

III-103

液状化による地盤の流動特性に関する実験的検討

建設省土木研究所 ○松本 秀應 常田 賢一
建設省千葉国道工事事務所 佐谷 祥一

1. まえがき

地盤の液状化により支持力が低下することは橋梁等の設計に考慮されているが、傾斜地盤等が液状化した場合には地盤が大きく変位(流動)することが指摘されており、この地盤流動の有無及びその影響についても検討することが必要である。著者らは液状化による地盤流動の予測を目的として、流動量を支配する主要な因子を探るために振動台を実施してきた^{1),2)}。本文では、境界条件として斜面長と表層の不飽和地盤の有無をとりあげ、地盤内部の流動特性と地表面の流動量に与える影響について整理した結果を報告する。

2. 実験の方法

実験には、図-1に示すように表層に不飽和地盤を有し、斜面長が2, 4, 8mのケース9~11と、表層に不飽和地盤を持たない斜面長8mのケース12の4体の模型地盤を用いた。模型地盤は下層より、浅間山砂(平均粒径0.25mm程度)を用い水中落下法により作製したゆるい液状化層と、玉砂利(平均粒径7mm程度)により作製した不飽和層の2つの層からなり、ケース12は下層の液状化層のみで構成されている。また、傾斜した液状化層を形成するために、模型地盤右方に給水装置、地盤左方に排水装置を設け、地下水位を勾配5%の状態に調節した。模型地盤の条件を過去のケースも合わせて表-1に示す。

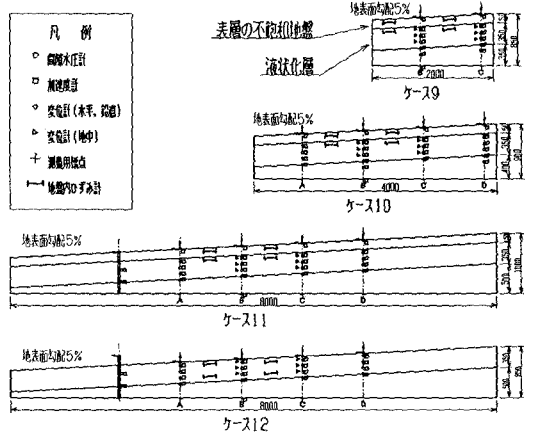


図-1 模型地盤の概要

表-1 模型地盤の条件

ケース	地表面の傾斜度(%)	液状化層下面の傾斜度(%)	地盤長(m)	斜面長(m)	液状化層厚(cm)	不飽和地盤厚(cm)
1	5	0	6	6	7.0	0~3.0
2	7	0	6	6	2.0	0~4.5
3	5	0	6	6	2.0	0~3.0
4	5	0	6	6	3.5	0~3.0
5	2.5及び0	0	6	6	3.5	0~1.5
6	5及び0	0	6	3.2	3.5	0~1.6
7	0	0	6	6	0	0
8	1.5及び0	0	φ2	φ1	2.5	0~1.5
9	5	5	2	2	3.5	1.5
10	5	5	4	4	3.5	1.5
11	5	5	8	8	3.5	1.5
12	5	5	8	8	3.5	0

それぞれの模型地盤を所定の入力加速度の2Hzの正弦波により20秒間加振し、模型各部の応答加速度、発生間隙水圧、変位量を計測した。加振は40gal, 60gal, 80gal・・・と段階的に入力加速度を大きくし、地盤に流動が発生し始める状態と、液状化していてもそれ以上変形が進行しない最終変形状態を確認するよう実施した。測定機器は図-1に示すように配置しており、以下の結果の整理にあたっては、各測定断面毎の結果を用いた。

3. 地盤流動の発生開始加速度

各加振段階における入力加速度振幅と、その加振段階までにおいて発生した斜面中央における地表面の累積水平変位量の関係を図-2に示す。表層に不飽和地盤を有しないケース12では、入力加速度振幅が100galを越えると地盤に有為な変形が発生し始め、表層に不飽和地盤を有するケース9~11では、150galを越えないと地盤には有為な変形は生じていない。これは、液状化地盤にとって不飽和地盤が存在することが有効応力の増加をもたらす、加振中の地盤内のせん断応力

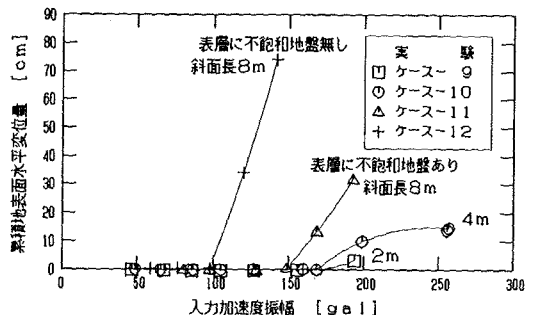


図-2 累積地表面変位の発生特性

比を低下させたことに起因すると考えられる。また、表層に不飽和地盤が存在するケース9～11を比較すると、斜面長が長くなるほど小さな入力加速度から地盤に変形が生じ始めており、(両端の土層壁が影響を与えにくくなる)斜面長の長い場合に地盤の変形が生じやすくなるのがわかる。

