

III-114 ひずみ履歴を考慮した砂の構成式の非排水「静的+繰返しせん断」への適用

名古屋大学工学部 正会員○杉村 昌広
 名古屋大学工学部 正会員 松澤 宏

まえがき: 筆者らは、ひずみ履歴を考慮した砂の応力~ひずみ関係式を提案しており、静的圧縮および静的繰返し載荷を受ける砂に適用して、実験値と良い合致を示すことを既に報告している¹⁾。これとは別に筆者らは、静的圧縮と繰返しせん断を同時に受ける(以下、「静的+繰返しせん断」)飽和砂の非排水せん断特性について、軸対称三軸試験によって調べてきており、その特性が「両振りせん断」や「片振りせん断」でのものとは異なること、「静的+繰返しせん断」特性の載荷周波数依存性の存在などを見いだした²⁾。ここでは、提案した構成式を「静的+繰返しせん断」状態に適用し、載荷周波数依存性などの表現を試みる。
砂の応力~ひずみ関係式: 砂の繰返し応力~ひずみ関係式は、軸対称状態において、次式で表される¹⁾。

$$\tau = \int \mu(z-z') \frac{\partial \gamma^p}{\partial z'} dz' = \sqrt{\frac{3}{2}} \int \mu(z-z') (-1)^n f(z') dz' \quad (1)$$

ここに、 τ : せん断応力, p' : 有効平均応力, γ^p : 塑性せん断ひずみ
 $\mu(z)$: 接線弾性係数に相当する関数 ($\mu(z) = G_0 p'^m (\rho_0 \delta(z) + \Sigma \rho_i e^{-B_i z})$)
 $f(z)$: 硬化関数 ($f(z) = \beta + (1-\beta) e^{-\kappa z}$)
 z : intrinsic time scale ($dz = \sqrt{de^{p_{ij}} \cdot de^{p_{ij}}} / f(z)$)
 n : 偶数の時、載荷。奇数の時、除荷。
 $G_0, \rho_0, \rho_i, B_i, \beta, \kappa$: 材料パラメータ¹⁾ (値を表-1に示す)。

表-1 材料パラメータ

G ₀	1000
ρ ₀	0.000001
ρ ₁	0.15
B ₁	390
ρ ₂	0.020
B ₂	40
β	55
κ	250

また、せん断による塑性体積ひずみ増分は次式のように表される¹⁾。

$$d\varepsilon_d = \frac{\sqrt{2}}{3} \{ \lambda(\xi) - \sqrt{8}(\tau/p') \} d\gamma^p \quad (2)$$

排水状態および非排水状態での「静的繰返しせん断」試験による検討の結果、非排水状態での間隙水圧は次式で表現される。

$$d\varepsilon_v = A \frac{dp'}{p'} \quad \text{あるいは} \quad d\varepsilon_v = A \frac{dp - du}{p'} \quad (3)$$

ここに、Aは間隙水圧パラメータであるが、これについてはせん断応力レベル q/p' によって、表-2に示すような値を用いた。表中の $(q/p')_{PT}$ は変相応力比である。

表-2 間隙水圧パラメータA

	q/p'	A
処女載荷過程	$0.0 \sim (q/p')_{PT}$	$0.46 e_0 + 0.45$
	$> (q/p')_{PT}$	$-3.70 e_0 + 2.81$
繰返し載荷過程	$0.0 \sim (q/p')_{PT}$	$0.70 e_0 - 0.68$
	$> (q/p')_{PT}$	$-0.22 e_0 + 0.24$
	$(q/p')_{PT} \sim 0.0$	$0.65 e_0 - 0.52$
	$0.0 \sim -0.3$	$2.31 e_0 - 1.63$
	$-0.3 \sim 0.0$	$0.04 e_0 - 0.65$

「静的+繰返しせん断」への適用: ここでは、式(1)~(3)を「静的+繰返しせん断」に適用した例を示す。図-1は「両振りせん断」試験、図-2は「静的+繰返しせん断」への適用例であるが、応力~ひずみ~間隙水圧関係および有効応力経路の実測値と計算値は、いずれの載荷経路においても良く合致している。

次に、繰返し載荷周波数が「静的+繰返しせん断」を受ける飽和砂の液状化特性に及ぼす影響について、式(1)~(3)を用いて予測した結果を示す。図-3は、繰返しせん断応力比 $\Delta\sigma_d/2\sigma'_{30}$ と初期液状化までの繰返し載荷回数 N_{11} の関係について、実測値と計算値を表したものであり、(a)~(c)図はそれぞれ、緩詰め砂、中密度の砂および密詰め砂の場合である。これらの図より、式(1)~(3)は、載荷周波数による液状化強度の違いをかなり良く表現していることがわかる。

あとがき: 式(1)~(3)によって、「静的+繰返しせん断」を含む種々の荷重経路での砂の挙動が表現されるようになった。今後は、この構成式を動的解析に適用し、その有効性を検討していく必要がある。
 <参考文献> 1)松澤・杉村: ひずみ履歴を考慮した砂の繰返し応力~ひずみ関係, 土木学会第42回年講, 3, pp.242~243, 1987. 2)松澤・杉村: 飽和砂の非排水「静的+繰返しせん断」特性に及ぼす荷重周波数の影響, 第26回土質工学研究発表会, 1991.

