

繰返しせん断を受ける粘土の間隙水圧およびひずみの予測

山口大学工学部 正員 兵動正幸 村田秀一 安福規之
山口大学工学部 学生員 ○河田頼治
株式会社 オオバ 正員 杉山太宏
復建調査設計㈱ 正員 福田直三

1. まえがき

一般に、地震、波浪、交通荷重といった繰返し外力を受ける軟弱粘土地盤の繰返しせん断挙動は、飽和砂地盤の液状化挙動のようなドラスティックな問題として考えられていないのが現状である。しかし、このような軟弱地盤上における被害事例は数多く報告されている。また安定解析等を行う際には、その地盤中要素の繰返しせん断変形ならびに間隙水圧を明確に把握することができる予測手法の提案が必要とされる。そこで本研究は、新たに繰返しせん断によって生じた粘着成分を考慮した予測手法を提案し繰返しせん断時のひずみおよび間隙水圧の評価を行った。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、広島市で採取された海性粘土であり、攪拌後粒度調整し初期含水比 $W=180(\%)$ で二週間再圧密した再構成試料である。また試料の物性値は、 $G_s=2.613$ 、 $W_L=62.1(\%)$ 、 $W_p=28.6(\%)$ 、 $I_p=33.5$ であり、シルト分を多く含んだ比較的低塑性の粘土である。試験機として空圧制御式繰返し三軸試験機を用い、等方応力状態下の所定の拘束圧で24時間圧密した後非排水状態で圧縮側より周波数0.02Hzの正弦波軸荷重を加えた。具体的な試験条件は表-1に示した。

3. 軸ひずみ振幅と有効応力比の関係

図-1は、試験結果より得られた軸ひずみ両振幅DAとピーク有効応力比 η_p との関係を拘束圧をパラメーターとして圧縮側について示したものである。また図-2に η_p の概念を示している。図-1において軸ひずみ両振幅が、増大していくにつれてプロットにばらつきが生じていることが観察される。また拘束圧が、小さいものほどプロットが外に膨らむ傾向にある。このようなプロットのばらつきは、粘土が繰返しせん断履歴を受けたことにより過圧密的な要因が生じたためと考えられる。

そこで、このプロットのばらつきを修正するために新たにピーク修正有効応力比 ζ_p の定義を行った。図-3におけるプロットは、各実験において有効応力経路が最終的に破壊状態で定常ループに至った時の、圧縮、伸張のピーク点をそれぞれp-q面上に連ねたものである。図から各点を結ぶループの包絡線(実線)は、圧縮、伸張においてq軸上に切片を持つ2本の直線で表すことができ、この直線は繰返しせん断を受けた粘土の粘着力効果を表す破壊線に相当することがわかる。ここでこの2本の直線が、p軸上で交わる点を p_r としピーク修正有効応力比 ζ_p を以下の式で表現することが可能となった。

$$\zeta_p = q / (p - p_r) \dots (1)$$

ここで、 p_r は広島粘土再構成試料の等方正規圧密の場合 $p_r = -0.107$ で与えられる。図-4は、図-1と同条件における、軸ひずみ両振幅DAとピーク修正有効応力比 ζ_p との関係を示したものである。この図から両者の関係には、拘束圧の大きさや繰返し回数の違いによらない一義的な双曲線関係が存在することがわかる。またこの双曲線関係においてDA=10%以下のひずみレベルにおいては有効応力比は一定な値をもつことより、本研究ではDA=10%を破壊と定義した。

表-1 試験条件

TEST NO.	p_c (kgf/cm ²)	OCR	f (Hz)	q_{max} (kgf/cm ²)	W_L (%)	e_s	e_c
PS01	1.0	1	0.02	0.652	58.9	1.546	1.521
PS02	1.0	1	0.02	0.565	57.5	1.503	1.263
PS03	1.0	1	0.02	0.597	59.7	1.552	1.239
PS04	1.5	1	0.02	1.082	60.2	1.571	1.233
PS05	1.5	1	0.02	0.650	60.3	1.567	1.226
PS06	1.5	1	0.02	0.722	58.8	1.536	1.238
PS07	2.0	1	0.02	1.180	57.8	1.510	1.167
PS08	2.0	1	0.02	0.806	58.3	1.553	1.177
PS09	2.0	1	0.02	1.032	58.6	1.551	1.197
PS10	1.0	1	0.02	0.445	59.2	1.534	1.311

