

護岸背後地盤の側方流動が 地中構造物に及ぼす影響について

大友敬三¹

¹正会員 工修 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 (〒270-11 千葉県我孫子市我孫子1646)

護岸背後地盤の側方流動が地中構造物に及ぼす影響について小規模な振動台実験により検討した。その結果、とくに砂利を用いた非液状化層のように地表面に亀裂などの変状を伴わない場合には、護岸背後地盤は剛体状となって移動することがわかった。このようなパターンの側方流動に伴う管路模型に対する地盤拘束力や杭模型に対する外力の大きさは地中構造物模型の周辺地盤が液状化する場合に比べて、それぞれ4倍、10倍以上となることを示した。

Key Words : liquefaction, lateral flow, sea wall, pile, buried pipe, shake table test

1. はじめに

護岸背後地盤の側方流動が地中構造物に与える影響を解明することは耐震設計上の重要な課題となっている。このため、護岸のはらみ出しによる護岸背後地盤の側方流動の発生メカニズムや側方流動が杭基礎に作用する荷重に関する実験的研究^{1)~4)}がこれまでに行われてきている。しかし、これらの実験的研究においては、護岸背後地盤の非液状化層の存在が地中構造物に及ぼす影響についてはあまり調べられていない。また、埋設管などを対象とした検討は行われていない。

そこで、本報告では、小規模な重力場の振動台実験に基づいて、とくに非液状化層の側方流動が地中構造物に及ぼす影響について基礎的な検討を行った。

2. 実験方法

今回の実験概要と計測点配置を図-1に示す。実験には、幅300cm、高さ50cm、奥行50cmの鋼製土槽を用いた。土槽の一端から50cmの位置に護岸模型を配置し、その背後に模型地盤を作成した。護岸模型は厚さ6mmの鋼板であり、土槽底部とはヒンジで結合した。模型地盤の材料には珪砂6号(比重2.633, 最大間隙比0.865, 最小間隙比0.352)を用いた。本実験では、地表面から15cmの厚さで非液状化層を作成した。非液状化層は砂利(粒径2~4mm)を敷いたものと地下水位を下げ不飽和状態にしたものの2種類を考慮した。したがって、実験ケースは非液状化層あり(砂利)、非液状化層あり(不飽和)、液状化層のみの3ケースである。図-1に示すような

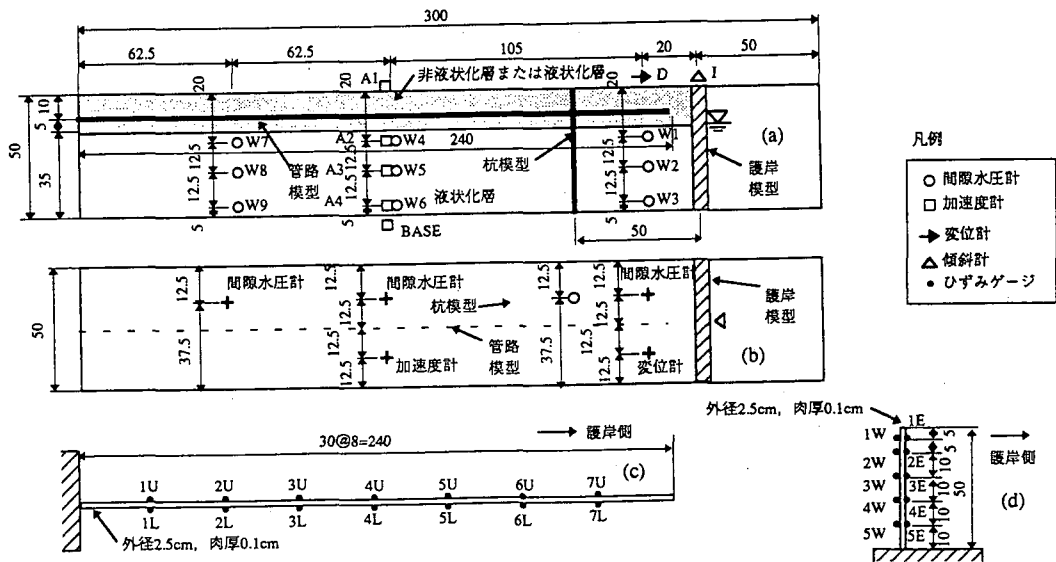


図-1 実験概要と計測点配置 (a)側面図, (b)平面図, (c)管路模型, (d)杭模型 (単位: cm)

