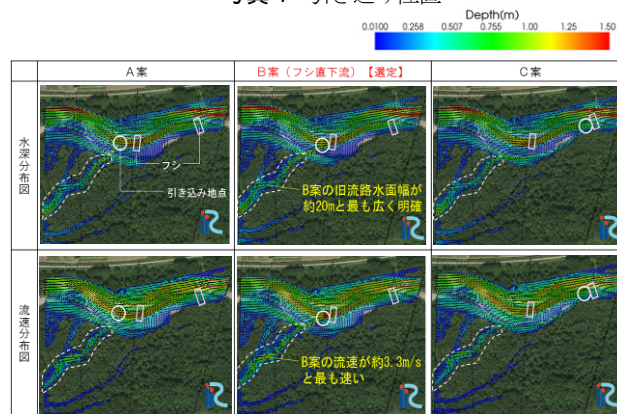


図-12 放流時の水深分布と流速分布の比較

(1) これまでのiRICの実用事例

a) 旧流路引き込み効果の検証

旧流路引き込みは、ダム放流を実施することにより、単列流路を河道内の比高差を縮小し、交番現象が生じやすい複列流路を形成させることを目的としている。

図-9より、旧流路引き込み工区であるD下流工区(2013年設置)、D上流工区(2013年設置)、E工区(2013年設置)では、明らかに河道内の流路変動が見られ、特にE工区では、交番現象が見られ複列流路の形成に寄与する結果となった²⁾。

b) ダム放流効果の検証

ダム放流の効果を検証するため、引き込み掘削を行った地形に毎年発生する融雪出水(概ね80m³/s)を加えた上で、ダム放流の実施有無を加え、河床変動量を把握した。なお、繰り返し期間は4年間実施し、図-10のケース1とケース2は、4年目の融雪出水のピーク流量時の状況を示す。

図-10,11より、ケース1では旧流路流入部は維持されたものの旧流路内は堆積傾向を示した。ケース2では旧流路の流入部とその下流側が侵食され、ダム放流を実施することにより、旧流路への流入が明瞭となり複列流路の形成に寄与する結果となった²⁾。

c) 最適な旧流路引き込み位置の検証

写真4,図-12より、旧流路への流入位置を変化させ、もっと効果的に引き込み流量が大きくなる位置を検討し

た。その結果、B案で旧流路の水面幅がもっとも広く、流速の増大が増大し、最も最適な旧流路の引き込み位置を把握することが出来た。

(2) 2016年8月出水の再現と出水後の河道変化予測

出水後旧流路引き込みは、ダム放流を対象に複列流路を維持をしつつ、概ね1/20確率の出水を対象に主流路と旧流路の交番現象を期待し、複列流路の礫河原を維持することを目的としている。しかし、本取り組みで想定した流量以上の流量が札内川に発生し、これまで実施してきた旧流路の機能が維持されているのか検証をした。ま

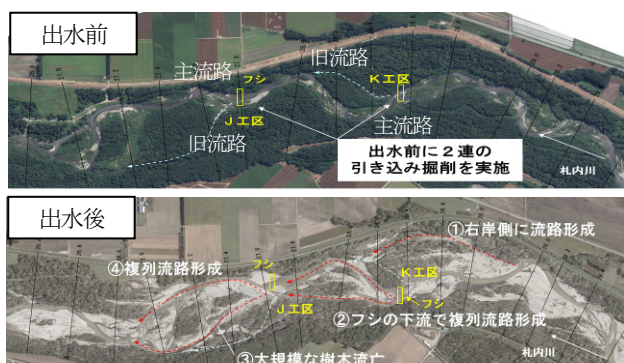


写真-5 2016年8月出水前後の河道状況

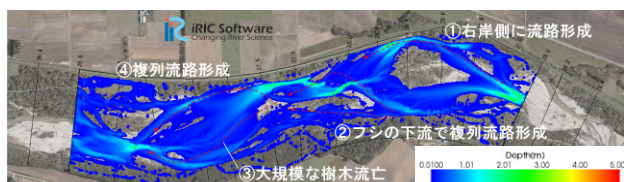


図-13 出水時の水深分布（100m³/s時）

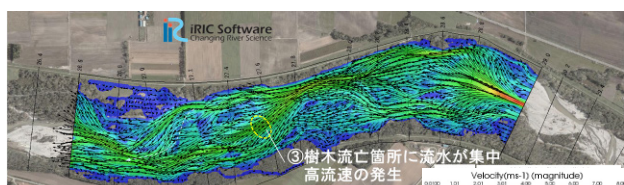


図-14 出水時の流速分布（ピーク時）

た、その上で出水後に大きく河道内の比高差が拡大した中でも流路引き込みが可能か否かを検証した。

a) 平成28年8月出水の再現計算

出水前後の写真-5に示すとおり、出水後においては、旧流路引き込みを実施した箇所は複列流路の形成が見られた。そこで、iRICにより出水前の現況河道に対して2016年8月出水流量（速報値流量）を与え、再現計算を行った。図-13は、ピーク流量から100m³/s程度まで流量が低下した時の水深分布、図-14はピーク時の流速分布を示す。

