マルチモーダル生成ＡＩによる
降灰厚推定の実用可能性評価について

立石　葉香[1]・岡村　雄一・松井　瞳・栗屋　京太

[1]九州地方整備局　九州技術事務所　火山防災減災課　（〒830-8570 福岡県久留米市高野１丁目３番１号）

本論文は，多様な分野で業務効率化を実現することが期待されるマルチモーダル生成AIを用い，降灰厚の計測や対象物の識別などを対象として実験を行い，その精度および適用可能性を評価したものである．また，その有用性と実務への活用可能性について検討するとともに，導入および活用にあたっての課題を整理し，報告するものである．

キーワード　マルチモーダル生成AI，プロンプト，火山噴火，降灰マーカー

1. はじめに

(1) 降灰被害の影響と情報把握の必要性

火山噴火とは，地下に存在するマグマや火山ガスが地表へ放出される現象である．噴火に伴い放出される火山灰は微細な粒子で構成されており，大気中に広がった後，風の影響により広範囲へ拡散する．そのため，噴火地点から離れた地域においても降灰が生じる場合があり，広域的な影響を及ぼすことが特徴である．

わが国では近年，富士山をはじめとする活火山の噴火に備えた防災対策の重要性が高まっている．特に，富士山が噴火した場合，気象条件や風向の影響により，火山灰が首都圏を含む広範囲に降ることが想定されている．（図-1）

富士山噴火により生じる降灰は，道路交通や鉄道の運行障害，電力・通信設備の不具合など，社会インフラ全体に大きな影響を及ぼす可能性がある．さらに，降灰後の地表環境の変化も重要な課題である．降灰前は雨水が土壌に浸透しやすく，表面流は発生しにくいが，降灰後は火山灰が地表を覆うことで浸透能が低下し，降雨時に表面流が発生しやすくなる．その結果，火山灰が水と共に移動し，土石流が発生する危険性が高まる．（図-2）実際に，1990年の雲仙普賢岳の噴火では，大量の火山灰や火砕流堆積物が山腹に蓄積し，その後の降雨により島原市をはじめ土石流が頻発した．この土石流は広範囲に被害をもたらし，火山噴火後における降雨が引き起こす二次災害の深刻さを示す代表的な事例となっている．（図-3）

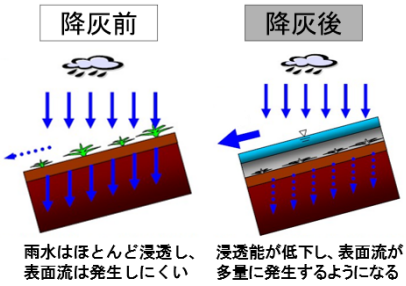


図-2　土石流発生のメカニズム

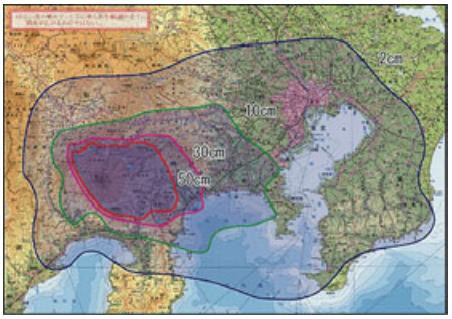


図-1　富士山噴火時の降灰範囲



図-3　土石流により被災した島原市安中地区 1993.9.5

このように，降灰後の降雨に起因する土砂災害は，噴火そのものに匹敵する重大なリスクであり，長期的な警戒と対策が不可欠である．

したがって，降灰被害に対しては，被害状況を的確に把握し，迅速に対応することが重要である．特に降灰の分布や堆積厚は，交通規制や避難判断，復旧作業の優先順位設定に直結する重要な情報であり，災害対応における基礎データとしての役割を担う．

(2) 土砂災害防止法に基づく緊急調査

降灰の分布および堆積厚を把握することは，災害対応における重要な基礎情報となる．特に，降灰は広域にわたり発生するうえ，その厚さによって被害の程度や発生し得る二次災害の種類が異なるため，空間的な広がりと量的な情報を同時に把握することが求められる．

このような背景のもと，火山噴火に起因して重大な土砂災害（降灰後の土石流）が急迫している状況において，土砂災害が想定される土地の区域及び時期を明らかにするため，国土交通省は土砂災害防止法に基づく緊急調査を実施する必要がある．緊急調査の実施要件としては，河川の勾配が10度以上の区域の概ね5割以上において1 cm以上の火山灰が堆積している渓流かつ，概ね10戸以上の人家に被害が想定される場合とされている．これらの条件は，降灰の堆積状況と土砂災害発生の関係性を踏まえて設定されており，降灰厚がわずかであっても，地形条件や降雨状況と組み合わさることで，高い災害リスクにつながることを示している．（図-4）

このことから，降灰の分布および堆積厚を迅速かつ的確に把握することは，土砂災害リスクの評価や避難判断に直結する極めて重要な情報であり，その精度と即時性の確保が求められている．

(3) 降灰厚の観測手法

降灰状況の把握には複数の観測手法が用いられており，その一つとして降灰マーカーによる観測を実施している．降灰マーカーは，火山灰の堆積厚を把握するために設置される簡易的な観測手法であり，高さの違う識別可能な形状を有する構造物によって構成している．これにより，火山灰の堆積状況を視覚的に確認することが可能となる．本マーカーは，九州技術事務所において，噴火後の迅速な降灰厚把握を目的として，2023年に開発したもので，0.5 m×0.5 m，厚さ4 cmの平板上に色・形状・高さの異なる凸型の識別部を設けており，高さに応じて赤色1 cm（○型），青色2 cm（△型），黄色3cm（□型）と区分されている．火山灰が堆積した際には，これらの識別部が覆われる状況をCCTVカメラやUAVによって撮影・確認することで，おおよその堆積厚を把握することが可能である．（図-5）

また，本手法は電源や通信設備を必要とせず，人力による設置が容易であるほか，必要に応じてUAVによる運搬・設置も可能であることから，広域に配置することができる．特徴として，日雨量10 mm程度の降雨により土台上の火山灰が流出する特性を有しており，単発的な噴火による降灰厚の把握に適した手法である．しかし，本手法は観測者による目視判読に依存するため，評価結果にばらつきが生じやすく，客観性や再現性の確保に課題がある．特に，1 cm前後の閾値付近における判定では，降灰の有無や厚さの違いを明確に識別することが難しく，観測者の経験や主観に左右される可能性がある．また，降灰マーカーの視認性は撮影条件や天候，照度等の外的要因にも影響を受けるため，安定した評価を行うことが困難な場合がある．さらに，広域にわたる観測地点を対象とする場合には，各観測地点における降灰状況を目視又は画像判読により確認する必要があり，多大な時間と労力を要することから，迅速な状況把握は困難である．

このような人力に依存した観測手法では，災害発生直後の限られた時間内に広域の降灰状況を的確に把握することに限界がある．

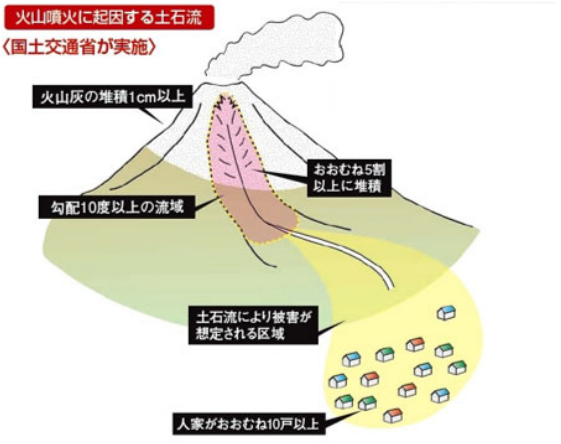


図-4　土砂災害防止法に基づく緊急調査

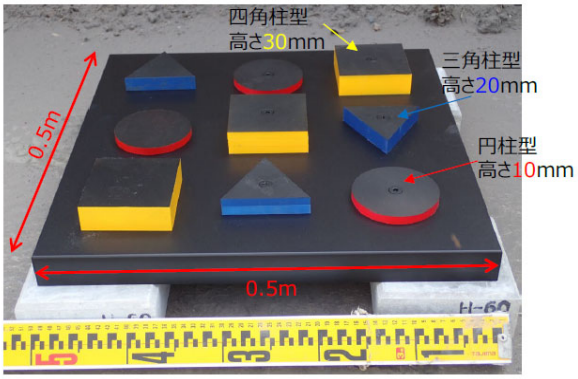


図-5　降灰マーカー(凸型)

(4) 降灰厚推定手法の比較検討

前記の人力に代わる観測手法として，九州技術事務所では過年度より，学習型 AI を用いた降灰厚さ推定に取り組んでいる．令和 7 年度緊急調査支援ツール等検討業務においては，CCTV および UAV カメラ撮影画像を用いて学習型 AI による降灰厚解析を実施した．解析手法としては，まず撮影画像の分類を行い，アノテーションを付与した後，物体検出モデルである YOLOv7 を用いて降灰マーカーの検出を実施した．次に，検出されたマーカー領域を画像処理により自動的に切り出し，HSV 色空間へ変換した上でマスクを生成した．さらに，生成したマスクの面積情報に基づき降灰厚を推定した．最後に，得られた推定結果について，技術者による目視測定結果と比較・照合することで，測定値の妥当性を検証した．（図-6）（図-7）

これらの処理過程の中で，撮影画像の分類を行う作業に着目する．本手法では，撮影画像を教師用データおよび検証用データに分類する工程が必要となっており，取得された画像データを適切に活用するための前処理が求められる．これは，物体検出モデルの精度確保のために学習データと検証データを分ける必要があるためであるが，この作業には多くの時間を要する．

このような背景を踏まえ，近年身近な存在になってきているマルチモーダル生成AIを用いることに着目してみた．国土交通省九州地方整備局では昨年度10月からマルチモーダル生成AIであるCopilotChat（以下Copilot）が利用可能となったことから，Copilotを用いてCCTVカメラ画像から降灰マーカー上の降灰厚さを推定することはできるのか検証した．具体的には，実測降灰厚さ2cmの降灰マーカー画像をCopilotに読み込ませて，「このCCTVカメラ画像に写る降灰マーカー上の降灰厚さを推定してください．」というプロンプトを与えた．なお，降灰マーカーの仕様として，赤色1cm（○），青色2cm（△），黄色3cm（□）の識別部を有することを併せて提示した．その結果，約2cm前後との回答が得られた． 推定の根拠としては，Copilotが画像から判断した降灰マーカー側面の視認性および埋没の程度である．この結果から，事前のデータ分類やアノテーションを必要とせず，単一の画像から直接降灰厚の推定が可能であると判断した．この結果に基づき，従来手法と比較して処理の簡略化および作業効率の向上が期待されるマルチモーダル生成AIによる降灰厚さの推定は有効な手段となりえると考えた．

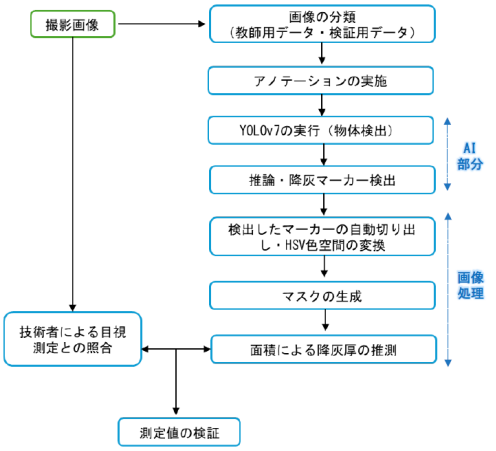


図-6　降灰厚解析手法の流れ

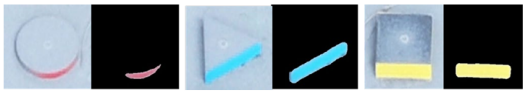


図-7　降灰厚0cm判定の結果例

2．マルチモーダル生成AIの降灰厚推定検討

(1) 検証の手法

検証に使用するマルチモーダル生成AIは，Copilotを使用した．検証にあたっては，マルチモーダル生成AIが有する視覚認識および推論機能を活用し，事前学習を行うことなく画像情報から降灰状況の把握が可能であるかを確認した．また，過去の内容が生成結果へ影響を及ぼすのを避けるために，指示の内容を変更する場合については，新規のチャットでプロンプトを作成した．入力データとしては，令和7年度緊急調査支援ツール等検討業務において桜島黒神川で取得した，降灰厚0cmから3cmまでの0.5cm刻みのCCTVカメラ画像およびUAVによる空撮画像を用いた．（図-8）

また，マルチモーダル生成AIへの指示内容が出力精度に与える影響を評価するため，基本的な指示のみを与える「基本プロンプト」と，撮影条件やマーカー仕様等の追加情報を付与する「条件付きプロンプト」の2種類を設定した．これにより，プロンプト設計の違いが降灰厚推定に及ぼす影響について比較検証を行った．

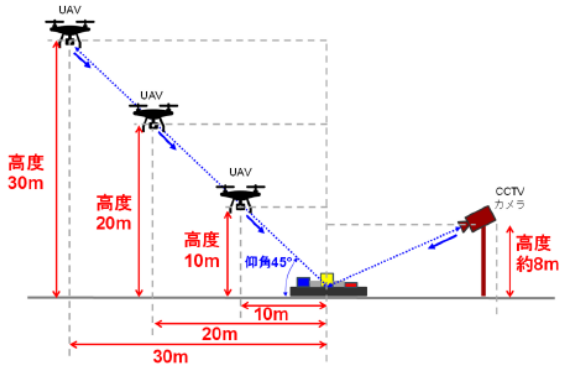


図-8　CCTVカメラ及びUAVによる撮影条件

(2) CCTVカメラ画像による検証

CCTVカメラ画像を用いた降灰厚推定において，基本プロンプトと条件付きプロンプトによる推定結果の比較を行った．CCTVカメラ画像は高度約8mで撮影され、各降灰厚さについて複数枚取得されていたが，本検証では推定結果の比較を行うため，各ケースにつき一番良好な代表画像1枚を用いて検証した．（写真1~3）

まず，画像を読み込ませて，画像情報のみを用いた基本プロンプトでは，0～3cmの7枚の中の4枚が実測値とおおよそ同様の値が推定された．残りの3枚は，大きな誤差があった．（図-9）これは，マルチモーダル生成AIが降灰厚さそのものを直接推定しているのではなく，マーカーのエッジや埋没状態，表面の視認性といった視覚的特徴に基づいて判断している可能性があると考えられる．

一方，マーカーの寸法や撮影条件を付与した条件付きプロンプトでは，推定値は概ね実際の堆積厚に対しておおよそ同程度の数値が得られ，比較的高い精度が得られた．基本プロンプトによる推定では大きな誤差が出た1cm，2cm，3cmの画像でも，条件付きプロンプトでは高い精度が得られた．（図-10）

以上より，CCTV画像による降灰厚推定では，条件付きプロンプトの付与により精度は大きく向上するが，マーカーが埋没する高堆積域では推定が難しくなることが明らかとなった．すなわち，本手法はマーカーが視認可能な範囲で有効であるといえる．

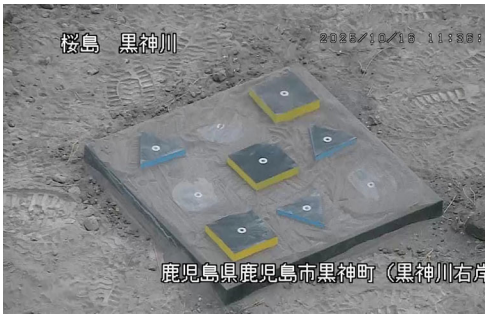


写真-1　代表画像（降灰厚1cm）



写真-2　代表画像（降灰厚2cm）

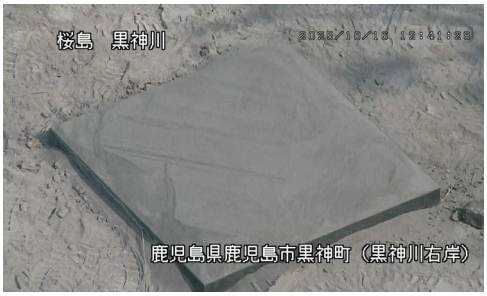


写真-3　代表画像（降灰厚3cm）

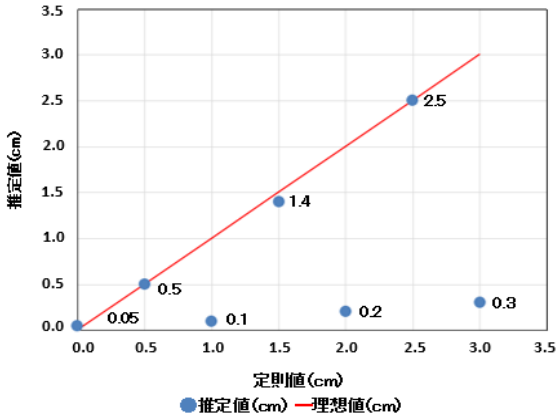


図-9　基本プロンプトによる降灰厚推定結果

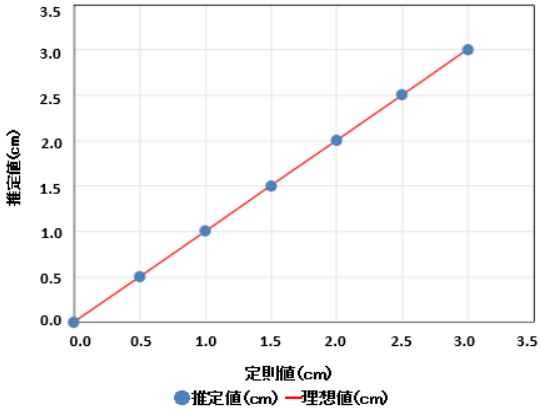


図-10　条件付きプロンプトによる降灰厚推定結果

(3) UAVカメラ画像による検証

UAVカメラ画像を用いて．先ほど同様に基本プロンプトと条件付きプロンプトによる検証を行った．UAVカメラ画像は仰角45度，撮影高度が8m，10m，20m，30m，ズーム倍率がズームなし，3倍，7倍の2つの条件を組み合わせた画像を用いた．

まず，画像を読み込ませて，「この画像の降灰マーカー上の降灰厚を推定してください．」という基本プロンプトを入力した．その結果，降灰がない場合でも降灰厚が誤検出される場合があり，画像中の影や表面の模様等を降灰として誤認識したことが原因であると考えられる．また，一部に大きな外れ値（例：1.5㎝が15㎝）が確認され，測定値には大きなばらつきがある．これは，降灰層の境界が不明瞭であったことや，降灰層が極端に薄く，わずかな判断誤差が推定結果に大きく影響したことが要因として考えられる．（写真-4）

撮影条件では，低高度ほど精度が高く，高度が上がるにつれて誤差が増加する傾向がみられた．また，ズーム倍率を上げることで結果は安定する傾向があった．堆積厚が小さいほど誤差が大きく，特に 1 cm 未満では推定結果が不安定となった．一方，1〜2 cm では比較的良好な結果が得られるが，堆積厚が大きくなると再び誤差が増加した．

一方，マーカーの寸法や撮影条件を付与した条件付きプロンプトでは，実測値と推定値の間には，明確な線形関係は認められず，条件に応じて大きなばらつきが生じることが確認された．特に降灰厚が小さい領域（0〜1 cm）では，推定値が0〜2 cmまで広く分散し，実測値との対応関係は弱かった．一方で，降灰厚が大きくなるにつれて推定値は実測値に近づく傾向があり，2.5〜3.0 cm の領域では比較的良好な一致がみられた．また，CCTV 画像の場合と同様に，撮影条件の影響が顕著であり，撮影高度が高い場合やズームを使用しない場合には誤差が増大し，逆にズーム倍率を上げることで推定精度が向上する傾向が確認された．ただし，ズーム倍率が高すぎる場合には精度が低くなる傾向がみられた．これはズームレンズに生じる歪曲収差（ディストーション）や色収差の影響によるものと考えられる．



写真-4　最大外れ値画像（撮影高度20m・ズーム3倍）

以上より，UAV 画像を用いた降灰厚推定では，撮影条件の影響が大きく，特に低高度かつ適切なズーム倍率で撮影した場合に比較的良好な結果が得られた．一方で，降灰厚が小さい場合には推定値のばらつきが大きく，安定した推定には課題が残ることが確認された．

(4) 従来の学習型 AI とマルチモーダル生成 AI との比較検討

令和 7 年度緊急調査支援ツール等検討業務で実施した従来の学習型 AI による降灰厚推定では，マーカー検出後に HSV 変換およびマスク処理を行い，灰の付着面積から降灰厚を算出することで，定量的かつ再現性のある推定が可能である． 一方で，教師用データの作成やアノテーション，画像分類など複数の解析工程を必要とするため，処理には一定の手間を要する．

これに対し，マルチモーダル生成 AI は画像を入力するのみで推定が可能であり，事前学習や複雑な処理を必要としない点で簡便かつ迅速である．特に CCTV 画像では，条件付きプロンプトを用いることで一定の精度が得られ，初期的な状況把握には十分活用可能であることが確認された．

一方，UAV 画像では撮影条件に依存したばらつきが見られるなど精度面で課題は残るものの，撮影条件やプロンプトの工夫により改善の余地があると考えられる．以上より，従来の学習型 AI での測定は精度や再現性に優れる一方，マルチモーダル生成 AI は迅速性と簡便性に優れており，特に現場での初動対応や概略把握において有効な手法であるといえる．今後は条件設定の最適化を進めることで，マルチモーダル生成 AI 単独での実用性向上も期待される．

3．まとめ

アノテーションを必要とする従来の学習型 AI と汎用のマルチモーダル生成 AI を用いた映像からの降灰厚測定の結果についてまとめると以下のようになる．

・アノテーションを必要としない，汎用のマルチモーダル生成 AI を用いても降灰マーカによる降灰厚測定は可能である．

・マルチモーダル生成 AI に付与するプロンプトについては，ただ測定を指示するのではなく，降灰マーカの諸元など参考となる情報を付与することにより精度が大幅に向上する．

・UAV による計測は，CCTV カメラでの計測に比べて機動性が高い反面，UAV のペイロードの制約によるカメラの性能に依存するところがあった．ただし，降灰マーカに近接したり，カメラズームを用いることで，精度の向上を確認することができた．

・カメラズームについては，ズーム比が高くなりすぎると，レンズの各収差の影響などにより精度が低下するため，判別に用いる映像の正確性が重要である．

４．課題

今回の検証でマルチモーダル生成AIを用いて降灰厚を測定することは実証できたと言える．ただし，今回については様々な条件で検証を行ったわけではなく，実用に用いるためにはさらに以下のような項目について検討する必要がある．

a) マルチモーダル生成 AI 毎の性能差

市場で用いることができるマルチモーダル生成 AI は複数あり，それぞれ映像処理が得意なものや，言語変換が得意なもの，推論・推定が得意なものなどがある．今回の検証では，日常業務において用いられている Copilot を使用したが，他のマルチモーダル生成 AI を用いた検証は実施していない．セキュリティを確保することが可能であれば，他のマルチモーダル生成 AI を用いた結果がどのようになるのか，引き続き検証を行う必要がある．

b) UAV 調査における複数の条件による検証

UAV から撮影した映像を用いた検証においては，今回は仰角を 45 度に固定した状態で，複数の高度，ズーム比による精度の検証を実施したが，仰角を浅くしたり深くしたりすることによる検証を実施していない．UAV による降灰マーカーの撮影は，現場条件に影響されることから，理想的な仰角で撮影できるとは限らないため，引き続き様々な条件での検証を実施する必要がある．

c) イメージセンサーの種類毎の違いによる検証

UAV に搭載しているカメラセンサーについては，近年は可視以外にも，IR（赤外線）や，マルチスペクトルカメラを搭載した機種もある．今回は可視のみで降灰厚の測定を行ったが，例えば IR センサーを用いた場合は，降灰マーカーと降灰の密度の違いにより，堆積部分の差分がはっきりと判別できる可能性があると考える．またマルチスペクトルカメラでは，水分量の違いによる差分が検知できる可能性があるため，他のセンサーとマルチモーダル生成 AI を組み合わせた実証についても今後は検討していく必要がある．

５．さいごに

本実証実験により，降灰厚マーカーの読み取りにマルチモーダル生成 AI が使用できることが確認できた．火山噴火時の緊急調査のタイミングは，国民の生命や財産を守る自治体の避難判断の重要な情報の一つであることから，引き続き精度の向上と，計測の簡素化，省力化を目指し研究を進める必要があると考える。

＜参考文献＞

1）静岡県：富士山ハザードマップ（改訂版）検討委員会報告書 2023 年 3 月

2）古木宏和・田方智・佐野泰志・酒匂俊輔：「降灰マーカーおよび画像解析の組み合わせ等による火山灰堆積厚把握の試行」，令和 6 年度砂防学会研究発表会概要集，2024 年 5 月

3）新蔵千沙都・田方智・古木宏和・矢野敦久・井上遥：「写真解像度等に応じた AI・画像解析による降灰厚測定の精度検証」，令和 7 年度砂防学会研究発表会概要集，2025 年 5 月

フレキシブル型太陽光パネルの活用について

稲永　葵[1]・朝山　裕一[2]

[1.2]九州地方整備局　筑後川河川事務所　情報技術課（〒830-8567 福岡県久留米市高野1丁目2番1号）

2021年10月，第6次エネルギー基本計画により，2050年にはカーボンニュートラルの実現，2030年度における再生可能エネルギーの主力電源化が位置づけられた．国土交通省では，インフラ分野におけるカーボンニュートラル実現について，電気通信技術ビジョン４を策定し太陽光一体型電気通信施設の整備を進めている．一方，従来の太陽光パネルは平板構造で占有面積が大きく，重量があるため設置場所に制約がある点が課題となっている．

以上の課題に対し本報告では，薄型（フレキシブル）太陽光パネルによるCCTVカメラの電力自給化を脱炭素化実現の一つのモデルとして提示する．

キーワード　カーボンニュートラル，再生可能エネルギー，太陽光

1. はじめに

2023年3月，国土交通省では電気通信技術を通じて公共インフラの新たな価値を創造するための指針である「電気通信技術ビジョン」を４に改訂した．この中において，電気通信施設の省エネルギー化や再生可能エネルギーの活用を推進している．中でも，太陽光パネルを活用した電気通信施設の整備は，「太陽光発電一体型」と呼ばれ，環境負荷低減の観点のみならず，災害時の電源確保手段としても有効な手法として注目されている．

しかしながら，従来の太陽光パネルは平板構造であり，設置に広い面積を必要とするほか，重量が大きいことから設置場所に制約がある．このため，太陽光パネルによる給電が可能な電気通信設備は限定され，導入が十分に進んでいないのが現状である．

そこで本研究では，薄型で柔軟性を有するフレキシブル型太陽光パネルに着目し，電気通信設備の電力自給化による脱炭素化の実現可能性について検討することを目的とする．なお，具体的な設備の事例として，CCTVカメラ設備への給電について報告する．

2. フレキシブル型太陽光パネルの特徴

太陽電池は，主に「材料の種類」「材料の厚み」「動作原理」の３つで分類される．さらに，「材料の種類」からは「シリコン系」「有機系」「化合物系」の３つに分けることができる．なお，フレキシブル性の実現が可能なものは，「ペロブスカイト（有機系）」および「カルコパイライト（化合物系）」となる．

表 1　太陽電池分類

構造	従来（平板）	薄型（フレキシブル）	今回の実験で使用
材料	シリコン系	有機系（ﾍﾟﾛﾌﾞｽｶｲﾄ）	化合物系（ｶﾙｺﾊﾟｲﾗｲﾄ）
柔軟性	× 厚さ 40mm	○ 厚さ 0.8mm	○ 厚さ 0.8mm
変換効率	◎ 18～22%	△ 11~15%	○ 18~19%
重量	× 10kg/㎡（ｶﾞﾗｽｶﾊﾞｰ構造） ○ ~1kg/㎡（フィルム構造）	× 5~10kg/㎡（ｶﾞﾗｽｶﾊﾞｰ構造） ○ ~1kg/㎡（フィルム構造）	○ ~1kg/㎡（フィルム構造）
耐久性	◎ 20~25 年	× ~5 年	○ 10~20 年
普及率	約 95%	ほぼ無し	約 5%

従来のシリコン系太陽光パネルによる給電の設備を実装する場合，以下の 2 つの場合が考えられる．本例では既設の CCTV カメラを想定して検討する．

１つ目は，CCTV カメラ周辺の地面に太陽光パネルを設置する場合である（図１）．この場合，太陽光パネル設置のため，十分なスペースの確保が必要となる．

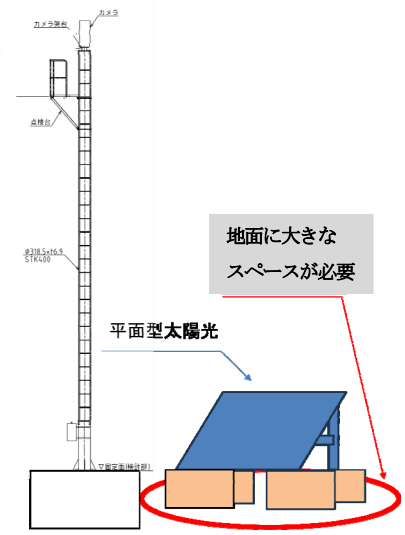


図 1　シリコン系太陽光パネル設置例１

２つ目は，CCTVカメラの支柱に小規模の太陽光パネルを据え付ける場合である（図２）．この場合，支柱・基礎の強度不足が発生し増強が必要となる．

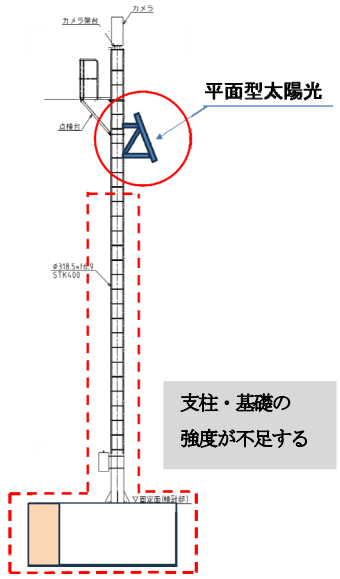


図 2　シリコン系太陽光パネル設置例２

従来シリコン系太陽光パネルの設置例に対し，薄型カルコパイライトを使用した場合，柔軟性を利用し支柱にパネルを巻き付けるように設置することができる（図３）．設備周辺に設置スペースを確保する必要がなく，軽量であるため強度計算の面からも実装が容易であると考えられる．本研究では，薄型カルコパイライトを使用し，筑後川河川事務所管内の CCTV カメラにて実証実験を行った．

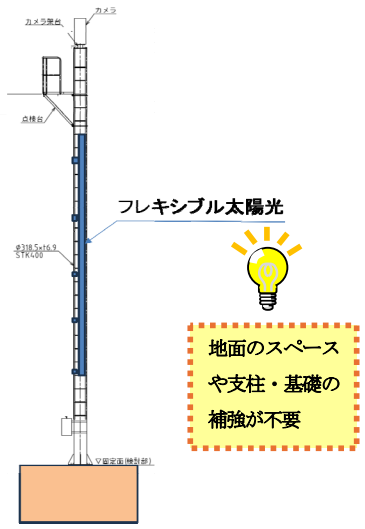


図 3　薄型カルコパイライト設置例

3.　実証実験の概要

(1) 実験目的

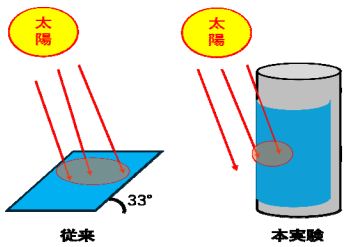
本実験は，フレキシブル型カルコパイライト太陽光パネル（以下，パネル）を使用し，電気料金の低減，二酸化炭素排出量の削減に寄与することを目的としている．使用電力の一部をパネルで発電した電力に置き換えることで，カーボンニュートラルへの貢献，災害時の停電等にも対応できる設備の検討を行うものである．

(2) 実験設計

想定される課題として，次の２点が挙げられる．

１点目は，従来の太陽光パネルと同様に，夜間と悪天候時は発電が不可であるということである．この点については，蓄電池を併せて設置することで，パネルで発電できない状況をある程度補うことができると考える．

２点目は，従来の太陽光パネルは，発電効率を最大にするため地面に対し角度（33度）を付けて設置している．これに対して本実験では，支柱に巻き付けてパネルを設置するため，太陽光がパネルに対して垂直に当たらず，太陽の位置が高くなる日中や，南中高度が高くなる夏季には発電効率が低下することが想定される．この点については，本実験の結果を踏まえた上で，導入可能な現場条件の検討が必要である（図４）．



※33 度：福岡における緯度

図 4　照射面積の比較イメージ

(3) 実験環境

本実験は，筑後川水系宝満川に設置された「宝満川合流地点カメラ」を対象に実施した．実験は令和8年2月26日から開始しており，季節変動による発電量への影響を測定するため，現在も継続中である．本実験で使用した主な機器は以下のとおりである．

・宝満川合流地点カメラ（使用電力　約78 Wh）
・フレキシブル型カルコパイライト太陽光パネル
　パネル数：10枚
　パネル容量：一枚当たり平均19.7W
　サイズ：554mm×450mm
　　パネル（41mm×156mm）を
　　直列10セル×並列3回路で接続
・パワーコンディショナ
・蓄電池
・電源切換機
・計測用機器類

なお，パネルを支柱に巻き付ける際は，ステンレスバンドを使用した．

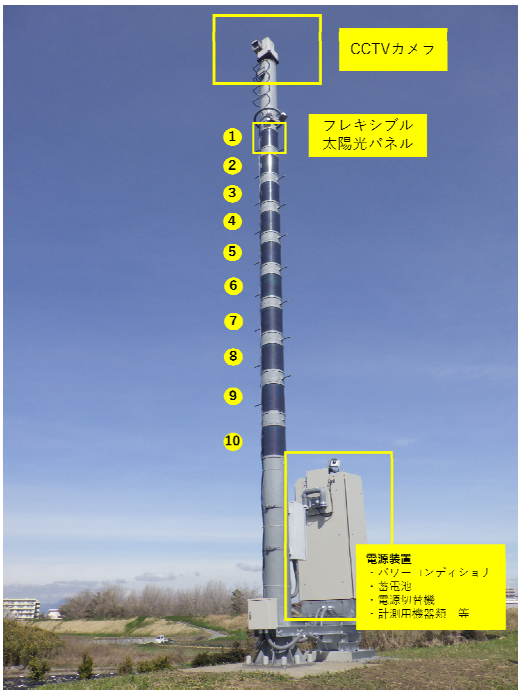


図 5　宝満川合流地点カメラ

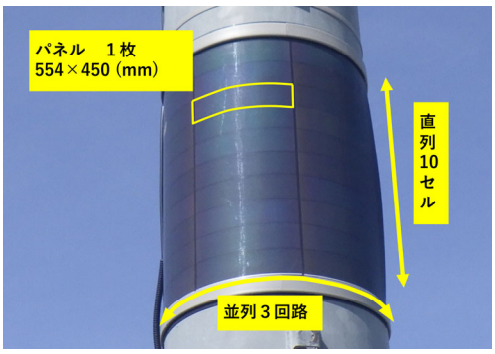


図 6　フレキシブル型太陽光パネル
（薄型カルコパイライト）

(4) 実験システム

本実験の対象である CCTV カメラは，実際の河川監視に使用されているため，常に給電が行われるよう，太陽光エネルギーと商用電力との切換が機能として求められた（図7）．

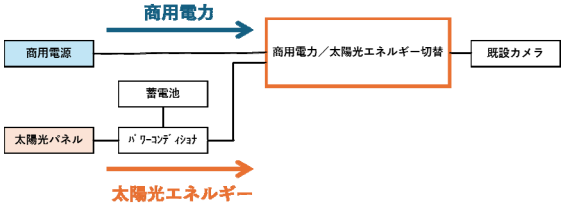


図 7　商用電源・太陽光パネルの切換イメージ

電源の切換基準は，蓄電池の残量より設定する．
蓄電池の残量(SOC)が 50%と 75%で電源切換を行う．

① SOC ≤ 50%
　→商用電源より給電
② 50%＜SOC ＜ 75%　（充電時）
　→商用電源より給電
③ 75% ≤ SOC
　→太陽光エネルギーより給電
④ 50%＜SOC ＜ 75%　（放電時）
　→太陽光エネルギーより給電

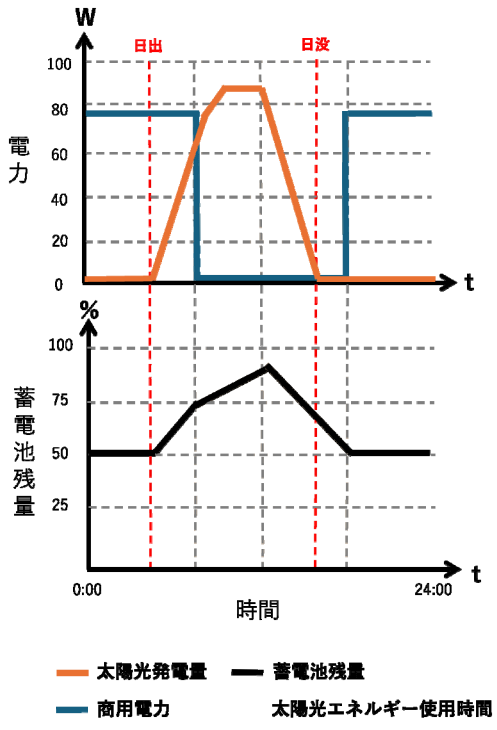


図 8　蓄電池残量毎の電源切換

5. 実験結果及び考察

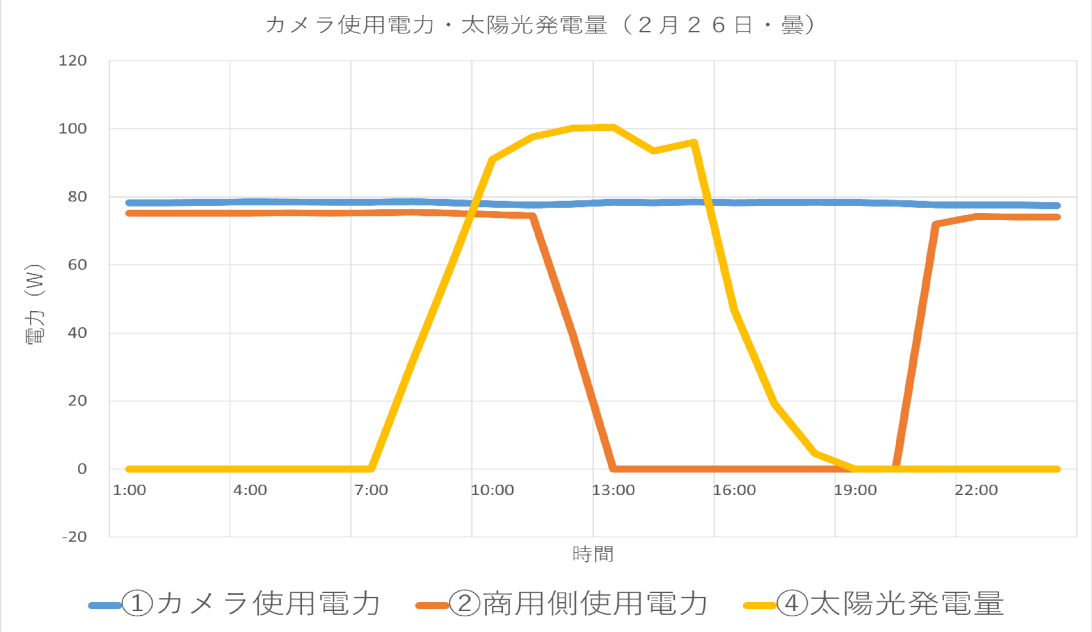


図 9　2 月 26 日（日出 7:00・日没 18:00）

図 9 に示すのは，2 月 26 日（曇）におけるカメラ使用電力・商用側使用電力・太陽光発電量の 1 日の推移である．

太陽光発電量（黄線）は日出後の 7 時頃から増加し，10 時～13 時頃にピーク（約 100W）に達した後，16 時頃から低下し，19 時頃にはほぼゼロとなった．曇天であるにもかかわらず，日中の発電量はカメラ使用電力を上回る時間帯が確認された．

商用側使用電力（赤線）は，太陽光発電量がカメラ使用電力を下回る夜間・早朝および夕方以降に約75Wで推移し，太陽光発電量が十分な日中帯（約13時～19時頃）にはゼロ付近まで低下していることが読み取れる．また，日没後（約19時～20時頃）は，太陽光発電量がゼロとなるが，蓄電池の残量を使用していることで給電が継続されていることが確認できる．

