

(99) 実物大グラベルドレーンの模型振動実験と解析

運輸省港湾技術研究所

井合 進, 小泉勝彦, 野田節男

1. はじめに

液状化対策としての地盤改良には種々の工法があるが、そのうちのひとつに、碎石を柱状に打設し、その地盤の排水性を高めることにより液状化対策を行なう事をねらった工法、すなわちグラベルドレーン工法がある。既存の構造物の近傍などの液状化対策においては、構造物に悪影響を与えないことが制約条件となるが、グラベルドレーン工法はこのような制約条件を満たすものと言える。グラベルドレーンを打設した地盤の挙動については、これまでにいくつかの研究があるが、(最近の研究では、例えば文献1))、実物大のグラベルドレーン打設地盤が水平方向の加振をうけた場合の挙動を直接的に捉えた例は未だない。著者らは、このような場合について実物大模型振動実験を行なう機会を得た。本講演会では、この実験により得られた知見のうち、間隙水圧の上昇、消散及び沈下の発生に関する基本的な検討結果について御報告したい。

2. 実験方法

実験に用いた装置は、写真-1に示すような直径2m、高さ2mの円筒状のものであり、肉厚2cm、高さ3cmのアルミ製リングを直径2mmのローラーベアリングを介して積み上げたものである。この装置を振動台上に載せ、水平加振を行なった。砂層地盤の作成に用いた砂は、昭和58年(1983年)日本海中部地震で液状化の発生した秋田港外港地区の砂である。その粒径加積曲線およびグラベルドレーンの作成に用いた碎石の粒径加積曲線を図-1に示す。砂層地盤は、水中落下方式により作成した。また、グラベルドレーンの作成にあたっては、あらかじめケーシングを設置しておき、グラベルドレーン及び砂層地盤作成の進行状況に合わせて、ケーシングを徐々に引き抜いて作成した。図-2に、計測器の設置位置を示した。

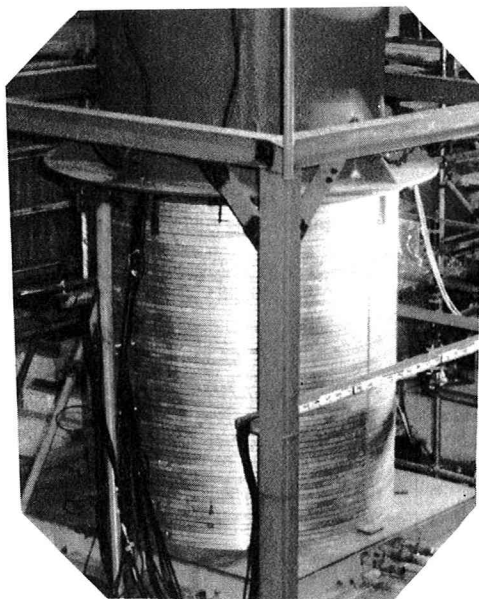


写真-1 実験装置

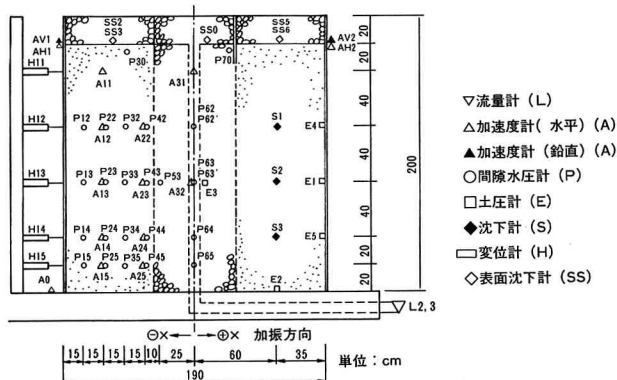


図-1 計測器設置位置

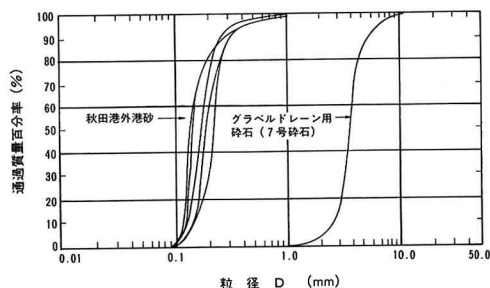


図-2 実験に用いた砂と碎石の粒度

表-1 実験条件

ケース番号	R-204	R-302	R-303	R-502	R-503
相対密度 (%)	29	31	31	33	35
台加速度 (Gal)	43	50	81	50	69

