

既設水路直下に近接する新設シールドトンネルの施工と地山挙動

水路トンネル 近接施工 シールドトンネル

フジタ 技術センター 正会員○村山 秀幸
水資源機構 豊川用水総合事業部 竹中 実, 山邊 達也
フジタ 名古屋支店 川尻 澄夫, 瀧 宏史
地域地盤環境研究所 国際会員 譽田 孝宏

1.はじめに

豊川用水二期西部幹線併設水路相楽工区は、大規模地震対策として外径φ1.96m 延長1,566mの併設水路トンネルをシールド工法によって構築する工事である。本路線の多くは、新設トンネルが既設水路（開水路、山岳トンネル、開削サイホン）の直下を通過する計画であり、特に既設水路が開削でサイホン構造となる区間において、既設管路和新設トンネルの最小離隔が4.3mと近接し厳しい施工条件となる。本稿では、この近接施工区間において追加地質調査と各種試験を実施し地盤性状を精査すると共に、弾塑性構成モデルを用いた影響予測解析を実施し、計測工によって既設管路と地山挙動を監視しながら施工した事例についてその概要を報告する。

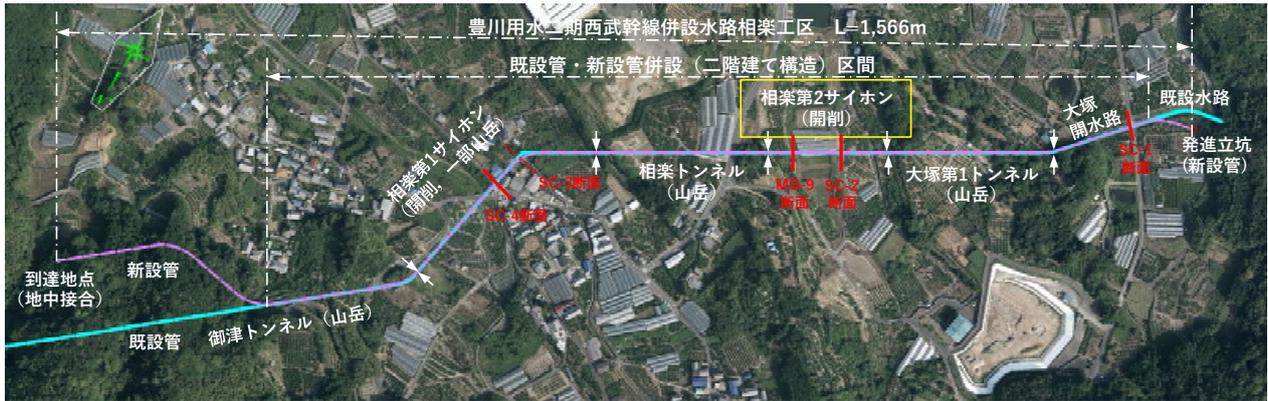


図-1 相楽工区全体路線平面図と路線地質縦断面図（区間名称を併記）

2.現場概要と施工課題および事前対応

2-1)現場概要と施工課題

図-1に、相楽工区の全体路線平面図と路線地質縦断面図を示す。本路線周辺には住居や生活道路が点在し、地表は主に果樹園（みかん畑）として利用されており農業用ビニールハウスが路線直上にも点在する。路線全体の約75%は、新設管が既設管の直下（二階建て構造と称す）となる。本路線地質の多くは岩盤（風化岩～新鮮岩）からなり、新設トンネルでは泥土圧式の岩盤シールド工法を採用した。また、既設管を通航しながらのシールド掘進となる。

図-2に示すように、既設水路は開水路、山岳トンネル、開削サイホンであり昭和40年代に建設されている。開削サイホン区間では、表層堆積物として砂礫、砂、粘土等が分布し開削によ

