

(104) 盛土の地震時変形量に与える液状化層厚の影響に関する模型振動実験

建設省土木研究所 正員 佐々木 康
 建設省土木研究所 正員 ○松本 秀應
 建設省土木研究所 正員 近藤 益央

1. まえがき

日本海中部地震等既往の地震により、数多くの道路盛土など盛土形式の構造物が甚大な被害を受けた。これらの被害の多くは地盤の液状化によるものであり、砂質地盤上の盛土の耐震性を検討するにあたり、液状化の影響を無視することはできない。液状化する地盤上の盛土の地震による変形量は、地震力の大きさ、液状化の程度、液状化する層厚などの影響を受けることが知られている。本稿は、このうち液状化する層厚に着目して行った振動台実験について報告するものである。

2. 実験の概要

振動台上に観測窓を有する土槽を設置し、土槽内にロームを用い液状化を起こしにくい層を作成した後、その上部に水中落下法により浅間山砂を用いて液状化を起こしうる地盤模型を作成した。地盤模型が完成した後に、気乾状態の浅間山砂を用いて盛土模型を作成した。模型は、液状化を起こしうる地盤の層厚を変化させ6ケースとした。模型の形状および寸法は図-1に示すとおり、地盤厚さ80cm、盛土天端幅20cm、盛土高さ15cmであり、左右対称の全断面模型であり、地下水位は地盤表面と一致させた。模型条件としては、盛土および地盤の締固め条件を同一とし、浅間山砂を用いた液状化を起こしやすい層の厚さのみを15cmから60cmまで変化させることを目標としたが、実際の模型は表-1に示すとおり盛土の相対密度が25~40%、地盤の相対密度が61~80%の模型となった。

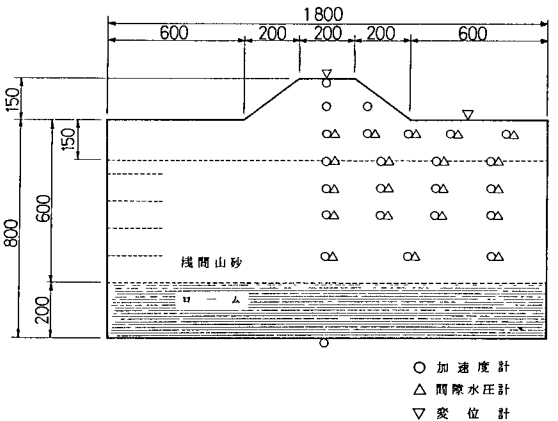


図-1 実験模型概要

表-1 実験模型の物理特性

模 型 No.	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
液状化層厚 [cm]	15	20	30	40	50	60
乾燥単位体積重量	盛土 1.39	1.38	1.41	1.41	1.42	1.38
γ_s [(t/m ³)]	地盤 1.49	1.50	1.54	1.48	1.49	1.49
間 隙 比	盛土 0.905	0.915	0.877	0.878	0.861	0.917
	地盤 0.769	0.762	0.718	0.786	0.778	0.768
相 对 密 度	盛土 28.2	25.4	36.0	35.7	40.4	24.9
	地盤 66.0	67.8	80.2	61.3	63.5	66.3

各ケースとも模型完成後、破壊特性を調べる本実験に先立ち模型の概略の振動特性を把握するため共振実験を行った。共振実験は振動台加速度を10 gal一定とする正弦波加振で行い加振振動数範囲は5~40Hzとした。破壊特性を調べる本実験においては、加振振動数5 Hzの正弦波により一定加速度で8秒間(40波)継続した。一度加振した後は、間隙水圧が消散したことを確認の後に、加速度を増加し盛土の変状が十分大きくなるまで加振を繰り返した。各模型の加振実験における各加振段階と振動台の実測最大加速度の関係を表-2に示す。

