



WAKO  
GIKEN

## 2021 技術レポート



和光技研株式会社

---

### 会社概要

商号 和光技研株式会社  
創立 昭和39年7月18日  
資本金 4,000万円

---

### 事業所

本社 〒063-8507 札幌市西区琴似3条7丁目5番22号  
TEL:011-611-0206(代) FAX:011-612-2092

宮の森分室 〒064-0953 札幌市中央区宮の森3条1丁目3番2号  
TEL:011-611-3869 FAX:011-612-2093

函館営業所 〒041-0806 函館市美原4丁目36番14号  
TEL:0138-83-8272 FAX:0138-83-8273

釧路営業所 〒085-0061 釧路市芦野3丁目1番10号  
TEL:0154-36-1271 FAX:0154-36-1272

---

<https://www.wako-giken.co.jp>



2021  
Technical Report



和光技研株式会社



2021 技術レポート  
- 2021 Technical Report -

---

---

和光技研株式会社

■巻頭言 ..... 01  
 専務取締役 技術本部長 坂井 敦行

■技術レポート

- 橋梁点検における新技術の試行 - 第一報 - ..... 02  
 技術本部 道路構造部 菅井 文彦 長谷川 直久
- 3次元技術を活用した河道設計 ..... 06  
 技術本部 河川環境部 西條 穂穂子
- UAV搭載型レーザスキャナによる三次元計測と今後の展望 ..... 10  
 技術本部 情報システム部 香川 誠  
 技術本部 測量調査室 三浦 大
- 津波遡上区間に設置される樋門の液化化対策事例 ..... 12  
 技術本部 水工部 櫻井 啓多
- 岩盤地山における水理地質の検討 ..... 16  
 技術本部 道路構造部 鳴島 勤 小岩 晃
- 都市計画道路予定地にかかる支障建物の移転工法を検討した事例 ..... 20  
 技術本部 建築補償部 工藤 健吾

■編集後記 ..... 22



専務取締役 技術本部長  
**坂井 敦行**  
 技術士(総合技術監理部門、建設部門)  
 APEC エンジニア  
 MBA(経営管理修士)

皆様には、平素より弊社に対するご指導ご厚意を賜り、心より感謝申し上げます。

2015年9月、国連サミットで採択されたSDGsは、2030年度を達成年限とした、持続可能でよりよい社会の実現を目指す世界共通の17の開発目標を指します。

建設コンサルタントである弊社は、これらの開発目標を社会的責任として捉え、自然環境に十分に配慮しながら地域住民の安心安全な暮らしを守る社会インフラに関わる成果品を納め続けております。



また、成果品の作成に当たっては顧客満足を達成すべく新技術の開発を常に念頭に置き、関連機関等から様々な知識・アドバイスを頂きながら、残業過多や男女差別のない良好で働きやすい職場環境のなかで業務を遂行しております。



この「技術レポート」は、社内において開催される技術発表会の内容を取りまとめたものです。技術発表会は、社員の技術力向上や技術知識の共有を目的として毎年実施しておりますが、昨年度は新型コロナの感染予防のため中止せざるを得ませんでした。しかし今年度は、リモート技術を駆使して発表者のプレゼンを社内会議室から各社員へ発信することによって、感染予防を万全にして発表会を開催するに至りました。

内容は、新技術を試行した橋梁点検、UAV搭載型レーザスキャナを活用した3次元測量・設計に関する事例等の最新技術に関わるもの、また津波遡上を考慮した樋門設計という地域住民の安全に配慮した解析事例などを掲載しております。

お手すきの際に、ご一読頂ければ幸いです。

弊社は、昭和39年(1964年)の設立以来、北海道に根ざした総合建設コンサルタントとして地域住民の安全で安心な暮らしを守るべく、建設に関わる技術の研鑽に努めて参りました。

これからも、末永くお客様に信頼される総合建設コンサルタントとして、持続的に発展していけるよう技術力の向上に邁進していく所存です。今後とも、ご指導ご支援のほど何卒よろしくお願い申し上げます。

# 橋梁点検における 新技術の試行 - 第一報 -

技術本部 道路構造部  
菅井 文彦 長谷川 直久 技術士(建設部門)



菅井 文彦 長谷川 直久

## 概要

本稿は、札幌市南区の豊平川に架かるミュンヘン大橋において、通常の点検が困難な箇所(河川上の床板、橋脚上部)を対象に橋梁点検の新技術を試行した経緯及び方法、結果を報告するものである。今回採用した新技術は、ドローンや高解像度カメラで撮影した画像を、AIによる画像解析技術を用いて、ひび割れ等を抽出するというものである。

キーワード：●斜張橋 ●点検支援性能カタログ(案) ●高解像度カメラ ●UAV(ドローン) ●AI

## 1. はじめに

道路橋は、他の道路構造物と同様、高度経済成長期以降に整備されたものが多く、今後20年間で老朽橋梁の割合増加が加速していくと予想されており、定期的な橋梁点検の重要性は一層高まっていくところである。

しかし、橋梁の中には、特殊な形式あるいは厳しい地形に架橋してあるなど、橋梁点検車などを用いた一般的な点検が困難なものも多く、点検費用も含めて課題となっている。

国土交通省では、これら課題への対応から、新技術を用いた点検を多数提案しているところであり、弊社においても、このような点検の必要性を強く認識し、実施、検証の機会をうかがっていた。

折しも、2020年度に受注した橋梁点検業務の中には、斜張橋であるミュンヘン大橋が含まれていた。

この橋梁は、2021年度に補修工事の中で吊足場の設置が予定されていたため、新技術で点検を行った翌年度に、足場から近接目視で新技術点検の精度検証が可能である。この点を発注者に説明し、承認を得て新技術による点検を行った。この結果を第一報として紹介する。



写真-1 ミュンヘン大橋全景

表-1 ミュンヘン大橋 諸元

|       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| 橋梁名   | ミュンヘン大橋(斜張橋)                         |
| 架設年度  | 1991(H3)年4月1日                        |
| 橋長    | 171.70m                              |
| 幅員構成  | 22m(歩道3.0m+車道8.0m+8.0m+歩道3.0m)       |
| 橋梁形式  | 2径間連続PC箱桁/斜張橋/直接基礎                   |
| 斜角    | A1=84° 0'0"、P1=76° 0'0"、A2=72° 45'0" |
| 渡河条件  | 石狩川水系 豊平川                            |
| 河川管理者 | 北海道開発局 札幌河川事務所                       |
| 定期点検  | 2巡目以降                                |

## 2. 試行した新技術

### (1) 新技術の選定

新技術の選定は、国土交通省が発行した「点検支援性能カタログ(案)」(対象:橋梁、技術の分類:画像計測技術、全24案)を基に決定した。選定条件として、①専用機材が必要なく、一般に利用できる機材で撮影した画像の解析が可能。②現場作業は、業務受注者が対応可能な技術。③システムの購入または年間契約を要する技術は除外。今回は業務工期や経済性の観点から、以上を選定の条件とし抽出した。検討の結果、2案を採用することとした。

### (2) 新技術の概要

近接目視を伴わず、撮影画像からAIでひび割れを解析できる新技術2案について表-2に概要表を添付する。

以降は、新技術①および新技術②と呼称する。

新技術①は、撮影から画像解析結果の取りまとめまで依頼することが可能である(個別依頼も可能)。今回は、画像解析のみ依頼した。

新技術②は、専用のアプリをダウンロードして使用する。画像解析作業以外はすべて自社での作業となる。

## 橋梁点検における新技術の試行 - 第一報 -

表-2 新技術 概要表

|                  | 新技術①   | 新技術②  |
|------------------|--|---|
| 概要               | <ul style="list-style-type: none"> <li>撮影画像を画像解析用に処理し、変状検知ソフトによりひび割れ等を検出するサービス。</li> <li>撮影、画像処理、変状検知の3工程のサービスがある。</li> <li>3工程とも単独で依頼可能。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>撮影した画像を、クラウドサーバにアップロードし画像処理、画像解析を依頼。</li> <li>処理完了後、サーバよりダウンロードし成果品用に編集可能。</li> <li>すべての作業がWeb上で可能。</li> </ul> |
| 対象変状種類           | ひびわれ/床版ひびわれ/剥離・鉄筋露出/漏水・遊離石灰/抜け落ち<br>※ひび割れ対応幅=0.05mm~   | 自動検出:コンクリート ひびわれ/床版ひびわれ<br>目視検出:剥離、鉄筋露出、遊離石灰、漏水<br>※ひび割れ対応幅=0.1mm~  |
| サービス形態/契約方法等/条件等 | <ul style="list-style-type: none"> <li>撮影~画像処理~損傷解析~調査作成</li> <li>上記工程の一部依頼可能</li> <li>撮影機材のリースは不可(機材の紹介は可)</li> <li>損傷図作成支援ソフトの販売とサポートも可</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>利用形態:ソフトウェアサービスHPよりユーザー登録を行えば無償でインストール可能</li> </ul>  |
| サービス開始時期         | 2019年12月   | 2018年4月   |
| 撮影画像ラップ率         | 45%程度  | 15~30%程度  |
| 許容撮影角度           | 最大45°まで  | 最大15°まで   |
| 作業自由度            | <ul style="list-style-type: none"> <li>項目ごとに依頼可能であり、使用機材も自由度が高い。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>画像診断のみのサービスであり、その他の作業は依頼者側で作業可能。</li> <li>簡易に利用できるシステムである。</li> </ul>  |
| 備考               | ※技術管理・現場作業技術と、画像解析AIソフト管理技術を別々の会社で実施している。  | ※システムを無償で利用でき、月換算で精算できるため、利用しやすい。   |

## 3. 解析用画像

### (1) 撮影範囲

撮影対象範囲は、過年度特殊点検を要した箇所とした。主に河川上とし前回点検時にロープアクセスを利用した範囲を対象としている。

### (2) 画像品質

画像品質は、各技術資料および取扱説明書等を把握し条件に見合った画像を用意する。

検討の結果、「画素数/画角=0.3PIX/mm」を標準とした。本数値は、特に規定はないが「点検支援技術カタログ」等の資料に掲載されている、ひび割れ幅0.1mmを検出するために要する値を開発者に確認したところ、指示された数値である(詳細は後述する)。

### (3) 撮影手法

#### ① ドローンによる撮影

機体は、上部にカメラ設置が可能な「Matrice300RTK」を選定した(写真-2)。本機に搭載可能なカメラで、前述の条件を満たすためには、撮影対象に1m程度まで接近する必要があることがわかった。機体には全方向センサーが搭載されているが、安全を期するため監視員を置いた(写真-3)。

#### ② 高解像度カメラによる撮影(望遠レンズ使用)

カメラは、撮影距離(最大30m程度)等からフルサイズミラーレス一眼レフのSONY α7RⅢ(4,240万画素)を使用した(写真-4)。加えて、望遠レンズやフラッシュ、レベラーを使用することにより、対象範囲はすべて徒歩での作業とすることができた。

新技術①は、最大45°まで撮影角度を許容できるため、移動回数が少なく作業性が良好であった。

新技術②は、ほぼ正対での撮影のため移動回数が多くなる結果となった(表-3)。



写真-2 ドローン使用機体



写真-3 ドローン撮影状況

表-3 撮影時移動回数表(参考値)

|      | 撮影対象 | 対象範囲 | 単位             | 撮影距離 | 移動回数  |
|------|------|------|----------------|------|-------|
| 新技術① | 床板   | 100  | m <sup>2</sup> | 7.5m | 1回    |
|      | 橋脚   | 350  | m <sup>2</sup> | 35m  | 0回    |
| 新技術② | 床板   | 100  | m <sup>2</sup> | 7.5m | 20回程度 |
|      | 橋脚   | 350  | m <sup>2</sup> | 35m  | 15回程度 |

※上記数値は、本作業での参考値



写真-4 高解像度カメラ各部解説



写真-5 ケース1の画像解析結果-1

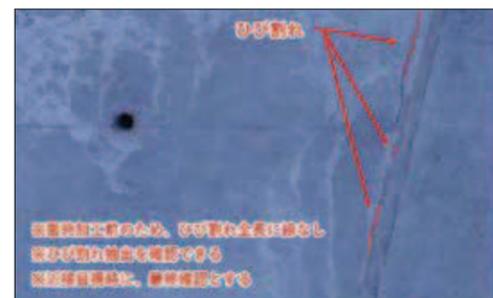


写真-6 ケース1の画像解析結果-2

② ケース2 (ドローン) の解析結果

本ケースは、橋脚の画像を例に報告する。現状の橋脚は、床板に比べひび割れが多い。解析画像にも反映されており、ひび割れ幅の種類も0.05mm～0.3mm以上で検出された。詳細な結果は、近接目視点検後になるが、画像からもある程度は検出していることが確認できた。ただし、未検出の箇所もあった(写真-7)。