表 2　4 日間結果集計表

日程・天気	カメラ使用電力（Wh）	商用側使用電力（Wh）	自然エネルギー側使用電力（Wh）	太陽光発電量（Wh）	商用削減率
2月26日（曇）	1876	1160	686	741	37%
2月27日（雨）	1869	1784	3	19	0%
2月28日（曇→晴）	1883	1351	556	574	30%
3月1日（晴→曇）	2022	1334	664	673	33%
合計	7650	5629	1909	2007	25%

4日間のカメラ使用電力の合計は7,650Whであり，そのうち太陽光発電により2,007Whを賄うことができた．この結果，4日間の商用電力削減率は平均25%となった．天候別にみると，曇りであった2月26日は741Whの発電量を記録し，商用電力を37%削減することができた．

また，晴れから曇りへと変化した3月1日においても673Whを発電し，33%の削減を達成した．一方，降雨日であった2月27日は発電量が19Whにとどまり，商用電力の削減効果はほぼ得られなかった．

本実験における二酸化炭素の削減効果については，環境省が公表する電力のCO2排出係数（0.472 kg-CO2/kWh，2026九州電力（株））を用いて算出すると，4日間で削減されたCO2排出量は約0.9 kg-CO2であった．これより1か月間（30日間）では約6.76kg-CO2の削減が見込まれる．

以上の結果より，フレキシブル型太陽光パネルの使用によって，CCTVカメラにおける商用電力の一部代替が可能であることが実証された．降雨日における発電量の低下が課題として挙げられるが，本実験では蓄電池との併用により夜間・悪天候時の電力を一定程度補完できることも確認されており，蓄電池容量の最適化によって完全電力自給化の実現が期待される．

6. 今後の課題と展望

今後の課題として，以下の大きく3点が挙げられる．

(1) 発電量が不足する悪天候時や夜間の対策

降雨日（2月27日）の太陽光発電量は19Whにとどまり，商用電力の削減効果はほぼ得られなかった．河川監視カメラは出水期や台風接近時など，悪天候時にこそ安定した稼働が求められる設備である．商用電力および蓄電池との適切な組み合わせによる，効率的な運用方法の検討が必要である．

(2) 季節変動による発電量への影響

本実験は令和８年２月に開始しており，冬季の発電量については概ね把握できたものの，年間を通じた発電量の変動については把握できていない．夏季は日照時間が長い一方，南中高度が高いため，垂直に設置されたパネルとの角度差による発電効率の低下やパネルの温度上昇による発電効率の低下が懸念される．今後は年間を通じた継続的な計測により，季節変動を考慮した電力収支の把握が求められる．

(3) 蓄電池容量の最適化

本実験の結果，今回の設備構成では，夜間および悪天候時には商用電源を使用せざるを得ない結果となった．完全な電力自給化の実現に向けては，日中の太陽光発電電力を蓄電池に蓄え，夜間・悪天候時に活用する必要がある．蓄電池の導入にあたっては，日照条件・季節変動・カメラの消費電力を踏まえた容量設計の最適化が求められる．

本実証実験により，フレキシブル型太陽光パネルを活用した河川監視カメラの電力自給化の有効性が示された．設置スペースや強度の問題から太陽光パネルの導入が困難であったインフラ設備に対して，省スペースで太陽光発電を実現できる有効な手段であることが確認された．今後はインフラ分野における脱炭素化の一モデルとして広く活用されることが期待される．フレキシブル型太陽光パネルを利用することによって，円柱形状への設置が可能であるため，CCTV カメラのみならず水位計等にも活用できると考えられる．また道路分野においても，道路情報表示板や道路照明灯への活用が期待できる．さらに，軽量である特徴を利用して TEC-FORCE での利用も考えられる．

岸壁改良工事に伴う課題への対応

～下関港における国際ターミナルの老朽化対策～

飛松　英佑[1]・松尾　博文[2]・工藤　吉広[2]

[1] 九州地方整備局　下関港湾事務所　企画調整課（750-0066 山口県下関市東大和町 2-29-1）
[2] 九州地方整備局　下関港湾事務所　保全課（750-0066 山口県下関市東大和町 2-29-1）

下関港本港地区岸壁(-10m)は，下関港国際ターミナルに位置しており，現在，蘇州下関フェリー（国際 RORO 船）が定期運航し，利用されているが，当該施設は，昭和 46 年に完成したものであり，その後 55 年が経過しており，エプロンにクラック等が生じるなど老朽化が著しい状況であった．このため，予防保全事業により老朽化対策として岸壁改良工事の工事を進めているところである．

本報告は，令和 6 年度より現地着手した桟橋構造の岸壁改良工事において発生した施工時の現場不一致における課題とその対応策について報告するものである．

キーワード　港湾施設，岸壁，改良工事，既存施設活用，予防保全事業

1. はじめに

下関港は本州の最西端に位置し，関門海峡の北岸に広がる日本有数の国際港湾である（写真-1）．

古くは，「赤間関（あかまがせき）」「赤馬関（せきばかん）」「馬関（ばかん）」と呼ばれ，その地政学的特性から，朝鮮通信使の往来や中国大陸との交易など，東アジアとの交流拠点として重要な役割を担ってきた．現在の下関港は，韓国・釜山をはじめ，中国・蘇州との 2 航路で週 9 便という日本最大級の国際フェリー基地を有するとともに，多様な港湾機能を備え，九州・中国地方のみならず，近畿圏や首都圏とも結びついた広域ネットワークを形成している．

これは，下関港が本州の中で中国・韓国等の東アジアに最も近いという地理的優位性に加え，高速道路や JR 貨物等による良好な陸上アクセスや，全国の港湾で最初に開始された年中無休の通関体制，並びに年中無休の植物検疫・週 6 日の動物検疫・食品検査体制等，物流の好条件が整っていることにより，海上輸送でありながら，航空貨物に匹敵するスピードで東アジアと関西・関東との間の物流サービスを提供しているためであり，輸入では産業機械や生鮮食品，輸出では電子部品や精密機械等の単価の高い貨物が選択的に下関港を利用されている．

写真－2 に示す下関港（本港地区）岸壁（-10m）は，蘇州下関フェリー（RORO 船）の定期運航により利用されているが，築造後 55 年（改良後 22 年）が経過しており，エプロンのクラック等が確認されている．このまま老朽化が進行すると，荷役作業時の危険性や岸壁の利用に支障をきたし，企業の経済活動に影響を及ぼすこととなるため，老朽化対策として本港地区岸壁（-10m）改良工事を実施することとなった．

また，当該岸壁は，平成 31 年の港湾計画改訂において耐震強化岸壁として位置づけられ，令和 2 年に下関市地域防災計画，令和 3 年に下関市国土強靭化地域計画へ位置付けられている．

このため，老朽化対策に併せ，耐震強化構造へ改良する工事を実施している．蘇州下関フェリー等の運航及び関釜フェリー・蘇州下関フェリーへの荷役作業を可能な限り支障をきたさないよう施工する必要があることから，本港地区岸壁（-10m）改良工事に



（写真－1）下関港の航空写真



（写真－2）本港地区岸壁（-10m）改良

ついては工期短縮を目的にプレキャスト方式での施工を採用した．しかし，予め製作したコンクリート床版を据え付ける際，設計値と実態値に大きな乖離が生じていることが判明した．

2. 本港地区における岸壁改良工事について

(1) 岸壁改良の構造検討

本港地区岸壁（-10m）の周辺の地盤条件及び既存部材等について現況調査し，L1 地震動による変動作用時の杭の支持力照査を行った結果，陸側にある既設鋼管杭（以下，斜杭）の引き抜きに対して耐震性を有しないことが確認された．本岸壁は桟橋構造であり，既存構造物を再利用する改良工法を行う場合の安定性向上メカニズムとして，①杭に発生する応力の分散，②水平剛性の増加，③支持地盤強度の増加，④補強による耐力の増加が挙げられた．

また，現況の岸壁及び背後地は頻繁に荷役作業が行き交い，利用頻度が高く，全面的な供用停止ができないため，極力岸壁を利用可能としつつ，斜杭の引き抜きに効果的な対策となることに着目し，「アンカー工法」，「増杭工法」，「水中格点式ストラット工法」，「上部工撤去+杭打ち替え工法」の 4 案を抽出した．「増杭工法」と「水中格点式ストラット工法」は L1 地震時の杭の支持力について，引き抜きに対して耐震性を確保することができなかった．また，「アンカー工法」は L2 地震時の斜杭の支持力について引き抜きに対して確保できず，また，耐震性を確保するために張力を作用させた場合，L1 地震時の押込みに対して確保できない結果となった．

4 案を検討した結果，L1 地震時の杭の支持力に対して耐震性を確保し，かつ，L2 地震時の安定性を確保できる「上部工撤去+杭打ち替え工法」を選定した．

(2) プレキャスト工法の採用

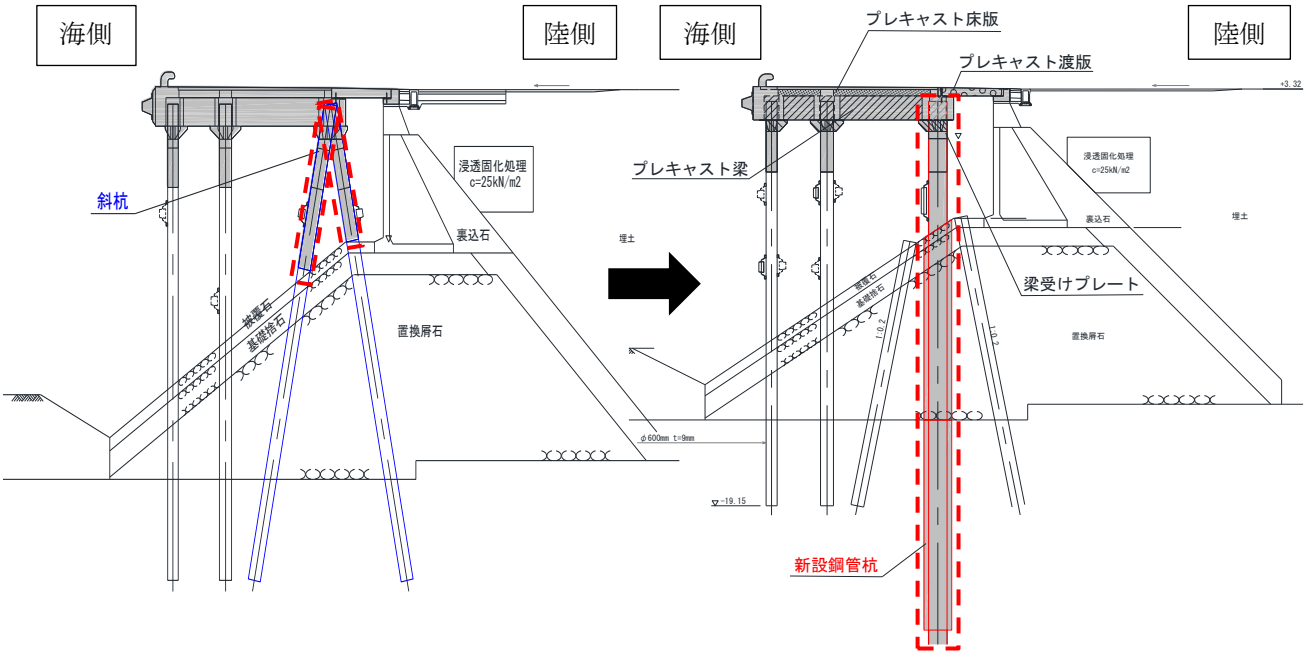
本港地区の岸壁改良工事では，関釜フェリー・蘇州下関フェリーへの荷役作業をなるべく妨げないように施工することが求められており，写真－3 のとおり，トラック等で混雑する倉庫前やシャーシ交換の作業区域，埠頭用地で混雑する出入口などの狭隘なエリアを背後に有する本岸壁では，施工上の制約を最小限に抑える必要があった．このため，コンクリート部材を別の作業ヤードで製作し，現地へ運搬・据付・接合して上部工を築造する「プレキャスト工法」を採用し，現地施工期間の短縮化を図った．



（写真－3）混雑する埠頭用地

(3) 施工方法

本岸壁は，老朽化対策としての改良工事と併せて地震に強い岸壁(耐震強化岸壁)への改良を行った．地震時に図－1 に示す 2 本の斜杭に引抜力が発生してしまうことが判明しているため，斜杭は残さずに海底面で切断することとした．斜杭の切断後，既設上部工等を撤去し，鋼管杭打設のため先行掘削を行い，中央に新しく鋼管杭を打設し，上部工等の新設を行った．



既設　　新設

（図－1）岸壁の断面図

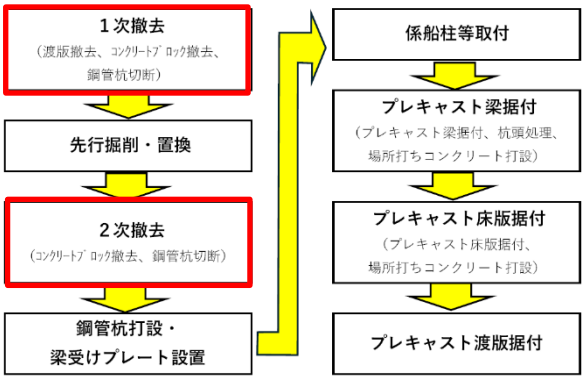
現場作業は，岸壁利用者との調整により，作業ヤードとして隣接する 1 スパン分（24m×14.5m）を使用可能としていたが，工事資材が多いため，1 スパン分では不足する状況であった．

このため，本港地区とは別に作業ヤードを確保し，逐次，適切なタイミングで資機材を搬入することで，ヤード不足の解決を図った．現場内の資機材搬入については，岸壁利用者にヒアリングを行い，荷役作業に極力影響を与えないよう配慮することで，影響の少ない時間帯に搬入を行い，円滑化を図った．具体的には，昼休憩や荷役作業が少なくなる夕方遅い時間帯に大型車両での資機材の運搬を行うこととした．

3. 工事に伴う施工上の課題及び対応策

(1) 施工フロー

工事に伴う施工フローは以下のとおりである（図-2）．



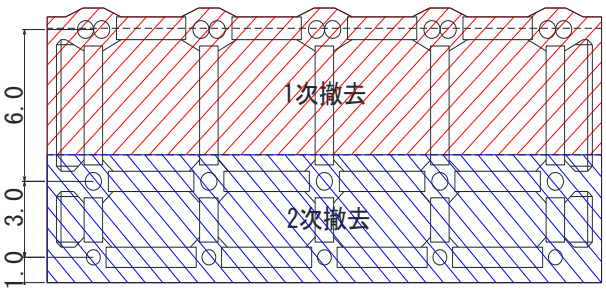
（図-2）施工フロー図

(2) 施工時に発生した現場不一致による課題

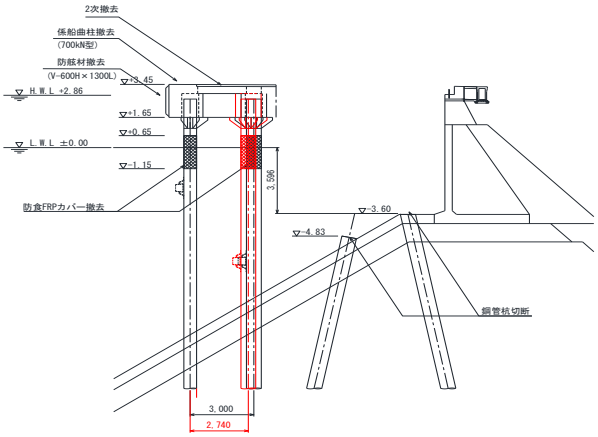
施工図面では岸壁法線直角方向に海側から 1.0m，3.0m，6.0m の位置に鋼管杭がある設計であったが（図-3），陸側のコンクリート床版と斜杭の撤去（先行掘削のための 1 次撤去）施工後に，開口部から目視できる既設鋼管杭（中央）の位置が明らかに設計と異なっていたため，現地で測定した．測定した結果，実際の既設鋼管杭が，設計値より，岸壁法線直角方向海側に約 26cm 変位していることを確認し，許容範囲（10cm 以内）を超えていることが判明した（図-4）．

また，海側のコンクリート床版の撤去（2 次撤去）施工後に測定した結果，岸壁法線平行方向にも既設鋼管杭（海側）が設計値から 14cm～28cm，既設鋼管杭（中央）が設計値から 22cm～29cm と許容範囲を超えていることを確認した．（図-5）

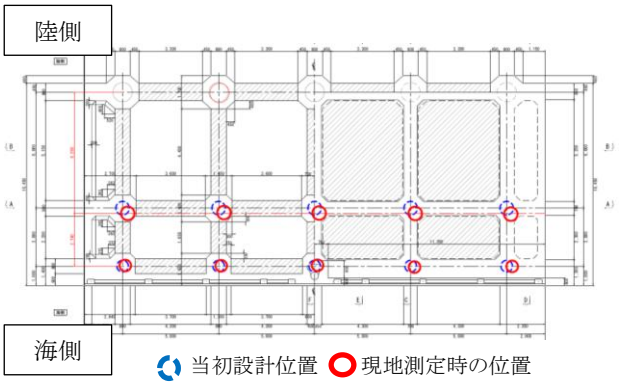
実際の既設杭の位置が設計と大きく異なるため，プレキャスト部材が当初設計位置には据え付けできないことが判明した．プレキャスト部材の施工にあたっては，プレキャスト部材の適正配置及びプレキャスト部材と鋼管杭とを一体化する現場打ちコンクリートの配筋の施工方法が課題となった．



（図-3）撤去工平面図



（図-4）1 次撤去工後の計測結果



（図-5）2 次撤去工後の計測結果平面図

(3) プレキャスト部材の施工にかかる対応策

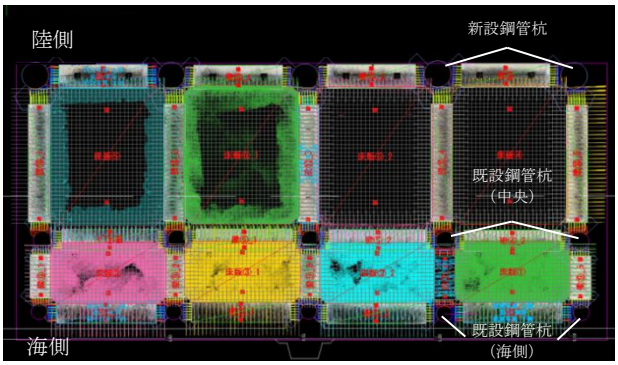
前述の課題に対応するため，以下 a)，b)の対応を行った．

a) プレキャスト部材の適正配置

本工事は，プレキャスト工法であるため，許容範囲を超える変位があると，予め製作したプレキャスト部材の張り出し鉄筋が据付及び施工に大きく影響を及ぼす．

製作済みのプレキャスト部材及び既設鋼管杭等について，3D スキャナーを用いて点群測量を実施し，部材の寸法や張り出し鉄筋の位置を把握した．

CIM 上で，既設杭の実際の位置に基づき，プレキャスト梁を配置し，梁の上にプレキャスト床版をのせる形で全ての梁の直角方向及び平行方向に乗るかを検討し，製作済みのプレキャスト部材で施工可能か判断した．（図-6）



（図-6）点群データ平面図

b）プレキャストと鉄筋の一体化への検討

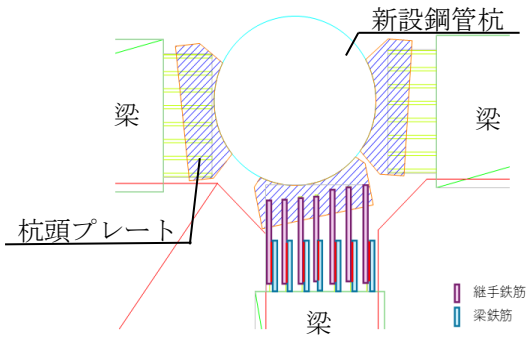
プレキャスト部材の配置を検討した後，三次元データ解析により，隣り合う床版のループ継手筋同士が干渉しないか検討した．

既設鋼管杭（中央）が当初設計位置より海側に変位していたため既設鋼管杭間（海側と中央）が狭くなっており，杭と鉄筋が干渉してしまうことが判明した．一方で，既設鋼管杭（中央）と新設鋼管杭間は離れており，プレキャスト梁が梁受けプレートに乗らず，鉄筋が足りないことが判明した．

プレキャスト部材及び鉄筋の配置を検討する中で，鉄筋と杭が干渉してしまう部分については，鉄筋を切断する対応をした．

岸壁法線直角方向については，プレキャスト梁が梁受けプレートに乗らない部分は，既設鋼管杭側が継ぎ足し杭と梁受けプレートが一体化している材料であり加工が難しいため，プレキャスト梁を既設鋼管杭側に寄せる形で施工を行った．鋼管杭打設後に，現場溶接となる新設鋼管杭側の梁受けプレートの形状を変更することで，比較的容易に施工を行うことができた．また，新設鋼管杭側のプレキャスト梁の張り出し鉄筋は，そのままであれば鋼管杭に溶接する杭頭プレートまで届かないため，鉄筋を溶接することによって延長し杭頭プレートと溶接した．（図-7）

さらに，新設および既設鋼管杭に溶接する杭頭プレートもプレキャスト梁の配置により，当初形状では梁の鉄筋との溶接長が確保できない箇所もあったため，杭頭プレートの形状を変更し対応した．



（図-7）鉄筋継ぎ足し平面図

4. プレキャストにかかる CIM 活用の考察

本工事では既設鋼管杭の位置が設計値から大きく乖離していることが施工段階で判明し，従来の二次元図面による管理では迅速かつ的確な対応が困難であったため，三次元データを活用した出来形管理（CIM）を導入したものである．

これにより，得られた効果は以下のとおりである．

(1) 既設鋼管杭及びプレキャスト部材の出来形を高精度に把握し，設計との差異を明確化した．
(2) プレキャスト部材の配置検討を三次元上で行う事で施工前に干渉箇所を確認できた．
(3) 配筋や部材配置の変更案について関係者間で視覚的に共有でき，合意形成の迅速化とともに施工性の向上に貢献した．

設計と現場の乖離が大きく，製作済みのプレキャスト部材と現場条件が合わない工事において，細かい部材の干渉等を把握するために CIM を用いたことは極めて有効だったと言える．

一方，プレキャスト部材の再配置検討には約 2 ヶ月の追加期間が必要となり，工程管理上の課題が残った．その大きな要因は，極力配筋の切断及び延長加工を少なくするため，三次元データ上で様々なケースを検討する作業に期間を要するからである．現状では人の手によって，三次元データをコントロールしているが，今後は，AI 活用などの技術革新によって，更なる効率化が期待されるところである．

5. あとがき

本論文では，桟橋式の岸壁工事では一般的であるプレキャスト部材を用いた改良工事について，係留施設とその背後地を供用しつつ実施する，厳しい施工条件の工事で発生した，想定以上の設計値との乖離による課題と対応策について述べた．

本工事は，BIM/CIM の活用対象工事であり，ICT を活用することで，従来であれば測量と施工方法の検討に多大な時間を要するところ，遅延なく工事を進めることができ，現地施工において，効率的な施工管理と出来形管理が可能となった．

下関港本港地区岸壁(-10m)改良工事は全体計画として，最初の 1 スパン目を施工したところであり，2 スパン目以降も同様に現場不一致が生じる可能性が高いものと考えられる．このため，今回確立した対応策を改善することにより，今後，生じる可能性のある現場不一致に対して，より効果的・効率的な施工を行っていくことが期待される．

謝辞：岸壁改良工事に伴い，施工を担当した各社のご協力・ご支援により，円滑な事業促進を図ることができました．この場を借りて厚く御礼申し上げます．

みやこ行橋バイパスにおけるDXについて

-みやこ行橋バイパスにおけるBIM/CIM活用の取組-

前田　恒喜[1]・今村　直人[2]

[1]九州地方整備局　北九州国道事務所　計画第二課　（〒802-0803 北九州市小倉南区春ケ丘10-10）

[2]九州地方整備局　北九州国道事務所　計画第二課　（〒802-0803 北九州市小倉南区春ケ丘10-10）

公共事業の推進において従来の2次元データを用いた設計では，複雑な地形や地質，地下水といった「目視できない不可視部分」を立体的に把握することが困難であり，これに起因する手戻りや施工上の懸念が生じることが課題となっている[1) 2)]．また，過去の測量から施工に至るまでの成果が維持管理段階に十分に引き継がれないことで，災害時における迅速な復旧工事の遅れに繋がることがある．本稿では，複雑な地形・地盤条件を有するみやこ行橋バイパスを対象として，上記課題に対する解決策を提示する． BIM/CIMを活用したDX推進により，手戻り防止，工程短縮，設計・施工から維持管理に至る一連の過程による高度・効率化について報告する．

キーワード　みやこ行橋バイパス，BIM/CIM，三次元モデル活用，地質リスクマネジメント

1. はじめに

従来の2次元図面では，複雑な地形・地層や構造物との立体的な位置関係の把握が難しく，施工における手戻りの発生や関係者間の合意形成の難航，維持管理・災害時の対応遅れなどが懸念されてきた．本稿では令和7年度に事業化したみやこ行橋バイパスにおいて，3次元モデル等のBIM/CIMを活用したDX（デジタルトランスフォーメーション）によって，設計・施工から維持管理に至るまでの課題に対する解決策を検討することとした．

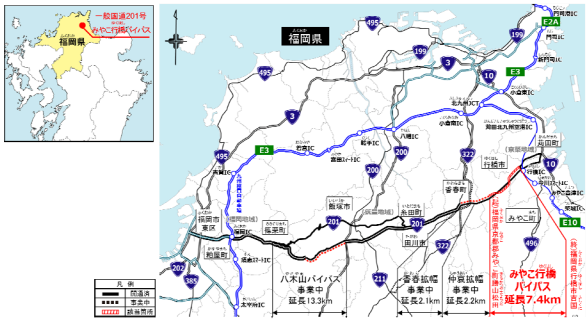


図-1 事業位置図

2．事業概要

(1) 事業概要

国道201号は福岡県福岡市東区から福岡県苅田町に至る延長91kmの主要幹線道路である．このうち，みやこ行橋バイパスは，福岡県京都郡みやこ町勝山松田から福岡県行橋市吉国に至る延長7.4kmのバイパス事業である．（図-1）

対象区間であるみやこ行橋バイパスは，京築地域と福岡・筑豊地域を結ぶ幹線道路であるが，国道201号における事業中区間を除くと，唯一の2車線ボトルネック区間となっており，大型車混入率が約25%と高く，勝山新町交差点などで朝夕を中心に激しい渋滞が発生し，事故も多発している．

なお，本道路を整備することで「重要物流道路」としての機能が強化され，産業活動への支援が図られるほか，救急医療施設への搬送時間の短縮，通過交通の分離による現道の渋滞緩和や交通事故の減少などが期待される．

(2) 事業箇所の周辺状況

対象地域は，隣接する筑豊や京築地域間の交通だけではなく，筑豊地域～京築地域間など広域的な通過交通も受け持っており，その大半が業務・物流目的の交通である．また，対象区間の大型車交通量は約3,600台/12ｈで九州管内直轄国道2車線区間で4番目に多い．（図-2）

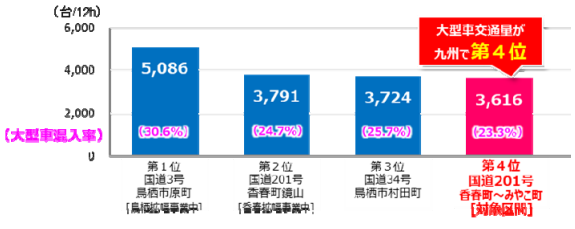


図-2 九州管内直轄国道2車線区間大型車交通量（自専道以外）

特に，国道201号は，沿線に自動車関連企業が多く立地し，北部九州における自動車産業のサプライチェーン（部品調達，製造，販売など）等を支える重要な物流道

路で，北九州空港の滑走路延伸などの空港・港湾機能の拡充や周辺自動車工場の生産体制強化などが予定されるなど，物流道路としての重要性が増大していることから，交通ボトルネックとなっている当該区間の整備推進が急務となっている（図-3）．

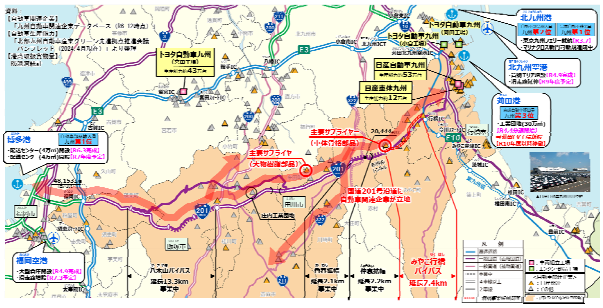


図-3 自動車産業の物流網を担う国道201号

(3) 道路構造

本事業は，バイパス機能の確保による速達性，定時性の向上，交通混雑の解消など信頼性の高い道路ネットワークの構築を目指している．

本道路の道路構造は，幹線道路や多くの生活道路と交差することから，車両の出入りを限定した「立体構造（盛土構造）」を基本計画としている．

さらに，歩道，自転車道は盛土法尻部に設置し自転車道と分離した計画とすることで，（図-４）歩行者及び自転車利用者における沿道利用の利便性や安全性の向上が図られるほか，沿道の無秩序な開発行為を抑制することが出来る．

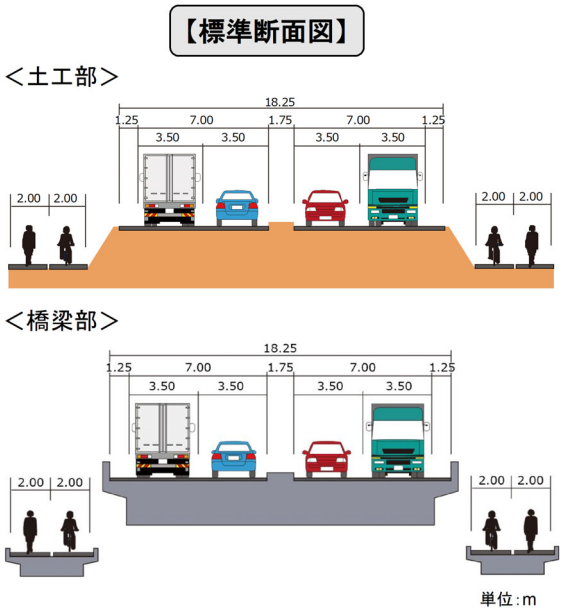


図-4 標準横断図

3．事業を進めるうえでの主な課題

みやこ行橋バイパスは，地形が山地から平坦地へと変化に富み，基盤岩の上にマサ土や軟弱な粘性土が分布するなど地質状況も複雑であり（図-5），軟弱地盤対策が重要となる．このような状況下において，①軟弱層分布の不確実性，②土配計画の不確実性，③施工における現道交通確保の不確実性，④住民合意形成，関係機関協議の不確実性，⑤維持管理時の不確実性への対応等の課題が現時点で考えられる．

みやこ行橋バイパス事業ではこのような課題解決の取り組みとして BIM/CIM や道路構造物をデジタルの中で再現するデジタルツインを活用することで，①軟弱層の存在分布マップ，②事業全体の土配計画シミュレーション，③VR を用いた施工シミュレーション，④VR を活用した地元説明会，⑤施工管理情報を紐付けた維持管理 DB の作成が可能となる．以下に，これまでに実施した取組とこれから実施を検討している取組について記載した．



図-5 みやこ行橋バイパス付近の地質状況概念図

4．課題解決のためのこれまでの取組

(1) UAV測量の活用

従来手法による現地測量を実施する場合，広範囲にわたる調査対象地の地権者を一人ひとり調査・特定し，土地への立ち入り許可を得るための個別交渉が必要となる．この事前の調整作業には，通常であれば多くの時間と労力を要するだけでなく，地権者にとっても負担となり，交渉が難航するケースも想定された．

この課題を解決するための対策として，本事業では調査段階からUAV（無人航空機）を用いた測量を導入した．上空から非接触で地形データを取得するUAV測量の採用により，地権者との個別交渉の負担や，トラブルを回避できた．これにより，事前準備を5日で完了させることができた．さらに，実際の現地測量作業では，立入りが困難な水田，山林・斜面等の複雑な地形において，迅速にデータを取得できるため，従来手法では0.2km^{2}あたり約1ヵ月を要する作業が1日で完了した．結果として全体の測量期間を約1ヵ月短縮することができ，詳細な点群地形データを得ることができた(図-6)．

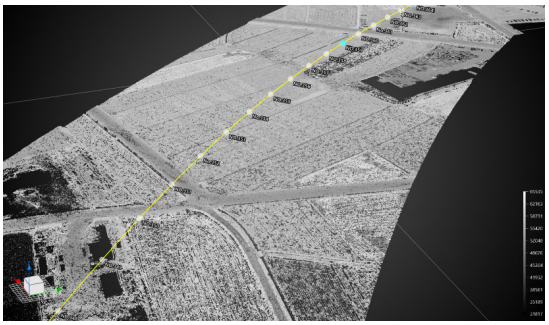
表-1　UAVレーザー測量と従来手法の作業日数

項目	TS地形測量（従来手法）	UAVレーザー測量
事前準備	12日	5日
外業	35日	1日
内業	15日	35日

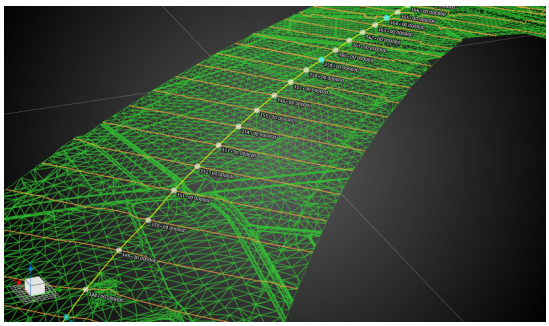
※0.2km2当たりの作業日数



1)オリジナル



2)グランド



3)サーフェスモデル＋線形モデル

図-6 UAV測量で得られた地形面点群データ

(2) 点群データを用いた地形解析と地質リスク

事業推進における地下の不確実性を的確に把握するため，点群データを用いた地形解析と現地調査を実施し，平野部の軟弱地盤(写真-2)や山麓部の基盤となる花崗岩の分布状況（写真-1）・地盤性状の整理を進めている(図-7，8)．点群データを用いた地形解析により，広範囲の微地形を高精度で捉え，軟弱地盤が潜在的に存在する可能性が高い地形特性を把握している．軟弱地盤の層厚は，氾濫平野，旧河道，谷底平野などではその厚さがばらつきが大きく，厚い軟弱層が発見されるケースが多くあるため，現在実施のボーリング調査により，軟弱地盤の分布域や層厚に加えて，各種地盤物性を調査していく計画である．



写真-1　風化花崗岩の分布が想定される新仲哀TN付近

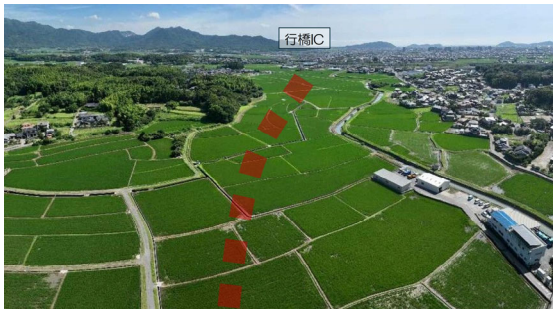


写真-2　軟弱地盤の分布が想定される行橋IC付近

これらの地形解析やボーリング調査から得られる最新のデータは，3次元地質モデルの構築・更新に直結するものである．実際の調査データに基づいて3Dモデルをブラッシュアップしていくことで，調査・設計・施工・維持管理の各段階で適切にリスクマネジメントを行う．

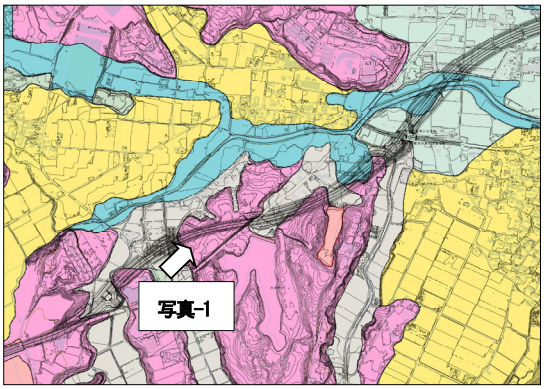


図-7　地形解析から推定される地質(山地部)

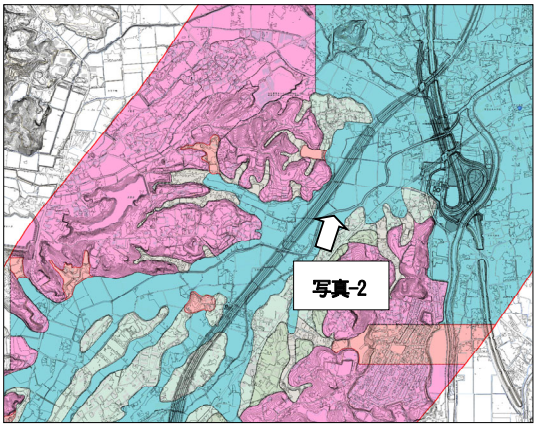


図-8　地形解析から推定される地質(平坦地部)

５．課題解決のためのこれからの取組

(1) 地質リスクの評価

地質リスク評価では，工事で発生する可能性のある地質リスク毎について「発生可能性（確率）」と「影響度（被害の大きさ）」で整理した地質リスクマトリクス（図-9）を作成する．また，抽出された地質リスク要因・リスクスコア・地質リスクランク・分析結果・対応方針の検討結果・後続調査計画を整理した地質リスク管理表（図-10）を作成し，みやこ行橋バイパス事業の安全性と事業進捗の効率性をさらに高めていく方針である．

			可能性の高さ（発生確率） L				
			非常に低い 評点:1	低い 評点:2	中程度 評点:3	高い 評点:4	非常に高い 評点:5
影響度 E	非常に高い 評点:5	事業の継続不能となる影響	B (R=5)	A (R=10)	A (R=15)	AA (R=20)	AA (R=25)
	高 い 評点:4	事業が中断または大幅な遅延となる影響	C (R=4)	B (R=8)	A (R=12)	A (R=16)	AA (R=20)
	中程度 評点:3	大きな損失を受けるが事業は継続可能で遅延がある	C (R=1)	B (R=6)	B (R=9)	A (R=12)	A (R=15)
	低 い 評点:2	軽微な修復で事業継続可能となる影響	C (R=1)	C (R=4)	B (R=6)	B (R=8)	A (R=10)
	非常に低い 評点:1	事業の継続に影響を与えない	C (R=1)	C (R=2)	C (R=3)	C (R=4)	B (R=5)

表中(R=)は、リスクスコア(R=E×L)
－地質リスクランク(AA～C)の定義とリスクスコアR－
AA:回避:リスクを回避することが望ましいリスク事象(R=20以上)
A :回避・低減:回避または詳細な地質調査を実施して、完全なリスク低減対策を講じるべきリスク事象(R=10～19)
B :低減:地質調査を行い、調査結果に応じた適切なリスク低減対策を講じるべきリスク事象(R=5～9)
C :保有:リスク回避や低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを保有することが可能な事象(R=5未満)

4）一社 全国地質調査業協会連合会，R3.7，地質リスク調査検討業の手引き

図-9 地質リスク評価 地質リスクランク（例）

番号	リスク内容	リスク詳述	状況	リスク分析手法	影響度 E		発生確率 L		リスクスコア (E×L)	地質リスクランク	リスク分析結果	対応計画概要	優先度
					重大性	評価点	可能性	評価点					
①	緩斜面の成因が不明確	地すべりか崖錐堆積物かにより不安定化する範囲が異なり、対策工の規模が問題となる。	C	写真判読、地表踏査の実施。	高い	4	中程度	3	12	A	判断ミスは、その後の対策方針や費用に大きく影響する。	写真判読、地表踏査等の結果踏まえ、ボーリング調査などの追加調査を実施。	1
②	地下水の変動が不明確	地下水位の変動が不明なため斜面の安全率が低下する可能性がある。	C	地表踏査、既存報告書を吟味し追加調査を実施。	低い	2	低い	2	4	C	①のリスク分析結果にもよるが、追加調査により判定。	詳細調査時に地下水位測定、地下水検層等を実施。	2
③													

