

(47) 液状化地盤の永久変位に関する模型実験

九州工業大学工学部 安田 進、多田 浩
 ○中島良二、山本芳生

1. まえがき

地震時に砂地盤で液状化が生じると、地盤の支持力が減少したり過剰間隙水圧が発生するだけでなく、地盤全体が大きく滑り出して、最大数mにも及ぶ永久変位が生じる場合もあることが最近浜田ら¹⁾により明らかにされている。その測定結果によると、傾斜地盤はもとより、地表面が水平な地盤でも液状化層下面が傾いている場合にも永久変位が生じている。この永久変位を振動台実験で再現し、発生メカニズムについて考察を加えること、および永久変位量に与える地盤の種類、密度の影響を調べるためにいくつかの条件で実験を行ったので以下に報告したい。

2. 実験装置及び試料

実験には幅0.8m、高さ0.7m、奥行き0.5mの鋼製の土槽（前面のみガラス張り）を用い、これを油圧式の振動台（1m×1m）にのせて加振した。土槽の両側壁内には、端面の影響を軽減するため、厚さ5cmのフォームラバーをはりつけた。

用いた試料は山口県豊浦郡の浜から採取し0.42mmふるいで粒度調整した砂を主に用いたが、その他千葉県産の山砂も用いた。これらの粒度分布等を図-1に示すが、前者は新潟市や能代市で液状化を生じた砂と同様の細粒分を含まない砂で、豊浦標準砂に似た粒度組成となっている。これに対して、後者は細粒分を6%含んでいる。

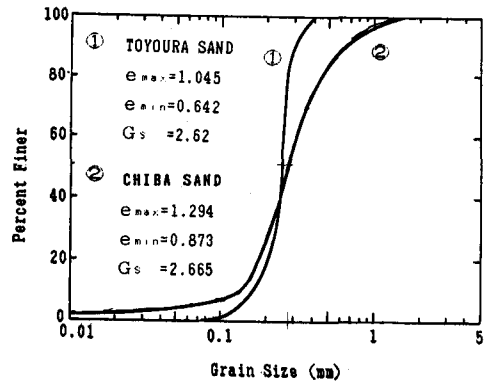


図-1 試料の物性

3. 実験内容

新潟地震および日本海中部地震の被害事例により、永久変位を生じるパターンとして図-2のようなものが挙げられている。まず、地表面が水平な地盤でも液状化層下面が傾いていると、その方向に永久変位が生じる。また、地表面が傾いていると、その方向に変位が生じる。

そこでこれを再現するため豊浦砂を用いて表-1に示すように、地表面は水平で液状化層下面が傾いているケース（Aシリーズ）と、液状化層下面と地表面の傾きが同じケース（Bシリーズ）について、液状化層厚と傾きを変えて実験を行った。

また、地表面および液状化層下面の傾き5%、液状化層厚17.5cmのものに関しては、試料と密度を変えて6ケースとし、計8ケースの実験を図-3に示す模型地盤を用いて行った。

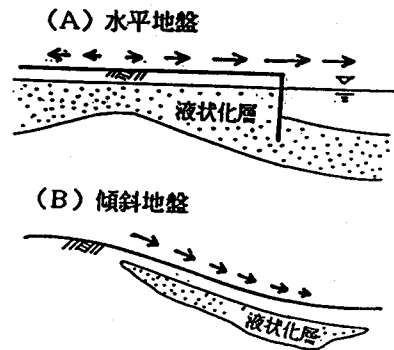


図-2 永久変位が生じるパターン

模型地盤の作成は、基盤は液状化層と同じ試料を詰めたと後に、300galの加速度で2分間加振して締固めた。この状態で本実験時の225gal程度では過剰間隙水圧が発生しないことは予め確認している。液状化層に関しては、湿潤砂、乾燥砂をフルイを通して均質になるように詰めている。また、締固めは木ダコによって行い、その後、土槽下部より注水して飽和させている。

変位量の測定は土槽のガラス側面に鉛直に立てた“うどん”と地表面に図-4に示すように設置したマーカーで、それぞれ液状化層断面内の変位分布と水平変位分布を測定している。

加振は振動数3Hzの正弦波で行い、入力加速度は、数波加振したときに液状化するように、それぞれのケースで表-1に示すように設定した。そして液状化が生じて10秒後に加振を終了させている。

記録は、土槽側面から2.5秒ごとに写真を撮り、加振前後で地表のマーカーの位置を測定している。また、図-3に示す位置に設置した加速度計と間隙水圧計及び台加速度計の測定値を電磁オシログラフに記録している。

4. 実験結果

電磁オシログラフの記録によると液状化後10秒程度では間隙水圧がまだほとんど減少していない。特に透水性も良いため、過剰間隙水圧が最も早く消散して強度が回復すると考えられる超ゆる詰めの豊浦砂においても、10秒程度ではあまり減少していないようであった。このことから、10秒間に生じる変位は液状化状態を保ったままで生じた変位であると考えられる。

