

不規則荷重による液状化における間隙水圧の時刻暦モデル

大分高専 ○正 長友八郎

大分高専 佐藤 栄

1. まえがき

筆者達は液状化における間隙圧上昇の「過渡現象モデル」を提案し振動三軸試験によって定式化を行ったが、¹⁾²⁾ここでは繰返しねじり試験によって定式化し、不規則波に対する間隙水圧のみの時刻暦の追跡に適用することを試みた。

2. 間隙圧上昇の過渡現象モデル

間隙圧上昇のパターンを示すFig. 1において、曲線経路OBを過渡現象と考え、そのメカニズムをFig. 2に示している。間隙圧の上昇経路Ⅲは、ある固有な圧力に到達しようとする成分Ⅰと、一定率上昇成分Ⅱの和である。間隙圧を引き起こす力をE、サイクル数をNとする。上記の固有な到達圧力を決定する力は間隙圧Uに比例するとして比例定数をRとする。土の骨組が間隙圧の上昇を抑制する力は、水と固体の摩擦力と同様に圧力の勾配に比例すると仮定して比例定数をL₁とすると

$$L_1 \frac{dU}{dN} + RU = E \quad \dots\dots\dots(1)$$

上記の起圧力Eは又一定率上昇を引き起こす力ともなり、上昇率はEに比例すると仮定して比例定数をL₂とすると、

$$L_2 \frac{dU}{dN} = E \quad \dots\dots\dots(2)$$

解として次式のモデルが与えられる。

$$U = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_1} N} \right) + \frac{E}{L_2} N \quad \dots\dots\dots(3)$$

3. 液状化実験による定式化

非排水繰返し中空ねじり試験(Fig. 3)を行ってモデルの定数を求めた。試料として豊浦標準砂を用い、供試体は空中落下法により作成、ハックプレッシャーを2.0kgf/cm²、有効拘束圧を1.0kgf/cm²とした。振動三軸試験の場合¹⁾²⁾と大略同様にして下記の様に定式化を行った。液状化が容易に発生する範囲において、E/R≒0.18であった。式(3)の係数をα、β、εと置き換えて、相対密度をD_r、応力比をR_sとすると

$$\alpha = \frac{E}{R}, \quad \beta = \frac{R}{L_1}, \quad \varepsilon = \frac{E}{L_2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\varepsilon = 0.00003 \times 10^3 (1 - D_r) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\alpha = 200R_s^2 + 37R_s + 4.06 \quad \dots\dots\dots(6)$$

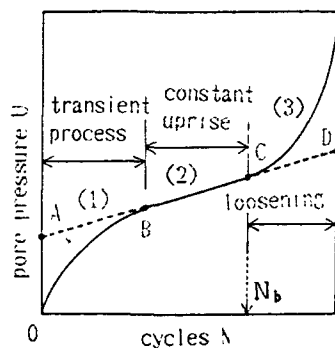


Fig.1 pore pressure buildup process

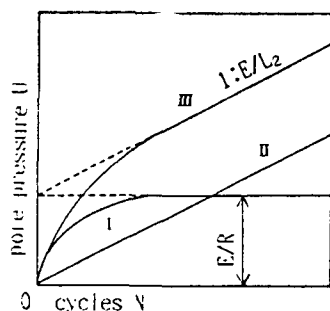


Fig.2 mechanism of pressure uprise

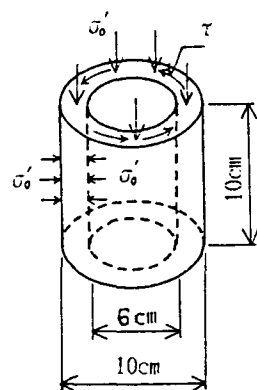


Fig.3 cyclic torsional simple shear test

$$\beta = 44.1 \varepsilon + 0.155 \dots\dots\dots(7)$$

土の骨組が緩みを生じ初める圧力は、 $U_s \approx 0.45$ であり、緩み以降の過程については $U' = U - U_s$ 、 $N' = N - N_s$ として、

