

流動化に伴う地盤変位及び 地盤反力特性に関する検討

東 拓生¹・田村 敬一²

¹正会員 建設省土木研究所 振動研究室 研究員 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

²正会員 工博 建設省土木研究所 振動研究室 室長 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

平成7年兵庫県南部地震では、臨海部の埋立地盤の広い範囲で液状化が発生するとともに、特に、水際線近傍では液状化に伴う流動化が発生し、橋梁基礎に残留変位が生じた事例が見られた。流動化に対する基礎構造物の設計法は、土圧を直接構造物に作用させる方法と、地盤の変位及び地盤反力係数により応答変位法に基づいて作用力を推定する手法がある。後者の応答変位法に基づく設計法では、地盤の変位及び地盤反力係数を精度良く推定することが必要である。

本研究は、これまでに行った振動台実験等の結果を整理することにより、流動化地盤の水平変位について検討するとともに、流動化時の地盤—構造物間の地盤反力特性の整理を行ったものである。

Key Words : Liquefaction, Ground Flow, Shaking Table Test, Bridge Foundation, Sea Wall

1. はじめに

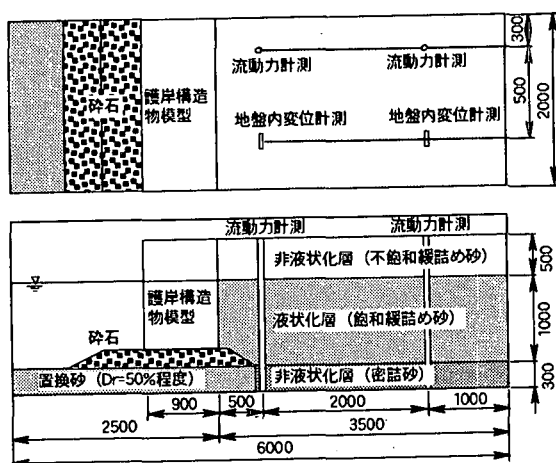
平成7年兵庫県南部地震において、地盤の流動化により橋梁基礎に変位が生じたことに鑑みて、平成8年12月に改訂された道路橋示方書V耐震設計編では、橋に影響を与える流動化が生じる可能性がある場合は、その影響を考慮して耐震設計を行う必要があると規定された¹⁾。ここでは、橋梁基礎に作用する流動力は、非液状化層内については受働土圧、液状化層内については全上載圧の30%程度の荷重を基本に、水際線からの距離及び液状化の程度によって補正を行うと規定された。兵庫県南部地震から4年が経過し、多くの実験や数値解析が行われるようになり、これらの成果に基づいて、流動化地盤の変形が基礎構造物に及ぼす影響をベースとした、いわゆる応答変位法による設計法が検討されている。この応答変位法に基づく設計を行うためには、流動化地盤の変位及び地盤反力係数を精度良く推定することが必要である。

本研究は、これまでに行った護岸構造物及びその背後地盤の流動化に関する模型振動実験を整理することにより、流動化地盤の水平変位及び地盤—構造物間の地盤反力特性について検討したものである。

