

不攪乱海成粘土の非排水繰返しせん断強度に及ぼす拘束圧の影響

山口大学工学部 正 員 兵動正幸 村田秀一
中央開発(株) 正 員 ○河原弘明
山口大学大学院 学生員 川手伸哉 米村公貴
徳山高専 正 員 上 俊二

1. まえがき

筆者らは、前報¹⁾において、全国のいくつかの地点から採取した海成粘土の繰返し三軸試験を行い、原位置における粘性土の非排水繰返しせん断強度の評価式を提案した。本研究は、新たな地点でサンプリングした試料を追加して非排水繰返し三軸試験を行い、繰返し強度に及ぼす塑性指数や aging 効果としての擬似過圧密比の影響を明らかにし、不攪乱海成粘土の原位置非排水繰返しせん断強度をより一般的に評価することを試みたものである。

2. 試料および実験方法

本研究で用いた試料は、前報¹⁾でも示した広島市の広島港宇品地区より採取された広島 A 粘土、広島市の五日市で採取された広島 B 粘土、熊本県の白川下流域で採取された有明 A 粘土、神奈川県横浜市港未来 MM 2 1 地区より採取された横浜粘土と、新たに追加した佐賀県の東与賀地区で採取された有明 B 粘土、大分県の大分港で採取された大分粘土、長崎県の地先地区で採取された長崎粘土の計 7 種類である。いずれの試料も固定ピストン式サンプラーによって採取された海成粘土である。また、試料を、75 μ m フルイ通過分を液性限界の 2 倍の含水比でうすめて攪拌後予圧密した広島 A 粘土、広島 B 粘土、有明 A 粘土の 3 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、所定の拘束圧下で周波数 $f=0.02\text{Hz}$ の繰返し荷重を与えることにより行った²⁾。

3. 粘土の原位置非排水繰返しせん断強度の評価

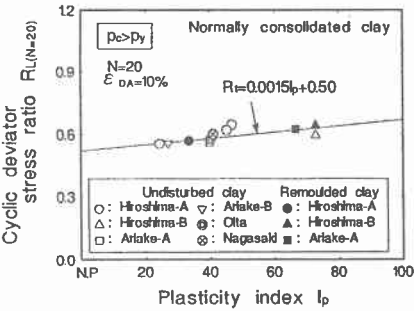


図-1 繰返しせん断強度 $R_L(N=20)$ と塑性指数 I_p の関係($p_y < p_c$)

本研究においては、繰返しせん断による粘土の破壊を軸ひずみ両振幅 $\epsilon_{DA} = 10\%$ に至った時点と定義し、繰返し回数 $N=20$ の時の軸差応力比 q_{cyc}/p_c をもって繰返し強度 $R_L(N=20)$ と定義した。また、 q_{cyc}/p_c は一般に、砂の液状化で用いられる $\sigma_d/2\sigma_c$ の 2 倍に相当するものである。以下に具体的な評価手法について述べる。

まず、図-1 は、圧密試験から得られた圧密降伏応力 p_y よりも大きな拘束圧 p_c で正規圧密された粘土の $R_L(N=20)$ と塑性指数 I_p の関係を示したものである。図中、様々な塑性指数から成る粘土に対する結果が示されている。また、不攪乱試料と再構成試料の結果を併せて示している。この図から、再構成試料と不攪乱試料の違いによらず $R_L(N=20)$ と I_p に良好な対応関係が認められる。これは、正規圧密状態では長期堆積による構造が破壊されることから年代効果は薄れ、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。このことから、正規圧密粘土において繰返しせん断強度と I_p の間には次式で表す

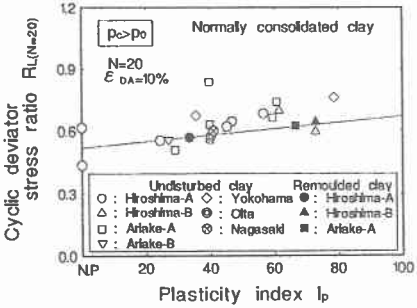


図-2 繰返しせん断強度 $R_L(N=20)$ と塑性指数 I_p の関係($p_o < p_c$)

