

高尾川地下河川整備の取組

福岡県 県土整備部 た う ら 田浦 こう じ 康司, まつ の ぶ 松延 やす た か 康貴

安藤ハザマ・大豊・環境施設特定建設工事共同企業体 あら と う 荒東 しん い ち 伸一

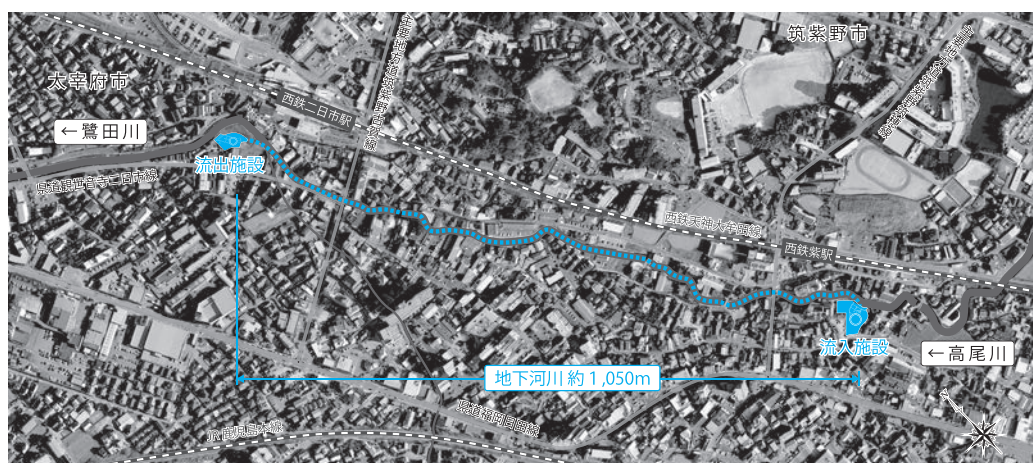
河川事業において、用地の取得は事業が長期化する要因の一つである。特に都市部で、その影響は顕著である。そのような問題を打開する画期的な手法として、当県で取り組んだ地下河川整備を紹介する。

1. はじめに

高尾川は、福岡県の北西部を流れる二級河川御笠川の二次支川であり、筑紫野市の中心市街地を流れ、一次支川である鷺田川^{さぎた}に流入する流路延長1.5 km、流域面積4.4 km²の河川である。流域近傍には、西鉄天神大牟田線やJR 鹿児島本線、九州自動車道、国道3号等があり、人家に加え主要な施設が密集している。

また、高尾川流域では市街化が進んでおり、川に沿って商店街や県内最古の酒蔵が建ち並ぶなど、浸水対策の必要性に加え、当該地域の歴史や街並みの保全、地域の活性化が望まれていた。

高尾川は、平成21年以降10年間で5回も氾濫しており、およそ2年に1回の割合で床上浸水被害が発生している。特に平成26年8月の豪雨においては、浸水面積7.4 ha、床上浸水46戸、床下浸水46戸という浸水被害が発生し、市民生活に大きな打撃を与えた。当県では、度重なる浸水被害に対し、緊急的に軽減を図る必要があるとして、鷺田川の西鉄二日市駅付近（1 k 780）から高尾川の県道紫橋（0 k 840）までの約1.0 kmにおいて、平成27年度から床上浸水対策特別緊急事業に着手した（写真－1）。



写真－1 地下河川整備区間の河川の線形と周辺状況

2. 高尾川床上浸水対策特別緊急事業の概要

本事業では、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、河川改修の際に一般的に行われている用地買収を伴う河道拡幅等に加え、地下河川によるバイパスについても治水計画の一つとして比較検討を行った。その結果、経済性、社会的影響を総合的に判断し、地下河川によるバイパスと流下阻害の原因となっている橋梁改築を対策メニューとした。

【事業概要】（図－1）

- ・事業延長：L= 約 1,050 m
- ・事業期間：平成 27 ～ 31 年度
- ・事業費：約 89 億円
- ・整備内容：地下河川（シールド工法）L= 約 1,050 m, 橋梁架替 N=1 橋, 特殊堤 L=120 m

