

橋梁基礎における支持層の3次元モデルの作成と化石谷の考察

株式会社ウエスコ ○宮本 広富美, 伊達 裕樹, 永見 英俊

1. はじめに

調査地は、島根県浜田市に流れる周布川にかかる橋梁である(図-1)。本橋梁では、仮設歩道橋や架け替えに伴う支持層の把握を目的とした計14本のボーリング調査が実施された(図-2)。支持層は、上流側に8m程度急落している(図-3)。本調査の結果、急落の原因として、旧河川による河川浸食を反映した化石谷の存在を推察した。

本稿では、この特異な支持層(化石谷)を面的に表現するために、3D地質モデル作成ソフトウェアを用いて作成した3次元モデル図を紹介する。さらに空中写真判読、炭素年代測定および帯磁率測定を合わせて行い、沖積層の堆積環境および化石谷の形成過程について考察した。

2. 調査地の概要

(1) 地形・地質

調査地は周布川沿いに広がる低地部である。調査地周辺の地層構成は、古い時代から新第三紀の凝灰岩、更新世の砂礫層、固結粘土層が分布し、その上位に完新世の粘性土層と砂層が交互に厚く堆積する(表-1)。最上位には、礫質土層および盛土層が分布する。



図-1 調査位置図(地理院地図¹⁾に一部加筆)

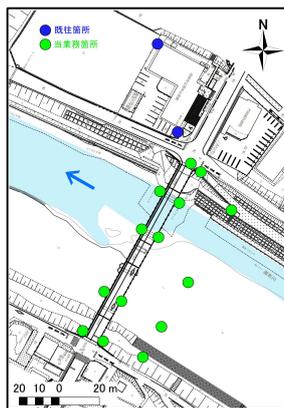


図-2 ボーリング位置図

表-1 調査地の層序

地層年代	地層名	地層厚 (m)	層位 (代表層)	土質区分
沖積層	盛土層	2.85~8.70	3~28 (7)	礫質シルト質砂、砂質、礫質コンクリート
	沖積粘土層	1.15~5.60	7~46 (15)	シルト質粘性土、粘土質シルト質砂、砂質、礫質コンクリート
	沖積粘土層	0.25~0.50	2	シルト
	沖積砂層	2.00~6.11	1~28 (15)	粘土質シルト質砂、粘土質シルト質砂、砂
	沖積粘土層	1.90~3.65	3~17 (8)	砂質シルト、砂質シルト質シルト、シルト
	沖積砂層	0.00~3.00	9~24 (12)	礫質シルト、シルト質シルト、シルト質砂層
	沖積粘土層	2.00~2.10	7~9 (3)	砂質シルト、シルト
	旧河川堆積物層	0.00~2.65	11~26 (12)	礫質シルト質砂、砂、粘土質シルト質砂
	洪積粘土層	2.3~4.4	35~198 (116)	粘土質シルト質砂
	洪積粘土層	4.00~5.55	8~22 (15)	礫質シルト質粘土、砂質粘土
化石層	化石層前層	0.00~4.30	12~52 (28)	礫質、粘土質砂質粘土、粘土質砂質粘土、砂質粘土、粘土質砂質粘土
	化石層前層	2.00~5.15	90~198 (91)	礫質、粘土質砂質粘土、粘土質砂質粘土、砂質粘土、粘土質砂質粘土
	化石層前層	0.00~3.40	17(1)	粘土質砂質粘土、粘土質砂質粘土、粘土質砂質粘土
湖沼層	湖沼層	0.00~4.30	130~198 (65)	粘土質砂質粘土、粘土質砂質粘土、粘土質砂質粘土
	湖沼層	0.00~4.30	200(2)	粘土質砂質粘土、粘土質砂質粘土

(2) 支持層の分布状況

橋梁を挟んだ上下流で支持層(表-1の赤枠)の出現深度の差は、最大で約8mであった(図-3)。上流側に比べ下流側の支持層の方が浅い。

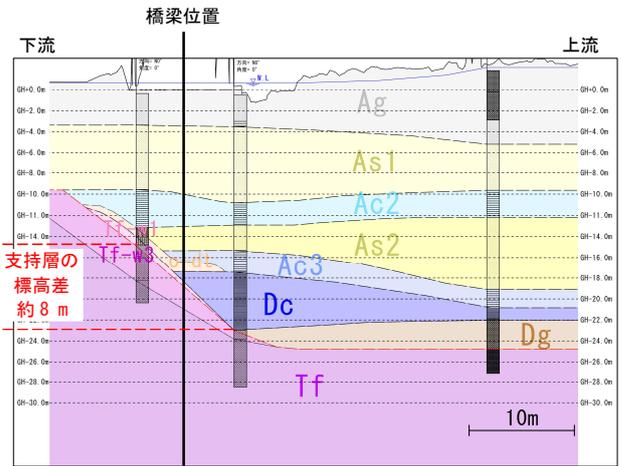


図-3 河川縦断方向の地質推定断面図

3. 調査手法

化石谷の面的な分布、形成過程および調査地の堆積環境の考察を目的に以下の調査を行った。

(1) 文献調査および空中写真判読

地元史やたたら関連の文献調査を行った。さらに1960年代撮影の空中写真を用いて、地形判読を行った。

(2) 3Dモデル図の作成

既往のボーリングを含めた計16本を用いて、3次元モデル図を作成した。作成にはAutodesk Civil3Dのアドオンソフトウェア: GEORAMA for Civil3Dを用いた。

(3) 炭素年代測定

第四紀層のコア内に混入する木片を対象に、計12試料のAMS年代測定方法による¹⁴C年代測定を行った。

(4) 帯磁率測定

掘進長29mのR3BP-3を対象に、約10cm毎に未固結堆積物の帯磁率を測定した。測定機器は、(株)レアックス社のデジタル式帯磁率/導電率測定器KT-10を用いた。

4. 結果および考察

(1) 化石谷の存在と、土地の歴史について

空中写真判読で、調査地の南西方の谷(仮称:西村川)が青川との河川争奪により、截頭谷となっていると推察した。文献調査では、周布川の上流部では、たたら文化があったこと、鉄穴流しにより河川へまき土を多量に流出していたことが分かった。また、周布地域は、かつて内湾環境であったことが示唆されている。²⁾

(2) 3Dモデル図による化石谷の復元と考察

3Dモデル図作成の結果、支持層は上流側で深く、下流側および橋台側に向かうにつれて浅くなる傾向が確認された(図-4)。また、支持層の出現標高の差によって形成される斜面は、現在の周布川の流路に直交するように形成されており、緩やかに湾曲している。

以上のことから、この化石谷は、南西方の谷から流れる西村川および青川の潜入蛇行に伴う河川浸食によって形成されたと考えられる。

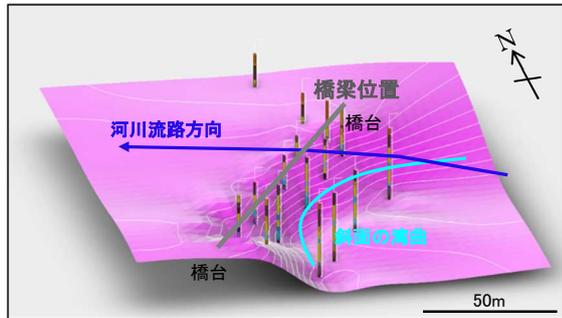


図-4 3次元モデル図(支持層面)

(3) 未固結堆積物の堆積年代について

年代値及び試料採取標高の関係から堆積曲線を作成し、関東平野の調査事例と対比した。その結果、調査地の堆積曲線は、関東平野の海水準変動曲線と調和的であった(図-5)。このことから、当地区の堆積物は、主に8000~9000年前の縄文海進に伴う堆積物であり、特にAs1層は、8000年前頃の縄文海進期から6000年前頃の縄文海進最盛期の堆積物であると考えられる。

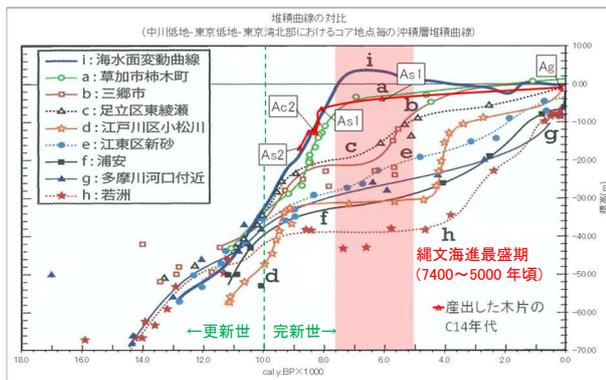


図-5 関東平野の堆積曲線との対比図 (遠藤, 2017³⁾ に加筆)

(4) 各地層の堆積環境

貝・植物片等の産出層準および R3BP-3での帯磁率の測定結果から、各地層の堆積環境について考察を行った。砂・礫質土層 (Dg, As2, As1, Ag) は帯磁率が高い傾向にあり、粘性土層 (Dc, Ac3, Ac2) は帯磁率が低い傾向がある。また、貝殻片、牡蠣殻が Ac3, Ac2層の粘性土層で産出し、Ac2層でのみ巻貝が確認される(表-2)。

帯磁率は一般に河川からの供給が大きくなると、高い値を示す傾向があり、土砂供給源の指標となる⁴⁾。

表-2 帯磁率および混入物産出表

帯磁率 (SI)	Ag	As1	Ac2	As2	Ac3	o-dt	Dc	Dg
	Max	7.6	2.4	0.9	3.8	1.7	-	0.5
Ave	2.4	0.4	0.3	1.5	0.8	-	0.2	0.7
Min	0.6	0.0	0.0	0.049	0.3	-	0.0	0.1
混入物	植物片	○	○	○	○	○		
	木片		○	○			○	
	有機物片		○					
	巻貝			○				
	牡蠣殻			○		○		
	二枚貝				○	○		
貝殻片			○	○	○			

上記の結果から、洪積層である Dg 層は、化石谷を形成した河川に伴う陸成層であると考えられる。沖積粘性土層である Ac2, Ac3層は、海水準上昇に伴う内湾環境を示していると考えられる。一方で、沖積砂層である As1, As2層は、海水準停滞時の河川からの土砂供給の増加に伴う海浜のような環境を反映していると考えられる。特に帯磁率の高い Ag 層は、周布川による、鉄穴流しの影響を受けた堆積環境を反映していると考えられる。

(5) 周布地区の堆積環境変遷

当該地の堆積環境変遷についての考察を以下に示す。

- ①化石谷は、氷河期の海水面が低い時代に、現河川とは異なる河川の浸食により形成された(西側の截頭谷)。
- ②河床には玉石混じりの礫 (Dg 層) や5万年以上前の堰止湖の形成による粘土層 (Dc 層) が堆積した。
- ③縄文海進に伴う海水準上昇によって、主に内湾環境になった。粘性土層 (Ac3, Ac2層) から砂層 (As2, As1層) への変化は、海水準上昇に伴う内湾化と海水準停滞時の河川からの土砂供給の増加を反映している。
- ④内湾環境であった当地区は、約6000年前頃の縄文海進最盛期以降に、河川からの土砂供給がさらに優勢となり、内湾は三角州や海浜のような環境に変化した。
- ⑤その後、現河川上流からの鉄穴流しによる土砂供給や河川の氾濫等により Ag 層が堆積し、次第に現在のような流路を形成したと考えられる。

5. 謝辞

本発表にあたり、浜田市都市建設部の方々には多大なご支援を頂いた。島根大学総合理工学部酒井哲弥教授には、堆積過程について有益な助言を頂いた。文化財調査コンサルタント株式会社様には、¹⁴C年代測定、帯磁率測定を行って頂いた。ここに感謝の意を表します。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院地図 (に加筆), (最終閲覧日2025年4月23日), <https://maps.gsi.go.jp/>
- 2) 山藤忠・河田竹夫 (1989) : 浜田の歴史と伝承, 第3巻, pp. 98-112.
- 3) 遠藤邦彦 (2017) : 改訂版 日本の沖積層-未来と過去を結ぶ最新の地層-, p. 35, 株式会社富山房インターナショナル.
- 4) 小坂和夫 (1998) : 応用地質調査における帯磁率の利用法, 応用地質, 第39巻, 第2号, pp. 208-216.