その結果、フシ下流の引き込み箇所で複列流の形成が見られたり、流入した旧流路では高速流が発生し、大規模な樹木流亡が発生し、旧流路の引き込みにより複列流が形成され、広大な礫河原が再生されることが期待される結果となった。

b) iRICによる出水後の長期的な河道変化予測

前項a)の結果を受けて、2017年から2023年まで複列流路が維持されるか、長期的な河道変化について検討を行った。図-15は、2016年出水後河道に対して、ダムから120m³/sを放流し、その後60m³/sまで流量が低減したときの水深分布を示している。その結果、旧流路引き込みを実施したJ工区、K工区は、長期的に旧流路が維持されている結果となった。

また、図-16では、2016年出水前の横断面図と2023年のダム放流を実施した後の横断面図を比較し、旧流路では河床が侵食し、主流路では概ね堆積傾向となった。このた

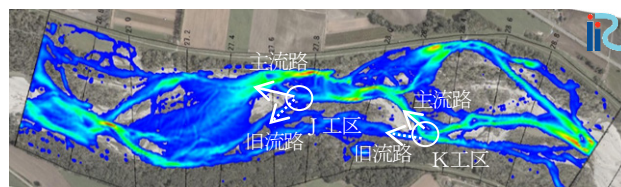


図-15 H35中規模フラッシュ放流時の水深分布(60m³/s低減時)

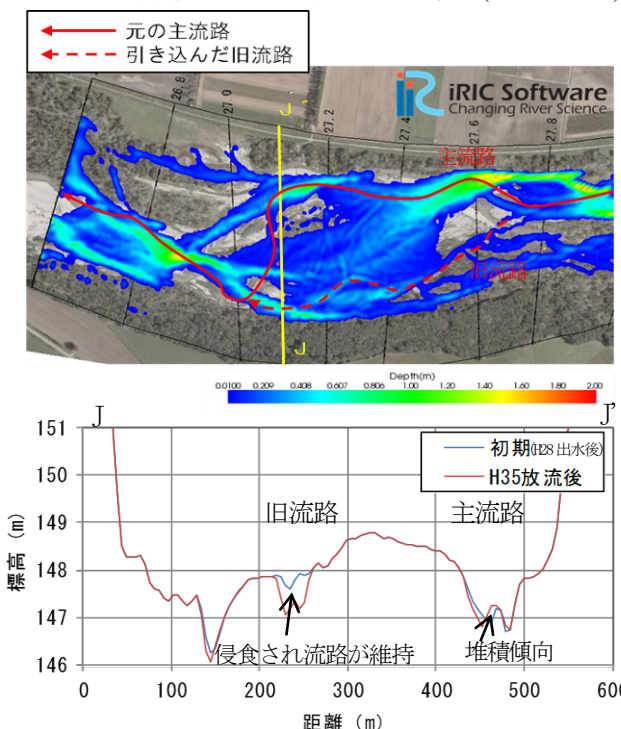


図-16 H35中規模フラッシュ放流後の横断面図

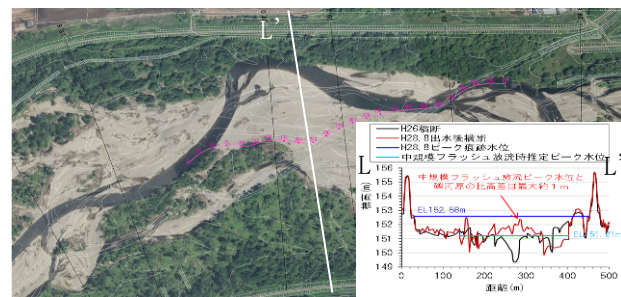


写真-6 比高差が大きく流路引き込みを予定している箇所

め比高差の縮小による複列流路の維持が期待される結果となった。

c) 出水後の引き込み効果の妥当性の検証

前項a),b)の結果から、3章(2)節d)項に示した出水後の課題に対して、比高差が高くなった礫河原に対して、今後の対応策として考えている流路引き込みを実施し、ダム放流を繰り返すことにより複列流路が形成されるのかをiRICにより検証を行った。