3. 事業の目標と課題

本事業における目標は、度重なる浸水被害を早期に軽減するため、「限られた期間での確実な事業効果発現」と設定した。本事業で採用した地下河川は、全国的にも事例の少ない対策であり、限られた期間内に確実な事業効果を発現させるためには、施設設計を適切に行う上での課題や施工段階の課題等、これまで経験したことのないさまざまな課題があった。特に、用地に対するリスクを極力回避するため、現況河道の真下に整備するこ

ととしたことで、現況河道の法線に沿った施設計画が必要となり、湾曲部を多く有するという大きな課題を含んでいた。

4. 設計における課題

事業目標の達成に向け、設計上の課題とそれに対する対応について紹介する。

（1）設計概要

地下河川の計画諸元は、理論値より河川分派に伴う流入損失、管内ロス、流出損失等のロスを考慮し、目標流量の分派に必要な地下河川規模を設定した。（図－2）

① 計画流量（図－3）

平成 26 年 8 月降雨と同規模を流下
（河道 $40 \text{ m}^3/\text{s}$, 地下河川 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ）

※堤防満杯で平成 26 年 8 月降雨相当の流量を流下

② トンネル延長 約 1,040 m

③ 内径（外径） $\phi 5.0 \text{ m}$ （ $\phi 6.0 \text{ m}$ ）

④ 曲線半径

R 60（3 箇所）、R 30（8 箇所）、R 25（1 箇所）、
R 20（9 箇所）、R 18（4 箇所）、R 16（2 箇所）

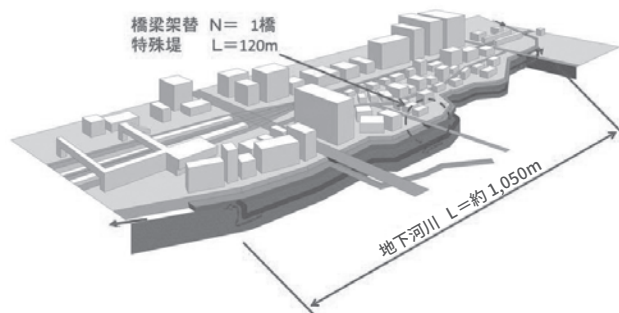
⑤ 流下方式 自然流下圧力管方式

⑥ 流入形式 越流堤による横越流

⑦ 流出形式 逆流防止堰

（2）課題と対応

本施設に求められるのは「洪水時の確実な流下機能（計画流量の流下）の確保」であり、施設整備段階における再現精度が課題であった。



図－1 事業イメージ

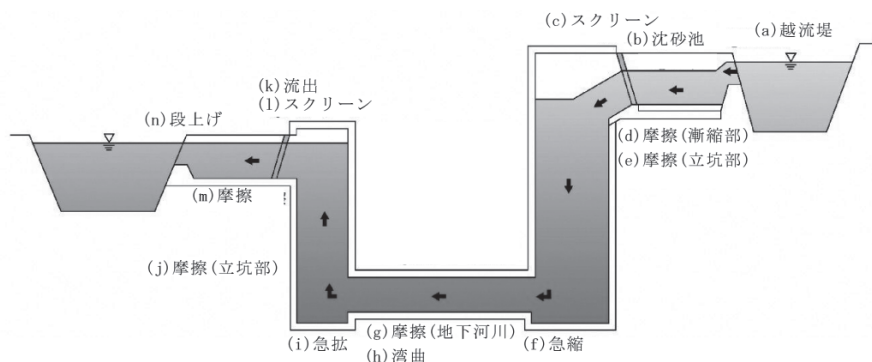


図-2 地下河川の各部損失モデル

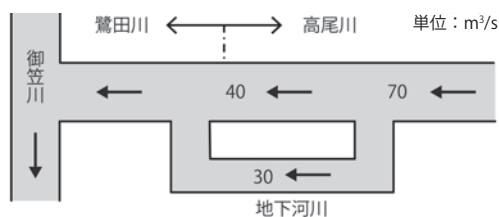


図-3 計画流量

当初は机上検討により施設諸元を決定したが、地下河川への分流特性は種々な要素に支配されることから、大型の水理模型を用いて施設形状を決める水理模型実験を行った。

施設形状の決定に資する実験

(1) 実験概要

本実験に使用する模型は、経済性や再現性を考慮の上、対象区域を三つに区分し、縮尺1/25スケールで製作した。それを利用して湾曲損失実験、流入施設実験、流出施設実験を実施し、各部における損失を実証した(写真-2～4)。

