

H&V シールドのシミュレーターの開発

長岡技術科学大学 学○Akawijuka Ronald, Huynh Ngoc Thi 正 杉本光隆
安藤・ハザマ 正 三木章生, 岩崎広幸

1. はじめに

都市部においては、地下空間の利用が進み、新たにトンネルを構築する際に用地難や輻輳した地中構造物の回避などにより、線形や断面の制約が生じるケースが増えてきている。用地幅や上下の制約を回避するための解決策のひとつとして、側方で連結された2連のシールドをトンネル軸回りに回転させて、横2連から縦2連へ移行する掘進（以後、スパイラル掘進と呼ぶ）が可能な H&V シールド工法¹⁾が開発された。しかし、従来の単円シールドと比較して、スパイラル掘進には以下のような課題がある。

- 1) 特殊な姿勢制御装置やコピーカッター、中折れ機構を駆使したスパイラル掘進時の2連のシールドの姿勢制御方法の開発
- 2) スパイラル掘進時に2連のシールドが地盤から受ける力とセグメントへ作用する施工時荷重の把握
- 3) 複雑なスパイラル線形における施工精度の確保

そこで、これらの課題を解決するため、シールド、地盤、セグメントの掘進時の相互作用を解析できるシールド機動力学モデル²⁾を応用し、スパイラル掘進を表現できる H&V シールドのシミュレーターを開発した。本報告では、その概要と、解析結果の例を示す。

2. H&V シールドの解析モデル

図1に示すように、H&V シールドは、左右の前胴・後胴、合計4つの胴体で構成される。解析手順は以下のとおりである。

- 1) 単円シールドのシールド機動力学モデル²⁾と同様にして、各胴体毎に、自重、テール作用力、ジャッキ力、切羽作用力、スキンプレート作用力を求め、これらを基に H&V シールド全体に作用する力（力とモーメント）を求める。
- 2) シールドの移動量（鉛直方向、横断方向、縦断方向）、姿勢（ヨーイング、ピッチング、ローリング）を未知数として、H&V シールド全体に作用する力の釣合式を解く。
- 3) 上記を、所定の回数繰り返し、シールドの軌跡と姿勢の経時変化を求める。

また、本モデルの入力項目は、地盤（地質縦断、各層の地盤物性値）、トンネル線形諸元、シールド諸元、セグメント諸元、および、時系列のシールド制御項目（中折れ角度、余掘り量とその範囲、ジャッキ力等）であり、出力項目は、上記で解析手順で述べたように、シールドの移動量、姿勢、および、各胴体毎の作用力の合計、テール作用力（セグメントとの競りによる施工時荷重）、スキンプレート作用力（シールドに作用する地盤反力等）等である。したがって、本モデルを用いることにより、2連のシールドの連結部に作用する力や、スパイラル掘進時の姿勢制御量（中折れ角度、余掘り量とその範囲、ジャッキ力等）やそのタイミングを検討できる。

3. 解析結果の例

まず、横2連からスタートし、左側のトンネル線形が直線、右側のトンネルが左側のトンネルの回りを進行方向に

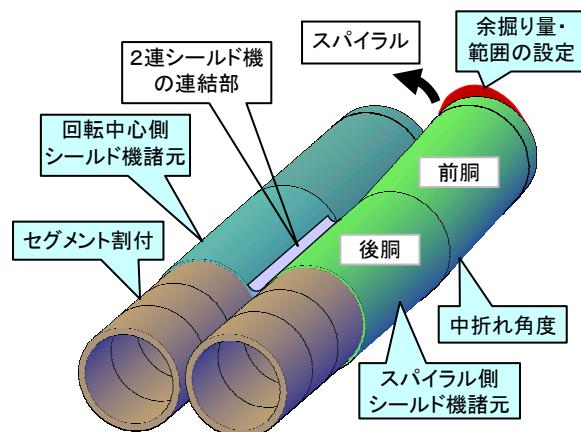


図-1 解析モデル（H&V シールド）と入力条件

キーワード：H&V シールド、シールド機動力学モデル、シミュレーション、シールド挙動、地盤反力
連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡 1603-1 長岡技術科学大学 TEL: 0258-46-6000 FAX: 0258-47-9600

向かって反時計方向にスパイラルする線形を想定した。本節では、この内、直線部からスパイラル掘進を開始し、スパイラル角度(=ローリング角度)の変化が一定となり定常掘進に至るまでの範囲をシミュレーションした結果の例を示す。シミュレーションは、10分間隔を1stepとして、100step行った。

図2にシールドの挙動を示す。この図で、「移動量」は解析1step、10分間に、後胴先端左右中心点が移動した量で、鉛直方向移動量 Δx は下向き正、横断方向移動量 Δy は進行方向に向かって左手正、ヨーイング角 ϕ_y は上から見て時計回り正、ピッチング角 ϕ_p は下向き正、ローリング角 ϕ_r は進行方向に向かって時計回り正である。掘進速度は、シールド移動量を1stepの時間間隔で除したものである。シールドは剛体で6自由度を有するから、この図はシールド挙動を完全に表示していることになる。この図より、使用したシールド制御条件では、ローリング(スパイラル)、掘進速度は、ほぼ計画値に近いが、シミュレーション終了時点でヨーイングは約40min右より、ピッチングは約20min上向き、となることがわかる。