写真-6は、札内川において、最も比高差が高くなった箇所を示し、出水前の高さと比べ約1m程度上昇している砂州である。

その箇所に対してフシの位置や水面縦断勾配を確認し、流路の掘削を再現し、中規模フラッシュ放流を5年間繰

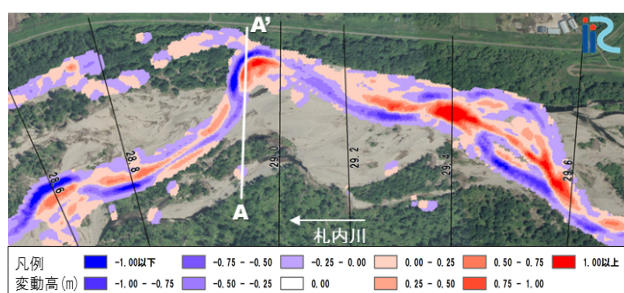


図-17 放流5回目終了時の河床変動量（掘削なし）

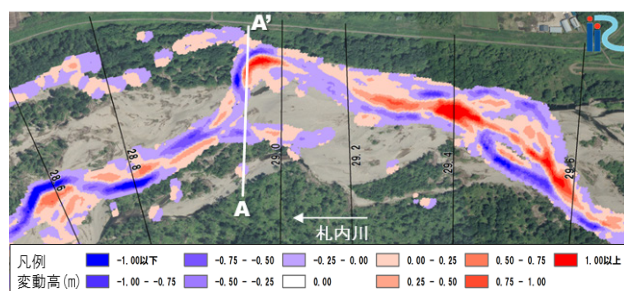


図-18 放流5回目終了時の河床変動量（掘削あり）

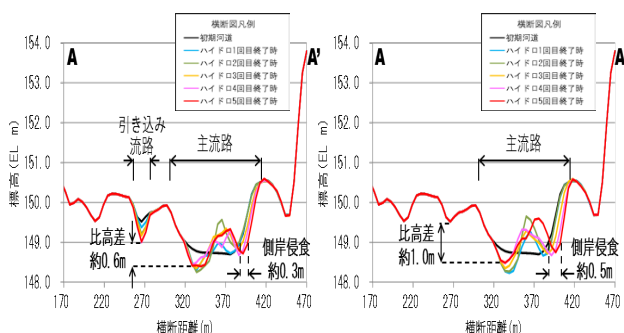


図-19 放流5回目終了時の河床変動量（掘削あり）

り返した後の河床変動量の結果を図-17,18に示す。図-17は流路引き込み無し、図-18は流路引き込み有りの計算結果を示し、掘削した流路では河床変動が発生する結果となった。また、図-19より、旧流路での侵食、主流路での堆積により比高差の縮小が確認出来たと同時に主流路では、流速の低下等により、側岸侵食を抑え、流心を河道中央に寄せ、治水安全性の効果も期待される可能性があることを確認した。

5. まとめ

本稿について、以下のとおりとりまとめる。

- ・LP差分図から札内川ダムの放流や旧流路引き込みの実施が礫河原再生に寄与することが検証された。
- ・よって、iRICの活用により旧流路の引き込みについて、施工実施前に効果的な形状・位置を把握することが可能であると考えられる。
- ・また、iRICの活用により2016年の出水により広大な礫河原の状況を再現でき、計画規模の大規模な出水におい

ても適用できることが分かった。

- ・2016年の出水後、比高の二極化が懸念される中、iRICを活用して、事前に防止する方策を長期的な視点から傾向を把握することが出来た。
- ・流路引き込みの対応策は、引き込み箇所を十分検討した上で、治水安全性の効果も期待される可能性があることが示唆された。

6. 今後の取り組みについて

これまで札内川礫河原再生の取り組みについては、旧流路引き込み位置選定手法、旧流路引き込み形状などについて技術の蓄積がなされ、他河川への適用性は高いものと思われる。また、出水後の今後の取り組みを検討し、iRICの活用は極めて有効であることを再認識した。

今後とも、現地モニタリングにより効果の検証を継続し技術レベルをさらに向上させ、礫河原依存種が世代交代できる河川環境を目指し、引き続き事業を進めたい。

また、昨年、北海道総合開発八期計画により、観光は戦略的産業の柱として位置づけられ、河川においても生産空間の確保、世界の北海道を目指すことが北海道計画に寄与すると記された。札内川は現在、民間事業者の参入によりアクティビティとして、カヌーはもとよりリバートレッキングや良い景観や空気に触れながら食事をする（川釣り）など多く活用され始めている。このことから、札内川礫河原再生は、副次的に観光振興にも期待されていることから、地域や民間事業者とともに良好な札内川の川づくりを進める必要があると考えている。

謝辞： 札内川の礫河原再生の取り組みにあたっては、北海道大学農学研究院中村太士教授をはじめとする札内川技術検討会の各委員から多大なる御指導と御助言をいただき、また地域の方々からなる札内川懇談会を設置し、意見交換などを行い、取り組みを進めている。

なお、自然再生のためのダム放流に関しては、電源開発株式会社をはじめ利水者の皆様からの御理解と御協力のもと実施している。

この場を借りて、すべての方に深く感謝し、ここにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高橋輝好，法村健一，横濱秀明：札内川における礫河原再生の取り組みについて，国土交通省国土技術研究会，2015。
- 2) 住友慶三，渡邊康玄，泉典洋，山口里実，米元光明：河道攪乱のためのフラッシュ放流による旧流路の維持に関する研究，土木学会論文集B1（水工学）Vol.72，No.4，I_751-I_756，2017。

