

# 超過圧密粘土 3 軸供試体のダイレイタンスー特性に及ぼす载荷速度の影響

名古屋大学 浅岡顕, 中野正樹, 野田利弘  
大成建設(株) 井上誠司

## 1. はじめに

繰り返した川崎粘土から室内で人工的に作製した超過圧密粘土を用いて、軸ひずみ速度制御の 3 軸圧縮試験を行い、ダイレイタンスー特性に及ぼす载荷速度効果について、以下の結論を得た。(1)境界非排水の試験では、間隙水圧はせん断初期に正値を示した後、負の値に転じるが、正の間隙水圧(供試体底面)のピーク値および、水圧が正から負へ転じる軸「ひずみ」は、軸「ひずみ」速度の違いが著しく影響する。また、軸「ひずみ」速度が速いほど、「強度」は大きい。(2)排水試験(部分吸排水試験)では、体積ひずみはせん断初期に圧縮した後、膨張して破壊する。このダイレイタンスーの現れ方にも(1)と同様、軸「ひずみ」速度の違いが影響する。また、速いせん断ほど「強度」は大きくなる。また、境界非排水の最も遅い速度において、せん断帯が成長して水のマイグレーションにより十分に水が移動した後、供試体の比体積分布を測定したところ、せん断帯付近の比体積は、周りに比べ大きいという結果を得た。

## 2. 超過圧密粘土の作製方法と試験方法

調整した正規圧密川崎粘土試料を直径 3.5cm、高さ 8.0cm の円筒供試体に成形し、三軸試験機にセットする。等方圧(セル圧)を段階的に加えてゆき、それぞれの圧力に対し 1 時間圧密放置する。最終段階として最大先行圧密圧力 1764kPa(18.0kgf/cm<sup>2</sup>)を供試体に加え、24 時間圧密させた後、せん断初期圧力 98kPa(1.0kgf/cm<sup>2</sup>)まで除荷し、24 時間膨潤させる。このようにして過圧密比 OCR=18 の超過圧密粘土供試体を 3 軸圧縮室内で作製した。そしていわゆる軸ひずみ速度を制御する载荷方法で、側圧一定のもと境界非排水試験および上下端のみ排水を許した排水試験(部分吸排水試験)を行った。それぞれの試験に対し、表 1 に示す 3 種類の速度によりせん断試験を実施した。なお、背圧は 196kPa(2.0kgf/cm<sup>2</sup>)である。

表 1 軸ひずみ速度

Undrained test	Drained test (%/min)
Test A: 2.65	Test a: 2.65
Test B: 0.07	Test b: 0.007
Test C: 0.007	Test c: 0.0035

## 3. 非排水せん断試験

図 1 に軸「ひずみ」、「軸差応力」と間隙水圧との関係を示す。ここでの軸「ひずみ」とは、せん断直前の供試体高さを基準とした時のひずみのことであり、「軸差応力」とは、軸方向の反力をせん断直前の断面積で割り、側圧分を減じている。「」で囲んだ理由は、供試体内部の各々の土要素の軸ひずみや応力は均質ではなく、試験で得られるひずみや応力は、供試体をエレメントとして見た時のみかけのものであるからである。以下、「」は省略する。間隙水圧は、供試体底面で測定している。3つの速度とも間隙水圧はせん断初期に正値を、その後負の値へと転じている。以下に示すように、軸ひずみ速度の違いによって発生する間隙水圧の大きさが変化している。

The effect of axial strain rate on dilatancy properties of heavily overconsolidated saturated specimen through triaxial tests:  
Asaoka,A. , Nakano,M. , Noda,T.(Nagoya University) and Inoue,S.(Taisei Corp.)

速い試験(Test A)では、せん断とともに間隙水圧は増加し、軸ひずみ 1.4%で正の間隙水圧はピーク値 96kPa (0.98 kgf/cm<sup>2</sup>)を示す。その後減少し、軸ひずみ 6.4%付近で負圧に転じている。その後も、間隙水圧は減少し続け、試験終了時には-108.8kPa (-1.11 kgf/cm<sup>2</sup>)となった。

遅い試験(Test C)では、軸ひずみ 0.8%で間隙水圧は正から負へと転ずる。また正の間隙水圧のピーク値は軸ひずみ 0.2%で、15.7kPa (0.16 kgf/cm<sup>2</sup>)となる。せん断帯が供試体を買いた時の軸ひずみは 11.3%で、その時の負圧は-165.6kPa (-1.69 kgf/cm<sup>2</sup>)と大きくなっている。速い試験に比べ間隙水圧が負に転じる軸ひずみは小さく、また、正のピーク値も小さい。