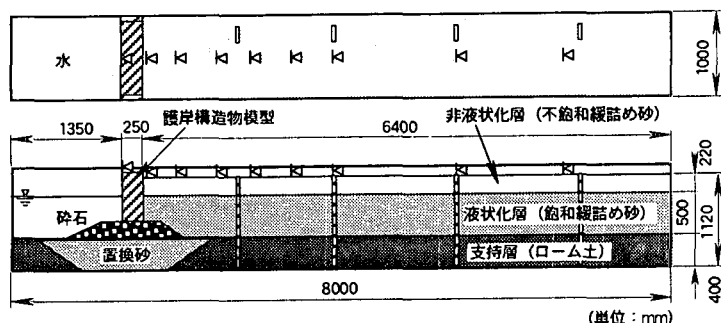
2. 実験の概要

本研究で検討対象とした模型振動実験は、土槽内に護岸構造物模型及びその背後に地盤模型を設置し、これを振動台で加振することにより液状化及び流動化を発生させたものである。図-1に模型の概要を示す。(a)に示す Model-1 は地盤反力特性に関する検討を行うための大型の実験模型であり、幅 6m×奥行 2m×高さ 2m の土槽内に、護岸構造物模型(幅 0.9m×奥行 2m×高さ 1.3m)を設置したものである。ただし、この模型では、護岸高さに対して背後地盤の長さを十分に確保できないため、地盤の流動がどの程度背後まで生じているかを把握するのは困難である。このため、(b)に示す幅 8m×奥行 1m×高さ 1.2m の土槽を用いて中型の実験を行った(以下、Model-2 と呼ぶ)。このモデルに用いた護岸構造物模型は、幅 0.25m×奥行 1m×高さ 0.58m であり、地下水位を地表面から 0.22m とした。

Model-1 では、1 模型につき周波数 5Hz の正弦波の最大加速度を 150gal 及び 500gal の 2 段階に変化させ、土槽の長手方向に加振することにより液状化及び流動化を発生させた。一方、Model-2 では、周波数 10Hz で最大 500gal まで振幅が漸増する正弦波

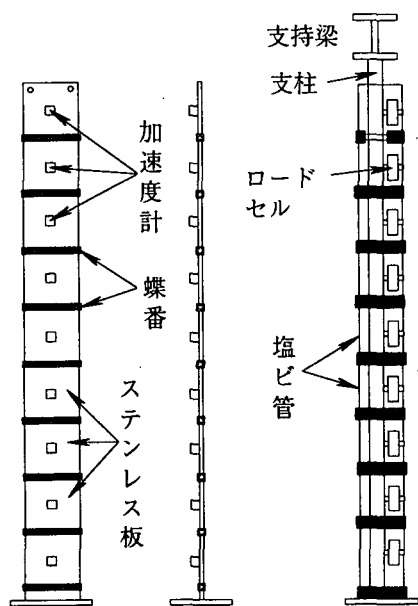


(a) Model-1



(b) Model-2

図-1 実験模型の概要



(a) 地盤内変位計

(b) 流動力計

図-2 地盤内の水平変位及び流動力の計測方法

を用いて土槽の長手方向に加振を行った。Model-1 及び Model-2 とともに、背後地盤の地表面の水平変位、地盤内の水平変位を計測するとともに、Model-1 については、地盤内に生じる流動力を計測した。地盤内の水平変位及び地盤内に生じる流動力は、図-2 に

示すような、地盤内の9～11深度で地盤の水平変位あるいは流動力を計測することができる変換器を用いて計測した。地盤模型作成方法等は Model-1、Model-2 と同様である。実験方法や変換器の構造等の詳細は文献2) または4) を参照されたい。

3. 流動化地盤の水平変位

ここでは Model-2 の実験結果に基づいて、地盤の水平変位及び流動範囲に関する整理及び考察を行う。

図-3 に、護岸構造物模型の水際線側の先端からの距離とその位置で計測された地表面の水平変位の関係を示す。護岸からの距離が0の点は、護岸の水平移動量を示している。この図から、護岸から遠くなると地表面の水平変位は小さくなる傾向が見られる。また、護岸構造物の変位が大きくなるに伴い、水平変位が護岸から離れた地点まで生じる傾向が見られる。すなわ

ち、流動化が生じる範囲（以下流動範囲と呼ぶ）が護岸から背後方向に増大している。

このようなことから、本実験結果を基に流動範囲の算定を試みた。実験では、護岸構造物の変位が大きくなると、護岸背後の土槽端部付近においても地盤変位が生じてしまうため、護岸構造物の水平変位に対して地盤の水平変位が十分に小さくなる地点の護岸からの距離を水平変位の計測結果から読みとり、流動範囲を算定した。なお、流動範囲の算定に当たっては、各水平変位測定地点における変位量を直線補間することにより任意の地点における変位量を求めた。このようにして求めた流動範囲と護岸の水平変位量の関係を図-4 に示す。護岸の水平変位が大きくなると流動範囲が拡大する傾向が見られる。

図-5 に、地表面水平変位を護岸の変位で除した値と護岸からの距離を流動範囲で除した値の関係を示す。図中には、文献3) に示されている兵庫県南部地震での被災事例に基づいた曲線を併記している。実験結果は、文献3) に示されている調査結果より若干大きな値を示すが、おおむね整合的である。

