

列車走行時のシールドトンネルの変位応答に関する一考察

東京都市大学 学生会員 ○原島 亮汰

東京都市大学 正会員 関屋 英彦

1. 目的

シールド工法は都市部において地下トンネルを施工する際に多く採用されている工法であるが、トンネル背面の空洞等といった異常が確認されている。現在のシールドトンネルの点検手法は、主に近接目視や打音検査であるが、点検者の経験差等による点検結果のばらつきがあるという課題があり、定量的な評価が可能な点検手法が求められている。

そこで本研究では、列車走行時の変位応答に着目し、シールドトンネル周辺の地盤変化を定量的に評価する手法を検討する。具体的には、FEM 解析において地盤ばねを変化させ、その際の変位応答の比較・考察を行う。

2. 解析モデル

有限要素法解析のソフトウェアである Abaqus/CAE 2021 Ver.6.21-1 を用いて、列車走行時のシールドトンネルの変位応答を検討した。

シールドトンネルの FEM モデルは既往論文¹⁾を参考に 500m のはり要素にて作成した。対象としたシールドトンネルの断面形状を図-1 に、FEM モデル全体の模式図を図-2 に示す。対象としたシールドトンネルは単線となっており、約 11m 離れた位置に反対方向に向かう列車が走行する別のシールドトンネルが位置している。

シールドトンネルを模擬したはり要素に対し、64 本のばね要素を等間隔にて設置した。ばね剛性は、鉄道構造物等設計標準・同解説トンネル・シールド編²⁾と、参考文献³⁾を参考に、地盤反力係数を算出した。なお、ばね要素下端の境界条件は完全固定とした。

地盤条件の違いの比較を行うため、ばね剛性は以下 3 つのケースを検討した。

- A) 健全（全てのばね要素に対し、ばね要素が同一）
- B) はり中央の 2 つのばね剛性 1/2 倍
- C) はり中央の 2 つのばねなし

B), C) のケースでは、図-2 に示す青く囲われた中央部の 2 本のばねのばね剛性を変化させる。なお、全てのケースにおいて変位測定点は、はり要素の中央（端部から 250m）とした。

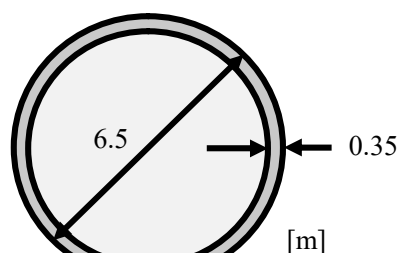


図-1 トンネルの断面図

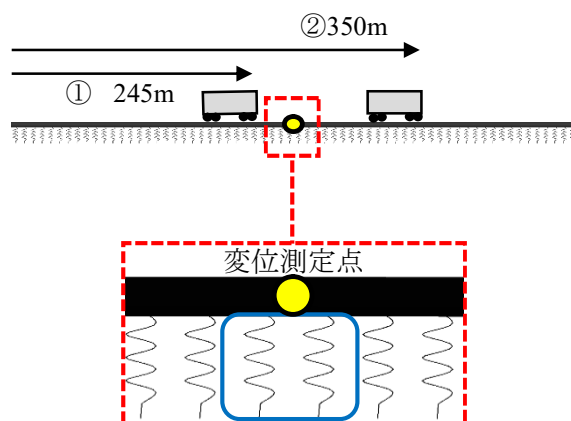


図-2 モデルの模式図

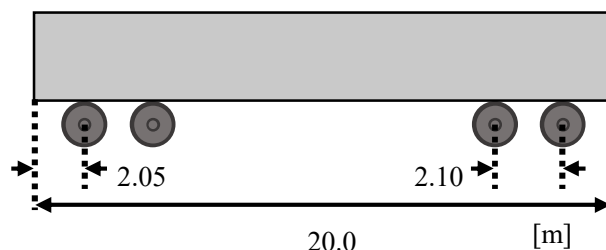


図-3 列車の車輪間隔

キーワード シールドトンネル, FEA, 変位, 列車荷重

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1 丁目 28-1 東京都市大学 TEL 03-5707-0104

3. 列車荷重

列車荷重に関しても既往論文¹⁾を参考に設定した。一つの車両長さは20m、車両数は10両とし、全長200mの列車を作成した。列車モデルの車輪間隔を図-3に示す。荷重は満員時を想定し、1輪あたり48kNとした。