つぎに軸差応力～軸ひずみ曲線について述べる。正規圧密粘土とは異なり、超過圧密粘土の軸差応力～軸ひずみ曲線の形は、せん断初期に上に凸、下に凸、上に凸を示す。また、軸ひずみ速度が大きいほど、各軸ひずみに対する軸差応力は大きく、破壊時の軸差応力も大きくなっていて、その関係を図 2 示す。

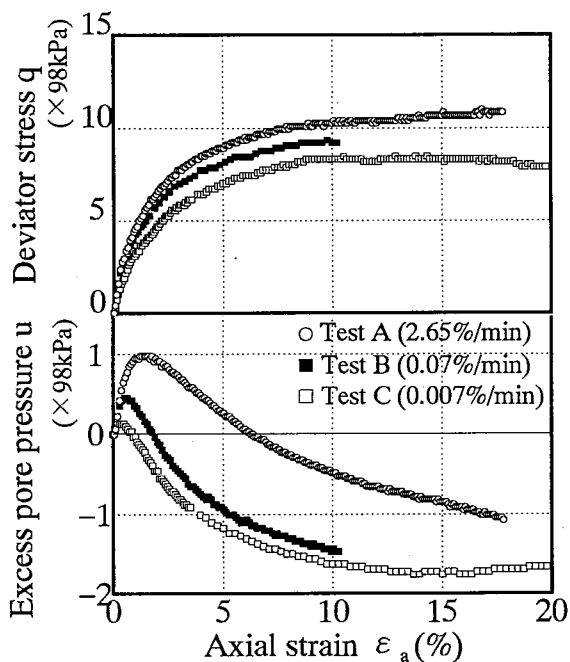


図 1 軸差応力～過剰水圧～軸ひずみ関係

これら 3 つの速度の有効応力パスを図 3 に示す。図中に示した限界状態線(Critical state line)は、別途正規圧密状態の川崎粘土から得た弾塑性パラメータを用いて描いたものである。図から、3 つの試験ともせん断初期にすでに各々の応力点は限界状態線を越え、その後せん断とともに限界状態線に沿って、その上側を上昇して破壊に至る。速度が速いほど応力点はより限界状態線の上側を上昇する。

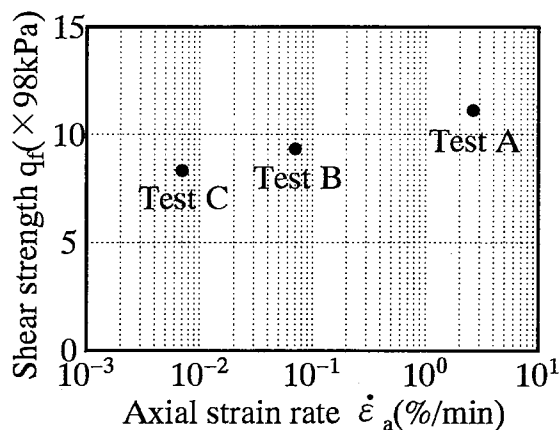


図 2 非排水「強度」の軸ひずみ速度効果

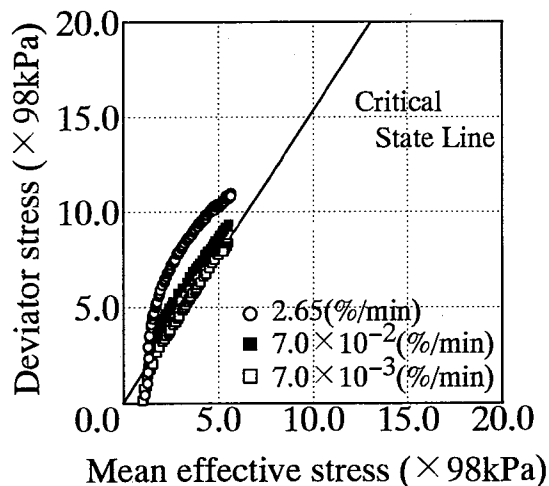


図 3 有効応力パス

#### 4. 排水(部分吸排水)せん断試験

図 4 に軸ひずみに対する軸差応力および体積ひずみを示す。

3 つの速度とも体積ひずみの値は、せん断初期に圧縮し、その後膨潤している。以下に示すように、軸ひずみ速度の違いによって発生する体積ひずみは異なっている。

遅い試験(Test c)では、軸ひずみ 1%まで圧縮し、最大体積ひずみは 0.25%(0.16cm<sup>3</sup>)となる。その後軸ひずみ 1.6%あたりから体積ひずみは負に転じ、負の最大体積ひずみ (圧縮と正とする) は-1.9%(-1.23cm<sup>3</sup>)となる。