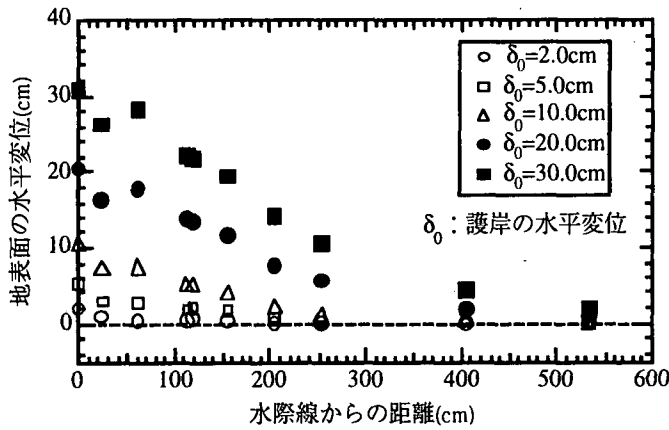


図-3 護岸からの距離と地表面の水平変位の関係

図-6 に、背後地盤の水平変位の深度分布を示す。この図によると、護岸の水平変位が小さい場合は、液状化層の上部の変位が卓越し、表層の非液状化層の変位を上回っている。護岸の変位が大きくなると護岸近傍の地盤では地表面の変位が大きくなるが、このときも護岸から離れた地点では、液状化層の上部の変位が卓越している。これらの計測結果及び実

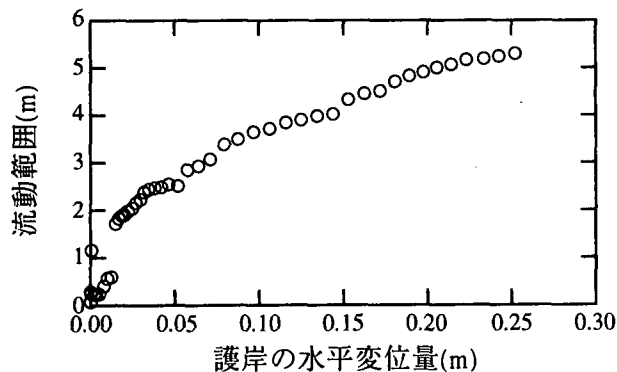


図-4 護岸の水平変位量と流動範囲の関係

験中の地盤の変形状況の観察結果などから、流動化時の地盤変位の発生メカニズムは次のように考えることができる。護岸に水平変位が生じると、背後地盤の護岸近傍に体積変化が生じるが、護岸変位が小さいときには、主に液状化層の

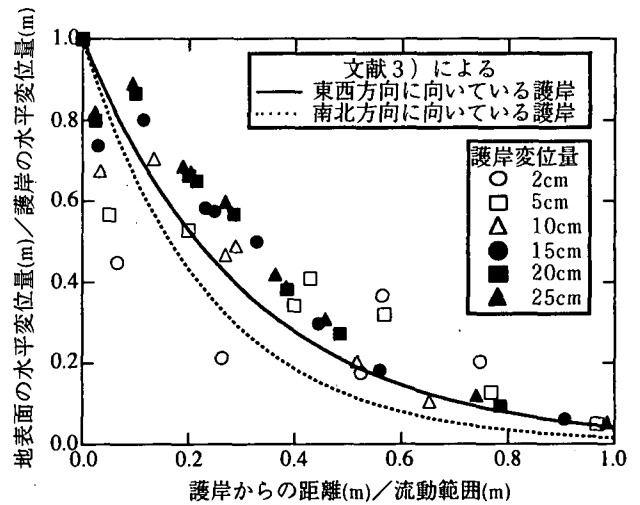


図-5 正規化した地表面の水平変位と護岸からの距離の関係

砂が供給されることによりこれを補うため、表層の非液状化層については液状化層に較べて水平変位が小さい。しかし、護岸の変位が大きくなると表層の非液状化層に大きなクラックを生じ、このクラックより護岸側の土塊が大きく変位することにより、護岸の近傍では表層の変位が卓越する。

