

幾重にも蛇行する地下トンネルを掘進, 一次覆工のまま暫定供用を開始

荒 東 伸 一

筑紫野市街地に甚大な被害をもたらした浸水被害の再発防止を目標とし、平成27年度より高尾川床上浸水対策特別緊急事業が着手された。高尾川地下河川築造工事は、高尾川の河川直下に延長約1.04 km、外径φ6.0 mのトンネルを泥土圧シールド工法で構築するものである。

川幅の狭い河川直下を縦断するため、連続する多数の急曲線施工(R=16 m～60 m, 27箇所)や、硬質地盤(風化花崗岩)の掘進といった非常に厳しい難条件下でのシールド工事であった。また、一次覆工の施工完了後、二次覆工が未施工の状態での暫定的に地下河川の運用を行った。本稿では本工事の概要について述べる。

キーワード：泥土圧シールド工法, 地下河川, 急曲線, 風化花崗岩, 暫定供用

1. はじめに

高尾川・鷲田川流域では、近年浸水被害が頻発しているため河川改修が実施されていたが、平成26年8月の豪雨によって、下流の鷲田川改修後に着手予定であった高尾川流域において床上浸水が発生し、筑紫野市街地に甚大な被害をもたらした。そのため、浸水被害の再発防止を目的とし、平成27年度より高尾川床上浸水対策特別緊急事業が着手された(図-1)。高尾川地下河川築造工事は、当事業のうち地下河川整備を実施するものであり、高尾川の河川直下に延長約1.04 km、外径φ6.0 mのトンネルを泥土圧シールド工法で構築するものである。

本工事は、川幅の狭い河川直下を縦断するため、連続する多数の急曲線施工(R=16 m～60 m, 27箇所)や、硬質地盤(風化花崗岩)の掘進といった非常に

厳しい難条件下でのシールド工事であった。また、一次覆工の施工完了後、二次覆工が未施工の状態での暫定的に地下河川の運用を行った。

2. 工事の特徴と課題

以下に、本工事の特徴と課題について述べる。

(1) 急曲線施工

高尾川床上浸水対策特別緊急事業は、市街地において限られた期間内に事業効果を発現させる必要があるため、従来の用地買収を伴う河道拡幅等ではなく、地下河川によるバイパスで計画が進められた¹⁾。その結果、高尾川地下河川の路線は、両側に家屋が密集し蛇行する狭い河川区域内に収めるよう計画され(図-2)、シールド平面線形は河川直下を縦断する形で最



図-1 高尾川床上浸水対策特別緊急事業区間の状況

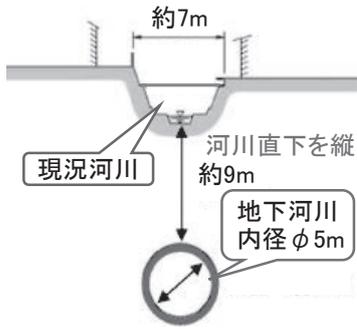


図-2 標準断面図

小 R/D=2.6 を含む連続する多数の急曲線 (R=16 m ~ 60 m, 27 箇所) で構成されている (図-3)。

そのため、シールドの操作性向上およびセグメントの施工時荷重への対策が課題となった。

(2) 硬質地盤 (風化花崗岩) の掘進

施工場所は、博多湾に注ぐ河川中流域の扇状地性の地形であり、周辺の丘陵地には基盤岩として中生代白亜紀の早良花崗岩が分布している。一般に地表部の花崗岩は著しく風化作用を受け、いわゆる“まさ化”が進んで土砂状になっていることが多い。

当該地点の地質調査結果からも、シールド断面は概ね N 値 50 ~ 300 を示す DH 級の風化花崗岩が分布し、一部の区間で掘削断面の下半に CL 級相当の風化花崗岩 (一軸圧縮強度 : 5 MN/m² 以下) が出現する場合があると想定された (図-4)。これにより、当初計画時は硬質な土砂相当の地盤と判断され、強化型先行ビットを主体とした摩耗対策によりビット交換は不要と想定された。また、大きな岩片の取り込みの制限とビット配置スペースを確保するため、面板型のカッタ

