

地盤内硬軟分布が液状化地盤の流動現象に与える影響に関する模型実験

福井工業高等専門学校	正会員○吉田雅穂
福井工業高等専門学校専攻科	武澤永純
福井工業高等専門学校	平井英樹
金沢大学工学部	正会員 宮島昌克
金沢大学工学部	正会員 北浦 勝

1. はじめに

液状化した地盤が水平方向に数メートルも移動する流動現象は、従来より地表面の傾斜や護岸の移動が要因となって発生するとされてきた。しかし、過去の流動現象を詳しく調べてみると、護岸から数百メートルも離れ、また地表面勾配が全くない、または1%以下のほぼ水平な地盤においても、数メートルのオーダーで流動が発生しているケースも確認されている¹⁾。著者らはこれまで、このようなほぼ水平地盤における流動現象の一要因が地盤内の硬軟分布、換言すれば空間的な液状化の程度の違いによるものと考えており、それが流動量や流動方向に与える影響について過去の震害事例を基に検討を行ってきた²⁾。本研究は、この様なほぼ水平地盤における流動現象のメカニズムを模型実験により明らかにするものである。すなわち、従来の模型実験では地盤材料や地盤物性値が水平方向に均一な地盤を用いる場合が一般的であったが、本研究では地表面は水平であるが物性値の異なる地盤が水平方向に分布する複合地盤をモデル化して実験を行った。

2. 実験概要

模型地盤の概要を図-1に示す。アクリル製の土槽（長さ800mm×幅400mm×高さ500mm）内下部に傾斜角約30度の非液状化基盤層を設け、その上部に7号珪砂（ $\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$, $D_{50}=0.16\text{mm}$ ）を水中落下させて地表面が水平な模型地盤を作成した。なお、本文では同図に示すように地盤の長手方向をX軸、短手方向をY軸、また傾斜基盤の右側を上流側、左側を下流側と称している。地盤の上流側は相対密度100%以上の締固め砂層、下流側は相対密度約30%の緩詰め砂層となっており、両地盤の体積がほぼ同じになるように地盤境界部を設定した。加振装置は起振機を取り付けた板バネ式振動台であり、その上に固定した土槽をY軸方向に加振した。最大加速度約50gal、振動数約2.5Hzの振動を起振機により40秒間継続入力するとともに、加振開始5秒後には打撃により土槽に大きな振動を与えて液状化を発生させている。計測項目は入力加速度と地盤内の過剰間隙水圧、そして水平及び鉛直方向の残留変位である。

3. 実験結果および考察

同一条件の実験を3ケース行った結果、ほぼ同様の傾向が得られたため、ここではその結果の一例を示す。図-2は入力加速度と地盤内に発生した過剰間隙水圧の時刻歴波形を示したものである。加振開始5秒後の打撃加振により約200galの加速度が入力されており、それによって緩詰め砂層では一気に過剰間隙水圧が初期有効上載圧まで上昇し、その後約15秒間その状態が継続している様子が分かる。一方、締固め砂層での過剰間隙水圧は初期有効上載圧までは達しておらず、また最大値を示した後徐々に減少しており、両砂層の液状化の程度の違いが確認できる。

図-3は地表面における鉛直方向の残留変位の分布を示したものであり、X軸方向に50mm、Y軸方向に100mmピッチで計測した値を基にその分布を補間して表示した。X軸方向で多少分布にばらつきはあるものの、上流側の締固め砂層では沈下量が小さく、下流側の緩詰め砂層では沈下量が多い傾向を示している。しかし、両地盤の層厚と相対密度がともに異なるため、液状化の程度の違いによる地盤沈下の差異は不明である。

