

(66) 液状化対策としてのグラベルドレーンに関する小型模型振動実験と解析

(株) 間組技術研究所 正会員 松原勝己
 同上 辻田 満
 同上 三原正哉
 建設省土木研究所 正会員 古賀泰之
 同上 松尾 修

1. まえがき

近年、地震時の地盤の液状化対策として、施工時に振動や騒音の少ないグラベルドレーン工法の採用が注目を浴びている。このグラベルドレーンがある地盤上で設計する際には、ある決まったグラベルドレーンの径に対しドレーンの施工ピッチを決定する必要があるが、この方法として、設計時に想定される最大間隙水圧比から、Seed・Booker¹⁾の提案した設計図表を用いて決められることが多い。しかしながら、この図表は、グラベルドレーン側の境界の間隙水圧をゼロに指定する(ドレーンの透水性を無限大と考える)という仮定に基づいて作成されたものであり、グラベルドレーンの透水性を有限と考えるより現実に近いモデルに比べて間隙水圧を小さめに評価するものと考えられる。そこで筆者らは、この点を改良するため、先に、グラベルドレーンの透水抵抗(ウェルレジスタンス)をも考慮した解析方法を提案した²⁾。本報では、その解析方法の妥当性の検討とグラベルドレーン周辺の砂層の密度や透水性がグラベルドレーンの液状化対策としての効果に及ぼす影響を検討する目的で、グラベルドレーン単体に対する小型模型振動実験を実施したので、ここにその結果を報告するものである。

2. グラベルドレーンに関する模型振動実験

実験に用いた模型の概要と設置した計器の位置を図1に示す。図1に示すように、直径375mm、高さ1000mmの円柱状の試料を円形断面のせん断土槽内に作成した。グラベルドレーンの碎石としては碎石7号を使用し、砂層部には、豊浦標準砂を使用した。

実験のケースとしては、グラベルドレーンの有無、流体の種類(水およびグリセリン溶液)、砂層部の密度により、計8種類を設定した。それらの実験ケースの一覧を表1に示す。流体としてグリセリン溶液を使用した時は、透水係数を水の場合に対して約15分の1にするため、体積比で60%溶液を用いた。

砂層部は、水あるいはグリセリン溶液中に砂を落す水中落下法により作成したが、密詰め試料を作成する際にはタンパーを用いて締め固めを行なった。

ドレーン部については、内径10cmの塩ビパイプを設置し、その中に碎石を投入してその後、塩ビパイプを引きあげながら作成した。

以上の様にして作成した試料を振動台に載せ、強制加振を行なったが、入力波としては正弦波を用い、加振時

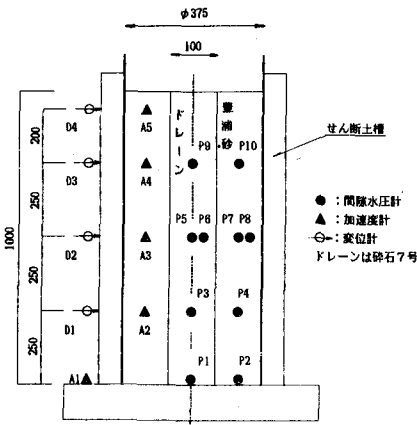


図1 実験模型

表1 実験ケースの一覧

| ケース | ドレーン の有無 | 流体の種類 | 砂層部の 相対密度 (%) | 砂層部の 水中単位体積重量 (t/m^3) | 台加速度 (g) |
|-----|-------------|-------|---------------------|--|------------------------|
| 1 | 無 | 水 | 密詰め $D=58$ | 0.95 | 100 |
| 2 | 無 | グリセリン | 密詰め $D=71$ | 0.88 | 86 |
| 3 | 有 | 水 | 密詰め $D=59$ | 0.95 | 96 |
| 4 | 有 | グリセリン | 密詰め $D=65$ | 0.87 | 90 |
| 1' | 無 | 水 | 密詰め $D=82$ | 1.00 | 90 |
| 2' | 無 | グリセリン | 密詰め $D=83$ | 0.91 | 105 |
| 3' | 有 | 水 | 密詰め $D=79$ | 1.00 | 87 |
| 4' | 有 | グリセリン | 密詰め $D=84$ | 0.91 | 83 |

