

多方向繰返しせん断を受ける飽和粒状土の有効応力変化の推定

山口大学大学院 学○稲澤崇史 学 川原知士

学 Andre Primantyo Hendrawan

正 松田博 正 石蔵良平

1. まえがき

地震時に観測される地盤内のせん断履歴は多方向に生じる¹⁾。すでに多方向せん断と一方向せん断が繰返しせん断中の地盤の挙動に及ぼす影響について検討が行われている。多方向せん断と一方向せん断を地盤が受けた場合、沈下特性が異なることが明らかにされている。福武・松岡らは定圧条件下での排水繰返しせん断を行い、累積せん断ひずみ G^* と合せん断ひずみ Γ を用いて種々の経路のダイレイタンスーを统一的に解釈できることを示した²⁾。本研究ではこれまで、松田らの地震後の粘土層に蓄積される間隙水圧を予測する式をもとに、非排水せん断中の砂質土の有効応力変化を推定する式を示した³⁾。本研究では、相対密度の異なる2種類の粒状土に対して試験を実施し、推定式を用いて有効応力変化の予測ができるかどうかについて検討を行った。

2. 試験装置・試料および実験方法

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)%, 90(±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、有効応力を測定した。繰返しせん断波形は周期 2.0 秒の sin 波であり、図-1(b)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。既往の研究を参考に G^* , Γ を式(1), (2)で定義した。累積せん断ひずみ G^* は供試体底面中央が原点から移動したときの移動量の総和であり、合せん断ひずみ Γ とは原点から現在の位置までの距離を表す。

$$G^* = \sum \Delta G^* = \sum \sqrt{\Delta \gamma_X^2 + \Delta \gamma_Y^2} \quad (1) \quad \Gamma = \sqrt{\Delta \gamma_X^2 + \Delta \gamma_Y^2} \quad (2)$$

3. 試験結果

多方向繰返しせん断時($\theta=90^\circ$)の相対密度70%と90%の豊浦砂における累積せん断ひずみ振幅 G^* と有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v' / \sigma'_{v0}|$ の関係を図-2に示す。図より、 γ が大きくなるほど有効応力が減少し

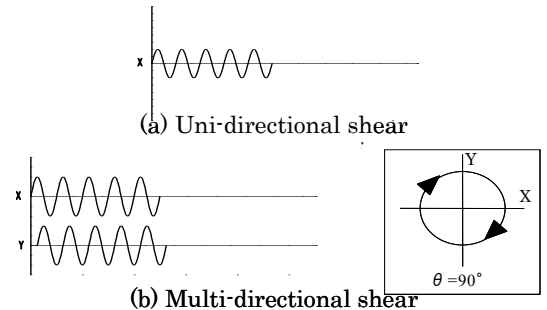


図-1 载荷パターン

表-1 試料の物理特性

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

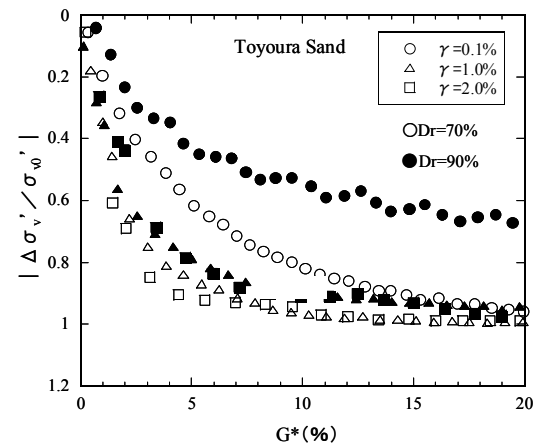


図-2 累積せん断ひずみと有効応力変化

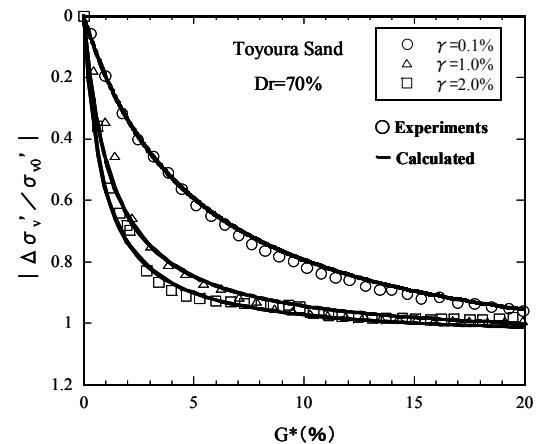


図-3 実験値と計算値の比較(Dr=70%)

やすくなっている。また、相対密度70%と90%を比較すると、相対密度90%の方が液状化しにくい結果となっていることが見てとれる。これは、試料の密度が増加したことによる、強度増加があったためと考えられる。

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される間隙水圧を予測する方法を提案している³⁾。松田の式を参考に、有効応力変化を実験結果（定体積条件）に基づき式(3)～(5)を導いた。

$$\left| \frac{\Delta \sigma'_v}{\sigma'_{v0}} \right| = \frac{G^*}{\alpha + \beta \cdot G^*} \quad (3) \quad \alpha = A \cdot \gamma^m \quad (4) \quad \beta = \frac{\gamma}{B + C \cdot \gamma} \quad (5)$$