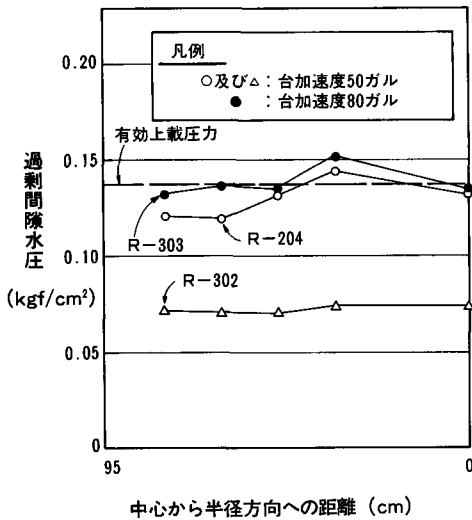


図-3 最大過剰間隙水圧 (全層砂層)

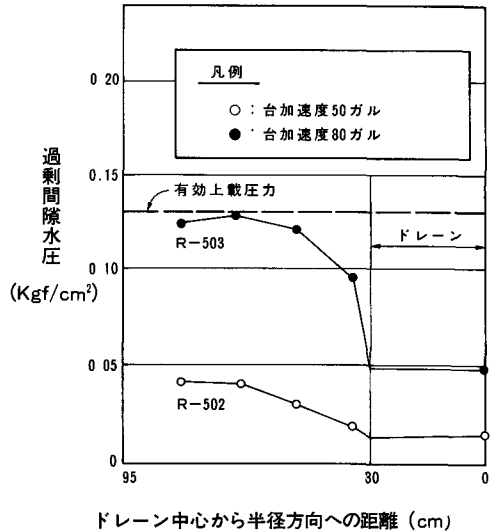


図-4 最大過剰間隙水圧 (ドレーンあり)

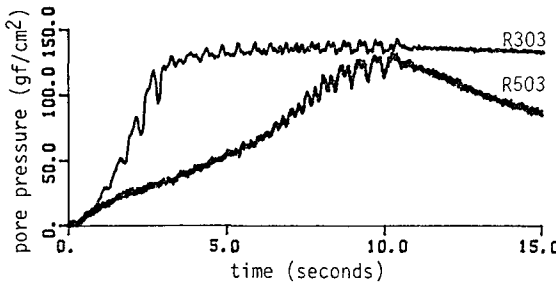


図-5 過剰間隙水圧の上昇過程 (P24)

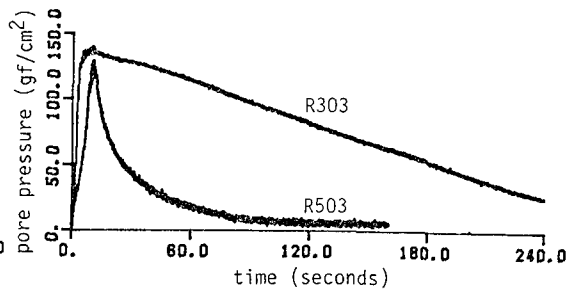


図-6 過剰間隙水圧の消散過程 (P24)

3. 実験結果

ここに御紹介する実験ケースの地盤模型の相対密度、加振条件は表-1に示すとおりであり、R-204、R-302、R-303が全層砂層の場合、R-502、R-503が直径60cmのドレーンを打設した場合である。すべて、正弦波2Hz、20波の加振を行なっている。測定された過剰間隙水圧の最大値は図-3、4に示すとおりであり、ドレーン打設地盤の間隙水圧は、ドレーンを打設しない場合よりも小さい値となっている。また、図-5、6に示すように、ドレーン打設地盤の過剰間隙水圧は、上昇過程、消散過程のいずれにおいてもドレーンを打設しない場合よりも、小さい値となっている。これらの結果から見て、おおまかには、グラベルドレーンの果たす効果が確認されたと言えよう。しかし、グラベルドレーンの設計を考える上では、グラベルドレーンの挙動をさらに詳細に把握する必要がある。そこで、これらの実験結果の解析を試みた。