(2) 実験結果

模型の流入、流出形状等を複数案変化させることにより、計画流量の流入及び流下が可能な形状を決定した。

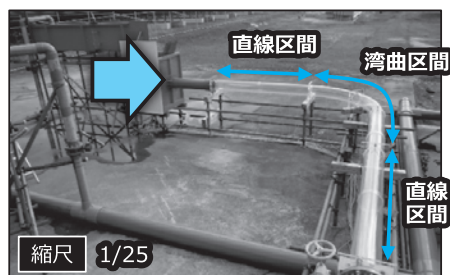


写真-2 湾曲損失実験模型



写真-4 流出施設実験模型

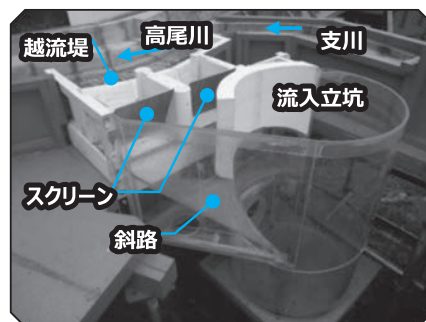
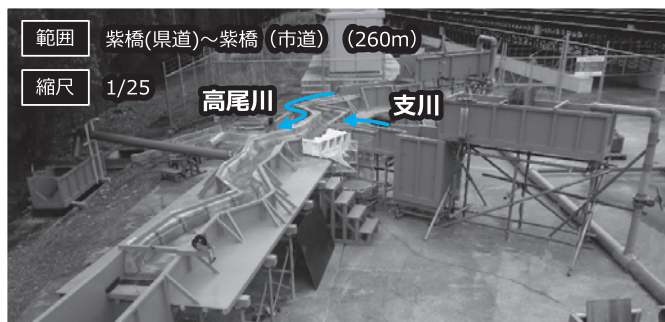


写真-3 流入施設実験模型(左：全体、右：流入施設部)

① 湾曲損失実験

本計画の特徴である多数の湾曲による損失は、当初計画では水平曲がりによる損失を屈折による損失と仮定して設定していたが、実験による実証値を得ることができ、施設形状に反映した。

② 流入施設実験

流入施設における損失を評価し、完全越流で計画流量が流下可能な施設形状を決定した。なお、越流堤の形状や高さ、流入方式、止水域部分の形状については、実験結果に基づき変更を行った（表－1、図－4）。

③ 流出施設実験

流出施設における損失を評価し、計画流量流下時に施設内水位が所定の水位以下となる施設形状を決定した（表－2）。

(3) まとめ

水理模型実験により施設の最終形状を確定し、洪水時の確実な流下機能を確認することができた。また、止水域となる部分の形状変更や施工性の改善により、およそ5千万円のコスト縮減を図ることができた。

5. 施工における課題と対応

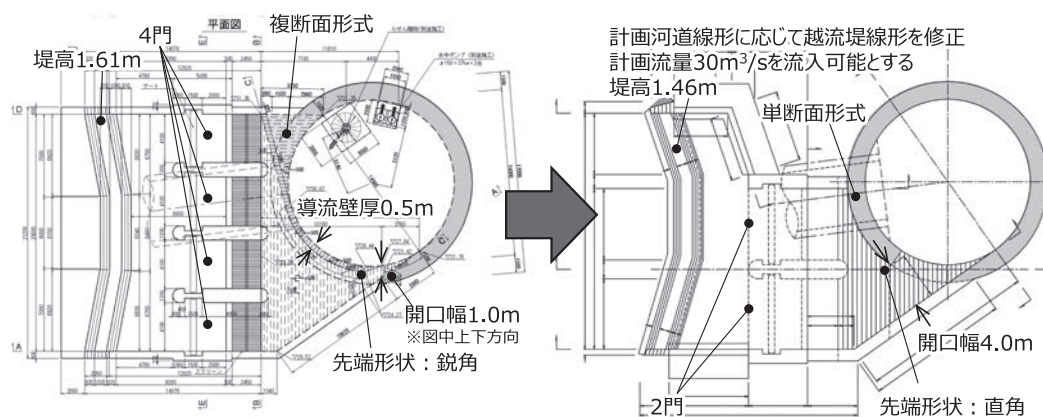
施工上の課題と、その対応について紹介する。

(1) 連続多急曲線シールドの施工

シールド平面線形は、延長約1kmの区間に最小 $R/D^* = 2.6$ ($R16\text{ m}$) やS字を含む27箇所もの急曲線で構成されるため、急曲線部におけるシ

