

10. DX 推進による空間情報利活用と管理モデルの試行

ー 雨水貯留施設（堀池貯留管）整備工事 ー

Trial of spatial information utilization and management model through DX promotion
-Construction of rainwater storage facilities (Horiike reservoir pipes)-

高山 敦*¹ 田村 泰史*²

要 旨

DX 推進の取組みが各分野で進められているがその課題はさまざまである。そのうち、レガシーシステム（過去の技術や仕組みで構築されている技術基盤やシステム）からの移行や継承については、建設業においても例外ではない。その要因のひとつに、データの利活用において、依然として熟練者の技能に大きく依存するところが指摘されており、対策としての形式知化を、施工現場におけるデータのアナログとデジタルのハイブリッドによる分析と意思決定支援の仕組みづくりをそれらの始点とする風潮もある。そのような現状を受けて本報文では、推進工事における施工管理の工夫として、DX 推進に必要な空間情報の計測や分析および記録保存について構築した管理モデル試行結果を報告する。

キーワード：DX／推進工事／雨水貯留／レガシーシステム／ハイブリッド

1. はじめに

京都盆地の南端部である宇治市小倉町堀池周辺は、桂川、木津川、宇治川の三川の結合点であり、周囲は低山に挟まれ水流の停滞する地形のため、その流れに含み込まれない水をほぼ恒常的に保つ水域として、巨椋池（おぐらいけ）が洪水調整の遊水地として形成されていた(図-1)。

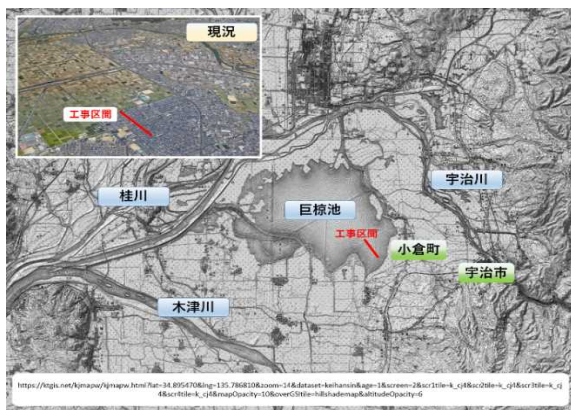


図-1 現場位置図
(時系列地形図閲覧サイト「今昔マップ」より)



写真-1 市内幹線道路の浸水状況（宇治市報文より）



写真-2 本工事の泥水式推進機

巨椋池は、明治以降の干拓事業を経て、昭和 30 年代後半からの大規模宅地開発等により、遊水地の形状は無くなったが、その土地利用で整備された用排水路へ

の雨水の集中が現在の浸水被害の原因となっている(写真-1)。

*¹ 土木事業本部 大阪土木部 *² 土木事業本部 技術設計第 1 グループ （執筆時の所属）

京都府宇治市では、近年頻発する局地的豪雨（ゲリラ豪雨）による浸水軽減のための公共下水道雨水排除計画事業について、平成23年度より計画・推進がなされている。本工事は、そのうちの重要度の高い小倉町堀池地区において、推進工法により雨水貯留施設（貯留管：内径2400mm・延長544m・土被り8m）を築造するものである(写真-2)。施工区域は、住宅地や店舗、学校などの教育施設の人口集中地域であるとともに、道路や鉄道、ライフラインなどのインフラ利用率も高いため推進工による地盤変状の防止が工事の要点となる。

2. 工事における課題

泥水式推進工法は、プラント作泥水による切羽面の安定で掘削し、破碎された礫を含む掘削土砂を流体輸送する。この泥水の性状と掘削状態のバランスを確保することが、地盤変状を防止した推進力の保持となる。泥水性状（比重・粘性）の低下や掘削土量の増大（取り込み過多）は、切羽周辺の崩落を生じさせ、その進展が路面沈下等の地盤変状の要因となるため、施工中の継続的な管理が求められる。(図-2、図-3)

