

北海道大学工学部 正員 ○三田地 利之
北海道大学工学部 上田 一敏

[1] まがき

土のせん断強度は、土を破壊せしめる時の条件によって異なったものとなる。したがって室内の実験結果を実際に応用する場合には、その土の地盤中における条件と同じ条件の下で示す強度を用いねばならない。実際の地盤における自然堆積粘土層は側方変位のない状態で圧密されたものであるから、実際の地盤における粘土の挙動を理解するためには、このような条件（いわゆる K_0 -条件）の下で圧密された試料についての実験を行わねばならない。そこで本研究においては本来得る限り実際の地盤での応力条件に近似させようとする目的から、次のような間ゲキ水圧の測定を伴う三軸圧縮試験を行った。

- 1) 側方変位のない状態で圧密し、これを非排水せん断する。
- 2) 側方変位のない状態で圧密し、これを同じく側方変位のない状態で膨張させ非排水せん断する。
- 3) 等方的に圧密したのち、これを非排水せん断する。
- 4) 等方的に圧密したのち、これを同じく等方的に膨張させ、しかるのちに非排水せん断する。

以上4種の試験をもとにして、異方的な応力履歴をうけた飽和粘土の強度特性が、等方的場合に比してどのように異なるかについて、主として次のような観点から検討を試みた。

- a) 圧密圧と含水比の関係 b) 強度定数 c) 破壊時の間ゲキ水圧係数 d) 破壊時含水比と強度の関係
e) せん断時の応力変化

[2] 実験

(1) 試料および実験装置

本実験に用いた試料は表-1に示す物理的性質をもつ粘土で、同表に示す含水比に調整して約1ヶ月間養生した。供試体は直径50mm、高さ120mmのもので、図-1に示すような作製器⁽¹⁾を用いて作製した。供試体作製時の飽和度はすべて95%以上であって、そのほとんどが95.5%から98%の間であった。供試体のセッティングは水中で行い、フラッシングおよび間ゲキ水圧測定系内には脱気水を使用した。間ゲキ水圧の測定はNGI型ナルインジケータによる。

本実験に用いた三軸圧縮試験機は現在一般に使用されているものに異方圧密が可能なように改良を加えたものである。すなわち、載荷装置上部梁にエアシリンダーを取り付け、これによって異方的に圧密する際に必要は軸応力の制御を行った。異方圧密中の側方変位の観測は、この実験のために試作した側方変位指示器を用いて行った。この指示器は図-2および写真-1に示すもので、圧縮室下盤ベDESTALをばさむような形に作った固定盤に3本の支柱を立て、これに図-2(c)

試料	LL(%)	P.I.(%)	調整含水比(%)	G_s	採取地
No.1	87	42	60	2.73	札幌市苗穂
No.2	45	21	31	2.71	江別市角山町

表-1

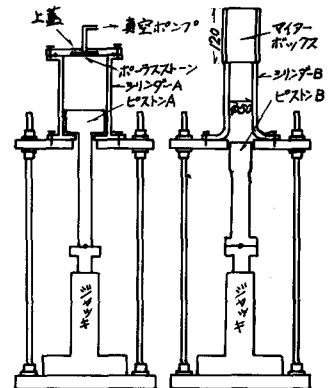


図-1

に示すようなピックアップを取り付けて、このピックアップの先端を供試体中央高さに軽く接触させるようになっている。ピックアップは固定部、可動部の2枚のアルミニウムの板と燐青銅の薄片で連結した形となっており、この燐青銅の両面にストレーンゲージが貼ってある。3ヶ所のピックアップからのリード線はソケット部に集められ、ソケットのプラグから出たリード線を圧縮室上盤にあげた穴から圧縮室外に取り出し、SM-6K型抵抗変位測定器（以下、変位測定器と略す）に接続して、圧縮中の供試体の側方変位を観測する。この変位測定器の感度を知る目的から、マイクロメーターでピックアップの下端の変位させた時の測定器の針の振れを観測した結果、ピックアップの下端で $1/100$ mmの変位の時、十分感知出来るものであった。ピックアップは3ヶ所に設けてあるので、3倍の感度となるから、 $1/300$ mmの変位まで感知出来る。

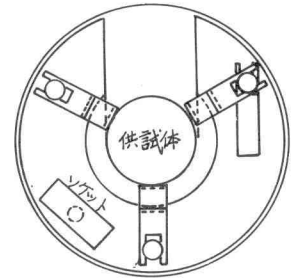


図-2(a)

