

東京都立大学 学生員 秋好賢治

同上 正会員 長嶋文雄

同上 正会員 伊藤文人

1. はじめに 軟弱地盤に敷設した地下鉄シールドトンネルにおける列車走行時の地表部上下方向振動加速度レベル (VAL 又は VL : 人体感覚補正を加えた加速度レベル ; 単位(dB)) の予測手法を確立するための一助として、有限要素法による回帰モデルの検討を行った。この種の波動伝播問題における困難さは、入力となる列車走行時の軌道付近に生ずる波動が非常に高い周波数成分を含むのに対し、地盤の最も遅い波の伝播速度が数百 m/sec程度であり、これを一般の四辺形要素を用いて極めて精度良く解析しようとする有限要素寸法が短くなり、膨大な計算機容量と時間が必要となることである。

一方、8節点高次要素を用いた比較的粗いメッシュによる、いわゆる第一近似の有限要素を用いた応答解析例でも実測波形に似た応答が得られることを経験しており、この理由の検討も含めて考察した。

2. 列車走行時振動実態調査結果¹⁾

振動実態調査は沖積層厚約30m (N値 0~9, 地下水位GL-1.7m) の地盤に敷設された単線シールドトンネルに対して行われたもので、トンネル内と地表を換気所を利用して延長コードで結び、上下方向加速度を同時測定している。

図-1は軌道中央、インバート上の記録波形(a)とランニングスペクトルのコンタ(b)を例示したものである。軌道付近の波の卓越周波数帯は台車の通過毎に、40~80, 750~850, 1000~1100 Hz (1200 Hz までの解析) の3箇所顕著にあらわれ、軌道構造系が励起された形の高周波振動となっている。

図-2はトンネル内と地表部の同時記録波から計算された相互相関を示したものである。ピークが1~2箇所あり、波動の伝播距離と時間遅れ(横軸)から、これらの波の伝播速度を求めると 350~900 及び 130~260 m/sec となり、それぞれ地盤のP波、S波の伝播速度に相当するが、前者の方が相関が大きい。また、クロススペクトルより、地盤を伝播するこれらの波の主周波数帯は40~60 Hz であることがわかった。従って、主要波の波長は 6~9 m程度以上となり、この波に主眼を置けば要素寸法は比較的小さいもので済むことになる。

3. 高次要素による回帰モデルと応答計算結果 粘性境界のある第二近似モデルとし、8節点 Isoparametric要素、Consistent mass、さらに

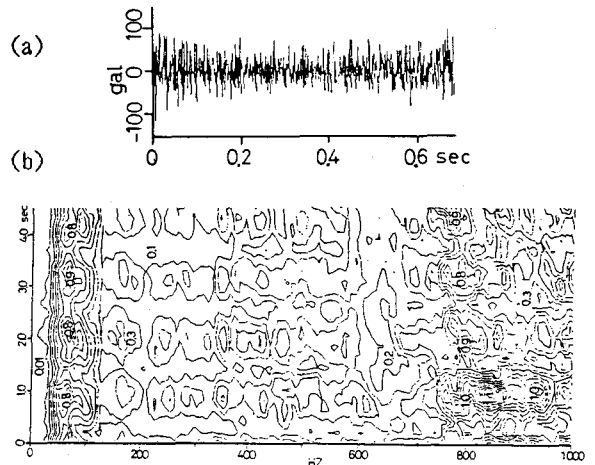


図-1. 軌道付近の加速度波とランニングスペクトル

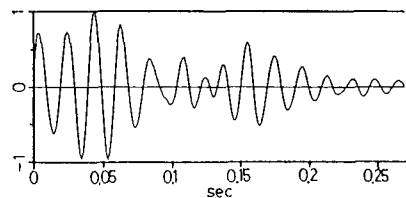


図-2. トンネル内と地表の加速度波の相互相関

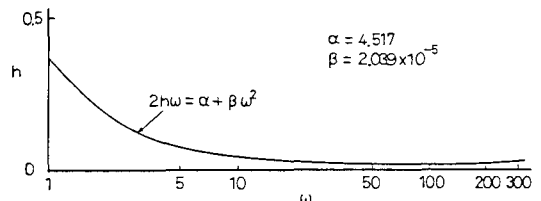


図-3. 高次減少性を有する粘性減衰

粘性減衰は 100Hz付近まで高次減少性を持たせた Rayleigh-damping (図-3) を用いた。

文献2)と同様な検討を高次要素について行った結果、波長を2分割するような要素寸法での percent errorは 5 %以内であり、四辺形要素で4分割するよりも幾分精度が良かった。

