

液状化地盤における抗土圧構造物の挙動 に関する実験的研究

澤田 亮¹

¹正会員 工修 (財) 鉄道総合技術研究所 総務部 (〒185-8540 東京都国分寺市光明二丁目8-38)

液状化地盤における擁壁・橋台といった抗土圧構造物の現在の耐震設計法では、基礎に作用する荷重状態について背後地盤の沈下等による側方移動の影響を十分に考慮してはいない。しかし、損傷を許容する性能照査型の設計法を採用していることから、荷重～変形関係を精度良く推定することが必要であり、地震後の構造物の状態を正確に把握しなければならない。そこで、本研究では液状化地盤における抗土圧構造物の動的挙動について把握するため、1G 場における模型振動実験を実施し、荷重～変位関係と過剰間隙水圧の影響および作用土圧～過剰間隙水圧関係等について整理し、その結果を踏まえて設計で考慮すべき荷重状態等について検討し、抗土圧構造物の L2 地震時における耐震設計法に関する基礎的知見を得た。

Key Words : retaining structure, seismic design method, liquefaction, pile foundation, earth pressure

1. はじめに

鉄道土木構造物の耐震設計において、液状化およびそれに起因する側方流動の影響を考慮する必要があるのは、河川を横断するような橋梁などを設計するケースの場合が多いことが考えられる。

一方、1995 年に発生した兵庫県南部地震を契機として、L2 地震動を考慮した鉄道土木構造物における耐震設計法は、ある程度の損傷を許容した性能照査型の耐震設計を実施することとしている。これは、L2 地震動のような再現期間が極めて長いような地震に対して損傷を許容しない設計は不経済となること等による。

このような点を踏まえ、前年度までに橋梁基礎に作用する液状化時の荷重等を検討した¹⁾。しかし、一般的に橋梁の両端に位置する橋台に作用する液状化時の荷重等については、十分な知見が得られていない。

橋台などの土圧に抵抗する抗土圧構造物の地震時における被害は、構造物全体の傾斜、転倒や壁体および基礎の破壊などである。この原因として、地震動による慣性力のほかに地震時土圧の増大によることが考えられるが、地盤の液状化によるこれらの地震荷重の特性の変化を把握することが抗土圧構造物の合理的な設計を構築する上で必要不可欠である。

本報告は、背後地盤の土圧の影響を受ける橋台の液状化時の現象および作用する荷重特性の把握を目的として模型振動実験を実施し、抗土圧構造物の液状化時の合理的な考慮方法について検討したものである。

2. 耐震設計法の現状

抗土圧構造物の耐震設計は、他の構造物と同様に考慮する地震時荷重の算定、構造解析の実施および耐震性能の照査に大きく分けることができる。これらの3つの事項は互いに密接に関連しており、合理的な耐震設計法は、これらのバランスを保つことが重要である。

ここで、液状化を考慮する場合には現状では図1に示すように液状化による静止土圧の増加を考慮した設計法を提案している²⁾。しかし、この設計法では構造物の変形に応じて変化すると考えられる荷重の関係が明確に表現されないため、構造物の耐震性能を正確に把握することが課題となる。

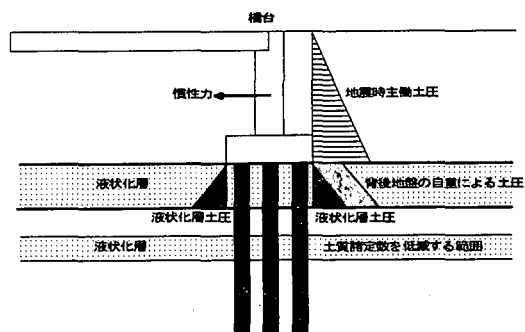


図1 耐震設計で考慮する荷重状態

また、抗土圧構造物のように土に接し抵抗する構造物の場合は、通常の橋脚が正負交番载荷により変形するのに対して一方向载荷に近い状態で変形が進行するため、

累積変形に対してより厳しい状態になるとともに、地震後も背後地盤からの土圧に対して抵抗する必要がある等、転倒に対して通常の橋脚よりも厳しい条件になる。さらに、残留変位についても前述したように地震後も背後地盤からの土圧に対して抵抗するため、これらの点を考慮した設計法の構築が合理的な設計への課題となる。

