

充腹アーチ橋の地震時挙動における間詰土砂を対象とした遠心力載荷実験の再現解析

西日本高速道路(株) 正会員 福田 泰樹 正会員 辻 浩幸
 NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) ○正会員 浅原 なつ実 正会員 荒巻 真二
 正会員 難波 正幸 正会員 西村 航平

1. はじめに

充腹アーチ橋は、アーチリブ上に側壁を有し、中に土砂を載せて転圧することで舗装や排水構造を一般の土工部と同様に取り扱うことができる構造である。そのため、走行性や耐久性、維持管理性に優れた構造である。

西村ら¹⁾²⁾が実施した遠心力載荷実験では、充腹アーチ橋の直角方向加振を対象に、間詰土砂が地震時に側壁に与える影響（土圧）および下部構造へ与える影響（慣性力）の把握を目的に実験が行われており、間詰土砂の諸元や加振力の大きさにより間詰土砂の動的挙動が変化することが確認されている。しかし、遠心力載荷実験では相似則に限界があることから、FEM 解析を実施して得られた結果と実験結果を相互に補完することで間詰土砂の地震時挙動を確認することとする。

そのため本稿では、遠心力載荷実験の再現を FEM 解析により行ったため、その結果を報告する。

2. 遠心力載荷実験

地盤工学分野における遠心力載荷実験は、縮小模型地盤に遠心力を作用させることで、対象とする実地盤の応力状態を再現する実験である。図-1 に遠心実験模型の構成を示す。実大橋梁を 1/40 スケールに縮小した形状をベースにアーチの 1 径間分をピックアップし、剛な模型として作製した。模型の内側には土圧計を設置することにより間詰土砂の土圧を計測するとともに、模型は二分力計を介して土槽内に固定し、模型の柱頭部に作用する荷重を計測できるようにした。模型に遠心加速度 40G を載荷した状態で、60Hz（実物換算 1.5Hz）の正弦波を加振レベル 5G～25G に変化させて加振を行った。本稿では 25G の加振について述べる。

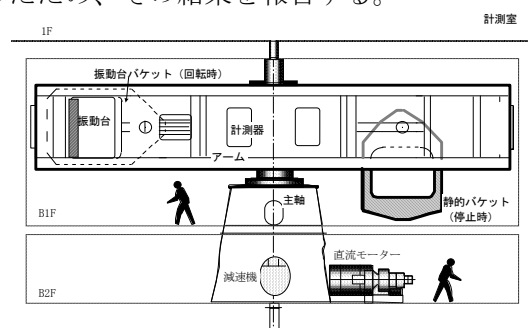


図-1 遠心力載荷実験装置

3. 再現解析

(1) 解析手法

本研究では、有限要素解析法に基づいたプログラムである FEANX を用いて遠心力載荷実験を再現する。

対称性を利用し図-2,3 に示す実験模型の 1/2 として実橋換算した解析モデル（図-4）を作成し、Z 方向に加振した。側壁にかかる土圧、間詰土砂の加速度および慣性力に着目し、実験結果と再現解析結果を比較することにより解析モデルの妥当性について検討した。



図-2 実験模型（全体）



図-3 実験模型（土槽との接合部）

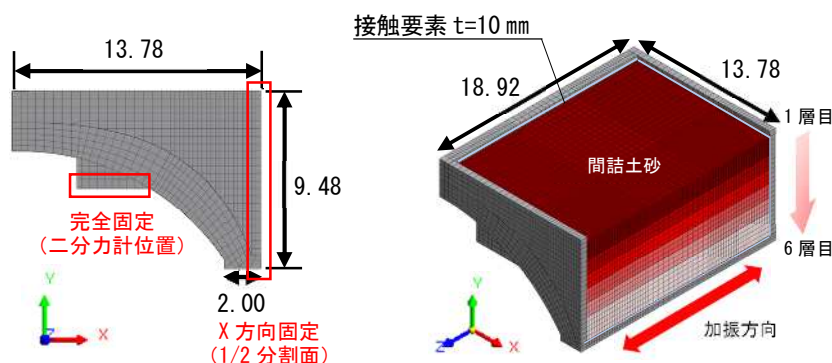


図-4 解析モデル（単位：m）

キーワード 充腹アーチ橋, 地震時挙動, 土圧, 遠心力載荷実験, 再現解析

連絡先 〒732-0057 広島市東区二葉の里 3-5-7 GRANODE 広島 5 階 NEXCO 西日本コンサルタンツ(株)

(2) 解析条件

入力地震波は、遠心力载荷実験では実橋換算で 0.625G 相当の正弦波を目標波形として加振させているが、模型の応答などの影響で実際の挙動と目標波形には差異が生じるため、再現解析では実際に土槽で計測された加速度波形を近似した波形を用いることとした。図-5 に解析入力波形を示す。なお、正弦波の加速度は 0.625G 相当を最大値としている。また、拘束条件は二分力計位置を完全固定とし、分割面を X 方向固定とした。

