

III-92 繰返し非排水単純せん断試験のストレス・ダイレイタンスーについて

(株)奥村組 技術研究所 正会員 ○森尾 敏 日下部 伸
山口大学 工学部 正会員 安福 規之 兵動 正幸

1. まえがき: 筆者らは、3次元応力条件下で非共軸性の程度を表すスカラー変数 c を定義し、これを用いて非共軸繰返し弾塑性構成モデルを提案した¹⁾。本報では、この c を用いて中空ねじり試験機による非排水単純せん断試験のStress-Dilatancy関係を整理し、検討を加えた。以下、応力はすべて有効応力である。

2. 試験結果: 供試体は豊浦砂を用いて空中落下法で作成した(高さ20cm、外径10cm、内径6cm)。異方圧密は、まず側方応力 σ_r を等方的に載荷後、異方分の軸応力 $d\sigma_v$ を載荷して所定の σ_v とした。非排水単純せん断変形は、供試体の高さを一定に保ち、供試体中空部に満たした水の出入を止める手法を用いた。

せん断応力振幅一定の液状化強度試験結果²⁾を図-

1に示す。縦軸はせん断応力 τ_{xy} を初期軸応力 σ_{v0} で規準化している。図中のA~F区間から Stress-Dilatancy 関係を求めた。地盤系オンライン地震応答実験結果³⁾のうち、せん断応力 τ_{xy} の時刻歴を図-2に示す。本実験では、川岸町地盤に準じた深さ18mの地盤を地下水位上を2質点、地下水位下を6質点(S1~S6)でモデル化しており、同図はS2、S4、S6の結果である。対応する応力経路、応力-ひずみ関係は文献3)を参照されたい。このうち、S2は(G、H、I)、S4は(J、K、L)、S6は(M、N、O)区間からStress-Dilatancy関係を求めた。

3. 解析方法: 塑性偏差ひずみ増分 de_{ij}^p 、塑性体積ひずみ増分 dv^p は、式1)、2)によった。

$$de_{ij}^p = de_{ij} - dS_{ij} / (2G) \dots\dots\dots 1)$$

$$dv^p = dv - dp / K \dots\dots\dots 2)$$

ここに、 de_{ij} 、 dv は全ひずみ増分、 S_{ij} は偏差応力、 p は平均応力、 $G = G_1(p/p_1)^{1/2}$ 、 $K = K_1(p/p_1)^{1/2}$ 、 p_1 は p の初期値、 G_1 、 K_1 はせん断弾性係数、体積弾性係数の初期値で、非排水単純せん断変形では、 $de_{11} = de_{22} = de_{33} = dv = 0$ である。

スカラー変数 c ($-1 \leq c \leq 1$)は、 $c = S_{ij}G_{ij} / (2J_2)^{1/2}$ で表され、 $c=1$ は共軸を、 $c=-1$ は主応力方向と塑性主ひずみ増分方向が逆向きであることを示す。ここに、 $J_2 = (1/2)$

$S_{ij}S_{ij}$ 、 G_{ij} は de_{ij}^p の方向を規定する単位テンソルで、 $G_{ij} = de_{ij}^p / \|de_{ij}^p\|$ である。

4. 解析結果: 圧密打切り時の間隙比

e 、 σ_v 、 σ_r 、 B 値および G_1 を表-1に示す。 G_1 は微小ひずみ時の実測値で、ポアソン比を1/3として K_1 を決めた。A~F区間の c の変化を図-3に示す。対応する τ_{xy} を破線で併記している。矢印で示すように、最大せん断応力時の c

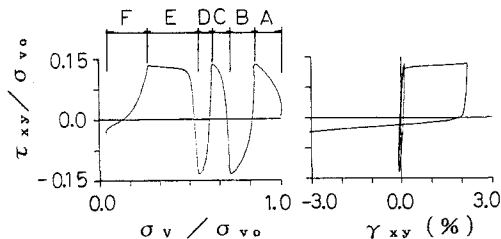


図-1 液状化強度試験結果

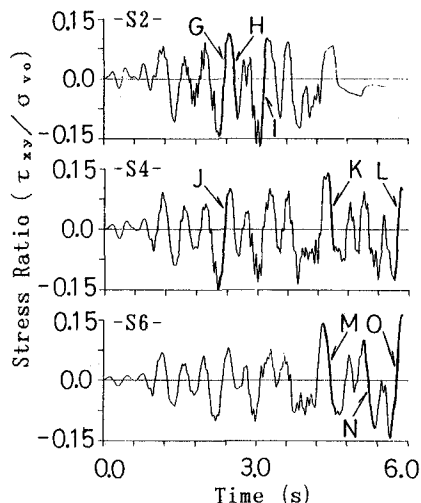


図-2 オンライン地震応答実験結果

表-1 間隙比 e 、 σ_v 、 σ_r 、 B 値および G_1

	間隙比 e	σ_v kgf/cm ²	σ_r	B 値	G_1 kgf/cm ²
A~F	0.792	1.670	0.670	0.98	710
G~I	0.777	0.630	0.315	0.97	626
J~L	0.789	1.125	0.563	0.98	707
M~O	0.786	1.665	0.833	0.97	908

