

開削トンネルからの列車振動伝播に影響を及ぼす要因の検討

地盤振動 開削トンネル 地下鉄

早稲田大学 学生会員 ○折原佳帆
早稲田大学 国際会員 赤木寛一
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 津野究
日本工営(株) 古田勝

1. はじめに

地下鉄道に近接した構造物においては、列車走行に伴う振動や振動に起因した固体音が知覚されることがある。シールドトンネルについては、測定データが蓄積され、固体音で対象となる周波数帯域も含めて地盤中の振動伝播について検討されている¹⁾。しかし、開削トンネルは構造の形状が複雑であること、土破りが小さいことなどから、振動伝播の性状が複雑であると考えられ、振動の伝播性状が十分に解明されていないのが現状である。そこで本研究では、開削トンネルからの振動伝播について 2 次元 FEM を用いて解析し、列車振動の伝播に影響を及ぼす要因の検討を行った。

2. 解析概要

本研究では、図 1 に示すような東京都内の地下鉄開削トンネルを対象に測定と解析を行った。そして測定結果と FEM 解析との比較により、振動伝播に影響を及ぼす要因についての検討を行った。測定では、トンネル内に 2 箇所、地表面に 3 箇所の測定点を設けている。

有限要素として 8 節点アイソパラメトリック要素を用い、解析範囲の側方と底面を粘性境界とした。基本要素数は 3806、基本節点数は 11783、基本要素長は 40cm である。入力加速度波形は、別の地下鉄トンネルの軌道脇で測定されたもの¹⁾を用い、1 台車通過分として 1 秒間の加速度を、図 1 の矢印で示す加振点

に直接入力した。解析に用いた地盤の物性値を表 1 に示す。地盤減衰には式(1)に示すレイリー減衰を用い、定数 α 、 β の値は既往の研究²⁾を参考に表 2 の値とした。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \tag{1}$$

ただし、[C]: 減衰マトリクス, [M]: 質量マトリクス, [K]: 剛性マトリクスである。

3. 解析結果

3.1. 振動伝播性状

40Hz および 80Hz の鉛直方向振動加速度レベルのコンター図をそれぞれ図 2 と図 3 に示す。なお、図 1 に示す埋戻し土については、表 1 に示す地盤第 1 層の物性値を適用している。

2 図を比較すると、図 3 の 80Hz では比較的均一に伝播しているのに対し、波長が長い 40Hz では複雑な振動伝播性状となっている。さらに、トンネル構築にも部分的に振動が大きい部分があり、ここから周辺地盤に振動が伝播している傾向を確認した。

以上より、開削トンネルではシールドトンネル¹⁾に比べて、伝播性状が複雑となり、構造の形状や埋戻し土などの影響があることが考えられる。そこで、開削トンネルでの振動伝播性状に影響を与える要因について解析を行った。

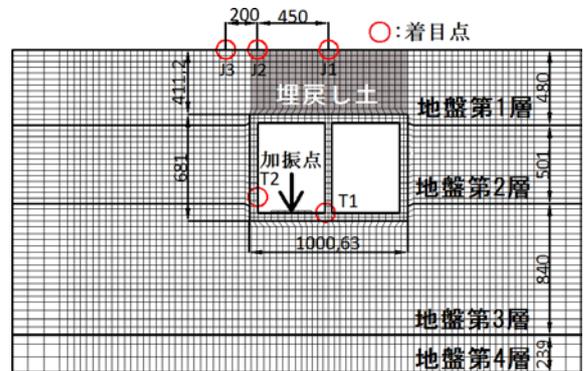


図 1 解析メッシュ図 (単位 cm)

表 1 地盤物性値

	せん断波速度 m/s	単位体積重量 kN/m ³
地盤第1層	144	15.4
地盤第2層	167	16.4
地盤第3層	150	17.6
地盤第4層	151	17.1

表 2 比例減衰定数 α , β

	α	β
地盤部	8.43	1.760×10^{-5}
トンネル部	0.377	1.582×10^{-6}

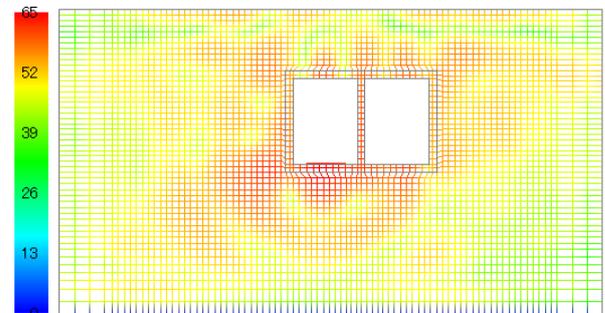


図 2 解析コンター図 (40Hz)

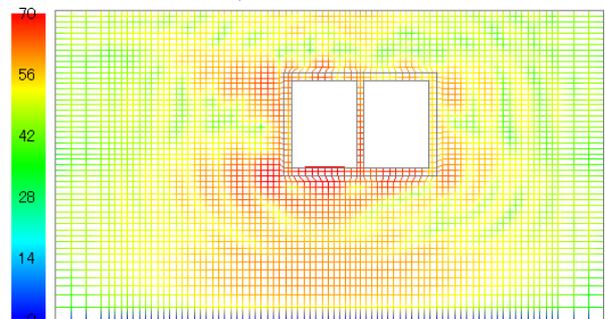


図 3 解析コンター図 (80Hz)