4. グラベルドレーン打設地盤の

解析

(1) 解析方法

飽和した砂地盤の過剰間隙水圧の上昇、消散とこれに伴う沈下に関する挙動は、例えば文献2)に示されているとおり、おおまかには、次に挙げる三つの基本的な法則に従っていると考えられる。

a) 砂粒子と水自身の圧縮性はな

いが、砂粒子からなる骨格の

変形によって骨格が縮むと、これと同じ量の間隙水が排水される。(連続の条件)

b) 間隙水の排水速度は、おおまかには動水勾配に比例する。

(ダルシーの法則)

c) 骨格の体積変化は、有効応力に応じて定まる変化、すなわち弾性的変化と、骨格の粒子構造が変化することにより生じる変化、すなわち塑性的な変化、との重ね合わせにより成る。このうち、塑性的変化は、砂粒子のかみ合いがはずれた瞬間に生じるが、これと同時に、弾性的な変化(仮想的膨張)によりこの塑性的変化による体積圧縮分が補われ、この瞬間においては、塑性的部分及び弾性的部分の両者を重ね合わせた体積全体には変化が生じない。ここに、有効応力の増分に対する弾性的体積ひずみの増分の比の値が体積圧縮係数である。なお理解を助けるため、図-7に衝撃的な水平力を受けた場合の塑性的体積ひずみ、弾性的体積ひずみ、両者を重ね合わせた真の体積ひずみ、及び過剰間隙水圧の概念図を示した。

図-7 体積ひずみの概念図

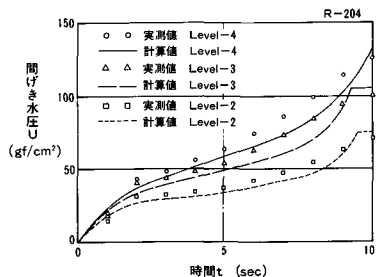
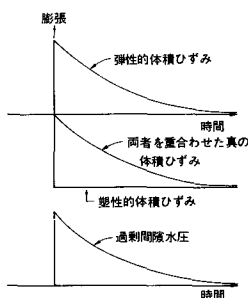


図-8 全層砂層の場合(上昇過程)

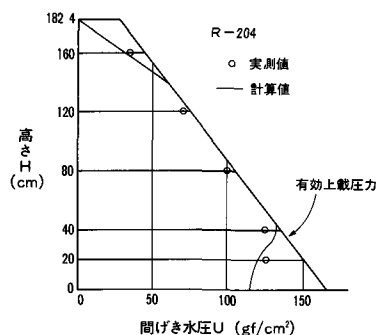


図-9 全砂層の場合(最大値)

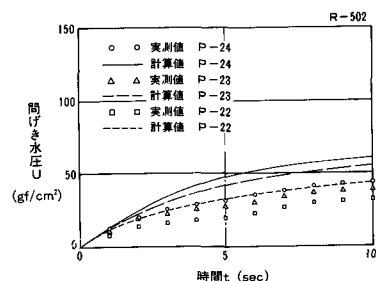
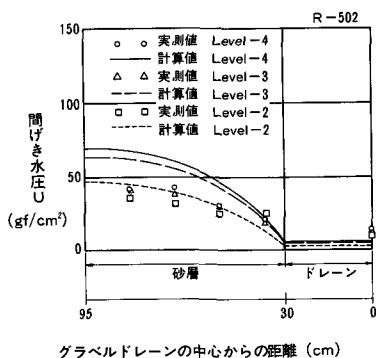


図-10 ドレーン打設の場合(上昇過程)



グラベルドレーンの中心からの距離 (cm)

図-11 ドレーン打設の場合(最大値)

(2) 計算値と実験値の比較

シミュレーションに必要な入力データのうち、せん断応力の時刻歴は、計測された加速度に砂の質量を掛けて最上層から時々刻々積分することにより求めた。一方、砂の液化化強度と体積圧縮係数は、低拘束圧力下の実験であることを重視し、高拘束圧力下での要素試験の結果は用いず、全層砂層の場合の実験を要素試験に相当するインデックス試験と考えて全層砂層の場合の実測値に最も良く合うように試行的に定めた。その結果、図-8~11