3. 液状化時の挙動の検討

(1) 模型振動実験の概要

模型振動実験の概要を以下に示す。実験は、鉄道総研所有の小型振動台を使用した1G場で実施し、相似則は考慮せず、模型地盤に対して模型基礎杭の曲げ振動が卓越するように基礎を設計することで挙動を考慮した。

計測項目は、構造物の加速度・変位・曲げひずみ・土圧、地盤の加速度・変位・過剰間隙水圧とし、これらを同時サンプリングした(図2, 3)。

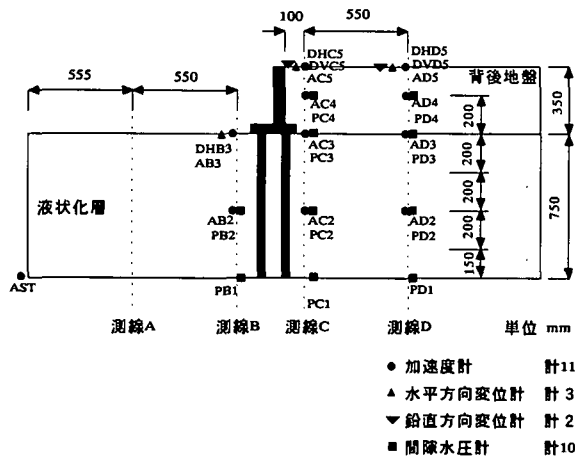


図2 計測器の配置(地盤)

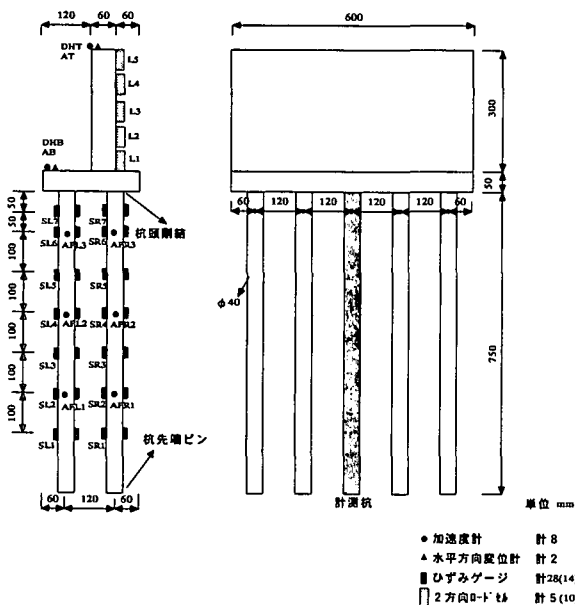


図3 計測器の配置(構造物)

以下に実験条件を示す。表層地盤は、豊浦標準砂を用いて相対密度が60%程度となるように気乾状態の砂を空中落下法で作成し、空隙に二酸化炭素を充填させた後に注水して作成した。また、背後地盤は基本的には液状化を発生させないようにし、相対密度が90%程度となるように気乾状態の砂を空中落下法で作成した。

構造物模型は、橋台く体部の変形を拘束するため鉄製の剛体とし、基礎杭については曲げ変形が卓越するように考慮して本模型実験における地盤条件において $\beta > 10$ となるような剛性を持つABS材を用いた(β :杭の特性値, 1:杭長)。

また、加振方法は、構造物の基本的性状を観測するため正弦波とし、入力加速度の大きさについては表層地盤を確実に液状化させるために必要な加速度として400galを考慮した。なお、加振振動数は想定される地盤一構造物系の卓越振動数より低い振動数とした。

実験ケースを表1に示す。想定される液状化の程度に応じて実験ケースを設定した。

表1 実験ケース

ケース	入力加速度	振動数	相対密度	備考
Case1	400gal	5Hz	60%	非液状化
Case2				液状化

(2) 実験結果

以下に実験結果を示す。図4には構造物の応答加速度～変位関係及び土圧～変位関係を示す。これらによると、液状化しない場合と液状化した場合の応答加速度に大差はないことが分かる。しかし、変位量は液状化した場合の方が液状化しない場合に比べて10倍程度大きくなっている。また、土圧については、液状化しない場合の方は変位の増加に伴い土圧も増加する傾向が顕著である。液状化した場合の方は変位の増加に伴う土圧の増加傾向は小さいが、変位量が最終状態となったあたりで急激に土圧が増加していることが分かる。