フェースを採用した。

しかし、発進から約 60 m の掘進後に、著しいカッタトルクの増大と掘進速度の低下に陥り、一向に回復する兆しが見られなかった (図-5)。

これにより、ビットの早期摩耗および面板、チャンバーの閉塞が懸念され、これらの対策を早急に行うことが課題となった。

3. 課題への対策と対応

以下に、前章で述べた課題に対する対策と対応について述べる。

(1) 急曲線施工の対策

連続する急曲線施工にあたり、シールドの操作性向上およびセグメントの施工時荷重への対策については、以下を実施した。

(a) シールド機

本工事では、外径φ6.14 m の泥土圧シールドを適用した。主な仕様を表-1 に、全体構造を図-6 に示す。

前述した地質条件 (硬質な土砂相当) のもと、強化型先行ビットによる切削を主体とし、発進時の NOMST 切削用に特殊先行ビットを配置した。なお、万が一の風化花崗岩のコアストーンの出現や到達時の NOMST 切削に備え、一部に交換式の強化型先行ビットを採用している。カッタフェースについては、大きな岩片の取り込み制限とビット配置スペースの確保のため、面板型を採用した。

連続する急曲線の施工に対しては、操作性の向上や

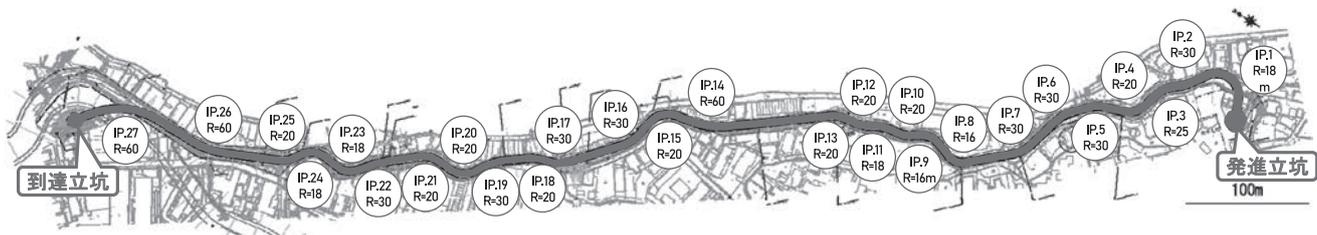


図-3 路線平面図

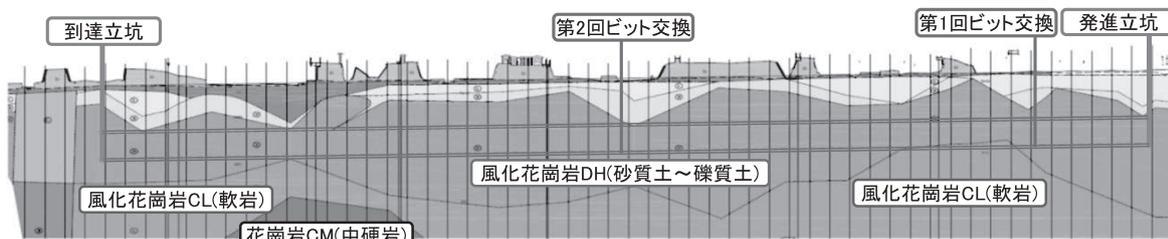


図-4 地質縦断面図

テールとセグメントの競り，シールドジャッキの片押しや偏心量が増大した状態でのジャッキ推力の作用など，施工時荷重の影響増大が懸念された。

セグメントの設計に当たっては，これらの施工時荷重を考慮し，縦リブ，継手板，リング間ボルト，主桁を補強した。さらに，ジャッキパターンごとにトンネル軸方向・横断方向の構造計算を実施し，各セグメントの耐力を把握することで，ジャッキ推力の上限値を施工管理に反映させた。

セグメントの割付についても，急曲線施工の影響範囲内となる急曲線区間の前後1機長分(L=8.0 m)は，トラブル発生時に対応しやすい鋼製セグメントを配置することで，急曲線施工時の影響を緩和した。その他，R=30 m以下の急曲線部では裏込め材注入袋付きセグメントを採用した。