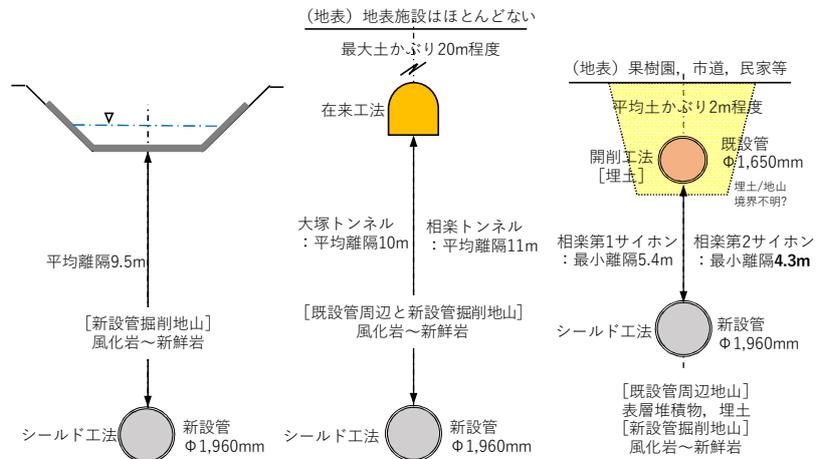


図-2 各区間における既設管と新設管の位置関係（二階建て構造）

Construction and ground behavior of new shield tunnel established just under the existing water tunnel

Hideyuki Murayama(Fujita), Minoru Takenaka, and Tatsuya Yamabe (Japan Water Agency), Sumio Kawashiri and Hiroshi Taki(Fujita), Takahiro Konda(Geo-Research Institute)

表-1 追加調査（探査，ボーリング）と影響予測解析および計測工の実施目的と実施位置一覧

実施項目	手法	実施目的	実施位置（相楽第2サイホン区間）
追加地質調査（探査）	屈折法弾性波探査 微動アレー観測，レーダー探査	表層と基盤の境界把握（風化進行） 既設管位置と埋土範囲の把握	本工区の二階建て構造区間で実施 SC-2断面
追加地質調査（ボーリング）	調査ボーリング，各種原位置試験，各種室内土質試験	地質性状と地質区分の把握，地山挙動予測解析のための工学物性の把握	路線近傍と影響予測解析断面位置（SC-2断面，MB-9断面）
影響予測解析	2次元弾塑性有限要素解析（FEMtij-2D）	シールド掘進に伴う既設管と地表施設に与える影響を予測	SC-2断面：最小離隔4.3m MB-9断面：表層堆積物が最も軟質
計測工	地表面沈下，既設管沈下，地中計測（層別沈下，孔内傾斜）	シールド掘進に伴う既設管と周辺地山の挙動を監視	路線センター，影響予測解析断面位置（SC-2断面，MB-9断面）

る人工的な埋土中に既設管が敷設され，新設トンネルは風化岩と新鮮岩の境界付近を通過すると想定されていた。一般に，このような地質境界部では風化の進行が不連続となり地山の硬軟変化が著しいために，シールド掘進中に土砂の取り込み過多等のトラブルが発生し易いと言える。既設管と新設管の離隔は，図-1に併記した相楽第2サイホンのSC-2断面で最小4.3mとなる。

以上から，既設管直下に近接する新設トンネルを安全に施工するために，風化岩の新鮮岩の境界位置を精度よく把握すること，表層堆積物と埋土の分布とその性状を把握すること，および新設シールドトンネルの施工が既設管や地表施設に与える影響を事前予測すること等が課題となった。

2-2)事前対応

表-1に，上記の施工課題を考慮して実施した追加地質調査と影響予測解析および計測工の一覧を示す。屈折法弾性波探査は，二階建て構造となる全路線で実施し表層堆積物，風化岩，新鮮岩の分布を把握した。その結果を踏まえ，調査ボーリングを既設ボーリング位置を考慮し適所に追加し，影響予測解析で必要となる地山物性を各種の原位置試験（標準貫入試験，孔内水平載荷試験，PS検層，密度検層）と室内試験（密度試験，粒度試験，三軸試験等）で取得した。一方，SC-2断面において既設管位置をレーダー探査で把握し，既設管周辺の埋土の分布を微動アレー観測で推定した。

これらの地盤情報に基づき，相楽第2サイホンにおける影響予測解析として2次元弾塑性有限要素解析（FEMtij-2D）を採用）をSC-2断面（最小離隔4.3m）とMB-9断面（表層堆積物が最も軟質）で実施した。また，シールド掘進に伴う既設管と地山の挙動を監視するために，路線センターの地表面沈下（自動追尾型光波測距儀），既設管の沈下（既設管までボーリングを穿孔し管に密着させた計測棒の沈下を光波測距儀で計測する方式），さらに影響予測解析断面での地中計測として，層別沈下計と孔内傾斜計を計測工として実施した。図-3に，MB-9解析断面の計測工配置図を示す。

