

過剰間隙水圧の上昇に伴う盛土の挙動に関する 実験的検討

金口義胤¹・弥勒綾子¹・大木基裕¹・澤田亮¹

¹鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部
(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail:kanaguti@rtri.or.jp

液状化による盛土被害の大部分は、盛土の支持地盤が液状化することによる盛土全体の沈下に代表される。このような背景の中で、鉄道盛土における液状化対策工として鋼矢板締切工法が挙げられるが、液状化時の挙動を精度よく把握して検討されたものではない。本研究では、過剰間隙水圧の上昇過程における支持地盤上の盛土挙動の時間的な変化を把握し、合理的な液状化対策工を検討することを目的に、せん断土槽を用いた模型振動実験を実施した。その結果、液状化時の盛土の沈下量に及ぼす要因として、支持地盤の挙動に着目して検討し、盛土沈下量と支持地盤の液状化程度の相関性について把握した。

Key Words : liquefaction, pore water pressure, embankment, countermeasure

1. はじめに

液状化地盤上の盛土の被害は、盛土を支持する地盤の液状化による盛土全体の沈下に代表される。鉄道盛土において液状化対策工を検討する上では、列車走行性の観点から盛土の沈下量を抑制する必要がある。

本検討では、液状化の可能性のある地盤上の盛土の挙動を把握するために、せん断土槽を用いた1G場における模型実験を実施した¹⁾。前述したように地震時の鉄道盛土の沈下対策を考える上では、支持地盤が液状化した時の盛土の沈下量を定量的に把握することが重要となる。盛土の沈下程度を示す指標の1つとして、地震動の継続時間、すなわち繰返し回数が挙げられている²⁾。このことから、本検討では、地震動の繰返し回数に着目し、盛土の沈下と支持地盤の液状化程度の関係を検討した。また、盛土の沈下に影響すると推測できる支持地盤のひずみ増加についても時間的な変化を高速カメラによる画像解析を用いて測定し、盛土の沈下と支持地盤のひずみの関係について検討した。また、液状化発生を許容しても、盛土の沈下を最小限に抑えることが可能な合理的な対策工について検討を行った。

2. 実験概要

(1) 模型地盤の概要

模型概要を図-1に示す。実験は、鋼製のせん断土

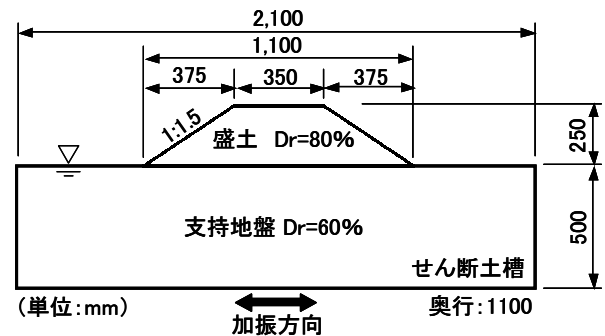


図-1 模型概要

表-1 模型地盤に用いる材料物性

	盛土	支持地盤
使用砂	珪砂6号(最上珪砂) ($\rho_s=2.652, e_{max}=0.903, e_{min}=0.582$)	
相対密度Dr(%)	80	60
含水比w(%)	10	(飽和)

槽(長さ:2.1m,幅1.1m,高さ1.4m)を用いて実施した。このせん断土槽の特徴としては、前面に透明な強化ガラスを設置することにより、地盤の動きを観察可能なことである。模型地盤は、盛土と液状化層からなる支持地盤の構成とした。模型のスケールは実際の鉄道盛土を約1/30にモデル化している。模型地盤の用いた材料物性を表-1に示す。盛土及び支持地盤は、珪砂6号を用い、相対密度はそれぞれDr=80%,60%になるよう空中落下法により作成し、

