

財団法人 電力中央研究所 正会員 ○田 中 幸 久

同 上 正会員 国 生 剛 治

同 上 正会員 江 刺 靖 行

同 上 正会員 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っておく。筆者らは、既に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。更に、その結果に基づき改良地盤内の地震時過剰間隙水圧の計算式を既に提案している¹⁾。本論文では、非排水条件下での過剰間隙水圧の上昇曲線の形状を考慮できるように過剰間隙水圧の計算式を改良した。更に、過剰間隙水圧計算式をもとにして、改良地盤内の地震時体積変化量の計算式を誘導した。

2. 非排水条件下における過剰間隙水圧上昇曲線の近似
グラベルパイルによる改良地盤内に地震時に発生する過剰間隙水圧の予測式として筆者らは既に次式を提案した。¹⁾

$$r_{u \text{ ave}} = \frac{N_{eq}}{N_d} \frac{1}{\tau_d \alpha} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (1)$$

$$\text{ここで、} \quad \alpha = \alpha_0 / c\alpha \quad (2)$$

$$\alpha_0 = \frac{C_{vr}}{r_e^2} \frac{2}{\frac{N^2}{N^2-1} \ln N - \frac{3N^2-1}{4N^2}} \quad (3)$$

（記号の説明については、表1を参照されたい。）

（1）式を誘導する際には、『非排水条件下で発生する過剰間隙水圧は繰り返し回数（ N_c ）に比例する。』という仮定を導入した。この仮定は次式で表わされる。

$$r_u = N_c / N_d \quad (4)$$

図1には、デ・アルバ（De Alba, P.）²⁾らが振動台実験から求めた過剰間隙水圧上昇曲線と（4）式による直線が描かれている。実測値と（4）式との対応は概略よいが、更に計算精度を向上させるためには、（4）式に代わる関数形を定めることが必要である。そうした関数形として筆者らは、次式を用いる。

$$r_u = \{ \exp(\beta N_c / N_d) - 1 \} / \{ \exp(\beta) - 1 \} \quad (5)$$

ここで、 β は間隙水圧上昇曲線の形状を変化させるパラメータである。 $\beta \rightarrow 0$ とすれば、（5）式は（4）式に一致する。 β にさまざまな値を代入した場合の間隙水圧上昇曲線を図2に示す。図1と図2を比較したものが図3である。適切な β を定めて（5）式を用いた方が、（4）式を用いるより間隙水圧上昇曲線の実測値との一致度は全体としては高くなるものと考えられる。

3. 改良地盤内の過剰間隙水圧の計算式の誘導

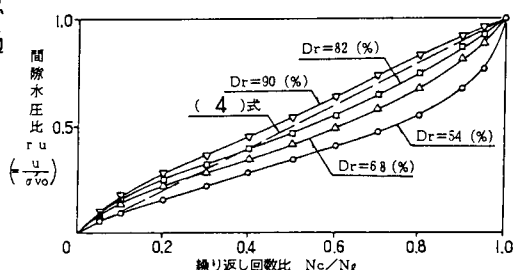


図1. 非排水条件下における過剰間隙水圧上昇曲線の実測値（参考文献2）より引用して加筆）

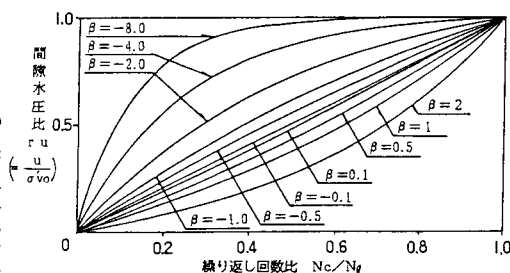


図2. （5）式による過剰間隙水圧上昇曲線の計算値

筆者らは、既に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、ほぼ次式が成立することを示した。¹⁾ $\partial \bar{u}_d / \partial t = -\alpha \bar{u}$ (6)

(5)、(6) 式を次式に代入して解くことにより、改良地盤内の過剰間隙水圧の計算式が誘導される。

$$\partial \bar{u} / \partial t = \partial \bar{u}_g / \partial t + \partial \bar{u}_d / \partial t \quad (7)$$

$t = t_d$ における最大値を表 2 に示す。シードらの計算結果と比較したものが図 4 である。経時変化の計算例は図 5 である。

4. 改良地盤内の地震時体積変化量の計算式の誘導

グラベルパイルは、低騒音・低振動の施工が可能であるという長所を生かすために、周辺地盤をあまり締固めずに施工する場合が比較的多いものと考えられる。それ故、設計上大きな沈下が許されない構造物に対してグラベルパイルを施工する際には、事前に地震後の沈下量を予測する必要がある。改良地盤内で単位時間に生じる体積ひずみ ($\partial \bar{\epsilon}_v / \partial t$) は、(6) 式を考慮すれば次式で表わされる。 $\partial \bar{\epsilon}_v / \partial t = m_v \alpha \bar{u}$ (8)

