

シールド機動力学モデルを用いた
H&V シールドスパイラル掘進解析

清水建設（株） 正 ○武本 怜真 正 太田 博啓
長岡技術科学大学 正 杉本 光隆

1. はじめに

本工事は、東京都品川区の立会川へ放流されている雨水を取り込み、京浜運河へ放流先を変更するための管路を布設するものである（図-1, 2）。限られた占有スペースの中で最大限の流下能力を確保するために、H&V シールドによるスパイラル掘進を採用している。H&V シールド工法によるスパイラル掘進実績は、実証実験¹⁾による1例のみであり、さらに、一方のトンネルの中心をスパイラル中心としてスパイラルする施工は前例が無く、世界初となる。

スパイラル掘進には繊細なマシンの制御による線形管理が不可欠であり、非常に難易度の高い施工管理が必要となる。そこで、線形管理上のポイントとなるシールド運転操作パラメータを事前に把握すべく、シールド機動力学モデルを用いたシールド掘進シミュレーション²⁾を実施した。本稿では、スパイラル区間の掘進シミュレーションにおける、シールド運転操作とマシン挙動の関係について報告する。

2. スパイラル掘進区間の概要

発進後約 35 m後にスパイラル掘進を開始する。左トンネルのトンネル中心をスパイラル軸とし、約 137 mかけて 90°（0.66° /m）スパイラルする。左トンネルの縦断線形は上り勾配 1.1‰、平面線形は直線である。一方、右トンネルの縦断線形は 1.1‰+sin カーブ、平面線形は cos カーブの複合曲線であり、三次元の弦巻曲線である。

表-1 工事概要

工事件名	立会川幹線雨水放流管その2工事
工事場所	東京都品川区南大井一、四、五丁目、 東大井二、三、六丁目、勝島一、三丁目
施 工 者	清水建設株式会社
工 法	H&V シールド工法（泥水式）
仕上内径	5,000 mm（2連）
掘削外径	5,850 mm×11,790 mm
施工延長	右→上：778.20m, 左→下：774.85m
土かぶり	11.5～23.7m
土 質	礫質土、細砂、シルト質砂、シルト
地下水位	GL-1.73m

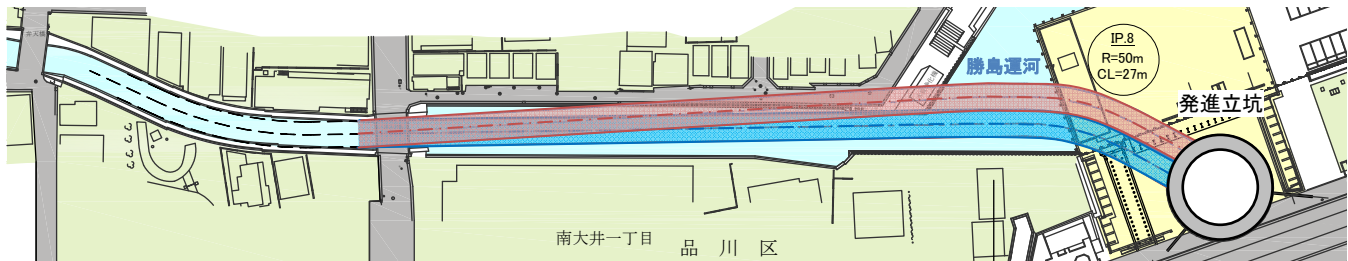


図-1 トンネル平面図（発進付近）

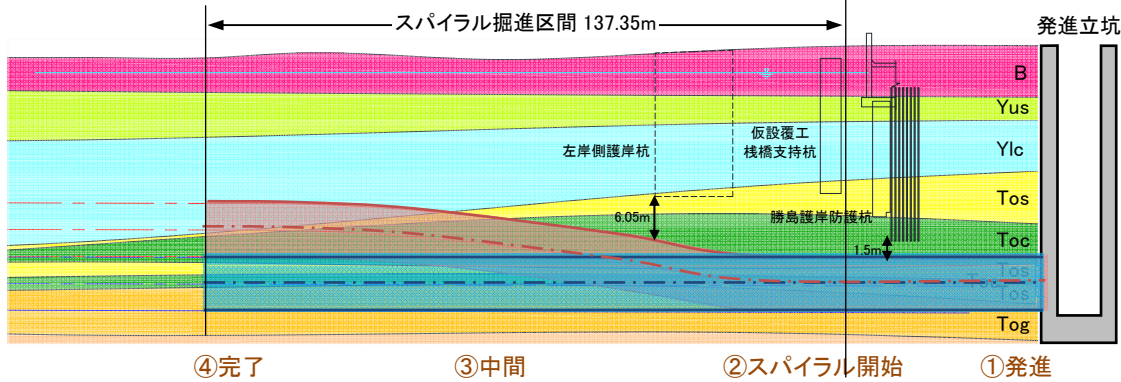


図-2 トンネル縦断図（発進付近）

キーワード：H&V シールド工法、スパイラル掘進、シールド掘進シミュレーション

連絡先〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設株式会社土木技術本部シールド統括部 TEL03-3561-3892

3. H&V シールドスパイラル掘進解析について

H&V シールドシミュレータは、シールド機動力学モデルを応用したものであり、掘進時のシールド、地盤、セグメントの相互作用を解析できる。シミュレータを活用することで、スパイラル掘進時の適切なジャッキパターンや、余掘り量、中折れ角等を事前に把握することができる。