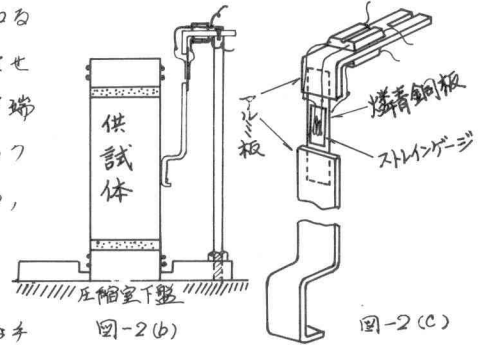


図-2(b)

図-2(c)

(2) 実験方法

側方変位を許さない条件の下での圧縮試験は次のような手順で行う。水中セットされた供試体に前記の側方変位指示器を装着する。この指示器の固定盤は圧縮室下盤に2ヶ所でビス止め出来るようになっている。次に指示器のリード線を変位測定器に接続し、ゼロ英の平衡をとっておく。しかる後に側液を供給し、所定の側圧をかけて、間ゲキ水圧の初期値を確認する。本実験の場合、完全に側圧の100%の間ゲキ水圧の発生がみられた。

圧縮開始と同時に供試体は軸方向に沈下するとともに直径方向に収縮しようとするので、変位測定器の指針はゼロ英から移動する。そこで、 K_0 -条件を満足させるためにこの指針の振れを観測しながら、空気調圧弁を操作してエア-シリンダーに空気圧を送り込み、供試体に軸差応力を加えて、供試体の直径方向の変位を許さないようにする。変位測定器の指針次第にゼロ英を指示するようこの操作を行い、圧縮完了するまでこれを続ける。膨張試験を行う際は上記のような軸圧のコントロールが困難であったので、軸圧を一定に保ち、側圧をコントロールする方法をとった。なお、本実験での試験条件は表-2に示す通りであって、表中のCIU、CAU、CIUU、CAOU等の記号は、それぞれ、等方圧密非排水試験、異方圧密非排水試験、等方圧密等方膨張非排水試験、異方圧密異方膨張非排水試験を意味する。せん断試験は歪制御で行い、歪速度は $0.05\%/min$ である。

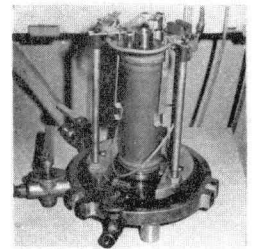


写真-1

Tests	σ_c (kg/cm ²)	0.5	1.0	2.0	4.0	7.0
CIU	$\sigma_1 (= \sigma_3)$ (kg/cm ²)	0.5	1.0	2.0	4.0	7.0
CAU	σ_1 (kg/cm ²)	0.5/Koc	1.0/Koc	2.0/Koc	4.0/Koc	7.0/Koc

Tests	σ_c (kg/cm ²)	7.0				4.0
	O.C.R	14.0	7.0	3.5	1.75	8.0
CIUU	$\sigma_{1c} (= \sigma_{3c})$ (kg/cm ²)	7.0				4.0
	$\sigma_{1R} (= \sigma_{3R})$ (kg/cm ²)	0.5	1.0	2.0	4.0	0.5
CAOU	σ_{1c} (kg/cm ²)	7.0/Koc				4.0/Koc
	σ_{1R} (")	1/2 Koc	1/4 Koc	2/4 Koc	4/4 Koc	1/2 Koc
	σ_{3R} (")	Kor/2Koc	Kor/Koc	2Kor/4Koc	4Kor/4Koc	Kor/2Koc

(注) Koc, Korはそれぞれ圧密膨張終了後に決まる値で次式で表わされる。Koc = σ_{3c}/σ_{1c} , Kor = σ_{3R}/σ_{1R} かつ、 $\sigma_{1R} = \sigma_{3c}/Koc \cdot O.C.R.$ O.C.Rは過圧密比

表-2

[3] 実験結果とその検討

(1) 圧密圧と含水比の関係

図-3aは圧密終了時含水比 w と最大圧密圧 σ_1'