表-5 新技術①のひび割れ抽出種類選定画面

| ひび割れ種類                | 抽出数 |
|-----------------------|-----|
| ひび割れ(0.05mm未満)        | 42  |
| ひび割れ(0.05mm以上0.1mm未満) | 36  |
| ひび割れ(0.1mm以上0.2mm未満)  | 100 |
| ひび割れ(0.2mm以上0.3mm未満)  | 114 |
| ひび割れ(0.3mm以上)         | 383 |



写真-7 ケース2の画像解析結果

(2) 新技術②の画像解析結果

③ ケース3 (高解像度カメラ) の解析結果

ケース1と対比するため、床板の画像を例として報告する。床板の状況は、前述のとおりである。結果は新技術②もある程度ひび割れを抽出しているが、未検出箇所も確認できた。

4. 試行した新技術の組合せ

今回、試行した新技術の種類は、前述の撮影手法(ドローン撮影画像、高解像度カメラ撮影画像)および今回選定した新技術2案での試行としたため、全4ケースとなった(表-4)。

表-4 試行した新技術ケース表

| ケース1                   | ケース3                   |
|------------------------|------------------------|
| 新技術①<br>+<br>高解像度カメラ画像 | 新技術②<br>+<br>高解像度カメラ画像 |
| ケース2                   | ケース4                   |
| 新技術①<br>+<br>ドローン撮影画像  | 新技術②<br>+<br>ドローン撮影画像  |

5. 新技術試行結果

(1) 新技術①の画像解析結果

① ケース1 (高解像度カメラ) の解析結果

本ケースでは、床板の画像解析結果を報告する。

本橋梁の床板は損傷が少なく、床板端部以外は目立つひび割れは無かった。次に示す写真(写真-5、写真-6)内にある赤線がひび割れを表しているが、確認した限り「写真-5」はコンクリートの打ち継ぎ目と思われる。ただし、「写真-6」の様に、ひび割れも抽出しているのが確認できた。その他、未検出のひび割れもあった。

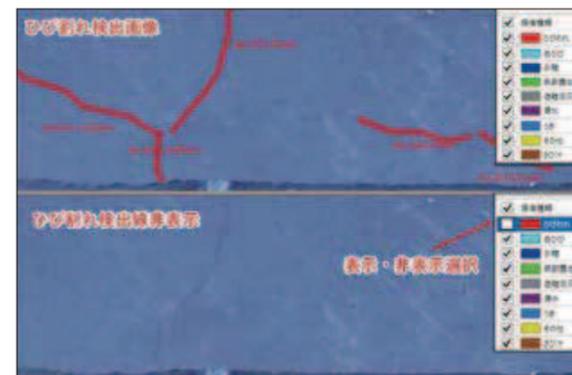


写真-8 ケース3の画像解析結果

④ ケース4 (ドローン) の解析結果

ケース2と対比のため、橋脚の画像を例として報告する。使用画像は、亀甲上のひび割れが発生している箇所とした。検出本数は多く、また詳細にひび割れ幅も分けられていた。ただし、未検出箇所もあった(写真-9の黄丸箇所等)。



写真-9 ケース4の画像解析結果(ひび割れ表示)



写真-10 ケース4の画像解析結果(ひび割れ非表示)

6. 画像解析結果の考察

本試行では、2案を選定し実施したが、本条件下においては、新技術②のAI画像解析による、ひび割れ抽出率が若干高かった(1.5倍程度 写真-11)。理由として、新技術②が先行でサービスを開始していたためと推察する。ただし、ひび割れ検出(AI)以外のすべての作業を自身で行う必要があるため、利用者の都合(撮影作業、価格、

撮影範囲等)で、ある程度の作業を依頼できる新技術①と使い分けても良いと考える。また、現時点ではどちらの技術も近接目視点検の精度は有していないため、点検者の精査を要する。

撮影作業に関し現時点では、風の影響が大きいことが分かった。強風の場合は、画像のブレが発生するため対策を要する。ブレてしまった画像は、ひび割れが検出できない。経済性は、対象面積にもよるが、過年度に実施したロープアクセスとほぼ同程度の価格となった。安全性は、高所作業や危険作業が無いいため、各段に向上している。

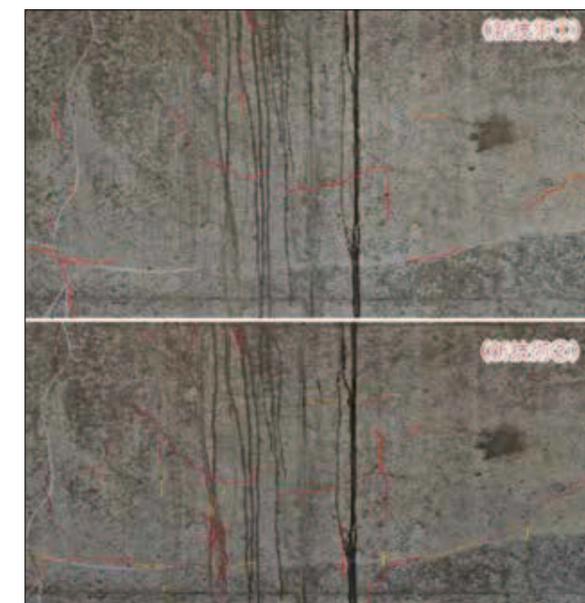


写真-11 新技術比較写真(ひび割れ比較)

7. おわりに

AI画像解析技術は、現時点で結果の補完が必要であることが分かった。その割合は、近接目視を100%とした場合、AI画像解析は約70%程度で残りの30%を人の手による補完といった印象であった。

また、今回の新技術では打音検査が行えないため、浮き・剥離が疑われる箇所には、別途近接での作業を要する。よって、点検を支援するシステムであるという認識の基に利用することが重要と考える。

ただし、今回使用したAI画像解析は発展途上の技術であり、多くの損傷をAIに学ばせることにより、解析結果は100%に近づくものと考えられる。

その他、緊急点検時等の早急な対応が求められる状況では、点検機械の手配や大規模な災害時は車両の乗入れが不可能となる場合がある。その際は、近接に及ばないものの、遠方から判定が可能であり、ある程度の損傷も検出できるため、非常に有効な手法である。

翌年度に実施する近接目視との比較結果に期待したい。

# 3次元技術を活用した河道設計

REPORT

技術本部 河川環境部

西條 理穂子



西條 理穂子

## 概要

近年、建設業界では「DX」の推進により、BIM/CIMの導入やUAVによる3次元測量などICT技術の活用が進んでいる。弊社においても生産性や技術力の向上、他社との差別化を図ることを目的として、平成30年度から3次元データを活用した河道設計の3次元化に取り組んでいる。

本稿では、平成31年度に実施した河道設計業務の事例をもとに、3次元CADの作業工程や導入成果、今後の課題について報告する。

キーワード：●3次元CAD ●中小河川 ●河道計画 ●i-Construction ●ICT ●BIM/CIM

## 1. はじめに

近年、コンピューター技術の発達により、我が国のあらゆる分野の業種でICT (Information and Communications Technology) 化が進んでいる。平成30年には、より迅速に企業がデジタル技術活用を進めるための取組として「DX (Digital Transformation)」が推進されるようになった。

建設業界ではDXの一環として、平成28年度に国土交通省が掲げた「i-Construction」と呼ばれる生産性革命プロジェクトに取り組んでいる。現在日本では、高齢化や人口減少の影響による人材不足と、それに伴う生産性の低下が懸念されており、i-Constructionは建設業界におけるこれらの問題の解消を目的に取り組まれている<sup>1)</sup>。このプロジェクトは測量、設計、施工、検査、維持管理等の事業プロセスにICTを導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を目指すものである。よって建設コンサルタントでは、建設プロセスへのICT技術の全面的な活用を進めることが、業務上で求められている。

当社においても、作業のICT化を進めており、UAVを活用した測量・点検調査や3次元CADを利用した計画・設計を推進する等、業務の効率化に取り組んでいる。

本稿では、3次元CADを利用した河道設計業務への取り組みについて紹介する。

## 2. 3次元技術を活用した河道設計手順

### (1) 3次元技術を活用した河道設計フロー

3次元技術を活用した河道設計は、図-1に示すフローにより行う。

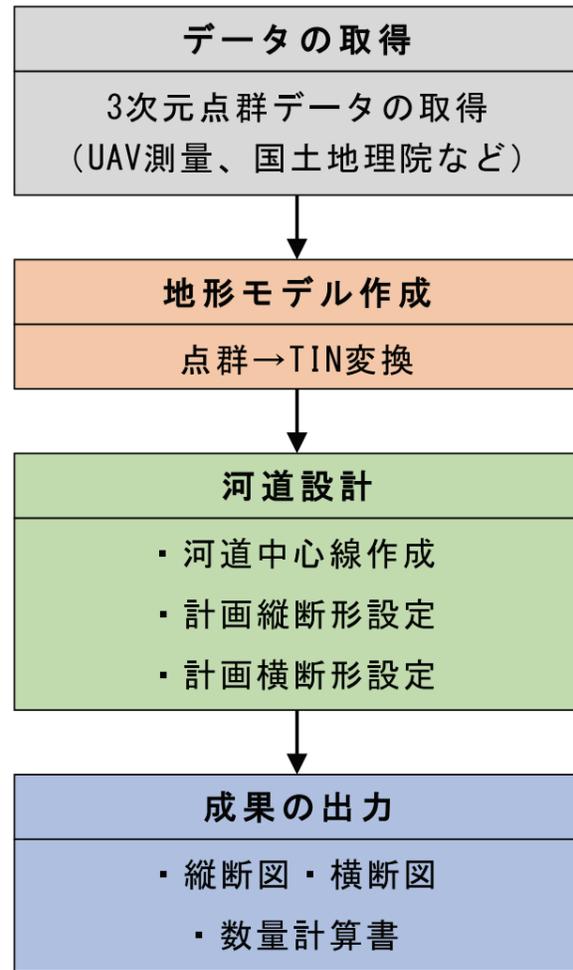


図-1 3次元河道設計フロー図

### (2) データの取得

地形データは、UAVレーザー測量や国土地理院のDEMデータ (数値標高モデル) 等を利用して、対象河川における現況地形の情報が含まれた点群データを取得する。

## 3次元技術を活用した河道設計

### (3) 地形モデル作成

地形モデルは、取得した点群データを基に「TIN」と呼ばれる三角形の集合体で3次元データを表現するデジタルデータ構造に変換することで作成する。

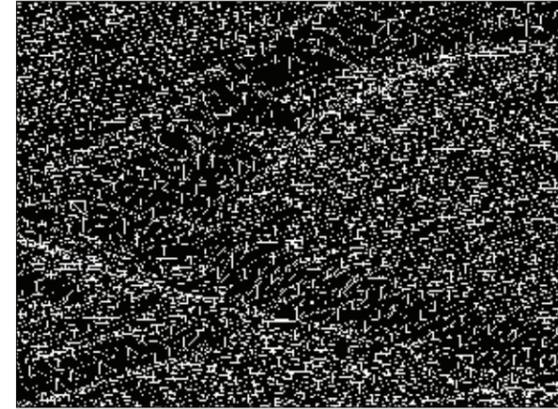


図-2 TIN作成

### (4) 河道設計

地形モデルの作成後、河道設計に必要な法線形、計画横断面形 (定規断面図)、計画縦断面形 (計画築堤高、計画高水位、計画河床高等) の情報を入力し、河道設計の3次元モデルを構築する。