位置に管路模型と杭模型の2種類の地中構造物模型を設置した。これらはアルミ中空管（厚さ2.5cm, 肉厚0.1cm）である。

計測項目は模型地盤の加速度, 過剰間隙水圧, 変位, 護岸模型の傾斜角, 地中構造物模型のひずみ, などである。また, 模型地盤表面にはマーカーを10cm間隔の格子状に設置して, マーカーの移動量から振動台加振前後の地盤変位を計測できるようにした。振動台加振は振動数2Hzの正弦波を30波加えた。すなわち, 加振時間は15秒である。振動台加速度の片振幅は150~200Galの範囲に設定した。液状化層のみのケースでは, 加振終了と同時に護岸模型を60度傾けた。一方, 非液状化層が存在するケースでは, 振動台加振中(加振後約10秒)に護岸を傾斜させた。これは, 予備実験を行ったところ, 非液状化層が存在すると, 加振後に護岸模型を60度傾斜させても護岸模型のごく近傍の背後地盤に変位が生ずるだけで, 側方流動が生じなかったからである。

3. 実験結果と考察

(1) 側方流動の発生状況

図-2に地表面マーカーの移動量から読みとった護岸模型背後の地盤の側方流動変位分布を示す。ここで示した変位は護岸模型からの同一断面に設置したマーカーの平均値である。液状化層のみの場合は護岸背後から150cmの範囲で変位の急激な減衰が見られる。これは本実験と同規模の他の実験結果⁴⁾と同

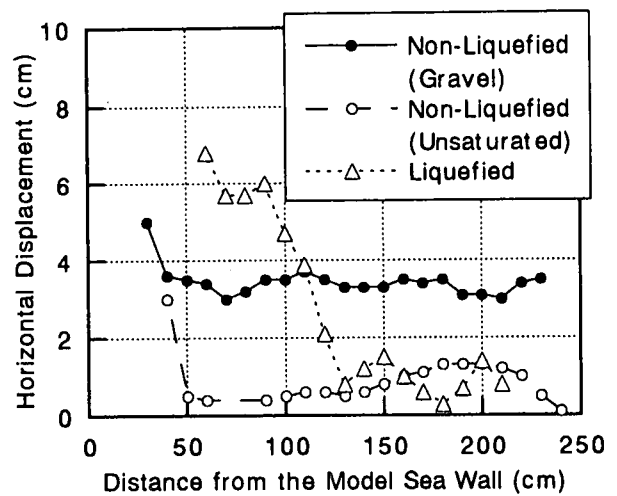


図-2 模型護岸背後地盤の水平変位

様な結果である。非液状化層(不飽和)の場合には, 変位量が3ケースのうちで最も小さく, また, 変位が減衰する範囲が護岸背後の50cmと液状化層のみの場合と比べて小さい。

非液状化層(砂利)の場合は, 背後地盤の変位量はほぼ一定であり, 土槽端部付近まで及んでいる。この結果は非液状化層の部分が剛体状で移動したことを示している。加振中に護岸模型を傾斜させた結果ではあるが, 非液状化層に亀裂などの変位を伴わないで剛体状に移動する側方流動のパターンもあり得ると考えられる。

