

清水建設(株)(元名工大大学院生)

正員 ○福武 毅芳

名古屋工業大学

正員 松岡 元

"

学部生

伊藤 学・三田村 裕和

地震時の砂地盤の液状化問題を解析するため、水平面(単純せん断面)内で円経路を含む非排水繰返しせん断試験を行なった。そして、提案している「おわんモデル(Bowl Model)¹⁾」による応力・ひずみ関係に体積ひずみ増分=0なる非排水条件を課すことにより、上記実験の応力・ひずみ関係、有効応力経路、液状化強度を解析するとともに、特に一方向繰返しせん断と円経路せん断における液状化強度の差について検討した。

1. 非排水条件に対する「おわんモデル(Bowl Model)」の適用

単純せん断面上において原点から半径方向の距離を表わす合せん断ひずみを $\Gamma = |\dot{\Gamma}| = \sqrt{\gamma_{zx}^2 + \gamma_{zy}^2}$ とし、ひずみ経路に沿った長さを表わす累加せん断ひずみを $G = \sum \Delta G = \sum \sqrt{\Delta \gamma_{zx}^2 + \Delta \gamma_{zy}^2}$ とすると、「おわんモデル」による体積ひずみ ε_z は次式で表わすことができる。

$$\varepsilon_{\Gamma} = A \cdot \Gamma^B, \quad \varepsilon_G = G / (C + D \cdot G), \quad \varepsilon_z = \varepsilon_{\Gamma} + \varepsilon_G \quad (1)$$

そして G, Γ と応力比ベクトル $\dot{\gamma}_z = \dot{\tau}_z / \sigma_z$ との関係は3次元斜面の力のつり合い式から求められる。¹⁾ここでは、さらにこのモデルに圧密によるひずみを加えて、体積ひずみ増分=0なる非排水条件、すなわち

$$d\varepsilon_z + \{0.434 C_s / (1 + e_0)\} \cdot (d\sigma'_z / \sigma'_z) = 0 \quad (2)$$

を課すことにより、非排水条件下における応力・ひずみ関係を算定した(C_s は膨張指数)。式(2)を積分形で表わせば、有効鉛直応力 σ'_z 、過剰間隙水圧 u を初期の有効鉛直応力 σ'_{z0} (=200kN/m²)で割った値

u / σ'_{z0} 、せん断応力 τ_z は次式で与えられる。

$$\sigma'_z = \sigma'_{z0} \cdot 10^{-\varepsilon_z / \{C_s / (1 + e_0)\}} \quad (3)$$

$$u / \sigma'_{z0} = 1 - 10^{-\varepsilon_z / \{C_s / (1 + e_0)\}} \quad (4), \quad \tau_z = X_z \cdot \sigma'_z \quad (5)$$

2. 累加せん断ひずみ G と間隙水圧 u との関係

図-1は種々の応力振幅($\tau_{cy} = 40, 30, 25 \text{ kN/m}^2$)で一方向繰返しせん断を行なった場合の $\Gamma \approx 0\%$ における u / σ'_{z0} と G との関係であり、図-2はひずみ振幅0.2%の一方向繰返しと円経路せん断における $\Gamma = 0.2\%$ での同様な関係である。両図よりある Γ に着目すれば振幅の大小や、経路のいかんにかかわらず u / σ'_{z0} は G に対して唯一的に整理できることがわかる。従って、排水の場合の ε_z と同様に、非排水条件でも u / σ'_{z0} と G の間には、 Γ をパラメータとした図-3のような曲線群が存在することになる。 $\Gamma = 0\%$ の曲線はおわんの底に対応して間隙水圧が一番高くなる場合であり、その値は式(4)において ε_z を式(1)の ε_G とすることによって得られる。また $\Gamma = G$ の曲線は一方向単調載荷の場合であるから、結局 u / σ'_{z0} は $\Gamma = 0\%$ と $\Gamma = G$ との曲線の間に必ず存在することになる。

3. 非排水条件下の応力・ひずみ関係や液状化強度の解析

図-4は一定のせん断応力($\tau_{cy} = 30 \text{ kN/m}^2$)で一方向繰返しせん断したときの有効応力経路と $\tau_{zy} \sim \gamma_{zy}$ 関係の実測値と計算値であるが、

