

練り返し時含水比の異なる再圧密土の力学特性

MECHANICAL CHARACTERISTICS OF REMOULDED
RECONSOLIDATED SOIL

八 木 則 男*・矢 田 部 龍 一**・松 村 真 一 郎***

By Norio YAGI, Ryuichi YATABE and Shin-ichiro
MATSUMURA

1. ま え が き

液性限界以上の高含水比で練り返し再圧密した正規あるいは過圧密粘土に関しては、数多くの研究がなされその力学特性は明らかにされている。また、サンプリングに伴う粘土試料の乱れは圧密特性や強度特性に大きく影響を与えるので、それを定性的、あるいは定量的に明らかにすること等を目的として粘土のかく乱に関する研究もかなり多くなされている。たとえば、奥村ら^{1,2)}はかく乱による粘土の力学特性の変化を定量的にとらえるために三軸圧縮試験機および単純せん断試験機を用いて練り返し破壊試験を行い、かく乱に伴う強度特性の変化は、残留有効応力の低下と一義的關係にあること等を見出している。

ところで、砂杭等を含めた杭打ちの際の周辺粘土地盤、動圧密工法が施行された地盤では、かく乱によって発生した間隙水圧の消散によって再圧密される。ゆえに、同じ圧密圧力のもとでは正規圧密よりも含水比が小さくなっているため、 $e \sim \log P$ 図中では過圧密と考えられる。しかし、現在受けているよりも大きな圧密圧力の履歴を受けていないので厳密には過圧密とはいえない。したがって、かく乱再圧密粘土と本来の意味での過圧密粘土には力学特性に差異が現われると思われ、これが上記の施工を受けた地盤に関する設計に必要であると考えられる。しかし、このようなかく乱再圧密粘土の力学特性についての研究は少ない。本論文ではかく乱再圧密状態を作り出すために、一度圧密を受けた粘土を含水比を変えずに練り返し再圧密して供試体とした。このような練り返し再圧密粘土も応力履歴が消失しているので、正規状態とよぶことにする。このように練り返し再

圧密も含めると、 $e \sim \log P$ 図中の状態は先行圧密荷重と過圧密比(OCR)だけでは決定されず、練り返し時の含水比も状態を決定するのに必要である。したがって、 $e \sim \log P$ 図中の一点に至る径路は数多く存在する。

これらの径路の違いによる力学特性の相違は、Hvorslev の強度定数の差や Roscoe の限界状態理論の適否などに現われ、練り返し再圧密粘土の力学特性は含水比と圧密圧力により一意的に決定できず、練り返し時の含水比、練り返しの程度の影響を受けると考えられる。

本報告は、飽和粘土と飽和シルトを対象として液性限界以上の含水比で練り返し圧密した正規圧密状態(NC)、過圧密状態(OC)と液性限界以下の種々の含水比で練り返し再圧密した練り返し正規圧密状態(RNC)、この正規状態に対応する練り返し過圧密状態(ROC)の4種類の供試体について、実験的にそれぞれの力学特性を明らかにするとともに、その統一的评价法について考察を加えたものである。

なお、練り返しの程度も重要なパラメーターではあるが、ここでは完全に練り返したものに限った。

2. 試料, 実験方法

試料には粘土とシルト質の赤土を用いた。粘土の物性は、 $LL=49\%$, $PL=27\%$, $G_s=2.68$ であり、赤土は $LL=56\%$, $PL=33\%$, $G_s=2.69$ である。図-1 に粒径加積曲線を示す。

RNC, ROC 供試体の作成手順は次のようである。スラリー状から種々の圧密圧力で圧密した試料を空気を混入させないよう注意して薄手のゴムスリーブに密

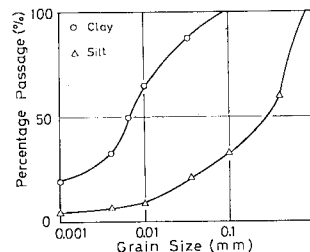


図-1 粒径加積曲線

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学科

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部海洋工学科

*** 正会員 工修 基礎地盤コンサルタント(株)

封し、手で完全に練り返した。練り返し時間は試料が十分均一になるよう 20~30 分とした。練り返し前後の含水比の変化はみられなかった。この試料を三軸圧縮試験用供試体に成形した。

実験方法は圧密非排水三軸圧縮試験で、圧縮速度は 4.4×10^{-2} mm/min である。圧密は等方圧で、NC, RNC では圧密圧力を 1, 2, 3, 4 kgf/cm²($\times 98$ kPa) とし、OC, ROC では先行圧密圧力を 4, 5, 6 kgf/cm²($\times 98$ kPa) で過圧密比を 2, 5, 10 と変えて実験を行った。再圧密時間はすべて 24 時間とした。実験時にはバックプレッシャー 2.0 kgf/cm²(196 kPa) を作用させ、間隙水圧係数の B 値が 0.95 以上の供試体についてのみ試験を行った。

