

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

東電設計（株） 正 ○溜 幸生
東電設計（株） 正 高橋 誠
東京大学工学部 正 東畑 郁生

1. はじめに

近年、耐震設計においてレベル2地震動が考慮されるようになってきたが、ボックスカルバート等の地下構造物の耐震設計にこれを適用する際、周辺地盤の液状化や構造物の塑性化を考慮して地震時挙動を検討することが重要となる。この場合、液状化地盤と塑性化した構造物の動的相互作用を把握する必要があるが、これに関する実験的検討はほとんど行われておらず、それらの挙動に未解明な部分があるのが現状である。そこで筆者らは、液状化地盤と地下構造物の動的相互作用の把握を目的として、地盤の液状化と構造物の塑性化を同時に考慮した振動台実験を行った。本報においては、実験概要と結果の一部を報告する。

2. 振動台実験の概要

振動台実験に用いた土槽は、長さ 1.2m、高さ 1.0m、奥行き 0.8m のせん断土槽であり、土槽の中央に構造物模型を設置し、その周辺に厚さ 0.85m の模型地盤を作成した。模型の形状および模型と地中に設置した計測器配置を図-1 に示す。模型は矩形の地下構造物を模擬したもので、基部、側壁、頂版からなり、基部は土槽底面に、側壁は基部に、頂版は側壁にそれぞれ剛結し、止水処理を施して内部は奥行き方向に空洞を保持した。本実験では側壁周辺地盤の影響を絞るため、頂版上部に地盤を作成せず、その上面高さは地表面高さと一致させるものとした。模型側壁および頂版の断面特性は表-1 に示すとおりである。また、模型側壁部材の曲げ試験による曲げモーメントー曲率関係は図-2 に示すとおりである。地盤材料としては豊浦標準砂を用い、水中落下法による緩詰地盤(相対密度 $Dr=35\%$ 程度)および振動締固めによる密詰地盤(相対密度 $Dr=75\%$ 程度)の2種類の地盤を作成して実験を行った。模型の初期状態を把握するため、地盤作成時および振動締め固め時には模型側壁土圧および側壁ひずみ(左側)の計測を行った。加振振動数は 3Hz,最大加速度振幅は 5m/sec^2 とし、入力波形は図-3 に示す定常振幅部分を 10 波としたものと 20 波としたものを用いた。

3. 実験結果

緩詰地盤の実験結果として、初期(加振前)の側壁土圧と計測による曲率分布、左側壁下端(GL-0.688m)の曲率および地中(GL-0.633m)の過剰間隙水圧時刻歴、加振中の初期降伏時および左側壁下端曲率最大時の曲率分布をそれぞれ図-3(a)～(c)に示す。また、密詰地盤の実験結果について同様のものを図-4(a)～(c)に示す。初期状態の図中には、計測された初期土圧を分布荷重として計算で求めた曲率を点線で示したが、曲率の計測値と計算値はほとんど一致しており、模型に作用する土圧と曲率は良い対応を示している。それぞれの曲率の時刻歴には、図-2 に示す M_p と曲げ剛性 EI で定義した降伏曲率 ϕ_p を記したが、加振により緩詰地盤、密詰地盤のいずれも側壁下端において降伏曲率 ϕ_p に達したことがわかる。過剰間隙水圧時刻歴より、緩詰地盤の場合は初期降伏時で完全に液状化しているが、密詰地盤の場合は初期降伏時に液状化には至っていない。密詰地盤については、その水圧時刻歴が入力波の2倍の周波数となっていることから、模型周辺地盤でサイクリックモビリティが生じたことが推定される。初期降伏時の曲率分布は、緩詰地盤、密詰地盤ともに同様の分布となったが、曲率最大時にはその分布がかなり異なり、緩詰地盤の場合は側壁下部の曲率が中央部のそれに比較して大きい、密詰地盤の場合は側壁下部と中央部は同程度の曲率となる結果となった。