【凡例】
＜状況＞
L：リスクが発生し、その程度が特定された状態
C：リスクが発生しているが、どの程度なのか特定されていない状況
P：リスクが取り除かれた状態
G：リスクではない状態 T：危機
O：好機
＜地質リスクランク区分＞ リスクスコア（リスク程度 R＝E×L）
AA：リスクを回避することが望ましいリスク事象（R＝20～25）
A：詳細な地質調査を実施して、完全なリスク低減対策を講じるべきリスク事象（R＝10～19）
B：地質調査を行い、調査結果に応じた適切なリスク低減対策を講じるべきリスク事象（R＝5～9）
C：リスク回避や低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを留保することが可能な事象（R＝1～4）

4）一社 全国地質調査業協会連合会，R3.7，地質リスク調査検討業の手引き

図-10 地質リスク管理表（例）

(2) 地質リスクの可視化

今後新たに実施するボーリング調査などの最新データを反映させ，3次元モデルを構築・更新していく（図-11）．設計照査の段階において，複雑な地層や不可視部分をBIM/CIMで立体的に表現することで，軟弱地盤による沈下や法面崩壊，支持層の不均質といった懸念事項を着工前に精緻に把握し，設計や施工計画の最適化を図る．

また，点群データから縦横断を早期作成し，概略土量，切盛バランス，仮置き場，搬出入経路を検討する．

①軟弱地盤による「盛土の沈下・側方流動」への対応
平野部などに分布する軟弱地盤の「厚み」や「広がり」を立体的に可視化する．これにより，どの区間にどの程度の地盤改良が必要かを着工前に推定できる．

②風化花崗岩「法面崩壊・土砂流出」への対応
山麓部に分布する脆い「マサ土」と「硬岩」との境界（風化基盤面）を3Dで表現する．これを基に，安全な切土の勾配設計や，適切な排水計画の検討に活用する．

③橋梁部の支持層の不均質による杭長不足への対応
地下の支持層の深さのばらつきや，球状岩塊の分布を橋脚ごとに可視化する．これにより，手戻りとなる杭長不足を防ぎ，適切な杭の長さや基礎工法を事前に選定できる．

④施工に伴う周辺の井戸枯れ・地盤沈下への対応
3Dモデル内で地下水の流れる層（透水層）を表現し，橋梁下部工等を施工したときに減渇水や水質汚濁が起きる可能性を検討する．水質汚濁等が発生する場合は，水文調査計画や対策方針を検討する．

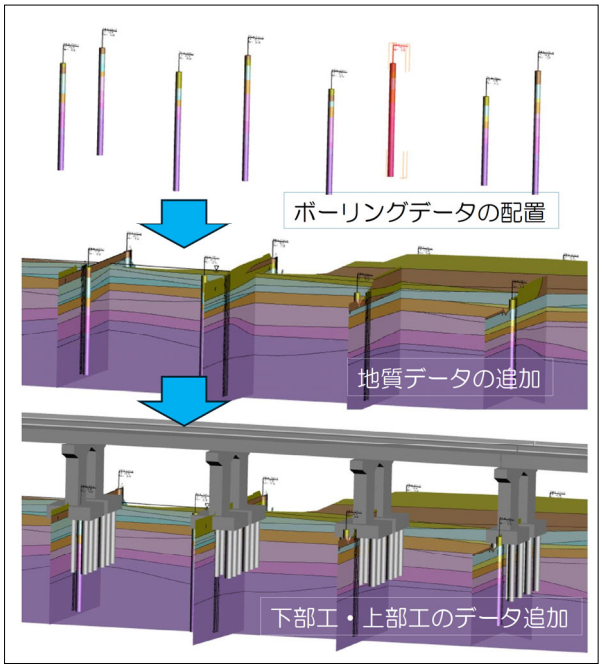


図-11 地質モデルの更新例

(3) 合意形成の迅速化（関係機関協議・地元説明）

UAV測量によって取得された高精度な3次元データの存在は，その後の地権者との合意形成プロセスにおいても極めて大きなメリットをもたらすと期待している． 取得した点群データをもとに構築される3次元モデルを活用することで，従来の2次元図面では一般の方には把握しづらかったバイパスの完成イメージ（イメージパース・VR）や，具体的な用地取得の範囲を立体的に可視化

することが可能となる．これにより，予備設計段階においても地元住民や地権者に対して直感的で分かりやすい説明を行うことができ，事業に対する理解の促進と，用地取得等に向けた迅速かつ円滑な合意形成に大きく貢献すると考えている．

⑷設計段階での干渉チェック

設計段階からBIM/CIMを活用することにより，複雑な構造物配置，鉄筋，コンクリート等や隣接する既存インフラとの干渉をモデル上で可視化し，施工時の手戻りを未然に防ぎ，現場作業の省力化と生産性向上を推進する．

⑸施工管理・維持管理

施工段階では地上型レーザースキャナーを用いた点群データによる出来形の面的管理を導入し，施工管理の効率化を目指す．さらに，完成後は構造物（杭，アンカー，地盤改良等）をBIM/CIMモデルに紐付けて一元管理（「点検周期」「補修履歴」「耐用年数」）することで，巡回点検計画や維持管理業務の高度化を達成する．災害発生時には，迅速な情報収集・原因究明，早期復旧の為にBIM/CIMを活用していく．

６．今後の課題とその解決の為の方針

①BIM/CIM活用におけるフォーマット形式

データ形式が経年的に更新されていく段階で統一されず，ソフト間で変換ミスが発生することが考えられる．そのため，調査・設計・工事発注時にフォーマットを統一するなど，対策を検討する．

②3次元データ・技術に対応できる人材の育成

3次元データや最新のBIM/CIM技術に臨機応変に対応できる人材の育成が求められている[3)]．そのため，BIM/CIM技術に精通している技術者を業務に配置し，その技術者を通して技術の普及を進めるなど，今後，人材育成方法を検討していく．

③継続して活用される仕組み（運用体制）の構築:

BIM/CIMや3次元データ技術を継続的かつ発展的に活用していくためには，統一された運用ルールおよび体制の確立が必要である．データの作成・保管・共有・更新に関するガイドラインを作成する等の方法や仕組み作りの検討を進めていく予定である．

また，国土技術政策総合研究所のDXデータセンターを活用する等，3次元データの保管，大容量データの受発注者間でのやり取り，情報共有方法等を検討していく．

７．まとめ

本稿では，みやこ行橋バイパス事業の推進に向けたBIM/CIMおよび3次元モデルの活用を提示した．BIM/CIMの設計前からの活用により「手戻り・工期遅延の防止」「関係者との円滑な合意形成」が可能となり，さらに，施工が完了するとコンクリートや土に埋没し，目視による確認や点検が不可能となる部位や構造部データの一元管理により，「将来の維持管理・災害対応の高度化」といった建設DXの目的の達成が期待される． 本事業は本格的な調査や地質リスク評価がスタートしたばかりの段階である．今後は，得られたデータをBIM/CIMモデルに継続的に反映していくとともに，運用・更新体制を構築し，安全で持続可能なインフラ整備をBIM/CIMを活用しながら実現していく．

８．参考文献の引用とリスト

1)国土交通省：BIM/CIM取扱要領,令和８年３月
2)国土交通省：BIM/CIMガイドライン（案）,令和４年３月
3) 国土地盤センター：三次元地質・土質モデルガイドブック，令和４年２月
4) 一般社団法人　全国地質調査業協会連合会: 地質リスク調査検討業の手引き，令和3年7月

新技術活用促進に向けて
～九州独自の取り組み～

澄田　純弥[1]・藤原　吉洋[1]
野原　正象[1]・青木　繁[1]

[1]九州地方整備局　九州技術事務所　技術活用・人材育成課　（〒830-8570 福岡県久留米市高野1－3－1）

国土交通省では新技術情報提供システム（NETIS）を運用し，公共工事における新技術の普及を推進している．本稿では，九州地方整備局が独自に展開する1.新技術活用啓発，2.工事発注支援，3.NETIS相談窓口・広報活動の3施策を紹介している．

キーワード　NETIS，新技術活用，公共工事，九州地方整備局，新技術活用スキーム

1. はじめに

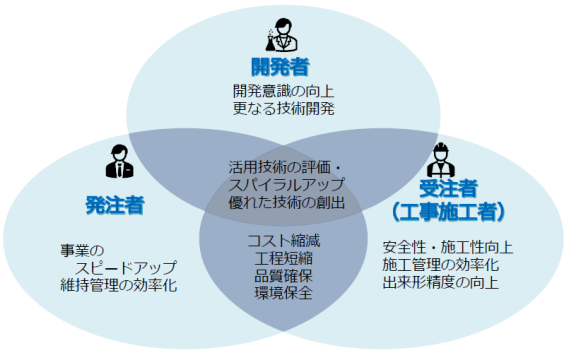
(1) 新技術情報提供システム

日本の建設・土木分野は，少子高齢化等による労働力不足，インフラの老朽化，自然災害への対応，環境負荷の低減など，多岐にわたる課題に直面している．これらの課題を克服し，公共工事の質と効率を高めるためには，革新的な技術の積極的な導入が不可欠である．

国土交通省では，新技術情報提供システム（NETIS：New Technology Information System　以下，NETIS）を運用し，公共工事等における新技術（「公共工事等における新技術」とは，公共工事等の課題である，コスト・工程の縮減や品質・安全性の確保，環境の保全等の課題を解決するための優れた技術のことをいう．）の普及・活用を推進してきた．

NETISは，公共工事等で活用可能な新技術を体系的に収集・整理し，広く一般に提供するデータベースであり，工期短縮，コスト縮減，品質・安全の確保，環境保全といった公共工事の諸課題に対応する技術が多数登録されている．

さらに，2023年度からは国土交通省が発注する公共工事における新技術の活用が義務付けられ，制度的な後押しも強化されている．しかしながら，新技術の活用を単なる義務履行にとどめず，建設技術力の継続的な向上につなげるためには，開発から活用・評価・フィードバック・改良というサイクルを持続的に機能させることが重要である．（図－1参照）



図－１新技術活用における期待される効果

(2) 新技術活用スキームの構造

新技術活用スキームとは，新技術の開発から活用・評価・フィードバック・改良に至る一連のサイクルを指す．その流れは以下のとおりである．

第一に，新技術の開発者が公共工事における課題やニーズを把握し，新技術を開発する．

第二に，公共工事等において新技術の活用が決定・実施され，施工者は活用計画書・実施報告書・活用効果調査表を提出する．活用効果調査表には，現場における施工性・品質・安全性・コスト等に関する評価情報を記載する．

第三に，提出された活用効果調査表が各技術につき5件以上蓄積された段階で新技術評価会議（産学官など，各分野の有識者からなる会議）に付議される．同会議では，現場からの評価情報をもとに当該技術の総合的な評価が行われ，その結果がNETIS上に反映される．

評価結果は技術開発者へフィードバックされる．開発者はこの情報をもとに当該技術の改良や新たな技術の開

発を行い，再び公共工事での活用・評価のサイクルへと投入される．（図 - 2参照）

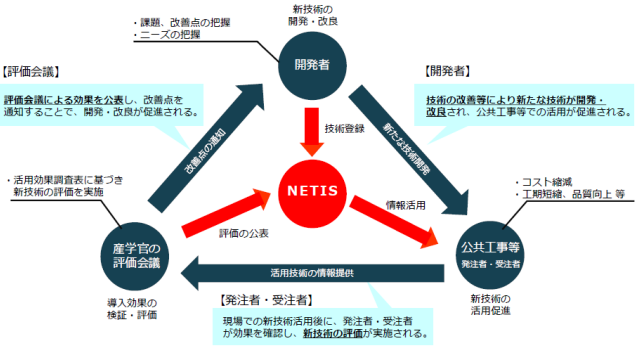


図 - 2新技術活用スキームの構造

このサイクルが継続的に機能することで，公共工事における課題解決が段階的に深化し，建設技術力の向上に資することが期待される．スキームの実効性を担保するためには，現場での新技術活用件数を増やし，評価データを継続的に蓄積することが重要となる．

2. 九州地方整備局における独自の活用促進策

九州地方整備局（以下，九州地整）は，新技術活用スキームを持続的に機能させるため，「新技術活用啓発，工事発注支援，NETIS相談窓口・広報活動」といった，大きく3つの柱からなる独自の活用促進策を展開している．以下，各取り組みの内容を紹介する．

(1) 新技術活用啓発

a) 新技術・新工法説明会

九州地整では，管内の九州7県で，地域のコンサルタント（設計者），施工者等を対象として，毎年10月から12月にかけて「新技術・新工法説明会」を開催している．この説明会は，新技術活用スキームの仕組みや意義について，広く周知することを目的としている．

説明会を年1回の定期開催とすることで，新技術活用に関する最新情報を継続的に提供するとともに，参加者の理解促進と意識向上を図っている．



写真 - 1新技術・新工法説明会の様子

b) 新技術説明会

「新技術説明会」は，九州地整の事務所職員および設計者，施工者を対象とした，より実務的な内容の説明会である．新技術の検討や活用に際して必要な手続き・書類作成など，業務上の具体的な事項について説明を行うことで，現場レベルでの円滑な運用を支援している．

発注事務所職員を含む設計者に対しては，設計段階における新技術を含めた適切な工法比較検討や選定についての理解を深めることを目的とし，施工者に対しては，活用計画書・実施報告書・活用効果調査表の正しい作成方法の習得を目的としている．

(2) 工事発注支援

工事の設計段階において，適切な工法を選定するためには，複数の工法を比較検討するプロセスが不可欠である．また，工法比較検討には従来技術に加えて，NETIS掲載技術，NETIS掲載終了技術を含めた工法比較検討を実施することとなっている．しかし，新技術を含めた工法比較検討をする作業は，専門的知識と相当の時間・労力を要する．（図 - 3参照）

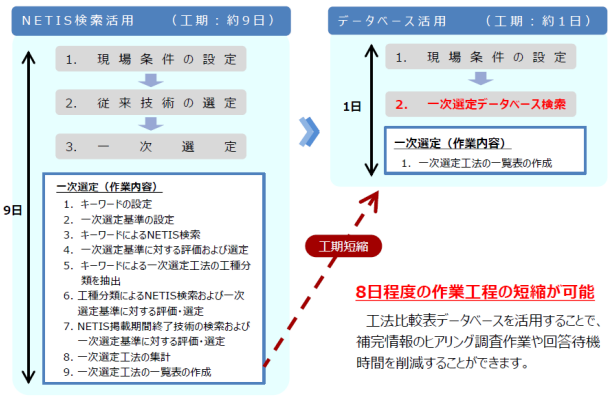


図 - 3工法比較表データベース活用による負担軽減イメージ

この課題に対応するため，九州地整では独自に開発・運用する「工法比較表データベース」・「NETIS掲載期間終了技術検索システム」の貸出しを実施している．

また，新技術活用工事に際して，事務所積算担当者の負担軽減のため，新技術開発者へのヒアリング・見積により歩掛を作成する，「新技術歩掛支援」を行っている．

a）工法比較表データベース

新技術の活用には，必要となる新技術を設計段階で検討し，発注者が指定して活用する「発注者指定型」と受注者自らが，現場環境に適した新技術を選定して活用する「施工者選定型」がある．NETISシステムだけでは「発注者指定型」での比較検討をする上で現場条件に合った技術の抽出や同一条件下での比較が困難なため，技術の比較検討に多くの労力が伴っている．

そこで，統一された従来技術での比較や，九州の現場条件に合った技術の抽出ができる「工法比較表データベース」を整備・提供している．

データベースの作成に当たっては，掲載対象技術の開発者へのヒアリングを行ったうえで，産学官など，各分野の有識者から構成される会議（4工種ごとにワーキンググループを設置）において，技術的な確認を行っている．



写真 - ２擁壁・法面工ワーキングの様子

このデータベースは，事務所からのニーズが特に高いとされた図 - 4に示す4工種・16工法を選定・掲載したものである．

データベースの内容は定期的に更新しており，現在データベースには，合計342技術を掲載している．

データベースの内容を定期的に更新することで，最新の技術動向を反映した検討比較が可能となっている．

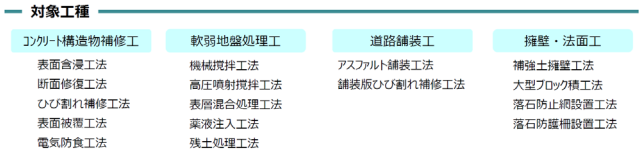


図 - 4工法比較表データベース掲載工種

b）NETIS掲載期間終了技術検索システム

NETISへの掲載期間は登録した翌年度から起算して10年となっている．（「推奨技術・準推奨技術」に選定された場合は15年になる．）

掲載期限が終了し，NETISより削除された技術はNETISで検索することができない．そこで「有用な技術」または「活用効果調査表が20件以上蓄積していた」技術を対象にNETIS掲載期間終了技術検索システムを開発・運営している．

工種はNETISの分類に準拠しており，レベル1からレベル4までの階層で絞り込み検索やキーワード検索も可能で，目的の工種を効率的に見つけることができるツールとなっている．検索をするとNETIS掲載時の詳細な情報が閲覧できる．（図 - 5参照）

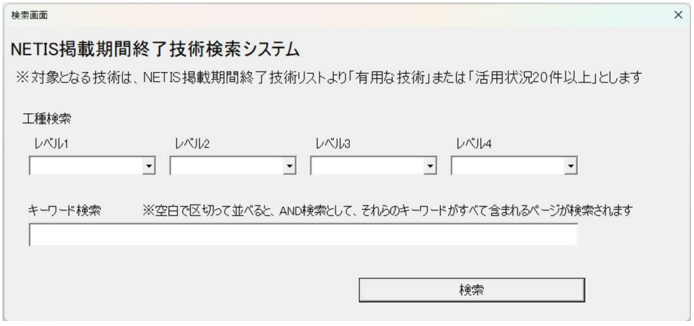


図 - 5NETIS掲載期間終了技術検索システム検索イメージ

c）新技術歩掛支援

工事において発注者指定型で新技術を活用する場合，積算には当該技術に対応した歩掛（施工に要する労務・機械等の工数）の算出が必要となる．

そこで九州地整では「新技術歩掛支援」として，発注者指定型工事で活用される新技術の施工歩掛作成を行っており，過去5年間の歩掛支援実績は平均約96件ある．

これにより，事務所の積算業務における負担が大幅に軽減されるとともに，適正な工事費の算定が可能となる．

(3) NETIS相談窓口・広報活動

a）NETIS相談窓口

九州地整では，NETISに関する多様な相談に対応する窓口を設置している．相談対象は3つに分類される．

第一に，NETISへの新規登録を希望する技術開発者に対する助言・支援である．登録手続きの複雑さや必要書類の準備に不安を抱える開発者に対して，適切な助言を行うことで，新技術の登録促進を図っている．

第二に，登録済み技術の掲載情報更新作業への対応である．技術の改良や実績の蓄積に伴い，NETIS上の情報を適時更新することは，利用者への正確な情報提供のために重要である．

第三に，発注者・施工者からの活用効果調査表の作成に関する問い合わせへの対応である．調査表の記載方法や提出手続きについての疑問を解消することで，正しい評価データの収集を促進している．

b）広報活動

新技術活用の裾野を広げるためには，NETISの存在と意義を広く周知することが不可欠である．九州地整では，以下の多様な広報手段を組み合わせた情報発信を行っている．

第一に，NETISの概要を分かりやすくまとめたパンフレットを作成・配布し，初めて接する関係者への基礎的な情報提供を行っている．（図－6参照）



図－6九州技術事務所作成 NETIS概要パンフレット

第二に，ホームページおよびSNSを活用した継続的な情報発信により，最新の技術情報を広く共有している．

第三に，「九州建設技術フォーラム」においてNETIS相談ブースを設置し，来場者が直接担当者に相談できる機会を提供している．

さらに，地整内部に向けてはメールマガジン，HOT NEWS（職員のための情報交換誌）を定期的に発信し，職員の新技術活用に対する意識の維持・向上を図っている．

3. 取り組みの意義

九州地整が展開する一連の活用促進策は，新技術活用スキームの各段階における障壁を取り除くことを目的としており，その意義は多岐にわたる．

第一に，新技術活用啓発（説明会の開催）は，発注者・設計者・施工者の知識・理解の底上げを図るものであり，新技術活用の「入口」を広げる効果がある．

第二に，工事発注支援（工法比較・歩掛作成）は，事務所の業務負担を軽減し，新技術活用の「ハードル」を下げる実務的な支援である．

第三に，NETIS相談窓口・広報活動は，スキーム全体の認知度向上と参加者の拡大に寄与するものである．

これらの取り組みが有機的に連携することで，新技術新規登録件数の増加→新技術活用件数の増加→評価データの蓄積→技術評価・フィードバック→技術改良・新技術開発という好循環が期待される．

4. おわりに

本稿では，NETISの概要と新技術活用スキームの構造を整理したうえで，九州地整が独自に実施している新技術活用促進策について紹介した．新技術活用啓発・工事発注支援・NETIS相談窓口および広報活動という3つの柱からなる取り組みは，スキームの各段階における課題に対応した総合的な施策である．関係者一人ひとりがこの認識を持ち，積極的に取り組むことが，公共工事における新技術普及の推進に貢献するものと考えられ，日本の建設技術力の持続的な向上と公共工事の課題解決につながるものと確信する．

一方で新技術活用促進には解決すべき課題もある．活用効果調査表の作成・提出は一定の事務負担を伴うものであり，システム上でも作成者にわかりづらい点も存在している．

NETISシステムの改善は九州地整のみで解決できるものではないため，毎年開催されている新技術全国会議等での積極的な提案を行っていきたい．

また工法比較表データベースはニーズに応じて対象工種・工法の拡充や工法比較表データベースへのAIの導入も検討していきたい．

さらに，上述したものに加え窓口対応，広報活動など新技術活用促進に向け内部用マニュアルの作成や分かりやすい資料の作成など新技術活用促進のための様々な活動を行っていくことで，より一層日本の建設技術向上につながることを期待したい．

大島地区オフランプ上部工のプレキャスト化による省人化について

浜田　拓弥[1]・川上　祐輔[2]・中内　利和[3]

[1]九州地方整備局　有明海沿岸国道事務所　工務課　（〒832-0824 福岡県柳川市三橋町藤吉495）

[2]九州地方整備局　有明海沿岸国道事務所　工務課　（〒832-0824 福岡県柳川市三橋町藤吉495）

[3]九州地方整備局　有明海沿岸国道事務所　工務課　（〒832-0824 福岡県柳川市三橋町藤吉495）

国土交通省の取り組みとして，コンクリート構造物の設計段階において，プレキャスト製品と現場打ちコンクリートの工法比較検討にValue For Money(VFM)の概念を適用しており，九州地方整備局でもL型擁壁やボックスカルバートで検討フローが設定され，さらなる生産性向上を目的に努めている．発注者として，設計段階で，コストに加えプレキャスト製品のメリットを適切に評価する必要があり，プレキャスト化が及ぼす効果への知見を深めて行くことが重要となる．

本稿では，有明海沿岸道路においてプレキャスト化を行った，熊本208号大島高架橋オフランプ上部工工事の工事概要と実際の効果について報告する．

キーワード　有明海沿岸道路，プレキャストセグメント桁，プレストレストコンクリート
VFM，　省人化

1. はじめに

国土交通省では，平成28年より，i-Constructionのトップランナー施策の一環としてプレキャスト製品を活用することにより，建設現場での「省人化」や「工期短縮」,「安全性向上」,「働き方改革への寄与」などが期待されることから，プレキャスト工法の活用促進を進めている．

九州地方整備局内でも，令和3年3月29日付事務連絡「コンクリート構造物の設計・施工段階における生産性向上の取組について」に始まり，令和7年3月25日付事務連絡「コンクリート構造物の設計・施工段階におけるさらなる生産性向上の取組について」へ改訂され，試行されている．

その中で，分割が必要な大型のコンクリート構造物の工法比較の実施要領「VFMによるコンクリート構造物の工法比較に関する実施要領(令和8年3月)」の改訂にて，令和8年4月1日時点で業務が完了している場合であっても，工事での活用を図る旨の記載が追加された．

VFMの考え方に基づき，工法比較を実施するうえでプレキャスト化の及ぼす影響を発注者として知見を深めていくことが重要である．

本稿では，有明海沿岸道路で実際に工法変更を行った，「大島高架橋オフランプ上部工工事」の工事概要と，プレキャスト化を実施したことによる効果や課題について報告する．

2. 現在の取組み

国土交通省では，計画,設計段階の比較検討として，コストに加えプレキャスト製品のメリットを適切に評価するための評価項目が設定されており，コスト評価に加えて，数値化が可能である項目を定量的評価，数値化できない項目を定性的評価として評価すること（図-1）としており，支払い額に対して価値を最大化するように受注者を選定しようとする「Value for Money」（以下，VFMという）の概念の導入が検討されている．VFMは，安全性などの，貨幣換算が難しい要素も比較検討へ組込み，最大価値となる工法を選定する手法である．

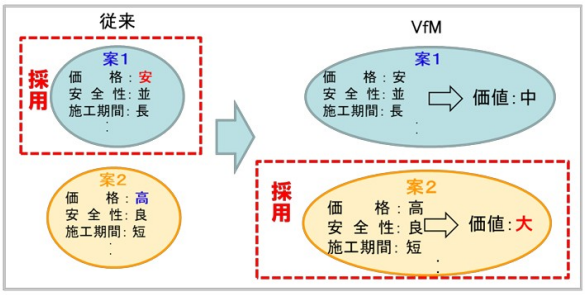


図-1　VFMの概念を適用した評価方法例(国土交通省資料)

また，九州地方整備局内で適用される実施要領について，小型のコンクリート構造物および中型以上のコンクリート構造物で分割せず特殊車両により運搬可能な規格のコンクリート構造物については，原則，プレキャスト製品を採用する，分割が必要な大型のコンクリート構造物の選定については，別添フロー（図-2）を用いて選定し，必要に応じて「VFMによるコンクリート構造物の工法比較に関する実施要領（令和8年3月）」により工法比較検討を行うこととしている．

フロー（図-2）を確認すると，ボックスカルバート，L型擁壁における選定フローが記載されているが，これによらない製品については，当初よりVFMによるコンクリート構造物の工法比較に関する実施要領（令和8年3月）」で工法比較検討を行う必要がある．

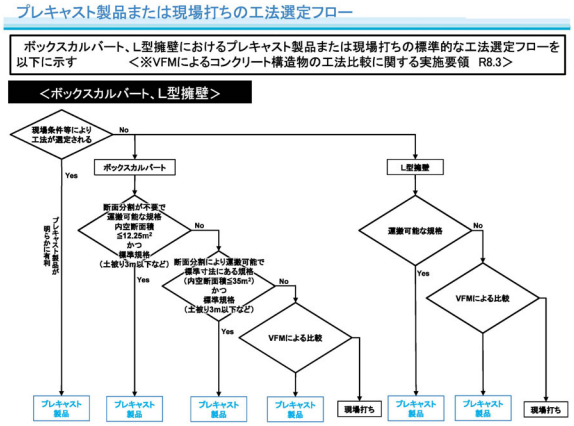


図-2　工法選定フロー（ボックスカルバート，L型擁壁）

3. 工事概要

「熊本２０８号大島高架橋オフランプ上部工工事」は令和6年度に発注された，有明海沿岸道路　三池港IC連絡路（延長2.7km）の一部を構成する，橋長104mの高架橋架設新設工事である。本橋梁は平成30年度に設計された橋梁であり，現在のようなVFMに基づく比較検討がされていなかったが，工事の中で，現場打ち工法からプレキャスト工法への変更を行ったため，その中で判明した，設計上の課題やプレキャスト化による効果について次項で報告する．

本工事の工事概要を表-1に示す．また，本橋の平面図を図-3，標準断面図を図-4，側面図を図-5に示す．

表-1　工事概要

工　事　名	熊本208号大島高架橋オフランプ上部工工事
発　注　者	国土交通省 九州地方整備局 有明海沿岸国道事務所
工事場所	熊本県荒尾市大島地先
構造形式	PC3径間連結ポストテンション方式T桁橋（プレキャストセグメント方式）
橋　　長	104.104m（OFFランプ中心上）
桁　　長	34.650m＋34.300m＋34.153m
桁　　高	2.000m
有効幅員	4.950～5.377m
工　　期	（自）令和6年10月1日 （至）令和8年1月31日

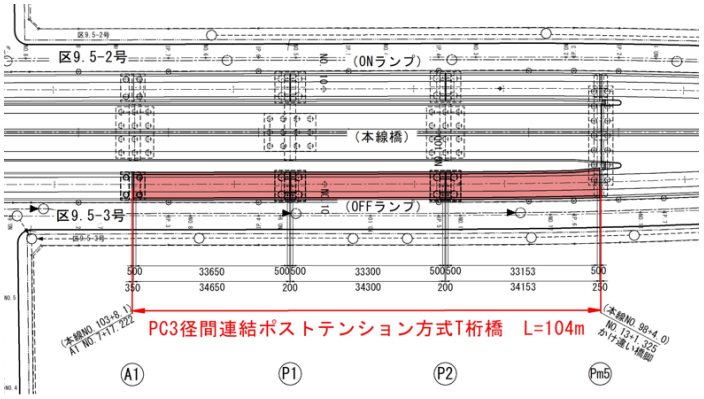


図-3　平面図

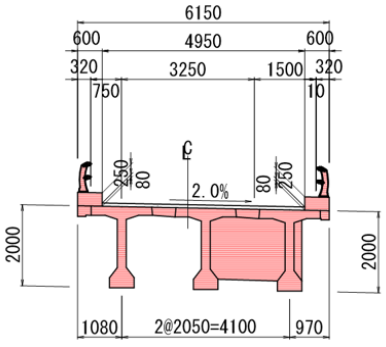


図-4　標準断面図

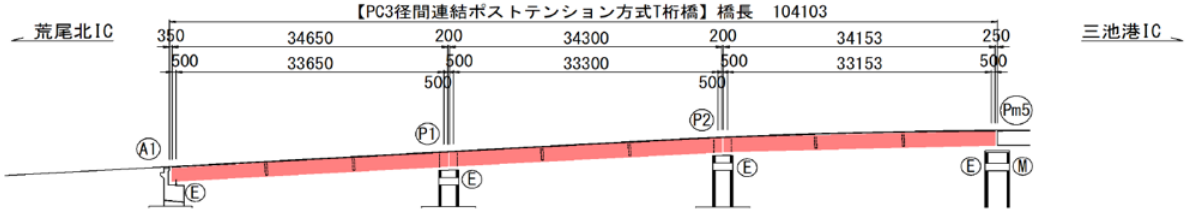


図-5　側面図

4. 主桁のセグメント化

(1) セグメント桁について

プレキャストセグメント工法は，桁をいくつかのブロックに分割し，工場で製作したプレキャスト桁（セグメント桁）を現場まで搬入した後，架設場所で一体化させて施工を行う工法である．

(2) 設計変更の目的と照査内容

本工事は，当初設計では，コスト比較結果より，場所打ちコンクリート方式による主桁製作が計画されていたが，工事契約後に施工効率の向上および環境負荷の低減を図るため，生産性向上チャレンジの一環として，プレキャストセグメント工法への変更を実施した．この変更に伴い，詳細設計の設計計算において，上部構造計算に問題がないか照査を行い，セグメント桁としての安全性を確認した．(図-6)

また，下部工の施工がすでに完成していたため，上部構造計算から得られた反力を用いて動的解析を実施し，支承の移動量や水平力，下部工耐力に問題がないことを確認した．

(3) 断面形状の変更と応力度の比較

主桁セグメント化において技術的課題となったのが，セグメント継目部における合成応力度の確保である．当初設計の断面形状のままセグメント化の比較を行った結果，継目部における下縁部の合成応力度が制限値（0.00N/㎟以上）を満たさないことが判明した（図-7）．そこで下縁部をバルブ形状に変更する検討を行った．この形状変更によって断面性能が向上した結果，通常セグメント化で懸念される桁高の増加を招くことなく，当初設計の桁高を維持したまま所要の性能を満足することができた（図-8）．

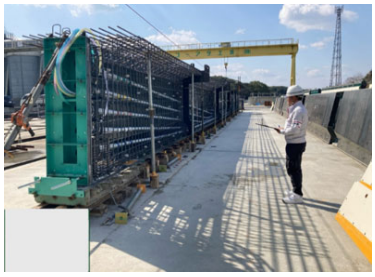
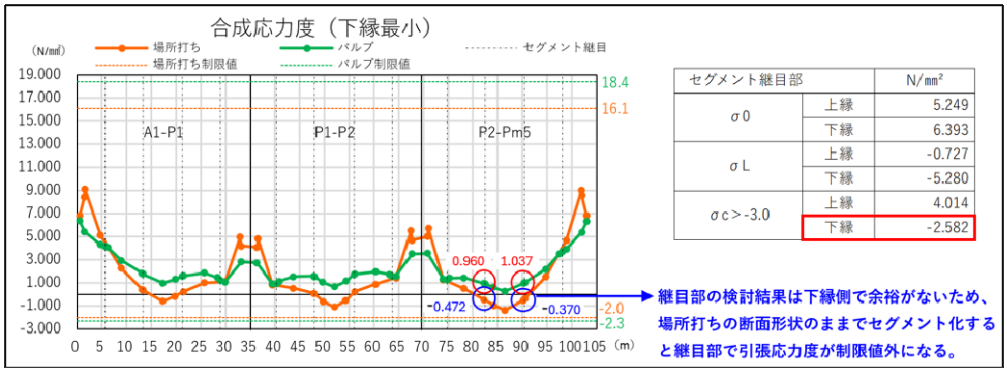
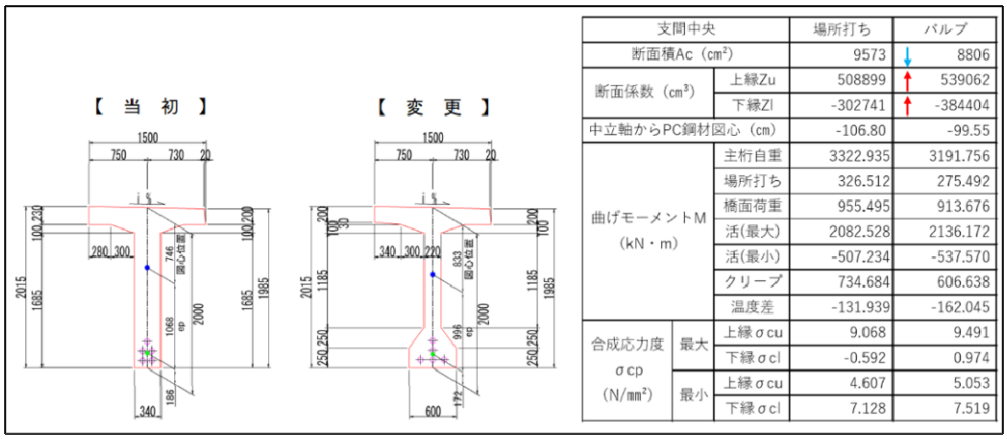


図-6　工場製作状況



セグメント継目部		N/mm²
σ0	上縁	5.249
	下縁	6.393
σL	上縁	-0.727
	下縁	-5.280
σc>-3.0	上縁	4.014
	下縁	-2.582

図-7　合成応力度比較



支間中央		場所打ち		バルブ
断面積Ac（cm²）		9573	↓	8806
断面係数（cm³）	上縁Zu	508899	↑	539062
	下縁Zl	-302741	↑	-384404
中立軸からPC鋼材図心（cm）		-106.80		-99.55
曲げモーメントM（kN・m）	主桁自重	3322.935		3191.756
	場所打ち	326.512		275.492
	橋面荷重	955.495		913.676
	活(最大)	2082.528		2136.172
	活(最小)	-507.234		-537.570
	クリープ	734.684		606.638
	温度差	-131.939		-162.045
合成応力度 σcp（N/mm²） 最大	上縁σcu	9.068		9.491
	下縁σcl	-0.592		0.974
最小	上縁σcu	4.607		5.053
	下縁σcl	7.128		7.519

図-8　バルブ形状変更による断面性能の向上

5. セグメント化による効果

主桁をセグメント化し、設備と環境が整ったJIS認定工場で製作を行うことで，以下のような改善効果が得られた.

(1) 工程および省人化

現場での主桁製作ヤード（125m×13m）が不要となり，仮置きに伴う横取りや引き出し作業が削減された．結果として，製作から架設までの工程を当初計画から約1.5ヶ月程度短縮した.

また，製作現場における作業人員も当初の810人工から90人工へと大幅な省人化を達成した.（表-2）

設計段階の検討では，プレキャスト化による作業短縮，作業人員への効果を反映させることは困難であるが，本工事で，実際施工の工期短縮, 省人化効果を確認することができた.

(2) 品質向上について

工場で一括管理を行うことにより，気温などの条件に左右されないため，工期, 品質において，現場打ち工法よりも有利であったと推測される.

また，従来の生コン車回送で及ぼしていた周辺交通への影響もセグメント化したことで，現場への車両回送回数が減少し，交通影響を低減した.

6. おわりに

本工事完了時の状況を図-9，図-10に示す.

本稿では，「大島高架橋オフランプ上部工」における，プレキャスト化を実施したことによる効果を報告した.

設計段階の比較検討では，工事費や維持管理費の経済性が重要視されており，工事費が割高となってしまうことで，プレキャスト工法が採用されないケースが多い．本工事も平成30年度の業務で設計されており，コスト比較重視で工法決定されていた.

今回，PCT桁橋において，現場打ち工法からプレキャスト工法に見直す場合に，合成応力度や下部工耐力などの課題はあるが，経済性の他に，工期短縮，省人化，品質向上などの利点がみられプレキャスト化の有用性を具体的に示すことができた.

本稿が，今後のPC橋における現場打ち工法とプレキャストセグメント工法の工法比較検討における一助となれば幸いである.