(2) 硬質地盤（風化花崗岩）の掘進対策

ビットの早期摩耗および面板，チャンバーの閉塞の対策については，以下を実施した。

(a) ビットの早期摩耗対策

発進から約60 m以降の掘進状況が継続する場合，当初のビット許容摩耗量50 mmでは計4回のビット

交換が必要となる。一方，ビット交換には補助工法（地盤改良）が必要となるが，地上部の施工ヤード確保等の制約もあるため，ビットの長寿命化を図ることによって交換回数を減らす必要があった。

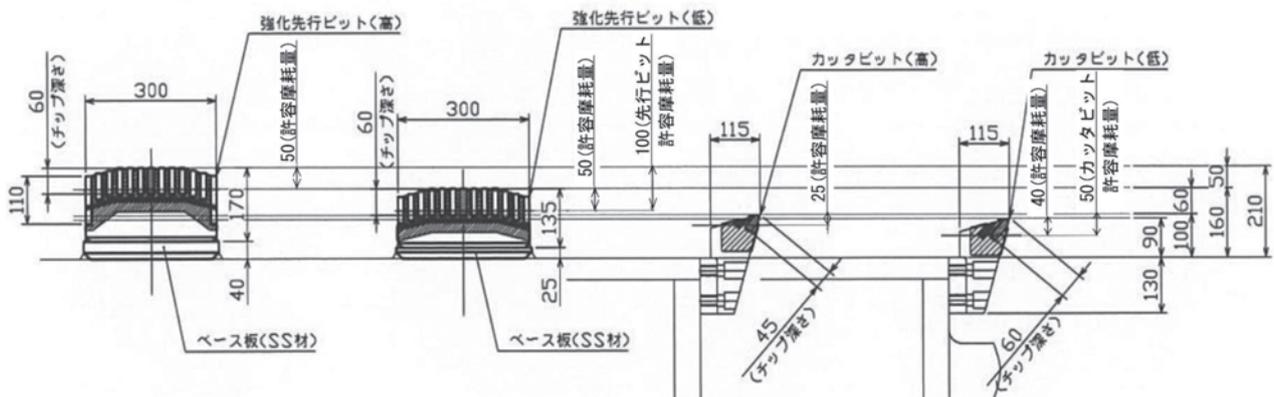
ビットの長寿命化については，強化型先行ビットの増設と高低差配置により，許容摩耗量100 mmを確保した。カッタビットについても同様に高低差配置とし，許容摩耗量50 mm（当初25 mm）を確保した（図一7，8）。また，これらの改造を含む1回目のビット交換を掘進延長136 m地点，2回目のビット交換を掘進延長542 m地点で実施する計画とした。

(b) 面板，チャンバーの閉塞対策

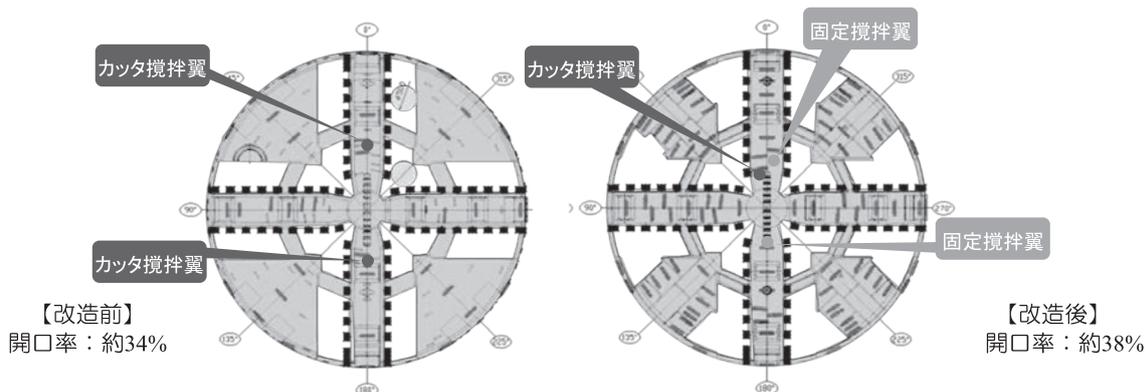
1回目のビット交換時にカッタ中心部に掘削土砂の閉塞が確認されたため，補助面板の一部を切り欠き，面板の開口率を34%から38%に拡大した。また，カッタ中心付近への攪拌翼の追加等を実施した（図一8）。