堆積段丘における BIM/CIM 試行事例

新和設計株式会社 ○富取 俊馨, 遠藤 真哉

1. はじめに

BIM/CIM の適用が進みにくい背景に地質モデルの場合には限られた調査結果に基づくものであることが多く、本質的に不確実性を伴うため地形や構造物の場合と比べて地質技術者の判断を必要とすることが一因¹⁾と指摘されている。

BIM/CIM 活用の事例として堆積段丘分布地を対象とした。堆積段丘が離水する前段階である堆積低地は地盤条件などが場所によって著しく変化する。このため堆積段丘堆積物の下に昔の谷地形である埋没谷が存在する段丘は複雑な地質と言われる。

山形県内山間地の谷部に計画された橋梁や砂防ダムにおける地質調査の多くのサイトで埋没谷を有する堆積段丘に遭遇した事例がある。限りある調査での構造物基礎位置の設定は難しい。地形・地質の基本的な原理を用いて埋没谷における旧谷地形（支持地盤）の想定精度向上を目指した。このサイトで道路橋を架橋すると仮定して橋台基礎位置の検討を行った。埋没谷の 3D 地質モデルを構築し、岩盤上面をサーフェスマデルで可視化し、橋台基礎位置を 3D で検討した。

2. 堆積段丘

(1) 東北地方の堆積段丘

東北地方における既往研究では、山間河谷に幅広く連続性がある最低位の河岸段丘が堆積段丘の性格を持ち、最終氷期後半の埋積終了後から1万年 B.P. の間の時期に形成されたことが明らかにされている²⁾。山形県内の既往研究では県央の乱川水系・立谷川水系および高瀬川水系で堆積段丘の報告がある³⁾。また、山形県南西部の荒川上流域や荒川右 c 支川の玉川流域で堆積段丘の報告がある⁴⁾。

これらの報告では、最終氷期における河川の埋積が中部山岳地域などと調和的であることから、気候変動による形成の可能性が高いと指摘している⁴⁾。

従って、著者らが遭遇した事例以上に埋没谷を有する堆積段丘が分布している可能性が高い。

(2) 読図による堆積段丘の識別方法

堆積段丘は、谷低堆積低地が離水して形成されたものなので、その形成過程を理解することで堆積段丘を識別できる。谷低堆積低地は欠床谷が埋められて平坦な低地を形成する(図-1)。谷低堆積低地の地形的特徴は以下の通りである⁵⁾。

- ・山麓線がリアス式海岸線のように屈曲に富む。
- ・支流の谷底にも低平地が樹枝状に入り組んでいる。
- ・山腹斜面と低地が接する山麓線は遷緩線である。

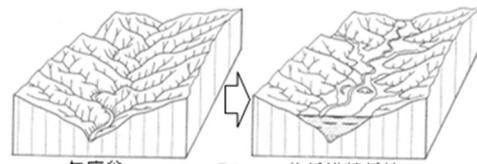


図-1 谷低堆積低地の形成過程

識別するポイントを図-2にまとめた。

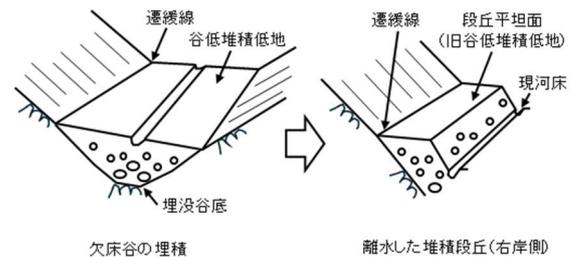


図-2 谷低堆積低地から堆積段丘

3. サイトの地形・地質

(1) 地形

報告するサイトは上記識別するポイントに基づいて選定し、かつ、ボーリングデータが公表⁶⁾されている地点を設定した。

サイトは、河谷に幅広く段丘平坦面を有しており平坦面の右岸側山腹との境界は遷緩線からなる。左岸側の山腹は現河谷が下刻し河床には岩盤が露出している。

(2) 地質

基盤岩は新第三系の安山岩からなり左右岸山腹に分布している。堆積段丘を構成する第四系の段丘砂礫層が被覆している。堆積段丘であることから砂礫層下に旧河谷が分布している。ボーリングデータで確認された着岩深度と山腹斜面を延長して旧河谷の形状を検討するが、旧河谷流芯の位置と旧河床勾配に留意した。ボーリングデータを参照すると岩盤上面に風化帯が存在しており旧山腹斜面と判断し、左右岸山腹斜面形状の延長を想定して旧河谷を設定した。3D 地質モデル（地盤モデル）生成には Geo-Graphia³⁷⁾を用いたが、支持地盤となる CM 岩盤上面のサーフェスマデルを自動で生成すると、上記留意事項に矛盾が生じるため、補間データを入れて地盤モデル（堆積段丘部に位置する右岸橋台部）とした(図-3)。



図-3 地盤モデル

4. 支持地盤と橋台位置の検討

(1) 斜面上の基礎

段丘砂礫層下に支持地盤が分布することから、斜面でのコントロール⁸⁾を参照して検討した(図-4)。

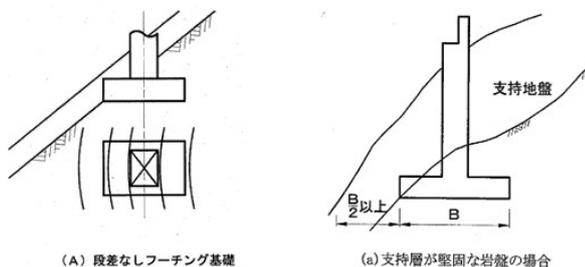


図-4 斜面上の基礎

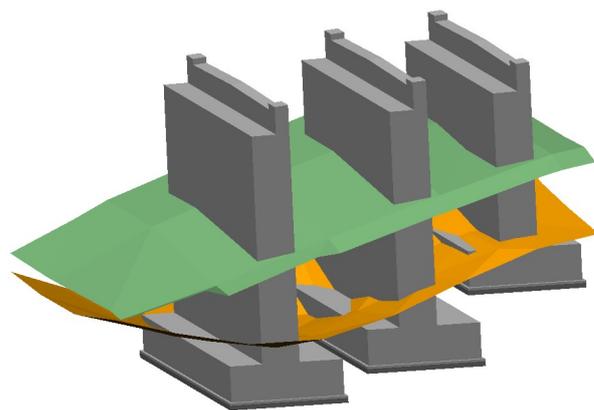


図-7 比較検討

(2) 橋台位置の3D 検討

3次元地質モデリングソフトで作成した地盤データを3次元 CAD に取り込み、橋台の配置検討を行った。図-5に地表モデル(緑)と地盤モデル(橙)を示す。地表モデルには国土地理院の基盤地図情報を使用した⁹⁾。3次元モデルを活用することにより、面的に地形・地質を理解することができる。

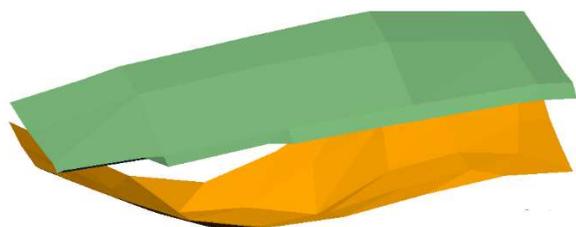


図-5 地表モデルと支持地盤モデル

橋台の配置は、支持地盤面を確認して検討を行った。本試行では直接基礎形式の橋台を想定しているため、基礎が支持地盤サーフェスまで到達しているかを3次元上で確認しながら検討を行った。図-6に橋台の配置検討例を示す。

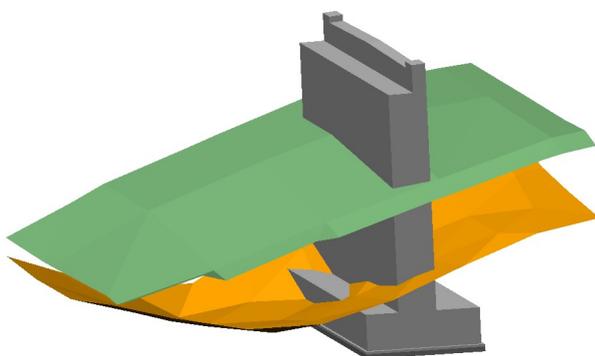


図-6 橋台の配置

3Dモデルを用いることで、支持地盤と地表面、橋台の位置関係を三次元で確認し視覚的な把握が容易である。そのため、複数案を3次元上に並べての比較検討においても位置関係を理解しやすく有用であると考えられる(図-7)。

5. まとめ

堆積段丘の形成過程に留意して地下地質を推定することでBIM/CIM構築に必要な3D地質モデルが生成できることを示した。生成した支持地盤のサーフェスモデルを用いて橋台基礎位置の検討が3Dで可能となり、合理的な設計ができることを示した。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地盤情報センター(2022) : 3次元地質・土質モデルガイドブック, p. 80.
<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>.
- 2) 豊島正幸(1987) : 米代川支流, 小猿部川における最終氷期後半以降の河成段丘形成. 地理評, 60(Ser. A), pp. 40-51.
- 3) Toyoshima.M(1981) : A Geohistorical Study of Fluvial Land form through the Last 30,000 Years at the Eastern Fringe of the Yamagata Basin, Japan. Sci. Repts. Tohoku Univ., 7th Ser. (Geogr.), 31. pp. 15-28.
- 4) 山中英二・八木浩司(1987) : 最終氷期における飯豊山地および朝日山地周辺の堆積段丘の形成. 東北地理, Vol. 39, pp. 283-301.
- 5) 鈴木隆介(1998) : 建設技術者のための地形図読図入門, 第2巻, 低地, 古今書院. pp. 206-365.
- 6) 国土地盤情報検索サイト : (最終閲覧日2025.5.10), <https://ngic.or.jp/>
- 7) Geo-Graphia3 地層科学研究所 : (最終閲覧日2025.5.10), <https://www.geolab.jp/software/element/software-gg3/>
- 8) NEXCO(2016) : 設計要領 第二集[橋梁建設編], 3-4斜面上の直接基礎, 3-4-1形状・寸法の計画, pp. 4-19 - 4-20.
- 9) 国土地理院 基盤地図情報ダウンロードサービス:(最終閲覧日2025.5.12), <https://service.gsi.go.jp/kiban/>

自然堤防分布地での3次元地質モデル

新和設計株式会社 ○菅野 寿洸, 遠藤 真哉

1. はじめに

米沢盆地北縁部の蛇行原では湖成堆積物である粘性土が主に堆積し、吉野川が作る自然堤防や後背湿地の堆積物が累重している¹⁾。このような内陸盆地内に分布する粗粒土（礫や砂）は河成であり、当時の河床堆積物や自然堤防からなる。2次元の地質断面図においてはボーリングで得られた同深度に分布する砂層と砂層を同じ岩相として機械的に結んだものが散見される。

BIM/CIMにおける3次元地質モデル作成においては、堆積環境や堆積プロセスを反映したモデルが重要である^{2), 3)}。地盤中の堆積体⁴⁾を3次元でモデリングするには一般的な地質調査で得られるボーリングデータの数量に限りがあることが多く詳細なモデリングは難しい。本論は礫～砂層の3次元地質モデル生成を検討するにあたり、自然堤防の形成過程（堆積プロセス）に着目した。礫～砂層の3次元地質モデル（堆積体）は、表層の微地形を上面の形状とし、自然堤防に区分されている箇所で開催されたボーリングデータによる礫～砂層の分布を自然堤防の下限深度としモデリングを行うものである。