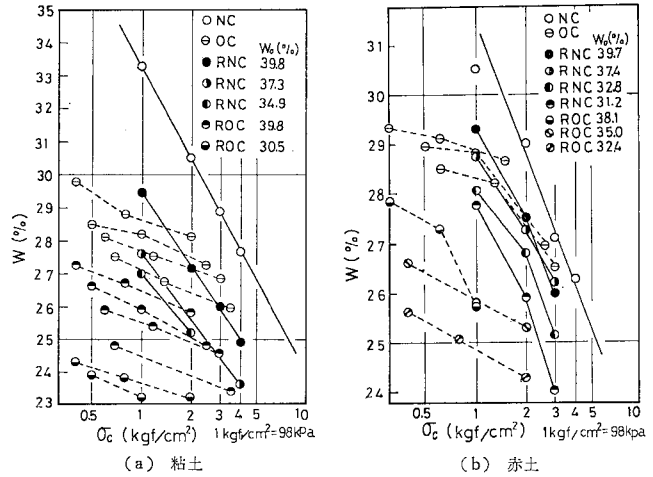


図-2 含水比 (W) と圧密圧力 (σ_c) の関係

3. 実験結果および考察

(1) $W \sim \log \sigma_c$

図-2 (a), (b) に粘土と赤土のそれぞれせん断時含水比 w と圧密圧力 σ_c の関係を示す。実線で結んだ RNC のプロットは練り返し時の含水比の等しいものであり破線で結んだ OC, ROC のプロットは同一先行圧密圧力のものである。まず 図-2 (a) の粘土の場合について考える。NC, RNC のラインを比較すると、従来指摘されているように³⁾ 同一圧密圧力に対する間隙比(含水比)は NC より RNC の方が小さく、圧縮指数 C_c は NC に比べて RNC ではかなり小さくなる。また、練り返し時含水比の低いものほど C_c は小さくなる傾向がある。膨潤指数 C_s は OC, ROC でほぼ同じで練り返し時の含水比の違いによる差もそれほど顕著なものではない。したがって圧縮に対する弾性的性質を表わす C_s に及ぼす練り返しや間隙比の影響は少ないと考えられる。

次に、図-2 (b) に示す赤土の場合、 C_c については粘土と同様な傾向を示しているが、 C_s についてはばらつきが大きくはっきりした傾向はつかめない。

(2) $w \sim \log(\sigma_1' - \sigma_3')_f$, $w \sim \log \sigma_m'$

図-3 (a), (b) にそれぞれ粘土と赤土のせん断時含水比 w と破壊時の軸差応力 $(\sigma_1' - \sigma_3')_f$ の関係を示す。ここで、破壊時は $(\sigma_1' - \sigma_3')$ の最大値をとった。NC と RNC を比較すると、同一せん断時含水比において練り返しによる強度低下が顕著にわかり、練り返し時含水比の値によって異なるが約 20% から 50% 低下している。また、RNC 供試体は練り返し時含水比の低いものほど

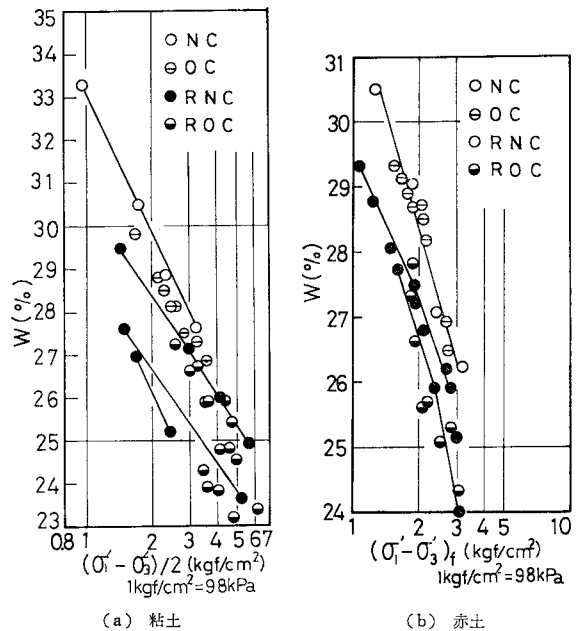


図-3 含水比 (W) と破壊時の主応力差 $(\sigma_1' - \sigma_3')_f$ の関係

同一せん断時含水比での強度は小さい。これは、図-2 (a), (b) でせん断時含水比が等しい供試体を比べてみると、練り返し時含水比の低いものほど圧密圧力は小さい。したがって、練り返し時含水比の低いものほど強度は小さくなる。