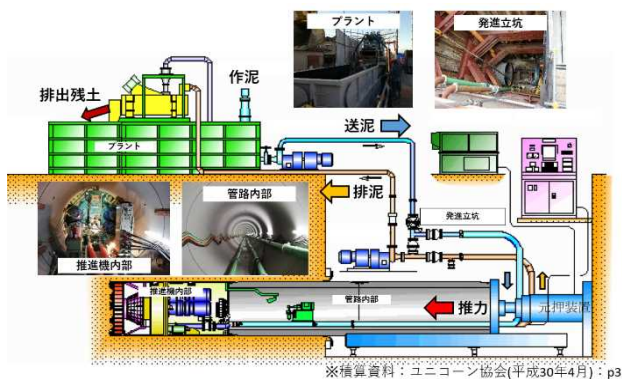


図-2 泥水式推進工法 掘削概要図

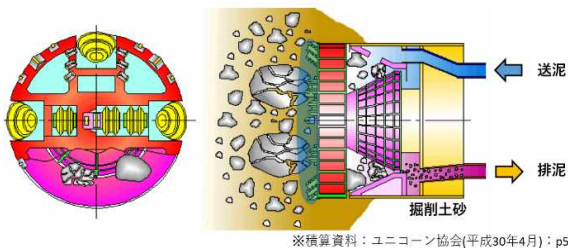


図-3 推進機掘削の機構（破碎と流体輸送）

従来では、送排泥水の性状（比重・粘性）や排出残土量および掘進速度などの施工情報について、一定の頻度での性状試験や目視確認により管理をしていた(写真-3、写真-4)。現状では、自動計測システムが確立され



写真-3 作泥状況



写真-4 排出残土と破碎された礫片

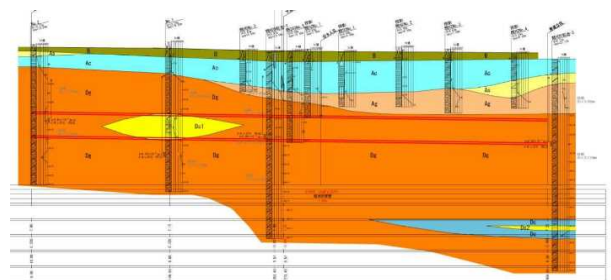


図-4 地層推定断面図

つつあるが、標準の適用とするためには、依然として精度の安定が課題である。

今回の地盤は、ばらつきのある粒径(15mm～300mm)の玉石が混在する砂礫層が広く分布し、河川氾濫の繰り返しが要因と考えられる砂質土層やシルト層の挟在が多数確認される(図-4)。

過去の事例（筆者の知見）より、このような地層における推進工やシールド工における地盤変状は、砂質土の固結で全体の安定を保っていても、推進工の通過に伴う地下水の移動や巨塊の崩落などにより、予測できない変状過程を呈することが多い。特に粒径のばらつきが大きい玉石の場合、崩壊の影響が急激に拡大することから、施工中の地盤変状の予測により変状を防止させる、管理方法の確立と施工現場への適用が課題である。

3. 課題解決の対策とその効果

3.1 対策

施工情報をもとに地盤変状を予測させるために、それぞれの施工情報の相関性を見える化させることが有効であると考えた。その相関性を基準値として設定することにより、早期に変状を防止できる管理モデルとして確立させることとした。

課題解決のための対策として、以下の3つの方法を実施した。

① 地盤変状のモニタリング（計測管理）

発進立坑より70mの区間を検証区間として、相関性解明のためのデータ採取を行った。そのうちの地盤変状データの採取として、水圧式アンカ型多段変位センサ（図-5 写真-5 以下、変位センサ）による地層別変位計測工法を採用した（図-6）。