除雪機械の情報化施工技術の検討について

長谷川 崇¹・橋本 隆志¹

¹北陸地方整備局 北陸技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒950-1101 新潟市西区山田2310番地5)

除雪機械の熟練技能を持つオペレータの高齢化に伴う引退や、新規入職者の減少により、担い手不足が課題となっている。この課題への対策として、北陸技術事務所では除雪機械の作業支援装置（作業ガイダンス装置）の開発等、除雪機械の情報化施工技術の検討に取り組んでいる。

本稿では、既開発の作業ガイダンス装置の運用コスト低減、現場での使い勝手向上を目的とした改良および、一次除雪機械（除雪トラック）のマシンコントロール（MC）化に向けての検討内容について報告するものである。

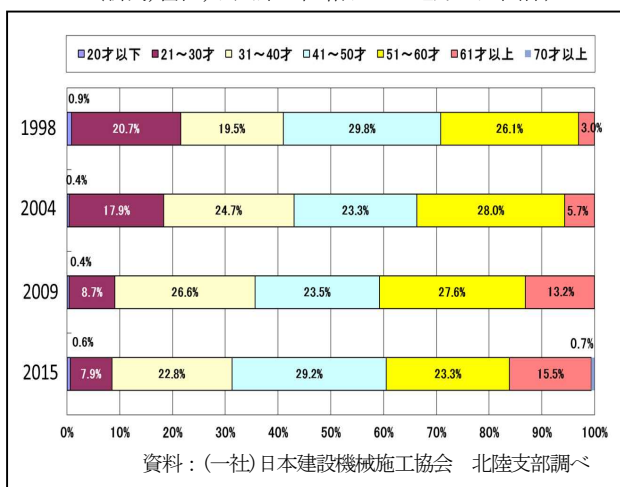
キーワード 情報化施工，除雪機械，作業ガイダンス，マシンコントロール

1. はじめに

北陸地方整備局では、管内3県（新潟県・富山県・石川県）の直轄国道管理区間14路線、合計約1,076kmの冬期道路交通を確保するため、約500台の除雪機械を配備し除雪作業を実施している。

除雪作業において、除雪機械の運転は作業装置を路面状況、道路構造、沿道状況等の変化に適応させた難しい操作が必要であり、経験と熟練した技術が必要である。昨今においては、除雪機械の熟練技能を持つオペレータの高齢化に伴う引退や新規入職者の減少により担い手の確保が重要な課題となっている（表-1）。

表-1 除雪機械オペレータ年齢構成の推移
(新潟, 富山, 石川県 直轄および地方公共団体)



このような背景のもと北陸技術事務所では、初心者でもベテラン並に安全で作業効率の良い除雪作業が可能となるよう、全国初の取り組みとして ICT（情報通信技

術）を活用した「除雪機械の情報化施工技術」の検討に取り組んでいる。除雪機械の情報化施工技術の検討は、2010年度から「凍結防止剤散布車の作業ガイダンス装置（以下「散布ガイダンス」という）、「ロータリ除雪車の作業ガイダンス装置（以下「ロータリ除雪ガイダンス」という）、「歩道除雪車の作業ガイダンス装置（以下「歩道除雪ガイダンス」という）を開発し、順次現場への導入を進めてきた（表-2）。

現在は、先行開発してきた作業ガイダンス装置の改良と、将来目標の除雪機械自動運転化に向けたマシンコントロール化の検討を進めているところである。

表-2 除雪機械情報化施工技術の検討の経緯

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	将来
凍結防止剤散布車	作業ガイダンス開発							作業ガイダンス改良		自動運転化
ロータリ除雪車				作業ガイダンス開発				作業ガイダンス改良		
歩道除雪車						作業ガイダンス開発				
一次除雪機械 (除雪トラック)								作業ガイダンス検討 マシンコントロール検討		

本稿では、先行開発した散布ガイダンス、ロータリ除雪ガイダンスの運用コスト低減、現場での操作性向上を目的とした改良及び、将来目標の除雪機械自動運転化に向けた、一次除雪機械（除雪トラック）のマシンコントロール化（作業装置の運転操作の自動化）の検討について報告するものである。

2. 作業ガイダンス装置の概要と課題

(1) 作業ガイダンス装置の概要

a) 散布ガイダンス

凍結防止剤散布作業は、あらかじめ散布計画区間を設定し、凍結防止剤を必要な箇所に必要量散布する。散布ガイダンスは交差点や橋梁部等の散布計画区間の開始・終了地点と、散布量、散布幅を警告音と画面表示にてガイダンスするものである（図-1）。