参考文献

1) 国土交通省ホームページ（大臣官房技術調査課） https://www.mlit.go.jp/tec/content/001469513.pdf. 2022.3.
2) VFM によるコンクリート構造物の工法比較に関する試行要領(案), https://www.mlit.gp.jp/tec/content/001994366.pdf 2025.8.
3) 多田神・髙森博之・松田信彦・小田稔　一般財団法人国土技術研究センター：コンクリート工の生産性向上および地方への普及促進に向けた課題と展望. 2021.3

表-2　プレキャスト化による効果

工程短縮

現場製作	主桁製作ヤード整備	主桁製作	主桁引き出し･架設	合計
	30日	126日 (14×9)	14日	170日
セグメント桁	主桁政製作（工場）	主桁組立ヤード整備	主桁組立･架設	合計
	100日	(14日)	25日	125日

現場製作：170日 → セグメント桁：125日
【45日（1.5ヶ月）短縮】

省人化

現場製作	主桁製作･仮置き･引き出し	合計
	90人工×9主桁	810人工
セグメント桁	主桁組立	合計
	10人工×9主桁	90人工

現場製作：810人工 → セグメント桁：90人工
【720人工削減】



図-9　完成状況



図-10　完成状況

中九州横断道路事業における BIM/CIM技術を活用した効果と展望について

廣瀬　郁希[1]・重草　通[1]

[1]九州地方整備局　熊本河川国道事務所　工務第三課（〒861-8029 熊本県熊本市東区西原1-12-1）

中九州横断道路は，九州中部地域の東西連携を強化し，物流の効率化や地域活性化に資する重要な幹線道路であり，早期開通に向けた整備が進められている．本稿では，近年，受発注者の生産性向上を目的に活用が進められているBIM/CIMについて，中九州横断道路事業における設計照査や施工計画，関係機関協議や地元説明等での活用事例を紹介するとともに，その効果および課題を整理し，今後の展望について述べる．

キーワード　中九州横断道路，BIM/CIM，３次元モデル，生産性向上

1. はじめに

近年，建設事業においては，生産性向上及び業務の効率化を目的としてBIM/CIMの活用が推進されており，国土交通省においては令和５年度より直轄土木業務・工事においてBIM/CIMの原則適用が開始されている．

熊本河川国道事務所では，道路・河川の別なく一体となったBIM/CIM推進体制を構築し，検討会の実施を通じて取組内容の共有や横展開を図り，業務改善に向けたBIM/CIMの活用を推進しているところである．

道路分野では，中九州横断道路の一部である大津熊本道路の事業において特にBIM/CIMの活用を推進しており，令和６年度九州国土交通研究会においても，大津熊本道路におけるBIM/CIMの取組事例および今後の活用予定について報告を行った[1]．

本稿では，その後の事業進捗の中で得られた実際の取組事例について紹介するとともに，効果及び課題を整理し，今後の活用拡大に向けた展望を述べる．

2. 事業概要

中九州横断道路は，大分市を起点として，竹田市・阿蘇市等を経由して熊本市に至る延長約120 kmの高規格道路である．九州中部を横断し，東西方向の広域ネットワークを形成することにより，沿道地域の産業発展・地域活性化や，大規模災害時における広域的な物資輸送の円滑化において重要な役割を担うものである（図-1）．

これまでに約37 kmが整備済みであり，現在は大分で１区間，熊本で５区間の計６区間，約51 kmの事業を進めている．今年度中には滝室坂道路が開通の見通しであり，大津熊本道路（特に合志～熊本）において，重点的に工事が進められている．

大津熊本道路の周辺では，半導体関連企業の進出が進み，新たな工業団地の造成や企業の設備投資，新規立地が盛んである．周辺では渋滞が発生しており，物流ルートとしての重要性も高まっていることから，早期の開通が求められている．

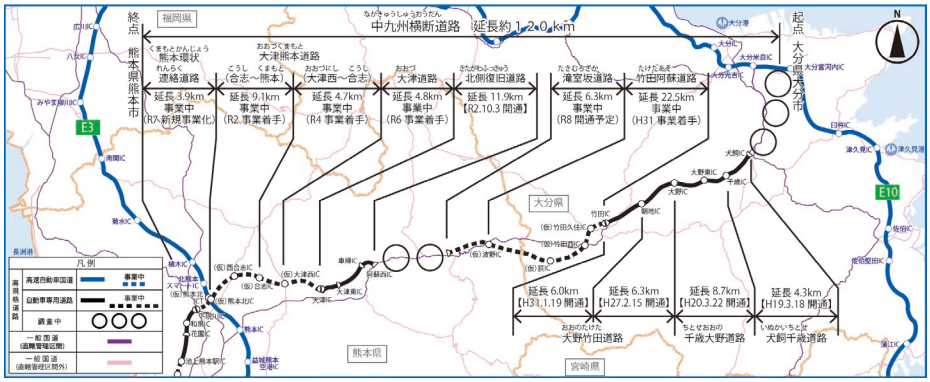


図-1　中九州横断道路の路線図

3. BIM/CIM活用に関する検討

一般に，建設事業の推進にあたっては，従来の２次元図面を中心とした検討・調整では，構造物の形状や位置関係の把握が困難であることから，関係機関協議や地元説明において認識の齟齬が生じやすく，手戻りや業務負担の増大が懸念となっている．このような課題に対して，３次元モデルにより構造物を可視化することで意思疎通の円滑化や合意形成の促進を図るとともに，計画・調査・設計段階から施工及び維持管理の各段階においてもデジタルデータを統合管理することにより，各段階における業務の効率化及び生産性向上に寄与する手法として，BIM/CIMは有効である．

特に，本事業では関係機関との協議が多く，**表-1**に示す通り，大津熊本道路の一部である西合志IC～熊本北JCT間における工事に伴う協議件数は約560件にのぼり，多様な関係機関との調整が必要となっている．このように協議が多岐にわたる状況において，職員の負担軽減，関係者の理解促進を図る上では， BIM/CIMを活用した可視化が有効な手段である．

表-1　大津熊本道路（西合志IC～熊本北JCT間）の協議件数

協議等の内容	関係機関	件数
支障物件移設	熊本市，合志市，九州電力，NTT　等	約200件
施設管理者への許認可等	熊本県，熊本市，合志市，NEXCO　等	約160件
借地工事説明	地権者，自治会，土地改良区	約200件
合計		約560件

BIM/CIMをどのように活用し，どのような課題の解決を図るかについては，令和６年度の検討において，**表-2**の通り整理している．その後の事業進捗に伴い，実際の活用事例も得られたことから，次章では，個別の事例について紹介する．

表-2　「事業を進める上での主な課題」と「CIM活用の目的」

項　目	主 な 課 題	CIM活用の内容、その効果
設計照査	「構造物の取り合い」や「鉄筋干渉」などは、2次元では表現が難しいため、手戻りが懸念	・「鉄筋干渉」などの不具合箇所の把握 ・「設計ミス」や「手戻り」を防止
関係機関協議	施設管理者、交通管理者等の協議に時間を要する	・占用物件等への影響を分かりやすく整理 ・合意形成の迅速化
地元説明	完成イメージが伝わりづらいため、理解まで時間を要する	・完成イメージの作成 ・理解促進
景観検討	限られた視点でのイメージしかない場合、多様な視点から検討することが出来ない	・多様な視点から比較するためのモデル作成 ・多様な視点から検討することが可能
事業監理	工事発注規模を設定する際に、その根拠となる工事数量の算出に時間を要する	・土量（盛土・掘削）の自動算出 ・業務の省力化
施工計画	現場と図面の不整合箇所や施工内容が分かりづらいため、手戻りが懸念	・施工計画上の支障等を網羅的に把握 ・施工計画の品質向上（工期延期の防止）
施工管理	出来高管理に関わる作業人数・作業時間を多く要する	・点群データ等を利用し面的管理 ・作業の省力化
環境への配慮	工事時における「自然環境」、「生活環境」などの配慮	・環境に影響がある工事範囲を把握 ・自然環境・生活環境の保全
維持管理・更新	測量・設計から施工までの成果が引き継がれていない場合がある	・必要な成果を3次元モデルに紐付け ・情報収集等の容易化、維持管理の確実性
損傷・被災後の復旧	施工までの成果を見つけるのに時間を要し、原因究明や復旧工法の検討が遅れる	・必要な成果を3次元モデルに紐付け ・早期に的確な復旧工法を検討出来る

4. 活用事例と効果

本章では，大津熊本道路におけるBIM/CIMの活用事例を項目ごとに整理し，事業進捗に伴い得られた事例を踏まえ，その内容と効果について述べる．

(1) 設計照査

BIM/CIMを活用した設計照査では，従来の２次元図面では把握が困難であった構造物の形状や部材間の位置関係を３次元モデルにより可視化することで，円滑な照査が可能となる．これにより，設計段階における不整合や施工上の課題を事前に把握することができ，設計ミスや施工段階での手戻りの防止につながる．

例えば，施工ヤードにおける埋設物との離隔確認においては，３次元モデルを用いた照査資料により地下部を含めた立体的な状況確認が可能となり，円滑に照査を行うことができた（**図-2**）．これにより，支障に対する施工前の適切な対応が可能となった．

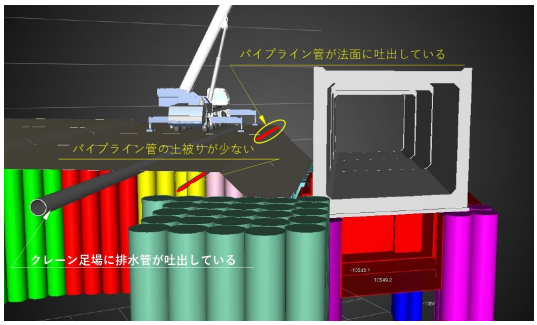


図-2　埋設物の位置・深さの設計照査

また，橋梁下部工における鉄筋の配筋照査では，従来は配筋作業時に初めて部材同士の干渉が判明し，現場で手直しを行う場合があった．そこで，作業着手前に３次元モデル上で干渉チェックを実施することで，手戻りを防止することができた（**図-3**）．

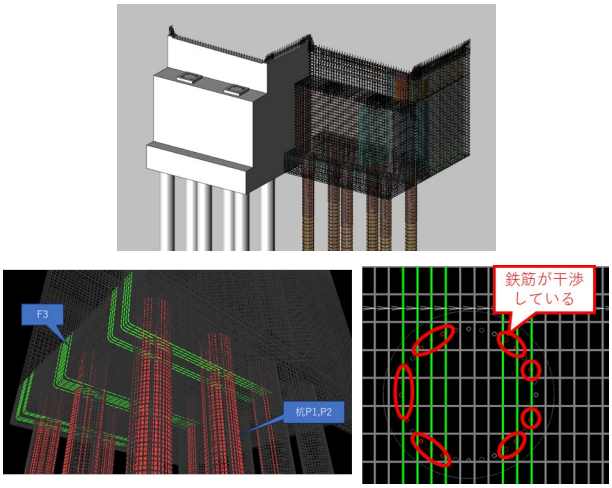


図-3　橋梁下部工鉄筋の配筋照査

さらに，施工段階にとどまらず維持管理を見据えた検討にも活用されている．橋梁工事の事例では，点検用の手すりの追加について，完成イメージの３次元モデルを用いることで，配置を立体的に把握することが可能となり，円滑に照査を行うことができた（**図-4**）．

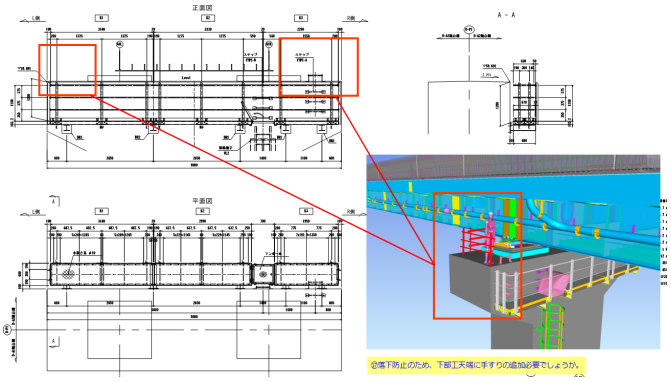


図-4　維持管理を見据えた設計照査

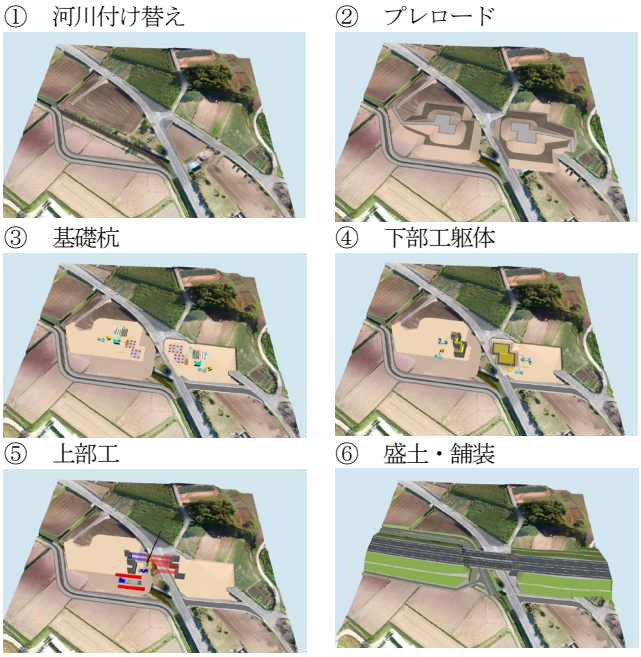


図-5　上庄川橋の施工ステップ

(2) 施工計画

BIM/CIMは施工計画の確認においても有効である．橋梁工事のように施工ステップが多岐にわたる場合においても，３次元モデルを用いることで施工手順や作業範囲を視覚的に把握することが可能となる（**図-5**）．

塩浸川橋の事例では，現況地形と３次元モデルを重ね合わせることにより，下部工と河川管理用通路との干渉の確認を実施した（**図-6**）．これにより，実際の完成イメージを視覚的に理解しやすくなり，影響範囲の確認に効果的であった．

また，作成した３次元モデルは施工計画の検討にとどまらず，現場作業員への安全教育や現場説明にも活用されている（**図-7**）．施工状況を視覚的に示すことで，作業内容の理解を深めることができ，特に経験の少ない技術者でも，施工イメージが容易に把握できるという利点がある．最近では外国人作業員の方も多く，言葉や図面では伝わりにくい部分についても，BIM/CIMを用いた安全教育や現場説明は分かりやすいと好評だった．

さらに，３次元モデルから３Dプリンターで模型を作成した事例もある．模型を活用した説明は，完成形のイメージを具体的に共有しやすく，安全教育訓練においても理解の向上に寄与している（**図-8**）．

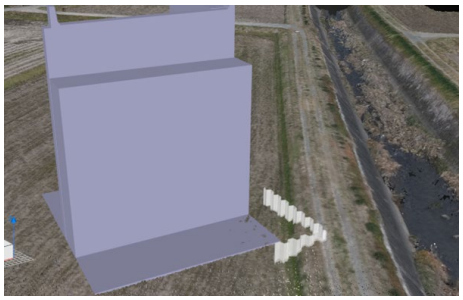


図-6　現況と３次元モデルの重ね合わせによる施工検討

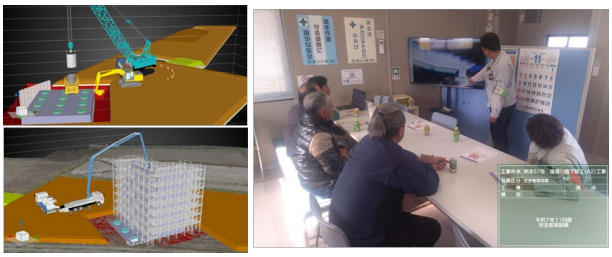


図-7　３次元モデルを活用した安全教育



図-8　３Dプリンターで作成した模型

(3) 関係機関協議・地元説明

先述の通り，本事業においては関係機関協議が多く，円滑かつ迅速な合意形成を図る必要がある．このため，関係者に対して施工内容や計画の内容を分かりやすく伝えることが重要となる．

また，地元説明会のように一般の方を対象とする場合には，視覚的に分かりやすい資料による説明が求められる．特に，跨道橋を設置し切土により本線を構築する部分（**図-9**左上）や，熊本北JCT周辺（**図-9**右上）のように構造が複雑な箇所においては，現況の地図と重ね合わせて３次元モデルを提示することで，完成形のイメージを直感的に示すことができ，理解が促進される．実際に，地元説明会においても３次元モデルが活用されており，説明の円滑化に寄与している．このように，BIM/CIMによる３次元モデルの活用は，関係者への説明の充実および理解促進において有効な手段となっている．



図-9　完成イメージと地元説明会の様子

5. 課題

本事業においては，設計照査や施工計画，関係機関協議や地元説明において３次元モデルを活用することで，可視化による理解促進や合意形成の円滑化といった効果が確認されている．一方で，現状の活用は主に形状の可視化を中心としたものにとどまっており，令和６年度の検討以降も活用項目の広がりという点では限定的な側面が見受けられる．

特に，事業監理や積算，維持管理といった項目においては，BIM/CIMを活用した業務の高度化には至っておらず，現時点が設計・施工段階にあることも一因ではあるが，建設生産プロセス全体を通じた活用には課題が残されている．

BIM/CIMは，測量・調査から設計，積算，施工，維持管理に至る各段階でデータを連携させることで，事業全体の効率化および高度化を図るものである．しかしながら，現状では各工程ごとの個別的な活用にとどまる場合も多く，プロセス間また事業全体でのデータ連携が十分に図られているとは言い難い．

また，現状のBIM/CIMの運用は，従来の２次元図面を前提とした設計・契約体系の上に成り立っており，設計図書としては依然として２次元図面が位置付けられている．このため，実務においては２次元図面と３次元モデルを併用せざるをえず，二重作業が生じている．特に，多くの設計業務においては，２次元図面による設計を行った後に３次元モデルを作成することが一般的であり，工程上の負担が大きい．両者が独立している場合には設計変更のたびに，双方の修正が必要となる．このようなデータ連携の未整備は，BIM/CIMに期待されるプロセス横断的な情報活用を十分に発揮できない要因となっている．

さらに，積算分野においても従来の２次元図面を前提とした運用が中心であり，３次元モデルに付与された属性情報を活用した数量算出や積算への展開は，今後の取り組みが期待される領域である．

以上の課題を踏まえると，２次元と３次元で連動したデータ整備，システムづくり及び制度設計が重要である．将来的には，BIM/CIM活用においては，可視化ツールとしての活用から一歩進み，３次元モデルをデータの基盤として位置付け，設計・施工・積算・維持管理を通じた一体的な活用へと発展させていくことが期待される．これらのBIM/CIM活用の課題及び方向性は，一般的に指摘されているものと同様に，本事業においても確認されたところである．

6. 今後の展望

BIM/CIMの活用においては，単なる作業の追加や負担増にとどまらないよう，効率化や生産性向上に資する形で活用を図っていくことが重要である．作業手間やソフトウェア・システムへの投資に対して十分な効果が得られない場合には本来の目的に資するものとはならないことから，データ作成ありきにならないよう留意する必要がある．

効率化・生産性向上に向けた，本事業における今後の活用拡大としては，工事進捗や支障物件等の情報を一元的に管理する手段として，活用することも考えられる．多数の工事が同時並行で進行する状況において，事業全体での合理的な進捗管理に寄与することが期待される．

一方で，こうした活用を実現するためには，初期段階におけるデータ整備に相応の手間やコストを要することが課題となる．そこで，単に初期の設計・施工費用の抑制を図るのではなく，維持管理を含めたライフサイクル全体でのコスト縮減や効率化を見据え，初期段階から設

計を行うことが重要である．

また，BIM/CIMを建設生産プロセス全体を通じて一体的に活用していく上では，長期的な運用を見据えたデータ基盤の構築が重要である．さらに，こうした活用を持続的に推進していくためには，人材育成も不可欠であり，特に担当者の異動等を踏まえると，知識やノウハウを組織として継承していくことが求められる．

事務所では「道路若手CIMチーム」による会議を実施するなど（図-10），若手をはじめ多くの職員が関わることで経験値の底上げを図っている．今後もこれらの取組を通じて，BIM/CIM活用を推進していきたい．



図-10　道路若手CIMチームでの会議の様子

7. おわりに

本稿では，中九州横断道路事業におけるBIM/CIMの活用について，事業進捗の中で得られた具体的な取組事例を紹介した．構造物や施工手順を３次元モデルにより可視化することが，関係者間の理解促進や合意形成の円滑化に寄与することが確認された．

BIM/CIMはあくまで目的ではなく手段であり，その活用にあたっては業務の負担増とならないよう留意しつつ，生産性向上に資する形で活用を進めていくことが重要である．今後も，設計・施工・維持管理の各段階での活用を通じて，事業全体の効率化および品質向上につなげていくことが期待される．

参考文献

1)　池田敏彦・三嶋浩二：大津熊本道路における CIM の取組 - 測量・設計から維持管理・更新までの業務効率化・高度化を図るための挑戦-，令和６年度 九州国土交通研究会，2024.

白川固定堰群改築事業の BIM/CIM活用について

鈴木　祐芽[1]・安東　謙治[1]・金縄　祐典[1]・野口　萌佳[1]

[1]九州地方整備局　熊本河川国道事務所　工務第一課　（〒861-8029熊本県熊本市東区西原1丁目12-1）

熊本河川国道事務所では，白川固定堰群改築事業における設計・施工・情報共有等の課題に対し，BIM/CIMを活用した解決策を検討し，事業の効率化および知見の蓄積を図ってきた．本稿は，これまで実施した取組の中から，地盤モデルを用いた杭長の設定に関する検討，4D工程表に関する検討，河道モデルに関する検討，情報共有手法に関する検討および今後の展望について報告するものである．

キーワード　BIM/CIM，情報共有，固定堰改築，河道管理

1. はじめに

白川は，熊本県阿蘇郡高森町根子岳（標高1,443ｍ）に源を発し，阿蘇外輪山の切れ目である立野火口瀬で黒川と合流した後，中流部の豊かな穀倉地帯を流れ，下流部で熊本市を貫流し，有明海に注ぐ，幹川流路延長74km（直轄管理区間21.5km），流域面積480km2の一級河川である（図-1）．

2020年1月に白川水系河川整備計画が変更され，基準地点代継橋での流量2,700m3/sを洪水調節施設で300m3/s調節し，2400m3/sの流量が安全に流下できる河道とすることを目標として，河道掘削や堤防整備，堰の統廃合などの対策を実施している．

2. 白川固定堰群改築事業の概要

(1) 事業内容

白川では，これまでの河川整備により，概ね全川的に連続堤防が整備されるとともに，阿蘇立野ダムの整備も完了しているが，河川整備計画における目標流量を安全に流下させるためには，白川下流部に位置する固定堰群（井樋山堰，十八口堰，三本松堰）が洪水時に流下阻害となっている．また，平成 28 年熊本地震後の流出土砂量の増大に伴い，3 基の固定堰への土砂堆積量も著しく増加したことから，統廃合と併せて可動堰化を実施することとし，2024 年より事業に着手し，鋭意推進している（図-2）．



図-1 白川流域図



図-2 白川固定堰群改築事業のイメージ

(2) 施工計画と施工状況

本事業で整備する新設堰は，右岸側，左岸側の順に施工し，並行して取水施設や掘削護岸などの関連工事を行い，一連の施工完了後，既設の固定堰（3基）を撤去する計画である．事業期間は概ね10年を予定しており，3年目にあたる2026年5月までに，新設堰右岸側の杭打設が完了し，新設堰本体の施工に着手している（図-3）．2026年10月からは，右岸側の施工を引き続き行い，2027年から新設堰左岸側の施工に着手するとともに，取水施設の改築や掘削護岸などの関連工事を順次実施し，完成を目指すこととしている．

本事業は，構造の複雑さや関連工事の多さに加えて，土木・営繕・機械・電気などの様々な業種が平行して施工を行うことから，詳細な設計検討，関係者間の円滑な合意形成および認識の共有などについて，多くの課題が発生すると想定された．このため，本事業ではBIM/CIM（Building/Construction Information Modeling, Management）の活用による事業の円滑化・効率化の取組を推進している．



図-3　施工状況（2026/4 撮影）

3．BIM/CIMについて

(1) BIM/CIMとは

BIM/CIMとは，インフラ分野において，調査・測量・設計・施工・維持管理の各段階で，3次元モデルや点群データ，GIS等を活用し，受発注者間で情報を共有・連携することで，省人化や生産性向上を図る取組である．また，属性情報の付与や標準化されたデータ形式の活用により，情報の一元管理や業務の効率化を実現するとともに，可視化による合意形成や意思決定の円滑化に寄与するものである[1)]．

(2) 取組体制

当事務所では，BIM/CIMを活用した業務の効率化および高度化を推進し，業務改善を図ることを目的として，BIM/CIM取組体制を構築している．本体制は，事務所全体での継続的かつ実効性のある取組を推進するため，河川・ダム・道路で3チーム体制を構築し，幹部職員から若手職員まで幅広い層で構成することとした．そのうち，河川チームの取組体制を図-4に示す．2026年2月には，BIM/CIMに関する取組内容の共有および知見・課題の横断的な展開を目的として，当事務所にBIM/CIM検討会を設置し，第1回検討会を開催した．本検討会は，技術職，事務職および近隣事務所である阿蘇砂防事務所にも参加を呼びかけ，活用事例や課題，取組過程で得られた知見および改善事項について情報共有を図った．

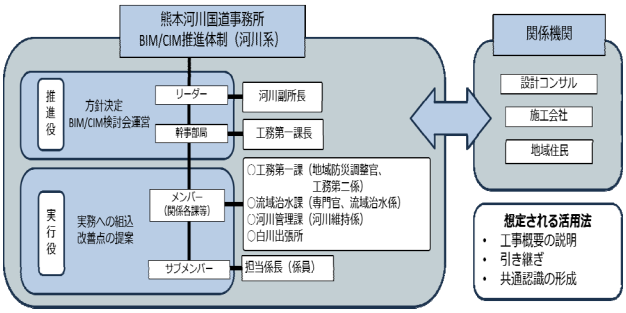


図-4 BIM/CIM取組体制（熊本河川国道事務所河川系）

4．BIM/CIM活用事例

本事業においては，主に基礎地盤，施工工程，河道変化，情報共有に関する課題が想定された．これらの課題の解決および事業の効率化を目指して，BIM/CIMの活用を検討・実施している．本章では，(1) 地盤モデルを用いた杭長の設定に関する検討，(2) 4D工程表に関する検討，(3) 河道モデルに関する検討，(4) 情報共有手法に関する検討について述べる．

(1) 地盤モデルを用いた杭長の設定に関する検討

本事業では，新堰本体，鉄筋配置，および基礎地盤情報等をモデル化しており（図-5, 図-6），これらを統合したモデルの活用および検討の一例として，基礎構造の設計について述べる．新設堰の設置地点は，想定支持地盤の起伏が大きく，層厚も薄いため，杭長の設計に課題があったことから，想定支持地盤面のモデル（以下，「地盤モデル」とする）を作成し，各杭が支持層に達する杭長を個別に設定した．施工段階では，設計時の地盤モデルと異なる地盤条件が確認された場合，当初の設定杭長での施工は構造物の安全性に影響を及ぼすおそれがあることから，杭長の見直しを行いながら施工を実施している．また，杭打設時に得られた支持地盤の情報を地盤モデルへ反映し，地盤モデルの精度向上を図ることにより，想定外の地盤条件による施工リスクの低減を図ることとした．現時点では，地盤モデルの更新・設計杭長の変更に時間がかかることから，次期施工に向けて地盤モデルの更新を行っているが，逐次更新が可能となることで，さらなる施工リスク低減が期待される．

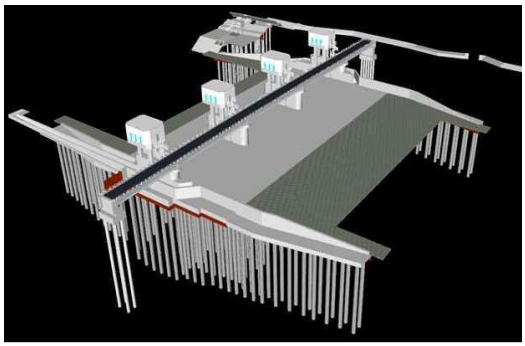


図-5　三次元モデル（新堰本体）

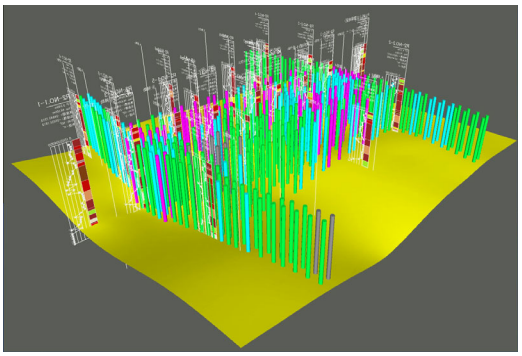


図-6　杭長の設定（地盤モデル）

(2) 4D工程表に関する検討

4D工程表とは，縦・横・奥行き情報を有するモデルに時間軸を付与したものであり，時間の経過に伴う構造物の施工過程を視覚的に把握できるツールである．施工期間が長期に及ぶ本事業においては，手戻りの最小化が求められるため，4D工程表を用いて施工手順や工事間の干渉を事前に確認することで，施工の効率化および課題の早期対応を図っている（図-7）．現在は，4D工程表を工事単位で作成しているが，さらなる施工の効率化を図るためには，事業全体の工程を一元的に管理する必要がある．そのため，後述する情報共有プラットフォーム等を活用し，職員や施工者が，事業内で平行して行われる他工事の作業内容や進捗予定を相互に共有できる体制を整備することで，効率的な工程管理および円滑な意思決定の実現を目指している．

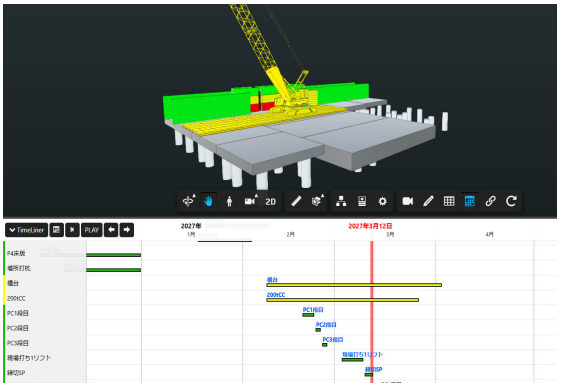


図-7　4D工程表

(3) 河道モデルに関する検討

本事業では，固定堰の可動化に伴い河床の低下が予想されることから，河川構造物（護岸や橋脚等）の安全性確保の観点より，河道変化の正確な把握や予測に基づく適切な対策・管理を行うことが求められる．現在は，対策の必要性の判断および要注意箇所の抽出を目的として，2 時期の実績河床データの比較による河床の堆積・洗掘状況の面的な可視化を実施している．また，護岸の整備状況が把握可能な箇所における，最新の河床データと護岸の比較による根入れ不足箇所の確認（図-8），護岸の整備状況が不明な箇所における，管理河床高を閾値とした根入れ不足箇所の予測（図-9）を実施している．今後は，河床データが蓄積されていくことを踏まえて，河道の経年的な変化と傾向の把握を目的に，3 時期以上の河床データを用いた可視化手法についても検討を重ねている．将来的には，河川構造物の安全性に問題がある箇所，流下断面が不足している箇所，著しい洗掘または堆積が発生している箇所，将来的に根入れ深さが不足する可能性のある箇所などの，河川管理上支障となる箇所を自動的に抽出し，河道モデル上で表示させることで，迅速かつ客観的な判断の支援ツールとすることを目指している．

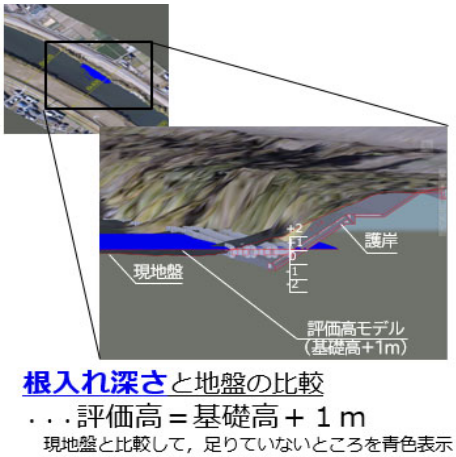


図-8 河道モデル（護岸の施工状況が把握可能な箇所）

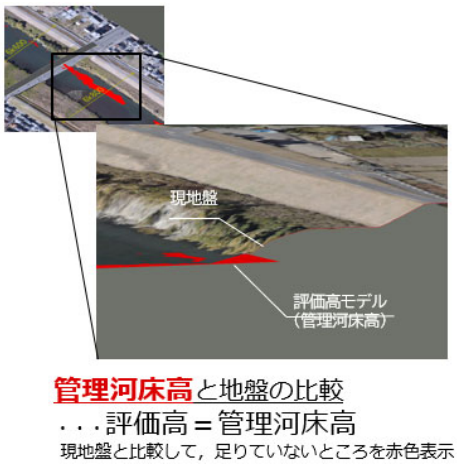


図-9 河道モデル（護岸の施工状況が不明な箇所）

(4) 情報共有手法に関する検討

事業規模が大きく，施工期間が長期に及ぶ本事業では，多くの関係者および多様な職種が関与することに加えて，整備局職員は人事異動があることから，情報の共有や引き継ぎを簡潔に行えることが望ましい．しかし，保存場所や保存形式の統一がなされていないことから，必要な情報の確認や整理に時間を要しており，改善の余地があると考える．このような課題を踏まえ，情報共有手法の改善について検討を行った．検討に際しては，事業が長期に及ぶことを踏まえ，事業期間を短期・中期・長期の3時期に分類し，各時期における関係者および必要な情報に応じて，適したプラットフォームを用いた情報共有手法の構築を行う方針とした（図-10）．

短期は，各工事単位での利用を想定している．工事毎の調整内容については，関係者が限定していることも多いため，全体に共有する必要性は低いと考えた．また，施工中に発生する課題や調整事項についてコメントや確認が行え，綿密なコミュニケーションによって情報共有を行う機能が求められることから，掲示板機能を有するKOLC+を採用している．

中期は，各事業単位での利用を想定している．事業においては，日常的に情報共有を実施することが想定されない外部の関係者に対しても情報共有を行う機会が発生すると考えられることから，情報を限定して閲覧可能となる機能を有するLandlogを採用している．

長期は，将来の施工および維持管理段階での活用を想定している．現状は，短期・中期的に実施・検討された事象に関する資料が，計画担当課・工事担当課・管理担当課それぞれに分散して保存されており，情報の把握や共有に時間を要する．そこで，水系全体で連携を図ることを目的に，河川の情報を一元的に管理・蓄積している三次元河川管内図に工事や計画の履歴を連携させることを想定している．

以上より，各時期で適するプラットフォームを用いて情報共有を円滑に行うとともに，これらのプラットフォームを連携させ，各時期で作成された資料や情報の共有を行う．今後は，試行を通じて運用上の課題を整理し，継続的な改善を図る．

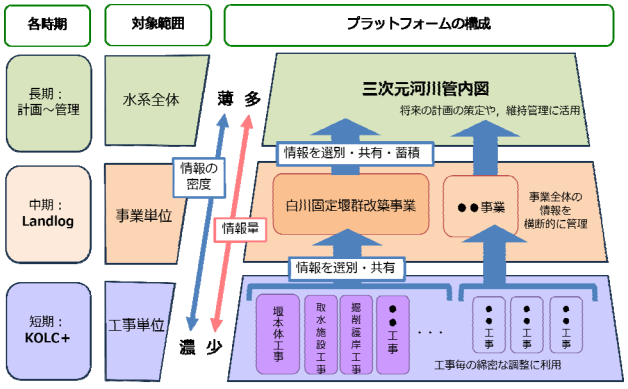


図-10 情報共有手法の構築

5． 今後の展望

当事務所では，取組体制の構築や検討会の開催などを通じてBIM/CIMの活用を推進しているが、既存のやり方に慣れた職員にとっては，BIM/CIMの積極的活用に対する動機が必ずしも高いとはいえない．これを解消し，実務にBIM/CIM活用を組み込むためには，職員の意識向上と日常業務における試行的な活用の推進が重要であると考える．例えば，現在は情報共有についてメールや紙資料を併用する場面が多く，データの共有や管理に関して課題を感じている場面は多いものと想定されるが，BIM/CIM活用により情報の集約化・一元管理が推進されることで，業務の効率化が図れる．また，このような利点を周知することで，職員の意識向上が期待でき，日常業務で試行的に利用する職員が増えることで，利便性の実感と理解の深化につながり，新たな課題や改善点の抽出が行われる．さらに，こうした取組を継続することで改善提案が活発化し，システムや運用の改良が進展するような好循環の形成が期待できる．

これらの取組を通じて，職員が実務で継続的に利用できる環境を整備し，「誰もが当たり前に使える仕組み」を構築することが重要であると考える．

現時点では，当事務所独自で取組を推進しているが，組織全体における継続的な活用の定着に向けて横展開・垂直展開を図り，取組を継続していきたい．

6．おわりに

本事業では，事業の効率化を目的として，本稿で示した 4 事例をはじめとする BIM/CIM の活用を行っているが，試験的あるいは検討段階の内容も多く，その効果を発揮するためにはさらなる検討や試行が必要であると考える．また，今後の活用促進に向けては，各ツールや作業の役割・目的を明確にし，それらの考え方を組織内に浸透させ，活用から改善の好循環を形成することが重要である．自身も若手として，BIM/CIM 活用の推進役を担っているという意識を持ち，「こんな機能があったら便利だな」「もっと分かりやすい表現はできないのかな」などの視点から改善案を提案するなど，日常業務にて積極的に活用を進めたい．

謝辞：本稿の作成にあたり，多くの方々にご指導ご鞭撻を受け賜りました．また，熊本大学小林名誉教授には，当事務所のBIM/CIM検討会にアドバイザーとしてご参加いただき，有益なご助言をいただきました．みなさまのご支援にこの場を借りて深く御礼申し上げます．

参考文献

1) 国土交通省：BIM/CIMポータルサイト「BIM/CIMの概要」
https://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/about_bimcim.html

高水流量観測の高度化について
～河川流量観測はDXの時代へ～

馬渡　巧禰[1]・梅田　光[1]・下村　美代子[1]・古賀　和也[1]・峰松　知裕[1]

[1] 九州地方整備局　佐賀河川事務所　流域治水課　（〒849-0918 佐賀県佐賀市兵庫南2-1-34）.