図-4 (a), (b) にそれぞれ粘土と赤土のせん断時含水比 w と破壊時の平均有効主応力 $\sigma_m' (= (\sigma_1' + 2\sigma_3')/3)$ の関係を示す。図中実線は NC 線を示し、破線は NC, OC の限界状態線を、また、一点鎖線は練り返し時含水比の等しい RNC, ROC の限界状態線を示している。なお、RNC, ROC の限界状態線は一例として 図-5 に示す赤土 (RNC) の $(\sigma_1' - \sigma_3') \sim \epsilon_1$ の関係にみられるよう

に大ひずみで定常状態に達するので、すべて大変形まで試験して求めている。

NC, OC と比較して RNC, ROC はかなり異なった限界状態線を描く。また、繰り返し時含水比の等しい RNC, ROC はほぼ同じ限界状態線を有するようである。

(3) 見掛けの強度定数

有効応力規準による見掛けの粘着力 c' および見掛けのせん断抵抗角 φ' を求めるために $(\sigma_1' - \sigma_3')_f/2$ と $(\sigma_1' + \sigma_3')_f/2$ の関係を 図-6 (a), (b) に示す。図-6 (a) は粘土の、図-6 (b) は赤土の結果である。NC, RNC, ROC とも原点を通る直線上にほぼ乗っており、繰り返しによる極端な φ' の変化はみられないと考えてよい。OC はわずかの見掛けの粘着力を有するようである。

(4) Hvorslev の規準

Hvorslev の規準⁹⁾ の強度定数である有効粘着力 c_e と有効摩擦角 φ_e を検討する。

粘土と赤土のそれぞれについて σ_3'/σ_e' と $(\sigma_1' - \sigma_3')_f/2\sigma_e'$ の関係を 図-7 (a), (b) に示す。ここに、 σ_e' は等価圧密圧力である。飽和粘土においては、同じ含水比であれば有効粘着力 c_e が等しいという Hvorslev の考え方に基づき、図-2 (a), (b) において、せん断時含水比と等しい含水比に対応する NC 線上の圧密圧力を σ_e' とした。

図-7 (a), (b) の傾度を β 、縦軸との切片を c とすると次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi_e &= \frac{\tan \beta}{1 + \tan \beta} \\ c_e &= \sigma_e' \cdot \frac{C(1 - \sin \varphi_e)}{\cos \varphi_e} = \sigma_e' \cdot \kappa \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 κ は粘着力係数である。このように $(\sigma_1' - \sigma_3')_f/2\sigma_e'$ と σ_3'/σ_e' の関係をプロットすることにより c_e, φ_e を求める方法は Bishop と Henkel³⁾ により示さ

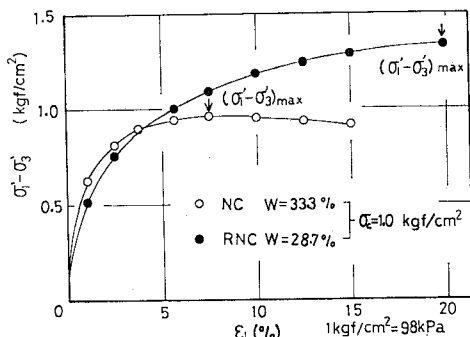


図-5 主応力差 $(\sigma_1' - \sigma_3')$ と軸ひずみ (ϵ_1) の関係

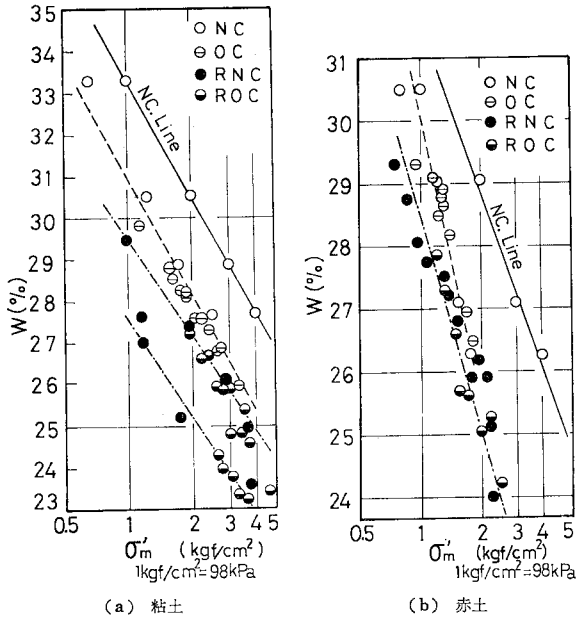
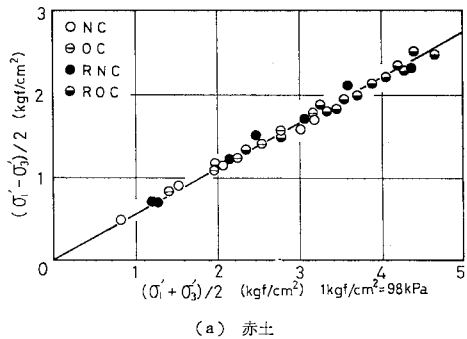