4. 施工結果

以下に，施工結果について述べる。



図一7 ビットの高低差配置



図一8 面板の改造と攪拌翼の追加

(1) 急曲線施工の結果

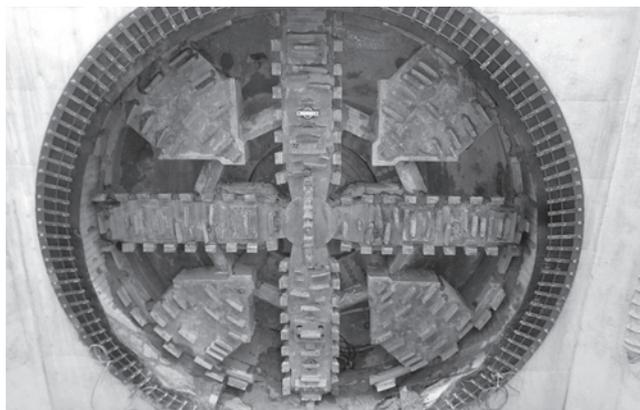
急曲線施工に関しては、種々の対策を講じた結果、線形を逸脱することなく、また、鋼製セグメントの破損や変形、漏水なども発生せずシールド掘進を終えることができた(写真—1, 2)。ただし、縮径に伴うテール内への裏込め材の浸入、固結により、RCセグメントの一部損傷やテールシールの交換が必要となったことについては、今後の急曲線施工の課題である。また、コピーカッタについては4台に増強を行っていたが、想定以上の摩耗量が確認されたため、2回目のビット交換時にコピーカッタ4台全ての交換も実施している。

(2) 硬質地盤(風化花崗岩)の掘進結果

途中2回のビット交換により、到達までの掘進を終えることができた。概ね予測計算通りのビット摩耗量が観測されており、ビットの長寿命化を行っていなければ、到達までの掘進が不可能な状況であったと考えられる。また、コピーカッタについては4台に増強していたが、想定以上の摩耗量が確認されたため、2回目のビット交換時にコピーカッタ4台全ての交換も実施した。面板やチャンバーの掘削土砂の固着や閉塞に



写真—1 4連続急曲線 (IP.10~13: R=20m, 18m, 20m, 20m)

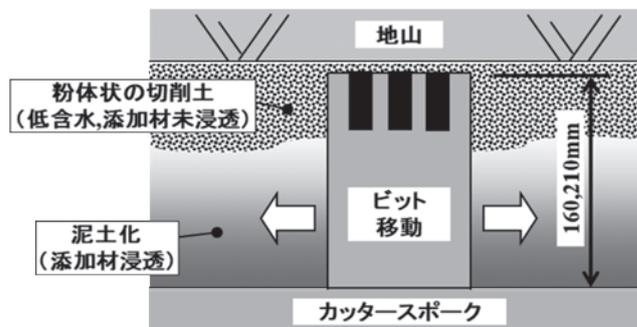


写真—2 到達状況

については、面板改造と攪拌翼の追加、および添加材の変更によって改善された。

ただし、掘進状況については、高トルク、低掘進速度の状態が解消されることがなかった。これについては、2回目のビット交換時に切羽にて原位置試験を実施した結果、一軸圧縮強度が 16 MN/m^2 の値を示しており、想定を超える地盤の強度がカットトルク増大の一因であったと考えられる。

また、今回、室内試験を実施した結果、添加材が浸透せずに含水量の小さい岩盤切削ズリの塑性流動性が十分でない場合、推力により土粒子のかみ合わせでせん断抵抗が増大する可能性があることがわかった(図—9)。含水比の小さい岩盤、硬質土の泥土圧シールドにおいては、特にビット高さが高い場合に、添加材がビット先端まで浸透するよう、注入孔を切羽に近づける等の配慮・工夫が必要であると考えられる。



図—9 ビット先端での状況(想定)

