

## 護岸移動に伴う液状化地盤の地表面流動量に関する研究

早稲田大学 学生会員 山本 裕介 齋藤 祥円 張 至鎬  
 大林組技術研究所 正会員 樋口 俊一 松田 隆  
 早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則

### 1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震は、神戸市などの埋立地を中心に広い範囲で著しい地盤の液状化を生じさせ、護岸の背後地盤が海側に水平変位をする、いわゆる側方流動現象が発生した。

側方流動による地盤の大変位はライフラインの埋設管路や橋梁、建物基礎構造に甚大な被害を与えた。このため、埋設管路用基礎の設計において、側方流動の影響が考慮されるようになり各種耐震設計指針の改定が行われてきた。しかしながら、護岸から離れるにしたがい地盤変位量がどのように減衰するかについてはまだ未解明な点が多い。

このため、本研究では、遠心載荷場での模型地盤の流動実験および神戸市の人工島、並びに内陸部埋立地における地盤変位の航空写真測量結果を用いた事例分析を行い、地盤変位量の護岸からの距離減衰および側方流動が発生する領域の大きさ等について検討した。

### 2. 遠心載荷場における模型実験

#### (1) 実験方法と条件

図-1に遠心載荷場における模型実験に用いた土槽、模型地盤の概要を示す。土槽は流動方向の長さ1.9m、幅0.8mの剛土槽であり、土槽流動方向に仕切り板を設け2つの領域に分割し同時に2つの層厚を有する実験を行った。液状化層厚は15~40cmである。表-1に実験ケースをまとめて示す。図-1に液状化層厚30cm並びに、15cmのCase3, 4の模型地盤平面図、および断面図を例に示す。

模型地盤は珪砂8号(比重2.65, 最大間隙比1.40, 最小間隙比0.71, 平均粒径0.062mm)を用いて空中落下法より作成した。目標相対密度は40%としたが表-1に示すように、各ケースともやや小さい値となった。模型護岸は重力式ケーソン護岸を想定し、地盤厚さによって大きさを変更している。遠心加速度は30Gとし、液状化層厚は実物換算すると4.5m~12mとなることから実物に近い拘束圧の条件下での実験であると考えられる。

模型地盤作成後、模型地盤を流動方向に正弦波で加振し、模型護岸を移動させ背後の液状化地盤に側方流動を発生させた。地表面変位量は図-1に示すように、模型地盤の地表面に設置したターゲットの移動をビデオ撮影し、画像解析することにより地表面変位の時刻暦を得た。

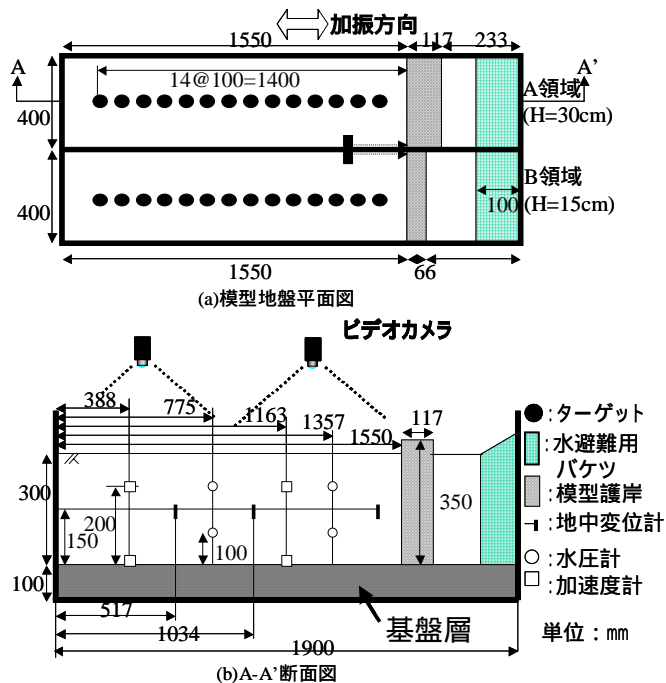


図-1 遠心場実験に用いた模型地盤

表-1 遠心載荷場実験の実験ケース

ケース名	液状化層厚 (cm)	相対密度 (%)	加振波	加振加速度 (m/s <sup>2</sup> )
Case 1	40	39.1	60Hz 60波	192
Case 2	20	36.1		
Case 3	30	36.0	60Hz 20波	197
Case 4	15	35.1		