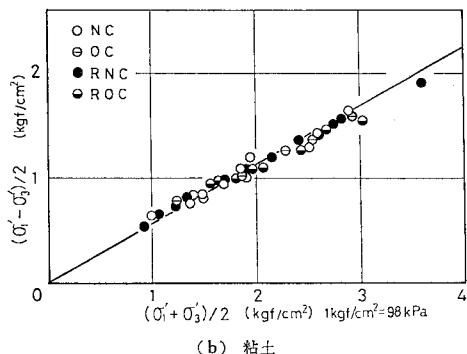
図-4 含水比 (W) と破壊時の平均有効主応力 (σ_m') の関係

れている。

かなりばらついているが、図-7 (a), (b) では原点を通る直線上にプロットがあると思われ、粘土、赤土ともに $\kappa=0$ と考えられる。この場合、 φ_e は粘土に対し 33.7° 、赤土に対し 35.3° であった。以前の論文⁹⁾ では、



(a) 赤土



(b) 粘土

図-6 有効応力規準による破壊線

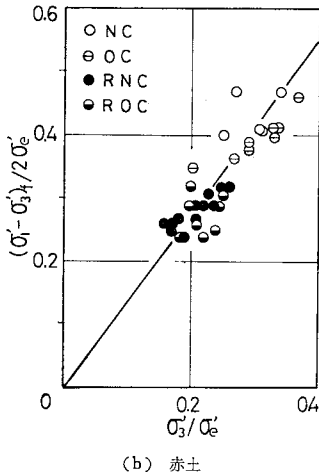
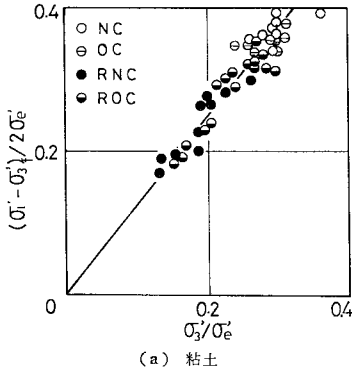


図-7 圧密非排水三軸圧縮試験より有効粘着力と有効摩擦角を求める方法

NC, RNC が一つの直線上, NC, OC, ROC が他の一つの直線上にあったが $\kappa=0$ の場合はこのような区別はみられない。

(5) 破壊時の間隙圧係数 A_f

土が非排水状態で応力変化を生じたときに発生する間隙水圧 du は Skempton⁶⁾ により $du=B\{\Delta\sigma_3+A(\Delta\sigma_1-\Delta\sigma_3)\}$ として与えられている。ここに A, B は間隙圧係数である。ここで、側圧 σ_3 が一定の三軸試験で破壊時の間隙圧係数を A_f とすれば $du=A_f(\Delta\sigma_1-\Delta\sigma_3)$ となる。

まず、応力履歴を受けていない NC, RNC の A_f と σ_e の関係について考える。一般に正規圧密粘土であれば、 A_f は圧密圧力 σ_e (あまり高压でない範囲) に無関係に一定であり、RNC では、砂の初期間隙比を一定にした試験からも予想されるように、繰り返し含水比が同じであれば、 A_f は σ_e の増大とともに大きくなると思われる。図-8 (a), (b) に粘土および赤土の A_f と σ_e の関係を示す。粘土の RNC では σ_e の増大とともに A_f が大きくなる傾向にはあるが、 σ_e

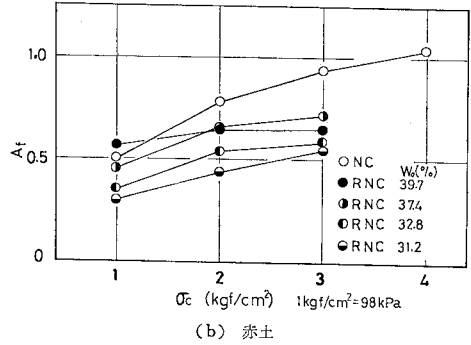
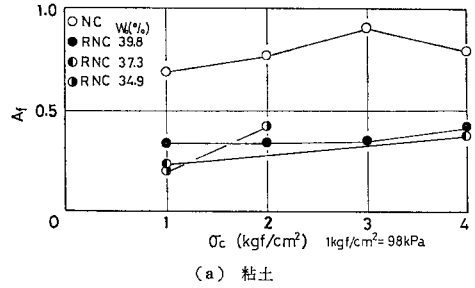