図-3および図-4は、豊浦砂における各相対密度における有効応力減少比 $|\Delta \sigma'_v / \sigma'_{v0}|$ と累積せん断ひずみ G^* の関係を示したものであり、図中の実線は式(3)～(5)から求めた計算結果を示している。計算に用いた豊浦砂の実験定数の値を表-2に示す。図より、計算結果は実験結果とよい一致が見られる。

次に、高炉水砕スラグ(GBFS)を用いて同様の実験を行った。多方向繰返しせん断時における相対密度70%のGBFSについて、累積せん断ひずみ G^* と有効応力減少比 $|\Delta \sigma'_v / \sigma'_{v0}|$ の関係を図-5に示す。図に示されるように豊浦砂と同じように γ が大きくなるほど有効応力の減少が大きくなる傾向を示した。

図-6は、相対密度70%のGBFSにおける有効応力減少比 $|\Delta \sigma'_v / \sigma'_{v0}|$ と累積せん断ひずみ G^* の関係を示したものである。計算に用いたGBFSの実験定数の値を表-3に示す。図より、式(3)～(5)を用いることで、GBFSにおいても計算結果は実験結果とよい一致が見られる。

4. まとめ

定体積条件下において繰返しせん断を受ける飽和粒状土の有効応力変化の推定式について提案を行い、実験結果との比較を行った。その結果、相対密度を変化させた2種類の飽和粒状土に対しても累積せん断ひずみで整理することによって、繰返しせん断時に生じる有効応力変化を概ね評価できることを示した。

【参考文献】

- 1) Pyke R., H. B. Seed, and Chan, C. K ; Settlement of sands under multi-directional shaking, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 101(GT4), 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ーの統一的解釈，土木学会論文集 第 412 号/III-12, pp.143～151, 1989.
- 3) Sukeo Ohara and Hiroshi Matsuda ; 「Study on the settlement of saturated clay later induced by cyclic shear」, Soils and Foundations, Vol568, No.3, pp41-48.1997.

表-2 豊浦砂の実験定数

Toyoura Sand	Experimental fixed number			
	A	B	C	m
Dr=70%	1.2	0.02	1.05	-0.55
Dr=90%	1.8	0.001	1.03	-0.7

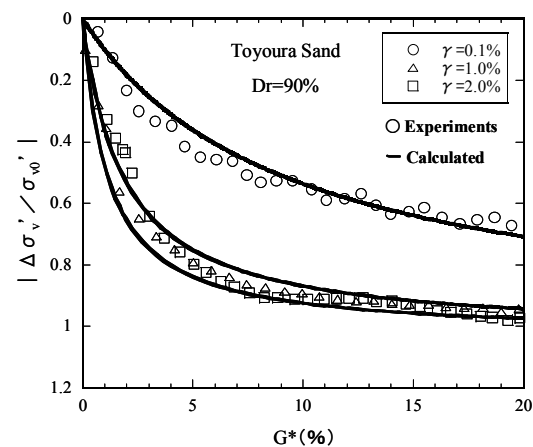


図-4 実験値と計算値の比較(Dr=90%)

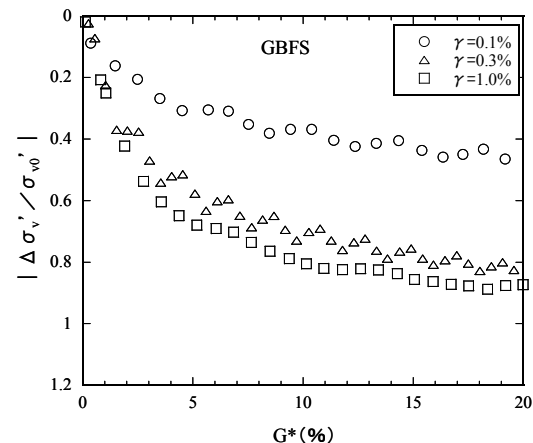


図-5 累積せん断ひずみと有効応力変化

表-3 GBFS の実験定数

GBFS	Experimental fixed number			
	A	B	C	m
Dr=70%	2.5	-0.044	1.1	-0.56

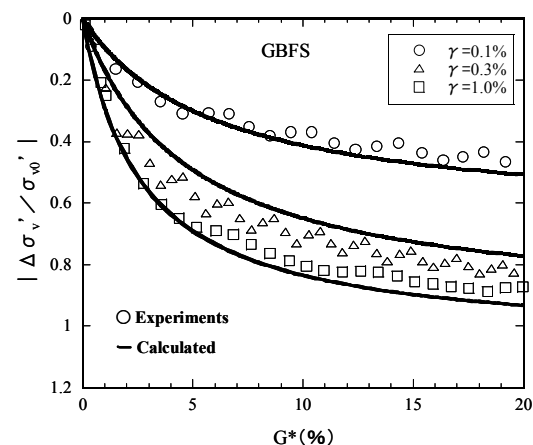


図-6 実験値と計算値の比較(Dr=70%)