3.2. トンネル隅角部の構造に関する検討

開削トンネルでは、構造の形状が地盤振動の伝播に影響することが考えられ、地盤への振動伝播性状を把握するためには、隅角部のモデル化について検討する必要があると考えた。そこで、トンネル隅角部に設置されるハンチについて、図1に示すモデルA（ハンチ設置なし）のほか、図4(a)のようにハンチを四角形としたモデルB、図4(b)のようにハンチを三角形としたモデルCを作成して解析を行った。側壁下部（T2）水平方向を基準とした場合の、地表部（J3）鉛直方向振動加速度レベルを比較し、結果を図5に整理した。

図5によると、モデルAでは50Hzにピークがみられ側壁下部から地表部への減衰が認められない。一方、モデルBおよびCでは50Hzのピークはみられず、すべての周波数帯について減衰が確認されており、測定結果との差も小さくなっている。以上より、隅角部のハンチの有無や形状が振動伝播性状に影響を与えることが確認された。

3.3. 埋戻し土の検討

開削トンネルでは構築の施工後に埋戻しを行うが、埋戻し土の物性値が原地盤と異なっている場合も考えられる。そこで、埋戻し土のせん断波速度 V_s について、表1に示す地盤第1層（原地盤、 $V_s = 144\text{m/s}$ ）のほか、 $V_s = 132\text{m/s}$ 、 $V_s = 115\text{m/s}$ 、 $V_s = 100\text{m/s}$ とした場合の解析を行い、側壁下部（T2）水平方向を基準とした場合の、地表部（J3）鉛直方向振動加速度レベルを比較した。この結果を図6に示す。

図6では、80Hz以上の高周波数帯において埋戻しの V_s が小さくなるほど振動の減衰が大きくなる傾向がみられた。これにより、埋戻し土の V_s を小さくすることが振動伝播性状に影響を与え、特に高周波帯における振動減衰を大きくすることが確認された。

3.4. 測定結果との比較

隅角部の構造をモデルC、埋戻し土を $V_s = 100\text{m/s}$ とした場合について、解析結果と測定結果とを比較した。これを図7に示す。

図7より、50Hz以下の1/3オクターブバンドでは概ね解析値と測定値が対応していることが確認できる。これより、隅角部の構造や埋戻し土の物性を考察することで、解析の精度を上げることができると考えられる。

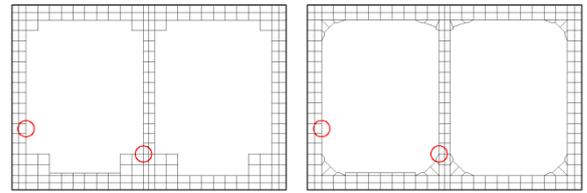
4. まとめ

本検討では、開削トンネルでの列車振動伝播性状に影響を及ぼす要因として、隅角部の構造と埋戻し土の地盤物性値について解析的検討を行った。その結果、両者とも振動伝播性状に影響を与えることを確認した。

また、両者の影響を合わせて考慮することで、測定結果と近い値を得られることを確認した。

参考文献

- 1)津野，古田，藤井，長嶋，日下部：地下鉄シールドトンネルから伝播する広帯域振動の減衰特性，土木学会論文集，No.792/III-71，pp.185-197，2005
- 2)松本，古田，津野，長嶋：地下鉄走行時振動のFEM解析における要素寸法と精度に関する検討，鉄道技術連合シンポジウム，pp.553-556，2006



(a)モデル B（四角形） (b)モデル C（三角形）

図4 トンネル隅角部の構造

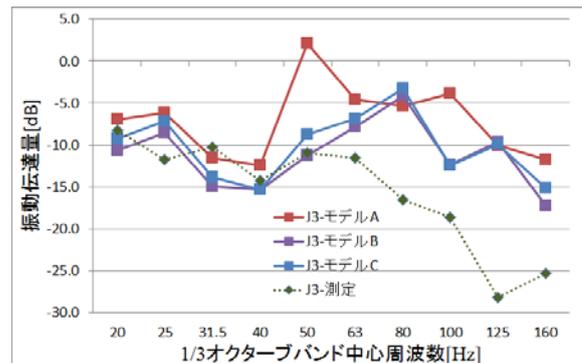


図5 トンネル隅角部の構造についての検討結果

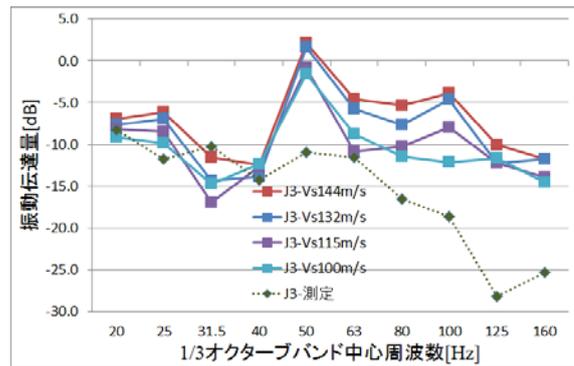


図6 埋戻し土についての検討結果

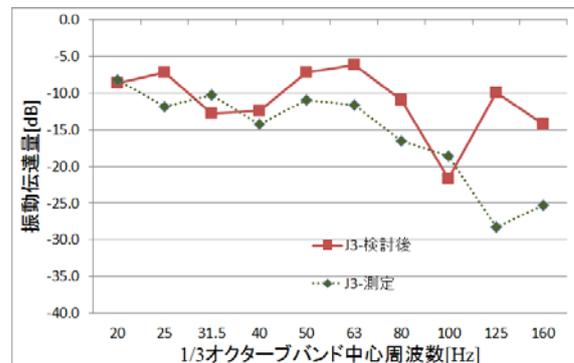


図7 測定結果との比較