

塑性化を考慮した地下構造物に関する振動台実験の有効応力解析

東電設計（株） 正会員 溜 幸生
 東電設計（株） 正会員 ○兵頭 順一
 東電設計（株） 正会員 高橋 誠

1.はじめに

ボックスカルバート等の地下構造物の耐震設計においては、周辺地盤の液状化や構造部材の塑性化を考慮して構造物の地震時挙動を定量的に評価することが重要となる。筆者らは、地盤と地下構造物の動的相互作用を把握する目的で、液状化地盤中の地下構造物に関する振動台実験¹⁾²⁾を実施してきたが、今回、それらを対象に、部材非線形性を考慮した有効応力法に基づく数値解析を実施したので、その結果について報告する。

2.実験概要

振動台実験¹⁾²⁾は、図-1に示すように、せん断土槽内に地盤・構造物連成モデルを作成して行った。構造物模型は奥行き方向中空であり、アルミニウム合金(A5083P,降伏点:146MPa)を用いて製作した。構造物の塑性化を考慮するケースでは側壁のみアルミニウム(A1070P,降伏点:86MPa)とした。模型各部の断面特性を表-1に示す。地盤は豊浦砂で水中落下法により作成し、相対密度は30%~40%とした。

3.解析方法

本検討における解析では、地震時の液状化による構造物被害予測プログラム FLIP³⁾⁴⁾(Ver.4)を用いた。図-2に2次元 FEM 解析モデルを示す。側壁をトリ-リニアの非線形はりでモデル化し、その曲げモーメントと曲率の関係は図-3に示すように、側壁材料の曲げ試験結果に基づき設定した。表-2,表-3に示す地盤のパラメータは、要素試験結果、同様のせん断土槽に水中落下法で作成した地盤のみのモデルの微振動試験結果、その加振実験結果をもとに設定した。解析は、①側壁:A5083P,50gal 加振(Dr=39%)、②側壁:A5083P, 500gal 加振(Dr=32%)、③側壁:A1070P(塑性化),500gal 加振(Dr=36%)の3ケースを対象に行った。地盤のパラメータは共通とした。

4.解析結果

動的解析の初期値は、最初に地盤に自重を作用させ、次に構造物に対して水平方向有効土圧と静水圧を作用させることにより求めた。解析による初期値を実験結果とあわせて図-4に示す。全土圧、模型側壁曲率ともに解析結果は実験結果と概ね一致していることがわかる。

動的解析結果として、構造物が塑性化したケースの水圧(P2)、構造物頂部変位(D1)、側壁下端曲率(ST7)、全土圧(E7)の時刻歴を図-5に示す。側壁下端曲率は降伏曲率 ϕ_p を超え塑性化しているが、解析は実験を良く追従している。図-6に、解析した3ケースの過剰間隙水圧上昇過程および過剰間隙水圧1.0到達後における値(図-5矢印参照)の比較を示す。解析結果は実験結果より若干大きめとなる傾向が見られるが、両者は良く一致している。

