

下負荷面モデルによる地中箱型構造物の動的応答解析

(株)大林組 正会員 ○堤内 隆広 正会員 永井 秀樹  
 東北電力(株) 正会員 伊藤 悟郎 菊地 裕

1. はじめに

地中構造物と地盤の連成系の動的応答解析に用いる地盤構成則と、例えば断層変位による構造物への影響を考慮する静的解析に用いる地盤構成則を一致させ、両者の現象を統一的かつ効率よく解析することが求められている。本検討では、解析ソフト(FINAL-GEO)に導入された下負荷面モデルの地盤構成則を適用し、地盤のみを対象とした動的応答解析(1次元解析:パラメータチューニング)および、地中構造物と地盤の連成系の動的応答解析(3次元解析)を実施し、遠心模型振動実験との比較を行うことで、その適用性を検証した。

2. 下負荷面モデルの適用

遠心模型振動実験で使用した表層地盤(中密な砂質土)に対して下負荷面モデルを適用する。ここでは、静的解析用に設定されたパラメータに加えて、動的解析用パラメータを追加して設定した。そのパラメータは、表1に示す□印の①回転硬化限界面の定数、②回転硬化発展則の定数、③相似中心の移動則の定数である。これらに対して、図1に示すような1次元の土柱モデルを作成し、パラメータチューニングを行い、その設定したパラメータを用いて全体モデルの解析を行った。構造物と地盤間に接合要素を挿入し、相互のすべりおよび剥離を表した。

表1 下負荷面モデルパラメータ

項目	記号	動的検討用
間隙比	$e$	0.730
圧縮指数	$\lambda$	0.0039
膨潤指数	$\kappa$	0.0074
ポアソン比	$\nu$	0.15~0.37
内部摩擦角	$\phi$	32.0
過圧密比	OCR	10.0
材料定数	$u$	1.0
①回転硬化限界面の定数	$\phi_b$	32.0
②回転硬化発展則の定数	$b_r$	10
せん断硬化軟化程度度の定数	$\mu$	0.0
せん断硬化軟化境界の定数	$\phi_d$	32.0
③相似中心の移動則の定数	$c$	2.0

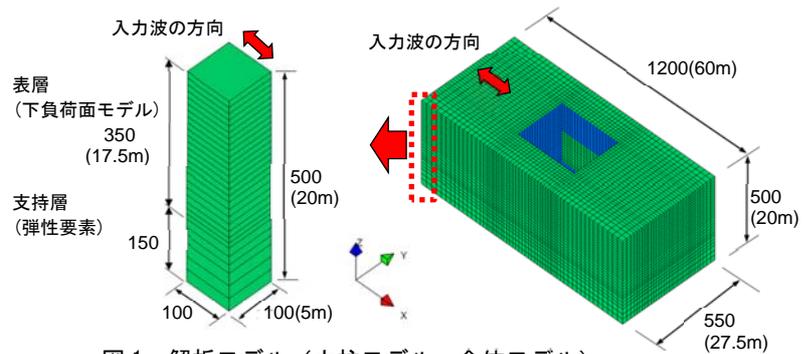


図1 解析モデル(土柱モデル, 全体モデル)

3. 遠心模型振動実験の概要

対象構造物は、図2に示す地中に埋設された箱型構造物(高さ17.5m, 幅12.5m×17.5m)とし、縮小模型の相似率を1/50とした。縮小模型は、弾性材料としてアルミ材(側壁厚12mm)を使用した。模型土槽の地盤は、N値10~15程度の埋戻土を想定し、砂質土層および構造物の支持地盤として岩盤を想定したセメント改良土による二層構造とした。砂質土層は、岐阜産7号珪砂( $G_s=2.65$ ,  $\gamma=1.18\sim 1.53 \text{ g/cm}^3$ )を使用し、相対密度70%( $\gamma_d=1.41 \text{ g/cm}^3$ )を目標に鉄棒で十分に締め固めて制作した。セメント改良土は、模型土槽の下層に作成し、厚さ150mmとした。計測項目を表2とし、加速度計および変位計等を設置した。模型土槽への入力波は、図3に示すようなサイン波とし、実スケールで周波数 $f=1.0 \text{ Hz}$ の100Gal, 200Gal, 400Galとした。