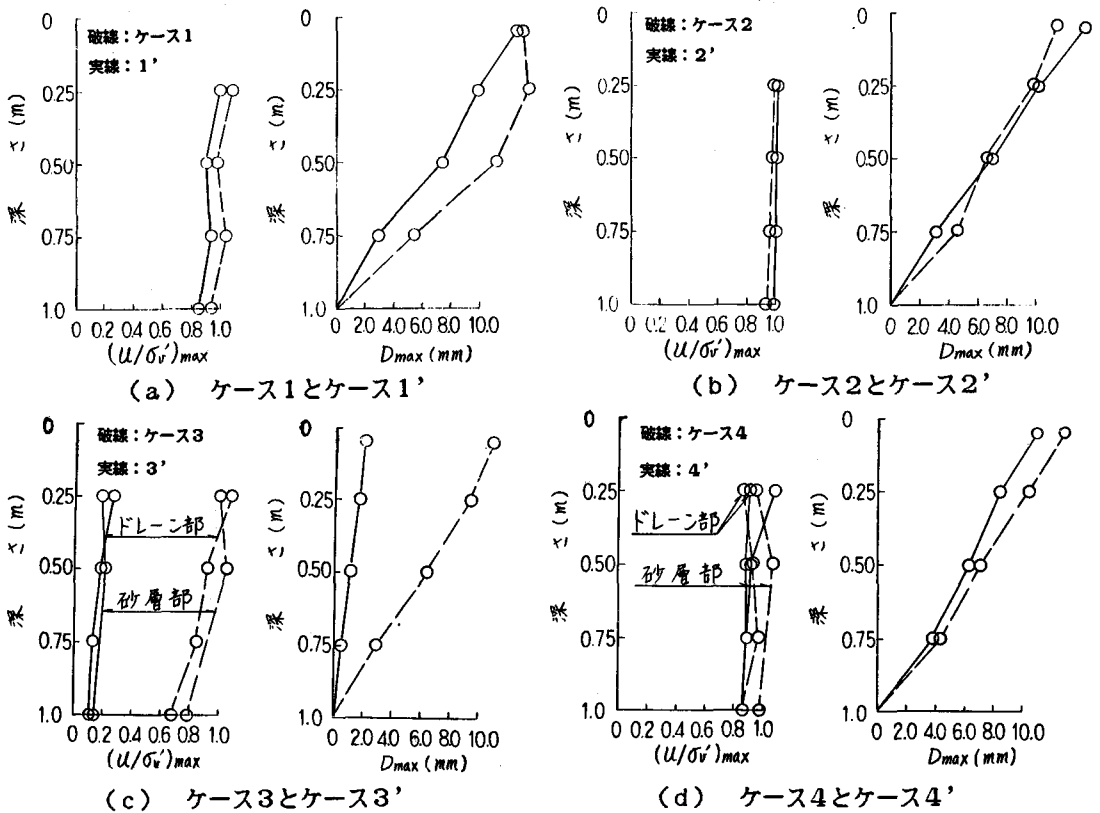


図2 間隙水圧比と変位の時刻歴最大値の深度分布

の周波数は2 Hz また加振時間は6 sec であった。

先に述べた8ケースの実験に関し、間隙水圧を有効上載圧で除して求めた間隙水圧比と変位の時刻歴最大値の深度分布を図2に示す。図2の結果から言えることは以下の通りである。

- ① グラベルドレーンを設けない場合(ケース1、1'、2、2')は、緩詰めおよび密詰め試料ともに間隙水圧比が0.8以上の値を示し、砂層部全体がほぼ液状化した状態となっている。一方、流体として水を使用してグラベルドレーンを設けた場合には、緩詰め試料(ケース3)では試料の深い部分で若干間隙水圧比が減少するだけであるのに対し、密詰め試料(ケース3')では砂層部およびドレーン部とも間隙水圧比が0.2程度の値に押えられている。これは、砂層部の密度によりグラベルドレーンの効果が顕著に現われたりあるいは現われなかったりすることを示すものであり、砂層の液状化強度がグラベルドレーンの液状化対策としての効果に影響することを表わしていると考えられる。
- ② 流体としてグリセリン溶液を使用してグラベルドレーンを設けた場合には、緩詰めおよび密詰め試料(ケース4、4')とも試料全体に間隙水圧比が0.8以上に達しており、グラベルドレーンの効果が余り現われていない。①で述べたように、流体として水を使用した時には密な試料でグラベルドレーンの効果が顕著に現われたが、流体としてグリセリン溶液を使用すると密な試料でもグラベルドレーンの効果が顕著に現われないことがわかる。このことは、グリセリン溶液を用いた場合、ドレーンの透水係数 k_d と砂層部の透水係数 k_s の比 k_d/k_s はある程度の大きな値を有しているとしても、砂層部の透水係数の絶対値が水を用いた場合よりも小さくなるため、結果的にグラベルドレーンの効果が押えられたことを意味するものと思われる。したがって、グラベルドレーンの効果は、砂層部の透水性によっても影響を受けると考えられる。