表－1 変更内容

	原案	最終案	備考
越流堤高	1.61 m	1.46 m	
門数	4 門	2 門	流況を踏まえて必要十分な門数に変更
導流壁	断面形式	複断面	複断面効果が微小のため、形状簡素化 ケーソンを用いることでコスト縮減 流況に差異がないため、形状を簡素化
	壁厚	0.5 m	
	先端形状	鋭角	
開口幅	1.0 m	4.0 m	スムーズな流れとなる開口幅を設定



図－4 流入施設実験結果の反映（左：原案、右：最終案）

表－2 変更内容

	原案	最終案	備考
逆流防止	0.91 m	1.70 m	流入施設における越流開始流量から逆流防止堰高を検討（上流からの流入後に、逆流する高さに設定することで、直落下による施設損耗を防ぐ）
堰高	(T.P.27.24 m)	(T.P.28.03 m)	堰高は計画河床高からの高さで表記

ールド機の操作性向上及びセグメントに掛かる急曲線特有の施工時荷重への対応が課題となった。そこで以下の対策を実施した。

※ R：曲線半径，D：シールド径

① シールド機（写真－5）

中折れ機構装備のほか，セグメント幅の抑制などシールド機長を可能な限り短縮し，操作性を向上させた。さらに，曲線内側の余掘り用コピーカッターを急曲線掘進が非常に多いことを考慮し，設置数を4基に倍増した。また，施工時荷重の低減のため，通常のジャッキパターン選択方式から，各シールドジャッキの圧力自動調整による方向制御方式を採用した。最終的にシールド動力学に基づくシミュレーションを実施し，操作性や施



写真－5 シールド機

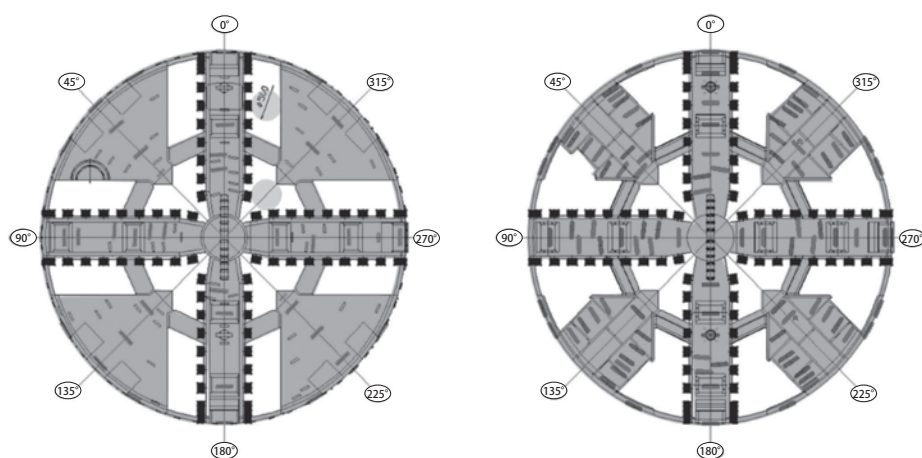
工時荷重を確認した。

② セグメント

幅や外径の縮小のほか，偏心したジャッキ推力といった急曲線部特有の施工時荷重に対して，縦断・横断方向の構造解析を実施し，縦リブ・主桁・リング間ボルトの綿密な補強を実施した。さらに，セグメントの損傷に対するジャッキ推力と旋回モーメントの相互作用に対する構造安定判定図を作成し，施工管理に反映した。