図-8 破壊時の間隙圧係数 (A_f) と圧密圧力 (σ_e) の関係

に対してほぼ一定とみなされる。一方、赤土では NC, RNC とともに σ_e の増加とともに A_f も大きくなっていく。また、RNC では粘土、赤土ともに繰り返し時の含水比の低いものほど A_f は小さい。

次に、図-9 (a) に粘土の、図-9 (b) に赤土の A_f と過圧密比 OCR の関係を示す。過圧密粘土では、破壊時の応力比や間隙圧係数などは圧密圧力に関係なく過圧密比に対して一意的に定まることを Henkel^{7), 8)} がす

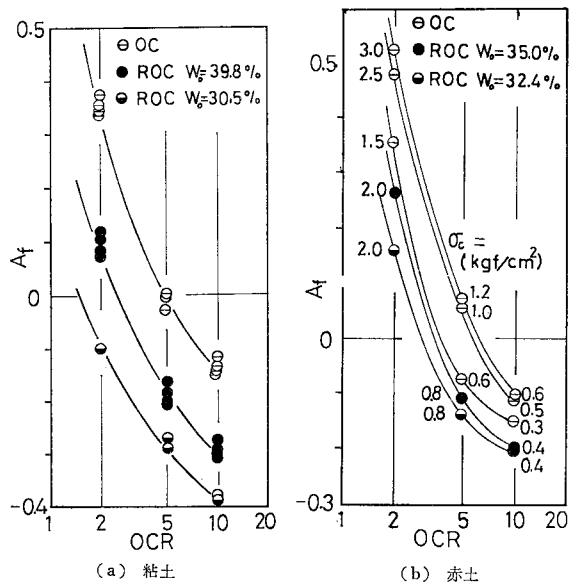


図-9 破壊時の間隙圧係数 (A_f) と過圧密比 (OCR) の関係

に明らかにしている. 図-9(a)に示す粘土の場合, 複雑になるので図中に圧密圧力は記入していないが, Henkel の実験結果と同様に OC では圧密圧力に無関係に A_f が過圧密比に対してほぼ一意的に定まり, ROC でも繰り返し時含水比が等しければやはり A_f は OCR によりほぼ一意的に定まる. ただし, 繰り返しの影響は顕著に受けており繰り返し時の含水比の低いものほど, 同じ過圧密比を有していても A_f は小さくなっている. 図-9(b)に示す赤土の場合では, OC で同一過圧密比を有していても圧密圧力の影響を受けて A_f は一定値を示さず, 過圧密比が同じでも圧密圧力の大きいものほど A_f は大きくなっている. ROC でも同様の傾向を示す. 繰り返しの影響は粘土と同様受けており, 同一過圧密比における ROC の A_f は OC のそれよりかなり小さい.

このように, シルト質の土では NC の場合でも圧密圧力の影響を受け A_f は一意的に定まらず, また OC でも A_f は過圧密比により一意的に定まらない. さらに RNC, ROC まで含めると圧密圧力や過圧密比が同じでも A_f は大きく変化している. そこで, シルト質の土まで含めて NC, RNC, OC, ROC の A_f を統一的に評価することを試みる.

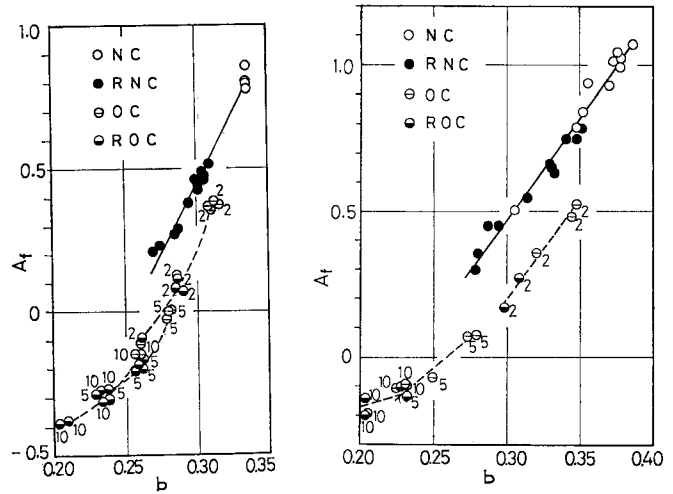
従来の研究から正規圧密粘土では, 圧密圧力に無関係に A_f が一定になることが実験事実として認められているので, 含水比と圧密圧力の関係を示す図-2で NC 線に平行な線上では同様な力学特性を有するのではないかと予想できる. このような考えに基づいて導入した次式で示すパラメーター b を用いれば粘土の NC, RNC の A_f に限れば, b と A_f の関係は直線で表わされ, 一つの b 値に一つの A_f が対応していることはすでに示した⁹⁾.

$$w = a \log \sigma_c + b \quad \dots\dots\dots (2)$$

この式に平行な直線は a が同じで異なる b の値で表わされる.