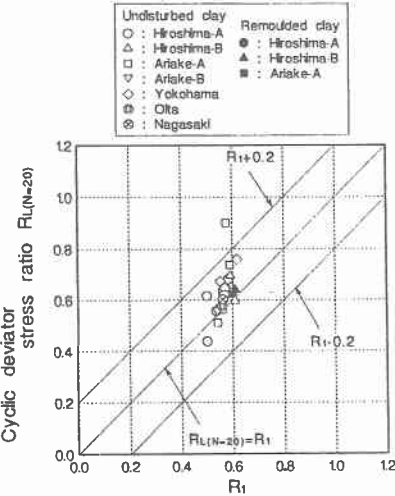


図-3 繰返しせん断強度 $R_L(N=20)$ と R_L の関係

直線関係が存在する。

$$R_1 = 0.0015I_p + 0.50 \quad (1)$$

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。次に、図-2は、実験を行ったすべての粘土の繰返し強度 $R_{L(N=20)}$ と塑性指数 I_p の関係を示したものである。図中、正規圧密粘土の結果のみならず拘束圧 p_c を土被り圧 p_0 と圧密降伏応力 p_y の間に設定した擬似過圧密粘土の結果を含んでいることから式(1)の直線より上方に位置するプロットが多く見られる。図-3は、図-2の繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と式(1)より求められる R_1 の関係を示したものであるが、かなりのプロットが上方にシフトしていることが分かる。これは、擬似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、このような擬似過圧密粘土の繰返しせん断強度について評価を試みた。図-3の各プロットと R_1 で与えられる直線との偏差 $R_{L(N=20)} - R_1$ と粘土の長期堆積によるみかけの過圧密比 p_y/p_0 の関係を表わすと図-4のようになる。図中、両者にはさほど明確な関係は認められない。そこで、拘束圧 p_c が原位置の応力状態 p_0 を越え圧密降伏応力 p_y に至る過程において、年代効果によって発達した構造が徐々に破壊され、圧密降伏応力 p_y を境に構造の影響はなくなると仮定して、以下に示す評価手法を考えてみた。長期堆積によるみかけの過圧密比 p_y/p_0 に相対的な大きさを表す $(p_y - p_0)/(p_y - p_0)$ を乗じたものを横軸に $R_{L(N=20)} - R_1$ を縦軸にとって両者の関係を示したものが図-5である。この図より、両者には明確な直線的対応が認められ、この関係は、次式のように定式化される。

$$R_2 = 0.097 \frac{p_y}{p_0} \left(\frac{p_y - p_c}{p_y - p_0} \right) \quad (2)$$

ここで、式(2)で表される年代効果を有する擬似過圧密粘土の繰返し強度 $R_{L(N=20)}$ と正規圧密粘土の繰返し強度 R_1 との偏差 $R_{L(N=20)} - R_1$ を R_2 とした。図-6は、実験を行ったすべて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。図に示されるように両者は、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、海成粘土の原位置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_y/p_0 とその時点での拘束圧 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り、以下のように表される。

$$R = R_1 + R_2 = 0.0015I_p + 0.50 + 0.097 \frac{p_y}{p_0} \left(\frac{p_y - p_c}{p_y - p_0} \right) \quad (p_0 \leq p_c < p_y)$$

$$R = R_1 = 0.0015I_p + 0.50 \quad (p_y \leq p_c)$$

(3)

ここに、 R ：原位置における粘土の繰返しせん断強度（繰返し回数 $N=20$ で軸ひずみ両振幅 $\varepsilon_{DA}=10\%$ に至るに必要な繰返し応力比）、 R_1 ：塑性指数 I_p の関数で表される R の第1項、 R_2 ： p_y/p_0 と拘束圧 p_c の関数で表される R の第2項

参考文献 1) 河田・兵動・上：原位置における粘土の非排水繰返しせん断強度の評価，第29回土質工学研究発表会講演集，pp. 861~864，1994。2) 山本・兵動 他：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。

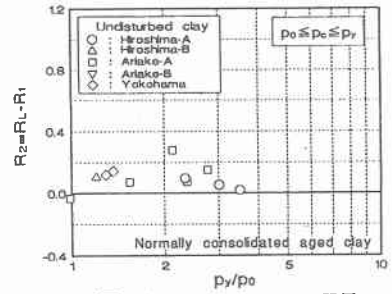


図-4 $R_{L(N=20)} - R_1$ と p_y/p_0 の関係

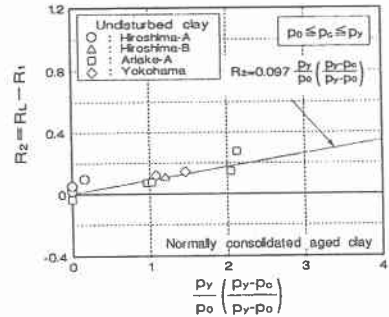


図-5 $R_{L(N=20)} - R_1$ と $\frac{p_y}{p_0} \left(\frac{p_y - p_c}{p_y - p_0} \right)$ の関係

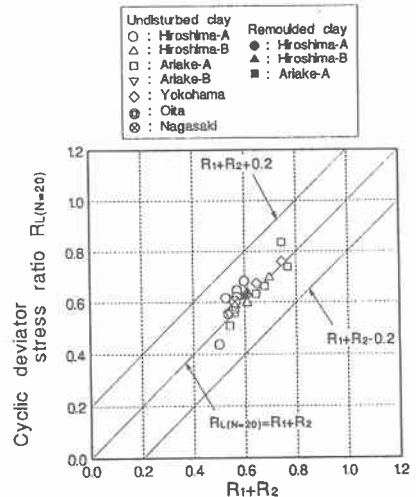


図-6 繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と $R_1 + R_2$ の関係