#### (2) 実験結果と考察

護岸からの距離と地表面の水平変位量の関係を図-2に示す。遠心載荷場実験では、解析時刻によって地表面変位量の減衰傾向にばらつきがみられたが、ここでは地盤が安定して流動する時間帯を解析対象とし、加振開始後0.8秒の結果を例に示す。図-2によれば、地表面変位は護岸から離れるに従い小さくなっており、また層厚が小さいほど減衰が早いことがわかる。ここで、縦軸を護岸移動量で、横軸を液状化層厚で除すこと(以降正規化とする)で減衰曲線を正規化した結果を図-3示す。正規化後も、層厚が減衰特性に与える影響が完全に除外されたとは言いがたく、ばらつきを残す結果となった。

また、図-3によれば、護岸からの距離が液状化層厚の2.5~3倍になる地点までは著しく減衰するが、それ以降の領域では変位がほとんど減衰せずほぼ一定となっていることに注目される。

キーワード 液状化, 側方流動, 航空写真測量, 兵庫県南部地震

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学 濱田研究室 TEL03-3208-0349

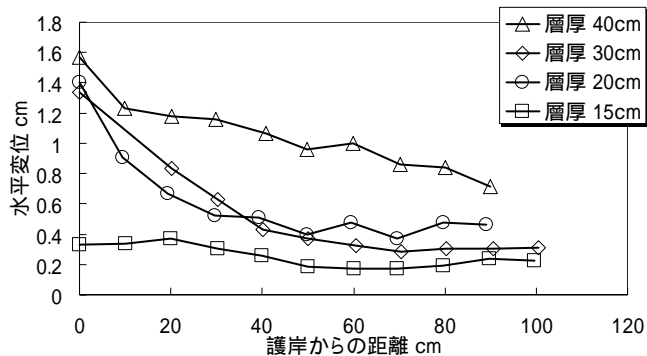


図-2 減衰曲線（遠心載荷場全ケース）

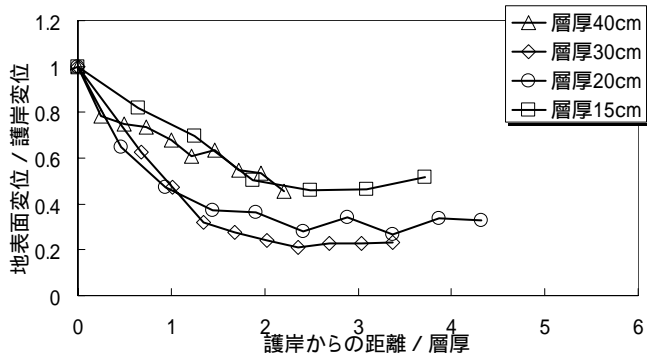


図-3 正規化減衰曲線（遠心載荷場全ケース）

3. 事例分析

(1) 分析方法

1995年兵庫県南部地震で被害を受けた神戸港の埋立地を対象とし事例分析を行った。側方流動量は濱田らの航空写真測量<sup>2)</sup>の結果を用いた。また、液状化層厚は道路橋示方書(平成8年)によって求めた。分析対象となる測線を神戸地区の人工島に10本、内陸部の埋立地に7本設定した。図-4に人工島に設置した測線例としてポートアイランドの測線を示す。