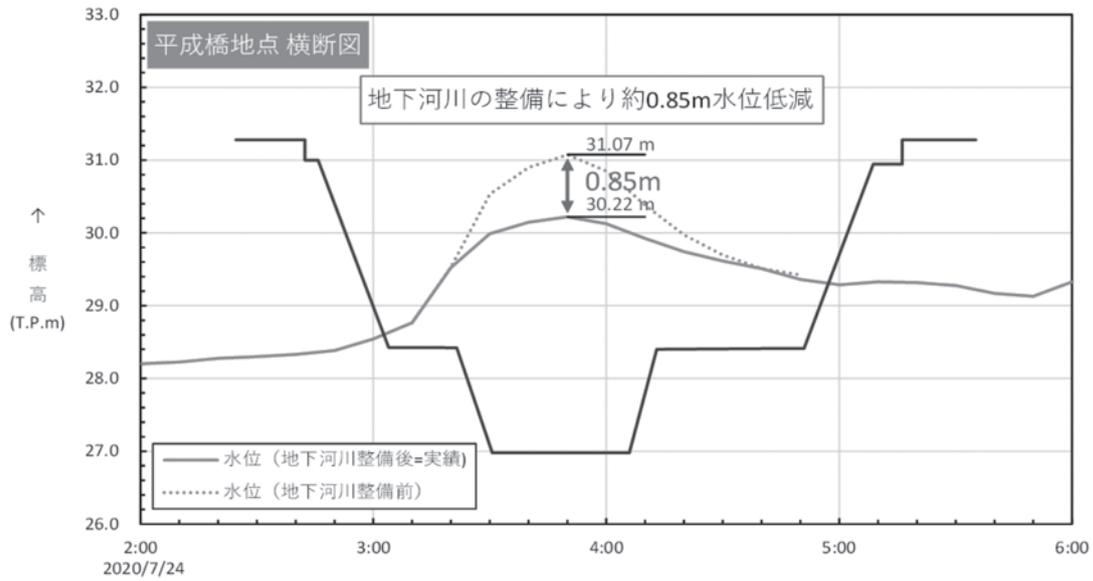
5. 暫定供用

前述したような課題を乗り越え、シールド機は令和2年3月に到達し、令和2年6月には二次覆工未施工の状態にて暫定的に地下河川の運用が開始された。

令和2年6月~9月の4か月間に計26回の流入が確認され、一定の事業効果が得られた(写真—3)。参考として、令和2年7月24日の降雨をモデルとして効果を検証したところ、約85cmの水位低減効果*が見込まれ、事業実施前の堤防高を踏まえると河川の氾濫を防ぐことができた(図—10)²⁾。

なお、二次覆工工事については、暫定供用が終了した令和2年10月より、地下河川内の水替え、清掃を行った後に施工を開始した(令和3年6月より供用開始)。

*水位低減効果については、模型実験での結果をもとに算定した分流量からの推定値であり、実際の値とは異なる可能性がある。



図一 10 整備効果 (提供：福岡県)



写真一 3 地下河川流入状況

6. おわりに

本工事は、川幅の狭い河川直下を縦断するため、約 1 km の延長で 27 箇所もの連続急曲線を施工する、国内でもこの規模のシールドトンネルでは例がないものであった。高尾川のような都市小河川における浸水対策は、用地の確保という面から実現が難しく、長期化していることが多い。本工事は都市小河川における、浸水対策の新しいモデルとなり得るものだと考える。

また、本稿に述べたように、硬質な風化花崗岩の掘

進といった非常に厳しい難条件下でのシールド工事であった。当初の計画にはない、河川直下での 2 回のビット交換や面板の改造、さらに、高負荷運転に伴う種々の機械故障やトラブルを克服し無事に掘進を完了することができた。これにより、急曲線施工や硬質地盤(風化花崗岩)の掘進に伴う、新たな課題も明確になったと考える。

JCMA

《参考文献》

- 1) 田浦康司, 高尾川における地下河川の整備について, 第 17 回都市水害に関するシンポジウム, 2018.11
- 2) 田浦康司, 松延康貴, 荒東伸一, 高尾川地下河川整備の取組, 建設マネジメント技術, 2021.3
- 3) 荒東伸一, 嶋田尚正, 火山太, 土井拓郎, 清水真人, 河川直下を縦断して掘進する連続多急曲線シールドの施工, 第 30 回トンネル工学研究発表会, 2020.11

【筆者紹介】

荒東 伸一 (あらとう しんいち)
 (株)安藤・間
 九州支店 土木部 高尾川シールド作業所
 所長