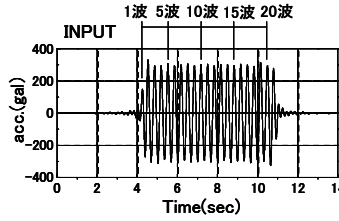
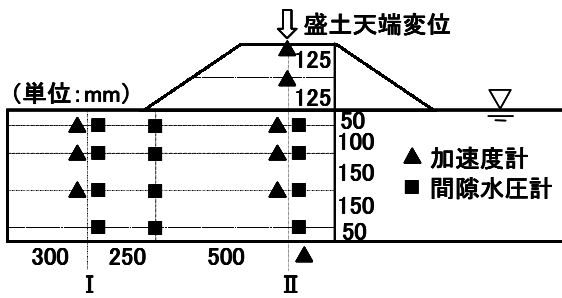


表-2 加振概要

振動波形：正弦波	
最大加速度 (gal)	300
周波数 (Hz)	3
波数	20
サンプリング周波数 (Hz)	500

図-2 計測機器の設置概要と入力加速度時刻歴

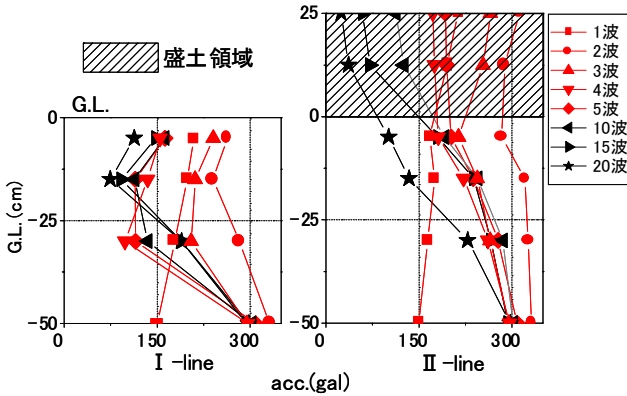


図-3 応答加速度の深度分布

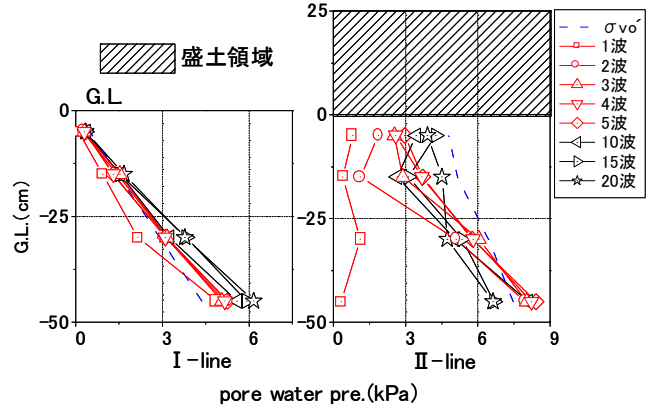


図-4 過剰間隙水圧の深度分布

支持地盤は、砂の間隙にCO₂（二酸化炭素）を充填させた後、地盤底面より水を注入することにより飽和させ、盛土は、含水比10%になるよう調整した。盛土と支持地盤の境界には、モビロンフィルムを配置し、盛土内が液状化しないようにした。

(2) 計測機器と加振概要

代表的な計測機器の設置概要と入力加速度の時刻歴を図-2に示す。地盤の各部に対して、加速度計、間隙水圧計、変位計を設置し、加振加速度に対する応答値を測定した。また、土槽ガラス面側に色砂を設置し、支持地盤と盛土の変状状態が観測できるようにした。観測は、色砂の移動の経時変化を高速度カメラにより測定した。

加振は、表-2に示すように、300gal、4Hz、20波の正弦波で実施した。

3. 実験結果

(1) 加速度と過剰間隙水圧の深度分布

測線 I, II の応答加速度を図-3に、過剰間隙水圧を図-4に示す。いずれも繰返し回数による応答値の変化の様子を示す。応答加速度については、測線の盛土内部では、繰返し回数とともに徐々に減衰しているのが確認できる。盛土下の地盤においては、3波目で減衰し、測線 II の自由地盤については、4波目に減衰している。自由地盤の加速度が時間とともに減衰していくのに対し、盛土下では、減衰はあまり見られず、その傾向は、深いところほど顕著である。また、過剰間隙水圧の上昇との関係でみると、