の関係は片対数紙上にプロットしたものであるが、同一の最大圧縮圧についての含水比は異方圧縮試験の方が等方圧縮試験よりも高い。一方、図-3(b) は平均圧縮圧 $(\sigma_1 + 2\sigma_3) / 3$ と含水比の関係を表わすものであるが、同一の平均圧縮圧についての含水比は等方・異方にかかわらずほぼ同じであるとみてよい。(2) したがって、正規圧縮試験の含水比は平均圧縮圧に反比例するとしてよいと考えられる。

(2) 破壊時の間ゲキ圧係数

図-4 は破壊時の間ゲキ水圧 ΔU_f とセリ断過程における主応力の増分 $(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)_f$ の関係を示すものであるが、破壊時の間ゲキ圧係数 A_f は $A_f = \Delta U_f / (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)_f$ で表わされるため、この図の直線の傾きは A_f を表わすことにはなる。この図より、正規圧縮試験の A_f は等方・異方でほとんど差はないようである。(3) 図-5 は過圧縮試験について、過圧縮比 (A.C.R.) と A_f の関係を片対数紙上にプロットしたものである。A.C.R. = 3~4 以上にはると、破壊時の間ゲキ圧係数は負の値を示す。(4)

(3) 強度常数

表-3 は本実験で得られた有効応力による強度常数 C', ϕ' の値を示している。正規圧縮試験において、SAMPLE No.1 では等方と異方で ϕ' に約 3° の違いがあるが、No.2 では全く同じである。 C' についてはほとんど無視出来ない値と考えられる。一方、CIOD と CAOD を比較した場合、No.1 で +2.2° ~ -0.5° の違い、No.2 では 0.6° の違いしか無い。CAOD においては、 C', ϕ' とともに他の3種の試験結果と大きさは相違をみせているが、これは膨張試験時のコントロール不全の影響によるものと思われる。

(4) 含水比と強度の関係

図-6(a), (b) はセリ断終了時含水比と強度の関係を片対数紙上にプロットしたものである。正規圧縮試験では、異方・等方ともに直線関係を示し、両直線はほぼ平行となっている。そして同一含水比に対する強度は前者の方が後者よりも大きい。(No.1

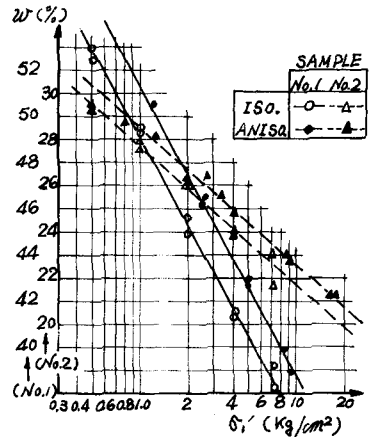


図-3(a)

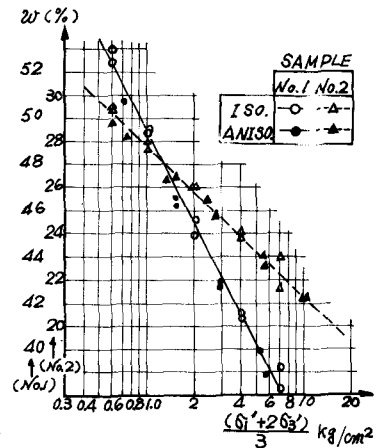


図-3(b)

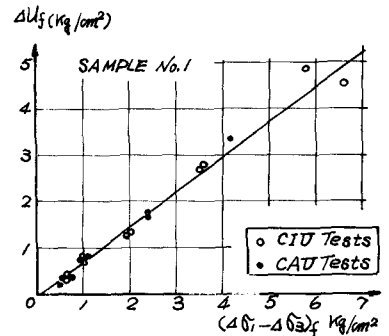


図-4

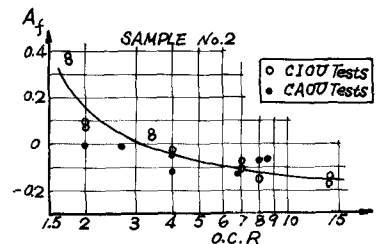


図-5

SAMPLE No.1	C' (kg/cm ²)	CIOD Tests	CAOD Tests	CIOD Tests	CAOD Tests
		phi' (°)	32.4	35.1	34.6
SAMPLE No.2	C' (kg/cm ²)	0.03	0.04	0.05	0.24
	phi' (°)	37.3	37.3	36.7	34.4