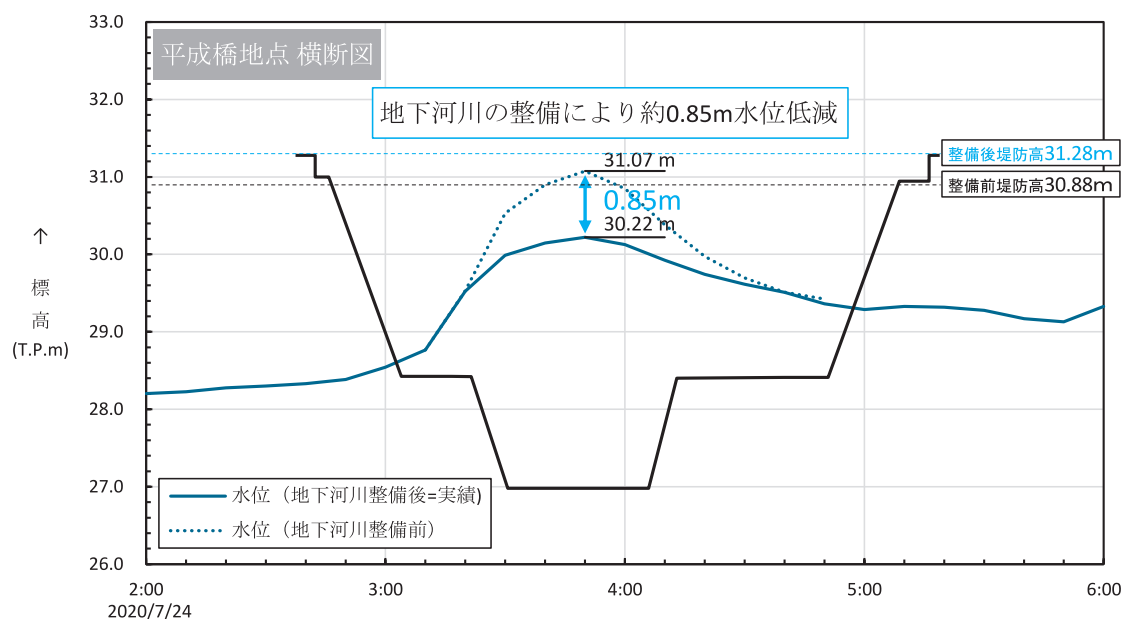
(2) 硬質地盤（風化花崗岩）の掘進

実施に当たっては，事前に地質調査等を入念に行い，多数の地質データ及び河川直下である施工環境を考慮し，シールド機の仕様及び添加材等を決定し，工事に着手した。しかし，想定以上の岩盤強度と風化花崗岩の切削特性により，カッタートルクの増大と掘進速度の著しい低下が生じ，掘進開始から全長の1/6程度の位置でカッタービットが損耗，交換せざるを得ない状況となった。そのため，地盤等の追加調査，施工データの綿密な分析を実施し，学識者からの助言を踏まえ，地盤特性に適したビットの増設や配置の変更，カッターヘッドの改良（図－5），添加材の変更等の対策を実施した。これらの対策により掘進速度の向上，ビットの長寿命化を図ったことで，非常に困難な作業となる河川直下でのビット交換作業を最



カッターヘッド開口率 約34% ⇒ 約38%（+4%）
 ビット数 37個 ⇒ 96個（+59個 カッタービット除く）

図－5 カッターヘッドの改良（左：改良前，右：改良後）



図－6 整備効果

小限に抑え、掘進を完了することができた。

6. 令和2年6月地下河川運用開始

以上のような課題を乗り越え、令和2年6月に地下河川の運用を開始した。令和2年6～9月の間の降雨により計26回の流入が確認され、一定の効果が得られた。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氾濫を防ぐことができた（図－6）。

※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派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。

7. おわりに

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。一般的に地下河川は、費用対効果の面で高いハードルがあり、都市部以外での適用は難しい。しかし、対策の検討に当たっては、社会情勢や時間的な効果も含め十分に検討し、総合的な判断を行う必要がある。

今回示したように、施設設計段階での課題への対応や、地中での作業という現場条件下において、高度な施工管理技術と次々に発生する諸問題に対し、臨機応変な対応が求められる工事であった。

この規模のシールドトンネルにおける27箇所もの急曲線の連続施工は、全国的にも事例が極めて少ないものであり、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。本事例が同様の被害に苦しむ地域における抜本的取組の参考となれば幸いである。