表-2 振動台の実測最大加速度

模 型 No.	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	
液状化層厚 [cm]	15	20	30	40	50	60	
実測最大加速度 [gal]	加振段階1	36	37	36	32	38	36
	加振段階2	71	74	68	60	68	68
	加振段階3	103	103	103	100	100	100
	加振段階4	139	133	134	132	132	128
	加振段階5	171	164	163	159	161	167
	加振段階6	204	197	—	—	—	195

計測は、実験時の振動性状ならびに間隙水圧の変

化を把握するために、図-1に示すように地盤および盛土内に加速度計および間隙水圧計を設置した。また、実験中および実験後の模型各部の変状を明らかにするために、模型側面に白色に着色した砂により10cm間隔のメッシュを作成し、側面の観測窓よりスチールカメラにより模型の変形状況を記録するとともに、盛土天端中央には変位計を設置し、盛土天端の沈下量を計測した。

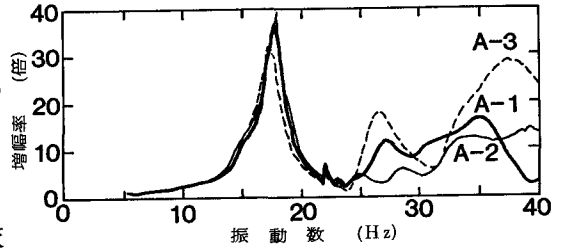


図-2 共振曲線 (盛土天端中央)

3. 実験結果

3.1 共振実験

模型完成後、本実験に先立って行った共振実験の結果の例を図-2に示す。縦軸の応答倍率は盛土天端中央における応答加速度振幅を振動台の加速度振幅に対する比で表したものである。これより、盛土模型の微小振幅時における共振振動数は17~18Hz程度であり、液状化する層厚の大小にかかわらず、ほぼ等しい振動特性を有していることがわかる。

3.2 破壊特性実験

(1) 加速度と盛土変形量の関係

振動台加速度と盛土天端の累積沈下量の関係を図-3に示す。これより、液状化層厚が60cmのA-6の場合を除くと、同一振動台加速度に対する盛土天端の累積沈下量は、液状化層厚が30cmまでの模型では層厚に比例して増加する傾向にあり、層厚が30cmを越える模型では層厚によらず、ほぼ等しい累積沈下量を示している。次に、盛土に作用する加速度と盛土の沈下量との関係を見るために、盛土直下地盤の応答加速度と盛土天端の累積沈下量との関係を図-4に示す。振動台加速度で整理した図-3の場合と同様に、液状化層厚の厚いものほど累積沈下量が大きくなる傾向がある。今回の実験の様に累積沈下量が7cm程度の範囲では沈下量の傾向は液状化層厚が15, 20cmの場合と30cm以上の場合に分けられる。すなわち、液状化層厚が薄い20cm以下の場合には累積沈下量が大きくなると沈下量の増加割合が減少する傾向があり、層厚が30cm以上の場合には盛土直下地盤の応答加速度に比例して線形的に累積沈下量が増加する傾向がある。これは液状化層厚が異なることにより、盛土および地盤の変形特性が異なるためと考えられる。

