

液状化地盤の側方流動が杭基礎の耐震性に及ぼす影響度に関する遠心模型実験

清水建設（株）技術研究所 正会員 ○張 至鎬 フェロー会員 田蔵 隆
 防災科学技術研究所 正会員 佐藤 正義

1. 目的

液状化地盤における側方流動は、杭基礎などの地下構造部に大きな被害を与えて来た。中でも、護岸の倒壊によって発生する液状化地盤の側方流動は、臨海部など埋立地に建設された多くの構造物を破壊した。今後発生し得る大地震において側方流動による構造物の被害が懸念されるなか、護岸の倒壊が杭基礎の耐震性に及ぼす影響度を定量的に把握することは極めて重要なことである。本報告は、遠心模型振動実験によって杭基礎の耐震性の影響度を検討したものである。

2. 遠心模型実験の方法

護岸の倒壊によって発生する液状化地盤の側方流動が、杭基礎構造物の耐震性に及ぼす影響度を振動実験から定量的に把握するためには、入力加速度、液状化の発生程度などの諸条件を一致させ、護岸倒壊のみが構造物の応答値の差異に影響をするような実験が最も理解し易い方法である。このため、本研究ではせん断土槽の中央に仕切り版を設け、護岸が倒壊しない領域（A側）と倒壊する領域（B側）を作成し、同時加振した。実験は護岸から構造物までの距離を変化させた3ケースを実施した。護岸からの距離は、実験寸法で20cm（Case1）、10cm（Case2）、5cm（Case3）であり、遠心载荷加速度は30Gである。図-1は3ケースの実験の内の護岸からの距離が10cm（実寸法で3m）の場合（Case2）の実験概要図である。Case1およびCase3の実験モデルは、杭基礎構造物の護岸からの距離が異なるだけで、その他はすべて同じである。

杭本数は4本で、杭頭および杭先端は、フーチングおよび土槽の底面に剛接合とした。地盤は4層で作成し、上層から2番目の第2層が液状化層（珪砂8号、 $Dr=50\%$ ）で、第1層は不飽和層（珪砂8号、 $Dr=50\%$ ）、第3層（豊浦砂、 $Dr=90\%$ ）、第4層（珪砂3号、支持層）である。設置した計測器は、加速度計、変位計、間隙水圧計、土圧計、ひずみである。

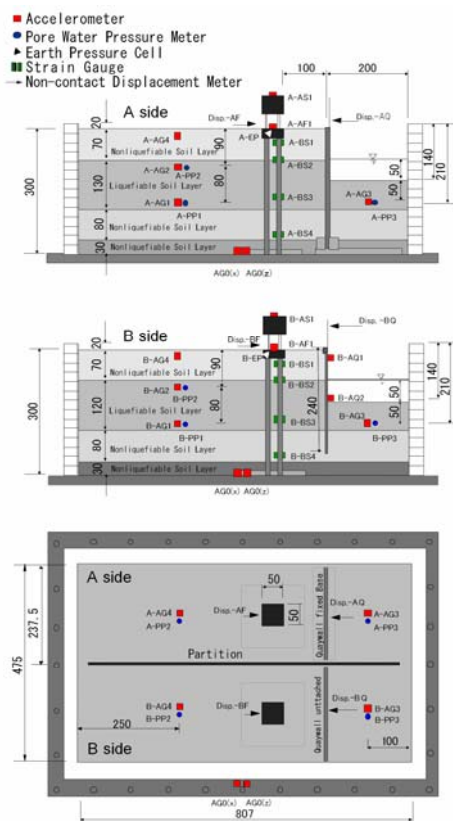


図-1 case2の模型実験の概要

3. 遠心模型実験の結果と影響度に関する考察

Case2の入力加速度、地盤の加速度応答波形、水圧比の記録を図-2に示した。入力最大加速度は258galであり、加振時間は時刻2秒から時刻10秒付近までの約8秒間であるが、加振後の水圧の逸散過程における構造物の挙動を把握するため、計測は長時間行った。図-2における時刻15秒以降から時刻1200秒までの時間軸は、時刻0秒から15秒までの1/8の縮尺の時間軸で表示した。図-2によれば、地盤の応答加速度、過剰間隙水圧の応答値には、A側とB側で相違は認められず、両者は同様に挙動したと考えられる。過剰間隙水圧は加振終了後徐々に消散し、1200秒時点は最大値の半分以下となっている。