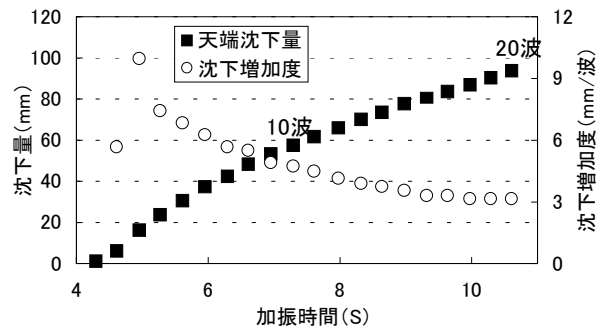


図-5 盛土の天端沈下量と1波ごとの天端沈下増加度

過剰間隙水圧の上昇に伴い、応答加速度の減衰が確認でき、液状化による免振効果が示唆される。なお、過剰間隙水圧は、加振中は消散する傾向はなく、液状化状態は継続していることが推測される。

(2) 盛土天端の沈下量

図-5に盛土天端沈下量と1波ごとの天端沈下増加度を示す。1波ごとの増加度については、測線 I における盛土直下の応答加速度が減衰した3波目までは増加するが、その後は、減少している。これは、盛土下が液状化したことにより、前述したような免震効果が生じたことで応答加速度が低下している。天端沈下量は、繰返し回数が増すごとに増加しているが、実験では、加振による盛土自体の崩壊は認められず、盛土の形状は、加振前の形状を保ったまま沈下していることを確認している。よって、沈下の大部分は、支持地盤の液状化による支持力低下が原因であることが示唆される。