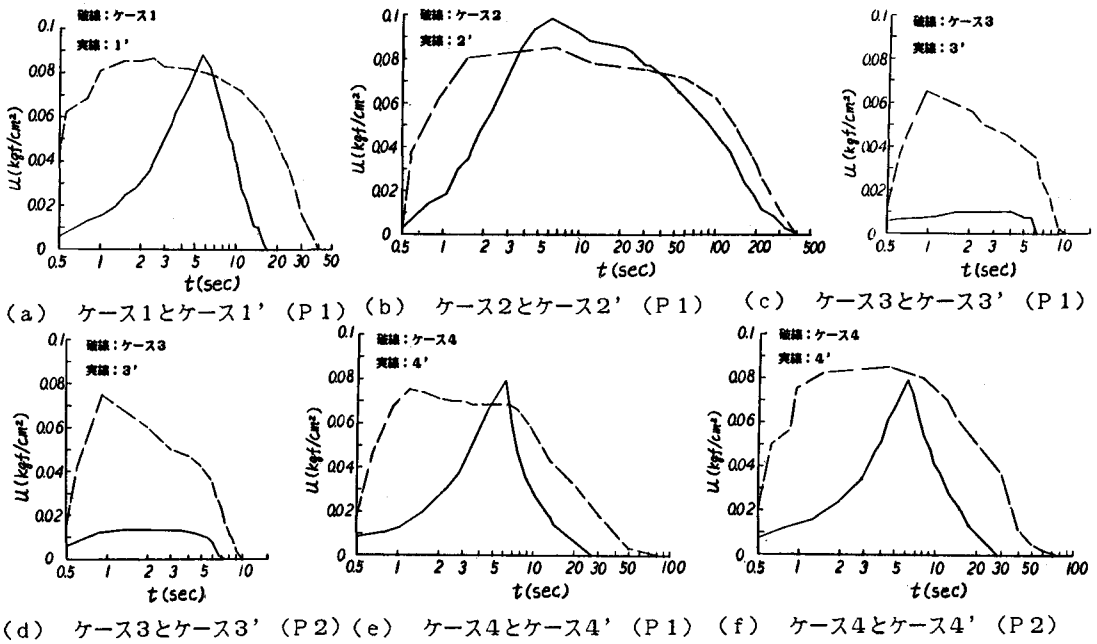


図3 P1およびP2における間隙水圧の時刻歴

③ 変位の時刻歴最大値の深度分布に着目すれば、ドレーンの有無、流体の種類および砂層の密度を問わず、試料が液状化あるいはそれに近い状態にある時は、ほぼ同程度の変位値と同様な深度分布形状を示しているが、ドレーンの効果が顕著に現われた場合（ケース3'）には変位値も小さくなっている。

図1に示した10台の間隙水圧計のうち2台のP1およびP2に着目して、間隙水圧の時刻歴を図3に示す。図3の結果から言えることは、以下の通りである。

- ① ドレーンの有無および流体の種類によらず、砂層の密度の違いが間隙水圧の上昇過程に大きな影響を及ぼしており、緩詰めの場合、加振開始後急激に間隙水圧がピークに達するのに対し、密詰め試料では間隙水圧の上昇が緩慢になる。
- ② グラベルドレーンを設けると、加振終了時の間隙水圧の消散がドレーンを設けない場合よりも早い。この傾向は、グリセリン溶液を用いた密詰め試料（ケース4'）において特に著しい。

3. 実験結果の数値シミュレーション

筆者らが先に提案した解析方法²⁾に基づいて、本実験結果の数値シミュレーションを行なった。数値シミュレーションは、前述のように実験でグラベルドレーンの効果が顕著に現われた密な試料に対して実施した。図1のP1、P2、P5およびP7での間隙水圧に関して、実験結果と数値計算結果の比較を図4に示す。図4ではケース1'、ケース2'、ケース3'およびケース4'に対する結果を示しており、実線が実験値を破線が計算値を意味している。

計算に用いた入力データとしては、流体として水を用いたものに対しては、砂層の透水係数 $K_s = 1.0 \times 10^{-2}$ cm/s、グラベルドレーンの透水係数 $K_d = 2.5$ cm/s、砂層およびグラベルドレーンの体積圧縮係数 $mvs = mvd = 1.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{tf}$ 、非排水状態で間隙水圧比が100%に達する繰り返し数 $N_R = 8$ 回、入力の等価繰り返し回数 $N_{eq} = 12$ 回および地震動有効継続時間 $t_d = 6.0$ sec用いた。また、流体としてグリセリン溶液を用いたものに対しては、 K_s および K_d を水の場合の15分の1に設定した。ここに、 mvs および N_R の値は、流体として水を用いたドレーンのない場合（ケース1'）について、間隙水圧の時刻歴に関し、実験結果と計算結果とが適合するように決定し、 K_s および K_d の値は、別途実施した透水試験の結果を参考にして決めた。

