

福岡市地下鉄七隈線博多駅（仮称）工区建設工事における坑内水抜き時の計測管理について

大成建設（株） 正会員 ○大竹 雄輔・文村 賢一・一枝 俊豪

1. はじめに

福岡市地下鉄七隈線博多駅（仮称）工区にて道路陥没事故が発生した 2016 年 11 月以降、坑内水抜きを開始するまで、立坑および坑内は水没した状態にあった（湛水量：約 14,000m³）。この間、地下水関連計測値（土砂部地下水位、岩盤部水頭）および地盤変形計測値（地表面沈下、層別沈下）については顕著な変動はみられず、道路陥没部周辺を含め博多駅工区 NATM 部周辺地盤は安定した状態にあった。

道路陥没部地表から実施していた地盤改良工ならびに、坑内水抜きのための計測体制の構築が完了したことを受け、2019 年 1 月 18 日より坑内水抜きを開始し、同年 4 月 4 日に無事完了した（所要日数：77 日）。本稿では、都市部直下の水没トンネルから水を抜くという前例のない工事（以下、坑内水抜き）における計測管理の概要を報告する。

2. 計測計画

坑内水抜きに伴う想定リスクに対して表-1 に示す考えに基づき、表-2 に示す計測項目の評価・管理を実施した。以下、地下水計測データの管理方法について示す。

①土砂部水位

坑内水抜き前に計測された土砂部水位の変動は、降雨量の影響を大きく受けていた。そこで、過去 24 時間あたりの降水量および水位変動の相関から予測値を推定し、作業前に水位の計測値が設定した境界値（≒管理基準）よりも低下していないことを確認した。土砂部水位の予測値算定方法を図-1、計測値-予測値の比較を図-2 に示す。

境界値は、過去発生した計測値と予測値の最大偏差の範囲内に収まっていれば地盤の安定性は担保されるという考えに基づき、予測値と計測値の偏差分布におけるバラツキから設定した。境界値Ⅰは水抜き期間と同等の 3 ヶ月に 1 回程度発生する偏差、境界値Ⅲは過去 2 年間（地盤安定期間）の最大偏差、境界値ⅡはⅠとⅢの中間とした。3 ヶ月に 1 回程度発生する偏差とは、予測値の偏差分布から発生確率が 1.11%（=1/90）となる偏差のことである。

②岩盤部水頭

水抜き前に計測された岩盤部水頭は、立坑水位の変動と連動していた。そこで、立坑水位から岩盤部地下水頭の予測値を算定し、現状の計測値が境界値よりも低いことを確認した。計測値-予測値の比較を図-3 に示す。

境界値は土砂部水位と同様に、予測値と計測値の偏差分布におけるバラツキから設定した。境界値Ⅰは水抜きキーワード 坑内水抜き、計測管理、地下水データ、予測

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1（新宿センタービル） 大成建設株式会社 TEL03-5381-5296

表-1 計測管理の概念

計測目的	坑内水抜き方法の妥当性を評価	
	遮水層の不安定化の予兆を評価	トンネル周辺地山の挙動や影響の監視
想定リスク	陥没 TypeⅠ・Ⅱ	陥没 TypeⅡ・変形
計測方法	地下水計測	変位計測
計測対象	土砂部水位、岩盤部水頭、排水量	地表面沈下、層別沈下
管理方法 評価方法	計測値と予測値の差（偏差）が過去経験した偏差範囲に基づき設定。	地表面沈下については、路面の走行安定性や構造物の安全性確保の面から設定。
	計測値が予測値に対してこれまで経験した範囲内であれば安全であるという考えに基づき、境界値の超過が直ちに地盤の不安定化を示すものではない。	層別沈下については、FEM 解析に基づき設定。

表-2 計測項目一覧

計測項目	実施状況	備考
地表面沈下	○	路面の走行安定性を管理
層別沈下	○	D2 層の変位を管理
土砂部水位	○	
岩盤部水頭	○	水抜きの進捗とともに最新の計測データを用いて境界値を見直す。
排水量	○	
坑内傾斜	△	坑内地盤改良体内に設置
目視観察	△	地表面/坑内
トンネル坑内変位	—	土砂撤去以降に計測管理
埋設沈下	○	ガス管・下水管等定められた埋設物について実施
周辺建物	△	坑内水抜き前、土砂撤去前に各 1 回

○：基準等を設定して計測する
△：基準等は設定しないがデータの確認を行う
—：計測項目としない

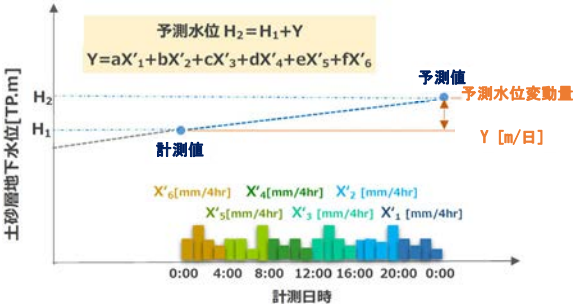


図-1 土砂部水位予測値の算定方法



図-2 土砂部水位予測値と計測値の比較

図-2 土砂部水位予測値と計測値の比較

き期間と同等の3ヶ月に1回程度発生する偏差，境界値Ⅲは過去2年間の最大偏差，境界値ⅡはⅠとⅢの中間値とした。

③観測井間のネットワーク管理

前述の地下水管理に加え，水位保持期間では観測井間のネットワーク管理を実施した。過去に計測された各観測井同士の土砂部水位・岩盤部水頭について単回帰分析を行い，各相関関係をもとに予測値算定式および境界値を算出した。土砂部水位データは地盤改良期間や豪雨時にスパイク値を含むため，各時刻で24時間前までの移動平均を用いた水位データを使用して予測した。観測井の位置と観測井ネットワークを図-4に示す。これより，トンネル周辺を包含する形で観測井間の水理場の変化を把握した。

