

東京都交通局 正会員 ○古田 勝
 東京都立大学工学部 正会員 長嶋文雄
 東京都立大学工学部 正会員 伊藤文人

1. はじめに

地下鉄の列車走行に伴う振動は、地震動と比較すると高周波、低レベルという特徴を有する。この特性により極めてまれではあるが、地下鉄トンネルを比較的浅く敷設した場合や、建築物の基礎に近接している場合に、二次的な振動（騒音）が発生する例が見られる。

本報告では、これらの問題に対する基礎的資料として、特にトンネル周辺地盤の振動特性を把握することを目的とし、アインパラメトリック有限要素法による振動のシミュレーションを行ない、実測結果との比較検討を行った。

2. 有限要素法による振動のシミュレーション

振動のシミュレーションは、地下鉄トンネルと列車を単位長さの断面で考える2次元の平面問題として取り扱い、要素はアインパラメトリック要素¹を用いた。

計算の方法は、剛性及び質量マトリックスの作成、固有値解析、モードアナリシスによるルンゲ・クッタ法を用いた応答計算、計算結果のスペクトル分析の順に行った。

シミュレーションに先だち、都営地下鉄新宿線豊島町シールドトンネルの直上、5m、10mの3点（図-1）とトンネル内の3点（図-2）について振動加速度の測定を行った。なお、本シールドトンネルは地上測定の制約から撰択したものであり、直上の振動レベルは52dB程度のため、地盤の振動が問題となった箇所ではない。

1). 測定値の解析結果

測定値を1/1000秒刻みでA-D変換し、波形の作画及びバースペクトル分析した結果を図-3に示す。軌道直下の測点では60Hz、シールド直上では50~60Hz、地表10m地点では20~40Hzがそれぞれ卓越している。

2). シールドトンネルのシミュレーション

前記のシールドトンネルについて、図-4に示す要素に分割し、表-1に示す諸係数を用い、入力波を軌道直下の実測値により、

1/1000秒刻みで約1秒間のシミュレーションを行った。

地盤または構造物	N 値	弾性係数	アインソッ	重量
沖積層 シルト及び細砂層	10	700 kg/cm ²	0.4	1.8 ton/m
洪積層 粘土層	20~30	3000 *	0.4	1.8 *
洪積層 中砂及び細砂層	50	6000 *	0.4	1.8 *
洪積層 シルト及び細砂層	30	3000 *	0.4	1.8 *
タマ川セメント層及び二次覆工	—	252000 *	0.3	2.5 *

表-1. 地盤及び構造物の諸係数

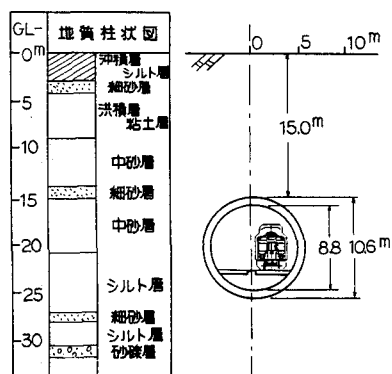


図-1 豊島町シールドトンネル

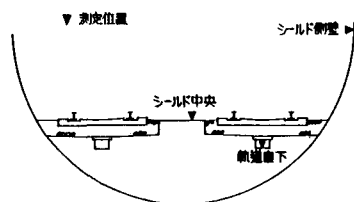


図-2. シールドトンネル内の測定位置

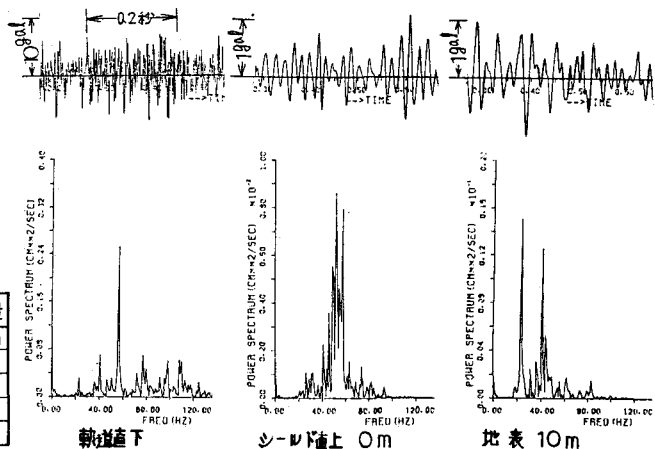


図-3. 振動加速度の波形及びパワースペクトル

なお、減衰係数は $H=0.01\sim0.05$ を用いた。

- 固有値解析の結果から、地盤の固有振動数は4~100Hz程度である。
- シミュレーションから得られた振動加速度の波形とスペクトル分析の結果を図-5に示す。振動加速度波形を測定値(図-3)と比較すると、形状は似た波形を示している。また、パワースペクトルを比較すると、20~60 Hzの卓越する周波数は同一な傾向を示しているが5 Hz 付近に差が見られる。この差については、実測値がアスファルト舗装上で測定を行ったことなどの影響が考えられる。
- 一車両の通過時間に相当する約1秒間の振動加速度の全振幅を測定値と比較すると図-6のとおり、各点の加速度の傾向はほぼ一致している。