高水流量観測は，治水計画を立案する上で重要な調査である．一級河川筑後川水系城原川は，洪水時に短時間で一気に水位が上がることから，従来行っている浮子による高水流量観測では観測中に水位が大きく変化し，洪水時の立ち上がりからピーク時，そして下降に至る一連の流量を確実に捉えきれないという課題がある．このような現状から，城原川では，高水流量観測におけるDXを推進するため，浮子観測から画像解析による流量観測への移行に取り組んでいる．今回は浮子観測及び画像解析による同時流量観測による検証結果と画像解析による高水流量観測の有用性について紹介する．

キーワード　DX，高水流量観測，画像解析，高度流量観測，STIV法

1. はじめに

城原川は，その源を佐賀県神埼市の脊振山（標高1055m）に発し，途中支川を合わせながら脊振山地の急峻な地形をなす山間部を流下し，仁比山付近より扇状地形を形成して，干拓等により拡大された低平地（佐賀平野）が広がる神埼市の市街地中心部を南下し，筑後川右支川の佐賀江川と合流し筑後川へと注ぐ幹川流路延長31.9㎞，流域面積64.4km²の河川である．（図-1）

この城原川が流れる佐賀平野は，日本一の干満差を持つ有明海に面し，満潮時には海面より低くなる低平地であり，洪水被害と内水被害が生じやすい地形となっている．（図-2）

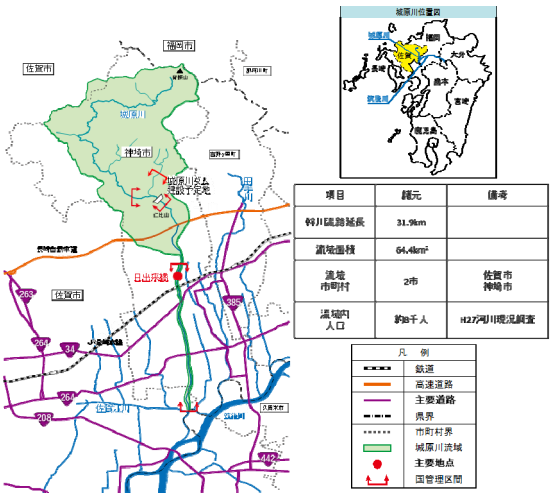


図-1　城原川流域図

城原川の特徴として，上流で降った雨は，短時間で一気に神埼市街地まで到達し，中流域は天井河川となっていることから，ひとたび氾濫すると広範囲に被害が及ぶと想定される．

洪水時の流量を正確に把握することは治水計画を立案するうえで重要なことであり，城原川では，日出来橋観測所で高水流量観測を実施している．

本稿では，城原川における高水流量観測について現状の課題及び課題解決のための取組について述べる．

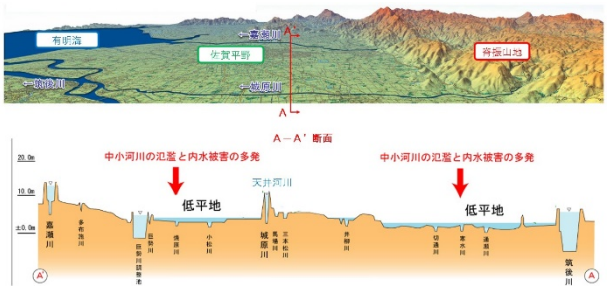


図-2　城原川流域の地域特性

2. 城原川の高水流量観測の現状と課題

(1) 城原川の高水流量観測の現状

城原川の日出来橋観測所における高水流量観測は，洪水時の観測手法として一般的に用いられている浮子観測を基本として実施している．

浮子観測は，日出来橋より浮子を投下し，流下した

浮子が第1見通し線から第2見通し線を通過するまでの時間を計測している．（図-3）



図-3　浮子観測の観測体制

浮子観測から得られた流速と横断測量から求めた断面積により，流量が算出される．

(2) 城原川の高水流量観測における課題

城原川の高水流量観測における課題として，2点挙げられる．

1点目は，降雨から高水到達までの時間が短く，短時間で一気にピーク水位に達するため，浮子観測体制では，出水の立ち上がりからピーク，下降に至る一連の水位ハイドログラフを確実に捉えきれないことである．（図-4）

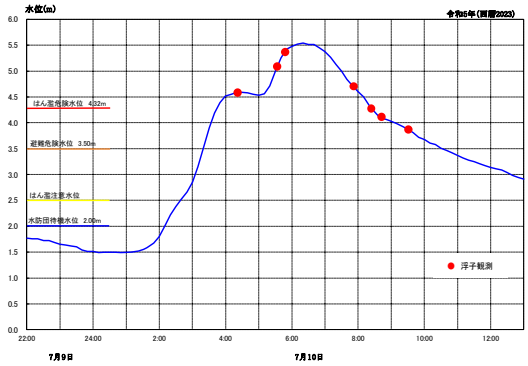


図-4　日出来橋地点　2023年浮子観測実施状況

2点目は，観測時における観測員の安全面で，短時間で急激に水位が上がるため，浮子による観測は危険を伴うことである．（図-5）



図-5　浮子観測の実施状況

浮子観測は，水際での作業となるため，規模が大きい出水が来た際には安全面を考慮し，出動及び観測が出来ず，出水の立ち上がりからピーク時のデータが取れない場合がある．

また，日出来橋観測所における浮子観測は，5名程度の人員が必要であるが，洪水時の観測は危険を伴うため，人材確保という点においても課題がある．

実際に2023年7月の洪水における高水流量観測では，堤防天端付近まで，水位が到達したため，一時退避することを余儀なくされた．（図-6）



図-6　2023年7月の日出来橋地点

3. 高水流量観測におけるDXの推進

前述の課題を解決すべく，浮子観測に代わる手法として，現場に行かずともリアルタイムに観測できる高度な流量観測への移行により、DXを推進している．

(1) 画像解析による流量観測についての概要

今回は，高度流量観測の3手法の中から，課題に対する有用性として完全無人で実施することができ，大規模出水時においてもピーク流量を安全かつ確実に観測可能であり，コストも一番安価である画像処理型流速測定法を採用した．（表-1）

表-1　高度流量観測手法の比較表

	非接触型		接触型
観測手法	(a)ドップラー系（電波式，超音波式）	(b)画像処理型（STIV法）	(c)ADCP（超音波ドップラー流行法測計）計測法
観測種別	・非接触型計測 （固定式：無人　可搬型：有人）	・非接触型計測（無人）	接触型計測 （固定式：無人　可搬式：有人）
事例写真	 可搬型電波流速計	 STIVによる流速計測	 固定式ADCP  曳航式ADCP
手法概要	マイクロ波のドップラー効果	画像解析を利用した映像の波紋の追跡	マイクロ波のドップラー効果
観測データ	・1点の表面流速（固定式）	・横断分布の表面流速	・横断方向に1測線観測する。（H-ADCP） ・鉛直方向の流速を計測し、曳航することで断面全体の流速を計測（ADCP）
メリット	・夜間時も観測が確実に可能 ・非接触のため流下物の影響がない ・河川砂防技術基準（調査編）に標準手法として採用（R3年）	・大規模出水時においてもピーク流量を安全かつ確実に観測可能。 ・画角内で測線数を任意で指定できる ・記録映像があれば後日に映像をもとに流量算出の再現が可能 ・既設の河川管理用CCTVカメラの活用することが可能 ・非接触のため流下物の影響がない	・曳航範囲全ての流速を観測できため、表面流速の算出が可能。（曳航式） ・更正係数等による断面平均流速への換算の必要がない。（曳航式） ・中小規模の已水であれば、H-ADCPは観測流速値から流量値を連続的に算出可能。（固定式）
デメリット	・河川横断構造物（橋梁等）が必要 ・前線の影響を受ける ・強断測線に対して機器の設置が必要（固定式） ・水面にある程度の波立ちが必要 ・更正係数の検討が必要	・夜間時の観測は照明が必要 ・降雨ハレーションの影響を受ける ・水面にある程度の波立ちが必要 ・更正係数の検討が必要	・渦流の影響を受けやすい ・曳航式の場合、流速が0.0ｍ/ｓを超えた河川では、高流速が発生し観測が難しい ・流木などの流下物が接触しないように注意する必要がある（曳航式・固定式）
機器費用	（c）より高価	最も安価	（a）（b）より高価
総合評価	△	○	×

この手法は，　洪水流を撮影した映像を解析することで流速を計測する手法である．

画像解析は，STIV（Space-Time Image Velocimetry）法（以下STIV法）を採用している．

STIV法とは，動画から得られた連続した静止画を用いて，検査線上の輝度値を時間軸方向に積み重ねた時空間画像に生じる縞パターンから水表面流速を求める手法である．（図-7，8）

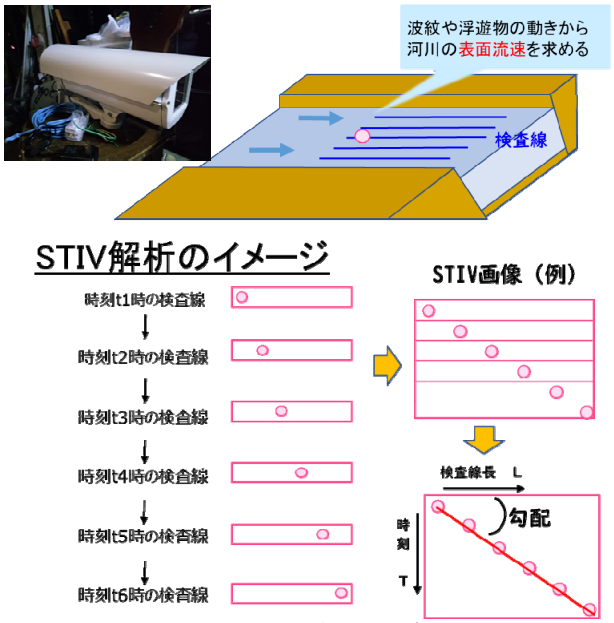


図-7　STIV手法イメージ図



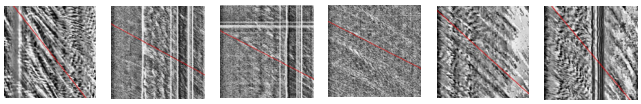


図-8　日出来橋地点の縞パターン

4. 画像解析による流量観測の精度検証

採用した画像解析による流量観測を行うため，必要機材を日出来橋地点に設置した．また，画像解析の精度を検証するため，浮子観測と画像解析による流量観測の両手法で観測できた出水のデータを基に，「浮子観測データとの整合性の確認の実施方針（案）について」（以降，実施指針と呼ぶ．）にて，定められている精度検証の手法で検証を行った．

(1) 城原川における機材の設置状況

STIV法で使用する機材について，日出来橋観測所の局舎敷地内支柱にカメラ，照明器具，風向風速計等を設置した．（図-9）

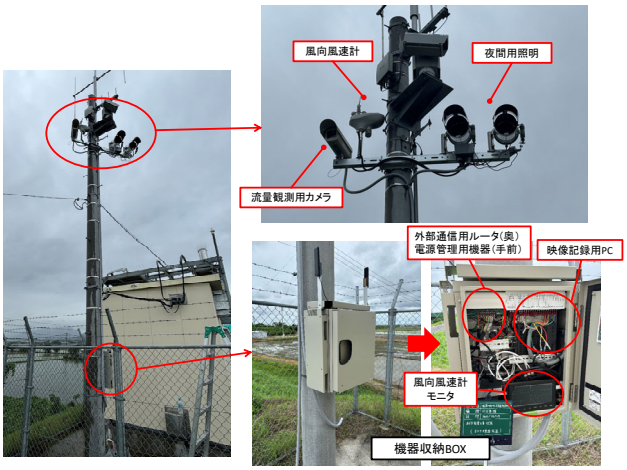


図-9　日出来橋の流量観測機器

(2) 精度検証の対象洪水

対象洪水については，浮子観測ならびに画像解析による流量観測の両手法が観測できた2025年8月10日洪水を選定した．（図-10）

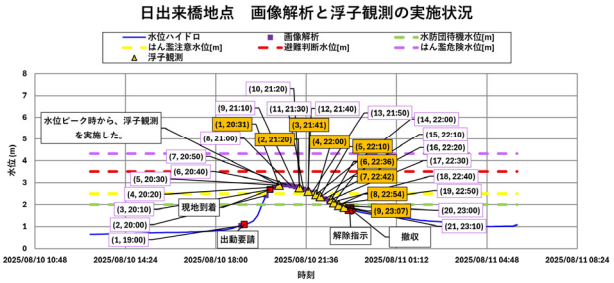


図-10　選定洪水時の両手法の観測状況

(3) 精度検証の手法

実施方針に基づき，整合性及び観測データの妥当性の確認により精度検証を行う必要がある．（図-11）

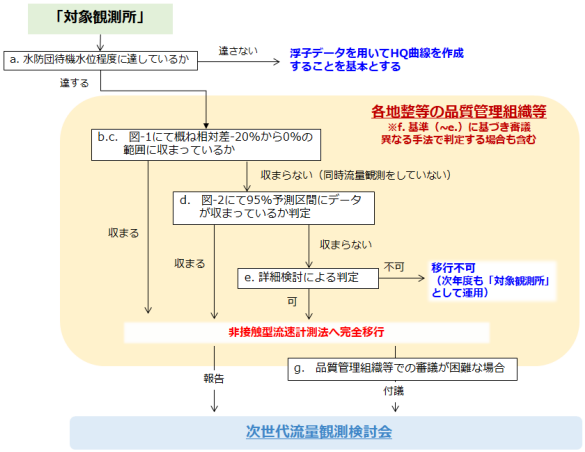


図-11　浮子観測データとの整合性の確認の実施方針（案）

a) 整合性の確認

浮子観測データとSTIV法で得られたデータの相対差が，-20%～0%の範囲内に収まることで，「浮子観測データとの整合性」があると確認できる．（図-12）

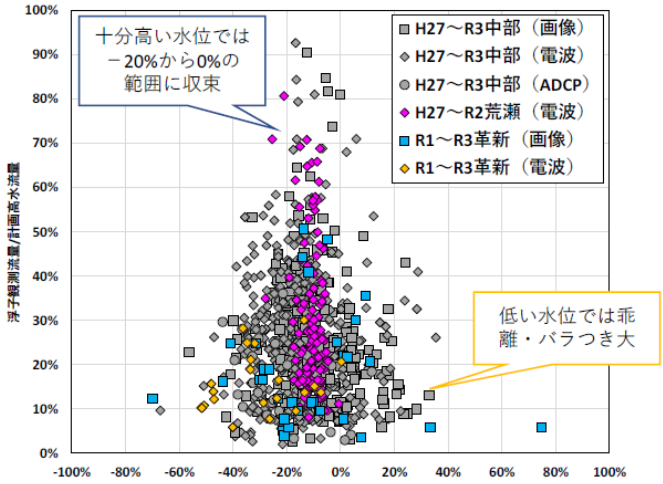


図-12　浮子と次世代の観測流量の相対差

b) 観測データの妥当性の確認

観測データの妥当性の確認は，浮子観測が実施されていない場合や，実施されていても整合性が確認できなかった場合に行うものである．

過去5年間程度の浮子観測データのばらつきより設定した予測区間（95%）に非接触型流速計測法データが収まることで観測データの妥当性を確認できる．（図-13）

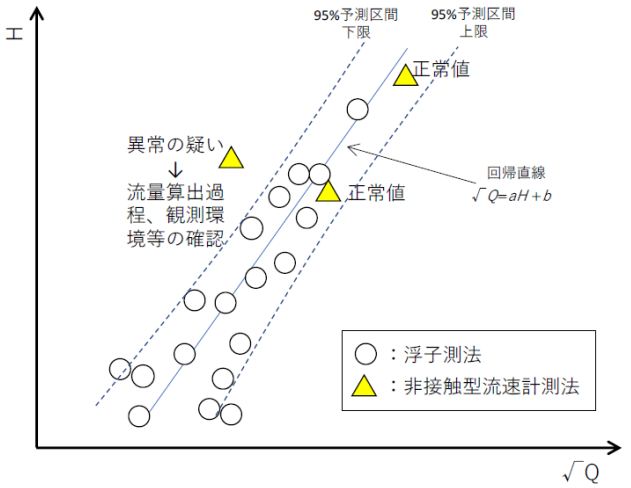


図-13　浮子観測データによる95%予測区間と非接触型流速計測法データ

(4) 精度検証の結果

前述した手法による精度検証の結果，STIV法で得られたデータと浮子観測で得られたデータの相対差は-20%～0%であり，データの整合性が確認された．（図-14）

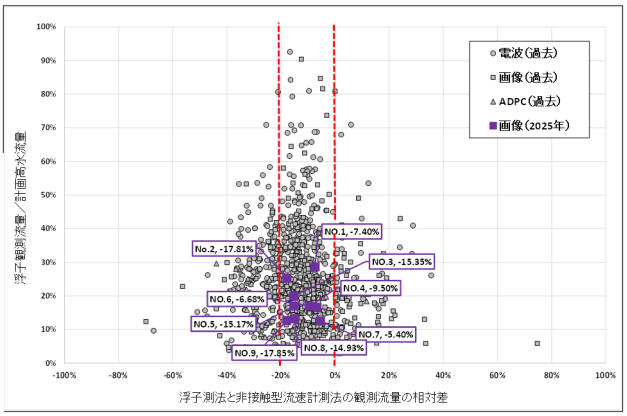


図-14　浮子とSTIV法による観測流量の相対差

実施方針では，浮子とSTIV法による観測流量の相対差が範囲内に収まっていれば，浮子観測からSTIV法による流量観測へ移行可能である．

今回，参考として観測データの妥当性についても確認した．

結果は，過年度（2010年～2023年）において，水位1.0m～5．42mの範囲で浮子観測を実施した実績を基に，予測区間（95%）を設定しており，STIV法による流量観測のデータは概ね95%予測区間内であり，観測データの妥当性が確認された．（図-15）

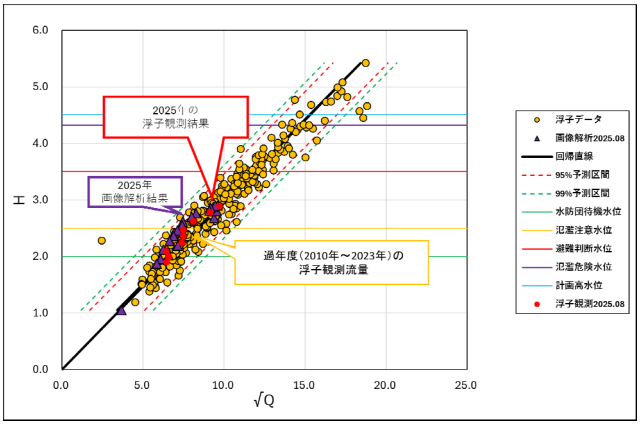


図-15　浮子観測データによる95%予測区間と非接触型流速計測法データ

5. まとめ

今回検証を行った結果，浮子観測データとSTIV法で得られたデータの相対差及び観測データの妥当性確認結果は，いずれも基準の範囲内に収まっていた．

そのため，城原川の高水流量観測は浮子観測から画像解析による流量観測へ移行可能と考えられる．

ただし，今回検証したデータは１洪水のみであるため，引き続き，浮子観測と画像解析による流量観測の同時観測の実施，検証データを蓄積し，整備局の検討会へ諮り，

城原川の高水流量観測のDXを着実に進めていきたい.

その結果，洪水時におけるピーク流量の確実かつ安全な観測を実施することが可能となる.

さらに今後は，画像解析による流量観測を応用して更なるDXを推進できるものと考えられる.

例えば，大規模な洪水が発生した際，画像解析による流量観測にてリアルタイムで流量を算出し，その値を現地を模した仮想空間として再現することで高度な河川管理が可能になると考えられる.

また，衛星画像の活用により，観測地点の上流でどれだけ雨が降っているか，支流のどこから水が流れ込んでいるかをあらゆる河川の流域全体を可視化できるものと考えられる.

謝辞：本論文作成にあたり，資料のご提供やご指導，ご鞭撻，ご助言をいただきました関係者の皆様に深く感謝申し上げます.

参考文献

1) 非接触型流速計測法の手引き（案）
2) 水文観測データ品質照査要領（改定案）
3) 浮子観測データとの整合性の確認の実施方針（案）について

令和２年７月豪雨災害復旧事業　特殊橋の上部工架設における最適なDXの活用について

奥　陽優[1]・相川　雅央[1]

[1]九州地方整備局　八代復興事務所　工務第二課　（〒866-0824熊本県八代市上日置町4478-1）

令和2年7月豪雨で被災した球磨川を渡河する橋梁10橋について，地域の重要な交通網である橋梁の創造的復興を掲げ，「球磨川橋梁復旧技術検討会」を開催し，10橋の橋梁形式及び復旧方針を決定した．現在，5橋が完成し供用を開始している．残り3橋は上部工が完了し，舗装工事を実施している．残り2橋は下部工が完了し，上部工の架設を実施している．本稿では上部工架設が完了した相良橋において施工時に活用したDXの取組について報告する．

キーワード　令和2年7月豪雨，球磨川，災害復旧，相良橋，DX

1. はじめに

令和2年7月豪雨は梅雨前線が熊本県南部に停滞し，猛烈な雨を記録し，球磨川の河川施設の被災，渡河する橋梁の流失や国道219号の路体流失など甚大な被害をもたらした．被災した橋梁10橋（うち部分被災2橋）のうち相良橋において実施した設計照査や施工計画の検討，現場架設，広報に至るまで，最適なDXの活用に取り組んだものである．

２．令和２年７月豪雨

⑴ 球磨川水系について

一級河川球磨川は，熊本県球磨郡水上村の銚子笠（標高 1,489m）に発し，川辺川など多くの支川と合流しながら人吉・球磨盆地を経由し，不知火海（八代海）に注ぐ，幹川流路延長 115km，流域面積 1,880km2 の熊本県内最大，九州３番目の長さとなる河川である．

⑵ 豪雨状況

令和2年7月3日から4日にかけて，梅雨前線が熊本県南部に停滞し，球磨川の流域では球磨川水系河川整備基本方針の計画降雨量262mm/12hを超える降雨量があり，特に人吉市を含む球磨川流域は，昭和40年7月洪水，昭和57年7月洪水を上回る雨量を観測し，観測史上最大を記録する事態となった．河口から約13kmに位置する横石観測所（八代市）から，約69kmに位置する一武観測所（錦町）に至る各観測所において計画高水位を超過する水位を記録した．（図-1，2）

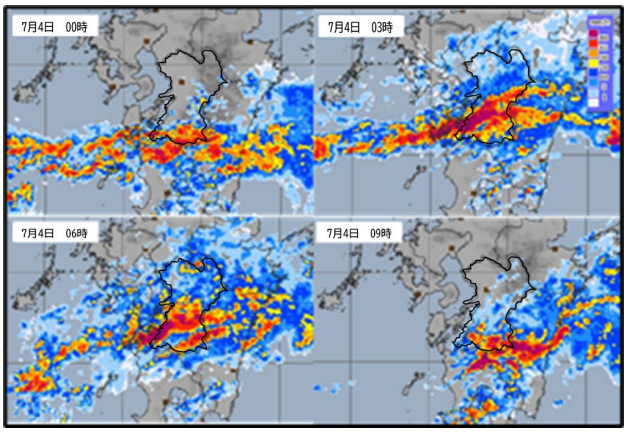


図-1　レーダー雨量（R2.7.4　0時～9時）

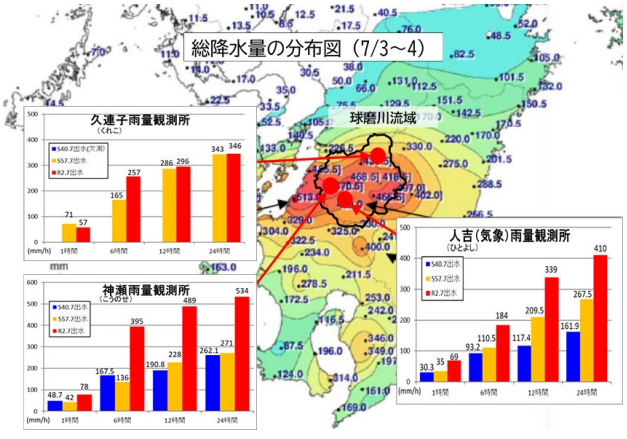


図-2　球磨川流域の降雨状況（R2.7.3～4）

⑶ 被災状況

豪雨により河川氾濫の浸水被害や洪水が発生し，人吉市街地を中心として家屋の浸水被害が生じた．球磨川沿川では，道路や護岸の流失，JR肥薩線の軌道損壊が多発し，交通ネットワークに甚大な被害を及ぼし，国道3号や国道219号では，通行止め区間が発生した．球磨川を渡河する道路橋についても，上部工が流失するなど甚大な被害をもたらした．

３．工事概要

一般県道遠原渡線相良橋は熊本県球磨郡球磨村大字渡乙に位置し，一級河川球磨川を渡河する橋長132.0m，有効幅員5.5mの橋梁であったが，令和2年7月豪雨災害により流失した．そのため，国による権限代行で現橋位置の上流側約30mに新たな相良橋の架替えを行ったものである．（写真-1，2，図-3）



写真-1　旧相良橋

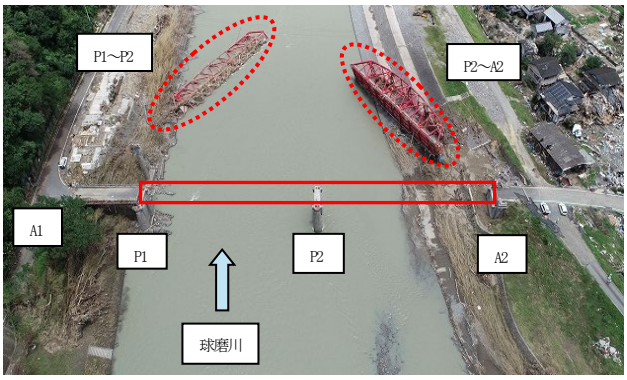


写真-2　旧相良橋被災状況

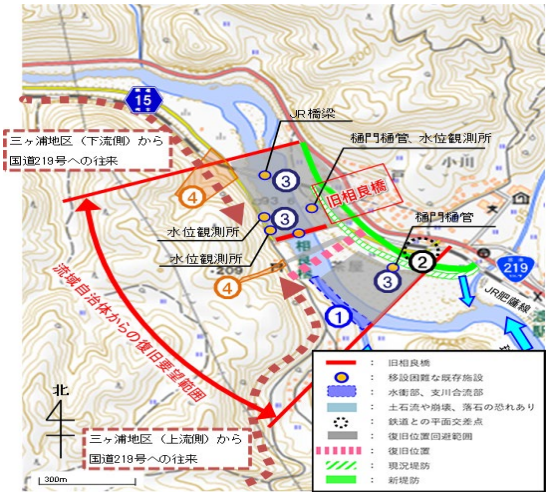


図-3　復旧位置

４．架設手順

新しい相良橋は球磨川右岸側A2橋台から左岸側A1橋台に向かって架設を行った．A2橋台からP1橋脚の間にはベント設備を5基（B1～B5ベント）設置し，A2橋台からB4ベントまではトラッククレーンベント工法，それ以降はトラベラークレーン工法にて架設を行った．P1橋脚からA1橋台間の架設では張出し量増大による桁の転倒を防止するため，河川内に杭基礎構造のB6ベントを設置した．（図-4，写真-3，4，5）

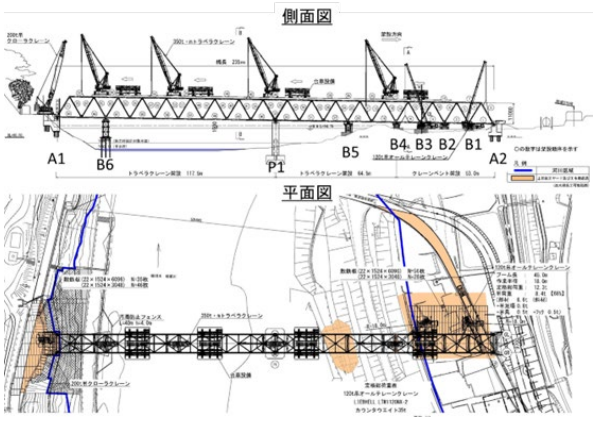


図-4　架設要領



写真-3　トラッククレーンベント架設



写真-4　トラベラークレーン架設



写真-5　架設完了

５. 最適なＤＸの活用

(1) 三次元モデルによる部材干渉の検証

特殊橋に位置付けられるトラス橋は, 他の単純橋とは異なり橋桁を構成する部材が非常に多い. (図-5)

これら多数の部材を二次元図面のみで整合性を確認し, 部材同士の取り合いや干渉を確認することは容易ではない. そこで, 二次元図面では整合確認が困難な箇所を対象に三次元モデルを作成し, 部材同士の取り合いや干渉を視覚的に確認した. 三次元モデルを用いることで従来は複数の図面に分かれていた部材同士の取り合いを一つのモデル上で重ね合わせて確認することが可能となった.

本工事でも下図の様に鋼部材と排水装置の干渉を確認できたことにより, 桁製作や施工段階における手戻りの抑制につながり時間的・経済的低減に寄与した.
(図-6, 7)

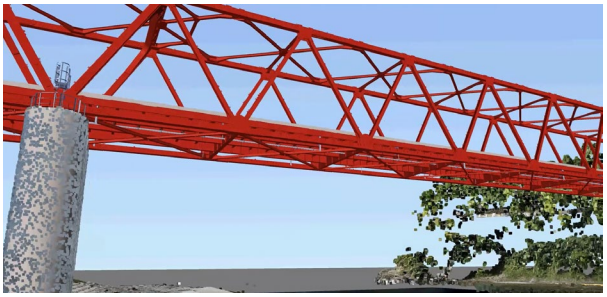


図-5　多部材で構成されるトラス橋の三次元モデル

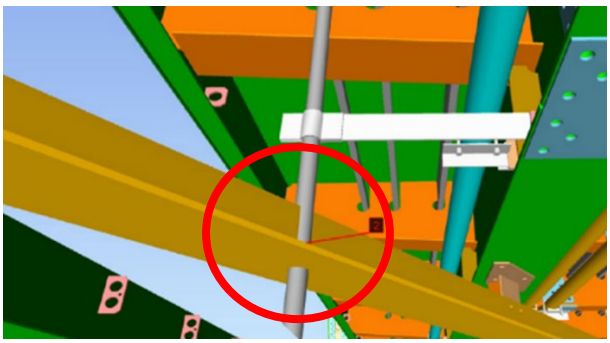


図-6 下横構とスラブドレーンの干渉確認

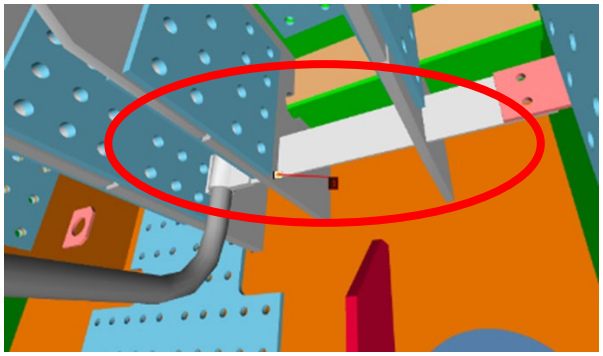


図-7　縦リブと排水支持材の干渉確認

(2) VR活用による仮想空間での組立検討

トラス桁の支点部構造は部材が輻輳しており, 複数の部材を異なる角度で接合することから複雑な形状を有している. そのため, 工場製作時における施工性の確認や組立・溶接作業に伴うリスクの事前把握が重要となる. 仮に, 工場製作段階で設計担当者と桁製作担当者の間で部材形状や組立・溶接の順番に相違があった場合には施工の手戻りが発生してしまう. そこで VR（仮想現実）技術を活用し, 仮想空間上に製作桁の三次元モデルを構築した.

この仮想空間を活用することで遠隔地に所在する設計担当者や桁製作担当者等の関係者が同一の空間をリアルタイムに共有し, 製作時の作業性および組立・溶接手順の詳細な検討が可能となる. 本検討では, 組立・溶接する部材が単純橋とは異なり輻輳することから組立順の検討が非常に重要となった. 誤った順で組立てしまった場合, 次の溶接が狭小となることやはめ込みができないといった不測の事態が想定される. そのため, 関係担当者が三次元モデルの同一仮想空間に入り同じ視点を共有して組立順の検討を行った. 三次元モデルは実寸大になっており, 実際の作業スペースや溶接姿勢などを想定しながら検討することで, 従来の図面比較では把握が困難であった不整合や手戻り要因の抽出が可能となり, 情報共有の迅速化と合意形成の精度向上を図ることが可能となった.
(図-8, 9)

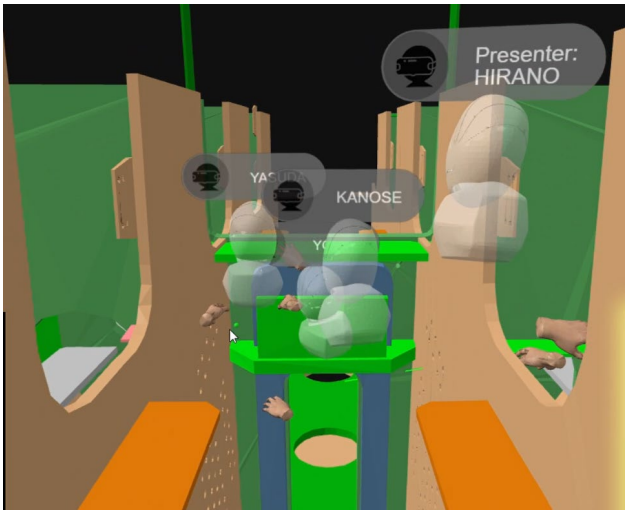


図-8　担当者による三次元モデル内での確認

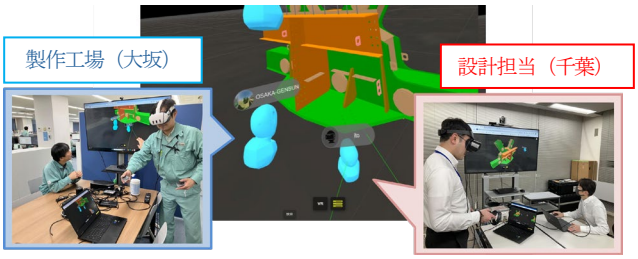


図-9　仮想空間内の確認状況

⑶ 三次元モデルを用いた搬入経路の事前検証

本災害復旧事業は自治体からの権限代行事業であることから，作業ヤードはもちろんのこと搬入経路も県道や市道となることが多い．本工事でも，A2 側の作業ヤードは村道に隣接しており搬入経路も村道であることから幅員が狭く搬入経路の確実な検討が必要であった．設計当時の図面上に記した軌跡だけでは，現地の正確な既存構造物や樹木との離隔確認が不十分であることから，現地の既存構造物を含めた点群データを取得し，三次元モデル上で走行シミュレーションを実施した．この三次元モデルを活用したことで，図面上だけでは把握しきれなかった照明柱と親柱の既存構造物が支障となり，搬入できないことが判明した．支障物を事前に確認できたことにより荷台の後輪を操作できる舵切トレーラーに変更し，現場施工時の手戻りを回避することができた．

（図-10，11）

仮に，実際の搬入時に既設構造物が干渉し搬入できないことが判明していた場合は，搬入資材やトレーラーの規格，搬入経路の変更といった追加検討に時間を要し工事に遅延が生じるところであった．三次元モデルによる検証を実施していたことで手戻りを回避することができ工程管理に寄与することができた．

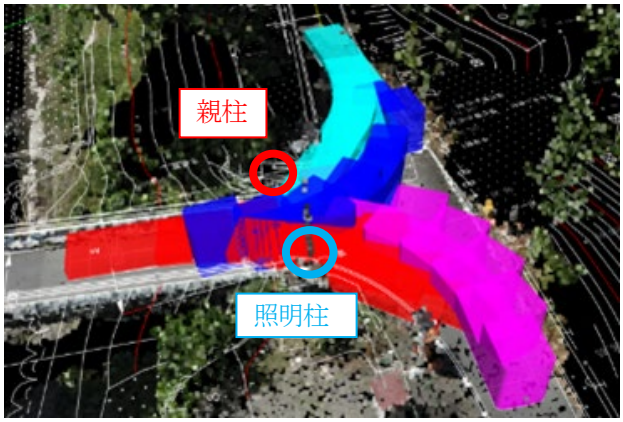


図-10　三次元点群データによる搬入経路確認

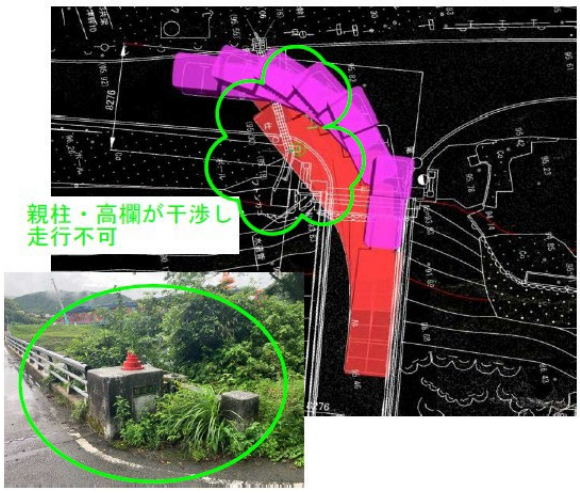


図-11　左折進入 親柱に干渉

⑷ 三次元モデルによる架設計画の検討

災害復旧事業である本工事のトラス橋架設は早期復旧が望まれることから，出水期中でも架設が可能となるトラベラークレーンが採用された（B4-A1 間）．単純橋の架設によく採用される地組された桁をそのまま架設するクレーンベント工法や送り出し工法とは違い，異なる複数の部材を一つずつ架設していくことから，施工時における施工トラブルの防止および安全確保のために，複雑な架設計画や手順を関係者全員が正確に把握する必要がある．

そこで，架設計画，手順の正確な検討のため仮設設備および建設機械を加えた橋梁の三次元モデルを作成し，これらに作業ヤードの点群データを統合した，実際の現場状況を三次元空間上に再現した．さらにこの統合モデルを用いて時間軸を考慮した架設シミュレーションを実施した．その結果，下図の様に当初設計時に想定していたクレーンのブーム長では橋門構に干渉することが判明したことから施工前にブーム長の変更を行うことが可能となった．　現場着手し，クレーンを設置した段階で，この干渉が判明していた場合は，規格変更に伴う追加の検討に時間を要し工事に遅れが生じる事態となっていた．

（図-12，13）

架設手順の立体的な可視化により，架設工程における課題や不安全要素の抽出が可能となった．また，作業員の作業内容に対する理解の共有が促進され，安全性の向上および施工トラブルの未然防止に有効であることが示された．

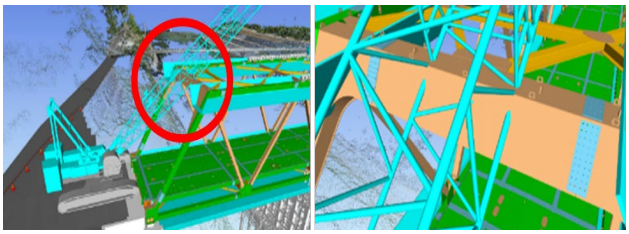


図-12　統合モデルにより干渉を確認

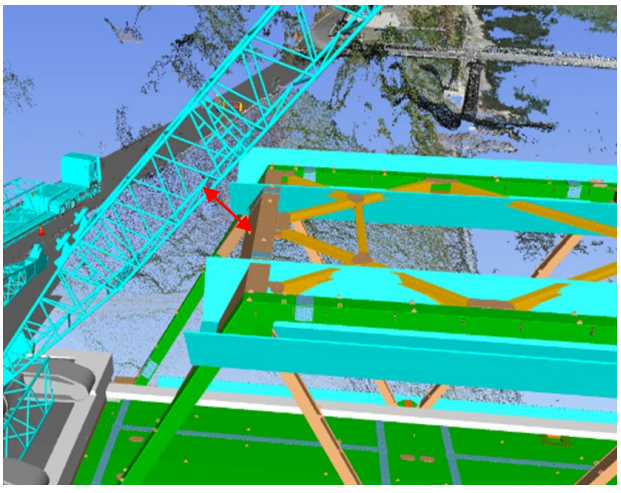


図-13　ブーム長の変更により干渉回避

⑸ 広報での活用

本工事は，令和 2 年 7 月豪雨による球磨川氾濫により流出した橋梁の災害復旧事業であり，社会的重要性が極めて高い．そのため，地域住民および工事関係者に対して丁寧かつ分かりやすい事業概要の説明が求められた．そこで，地域住民および関係機関を対象とした現場見学会を複数回開催し，三次元モデルを用いて作成した架設ステップや完成イメージ動画を活用した．三次元モデルによる視覚的な説明により，専門知識を有しない見学者に対しても工事概要を直感的に伝えることが可能となった．

また，本工事は新技術である「ご安全にモニター」を活用した．これまでの，現場見学会は紙資料やパンフレットによる説明になっていたが，本技術は高輝度液晶ディスプレイとなっていることから，三次元モデルで作成した架設ステップ動画や完成イメージ動画を再生することが可能であった．それにより，地域住民および関係者の事業に対する理解促進と信頼の向上に貢献した．

（写真-6, 7, 図-14, 15）



写真-6　現場見学会の様子



写真-7　ご安全にモニター



図-14　完成イメージ動画

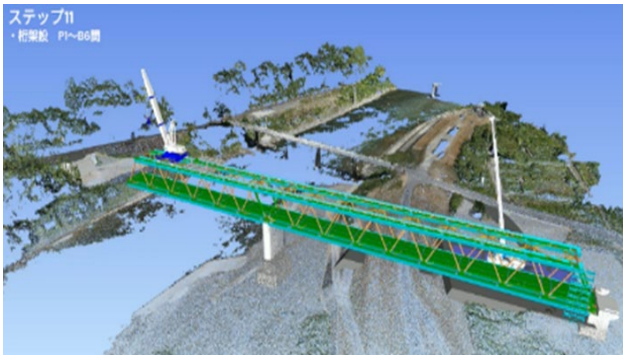


図-15　架設ステップ動画

6．おわりに

令和2年7月豪雨により橋梁の上部工が流出した相良橋を国の権限代行で復旧工事を推進してきた．災害復旧事業であることから地域住民に寄り添い早期復旧が求められるため，設計，施工の誤りによる工事の遅延は許されなかった．そのことからも，本工事で設計照査から架設計画，広報等広範囲に渡り活用してきたDXは，工事の遅延となり得るリスクを最大限抑制することが可能となり，工程，安全，品質管理に大いに寄与したことから非常に有益で最適な取組だったと実感した．

令和2年7月豪雨で被災した球磨川を渡河する橋梁10橋について橋梁復旧に向け「球磨川橋梁復旧技術検討会」を設置し，議論を重ね，復旧検討を進めてきた．

工事施工については，早期復旧を目指しこれまでに５橋を完成させることができた．他の橋梁も河川内での施工となることから非出水期施工など制約条件もあるが，一刻も早い復旧を目指し，工事を推進していく．

地域住民をはじめ，これまで検討会に参加いただいた学識経験者，国土交通省国土技術政策総合研究所の皆様，熊本県並びに流域市町村等，設計・施工業者等の関係者の皆さまに深く謝意を表する．

当事務所としても，令和2年7月豪雨災害からの一日も早い復旧・復興を目指して引き続き事業の加速化を進めていく．

長崎港におけるケーソン製作ヤードの検討

・有田　孔人[1]・松尾　優花[1]・川口　大稀[1]

[1]九州地方整備局　長崎港湾・空港整備事務所　保全課　（〒850-0961長崎県長崎市小ヶ倉町3丁目76-72）

長崎港周辺では連なった山々が海岸線まで迫り，急峻で平坦地の少ない地理的特徴が形成されていることから，平地が少なくケーソン製作に適した用地が限られている．そこで，本検討では地形的制約のある長崎港において，施工性の観点から最適な製作ヤードを選定するとともに，選定したヤードについて詳細な配置計画の検討を行った．配置計画検討では，UAVによる3次元点群測量により周辺状況を忠実に再現したBIM/CIMモデルおよびスリットケーソンの複雑な形状を3次元プリンターで再現した模型を活用し，視覚的に分かりやすい検討を行った．

キーワード　スリットケーソン，ケーソン製作，3次元点群測量，BIM/CIM，3次元プリンター

1. はじめに

長崎港は九州西部に位置し，三方を山に囲まれた天然の良港であり，東アジアの各都市に近く地理的に優位であるとともに，背後に豊富な観光資源を有している．一方で16万トン級までの大型クルーズ船に対応可能な岸壁が1バースしかないため，近年のクルーズ船の寄港回数の増加や大型化に伴いバース不足が顕在化しており，経済的な機会損失が生じている．そのため「長崎港松が枝地区旅客船ターミナル整備事業」として，大型クルーズ船に対応した港湾施設の整備を2020年から実施している．本事業の整備に伴い，賑わいの創出による地域の活性化や地域の基幹産業発展に寄与する．現在，岸壁の整備としてケーソンの製作工事を行っている．