液状化層断面内の10秒間の変位分布をうどんの変位より求め、豊浦砂の2種類の密度で比較したのが図-5である。変位は液状化の直後に急激に生じるのではなく、徐々に増加している。また変位はある面をすべり面として表層がすべるのではなく、液状化層全体がせん断変形をして変位が生じている。この傾向はすべてのケースについても共通していた。ただし、図-5からわかるよう

表-1 実験条件

CASE NO.	試料	層厚H (cm)	傾き θ_0 (%)	液状化層のDr (%)	試料の詰め方	加振入力加速度 (gal)
A-2	豊浦砂	17.5	5	47	乾燥砂空中落下	225
A-3	豊浦砂	17.5	10	52	乾燥砂空中落下	225
A-4	豊浦砂	7.5	5	50	乾燥砂空中落下	225
A-5	豊浦砂	27.5	5	56	乾燥砂空中落下	225
B-2	豊浦砂	17.5	5	66	乾燥砂空中落下	225
B-3	豊浦砂	17.5	10	53	乾燥砂空中落下	225
B-4	豊浦砂	7.5	5	66	乾燥砂空中落下	225
B-5	豊浦砂	27.5	5	50	乾燥砂空中落下	225
B-2-L	豊浦砂	17.5	5	-37	湿潤砂空中落下	115
B-2-M	豊浦砂	17.5	5	45	湿潤砂締め固め	150
C-2	千葉砂	17.5	5	62	湿潤砂締め固め	250
C-2-L	千葉砂	17.5	5	0	湿潤砂空中落下	150
C-2-M	千葉砂	17.5	5	46	湿潤砂締め固め	225

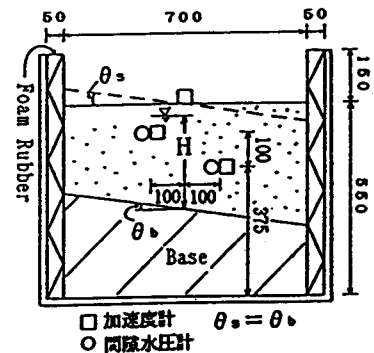
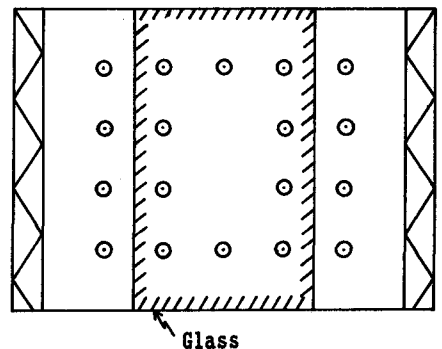


図-3 実験モデル及び計器位置



○ Marker
図-4 地表マーカーの位置

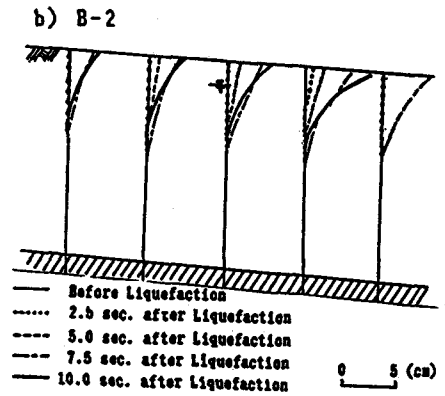
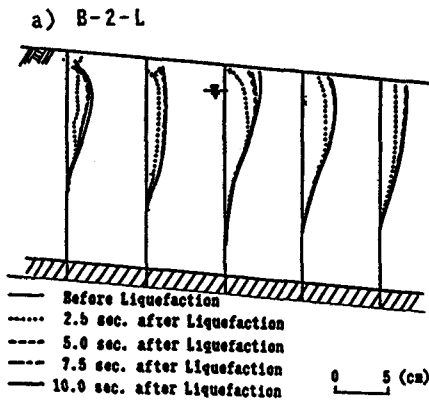


図-5 深さ方向の変位分布

に、豊浦砂の場合、密度の小さい方が少し速く出る傾向にあった。

地表面永久変位量と液状化層厚、傾きの関係を見るため、地表面に設置したマーカーより永久変位量を求めた。ただし、地表面のマーカーについては、側壁に近い部分では動きが拘束されていると判断されるため、図-4の斜線で囲んだ部分のマーカーの変位量のみを用いた。こうしてもとめた永久変位量の平均値と液状化層厚及び傾きの関係を示したのがそれぞれ図-6、図-7である。両図中の本の直線は、豊浦砂の $D_r \approx 55\%$ のものから求めたものであるが、どれも右上がりの傾向を示している。浜田ら¹⁾は永久変位量 D (m) と地表面または液状化層下面の傾き θ (%)、液状化層厚 H (m) との間に、 $D = 0.75 \sqrt{H} \sqrt{\theta}$ の関係がありそうなことを調べている。今回の実験でも H 、 θ の影響は同様に認められたが、 H 、 θ も $1/2$ 乗や $1/3$ 乗より大きい関係となっている。ただし、今回用いた土槽の幅はあまり大きくないため、両端の拘束効果の影響が少しあることも考えられる。また、実際に生じた液状化層下面は少し上にあり、液状化層厚は少し小さいことも考えられる。