ところが, 前記したように本実験に用いたシルト質の土では, 正規圧密状態においても圧密圧力の増加とともに A_f の値は大きくなり一定値をとらず, RNC でも圧密圧力の増加とともに A_f は増加する. また, OC, ROC でも過圧密比により一意的に A_f は定まらず, 圧密圧力の影響を大きく受けている. これから, NC 線の傾きをもとにした b 値の考えでは, シルト質の土まで含めた NC, RNC, OC, ROC の A_f を統一的に評価できない.

そこで, 次のように考えてみた. 正規圧密状態で A_f

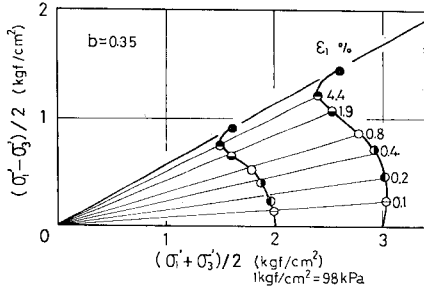


(a) 粘土 (b) 赤土
図-10 破壊時の間隙圧係数 (A_f) とパラメーター b の関係

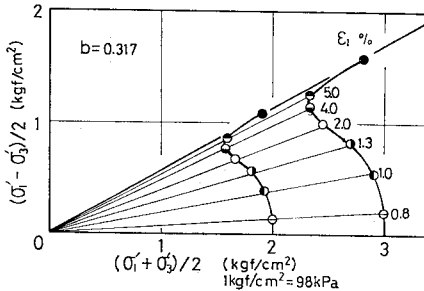
が一定となる粘土の場合, 限界状態線は NC 線にほぼ平行になることがわかっている. また, 図-4(a)に示すように RNC の限界状態線も NC 線にほぼ平行である. ところが, 図-4(b)に示すようにシルト質の土では, NC 線と限界状態線は平行でなく, 限界状態線の傾きの方が NC 線のそれに比べてかなり大きい. そこで, b 値は NC 線の傾きをもとにしてではなく, 限界状態線の傾きをもとに考えられる性質のものであろうと予想し, 本実験結果を NC 線ではなく限界状態線の傾きをもとに整理してみた. すなわち, 図-2(a), (b)のおのおの点より NC, OC の限界状態線に平行線を引き, $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2 (98 \text{ kPa})$ における含水比の値 b (小数表示) と A_f の関係を求めたのが 図-10(a), (b)である. 図-10(a)は粘土, 図-10(b)は赤土の結果である. 図中, 実線は NC, RNC の関係を示し, 破線は過圧密比の等しい OC, ROC の関係を示している. OC, ROC のサフィックスは過圧密比を示す. 両図から NC, RNC と OC, ROC では明らかに別の線上にあり, これは応力履歴の有無によって別の関係で示されると思われる.

まず, NC, RNC に関してみると限界状態線の傾きをもとに求めた b 値と A_f の関係は, 粘土, 赤土ともに直線で表わされ, 一つの b 値に対して一つの A_f が対応しているのがわかる. これから, 粘土およびシルト質の土では, 限界状態線に平行な直線上では, ほぼ A_f が等しいのではないかという推論の正しさが, NC, RNC に関してはある程度確かめられた. 次の有効応力径路のところでもその立証となる一つの実験事実について述べる.

次に, 応力履歴を受けた OC, ROC に関してみると前記したように NC, RNC とは明らかに別の関係で示さ



(a) 粘土



(b) 赤土

図—11 同一 b 値を有する供試体の有効応力径路と等ひずみ線

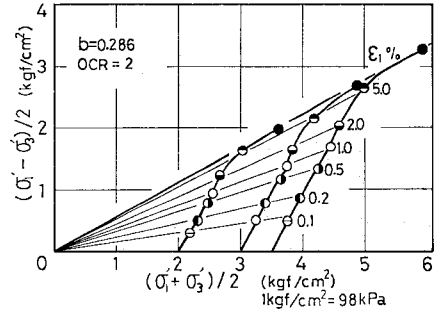
れる。図—10 (a) の粘土の場合、いくぶんばらついているがやはり過圧密比が等しければ直線に近い一意的関係にあり b と A_f が 1 対 1 に対応している。しかし、OCR が 2 以上では $b \sim A_f$ 関係は、ほぼ一つの曲線で示されるとしても大差はない。

(6) 有効応力径路

有効応力径路はせん断中に発生する間隙水圧の挙動すなわち、ダイレイタンス特性を表わすひいては応力～ひずみ関係に影響するものとして重要な性質の一つである。正規圧密粘土では有効応力径路は相似形をなしており、おのおのの径路上の同じひずみの点を結んだ等ひずみ線は、原点を通る直線となることが Roscoe ら¹⁰⁾により指摘されている。