図5には、土圧と地盤の応答加速度の関係を示す。これらによると、液状化しない場合と液状化した場合の双方とも加速度の増加に伴い、1次比例的に土圧が増加する傾向にある。しかし、液状化した場合の急激な土圧の増加は加速度が最大値となる時に発生していないことから、加速度との相関性は低いと考えられる。

図6には、液状化した場合における土圧と背後地盤及び構造物の状況の経時変化を示す。これによると、土圧が急激に増加している時刻では、構造物及び背後地盤の変位は収束していることが読みとれる。このことから、作用している土圧は静止土圧に近い状態であることが推察される。

次に、杭の曲げひずみの発生状況を図7に示す。これらによると、液状化しない場合に比べて液状化した場合の曲げひずみは大きく、変位量の違いによるものと考えられ、曲げひずみと変位量の相関性が高いことが分かる。液状化状態では地盤反力係数が極めて小さいことから、変位が増大し曲げひずみ量も大きくなる。このことは、通常の橋脚基礎の場合と同様である。また、曲げひずみ

の鉛直方向の変化を見ると、液状化しない場合では杭頭付近で最大の曲げひずみが発生しているが、液状化した場合には地中部で大きなひずみが発生していることが分かる。この場合は、液状化しない場合に見られるようなひずみ分布とは異なり、地盤の移動の影響すなわち、支持地盤の液状化による背後地盤の沈下による側方移動による影響が杭に作用していることが推察される。

