

## 液状化抵抗におよぼす不規則波形の影響評価に関する実験的研究

九州大学 工学部

建設都市工学科

学生会員 那須 智彦

九州大学 大学院工学研究科

建設システム工学専攻

正会員 善 功企

## 1. はじめに

既存の液状化予測法では、厳密には波の不規則な連なりは考慮されていない。そこで、本研究では、不規則波が液状化安全率  $F_L$  に及ぼす影響を調べることを目的に繰返し三軸試験を実施し若干の検討を加えた。あるモデル地盤を想定し、その中の土要素に作用する不規則な繰返しせん断応力を供試体に作用させて液状化を発生させた。この実験事実を説明するために、累積損傷度理論を適用して液状化の予測を実施するとともに、既存の液状化予測法による  $F_L$  を求めて比較することにより不規則波に対する適用性を調べた。

## 2. 研究内容

検討を行なう予測法は以下のとおりである<sup>1)</sup>。液状化安全率  $F_L$  は地盤の液状化強度比  $R$  と地震により発生するせん断応力比  $L$  の比として求める。

〔方法 1〕石原らの方法

〔方法 2〕岩崎らの方法

$$F_L = 0.9 / C_K \times (1 + 2K_0) / 3 \times (\tau / \sigma'_c)_{N=20} / L_{\max}$$

$$F_L = 0.9 / 0.63 \times (1 + 2K_0) / 3 \times (\tau / \sigma'_c)_{N=20} / L_{\max}$$

$$C_K = 0.55(\text{衝撃型}), 0.7(\text{振動型}) \quad L_{\max} = \tau_{\max} / \sigma'_c \quad (0.63 \text{ は石原らの方法における } C_K \text{ の平均値を採用})$$

〔方法 3〕累積損傷度理論による方法

不規則波の各波頭のせん断応力から等価換算波数  $N_{eq}$  を求め、これと対応する液状化強度比  $R(N_{eq})$  を求める。これらより

$$F_L = R(N_{eq}) / L \quad R(N_{eq}) = 0.9 \times (1 + 2K_0) / 3 \times (\tau / \sigma'_c)_{N=N_{eq}} \quad L = 0.65 L_{\max}$$

この 3 つの方法により液状化安全率  $F_L$  を求めた。想定した地盤モデルの〔方法 3〕で求めた  $F_L$  と〔方法 1〕、〔方法 2〕で求めた  $F_L$  との比較を行なった。また、 $R$  の値が変わることにより〔方法 3〕で求めた  $F_L$  がどの程度変わるかを調べた。 $R$  を求めるために以下の実験を行った。

## 3. 実験概要

試料：豊浦標準砂 装置：繰返し三軸試験装置

供試体：直径 5cm、高さ 10cm、圧密後の相対密度 50%、空中落下法

実験 1：供試体に振動数  $f=0.1(\text{Hz})$  の正弦波を与える。

実験 2：供試体に不規則波(衝撃型、振動型)を与える。本実験では、振動数  $f=0.1(\text{Hz})$  の正弦波の繰返し荷重を変えることで不規則波を作成した。図-1(a)、(b)にそれぞれ衝撃型と振動型の波形による液状化試験記録を示している。

## 4. 実験結果および考察

実験 1 より軸ひずみの両振幅  $DA$  が 5% になったときの繰返し回数を求め、繰返しせん断応力比との関係を片対数グラフで図-2 に示す。次に、図-2 の縦軸をモデル地盤中における繰返しせん断応力比に補正して両対数紙にプロットしたのが図-3 である。このグラフを使って、液状化安全率  $F_L$  を求め、〔方法 1〕、〔方法 2〕を縦軸に、〔方法 3〕を横軸にとったグラフが図-4(a)、図-4(b)である。図-4(a)、図-4(b)をみると、〔方法 3〕で求めた  $F_L$  の方が〔方法 1〕、〔方法 2〕で求めた  $F_L$  よりも小さくなっており、一般的にいわれている傾向が確認された。また、すべての方法においてほぼ  $F_L < 1$  になっており、実験において供試体に直接不規則波をかけて液状化を発生させていることを考慮すると、これらの結果には妥当性があると考えられる。しかし、一般に乱さない試料を用いた液状化実験では、累積損傷度理論を用いて等価換算波数を求めるときに重要になってくる規則波による実験結果が多く得られないので、図-3 の破線を用いて感度分析を行った。この直線は、液状化判定法の中で〔方法 3〕の  $F_L$  だけが変わるように繰返し回数  $N_L=20$  のときの  $R$  を固定して、 $N_L=$