4. 解析結果・考察

A)健全、B)はり中央の2つのばね剛性1/2倍、C)はり中央の2つのばねなしの結果比較を図-4に示す。図-4より、ばね剛性の変化によって最大変位に違いが生じていることが確認できる。健全時と比較して、B)のケースでは最大応答が1.32倍、C)のケースでは最大応答が1.93倍の最大変位となった。

図-2の時刻①、時刻②の位置に列車の先頭車両が到達した際の軸方向の変位応答の分布を図-5に示す。なお、図-5の結果は、C)のケースにおける結果である。時刻①は図-4における1.5s、時刻②は5.0sのときである。

図-5(a)より、列車通過前においても鉛直方向の変位が発生していることも確認できる。図-5(b)より、ばね要素の無い中央部において、最大変位が生じていることが確認できる。

図-4に示した解析結果と実測結果¹⁾を比較すると、列車通過中における軸応答が解析結果の方が小さい。これはシールドトンネルをはり要素にて再現したことが要因であると考えられる。

5. まとめと今後の予定

地盤を模擬したばね要素のばね定数を変化することによって、その変化による変位応答の違いの比較考察を行った。ばね要素2本を除去したケースにておいては健全時と比較し、1.93倍の最大変位応答が生じる結果となった。

図-4に示した解析結果と実測結果¹⁾を比較すると、列車通過中における軸応答が解析結果の方が小さい。これはシールドトンネルをはり要素にて再現したことが要因であると考えられる。この点を検証するため、より詳細なFEMモデルを作成し、検討を進めることが今後の予定である。

参考文献

- 1) Sekiya,H.,Masuda,K.,Nagakura,S.,Inuzuka,S: Determination of shield tunnel deformation under train load using MEMS accelerometers” Tunnelling and Underground Space Technology, Volume126: 104535,2022
- 2) 公益財団法人 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・シールド編，丸善出版，p.113，2021

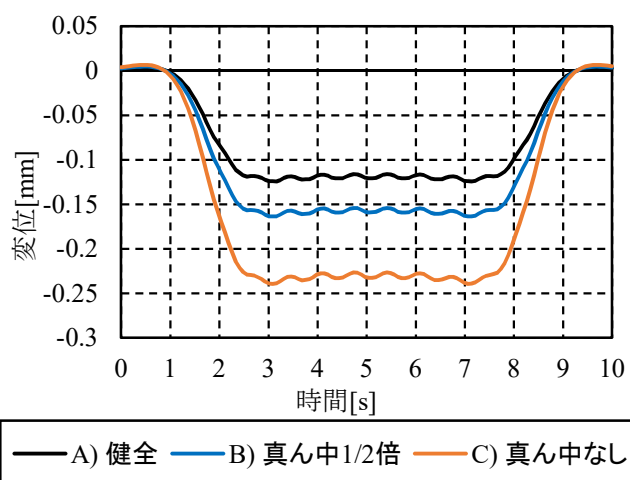


図-4 ばね剛性の比較

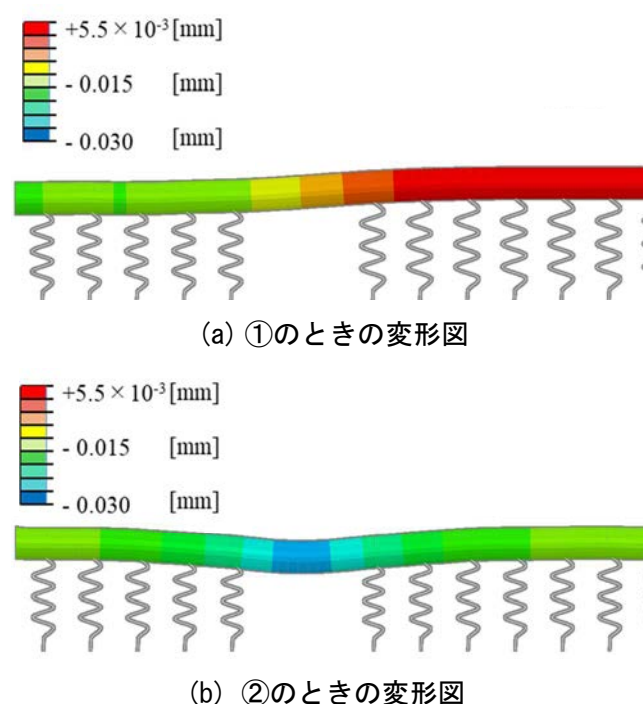


図-5 変形挙動の可視化(変形倍率20000倍)