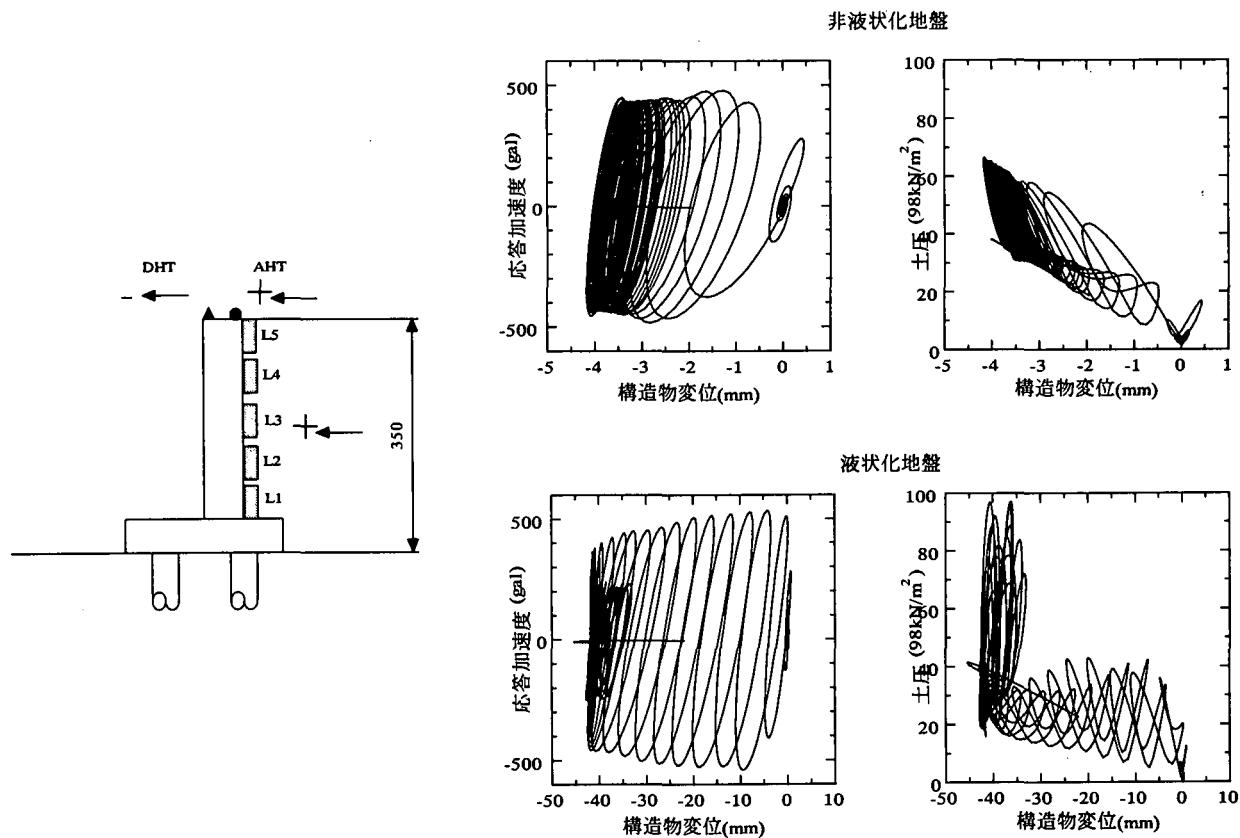


図4 荷重～変位関係

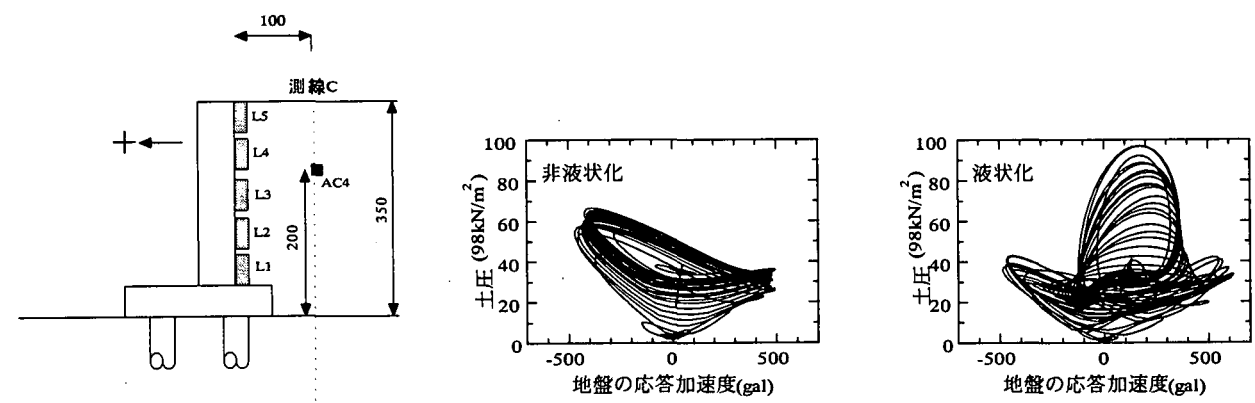


図5 土圧～地盤の応答加速度の関係

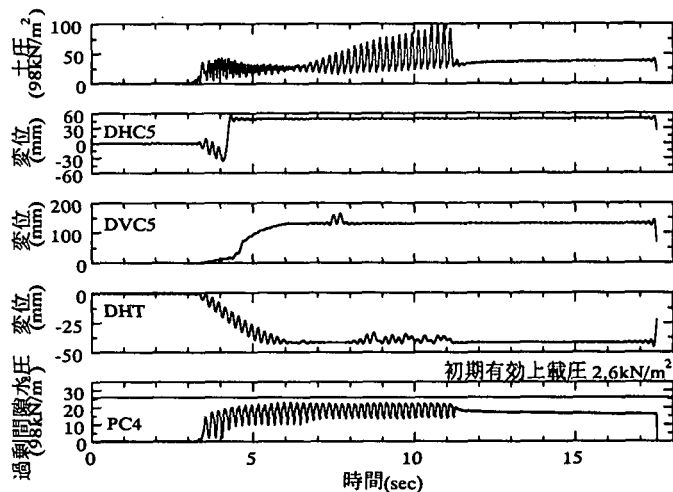
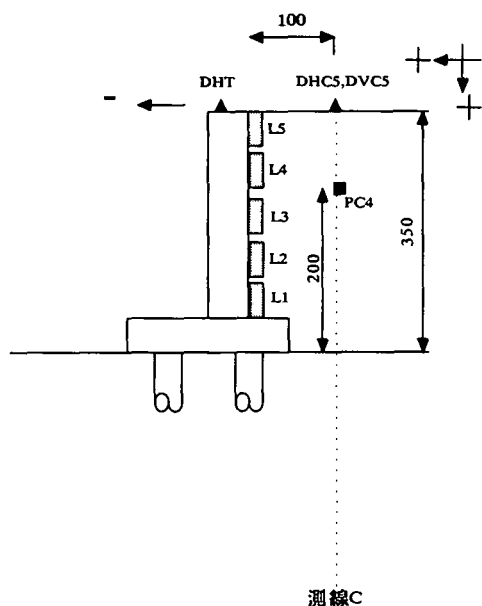