2. 検討地の地形・地質

検討地は、米沢盆地の北縁部である。

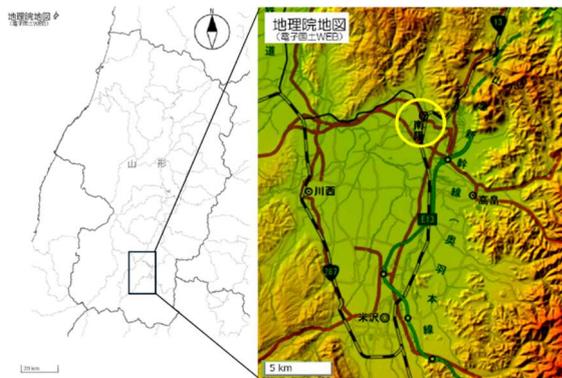


図-1 検討地(地理院地図に加筆)

米沢盆地北縁部では山地の出口から宮内扇状地があり扇状地東縁部を吉野川が南東に流下し、扇端部の先に氾濫原があり自然堤防を形成している。検討地の微地形区分図⁵⁾を以下に示した。

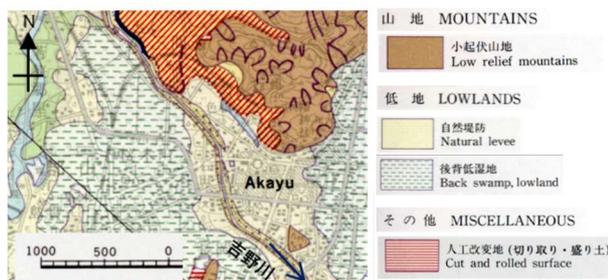


図-2 微地形区分図

3. 自然堤防の地形・地質

氾濫原で形成される自然堤防の模式図⁶⁾を以下に示した。

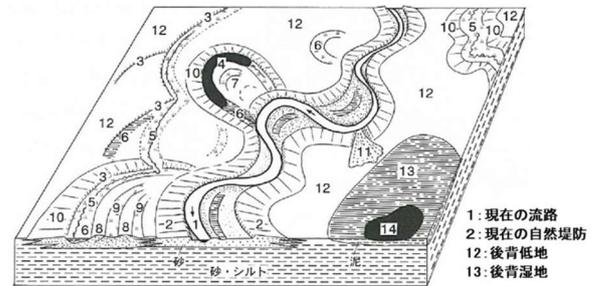


図-3 自然堤防の模式図

自然堤防は河川の流路に沿って、その両側で帯状にのびる微高地で、大出水の度に流路からあふれた流路物質（礫～砂）が堆積して形成され、更に、自然堤防の外側には細粒分が堆積し後背湿地を形成した⁶⁾。

検討地は米沢盆地に位置し、主体的に湖成の細粒分が堆積している環境に、河川流路に沿って自然堤防と後背湿地が形成される堆積環境が繰り返されていると考えられている¹⁾。自然堤防と後背湿地は同時異相の関係にあり、地質断面としては指交関係がある。

4. 微地形区分とボーリングによる3次元地質モデル

表層の自然堤防分布は既述の地形区分図を参照し、既往ボーリングは国土地盤情報データベース⁷⁾を参照した。

国土地盤情報データベースの位置図に微地形区分による自然堤防を重ねて以下に示した。



図-4 検討地の自然堤防と既往ボーリング

図中赤色丸内にある既往ボーリングデータから地盤中の礫～砂層の分布を参照した。

検討地の3次元地質モデルは Geo-Graphia3 (地層科学研究所)⁸⁾を用いて生成した。表層の点群データは基盤地図情報サイト⁹⁾からダウンロードし、サーフェスモデルを生成した上で既述の微地形区分を参照して自然堤防（堆積体）の形状を設定した。地盤中の自然堤防の形状はボーリングデータの表層から確認された礫・砂層を一括

して自然堤防構成層と設定した。自然堤防形成過程を参照し、吉野川流下方向に帯状を呈し、河川横断方向にはレンズ状（本来は指交関係でギザギザの地質境界を呈するが、液状化検討を想定して安全側に設定）の形状を、ソフト上（3次元）で行った。

5. 3次元地質モデル(サーフェスモデル)

表層地形(微地形)のサーフェスモデルを以下に示した。

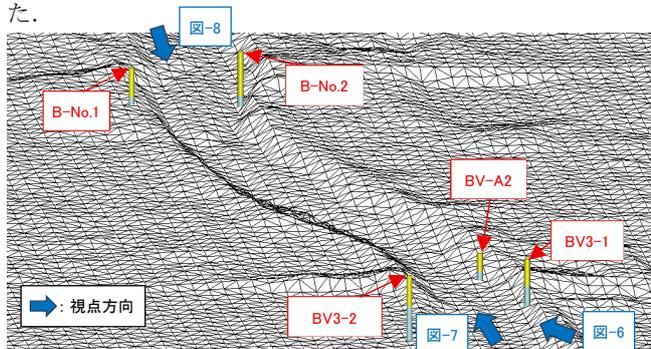


図-5 表層地形(微地形)のサーフェスモデル

下流方向から見た表層と砂層下面のサーフェスモデルを以下に示した。

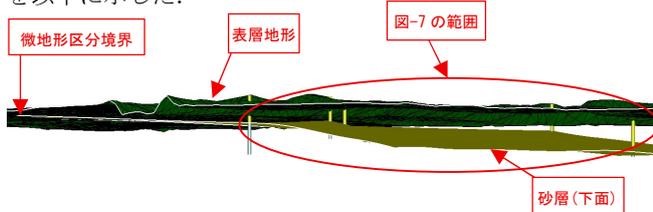


図-6 表層地形と砂層下面のサーフェスモデル

図-6は、西縁の微地形区分境界付近まで砂層下面のサーフェスモデルを延長した地質モデルになる。

下流方向から見たボーリングモデルを以下に示した。

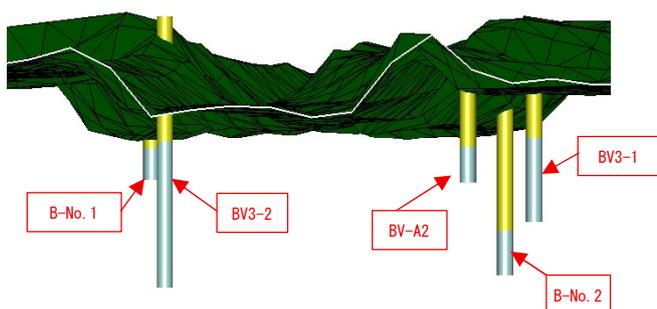


図-7 砂層の岩相(ボーリングモデル)

上流方向から見た自然堤防のサーフェスモデルを示した。

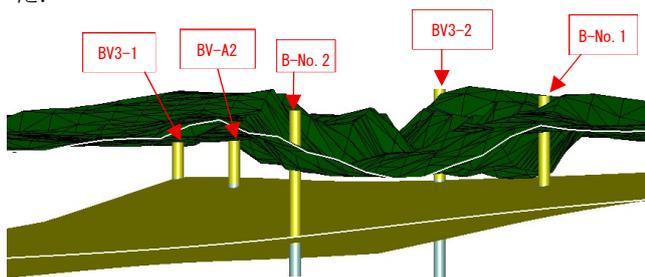


図-8 自然堤防のサーフェスモデル

図-8の上面形状は微地形区分で、下面形状はボーリングデータの砂層下限であり、両サーフェスモデルで挟まれた空間が自然堤防(砂層)である。

6. まとめ

内陸盆地氾濫原における砂層の3次元地質モデル生成を試みた。砂層は自然堤防からなるので、自然堤防形成過程を考慮した地質モデルとした。表層の微地形区分を上面形状とし、微地形区分が自然堤防の箇所で行われたボーリングデータの砂層下限を下面形状のサーフェスモデルとした。微地形区分とボーリングの併用により浅層の3D地質モデルが生成できた。

《引用・参考文献》

- 1) 加藤真司・佐々木徹・山田満秀・澤野幸輝・齋藤邦夫・太田秀樹(2015) 有機質土と粘性土および砂質土が互層状に堆積した軟弱地盤における真空圧密工法の適用性, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 71, No. 4, pp. 335-351.
- 2) 全国地質調査業協会連合会(2017) 三次元地盤モデル作成の手引, pp. 19-34.
- 3) 国土地盤情報センター(2022) 3次元地質・土質モデルガイドブック, pp. 28-54.
- 4) 高野 修(2021) 地球統計学的堆積体モデリング: 概要・手法・堆積学とのリンク, 堆積学研究, 第79巻, 第2号, pp. 71-84.
- 5) 山形県(1983) 5万分の1 土地分類基本調査, 赤湯・上山
- 6) 鈴木隆介(1998): 建設技術者のための地形図読図入門, 第2巻, 低地, 古今書院. pp. 206-365.
- 7) 国土地盤情報検索サイト: (最終閲覧日2025. 5. 10), <https://ngic.or.jp/>
- 8) Geo-Graphi3地層科学研究所: (最終閲覧日2025. 5. 10), <https://www.geolab.jp/software/element/software-gg3/>
- 9) 基盤地図情報サイト: (最終閲覧日2025. 5. 10), <https://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>

ダム地質調査業務における BIM/CIM の試行

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○青島 祥多、松村 法行、岡田 忠晴、兵藤 充祥

1. はじめに

ダム基礎岩盤の地質調査は、地質分布、透水性、物理・力学的特性の把握を目的に、ダム軸を中心にグリッド状に長年にわたり段階的にボーリング調査、原位置試験、室内岩石試験が行われている。

BIM/CIM は、計画、調査、設計段階から 3 次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理段階においても 3 次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図る取り組みのことである。

今回は上記の目的に加えて、複雑な地質構造を把握・理解することの補助することを目的として、3 次元パネルダイヤグラムを作成したので、その実施例と課題について紹介する。今回はボーリング結果から作成した地質断面図について BIM/CIM 技術を使用して、地質構造を検討した事例である。

2. BIM/CIM への取り組み

私は大学卒業後、2021年に建設コンサルタント会社に入社し、地方の支店でボーリング調査や地すべり観測の業務を担当していた。2021年より社内では、BIM/CIM の作成できる人を養育することとなり、社内技術者講習(グループ研修やオンライン研修など)などが実施されている。支店内では数少ない若手技術者であったことと、BIM/CIM に興味もあったので、BIM/CIM 技術者講習を受講した。技術者講習は3日にも及ぶものもあった。その結果、複雑な3D モデル化は難しいが、モデルの中に2次元断面図を配置することや、ボーリング柱状図を配置するなどの BIM/CIM の基本的な操作や理解をできるようになった。地方の支店業務では、BIM/CIM を作成する機会がないため、学習成果を示すことが出来なかった。そこでダム地質調査業務にて、BIM/CIM の作成を自主的に行うことで、本調査地の複雑な地質構造を視覚的に捉えて、理解の補助をすることを目的とした。

3. ダム業務での事例

(1) 業務内容

ダム建設候補地におけるボーリング調査では、φ86mm のボーリング(延長60m~155m)のほか、ルジオンテストやボアホールスキャナー観測を行った。なお、調査地の地質構造が高角度傾斜であることから、斜めボーリングも実施した。

(2) 地形・地質概要

現地は河床幅40m 程度の河川が北西から北東に流下し

ていて、斜面は30度~45度のV字谷になっている。また、左岸は攻撃斜面となり、切り立った岸壁となっている。右岸はチャートや砂岩からなる小さい尾根となっており、ダム軸下流側に幅約50mほどの崩壊地形がある。

調査地の地質はジュラ紀秩父帯に属しており、砂岩(砂質混在岩)と泥岩(泥質混在岩)を主体とする互層となっている。その他の岩種として、チャートや緑色岩(玄武岩質混在岩)を挟むことがある。地質構造について、走向方向はダム軸に対して斜交し、傾斜は高角度となっており、南傾斜および北傾斜を示す。したがって、鉛直ボーリングでは同じ地層を掘削する事となり、地層分布や地質構造を把握することが難しくなる問題があった。

