地盤振動に関する模型実験の数値解析

中央大学 研究開発機構 正	会員 〇	石井 ;	武司
東日本旅客鉄道(株) 正	会員	金田	淳
東日本旅客鉄道(株) 正	会員	池本	宏文
東日本旅客鉄道(株) 正	会員	高崎	秀明
中央大学 理工学部 正	会員	齋藤	邦夫

# 1. はじめに

列車走行時に高架橋から伝搬される地盤振動を敷地内の地 盤で実施可能な対策を考案するために小型模型実験を実施し ている。その一つとして防振壁の伝達特性を調べる実験を行 った。この実験結果に対して一般的な数値解析手法による再 現を試みた。

### 2. 模型実験の概要<sup>1)</sup>

模型の大きさ,基礎,起振機ならびに加速度計(地表面:S1 ~S4,地中:U1~U4)の配置を図-1に示す。模型の縮尺は実 在する橋脚の概ね 1/100 である。土槽の背面および底面には スタイロフォームを貼付し,土槽面で振動が反射することを 防いだ。地盤材料は小名浜砂で,相対密度が 60%を目標に, 空中落下法で4層にわけて地盤を作製した。表-1に模型作製 時に測定したせん断波速度と密度を示す。

模型杭の断面積が実物相当になるように橋脚基礎模型 (フーチング:厚さ 18mm, 杭:φ18mm×100mm×4本)を アルミ合金製で作製した。その上に起振機を据え付けて, 316Hz(香川の相似則 2)によれば実物換算で 10Hz に相当 する)の正弦波の振動を与えた。この周波数は高架橋沿線 で測定された地盤振動のピーク周波数の一つである。防 振壁の材料は真鍮で,それを地盤作製後に差し込んだ。

## 3. 数値計算のモデル

模型実験の再現を時刻歴応答解析で試みた。適用し<sup>95</sup> た数値計算ツールは陽解差分法の「FLAC3D」である。 模型土槽の側面と底面では振動が吸収されている。数 値計算では,側面方向には自由地盤を設け,解析領域 との間のダンパーを通して振動を吸収させた。底面に 対しては粘性境界を与えて振動の反射を防いだ。メッ シュ分割は1つのメッシュが直方体になるように行っ た。図-2に分割数とメッシュサイズを示す。減衰は履 歴減衰とし,せん断弾性係数と減衰定数のひずみ依存 は室内試験結果に合うように物性値を設定した。



図-1 模型地盤の寸法および起振点と計測点の配置

表-1 模型地盤のせん断波速度と密度

深度 (mm)	せん断波速度(m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )
$0 \sim 25$	51.7	1.49
$25 \sim 80$	86.7	1.49
$80 \sim 150$	113.3	1.49
$150 \sim 240$	143.3	1.50



キーワード 地盤振動,模型実験,再現解析,有限差分法,陽解差分法 連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-277 中央大学研究開発機構 TEL03-3817-1629

## 4. 実験結果と計算結果の比較

起振機の加速度波形を入力して計算を行った。図-3に示すよう に、計算で入力した波形は最初の3波まで徐々に振幅を増加させ、 4波目からは本来の振幅にした。鉄道における地盤振動は12.5m 離れの地表面で評価される。この距離は模型において125mm地点、 すなわちはS1に相当する。直接基礎、杭基礎および防振壁を伴う 杭基礎の3つのケースについて、計算で得られた地表面の加速度波 形を模型実験結果との比較で図-4~6に示す。比較にあたり、4 波目の正のピーク位置が合うように模型実験結果の時間軸をずら した。5波目以降の波形の形状および振幅の大きさは、直接基礎お よび杭基礎のケースで計算結果と実験結果が良い一致が認められ る。防振壁を挿入したケースに関しては、波形の形状が良く似てい るが、計算結果の振幅が実験結果の約1.5倍である。その振幅は直 接基礎や杭基礎と比べても大きく、壁によって増幅するような結果 となっている。振源から拡散した振動波を壁が全て受け持つことで それ自身も振動し、振幅を増幅させたのではないかと思われる。

模型実験および計算で得られた加速度波形の最大値と最小値の 差を両振幅とみなし,加振点の加速度波形(図-3)の振幅で正規化 することで減衰(振幅比)を評価する。図-7 に橋脚基礎模型から の離れ(水平距離)と振幅比の関係を示す。着目地点の125mm離れ では,振幅比は防振壁を有する杭基礎の模型が最も小さく,約0.2 である。その実験ケースに対する計算結果は前述のように実験結果 よりも振幅が大きく,模型および計算を含めても振幅比が最大であ る。直接基礎および杭基礎の振幅比は0.3 前後で,実験値と計算値 がほぼ同じである。両者のケースでは,それ以遠でも両者の対応が 良い。地盤振動の減衰は125mm地点までが最も大きく,それ以遠の 減衰は緩やかで,500mm地点までの振幅比の減少は0.1 に留まる。

#### 5. まとめ

小型模型の振動実験結果に対して一般的な数値解析手法による 再現を試みた。その結果を以下に示す。

- 地表面の加速度波形は、直接基礎および杭基礎とも形状および振幅が概ね模型実験と数値計算の結果が一致する。防振壁を設置した場合は、加速度波形の形状が似ているものの、振幅は計算結果が模型実験の約1.5倍である。
- ② 地盤振動の減衰は 125mm 地点までが最も大きく、それ以遠の 減衰は緩やかである。

今後は、防振壁の挙動を詳細に分析し、模型実験と数値計算の差 0 125 250 375 500 異が生じた原因を究明する。それ以外では実験結果と計算結果の整 図-7 加速度波形の振幅比と距離の関係 合性が良いことから、模型実験の結果は信頼性が高いと思われる。よって、相似則に関しても検討を加えて実 験の成果を実在の高架橋へ適用していきたい。

- 参考文献 1)金田淳,池本宏文:防振壁による地盤振動低減に関する模型実験,土木学会第 69 回年次学術講演会,2014年.
  2)香川崇章:土構造物の模型振動実験における相似則,土木学会論文報告集,第 275 号, pp. 69-77, 1978年.
  3) Itasca 社: FLAC3D Version 3.1 Optional Features, 2006.
- (m/s/s) 2 0 加速度 -2 -4 -8 -10 0.000 0.010 0.030 0.050 0.020 時間(s) 図-3加速度波形(入力)の比較 実験値:S1 計算値 (m/s/s) 2 加速度・ -2 地表面 S1 -10 0.000 0.010 0.020 0.030 0.040 0.050 時間(s) 図-4 直接基礎の加速度波形の比較 実験値:S1 計算値 (m/s/s) 加速度( 地表面 S1 0.015 0.020 0.025 0.010 時間(s) 図-5 杭基礎の加速度波形の比較 実験値:S1 計算値 (m/s/s)加速度 -10 0.005 0.000 0.010 0.015 | 地表面 S1 | 0.025 時間(s) 図-6 防振壁設置時の杭基礎の加速度波形の比 ● 直接基礎:実験 直接基礎:計算 0.6 杭基礎:実験 杭基礎:計算 現化) 0.5 防振壁 ビ ビ ビ の.4 ■ 第0.3 で) 0.2 포 匾 0.1 0.0 125 250 3<sup>5</sup> 橋脚模型からの離れ(mm) 375 500

計算値