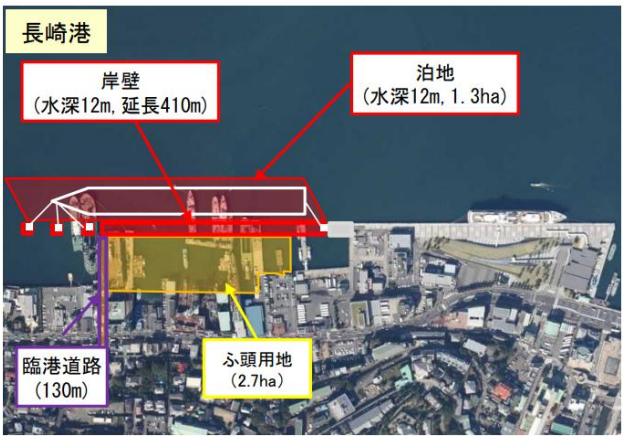


図 - 1　事業概要



図 - 2　事業完成後のイメージ[1)]

本検討では，ケーソンの製作工事着手に先立ち，ケーソン構造や据付までの施工方法を考慮したうえで，ケーソン製作方式および製作ヤードの検討を行った．まず，ケーソン製作方式について整理し，ケーソン据付時の施工性を踏まえた製作ヤードの選定を行った．さらに，選定したヤードについて，BIM/CIMを活用した配置計画等の詳細検討を行った．

2. ケーソン製作ヤードの選定

(1) 検討条件

a) 検討対象のケーソンについて

検討対象のケーソンの形状を図 - 3，4に示す．本事業のケーソンはスリット構造を採用している．ケーソンは標準函と突堤函と取付函の3タイプで構成され標準函の質量は1,660 tとなる．

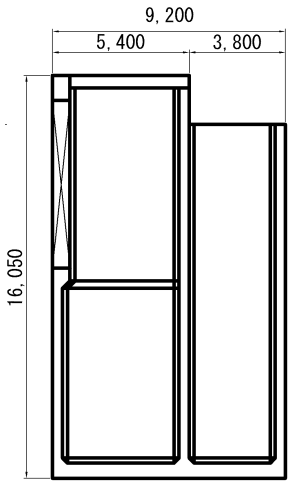


図 - 3　ケーソン断面図

正面図

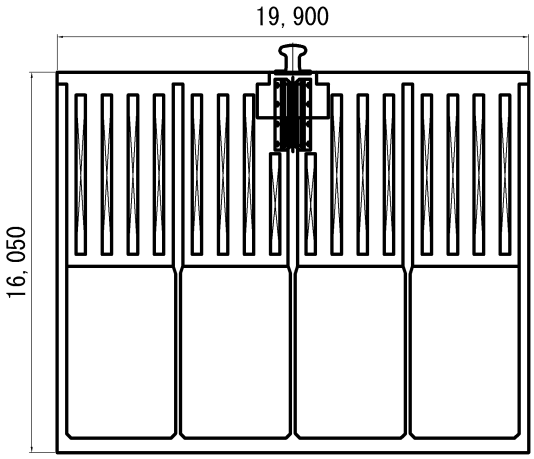


図 - 4　ケーソン正面図

表 - 1　ケーソンの規格

	形状・寸法（B×L×H）	質量
標準函	9.20m×19.90m×16.05m	1,660t
取付函	9.10m×10.80m×16.05m	1,012t

b)製作方式について

製作方式については，ケーソン製作用台船であるフローティングドック（FD）による海上製作と陸上製作により経済比較を実施し，経済性において優位である陸上製作に決定した．

陸上製作の検討にあたってはケーソン据付時の施工性を考慮する必要があり，ケーソン据付時には起重機船を使用した吊り降ろし方式による進水を採用している．起重機船で吊り上げるケーソンの質量は，バラストや止水蓋等を含めて2,000 tを超えることから，3,700t吊の大型起重機船が必要となる[2]．このため大型起重機船の入港可能な水域や作業性等を考慮したヤード地の選定が重要である．



船体寸法	長さ	107m00
	幅	49m00
	深さ	8m00
主巻定格荷重	3,700t	

図 - 5　使用を想定する起重機船【3700t 吊武蔵】[3]

(2) ヤード地の選定

a)選定概要

ケーソン製作用のヤード選定については，大型起重機船の回航回数を減らすため十分なヤード面積を確保すること，大型起重機船での進水が可能であること，仮置きまでの距離が短く，経済的に施工できることが必要である．

そこで，図 - 6に示すケーソン製作が可能な面積を持つ4カ所（瀬戸港地区，神ノ島地区，脇岬港地区，有喜港地区）を候補地として抽出し，大型起重機船による施工可否と，製作したケーソンを施工位置までのえい航に伴う経済性に着目し検討を行った．検討に際しては，Cyber Port（港湾インフラ分野）より，各ヤードの岸壁の断面図等の諸元などの情報を収集した．

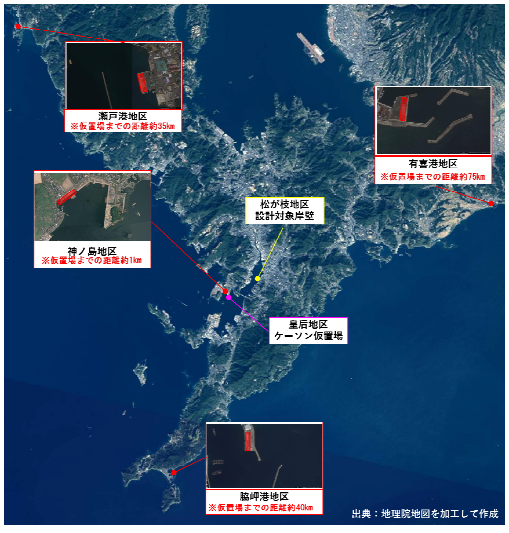


図 - 6　ヤード候補地

b)選定結果

検討にあたっては，3,700t吊の大型起重機船が入港できる可航幅を有するか，ヤード前面の水深は確保できているか，岸壁前面の海域は大型起重機船の作業に支障がない広さを確保できているかなどを確認した．

その結果，神ノ島地区以外は大型起重機船の入港または施工ができないことが確認された．また経済性の観点においても最も評価が高い結果となったため，神ノ島地区をケーソン製作ヤードとして選定した．

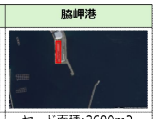
	瀬戸港	神の島	有喜港	脇岬港
位置図				
施工性	・ヤード面積:3600m2 ・ヤード前面水深：-5m ・防波堤が近接しており、起重機船での施工不可	・ヤード面積:5425m2 ・ヤード前面水深：-5m ・起重機船での施工可	・ヤード面積:4650m2 ・ヤード前面水深：-5m ・航路幅が狭く起重機船での施工不可	・ヤード面積:3600m2 ・ヤード前面水深：-5m ・生け簀があるため、起重機船での施工不可
経済性	仮置き場までの曳航費 約110万円/函	仮置き場までの曳航費 約２０万円/函	仮置き場までの曳航費 約220万円/函	仮置き場までの曳航費 約120万円/函
評価	×	○	×	×

表 - 2　ヤードの比較検討

3. 製作ヤード詳細検討

前章において決定した神ノ島地区のケーソン製作ヤードにおいても決して広いヤードではないことから，ケーソンの配置や型枠，足場等の資機材の配置検討が必要である．

本章ではケーソン製作工事におけるヤード内のケーソンの配置について4ケースに大別して検討を行い，施工性，経済性の観点より最適なヤード内の配置を決定する．

(1)　検討条件

a)検討するヤードの状況

検討条件として，神ノ島地区のヤード面積からケーソンを最大6函配置するものとし，施工時に最も過密となる，ケーソンがヤード内に4函仮置きした状態で最後の2函を製作することを想定した検討を行う．

b) 現地踏査

詳細検討に際し，現地踏査を実施した．ヤードの使用可能区域は現地調査結果を踏まえ，156.2 m×37.5 mの範囲とした．ヤード敷地内には架空線はなく，クレーンの揚程など施工上の高さ制限がないこと及び出入口の幅が4.0 m以上あり，工事用車両の通行に支障がないことを確認した．

c) 3次元点群測量

周辺施設状況を正確に反映したBIM/CIMモデルを作成したうえで，ヤード使用時の支障等の有無について確認するため，UAV測量による3次元測量にて実施し，現地の高低差や周辺施設状況等も把握した．3次元点群測量により取得した点群データを図 - 7に示す．

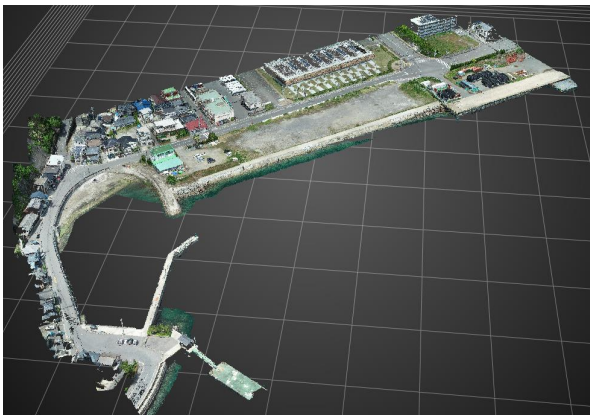


図 - 7　取得した点群データ

d) 資材ヤードについて

資材ヤード規模については，同規模のケーソン製作実績をもつ施工会社へのヒアリングにより必要面積を設定した．設定した鉄筋ヤード・鉄筋加工場の寸法を表 - 3に，資材ヤードのイメージを図 - 8に示す．ステージ足場，外型枠等材料毎に配置し，可能な限り積み重ねて保管する計画とした．なお，足場材については，随時搬出入するものとし，検討対象外とした．

表 - 3　鉄筋ヤード・鉄筋加工場の必要寸法

作業用途	規模
鉄筋ヤード（鉄筋仮置）	25m×10m=250m2
鉄筋加工場（鉄筋加工）	10m×5m=50m2

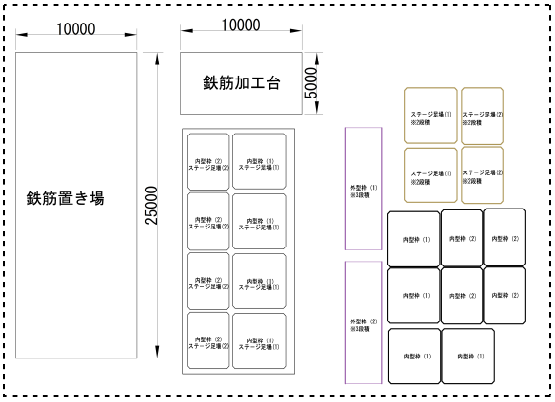


図 - 8　各資材置き場イメージ

e) 足場について

足場幅については，一般的な枠組み足場の幅である1,219 mmに加え，壁つなぎの設置を考慮して足場幅を設定した．なお，2函同時製作時におけるケーソン同士の離隔については，ケーソン吊り上げ時の荷ぶれを想定し，ケーソン同士の離隔を設定した．

f) 函台について

ケーソン製作函台の位置については，足場幅に加え，

安全性の観点から海側の通路幅を確保するため，護岸法線から5.0 mの位置をケーソン設置位置とし，施工上支障がないよう配置した．

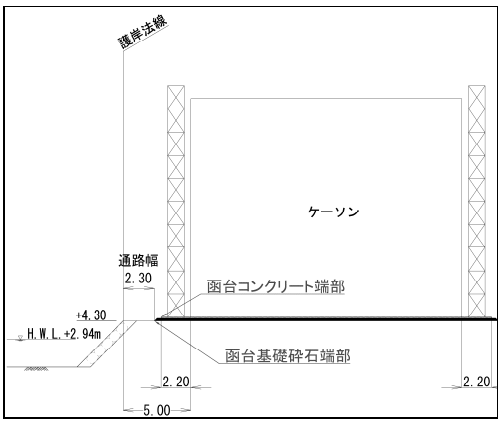


図 - 9　ケーソンヤード断面図

g) 陸上機械について

陸上機械は，港湾請負工事積算基準に準拠し，ケーソン製作時の最大の吊上げ荷重4 t（型枠）に対し，作業半径と実吊荷重を考慮して50tクローラクレーンを選定した．

h) 車両走行通路について

車両走行通路の幅については，想定される車両で最大のトラック(W = 2.5 m)を走行通路上に駐車した状態かつ作業員の休憩所を設置した状態で，鉄筋搬入時に使用が想定される25tラフテレーンクレーン(W = 5.2 m)が通行できるよう2.5 m+2.7 m = 5.2 mに余裕値を含めた7.5 mとした．

なお，車両走行通路は安全性の観点から，緊急用車両の通行に支障が無いよう，資材は置かない条件とした．

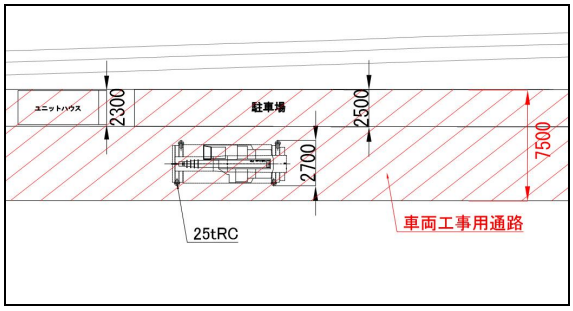


図 - 10　車両通行路について

i) ケーソン製作の向きについて

製作予定のケーソンは図 - 3に示すとおり，遊水(スリット)部と普通ケーソン部で高さが異なっており，ケーソン製作時においては，クレーンを配置する側に堤体高の低い普通ケーソン部を配置する方がクレーンの吊上げ角度を小さくできるため，施工性が良い．しかし，進水時においては起重機船でケーソンを吊り上げるため，ケーソンが異なる向きに設置されている場合，1函毎にワイヤリング作業，吊枠修正作業等の準備作業が発生し，施工性が悪くなる．そのため，ケーソンは同一向きで製作する方針とした．

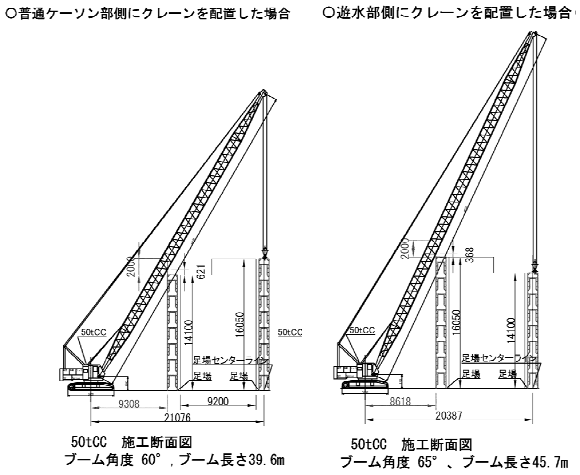


図 - 11　製作時のクレーン配置イメージ

(2)配置案の抽出

ケーソン製作工事は，鉄筋・型枠組立時とコンクリート打設時に大別される．コンクリート打設時は鉄筋・型枠ともに組立状態となるため，比較的資材が少なく，資機材の配置は，あまり問題とならない．そのため，資材ヤードにおいて最も過密となる鉄筋・型枠組立時で検討を行った．本検討では，ケーソン配置方向に応じ，下表の4ケースを抽出し検討する方針とした．

表 - 4　ケーソン配置案

ケース	概要
第1案	護岸沿いに2列縦向きに配置する案
第2案	護岸沿いに2列横向きに配置する案
第3案	護岸沿いに1列横向きに配置する案
第4案	護岸沿いに縦向きに配置し、ヤード両端部から中央に向けて製作する案

(3) BIM/CIMモデルの活用

各配置案の検討に際しては，2次元図面に加え，BIM/CIMモデルを作成し，検討に活用した．作成したモデルを図 - 12～図 - 15に示す．BIM/CIMモデルは，UAVによる3次元点群測量で取得した点群データをもとに作成した地形モデル及び構造物モデルを統合し，BIM/CIMモデルを作成した．モデルには，各配置計画案を踏まえた足場や資機材置き場，クレーンやコンクリートポンプ車などの重機も反映し，各配置計画案の妥当性やメリット及びデメリットを整理した．また，ヤード出入口付近には，電柱や架空線等があり，それら現地制約などをBIM/CIMモデルで可視化することで，ダンプやトレーラーの通行等に支障がないか視覚的に確認を行った．

(4)各配置案について

a)第1案

第 1 案は護岸沿いに 2 列ずつ縦向きに 6 函配置する案である．メリットは，2 函同時製作時の足場の共有面積が大きくなり，経済性に優れる点が挙げられる．また，製作工事においてクレーンが函台上を走行することがないため，函台の損傷リスクが小さい．デメリットは，中央の 2 函製作時に型枠置き場のスペースが十分に確保できないため，ヤード端部の空きスペースからの運搬など施工上の工夫が必要になる点が挙げられる．なお，大型起重機船にて吊り上げる際にはどのケーソンからでも吊り上げ可能で制約はない．

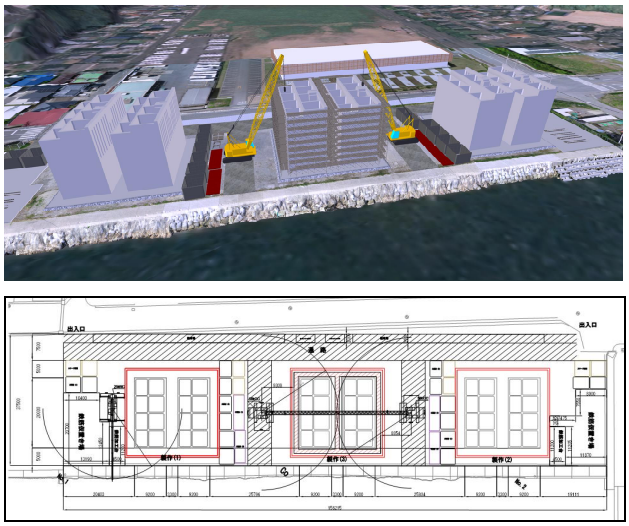


図 - 12　第 1 案の配置計画

b)第2案

第2案は護岸沿いに2列ずつ横向きに6函配置する案である．メリットは，第1案と同様で足場の共有面積の観点から，経済性に優れる点と函台上をクレーンが走行することがないため，函台の損傷リスクが小さい点が挙げられる．一方で第1案と比較し通路が狭くなるため，施工関係者の駐車場や休憩所スペースの確保が難しい点がデメリットである．なお，大型起重機船にて吊り上げる際には，護岸側に配置したケーソンを先行して進水させる必要があり，奥側に製作したケーソンの進水はその後となるため，進水順序に制約が生じ，施工計画の自由度が低下する．



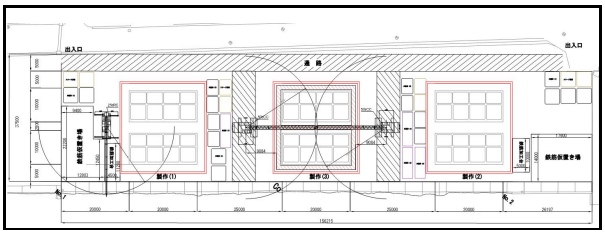
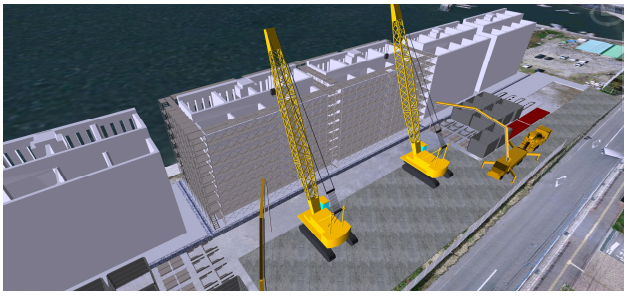


図 - 13　第2案の配置計画

c)第3案

第3案は護岸側に一列で横向きに6函配置する案である．メリットは，他の案同様，函台の損傷リスクが小さい点に加え，ケーソン配置が護岸側1列となるため，搬入・搬出車両の動線を確保しやすく，クレーンの作業半径内に型枠等の資機材のスペースが確保可能となり，施工性に優れる点が挙げられる．デメリットは，他の案と比較して函台製作面積が大きくなる点や足場共有面積が小さい分，第1案と比較すると経済性に劣る点が挙げられる．なお，大型起重機船にて吊り上げる際にはどのケーソンからでも吊り上げ可能で制約はない．



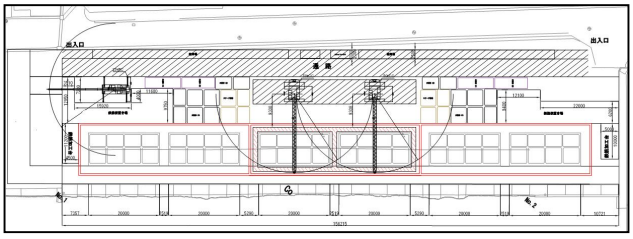


図 - 14　第3案の配置計画

d)第4案

第 4 案はヤード端部から中央に向けて 3 函ずつ製作をしていく案である．メリットは，ヤード中央部を常時資材ヤードとして確保できるため，施工性に優れる点が挙げられる．デメリットは，2 函ずつ同時に製作できるが，足場を共有できない点や 7 函目以降の製作工事の際にクレーンが函台上を走行するため，函台を損傷させるリスクが大きいため函台の補修等が必要となる点が挙げられる．なお，大型起重機船にて吊り上げる際には，中央に製作したケーソンを直接吊り上げることができず，両端のケーソンを先行して進水させる必要があるため，進水順序に制約が生じ，施工計画の自由度が低下する．

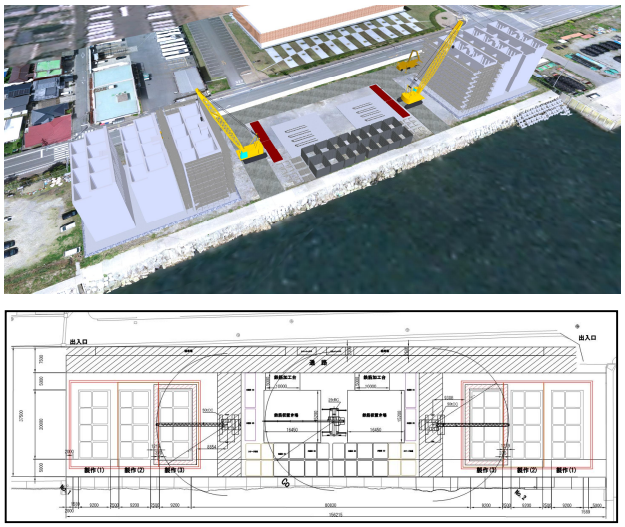


図 - 15　第4案の配置計画

(5)3次元プリンターで作成した模型の活用

本事業で使用するケーソンは標準函，突堤函，取付函の3つの構造に加え，スリット部や曲柱基礎部など複雑な構造となっていることから，特に経験年数の浅い職員にとっては，図面だけでは構造の全体像を理解しにくい場合がある．そこで検討の際に3Dプリンターを用いて1/100縮尺の模型を作成し，BIM/CIMモデルと併用しながら，検討に活用し，配置計画の妥当性を確認した．さらに，各配置案における施工手順や施工性の確認など，2次元図面では把握しづらい施工中のヤード状況についてBIM/CIMモデルおよび3次元プリンター模型により可視化を行った．その結果，視覚的な理解が促進され，所内での打合せや関係者への説明においても高い効果を得ることができた．

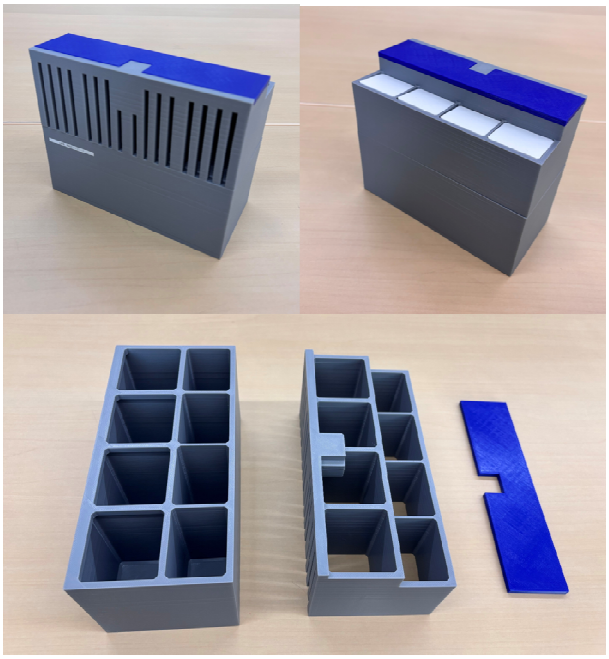


図 - 16　3次元プリンターで作成した模型

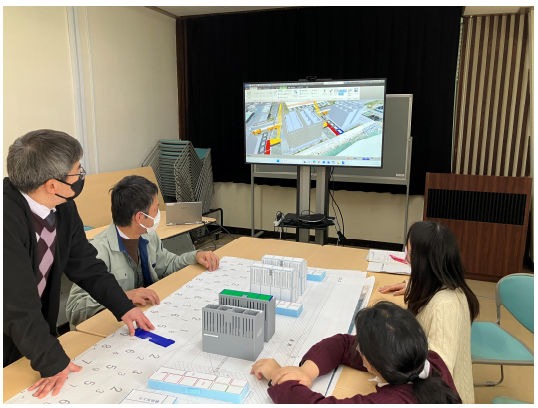


図 - 17　BIM/CIMモデルと模型を活用した検討状況

(6)各配置案の総合比較

前項までの検討を踏まえ，第１案から第４案まで比較検討を行った．施工性の観点では，型枠運搬作業の有無の違いで第3案が最も施工性が良く，続いて第１案，第２案の順で施工性が良い．第４案はクレーンの移動距離が長くなるため，施工性は他案に劣る．一方で経済性の観点では，表 - 5に示すとおり第１案，第２案が優れる．よって，総合的な観点から，最も評価が高い第１案を採用案とした．

		第1案	第2案	第3案	第4案
施工性	資材置場	△（作業半径外に配置）	△（作業半径外に配置，安全通路の確保が難しい）	○（作業半径内に配置）	○（作業半径内に配置）
	足場面積	○（足場面積共有　大）	○（足場面積共有　大）	△（足場面積共有　少）	△（足場面積共有　少）
	函台損傷リスク	○（函台損傷リスク　小）	○（函台損傷リスク　小）	○（函台損傷リスク　小）	△（函台損傷リスク　大）
経済性	工事費（第1案を1としたとき）	1.0	1.0	1.1	1.5
総合評価		◎	△	○	△

表 - 5　配置案の比較検討

4.　まとめ

本検討では，ケーソン製作ヤードの候補地選定から，製作ヤードの詳細検討まで，一連で検討を実施した．今回整理した候補地選定の考え方，ヤード内の資機材の配置の考え方などは，ヤード条件が厳しい他の事業でケーソン製作ヤードを検討する際に参考になると考える．また，BIM/CIMモデルおよび3次元プリンター模型の活用は，限られたヤード条件下での配置計画の精度向上と関係者間の理解促進など，高い効果を得ることができ，今後の工事における施工の円滑化につながることが期待される．

参考文献

1)　長崎県（2025）『長崎港松が枝地区における PPP／PFI 事業の導入検討』
https://www.pref.nagasaki.jp/doc/page-725982.html
2)　港湾請負工事積算基準（令和７年度版）
3)　深田サルベージ建設株式会社ホームページ
http://www.fukasal.co.jp/ship.html

ミューオン観測を用いた溶岩ドームの内部構造把握

岩田　和宙[1]・岡本　徹[1]

[1]九州地方整備局　長崎河川国道事務所　砂防課　（〒855-0866 長崎県島原市南下川尻町7-4）

雲仙・普賢岳では1990年からの活発な噴火活動により溶岩ドームが形成され，1991年に大規模な火砕流が発生した．現在の溶岩ドームは幅約500m，長さ約600mにおよぶ岩塊であり，1997年から2025年までの約28年間で約1.53mの変位が観測されており，水無川下流域へ近づく傾向を示している．この溶岩ドームでは，内部における塊状溶岩の緩みの激しい範囲で崩壊が起こる可能性があると懸念されており，溶岩ドーム周辺は災害対策基本法に基づく警戒区域に指定されている．このため，光波測距観測等によるドーム表面の変位観測に加え，安全かつ長期的な内部構造の把握を行う必要がある．しかし，内部構造把握は，当時の記録による推定や，航空機を使用した空中電磁探査のみで，限定的な把握にとどまっている．そこで，内部構造把握について新たな手法の検討を行ったので報告する．

キーワード　火山砂防，溶岩ドーム，内部観測，宇宙線，ミューオン

1. 雲仙・普賢岳の溶岩ドームについて

(1) 溶岩ドームの形成過程

雲仙・普賢岳は，1990年11月，198年ぶりに噴火し，約5年半に及んだ活発な噴火活動により，火砕流や土石流(**図-1**)が地域に甚大な影響を及ぼした．(以下，この噴火をここでは「平成噴火」という)

雲仙・普賢岳は，粘性が高いデイサイト質の溶岩であることが特徴である．平成噴火においては，これらの粘性の高い溶岩が流れずに，噴出口から舌状に押し出されながら盛り上がる「溶岩ローブ」が形成された．活発な噴火活動により，13個の溶岩ローブが順次形成と崩壊を繰り返す[1]ことで，今も現存する「溶岩ドーム」が形成された．なお，平成噴火では約2億㎥の溶岩が噴出[2]したと推定されているが，約1億㎥の溶岩ドームが1996年の噴火活動停止時とほぼ変わらぬ姿で現存している．



図-1 火砕流・土石流による被害を受ける水無川流域

(2)現在の溶岩ドームにおける懸念

現在の溶岩ドームの西側斜面には，主に11個目の溶岩ローブ(以下，「第11ローブ」という)が，幅約500m，長さ約600m，深さ約200mに及ぶ岩塊として現存しており，光波測距観測を開始した1997年から2025年までの約28年間で，約1.53mの変位を観測[3]している．この第11ローブを中心とした岩塊は，35°以上の急勾配を呈しており，表層には比較的連続性のあるクラックも認められており，潜在的な崩壊のリスクが懸念されている．(**図-2**)

このため，2021年3月に直轄砂防事業は完了したものの，現在も直轄砂防管理として溶岩ドーム監視や砂防設備の維持管理を継続している．今後も安全な管理を継続するためには，遠隔からの高精度な変位観測や内部構造把握など，高度な観測技術の活用が重要となっている．

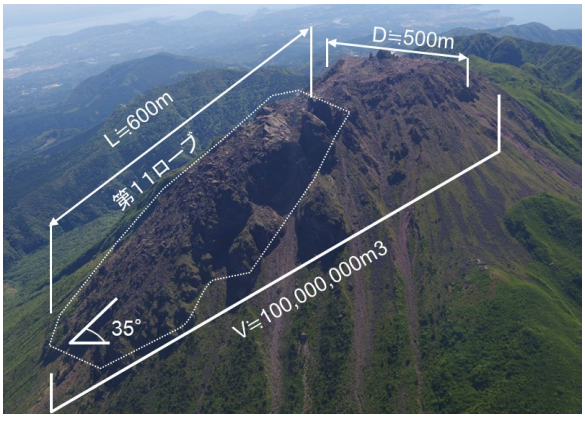


図-2 溶岩ドーム(概ね北側より望む)　2026年5月撮影

2. 溶岩ドームの内部構造把握の課題

(1) これまでの委員会での検討状況

2011年から2012年にかけて「雲仙普賢岳溶岩ドーム崩落に関する危険度評価検討委員会」及び「雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会」が開催された．これらの委員会において，崩壊の危険度や崩壊時の影響範囲等について検討を行い，溶岩ドーム崩壊時に水無川下流域(島原市安中地区等)に被害発生の可能性があることが示された．

しかし，溶岩ドーム崩壊が火山学や地球物理学からも稀な現象であり，学術的知見が少ないことに加え，現存する溶岩ドームの詳細な地質及び内部構造が不明であることから，変位の原因や詳細な崩壊メカニズムが不明確な状況である．そのため，現在も，溶岩ドームの崩落の危険性が残っているとして，災害対策基本法第63条に基づく「警戒区域」が設定(**図-3**)されているが，平成噴火終息時の設定範囲から大きな見直しがされていない状況である．

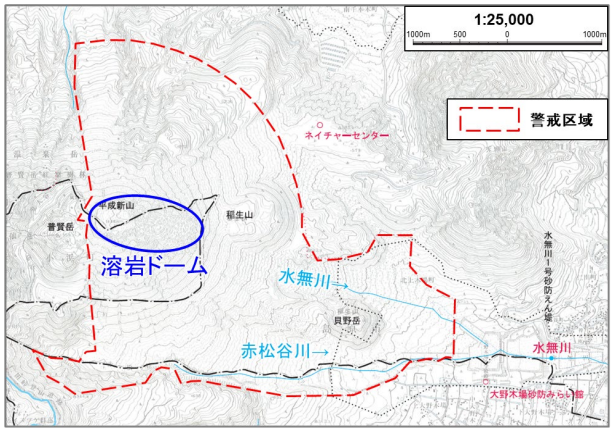


図-3 現在の「警戒区域」の設定範囲(2026年3月31日設定)

(2) 内部構造を把握するための課題

これまでも，内部構造を把握するため，溶岩ドームに関する当時の記録や知見等を踏まえて様々な検討が行われてきた．

2011年3月の検討成果においては，噴火活動中に溶岩ドームの形成過程を記録した陸上自衛隊の推移写景図(横断スケッチ)や，現東京大学名誉教授の中田節也氏が作成した観察スケッチに加え，当時の空撮写真等を基に，13個の溶岩ローブの形成過程を可視化し，推定的な内部構造図(**図-4**)を作成したが，変位要因や地質特性を特定できる結果は得られなかった．

変位要因や崩壊メカニズムなどを特定するには，ボーリングなどによる直接的な調査を行えば，特定できる可能性が高いが，それには課題がある．

その主な課題は，「警戒区域」が現在も設定(**図-3**)されおり，立入が制限されていることである．

また，溶岩ドーム部は，今もなお数十メートルに及ぶ亀裂の入った岩塊(**図-5**)が多数あり，ボーリング資機材等の運搬・搬入は現実的ではない状況である．

これらのことから，これまでも実施している，光波測距等による溶岩ドーム表面の観測に加え，安全面も考慮した長期的な内部観測を行う必要がある．

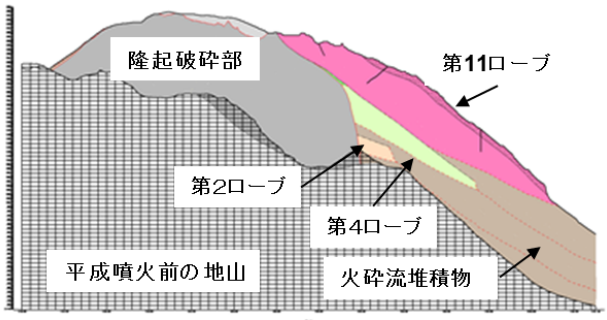


図-4 推定内部構造図(2011年の検討成果例)



図-5 亀裂が多数ある岩塊(赤枠内に調査作業員)

3．ミューオン観測を用いた内部構造把握

(1) 内部構造把握手法の決定

内部構造の把握手法について，安全かつ非破壊方式で面的な内部構造の観測が可能である手法を選定した．整理の結果，有力な手法として，空中電磁探査とミューオン観測の2案に候補を絞った．

空中電磁探査は，2014年などにも実施している．この手法は，地盤の含水比等の情報が推定可能ではあるが，溶岩ローブの境界や空隙などの詳細な構造の推定は困難である．また，観測にあたっては，航空機等の飛行が必要となるため，夜間の観測や連続的な観測が困難である．

一方，ミューオン観測については，宇宙から降り注いでいる素粒子「ミューオン」の個数から物体の密度が推定可能である．また，計測機器を常設しておけば連続的観測が可能であり，昼夜や天候を問わない手法である．

以上のことから，ミューオン観測を採用することとした．

(2) ミューオンとは

ミューオンとは，宇宙線が地球に入り，地球の大気中で生成される素粒子の一つであり，地表には1秒間に1㎡あたり約100個程度が常時あらゆる方向から降り注いでいる．ミューオンは透過力が高く，数百m～数km規模の物体を通過することができるが，物体の密度に応じて減衰する性質を持つ．このため，透過してきたミューオンの数を観測することで，対象物体内部の密度分布を推定することが可能である．

ミューオン観測は，これらの性質を利用して構造物等の密度を求める内部透視技術[4)5)6)]（**図-6**）であり，世界でもピラミッドの内部構造や火山の火道（マグマの通り道）の把握等で使用されている．

なお，このミューオン観測は，病院等で行うX線レントゲン写真と原理はほぼ同じである．

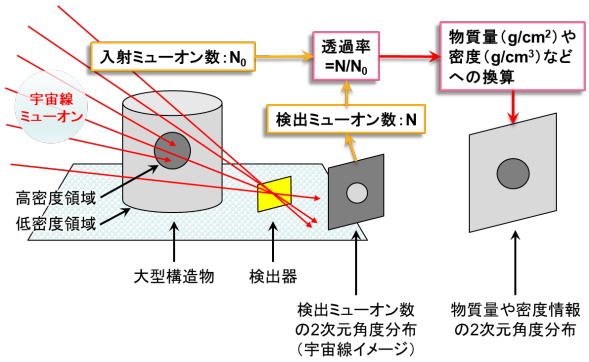


図-6　ミューオン観測のイメージ

(3) 観測箇所・観測期間

観測箇所は，3か所（**図-7**）の候補を考慮したが，警戒区域の外側であること，溶岩ドームとの間で遮蔽物がないこと，アクセス性，溶岩ドームとの直線距離等を総合的に判断し，図中の候補箇所③から赤矢印の方向とした．

観測期間は，2024年4月1日～同年10月25日とし，観測期間中は定期メンテナンスのバッテリー交換時を除き，24時間常時観測を行った．

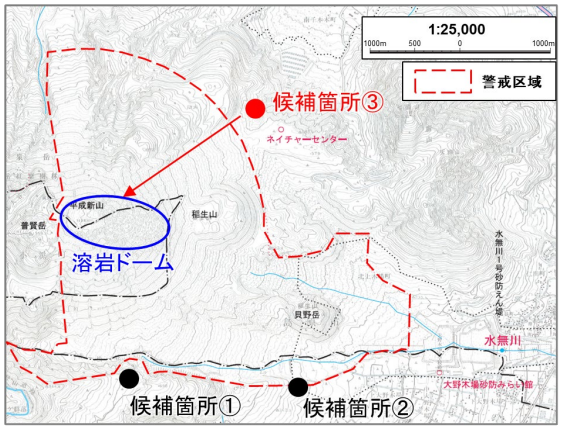


図-7　観測箇所・観測方向

(4) ミューオン観測器

ミューオン観測器は，6 枚のMWPC（荷電粒子検出器：Multi Wire Proportional Chamber の略），データ取得装置及び電気制御装置，数枚の鉛吸収板からなる（**図-8**）．MWPC は2 枚の基板とその間に格子状にワイヤーが組まれた構造となっており，中に混合ガス(Ar 80%，CO2 20%)が充填されている．また，ワイヤーに高電圧を加えることで，その基板間に高電場を発生させている．ミューオンが通過するとAr 分子がイオン化され，それにより生じた電子がワイヤーに寄ってくると電場からエネルギーをもらって加速する．加速した電子は他のガス分子を電離し，さらに多くの電子を発生させる．MWPCはこのような過程を繰り返して電子を増幅させ，通過したミューオンを電子パルスとして取り出している[5)]．

この仕組みの観測器の設置（**図-9**）を行い，観測期間中において，データの回収及びメンテナンスを2週間に1回程度の頻度で実施した．

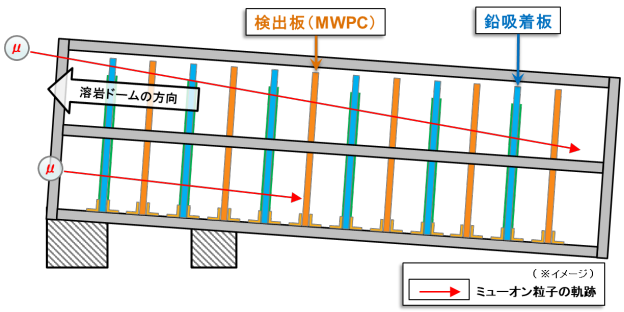


図-8　ミューオン観測器設置イメージ図

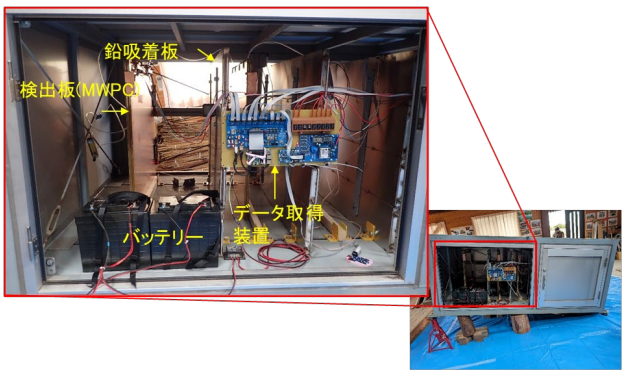


図-9　ミューオン観測器の設置状況

(5) 観測結果の解析手法

今回の観測では，前述したミューオン粒子の透過による電気的な出力の解析によりミューオン粒子の個数を算出し，山体の密度を割り出している．

以下にその手順を示す．

a) 1次解析

観測方向に対し，より有効な粒子（直進性の強い＝エネルギー量の高い粒子，図中青点）による出力を抽出し，不確実なもの（直進性が弱い＝エネルギー量が低い粒子，

図中赤点)を除外する(**図-10**).