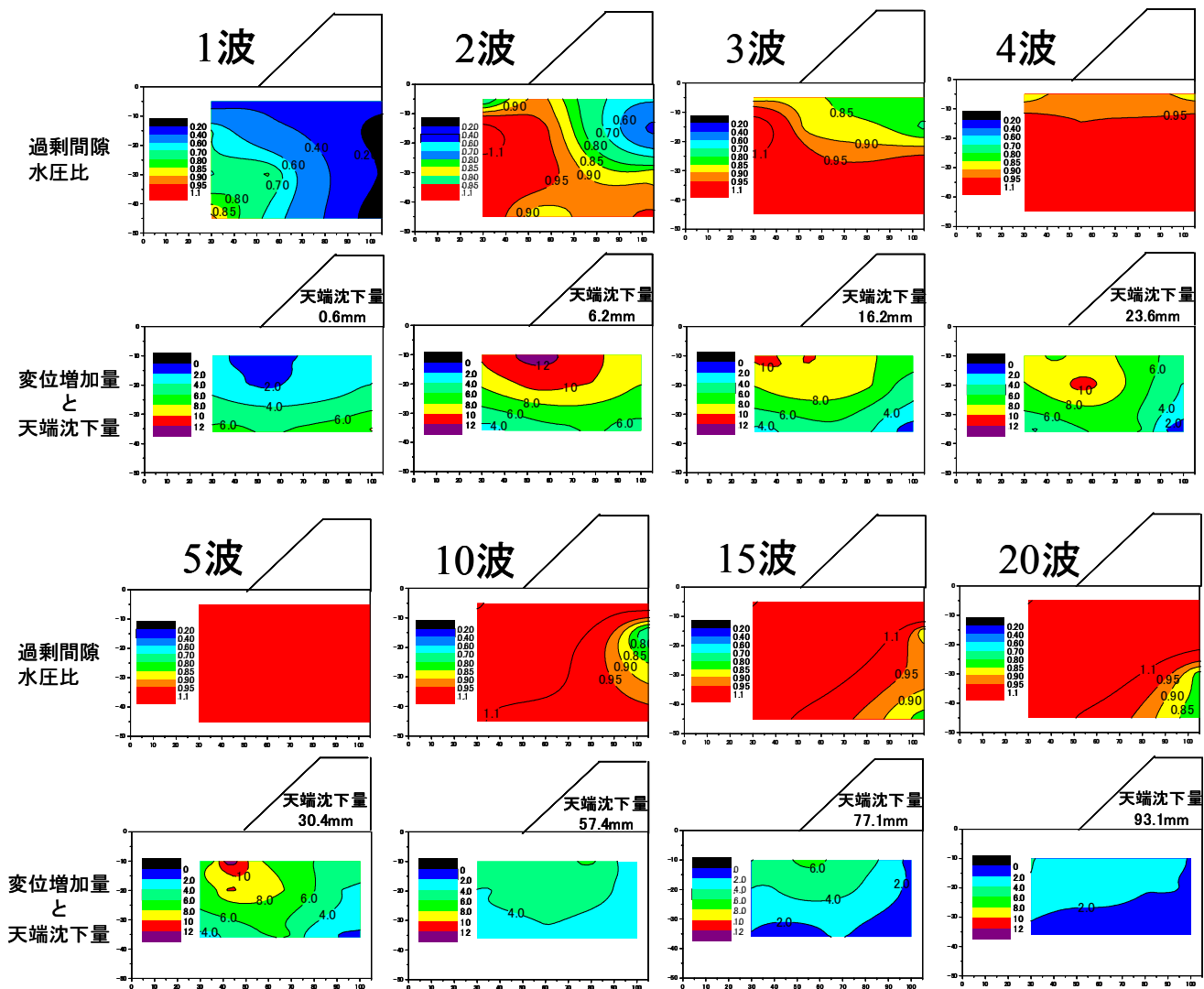


図-6 過剰間隙水圧比と地盤の変形領域の分布コンター

(3) 応答値の分布

図-6に過剰間隙水圧比，地盤の変形領域の分布コンターを示す．ここで，図-3又は図-4より，5波目で完全液状化と判定し，この時の値を過剰間隙水圧比の分布コンターの基準に設定した．また，地盤の変形領域は，土槽ガラス面側のターゲットである色砂を高速度カメラで追跡することにより測定しており，1波ごとの色砂の変形量として同等な範囲を領域として示している．

加振1波目では，過剰間隙水圧は，のり尻の深いところから上昇するが，まだ液状化には達していない．変形量は，深度方向に大きくなり，最大で6mm/波程度を示す．2波目については，のり尻付近で過剰間隙水圧比1.0を示し，液状化している．その時の変形量は，支持地盤の浅いところほど大きく，のり尻近傍では，10～12mm/波を示した．3波目では，支持地盤の深いところで過剰間隙水圧比が，1.0に達しており，変形量は，のり尻近傍で8mm/波程度である．4～5波目においては，支持地盤全域で液状化を示し，のり尻近傍で8mm～10mm/波を示した．10波目

からは，盛土下から過剰間隙水圧の減少がみられるが，4mm/波程度と減少するものの，依然としてのり尻近傍の変位の増加は継続している．その後，20波まで支持地盤の変形増加の継続が確認できた．また，支持地盤全体の移動方向については，図-7に示すように，盛土下から自由地盤方向へ側方に流動する傾向にあった．

4．支持地盤の液状化程度

図-5によれば，盛土天端の沈下量は，加振を継続している間，増加傾向がみられる．盛土の沈下量と関係する液状化程度を示す指標として，液状化抵抗率が挙げられる．ここで液状化低効率率は，実験に用いた珪砂6号に対して実施した室内土質試験結果より液状化強度比を求め，それを地盤の伝播速度から算出した最大せん断応力比で除した値として定義したものである．文献2)によれば，支持地盤（GL-50mm）の液状化抵抗率が1.0を下回り，一定となった後も盛土の沈下は継続するとある．そこで，盛土

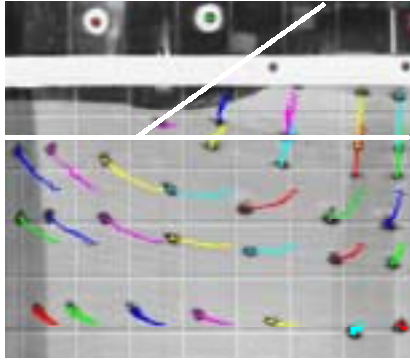


図-7 20波加振後の地盤の変位追跡結果
(画像解析による)