3次元モデルの構築が完了すれば、縦断面図・横断面図の出力や、地形モデルと3次元河道設計を組み合わせることによって、土量計算書を算出することも可能である。



図-3 3次元モデル

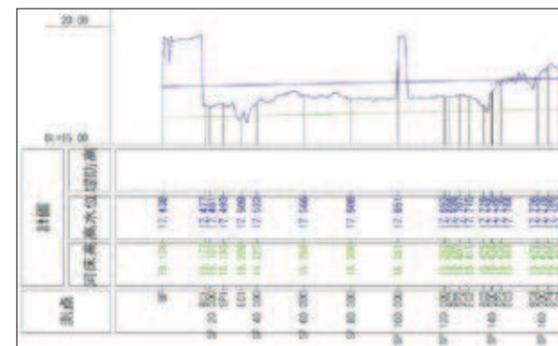


図-4 3次元モデルから作成した縦断面図

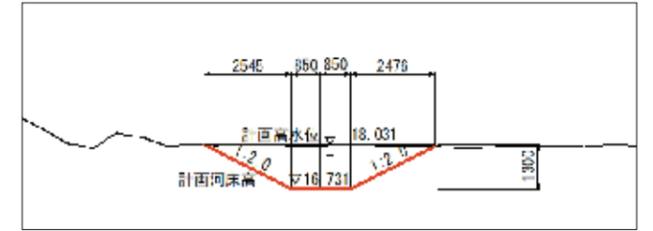


図-5 3次元モデルから作成した横断面図

表-1 3次元モデルから作成した土量計算書

| 土量計算書(3Dモデル) |            |         |         |         |          |          |
|--------------|------------|---------|---------|---------|----------|----------|
| No.          | 測点         | 区間距離(m) | 掘削量(m3) | 盛土量(m3) | 差引土量(m3) | 累加土量(m3) |
| 1            | SP.165.000 | 3.7     | 28.62   | 0       | 28.62    | 28.62    |
| 2            | SP.168.696 | 11.3    | 79.44   | 0.02    | 79.42    | 108.04   |
| 3            | SP.180.000 | 0.97    | 6.19    | 0       | 6.19     | 114.23   |
| 4            | SP.180.965 | 4.04    | 26.01   | 0       | 26.01    | 140.24   |
| 5            | SP.185.000 | 6.82    | 45.8    | 0       | 45.8     | 186.04   |
| 6            | SP.191.817 | 5.27    | 36.45   | 0       | 36.45    | 222.49   |
| 7            | SP.197.090 | 2.91    | 20.98   | 0       | 20.98    | 243.47   |
| 8            | SP.200.000 | 2.36    | 17.2    | 0       | 17.2     | 260.67   |
| 9            | SP.202.364 | 2.64    | 19.39   | 0       | 19.39    | 280.06   |
| 10           | SP.205.000 | 3.22    | 23.93   | 0       | 23.93    | 303.98   |

## 3. 3次元河道設計 / 事例紹介

### (1) 対象業務の概要

ここでは、平成31年度に当別町より発注された「パンケチュウベシナイ川河川改修工事測量設計委託」業務の設計事例を紹介する。

本河川は、当別町の市街地を貫流して当別川に合流する流域面積16.2km<sup>2</sup>、流路延長11.5kmの一級河川である。本業務の対象区間は、当別町が管理する準用河川区間4.6kmの内、上流側の未整備区間1.1kmとなっている。

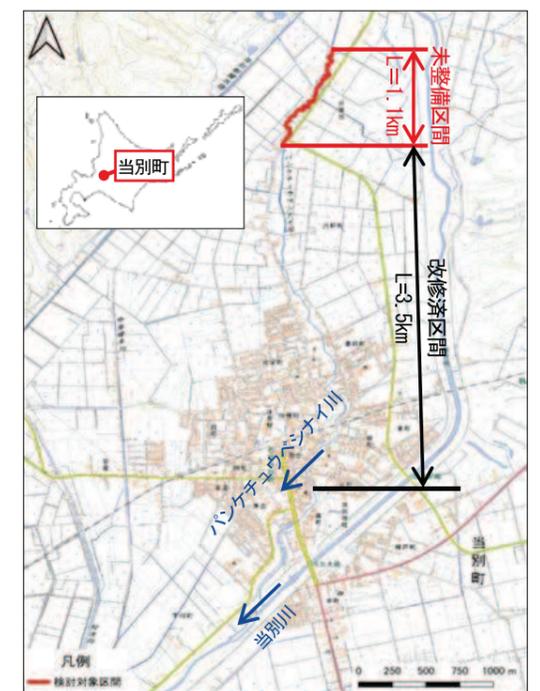


図-6 業務位置図

(2) 業務経緯および目的

検討対象区間は未改修のため、河川の断面が小さく蛇行が激しいことから、近年の融雪出水被害や豪雨による氾濫被害が頻発していた。

そのため、氾濫被害の解消を目的として、未整備区間を対象に、測量調査、河道計画等を行った。

(3) 業務遂行上の課題および問題点

パンケチュウベシナイ川は著しく蛇行しており、浸水被害は特に湾曲がきつい箇所が発生している。そのため、頻発している浸水被害を軽減するためには、河道法線の是正が必要である。しかし、当該区間は両岸が農地として利用されており、家屋も近接していることから、河岸法線の設定は近隣住民の意見などを踏まえて設定する必要がある。また、改修工事が翌年に控えているため、業務をスムーズに進める必要がある。

問題点1



問題点2

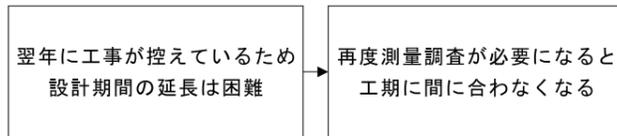


図-7 業務遂行上の問題点



図-9 河道モデル(パンケチュウベシナイ川)

(4) 3次元技術を活用した解決策の提案

大幅な河道法線の変更による工程の遅れ等を回避するための方策として、「UAVレーザーによる3次元測量」を発注者に提案した。

通常の測量調査であれば、測線上の地形データしか取得できないため、河道法線の変更が生じた場合は再度測量調査を行い、地形データを取得する必要がある。しかし、UAVレーザーによる3次元測量であれば、面的に地形データを取得できることから、ソフトウェア上で河道法線を変更するだけで、変更後の現況地形を取得することが可能となる。よって、河道法線の変更毎に測量調査を行う必要がなくなることから、作業時間の大幅な短縮につながる。また、本来なら2日程度かかる土量計算も、3次元CADであれば数時間で作業を終わらせることが出来る。

(5) 3次元技術を活用した河道設計

UAVレーザーを用いて計測した、河道沿いの3次元点群(図-8)をもとに、当該河川の地形モデルを構築し、3次元技術を活用した河道設計を行った(図-9)。



図-8 UAVレーザー測量(点群データ)

「(3) 業務遂行上の課題および問題点」を踏まえて、本業務では表-2および図-10に示す河道法線案を沿川住民に提示した。

沿川住民と協議を行った結果、河道法線の変更が複数回生じたものの、浸水被害を軽減するためには河道法線の是正が必要であることを理解して頂き、3案の法線是正案を採用することとなった。

表-2 河道法線改修案

|    |              |
|----|--------------|
| 1案 | 現況河道なり案      |
| 2案 | 未利用地ショートカット案 |
| 3案 | 法線是正案        |

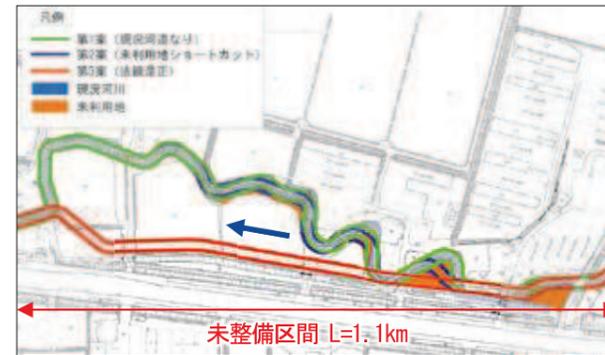


図-10 河道法線改修案

(6) 3次元設計による効果

当該業務は工事を翌年度に控え、工程の遅れが許されない中で頻りに河道法線が変更になった河道設計業務であった。しかし、3次元河道設計を取り入れたことにより、複数の点で業務を有利に進めることが出来た。

〈3次元河道設計の有利な点〉

- ①設計作業の効率化  
改修方針の変更に伴う設計図面および土量計算書の修正時間を大幅に削減できた。
- ②成果品の品質向上  
3次元CADは縦平面、横断が連動しているため、河道法線を変更した場合においても、多くの部分で縦横断が連動して変更になることから、設計作業上のミスを防止することができた。

(7) 施工後の状況

3次元技術による作業時間の短縮によって、パンケチュウベシナイ川河道設計は翌年の工事に間に合い、2020年に改修工事が実施された。

当該河川では、2018年に融雪出水や豪雨による氾濫被害が生じていたが、施工直後の2021年では融雪出水による溢水氾濫は発生していないとのことだった。

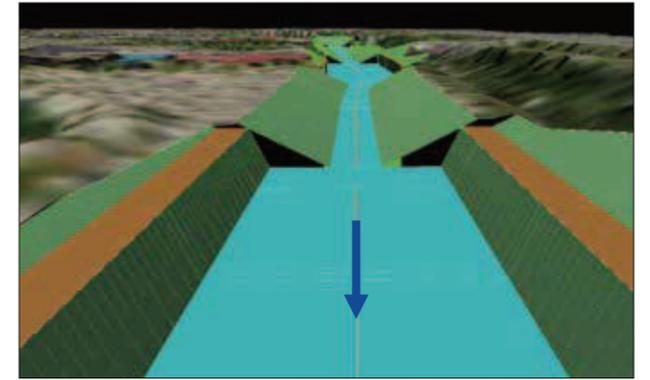


図-11 パンケチュウベシナイ川施工断面



写真-1 パンケチュウベシナイ川施工後(R3.8.27撮影)

4.まとめ

国土交通省では令和5年度までに小規模なものを除いたすべての公共工事について、BIM/CIM活用への転換を実現しようとしている。

北海道でも令和3年3月に「北海道Society5.0推進計画」が策定され、今年度から令和8年度までの5年間を推進期間として、ICT技術への転換を推進している。

これらの状況を鑑みて、今後も河道計画へのICT技術、特に3次元技術を積極的に活用していくことで、業務の効率化、ミス削減につなげていきたい。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省：資料1 i-Constructionの推進

# UAV搭載型レーザスキャナによる 三次元計測と今後の展望

REPORT

技術本部 情報システム部 測量調査室  
香川 誠 技術士(建設部門) 三浦 大



香川 誠 三浦 大

## 概要

近年、i-ConstructionやCIMが推進される中、全ての基となる三次元地形データの重要性が急速に高まっていることを受け、弊社ではUAV搭載型レーザスキャナを導入し、令和3年度より本運用を開始している。本稿では、導入したレーザスキャナの概要や、実業務における計測事例を述べる。

キーワード：●ドローン ●三次元点群 ●CIM

## 1. はじめに

近年、測量設計分野においてUAV（ドローン）が広く活用されており、ドローン撮影画像を解析して三次元データやオルソ画像を生成する機会も多い。

しかし、ドローン撮影画像を利用した写真測量による三次元データの取得は、地表部にある樹木や草本類などの影響により、地形状況を正しく表現することが困難であることが課題である。

その課題に対応すべく、弊社ではUAV搭載型レーザスキャナを導入し、令和3年度より本運用を開始した。

## 2. 導入したUAV搭載型レーザスキャナの概要

UAV搭載型レーザスキャナは、UAV本体やレーザスキャナ、IMU、GNSSなどで構成されており、主な仕様を表-1に示す。

表-1 今回導入したUAVレーザシステムの基本仕様

| 機械          | 型番                        | 性能等         |                         |
|-------------|---------------------------|-------------|-------------------------|
| レーザ<br>スキャナ | Velodyne<br>VLP-32 C      | 計測精度        | ±5cm                    |
|             |                           | 最大計測距離      | 200m                    |
|             |                           | レーザ照射角      | 360度                    |
| GNSS        | Topcon<br>B111            | 観測間隔        | 1秒以下                    |
|             |                           | 受信周波        | 2周波                     |
| IMU         | OXTS<br>xNAV550 v3        | 測位精度(m)     | 0.05以下                  |
|             |                           | 速度精度(m/sec) | 0.015以下                 |
| カメラ         | Sony<br>α7 RIII           | 撮像素子        | 35mmフルサイズ <sup>1)</sup> |
|             |                           | 有効画素数       | 約4240万画素                |
| UAV         | DJI<br>Matrice<br>600 Pro | 飛行可能時間      | 15分以上                   |
|             |                           | 対地高度        | 150m以下                  |
|             |                           | 気象条件        | 地上風速 5m/s程度以下           |

今回導入したUAV搭載型レーザシステムの特徴は以下のとおりである。

### (1) UAV 搭載型レーザシステム

- 100m以上の対地高度から計測が可能であり、広範囲を安全に計測できる。
- 下方向だけではなく、飛行方向に対して側面や上方を含めた全方位の計測が可能のため、オーバーハングしているような崖地も計測できる。