そこで、NC と同様に RNC において b 値が等しくて、繰り返し時の含水比および圧密圧力の異なる供試体の有効応力径路を 図—11 (a), (b) に示した。図—11 (a) は粘土の RNC の有効応力径路であり、図—11 (b) は赤土の NC と RNC の有効応力径路で $\sigma_c = 2 \text{ kgf/cm}^2 (196 \text{ kPa})$ のものが NC、 $\sigma_c = 3 \text{ kgf/cm}^2 (294 \text{ kPa})$ のものが RNC である。この両図をみると有効応力径路はほぼ相似形をなしており、また各径路上の等ひずみ点を結ぶと原点を通る直線となり、正規圧密粘土の場合と同様な性質が得られる。

応力履歴を受けた粘土の ROC の b 値が等しくかつ過圧密比の等しい供試体の有効応力径路を 図—12 に示す。



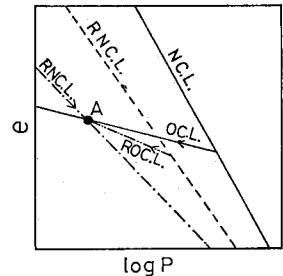
図—12 同一 b 値、同一過圧密比の供試体の有効応力径路と等ひずみ線

いずれも過圧密比は 2 である。同図から NC, RNC と同様、ROC でも b 値が等しくかつ過圧密比が等しければ、有効応力径路はほぼ相似形となり、いくぶんばらつきはあるが各径路上の等ひずみ点を結ぶと原点を通る直線となることがわかる。図示はしていないが、

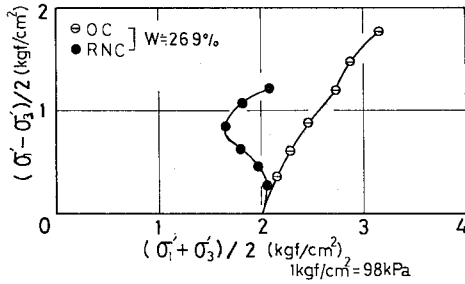
b 値が等しくても過圧密比が異なれば有効応力径路は相似形とならない。これは応力履歴が違うせいであろう。

これらのことから NC, RNC では同じ b 値を有するすなわち、限界状態線に平行な直線上にある状態では、 A_f のみならずダイレイタンスの傾向も同じになると思われる。OC, ROC の場合 b 値が等しく過圧密比が等しければ同様のことがいえるであろう。

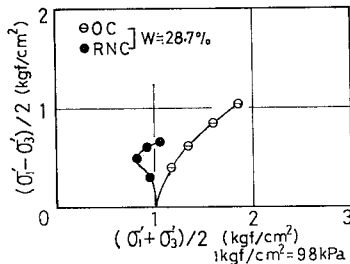
飽和粘土では、有効応力径路は一般にせん断時の圧密圧力と含水比それと過圧密比により一意的に決定されるといわれている。しかし、図—13 に示すように低含水比で繰り返し再圧密した土まで含めると点 A の状態に至る径路は数多く存在する。含水比と圧密圧力が同じで、その状態に至る径路が異なる OC と RNC の有効応力径路を 図—14 (a), (b) に示す。図—14 (a) は粘土で、図—14 (b) は赤土である。OC と RNC の有効応力径路はその傾向に大きな違いがみられる。その原因として、OC は応力履歴を受けているのに対し、RNC は応力履歴を有していないことが挙げられる。また、含水比、圧密圧力が等しくても、RNC は OC に比べて約 3 割程度強度が小さい。このように液性限界以下の低含水比で繰り返し再圧密した土まで含めると、飽和粘土の力学挙動は含水比と圧密圧力により一意的に決定できず、繰り返し時の含水比、応力履歴の影響を考慮せねばならない。また、本論文では完全に繰り返した試料に対してのみ研究を行っているが、繰り返しの程度も重要な要因