$$U' = -0.03 \log_{10} (1 - \frac{N'}{B}) + \varepsilon N' \dots\dots\dots(8)$$

$$B = -19.74 - 7.855 \log_{10} \varepsilon \dots\dots\dots(9)$$

4. 不規則波に対する時刻暦モデル

式(1)の両辺を積分して、 A 、 λ を積分定数とすると

$$\log(U_1 - \alpha) = \beta N + A \dots\dots\dots(10)$$

$$U_1 = \alpha + \lambda e^{-\beta N} \dots\dots\dots(11)$$

初期条件より $\lambda = -\alpha$ 。式(2)の解を加えて

$$U = \alpha + \lambda e^{-\beta N} + \varepsilon N \dots\dots\dots(12)$$

応力比 R_s の変化のステップを添字1, 2, ..で表すと、第 n ステップで次の漸化式が得られる。

$$U_n = \alpha_n + \lambda_n e^{-\beta_n N} + \sum (\varepsilon_i \Delta N_i) \dots\dots\dots(13)$$

$$\lambda_n = (\alpha_{n-1} - \alpha_n) e^{\beta_n (\lambda-1)} + \lambda_{n-1} e^{(\beta_n - \beta_{n-1})(N-1)} \dots\dots(14)$$

規則的な三角波の振幅が段階的に変化する場合には式(13)、(8)のモデルと実験値を比較したのがFig. 4である。載荷重の変化に良い対応を示している。不規則な地震波を載荷した場合の実験値と各ゼロクロス毎に1ステップとして計算したモデルとの比較を示す。全体的な上昇の傾向には対応していると言える。

5. あとがき

地震波のような不規則波は波形の崩れがあること、完全な両振りの繰り返しではないことなどのために液状化において規則波とは異なった影響を及ぼす。^{2), 4)}しかし地震の不規則波形の推定が正確に行えない事などを考慮すれば、基本式(3)は有用であると言える。ただし土質の変化なども含めてモデルの各係数をより簡単に推定する方法を見出す事は必要であろう。

参考文献 1) 長友・佐藤：土木学会西部支部研究発表会 (S63.3) 2) 長友・佐藤：大分工業高等専門学校研究報告 (H1.1) 3) 長友・佐藤：土木学会西部支部研究発表会 (S62.3) 4) 大分工業高等専門学校研究報告 (S63.1)

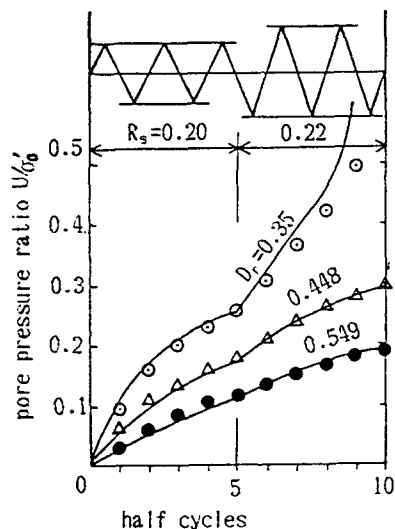


Fig.4 combined models

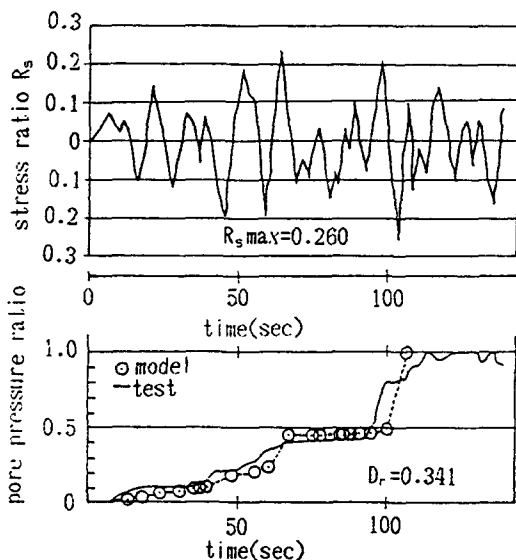


Fig.5 comparison of model with test result