

財団法人 電力中央研究所 正員 〇田 中 幸 久

同 上 正員 国 生 剛 治

同 上 正員 江 刺 靖 行

同 上 正員 松 井 家 孝

1. はじめに

グラベルパイル工法は、地震時に液状化することが予想される飽和砂地盤に礫などの透水性が大きい材料から成る柱（本報告では、グラベルパイルと呼称する。）を設置して液状化を防止しようとするものである。通常、このような目的で設置される礫の柱をグラベルドレーンと呼ぶことが多いが、近年、柱以外の形体で用いられることもあるので、本報告においては特にグラベルパイルと呼ぶことにしたことを予め断つておく。グラベルパイルは、水平地盤における1次液状化及び2次液状化のいづれに対しても防止効果があると考えられる。そのうち、1次液状化の防止に関しては、液状化防止のメカニズムが複雑であるため、いきなり振動台実験を行なってもその解説は容易ではない。本研究では、グラベルパイルによる改良地盤内に発生した過剰間隙水圧の消散にのみ着目した実験を行い、グラベルパイルによる1次液状化防止のメカニズムに関する考察を行なった。

2. 実験の概要

実験に用いた土槽を図1に示す。改良地盤は、水平断面が円形の土槽の中心に設置したグラベルパイルと水中落下法により作成したパイル周辺の飽和砂地盤より成る。グラベルパイルとしては、理想的な条件を満たすことの容易さを考えて、側面に無数の穴をあけた塩化ビニール製のパイプの外側に周囲の砂の平均粒径よりやや小さな目間隔のメッシュを巻きつけたものを用いた。ただし、パイルの底面は板で塞ぎ不透水面としている。砂は、豊浦砂($G_s=2.65$, $e_{max}=0.978$, $e_{min}=0.612$)であり、水は蒸留水を用いている。地盤内に過剰間隙水圧を発生させるには、図1の装置を載せている架台にカケヤで打撃を加えるという方法を用いた。

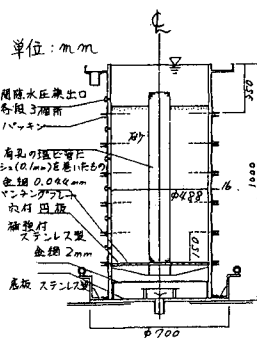


図1. 実験装置

3. 実験結果と考察

実験結果とそれから得られた知見を以下に述べてゆくことにする。

3.1 地表面沈下量について

土槽に取付けた加速度計による記録を図2に示す。打撃直後にはかなり大きな加速度を生じるが、極めて短時間で減衰してしまふことがわかる。また、改良地盤及び非改良地盤の打撃前の密度が相等しければ、打撃直後に地盤内に発生する過剰間隙水圧もほぼ等しかった(図3)。更にその場合、過剰間隙水圧消散後の地表面沈下量は改良地盤の方が大きかった(図4)。こうしたことが実地盤についても起こるとすれば、設計上地震時に大きな沈下が許されない地盤にグラベルパイル工法を適用する場合には、設計の際に目標とする過剰間隙水圧比を充分小

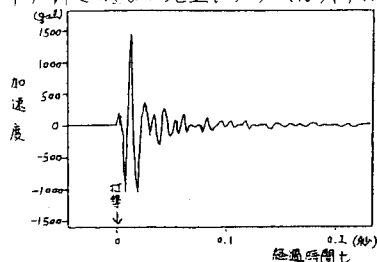


図2. 土槽の上部部に設置した加速度計による打撃直後の加速度記録

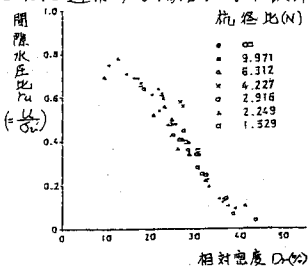


図3. 打撃直後に地盤内に発生する過剰間隙水圧 (砂層底部)

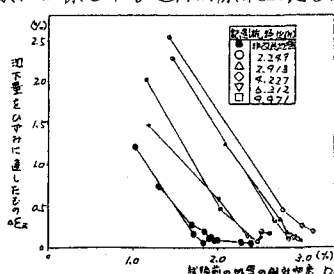


図4. 試験後の沈下量の改良程度による違い

さくするなどして、大きな沈下を生じないようにする必要がある。

3.2 圧密理論による計算結果との比較

改良地盤の表面沈下量と地盤内に発生した過剰間隙水圧の深度方向の平均値から計算した砂の体積圧縮係数(m_v)と別途行なわれた透水試験より求めた砂の透水係数(k)を用いて、線型圧密理論(熱伝導型)により過剰間隙水圧の消散過程に対するシミュレーションを行なったものが図5、図6である。その結果、改良地盤内の過剰間隙水圧の深度方向の平均値に関しては、実験結果とシミュレーションによる結果が比較的良好一致した(図5)。また、このことより、改良地盤内の過剰間隙水圧の消散速度には、地盤材料の透水係数はもちろんのこと、地表面沈下量も関係していることがわかった。一方、過剰間隙水圧の深度方向の分布を実測値と一致させるためには、体積圧縮係数(m_v)の深度方向分布も考慮する必要があることがわかった(図6)。

