

不攪乱海成粘土の非排水繰返しせん断強度の評価

例 大本組 正員 ○河田頼治
 山口大学工学部 正員 兵動正幸 安福規之 村田秀一
 徳山工業高等専門学校 正員 上俊二

1. まえがき

現在、耐震設計において粘土地盤については、砂地盤の液状化のような明確な評価方法が示されておらず、また、原位置における粘土の動的性質を表す実験データは極めて少ない現状にある。本研究は、原位置における粘土の非排水繰返しせん断強度を評価するため、塑性指数の異なる不攪乱海成粘土を用いて過圧密比や拘束圧を種々に変化させた非排水繰返し三軸試験を行った。その結果から原位置の粘土が有する物理的、力学的性質を整理し、原位置における粘土の繰返しせん断強度を統一的に評価するための実験式を提案する。

2. 試料及び実験方法

本研究で用いた不攪乱試料は、広島市五日市より採取した五日市粘土、広島港宇品地区より採取した広島粘土、熊本県の白川下流域で採取した有明粘土、横浜港より採取した横浜粘土の四種類である。また、不攪乱試料を攪拌後粒度調整し2週間予圧密を行った再構成試料についても、広島粘土、五日市粘土、有明粘土の三種類について実験を行った。実験は空圧制御式繰返し三軸試験機を用い、所定の等方応力下で圧密を行った後、非排水状態で周波数 $f=0.02\text{Hz}$ の繰返し軸荷重を与えることにより行った。実際の地震時の周波数、1~2Hz程度に比べ、このように低い周波数を用いた理由は、三軸供試体内における間隙水圧の発生の一様性を確保するためである¹⁾。

3. 原位置における粘土の非排水繰返しせん断強度の評価

一般に、地震時における砂地盤の液状化強度は、繰返し三軸試験より得られる繰返し回数 $N=20$ における所定のひずみ振幅を生ずるに必要な応力比により規定されている。このことから本研究においても粘土の繰返しせん断強度 $R_L (=q_{cyc}/p_v)$ を $N=20$ をもって定義した。また本研究では、等方応力状態における粘土の繰返しせん断破壊を軸ひずみ両振幅 $DA=10\%$ と規定した。図-1は、正規圧密粘土についての繰返しせん断強度 $R_L (N=20)$ をプロットしたものである。図中、様々な塑性指数からなる粘土に対する結果が示されているが、繰返しせん断強度と塑性指数 I_p に良好な対応関係が認められる。また図中には再構成試料の結果もプロットしているが、不攪乱の結果との差はほとんど見られない。これは、正規圧密状態では堆積による構造が破壊されることからagingの効果は薄れ、粘土固有の物性である I_p のみに依存する結果となったためと考えられる。正規圧密粘土においては、繰返しせん断強度と I_p には次式で表す直線関係が存在することが明かである。

$$R_L = 0.00193 I_p + 0.48 \quad (1)$$

式(1)は、正規圧密粘土の繰返しせん断強度 $R_L (N=20)$ を表すものであるが、これを R_1 とした。図-2は、すべての実験結果について繰返しせん断強度 $R_L (N=20)$ と塑性指数 I_p の関係を示したものである。図中、正規圧密粘土と長期堆積による擬似過圧密粘土や過圧密比の異なる種々の粘土の結果を含んでいることから両者の間には明確な関係がみられない。図-3は対象としたすべての粘土の繰返しせん断強度 $R_L (N=20)$ と R_1 の関係を示したものであるが、全体的に $R_L (N=20)$ の方が R_1 よりも大きく、プロットが上方にシフトしていることがわかる。これは、過圧密粘土の方が正規圧密粘土よりも大きな強度を有しているからである。そこで次に、このような過圧密粘土の繰返し強度について評価を試みた。図-4は片対数上に図-3における実験結果と式(1)の偏差である $R_L (N=20) - R_1$ と原位置におけるみかけの過圧密比 p_v/p_0 の関係を示したものである。ここで、 p_v/p_0 (圧密降伏応力 p_v と現位置の土被り p_0 の比)を用いたのは、二次圧密やセメンテーションといった年代効果により擬似過圧密状態にあると考えられる粘土地盤の堆積環境を考慮するためであり、 p_v/p_0 は原位置の