1のときのRを変化させたものである。図-5(a)、図-5(b)はその結果であるが、グラフの傾きが $F_L$ に影響を及ぼすことがわかる。プロット点が少ない場合、点が1つ増えるだけでこの傾きが大きく変わるので、規則波を用いた実験を数多く実施し繰返し回数が少ない場合の実験を精度よく行なうことが液状化の判定をする上で重要となってくる。

## 5. おわりに

今回の研究において、人工的に不規則波を加えて液状化を発生させた事例を解析した結果、累積損傷度理論を用いた等価換算波数の考えが適用できることが明らかとなった。ただし、等価換算波数を求める過程で誤差が大きくなる可能性もあるため、そのことをふまえた上で、液状化判定を行う必要がある。

## 6. 参考文献

- 1) 運輸省港湾局監修：埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版），（財）沿岸開発技術研究センター，1997年8月

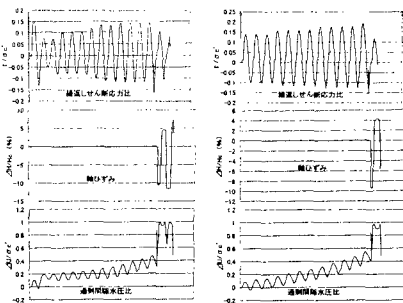


図-1 (a) 衝撃型

図-1 (b) 振動型

ここで、 $\tau$ ：繰返しせん断応力 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma'_c$ ：有効拘束圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\Delta H$ ：軸変位量 (cm)

$H_c$ ：圧密後の供試体高さ (cm)

$\Delta U$ ：間隙水圧の増分

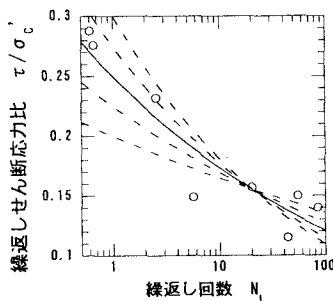


図-2 繰返し回数-繰返しせん断応力比

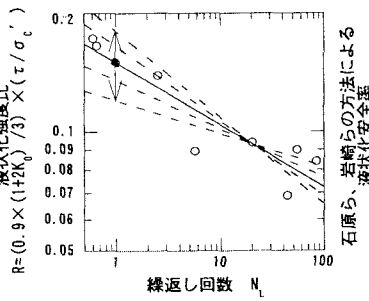


図-3 繰返し回数-液状化強度比

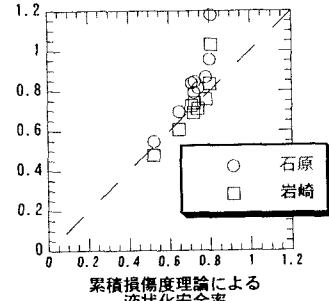


図-4(a) 液状化安全率の比較(衝撃波)

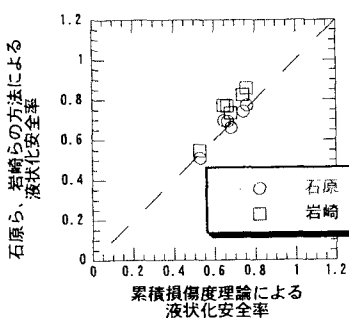


図-4(b) 液状化安全率の比較(振動型)

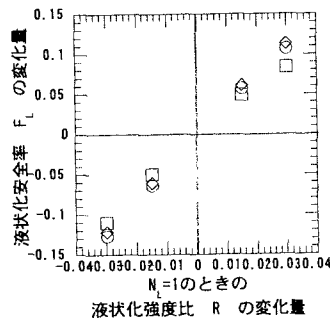


図-5(a) 感度分析グラフ(衝撃型)

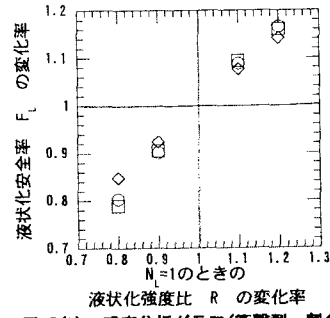


図-5(b) 感度分析グラフ(衝撃型、割合)