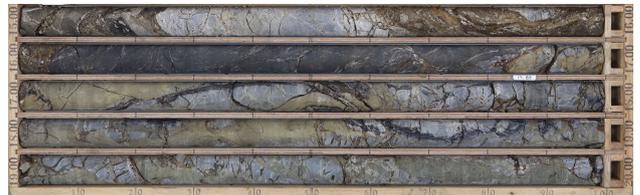


図-1 高角度傾斜により複雑な地質構造のコア

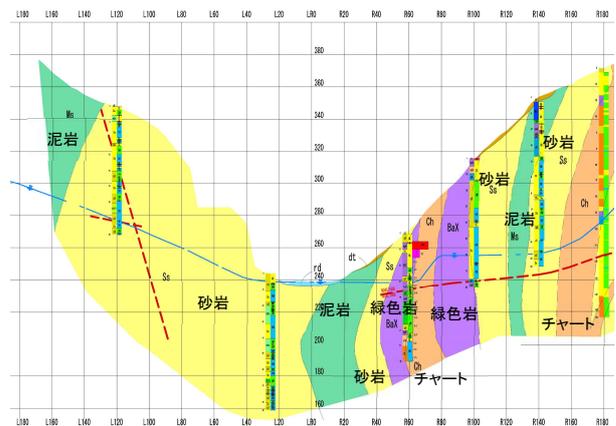


図-2 地質断面図(ダム軸)

(3) 作成目的

当調査地の地質構造は高角度傾斜の構造であり、縦横断の断面図だけでは、全体構造を把握する事が困難となっている。そのため、今回ダム業務の中で作成した BIM/CIM は断面図の既往断面図や断層破碎帯の分布の整合性、ダムサイトの地質構造の全体把握の補助とするためであった(費用は自社努力)。また、現地では同時期に他社もボーリングを実施しており、発注者了解の上、調査結果の情報を共有し、地質断面図に反映させるようにした。

(4) 作成に使用したソフト

パネルダイヤグラムを作成するにあたり以下のソフトウェアを使用した。

- Autodesk 社 AutoCAD 2024
- Autodesk 社 Civil3D 2024

・Autodesk 社 Navisworks 2024
を使用した。

作成に使用した PC は、メモリー32GB、ストレージ500GB、グラフィックボード8GB のノートパソコンである。

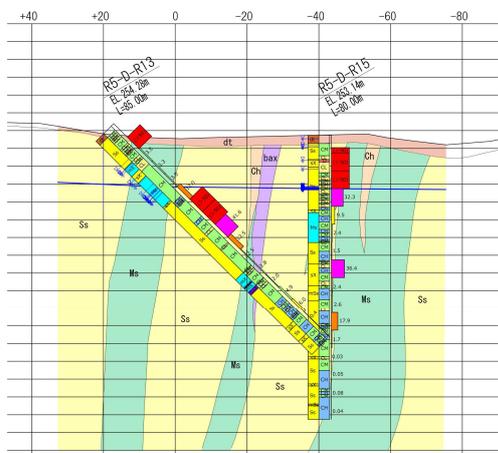


図-3 地質断面図(右岸40m 上下流断面)

(5)作成範囲

地形サーフェスを0.44km²、断面図をダム軸方向、右岸40m 地点、140m 地点の上下流断面、斜めボーリング方向の4断面を用いて作成した。ボーリングモデルは、7本作成し配置した。

(6)作成手法および作成期間

ボーリングを掘削後、各ボーリングデータおよび地形図から2次元断面図を作成した。その後、柱状図や断面図を3Dモデル内に配置した。

作成に要した時間としては、地形モデルの作成に8時間、モデル化に6時間、断面図や柱状図の配置に12時間費やした。モデルの配置は負荷がかかり処理が正常に完了しない事が度々発生したため、時間を費やすこととなった。

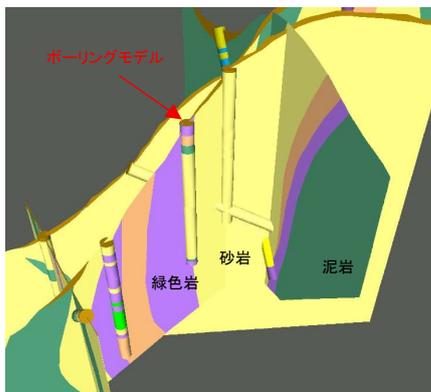


図-4 パネルダイアグラムとボーリングモデル

4. 作成したモデルの成果と課題

作成したモデルを用いて、高角度に分布する各地層のつながりを確認することができ、調査地の地層が複雑であることがわかる。また、業務で新たに作成した断面図の整合性や妥当性をチェックした。また、新規作成した

断面図の結果、既往断面図の修正が必要な箇所を確認、修正を行った。

発注者への打合せの際には、実際に作成したパネルダイアグラムを持参したノート PC で提示することによって、断面図の位置関係や整合性について、一定の理解をその場でいただくことが出来た。

作成時の課題について、調査結果をとりまとめ、断面図を作成してから作成となるため、作成期間が短くなる。また、報告書作成との作業を平行となったため、時間の確保が非常に課題となった。そのため、作成後の検討を十分に行うことが出来なかった。今後は、経験を重ねて作業時間の短縮や、事前にパーツを整理するなどのことを行い、作業時間および考察の時間を確保できるようにしていく必要がある。

また、発注者への提示方法および見せ方について、経験不足であること、発注者および受注者の双方が BIM/CIM について不慣れなため、見せ方やスムーズな確認をすることが課題となった。小型モニターの用意や事前確認、わかりやすい動画にするなどの対応をする必要性を確認した。

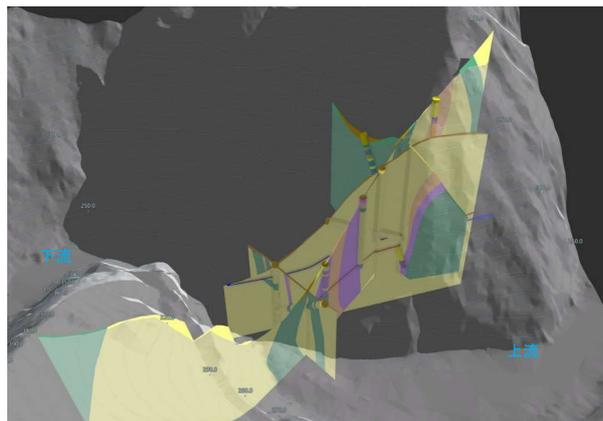


図-5 作成した3次元モデル

5. まとめ

今回の実施例では、既往断面図との関係性を適切に把握することにより、断面図の妥当性を確認することができ、複雑な地質構造である調査地を視覚的に理解することが可能となった。また、発注者への説明資料として有効に活用することができた。

今回作成したモデルは、ボーリング数量が少なく、断面図もごく一部であるが、今後データが蓄積してきた場合は、作業性が悪化すると予想される。また、効率化を進め、作業時間の短縮を行っていく必要がある。

今後は、BIM/CIM 化が必須になることも予想され、さらなるスキルアップが求められるため、経験を積んでいきたいと考える。

傾斜基盤地域の地質 3D モデル作成

株式会社東建ジオテック 林 悠紀

1. はじめに

昨今では建設業界の働き方改革や生産性向上を目的として、DX 化が推進されており、設計・施工の分野では BIM/CIM モデル、いわゆる 3 次元モデルに情報を付加したデータの利活用が始まっている。しかしながら、地質調査段階での 3 次元モデルの作成・利活用はまだ主流となっておらず、業務として 3 次元モデルを作成する事例はまだ少ないと思われる。

今回は、ある業務で 3 次元モデルの作成、納品を行った事例を紹介するとともに、モデル作成にあたって感じた課題や今後の対応等を報告する。

2. 業務概要・調査結果

本業務は河川中流部の 2 エリア①、②において土木構造物の設計に必要な資料を得るための地質調査を実施したものである。調査地付近の土地条件図を図 1 に示す。

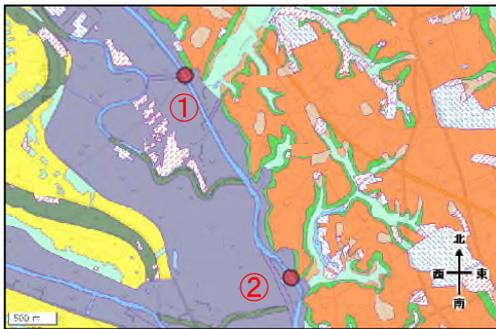


図 1 調査地周辺の土地条件図

(「地理院地図 電子国土 Web」より一部加筆)

調査地は河川沿岸にあり、低地に位置しているが、土地条件図を見てわかるように、東側至近に台地が迫っている。地質推定断面図の一例として①エリア付近の地質推定断面図を図 2 に示す。この断面図には既存調査によるデータも含まれているが、今回の左岸側の調査地点より 40m 程度離れた台地に近い既存データでは地表部から沖積層が 5m 程度と薄いものに対して、今回調査地点は左岸側で 20m 程度、右岸側で 27m 程度と厚く堆積しており、層相の変化が激しいことがわかる。また、全体の地層も 20 層弱あり地層数が多く複雑な分布である。支持層分布の確認において、2 次元では表現が難しい支持層の傾きなどの地質構造を 3 次元モデルで可視化することで、関係者の理解促進や 2 次元図面の精度向上を図ることを目的として、調査結果をもとに①エリア周辺と②エリア周辺の 3 次元モデルを作成した。

3. 3 次元モデル作成

3 次元モデルの作成手順とその留意点を述べる。

(1) 3 次元モデル作成範囲の設定

3 次元モデル作成にあたって、調査地付近の地層の変

化を表現することが目的であるため、広範囲の 3 次元モデルは不要である。およそ 700~800m 程度四方の範囲の

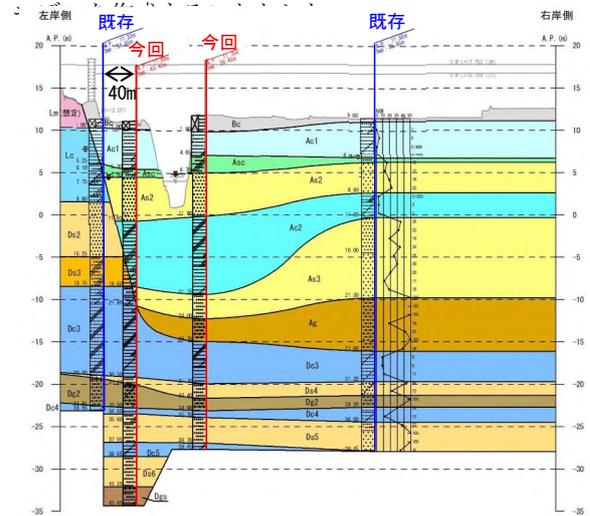


図 2 ①エリア付近の地質推定断面図

(2) 3 次元モデル作成に使用するデータの選定・収集

今回の 3 次元モデル作成では今回調査結果に加え、調査範囲内に存在する国土地盤情報検索サイト KuniJiban で公開されている柱状図を使用した。この時、使用している調査標高について確認が必要である。Kunijiban に掲載されているデータは電子納品されたデータであるため、基本的には T.P. 表記であるが、古いデータであると必ずしも T.P. 表記とは限らない。実際に使っている標高の種類は確認できないため、実際の地表高と合わせて乖離したものは修正、ないしは修正しても大きく乖離する場合は除外する等の措置が必要である。実際、Kunijiban で入手したデータのうち、A.P. 表記と思われるデータがあったため修正を行って使用した。ここまでで設定した 3 次元モデル作成範囲と使用したボーリングデータの位置図を図 3 に示す。