### (2) カメラ

- 主として、点群データに色情報を付加するため、また必要に応じて写真測量も行えるよう、4K高解像度の一眼レフカメラを搭載した。

### (3) UAV 本体

- レーザシステムや大容量バッテリーを積載するため、産業用UAVであるDJI社のMatrice600Proを採用した。



図-1 UAV搭載型レーザシステムの装着状況

## UAV搭載型レーザスキャナによる三次元計測と今後の展望

### 3. UAV搭載型レーザスキャナによる計測の メリット

#### (1) 写真測量に対するメリット

- 写真測量では上空から見えている範囲の標高しか取得できないが、UAV 搭載型レーザスキャナでは樹木下のデータを取得できる(図-2)。
- 対空標識の設置など現地で行う作業が少ないため、崩落地などでも安全に作業できる。
- 急傾斜や構造物の側面など、上空から取得しにくい箇所の計測精度が向上する。

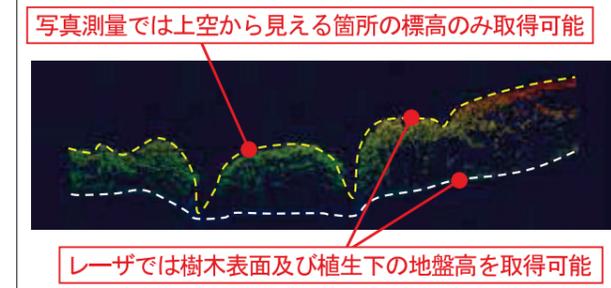


図-2 取得できる横断標高データの違い

#### (2) 航空レーザに対するメリット

- 対象エリアが狭い場合、大幅に低コストである。
- 航空レーザが1点/m<sup>2</sup>程度の計測密度であるのに対して、低高度且つ低速で計測するため、100点/m<sup>2</sup>程度の高密度データを取得可能(図-3)。
- 植生が密生していても、植生の隙間から地表面へレーザが届く可能性が高い。
- 計測対象付近から離陸するため、気象条件に左右されにくい。

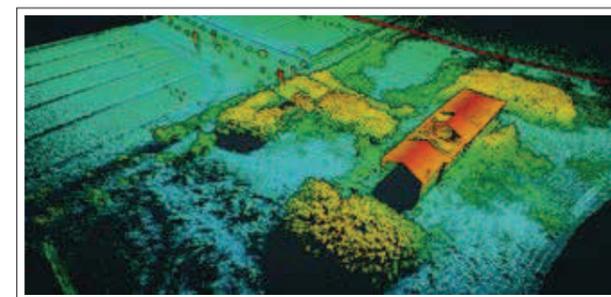


図-3 高密度点群のイメージ

### 4. 計測データの一部

レーザスキャナで計測したデータを処理することで、樹木等を含む3Dデータ(DSM)、地形のみの3Dデータ(DEM)、等高線、横断図などの作成が可能である。



図-4 レーザにより取得したオリジナルデータ

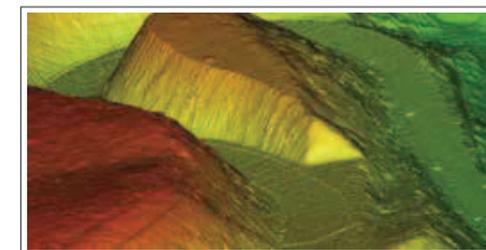


図-5 上図より樹木を除去した標高データ

## 5. 今後の展望

UAV搭載型レーザスキャナは、植生の有無に左右されず地形計測できる特徴を活かし、様々な状況下での活用が期待できる。

#### (1) 災害時の初動調査

上空から安全に計測できるため、崩落の危険性があるような被災箇所での活用が期待できる。

#### (2) 樹木調査

樹木の形状を判読できるほどの高密度計測が可能のため、樹木管理への活用が期待できる。

#### (3) 点検調査への活用

土砂災害や道路防災などの危険箇所スクリーニングでの活用が期待できる。

## 6. おわりに

UAV搭載型レーザスキャナは、建設現場の生産性向上に資する新技術として、国土地理院において関連マニュアル<sup>1)</sup>の整備が進められている。

本稿がUAV搭載型レーザスキャナの利活用推進及び安心安全な社会資本整備の一助となれば幸いである。

### 〈参考文献〉

- 1) 国土地理院：『UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)』、令和2年3月31日

# 津波遡上区間に設置される樋門の液状化対策事例

REPORT

技術本部 水工部  
櫻井 啓多



櫻井 啓多

## 概要

樋門耐震性能照査では、液状化判定により液状化が推定される土層を対象として、築堤変形解析（FEM解析）を実施することで液状化による沈下量を算出、沈下後の築堤高と外水位を比較し堤内地に河川水が氾濫しないか照査を行う。津波対策を実施する河川において、津波遡上区間に設置される樋門では、津波遡上水位を照査対象水位とすることで、沈下後の築堤高が外水位を下回ってしまう場合があり、沈下抑制対策が必要となる。

本稿では、津波遡上区間に設置される液状化対策を検討した樋門設計を事例として、液状化層厚が著しく厚いケースにおける築堤変形解析の事象に対して、対策方法や改良範囲の設定方法等について留意点を交えて紹介する。

キーワード：●樋門 ●耐震設計 ●FEM解析 ●津波遡上対策 ●液状化対策 ●地盤改良

## 1. はじめに

本事例の対象樋門は、北海道内の某市町村を流れる一級河川B川に設置されている。樋門設置箇所における特徴を以下に略記する。

- ①河口から4.7km地点に位置し津波遡上区間に該当するため、耐震性能照査においては津波遡上水位（>平常時の最高水位）が照査対象となる。
- ②液状化層厚が約20m存在し、液状化によって著しい地盤沈下が生じる。

本事例は、上記条件①②が重なったことで、液状化による沈下後の築堤高が照査外水位を下回り、液状化による沈下抑制を目的とした地盤改良の検討が必要となった樋門設計である（図-1）。

本稿では、液状化層厚が著しく厚いケースにおいて築堤変形解析の解析中に生じる課題とその対応策及び液状化対策方法や改良範囲の設定方法等について紹介する。

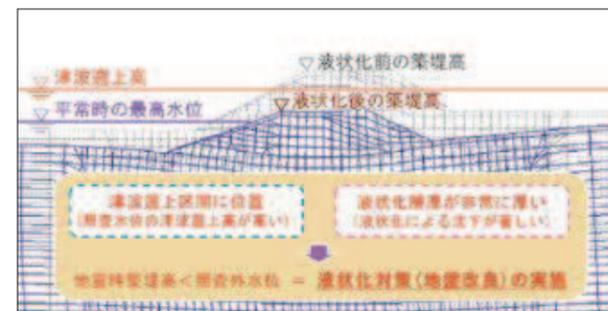


図-1 本事例の経緯および特徴

## 2. 無対策地盤における築堤変形解析の補正

変形解析は静的照査法（有限要素法を用いた自重変形解析）により行った。静的照査法は、地震による堤防沈下のメカニズムを液状化した土層の剛性低下によるものと仮定して、沈下量を求める解析手法である。

静的照査法では、液状化により低下した剛性は、ある一定のひずみを超えると急激に回復、それに伴って沈下が収束すると考えられている（図-2）。

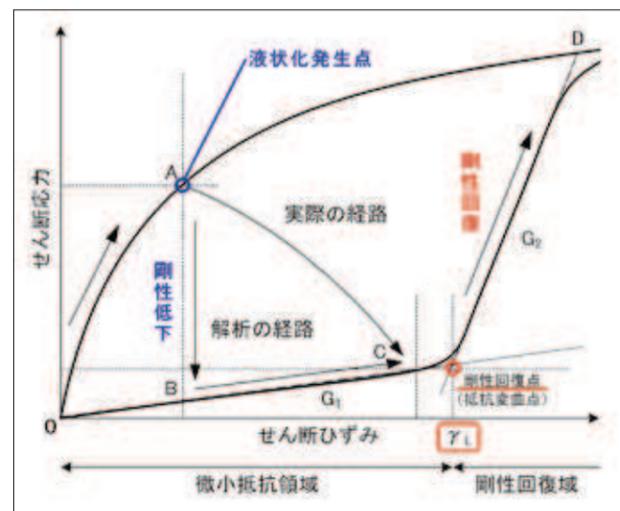


図-2 せん断応力とせん断ひずみの関係

出典：「河川堤防の液状化対策の手引き<sup>1)</sup>」より抜粋、一部加筆

当該箇所の液状化判定結果を踏まえ、無対策地盤における築堤変形解析を行った結果、沈下後の変形図は図-4：CASE-1となった。液状化層厚が著しく厚いケースにおいては、地盤が波打っているような非現実的な解析結果となる場合があり、液状化による沈下量は液状化層厚に大きく支配されると判断した。

同図のような変形解析結果は、静的解析ソフトウェアで採用されている構成式の「割り切り」による不当な剛性低下が要因であり、解析結果の精度を高めるため検討条件に補正を行う必要がある。そこで本事例では、「現実ではどの程度の沈下まで起こり得るのか」という点に着眼し補正方法を検討した。

河川堤防の耐震点検マニュアル<sup>2)</sup>では、「既往の地震において堤防高の75%以上の沈下が生じた事例はなく、最

## 津波遡上区間に設置される樋門の液状化対策事例

低でも堤防高の25%は残存していたことが経験的に知られている」と記載されている（図-3）。

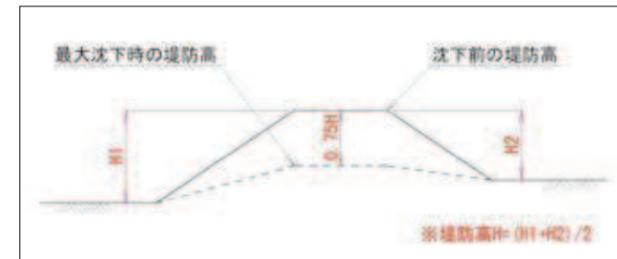


図-3 最大沈下量(堤防高の75%)の模式図

沈下量が堤防高の75%で留まるのは、堤体が液状化層にめり込むことで浮力が作用し、堤体の荷重と浮力が釣り合うためであり、図-4：CASE-1のような解析結果となるのは、この浮力の影響が静的照査法では考慮されていないことが原因である。

以上を踏まえ変形後の沈下量が基の堤防高の75%となるよう補正を行った。

堤防高の75%を超える沈下が生じる場合の補正方法については、関連する基準（河川堤防の液状化対策の手引き<sup>1)</sup>）では明確な手法が示されておらず、疑似的に仮想バネをモデル化する方法があると記載されている。

ここでいう「仮想バネをモデル化」とは、浮力分のバネ値（剛性）を地盤のせん断剛性に加えることで強制的にせん断強度を上昇させることを指すため、地盤のせん断剛性を上昇させる方向性で検討を行った。

本事例では、静的照査法における「剛性回復点のせん断ひずみ： $\gamma_L$  (%)」（図-2）に着目し補正を行うこととした。 $\gamma_L$ は液状化により低下したせん断剛性が回復する境目

となるせん断ひずみであり、回復後のせん断剛性 $G_2$  (kN/m<sup>2</sup>) は $\gamma_L$ に支配される（式-1）。

$$G_2 = 2000 / \gamma_L \dots \text{式-1}^{3)}$$

この $\gamma_L$ の値は解析ソフト上では自動算出されていたが、現実の地盤では自動算出された値よりもひずみが小さい段階で剛性が回復しているのではないかと仮定、沈下量が堤防高の75%となる $\gamma_L$ の値をトライアル解析することで、75%沈下時におけるせん断剛性を設定し沈下抑制を図った。