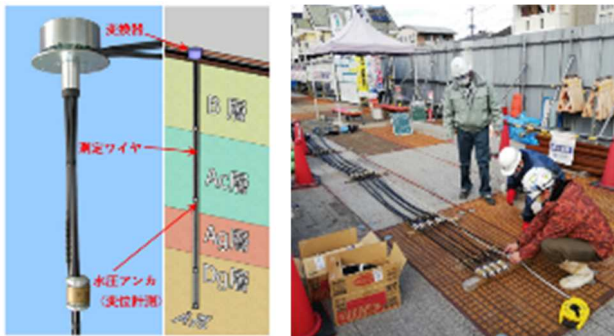


図-5 変位センサ構成図 写真-5 計測器検収状況

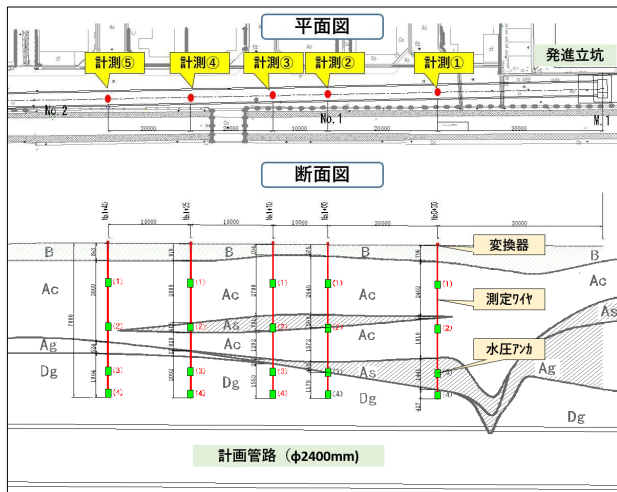


図-6 計測位置図（検証区間）

計画管路の地中部4層の計測が可能な変位センサを検証区間内に5箇所設置した。推進中の泥水性状の変化を観察しながら、変位センサのデータにより地盤変状を定量化した。

② 意思決定モデルの確立（データ分析）

施工情報の変動による地盤変状の傾向を抽出するために、泥水（粘性・比重）と排出残土量のデータをグラフ化した（図-6）。

次に変位センサのデータにより、推進機の接近に伴う地盤変状の推移を記録した（図-7）。

以上のデータの検証により、地盤変状が生じない残土量と泥水性状を管理基準値として設定した（表-1）。以後の施工では、この基準値により施工の安定性を確保するとともに、土質変化による地盤変状開始時期の把握で、泥水性状の調整などによる早期の対応で地盤状況の復元を得た。

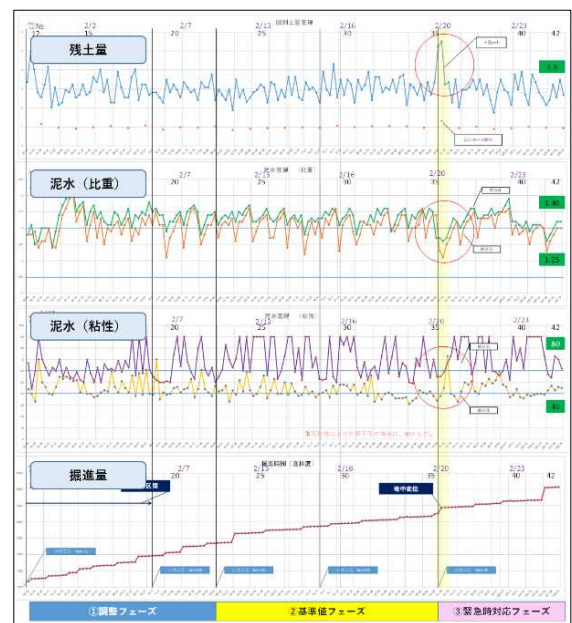


図-6 施工情報のグラフ化



図-7 変位センサによる地盤変状の推移

表-1 相関性より設定した管理基準値

項目	測定方法	管理基準値	計測頻度
比重	濃度検出器	1.15～1.40	掘進長 50cm 毎 を標準
粘性	ファンネル粘度計	40～(80)秒以上	
残土	土砂ピットで実測	1次：設計値+10%(3.5m³) 2次：設計値+25%(4.0m³)	

今回の意思決定モデルは、地盤変状の変化量をもとに、泥水性状を調整し排出残土量で安定性を確認する仕組みである。70m の検証区間以降は、変位センサを設置しないため、変状を予測（推定）しながらモデルを活用することになる。変状の予測方法として、FEM 解析（地盤や構造物を有限の要素に分割して応力の分布や変形等の近似による解析方法）による全区間の地層毎の変位量と(図-8)、変位センサのデータによる地盤変状の傾向を統計的手法により、前方地盤の変状予測値の表示が可能な予測モデルとして確立した（図-9）。