の沈下量を定量的に考慮するために、あわせて地震動の繰返しによる支持地盤のひずみ増加の影響を液状化程度の指標と考えることを挙げている。前述したように、繰返し回数により支持地盤のひずみ増加が継続し、盛土天端の沈下量も増加することから、繰返し回数と支持地盤のひずみ増加とは相関性があることがわかった。図-6にある地盤の変形領域の分布より、繰返し回数による盛土直下の変位(図-7から沈下を示している)に着目すると、図-5の1波ごとの盛土天端の沈下量と比較して概ね対応している。盛土天端の沈下量が分布値よりも若干大きい値を示しているのは、比率は小さいが盛土自体の沈下も含んでいるためと考えられる。

5. 液状化対策工

液状化の可能性のある地盤上の盛土の沈下については、地震動が繰返し作用することによる支持地盤のひずみ増加が関係していることがわかった。盛土の沈下を考える上で、盛土自体は崩壊しないことを前提とすれば、液状化後の支持地盤のひずみ増加が著しく大きいのは、のり尻近傍である。地震動の継続時間が長くなれば、ひずみ増加量は減少する傾向にあるが、ひずみ量自体は蓄積されていく。ここで対策工としては、ひずみ増加が大きいのり尻近傍に設置するのが良策であると推測できる。対策工の設置イメージを図-8に示す。

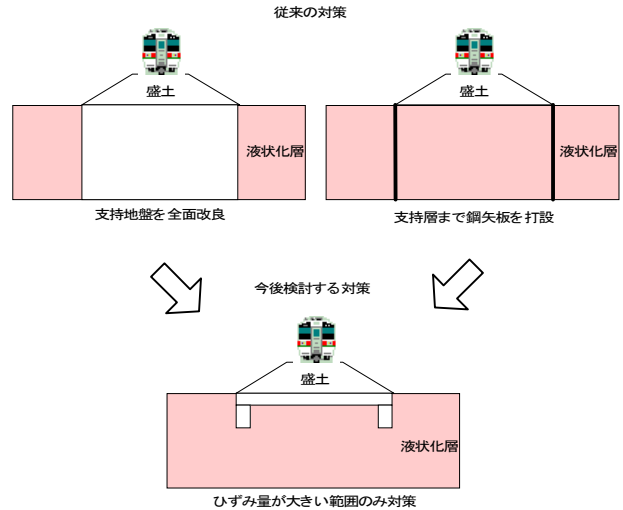


図-8 ひずみ量低減による
対策工設置位置のイメージ

6. 結論

模型振動実験により、過剰間隙水圧上昇後の地震動の繰返しによる支持地盤のひずみ増加が、盛土の沈下量に支配的であることがわかった。また、ひずみの卓越する領域は、のり尻付近の浅い範囲であることを確認した。よって、盛土の沈下対策としては、これまでの支持層まで打設する鋼矢板締切工法、液状化対象部の全面改良だけでなく、地盤ひずみの卓越するのり尻付近の浅い範囲の対策でも効果を発揮する可能性が示唆された。今後、対策工を設置した模型実験を実施し、支持地盤のひずみ、盛土沈下量の低減を確認し、効果的な対策工について検討する。

参考文献

- 1) 弥勒綾子, 澤田亮, 大木基裕, 金口義胤, 勅使川原敦, 館山勝: 液状化地盤上における盛土の挙動に関する実験的研究(その1), 第38回地盤工学研究発表会(投稿中)2003.7.
- 2) 澤田亮, 弥勒綾子, 大木基裕, 金口義胤, 勅使川原敦, 館山勝: 液状化地盤上における盛土の挙動に関する実験的研究(その2), 第38回地盤工学研究発表会(投稿中)2003.7.

(2003.6 受付)

EXPERIMENTAL STUDIES OF MODEL EMBANKMENTS ON LIQUEFACTION GROUND

Yoshitugu KANAGUCHI, Ayako MIROKU, Motohiro OHKI and Ryo SAWADA,
Railway Technical Research Institute

A damage of embankment due to liquefaction represents its settlement on the liquefied ground. From the point of view of the safety railway service, it is important for selecting a countermeasure against liquefaction to evaluate the ground deformation during and after liquefaction. To have a better insight into the function of a rational countermeasure against liquefaction, a series of shaking table tests was performed. The research reported here focuses specifically on the evaluation of relationships between the settlement of embankment and the degree of liquefaction.