に示すように過剰間隙水圧の値については、グラベルドレーンがある場合においても、おおまかには実測値と調和する結果を得た。また、沈下についても、図-12, 13に示すように、実測値と計算値とがおおまかには一致する結果を得た。

ただし、このように逆算的に求めた体積圧縮係数は、有効上載圧力に対する過剰間隙水圧の比 U/σ'_v が0.5程度以上になると急激に増大し、これを仮に U/σ'_v に対してプロットすると、図-14のようになった。特に、 $U/\sigma'_v > 0.95$ の範囲では、体積圧縮係数の値を U/σ'_v の値に対応させて定めることは困難であり、液状化後の消散過程は加振条件に大幅に依存する。これらの事実から考えて、粒子骨格が崩れ、粒子どうしの接触が失われるにしたがって、個々の粒子は水中を一定相対速度で沈降（上向きの流速がある程度以上ならば上昇）する状態に近づく、はじめに仮定したダルシーの法則や骨格の変形の考え方に沿う現象とは異なった振る舞いを始めるものと考えられる。

5. 結論

実物大グラベルドレーン振動実験を行ない、グラベルドレーン打設地盤の過剰間隙水圧の上昇、消散及び沈下に関して、以下の知見を得た。

- ①グラベルドレーン打設地盤の挙動は、過剰間隙水圧の上昇、消散を通じて $U/\sigma'_v < 0.5$ であれば、連続の条件、ダルシーの法則、粒子骨格の弾性及び塑性変形の考え方の枠組に則って解釈できる。
- ② $U/\sigma'_v > 0.5$ となる状態が発生する場合については、さらに十分な検討が必要である。

6. 謝辞

本研究を行なうに当たって、五洋建設（株）山本徹氏には、主に実験の実施に当たって大きな協力を得た。また、北海道開発コンサルタント（株）峯田一彦氏には、主に実験結果の解析に当たって大きな協力を得た。ここに謝意を表したい。

参考文献

- 1) 田中幸久ほか：グラベルパイルによる水平地盤の液状化防止について、土木学会論文集 No. 352/Ⅲ-2, 1984年12月, pp. 89~98
- 2) 吉見吉昭：砂地盤の液状化, 技報堂, 1980年

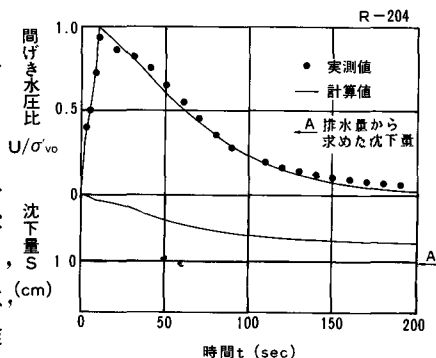


図-12 水圧と沈下（全層砂層）

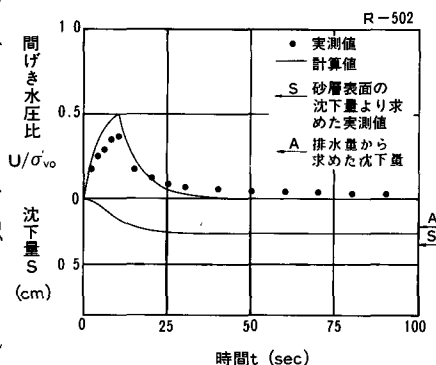


図-13 水圧と沈下（ドレーンあり）

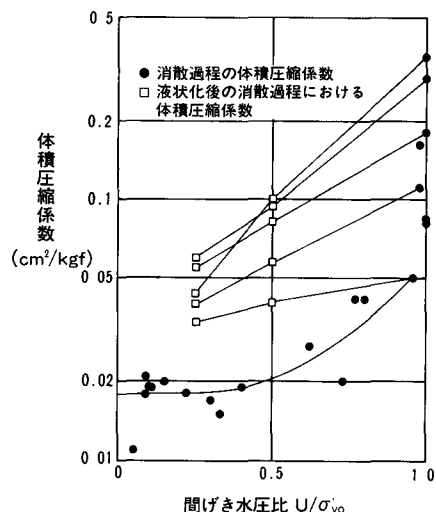


図-14 求めた体積圧縮係数