補正後の変形図は図-4：CASE-2となり、補正前と比べ変形が大きく抑制され、現実的な解析結果となった。

この解析結果を基に沈下後の築堤高と外水位の比較を実施、地震時築堤高が照査外水位を下回ったため、沈下抑制対策（地盤改良）が必要となった（図-5）。

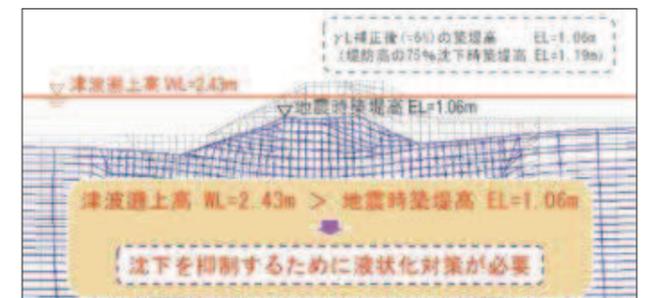


図-5 地震時築堤高と照査外水位の比較図

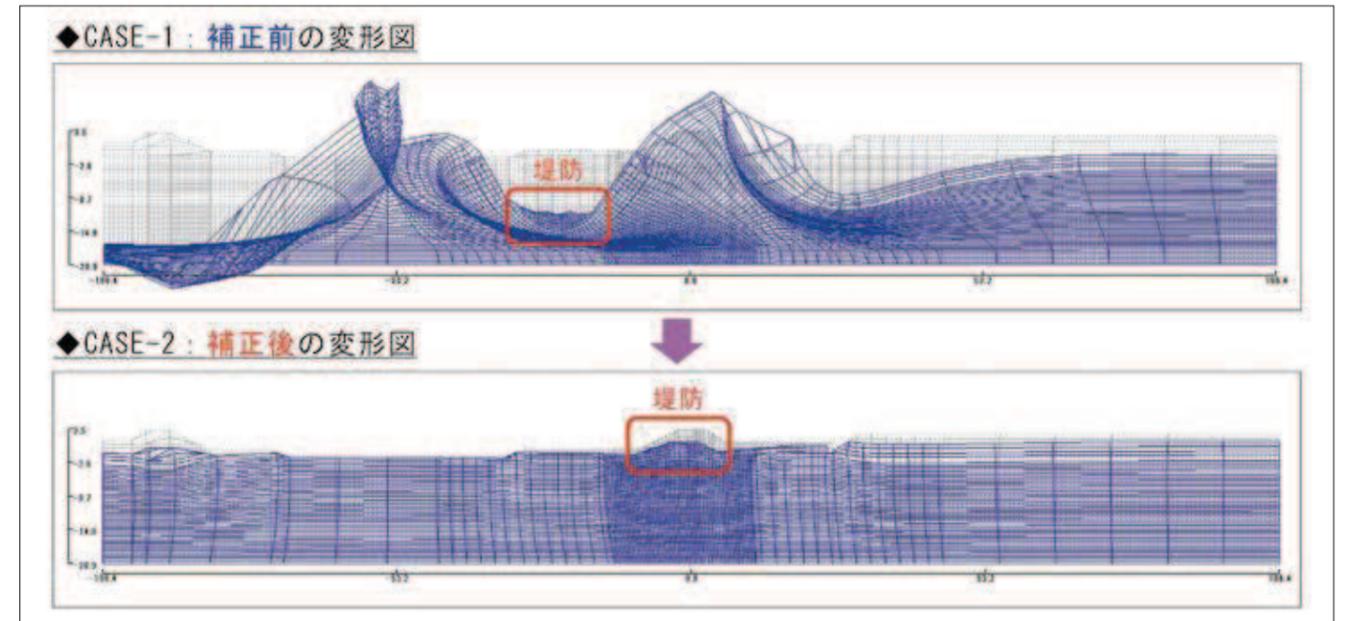


図-4 補正前後における変形図の比較

### 3. 地盤改良範囲の設定

改良工法については、地盤条件への適用性および樋門の残留沈下対策も兼ねる改良である点を考慮し、比較的実績の多い固結工法を採用した。

固結工法における改良範囲は、基準<sup>1)</sup>では以下の範囲を推奨している。設定例は図-6となる。

- ①改良深度：液状化層全層を対象とし、支持層への一定以上の根入れ（1.0mまたは液状化層厚の0.1倍のうち小さい方以上）を加えた深度までを基本とする。
- ②改良範囲：堤防法尻直下を改良範囲に含めることを原則とし、改良幅は改良深度の0.6倍程度以上とする。

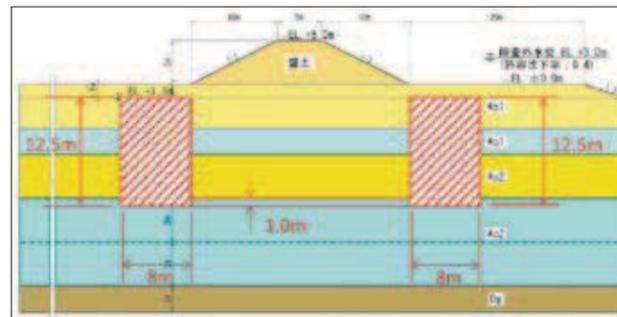


図-6 固結工法における改良範囲例

出典：『河川堤防の液状化対策の手引き<sup>1)</sup>』より抜粋

基準<sup>1)</sup>で推奨している範囲では、本事例のような液状化層厚20mの場合においては、改良深度が深くなるに比例して改良幅も広がっていくため、川表川裏法尻にそれぞれ最大12mもの改良幅が必要となる。

これにより、河川敷地が狭い場合等、用地の問題から施工困難となるケースが多くなると懸念される。

更に本事例においては、堤防背後に高压送電線が近接していることで、施工時の安全隔離が確保できないため、上記範囲における地盤改良が施工困難となった。

検討結果より、本事例では堤体直下地盤の改良を行うこととした（図-7）。

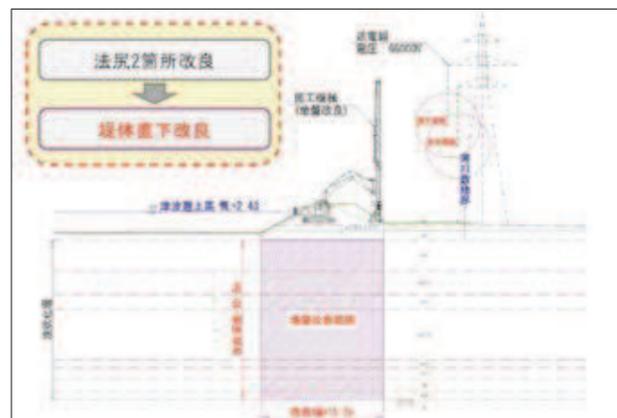


図-7 本事例における地盤改良範囲(堤体直下地盤)

堤体直下の改良は、堤体基礎地盤の透水性が低下、堤体内浸透水が排水されにくくなり、堤体内水位が高い状態が続くことで堤体が弱体化しやすいという点に注意が必要である。

そこで、別途対策として堤体内浸透水の排水対策を併用することで堤防の弱体化防止を図ることとした。

### 4. 堤体内浸透水の排水対策

#### (1) 改良体を格子状に配置

液状化対策を目的として固結工法による改良を行う場合、改良体の配置方法はブロック状配置と格子状配置の2方法が候補となる（図-8）。

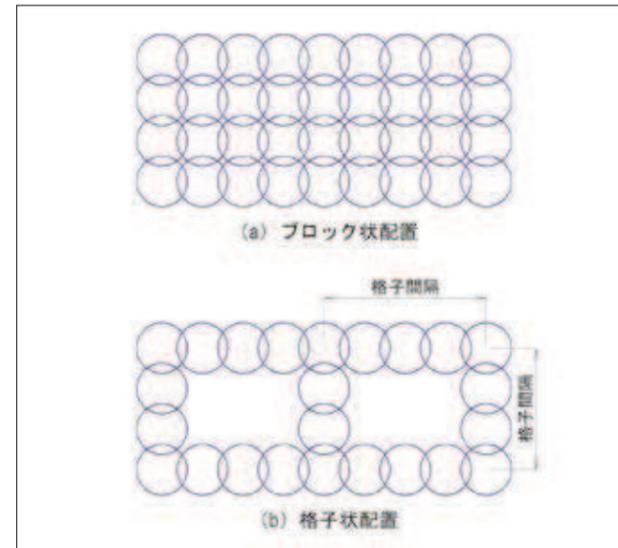


図-8 改良体の配置方法(円柱改良)

本事例では、堤体直下地盤の排水性向上のために格子状配置を採用、格子状とすることで改良体の施工数が削減でき、経済性の面でも有利となる。

配置における留意点としては、改良体に液状化した地盤の流動を防止する隔壁としての機能が求められるため、改良体を互いにラップさせて配置させる必要がある。また、格子間隔は、格子内未改良部の液状化を抑制し抵抗が期待できるよう液状化層厚の0.5~0.8倍程度を上限とし、面積改良率は50%程度を最低とする点に留意する。

#### (2) ドレーン工の設置

堤体内浸透水を排水し堤体内水位の低下を促進させるために、川裏法尻部に透水性の高い素材を用いたドレーン工を設置、法尻には堤脚水路を設け、ドレーン工からの排水ならびに雨水等を適切に流下させる（図-9）。

本事例では樋門に接続する堤内水路がこの役割を兼ねている。



図-9 ドレーン工・堤脚水路

### 5. 今後の課題及び解決策(案)

本事例では樋門部における液状化対策の検討事例を紹介したが、樋門部のみ沈下を抑制したとしても、上下流の堤防部が沈下すれば本末転倒である。

したがって、液状化対策は堤防一連での対策が必須であり、堤防一連で前述の範囲での地盤改良を行うことが想定されるため、施工にかかる費用は莫大なものになる。

施工費削減のため、基準に則った液状化層全層の改良ではなく、「沈下後の築堤高>津波遡上水位」となるような最小の改良深度のトライアル検討が必要となるケースも懸念される。

しかしながら、本事例のような液状化層厚が厚いケースでは、築堤変形解析に用いる解析ソフトによって得られる沈下量に差が生じてしまうという問題点がある。

これは堤防高の75%を超える沈下が生じる場合に行う補正方法（疑似的に仮想バネをモデル化する方法）について具体的な方法が基準に明記されていないため、ソフト毎に補正方法が異なってしまうことが要因と考えられる。

本事例の検討にあたり、築堤変形解析に用いられる主要ソフト3種（静的照査法に基づく解析ソフト）を使用し、同モデルにおける解析結果を比較したところ、沈下量にはソフト間で最大56cmの差が生じた（図-10、図-11及び図-12）。

以上のことから、最小改良深度を検討する場合、解析ソフト毎に必要な改良深度の結果が異なってしまうケースが想定されるため、事例が少なく技術的指針が確立されていない現状においては、莫大な施工費が掛かるとしても基準に則った液状化層全層の改良を提案する事が必要と考えているが、格子状配置等の工夫で極力コストを抑える必要がある。

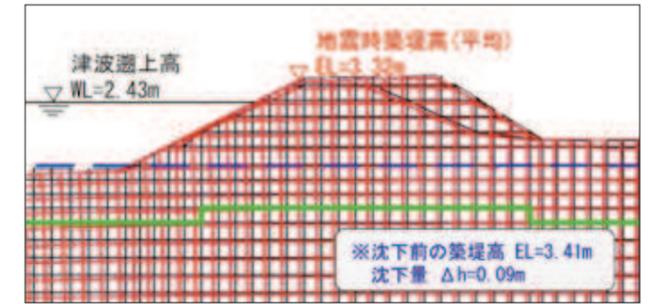


図-10 築堤変形図(A社)

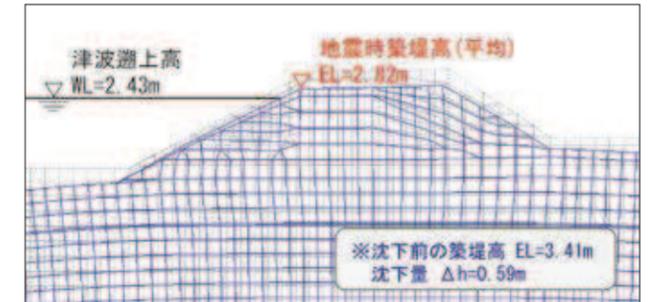


図-11 築堤変形図(B社)

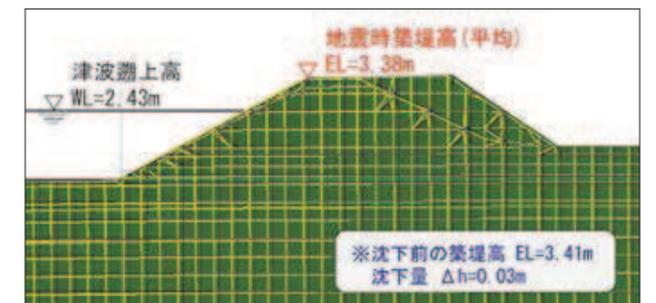


図-12 築堤変形図(C社)

### 6. おわりに

北海道の中小河川においては、津波遡上対策を考慮した改修に着手している河川の事例は少なく、技術的指針についても確立されていない現状にある。

本事例は液状化対策を目的とした地盤改良を行った先駆けとなるものであり、今後、同様の事例を積み重ね、検討手法や検討結果に統一性・信頼性を高め明確な技術的指針を定めていくことが急務である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 土木研究所編：『河川堤防の液状化対策の手引き』、土木研究所出版、2016年。
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局治水課編：『河川堤防の耐震点検マニュアル』、国土交通省水管理・国土保全局治水課出版、2016年。
- 3) 安田進,吉田望,安達健司,規矩大義,五瀬伸吾,増田民夫：『液状化に伴う流動の簡易評価法』、土木学会論文集, No.638/III-49,p.71 ~ 89,1999.