4. 流動化時の地盤反力特性

ここでは Model-1 の実験結果に基づいて、流動化時の液状化層内における地盤反力特性について検討する⁴⁾。本検討では、実験中に計測された流動力を、流動力を計測した地点近傍の地盤内の水平変位で除すことにより、流動化時の地盤反力係数を算出した。また、液状化を生じさせずに図-2 の流動力計の支柱頭部を水平に牽引し、流動力計に作用する力及び支柱の水平変位を計測する実験により、常時の地盤反

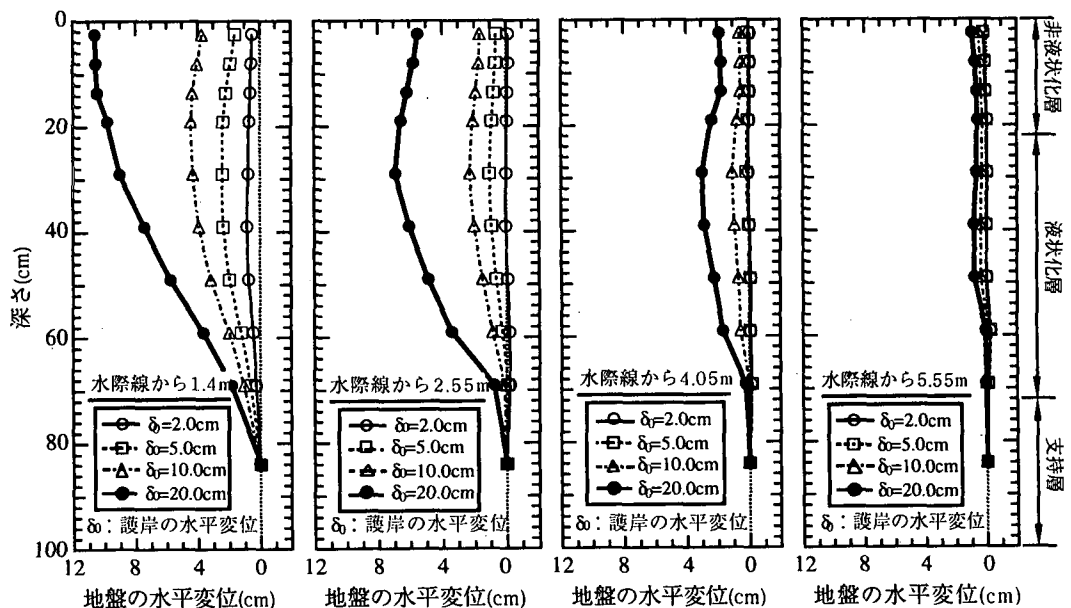


図-6 地盤の水平変位の深度分布

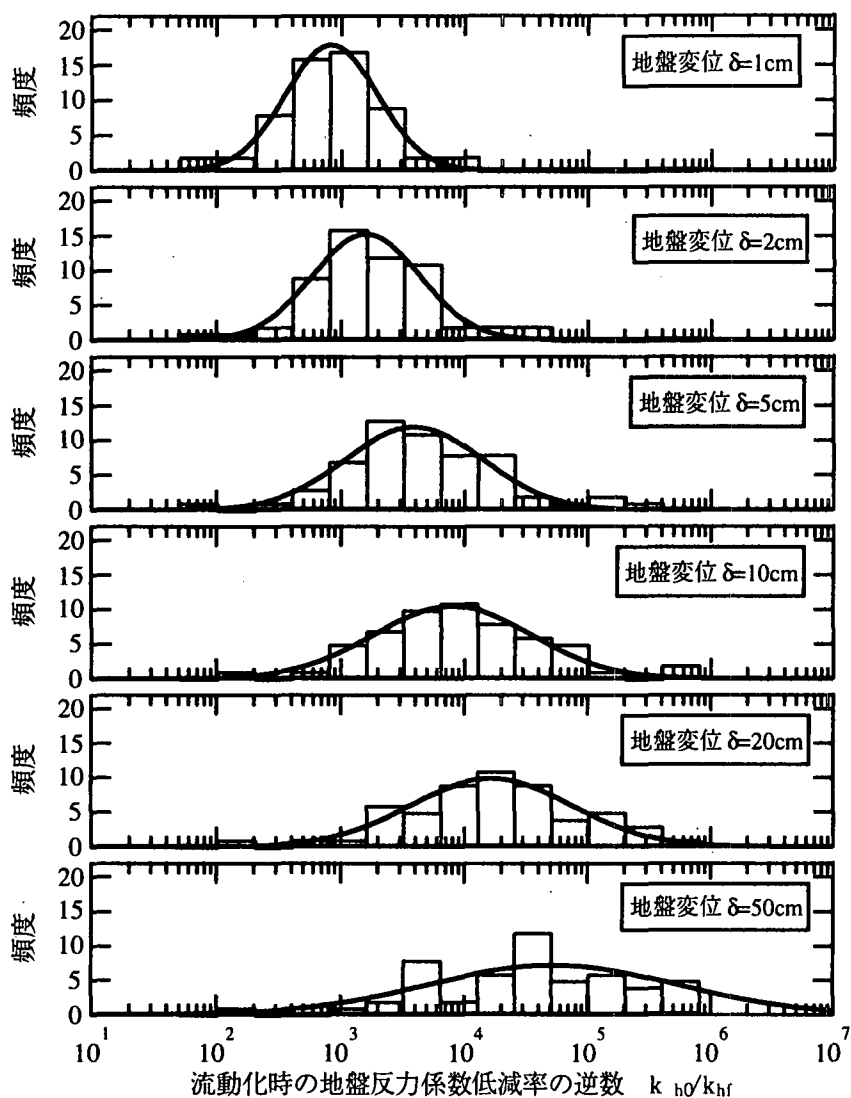


図-7 流動化時の液状化層内における地盤反力特性

力係数を求め、流動化時の地盤反力係数を常時の地盤反力係数で除した値を地盤反力係数低減率と定義した。本実験では、液状化層厚及び表層の非液状化層厚を変化させた数種類の模型を用いており、また、1 模型につき 2 地点の 9 ～ 11 深度で地盤の水平変位及び流動力を計測している。これらの結果から、流動化時の液状化層内での地盤反力係数低減率を算出し、その逆数の頻度について整理することにより、図-7 を得た。この図によると、液状化層内の地盤反力係数低減率は、周辺地盤の水平変位によって変化し、地盤の変位が 1cm のときに 1/1000 程度、地盤の変位が 10cm のとき 1/8000 程度、地盤の変位が 50cm のとき 1/50000 程度が卓越しており、地盤変位が大きい場合は、地盤反力係数が著しく低下することがわかる。このことから、液状化層の地盤反力係数を、想定する地盤変位に応じて設定することの必要性が示唆される。また、既往の検討によると、

