

東京都交通局 古田 勝
鹿島建設 高橋健一
東京都立大学工学部 長嶋文雄
東京都立大学工学部 伊藤文人

1. はじめに

最近における大都市の地下鉄トンネルは、駅部分を開削工法による箱形トンネル、駅間部分をシールドトンネルで建設する例が多くなり、その施工例も多くなっている。

地下鉄シールドトンネル中を列車が走行するときの地盤振動については、これまで発表されている文献^{1,2}から、シールドトンネルの土被りが10~20mの場合、地表の上下振動は振動レベルが50dB前後であり、人体には感じる事ができない程度の低レベルの振動であるものの、地震動や道路交通振動に比較し高周波振動で、20~60Hzの周波数が卓越する特徴があることが確認されている。

本報告では、地下鉄単線シールドトンネル中を列車が走行するときの地盤振動の伝搬特性を知るため、シールドトンネルと地盤の振動を測定するとともに、アイソパラメトリック有限要素法²による振動のシミュレーションを行い、測定値とシミュレーションの結果を比較検討を行った。

2. 地下鉄単線シールドトンネルの振動測定結果

都営地下鉄新宿線花園トンネルにおいて、地上4測点、トンネル内3測点(図-1)について振動加速度の測定を行った。測定値を地上測点1 / 500 秒、トンネル内測点1 / 1500秒刻みでA-D変換し、スペクトル分析した結果を図2、3に示す。

トンネル内測点の振動周波数の範囲は、数Hz~600Hz付近まで分布し、ピーク値は台車通過時に記録されている。また、地上の卓越振動周波数は30~60Hzの範囲にある。

土被り11.6mの本トンネルは振動加速度のピーク値で比較すると地上は軌道直下の約1/25である。

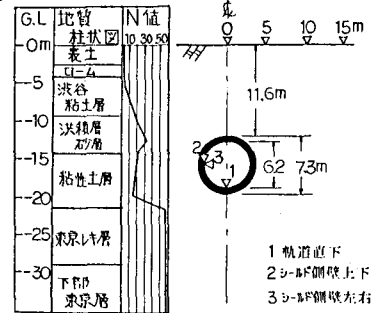


図-1、シールドトンネルの測定位置

3. 地下鉄単線シールドトンネルの振動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、2車両の通過に相当する約2秒間のシミュレーションを行った。

入力波は軌道直下の測定値を用い1/1500秒刻みで計算している。また、地盤とダクタイルセグメント及び二次覆工コンクリートの材料係数は表-1に示す値を用いている。

このうち、地盤の弾性係数は既存の資料を参考として振動の伝搬速度から、次式に示す動的弾性係数(E_d)を用いている。

$$E_d = 72.5 \cdot E_1 \cdot \frac{0.794}{\dots} \quad (1) \quad E_1: \text{静的弾性係数}$$

なお、減衰係数(H)については試算の結果から、2%が最適であった。

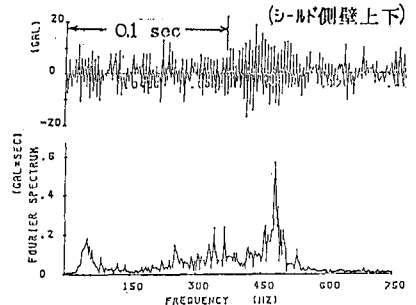


図-2、実測値の振動加速度の波形及びフーリエスペクトル

地質及び構造物	N値	弾性係数	ポアソン比	重量
沖積層 粘土、ローム、渋谷粘土	3~5	2800kg/cm ²	0.4	1.5 t/m ³
洪積層 上部東京砂層	12~20	5250	0.3	1.9
洪積層 上部東京粘性土層	15~45	8400	0.3	1.8
ダクタイルセグメント及び二次覆工	-	550000	0.25	2.5

表-1、地盤及び構造物の諸係数

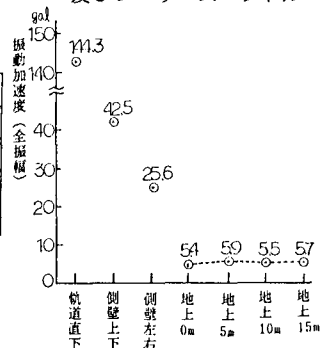


図-3、各測点の振動加速度(全振幅)