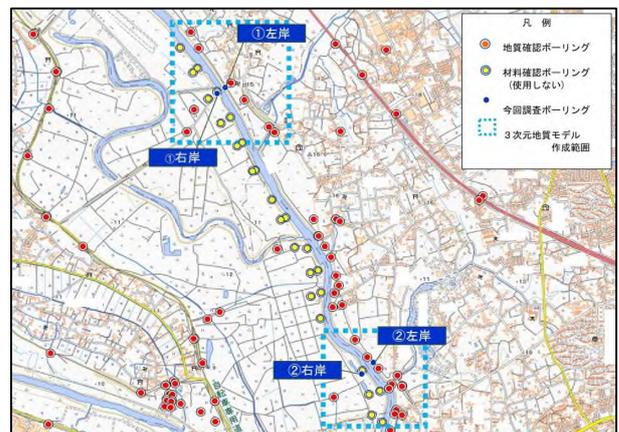


図 3 3 次元モデル作成範囲と使用データの位置図

(「国土地盤情報検索サイト KuniJiban」より一部加筆)

(3) 成果物の作成

3次元モデルの作成は以下の手順で実施した。

ア) 事前に取得したデータの配置

地表面のサーフェスデータやボーリングデータをソフトに読み込ませることで配置した。地表面のサーフェスデータは、国土地理院が公開している基盤地図情報 5m メッシュデータを使用した。

イ) 地層の設定

まず、使用する全ての地層をソフトに入力した。その後、3次元モデル内で断面の迎る座標を入力して断面線を作成した。作成した断面上で地層の下面深度を指定して地層境界線を作成した。地層境界線を作成する際、地点間に距離があると想定とは大きくかけ離れた曲線が作成されることがあるため、地点間の迎ってほしいラインにポイントを多数配置するように工夫した。また、地層の変化が激しい場合は、いくつかある地点間の推定計算方法について試行錯誤を繰り返して作成した。地層境界線を不備無く作成するためには、作図範囲の地質的形成過程を的確に考察することが求められる。それらの考察を行うためには、十分なデータと対象地域に精通した地質技術者が作成にかかわることが重要である。

ウ) 地質体の作成

地質体はいわゆる地層の 3D オブジェクトである。各地層境界線を基に条件を指定することで、その条件を満たした範囲でボクセルやソリッドなどを用いた 3D オブジェクトが生成される。今回の目的としては沖積層と洪積層の境界が重要である。機械的に各地層を設定した場合、各地層の境界部がずれた形の地質体になってしまうため、本来の地層とは別に「沖積層下面」の地層境界線を作成した。作成した 3次元モデルで沖積層の地質体を除いたものを図 4、図 5 に示す。

エ) J-LandXML 形式への変換

作成した 3次元モデルのデータ形式を LandXML 及び J-LandXML 形式に変換して成果物とした。

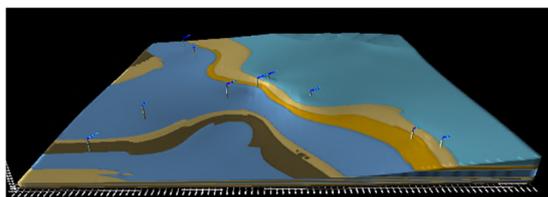


図 4 ①エリアの沖積層を除いた 3次元モデル

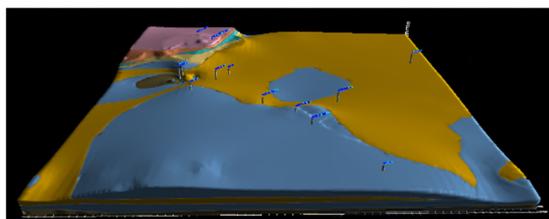


図 5 ②エリアの沖積層を除いた 3次元モデル

4. 3次元モデル活用のための課題

作成した 3次元モデルを今後活用していくにあたって、

今回 3次元モデルを作成した際に特に感じた課題とそれに対して考えられる対策を以下に 2点あげる。

・地層分布の不確かさを表現できないこと

これは 3次元モデル作成範囲が決定した後、使用するボーリングデータを集めている段階で発覚したのだが、本 3次元モデルでは使用したボーリングデータが少ないため、地層の正確性を担保できない範囲がある。このことについては、成果物提出の際に引継ぎ事項として申し送りをしたが、今後 3次元モデルが独り歩きをする可能性も考えられる。設定した範囲内で 3次元モデルとして明確に描画されることで、引継ぎ事項を見なければどの部分がどの程度の不確かさであるかわからないまま使用される懸念がある。今後の対応としては、3次元モデル作成範囲を決定する際は、ボーリングデータを先行して収集し、ある程度の正確性が担保できる範囲を設定する必要があると考える。

・段階ごとの使用ソフトが不明なこと

地盤 3次元モデルを作成する我々調査は、最初の段階であり、調査後の設計・施工・維持管理各段階で使用するソフトは不明確である。それらのソフト全てで取り扱えるような 3次元モデルを作成することができるのか確認は取れていないが、土量の計算などソフトごとに独自の機能を使用している場合があり、現段階では難しいと考える。つまり、現状では各段階でそれぞれが使用ソフトに合わせて十全に使えるように 3次元モデルを作り直す必要があると思われる。ソフト間の互換は、共通した仕様をもとに引き継いだ 3次元モデルデータを出発元の状態に再現し、それぞれの機能が使用できるようにすることが必要である。現在、LandXML 及び J-LandXML というデータフォーマットがあるため、それを足掛かりに各ソフトの互換性が広まっていくことを期待する。

5. まとめ

本業務では、納品の際にノート PC を持ち込み、専用ビューアを用いることで、発注者の目前で実際に作成した 3次元モデルを動かし、基盤となる洪積層の傾斜や軟弱な沖積層の層厚の変化等を説明した。発注者にはそれによりご納得頂けて本来の目的を達成することができた。しかし、納品したデータが今後の工程で満足に使用できるデータなのかはわからず、課題が残る状態である。

建設工事は測量、調査、設計、施工、維持管理と各段階に分かれており、各段階で使用されるソフトの特徴も異なるが、測量・設計・施工では利活用が進んでいるため、地質調査成果の連携も今後強化されるのではないかと考えている。

地質調査の 3次元モデルは、今後ますますの発展が期待される技術でもある。今後のソフトのアップデートのみならず、技術研鑽による自身のアップデートも楽しみながら行っていきたい。以上

護岸工事のための地質調査に伴う 3次元モデルの作成事例

日本物理探査株式会社 ○南梨 愛奈, 東 浩太郎

1. はじめに

本事例の調査地は時折水害が発生する河川であり、護岸整備が必要である。調査地付近は、洪積の台地とその台地を開析する河川の谷底低地で構成されており、起伏が激しい地形である。その上、河川は大きく蛇行しているため、2次元の地質断面図において、台地部分の表現方法に困難を生じた。また、低地部は沖積の軟弱な層が出現しており、液状化の可能性がある等、施工上に問題となる層であるため、軟弱層の分布を把握することが重要である。そこで、護岸整備区間における地形表現と地質分布を把握し、設計・施工上における課題点を可視化することを目的に、既存データを用いて3次元モデルを作成した事例を紹介する。

2. 調査地の地形地質

(1) 地形概要

調査地は、台地南端の河川沿いで南側は低地と接している。調査地付近を構成する台地は、平らな一つの台地ではなく、時代の異なる2段の段丘面で構成される。台地は開析され複数の細かい谷に刻まれていて、調査対象の河川は台地を刻む谷であり、河川周辺は谷底低地を成している (図-1 (下))。

(2) 地質概要

調査地の推定地質断面図を図-1 (上)、層序表を表-1に示す。調査において確認した層のうち最下層には、本調査地の支持層となる、N値50以上の固結シルト主体の層が確認された(洪積第六層)。その上位には、海成層で貝化石が多く産する粘性土主体の層が確認された(洪積第五層)。その上位には、2つの段丘を構成する最大5m程度の段丘礫層が確認された(洪積第三層・洪積第四層)。

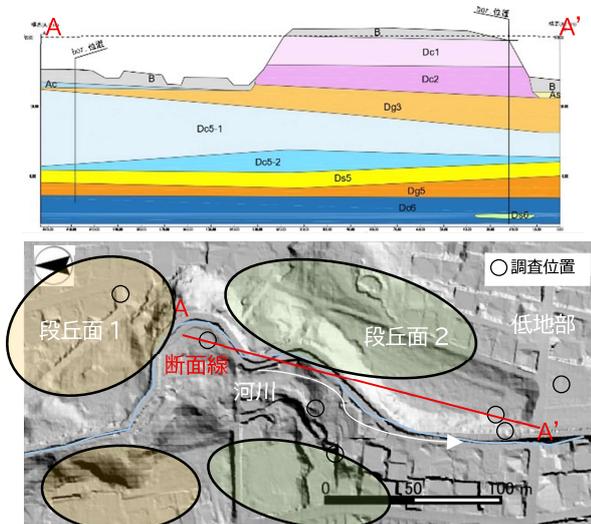


図-1 (上)推定地質断面図
(下)調査地周辺の陰影起伏図

そして段丘礫層を被覆する火山灰性のローム層(2層)が確認された。(洪積第一層・洪積第二層)。低地部分では、台地を開析して形成された谷に堆積した粘性土(低湿地堆積物)や砂が堆積していた(沖積層)。

表-1 地質層序表

地質時代	地層名	記号
現世	表土・盛土層 河床堆積物	B
	沖積層粘性土層	Ac
完新世	沖積層砂質土層	As
	洪積第一層粘性土層	Dc1
第四紀	洪積第二層粘性土層	Dc2
	洪積第三層礫質土層	Dg3
	洪積第四層礫質土層	Dg4
	更新世	第一粘性土層
洪積第五層	第二粘性土層	Dc5-2
	砂質土層	Ds5
	礫質土層	Dg5
洪積第六層	粘性土層	Dc6
	砂質土層	Ds6

3. 3次元地質モデルと考察

本調査地のボーリング7本を基に、調査対象の河川を中心として東西方向150m・南北方向250m・鉛直方向-10~40mの範囲において、三次元地質モデルを作成した(図-2)。作成にあたり使用したソフトウェアは、「Autodesk Civil 3D」とそのアドオンである「GEORAMA for Civil3D」である。地表面は、「G 空間情報センター：<https://front.geospatial.jp/> (一般社団法人 社会基盤情報流通推進協議会事務局)」のDEMデータ(0.25mメッシュ)を使用した。

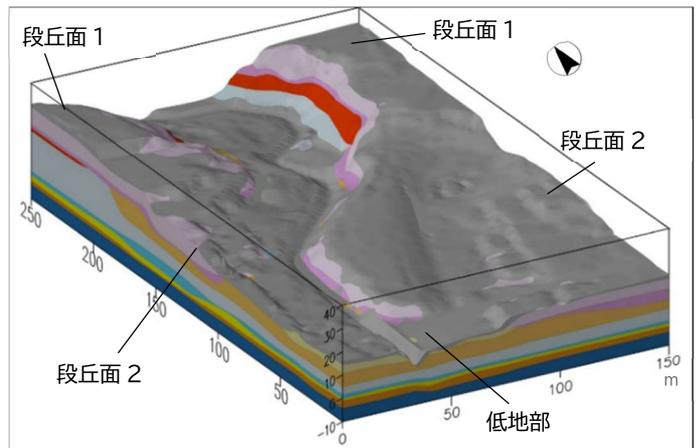


図-2 作成した3次元ソリッドモデル
(水平方向:鉛直方向= 1 : 1)

(1) 起伏のある地形の表現

調査地付近は、時代の異なる段丘面と低地部から成り、図-1のような地質断面図のみでは、段丘面1の表現が困

難である。そこで、図-3（上）の陰影起伏図の赤線に沿ってパネルダイヤグラムを作成した（図-3（下））。断面線は、本調査のボーリングポイントと、低地部・段丘の区別が可視化できるようなソリッドモデルの面で切断を行った。任意の面において、矛盾なく迅速に断面を切断し、地層分布を把握できることが3次元化のメリットの1つである。