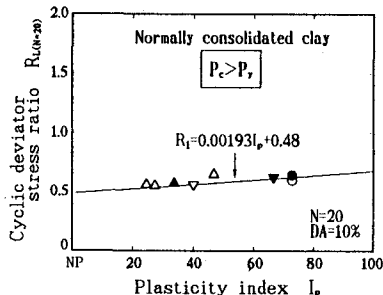
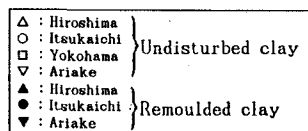


図-1 繰返しせん断強度 $R_L (N=20)$ と塑性指数 I_p の関係 (正規圧密粘土)

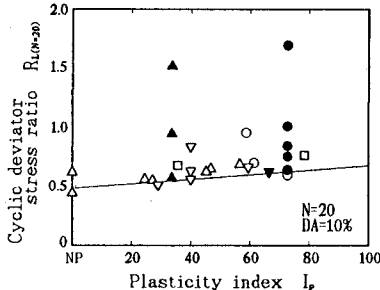


図-2 繰返しせん断強度 $R_L (N=20)$ と塑性指数 I_p の関係

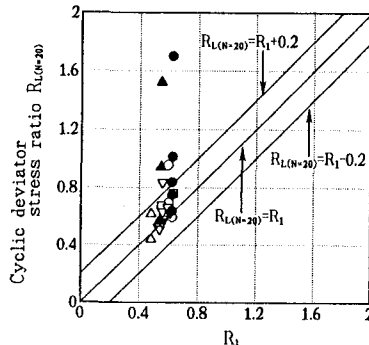


図-3 繰返しせん断強度 $R_L (N=20)$ と R_1 の関係

土被り圧における圧密降伏応力に対する比でありみかけ上の過圧密比を表す。図から両者には明瞭な関係が見られないが、図-5のように圧密降伏応力 p_v 付近の有効圧密応力 p_c で行われた結果に着目すれば両者の関係には、直線的増加傾向が認められる。そこで、 $R_L(N-20)-R_1=R_2$ とすると両者の関係は次式のように定式化される。

$$R_2=0.212 \log_{10} (p_v/p_0) \quad (p_v/p_0 \geq 1) \quad (2)$$

このように、年代効果を有する過圧密粘土の繰返し強度と正規圧密粘土の強度との差が式(2)のように p_v/p_0 の関数として表されることになり、これを R_2 とした。

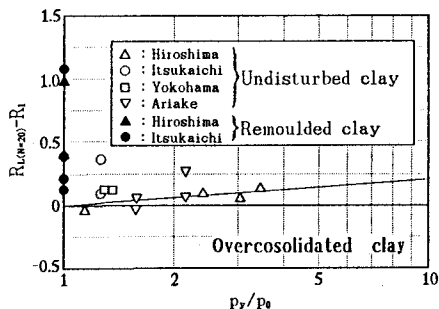


図-4 $R_L(N-20)-R_1$ と p_v/p_0 の関係

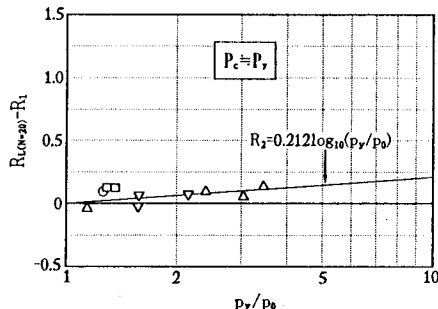


図-5 $R_L(N-20)-R_1$ と p_v/p_0 の関係($p_v=p_c$)