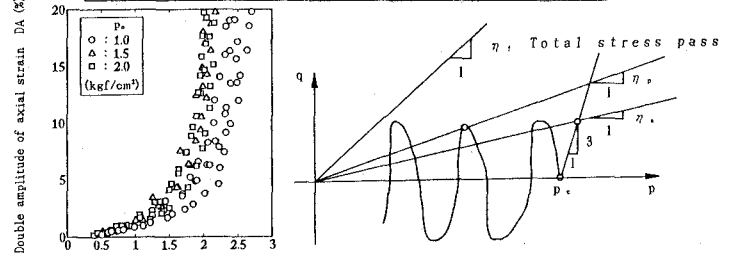


図-2 有効応力比 η_p の概念図

図-1 軸ひずみ両振幅DAとピーク有効応力比 η_p の関係

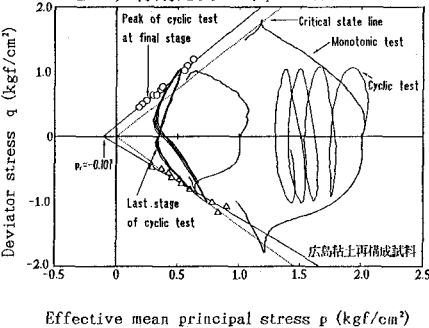


図-3 正規圧密粘土の破壊線

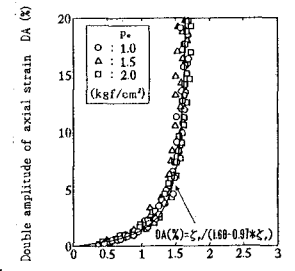


図-4 軸ひずみ両振幅DAとピーク修正有効応力比 ζ_p の関係

4. ひずみおよび間隙水圧の定量化¹⁾

図-5は、広島粘土再構成試料の試験結果から得られた $DA=10\%$ に至るに必要な繰返し応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N との関係を両対数上に示したものである。この図より両者の間には、拘束圧の違いによらない一本の直線関係が存在することが認められ、繰返しせん断強度 R_f は次式で定式化される。 $R_f (=q_{cyc}/p_c)_f = \kappa N^\beta$ (2) ここで、 β 、 κ はそれぞれこの直線の傾きおよび切片を表す定数であり、広島粘土再構成試料の場合 $\beta=-0.13$ 、 $\kappa=0.82$ である。また図-4に示した軸ひずみ両振幅 DA とピーク修正有効応力比 ξ_p との関係は、次式で定式化される。 $DA = \xi_p / (b_1 + b_2 \xi_p)$ (3) ここで、 b_1, b_2 は実験定数であり広島粘土再構成試料の場合、 $b_1=1.68, b_2=-0.97$ である。次に、初期ピーク修正有効応力比 ξ_0 と破壊時のピーク修正有効応力比 ξ_f の間で、任意の繰返し回数におけるピーク修正有効応力比 ξ_p の相対的な位置を表す有効応力比を相対修正有効応力比 ξ^* と次式のように定義し、その概念図を図-6に示している。 $\xi^* = (\xi_p - \xi_0) / (\xi_f - \xi_0)$ (4) 図-6の関係から任意のピーク修正有効応力比 ξ_p に対応する間隙水圧 u_p は次式で表される。 $u_p = q_{cyc} (1/\xi_s - 1/\xi_p)$ (5) 図-7は、強度比 R/R_f と相対修正有効応力比 ξ^* との関係を示したものである。ここで、強度比 R/R_f は、外力としての繰返し応力比 $R=q_{cyc}/p_c$ を、式(2)で定義した繰返し破壊強度 R_f で除して正規化したものであり、初期状態を表す0から破壊状態の1まで連続的に変化するパラメーターである。この図から両者の間には、一義的な双曲線関係が存在することが認められ、次式のように定式化される。 $\xi^* = R/R_f / \{c - (1-c) R/R_f\}$ (6) ここで、 c は実験定数であり広島粘土再構成試料の場合、 $c=14.5$ である。以上に述べてきた予測手法により定式化された式から得られた軸ひずみ両振幅 DA およびピーク間隙水圧比 u_p/p_c の予測結果を $p_c=1.0(\text{kgf/cm}^2)$ のものについてそれぞれ図8、9に示した。この結果より予測結果は、実験結果をうまく表現していることが認められ、この予測手法の妥当性が明確なものとなった。

