

滑走路地盤の合理的な液状化対策範囲に関する模型振動実験

五洋建設（株） 正会員 ○池野勝哉，三藤正明
 （独）港湾空港技術研究所 正会員 菅野高弘，中澤博志

1. はじめに

平成 19 年度，北海道石狩湾新港西地区において実施された「空港施設を対象とした制御発破による実大現場実験」（以後，現場実験）では，滑走路直下の液状化対策の一つとして浸透固化処理工法が適用された¹⁾。現場実験では，改良率を 70%に低減し，かつ改良厚を液状化対象層の 25～70%程度に留める（以後，部分改良）など，コスト縮減を念頭にしたケースが実施された。その結果，部分改良域の沈下量は，未改良域の 1 割程度に抑えるなど高い改良効果が示されたが，そのメカニズムについては未だ明らかにされていない。

そこで筆者らは，外力および境界条件の明確な 1G 場の模型振動実験を実施し，浸透固化処理工法を用いた部分改良による沈下の低減メカニズムについて検討した。

2. 実験概要

模型実験には，長さ 1.1m，幅 1.1m，高さ 1.5m の剛土槽を用いた。模型の縮尺比は，現場実験と用いる剛土槽の大きさを考慮して長さの縮尺比を $\lambda=10$ とし，地盤を 2 相系飽和材料と仮定した時の支配方程式から導かれた相似則を用いた。適用した相似則と模型縮尺比を表-1 に示す。

実験は，均質な液状化層（ $Dr=50\%$ ）に対して，未改良と部分改良率を変化させたケースを実施した。ここで，部分改良率とは液状化対象層厚に対する改良層厚の割合と定義している。未改良および部分改良率 33%，67%の模型断面図を図-1 に示す。液状化層は，相馬硅砂 5 号を用いて $Dr=50\%$ を目標に水中落下で作製した。改良層は，一軸圧縮強度が 20～30kN/m² 程度になるように配合した薬液と， $Dr=50\%$ 相当の相馬硅砂 5 号を混合して作製した。入力加振波は，最大加速度 200Gal，振動数 5Hz，波数 20 波の正弦波とし，所定の深度に設置された加速度，水圧計，変位計をサンプリング周波数 512Hz で収録した。なお，本実験では，実物スケールにおける地震動の卓越振動数を約 1Hz と想定し，先述の相似則²⁾に従い，模型スケールの振動数を 5Hz としている。また，地盤中には同じ物理特性を持つ赤砂を 10cm 毎に薄く層状に作製し，加振前後に赤砂をスケール計測することで層別沈下を把握した。

表-1 相似則と縮尺比

パラメータ	相似則	縮尺比
長さ	λ	10
密度	1	1
時間	$\lambda^{0.75}$	5.62
応力	λ	10
間隙水圧	λ	10
変位	$\lambda^{1.5}$	31.62
ひずみ	$\lambda^{0.5}$	3.16
加速度	λ	1
透水係数	$\lambda^{0.25}$	1.78

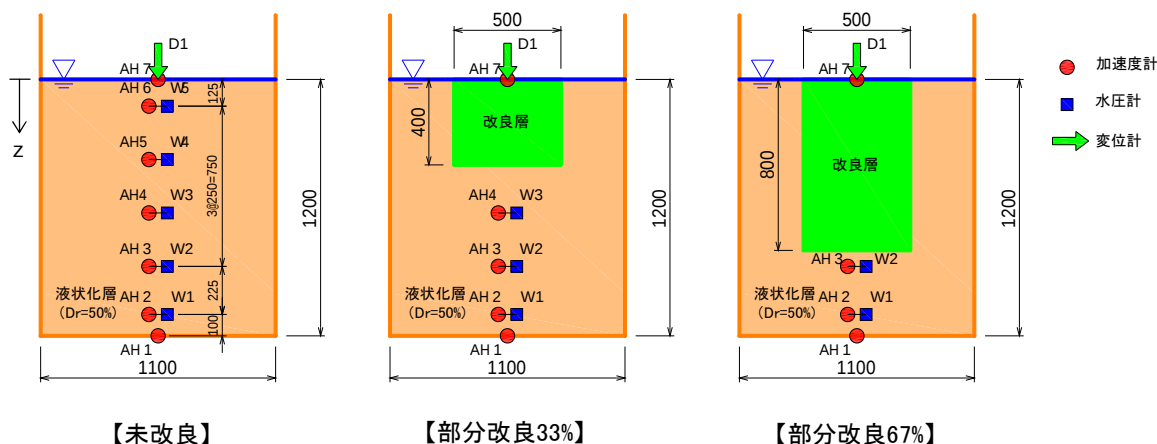


図-1 実験模型断面図【単位：mm】

キーワード 模型振動実験，浸透固化処理工法，部分改良，鉛直ひずみ

連絡先 〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設（株）技術研究所 TEL 0287-39-2109

3. 実験結果および考察

各ケースの変位計 D1 と水圧計 W2 について、時刻歴波形を図-2 に示す。図中の<+--+>は、初期の有効上載圧および加振時間を表す。部分改良のケースでは、未改良よりも排水距離が長くなるため、過剰間隙水圧の消散と沈下の収束が遅れていることが分かる。部分改良ケースの沈下量を未改良ケースで除した値を沈下率と定義し、部分改良率で比較したものを図-3 に示す。両ケースとも図中の太実線より下側にプロットされており、部分改良による液状化層厚の縮減以上に、沈下の低減効果があると言える。