# 岩盤地山における水理地質の検討

REPORT

技術本部 道路構造部

鳴島 勤 技術士(応用理学部門) 小岩 晃



## 概要

一般的に難透水性の岩盤地山における水理地質の検討は、地表地質踏査、ボーリング調査、地下水位観測の結果を組み合わせ、総合的な判定が必要となることが多い。本稿では、岩盤地山の掘削工事に係る水理地質的な検討事例を示すとともに、検討上の留意点を述べる。

キーワード：●地下水位観測 ●一斉観測 ●地下水流向 ●岩盤地山 ●透水係数

## 1. はじめに

検討箇所は北海道内に位置し、産業廃棄物最終処分場が計画されている。この処分場は尾根の中心部を掘削してピットを造成し、廃棄物を貯留する構造である。ボーリング調査は、造成計画立案に際して必要な地層分布、地下水位など地質構造の情報を取得する目的で実施した。調査地点は、地形状況を考慮して、山地部4箇所(K-B-1~K-B-4)、河川部の5箇所(A-B-1~A-B-4、A-B-4')とした(図-1を参照)。ボーリング孔に設置した地下水位観測孔では、一斉観測や孔内水位低下によって得られた結果をもとに、大局的な地下水流向や透水性について検討した。



図-1 調査地周辺の地形状況

らなる。ボーリング箇所では、A-B-2以外で主に泥岩の分布が確認されている。  
 ②低位段丘堆積物 (td)：A沢とB沢の合流部付近の平坦面を構成している。ボーリング箇所ではA-B-3、A-B-4で分布が確認され、主に礫混じり火山灰質土からなる。

## 2. 地表踏査結果

### (1) 地形状況

調査地は概ね北西から南東に流下する西側支川(A沢)と東側支川(B沢)に挟まれた比高約70mの山地である。山地は開析があまり進行していないため、枝沢の発達に乏しく、一見すると地下水位面が確認しにくい地形である。

### (2) 地質分布

地表地質踏査の結果、調査地付近には、低位段丘堆積物、岩盤(砂岩層、泥岩層)の分布が確認された。

①泥岩層(Md)・砂岩層(Ss)：地表地質踏査によると、泥岩層(Md)は主にA沢河床に、砂岩層(Ss)は主にB沢河床に分布している。河床で確認される地層の走向・傾斜はN-S~N30W走向で65~70度西方向に傾斜していることから、処分場が計画されている山地の大部分は泥岩層(Md)か

## 岩盤地山における水理地質の検討

### 3. ボーリング結果

処分場の計画位置を考慮して山地部分で4箇所、A沢、B沢に低位段丘面および氾濫原で5箇所にてボーリング調査を実施した(図-1を参照)。ボーリング調査で確認された地層分布および地下水位などの地質構造を図-2に示す。

#### (1) 地層分布

ボーリング箇所では、地表から4m程度までが主に強風化泥岩(Md-w2)からなり土砂状で採取される。その下位は風化泥岩(Md-w1)で、岩片は風化により褐色化しているものの、N値50以上の締まった岩質を示している。深度約20m以深は暗灰色を呈する硬質な泥岩からなる(写真-1)。測定前に想定された地下水位は、コアの風化状況から深度20m付近であると考えられた。

#### (2) 地下水位

ボーリング調査後、地下水流向や地下水位の変動を把握するため、有孔塩ビ管を孔内に設置して水位観測孔として利用した。ボーリング掘進中は、削孔による水みちの目詰まりなどの影響を避けるため、地下水位を確認するまで無水で掘削するのが望ましいとされる<sup>1)</sup>。一方、本業務で確認された風化泥岩、泥岩は比較的緻密であり、岩質や亀裂状態などを把握するため、送水掘削によりコアを採取した。ただし、送水掘削時の清水が孔内に残存しているため、地下水位測定の際は、前日作業終了時に孔内水を汲み上げて水位を低下させ、翌朝に孔内水位が上昇していれば、自然水位と判断した。

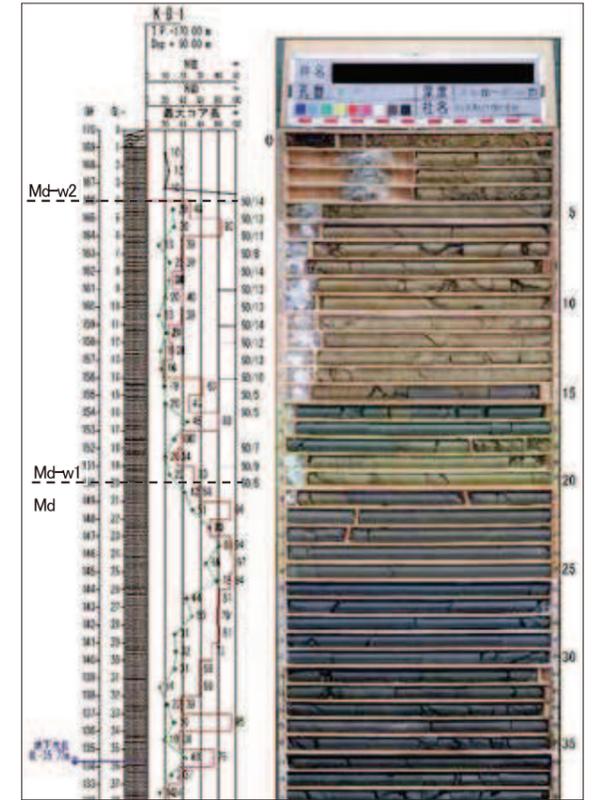


写真-1 ボーリングコアの状況(K-B-1)

ボーリング掘削時に確認された地下水位は、河川部付近で概ね風化部と新鮮部の境界付近に位置している。一方、山地部(K-B-1、K-B-3、K-B-4)では風化部の底面より下方の新鮮部に地下水位が認められ(図-2を参照)、コアの風化状況から推定した地下水位より深いことがわかった。

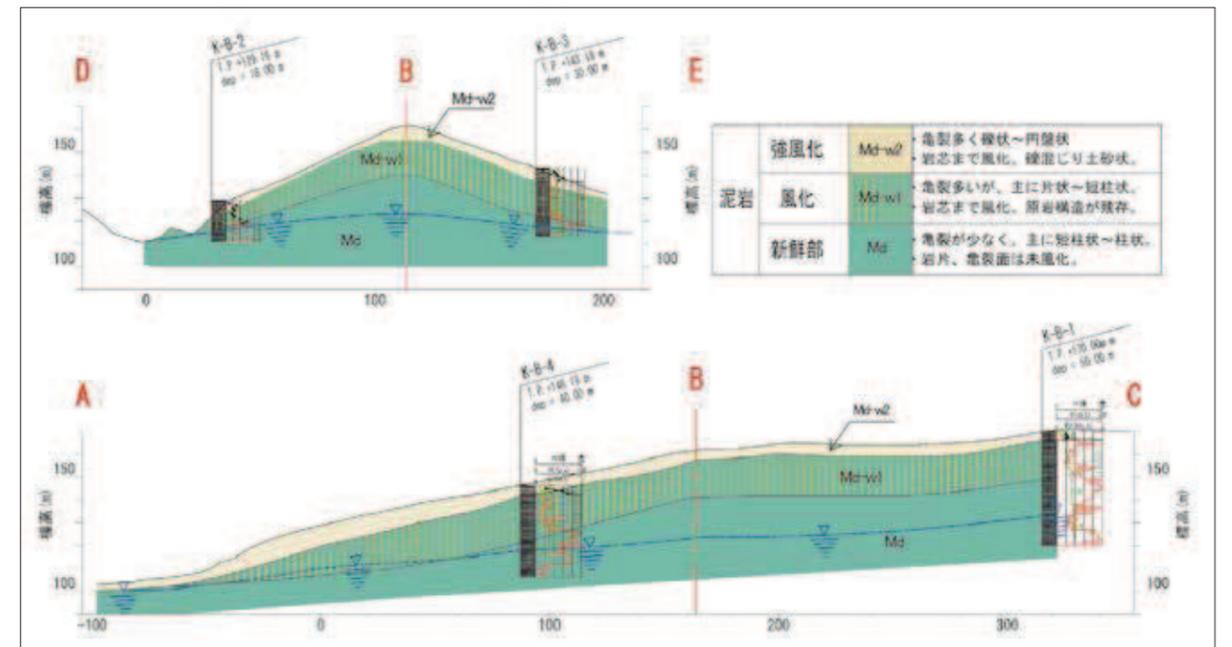


図-2 想定地質断面図

## 4. 結果及び考察

### (1) 地下水流向（流線網）の把握

最終処分場計画地周辺の地下水の賦存状況や地下水流向（流線網）を把握するため、地下水位等高線図、ベクトル図を作成した。

①一斉観測：一斉観測は、削孔の影響を避けるため水位観測孔設置から1か月経過した後にいった。結果の概要は表-1に示すとおりである。

②露頭での湧水状況：一斉観測結果を補完するため、地表地質踏査により湧水位置を確認した。湧水は、主に崩

壊跡地の頭部の岩盤風化部の開口亀裂から湧出していた（写真-2）。なお、これらの湧水箇所は、融雪直後（4月下旬5月中旬）は、最も顕著に湧出し、渇水期（6月下旬～7月）には湧水量が沁み出し程度に減少していた。

③地下水位の流向：一斉観測結果と地表の湧水箇所から作成した地下水位等高線図とベクトル図を図-3に示す。等高線の最大傾斜方向が地下水の流向、水位面の勾配の相対差が地下水勾配を示している。地下水位流向は概ね地形の最大傾斜方向に沿っており、主稜線からA沢、B沢の方向が卓越している。

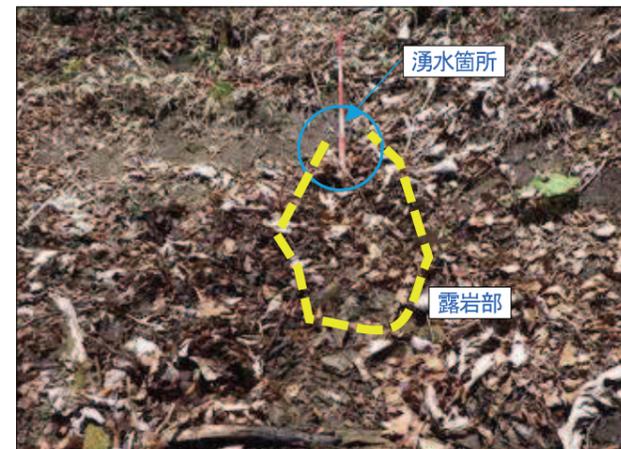


写真-2 崩壊地頭部での湧水状況 (A沢)

表-1 一斉観測結果一覧

|     | 時刻     | 観測結果      |          | 備考     |          |
|-----|--------|-----------|----------|--------|----------|
|     |        | 水位 (GL-m) | 水位標高 (m) |        |          |
| 沢部  | A-B-1  | 14:05     | 0.70     | 116.63 |          |
|     | A-B-2  | 14:26     | 0.50     | 116.71 |          |
|     | A-B-3  | 14:19     | 3.84     | 101.88 | 汲上後の回復水位 |
|     | A-B-4  | 14:23     | 3.43     | 102.02 | 汲上後の回復水位 |
|     | A-B-4' | 14:23     | 0.79     | 101.79 |          |
| 山地部 | K-B-1  | 11:00     | 36.72    | 133.28 | 汲上後の回復水位 |
|     | K-B-2  | 13:22     | 10.75    | 118.41 | 汲上後の回復水位 |
|     | K-B-3  | 11:58     | 25.80    | 117.38 | 汲上後の回復水位 |
|     | K-B-4  | 12:50     | 28.00    | 118.19 | 汲上後の回復水位 |