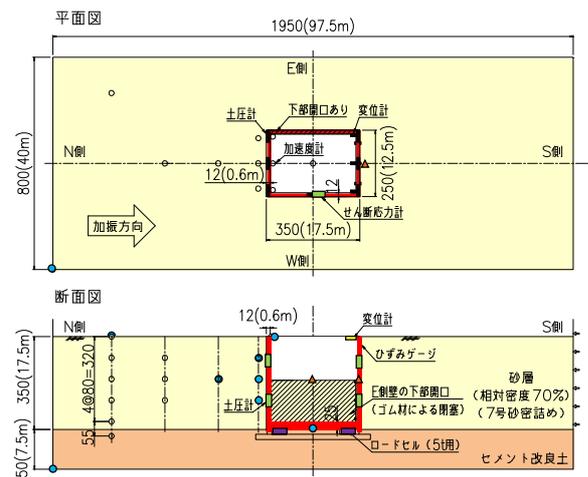


図2 遠心実験の模型

表2 計測項目

計測器	計測項目	凡例
加速度計	構造物・地盤	●
変位計	構造物変位・土槽変位	■
ロードセル	作用荷重(2方向)	■
ひずみゲージ	側壁のひずみ	□
土圧計	作用土圧	■
せん断応力計	せん断応力	▲

キーワード 地中構造物, 動的解析, 地盤構成則, 遠心模型振動実験

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL 03-5769-1307 FAX 03-5769-1972

### 4. 解析と実験の比較

#### (1) 土柱モデルの応答

土柱モデルの解析結果と土槽端部で計測された加速度と土槽外面で計測した変位との比較を、**図 4** に示す。200Gal で最大応答変位と最大応答加速度が一致するようにパラメータチューニングを行い、その後 100Gal および 400Gal にて、その適合性を確認した。応答変位は、100Gal で全深さにおいて大きくなるが、400Gal で概ね一致する。応答加速度は、100Gal で浅層～中層において大きくなるが、400Gal で概ね良く一致する。地盤のせん断応力～せん断歪関係を**図 5** に示す。修正 GHE モデルよりせん断応力が大きく評価されているが、一般的な紡錘型の形状で、地盤の非線形性が再現できている。

#### (2) 全体モデルの地盤応答

地盤の最大変位時刻の全体変形図と構造物の変形図を、**図 6** に示し、同時に遠心模型振動実験の計測点での比較位置を示す。200Gal 加振時の地盤応答に関して、全体モデルの解析結果と遠心模型振動実験の結果の比較を、**図 7** に示す。応答加速度は、解析の最大値が大きくなっており、実験値および土中モデルに比較して増幅している。応答変位は、最大値および周期特性で精度良く一致している。

#### (3) 全体モデルの構造物応答

200Gal 加振時の構造物応答に関して、**図 6** の計測点における実験値との比較を、**図 8** に示す。応答加速度は、前面壁中央部で大きくなっているが、せん断壁側および底板で概ね一致している。応答変位は、前面壁中央部およびせん断壁側の両方で大きくなっており、これは下負荷面モデルで地盤のせん断応力が大きく評価されていることが要因であると考えられる。

### 5. おわりに

遠心模型振動実験の計測データと比較した結果、下負荷面モデルにより砂質地盤の地震時挙動をある程度再現できた。今後、再現精度の向上を図るとともに、加速度が大きい場合(400Gal)、および構造物に対して斜め方向入力の地震波ケースなどの評価を行う予定である。

なお、本検討では、下負荷面モデルを用いた全体モデルの解析において構造物周辺での収束性が問題となり、時間ステップを細かくすることが求められ、解析時間を要した。今後、収束性の改善を図りたい。

