

# 護岸背後等の緩傾斜地盤を対象とした地震時水平残留変位量の簡易推定法

液状化 側方流動 簡易予測

ケミカルグラウト㈱ 国際会員 ○ 鎌田 敏幸  
中央大学研究開発機構 国際会員 石原 研而

## 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、東北から関東の広い範囲で強い揺れが観測された。その結果、地盤の液状化現象、盛土の崩壊、ライフラインの寸断等の甚大な地盤災害が発生した。今後の発生が懸念されている首都直下地震、東海地震、東南海、南海地震でも同様の地盤災害が懸念される。液状化による被害は、噴砂、噴水、地盤沈下や側方流動等によって生じる。特に、護岸背後等の緩傾斜地盤に対する側方流動については、地盤条件等を考慮した簡易な解析法が欠けていると思われる。そこで本論文では、地震動により液状化あるいは軟化した緩い傾斜地盤の水平残留変位量の簡易推定法を検討してみることとする。中央大学理工学部都市環境学科の國生剛治研究室では、多くの実験が行われており、その中で 2011 年度の加藤亮氏の修士論文<sup>1)</sup>のデータを借用して、以下に地震時水平残留変位量の推定方法を考えてみる。

## 2. 提案簡易推定法

### (1) 簡易推定法の流れ

本検討による水平残留変位量の簡易推定法は、次の手順で液状化安全率  $FL$  と非排水繰返し三軸試験結果から得られる繰返し回数  $N_c = 20$  時の残留軸ひずみ  $\epsilon_{ar}$  の関係を得るものとする。以下に手順を示す。

- ①室内要素試験で初期に異方圧密した試料に非排水繰返し試験を実施
- ②試験結果をまとめて繰返し回数 20 回で過剰間隙水圧が定常状態 (60 ~ 100 %) に達した時に軟化が発生したとして液状化強度  $R_L$  を定義し、液状化強度曲線を得る
- ③次に、繰返し応力比を色々と変えた時の繰返し応力比  $R$  と残留軸ひずみ  $\epsilon_{ar}$  の関係曲線を得る
- ④繰返し強度比  $R_L$  は定まったので、他の応力比  $R$  と残留軸ひずみ  $\epsilon_{ar}$  の関係曲線を  $R_L$  で正規化して逆数とした  $R/R_L$  と残留軸ひずみ  $\epsilon_{ar}$  関係を得る
- ⑤ $FL = R_L/R$  であることから、この液状化安全率  $FL$  と残留軸ひずみ  $\epsilon_{ar}$  との関係が求められる

### (2) 液状化安全率 $FL$ と残留軸ひずみ $\epsilon_{ar}$ の関係

実験に使用された材料は、千葉県富津市の細砂である。土粒子密度  $G_s = 2.741$ 、最大・最小間隙比はそれぞれ、 $e_{max} = 1.063$ 、 $e_{min} = 0.680$ 、細粒分含有率  $F_c = 0\%$  である。試験は、非排水繰返し三軸試験（直径 5 cm、高さ 10 cm）である。供試体をウェットタンピング法により供試体を作製し、圧密後の相対密度  $Dr = 30, 50, 70\%$  を目標として背圧 196 kPa を負荷して  $\sigma_0' = 98$  kPa で圧密を行った。その後、以下の式(1)で定義される初期せん断応力比  $\alpha$  に対応して供試体を異方圧密し、繰返し振動数  $f = 0.05\text{Hz}$  で非排水繰返し載荷を実施している。ここで、初期せん断応力比  $\alpha$  は、最大せん断応力面に作用するせん断応力  $\tau_s$  と拘束圧  $\sigma_m'$  の比を表し、 $\sigma_{1c}'$ 、 $\sigma_{3c}'$  は圧密度の軸応力と側方応力をそれぞれ表す。初期せん断応力比  $\alpha$  の値は、 $\alpha = 0, 0.075, 0.15, 0.3$  の 4 種類を採用しており、圧密時の目標相対密度は、 $Dr = 30, 50, 70\%$  となっている。拘束圧  $\sigma_m'$  は、98 kPa で一定としており、圧縮側に初期せん断応力を加えるために  $\sigma_1$  を増加させて、 $\sigma_3$  を減少させている。

$$\alpha = \frac{\tau_s}{\sigma_m'} = \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')/2}{(\sigma_1' + \sigma_3')/2} = \frac{1 - K_c}{1 + K_c}, \quad K_c = \frac{\sigma_{3c}'}{\sigma_{1c}'}$$
 (1)

ここで、初期せん断応力比  $\alpha = 0, 0.075, 0.15, 0.3$  に対する実地盤の斜面角度  $\beta$  は、それぞれ  $\beta = 0, 4, 9, 18^\circ$  である。

### ①非排水繰返し三軸試験結果

富津砂  $Dr = 70\%$  の初期せん断応力比  $\alpha = 0, 0.3$  それぞれの非排水繰返し三軸試験結果の有効応力経路、応力-ひずみ曲線、および軸ひずみと過剰間隙水圧の時刻歴の関係を、図-1の(a), (b)それぞれに示す。

図-2 (a)の初期せん断応力比  $\alpha = 0$  の試験結果では、繰返し載荷過程で当初、軸ひずみがほとんど生じていない。しかし、過剰間隙水圧が 0.08 MPa（過剰間隙水圧比 0.8）程度を超えると、急激に伸張側に軸ひずみが卓越して、有効応力がゼロに近づくことがわかる。一方、図-2 (b)の初期せん断応力比  $\alpha = 0.3$  の試験結果では、過剰間隙水圧は載荷初期から生じているが、初期せん断応力比  $\alpha = 0$  の時と同様に、軸ひずみはほとんど生じていない。過剰間隙水圧比が 0.8 程度に至ると、初期せん断応力比  $\alpha = 0$  と同様に、軸ひずみの発生が卓越するが、伸張側ではなく圧縮側となる。