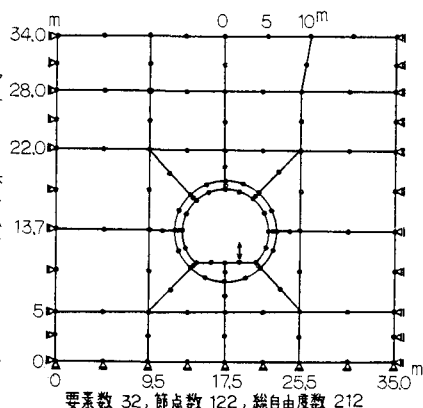


図-4、シールドトンネルの要素分割

3. 軌道の振動モデルから作成した入力波によるシミュレーション

軌道を有限長の質点系モデルに仮定し、輪軸を軌道に落下し、衝撃を与えた時の挙動について報告している佐藤氏の論文²にもとづき、表-2に示す諸係数を用いて入力波を作成し、シミュレーションを行った。

記号	名 称	重量又はばね定数
M	輪軸重量の $\frac{1}{2}$	500 kg
K	車輪レール接触ばね	1000 ton/cm
m1	50Nレール重量	50.4 kg/m
k1	軌道パット	70 ton/節
m2	まくらぎバラスト床重量	1606.5 kg/m
k2	まくらぎ支持ばね	1000 ton/cm
m3	構築物重量	7.5 ton/m
k3	支持ばね	1492.5 ton/cm

表-2 軌道の諸係数

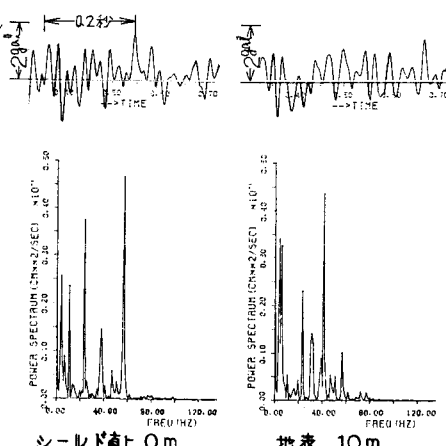


図-5、シミュレーションの結果($H=0.01$)

軌道の振動モデルの42及び75Hzの二次モードまでの振動波形を入力波としてシミュレーションした結果について、振動加速度の全振幅を比較すると、図-7に示すとおり、傾向はほぼ一致している。

以上の振動のシミュレーション及び測定値の解析から、土被り15mの豊島町シールドトンネルでは、軌道の固有振動数に相当する40~70 Hzの振動が地表に伝搬していると考えられる。

4. あとがき

本報告では、複線シールドトンネルのシミュレーションの結果について述べたが、複線箱形トンネルについても同様な検討を行っている。

これらの結果から、有限要素法による振動のシミュレーションが地下鉄トンネル周辺地盤の振動特性を知る上での有効な手法の一つであることが確認された。

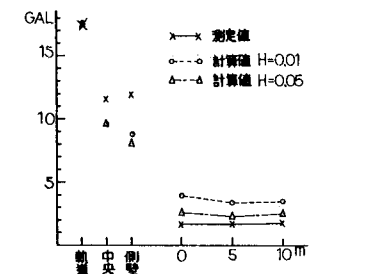


図-6、各点の振動加速度(全振幅)

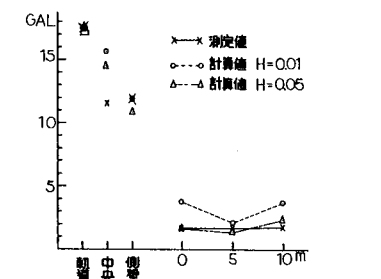


図-7、軌道の振動モデルによる各点の振動加速度(全振幅)

参考文献

- 川井忠彦監訳 有限要素プログラミング 丸善
- 佐藤裕 軌道構造と振動との関係についての理論的考察 鉄道業務研究資料 Vol.13 NO.8