図-1 散布ガイダンスの概要

b) ロータリ除雪ガイダンス

拡幅除雪作業は、次の除雪に必要な堆雪帯を確保するため、道路の路肩端まで装置を寄せて作業を行う必要がある。現場ではあらかじめ道路に設置したスノーポールなどを目標に除雪するが、設置間隔には限りがありポールからポールの間は、先のポールを目標にして感覚的に操作を行う必要があることから、操作に熟練度が求められる。また、家屋、交差道路等、除雪した雪の投雪を禁止している区間があり事前に把握しておく必要がある。ロータリ除雪ガイダンスは除雪装置の路肩への接近と、投雪を禁止している区間への接近を警告音と画面表示にてガイダンスするものである（図-2）。



図-2 ロータリ除雪ガイダンスの概要

c) 歩道除雪ガイダンス

歩道除雪作業は、雪に覆われた歩道の除雪を行うため、マンホールや段差等の障害物の有無と、バス停、家屋等除雪した雪の投雪を禁止している区間を事前に把握しておく必要がある。歩道除雪ガイダンスは歩道除雪における障害物への接近と、投雪を禁止している区間への接近を警告音と画面表示にてガイダンスするものである（図-3）。

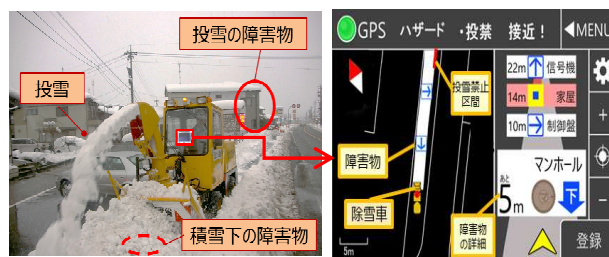


図-3 歩道除雪ガイダンスの概要

(2) 課題

開発した除雪機械の作業ガイダンス装置の性能比較を下記に示す（表-3）。

作業ガイダンス装置は、各々開発当時の最新技術を組み合わせてきたが、近年開発を進めて行く中で、導入費用や技術の進展により、歩道除雪ガイダンスで実現した機能が、先行開発した「凍結防止剤散布車」、「ロータリ除雪車」のガイダンスには導入できていない課題が2点あった。

a) 背景地図表示機能

降雪や積雪が多く視界不良の場合や、工区間応援で土地勘のない工区を除雪する場合に、どこを走行しているのかを把握できる「背景地図の表示機能」が備わっていなかった。

b) ガイダンス情報登録・編集機能

ガイダンスを行うためにはガイダンス情報（路肩端線形データ、障害物・投雪禁止区間・散布計画区間データ等）の作成が必要であるが、ガイダンス情報の作成には現地測量や、パソコンでデータを編集し、装置に登録することが必要であり、作成費用が高額かつ複雑で、現場での作成が困難であった。

この課題から「凍結防止剤散布車」、「ロータリ除雪車」のガイダンス装置の改良を実施した。

表-3 作業ガイダンス装置の性能比較

		作業ガイダンス装置の仕様		
項 目		凍結防止剤散布車	ロータリ除雪車	歩道除雪車
開発年度		2010～2012	2013～2014	2015～2016
ガイダンス内容	背景地図表示機能	×	△（緑石位置のみ表示）	○（電子国土地図）
	散布区間の開始・終了	○	-	-
	散布設定（量・幅）	○	-	-
	路肩端への接近警告	-	○	-
	投雪禁止箇所の警告	-	○	○
	障害物等への接近警告	-	×	○
データ登録・編集機能		△データ編集が必要	△現地測量が必要	○
測位装置	方式	D-GPS	RTK-GNSS（VRS）	D-GPS
	公称精度	1m	2～3cm	1m
装置価格（取付費・消費税等含まず）		200万円	200～250万円	50万円程度
データ作成費用（1工区当たり）		100万円程度	150万円程度	20～30万円
データ作成期間（1工区当たり）		5日間程度	5日間程度	半日程度

3. 作業ガイダンス装置の改良

(1) 背景地図表示機能搭載の検討

降雪や積雪が多く視界不良の場合や、広域的な工区間応援時に除雪作業を安全に実施するための対応として、背景地図表示機能の搭載を検討した。使用する地図は、ある程度の精度があり、定期的に更新がなされて、入手が無料である「電子国土地図(基盤地図情報)」を背景として表示する機能を検討した。電子国土地図の精度・利点を下記に示す(表-4)。

表-4 電子国土地図の精度・利点

要求項目	電子国土地図の精度・利点
一定の精度が保証されていること	1/2,500 水平偏差 1.75m以内 標高偏差 0.66m以内
定期的に更新がなされる 継続的な入手が確実なこと 発行元が国であること	地理空間情報活用推進基本法に基づき整備 更新が定期的に行われている 作成元が国土院である
入手が無料であること	国土院のHPより無料でダウンロードできる

a) 散布ガイダンス画面レイアウト

散布ガイダンスは、散布車の位置から最も近い散布計画区間の位置情報と、散布仕様(散布量、散布幅)を、散布開始または散布終了位置の手前で文字表示と音声でガイダンスしていた(図-4)。今回、背景地図表示機能を搭載することで、現場(路線)状況の把握と、カーナビゲーションのように先にある散布計画区間の情報を表示できるように改良した(図-5)。