4. 地盤の最終変形状況

各ケースの最終加振後において、地盤模型側面に設置しておいたマーカーの変形状況のスケッチを図-3に示す。斜面長が2m, 4mと短いケース9, 10では、谷側(図面では左側)の壁近くではマーカーはほぼ直線のままで水平変位量も小さく、山側(図面では右側)に向かうにつれて液状化層内でのせん断変形が大きくなり、その結果地表面の水平変位量も大きくなっている。斜面長が8mと長いケース11でも山側に向かうにつれて水平変位量が大きくなる傾向は認められるが、地表面の水平変位よりも液状化層内の水平変位の方が大きくなっている。

一方、表層に不飽和地盤を持たないケース12では、図-2に示したように地表面の水平変位量そのものも同じ斜面長8mのケース11に比べ2倍程度と大きく、水平変位の深度分布も地表方向に大きくなり、ケース11のように地中部で最大の水平変位を示すような領域は存在しない。また、加振中に地表面が波長2m程度で波打つ現象が認められ、その結果、加振後の地表面に2m間隔で山が形成された。

5. 流動量と諸要因の関係

既往の実験結果^{1),2)}から、地盤流動による地表面の水平変位量Dを左右する要因として、①間隙水圧比がほぼ1.0になってからの加振時間T、②間隙水圧比がほぼ1.0になっている液状化層の厚さH、③地形による初期せん断力の大きさ(ここでは地表面の勾配 θ_s により整理を行う)が考えられている。また、今回の実験から表層の不飽和地盤が地盤の変形を抑制することが考えられるため、不飽和地盤の剛性の程度を表す指標として式-1を定義し、これにより整理を行うことを試みた。ここで、 H_s :不飽和地盤の厚さ、 γ_t :不飽和地盤の単位重量、 ϕ :不飽和地盤の内部摩擦角を示す。

$$\text{剛性指標} = 0.5 * H_s^2 * \gamma_t * \tan \phi \quad (\text{式-1})$$

図-4はこれまでに実施してきた実験結果^{1),2)}も含め、単位液状化時間、単位液状化層厚に対する流動量 $D / (T * H)$ と、地表面の勾配 θ_s の関係について整理を行ったものである。同図から、地表面の勾配が大きくなるにつれて $D / (T * H)$ が増加し、不飽和地盤の剛性指標が大きくなるにつれて $D / (T * H)$ が減少する傾向があることがわかる。

あとがき 今後は、実験から得られた知見に基づいて、実務的な指標を用いた実地盤での流動量の簡易算法について検討を進めることが必要である。

参考文献 1)佐々木, 松本, 佐谷: 液状化にともなう地盤流動に関する振動台実験, 第24回土質工学研究発表会
2)松本, 常田, 佐谷: 液状化による地盤流動に関する模型実験, 第25回土質工学研究発表会

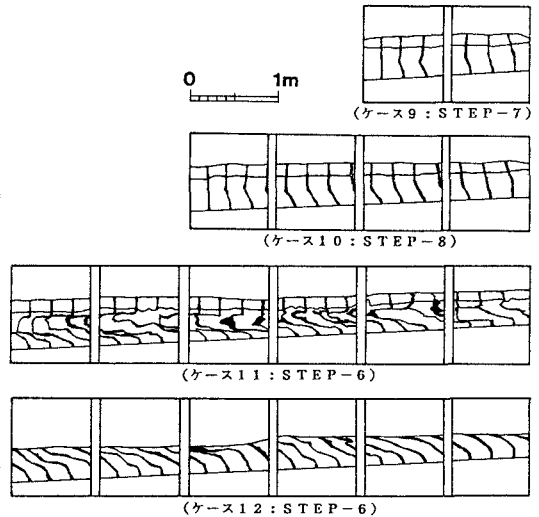


図-3 最終加振後のマーカーの変形状況

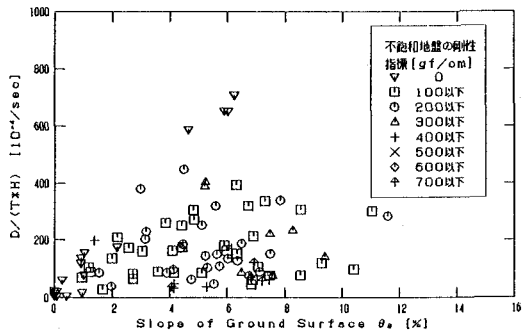


図-4 $D / (T * H)$ と θ_s の関係