

液状化地盤と地下構造物の動的相互作用に関する一考察

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

1. はじめに

近年、開削トンネル等の地下構造物の耐震設計では、地盤と構造物の動的相互作用が考慮されるようになってきたが、現状では、地盤が液状化する場合の相互作用については、そのメカニズムが完全には理解されておらず、これを解明することが課題となっている。そこで、筆者らは、液状化を考慮した動的相互作用の把握を目的とし、振動台実験を実施してきた¹⁾²⁾。ここでは、構造物近傍土の密度が異なる場合の応力ひずみ関係と、動的土圧の作用について報告する。

2. 振動台実験²⁾の概要

振動台実験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。矩形の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)を用いて製作した。模型各部の断面特性を表-1に示す。地盤は豊浦砂で緩詰および密詰の2種類を作成して、同様に周波数3Hz、加速度500galの正弦波を入力して加振実験を行った。緩詰地盤は水中落下により作成し、相対密度は32%である。密詰地盤は、50gal~200galの加振を繰り返すことにより作成し、相対密度は67%である。

3. 実験結果

実験結果として、構造物頂部変位と構造物の側壁に作用する土圧合力の時刻歴を図-2に示す。ここで、土圧合力は頂部変位に影響すると思われる構造物上部(GL-0.0m~GL-0.3m)の土圧計出力(E6,E7)から高さを考慮して算定している。頂部変位は、緩詰地盤と密詰地盤のケースでは後者の最大変位が大きい、入力周波数の3Hzで振動している。土圧合力は、緩詰地盤では3Hzで振動しているのに対し、密詰地盤では4~6.5secにおいて変位が負側にピークとなる際に土圧が瞬時に増加している。土圧合力と頂部変位を加振中4~4.3sec、5~5.3secにおいて履歴で表したものを図-3に示す。両者とも基本的には右上がりであり、土圧が荷重として作用しているが、密詰地盤では、図-3(b)中シンボル(4.035sec)、(5.02sec)の付近に見られるように、構造物が負側に変形した時に土圧が急増し、瞬間的に土圧が反力として作用している。

図-4には、図-1に記した着目土要素の応力ひずみ関係、有効応力径路を示す。応力ひずみ関係は、計測結果から構造物の影響を考慮して算定²⁾³⁾している。緩詰地盤の応力ひずみ関係は扁平であり、有効応力径路が原点付近に位置していることから、液状化により泥水状態となっている。一方、密詰地盤では、せん断ひずみが小さい時は有効応力がほとんどゼロであるが、せん断ひずみが大きくなると有効応力が回復し、接線せん断剛性が大きくなるダイレイタンスの挙動が現れている。これらの図中には対応する時刻を同様のシンボルで記したが、密詰地盤の土圧が反力となる時刻(5.02sec)では、土のせん断ひずみが大きくなり、有効応力が回復する時刻に一致している。また、構造物頂部変位が大きいサイクルの方が、土のせん断ひずみや有効応力の回復の程度が顕著である。土圧が反力として作用した原因は、構造物の変形に伴い周辺地盤の土がせん断変形し、ダイレイタンスによって瞬間的にせん断剛性が大きくなり、土が構造物を支えるような現象が発生したためと考えられる。

4. まとめ

振動台実験により、構造物周辺地盤において土のダイレイタンスの挙動が発生すると、土圧は荷重としてだけでなく反力としても作用すること、構造物の変形が大きくなると、構造物に隣接する土のせん断ひずみが増大し、その挙動は顕著となること、が実験的に示され、土のダイレイタンスは地盤・構造物系の動的相互作用に影響を与えることが明らかとなった。謝辞：本検討は、東京電力株式会社建設部土木

キーワード：液状化、地下構造物、動的相互作用、振動台実験、ダイレイタンス

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 TEL03-4464-5472 FAX03-4464-5490

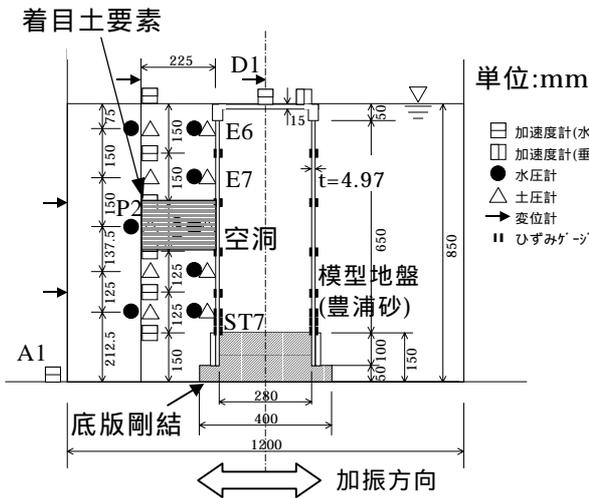
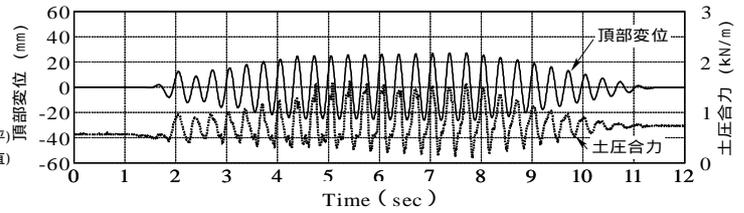
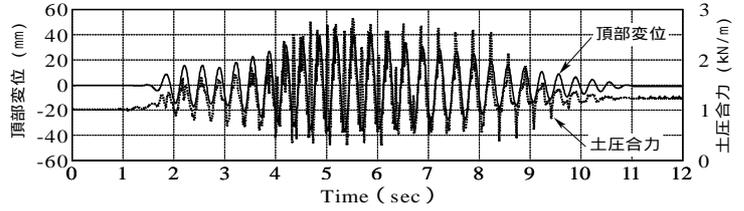


