

砂地盤における液状化後の簡易変形予測

九州工業大学大学院 学生会員 ○峯啓一郎
 東京電機大学理工学部 正 会 員 安田 進
 九州工業大学工学部 正 会 員 永瀬英生
 横浜国立大学工学部 正 会 員 規矩大義

1. はじめに

地震力によって地盤が液状化すると、その物性が変化して、永久変位に代表されるような地盤変位が生じることが明らかにされている。特に、永久変位による構造物の被害は甚大なものであり、あらかじめ発生しうる変位量を知ることは非常に重要なことである。筆者ら^{1,2)}は、以前から繰返しねじりせん断試験装置を用いて液状化地盤の持つ強度・変形特性に関する研究を行っており、一応の結果を得ることができている。そこで、これらの結果を用いて、簡易的な液状化後の変形予測を試みてみた。以下にその結果を報告したい。

2. 実験方法

実験に使用した試料は豊浦標準砂で、空中落下法により外径100mm、内径60mm、高さ100mmの中空円筒供試体を作成した。また、供試体の目標とする相対密度 D_r は、0、30、50、70%とした。実験では、有効拘束圧 $\sigma_o' = 1.0, 0.5, 0.25 \text{ kgf/cm}^2$ の3通りの条件の下、非排水状態で繰返し載荷を行い、供試体が液状化安全率 $F_L = 1.0, 0.95, 0.9$ に達した後に静的載荷に移行し、液状化した砂供試体の応力～ひずみ関係を求めた。

3. 結果の整理

図-1に液状化後の応力～ひずみ関係図を示す。この図を見ると、せん断抵抗をほとんど有しないひずみ領域が存在していることが分かる。この低せん断応力域を拡大した図を図-2に示す。他の結果も合わせて総合的に判断すると、拘束圧、相対密度、液状化安全率の違いによらず、ほとんどせん断抵抗を有しないまません断ひずみが進行し、その後急激に応力が回復するという傾向を示した。このせん断応力が回復し始めるまでのひずみ領域を微小抵抗領域、 γ_L と定義し、地震時における永久変位はこの領域で発生していると考えられる。 γ_L を拘束圧、相対密度、液状化安全率の違いを考慮してまとめた図が図-3(a),(b),(c)である。これらの図から、拘束圧が高いほど、相対密度が小さいほど、また液状化の程度が激しいほど γ_L は大きくなる事が分かる。

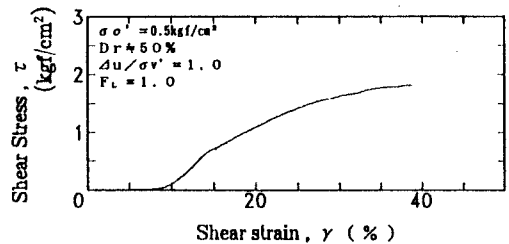


図-1 液状化後の応力～ひずみ関係

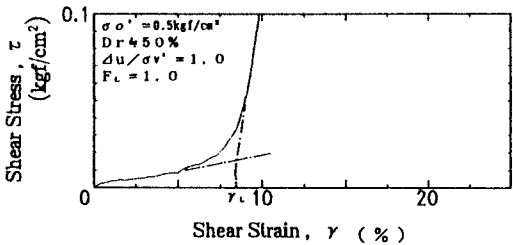


図-2 液状化後の応力～ひずみ関係拡大図

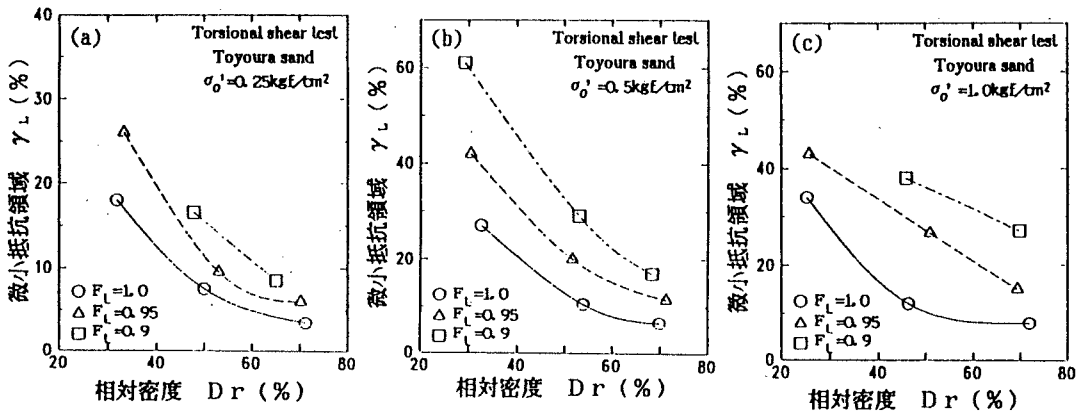


図-3 相対密度、液状化安全率～微小抵抗領域関係

4. 変形予測手法

液状化後の応力～ひずみ関係拡大図に注目すると、 γ_L 前後で応力～ひずみ関係の傾きが大きく異なっている。そこで、図-4のように応力～ひずみ関係をバイ・リニアで近似し、せん断ひずみが γ_L までのせん断弾性係数を G_1 、 γ_L 以降を G_2 とすると、応力～ひずみ関係は以下の式で近似できる。

$$\tau = G_1 \gamma \quad (\gamma \leq \gamma_L)$$

$$\tau = G_1 \gamma_L + G_2 (\gamma - \gamma_L) \quad (\gamma > \gamma_L)$$

ここに、 τ : せん断応力 (kgf/cm²)