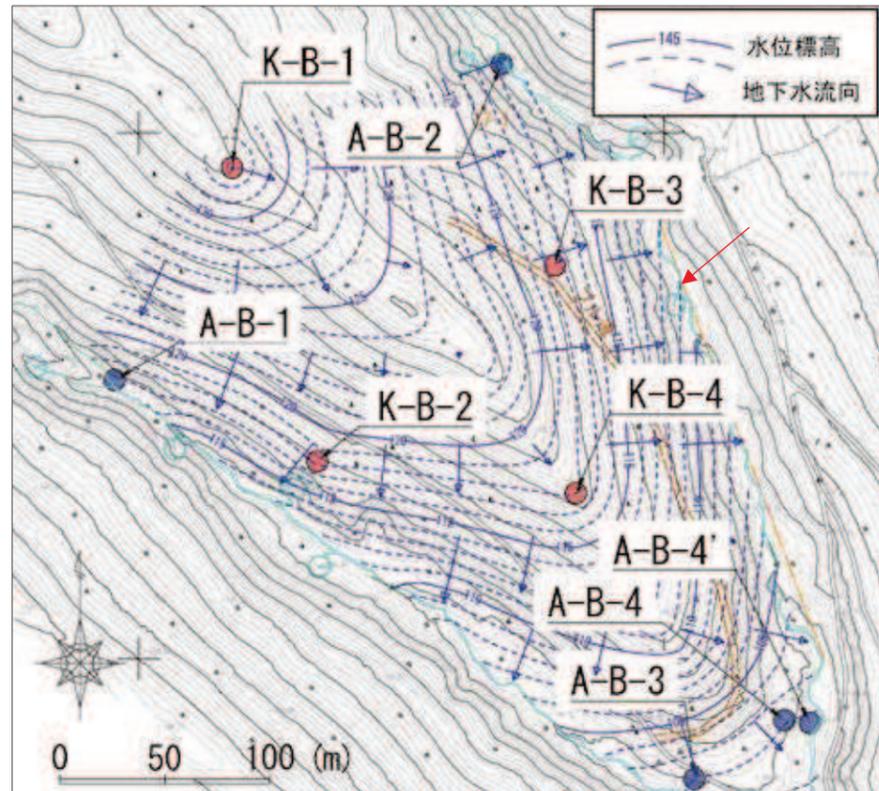


図-3 地下水等高線図・地下水流向図

### (2) 岩盤の透水性

現位置での透水性を検討するため、一斉観測（6/17）直後に、各孔の孔内水位を低下させ、各孔の孔内水位の回復状況を観測した。自記水位計による地下水位の経時変化を図-4に示す。一斉観測後（6/17以降）に低下前の水位に回復するまでの時間は、孔毎に異なっており、最も速いK-B-4で数時間、最も遅かったK-B-3で約3週間であった。

また、孔内水位低下後の水位回復状況から、「地盤工学会基準JGS 1314-2012：単孔を利用した透水試験方法」<sup>2)</sup>により、透水係数k(m/s)を算出した（表-2参照）。

表-2 透水係数の計算結果(参考値)

| 孔名    | 孔底深度 GL(m) | 地質状況 | 透水係数 (m/s)        | 平衡水位 GL(m) |
|-------|------------|------|-------------------|------------|
| K-B-1 | 50.00      | 新鮮部  | $1.9 \times 10^9$ | 35.75      |
| K-B-2 | 11.00      | 風化部  | $5.6 \times 10^8$ | 9.67       |
| K-B-3 | 30.00      | 新鮮部  | $2.4 \times 10^9$ | 25.90      |
| K-B-4 | 40.00      | 新鮮部  | $5.7 \times 10^8$ | 28.03      |

表-3 主な岩種の透水係数の例<sup>3)</sup>

| 岩種                      | 水温 20℃ の時の岩の透水係数 (cm/sec)                |  |
|-------------------------|--|--|
|                         | 室内試験                                     | 原位置試験                                      |
| 砂岩 (Sandstone)          | $3 \times 10^{-9} \sim 8 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-9} \sim 3 \times 10^{-8}$   |
| Navajo 砂岩               | $2 \times 10^{-1}$                       |  |
| Derea 砂岩                | $4 \times 10^{-4}$                       |  |
| グレーワック (Greywacke)      | $3.2 \times 10^{-8}$                     |  |
| 頁岩 (Shale)              | $10^{-9} \sim 5 \times 10^{-11}$         | $10^{-9} \sim 10^{-11}$                    |
| Pierre 頁岩               | $5 \times 10^{-11}$                      | $2 \times 10^{-11} \sim 5 \times 10^{-11}$ |
| 石灰岩、青石灰                 | $10^{-9} \sim 10^{-11}$                  | $10^{-9} \sim 10^{-11}$                    |
| Salem 石灰岩               | $2 \times 10^{-4}$                       |  |
| 玄武岩 (Basalt)            | $10^{-12}$                               | $10^{-9} \sim 10^{-11}$                    |
| 花崗岩 (Granite)           | $10^{-7} \sim 10^{-11}$                  | $10^{-9} \sim 10^{-9}$                     |
| 片岩 (Schist)             | $10^{-4}$                                | $2 \times 10^{-7}$                         |
| き裂性片岩 (Fissured schist) | $1 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4}$ |  |

※Ereco (1978), Davis De Wiest (1966), Serafin (1968) との文献からのデータ

本業務で得られた透水係数kは、表-3の頁岩の原位置試験の一般値 ( $10^{-8} \sim 10^{-11}$ cm/s [ $10^{-10} \sim 10^{-13}$ m/s]) に比べると大きい値である。また、図-5に示す通り、透水係数kは深度方向に小さくなる傾向が読み取れる。これは水位深度が浅い箇所では、応力解放の影響により深部に比べて亀裂が開口しやすいためと考えられる。ただし、透水係数kは $10^{-8} \sim 10^{-9}$ (m/s) オーダーであり、地盤工学的には透水性が非常に低い、または難透水層に相当する。

## 5. まとめ

・本調査のように、送水掘削区間におけるボーリングコアの風化状況から推定した地下水位と、実際の地下水位（自然水位）が異なる場合があるため、掘削時の地下水位測定方法に留意が必要である。

・本調査で確認した岩盤について、孔内水位低下後の水位回復状況から算出した透水係数kは泥岩の一般値より大きい。地山の亀裂が影響したと推定される。

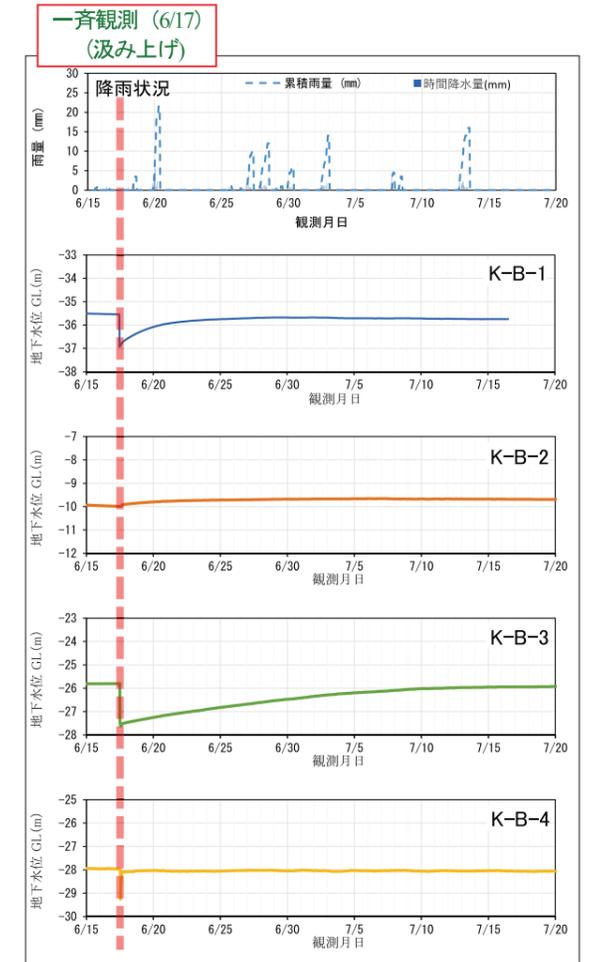


図-4 汲み上げ後の地下水位の変化

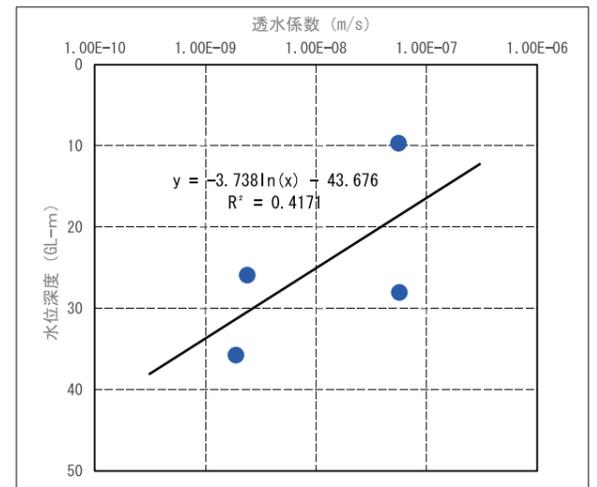


図-5 水位深度と透水係数の関係

### 〈参考文献〉

- 『地下水調査および観測指針(案)』, (財)国土開発技術研究センター, 山海堂, 175p, 1993年。
- 『地盤調査の方法と解説』, (公社)地盤工学会, 丸善出版, 515p, 2013年。
- 『わかりやすい岩盤力学』, R.E.グッドマン(大西有三, 谷本親伯訳), 鹿島出版会, 1984年。

# 都市計画道路予定地にかかる支障建物の移転工法を検討した事例

技術本部 建築補償部  
REPORT 工藤 健吾 補償業務管理士 二級建築士



工藤 健吾

本稿は、都市計画道路予定地に建築された支障建物について、標準的な検討項目と合わせ、既存建築図面から設計者の意図を読み取り、移転工法を決定するに至った過程を紹介する。

## 概要

キーワード：●建物移転補償 ●都市計画道路予定地 ●移転工法 ●構造計算

## 1. はじめに

建物移転補償の基本原則は、用対連基準第28条に『当該建物等を通常妥当と認められる移転先に、通常妥当と認められる移転方法によって移転するのに要する費用を補償するものとする』と定められている。

通常妥当とは大多数の一般の人が採用することを表しており、公平な補償の実現に必要な原則である。

建物移転工法は、①従前と同種同等の建物又は照応する建物を建築する『再築工法』、②建物の一部を切り取り、建物の残存部分に改築又は増築することで従前の機能を維持する『改造工法』、③建物を曳いて残地内に移転させる『曳家工法』、④支障となる部分が僅かかつ重要ではないため切り取って補修する『除却工法』、⑤文化財保護法等により指定された歴史的価値のある建物を原型で復元する『復元工法』の5種類である。

これらの5種類の工法を有形的・機能的・法制的及び経済的に検討して移転工法は決定される。

本稿は都市計画道路が将来的に施工される敷地に建築された建物について、通常妥当な移転工法が決定されるまでの過程を紹介する。

## 2. 建物移転工法の検討

### (1) 移転先の認定

支障建物の移転先は、残地又は残地以外の土地のいずれかになる。

当該敷地のうち計画道路用地として取得される部分は前面2.5mの部分である(図-1参照)。道路用地として取得された後の残地は整形であり、宅地として十分な面積をもっているため、移転先は残地と認定して移転工法を検討する。

### (2) 有形的検討

図-1配置略図より、従前の建物形状で同種同等の建物を残地に納めることができないため、①再築工法(同種同等)及び③曳家工法は本件には適さない。しかし、残地に間取等を変更しつつ従前と同等の機能をもつ照応建物の再築は可能であるため①再築工法(照応建物)は可能である。