(8) 式に 3. で求めた $\bar{u}$ を代入して積分して求めた $\bar{\epsilon}_v$ の時間的な最大値を表 2 に示す。また、 $\bar{\epsilon}_v$ の経時変化の計算例を図 5 に示す。

〈参考文献〉

- 1) 田中、他 3 名(1984)、第 19 回土質工学研究発表会発表講演集 PP.671~674
- 2) De Alba et al.(1975), EERC75-14.
- 3) Seed, H.B. et al.(1975), J.GED, ASCE, Vol.103, No. GT 7, PP.757~768

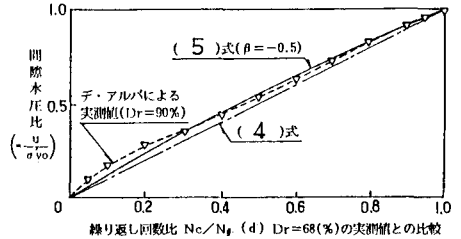
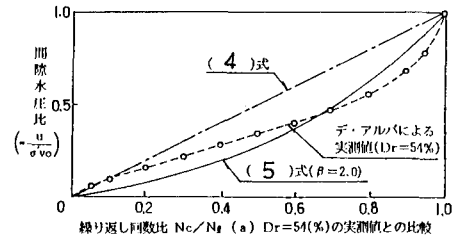


図 3. 非排水条件下における過剰間隙水圧上昇曲線の実測値と(5)式による計算値の比較

表 1. 本論文で用いられている記号の説明

rw: パイルの半径	re: 有効円半径	N: 杭径比(=re/rw)
Cvr: 水平方向圧密係数	ru: 間隙水圧比	σ'vo: 鉛直有効土カブリ圧
ru ave: 間隙水圧比の水平断面内平均値(= $\bar{u}(z,t) / \sigma'vo$)		
(ru ave)max: 間隙水圧比の水平断面内平均値の時間的な最大値。		
Nq: 非排水条件下で液状化に要する繰り返し回数		
Neq: 等価繰り返し回数	α: 間隙水圧の対数消散速度	
$\bar{\epsilon}_v$: 体積ひずみの水平断面内平均値	td: 地震動の有効継続時間	
Cα: パイルの透水性が有限である場合の補正係数		

表 2. 改良地盤内の振動載荷時の間隙水圧比、体積ひずみの時間的な最大値

項	β の値	β → 0	β → 0
(ru ave)max (t=td)	$\frac{Neq}{N_g} \frac{\beta}{e^{\beta}-1} \left(\frac{1}{t_d \alpha} - \frac{Neq}{N_g} \beta \right) \left(1 - \exp \left(\frac{Neq}{N_g} \beta - \alpha t_d \right) \right)$	$\frac{Neq}{N_g} \frac{1}{\alpha t_d} (1 - e^{-\alpha t_d})$	
($\bar{\epsilon}_v$)max (t=∞)	$m_v \sigma'vo \frac{Neq}{N_g} \frac{\beta}{e^{\beta}-1} \left(\frac{1}{t_d \alpha} - \frac{Neq}{N_g} \beta \right) \left(\alpha t_d - \frac{Neq}{N_g} \beta \right) \left(1 - \exp \left(\frac{Neq}{N_g} \beta - \alpha t_d \right) \right)$	$m_v \sigma'vo \frac{Neq}{N_g}$	ただし、(ru ave)max < 1

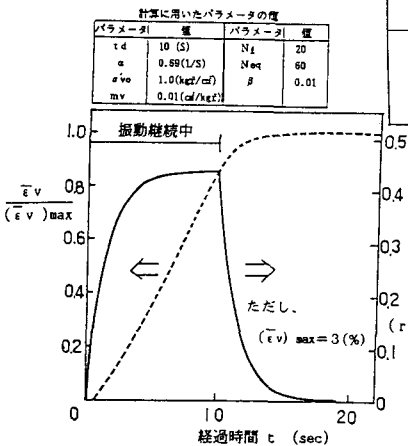


図 5. 改良地盤内の過剰間隙水圧と体積ひずみの経時変化 (計算例)

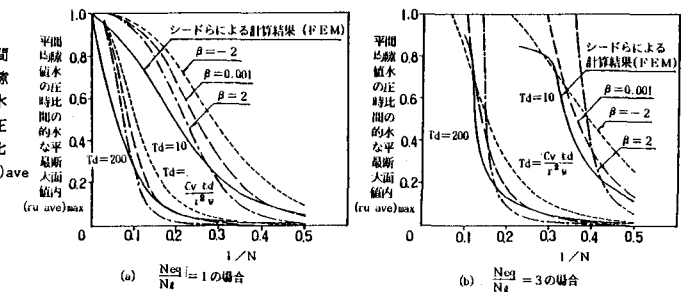


図 4. シード (Seed, H.B.) らによる計算結果と提案式による計算結果の比較