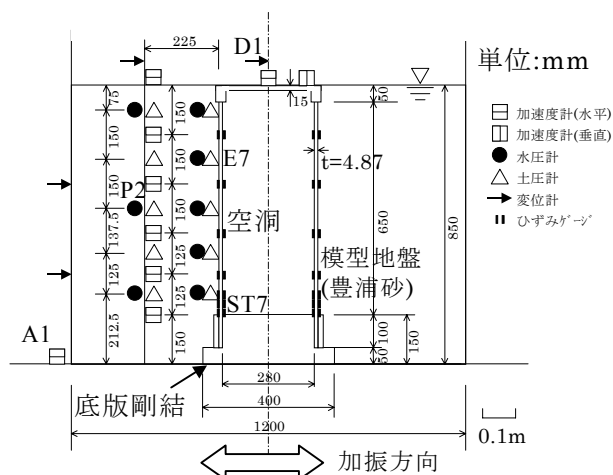


図-1 実験モデル

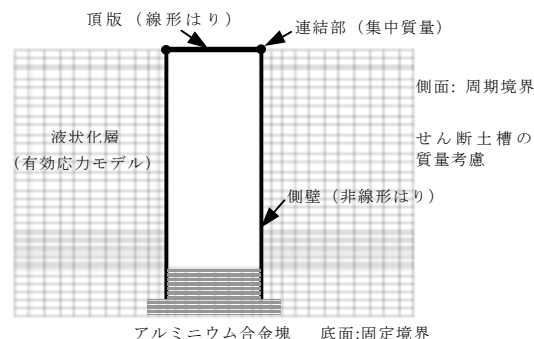


図-2 解析モデル

キーワード：液状化、地下構造物、塑性化、振動台実験、有効応力解析

連絡先:〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計（株）火力土木部 TEL 03-4464-5472 FAX 03-4464-5490

5.まとめ

部材非線形性を考慮した有効応力法に基づく解析の結果、入力加速度レベルの大小、構造物の塑性化の有無に係わらず、多少の違いは見られるものの解析結果は実験結果と良く一致した。これにより、有効応力法による解析で、地下構造物の変位、曲率、土圧が定量的に評価可能であると考えられた。

謝辞：本検討は、東京電力株式会社建設部土木建築技術センター御発注の研究業務の一環として実施したことを記し、関係各位に謝意を表します。

表-1 構造物模型各部の断面特性

	側壁(A1070P)	側壁(A5083P)	頂版(A5083P)
板厚 t(mm)	4.87	4.97	15.0
断面二次モーメント I(m ⁴ /m)	9.63×10^{-9}	1.02×10^{-8}	2.81×10^{-7}
曲げ剛性 EI(Nm ² /m)	664	765	20960

注) ヤング係数、A1070P: E=69Gpa、A5083P: E=75Gpa

表-3 解析に用いた地盤の液状化パラメータ

変相角 ϕ_p (度)	S_1	w_1	p_1	p_2	c
28	0.0005	1.5	1.0	1.3	1.5

表-2 解析に用いた地盤の動的変形パラメータ

質量密度 ρ_t (t/m ³)	1.894
間隙率 n	0.46
平均有効拘束圧 σ_{m0}' (kPa)	2.82
初期せん断剛性 G_{m0} (kPa)	10000
m_G, m_K	0.328
体積弾性係数 K_{m0} (kPa)	26078
ポアソン比 ν	0.33
最大減衰 h_{max}	0.36
内部摩擦角 ϕ_f' (度)	40