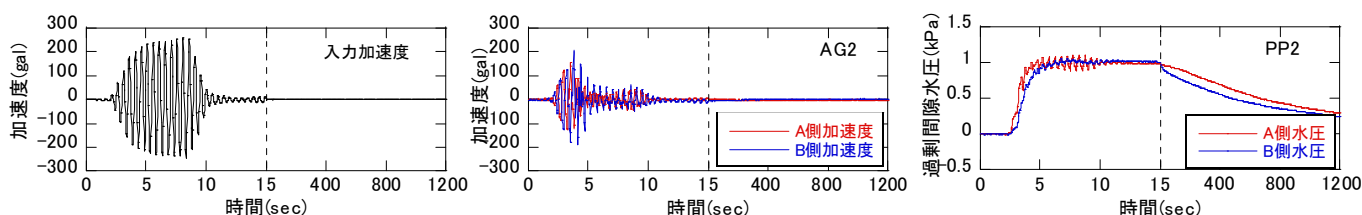


図-2 Case2の入力加速度と地盤の加速度応答および過剰間隙水圧の応答値

キーワード 液状化, 側方流動, 遠心振動模型実験, 杭基礎, 護岸

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設（株）技術研究所 TEL 03-3820-5455

図-3 は、Case2 の護岸の水平変位と杭基礎構造物のフーチングの水平変位の時刻歴である。図-3 によれば、B 側（護岸倒壊側）護岸の残留変位は実スケールで 1.8m を記録しており、加振が終了した 10 秒以降にも変位の増大が認められる。図-2 に示したこの時間帯における水圧比の記録をみると、水圧は徐々に消散過程に入るものの、水圧比は 0.7 程度であり、変位の増大が収束した 400 秒の水圧比は 0.5 程度まで低下していることが分かる。水圧の消散過程においても水圧比が 0.5 以上であれば、護岸はゆっくりと変形し続けたこととなる。

護岸の倒壊が背後の杭基礎構造物に及ぼす影響度係数を α と定義し、式(1)のように表す。これは護岸の水平変位を単位の値としたときのフーチングの水平変位を表したことに相当する。図-4 にすべての実験における影響度係数 α の時刻歴を示すが、同図によれば、フーチングの水平変位は護岸からの距離が短い Case3（実寸法で $L=1.5\text{m}$ ）の影響係数 α の残留値は 0.17 を示しており、Case2（実寸法で $L=3\text{m}$ ）で 0.09、最も長い Case1（実寸法で $L=6\text{m}$ ）で 0.07 を示し、護岸から近い基礎構造物が護岸倒壊の影響を大きく受けることが分かる。

$$\alpha = \text{フーチングの相対変位 (B 側 - A 側)} / \text{護岸の相対変位 (B 側 - A 側)} \quad (1)$$

