

## 非定常浸透流解析によるグラベルドレーンの液状化対策効果の再現解析

土木研究所 正会員 ○丸田 亮, 石原 雅規, 青柳 悠大, 佐々木 哲也

## 1. はじめに

グラベルドレーン（以下、ドレーン）工法は、かつては河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル<sup>1)</sup>に基づき使用されていたが、レベル2地震動に対する効果が不明であり、効果の評価法や設計法が確立されていないことから、現行の河川堤防の液状化対策の手引き<sup>2)</sup>では適用対象外となっている。一方で東日本大震災ではドレーン工法による対策が一定の効果を発揮した事例<sup>3)</sup>も確認されている。レベル2地震動に対する効果を明らかにし、その評価法や設計法が確立されれば、液状化対策工法の選択の幅が広がることが期待される。

本報では、遠心力载荷模型実験（以下、遠心実験）を行い、実験結果を対象に、別報<sup>4)</sup>で提案している、非定常浸透流解析によるドレーン工法の過剰間隙水圧発生・消散の評価法（以下、提案法）による再現性を検証した。なお、提案法はドレーン工法へ適用するために軸対象モデルを利用し、その中心部の要素にドレーンの物性を、周辺部に液状化層の物性を与えることで、ドレーンの効果を表現するものである。また過剰間隙水圧は液状化安全率をもとに設定した損傷度に応じて与えている。

## 2. 遠心実験の概要

液状化地盤に対して無対策となるケース1及びドレーンを設置したケース2の2ケースで遠心力载荷装置を用いて50Gの遠心力場で加振実験を行った。模型概要を図1、図2に示す。

ケース1は仕切り板により4分割（平面から見て縦横各2分割）した液状化地盤（実寸で層厚8m、以下実寸で表記）の内のひとつで三河珪砂6号を用いた無対策のケース、ケース2は同一の三河珪砂6号を同様の相対密度60%で液状化地盤（層厚10m）を作製し地盤中にドレーンを設置したケースである。いずれのケースも水位は地表面とした。ケース2のドレーン部は、宇部珪砂3号及び5号を使用し、杭径1.5m（1本）及び杭径0.5m（杭芯間隔1.5mで水平方向5本×奥行方向10本の正方形配置）の2種類をドレーン材料ごと液状化地盤の上端から下端まで設置した。加振実験の入力地震動波形には、道路橋示方書<sup>5)</sup>のレベル2タイプ1地震動（I種地盤）である新晩翠橋の地表面加速度波形を、地表面以下の逸散減衰を考慮して、元の振幅を0.8倍したものを基準に、加速度振幅を1/8倍（波形1）、1/3倍（波形2）、1倍（波形3）となる地震動波形を使用した。これらの波形を、ケース1はステップ1：波形3、ケース2はステップ1：波形1、ステップ2：波形2、ステップ3：波形3の順に入力し、加振した。

## 3. 解析の入力パラメータの合わせ込み

ケース1とケース2の実験結果が再現可能な解析の入力パラメータを試行錯誤により求めた。合わせ込んだパラメータは繰返し三軸強度比（以下、 $R_L$ ）、液状化地盤の縦方向の透水係数（以下、 $k_{sv}$ ）及び横方向の透水係数（以下、 $k_{sh}$ ）、ドレーンの透水係数（以下、 $k_d$ ）である。無対策のケース1では水平方向の水の流れがない鉛直1次元、液状

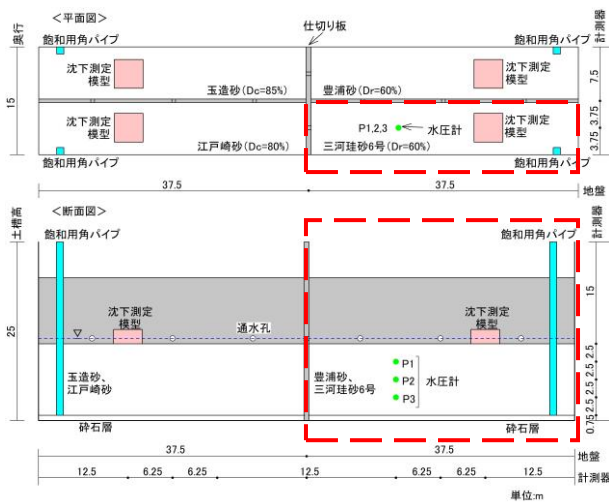


図1 ケース1(赤破線内)の模型概要(実寸換算)