図-4 改良前 散布
ガイダンス画面



図-5 改良後 散布
ガイダンス画面

b) ロータリ除雪ガイダンス画面レイアウト

ロータリ除雪ガイダンスは、路肩端の平面線形、投雪禁止区間までの距離を画面表示と音声でガイダンスしていた(図-6)。今回、背景地図表示機能を搭載することで、沿道(従道路や家屋など)状況を把握しやすい画面とした(図-7)。また、障害物(マンホールや橋梁ジョイント等)への接近警告の機能を追加した。



図-6 改良前 ロータリ
除雪ガイダンス画面

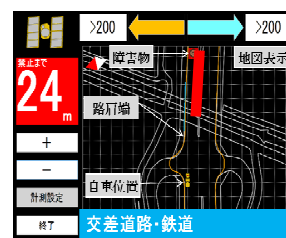


図-7 改良後 ロータリ
除雪ガイダンス画面

(2) ガイダンス情報登録・編集機能搭載の検討

ガイダンス情報の登録を簡素化かつ安価とするための対応として、ガイダンス情報の登録・編集機能の搭載を検討した。

a) 散布ガイダンス地図登録機能の搭載

散布ガイダンスでガイダンス情報(散布計画区間)を登録するためには、パソコンにより複雑なデータ作成、登録が必要であった。今回、背景地図表示機能を搭載したことにより、ガイダンス画面で表示される背景地図上をタッチすることでガイダンス情報を簡易に登録・編集できる「地図登録機能」を搭載した(図-8)。



図-8 改良後 ガイダンス情報登録・編集機能

b) ロータリ除雪ガイダンス お手本ライン登録機能の搭載

ロータリ除雪ガイダンスでガイダンス情報(路肩端線形)を登録するためには、現地測量を実施し、データを作り込む必要があった(写真-1)。今回、ロータリ除雪車自体や計測車両で現地を走行することで作業軌跡から路肩端を設定する「お手本ライン登録機能」を搭載することにより、現地測量がなくてもガイダンス情報の登録が可能となった(図-9)。



写真-1 改良前
現地測量状況



図-9 改良後 ガイダンス情報登録・
編集機能(お手本ライン登録機能)

(3) 現地適応性の検証

今回改良した、作業ガイダンス装置を現地（新潟県内除雪工区）にて試運転して性能、視認性、使いやすさ等の確認のためオペレータへのヒアリングを実施した。

●検証実施時期 2018年2月16日～3月14日

●検証実施工区（表-5）

表-5 検証実施工区

ガイダンス装置種類	試験実施工区
凍結防止剤散布車	新潟国道事務所 安田工区
ロータリ除雪車	長岡国道事務所 宮本工区 長岡国道事務所 堀之内工区

オペレータへのヒアリングで得られた評価・意見を下記に示す（表-6）。今回改良した「背景地図表示機能」や「障害物接近警告機能」、現地作業を省力化できる「ガイダンス情報登録・編集機能」については概ね良好であるという評価を得た。しかし、ガイダンス装置全般の意見として、「作業中は頻繁に画面を確認できない」、 「凍結防止剤は自動散布となれば有効」との意見もあった。このことから今後は、画面を注視する形式の作業ガイダンス装置だけではなく音声主体のガイダンスの検討や、これまで要望があった作業補助となる作業装置操作のマシンコントロール化（自動化）等を検討する方針とした。表-2 に示した検討のスケジュールに基づき、2017年度からは、一次除雪機械の作業ガイダンス装置及び、マシンコントロール化を検討している。

表-6 オペレータの評価・意見

	散布ガイダンス	ロータリ除雪車ガイダンス
改良機能の評価	■背景地図表示機能 ・概ね良好な評価 ・工区広域や、散布区間等の情報を熟知していない場合には有効 ■ガイダンス情報登録・編集機能 ・現地作業を省けるため有効	■背景地図表示機能 ・概ね良好な評価 ■障害物接近警告機能 ・概ね良好な評価
ガイダンス装置全般に対する意見	■使い勝手に関する意見 ・散布計画区間を熟知していない若手や新人には有効 ・作業中は頻繁には画面を確認できない ・自工区で熟練オペレータが多い場合には、登録作業の負担があるため、ガイダンスはなくてもよい。 ■今後の展開への意見 ・ガイダンス装置は中間段階。自動散布(運転)になると、非常に有効な装置	■使い勝手に関する意見 ・路肩までの距離の目安を若手に教えるのに有効 ・周囲の安全確認が最も重要。投雪先の状況を注視する必要があるため、頻繁にガイダンス画面を見ることができない