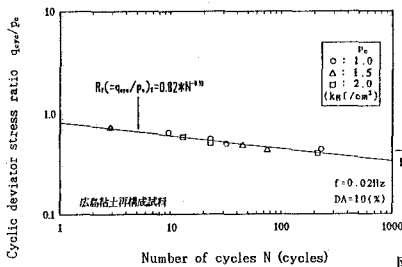


図-5 繰返しせん断強度 R_f の定量化

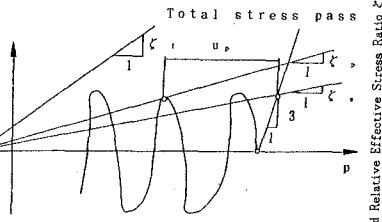


図-6 相対修正有効応力比 ξ^* の概念図

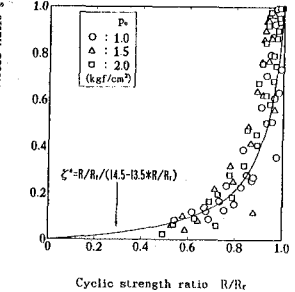


図-7 強度比 R/R_f と相対修正有効応力比 ξ^* の関係

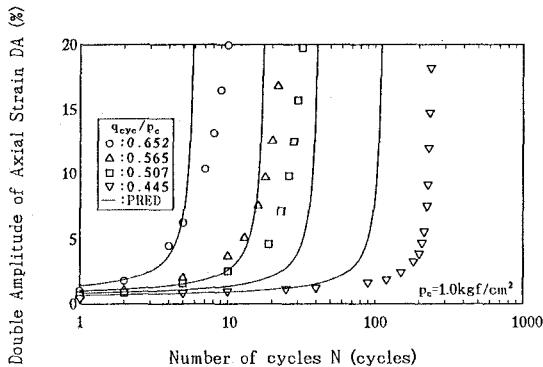


図-8 軸ひずみ両振幅 DA と繰返し回数 N の関係

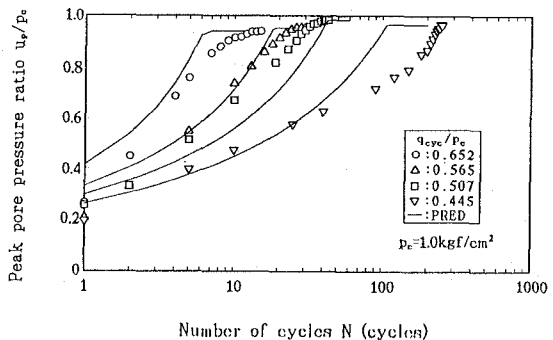


図-9 ピーク間隙水圧比 u_p/p_c と繰返し回数 N の関係

5. 結論

- 新たに定義したピーク修正有効応力比 ξ_p と軸ひずみ両振幅 DA との間には、繰返し応力比や繰返し回数に依らない一義的な双曲線関係が存在する。
- 予測結果は、実験結果をよく表現していることが認められ、この予測手法の妥当性が明かとなった。

【参考文献】

- 1) 兵動、山本、村田、安福、杉山：繰返しせん断を受ける粘土の間隙水圧および変形の評価，第26回土質工学研究発表会概要集，pp. 787-790, 1991