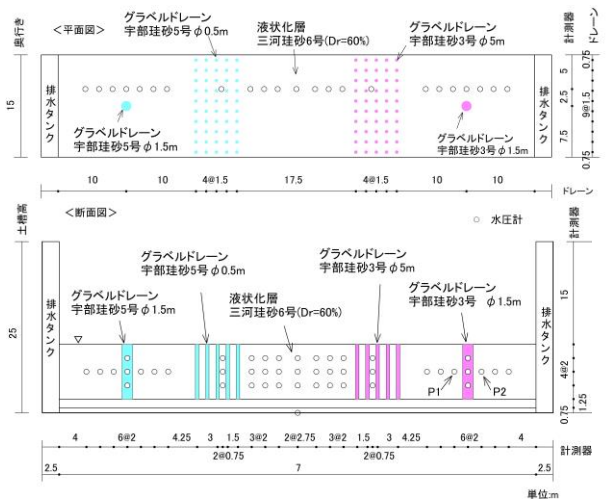


図2 ケース2の模型概要(実寸換算)

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ TEL029-879-6771

化層厚 10m のモデルを使用した。ドレーンを設置したケース 2 では解析半径 6m, 液状化層厚 8m のモデルを使用した。解析半径の 6m は, ケース 2 で計測した過剰間隙水圧分布からドレーンの影響が及ばないと考えられる距離として設定したものである。

無対策の過剰間隙水圧が上昇する過程では, 液状化層の透水係数が極端に大きくない限り, 部分排水の影響は小さいため, ケース 1 の過剰間隙水圧が上昇する過程で  $R_L$  の合わせ込みを行った。図 3 より, 過剰間隙水圧が最大になる時間 (45 秒付近) と上昇する際の速度 (傾き) から  $R_L=0.21$  を設定した。次に, 図 4 に示す過剰間隙水圧の消散過程で  $k_{sv}$  の合わせ込みを行った。なお, 無対策の解析は過剰間隙水圧が減少し始める時間 (200 秒弱) と減少する速度 (傾き) から  $k_{sv}=9.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$  を設定した。

$k_d$  及び  $k_{sh}$  の合わせ込みはドレーンを設置したケース 2 で行った。なお, ステップはケース 1 と同一の入力加速度となるステップ 3 (図 5) を用いた。透水係数の変化は過剰間隙水圧の消散に影響するため,  $k_{sv}$  の合わせ込みと同様に過剰間隙水圧が減少し始める時間 (200 秒前後) と減少する速度 (傾き) から  $k_d=1.1 \times 10^{-1} \text{m/s}$ ,  $k_{sh}=9.0 \times 10^{-2} \text{m/s}$  を設定した。このように適切なパラメータ設定を行えば, 実験結果を再現でき, 液状化対策としてのドレーンの効果が再現可能であることが確認された。また, 合わせ込んだパラメータを用いて, ケース 2 のステップ 2 で実験結果の再現解析を行った。図 6 より, 過剰間隙水圧が減少し始める時間は 50 秒程度遅くなっており, 解析では実験よりもドレーンの排水効果が過小に計算されているが, 過剰間隙水圧が最大となる時間 (100 秒前後) が一致する等, 概ね実験結果を再現している。排水効果を過小に計算している原因としては, 液状化層からの排水量 (体積圧縮係数) は標準的な値を用いたことが影響している可能性があり, 今後, 検討を深めていきたい。

