

シールドとセグメントの相互作用を評価する解析モデルの開発

長岡技術科学大学 学生会員 ○垣内 祐輝
 間組 正会員 稲田 匠吾
 長岡技術科学大学 正会員 杉本 光隆

1. はじめに

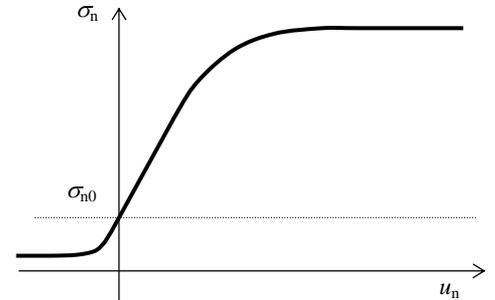
近年、都市の地下空間では、シールドトンネルの大深度化や急曲線化が進み、加えてコスト削減の流れを受け、急速施工化、セグメントの薄肉化などが進んでいる。これらにより、施工時にセグメントに作用する荷重は以前よりも増大傾向にあり、施工中のトンネルに発生する不具合が顕在化してきている。しかし、施工時にセグメントに作用する荷重については、未解明な点が多く、設計段階では十分な検討がなされていないのが現状である。

そこで本研究では、急曲線部を掘進中のシールドが、セグメントに与える施工時荷重の解明を目的として、シールドとセグメントの3次元 FEM 解析を行い、セグメントの変位・変形を求め、現場計測値と比較することにより、ジャッキ推力やテール作用力といったシールド施工時荷重がセグメントへ与える影響について検討を行った。

2. 解析条件

(1) 解析モデル

既往の研究では、シールドの掘進によって発生するテール作用力とジャッキ推力によるセグメントへの影響をそれぞれ求め、足し合わせることで施工時荷重がセグメントに与える影響を評価できる簡易モデルを開発した¹⁾。しかし、地盤ばねは図-1 に示す特性を有しているの
 で、足し合わせた変位が非線形域に入ってしまうと、本来の応力が求められない。そこで本研究では、シールドとセグメントを合わせて解析し、施工時荷重によるセグメントへの影響を一度に求められる統合モデルを開発した。