図3、図4に、最終stepでの、地盤とシールドの離隔、シールドに作用する有効土圧の分布を示す。これらの図より以下のことがわかる。

- 1)地盤とシールドの離隔は、左側シールドで全周余掘り量に近いが、右側シールドの前胴上部と、後胴下部テール部で大きくなっている。これは、右側シールドの上部にコピーカッターを使用していること、右側シールドの前胴を上向きに中折れさせていることのためである。また、右側シールドの後胴上部テール部で地盤との競りが発生している。
- 2)シールドに作用する有効土圧はほとんど0となっている範囲が多い。これは、作用有効土圧が地盤とシールドの離隔に規定されること、地山の自立を想定したことのためである。

4. おわりに

本シミュレーターを実際のプロジェクトに適用し、その適用性を検証するとともに、H&Vシールドのスパイラル掘進におけるシールドやセグメントの設計、施工計画および施工管理に反映し、品質や安全性の向上、リスク管理に活用していきたいと考えています。

参考文献

- 1)田中秀明, 久原高志, 尾崎仁, 野口隆, 中村稔: 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.
- 2)杉本光隆, Aphichat Sramoon: 施工実機に基づくシールド機動力学モデルの開発, 土木学会論文集, No.673/III-54, pp.163-182, 2001.

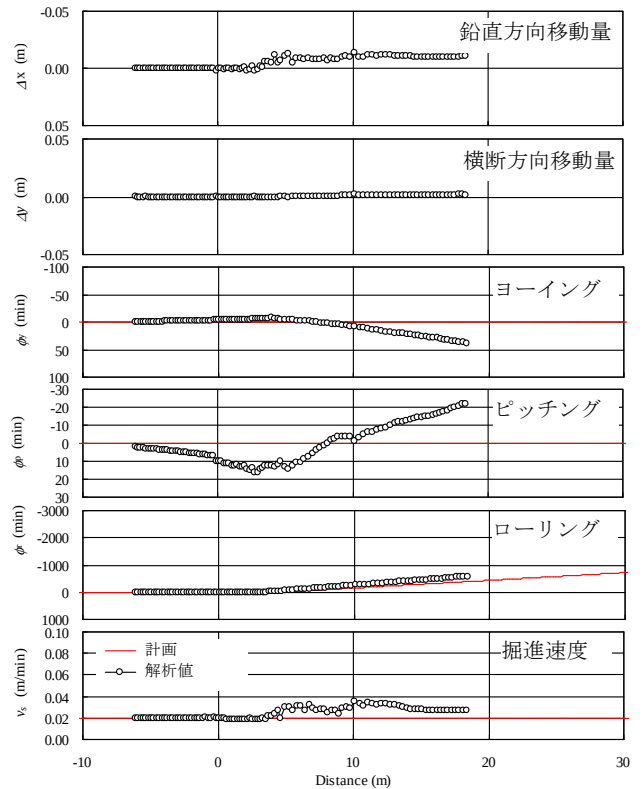


図-2 シールドの挙動 (例)

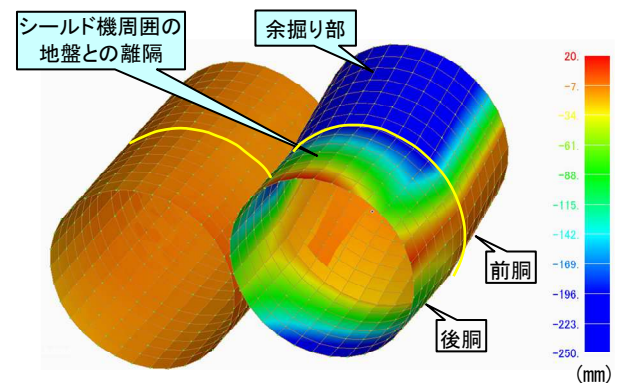


図-3 地盤とシールドの離隔 (例)

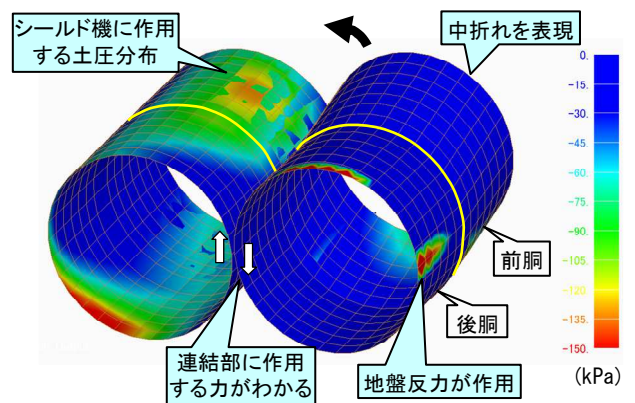


図-4 シールドに作用する有効土圧分布 (例)