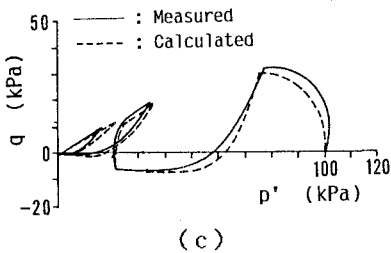
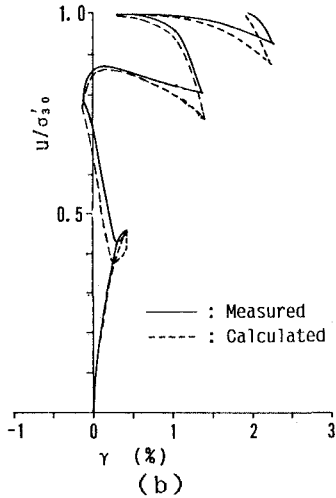
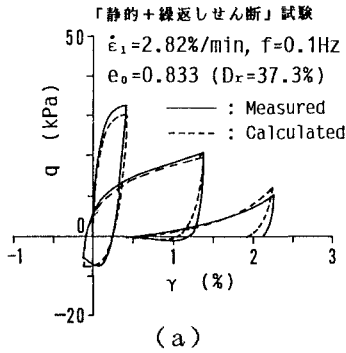


図-1

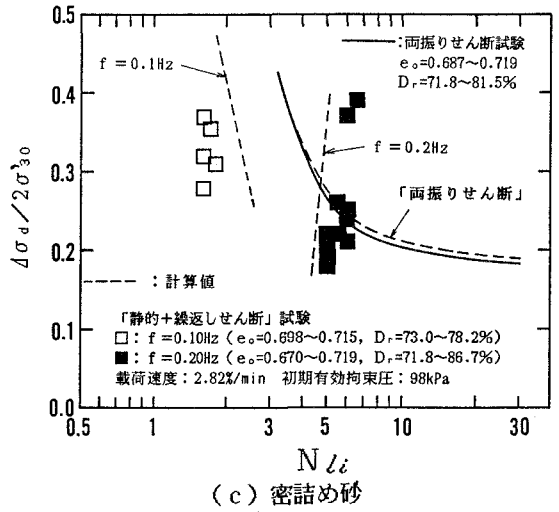
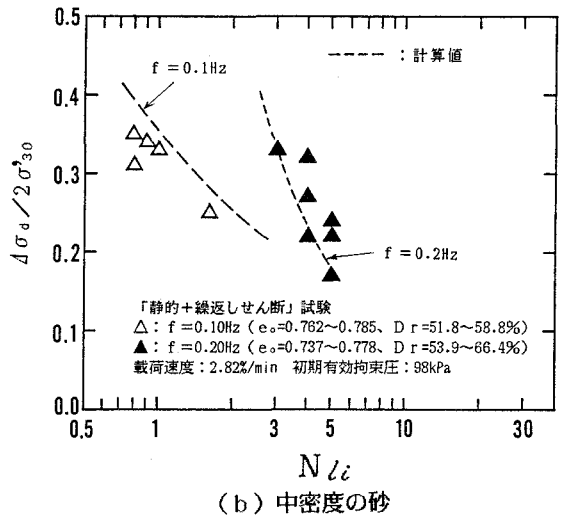
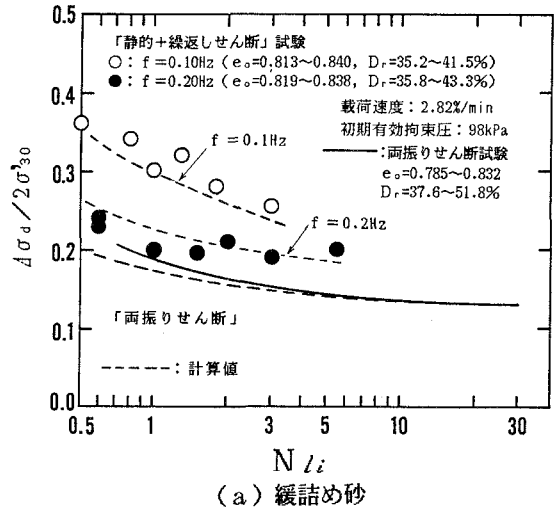


図-2