(4) 作業ガイダンス装置改良の効果

背景地図表示機能を追加したことで路線状況の把握が容易になり、ガイダンス情報の登録・編集機能を改良したことで、登録にかかる労力・費用の低減に繋がった。除雪作業のオペレータからは若手や新人の教育に有効と評価され、除雪作業現場からもガイダンス装置歓迎の声があがっている。今回改良に伴い改善された項目を下記に示す（表-7）。

表-7 改良に伴い改善された項目

改良項目	凍結防止剤散布車		ロータリ除雪車	
	改良前	改良後	改良前	改良後
ガイダンス内容	背景地図表示機能	○電子国土地図	△（緑石位置のみ表示）	○電子国土地図
	障害物等への接近警告	—	x	○（機能追加）
データ登録・編集機能	△PCでのデータ編集が必要	○地図登録機能	△現地測量が必要	○お手本ライン登録機能
データ作成費用（1工区当たり）	100万円程度	30～40万円程度	150万円程度	100万円程度
データ作成期間（1工区当たり）	5日間程度	1日程度	5日間程度	2～3日間程度

4. 一次除雪機械作業ガイダンス装置の検討

2017年度は、これまでに開発した各ガイダンス機能を装備した作業ガイダンス装置を試作。2018年度は、必要機能の追加・改良を行い、機能の要求仕様をとりまとめる予定である（写真-2）。装備するガイダンス機能を下記に示す（表-8）。



写真-2 一次除雪機械の作業ガイダンス装置

表-8 装備するガイダンス機能

装備する機能	ガイダンス方式
障害物への接近警告機能	画面表示、ブザー音
路肩端・道路中心線への接近警告機能	画面表示、ブザー音
除雪速度(30km/h)に対応したガイダンス	音声・ブザー音等

5. 一次除雪機械マシンコントロール化への検討

除雪作業における安全性・施工性・生産性の向上を目的に、一次除雪機械(除雪トラック)の作業装置の「マシンコントロール化」へ向けての検討を2017年度から実

施している。マシンコントロール化のイメージを下記に示す（図-10）。

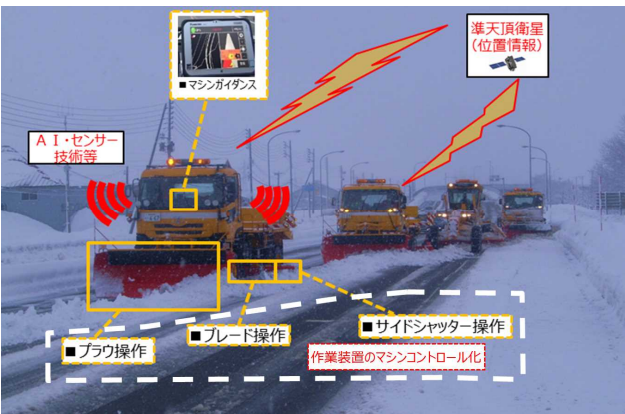


図-10 一次除雪機械マシンコントロール化イメージ

(1) 要素技術の検討

作業装置のマシンコントロール化に必要な「要素技術」をについて市場を調査し、結果をまとめた（表-9）。

表-9 要素技術のとりまとめ

No.	要素技術	候補技術	要素技術から得られる情報	要素技術による操作制御
1	精度の高い衛星受信機	・VR6受信機 ・準天頂衛星システム「みちびき」 ・慣性計測装置 等	自車、作業装置の位置情報の把握	車両位置情報での作業装置動作制御（誤差は数cm）
	精度の高い地図データ	・MMSデータ ・ダイナミックマップ 等		
2	センサー技術	・傾斜計 ・ストローク計 等	路面積雪量、雪抱え込み量、作業装置の状況 等 把握	雪の量に合わせた作業装置の角度、押付圧等の動作制御
3	AI技術	・画像認識技術 ・車線、障害物等認識技術	積雪の有無、障害物・人間等の感知 車線の把握 オペレータ作業履歴の蓄積 等	作業装置動作タイミングの自動化制御 障害物・歩行者等の回避制御

要素技術は大きく3つに分類される。

a) 精度の高い衛星受信機・地図データ

精度の高い衛星受信機と地図データ組み合わせることによって自車位置、作業装置の位置が把握でき、精度の高い位置情報での作業装置の動作制御が可能となる。

b) センサー技術

様々なセンサー技術を組み合わせて活用することで、路面積雪量、雪抱え込み量、作業装置の状況等の把握ができ、雪の量に合わせた作業装置の角度、押付圧等の動作制御が可能となる。

c) AI 技術

今後発展が期待される AI 技術を活用することで、積雪の有無や障害物・歩行者等の感知や、オペレータ作業履歴の蓄積等ができ、作業装置動作タイミングの自動化制御や、障害物・歩行者等の回避制御等が可能となると推測される。

(2) 今後の検討スケジュール

今後のマシンコントロール化検討スケジュールを下記

に示す（表-10）。マシンコントロール化を各作業装置毎に進めて行くが、まずは、現段階で実用可能な位置情報によるマシンコントロール化を進めて行く。その後、技術開発の状況を踏まえセンサー技術と併せたマシンコントロール化の検討、AI 技術などをどのように活用して行けるのかを検討する。