**参考文献** 菊地, 堀見「箱型構造物への変位照査手法の有効性の検討」2015/9, 土木学会第70回年次学術講演会。

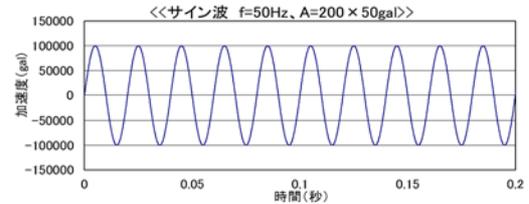


図 3 サイン入力波 (200Gal 相当波)

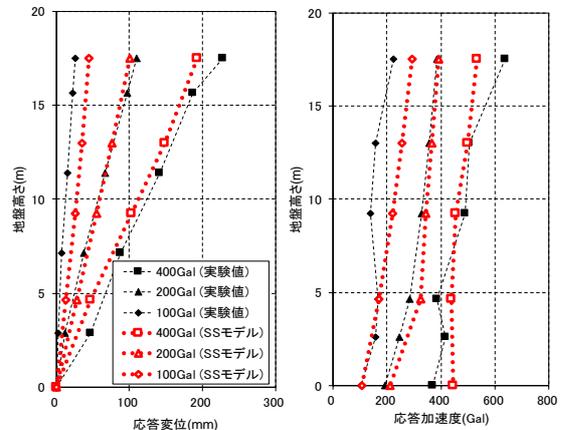


図 4 土柱モデルと実験値の比較

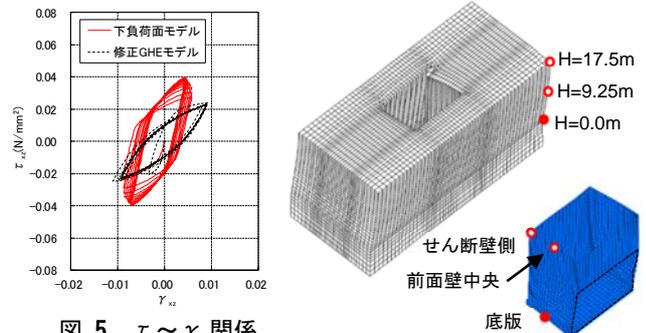


図 5  $\tau \sim \gamma$  関係 (土柱モデルの中央深度)

図 6 変形図と比較位置

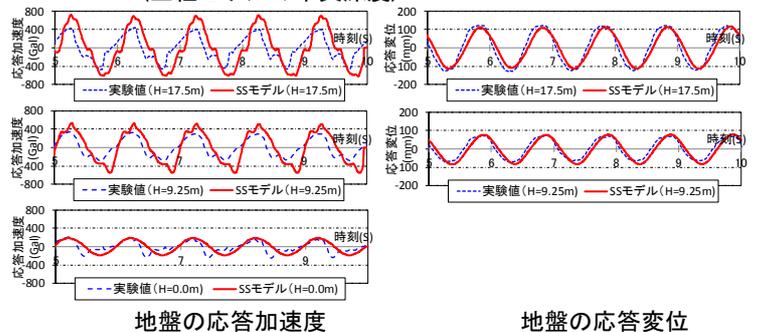


図 7 地盤応答の比較

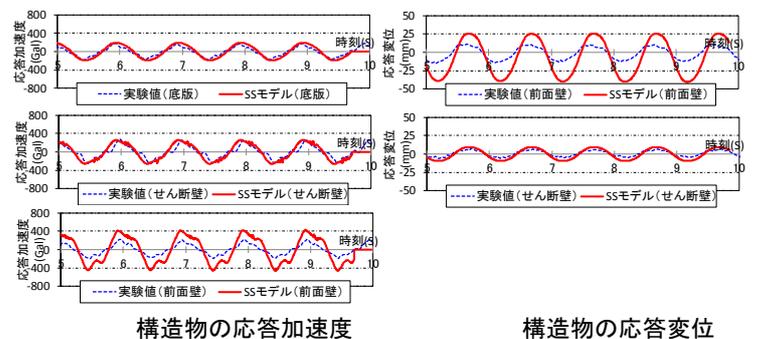


図 8 構造物応答の比較