

多方向繰返しせん断を受けた粒状土の有効応力変化に関する研究

山口大学大学院 学生会員○川原知士 学生会員 玉田和也
正会員 松田 博 正会員 石藏良平
学生会員 Andre Primantyo Hendrawan

1. はじめに

地震時に観測される地盤内のせん断は多方向に生じる。¹⁾すでに排水条件下での沈下ひずみに及ぼす多方向せん断の影響については検討が行われている。²⁾本研究では、多方向繰返しせん断を受ける地盤内の有効応力を定量的に評価することを目的に、定体積条件下での有効応力変化についての検討を行った。

2. 試験装置・試料及び試験方法

用いた装置は多軸単純せん断試験機である。この装置は供試体(直径 75mm、高さ 20mm)に 2 方向から独立してせん断変位を与えることができる。用いた試料は、豊浦砂と高炉水砕スラグ(GBFS)である。試料の物理定数を表-1 に示す。供試体は飽和状態とし、相対密度 70(±3)%に調整してせん断箱に詰め、圧密圧力 $\sigma'_{v0}=49\text{kPa}$ で予圧密した後、定体積条件の下で繰返しせん断を行い鉛直応力を測定した。繰返しせん断波形は周期 2.0 秒の sin 波であり、図-1 に示す载荷パターンで試験を行った。

せん断ひずみ振幅 γ の定義は、一方向繰返しせん断では、片振幅を供試体の高さで除した値とし、多方向繰返しせん断ではせん断中に供試体底面中央が描く円の半径を供試体の高さで除した値とした。累積せん断ひずみ G^* は供試体底面中央の出発点からの移動した軌跡上の移動量の総和であり、合せん断ひずみ Γ とは出発点から現在地の距離を表し、それぞれ式 (1) (2) で定義した。

$$G^* = \sum \Delta G^* = \sum \sqrt{(\Delta \gamma_x^2 + \Delta \gamma_y^2)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Gamma = \sqrt{(\Delta \gamma_x^2 + \Delta \gamma_y^2)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

3. 試験結果

図-2 は累積せん断ひずみ G^* と有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v / \sigma'_{v0}|$ の関係を示したもので、同図において、 Γ が最大値に達した時に波打ちが最大となり、最小値 ($\Gamma=0\%$) に達した時に最も低下している。これらを繰返して波打ちながら有効応力が低下していく。

図-3、及び図-4 は 2 種類の粒状土における $\theta=90^\circ$ の累積せん断ひずみと有効応力減少比の関係を示したものである。図に示されるように、多方向せん断では波打たない滑らかな曲線となっている。

松田は粘土層の地震後沈下を推定することを目的に、地震後に粘土層に蓄積する間隙水圧を予測する方法を提案している。³⁾ この予測法を基に、定体積条件下での有効応力変化と累積せん断ひずみの関係を式 (3) で表し、

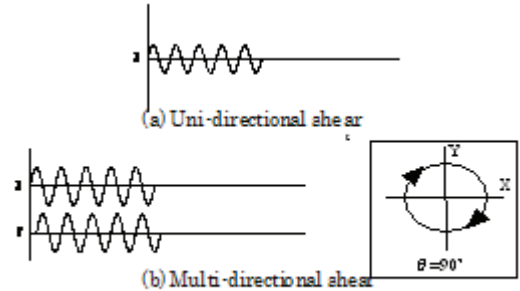


図-1 载荷パターン

表-1 試料の物理特性.

	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$
Toyoura sand	2.643	1.510	1.033
GBFS	2.673	0.991	0.630

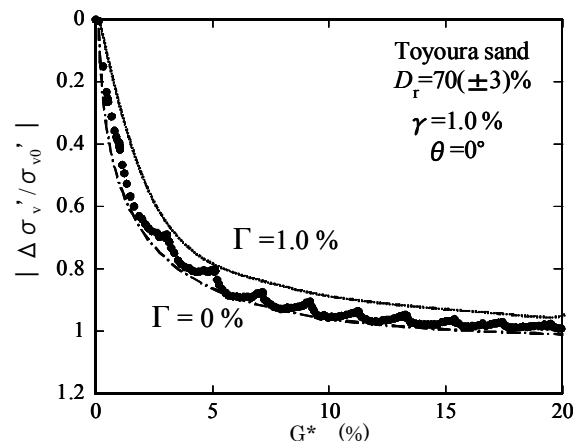


図-2 累積せん断ひずみと有効応力減少比の関係

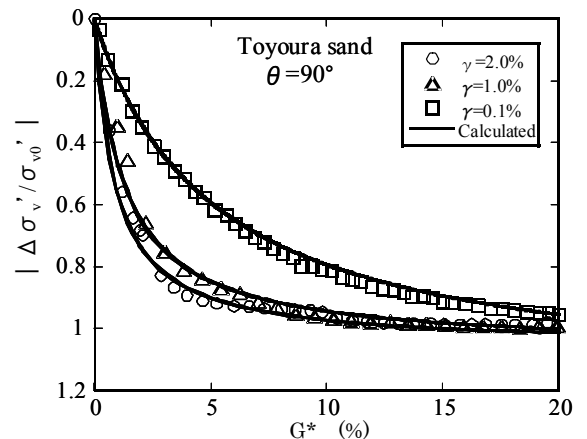


図-3 累積せん断ひずみと有効応力減少比の関係

これをマスターカーブとした。

$$\frac{\Delta \sigma_v}{\sigma_{v0}} = \frac{G^*}{\alpha + \beta \cdot G^*} \quad (\leq 1.0) \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

$$\alpha = A \cdot \gamma^m \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

$$\beta = \frac{\gamma}{B + C \cdot \gamma} \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