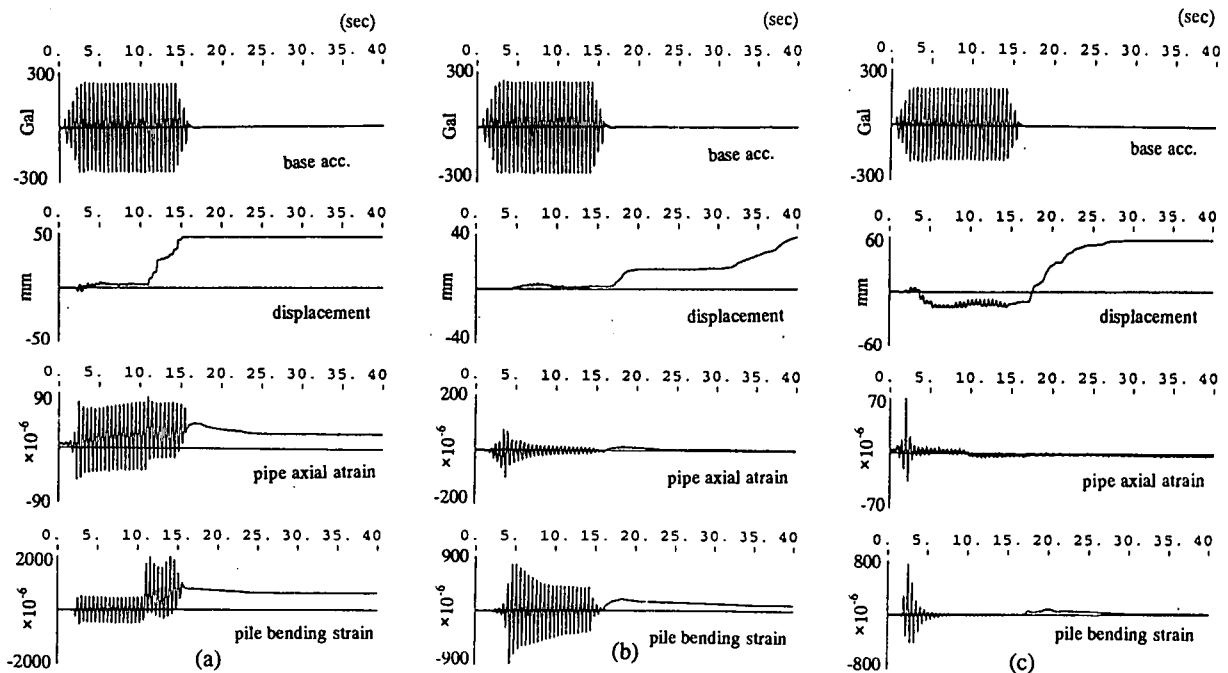


図-3 振動台加速度, 地盤変位, 管路模型の軸ひずみ, 杭模型の曲げひずみ
(a)非液状化層あり(砂利), (b)非液状化あり(不飽和), (c)液状化層のみ

(2) 地中構造物模型の挙動

図-3に振動台加速度 (BASE), 地盤水平変位 (D), 管路模型軸ひずみ (IUL), 杭模型曲げひずみ (SEW) の時刻歴波形を示す。非液状化層 (砂利) の場合は, 加振中には動的振幅はほぼ一定で地盤に変位が生ずると同時に管路模型軸ひずみや杭模型曲げひずみの中立軸が移動している。すなわち, 地中構造物模型に変形が生じていることがわかる。これに対して, 非液状化層 (不飽和) や液状化層のみのケースでは, 加振中にひずみの動的振幅の増幅や減衰が見られる。これは, 地中構造物模型周辺地盤の剛性が液状化過程で著しく軟化したためと考えられる。しかし, 側方流動が生じて非液状化層 (砂利) の場合のように顕著な地中構造物模型の変形は認められない。

図-4に管路軸ひずみの分布を示す。ただし, ひずみは中立軸移動分の最大値である。軸ひずみの中立軸移動分はすべてのケースで正であったので, ここで示すのは引張り軸ひずみである。管路模型に発生した軸ひずみは 10^{-5} のオーダーである。背後地盤の移動量から推定される地盤ひずみは少なくとも 10^{-2} 程度だから非常に小さなレベルにとどまっている。これは実験が低拘束圧下であったことと, 地盤と管路模型の間で容易にすべりが生じたためと考えられる。

このように, 非常に小さな軸ひずみの範囲内ではあるが, 管路軸ひずみ分布は護岸背後地盤にわたって様な分布になっている。とくに, 非液状化層 (砂利) の場合では, 図-2に示した変位分布と対応するような軸ひずみ分布を示している。また, 軸ひずみの程度は非液状化層 (砂利), 非液状化層 (不飽和), 液状化層のみの順である。これは, 非液状化層でかつその剛性が低下しない場合の方が地盤拘束力は大きいことを示している。