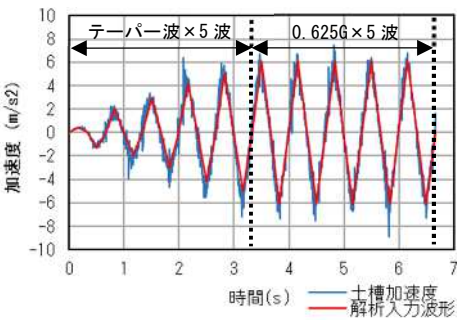


図-5 解析入力波形

(3) 材料構成則の決定

間詰土砂は土の三軸試験結果、接触要素は土と模型材料の摩擦試験結果を基に構成則を決定した。表-1 に間詰土砂の構成則を示す。なお、間詰土砂は、FEM 解析中の残差力の分配計算が収束しやすいこと、限られた試験値からパラメータを決定しやすいこと等から Mohr-Coulomb (弾完全塑性モデル) の材料構成則を採用した。

また、接触要素は薄い連続体要素を用いることとし、構成則は間詰土砂と同じ Mohr-Coulomb としている。

表-1 材料構成則

	単位	土の構成則 (Mohr-Coulomb)					
		①	②	③	④	⑤	⑥
地表面からの深さ	m	0~1.56	1.56~2.76	2.76~3.96	3.96~5.16	5.16~6.36	6.36~8.36
粘着力 c	kN/m ²	14.3					
摩擦角 φ	°	37.4					
単位重量 γ	kN/m ³	16.45					
変形係数 E ₅₀	kN/m ²	1.12E+04	1.67E+04	2.15E+04	2.62E+04	3.09E+04	3.60E+04
ポアソン比 ν		0.3					

4. 再現解析結果と遠心力载荷実験結果の比較

前節に基づき、計測された各層の土圧最大値を図-6、切断面の加速度を図-7、加振方向の反力合計を図-8 に示す。土圧の解析結果は、北壁および南壁で計測された土圧分布の平均程度であり、上層部は慣性力により土圧が大きく、下層部は周面摩擦の影響により土圧が小さくなっていた。

また、実験結果の加速度は実橋換算で最大値 12.0[m/s²]、解析結果の最大値は 15.7[m/s²]であり、最大値の増幅、位相の遅れが確認された。

中詰土砂の慣性力は、解析結果の最大値は 9134.2[kN]であり、慣性力が理論値に比べ増大していたことから、実験結果と傾向が一致する結果となった。

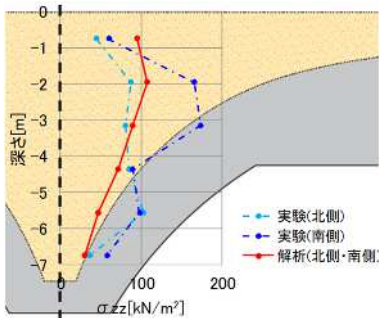


図-6 土圧分布

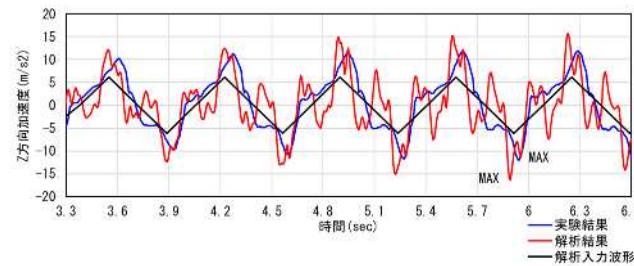


図-7 加振方向加速度 (地中部最上層)

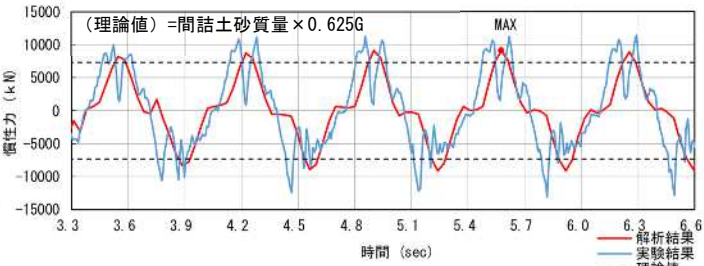


図-8 間詰土砂慣性力 (加振方向反力)

5. まとめ

充腹アーチ橋の遠心力载荷実験結果を基に再現解析を行い、間詰土砂が直角方向に作用する際の土圧、加速度、慣性力に注目して結果を整理した。いずれの結果においても実験結果と近い傾向が得られたことから、提案した解析モデルは遠心力実験結果を概ね再現したモデルである。

今後の展望としては、得られた知見を基に、非線形 3 次元骨組み解析に反映することで、橋梁耐震性能照査のための合理的な非線形 3 次元骨組みモデル化方法の検討を実施する。

参考文献

1) 西村ら：充腹アーチ橋の地震時挙動における間詰土砂を対象とした遠心力载荷実験 (その 1) 土圧の計測値と設計式の比較, 第 77 回年次学術講演会, 2022.

2) 樋口ら：充腹アーチ橋の地震時挙動における間詰土砂を対象とした遠心力载荷実験 (その 2) 間詰土砂による慣性力の検討, 第 77 回年次学術講演会, 2022.