試料	振動数(Hz)	振幅(mm)	体積圧縮係数(m_v)	透水係数(k) (cm/sec)	計算結果
1	9.91	11.6	2.0	---	---
2	6.312	11.9	1.5	---	---
3	9.16	20.4	1.2	---	---
4	2.475	16.7	2.0	---	---
5	10.3	1.2	---	---	---
6	13.1	0.8	---	---	---

$U_e(z, t)$: 時刻 t , $r=r_e$, $z=Z$ における過剰間隙水圧
 $U_e, m(t)$: 時刻 t , $r=r_e$ における過剰間隙水圧($U_e(z)$)の深度方向の平均値

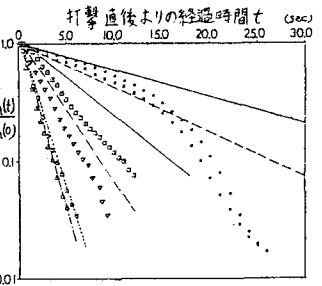


図5. 過剰間隙水圧の深度方向の平均値の経時変化(実測値と計算値の比較)

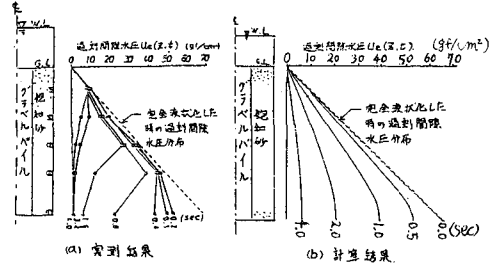


図6. 過剰間隙水圧の深度方向分布の経時変化

3.3 過剰間隙水圧の半径方向の分布形状

同一水平断面内の過剰間隙水圧の経時変化を図7に示す。この図より、改良地盤内に発生した過剰間隙水圧の消散速度($\delta = -(1/U) \partial U / \partial t$, U : 過剰間隙水圧, t : 時間, により定義される)は、打撃後の短い時間を除けば、時間的にほぼ一定であることがわかる。また、改良地盤内の同一深度であれば、グラベルパイルよりの水平距離によらずほぼ等しい消散速度であることがわかる。改良地盤内の過剰間隙水圧の半径方向の分布形状を示したものが図8である。打撃後の短い時間を除けば分布形状は時間的にほぼ一定である。筆者らは、既に次式で示されるような改良地盤の地震時過剰間隙水圧予測式を提案している¹⁾。

$$(U_{ave})_{max} = \frac{1}{\alpha t_d} \left(\frac{N_{eq}}{N_d} \right) (1 - e^{-\alpha t_d}) \quad (1)$$

ここで、 $(U_{ave})_{max}$: 地盤内平均間隙水圧比の最大値、 N_{eq} : 等価繰返し回数、 N_d : 非排水条件下で液状化に要する繰返し回数、 t_d : 地震動の継続時間である。

(1)式を誘導する際には水平断面内で一定でありかつ時間的にも一定であると仮定した。実験結果よりその仮定の妥当性が示されている。更に、誘導の際に仮定した分布形状もほぼ妥当であったことが、図8の破線の計算値と実測値との比較より示された。

参考文献: 田中(博), 池路, グラベルパイルによる液状化防止について, 第18回土質工学研究発表会

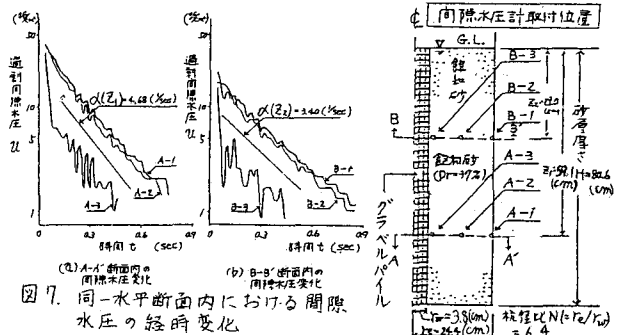
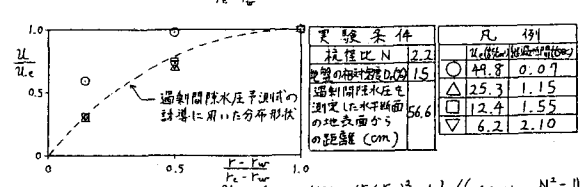
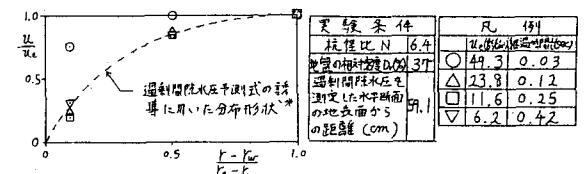


図7. 同一水平断面内における間隙水圧の経時変化



実験条件
 杭径比 N 6.4
 地震の相対強度 D_{rel} 37
 過剰間隙水圧を測定した水平断面の地表面からの距離 (cm) 101

凡例
 ○ 49.3 0.03
 △ 23.3 0.12
 □ 11.6 0.25
 ▽ 6.2 0.42

図8. 同一水平断面内における間隙水圧分布形状の経時変化