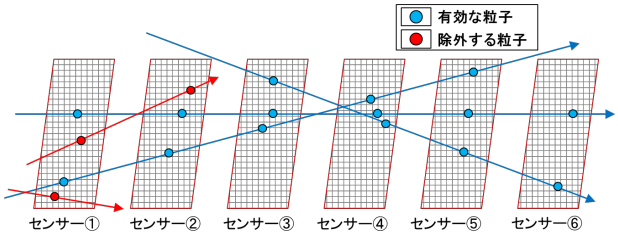


図-10　センサーにおける１次解析イメージ

b) 2次解析

1次解析で抽出されたミューオンの個数に基づき，ミューオンが山体を通過する際の減衰量を表す指標である「密度長」(密度長 ＝ 密度 × 透過長)を算出する．密度長は，ミューオン観測器により直接得られる量であり，ミューオンが通過した物質量に対応する指標である．

この密度長を対象物の密度に変換するために透過長(通過した物体の長さ)が必要となるため，観測器と溶岩ドームとの位置関係から透過長を算出する(**図-11**)．なお，透過長の計算に当たっては，「令和4年度雲仙岳航空レーザー測量業務」成果を使用した．

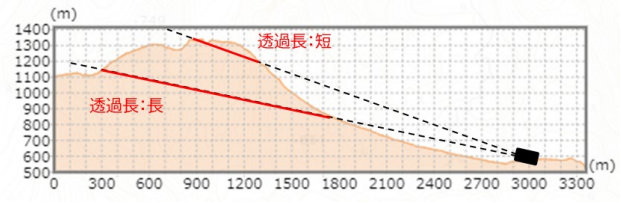


図-11　透過長の概念図

c) 3次解析

密度長を透過長で割り，観測メッシュごとの密度を算出し，密度分布図(**図-12**)を作成する．

図中の色は密度の大小を示しており，黄色に近いほど高密度，青色に近いほど低密度を表す．

なお，1メッシュは約24mに対応しており，観測結果は空間的に平均化された値である．

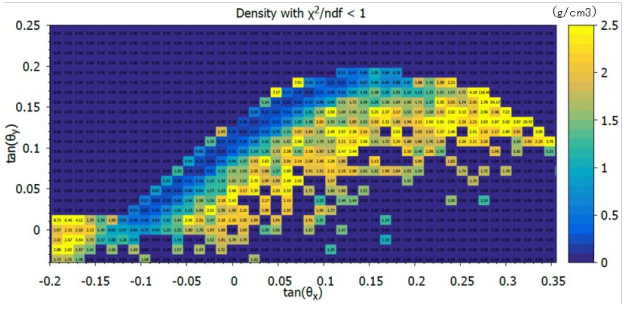


図-12　３次解析結果による密度分布図

4. 解析結果の考察

密度分布図(**図-13**)によると，山体内部には密度の異なる領域が明瞭に分布している．特に，向かって左側の稜線(ピンク実線)下方においては，密度0.2～0.7g/cm^{3}程度の低密度領域が連続的に分布している．さらに，下方(赤破線より下方)では密度2.0～2.6g/cm^{3}程度の高密度領域が認められる．一方，向かって右側の稜線付近では，地表面付近まで比較的高密度な領域が広く分布している．これらより，低密度領域と高密度領域の境界(**図-13**の赤破線)は密度が急変する境界面であると確認される．

また，1メッシュが約24mであることから，低密度領域は溶岩ドーム表面から約70～100mの範囲に対応し，高密度領域は約150～200mの深さに位置すると推定される．これらの分布は，(**図-14**)の地表写真および(**図-15**)に示す既往の内部構造推定結果と比較すると，左側斜面における溶岩ドームの広がりと概ね一致している．

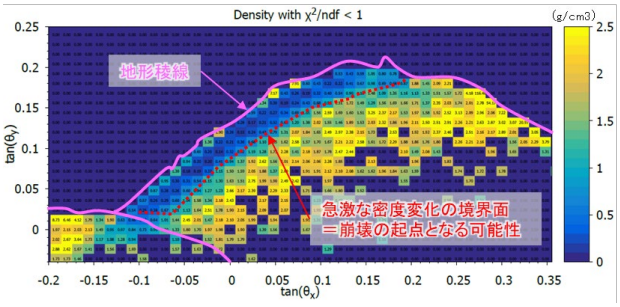


図-13　密度分布図に地形稜線等を記載



図-14　解析範囲と概ね同じ画角の写真

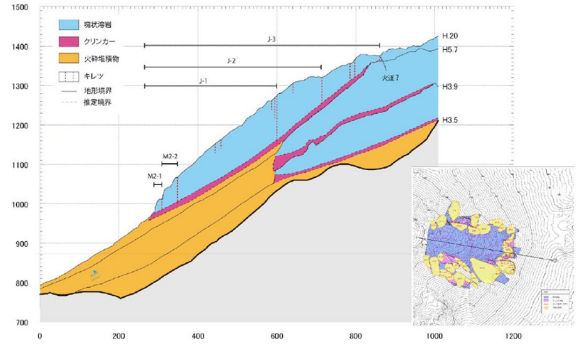


図-15　既往の検討結果における溶岩ドームの推定内部構造

以上のことから，低密度領域は溶岩ドーム表層の塊状溶岩に対応し，表面に発達した多数の亀裂や岩塊間の空隙に起因して，見かけの密度が低下している可能性が高い．一方，高密度領域はより深部に位置する溶岩ローブや地山付近の構造に対応し，比較的緻密な岩体で構成されていると考えられる．

これらより，低密度領域と高密度領域の境界面は，物性の異なる構造の境界に相当する可能性がある．このような境界面は，力学的に弱部となる可能性があり，降雨による間隙水圧の上昇や地震動の影響を受けた場合に，すべり面として機能することで，溶岩ドーム崩壊の起点となる可能性がある．

以上より，本観測により得られた密度分布は，既往の内部構造推定結果と概ね整合するとともに，溶岩ドーム内部の構造的不均質性を示すものであり，溶岩ドームの安定性評価において重要な知見を与えるものである．特に，崩壊の起点となり得る弱部の把握は，将来的な崩壊規模の評価や警戒区域の設定・見直しを検討する上で有用な基礎資料になると考えられる．

5. まとめ

本研究では，ミューオン観測を用いて，警戒区域外から溶岩ドーム内部の密度分布を把握し，内部構造を非破壊で可視化する手法の適用性を検討した．その結果，山体内部には密度の異なる領域が存在し，表層付近に低密度領域，その下方に高密度領域が分布する構造が確認された．

これらの結果は，既往の内部構造推定結果と概ね整合しており，溶岩ドーム内部における構造的不均質性を示すものである．特に，密度が急変する境界は物性の異なる構造の境界に相当し，力学的に弱部となる可能性があることから，溶岩ドームの変形や崩壊の起点となる重要な構造であると考えられる．本研究は，非破壊で広範囲の内部構造を面的かつ定量的に把握した点で新たな知見である．

一方で，本研究の結果のみから，溶岩ドームの変位要因，詳細な崩壊メカニズムおよび崩壊規模を断定するには至っていない．また，本手法は一定期間におけるミューオンの積算観測により密度分布を推定するものであり，溶岩ドームの変位や挙動をリアルタイムで直接観測するものではない．したがって，変位観測や動態監視については，従来の溶岩ドーム表面の変位観測手法と併用することが重要である．なお，他地域や他事業への適用にあたっては，観測対象の規模や地形条件によって求められる精度や適用性が異なることから，装置の設置条件や観測対象の規模，安全性，運用性およびコスト等を踏まえ，他の観測手法との比較を含めた総合的な検討が必要である．

今後は，三次元的な密度把握のための多方向によるミューオン観測の実施や，他の観測手法との組み合わせによる複合的な解析を行うことで，高精度な内部構造の把握が求められる．

ミューオン観測は，遠方から安全に広範囲の内部構造を把握できる非破壊手法であり，溶岩ドームの安定性評価や崩壊規模の推定において有効な手段となる可能性が高い．また，直接的な調査と比較して，資機材の運搬や現地作業を必要とせず，警戒区域外から継続的な観測が可能であることから，安全性の向上に加え，監視・観測に要する負担やコストの軽減に寄与する技術として期待される．今後は，継続的な観測データの蓄積により，溶岩ドームの変位要因の解明を進めることで，地震時や豪雨時における崩壊リスク評価の高度化に寄与することが期待される。また，これらの知見は警戒区域の設定・見直しや避難警戒体制の検討に活用できる可能性があり，地域における防災対策の高度化に資するものと考えられる．

今後も溶岩ドームに関する観測・解析技術の向上を図り，危険度評価の高度化を通じて，警戒区域の設定・見直しに関する検討や警戒避難体制の強化に資する基礎資料の充実に向けて，関係機関と連携して取り組んでいく．

参考文献

1) 中田節也(1996)：溶岩ドーム噴火の特徴と普賢岳ドームの成長モデル(地質学論集46)
2) 長岡，熊木，千葉(1996)：雲仙普賢岳噴火の溶岩噴出率計測と総噴出量(月刊地球　号外No.15)
3) 雲仙砂防管理センター(2026)：令和７年度の溶岩ドーム観測結果について(令和７年度雲仙岳火山防災協議会資料)
4) 田中宏幸・大城道則(2017)：ミュオグラフィ ピラミッドの謎を解く21世紀の鍵
5) Overview of muographers, Hiroyuki K. M.Tanaka and László Oláh, 2019
6) 宮本ら（2021），ミュオグラフィを活用した内部構造の観測, NEC 技報／Vol.74 No.1／安全・安心・公平・効率を提供する社会インフラ特集

官庁営繕事業における施工段階のBIM活用について

髙崎　祐輔[1]・石原　光男[1]・河野　生歩[2]

[1]九州地方整備局　営繕部　保全指導・監督室　（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

[2]九州地方整備局　営繕部　技術・評価課　（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

国土交通省では，インフラ分野のDX推進に係る取組の一つとして，官庁営繕事業においても，従来の2次元CADから3次元的に詳細を示し，関係者間において，設計・施工・維持管理を横断的に活用することが可能な建築BIMへの移行が図られている．本稿は，福岡運輸支局の建設工事における工事受注者の取組事例を通じて，施工段階における建築BIM活用の効果や課題を整理し，今後のBIMの普及推進に向けた改善提案について考察する．

キーワード　建築BIM ， EIR ， BEP ， 福岡運輸支局 ， 生産性向上

1. はじめに

国土交通省の直轄事業では，インフラ分野のDX推進の中核となるICT建設機械や無人航空機（UAV）等を活用したICT施工，BIM/CIMなどの取組を通じて，設計・施工におけるデジタル技術の積極的な活用が進められており，建設業界の生産性向上に寄与している．官庁営繕事業においても同様に，庁舎の設計業務や工事現場において建築BIMやICT建築土工などのデジタル技術が活用され，これらの取組の普及促進を通じて，公共建築分野における先導的な役割も期待されている．

建築工事のBIM活用については，官民問わず建築分野全体を対象に，建築BIMの普及や社会実装の加速化を目指し，国土交通省が令和元年6月に設置した官民一体の協議体である「建築BIM推進会議」において，BIMによる建築確認を可能とすることに伴う申請・審査の効率化，設計・施工・維持管理のBIMデータの横断的活用の円滑化による生産性の向上，中小の設計事務所・建設業者のBIM活用促進などに向けた取組が実施され，うちBIMによる建築確認については令和8年4月から，確認申請の申請段階におけるBIMで作成した図面データによる「BIM図面審査」が開始されている（図-1）．

一方，令和7年1月に国土交通省が全国の設計事務所や建設業者等を対象に実施した「建築分野におけるBIMの活用・普及状況の実態調査」によると，令和6年度のBIMの導入率は約6割程度（図-2）であり，従業員数が100人を超える企業については約8割の企業で導入されているが，従業員数が100人以下の企業や，大都市以外に本社を持つ企業については，未だ5割程度の導入率となっている．また未だ多くの企業がBIMの導入に至らない理由として，CAD等で現状問題なく業務を行うことができている点，発注者や業務上の関係者からBIM活用を

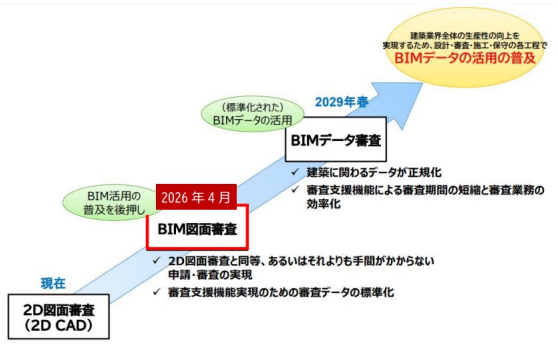


図-1　BIM図面審査への移行 [1)]

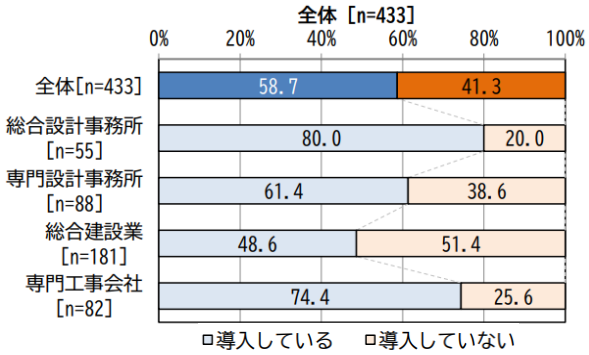


図-2　企業におけるBIMの導入状況（令和6年度）[2)]

求められていない点，費用他効果の面で投資する費用を超える生産性向上効果等が現状見込めない点などが主に挙げられている．

このように，建築分野全体において，建築BIMの活用実態は認められるものの，その普及に向けては幾つかの解決すべき課題を抱える現状にあると考えられる．本稿では，直轄営繕事業の施工段階において，工事受注者がBIM活用に取り組んだ福岡運輸支局の新営整備事業を通じて，施工段階におけるBIM活用の効果や課題を把握し，今後における建築BIMの普及促進に向けた改善提案を考察することとする．

2. 官庁営繕事業におけるBIMの活用方針

官庁営繕事業では平成22年度からBIM活用の試行を開始し，令和5年度からは，全ての新営設計業務と新営工事を対象にBIM活用を原則適用するなど，BIM活用の推進に向けて必要な取組を継続している．官庁営繕事業におけるBIM活用の目的は，設計業務と工事の品質確保及び事業の円滑化を図り，これらを通じて生産性の向上に資することとされている．BIM活用の方法として，設計段階については，設計条件に係る情報の共有，設計条件と設計内容の整合性の効率的な確認や，発注者等へのその確認状況の説明として用い，施工段階については，施工計画の検討，説明等として用いることを想定している．そして，設計段階，施工段階において作成したBIMデータが，維持管理段階におけるBIM活用に繋がるものとなるよう知見の蓄積を図る目的もある．

官庁営繕事業におけるBIM活用は具体的に，発注者が設計業務や工事の受注者に対して求める要件を提示する発注者情報要件（Employer's Information Requirements. 以下，EIR）を適用し， BIM活用を推進している．EIRは，建物の延べ面積が3,000㎡以上の新営設計業務には，BIM活用を指定する項目（以下，指定項目）を設定し，全ての新営設計業務及び新営工事には，BIM活用を推奨する項目（以下，推奨項目）を設定する（表-1）．設計業務受注者と工事受注者は異なるため，発注者は施工段階でのBIM活用に当たり，設計業務で活用したBIMデータを工事受注者へ貸与し説明するためのBIM伝達会議を開催し，設計段階から施工段階への引継ぎを行うことで，設計・施工間の横断的活用の円滑化を図っている．設計業務と建設工事の各受注者は，発注者が提示するEIRに基づいて，BIM活用に関する実行計画書であるBIM実行計画書（BIM Execution Plan. 以下，BEP）を作成し，これに基づき，BIM活用を行う．なお，BEPには受注者が活用するBIMソフトウェアのほか，指定項目，推奨項目のうち，受注者がBIM活用を行うもの，その他の項目で， BIM活用の適用範囲や具体的な内容を明記する．

表-1　EIR記載のBIM活用の指定項目，推奨項目

BIM活用の項目

■ 指定項目（延べ面積3,000㎡以上の新営設計業務に設定）

	BIM活用の項目	目的
設計	建築物の外観及び内観（一部）の提示	合意形成の円滑化
	実施設計図書（一般図等）※4の作成	図面間の整合性の確保

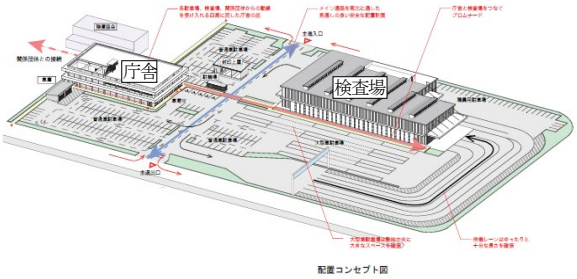
※4 総合、構造、電気設備、機械設備の各分野の図面を対象とする。

■ 推奨項目※5（全ての新営設計業務及び新営工事に設定）

	BIM活用の項目	目的
設計	設計条件等と設計図書の整合性の確認	情報の共有、確認の効率化
	基本設計段階における設備計画の検討	納まりの検証の効率化
	概算工事費の算出	効率的な数量算出、精度の向上
	基本設計図書（一部）の作成	図面間の整合性の確保
	実施設計図書（詳細図等）の作成	図面間の整合性の確保
工事	施工計画等の検討	検討の効率化、理解の向上
	施工図の作成	効率的な検討、整合性の確保
	干渉チェック	干渉の確認の効率化
	完成図の作成	維持管理に向けた資料等の作成
	建築物利用説明書に用いる図の作成	維持管理に向けた資料等の作成

※5 3,000㎡未満の新営設計業務の場合、上記の指定項目は推奨項目として設定する。

■ 指定項目又は推奨項目以外：受注者は任意にBIM活用が可能



配置コンセプト図

図-3　福岡運輸支局

また国土交通省ホームページでは，官庁営繕事業における円滑かつ効率的なBIM活用に資することを目的として，BIMデータの作成及び利用の目的，考え方，活用方法等を示す「官庁営繕事業におけるBIM活用ガイドライン（以下，ガイドライン）」や，ガイドラインに基づくBIM活用に係る手続等について示す「官庁営繕事業におけるBIM活用実施要領」等を公開している．

さらに令和7年度からは，設計段階におけるBIMの活用促進に向けて，BIMデータの入力情報及び設定内容の目安を示すために，EIRの指定項目及び推奨項目の一部に対応させたBIMデータである「営繕BIMモデル」，営繕BIMモデルを作成した際のBIMデータの作業環境等の設定内容をテンプレートとして保存した「営繕BIMテンプレート」を作成し，そのデータを公開している．

3. BIM活用の適用事業について

(1) 適用事業の概要

本稿で扱う福岡運輸支局の新営整備事業（以下，本事業）は令和6年度，九州地方整備局における工事発注でEIRを適用し，EIRに設定された推奨項目に基づき，施工段階でのBIM活用に取り組むこととしたものである．なお，本事業の設計業務は令和3年度発注のため，EIRを

適用していないが，設計業務受注者が自主的に，建物の外観及び内観のデザイン検討などにBIMを活用している．

福岡運輸支局は，福岡ナンバーの管轄区域内における自動車の検査・登録，県内の自動車整備関係事務などを主に行う機関で，今般，福岡市内に所在する既存施設の建物が築後50年を超え，老朽化が進行し円滑な業務実施に支障が生じ，また狭隘な敷地内での駐車場不足や，構内で歩行者と車両の動線分離ができていないなどの課題解消を目的として，別敷地に建て替える事業（図-3）を九州地方整備局で実施することとなった．

なお，令和6年度から開始した本事業の工事は，令和8年6月に完成を迎えており，今後，施設管理者（九州運輸局及び(独)自動車技術総合機構）による検査機器や備品等の設置を経て，同年秋から供用開始予定である．

(2) 適用事業の特徴

本事業では，鉄筋コンクリート造の庁舎（図-4）と鉄骨造の検査場（図-5）を新築することが主な事業内容となる．特に検査場は庁舎と異なり，建物内の検査コースに対して，乗用車のほかバスやトラックなど，大小様々な自動車が進入し受検するため，鉄骨トラス梁により形成される高天井の無柱空間，自動車の下廻りを点検するための地下ピット，検査機器の配置など，形状や仕様が特殊かつ複雑な建物である．そのため，従来の2次元図面による施工計画の検討，部材間の干渉の確認では，鉄骨建方の施工手順のほか，天井部や地下ピット部の機器配置，ケーブルの配線ルート確保等の施工に当たり，工事関係者間での誤認識が生じ，意思疎通や合意形成が困難となる可能性があり，現場施工時の手戻り発生や工程の遅れ，施工品質の低下も懸念される．

4. 本事業の施工段階におけるBIM活用方針

本事業では，工事発注段階にて契約図書にEIRを提示し，BIM活用は受注者の任意で実施するものとしている．その結果，建築工事受注者が，総合評価の技術提案でBIM活用を提案した．本事業に関わる各工事の契約締結後，建築工事受注者がBIM伝達会議の会場で，電気設備・機械設備各工事受注者に対してBIM活用への協力を呼びかけ，本事業全体でBIM活用に取り組むことが決定した．BIM活用の取組が決定し，発注者は建築工事受注者からBIMの使用アプリケーション（表-2），推奨項目等が記載されたBEPを受領した．

このBEPにおいて，建築工事受注者はBIMの活用項目として，発注者がEIRで提示した推奨項目の中から，設計業務で活用したBIMモデルを設計業務受注者から受け継ぎ，以降，施工図情報をBIMモデルへ随時反映しながら進める「施工計画等の検討」，建築・設備工事の各受注者が作成した施工図をBIMモデル上で統合し，工事間の干渉箇所を早期抽出する「干渉チェック」をそれぞれ選択した．

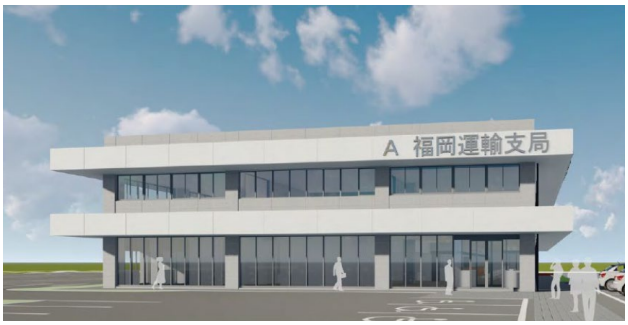


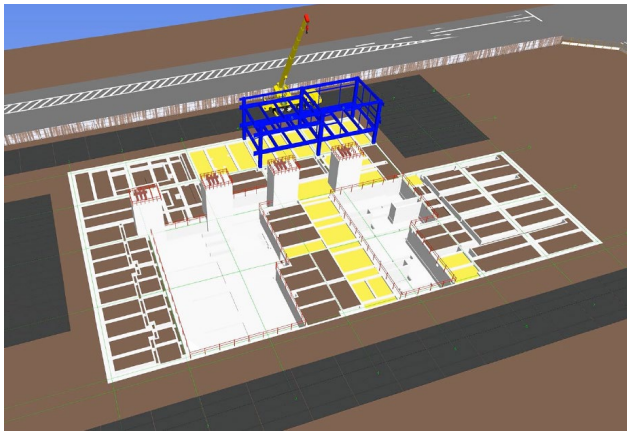
図-4 福岡運輸支局 庁舎外観モデル



図-5 福岡運輸支局 検査場外観モデル

表-2 使用したBIMソフトウェア（建築工事受注者）

ソフトウェアの種類	ソフトウェアのバージョン	使用範囲・使用目的
AUTODESK Construction Cloud	Autodesk BIM COLLABORATE PRO	クラウドデータ共有・保存
AUTODESK REVIT	Version 2022.1.6	オーサリングソフト(モデル作成ソフト) モデル作成・修正・検討
Solibri Office	Version 9.13.8	ビューワーソフト モデル統合・干渉チェック・検証


図-6 検査場BIMモデル 鉄骨建方の施工手順

5. 施工段階のBIM活用状況，成果と課題

(1) 施工段階のBIM活用状況

本事業では，建築工事受注者が設計業務受注者から，設計業務で活用したBIMモデルを受け継いだ後，工事現場内ではなく，建築工事受注者本社の建築BIM担当部署において，建築・設備の施工図を随時反映させる体制を構築し，施工段階で活用するBIMモデルに更新している．具体的に，1枚の施工図当たり1週間程度の時間をかけて，建築工事受注者は指揮担当3名（総合，建築，設備），

作業担当者10名程度（モデリング会社に外注）の体制でBIMモデルの更新に関わった．一方，設備工事受注者は社員1名の体制により，BIMと共通の拡張子（IFC）に変換可能である3次元CADソフト「Rebro」を用いて，施工図を作成し，そのデータを建築工事受注者が受け取り，BIMモデルに統合させることで，建築・設備工事の施工図情報を立体的に重ね合わせる総合図を作成した．

BEPにて，建築工事受注者がBIM活用を行うものとして挙げた推奨項目のうち，「施工計画等の検討」については，特に検査場の鉄骨建方を施工する際に合意形成や施工手順の確認として行い，「干渉チェック」については，建築・設備工事間の総合図作成の際に，BIMを用いた鉄骨とケーブルラック，ダクト等の部材に関する干渉チェックを行った．

以下，検査場の鉄骨建方に係る「施工計画等の検討」，建築・設備工事間の「干渉チェック」の2項目について，BIM活用を通じて得られた効果や課題点を，各工事受注者及び発注者（監督職員）に対する聞き取り調査から得られた知見に基づき取りまとめる．

(2) 鉄骨建方に係る「施工計画等の検討」

検査場の鉄骨建方（図-6）におけるBIM活用による効果として，従来の2次元図面では把握しづらいトラス梁等の部材配置や干渉箇所について，任意の様々なアングルから立体的な視点から確認することが可能となり，視認性の向上および空間的な把握が容易となることから，現場受注者間の作業把握，発注者や施設管理者など関係者との円滑な合意形成に繋がる点が見受けられた（図-7）．BIM活用は作業現場への新規入場作業員に対する説明，指導においても利活用されており，視覚的に作業手順等を共有することでより正確な作業の理解と作業手順等の共有を行うことが可能となる．特に，工事用車両の動線や配置，クレーンによる部材の吊り込み順序など，施工時の安全性や効率性に直結する要素については，事前に建築BIMにてシミュレーションを行うことで，作業現場でのリスクの低減と作業計画の最適化を図ることが可能となった．

一方，本事業での課題として，現場内の工事受注者がBIMモデルを編集できる体制ではなかったため，現場での検討段階において施工図の修正が生じた場合，BIMモデルへの即時反映ができず，代替として2次元CADで施工図を修正して，説明や合意形成を行わざるを得なかった点が挙げられる．また，本事業の設計業務は，EIRの適用対象ではなく，設計段階から受け継いだBIMモデルの情報量が限定的であり，施工段階で建築工事受注者が，BIM活用を行うに当たり必要なBIMモデルの作成に多大な労力を要したことから，費用対効果の観点で，建物内の全ての箇所を対象に，建物の構成部材に係る詳細な施工図情報を入力したBIMモデルの作成が困難な点も課題としてみられた．

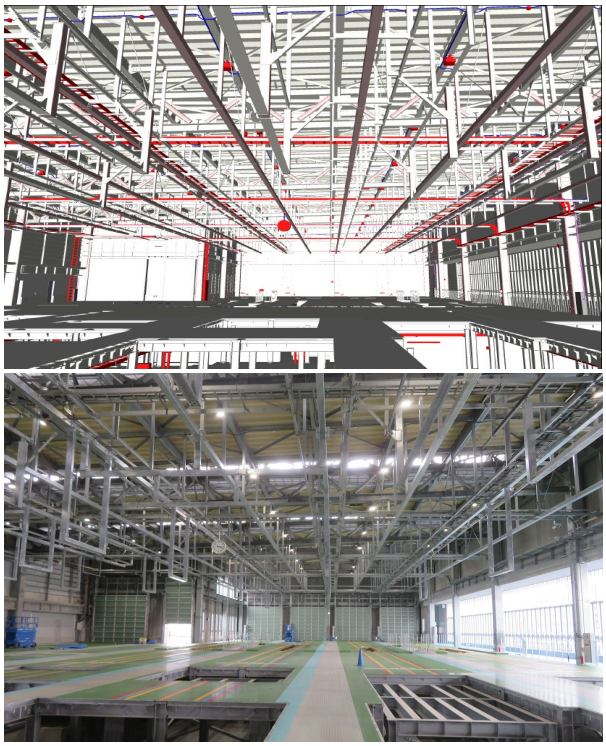


図-7　検査場内部　施工状況確認

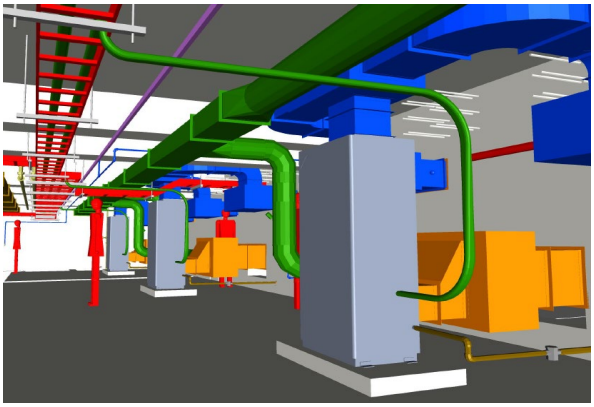


図-8　検査場BIMモデル　地下ピットの干渉チェック

(3) 建築・設備工事間の干渉チェックについて

本事業の干渉チェックにおけるBIM活用の効果として，庁舎内の空調設備，給排水設備，電気設備に係る配管やダクト，ケーブルラックの取り合いや，検査場の高天井部における消火栓の配線等を確認できた点や，ケーブルラックやダクト等が混在しており，天井内の納まりが複雑になっている箇所においても，BIMモデルを用いて干渉部位を迅速に確認することができ，現場での手戻りの防止に繋がった点などが見受けられた（図-8）．また，現場作業員や新規入場者に対して，施工内容の指導を行う際に，作業箇所のBIMモデルをPDFデータ化して紙出力したものを見せながら，作業の内容や手順を説明することで，より正確な理解，認識共有を得ることを目指して活用された．

しかしながら，BIMモデルの作成に労力を要し，費用対効果の観点から，全ての建築部材や設備系統に係る詳

細なBIMモデルを作成することは困難であり，部分的な検証となっているという課題もみられた．他にも，総合図を作成して干渉チェックを行うため，関係工事のいずれかの施工図の作成が遅れることで全体の確認が遅れてしまい，工事間での作成時間の違いが全体に与える影響が大きくなる課題がみられた．

(4) 改善提案

本事業においては，建築・設備工事とも各受注者がBIM活用に取り組んだため，効率化を図ることが出来た一方で，建築工事受注者によるBIMモデルの作成には多大な労力と時間を要したため，総合図の作成にあたり工事の時間的なずれとして，設備工事受注者側に手待ちが生じた．今後は設計業務に対するEIR適用のほか，BIM図面審査の普及に伴い，設計段階からより詳細なBIMモデルを作成が期待されるため，施工段階においても建築・設備工事受注者間で，更に円滑な取組が実現可能と考えられる．

また，3次元CADソフト「Rebro」では，ダクトや配管，設備機器等の既製品データ，BIMソフトでも建具や設備機器等の既製品，クレーン等の施工機械に係るオブジェクトがそれぞれ使用可能な状況にあるが，建築工事受注者から，施工機械の回転やアームの伸びる距離，倒れる角度等の詳細条件も設定できれば，現場で活用しやすくなるとの意見もあがった．今後，これらの既製品データ等が量・質ともに充実し，普及していくことで，各工事受注者がより詳細なBIMモデルを効率的に作成し，施工段階で更に利活用するものと期待される．

さらに，設備工事受注者からは，未だBIMの操作に不慣れであることや，BIMを操作できる人員が少なかったため，本事業ではやむを得ず， BIMモデルをPDF化して作業員への認識共有を図ったが，今後の事業においては，数多くの作業員がより自由にBIMモデルを閲覧出来るように作業員詰所にディスプレイを設けることや，現場内でBIMモデルを閲覧出来るモバイル端末を持ち込んで直接見ながら施工管理を行うといったような，より効率的な利活用に繋がる改善提案もなされた．

そのほか，現場技術者がBIMを操作できないことによる図面への反映の遅れや，BIMの機能を十分に把握しきれていないといった意見もあったため，今後は受発注者の双方が相互理解しながら，BIMの普及促進・利用効率改善を図るためにも，BIMについての操作方法や機能に関する教育方法等も考えることが必要である．

6. おわりに

施工段階におけるBIM活用には，いくつかの有効な効果が確認された．まず，立体的な視点において施工箇所の確認ができるため，関係者の円滑な合意形成が可能となる．また，干渉箇所を迅速に確認することができることから，現場での手戻り防止にも寄与する．しかしながら，BIM活用の課題も見受けられる．例として，現場の技術者や作業員がBIMモデルの編集を行えない点や，BIMモデルの作成に時間を要することにより，工事全体の確認作業に時間がかかる点が挙げられる．

本事業での検討を通じて，建築BIMの導入による施工段階での効果は大きい一方で，依然として多くの課題が残されていることを認識した．また，建築BIMの活用は，施工段階における作業効率の向上，作業員や施設管理者等の理解促進にも寄与することが確認できた．

これらの課題を解消していくためには，今後，受発注者双方において，建築BIMに関する教育方法の確立などの取組を行うことによって，建築BIMの更なる普及促進が期待される．

謝辞：今回の試行にあたり，BIM活用に関する聞き取りにご協力頂きました各工事受注者の皆様へ深く感謝申し上げます．

参考文献

1) 国土交通省 HP：建築 BIM 推進会議
2) 国土交通省建築 BIM 推進会議：建築分野における BIM の活用・普及状況の実態調査（令和 7 年 1 月）
3) 国土交通省 HP：官庁営繕事業における BIM 活用
4) 国土交通省大臣官房官庁営繕部整備課施設評価室：官庁営繕事業における BIM 活用ガイドライン（令和 8 年 3 月最終改定）
5) 国土交通省大臣官房官庁営繕部整備課施設評価室：官庁営繕事業における BIM 活用実施要領（令和 8 年 3 月最終改定）
6) (一社)日本建設業連合会 HP：施工計画 BIM（BIM 部会）

災害復旧事業における
デジタル技術活用の効果検証

横山　慎一郎[1]

[1]長崎県　対馬振興局　建設部　上県土木出張所　　（〒817-1602 長崎県対馬市上県町佐須奈乙937）

近年、日本各地で気候変動の影響による風水害や、熊本地震、能登半島地震といった大規模地震が相次いで発生している。こうした状況の中、自治体の土木技術職員には、道路、河川、港湾、上下水道など社会インフラの迅速な復旧が強く求められている。しかしその一方で、技術職員数は減少の一途をたどっており、頻発する自然災害への対応力強化が喫緊の課題となっている。本稿では、こうした背景を踏まえ災害復旧事業におけるデジタル技術活用による生産性向上の可能性について、取り組みの効果検証と今後の課題を述べる。

キーワード　災害復旧、インフラDX、大規模災害、異常気象、自治体職員

１．はじめに

公共土木施設の災害復旧事業は、公共土木施設災害復旧事業国庫負担法に基づき、事業費を決定するための「災害査定」というプロセスを経る必要がある。

しかしながら、激甚災害に指定されるような大規模な自然災害が全国各地で頻発する一方で、慢性的な技術職員の不足に悩まされる自治体では、災害時に急増する業務を迅速かつ円滑に遂行することが困難になってきている。

本県では令和３年以降、激甚災害の発生はないものの、技術職員の減少や、頻発する自然災害への対応力強化が喫緊の課題となっている。これらの状況を踏まえ、本稿では働き方改革の観点から、デジタル技術活用による生産性向上の効果と課題を考察する。

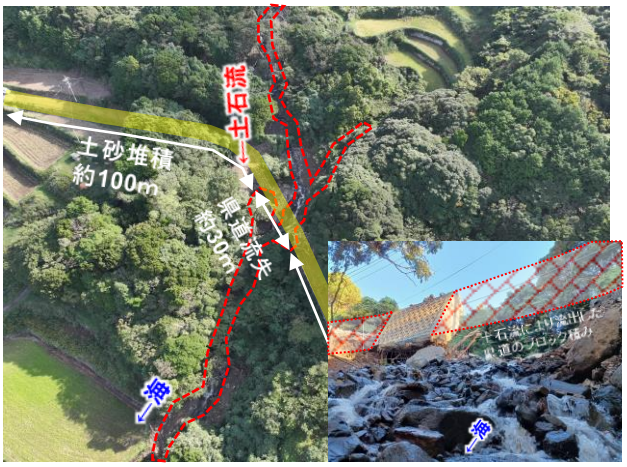


写真-１　土石流による道路崩壊
（令和６年：主要地方道平戸田平線）



写真-２　河川堤防の決壊による氾濫
（令和２年：２級河川佐奈河内川）

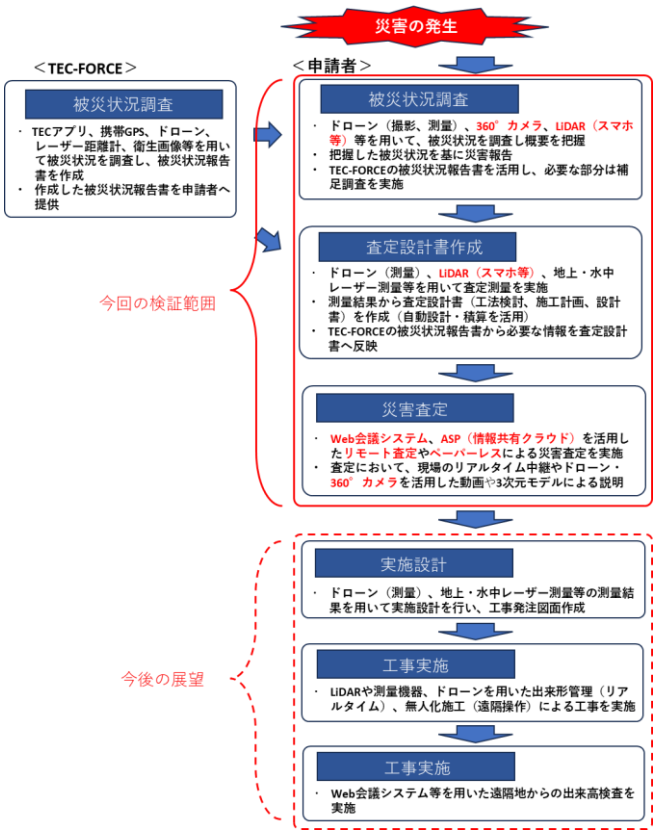
２．　災害復旧事業において活用が期待されるデジタル技術の検討

（１）　デジタル技術の検討にあたって

災害復旧事業の各プロセスで活用が期待されるデジタル技術には、表-１に示す通り多岐にわたるが、これらの技術の中には機器が高価なものや高度な技術、知識を要するものが含まれており、自治体の技術職員が即座に導入、運用するには課題が多いと考える。

そのため検討においては、「低コスト」「簡便」「汎用性」を基本方針とし、実際の業務において現実的に活用可能と考えられるデジタル技術に絞って検討を行い、実際の災害査定を通じて災害復旧事業への適用可能性について検証した。