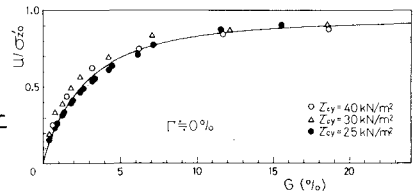


図-1 一方向繰返しせん断時の
 $u / \sigma'_{z0} \sim G$ 関係

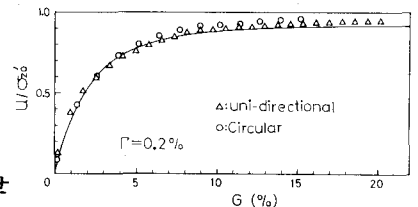


図-2 ひずみ制御による一方向繰返しおよび円経路せん断時の
 $u / \sigma'_{z0} \sim G$ 関係

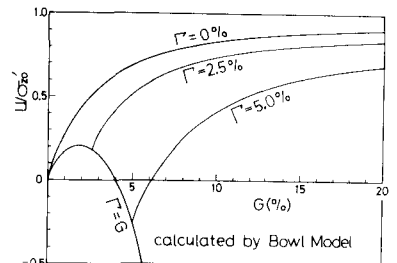


図-3 「おわんモデル」による Γ をパラメータとした $u / \sigma'_{z0} \sim G$ 関係

計算値はサイクリックモビリティーや、 $\tau_{zy} \sim \gamma_{zy}$ 関係の逆反り部分などをよく説明している。図-5は合せん断応力 $\tau_z = 30 \text{ kN/m}^2$ 一定の円経路でせん断したときの有効応力経路、 $\tau_{zy} \sim \gamma_{zy}$ 関係、せん断ひずみ経路の実測値と計算値である。有効応力比が変相応力比 X_{zm} を越えるあたりから間隙水圧の上昇が停止する様子や、 $\tau_{zy} \sim \gamma_{zy}$ 関係で逆反り部分がないまま液状化に至る様子がよく説明できている。図-6, 7は種々の応力振幅での一方向繰返しと円経路せん断の $u/\sigma'_{zo} \sim$ 繰返し回数 N 関係である。振幅が大きい程、また同じ振幅でも円経路せん断の方が一周期当りの G が大きいので、間隙水圧の出方は早くなる。但し、円経路せん断では τ_z が大きい程、変相応力比に達する σ'_z が大きいため、最終的な $u(u/\sigma'_{zo})$ は小さくなる。図-8は Γ が3%に達するまでの応力比と繰返し回数 N の関係である。同図より、実測値(プロット)も計算値(実線、破線)も液状化強度は、一方向繰返しせん断より円経路せん断の方が低くなっている。

参考文献

1) 松岡・福武・伊藤・三田村(1985): 第20回土質工学研究発表会(投稿中)

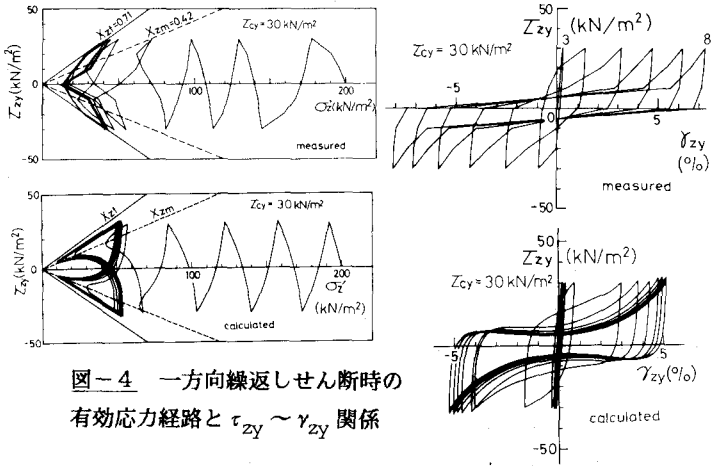


図-4 一方向繰返しせん断時の有効応力経路と $\tau_{zy} \sim \gamma_{zy}$ 関係

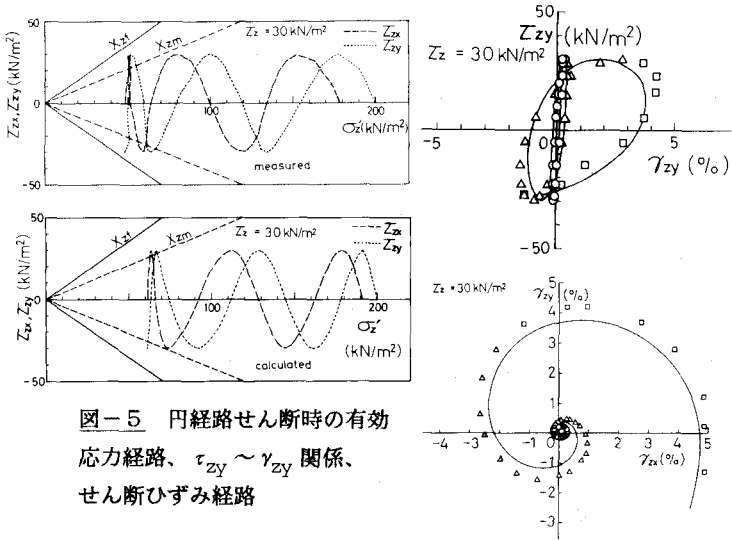


図-5 円経路せん断時の有効応力経路、 $\tau_{zy} \sim \gamma_{zy}$ 関係、せん断ひずみ経路

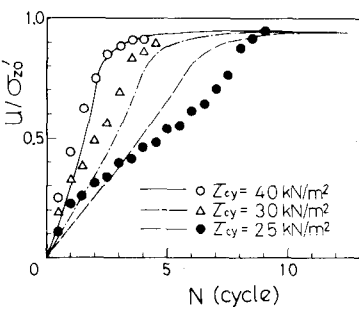


図-6 一方向繰返しせん断時の $u/\sigma'_{zo} \sim N$ 関係

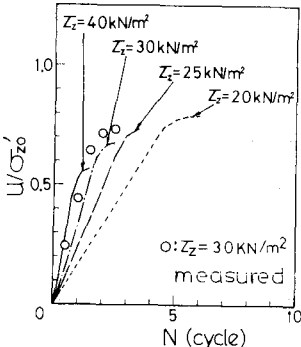


図-7 円経路せん断時の $u/\sigma'_{zo} \sim N$ 関係

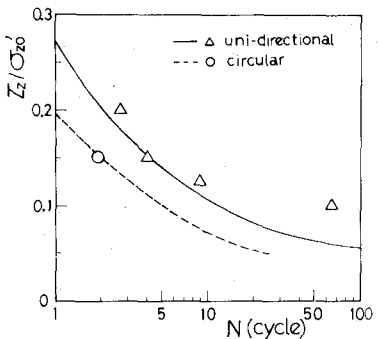


図-8 $\Gamma=3\%$ に達する応力比と繰返し回数の関係