管路軸ひずみに基づいて, 管路模型に作用した単位面積あたりの地盤拘束力 τ を推定した。管路模型に作用する側方流動の地盤拘束力 f_s は

$$f_s = \pi \tau D l \quad (1)$$

で表せる。ここで, D : 管路模型の外径 (2.5cm), l : 管路模型の長さ (240cm) である。また, f_s は管路模型の軸剛性 EA と軸ひずみ ϵ_p を用いれば,

$$f_s = EA \epsilon_p \quad (2)$$

により推定できる。式(1)と式(2)より τ を推定した。なお, 式(2)の ϵ_p については, 図-4に示した管路模

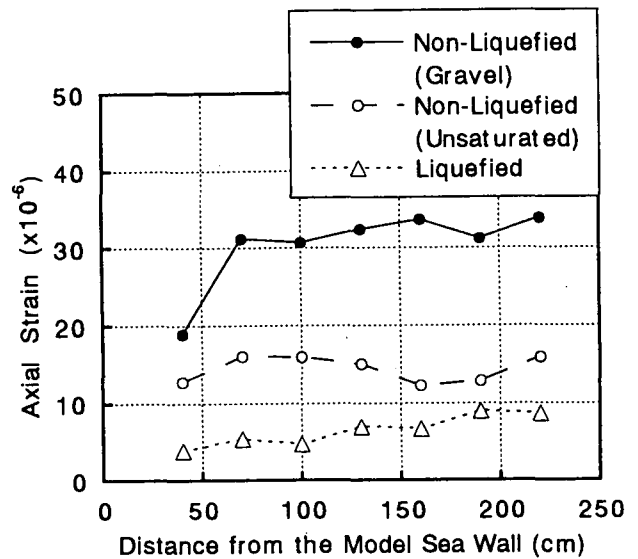


図-4 管路模型の最大軸ひずみ分布

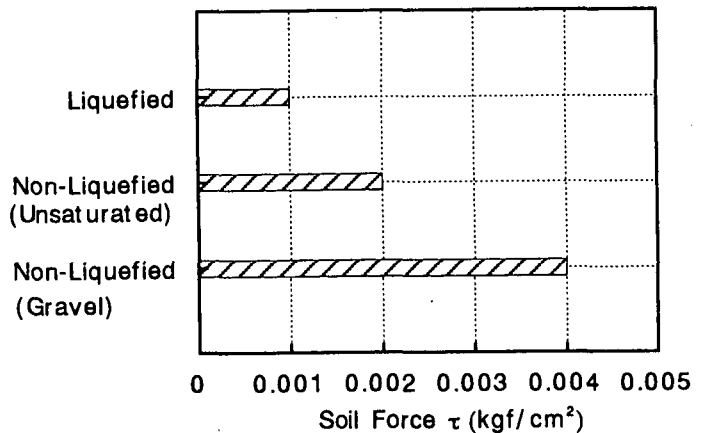


図-5 管路模型への地盤拘束力

型軸方向のデータを平均した。

図-5にこのようにして推定した結果を示す。非液状化層 (砂利) の場合の単位面積あたりの地盤拘束力は非液状化層 (不飽和), 液状化層のみのケースのそれぞれに比べて, 2倍, 4倍になっている。

図-6に杭模型の最大曲げモーメント分布を示す。曲げモーメントは曲げひずみの中立軸の移動の最大値を杭模型の曲げ剛性 EI に基づいて換算したものである。非液状化層 (砂利) のケースにおける杭模型の曲げモーメントは他のケースに比べて圧倒的に大きい。図-1に示したように杭模型の設置位置は護岸から50cmである。この場合, 図-2を見ると護岸背後50cmにおいては, 液状化層のみの場合の方が非液状化層 (砂利) よりも変位量は大きい。しかし, このような地盤変位量の違いにもかかわらず非液状化層 (砂利) からの外力が卓越した曲げモーメントを発生させたことが理解できる。一方, 非液状化層

(不飽和)と液状化層のみの場合には、地盤が液体状になって流動したので、外力としては小さくなったと考えられる。

図-7は杭模型の曲げモーメント分布を3次多項式で回帰分析して、それを2回微分することにより推定した側方流動の外力 q (単位長さあたりの力)である。非液状化層(砂利)の場合、深さ方向に逆三角形の分布であり、非液状化層からの外力が強調されている。一方、他のケースは等分布荷重であり、報告者がこれまでに検討した結果⁵⁾と同様な傾向となっている。外力の分布形状は異なるが、非液状化層(砂利)の場合の外力は他のケースよりも10倍以上大きいと考えられる。