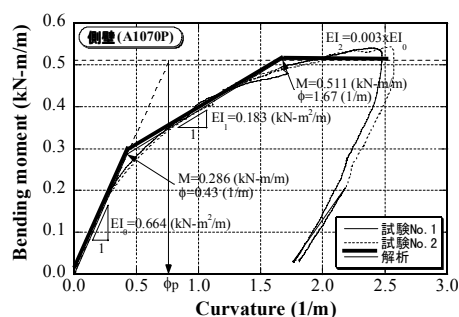


図-3 曲げモーメント-曲率関係の設定

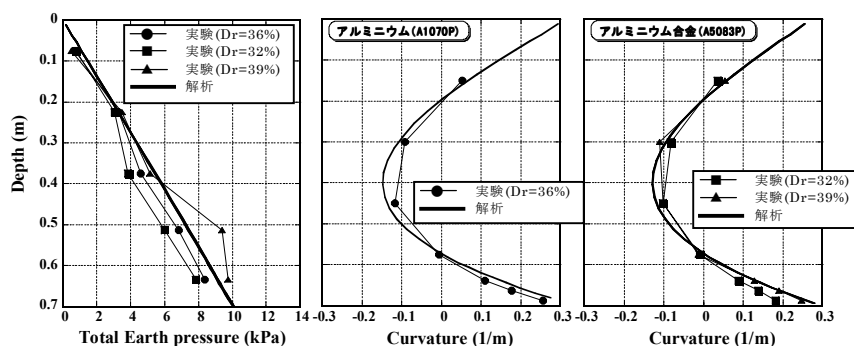


図-4 初期値の算定結果

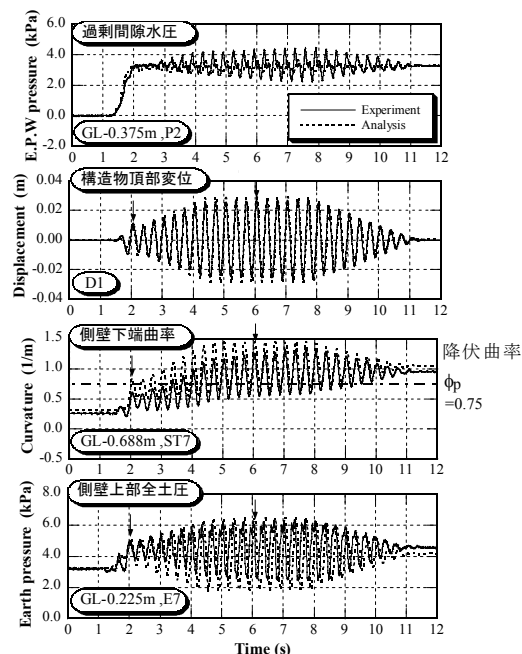


図-5 時刻歴 (側壁 A1070P(塑性化),500gal)

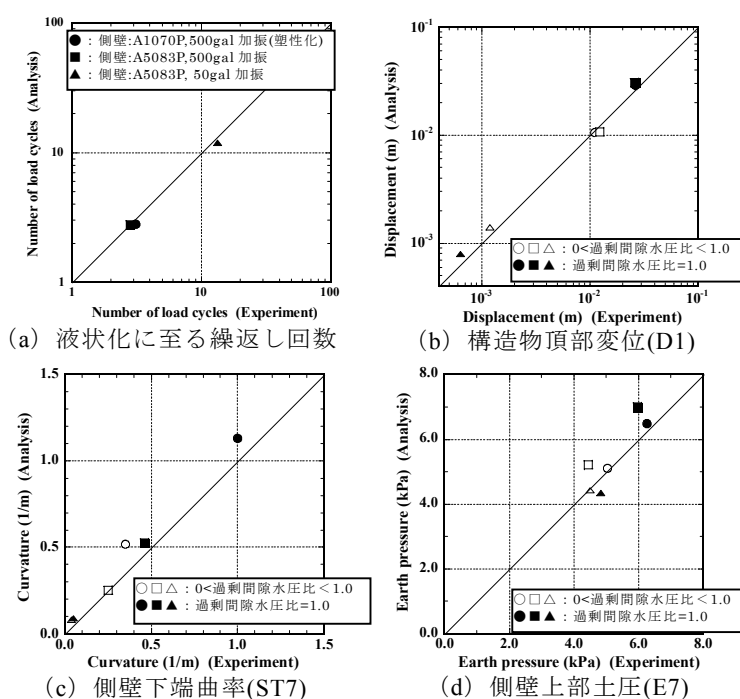


図-6 実験結果と解析結果の比較

参考文献

- 溜・高橋・東畑：塑性化を考慮した液状化地盤中の地下構造物に関する振動台実験、土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集、I-B140、2000.
- 溜・東畑・高橋：液状化地盤と地下構造物の動的相互作用に関する振動台実験、第 36 回地盤工学研究発表会、2001(投稿中).
- 井合進、松永康男、亀岡智弘：ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル、港湾技術研究所報告、第 29 巻、第 4 号、pp.27-56、1990.
- Iai,Matsunaga,Kmeoka: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992.