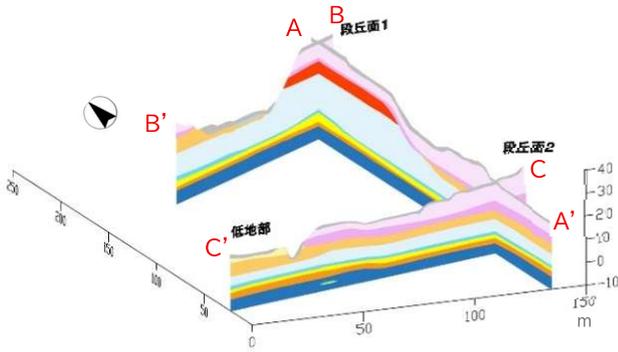
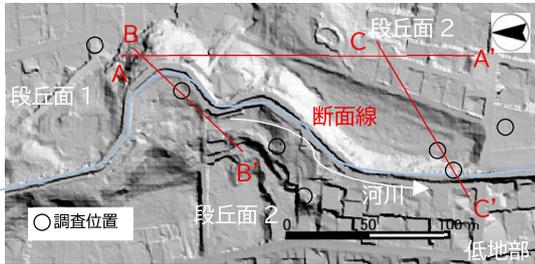


図-3（上）調査地周辺の陰影起伏図

（下）パネルダイヤグラム（水平方向：鉛直方向＝1：1）

(2) 軟弱層の分布

調査地の低地部には、沖積の粘性土や砂質土が確認された。N値が低い軟弱層であり、砂質土は液状化の可能性など施工上において問題となる層であるため、分布を把握することが重要である。よって、ソリッドモデルにおいて、分布や層厚を把握するために、沖積層のみを抽出した（図-4）。これにより、沖積の粘性土は主に河川の西側に分布していることが分かった。また、沖積の砂質土は河川の東側にも確認されており両岸で液状化の対策が必要であることが分かった。

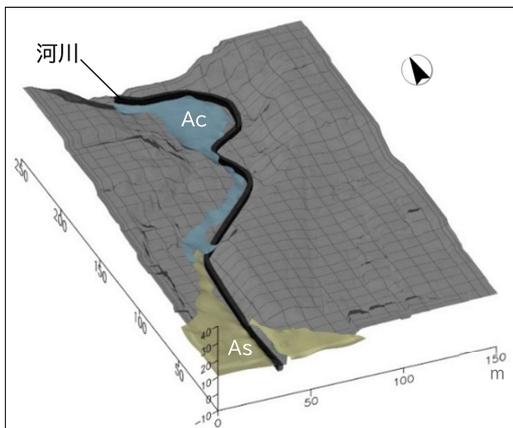


図-4 沖積層の分布図

（水平方向：鉛直方向＝1：1）

(3) 掘削底面と支持層の把握

護岸整備工事では、断面を広げるために現況より河床底面を掘り下げる計画がある。よって、掘削底面の地層を把握するために、施工時の掘削底面を反映した河川のモデルと、河川に沿って50m ごとの横断面図のパネルダイヤグラムを作成した（図-5）。河川改修を行う方法の1つとして矢板を打設する方法がある。矢板を打設する場合において、河川の南側では、掘削底面に砂礫層が分布するため矢板の裏表の水位差によるボーリング、河川中央～北側においては、粘性土層が分布するため、矢板の裏表の重量差によるヒービングの注意が必要であることが分かる。また、矢板打設深度の目安として、支持層と矢板打設位置の地表面の標高の関係を図-6に示す。図-6は、水平方向に対して鉛直方向を5倍にして表現しているが、支持層上面はほぼ水平に分布していることが分かった。

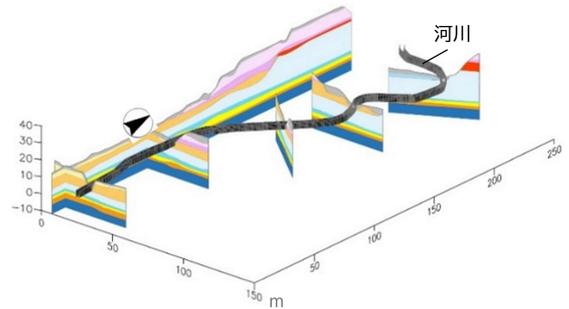


図-5 河川横断パネルダイヤグラム

（水平方向：鉛直方向＝1：1）

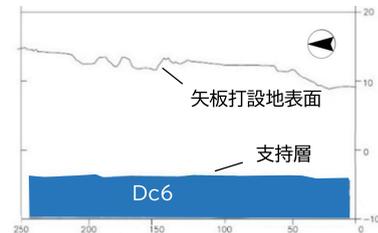


図-6 支持層と矢板を打設する地表面の関係

（水平方向：鉛直方向＝1：5）

4. まとめと課題

本事例では、起伏の激しい調査地において地層分布を3次的に表現することで、沖積層の軟弱地盤の分布や護岸工事の際の掘削底面・支持層の分布を可視化した。3次元モデルを作成することで、任意の面で迅速な地層分布の把握が可能となり、発注者へ調査地の特徴や問題をより分かりやすく提案することが可能な資料を作成することができた。一方で課題として、河川中央付近のボーリングデータが少ないため、特に沖積層の分布の不確実性が挙げられる。追加ボーリング調査により、正確な地質分布を把握し3次元モデルの精度をあげることが望ましい。今後、矢板や護岸等の構造物モデルを重ねることにより、設計・施工・維持管理の各ステップにおいて地質情報と共に3次元モデルが活用されることが期待される。

三次元地盤モデルによる橋脚基礎支持層深さの検討と評価

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○長屋 芙結, 景山 健, 貞本 智広

1. はじめに

A 県 B 市の道路建設計画において 7ヶ所の橋脚基礎が予定されており、橋脚基礎の支持層深さを正確に把握する必要があった。道路計画地内では、既往調査から支持層の深さが一様でなく、各橋脚の設置範囲内においても、支持層深さに違いがあることが問題視されていた。そこで、各橋脚部の支持層深さを精度よく把握するために、ボーリングの追加調査を行い、三次元地盤モデルを作成することで各橋脚部の支持層深さの違いを詳細に検討・評価した。

調査地点周辺の地形は、河川に挟まれた沖積低地に位置している。また、断層や岩盤の向斜構造の存在が懸念されている地域であった。

2. 三次元地盤モデルの作成と調査計画

既往調査結果から支持層深さの違いが確認されていたことから、各橋脚の設置範囲での支持層深さを精度よく把握するために、以下の流れで調査計画を立案し、提案した。

① 既存資料をもとに三次元地盤モデルを作成

既存資料を収集し、柱状図 (33本)、報告書から支持層深さを確認した。既存資料をもとに当該地では N 値 50 以上の岩盤を支持層に設定し、本調査地全体の支持層深さを反映した三次元地盤モデルを作成した。

② 支持層深さの分布・傾斜方向を確認

作成した三次元地盤モデルをもとに各橋脚での支持層深さの確認とその傾斜方向について確認した。

③ 追加調査位置の選定と提案

支持層深さの傾斜方向を把握し、最も支持層が深いと想

定される箇所でもボーリングを実施することを提案し、協議のうえ、決定した。

調査計画を立案した後、選定したボーリング調査位置で追加ボーリングを実施した。その結果を踏まえて三次元地盤モデルを更新し、各橋脚部の支持層深さの検討・評価を実施した。

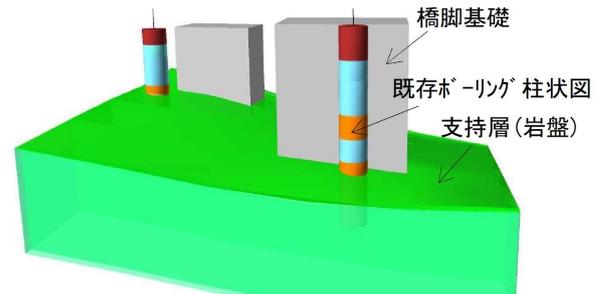


図-1 支持層と橋脚基礎の三次元地盤モデル

3. 調査結果と三次元地盤モデルによる評価

本調査地点の地層構成は、地表面より盛土層、沖積層、岩盤層となっている。

既往調査で得られた 33本のボーリングデータに加え、本調査で実施した 7本の追加ボーリング調査結果を反映させ、支持層の三次元地盤モデルを更新した (図-2)。

更新された三次元地盤モデルを用いて、各橋脚部における支持層の最浅部と最深部の標高を算定し、その高低差を把握した。その結果、PA1 橋脚では、最浅部が T.P. -8.82m、最深部が T.P. -11.81m と、2.99m もの高低差が確認された (図-3および図-4)。

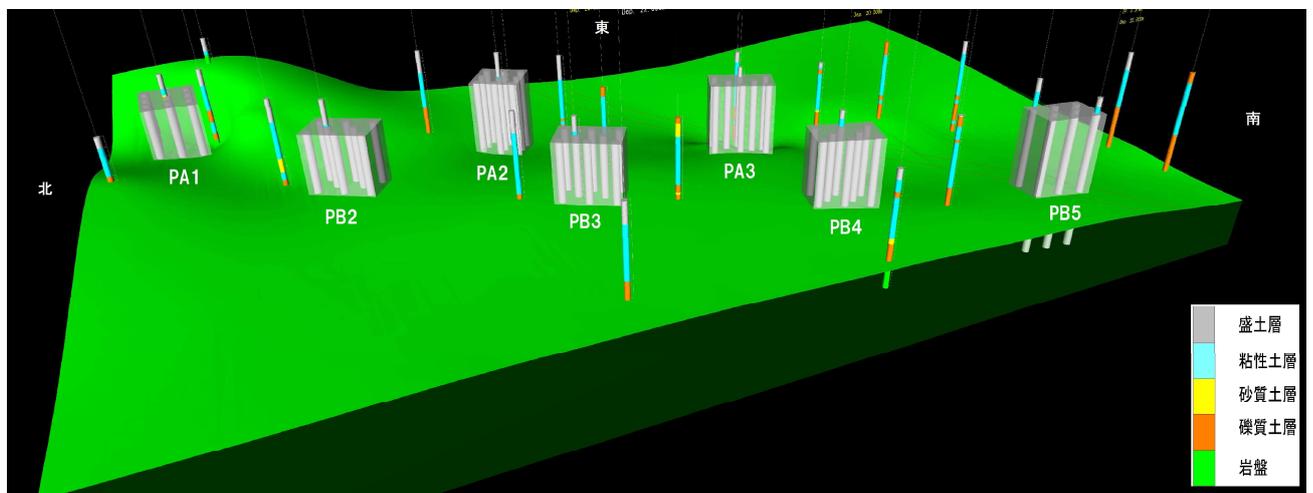


図-2 更新した三次元地盤モデル

これは、同一橋脚の基礎範囲内において、支持層面が約3mもの傾斜を有していることを意味する。同様に、PB3橋脚においても2.11mの高低差が確認された。これにより各橋脚内における支持層深さのばらつきがより明確に把握された。このような詳細な情報は、従来の二次元的な地層想定断面図では把握しきれなかったが、三次元地盤モデルを活用することでより明確に支持層深さの違いを把握することができた。