4、振動のシミュレーションの結果

結果を図-5、6に示す。振動加速度のピーク値及びフーリエスペクトルは同一の傾向である。

シミュレーションのフーリエスペクトルについて、次式を用いて

$$A_n = \frac{1}{T} \int_{f_1}^{f_2} F(f) df \quad \text{---(2)}$$

$$A_n$$
 ; 振動加速度の実効値
 $F(f)$; フーリエ振幅
 f_1, f_2 ; 上下限周波数

1/3オクターブバンドの振動加速度 (A_n 、図-6) をもとめ、振動規制法施行規則に示す振動レベル (V, L) 及び振動加速度レベル (V, A, L) で表示すると、表-2の通りである。

	入力	地上0 m		地上5 m		地上10 m		地上15 m	
		実測	計算	実測	計算	実測	計算	実測	計算
V, L	66	51	53	54	51	49	49	51	49
V, A, L	81	64	65	68	64	63	65	64	65

表-2、振動レベル及び振動加速度レベル 単位; dB

振動レベル及び振動加速度レベルとも、シミュレーションの結果は測定値にほぼ対応している。

5、あとがき

以上、シールドトンネル周辺地盤の特性について述べたが、シミュレーションに用いる地盤等の諸係数の算定するための資料などが不十分であるものの、シミュレーションの結果から要素数31のモデルでもシールドトンネル周辺15 mの範囲ではその特性を表しえると考えられる。

振動のシミュレーションにより、シールドトンネル周辺地盤の振動特性を把握することができ、シールドトンネル掘削位置と地上の振動の関係などを予測することが可能であると思われる。

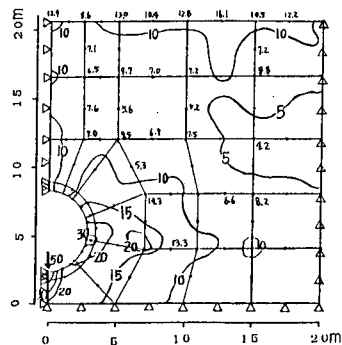


図-4、シールドトンネルの要素分割及び振動加速度分布図の一例

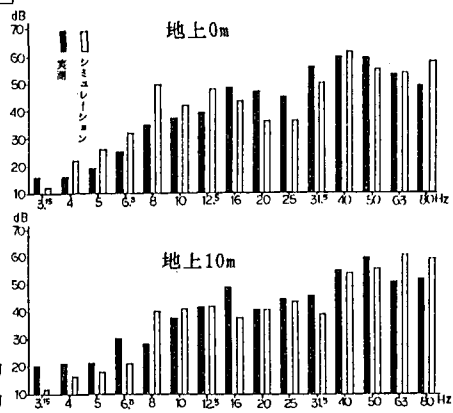


図-6、1/3オクターブバンドの振動加速度レベル

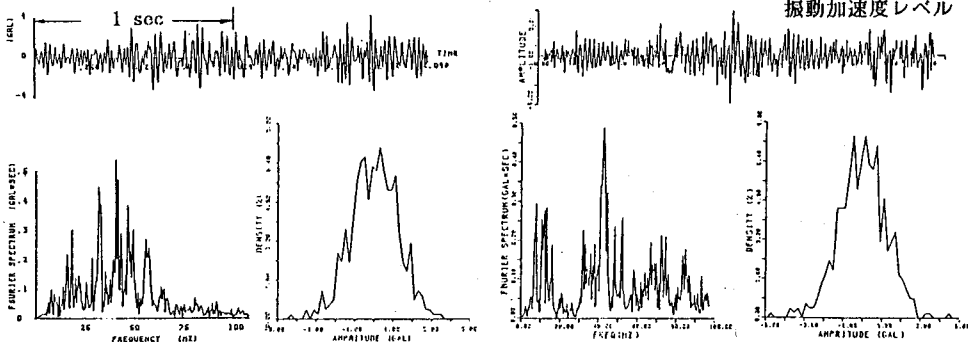


図-5、地上0 m地点の振動加速度の波形、フーリエスペクトル及び確率密度分布

(左側実測、右側シミュレーション)

参考文献

- 1) 及川、風巻 地下鉄シールドトンネルの地表における列車振動の調査例 第2回 土木学会関東支部大会
- 2) 古田、長嶋、伊藤 列車走行に伴う地下鉄トンネル周辺地盤の振動特性 第38回 土木学会全国大会