表-3

では約20%大, No.2では約17%大。)このように両者の間で同一含水比についての強度が異なるということは Whitman ら⁽⁵⁾が述べているように、この両者の間でせん断応力を受けている時間の長さが増えるということに多少関係があると思われる。一方、CIOUにおいては SAMPLE No.1, No.2ともに、本実験の応力の範囲内では $w - \log(\sigma_1 - \sigma_3)$ は直線関係を示し、CIOUとの差はほとんどない。CAOUの場合、多少のバラツキはあるが、ほぼ CIOU と同一直線上にあるとみてよいと思われる。しかし、強度係数の項で記したように、満張試験時のコントロールが良好であったとは言い難いので、多少疑問が残る。

(5) せん断時の応力変化

図-7(a), (b) はせん断中の有効応力の変化を Rendulic の応力面上に表示したものであり、CIOUとCAOUおよび CIOUとCAOUの試験結果の例を同時に示してある。CIOUとCAOUでは、後者の方が応力経路の立ち上がりが見え易い。これは、異方圧密試料ではせん断による間ゲキ水圧の増加割合が小さいからである。CIOUとCAOUではともに立ち上がりが見えて、O.C.R.=3~4以上では、破壊時の σ_3' はせん断開始時のそれよりも大きくはなる。これは、せん断による発生間ゲキ水圧の飽和量が非常に小さく、かつその増加割合が小さいこと、さうか O.C.R.=3~4以上にはなると、破壊時の間ゲキ水圧が負にはなることによるものである。

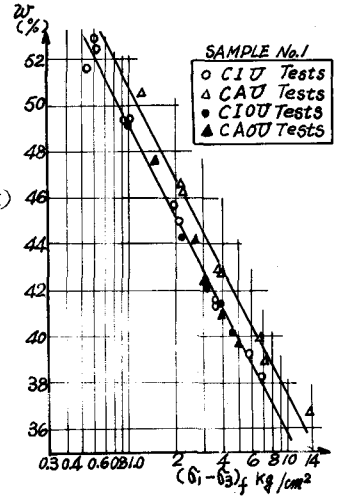


図-6(a)

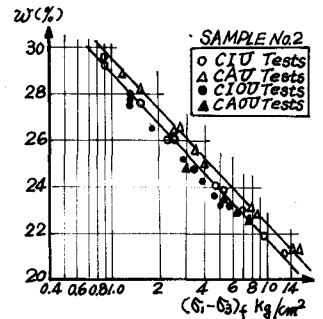


図-6(b)

[4] おおむね

攪乱状態の飽和粘土について、種々の応力条件の下で圧密・膨張した試料の強度特性の比較を行ったが、過圧密状態でのデータが充分ではないので、今後この方向で研究を続けていきたい。

なお、この研究は北郷繁教授の御指導の下に行われたもので、実験には本学43年度卒業生、能登繁幸君の協力を得た。記して深甚なる謝意を表す。

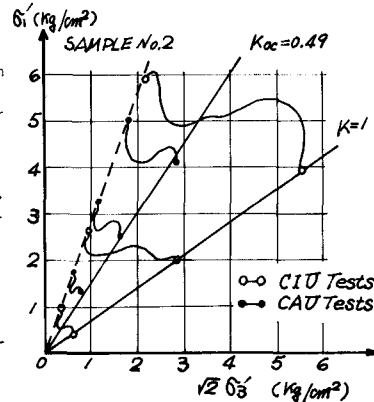


図-7(a)

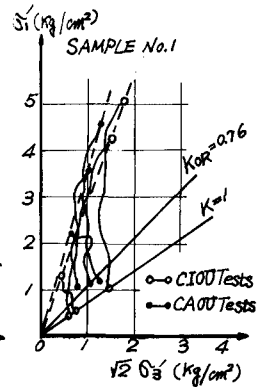


図-7(b)

[5] 参考文献

- 1) 北郷・三田地上田: 乱した飽和粘土の供試体作製法, 土質工学会北海道支部技術報告資料 9号, 1967
- 2) D.J.Henkel & U.A.Sowa: The influence of stress history~, Laboratory Shear Testing of Soils, ASTM. STP No.361, 1963
- 3) 平間・小銀・北郷: 飽和粘土の強度に及ぼす異方圧密の影響, 土質学 23回年次学術講演概要 Ⅱ-27, 1968
- 4) N.E.Simons: The effect of overconsolidation~, ASCE Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, 1960
- 5) R.V.Whitman et al.: Discussion, ASCE Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, 1960