地盤および盛土の変形状況を見るために、土槽側

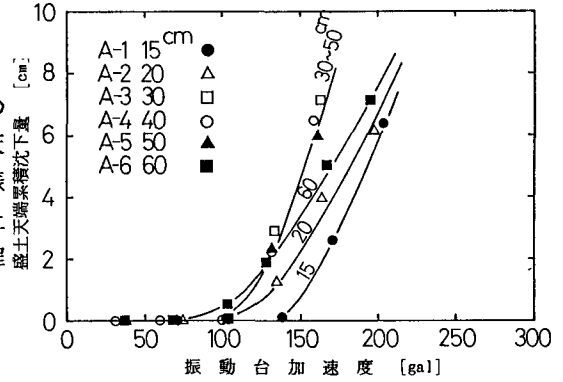


図-3 盛土沈下量と振動台加速度の関係

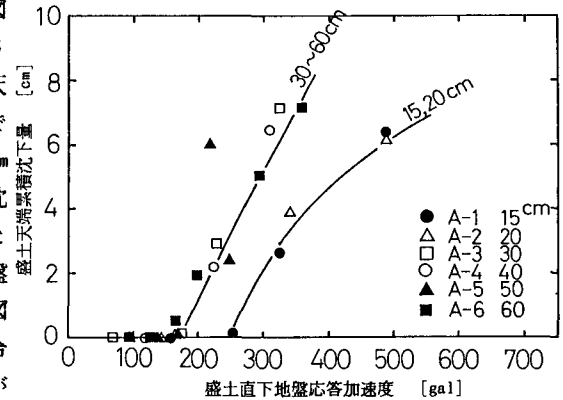
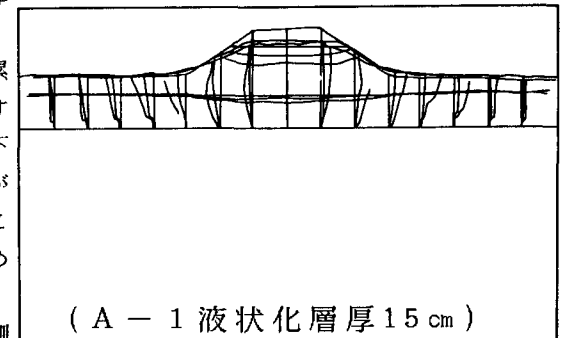


図-4 盛土沈下量と地盤応答加速度の関係



(A-1 液状化層厚 15 cm)

面の観測窓より撮影した写真から、加振段階3（振動台加速度約100gal）、4（約130gal）、および5（約160gal）の終了時におけるメッシュの変状を重ね書きしたものが図-5である。液状化層厚が15cmと薄いA-1の場合には、液状化層厚の下端近くまで地盤に水平変位が認められ、地盤の水平変位は地表面において最大となっている。液状化層厚が50cmと厚いA-5の場合には、地盤の水平変位の認められる領域が地表面より30~40cmの深さまで広がり、地盤の水平変位は地表面で最大とはならず、地表面より20~30cmの深さにおいて最大となる。また、A-1の場合には盛土法面が法尻に向かって広がることにより盛土の沈下が生じているのに対し、A-5の場合には盛土全体が地盤内にめり込む形で沈下を生じている。