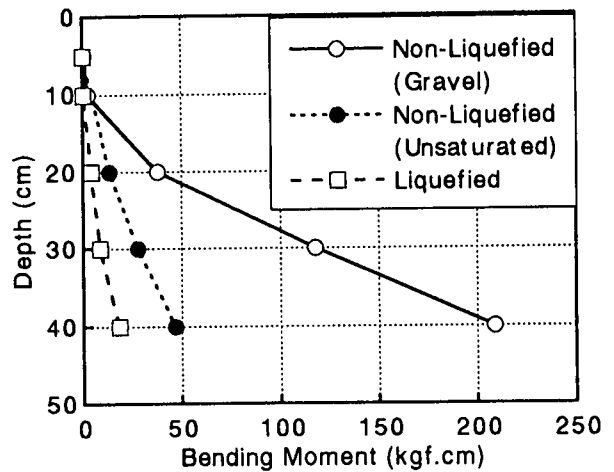


図-6 杭模型の最大曲げモーメント分布

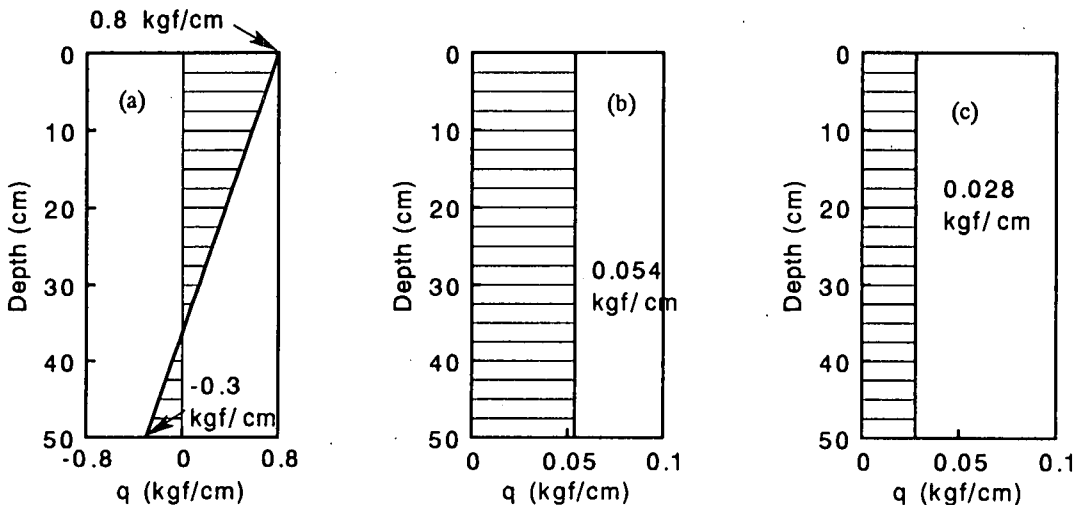


図-7 杭模型への推定外力 (a)非液状化層あり(砂利), (b)非液状化層あり(不飽和), (c)液状化層のみ

4. まとめ

護岸背後地盤の側方流動が地中構造物に及ぼす影響について小規模な振動台実験により検討した。その結果、とくに砂利を用いた非液状化層のように地表面に亀裂などの変状を伴わない場合には、護岸背後地盤は剛体状となって移動することがわかった。このようなパターンの側方流動に伴う管路模型に対する地盤拘束力や杭模型に対する外力の大きさは地中構造物模型の周辺地盤が液状化する場合に比べて、それぞれ4倍、10倍以上となることを示した。

参考文献

- 1) 二宮嘉朗・田村敬一・東拓也：岸壁の変状にともなう側方流動に関する実験的研究，第51回土木学会年次学術講演会講演概要集III, pp.248-249, 1996.
- 2) 堀越研一・大津宏康・田中満・末岡徹：護岸背面地盤の側方流動影響範囲に関する遠心載荷模型実験，第51回土木学会年次学術講演会講演概要集III, pp.252-253, 1996.
- 3) ケーソン岸壁および杭基礎の液状化被害に関する遠心振動実験，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集1996年1月, pp.391-396, 1982.
- 4) 安田進・野村博之・寺内哲也・田中宏征・喜田浩・龍田昌毅・原田典佳：液状化による護岸背後地盤の流動とその対策工に関する振動台実験，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集1997年1月, pp.121-126, 1997.
- 5) 大友敬三：側方流動による洞道・杭基礎系への外力，第23回地震工学研究発表会講演概要, pp.373-376, 1995.