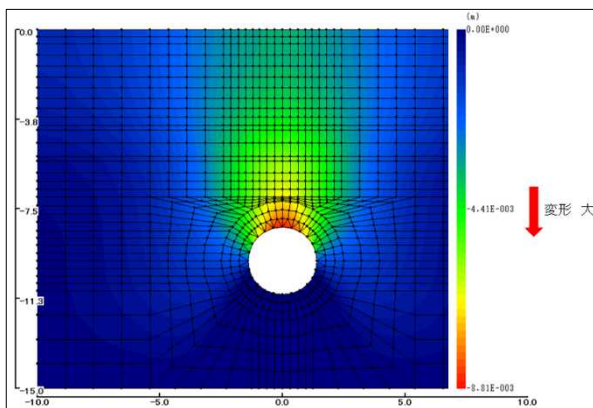


図-8 FEM 解析結果 変位コンター図

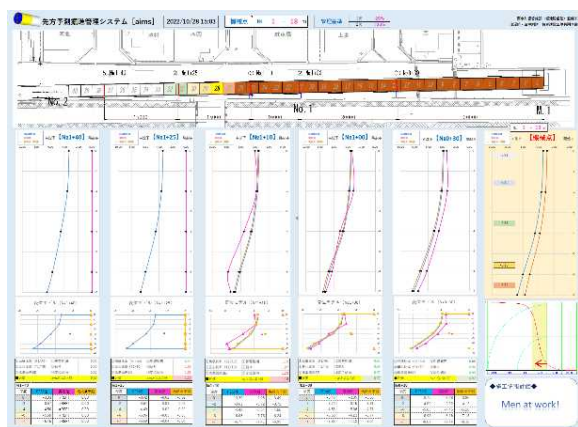


図-9 変位予測モデルのシステム画面

③ 情報共有によるデータ共有（利活用促進）

予測モデルのシステム画面を施工場所や現場事務所、本店技術部において通信技術により共有した。特に、現場での共有においては常に変位量を意識しながら施工情報の確認ができるため、管理の妥当性と予測の重要性が実感できた(写真-6)。



写真-6 通信回線による施工情報の共有（閲覧システム）

3.2 対策による効果

主な効果として、以下の3つが挙げられる。

①検証区間で採取された施工情報による管理基準の設定と変状予測モデルにより地盤変状をイメージしながら施工品質を確保できた。また、今回の検証中に想定外の変状が発生し、比較的大きな崩壊が確認された。この事象により緊急時の対応としてのシミュレーションも実施でき、以後の施工管理への有益な情報となった。

②施工における意思決定については、熟練者の勘や経験知に依存するところが依然と多く、それらは暗黙知として伝承停滞の要因の一つであった。今回は、情報共有により従事者も意思決定の過程を現場で体感できたため、形式知化によるスキルアップとモチベーションアップにつながった。

③推進工事における地中変位の予測は、それぞれの現場状況に応じて独自の判断に設定されており、解析手法も含め統一された考え方が決まられていないのが現状である。今回の結果は、それらの新たな手法として提案できるものとなった。また、この実績は、地盤変状計測を参加資格要件とする入札案件への参加が今後可能になるとともに、独自の解析モデルを低コストで具現化できたことは今後の施工品質の向上と収益化への効果につながると考えられる。

4. 試行による改善点と今後の展開

4.1 試行による改善点

① 施工位置の制限

今回の変位センサは、推進機の直上での計測として比較的事例の少ないものであったが、計測精度が十分に確保されており、システム全般としても有効な成果であった。今後の課題としては、埋設物や既設構造物によりセンサの設置が制限される場所への適用について計画時の検討と創意工夫が必要になると予測される。(写真-7)



