

地下鉄開削トンネルにおける列車振動伝播性状の解析例

早稲田大学 学生会員 ○折原佳帆  
 早稲田大学 フェロー会員 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) 正会員 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<sup>1)</sup>。しかし、開削トンネルは構造の形状が複雑であること、土被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、測定結果と比較したので報告する。

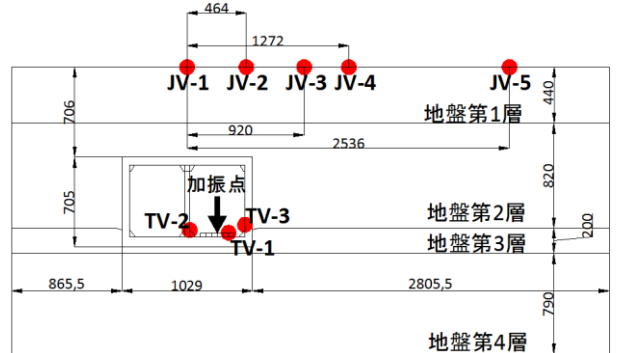


図1 解析対象 (単位: cm)

2. 解析概要

本研究では、東京近郊の地下鉄開削トンネルを対象に列車振動の測定と解析を行った。そして、振動の伝播性状を把握するとともに、解析結果と測定結果を比較した。今回の対象地点では、トンネル内に3箇所、地表面に5箇所の測定点を設けている。

本解析では有限要素として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。要素数は3750、節点数は11605、基本要素長は50cmである。入力加速度波形は、1列車通過中に軌道脇で測定された鉛直方向振動加速度<sup>2)</sup>のうち1.024秒間を切り出し、図1の矢印で示す加振点に直接入力した。この列車における列車速度は約40km/hである。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 $\alpha, \beta$ の値は既往の研究<sup>3)</sup>を参考に表2の値とした。

表1 地盤物性値

	せん断波速度 m/s	単位体積重量 kN/m <sup>2</sup>
地盤第1層	121	18.5
地盤第2層	130	17.3
地盤第3層	222	18.2
地盤第4層	350	20.1
トンネル部	2500	23.4

表2 レイリー減衰定数

	$\alpha$	$\beta$
地盤部	8.43	$1.760 \times 10^4$
トンネル部	0.377	$1.582 \times 10^4$

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

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における鉛直方向の振動加速度レベルのコンター図を図2に、80Hzにおける鉛直方向と水平方向の振動加速度レベルコンター図を図3および図4に示す。これより、開削トンネル構築の振動加速度レベルは均一でなく、その影響が地盤中の振動加速度分布にも現れていることがわかる。図2と図3を比較すると、80Hzでは比較的均一に伝播しているのに対し、波長の長い40Hzでは複雑な振動伝播性状となっており、振動が地表部付近で増幅する傾向も確認できる。図3と図4を比較すると、鉛直方向と水平方向では振動伝播の性状が異なっていることがわかる。

キーワード: 地下鉄, トンネル, 地盤振動, FEM 解析

連絡先: 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学術院赤木研究室 Tel.03-5286-3405

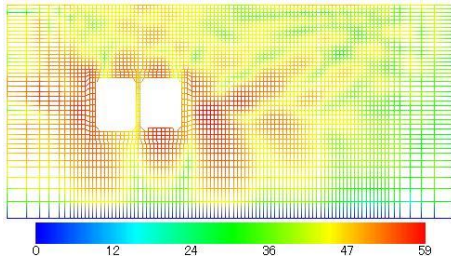


図2 コンター図 (40Hz 鉛直)

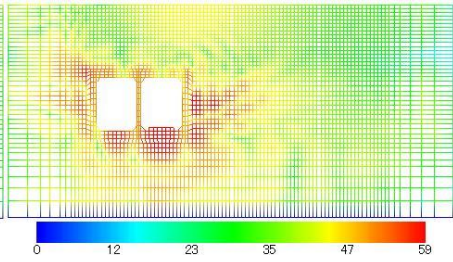


図3 コンター図 (80Hz 鉛直)

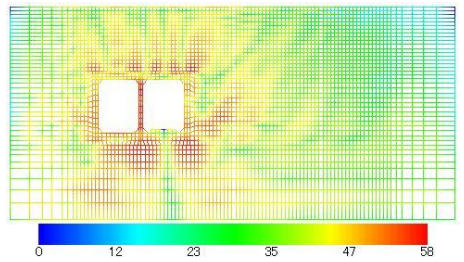


図4 コンター図 (80Hz 水平)