主要波動に主眼を置き、図-4に示すような比較的粗いメッシュ分割をしたモデルと表-1に示す諸係数を用いて時間刻み 1/1500sec毎の応答計算を行った。

図-5、6はそれぞれ実測結果と応答計算結果の加速度波形とスペクトルを示したものである。トンネル内および地表部の応答はともに実測結果と非常に良く対応している。

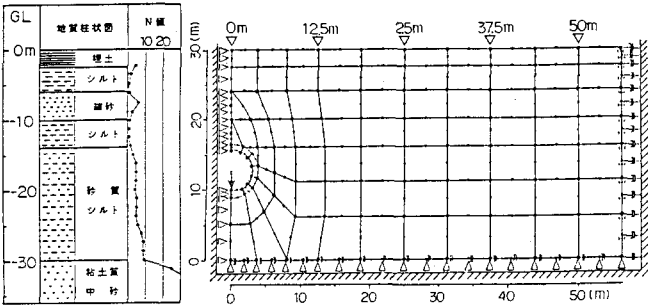


図-4. 高次要素による分割例と地質柱状図

地質または構造物	弾性係数 (kg/cm ²)	ポアソン比	重量 (ton/m ³)
埋 土	1000	0.40	1.6
シルト	1000	0.45	1.8
細 砂	1500	0.40	1.8
砂質シルト	2600	0.38	1.8
セグメント及び二次覆工	300000	0.26	2.3

表-1. 地盤及び構造物の諸係数

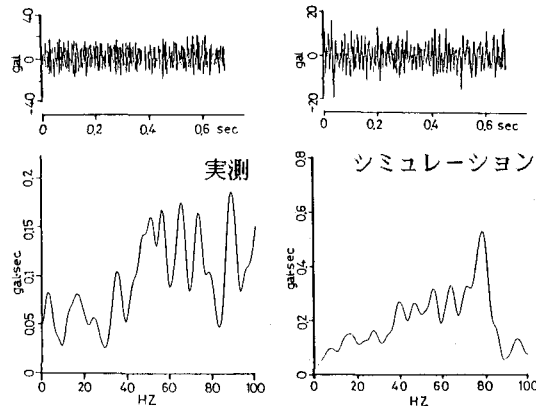


図-5. 結果の比較 (トンネル側壁)

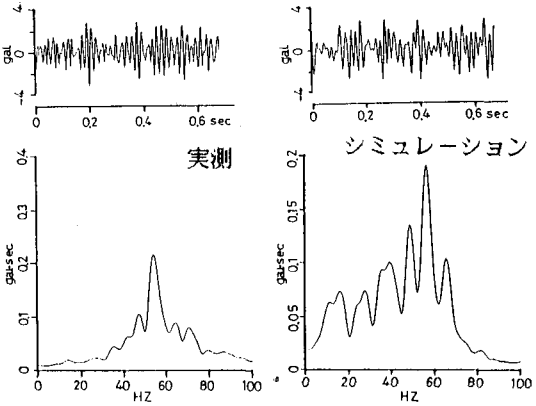


図-6. 結果の比較 (地上25m)

図-7は ISO規格の 1/3オクターブ分析 (0.71~90 Hz)による振動レベルの比較を示したものであるが、トンネル直上の地表部(0m)と50m地点に若干の差があるが全体的に良い一致が認められる。

4. おわりに

地盤の主要波に焦点をしぼった解析でも上記のような良好な結果が得られることが判った。この主要波の伝播速度はS波速度の2倍程度であることから、低レベルで高い周波数を有する入力に対する地盤の波動伝播問題においては地盤の粗密波の影響が大きいと言えよう。

参考文献1)軟弱地盤に敷設した地下鉄シールドトンネル周辺地盤の列車振動実態調査、第12回関東支部。2) Kuhlemeyer,R.L. and Lysmer,J.:F. E. M. accuracy for wave propagation problem,SM,T.N.of ASCE,'73.

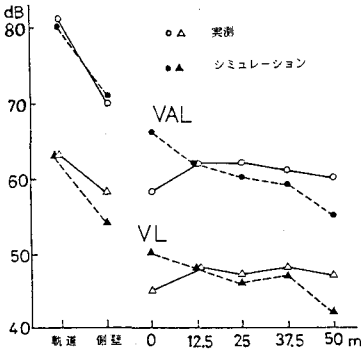


図-7. 振動レベルの比較