4. まとめおよび今後の課題

地下構造物を対象とした振動台実験を行い、周辺の液状化地盤により構造物が塑性化する結果が得られた。今後は、液状化地盤と塑性化した構造物の動的相互作用について詳細な検討を行っていく予定である。

キーワード：液状化、地下構造物、振動台実験、塑性、動的相互作用

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 TEL03-5818-7642 FAX03-5818-7655

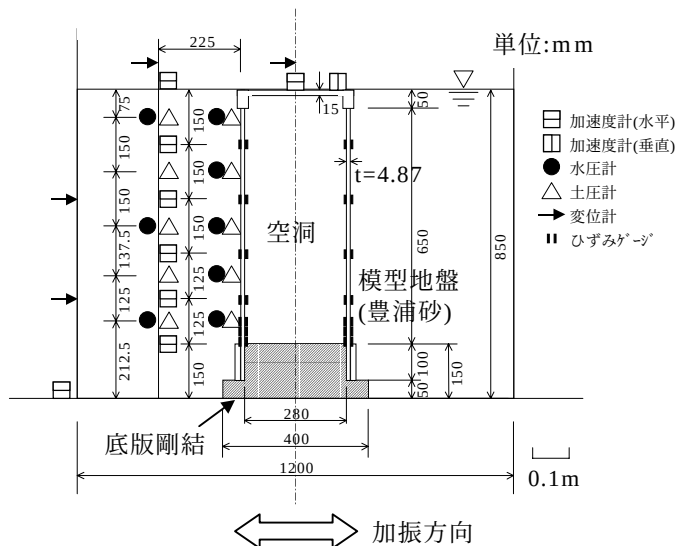


図-1 構造物模型および計測器配置

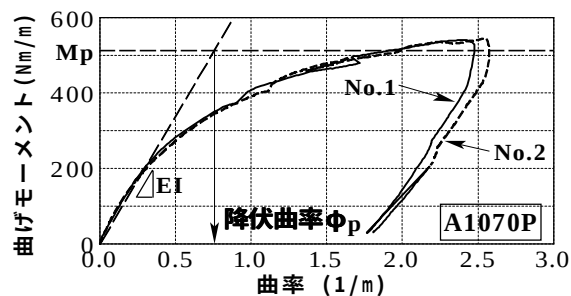


図-2 側壁部材(A1070P)の曲げモーメント曲率関係

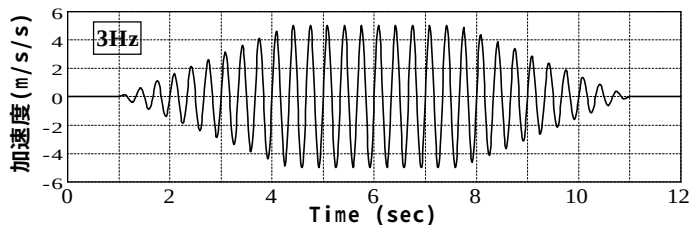
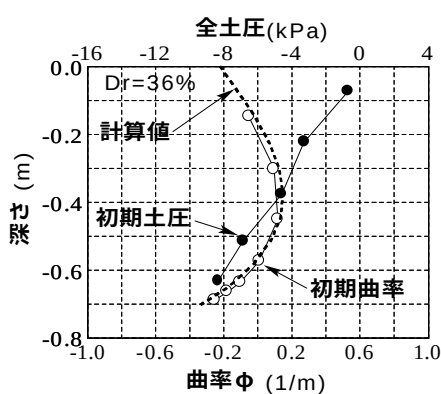


図-3 入力波形(定常部分 10 波)