④立坑からの排水量

トンネル天端付近の強風化頁岩層（D2層）の遮水機能が低下し，土砂層から地下水が流入するような事象が発生した場合，トンネル内湧水を含む立坑内からの排水量に異常が見られると考えられた。そこで，立坑排水量についても予測値を指標とし，偏差量による管理を実施した。湧水量の予測値は，図-5に示す立坑復水時の計測データをもとに算定した。立坑水位上昇量に水面面積を掛けると，図-6に示す湧水量（以下，換算排水量）となる。坑内に自由水面が現れる場合の換算排水量は，掘削時の排水量（最大550m³/日）をもとに補完した。また，季節変動で安定水位が変化（T.P. 92.0m→91.2m）したため，近似式の切片の値を変更した上で水抜き時の換算排水量を算定した。

湧水量の境界値Ⅰは，「ポンプ停止後復水時の実測値と予測値の最大偏差＋立坑面積の施工誤差＋水面のゆらぎによる水位計誤差」とした。境界値Ⅲは，「ポンプ停止後復水時の実測値と予測値の標準偏差×8.83*＋立坑面積の施工誤差＋水面のゆらぎによる水位計誤差」とした。詳細を図-5中に示す。

※他の地下水位関連（土砂部水位）を参考とし，「最大偏差÷標準偏差」とした。

3. まとめ

坑内水抜き完了後の2019年5月23日に「第13回建設技術専門委員会」が開催され，坑内水抜き時に得られた計測値の評価や設定した工程に対する安全性について討議がなされた。その結果，水抜き後の周辺環境の安定性に対して，特段問題は無いとの評価が得られた。

参考文献

- 1) 福岡市地下鉄七隈線建設技術専門委員会（第12回）報告資料。
- 2) 大塚勇，文村賢一，一枝俊豪：“福岡市地下鉄七隈線博多駅（仮称）工区建設工事における坑内水抜き計画について”，第78回土木学会年次学術講演会，2023年9月（投稿中）
- 3) 一枝俊豪，文村賢一，大竹雄輔：“福岡市地下鉄七隈線博多駅（仮称）工区建設工事における坑内水抜き時の計測結果について”，第78回土木学会年次学術講演会，2023年9月（投稿中）

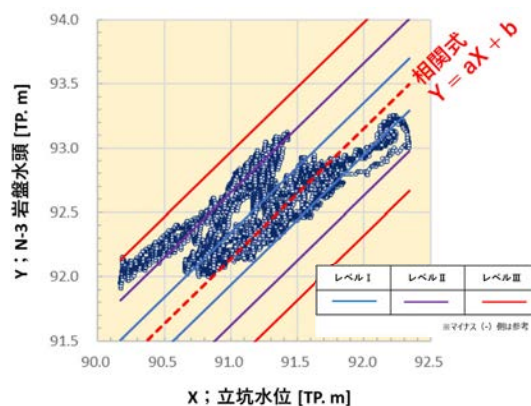


図-3 岩盤部水頭予測値と計測値の比較

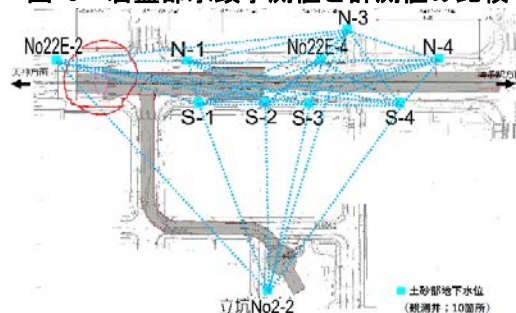


図-4 土砂部地下水位観測井ネットワーク

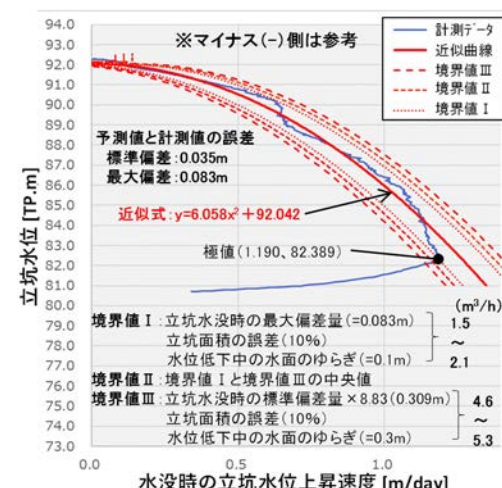


図-5 立坑水位と立坑水位上昇速度

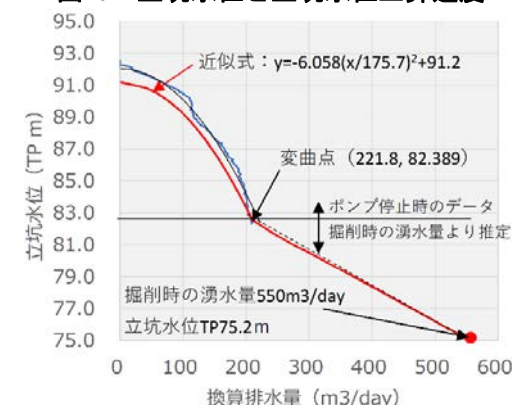


図-6 立坑水位と換算排水量