図6 土圧及び変位の経時変化

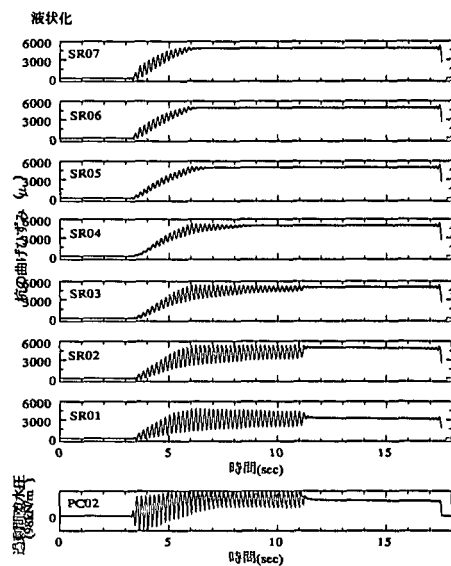
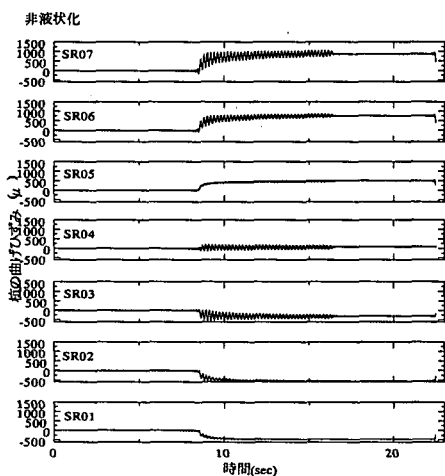
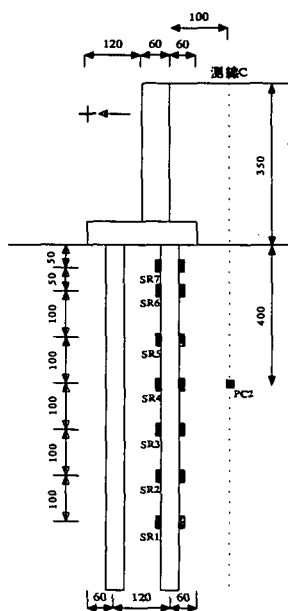


図7 杭の曲げひずみの発生状況

4. おわりに

液状化地盤における抗土圧構造物の挙動を把握するために模型振動実験より検討した。その結果、液状化時の作用土圧についても通常の場合と同様に地盤の応答加速度との相関性が高いことを把握した。しかし、最終変形状態における土圧の考慮についてはその評価法に課題を残した。また、杭の曲げひずみの発生状況から、液状化時には背後地盤の沈下による側方移動の影響が大きく、設計上無視できないことを確認した。

現在の設計法では今回の実験で確認された事柄につ

いて、ある程度の精度で考慮されている。しかし、基礎杭に発生している応力状態などについてさらに検討を進め、液状化程度による構造物の変形状態を考慮した実用的耐震設計法について提案したいと考えている。

参考文献

- 1) 澤田亮, 西村昭彦: 液状化を考慮した設計と側方流動の考え方, 鉄道総研報告, 第13巻第2号, 1999.2.
- 2) 澤田亮, 西村昭彦: 抗土圧構造物の耐震設計, 鉄道総研報告, 第13巻第2号, 1999.3