また、建物出入口のアプローチ部分のみ支障となっているため、その部分を切り取り、残存部分に増築する②改造工法は可能である。

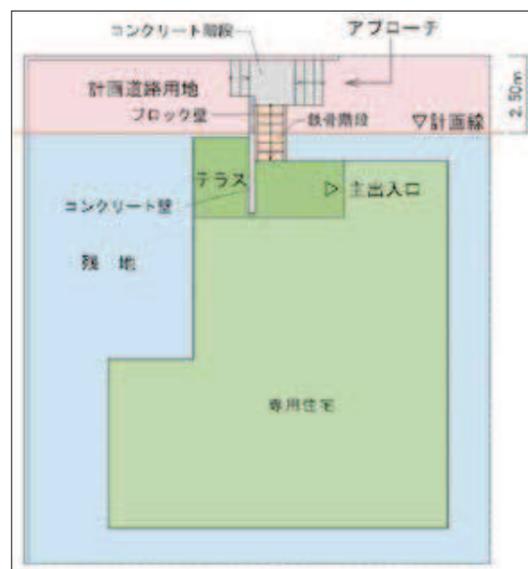


図-1 配置略図

### (3) 機能的検討

支障となり移転しようとする部分は建物出入口のアプローチ部分及び塀等の工作物である。

これらの部分は建物を維持するうえで重要な役割を果たしているため④除却工法は適さず、支障部分を切り取り増築する②改造工法で機能回復することは可能である。

## 都市計画道路予定地にかかる支障建物の移転工法を検討した事例

### (4) 法制的検討

当該敷地は近隣商業地域で建ぺい率80%、容積率300%の地域で、敷地面積約275㎡のうち計画道路用地として約40㎡が取得される。

従前より建ぺい率や容積率は十分に余裕があるため、用地買収後に敷地面積が減少しても問題はない。

また、文化財保護法等で指定された建物ではないため⑤復元工法は除外される。

表-1 面積一覧表

|    | 敷地面積  | 建物面積  |       | 建ぺい率   | 容積率    |
|----|-------|-------|-------|--------|--------|
|    |       | 建築面積  | 延床面積  | ≥80%   | ≥300%  |
| 従前 | 275 ㎡ | 120 ㎡ | 210 ㎡ | 43.63% | 76.36% |
| 従後 | 235 ㎡ | 120 ㎡ | 210 ㎡ | 51.06% | 89.36% |

### (5) 経済的検討

これまでの検討により有力な工法は①再築工法(照応建物)と②改造工法となる。

①再築工法は支障建物全体を解体し再築するため、アプローチ部分のみを解体増築する②改造工法がより経済的なのは自明である。

### (6) 既存建築図面の解説

前項までの検討で②改造工法が有力となるが、支障となっている部分を改造した場合、残存部分が構造的に耐えるかを確認する。

都市計画道路の予定地となっている部分には、建物出入口までのアプローチに使用されているコンクリート階段、ブロック壁、鉄骨階段及びコンクリート壁等が建築されている(図-2参照)。

これらは一見して切り取りが難しいように思えるが、コンクリート階段とテラス部分を鉄骨階段で繋いで使用するよう設計されていることや、目隠しの目的で設置されているブロック壁とコンクリート壁は一体として利用されていることが読み取れる。

こうした工夫は、設計者が都市計画道路施工後も建物が存続できるよう、部分的な切り取りに対応すべく設計していたものと考えられる。

しかしながら、切り取ることを想定されていたとしても、建物本体と一体となった基礎を一部解体することになり、建物の安全性に問題がないかを確認する必要がある。

そのため、工法検討の段階で支障となる部分を切り取りした場合に建物の安全性が保たれることを構造計算により確認した。

### (7) 移転工法の決定

当該建物は支障となる建物の一部である鉄骨階段等を切り取りし、残存部分のテラスを改造することで主出入口へのアプローチや動線等の従前の機能を確保することが可能である。また、建物の一部を切り取った場合でも構造上の安全性は構造計算で確認された。

よって、当該支障建物の移転工法は改造工法が妥当であると結論付けた。

## 3. 改造案の検討

主出入口へのアプローチ機能を回復させるためには、コンクリート階段及び鉄骨階段の増築、アプローチ動線の確保が必要である。

前面のコンクリート階段等を計画道路用地から撤去し残地で機能を回復させるため、残存部分のテラス側にコンクリート階段等を増築し、アプローチ機能を回復する。

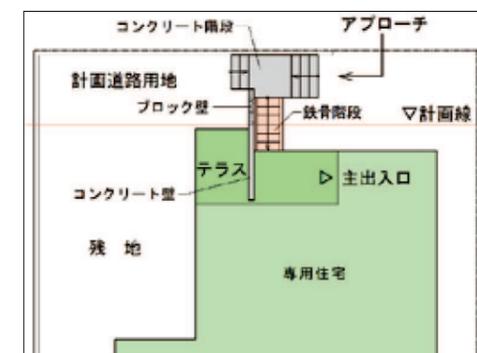


図-2 既存平面略図

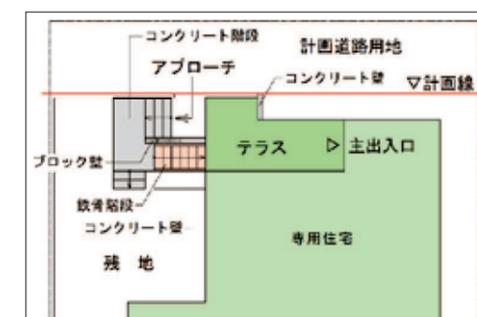


図-3 改造案略図

## 4. おわりに

設計当初より道路計画がある敷地に建築されている建物には、計画道路が施工された後も建物が存続できるよう設計者の工夫が読み取れることも多い。補償業務管理士としてだけでなく、建築士としても支障建物の設計意図を読み取り、公平公正な移転工法を判断できるようにすることが重要である。

技術レポート 2021 をお読みいただき、誠にありがとうございます。

本誌では、先輩諸氏から受け継いできた知恵や技術と新たなテクノロジーを組み合わせて課題解決にあたった事例として、[AI による画像解析]、[UAV 搭載型レーザスキャナによる三次元計測]、[CIM 対応の河道計画] などの事例を掲載いたしました。

掲載している事例について、より詳しい説明等をご希望の場合には、ぜひ弊社営業担当者や技術者までお問い合わせください。

さて、2020 年より続く新型コロナウイルス感染症により、働き方や生活習慣等に大きな変化が生じています。マスク着用の徹底および大人数でのイベントや会食の中止などによって、従来型のコミュニケーションがやや難しくなってきた一方で、ビジネスチャットや Web 会議などの ICT ツールを活用することで従来よりも密なコミュニケーションが図ることができる場面も増えてきました。

本誌製作も例外ではなく、会社、自宅、出張先など、さまざまな場所で執筆された原稿を基に、オンラインでのレビューを幾度も重ねることで、皆様にお届けすることができました。たくさんの方々の協力によって例年通り無事に発行することができたこと、感謝いたします。

本誌編集委員では、『信ずるに足る自己を養え』を社是とし、自己と技術の向上に努め、顧客満足の達成を追求し、もって社会に貢献する。』という企業理念に基づき、弊社が保有する技術を分かりやすくお伝えすることで社会的責任を果たしたい、という思いを込めて編纂にあたりました。

誌面を通じてお届けした情報が、お読みいただいた皆様が抱えている課題の解決に繋がるなど、より良い社会の構築に貢献できると幸いです。

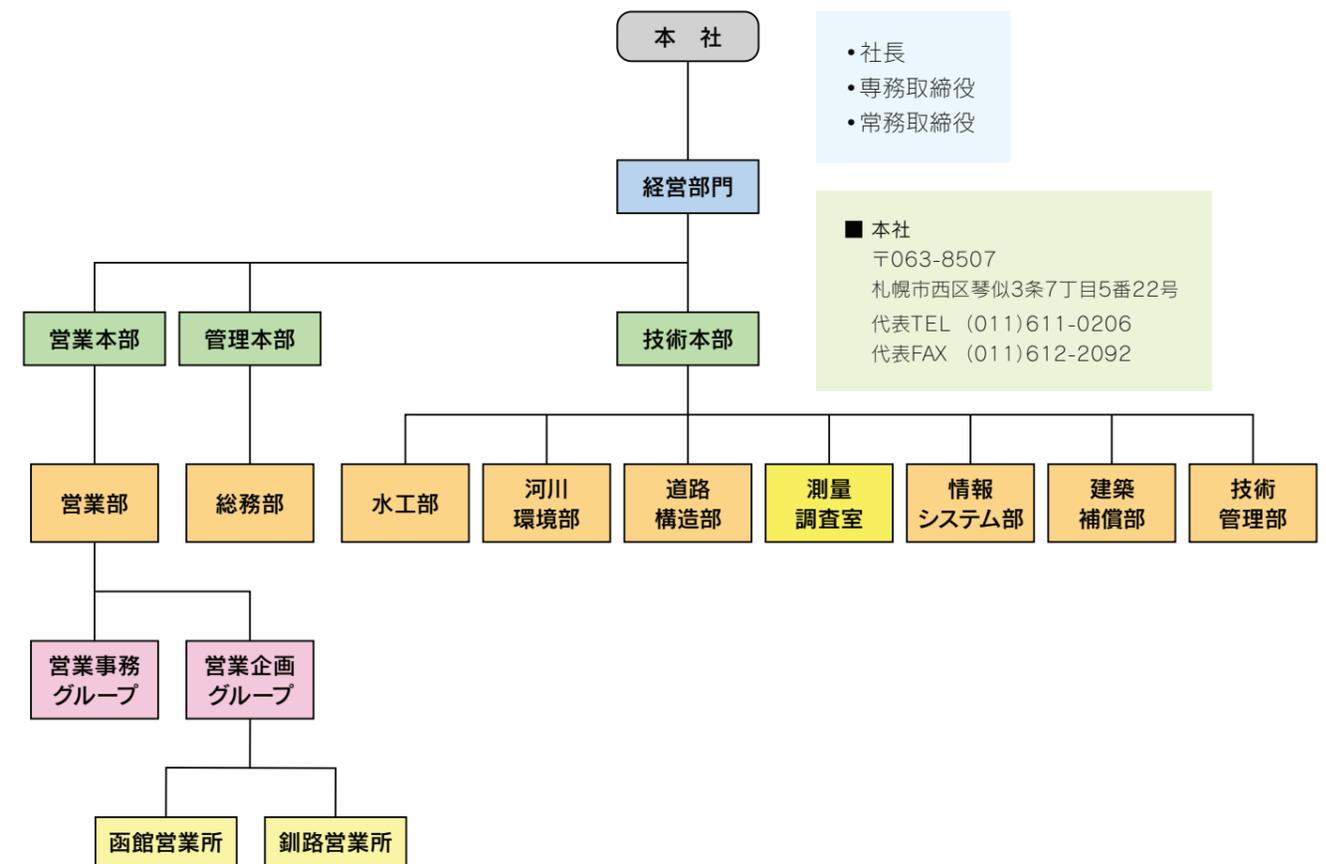
最後に、技術レポート 2021 の取りまとめにあたり、発注関係者の皆様のご了解をいただいたうえで、一部業務成果を活用させていただきました。ここに感謝の意を表します。

技術レポート 2021 編集委員

香川 誠  
山本 博貴  
三浦 大

(文責：香川 誠)

組織図



◇営業部  
TEL (011)611-8782  
FAX (011)611-0219

◇総務部  
TEL (011)611-0206  
FAX (011)612-2092

◇函館営業所  
〒041-0806  
函館市美原4丁目36番14号  
TEL (0138)83-8272  
FAX (0138)83-8273

◇釧路営業所  
〒085-0061  
釧路市芦野3丁目1番10号  
TEL (0154)36-1271  
FAX (0154)36-1272

◇水工部  
TEL (011)611-8740 (011)590-0283  
FAX (011)611-0227

◇河川環境部  
TEL (011)611-8727 (011)611-0226  
FAX (011)611-0227

◇道路構造部  
TEL (011)611-0215 (011)611-3865  
FAX (011)641-6283

◇測量調査室  
TEL (011)611-8727  
FAX (011)641-6283

◇情報システム部  
TEL (011)676-5705  
FAX (011)676-5821

◇建築補償部  
宮の森分室  
〒064-0953  
札幌市中央区宮の森3条1丁目3番2号  
TEL (011)611-3869  
FAX (011)612-2093

◇技術管理部  
TEL (011)611-3865  
FAX (011)641-6283

登録資格

- 建設コンサルタント業 建01第386号
- 測量業 第(15)-1057号
- 地質調査業 質30第550号
- 補償コンサルタント 補01第1580号
- 一級建築士事務所(石) 3653号
- 土壌汚染対策法 指定番号 環2003-1-2006

主要資格有資格者

- 技術士(建設部門:河川、砂防及び海岸・海洋) — 9名
- 技術士(建設部門:道路) — 1名
- 技術士(建設部門:鋼構造及びコンクリート) — 2名
- 技術士(建設部門:土質及び基礎) — 2名
- 技術士(建設部門:建設環境) — 2名
- 技術士(総合技術監理部門) — 6名
- 技術士(応用理学部門:地質) — 2名
- 技術士(上下水道部門:下水道) — 1名
- 一級建築士 — 2名
- RCCM — 15名

令和3年12月1日現在