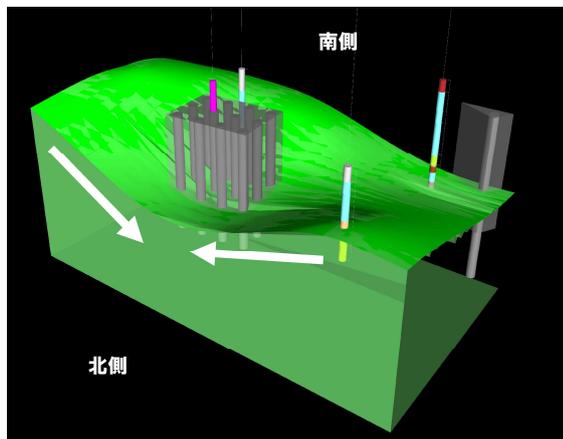


図-3 PA1橋脚の支持層深さの確認

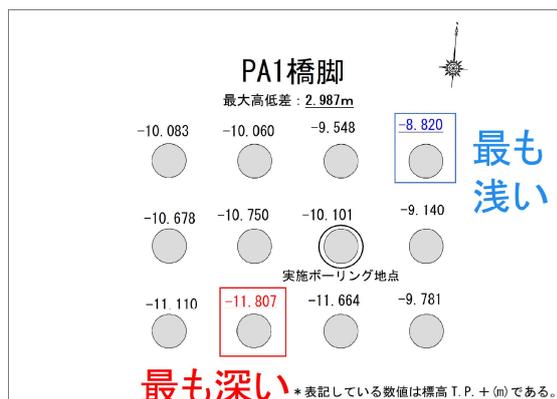


図-4 PA1橋脚の支持層標高の数値化

当初の設計では、既存のボーリング調査結果（N 値）と二次元的な地層想定断面図に基づいて杭の根入れ長を検討する計画であった。しかし、今回作成した三次元地盤モデルから想定される杭の根入れ長と、従来の二次元モデルから算出される根入れ長を詳細に比較検討した結果、両者には顕著な乖離が存在することが判明した。例えば、PA1橋脚においては、二次元モデルを用いて杭の根入れ長を検討すると、根入れ長が2.940mと算出されていたのに対し、三次元地盤モデルを用いて検討すると、最も浅い箇所で根入れ長が0.685mと算出された（表-1）。この大きな乖離は、二次元的な想定のみで設計を進めた場合、部分的に杭長が不足し、橋脚基礎の支持力不足や不同沈下といった重大な問題が発生するリスクを明確に示唆していた。このため、三次元地盤モデルを用いた杭の根入れ検討結果に基づき、橋脚基礎の根入れ長を再検討することになり、結果として

施工時に杭長が不足するなどの潜在的な問題を事前に特定し、適切な対策を講じることが可能となった。

表-1 杭根入れ長の比較

橋脚位置	杭長 (m)	杭根入れ長 (m)	
		二次元モデル	三次元モデル
PA1橋脚	14.00	2.940	0.685
PA2橋脚	17.50	0.185	-0.373
PA3橋脚	19.00	2.812	1.763

4. 考察

(1) 三次元地盤モデルの有用性

本調査地点の地層構成は、地表面より盛土層、沖積層の下に、岩盤層が確認された。N 値 50 以上が連続的に確認される岩盤層を支持層とした。全体的な傾向として、支持層は北から南方向、および西から東方向へ向かって出現深度が深くなることが確認された。特に PA1 橋脚エリアで、三次元地盤モデルの解析結果から、杭の配置位置によって支持層深さが約 3.0m も異なる可能性が示された。この情報は基礎杭の設計で、各橋脚の杭位置における支持層深さを詳細に確認するための有益な情報となった。また二次元モデルで計画していた根入れ長を三次元地盤モデルに反映させると、二次元モデルでは確認できなかった根入れ不足が確認された。このため、設計段階での詳細な地盤調査データと三次元地盤モデルによる検討が極めて有効であった。

(2) 今後の展望

本調査では、傾斜する支持層が存在する複雑な地盤条件下において、三次元地盤モデルの構築と活用が橋脚基礎の支持層深さを精度よく把握する上で極めて有効であることが考えられた。この方法により、従来の二次元的な地質断面図では困難であった、同一橋脚内での支持層深さのばらつきや傾斜を視覚的かつ定量的に把握することが可能となった。その結果、より合理的で適切な調査計画を立案し、さらに精度の高い基礎設計を行うことで、施工段階における杭長不足といった潜在的な問題を事前に特定し、対策を講じることができると考えられる。本取り組みは、地盤の三次元的な特性を考慮した先進的な地質調査・解析手法が、社会インフラ整備における安全性と経済性の向上に大きく貢献することを示すものであった。

(3) 注意点

三次元地盤モデルの精度には、既存のボーリングデータの量や地質情報に大きく依存するため、不正確なデータや情報不足は、モデルの精度を著しく低下させ、結果的に危険側の評価になることもあると考えられる。そのため、支持層の深さや地層の連続性に関する既往調査結果は、十分に収集・整理する必要がある。

高規格道路における三次元地盤モデルの作成・活用事例

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○青木 稔弥, 近藤 桂二, 渡辺 一樹, 資延 薫

1. はじめに

本事例の対象地は北海道厚岸郡厚岸町尾幌～糸魚沢間に計画されている延長 24.2km の高規格道路である。高規格道路建設時には数多くの盛土、切土等の土工や橋梁等の構造物が施工されるため、事前に地質調査を行い、地質リスクの把握及びリスクマネジメントを実施することが重要となる。本事例の路線では令和 5 年度までに複数の地質調査業務によって 400 本以上のボーリングが実施されている。従来はこのような地質調査結果を基に 2 次元の地質横断面図・縦断面図を作成し、地質リスクを検討していた。しかし近年は CIM(Construction Information Modeling)の活用により、地盤を 3 次元的に可視化して地質リスクを検討することが可能となってきている。

以上の背景を踏まえ、本事例では高規格道路全線 24.2km の 3 次元地盤モデルの作成及び 3 次元地盤モデルを活用した地質リスクの検討について紹介する。

2. 地形・地質概要

対象路線は標高 100m 以下の丘陵地とそれを開析して形成された沖積低地を繰り返し通過する。

丘陵地には平坦または緩やかに傾斜した頂部と主尾根が明瞭に見られ、沢が樹枝状に発達する。沢地斜面は比較的急峻である。基盤は主に白亜系の堆積岩から構成され、なだらかな頂部段丘面には更新統の堆積岩や段丘堆積物が分布する。また、糸魚沢地域の段丘面では完新統の摩周火山起源の火山噴出物が確認される。

沖積低地は主に尾幌川、大別川、別寒辺牛川流域に広がる。これらの河川に由来する氾濫原堆積物は、ヨシが群生する湿地帯を形成し、泥炭性軟弱地盤(泥炭層、粘性土層、砂層)が最大で約 20m の層厚で堆積する。

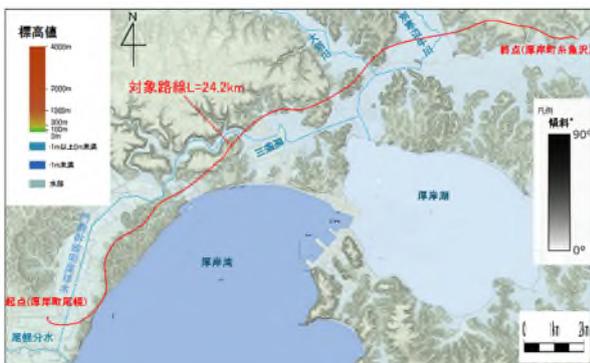


図-1 路線全線の地形図¹⁾

3. 統合3次元地盤モデルの作成

道路土工・構造物と地盤状況の関係を可視化するため、本路線全線 L=24.2km の 3 次元地盤モデルを Autodesk 社製 Civil3D により作成した。地層サーフェス(地層境界面)

は既往の地質横断面図・縦断面図から地層境界を抽出し、データの無い区間は不整三角網(TIN: Triangulated Irregular Network)により補間して作成した。既存の地層サーフェスがあればモデルを更新し、ない区間は地層サーフェスを新規作成した。また、各ボーリングデータはボーリング名や地質名の属性を付したソリッドモデルとして整理し、モデル内に柱状図も配置した。

これらの個別モデルと既往モデルを統合し、路線全体の土工・構造物と地盤情報を一体的に可視化できる統合 3 次元地盤モデルを作成した(図-2)。

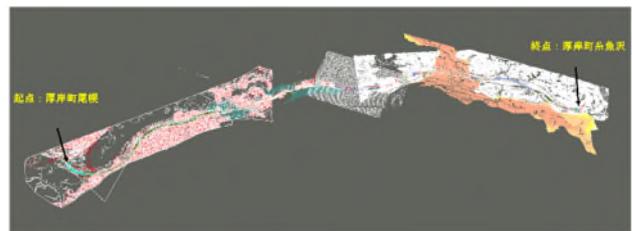


図-2 路線全線の統合3次元地盤モデル

4. 3次元地盤モデルの地質リスク検討への活用

(1) 支持層傾斜の把握への活用

A 橋梁の P5 橋脚のボーリング B1 孔、B2 孔の結果、支持層深度の標高に 30m 程度の差が確認された。その支持層傾斜を詳細に把握するため、支持層の 3 次元モデルを作成し、追加調査内容を検討した(図-3)。

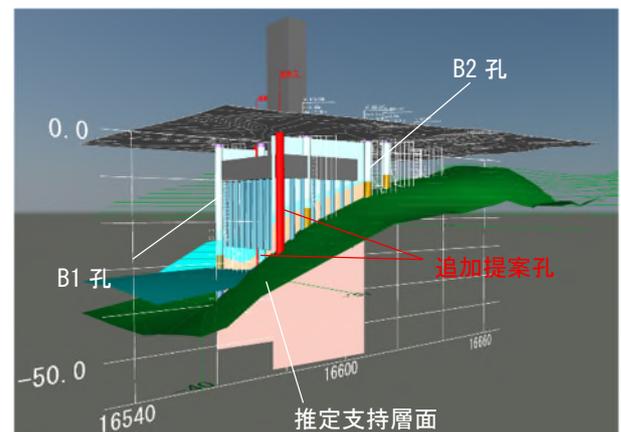


図-3 A 橋梁の橋脚の支持層の3次元化

また、B 橋梁の複数の橋脚位置においては、ボーリング調査により、支持層傾斜が確認されていた。そこで、全ボーリングを用いて、支持層の 3 次元地盤モデルを作成した。各橋脚における支持層の傾斜方向を推定し、追加ボーリング調査の位置及び深度を検討した(図-4)。

上記2つの事例において 3 次元地盤モデルを活用したことで、空間的な支持層傾斜が可視化され、関係者と追加調査の位置と優先度の検討を円滑に実施できた。

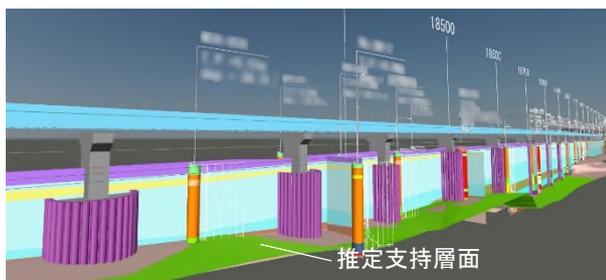


図-4 B 橋梁の支持層の3次元化

(2) 弱層分布の把握・安定解析への活用

切土時に崩壊要因となった風化により粘土化した凝灰岩の薄層(以降、弱層と称す)の面的な分布を3次元地盤モデルにより推定し、可視化した。弱層分布の検討にあたっては、弱層が確認された各ボーリングで弱層深度を指定し、3次元の弱層面を作成した(図-5)。

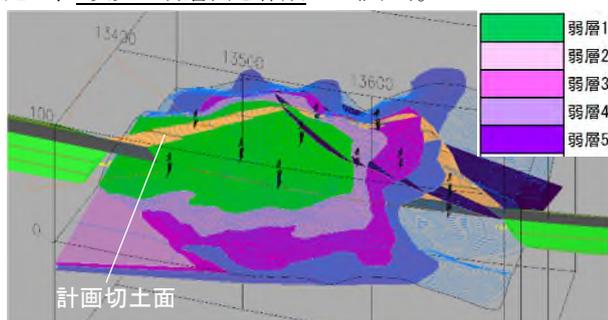


図-5 弱層の3次元化

地下水については、各地質横断面で地下水位ラインを設定し、それらを用いて3次元の地下水位面を作成した(図-6)。

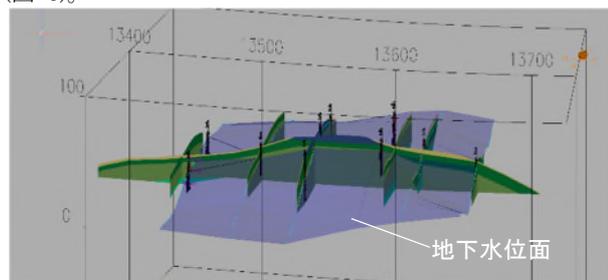


図-6 地下水位の3次元化

以上により、弱層及び地下水位の分布を3次元化したことにより、ボーリング調査が実施されていない任意地質横断面において、弱層及び地下水位ラインの推定が可能となり、後工程の安定解析の基礎資料とした(図-7)。