写真-7 変位センサ設置状況（道路上での施工）

② 計量手法の改善

排出残土(写真-8)と泥水性状(写真-9)の施工情報の採取については、主として従来の人による計測が有効であった。計量では試料現物の目視観察も重要性であるため、完全に自動化させるよりも人的部分を残しつつ、計測データの記録などのアプリによる工夫が当面の改善点として効果的であると思われる。その他、残土計量の改善として、自動計測による時短対策として、ホップスケールと AI カメラやハイパースペクトルカメラによる画像解析の適用について今後の課題とした。



写真-8 残土計量



写真-9 泥水性状試験

4.2 今後の展開

今後の展開として、DX 推進に向けた空間情報利活用による管理モデルの実装を具現化させるため、データ採取（計測管理）やデータ活用（デジタイゼーション）についての高度化が必要であると考え、今回の試行において以下の検証を行った。

① データ採取（計測管理）について

空間情報の計測技術の活用として、3次元レーザースキャナ(写真-10)による点群データの採取とモデルの作成(図-10)により、推進機通過時における地上部の変状計測として、道路構造物や電柱の変位確認について3Dモデルにより定量的に確認した(図-11)。



写真-10 計測状況

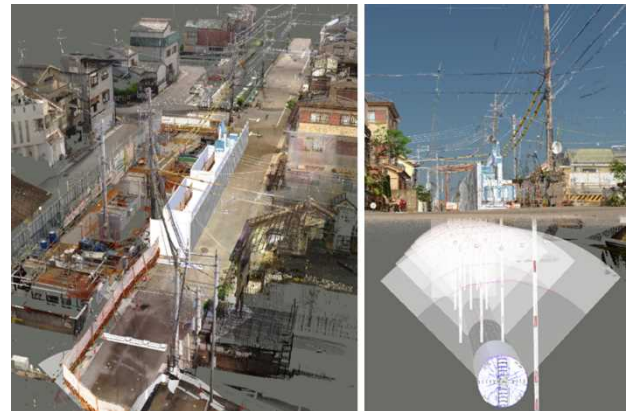


図-10 点群データによる3Dモデル

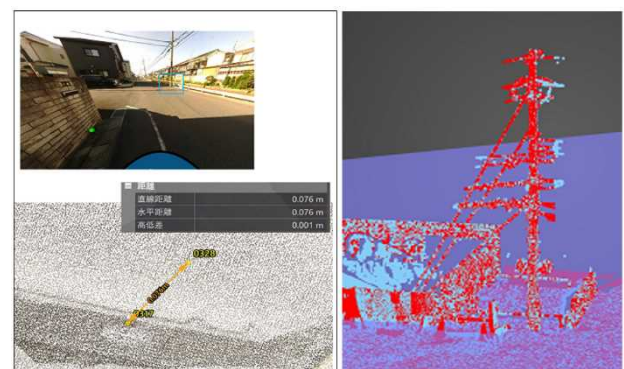


図-11 道路構造物（左）と電柱（右）の変位

現時点でのデータ処理では、変状を識別する程度であり定量的な評価については、今後の検証により精度向上したいと考えている。

② データ活用（デジタイゼーション）について

意思決定に必要な空間情報を効果的に利活用させるためには、現場臨場感あるデータの記録保存が効果的であると考えた。その対応として、AR（拡張現実）技術を活用したMR体感システム（AR匠）によりデータの記録や閲覧などの適応について検証した。

AR匠は、施工現場における空間情報の操作をホロレンズ（複合現実再現用ゴーグル）（写真-11）とAR（拡張現実）技術による記録や閲覧で生産の効率化を図る総合システムである。

