

弾性壁に作用する動土圧に関する遠心模型実験（その2：数値シミュレーション）

(株) 高速道路総合技術研究所 正会員 高原 良太 正会員 広瀬 剛

(株) 大林組 正会員 加藤 一紀 正会員 ○樋口 俊一

1. はじめに

別報¹⁾において、地震時の橋台と背面土の相互作用と動土圧の関係を遠心模型実験により把握した。本報では、地盤の動的非線形特性を考慮した時刻歴非線形解析手法による数値シミュレーションについて報告する。

2. 解析方法の概要

解析は2次元FEM非線形時刻歴応答解析手法で、汎用地震応答解析FEMコードTDAP-IIIを用いた。中規模地震を対象とした正弦波・ 2m/s^2 加振と、大規模地震を対象とした正弦波・ 6m/s^2 加振の2ケースを対象に実施した。解析モデルの概要を図-1に示す。解析モデルは遠心模型を実物スケールとして設定したものである。解析は奥行き1.0m分をモデル化し、その奥行での荷重および剛性で検討した平面ひずみモデルである。橋台（弾性壁）は線形梁要素でモデル化した。弾性壁および土槽左端部（剛壁と仮定）と地盤の境界はジョイント要素を配置し、その直応力から作用土圧を評価することとした。弾性壁の材料定数を表-1に示す。ヤング係数は実験時に実測した弾性壁の固有振動数214Hz（実機換算7.13Hz）に合致するように調整した。また、初期応力解析においては、遠心重力30g到達時の土圧分布を再現するため弾性壁フーチング部のヤング係数を再調整した。図-2に初期応力解析による弾性壁の作用土圧を実験値とともに示す。背面土のせん断剛性の低下を考慮した非線形モデルにはGHEモデル²⁾を用いた。地盤定数の設定方法を以下に示す。

①初期剛性 G_0 ：比較的密（ $D_r=70\%$ ）な岐阜珪砂7号の動的変形特性試験結果（図-3）を参照して設定。

$G_{0m}=70\text{MN/m}^2$ （ $\sigma'_m=100\text{kN/m}^2$ ）を基準とし、深さ方向に拘束圧依存性（0.5乗則： $\sigma'_c=2/3\sigma'_v$ ）を与えた。

②せん断強度： $\tau_f=\sigma'_c\tan\phi$ で設定。 ϕ は岐阜珪砂7号・相対密度90%の3軸試験（CD試験）結果 $\phi_{\text{peak}}=40^\circ$ 。

GHEモデルの基準ひずみ γ_r を $\gamma_r=\tau_f/G_0$ で設定し、剛性低下特性にせん断強度を反映させた（図-4）。

③減衰定数：比較的密な岐阜珪砂7号の動的変形特性試験結果（図-3）を参照して設定。

3. 解析結果の概要

図-5に正弦波1.5Hz、最大加速度振幅 2m/s^2 加振および 6m/s^2 加振における弾性壁での計測土圧最大・最小値の深度分布を実験結果と共に示す。加振加速度 2m/s^2 では深さ方向にほぼ線形に土圧が大きくなり、実験値と解析結果は良く一致している。一方、加振加速度 6m/s^2 では中間深度において解析値のばらつきが大きい、深部での増加傾向は実験と同様に加振加速度 2m/s^2 のケース異なることがわかる。また、最少土圧の解析値を各土圧計の分担領域で平均化した緑色点線で比較すると、実験値と近い分布となる。

図-6に弾性壁に作用する地震時土圧合力の時刻歴を実験値とともに示す。 2m/s^2 では実験値と解析値はほぼ一致することがわかる。最小値は5kNで、図-5のように弾性壁ほぼ全域に渡り土圧が消失する瞬間があるが、加振前後での土圧合力の変動はほとんど見られない。一方加振加速度 6m/s^2 では解析値の最大値は実験値よりも小さく、弾性壁への作用力が小さい。最小値は0kNで弾性壁全域にわたり土圧が作用しない時間が断続的に出現することとなったが、加振前後での静的土圧合力の増加は実験値ほど大きくない。

