

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

大成建設（株） 正会員 ○大塚 勇・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、都市部直下の水没したトンネルから水を抜くという前例のない坑内水抜き計画の概要を報告する。

2. 坑内水抜き計画

坑内水抜き方法を計画する上で図-1に示すフローに準じて検討を実施した。各検討項目の概要について以下に示す。

①坑内水抜き工程の検討

坑内水抜きに伴うトンネル周辺地盤の応力状態の変化が地盤の安定性に影響を与えない範囲の水抜き速度、すなわち適切な岩盤部水頭低下速度を設定する必要があった。しかし、サイト全体の水理場の状態や岩盤の透水性については不確かな点が多く、具体的な値を理論的に算定することは非常に困難であった。そこで、坑内水没以降の地盤は安定していたことから、トンネル掘削時の計測データに基づき、過去に経験した岩盤部水頭低下速度（0.35m/日）と同程度となるよう立坑水位を低下させれば安定的に坑内水抜きが可能であると考えた。

坑内水抜きは、工程を7ステップに区分し、各ステップの後に水位保持期間として1週間程度の水位保持期間を設け、周辺への影響および水抜き方法の妥当性を確認するものとした。また、進捗とともに、負圧対策としてエア抜き孔の設置や当該孔を利用して坑内状況を監視するためのカメラの設置を実施するものとした。坑内水抜きの計画工程（当初計画）を図-2に示す。