H&V シールドシミュレータによる解析において、下記4項目のシールド運転操作に着目した。

- ①余掘り量、余掘り範囲 ②上下、左右中折れ角度
③ジャッキパターン ④カッタの回転方向

①、②については、単胴と同様に、幾何学的に必要な余掘り量、余掘り範囲、中折れ角を初期値とした。③、④について、計画線形に合うようトライアル解析にて数値を求めた。なお、解析を行う上での許容蛇行量は鉛直・水平ともに $\pm 50\text{mm}$ とした。

4. シミュレーション結果

(1) ジャッキパターンが蛇行量に与える影響

シールド運転操作条件のうち、ジャッキパターンのみを変化させ、蛇行量に与える影響を調べ、図-4 に結果を示した。各ジャッキパターンを Case1~Case3 のように設定し解析した結果、Case3 で鉛直・水平蛇行量が $\pm 50\text{mm}$ 以内となった。例として、それぞれのケースの掘進距離 100m 地点（スパイラル角 $\phi r = 32^\circ$ ）でのジャッキパターンを図-5 に示した。Case3 から、スパイラル中の適切なジャッキパターンについて、水平面に対して下勝ち、右機に比べて左機の右勝ち度を大きくすべきであることなどが読み取れる。Case3 の結果を実施工時の初期値とし、適宜修正を加える。

(2) カッタ回転方向がローリング角に与える影響

H&V、DOT、MF などの複断面シールドのローリング制御において、1つの手法となるのがカッタの回転方向である³⁾。図-6 にカッタの回転方向がローリング角に与える影響を示した。縦軸に計画ローリング角との差（ローリング不足角度）を示した。両機ともに常に左回転である Case4 ではスパイラル終点でローリングが不足していることがわかる。一方、掘進距離 180m 付近で両機ともに右回転とした Case5 では、計画値に近いローリング角を得ることができている。ビットの切削抵抗により、カッタの回転と逆方向にシールドがローリングすることは一般に知られているが、複断面シールドではその効果も2機分かかるため、ローリング制御に効果的である。実施工では、今回のシミュレーション条件のようにカッタを常に同方向に回転させ続けることは考えにくい、左右回転の使用頻度の参考としては有意であると考ええる。

5. おわりに

本報告では、動力学モデルを用いたシミュレーションによる H&V シールドの操作について述べた。

今後は、今回のシミュレーション結果と施工時の実測データを比較することで、シールド運転操作パラメータ入力値の妥当性を評価し、予測解析の精度向上を図りたいと考える。

参考文献

- 1) 田中秀明, 久原高志, 尾崎仁ら: H&V シールド工法実証実験工事, トンネル工学研究発表会論文・報告集, vol.1, pp.249-254, 1991.12.
- 2) Akatwijika Ronald, Huyunh Ngoc Thi, 杉本光隆ら: H&V シールドのシミュレータの開発, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013.9.
- 3) 松本嘉司, 新井時夫, 波多腰明: 多円形断面シールドの掘削特性に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第 406 号, III-11, 1989.6.

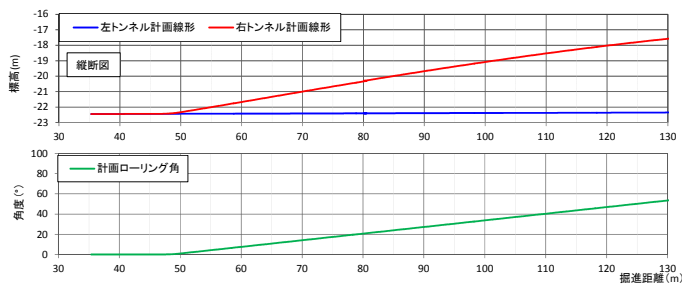


図-3 計画線形と計画ローリング角

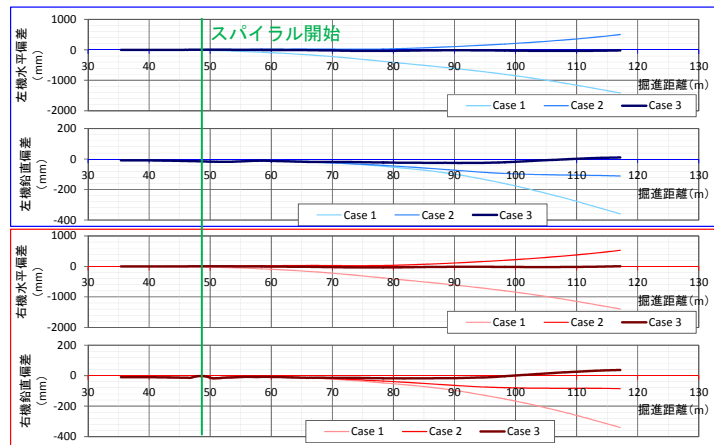


図-4 ジャッキパターンが蛇行量に与える影響

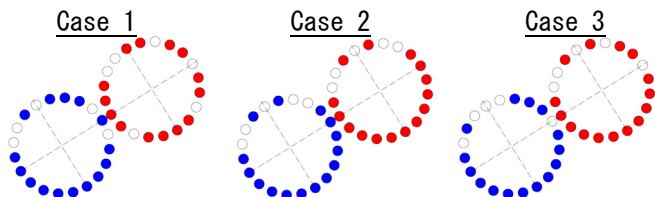


図-5 100m 地点 ($\phi r = 32^\circ$) でのジャッキパターン

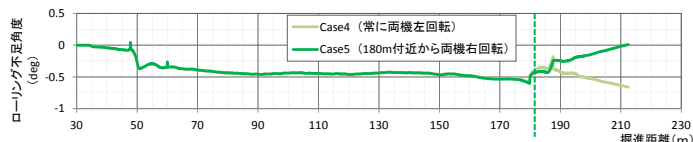


図-6 カッタの回転方向がローリング角に与える影響