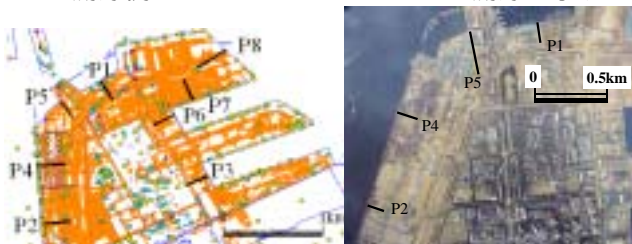


図-4 ポートアイランドに設定した測線

(2) 分析結果

全測線17本より得られた減衰曲線の縦軸の地表面水平変位量を護岸変位量で、横軸の護岸からの距離を液状化層厚で除すことにより正規化し実験結果同様の整理を行った。その結果を図-5に示す。ここで、液状化層厚は、各測線近傍において得たボーリングデータを用い、液状化判定により得られた値を用いた。図-5によれば、内陸側に位置する測線のうち2本が明らかに異なる傾向を示しており、ポートアイランドや、六甲アイランド等の新しい埋立地に比べ、魚崎浜等の埋め立て年代の比較的古い埋立地の減衰が小さい傾向がみられた。ただし、事例分析においても、実験結果同様に、地表面変位は護岸からの距離が層厚の2.5~4倍になる地点までは著しく減衰しており、それ以降の領域では、ほぼ一定値となる傾向が

見られた。

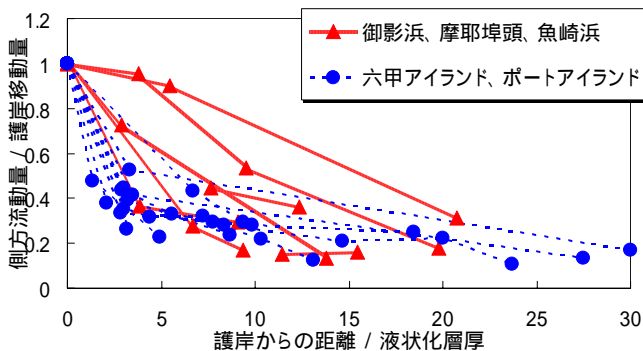


図-5 正規化した減衰曲線事例(全測線)

(3) 実験結果と事例分析の比較

本文には記述していないが、著者らの研究グループは重力場での模型実験も実施している。各実験の結果と事例分析の結果から得られた両軸を正規化した減衰曲線を全て重ねたものを図-6に示す。

図-6によれば、各実験結果は(護岸からの距離/液状化層厚)の値が小さいため、事例分析の結果と直接的な比較は難しい。しかし、液状化層厚が事例分析結果と同程度の遠心載荷場実験の減衰曲線には相関性がみられる。また重力場の減衰曲線は他の結果と比べて著しく減衰していることが読み取れる。今後はこれらの要因の追求も含め、液状化層厚と護岸背後地盤の地表面変位の相関性について検討を加える必要がある。

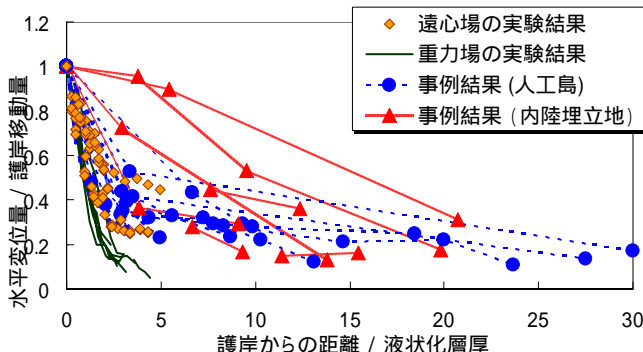


図-6 正規化した減衰曲線（実験、事例の全結果）

4. まとめ

遠心載荷場、重力場条件下の各実験および、事例分析どちらの結果においても、地表面変位量は護岸からの距離が液状化層厚の約3倍になる地点までは著しく減衰し、それ以降の領域ではほぼ一定値に漸近する傾向が確認された。また、ひずみはほぼゼロになりながらも地表面の流動が広範囲に及んでいるという傾向が確認された。

参考文献

- 1) ガス工作物等技術基準調査委員会：「高圧ガス導管液状化耐震設計指針」
- 2) 濱田政則・若松加寿江：「液状化による地盤の水平変位の研究」
- 3) 濱田ら：「1995 兵庫県南部地震液状化，地盤変位及び地盤条件」
- 4) 神戸市，(財)建設工学研究所：神戸の地盤データベース「神戸JIBANKUN」，神戸の地盤研究会 1999,3