図—13 状態 A に至る径路の模式図

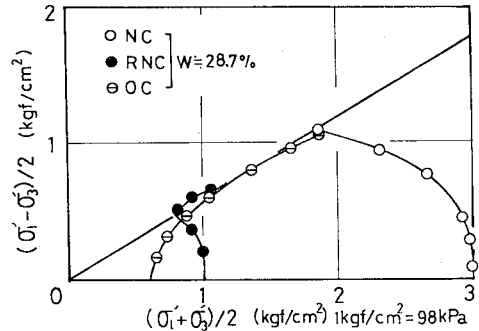


(a) 粘土

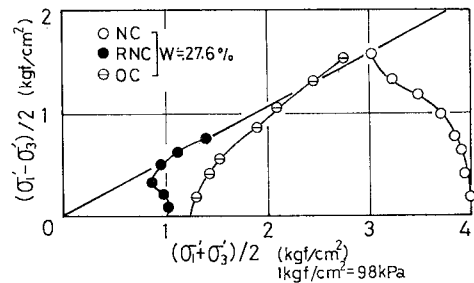


(b) 赤土

図-14 同一圧密圧力, 同一含水比での OC, RNC の有効応力径路



(a) 粘土



(b) 赤土

図-15 同一含水比での NC, OC, RNC の有効応力径路

である¹¹⁾。

図-15 (a) に粘土の, 図-15 (b) に赤土の同一含水比での NC と OC それに RNC の有効応力径路を示す。含水比の等しい NC と OC に関しては, Roscoe らが指摘しているように限界状態線に収束する傾向をはっきりと示しているが, 同一含水比での NC と RNC を比較してみると両者に明らかな差異がある。これは, 低含水比での練り返しおよび練り返し後の圧密により粒子構造および粒子間力の変化が生じ, この変化が応力径路の形の変化となって現われてきているものとも思われるが, 構造の問題は現在のところ十分解明されていないのでこれ以上の言及を避ける。

このように低含水比で練り返し再圧密した土まで含めると, Roscoe らの同一含水比の粘土は破壊時あるいは破壊後の定常状態においては, 一つの限界状態線上にあるとしている仮定は本実験結果に限ってみると成り立たず, RNC, ROC は NC, OC とまったく異なった限界状態線を示す。

4. 結 論

低含水比で練り返し再圧密した正規圧密土 (RNC), 過圧密土 (ROC) についての力学特性を実験的に解明した。それらの結果を要約すると次のようである。

(1) RNC の圧縮指数 C_c は NC のそれより小さく, 練り返し時含水比の低いものほど C_c は小さくな

る。また, OC と ROC で膨潤指数 C_e は顕著な差はみられない。

(2) 有効応力規準による見掛けの強度定数は NC, OC と RNC, ROC で有意な差は認められない。

(3) Roscoe らの限界状態線の仮定は RNC, ROC では成り立たず, NC, OC とは別の限界状態線を示す。

(4) NC, OC の限界状態線の傾きをもとにしたパラメーター b を導入することにより, 飽和粘土, 飽和シルトの NC, RNC の A_f を一意的に評価できる。OC, ROC の A_f と b の関係は, NC, RNC のそれと別の線上に示される。

(5) RNC, ROC まで含めると同一含水比で同一圧密圧力のもとにある供試体の有効応力径路は一意的に決定できない。また, NC, RNC の有効応力径路は b 値が等しければ相似形となり各径路上の等ひずみ点を結ぶと原点を通る直線となる。OC, ROC でも過圧密比が等しくかつ b 値が等しければ同様のことがいえる。これは練り返し再圧密状態を含めた粘土の応力~ひずみ関係の統一的表示の可能性を示している。

参 考 文 献

- 1) 奥村樹郎: 粘土試料の攪乱に関する研究 (第1報), 港湾技術研究所報告, 第8巻, pp. 59~84, 1969.
- 2) 奥村樹郎・梅田裕史・成田 実: 粘土試料のかく乱に関する研究 (第3報), 港湾技術研究所報告, 第10巻, pp. 77~106, 1971.

- 3) Schmertman, J.H. : The Undisturbed Consolidation Behavior of Clay, Trans. ASCE, Vol. 120, pp. 1201~1233, 1955.
- 4) Hvorslev, M.J. : Physical Components of the Shear Strength of Saturated Clays, Proc. Res. Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, pp. 169~273, 1960.
- 5) Bishop, A.W. and D.J. Henkel : The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test, Edward Arnold, London, p. 227, 1957.
- 6) Skempton, A.W. : The Pore-Pressure Coefficients A and B, Geotechnique, Vol. 4, pp. 143~147, 1954.
- 7) Henkel, D.J. : The Effect of Over-Consolidation on the Behaviour of Clays during Shear, Geotechnique, Vol. 6, pp. 139~150, 1956.
- 8) Henkel, D.J. : The Relationships between the Strength, Pore Water Pressure, and Volume Change Characteristics of Saturated Clays, Geotechnique, Vol. 9, pp. 119~135, 1959.
- 9) 八木則男：練り返し再圧密粘土のせん断特性，愛媛大学工学部紀要，1983.
- 10) Roscoe, K.H. and H.B. Porooshab : A Theoretical and Experimental Study of Strains in Triaxial Compression Tests on Normally Consolidated Clays, Geotechnique, Vol. 13, pp. 12~38, 1963.
- 11) 八木則男・矢田部龍一・松村真一郎：飽和土のせん断特性に及ぼす練り返し荷重の影響，第17回土質工学研究発表会講演集，pp. 1585~1586, 1982.

(1982.3.30・受付)