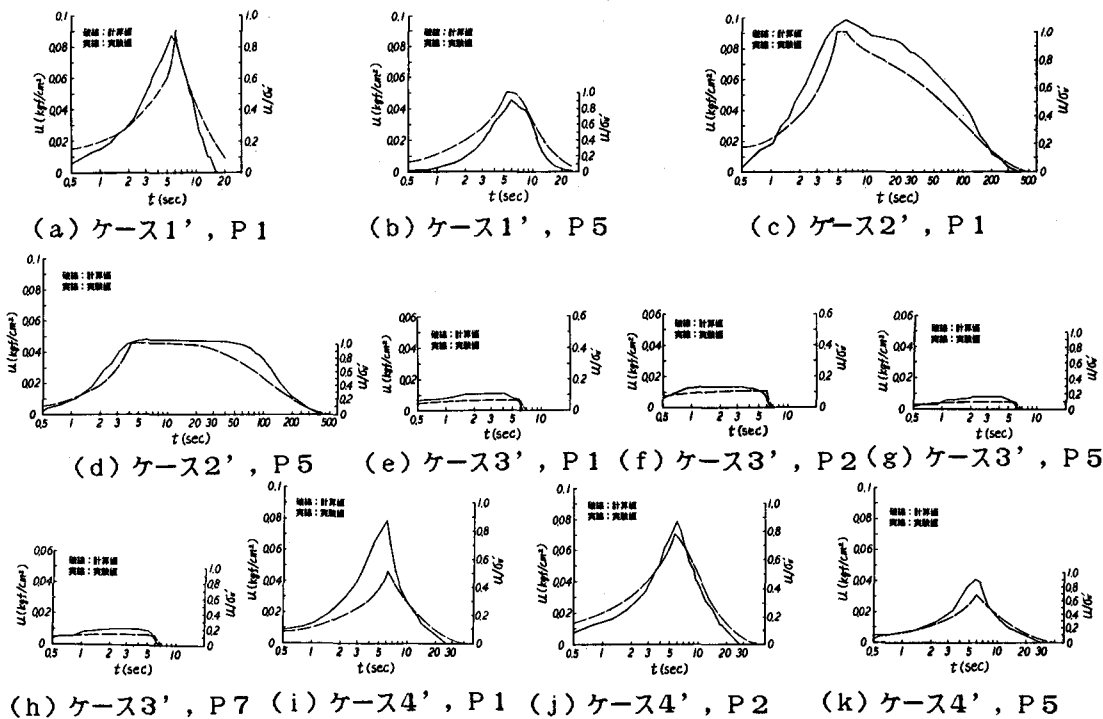
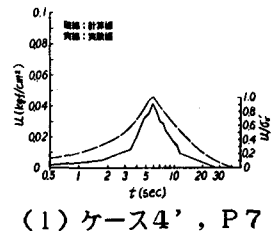


図4 実験結果と数値計算結果の比較

図4において、ケース2'、ケース3' およびケース4' の実験値と計算値の比較結果によれば、グリセリン溶液を用いたドレーンのある場合のドレーン内 (i)、(k) で計算値が実験値をやや下回る結果となっているが、他のケースでは、実験値と計算値が比較的良好な照合を示しており、本解析方法の適合性がうかがえる。



4. まとめ

グラベルドレーン単体に体する小型模型振動実験とその解析により、以下のことが明らかとなった。

- ① グラベルドレーンの液状化対策としての効果は、砂層部の密度いいかえれば砂層部の液状化強度の影響と砂層部の透水性の影響を受ける。これは、筆者らが提案した解析手法で用いている無次元パラメータでは、 N_{eq}/N_{q0} と $Td = (td ks) / (a^2 \gamma_w mvs)$ (a はドレーン半径) の評価が重要であることを示唆するものと考えられる。
- ② 先に提案したドレーンのウェルレジスタンスを考慮した解析方法、すなわち地震時の過剰間隙水圧の発生を考慮した圧密方程式を用いる方法を使用することにより、グラベルドレーン周辺地盤の間隙水圧上昇、消散過程を工学的に十分な精度で追跡可能である。

5. あとがき

最後に、本報は、建設省耐震地盤改良工法に関する共同研究の一部をまとめたものであり、関係各位の御指導に感謝するとともに、本実験に協力のあった青山機工働の藤崎新一氏に感謝の意を表します。

- (参考文献) 1) Seed, H. B., Booker, J. R., ASCE, Vol. 103, GT7, 1977
 2) 古賀泰之, 谷口栄一, 辻田満, 三原正哉, 松原勝己, 土質工学研究発表会, 1987