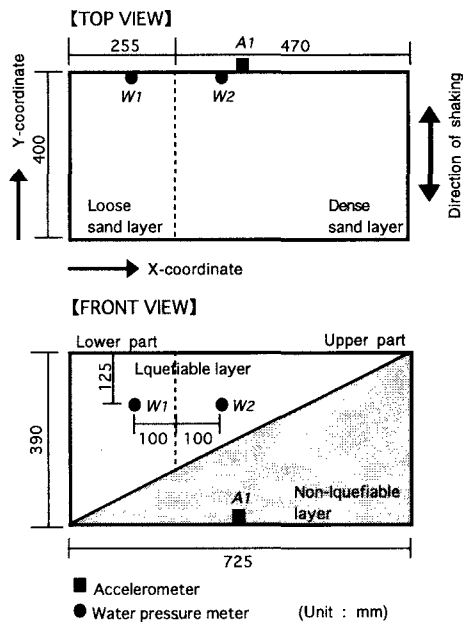


図-1 模型地盤の概要

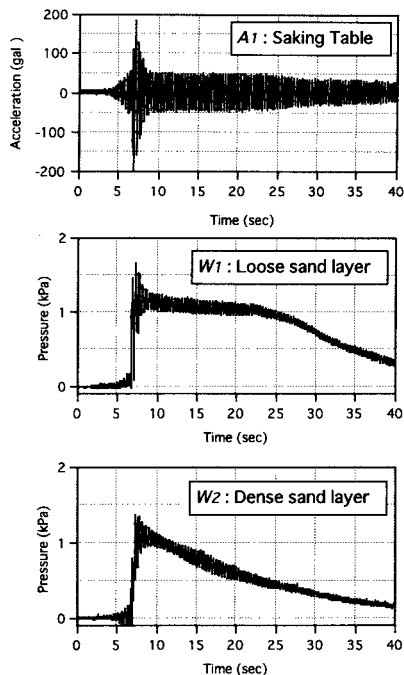


図-2 入力加速度と過剰間隙水圧の時刻歴波形

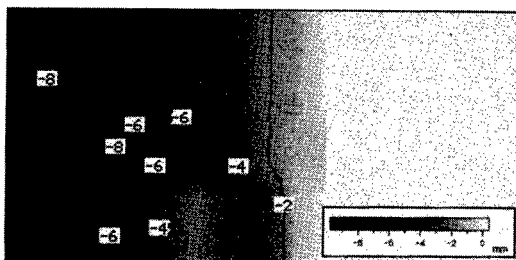


図-3 地表面の鉛直変位分布

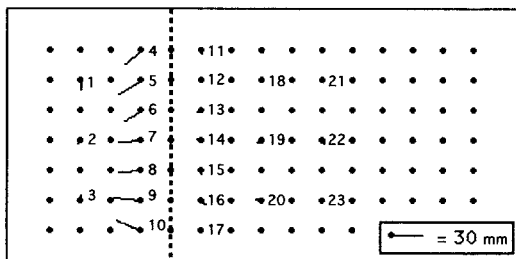


図-4 地表面の水平変位分布

図-4は地表面における水平方向の残留変位ベクトルを示したものであり、図中に示す計23地点で計測を行った。大きな水平変位が生じた所は地盤境界部から緩詰め砂層側約100mmの範囲内であり、他の地点ではほとんど残留変位は生じていない。変位方向は、X軸方向に関しては締詰め砂層から緩詰め砂層方向、すなわち基盤傾斜方向に発生しており、Y軸方向に関しては両壁面から中央に向かう方向に変位している傾向が確認できる。

実験の目視結果によれば、加振5秒後の打撃によって緩詰め砂層側が一気に液体状となり、土槽内で大きく波打つ現象が約3秒間継続し、同図の測点4から測点10に見られる下流側への大きな残留変位の約半分がこの時点で発生していた。その後も緩詰め砂層側は加振終了時まで小さく動揺しており、地盤境界部側から徐々に固化していくと同時に変位も収束していく様子が確認できた。図-2のW₂で確認できるように締詰め砂層側でも過剰間隙水圧は上昇しており、地盤境界部から約100mmの範囲内では打撃直後に地盤が若干ではあるが軟化する現象が確認できた。しかし、その約10秒後には固化しており、水平方向への変位はほとんど確認できなかった。

この流動現象のメカニズムを考察すると、Y軸方向において地盤中央に向かって生じた変位は、液体状になった地盤が土槽壁面に波打ち、その反射によって生じた動的な残留変位と考えられる。また、X軸方向の変位についても、液体状となった緩詰め砂層が地盤境界部において軟化の程度の小さい締詰め砂層に波打ち、その反射の影響で生じた残留変位とも推測できる。しかし、打撃直後の大きな波打ち以降にも変位は継続的に生じており、この点に関しては他の要因が流動に関与していた可能性は否定できないと考えられる。

4. おわりに

模型振動実験を行った結果、水平地盤における液状化後の水平方向への地盤変位を確認することができたが、未だ不明の点が多い。今後はさらに実験を行い、水平地盤における地盤流動のメカニズムについて検討していきたい。なお、実験では福井高専学生の宮本直樹君の協力を得た。また、本研究は文部省科学研究費（奨励研究(A)）の補助によって行われたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献 1) 吉田雅徳, 宮島昌克, 北浦 勝: 1995年兵庫県南部地震における液状化地盤の流動方向に関する検討, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol.2, pp.1359-1364, 1998. 2) Yoshida, M., Miyajima, M. and Kitaura, M.: A Simplified Procedure to Estimate Liquefaction-Induced Large Ground Displacement using Spatial Liquefaction Potential, Proc. of the Seventh International Conference on Structural Safety and Reliability, 1997 (in press).