u_n : 掘削面からセグメント外周面への距離
 σ_n : セグメントに作用する土圧

図-1 地盤反力曲線

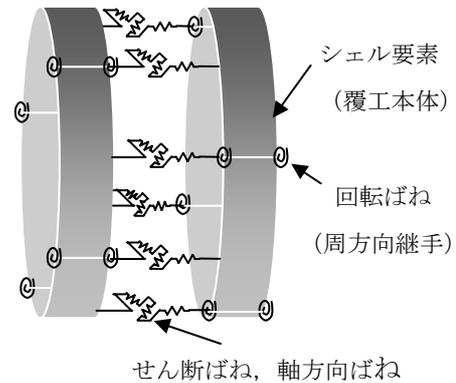


図-3 はりばねモデル

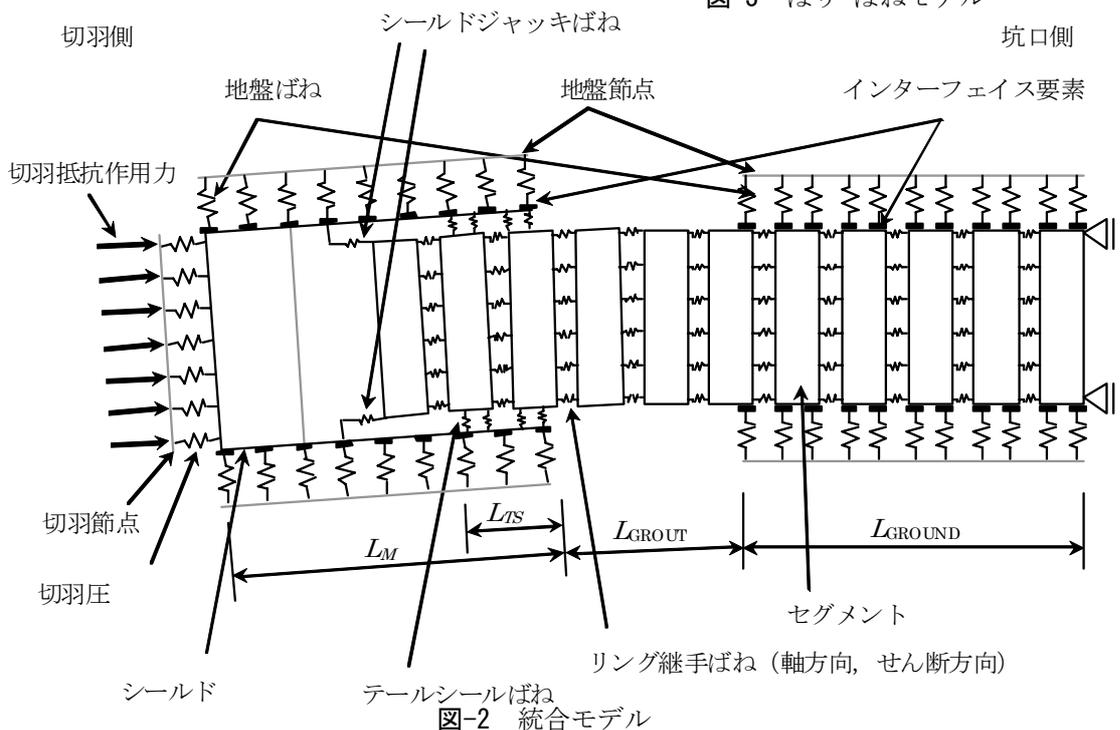


図-2 統合モデル

キーワード シールドトンネル セグメント 施工時荷重 3次元 EM 解析

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL0258-47-6309

図-2 に示す統合モデルは、以下で構成されている。1)セグメントリング：図-3 に示すはりばねモデルを基に、既往の研究のモデル²⁾を用いた。2)シールド：前胴フード・ガーター・スキンプレート、後胴スキンプレート・ガーター・テール毎に等価剛性を持つシェル要素でモデル化した。3)地盤とセグメント・シールドの相互作用：図-1 に示す地盤反力曲線の特徴を有する全周地盤ばねモデル³⁾を用いた。4)テール部：シールドマシンとセグメントの競りを表現するため、バイリニア型のノンテンションばねを用いた。5)シールドジャッキ：ノンテンションばねを用いた。

(2) 解析手順

セグメントの断面変位計測は、2666 リング組立後シールド停止中から開始されているので、計測されたセグメントの断面変位は、施工時荷重載荷前を初期値とした施工時荷重載荷後の変位である。そこで、次の手順で解析を行った。1)切羽抵抗力を載荷せず、解析を行う。2)切羽抵抗力を載荷し、解析を行う。3)2)で求めた計測断面のセグメント変位から、1)で求めた計測断面のセグメント変位を減じて、計測リングのセグメント変位、変形を算出する。

(3) 解析結果

図-4 に、計測断面におけるセグメント断面変位の解析値と計測値を示す。なお、変位は40倍にして表示している。また、表-1 に、セグメントの変形量(鉛直内空変位－水平内空変位，+：縦長)，水平方向変位量(+：右側への変位)を示す。これらより以下のことがわかる。

- 1)解析値は、セグメントが縦長に変形し、曲線外側に剛体変位する挙動を再現できている。
- 2)縦長の変形量は、計測値で10.8mm、解析値で2.5mmとなり、解析値は計測値より小さくなった。
- 3)セグメントの水平方向剛体変位は、計測値で2.6mm 右側、解析値で5.5mm 右側となり、解析によりセグメントの曲線外側への剛体変位を概ね表現できているが、解析値は計測値より小さくなった。

これらは、以下のためと考えられる。

- 1)曲線掘進時には、左右スプリングラインのテール作用力が増加すること。
- 2)切羽抵抗力により、セグメント切羽側端部に曲線外向きの水平力が作用すること。
- 3)計測値より解析値が小さいのは、本研究では静的解析によりセグメントの変位、変形を求めているためと考えられ、計測値を表現するには、掘進時の逐次解析が必要と考えられる。

3. まとめ

本研究では、シールドとセグメントをモデル化し、ジャッキ力、テール作用力のセグメントへの影響を一度に解析できる統合モデルを開発した。このモデルにより、セグメントの縦長の変形、曲線外側への剛体変位を表現できることを確認した。しかし、解析値は計測値より小さい値となった。

参考文献

1)松本貴士, A. Asanprakit, 杉本光隆, 粥川幸司, 津坂治: 施工時荷重がセグメント挙動に与える影響の定量的評価方法に関する検討, トンネル工学論文集, Vol.18, pp.53-65, 2008.
 2)伊藤隼人, A. Asanprakit, 陳劍, 杉本光隆: 急曲線部においてシールド施工時荷重がセグメント挙動へ与える影響評価, 土木学会第65回年次学術講演会, III-442, 2010.
 3)杉本光隆, A. Sramoon, 岡崎麻里: 地盤反力曲線を用いた骨組み構造解析によるトンネル覆工の解析法, 土木学会論文集 C, Vol.67, No.1, 61-77, 2011.

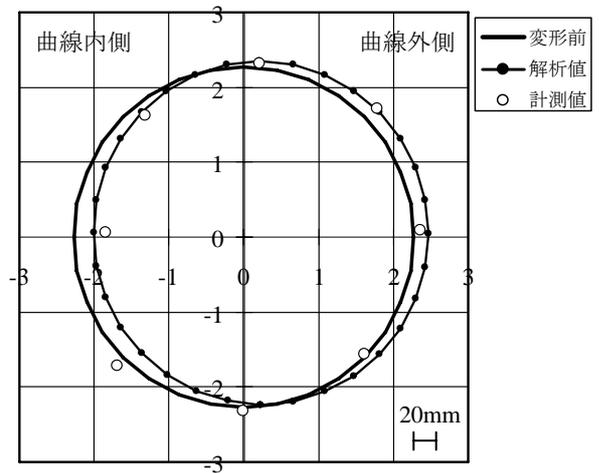


図-4 計測位置のセグメント断面変位 (抗口側より切羽側を見た状態, 変位40倍)

表-1 解析結果

	変形量 mm	水平方向変位量 mm
解析値	2.5	5.5
計測値	10.8	2.6