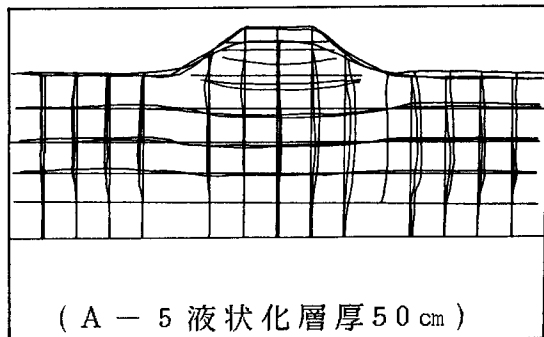


図-5 メッシュの変状図

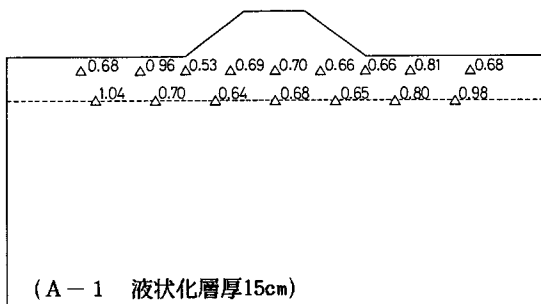
(2) 過剰間隙水圧と盛土変形量の関係

加振段階5（振動台加速度 159~171gal）の加振終了直後における過剰間隙水圧比の分布の例を図-6に示す。間隙水圧は実測値を用い、有効上載圧はFEM解析により求めた値を用いている。A-1（液状化層厚15cm）およびA-5（50cm）の場合には、盛土直下地盤では、過剰間隙水圧比が0.5~0.7程度、盛土周辺の地盤では、0.7~1.0と高く、特に周辺地盤においては完全液状化の状態に近いことがわかる。図-3に示したとおり、沈下量の小さいA-6（60cm）の場合には、盛土周辺の地盤においては0.7~1.0と高い過剰間隙水圧比を示しているが、盛土直下地盤においては0.2~0.5程度と他の模型よりも小さな値を示しており、盛土直下地盤が十分飽和されていなかったことが考えられ、このことが沈下量を小さくした要因と考えられる。

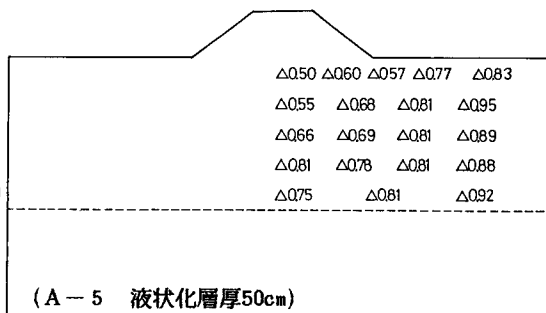
加振段階5（振動台加速度約 160gal）における、各模型の盛土天端の沈下曲線を図-7に示す。これより、液状化層厚の増加とともに沈下量が増加する傾向があることがわかる。

また、加振段階5における各模型の盛土天端の沈下速度を図-8に示す。液状化層厚が15cmと薄いA-1の場合には加振開始後 2.5秒頃に最大の沈下速度を示すが、液状化層厚が20cm以上の場合には加振開始後 1秒頃に最大の沈下速度を示しており、沈下速度曲線はこれら2つの曲線に大別される。同様に

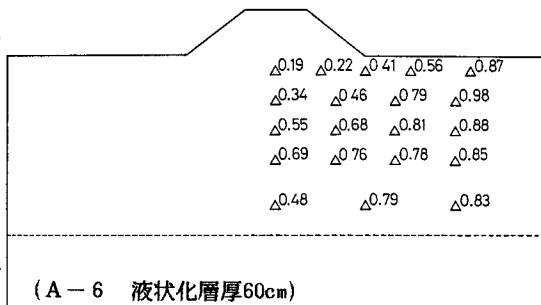
加振段階5における盛土直下地盤内の過剰間隙水圧の時間的変化の例を図-9に示す。過剰間隙水圧はA-1の場合には加振開始後 2.5秒頃に最大の過剰間隙水圧を示し、液状化層厚が20cm以上の場合には



(A-1 液状化層厚15cm)



(A-5 液状化層厚50cm)



(A-6 液状化層厚60cm)

図-6 過剰間隙水圧比の分布

加振開始後0.5~1秒頃に最大の過剰間隙水圧を示しており、盛土天端沈下速度と良い対応を示している。また、図-9より盛土天端の沈下速度は、盛土直下地盤内の過剰間隙水圧比(=過剰間隙水圧を初期有効上載圧に対する比で表したもの)が0.5~0.6を越えるまでは単調に増加し、その後はほぼ等しい沈下速度を示すか、あるいは沈下速度の減少が認められる。沈下速度の減少が認められるのは、盛土天端の沈下量が大きいA-2以上の模型の場合であり、沈下速度の減少に盛土高さの減少による盛土荷重の低下が大きく影響していると考えられる。