#### 4. まとめ

非定常浸透流解析によるドレーン工法の過剰間隙水圧発生・消散の評価法 (提案法) を用いて, グラベルドレーンが設置された地盤での遠心実験結果をもとに液状化地盤及びグラベルドレーンに関する解析パラメータの合わせ込みを行った。本提案法を用いて, グラベルドレーンが液状化地盤の過剰間隙水圧を抑制・消散させる効果の再現が可能であることを確認した。今後は液状化地盤上に盛土 (河川堤防) が設置された実験結果との比較を行い, 河川堤防の解析への適用性を確認する予定である。

**参考文献** 1) 土木研究所: 河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル (案), 1997. 2) 土木研究所: 河川堤防の液状化対策の手引き, 2016. 3) 河川耐震対策緊急検討委員会: 東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について 報告書, 2011. 4) 石原ら: 液状化による過剰間隙水圧の発生・消散に係る非定常浸透流解析, 土木学会第 77 回年次学術講演会 (投稿中), 2022. 5) 日本道路協会: 道橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2017.

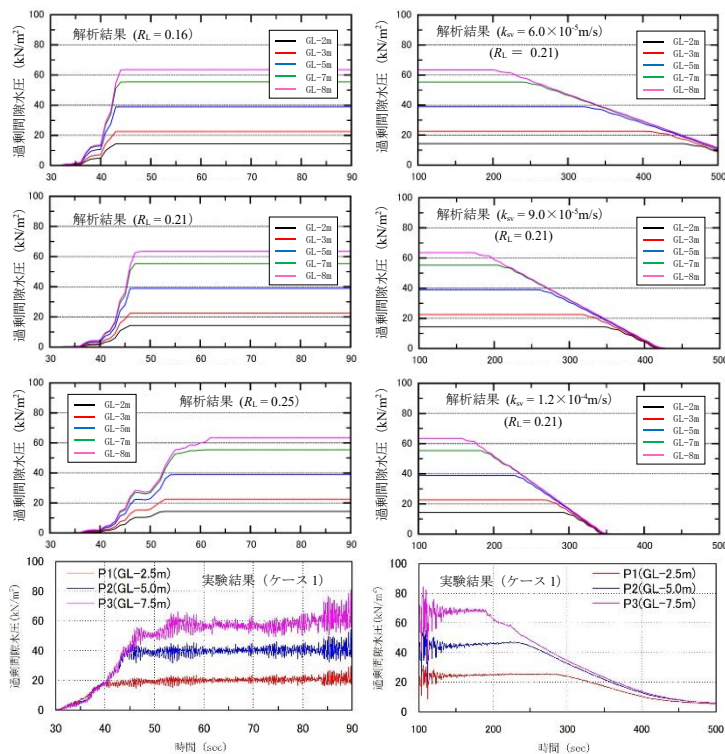


図 3 解析と実験結果の比較 ( $R_L$  の設定)

図 4 解析と実験結果の比較 ( $k_{sv}$  の設定)

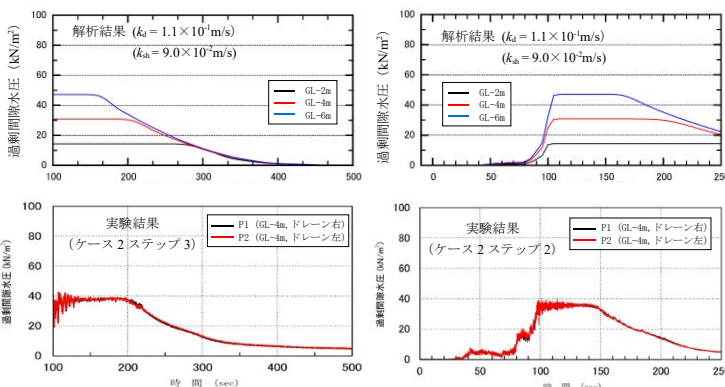


図 5 解析と実験結果の比較 ( $k_d$ ,  $k_{sh}$  の設定)

図 6 解析と実験結果の比較 (加速度振幅 1/3)