3.相楽第2サイホン区間における影響予測解析結果とシールドトンネルの施工

3-1)影響予測解析結果の概要

相楽第2サイホン区間で離隔が最小となるSC-2断面では，追加地質調査からシールド路線が新鮮岩中にあり埋土を除き表層堆積物も良質であることが判明し，影響予測解析からも既設管および地表施設に与える影響は非常に小さいことが判明した。一方，軟質な粘土と埋土が表層に分布するMB-9断面では，応力解放率 α をパラメータとして，セグメント施工後における既設管と地表面の沈下が $\alpha=15\%$ で共に1.5mm程度， $\alpha=30\%$ で共に4mm程度と共下がり傾向を示すもののいずれも小さな値であり，既設管や地表施設に与える影響は小さいと予測された。なお，実施した影響予測解析の詳細については参考文献¹⁾を参照されたい。

3-2)シールドの掘進管理と計測結果の概要

上記から，最も施工条件が厳しいと想定されていた相楽第2サイホン区間では，既設管や地表施設に与える影響は小さいと想定されたものの，路線は風化岩と新鮮岩の境界付近を通過するためシールド掘進管理基準と計測管理基準を設けて慎重に施工する計画とした。本区間では土圧，掘削土量，裏込め注入率について各々管理基準を設けた。すなわち，土圧を静水圧90kPa+変動圧40kPa=130kPaを目安とし管理し，実績は平均土圧135kPaであった。掘削土量（ズリ缶の土量を手動計測し，実績からのふけ率から取り込み率を算出）は，取り込み率110~124%で管理し，直前10リングの平均取り込み率に対して110%を超えることは無かった。裏込め注入率は目標を130%として管理し，平均実績が126%であった。なお，裏込め注入率は，静水圧90kPa+200kPaとして管理した。

シールド路線は想定通り風化岩と新鮮岩の境界部を掘進したものと考えられ，地山は硬軟を繰り返し掘進速度が場所によって変動したものの，上記の掘進管理から既設管と地表施設に影響を与えずに掘進できたことが計測結果からも示された。すなわち，地表面沈下は外気温等の影響を受け $\pm 2\text{mm}$ 程度とややばらつくものの小さく，既設管の沈下は最大2mm，地中変位は層別沈下で最大1.5mm，孔内傾斜で水平最大1.5mmとなり予測結果とほぼ一致することが確認された。

4.おわりに

本稿は既設管路直下に新設管を併設する工事において，表層が軟質で離隔が最小となる相楽第2サイホン区間における事前対応として，追加地質調査と影響予測解析および計測工についてその概要を述べ，所定の掘進管理に基づき新設トンネルを無事掘進した事例について述べた。今後，類似条件となる相楽第1サイホン区間を掘進する計画であり，今回の実績を踏まえて慎重な施工を計画している。最後に，豊川用水二期西部幹線併設水路シールド工事安全対策検討会会長として，中井照夫名古屋工業大学名誉教授には多大なる御助言とご指導を賜りました。ここに深謝致します。

〔参考文献〕1)出射ら：弾塑性有限要素解析を用いたシールド掘削に伴う直上既設水路への影響検討，第53回地盤工学研究発表会，2019.7。（投稿中）

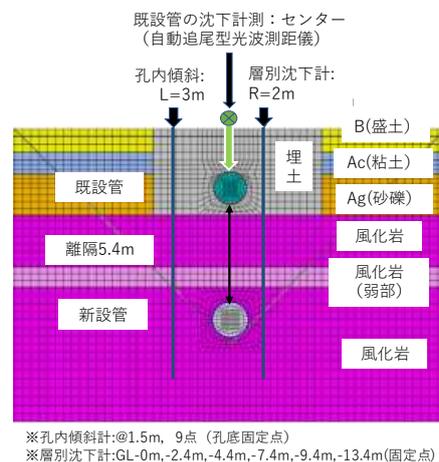


図-3 MB-9 解析断面の計測工配置図