表-10 要素技術のとりまとめ

検討年度	2017	2018	2019	2020	将来
①位置情報と合わせたマシンコントロール化					自動 運 転 化
マシンガイダンス(障害物、中央線検知等)					
サイドシャッター操作					
ブレード操作					
ブラウ操作					
②センサー技術と合わせたマシンコントロール化	数年後に実用化の可能性あり				
③AI技術等によるマシンコントロール化	市場の技術開発に応じて実用化を検討				

(3) 熟練オペレータの運転技術データ収集

除雪機械（作業装置）のマシンコントロール化を検討するにあたり、実際の現場での熟練オペレータの運転技術データを収集するために、ドライブレコーダで除雪作業状況と運転室内のレバー操作状況の録画を行い、作業装置の制御データを収集するセンサーを設置し、データロガーに記録した（表-11、写真-3）。

表-11 除雪トラック運転技術データ収集内容

データ収集区	国道49号 29.8km 新潟県道事務所 安田区
データ収集期間	2017年12月6日～2018年1月16日
ドライブレコーダ設置数	7箇所(前後路面状況、除雪機械作業装置周辺、運転室内レバー操作状況)
データロガーによるデータ収集数	作業装置(ブレード、ブラウ、サイドシャッター等)操作制御データ、ブレード押付圧、振動データ等 55点のデータ



写真-3 ドライブレコーダ撮影画面(7箇所)

(4) 運転技術データ分析・整理

収集した運転技術データの分析・整理を行い、結果についてとりまとめた。

a) 運転技術「データの見える化」整理

除雪トラックの位置情報データと合わせて、ドライブレコーダによる撮影画像及び、データロガーで取得した制御データを地図上にプロットし、運転技術「データの見える化」を実施した。これによりどの箇所で、どのように除雪作業（作業装置の操作）が行われているかを分析した（図-11、写真-4）。



図-11 作業装置操作の軌跡(電子国土地図)



写真-4 作業装置操作状況録画

b) 位置情報データと作業装置操作データの関連付け

見える化したデータから、路面に積雪がある場合には、ほぼ確実に作業装置（サイドシャッター等）を操作する箇所を把握することができた（図-12）。

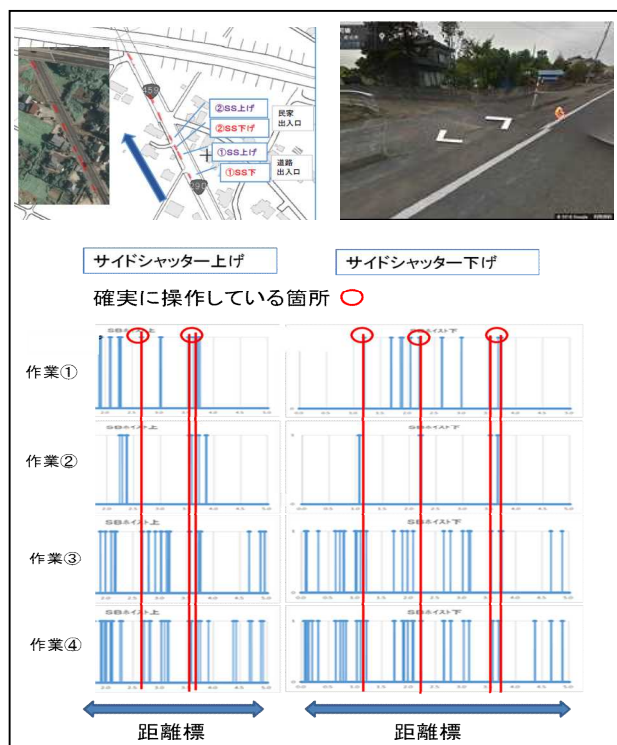


図-12 作業装置操作箇所の把握(サイドシャッター操作)

(5) サイドシャッターのマシンコントロール化

2018 年度は、運転技術データの分析結果を基に、交差点に除雪した雪を残さないようにするために操作が頻繁な、サイドシャッターのマシンコントロール化を検討する。準天頂衛星「みちびき」（センチメートル級測位）を衛星受信機として使用し、高精度の地図データと組み合わせた制御ユニットを製作し、操作を行う箇所においてサイドシャッターの自動開閉操作化を目指す（写真-5）。



写真-5 サイドシャッターの動作状況

6. おわりに

開発した作業ガイダンス装置により、初心者でも障害物や投雪禁止箇所の見落としがなくなり、安全かつ効率的な除雪作業が行えるようになった。

ICT（情報通信技術）は日進月歩であることから、今後は市場の技術開発動向を踏まえ、作業装置のマシンコントロール化の技術開発を行い、除雪作業における安全性・施工性・生産性の向上に努めていきたい。