図-1 構造物模型および計測器配置



(a) 緩詰地盤(Dr=32%)



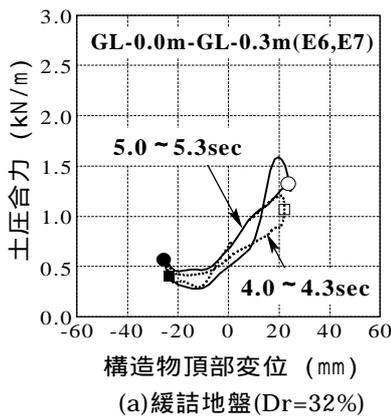
(b) 密詰地盤(Dr=67%)

図-2 構造物頂部変位と土圧合力の時刻歴

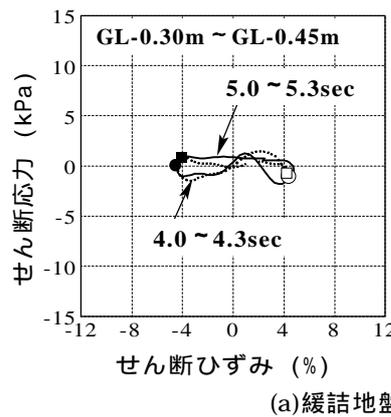
表-1 模型各部の断面特性

No	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	アルミニウム合金(A5083P)	4.97	0.00497	1.04 × 10 ⁻⁸	765	901
頂版	〃	15.0	0.015	2.81 × 10 ⁻⁷	20960	8213

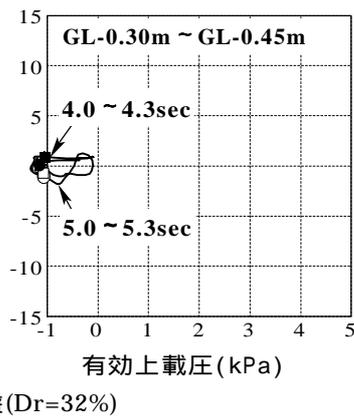
注) ヤング係数、A5083P: E=75Gpa、降伏応力度、A5083P: $\sigma_y=146\text{Mpa}$
 全塑性モーメント $M_p = \sigma_y Z_p$ 、 $Z_p=1.5Z$: 塑性断面係数、 $Z=bt^2/6$: 断面係数、b: 部材幅(ここでは単位幅)、t: 部材厚



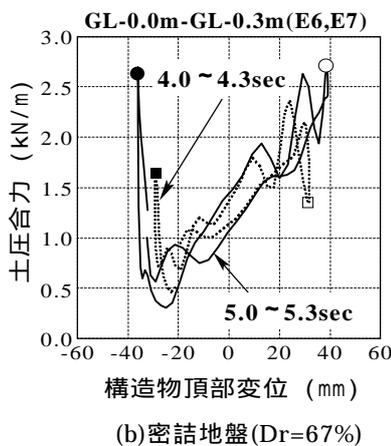
(a) 緩詰地盤(Dr=32%)



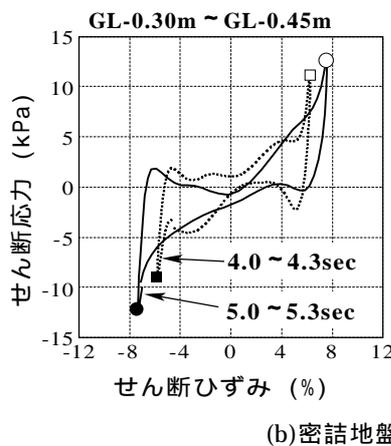
(a) 緩詰地盤(Dr=32%)



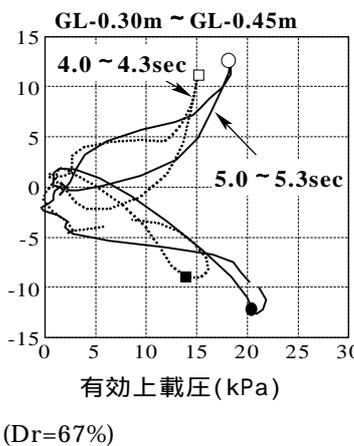
- : 4.06sec
- : 4.24sec
- : 5.07sec
- : 5.22sec



(b) 密詰地盤(Dr=67%)



(b) 密詰地盤(Dr=67%)



- : 4.035sec
- : 4.195sec
- : 5.02sec
- : 5.185sec

図-3 土圧合力と頂部変位の関係

図-4 応力ひずみ関係と有効応力経路

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。

参考文献: 1) 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. 2) 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). 3) 溜・東畑: 振動台実験に基づく地下構造物近傍液状化土の挙動に関する一考察、第 35 回地盤工学研究発表会, pp.2155-2156, 2000.