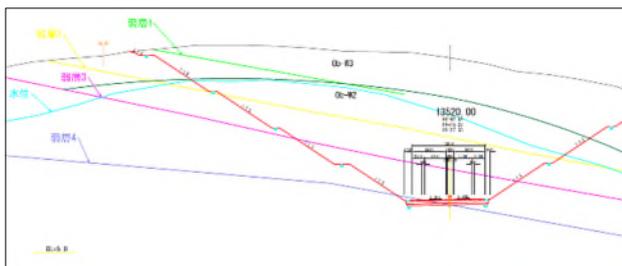


図-7 弱層・地下水位を推定した任意地質横断面

5. 3次元地盤モデルの更なる活用に向けた課題

今後の3次元地盤モデルの更なる活用を目指し、本事例の3次元地盤モデル作成にあたって生じた問題点を以下に示す。

①データ形式の未統一

既往構造物等を含む3次元地盤モデルのデータ形式により、既存データの中には利用できないものも存在した。

②2次元地質断面の不整合及び推定手法の影響

既存の2次元地質横断面・縦断面は、3次元地盤モデル作成を前提とせず作成されている場合があり、各断面交差部で地層の不整合が生じた。また、本事例では地盤調査のない区間の地層推定に TIN 補間を用いたが、その補間手法の違いによって、推定結果に差異が生じた。

③モデル精度評価手法の未確立

地盤モデルの精度は、地盤調査の密度に大きく依存するが、精度を定量的に評価する方法が確立されていない。そのため、ある区間の地盤モデルの妥当性や他区間との整合性が不明確となる場合があった。

④データ管理・引継ぎ方法の不明確さ

本路線(L=24.2km)では年度の異なる多数の地質調査、既往の地質横断面・縦断面、各種3次元モデル等、多くのデータ整理・管理が必要となった。既往データの管理表を作成したものの、具体的な作成基準がないため、今後の円滑な引継ぎの実現性が不透明であった。

以上を踏まえ、今後の3次元地盤モデルの更なる活用に向けて、

(1)データ形式の標準化と共有基盤の整備

(2)3次元化を見据えた2次元地質情報作成手法の明確化

(3)モデル精度評価基準の導入・可視化

(4)具体的なデータ管理・引継ぎルールの一斉化

の4点の課題を本事例より挙げる。

6. おわりに

本事例では、高規格道路全線24.2km の3次元地盤モデルを作成し、橋脚の支持層傾斜や弱層分布などの地質リスクの把握・検討に活用した。一方で、3次元地盤モデルの作成過程において、複数の問題や課題も明らかになった。これらを踏まえ、今後は本事例を含めた様々な3次元地盤モデルを活用した地質リスク検討事例の知見を参考に、より適切な手法で地盤を3次元的に可視化し、効果的な地質リスク検討の一層の推進が重要であると考えられる。

《引用・参考文献》

1) 国土地理院傾斜量図に色別標高図を透過表示, (最終閲覧日2025年3月4日) .

<https://maps.gsi.go.jp/help/intro/looklist/3-hyoko.html>

多角的視点で挑む坑道調査

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング ○中道 翔太郎、八巻 翔太、福島 夏紀、高崎 汐織

1. はじめに

九州地方の筑豊炭田は日本最大の炭田地帯であり、1976年に最後の炭鉱が閉山している。

地下採掘による主な鉱害は、1) 地表沈下現象（盆状沈下、浅所陥没）、2) 古洞水（坑道跡が帯水層となり、強酸性の被圧地下水が溜まる）、3) ボタ（石炭ズリ、発火、コンクリートの腐食）が知られている。特に浅所陥没は現在でも突発的に発生し、地表面の陥没、建設工事の支障の原因となる。

本業務は造成予定地における坑道跡（古洞）の調査、解析を行い、造成後に坑道跡が地表面に及ぼす影響を評価した。

2. 調査方法・調査結果

(1) 資料調査

・ヒアリング（経産省、歴史資料館）

経産省、歴史資料館より、炭鉱図、坑道資料等を入手、現況図との重ね合わせを行い、坑道位置の推定を行った。

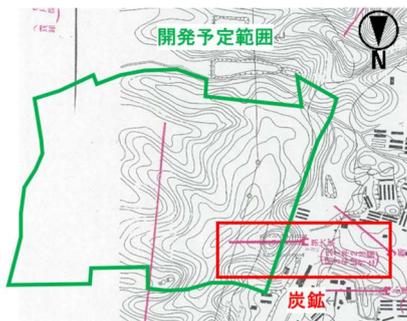


図1 重ね合わせ結果図

・現地踏査

資料調査結果から坑口を探したが発見できなかったが、周辺には浅所陥没の影響とみられる陥没跡が確認された。

現地露頭の走向傾斜はおおよそ東向き 20° 傾斜（石炭層の傾斜と同じ）が確認された。

(2) ボーリング調査

本業務では、発注者から関係者への説明の課題として、プレゼン対象が専門家ではないため、専門用語を並べた説明資料や報告書で理解を得ることは難しく、より直観的に理解頂くための成果の可視化が必要であった。

本業務では三次元地盤モデルを作成し、地質構造等を直観的に理解しやすい成果を作成することを提案し、発注者と協議の上でボーリング位置を選定した。

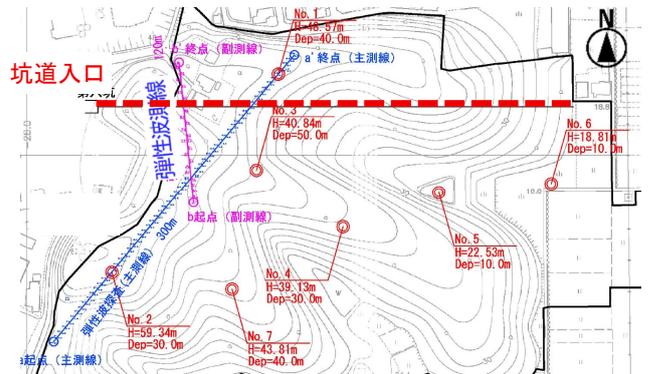


図2 調査位置図



写真1 本業務のボーリングコア

※砂岩、泥岩、黒色部が石炭層

(3) 弾性波探査（屈折法地震探査）

坑道の有無を広域で確認するために2測線で実施した。浅所には坑道や坑道による緩みは明瞭には確認されなかった。

(4) 結果

直接的に坑道跡は確認されなかった。

3. 三次元地盤モデル、二次元 FEM 解析

(1) 三次元地盤モデル

ボーリング結果から二次元断面図を作成し、それを元に三次元地盤モデル（サーフェイスモデル・ソリッドモデル）を作成した。

地盤傾斜は現地踏査結果や広域地質図から東方向 20° 傾斜とした。

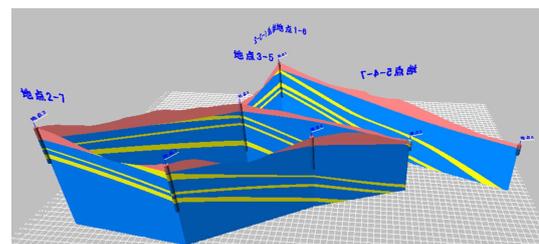


図3 パネルダイアグラム（サーフェイスモデル）

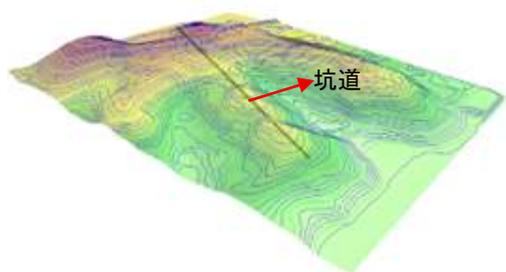


図 4 地表面及び坑道(サーフェスモデル)

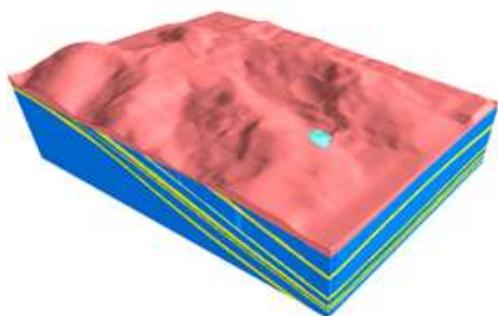


図 5 ソリッドモデル

(2) 二次元 FEM 解析

・目的

調査では浅所における坑道の形跡は確認できなかったが、坑道が存在した場合を想定し、解析により安全性を検証した。

・坑道跡(斜坑)が地表面に影響を及ぼす範囲

研究成果¹⁾によれば、坑道跡が陥没や沈下などの影響を及ぼす深度はおおよそ 30m 程度が上限であるとされている。造成した時に坑道跡が土被り 30m 未満の範囲でどの程度の変位が生じるか解析を行った。

・坑道形状の推定

坑道の形状、大きさはヒアリングで得られた訓練坑道トンネルの写真を用い、一般的な軌道幅(762mm)から形状、大きさを推定した。



写真 2 訓練坑道の写真

・解析結果

結果としては、水平変位は最大で 0.07mm 程度、鉛直変位は最大で隆起側に 0.52mm 程度とほぼ変位は生じない結果が得られた。

したがって、造成後に坑道跡が地表面に与える影響はないと評価した。

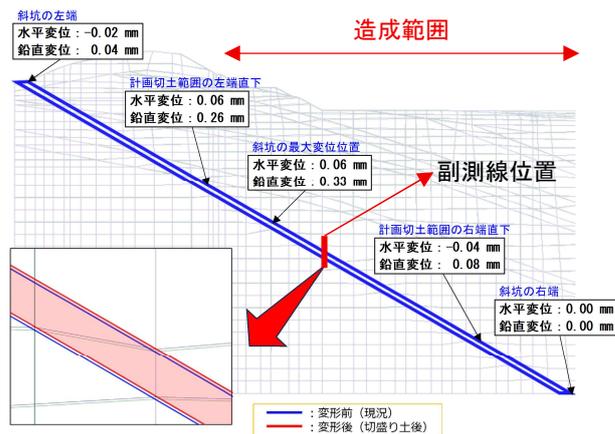


図 6 坑道(斜坑)FEM 解析結果(主測線)

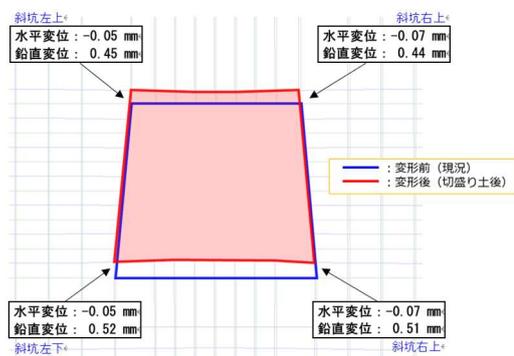


図 7 坑道(斜坑)FEM 解析結果(副測線)

4. 最後に

・顧客への説明(プレゼン)・反応

三次元地盤モデルを使用した説明は好感触であり、本件は関係者の理解を得ることができた。また、発注者の信頼が得られ、様々な問い合わせ、他業者への紹介等の機会を頂けるようになった。

《引用・参考文献》

- 1) 「産炭地域地盤等調査報告書-浅所陥没とその対策」(1972 年)