表層の非液状化層では、流動化により非常に大きな変位が生じると、受働土圧相当の荷重が計測されており²⁾、表層の非液状化層については、受働土圧を上限値とするような地盤反力度—変位関係から地盤反力特性を設定することが有効であると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、流動化時の地盤の水平変位及び地盤反力特性について考察した。その結果、背後地盤の流動範囲は、護岸の水平変位が大きくなると背後に拡大する傾向があり、また、背後地盤の地表面の水平変位は、兵庫県南部地震の被災事例と整合的であった。また、流動化時の液状化層内における地盤反力特性は、地盤の変位によって変化することがわかった。

本研究は模型振動実験に基づいているが、特に流動化時の地盤反力係数については、模型の規模や値のばらつきの大きさを考えると、実験

の結果をそのまま設計に適用することは困難であるため、被災事例の逆解析的に推定することが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成 8 年 12 月
- 2) 東拓生，田村敬一：流動化に伴う地盤変位及び橋梁基礎に作用する力に関する研究，第 24 回地震工学研究発表会講演論文集，pp557-560，平成 9 年 7 月
- 3) 石原研而，安田進，井合進：液状化にともなう岸壁・護岸背後の流動の簡易予測方法，第 24 回地震工学研究発表会講演論文集，pp541-544，平成 9 年 7 月
- 4) 東拓生，田村敬一：流動化が橋梁基礎に与える影響及びその対策に関する実験的研究，第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp25～30，平成 10 年 11 月