4. 地震時土圧係数の比較

図-7に地震時土圧合力時刻歴の最大値から抽出した、地震時土圧係数 K_{as} と震度 k_h の関係を●印でプロットした。図中には実験結果の整理¹⁾と同様に、地盤物性値を用いた物部・岡部理論による地震時土圧係数 K_{as} と震度 k_h の関係を実線および点線で示すとともに、各加振ケースでの実験値を■印でプロットした。図から、 2m/s^2 加振での解析値（赤●）は残留内部摩擦角 ϕ_{res} を用いた場合の地震時土圧係数 K_{as} と震度 k_h の関係と

キーワード 動土圧, 数値シミュレーション, 遠心模型実験

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL. 042-495-1090

良く整合し、実験値（紫■）ともほぼ一致することがわかる。一方、 6m/s^2 加振では解析値（黄色●）は実験値（緑■）に対して地震時土圧係数 K_{as} 、震度 k_h ともに下回ることとなった。しかしながら、理論式に対しては若干下回る程度であり、解析値（黄色●）と実験値（緑■）の理論式に対する関係性は整合的である。

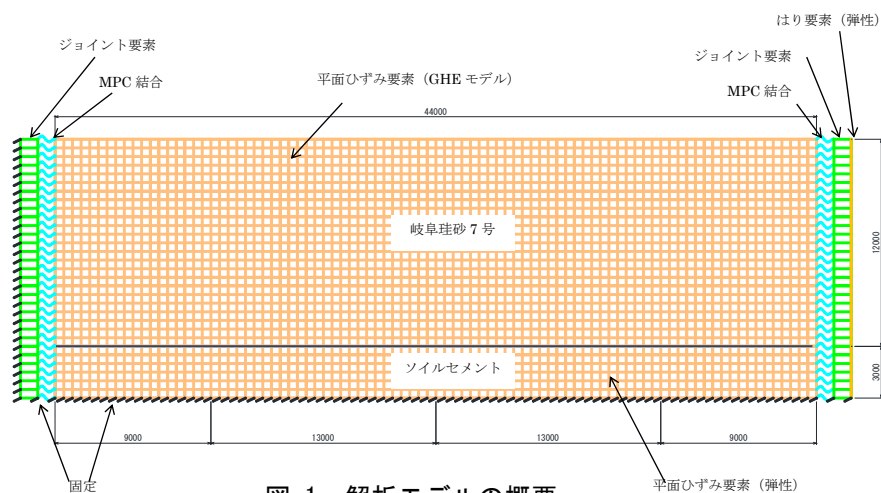
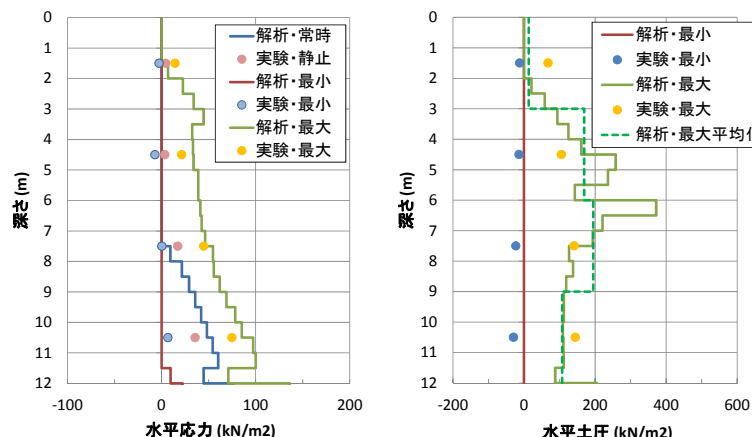