図-6、7によると、豊浦砂の超ゆる詰めの場合はゆる詰めより少し大きな変位が出ている。このような関係を見るために、さらに相対密度と変位量のプロットしたのが図-8であるが、山砂より豊浦砂の変位が大きいことや、同じ砂でも密度が小さい方が変位量が大きいことがわかる。

この他、永久変位が生じた後の沈下量の分布を求める

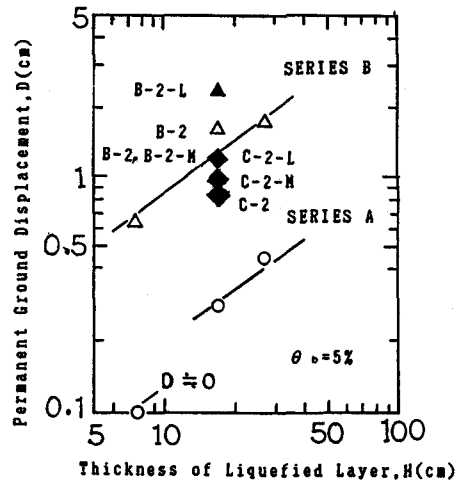


図-6 永久変位と層厚の関係

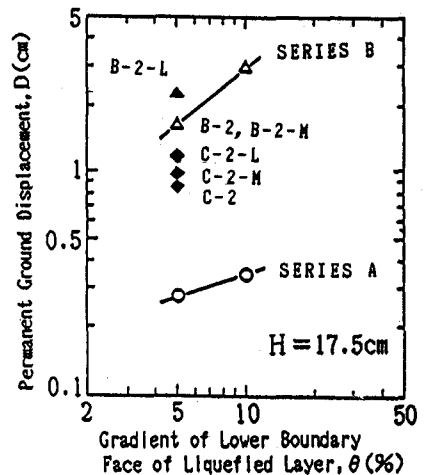


図-7 永久変位量と傾きの関係

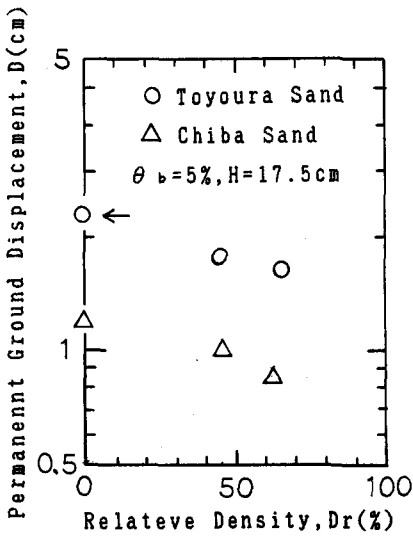


図-8 永久変位と相対密度の関係

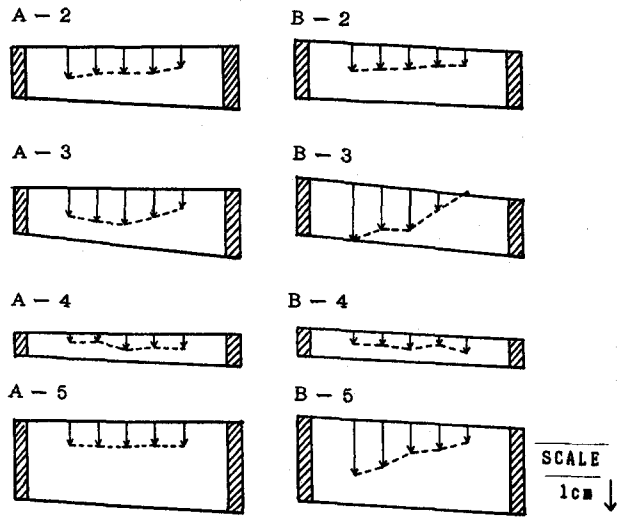


図-9 地表マーカーの沈下量

ため、奥行き方向に同列のマーカーについて沈下量を平均して図示したのが図-9である。地表面の傾いているBシリーズでは、斜面の上部で沈下量が多く、下部で少なくなっている。したがって、下部では鉛直方向への単なる圧縮だけでなく、逆に、上部からのすべりによる盛上がりも生じているようである。Aシリーズでは傾向は明かでないが、液状化層が深い方が沈下量が特に多いという結果にはなっていない。

5. あとがき

液状化による永久変位に与える液状化層厚、傾き、密度及び粒度の影響を検討した。模型実験であることや、データが少ないことから、正確に影響を把握できたとは言いがたい。今後データの蓄積や事例の検討等を進めて行きたい。なお、本テーマに関して御指導をいただいている東海大学浜田政則教授に末尾ながら感謝する次第である。

- 参考文献 1) 浜田政則・他：液状化による地盤の永久変位と地震被害に関する研究、土木学会論文集、No. 376, III-6, pp. 221~229, 1986.
 2) 安田進・他：液状化による地盤の永久変位に関する振動台実験、第22回土質工学研究発表会講演集、pp731~734, 1987.