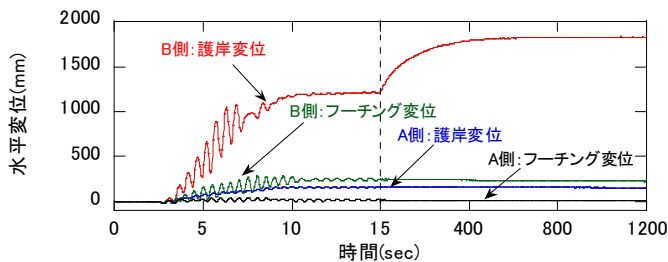


図-3 護岸とフーチングの変位の時刻歴

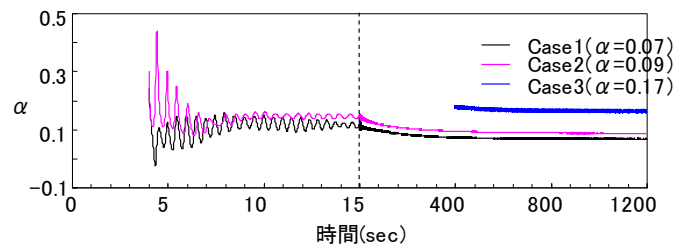


図-4 影響度係数 α の時刻歴

図-5 は Case2 に関して、A 側および B 側構造物の杭頭部における軸ひずみと曲げひずみの応答波形を対比したものであるが、B 側の杭頭のひずみは、護岸の倒壊とともに大きくなることが分かる。さらに、時刻 1200 秒における軸と曲げの残留ひずみに関して、残留ひずみの差を護岸倒壊側（A 側）の杭の残留ひずみで基準化したものを β と定義し、式(2)のように表す。これは、護岸が倒壊する場合は、倒壊しない場合に比べて杭には β 倍の残留ひずみが発生することを表している。護岸から距離と β の関係を図-6 に示すが、最も護岸から距離が近い Case3 の杭頭部の曲げひずみは、護岸が倒壊することによって 46 倍の曲げひずみを発生させている。影響度係数 β は明らかに護岸から杭基礎構造物まで距離に対応して変化しており、護岸からの距離が小さい Case3 は大きく、護岸からの距離が小さい Case1 は小さいという結果になっている。

$$\beta = (\text{B 側のひずみ}) - (\text{A 側ひずみ}) / (\text{A 側ひずみ}) \quad (2)$$

4. まとめ

護岸の倒壊が背後の構造物に及ぼす影響度係数を遠心模型実験より定量的に検討した。護岸の単位水平変位に対するフーチングの水平変位は、本実験結果によれば残留値で 0.17 となることを示した。また、杭頭の曲げひずみに関しては、護岸が倒壊しない側の基礎より、倒壊する側基礎は最大で 46 倍の曲げひずみの残留値が発生することが示された。

参考文献

- ・ Tazoh, T., Sato, M., & Gazetas, G. 2005. Centrifuge Tests on Pile Foundation-Structure Systems Affected by Liquefaction-Induced Soil Flow After Quay Wall Failure, Proceedings of the 1st Greece-Japan Workshop on Seismic Design, Observation and Retrofit of Foundation.

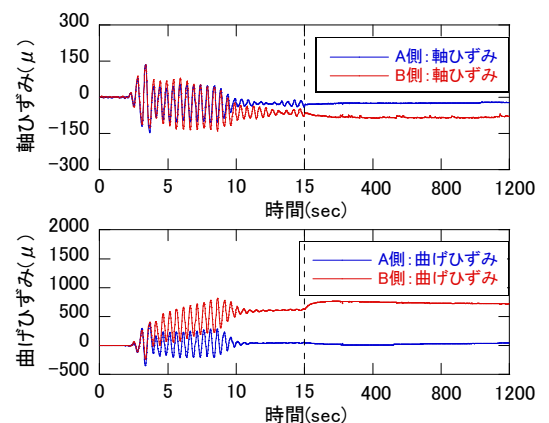


図-5 杭頭ひずみの時刻歴

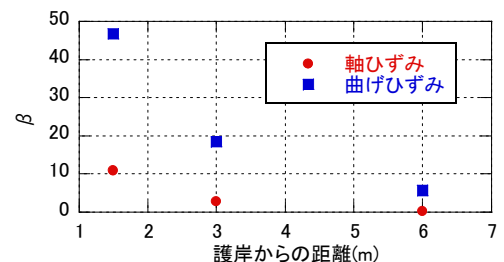


図-6 護岸からの距離と β の関係