次に、層別沈下から算定した 9 測点の平均鉛直ひずみ分布をモデルスケールで図-4 に示す。なお、部分改良 67% は地表面で 3mm 程度しか沈下しなかったため、図示していない。また、地表面沈下量を液状化層厚で除した鉛直ひずみを矢印で併記した。未改良の鉛直ひずみ分布は、表層から深さ方向にかけて増加し、深度 500mm 付近で減少に転じる。部分改良においても、改良層以深が同様の傾向を示している。なお、実測沈下量と鉛直ひずみ分布を深さで積分した値は、概ね対応していた。このことから、本実験では鉛直ひずみのピーク以深を含む部分改良が、沈下低減に効果的であると言える。

部分改良による水圧消散の遅れが沈下量を抑えるメカニズムについて考察するため、FLIP で過剰間隙水圧の上昇を評価し、その応力状態を初期値とした圧密解析を実施した。砂の体積圧縮特性には、水圧比の関数として、指数関数型の構成式を用いた。解析結果として、鉛直ひずみコンターを図-5 に示す。図より、部分改良 67% では改良層下部（赤破線で囲ったエリア）にひずみが集中しているのに対して、未改良では全体的にひずみが大きい。従って、改良層下端に局所的なひずみを発生させることで、地表面の沈下量を低減していることがメカニズムの一つとして考えられる。

4. まとめ

本実験における主要な結論を以下に示す。

- ・ 液状化地盤には鉛直ひずみのピーク以深が存在し、ピーク深度を含む部分改良が地表面の沈下低減に効果的である。
- ・ 部分改良では、液状化した下層の水圧消散が改良層下端部を経ることで、改良層下端部に局所的なひずみを発生させ、全体として沈下量を低減していると考えられる。

なお、本報告は、(独)港湾空港技術研究所と浸透固化処理工法研究会の共同研究成果の一部を取りまとめたものである。

参考文献 1) 池野勝哉ら：浸透固化処理工法を部分適用した合理的な液状化対策に関する実物大発破実験，第 63 回年次学術講演会，-011, pp.21-22, 2008.

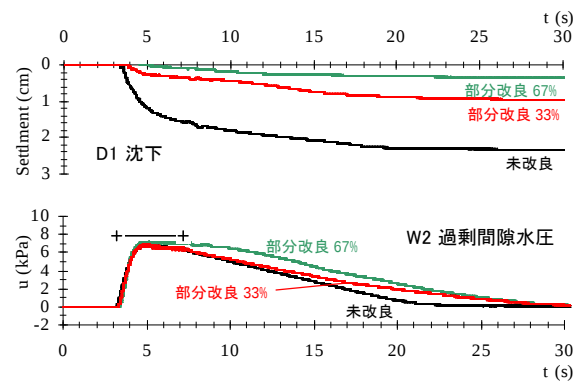


図-2 時刻歴波形 (D1,W2)

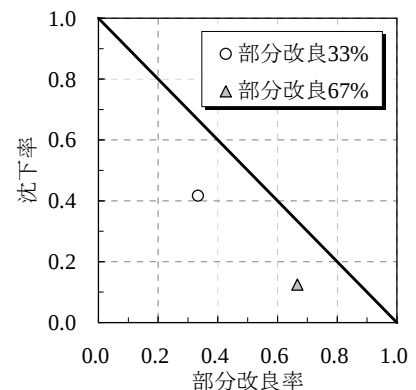


図-3 部分改良率と沈下率

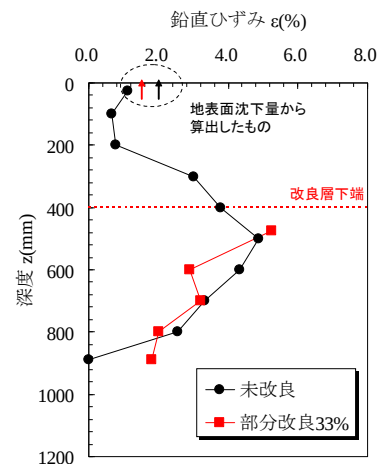
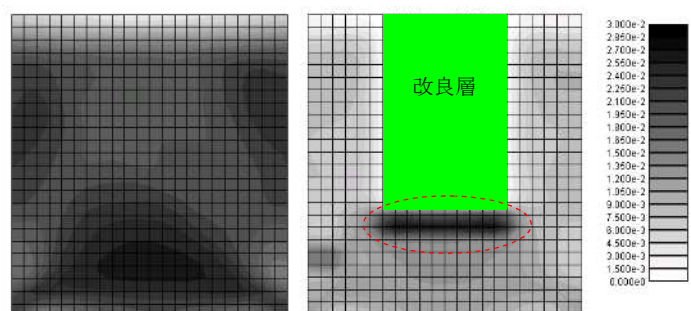


図-4 鉛直ひずみ分布



【未改良】

【部分改良 67%】

図-5 鉛直ひずみのコンター