γ : せん断ひずみ

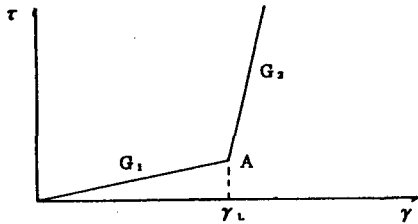


図-4 応力～ひずみ関係の近似と
 G_1 、 G_2 の定義

また、せん断弾性係数 G_1 、 $G_2 \sim \gamma_L$ 関係をまとめると図-5のようになり、次式で近似を行ってみた。

$$\log_{10} G_1 = \log_{10} C_1 + m_1 \log_{10} \gamma_L$$

$$\log_{10} G_2 = \log_{10} C_2 + m_2 \log_{10} \gamma_L$$

ここで m_1 、 m_2 、 C_1 、 C_2 は定数であり、本実験においては $m_1 = -0.816$ 、 $m_2 = -1.134$ 、 $C_1 = 0.026$ 、 $C_2 = 0.333$ という値を得た。

この近似式を用いることにより、ある液状化地盤に作用するせん断力 τ とその地盤において生じるであろう微小抵抗領域 γ_L がわかれば、発生するせん断ひずみ γ が計算できそうである。ここで図-6のような液状化層厚5または10m、相対密度 $D_r = 30\%$ 、液状化安全率 $F_L = 0.95$ のモデル地盤を考えてみる。浜田ら³⁾による経験式と本簡易計算法によって得られたこのときの地盤の傾き θ と地表面での変位量 H との関係を、過去の被害例と併せて図-7に示す。この結果を見ると、液状化層が浅い場合は浜田らの経験式と差はできるものの、非液状化層の傾斜が5%までは全体的な傾向は近く、また過去の被災例に近い値を得ることができたように思われる。

5. あとがき

今回の簡易変形予測は豊浦標準砂を用いた実験結果のみによるものであり、実際は細粒分の有無や初期せん断応力の影響を考慮する必要がある。今後はこれらの影響を考慮したデータを蓄積し、地震時に発生する永久変位量の予測手法を確立していきたい。なお、実験に協力していただいた九州工業大学の増田幸治君には末筆ながら感謝する次第である。

6. 参考文献

- 1) 安田・増田・規矩・板藤：液状化した砂の強度・変形特性に関するねじりせん断試験、第28回土質工学研究発表会、1993
- 2) 安田・増田・永瀬・板藤・峯：液状化後の変形特性に与える拘束圧の影響に関するねじりせん断試験、第29回土質工学研究発表会、1994
- 3) 浜田・安田・磯山・恵本：液状化による地盤の永久変位と地震被害に関する研究、土木学会論文集、No.376、Ⅲ-6、1986

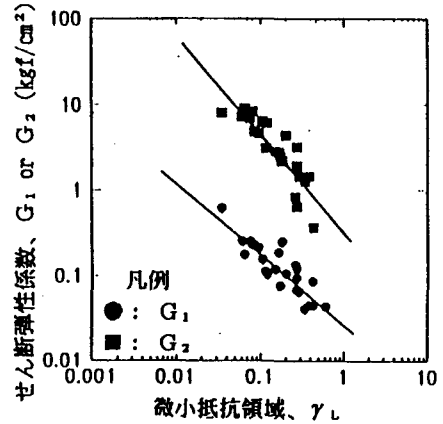


図-5 G_1 、 $G_2 \sim \gamma_L$ 関係

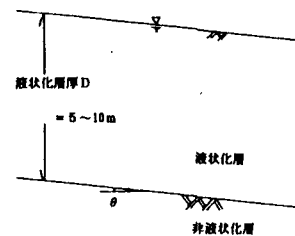


図-6 計算に用いたモデル地盤

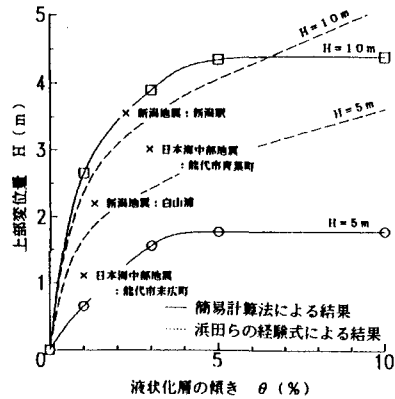


図-7 簡易計算法による計算結果