図-6は、原位置の粘土の繰返しせん断強度 $R_L(N-20)$ と R_1+R_2 の関係を示したものである。図-3と比較すると $R_L(N-20)=0.6$ 付近のプロットが若干改善されているものの、上方向の大きなばらつきを補正するには至っていない。図中のばらついているプロットは、繰返し三軸試験における初期圧密応力 p_c が p_0 よりも小さく、さらに過圧密比が大きなものである。このことを原地盤において考えてみると掘削等の応力履歴を受けることにより現在受けている応力 p_c が以前の土被り圧 p_0 よりもさらに小さくなったことに対応するものである。そこでこのような応力履歴を受けることによって力学的に過圧密状態に至った場合の粘土地盤の繰返しせん断強度について以下に検討する。図-7は、片対数上に $R_L(N-20)-R_1-R_2$ と p_0/p_c （原位置の土被り圧 p_0 と有効圧密応力 p_c との比）の関係を示したものである。 $p_0/p_c < 1$ のものについては、ほぼ $R_L(N-20)-R_1-R_2=0$ であることから式(1)、(2)で繰返し強度が評価できることがわかる。また $p_0/p_c \geq 1$ の場合、両者の関係には直線的増加傾向が存在することがわかる。そこで、 $R_L(N-20)-R_1-R_2$ を R_3 とすると両者の関係は、次式のように定式化することが可能となる。

$$R_3=0 \quad (p_0/p_c < 1)$$

$$R_3=1.545 \log_{10} (p_0/p_c) \quad (p_0/p_c \geq 1) \quad (3)$$

図-8は、繰返しせん断強度 $R_L(N-20)$ と $R_1+R_2+R_3$ の関係を示したものである。両者の関係は、図-6において見られた上方でのばらつきが修正され非常に良好な対応関係にあることが認められる。すなわち、原位置における粘土の非排水繰返しせん断強度は、塑性指数 I_p と長期堆積による擬似過圧密比 p_v/p_0 、および施工にともなう拘束圧の変化に対応した p_0/p_c を考慮することによりほぼ評価可能であることがわかる。

以上により原位置における粘土の繰返しせん断強度 R は、 I_p 、 p_v/p_0 、 p_0/p_c により以下のように評価される。

$$\text{正規圧密粘土である時} \dots R=R_1 \quad (p_v < p_c) \quad (4)$$

$$\text{過圧密粘土である時} \dots R=R_1+R_2+R_3 \quad (p_v \geq p_c) \quad (5)$$

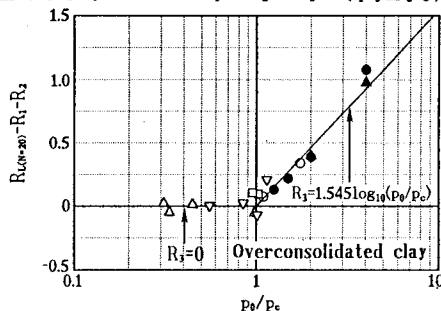


図-7 $R_L(N-20)-R_1-R_2$ と p_0/p_c の関係

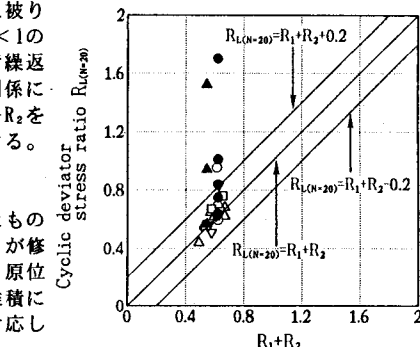


図-6 繰返しせん断強度 $R_L(N-20)$ と R_1+R_2 の関係

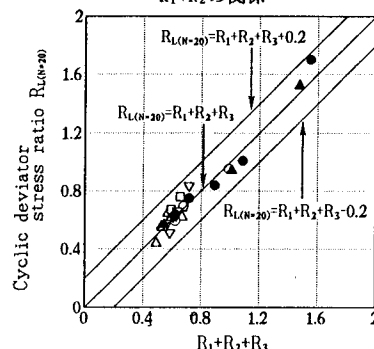


図-8 繰返しせん断強度 $R_L(N-20)$ と $R_1+R_2+R_3$ の関係

〔参考文献〕 1) 山本陽一・兵動正幸・村田秀一・安福規之・杉山太宏：粘土の非排水繰返しせん断特性に及ぼす載荷周波数の影響，第27回土質工学研究発表会講演集，pp. 903～906，1992。