図-1 解析モデルの概要

表-1 弾性壁の材料定数

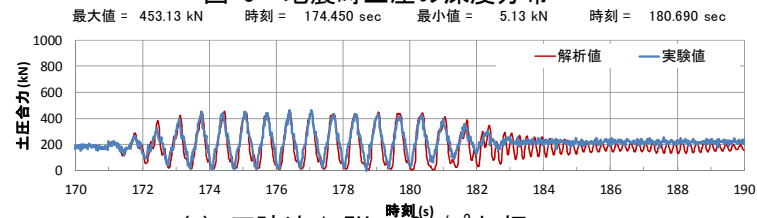
部材	ヤング係数 (MN/m^2)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m^3)
壁部	4.99×10^4	0.3	27.0
フーチング部*	7.00×10^1		

*初期応力解析時のみ 動的解析時は壁部と同一のヤング係数

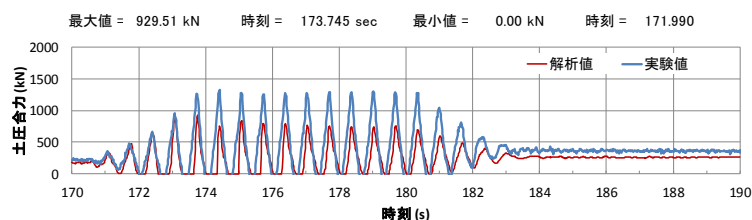


(a) 正弦波 1.5Hz・2m/s²加振 (b) 正弦波 1.5Hz・6m/s²加振

図-5 地震時土圧の深度分布



(a) 正弦波 1.5Hz・2m/s²加振



(b) 正弦波 1.5Hz・6m/s²加振

図-6 弾性壁に作用する地震時土圧合力時刻歴

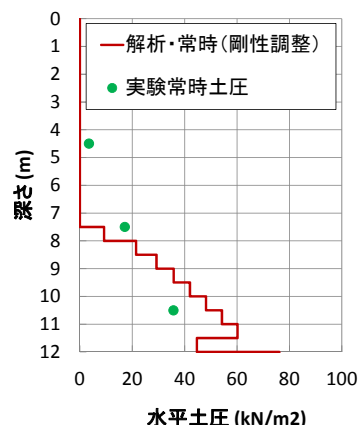
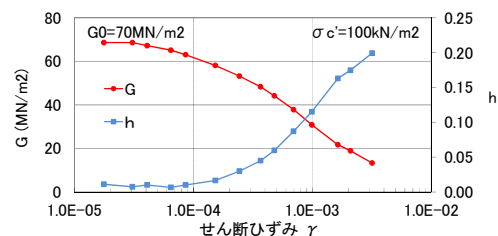
図-2 弾性壁の初期土圧分布
(修正ヤング係数使用)

図-3 岐阜珪砂の動的変形特性

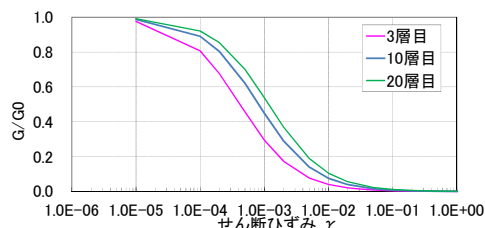
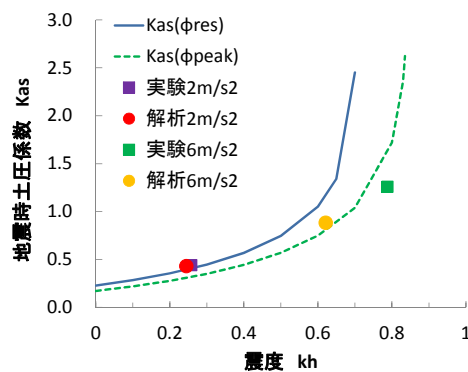


図-4 層別の剛性低下特性

図-7 解析結果より求めた地震時土圧係数 K_{as}

-震度 k_h 関係と物部・岡部理論の比較

参考文献.

- 1) 高原良太, 加藤一紀, 樋口俊一: 弾性壁に作用する動土圧に関する遠心模型実験 (その1), 第72回土木学会年次学術講演会, 2017 (投稿中)
- 2) 室野剛隆, 野上雄太: S字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力~ひずみ関係, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, 2006年, pp. 494-497.