は繰返し載荷に伴って 1.0 に接近しており、非共軸から共軸へ近づいている。最大せん断応力付近の凸状の変化は除荷直後のもので、ひずみ増分が極めて小さく無視することができる。A～F 区間の Stress-Dilatancy 関係を図-4 に、G～O 区間を図-5 に示す。縦軸は通常の Stress-Dilatancy 関係と異なり、 $c\eta$ で表示⁴⁾ しており、 $\eta = (S_{ij}/p)(S_{ij}/p)$ 、 $d\varepsilon_s^p = (de_{ij}^p de_{ij}^p)^{1/2}$ である。 $c\eta$ で整理することによって、載荷、除荷、再載荷に関係なくななり一様な関係が得られている。図中の破線は、式3)である。ただし、同式は $c\beta$ の項が入っているため、 $c\eta - dv^p / d\varepsilon_s^p$ 平面に一意的に表すことはできない。このため、図-4 はそれぞれ B、D、E、図-5 は G、J、M 区間の対応する c を用いて作図している。式3)は $c=1$ （共軸）、 $\beta=0$ の時 Dafalias の関係式⁵⁾ に一致し、更に $\alpha=0$ の時修正 Cam-clay model の関係式に帰着する。また、 $dv^p = 0$ の応力比 M は、 $c=1$ の時 $\bar{M} + \beta$ で与えられる。同式は式4)のエネルギー消散式と等価で、内部消散エネルギーが非共軸性に依存することを仮定している。

$$dv^p / d\varepsilon_s^p = \{ \bar{M}^2 - (c\eta - c\beta)^2 \} / \{ 2(c\eta + \alpha) \} \quad (\text{ただし、} c\eta + \alpha \geq 0) \cdots 3)$$

$$p \, dv^p + c \, (2J_2)^{1/2} \, d\varepsilon_s^p = p \, [dv^p + \{ \bar{M}^2 - (c\beta)^2 + 2c\eta\beta \} (d\varepsilon_s^p)^2 - 2\alpha \, dv^p d\varepsilon_s^p] \cdots 4)$$

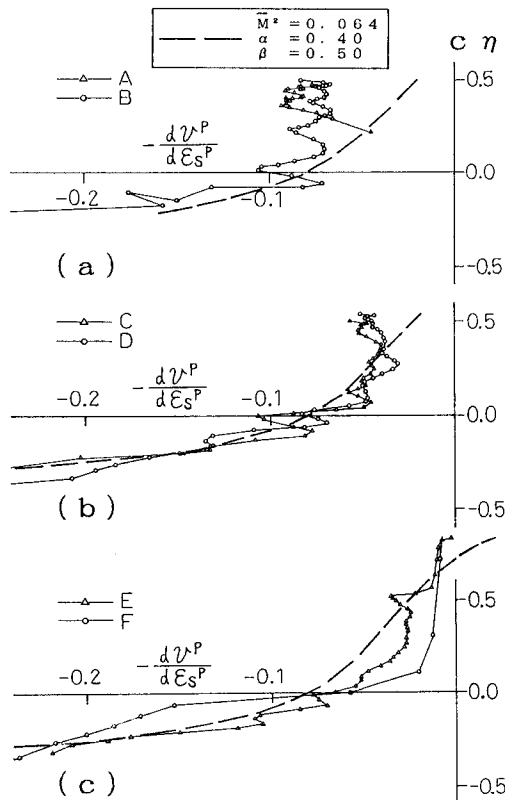


図-4 液状化強度試験の Stress-Dilatancy 関係

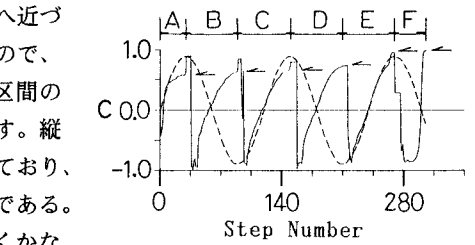


図-5 オンライン実験の Stress-Dilatancy 関係

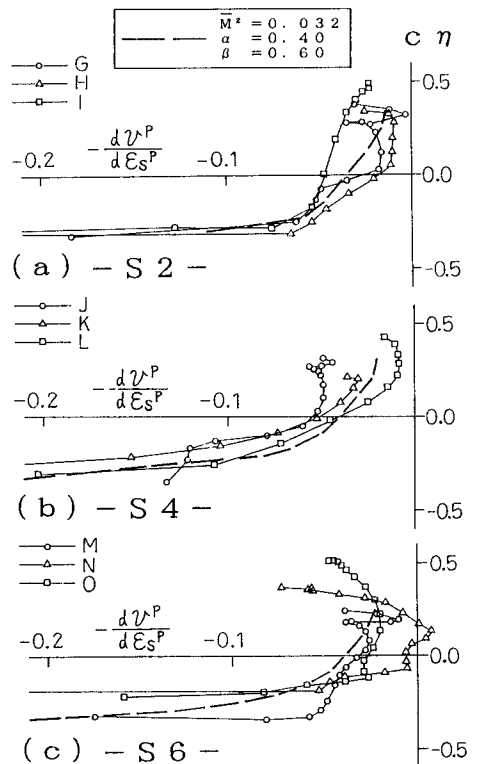


図-5 オンライン実験の Stress-Dilatancy 関係

- 参考文献：1) 森尾他、「非共軸繰返し弾塑性構成モデルの提案」、第27回土質工学研究発表会 2)、3) 日下部他、「地盤系オンライン地震応答実験システムの開発（その5、6）」、第26、27回土質工学研究発表会
4) Gutierrez, M. et al., 7th Conf. of the Int. Asso. of Com. Meth. and Adv. in Geo. (IACMAG 91), 1991, 5
5) Dafalias, Y. F., 2nd Int. Conf. on Constitutive Laws for Engineering Materials, Vol. 1, Tucson, 1987