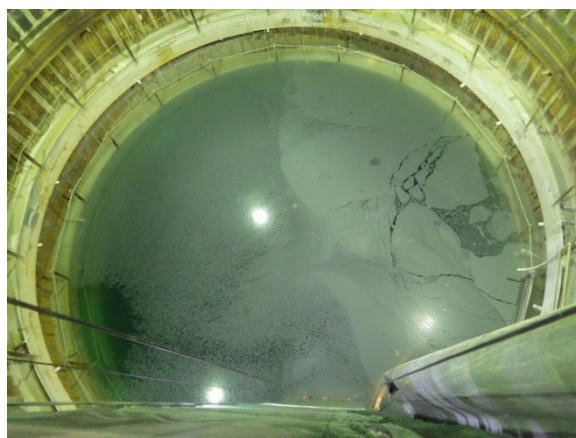


写真-1 立坑水没状況（2020年1月19日）

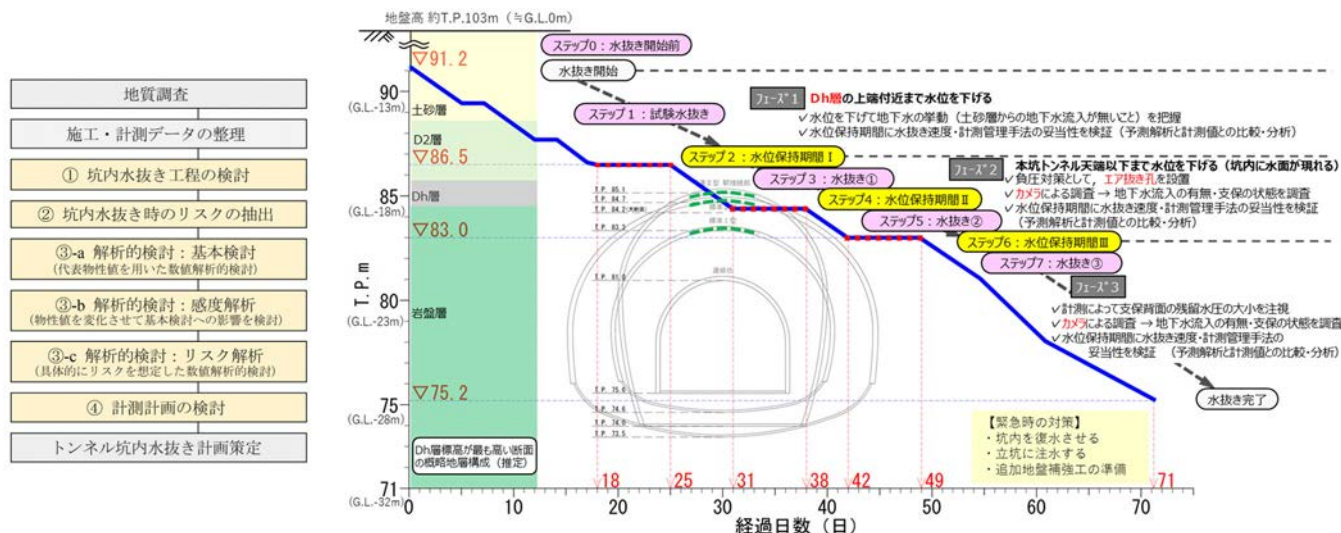


図-1 検討フロー

図-2 坑内水抜き工程（当初計画）

キーワード 坑内水抜き，坑内水抜き工程，リスク，計測計画

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 TEL 03-5381-5296

②坑内水抜き時のリスク抽出

坑内水抜きに伴い、地山の安定性や支保工の健全性の棄損、トンネル天端部に位置する強風化頁岩層（D2 層）の遮水機能の低下などに関する様々なリスクが懸念された。そこで、事前に考え得るリスクを抽出し、解析的検討により検証を行い、対策工や計測管理体制の計画に反映させた。想定リスクおよび検討内容について表-1 に示す。

③解析的検討

想定したリスクに対して、主に FEM 解析により検証を行い、地山の安定性および水抜き工程の妥当性について評価を行った。解析プログラムには「GTS-NX 地盤分野汎用解析システム」を用いて、応力-浸透流連成解析を実施し、水理場の変動による周辺地盤および既設トンネル支保工への影響を考慮した。

④計測計画の検討

水抜きに伴いトンネル周辺地山や水理場に異常が生じた場合、計測管理により兆候を直ちに把握できるよう表-2 に示すような計測管理方法を計画した。リスク事象については大別すると3種類（①トンネル周辺地盤が変形し、近接構造物に変形が生じるリスク【変形】 ②遮水層に水みちが発生し、坑内へ地下水が流入することで陥没に至るリスク【陥没 Type I】 ③既設トンネル支保工と周辺岩盤が破壊し、陥没に至るリスク【陥没 Type II】）に集約した。

3. 実施工程

2019 年 3 月 2 日以降、立坑水位と坑内水位との間に乖離が生じたため、その差が広がらないように慎重に水抜きを実施し、当初予定よりも 6 日遅れた 77 日間で水抜き完了となった。実施工程を図-3 に示す。

4. 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) 大竹雄輔，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時の計測管理について”，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）

表-1 解析的検討内容

基本 検 討 a	検討目的 ・追加地質調査に基づき設定した代表物性値によるリスクの検証
	想定リスク（主要なもの） A) 水頭差に対する安定性 坑内と地山の水頭差により支保工・地山が破壊 B) D2 層の浸透破壊抵抗性 高い動水勾配により、D2 層が浸透破壊 C) 坑内負圧に対する安定性 坑内に生じる負圧により、支保工・地山が破壊
	検討方法 A・C) 浸透流-力学連成解析 B) 簡易計算（浸透破壊、押し抜きせん断破壊）
感 度 解 析 b	検討目的 ・地盤改良体や地山は不均質であるため、代表物性値と異なる場合の影響を分析
リ ス ク 解 析 c	検討方法 浸透流-力学連成解析
	検討目的 ・その他発生し得る具体的なリスク現象を仮定し、トンネルや地山の安定性を確認
	想定リスク（主要なもの） A) 大断面地盤改良部において比恵 10 号下部に未改良ゾーンが残存 B) 標準トンネルⅡ型で鋼製支保工が劣化 C) 地山が脆弱で変形が大きかった標準トンネルⅡ型で地山が弾塑性挙動
	検討方法 浸透流-力学連成解析

表-2 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 Type I・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。 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く。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。	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。 層別沈下については、FEM 解析に基づき設定。

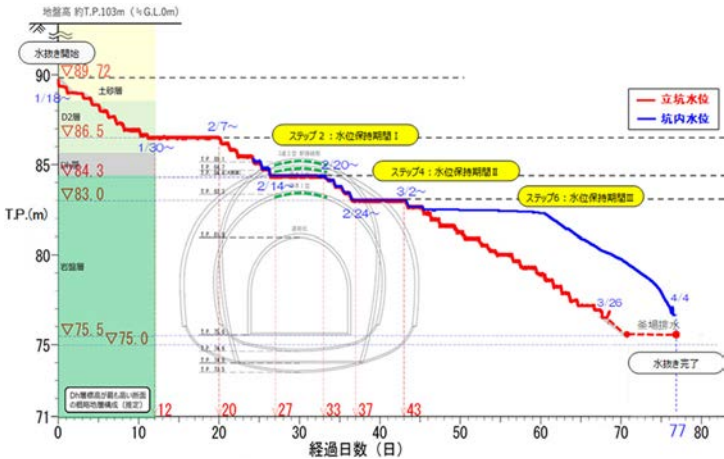


図-3 坑内水抜き実施工程