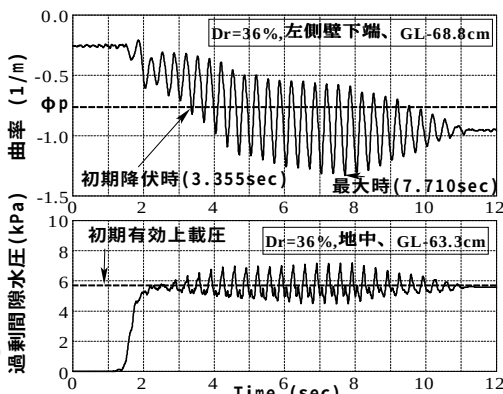
表-1 模型各部の断面特性

部材	材質	板厚 t(mm)	断面積 A(m ² /m)	断面二次モーメント I(m ⁴ /m)	曲げ剛性 EI(Nm ² /m)	全塑性モーメント Mp (Nm/m)
側壁	アルミニウム(A1070P)	4.87	0.00487	9.63×10^{-9}	664	511
頂版	アルミニウム合金(A5083P)	15	0.015	2.81×10^{-7}	20960	8213

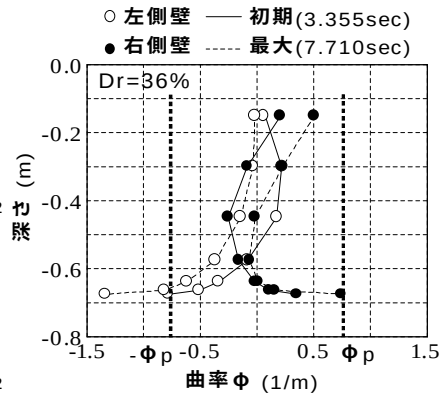
注) ヤング係数、A1070P: $E=69\text{GPa}$ 、A5083P: $E=75\text{GPa}$ 、降伏応力度、A1070P: $\sigma_y=86\text{Mpa}$ 、A5083P: $\sigma_y=146\text{Mpa}$
全塑性モーメント $M_p = \sigma_y Z_p$ 、 $Z_p = 1.5Z$: 塑性断面係数、 $Z = bt^2/6$: 断面係数、 b : 部材幅(ここでは単位幅)、 t : 部材厚



(a)初期状態

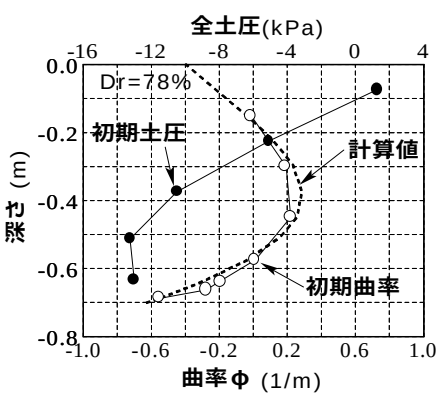


(b) 曲率および水圧時刻歴

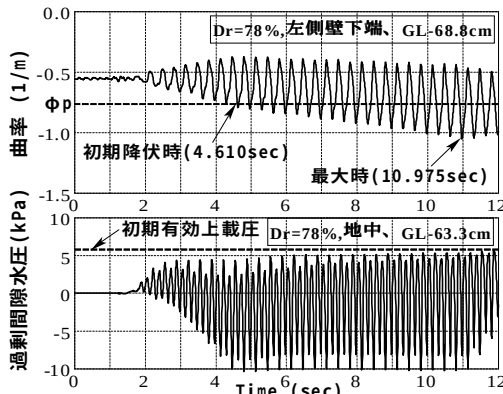


(c)曲率分布

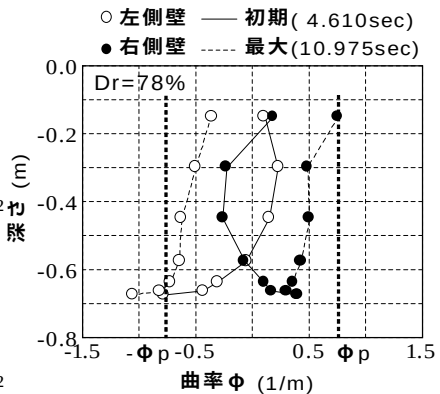
図-3 緩詰地盤(Dr=36%)の実験結果



(a)初期状態



(b)曲率および水圧時刻歴



(c)曲率分布

図-4 密詰地盤(Dr=78%)の実験結果

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。