表−１ 災害復旧事業の各段階で活用できるデジタル技術



（2） 検討を行ったデジタル技術とその効果

ある災害査定において活用検討を行った以下のデジタル技術について、その効果を述べる。

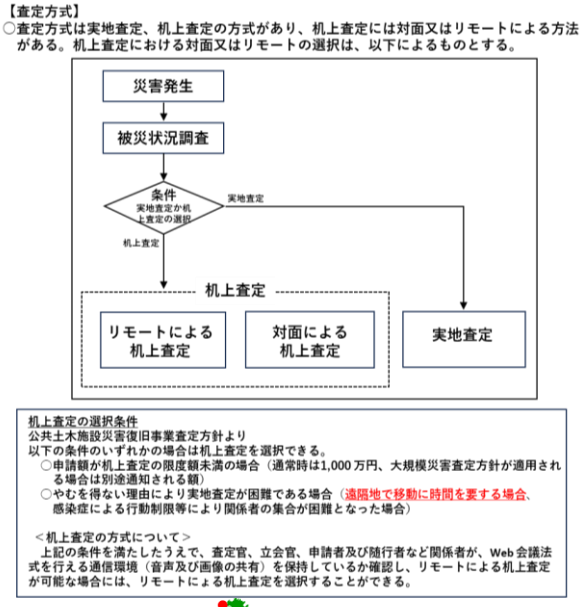
a)Web会議システム：移動時間、待機時間短縮
b）360° カメラ：撮影の効率化、安全性向上
c)LiDAR（アプリ）：作業時間短縮、被災状況の可視化
d)情報共有システム：データ管理の効率化
e）タブレット：ペーパーレス化

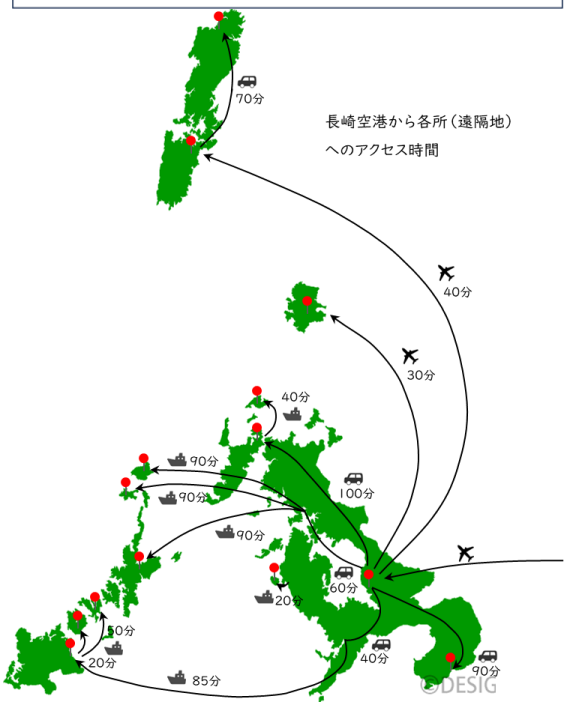
最初に導入したのは**Web会議システム**である。Web会議システムは新型コロナ感染症の拡大を契機に急速に普及した技術であり、どの自治体においても非常に汎用性が高いツールとなっている。災害査定においてもコロナ禍の間はWeb会議システムを活用したリモート査定が実施されてきた。

コロナ終息後についても、災害復旧の更なる迅速化、効率化など生産性向上のため、表−２に示すとおり机上査定案件（申請額1,000万円未満）についてはリモートによる査定が可能となり、さらに、**遠隔地で移動に時間を要する場合**、感染症による行動制限等がある場合などの要因も考慮されリモート査定が幅広く実施可能となるよう制度が改正された。

そもそも、今回、Web会議システムを活用したリモート査定を本県でも導入するきっかけとなったのは、離島半島を多く有する本県の地理的要因における、現地移動のタイムロスや悪天候による欠航などのリスクであった。

表−２ 机上査定の方式について



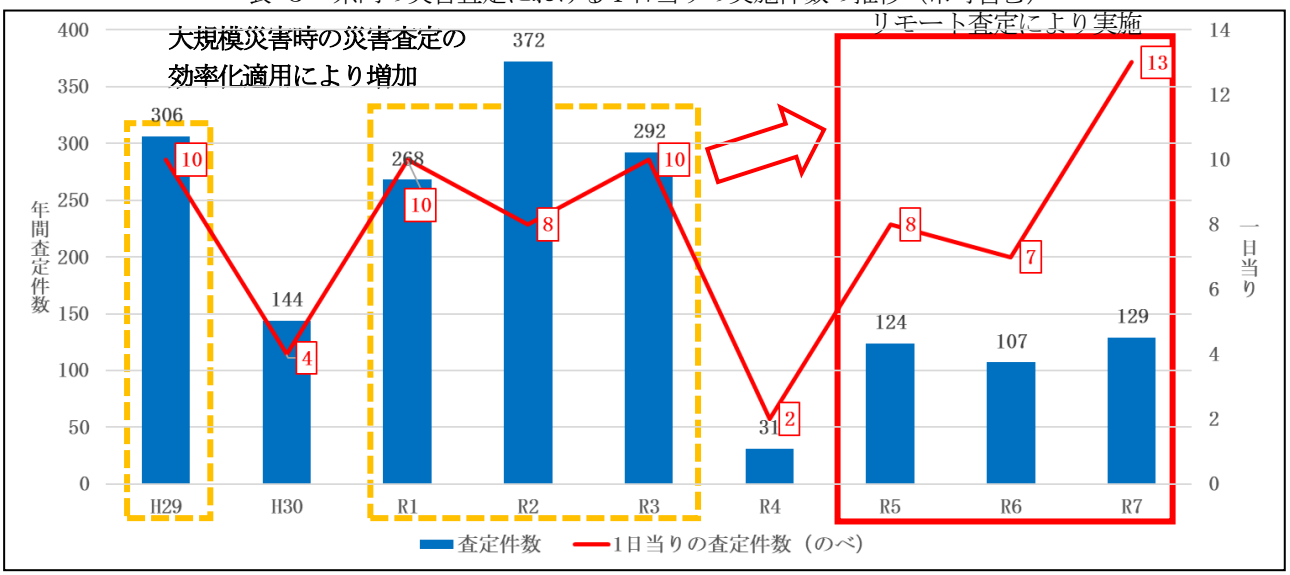


図−２ 長崎空港から各所への移動時間

本県は島しょ数（1,479島）、有人島数（51島）ともに全国１位であり、図−２に示すように離島・半島に加えて、２次離島も多く有している。このため、移動時間やそれに伴う拘束時間が長くなるほか、悪天候による航空機、船舶の欠航のリスクも高く、欠航時には大幅なタイムロスや急な査定日程の変更を余儀なくされる。実際に、過去に私が随行した査定においても、当日の朝に急遽日程変更となった事例があった。

こうした本県の地理的特性を踏まえ、多くの離島半島を抱える本県は査定に伴う移動に時間を要するため、査定の迅速化、効率化、さらには悪天候等によるリスク回避の観点からも非常に有効と判断し導入に至った。

表-３　県内の災害査定における１日当りの実施件数の推移（市町含む）



令和５年に発生した災害では、離島地区において試行的にリモート査定を実施し、令和６年以降発生の災害では、各申請者に事前説明会を開催し、協力を得ながら、離島及び机上査定案件の際にはリモート査定を本格的に実施した。その効果を表-３に示す。

令和元年から令和３年にかけては全国的にも災害件数が多く激甚災害に指定され、机上査定限度額の引き上げや設計書添付資料の簡素化など災害査定の効率化（簡素化）が適用されたこともあり一日あたりの実施件数が多かった。

一方で、令和５年から導入したリモート査定では、効率化措置が適用されていないにも関わらず、移動時間や待機時間の短縮により、従来を上回る査定件数となった。

このことは、Web会議システムを活用したリモート査定が迅速化、効率化に一定の効果を発揮することを示しており、今後、大規模災害が発生し職員の業務量が増加した際には効率化措置とリモート査定を併用することでより高い効果が期待できると考えられる。

次に前述のリモート査定を実施するにあたり、併用したデジタル技術について述べる。リモート査定は従来の紙媒体の資料による査定設計書が不要となり、ペーパーレスでの運用が可能となる。この際、必要となったのが**情報共有システム**である。申請資料がすべて電子化して提出されるため、図面や設計書などのデータ量が膨大となる。そのデータのやり取りに、情報共有システムを活用することで、クラウド上での提出となるため、効率的かつ確実な申請資料の管理と査定対応を実現した。

また、本情報共有システムでは、申請資料のやり取りだけでなく、職員PCでは閲覧できない360°カメラ画像や点群データなども閲覧することができ、リモート査定と併用することよりデジタル技術の活用が可能となる。

特に360°カメラ画像は現地に赴くことなく被災状況を把握する必要があるリモート査定において、極めて有効な手段である。撮影も非常に安全で簡単に行うことができ、撮影した写真についても画面上でスクロール操作を行うだけで撮影地点の全周囲の状況を視覚的に確認できるため、現地の空間的情報を詳細に把握することが可能となる。



写真-３　情報共有システムにて360°画像を閲覧した際のインターフェース

加えて、当該カメラには位置情報（GPS）機能が内蔵されており、撮影地点の地理状況が画像に付与されることで、Googleストリートビューのようなインターフェースを通じて被災箇所の状況を把握することが可能となる。従来の机上査定においては写真が被災の事実を示す唯一の手段であったため、被災写真の撮影漏れや査定官が求める視点の写真が不足することなどが課題となっていたが、360°カメラによる撮影によりこれらの課題は大幅に改善されると考える。

次に**LiDAR**についても検証を行った。LiDAR（Light Detection And Ranging）はレーザーパルスを照射し、反射光を解析することで離れた物体との距離やその形状から地形や構造物の表面形状を計測する技術であり、近年ではスマートフォン（iPhone Pro12以降）などでも簡易的に利用可能となっている。実際の被災現場において、

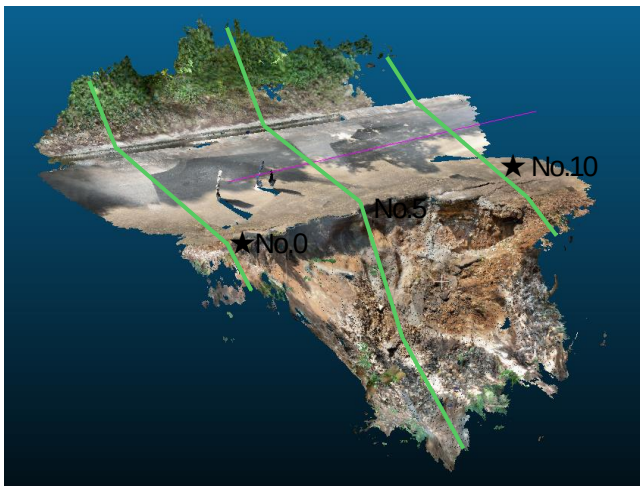


図-３　LiDARにより取得した3次元点群データ

申請に使用した実測図面とLiDARにより取得した３次元点群データの比較の結果は図３～５のとおりである。

LiDARによる３次元点群データの取得は作業の大幅な短縮が可能でありまた、測量結果も実延長とほぼ一致しており、制度面でも一定の信頼性が確認された。また点群データから生成した横断図と実測図面を比較した結果、図-５に示す通り両者は高い一致性を示した。

ただし、LiDARの活用にはいくつかの課題も残されている。例えば取得した点群データはデータ量が膨大であり、２次元の平面図に変換する作業は職員にとって技術的なハードルが高いうえ、専門的な知識やソフトウェアの習熟が求められる。また、LiDARのレーザーは水面に反応してしまうため、河川災害などの最深河床の高さが設計において重要となる場合には、適用が困難といった課題もある。

最後に、これらのデジタルデータを活用した査定業務の効率化を図るためには、資料の閲覧・共有方法についても見直しが必要となる。従来は査定時において査定官や立会官に紙ベースで査定資料を配布していたが、それを**タブレット端末**に置き換えることで紙ベースの資料をすべて廃止し、完全ペーパーレスでの査定を行うことが可能となった。



写真-４ LiDARによる点群データ取得状況

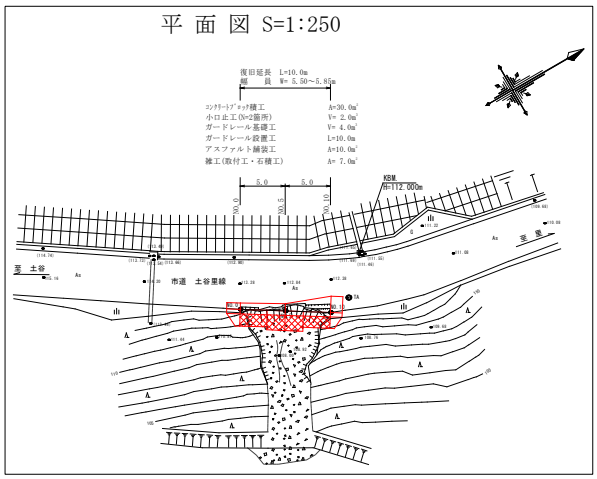


図-４　従来通り業務委託し作成された平面図

計測方法	時間	測量結果	データ容量
従来方法	３日	－	224KB
LiDAR	20分	±50㎜程度	24,627KB

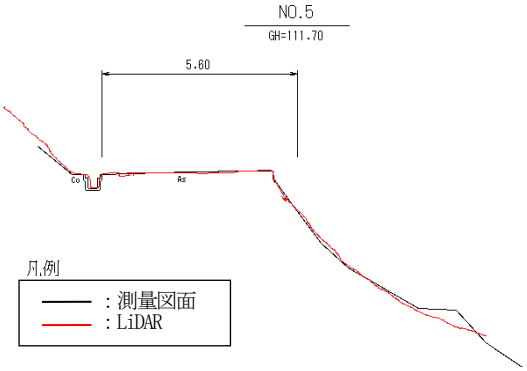


図-５　重ね合わせた横断図

3.　デジタル技術の具体的活用と今後の課題

検証の結果、前述のデジタル技術を最大限活用することで、表-３に示すように移動時間や待機時間の短縮または査定写真の簡素化など様々な効果が得られている。特に、情報共有システムについては、データの受送信や360°カメラ画像の閲覧機能に加え資料のデータプラットフォームとしての役割も果たしており、ペーパーレス化の推進にも寄与している。これにより、査定後の成功認定や会計検査などにもシームレスな対応ができるようになっている。

また、情報共有システムやWeb会議システムについては、工事・委託業務の打合せなど日常業務においても、利用頻度が増加しており、災害査定に限らず業務全体の生産性向上が期待される。

一方で、点群データや高解像度画像など、デジタル技術によって得られる情報量は膨大であり、データの整理・変換に時間と労力を要する。またLiDARのデータは2次元図面化には専門的な処理が必要であり、担当職員が単独で対応するには限界があるため、今後は、技術面に

おいてコンサルタントと意見交換等を交えながら、協力体制・連携も必要不可欠である。

さらに、災害時に即応できる体制を構築するためには、平時からデジタル技術を業務に取り入れ、運用に慣れておくことが重要である。そのため災害対応に限らず日常業務での活用や官民連携による技術の定着を図り地域全体でも災害対応力の向上を目指す必要がある。

そこで今回、その第一歩となるべく、LiDARによる計測技術を担当者レベルでの実務を可能とするため、（公財）長崎県建設技術研究センター及び地元の建設コンサルタント協力のもと、３次元計測技術を活用した災害復旧実務の省力化マニュアル（案）を令和７年１２月作成し、研修会などを通して周知を図りながら運用方法など浸透させているところである。

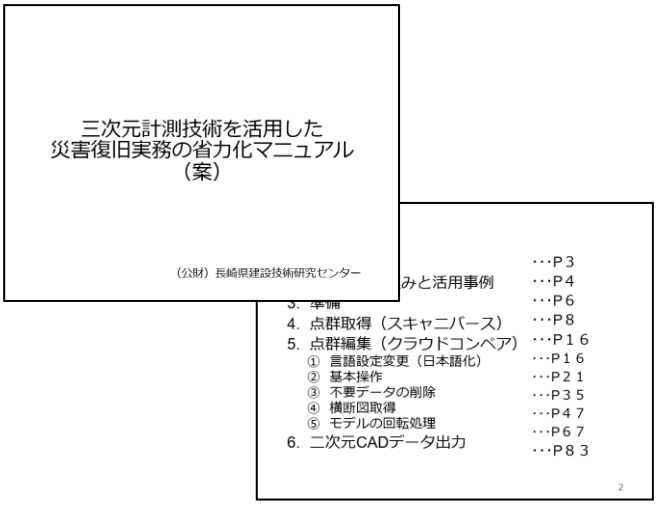


図-６　３次元計測技術を活用した災害復旧実務の省力化マニュアル（案）



写真-５　リモート査定の実施状況

４．今後の展望

本県においては、離島半島地域という地理的特性から、災害査定に伴う移動時間や天候リスクが大きくデジタル技術の導入による業務の効率化が必要であり、今後もWeb会議システムや情報共有システム、360°カメラなどの技術を積極的に活用することで、災害対応の迅速化と生産性向上に向け取り組みを継続していく必要がある。

また、近年激甚化・頻発化している災害にも対応できるよう、平時からデジタル技術活用を通じて、職員のスキル向上や運用体制の強化を図り、災害発生時に即応可能な体制を構築し、地域の安全・安心の確保に貢献していきたい。

５．おわりに

今回の取り組みについては、単にデジタル技術を活用するだけでなく、デジタル技術の特性を生かした仕事のやり方に変革することで、効率化・省力化が図れたことが評価されインフラDX大賞の優秀賞を受賞した。

今後も単なるデジタル化にとどまらず、働き方改革につながるような技術の模索と実践を通じて、日々の業務改善に取り組んでいきたい。

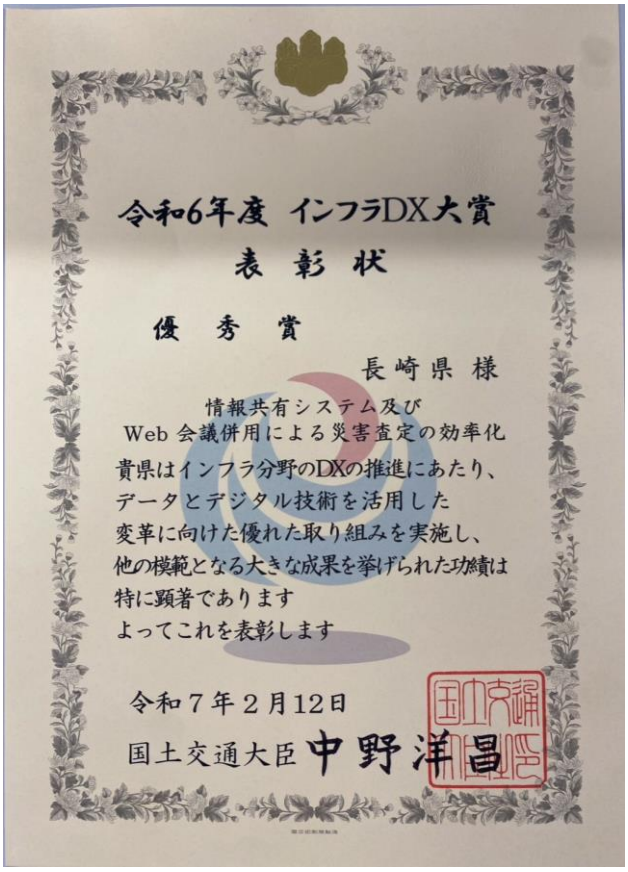


写真-６　インフラDX大賞の表彰状

参考文献

1）全日本建設技術協会：災害手帳
2）水管理・国土保全局：災害復旧事業におけるデジタル技術活用の手引き

本明川ダムにおける
基礎処理工の施工合理化について

保坂　駿[1]・松本　佳之[1]

[1]九州地方整備局　本明川ダム工事事務所　工事課　（〒851-0121 長崎県長崎市宿町316-1）

本明川ダムは、現在本体工事中であり、基礎掘削及び基礎処理工を施工している。本ダムの工程においては、基礎処理工がクリティカル工種となっており、現場の状況等により遅延が発生した場合は全体工程に大きく影響する。そのため、影響を最小限に抑えることを目的に施工合理化の検討が重要な課題となっている。そこで、まず同時注入規制の緩和の検討を行うこととした。本ダムでは、既往の試験結果より、高圧注入、高密度配孔による施工仕様としていることもあり、その緩和適用にあたっては、より丁寧な検証が必要であることから、試験施工により検証を行った。本論文では、その試験結果及び適用の可能性について報告する。

キーワード　グラウト，流路堆積物，同時注入規制、施工合理化

1.　本明川ダムの概要

本明川ダムは、長崎県諫早市を流れる一級河川本明川水系本明川の中流部に建設が進められているダムであり、洪水調節および流水の正常な機能の維持を目的としている。

本ダムは台形CSGダム形式を採用しており、堤高約60m、堤頂長約340m、総貯水容量約620万m^3の規模を有する。現在は令和6年度にダム本体工事に着手し、基礎掘削および基礎処理工事が進められている。

2.　背景

本明川ダムのダムサイト周辺の基礎岩盤は火山麓扇状地に形成された地盤であり、地層はその成因に基づき火山性堆積物と非火山性堆積物に区分される。

火山性堆積物は火砕流堆積物等から構成され、地層の連続性が比較的良好である一方、非火山性堆積物は泥質土石流堆積物や砂質土石流堆積物、流路堆積物などから構成され、側方連続性が乏しく厚さ変化も大きいなど、不均質な分布特性を示す。

特に流路堆積物は礫分主体の粗粒構造を有し高い透水性を示す一方で、空隙構造や粒度組成のばらつきにより流路が局所的に形成されやすく、グラウトは高透水部へ選択的に流入して偏在する傾向がある。このため、透水性に比して注入材の浸透性が低く、均一な改良が困難な地層である。

このように、本ダムサイトにおける非火山性堆積物、特に流路堆積物を対象としたグラウチングにおいては、一般的な施工仕様では十分な改良効果を得ることが困難であり、地盤特性に応じた施工条件の設定が重要な課題となった。

このため、適切なグラウチングを実施するためにグラウチング試験を行い、その結果を踏まえ、超微粒子セメントの採用、高密度配孔、高圧注入などの施工仕様を設定し、目標改良値 5Lu 以下が達成可能であることを確認した。

本ダムでは、基礎処理工がダム本体工事のクリティカル工種となっており、その進捗は全体工程に大きく影響する。このため、現場条件の変化や想定外の事象により施工の遅延が生じた場合においても、全体工程への影響を最小限に抑えることを目的に施工合理化の検討が重要な課題となっている。

そこで、グラウチング技術指針に基づく同時注入規制の緩和に着目し、試験施工により検証を行った。本論文では、当該試験施工の概要および検証結果を整理し、品質を確保したうえでの施工合理化の可能性について報告する。

3.　本明川ダム基礎岩盤の区分

設計段階の地質解析結果で確認した岩盤性状をもとに、基礎岩盤を透水性および注入性に着目して2つの“地盤”に区分した。

(1) 火山性堆積物

火砕流堆積物や火山降下堆積物などにより構成され、比較的均質で細粒分を多く含むことが特徴である。これらは火山活動に伴い広範囲に堆積した地層であるため、地層の分布や層厚の変化が比較的小さく、連続性がある。

透水性は概ね低～中程度を示し、細粒分の充填により空隙構造が比較的一様であることから、グラウトの浸透が比較的均一に進行し、改良効果が得られやすい地盤である（写真-1）。

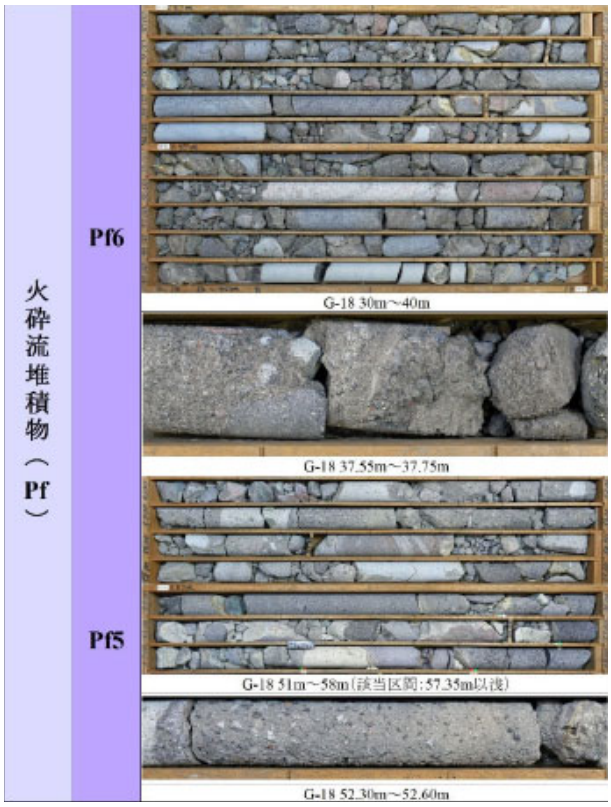


写真-1　火山性堆積物の代表コア写真

(2) 非火山性堆積物

河川作用や土石流により形成された堆積物であり、泥質土石流堆積物（Dfm）、砂質土石流堆積物（Dfs）、および流路堆積物（Ch）などから構成される。これらは堆積環境の変化に伴い形成されるため、層厚や分布のばらつきが大きく、側方連続性に乏しい不均質な地盤構造を有する。

特に流路堆積物は、礫分を主体とした粗粒な構造を有し、高い透水性を示すとともに水みちとなりやすい特徴を有する。一方で、礫間の空隙構造や粒度組成のばらつきにより流動経路が限定されるため、グラウトは透水性の高い経路へ選択的に流入しやすく、流出や偏在が生じやすい。この結果、透水性に比して注入性が低く、均一な改良が困難な地盤となる（写真-2）。

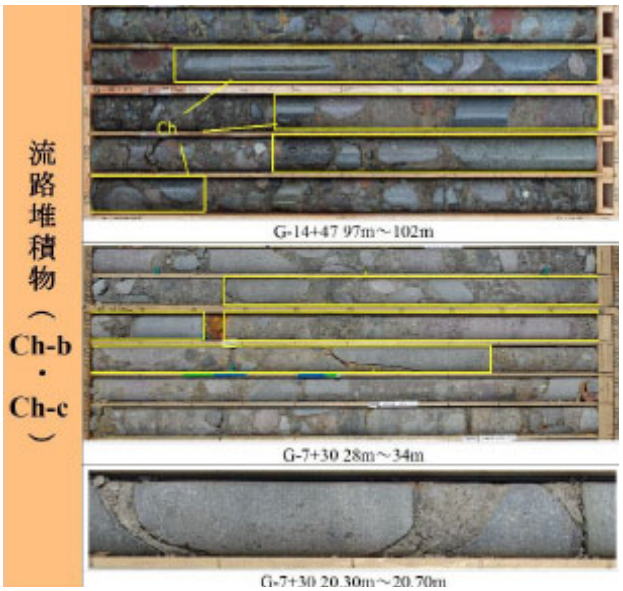


写真-2　非火山性堆積物の代表コア写真

4.　流路堆積物におけるグラウチング試験施工とグラウチング仕様設定

(1) グラウチング試験

設計段階に実施したグラウチング試験の実施箇所は図-1に示すように、ダムサイト河床部における流路堆積物卓越帯付近で実施した。

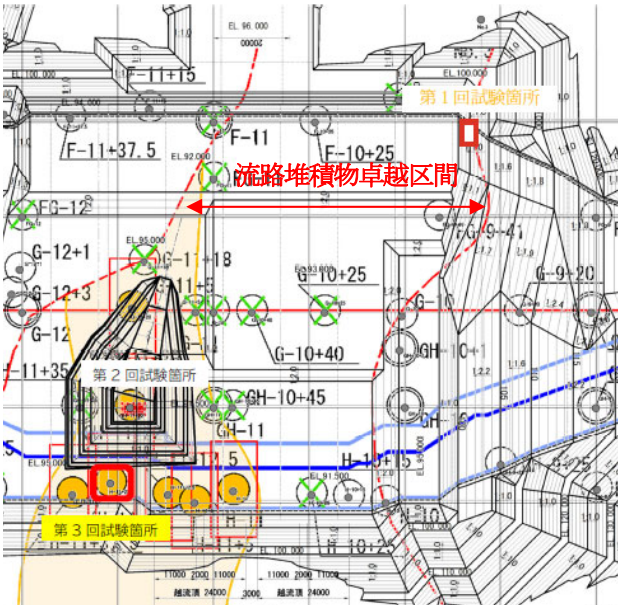


図-1　グラウチング試験実施箇所

(2) 試験結果に伴うグラウチング仕様の設定

グラウチング試験の結果を踏まえ、段階的な検討により設定した。図-2に補助カーテングラウチングにおける注入仕様選定の流れを示す。

まず注入材料については、第1回試験において普通セメントでは十分な改良効果が得られず、第2回以降は超微粒子セメントおよび極超微粒子セメントの適用を検討した。その結果、流路堆積物に対しては超微粒子セメントの適用により改良性の向上が確認された。

次にステージ区分については、第2回試験において高透水区間では長尺ステージでは十分な改良が得られないことが確認されたことから、第3回試験においては、2～3m程度の分割ステージを基本とすることで、注入効果の改善が確認された。

注入圧力については、低圧条件（0.5MPa以下）では十分な改良効果が得られないことから、段階的に圧力を増加させた結果、1.0MPa以上の高圧注入により流路堆積物に対しても改良効果が向上することが確認された。

初期配合については、地盤の透水性に応じた配合設定を行い、過剰な注水を抑制しつつ効率的なセメント注入が可能となるよう調整した。

図-3に示す試験結果から規定孔は、四次孔が妥当であると判断されるが、流路堆積物以外のステージ（1.1st、2st）においてLu値が三次孔で概ね10Lu以下まで下がっていることより、規定孔を三次孔まで緩和できる可能性を残す。

以上の検討により、流路堆積物を含む地盤においても安定した改良効果が得られる注入仕様等を設定した。

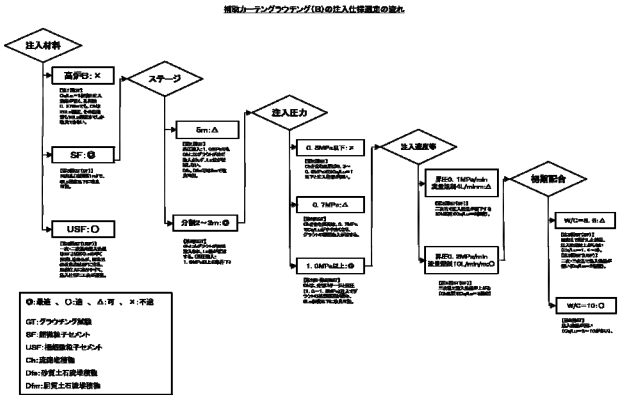


図-2　流路堆積物卓越帯の注入仕様選定の流れ

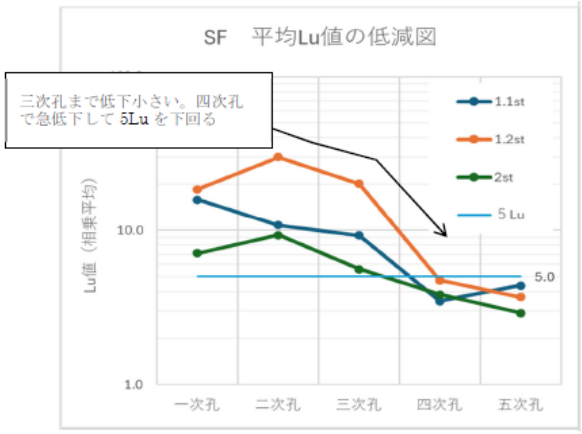


図-3　超微粒子セメント(SF)のルジオン値低減図

5.　施工合理化の検討

(1) 施工合理化の概要

基礎処理工はダム本体工事のクリティカル工種となっており、現場状況次第では遅延が発生すると全体工程に影響を与える。そのため、影響を最小限に抑えれることを目的に施工合理化が重要な課題となっている。

一方、図-4に示すとおり本ダムの基礎地盤には流路堆積物が分布しており、所要の遮水性能を確保するため、高密度配孔、高圧注入およびカバーロック方式を採用している。このような条件下では、高透水区間において規定量中断が発生し、施工日数の増加が懸念される。

そこで、本検討ではグラウチング技術指針に示される同時注入規制の緩和に着目した。本明川ダムでは、前章で設定した施工仕様もと、同時注入規制の適用性を検証するとともに、孔間に注入済みの孔を介在して隣接孔と6m以下、深さ方向5m以下の緩和の可能性について試験施工により検討を行った。

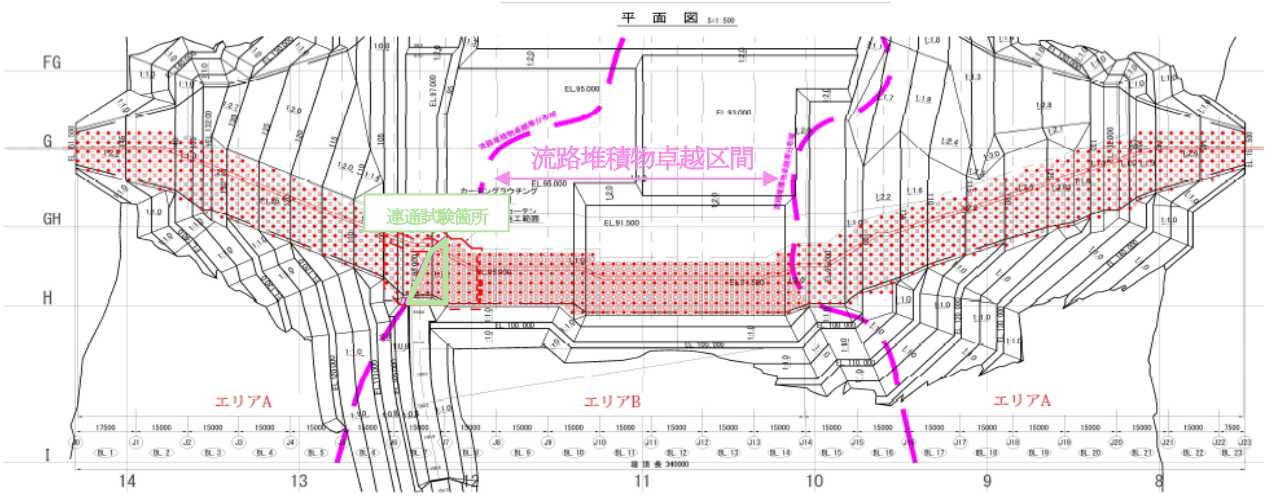


図-4　グラウチング平面図

(2)　同時注入規制緩和に向けた試験施工

設計及び施工段階に実施した同時注入規制緩和に向けた試験結果について示す。

試験の実施箇所は図-5に示す箇所で、ダムサイト河床部における流路堆積物卓越帯の付近である。

試験施工は、図-5に示す孔配置で同時連通試験施工を行い、隣接孔に連通するか否かの試験を実施した。

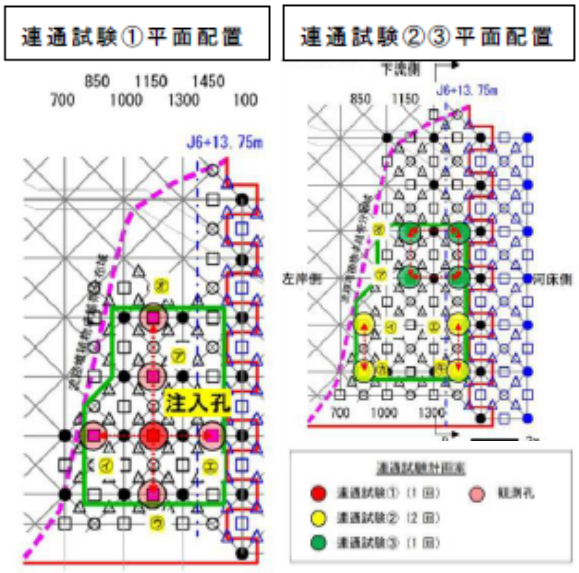


図-5　連通試験　孔配置図

(3) 試験施工の概要

連通試験①では、水押し試験または注入と削孔の同時施工による影響を確認するため、注入孔の周囲に観測孔を配置し、孔間における圧力伝播を計測した。

連通試験②では、4孔を2孔ずつ2組に分けて水押し試験または注入を同時に実施し、複数孔間における圧力伝播が透水性評価および改良効果に及ぼす影響を確認した。

連通試験③では、4孔による同時水押し試験を実施し、孔間干渉によるルジオン値の変化および透水性評価への影響を確認した。

各試験では、観測孔における圧力変動およびルジオン値の変化を計測し、透水性評価ならびに改良効果への影響について検討を行った。

(4) 試験施工の結果

表-1に示すとおり連通試験①では、注入孔から観測孔に対して水位（圧力）の変動が確認され、孔間に連通性が存在することが確認された。また、注入孔および観測孔の透水性（ルジオン値）が大きいほど変動割合が大きくなる傾向が認められ、孔間距離の増加に伴いその影響は減衰することが確認された。

一方、表-2に示すとおり連通試験②および③では、複数孔における同時注水により圧力の相互干渉が生じ、水押し試験で得られる透水性（ルジオン値）は単一孔と比較して低下する傾向が認められ、圧力の干渉により透水性が過小評価される可能性が確認された。

また、連通試験①データを定量的に評価する基準が明確に定義されていないため、理論解と比較し、データの妥当性を確認したところ、最大孔内圧力の計測値は概ね理論値以下となった。

これらの結果より、孔間干渉の影響を考慮する必要があることが明らかとなった。

連通試験①			次数	注入孔ルジオン値	観測孔ルジオン値	水押し最大圧力に対する観測孔変動圧力割合	孔間隔 (m)
先行施工区間	1st	ア	3	3.8	2.6	2.2%	3.00
		イ	3	3.8	9.8	3.0%	3.00
		ウ	3	3.8	6.0	1.0%	3.00
		オ	3	3.8	1.8	1.0%	6.00
	2st	ア	3	8.4	3.9	4.8%	3.00
		イ	3	8.4	5.3	7.4%	3.00
		ウ	3	8.4	2.1	1.6%	3.00
		エ	3	8.4	1.5	2.4%	3.00
		オ	3	8.4	5.4	2.0%	6.00
	3st	ア	3	2.2	4.3	2.4%	3.00
		イ	3	2.2	1.5	0.0%	3.00
		ウ	3	2.2	0.9	0.6%	3.00
		エ	3	2.2	2.2	1.0%	3.00
		オ	3	2.2	3.8	0.0%	6.00

表-1　先行施工区間における水押し試験（Lu値）の影響

観測孔位置			次数	孔径 (mm)	理論解		計測値		理論解に対する計測値の割合 (%) ④/③×100
					最大ポテンシャル Φ(cm)	最大孔内圧力 (MPa) ③	最大孔内圧力 (MPa) ④	初期値 (MPa)	
先行施工区間	1st	ア	3	66	1213	0.121	0.041	0.030	34%
		イ	3	66	1213	0.121	0.043	0.028	35%
		ウ	3	66	1213	0.121	0.036	0.031	30%
		オ	3	66	619	0.062	0.043	0.038	69%
	2st	ア	3	66	996	0.100	0.089	0.065	89%
		イ	3	66	996	0.100	0.100	0.063	100%
		ウ	3	66	996	0.100	0.063	0.055	63%
		エ	3	66	991	0.099	0.065	0.053	66%
		オ	3	66	505	0.051	0.075	0.065	148%
	3st	ア	3	66	1415	0.142	0.120	0.108	85%
		イ	3	66	1395	0.139	0.102	0.102	73%
		ウ	3	66	1412	0.141	0.101	0.101	72%
		エ	3	66	1406	0.141	0.110	0.105	78%
		オ	3	66	716	0.072	0.098	0.098	137%

表-2　理論解と計測値の最大孔内圧力比較

6.　おわりに

本検討では、同時注入規制の適用性および緩和の可能性を把握することを目的として試験施工を実施し、その結果に基づき施工合理化に向けた検討を行った。

試験施工の結果、孔間における圧力伝播や相互干渉の影響が少なからず確認された。

今後は、同時施工する工種の組合せ（水押し＋削孔、水押し＋水押し、注入＋注入等）毎に影響およびリスクを整理するとともに、注入量に着目した理論解との比較を加えることや、実施工データを継続的して検証を行い、品質の観点や施工管理の観点から同時注入規制緩和の適用が可能か評価行うこととしている。