3.2. 測定結果との比較

本地点では現地測定が行われており、解析結果と測定結果との比較を行った。ここでの測定では複数列車の平均値（ピークレベル値）を整理している<sup>2)</sup>が、解析では1列車の1.024秒分の時刻歴加速度を入力しており若干の差があることから、各図中の測定結果は軌道脇の値で補正したものを示している。

構築での鉛直方向振動加速度レベルでの測定値と解析値の比較を図5に示す。図5より、構築における振動加速度レベルは、中柱下部 (TV-2)、側壁下部 (TV-3) とともに測定値と解析値が数 dB の誤差で概ね対応している。

次に、解析および測定により得られた地表部 JV-2、JV-3 の鉛直方向振動加速度レベルを図6に示す。これより、JV-2 では 63Hz 以下、JV-3 では 40Hz 以下の周波数帯域で解析結果が測定結果と概ね対応している。一方、これより高い周波数帯域では、解析結果が測定結果より大きくなる傾向がみられ、地盤中の減衰が小さい結果となっている。これについては、地盤中の減衰の設定や、構築と地盤の境界部のモデル化等についてさらなる検討が必要だと考えている。

4. まとめ

本検討では、地下鉄開削トンネルを対象に2次元 FEM を用いて解析を行い、測定値との比較を行った。その結果、40~63Hz 以下の周波数帯域では、解析結果と測定結果が概ね対応していることを確認した。

また、これより高い周波数帯については、地盤中の減衰や、構築と地盤の相互作用について、影響要因の検討を進める必要があると考えている。

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)津野, 伊積, 折原, 赤木, 古田: 地下鉄開削トンネルにおける列車走行時振動の測定例, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014, 3)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

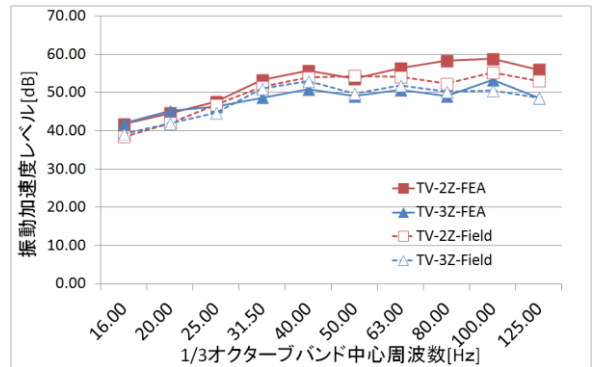
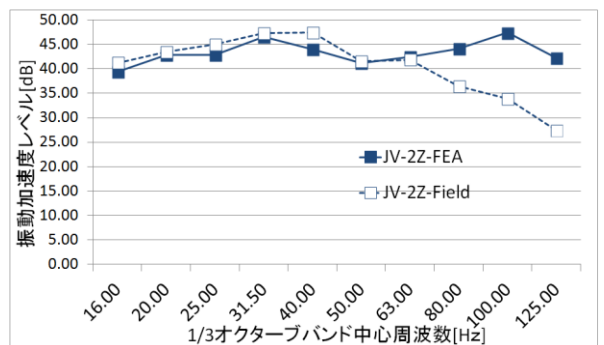
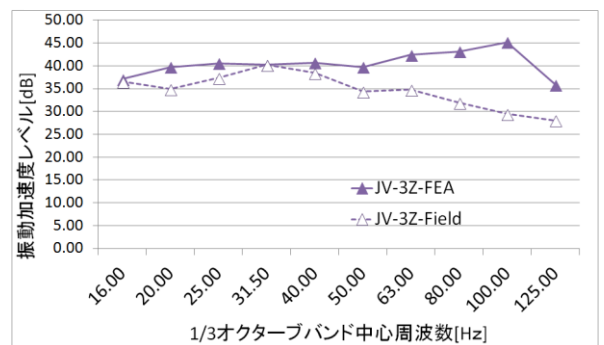


図5 解析結果と測定結果との比較 (構築)



(a) JV-2 (トンネル直上より 4.6m)



(b) JV-3 (トンネル直上より 9.2m)

図6 解析結果と測定結果との比較 (地表部)