ホロレンズにより、空間上の情報パレットを展開させてクラウド上のデータ閲覧により現地での意思決定を促進させる。（写真-12,13）



写真-11 ホロレンズの外観とデータ操作の状況



写真-12 空間情報の記録（点検記録やスキャニング）



写真-13 空間情報の閲覧（現地確認による意思決定）

その他の機能として、位置情報により3Dモデルと現地を重ね合わせたシミュレーション(図-12)や通信機能

による遠隔地の管理者とのコミュニケーション(図-13)も可能であり、業務の効率化とエラー防止により生産能力維持につなげる。

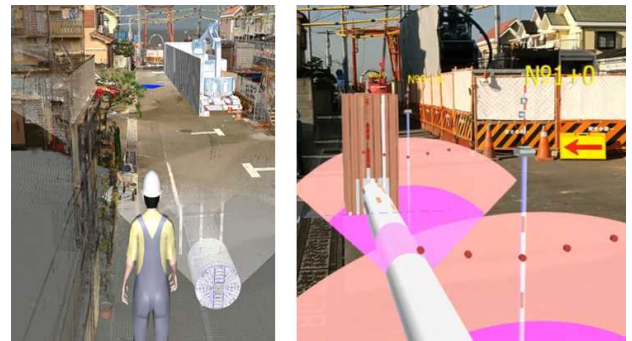


図-12 3Dモデルによるシミュレーション

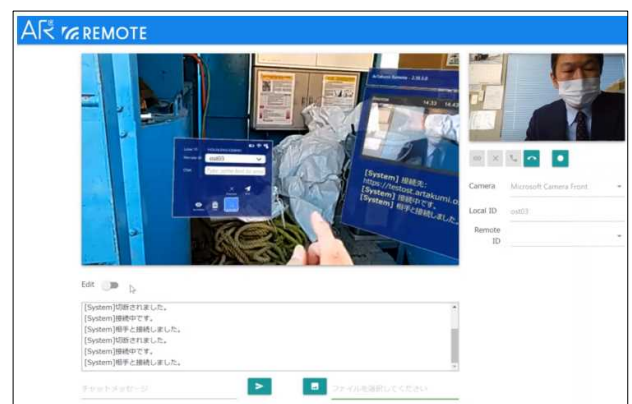


図-13 通信機能によるコミュニケーション

データ検索やパレット上での操作性およびデバイス（ホロレンズ）の装着性については、改善点があるものの全般的な操作性が良いため、施工現場におけるユースケース（管理項目や業務内容）毎にカスタマイズさせることで汎用性の向上が期待されると考える。

今後も多種の空間情報によるデータ分析と意思決定支援がDXには重要となる。その対応として、データ連携可能な統合パッケージ(図-14)による運用について検証を継続したいと考える。

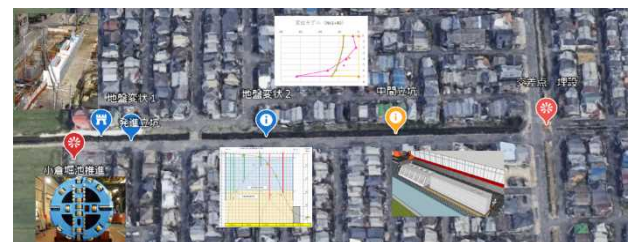


図-14 データ統合パッケージの画面（情報ステーション）

5. おわりに

喧騒な施工中の現場で、熟練者が若手にレクチャーをする場面をよく見かけた。若手だけではなく外国人も伝承の対象となっている昨今の現場では、身振り手振りの伝達が不可欠で、教える方も学ぶ機会が多いことから、伝承形態の変革を垣間見ることができた。

推進工事では、様々な機器や材料を効率よく適用させ、そのマネジメントを毎日の繰り返し作業の中で継続させることが重要である。それらは現場特有の条件に合わせた意思決定を必要とするものである。自然環境における現地一品生産の難度が高いこのような現場では、「昔取った杵柄」だけでは十分な対応が行き届かないため、今後は多角的な視点での柔軟な感覚を織り交ぜることも熟練技能のひとつとして伝承が必要となる。

施工管理における DX 導入の効果は、「意思決定促進によるエラー防止で、生産能力の維持と労働環境の改善を活用で次世代へ継承を確保できる」ことにあり、古より培ってきたスキルから様々な情報を学び取り、活性化させることが導入推進には何より重要であると考え。しかし、技能の定量化や伝承形態のシステム化を全ての業務に実装させるためには、まだ多くの研鑽が必要である。

今回、地盤変状や新技術によるデータから多くの手法を学んだように、時空間を超えた空間情報の利活用について今後も継承したいと考える。



写真-14 施工現場での伝承の風景

本報告は、社内の第 16 回技術発表会において発表された内容を編集したものです。