有効応力減少比と累積せん断ひずみの関係は双曲線関係で表わし、せん断ひずみ振幅 γ の影響を考慮して式(4)は γ の関数とした。A,B,C,m は実験定数であって各試料の値を表-2 に示す。図4に示されるように、計算値は実験値とよい一致が見られた。次に一方向繰返しせん断による、波打ち成分を考慮するため式(6)を定義した。

$$\frac{\Delta \sigma_v}{\sigma_{v0}} = \frac{G^*}{\alpha + \beta \cdot G^*} - D \Gamma^2 \quad (\leq 1.0) \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

$$D = D_0 - E \cdot G^* \quad (\geq 0) \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$

D は有効応力の波打ち成分の振幅の大きさを考慮して式(7)の一次関数で表した。D₀はDの初期値、EはDとG*の関係の傾きであって、いずれも実験定数である。また、式(6)では波打ちを表すパラメータとして Γ を設定した。実験により得られた有効応力減少比と式(3)に示したマスターカーブとの差を波打ち成分の実験結果と仮定している。図-5は、波打ち成分の実験結果と Γ の関係を対数化して整理したものである。図に示されるように、実験結果は直線の傾きが約 2.0 の直線となっており、式(6)に示される波打ち成分の Γ の指数は概ね 2 として評価できる。

図-6 は一方向せん断時の有効応力減少比と累積せん断ひずみについて、実験結果と計算結果を示している。図より計算値は実験値とよい一致が見られる。このことから、定体積条件下で一方向繰返しせん断を受けた粒状土の有効応力変化は式(6)を用いて概ね評価できる。

4. まとめ

定体積条件下において繰返しせん断を受ける粒状土の有効応力変化について検討し、有効応力推定についての提案を行った。また、累積せん断ひずみで整理することによって、少なくとも一方向および位相差 $\theta=90^\circ$ のときの多方向繰返しせん断によって生じる粒状土の有効応力変化を概ね評価できることを示した。今後は、種々の多方向繰返しせん断波形についても活用できるように検討していく。

【参考文献】

1) Pyke R., H. B. Seed, and C. K. Chan., Settlement of sands under multi-directional shaking, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 101(GT4), pp.379-398, 1975.
2) 松岡元、福武毅芳：「任意方向単純せん断におけるダイレイタンスの統一的解釈」土木学会論文集 第 412 号／Ⅲ-12, pp.143-151.1989
3) 松田博：「粘土層の地震後沈下過程の推定」土木学会論文集 第 568 号／Ⅲ-39, pp. 41-48.1997.6

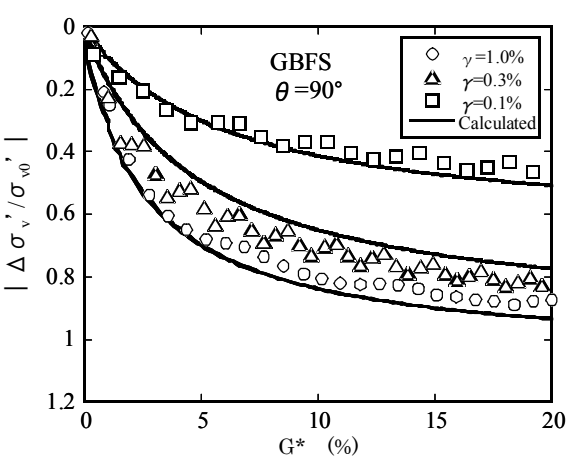


図-4 累積せん断ひずみと有効応力減少比の関係

表-2 実験定数

	A	B	C	m
Toyoura Sand	1.2	0.02	1.05	-0.55
GBFS	2.5	-0.044	1.1	-0.56

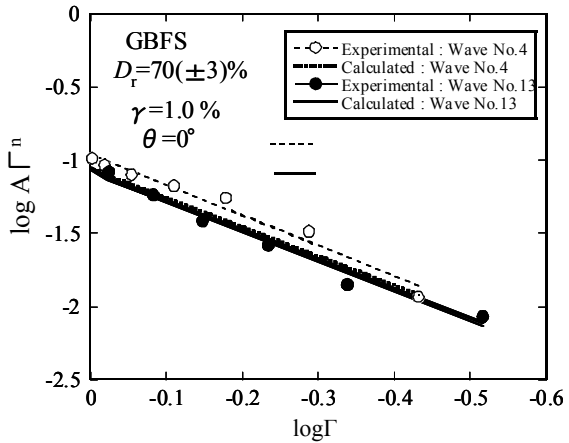


図-5 log AΓ² と log Γ の関係

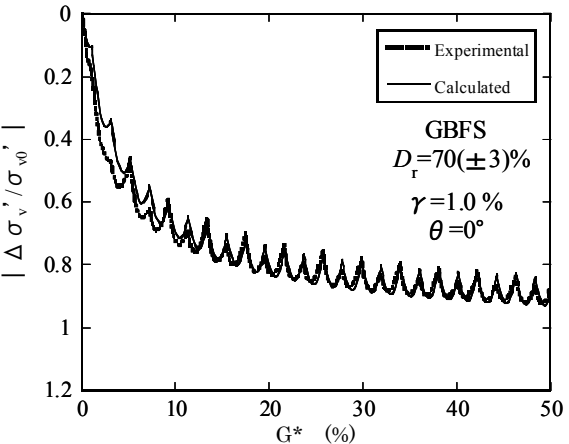


図-6 累積せん断ひずみと有効応力減少比の関係