4. 結論

液状化層厚を種々変化させて盛土の模型振動実験を行うことにより明らかになった事は次のとおりである。

(1) 同一入力加速度に対し盛土の沈下量は液状化層厚が厚いほど大きくなる傾向がある。

(2) しかし、液状化層厚がある層厚を越えると層厚が盛土の沈下量に与える影響は小さくなる。

(3) この境界の層厚は、液状化層厚が厚い場合に地盤の水平変位が認められる深さとほぼ一致する。

(4) 盛土直下地盤内の過剰間隙水圧の発生量と盛土天端の沈下速度は良い対応を示しており、過剰間隙水圧比が0.5~0.6程度までは沈下速度は単調に増加し、その後は盛土高さの減少とともに沈下速度も減少する。

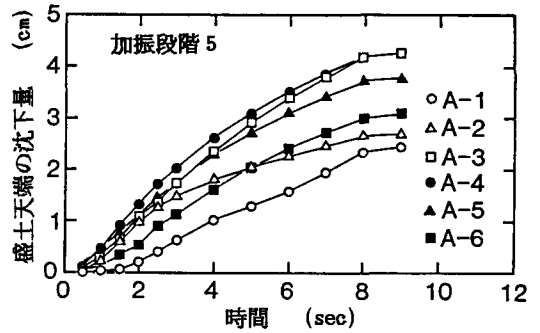


図-7 盛土天端の沈下曲線

今回の実験では、盛土高さ15cmの盛土に対し、沈下に影響を与える領域として層厚30~40cm(盛土高さの2倍程度)という結果が得られた。これは、土槽内に設けた特定の断面形状の盛土に対する結果であり実際の盛土に対して直接この比率を対応づけることはできないが、以上の傾向は実際の盛土にも対応するものと考えられ、地盤改良の範囲および盛土の変形量に大きく影響を与える箇所について検討するにあたりおおいに参考になるものと考えられる。

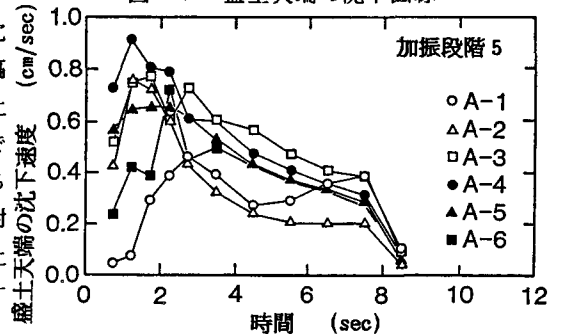


図-8 盛土天端の沈下速度

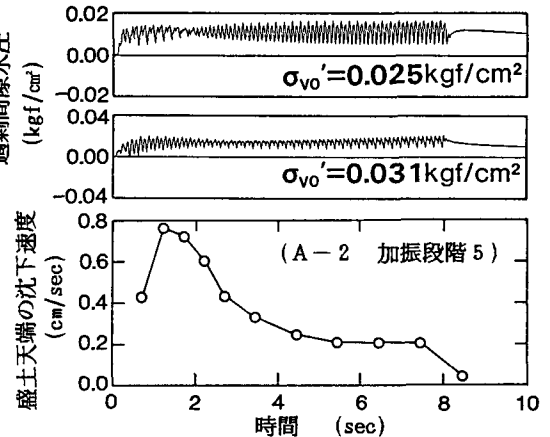
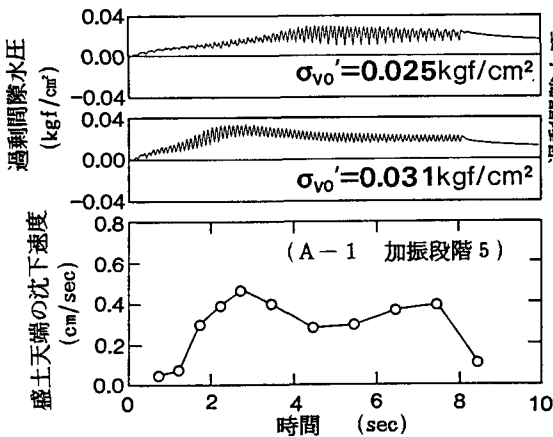


図-9 過剰間隙水圧の時間的变化