速い試験(Test a)では、体積ひずみは軸ひずみ 12%あたりまでは正值を示し、最大値は 0.3%(0.2cm<sup>3</sup>)となっ

た。また体積ひずみが負に転じるあたりで、供試体が破壊した。

軸差応力～軸ひずみ関係では、遅い試験(Test c)の場合、軸ひずみ 2.5%あたりで最大軸差応力 578.2kPa(5.9kgf/cm<sup>2</sup>)を示した。軸ひずみ 1%あたりから吸水し始めているにもかかわらず、軸差応力は増え続けている。その後軸ひずみ 5%から軸差応力は低下し、一定値 509.6kPa(5.5kgf/cm<sup>2</sup>)を示す。速い試験(Test a)では、軸ひずみが 8.3%で最大軸差応力 999.6kPa(10.2 kgf/cm<sup>2</sup>)を示し、その後わずかに低下する。図 5 に示すように、軸ひずみ速度が大きいほど、破壊時の軸差応力は大きい。

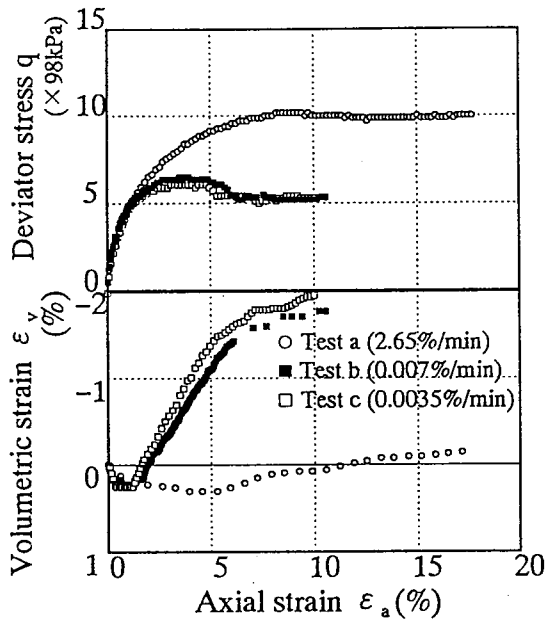


図 4 軸差応力～体積ひずみ～軸ひずみ関係

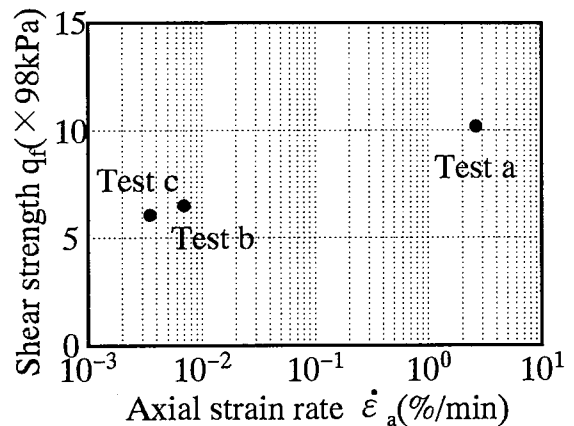


図 5 排水「強度」の軸ひずみ速度効果

### 5. せん断帯近傍での含水比分布

3章における試験のうち、最も遅い軸ひずみ速度の境界非排水3軸圧縮試験に対し、試験終了後、せん断帯付近の含水比分布を測定した。供試体の変形の観察から、測定した供試体はせん断帯が成長し、その間水のマイグレーションが十分起こっていると考えられる。

図6は破壊後のスケッチである。最初に発生したせん断帯は供試体を斜め「袈裟掛け」に切るように成長したが、第2のせん断帯が発生し、「x字型」に供試体を貫いた。まず供試体の中心軸とせん断帯とを含むよう

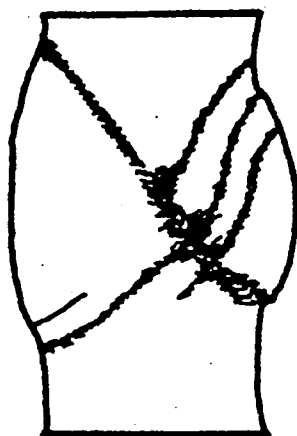


図 6 破壊後の供試体のスケッチ

表 2 破壊後の比体積分布

		供試体上部					
		1.728	1.743	1.741	1.728		
		1.758	1.756	1.737	1.714		
供試体左側面		1.766	1.771	1.731	1.730	供試体右側面	
		1.734	1.767	1.754	1.750		
		1.756	1.797	1.738	1.755		
		1.773	1.761	1.771	1.737		
		1.754	1.779	1.776	1.731		
		1.770	1.769	1.766	1.731		
		1.735	1.741	1.727	1.746		
		1.738	1.726	1.743	1.722		
		供試体下部					

に垂直に5mm程度の板状に供試体を切り、さらに板状の供試体を縦10個、横4個に分割し、それぞれの土要素の含水比を測定した。その結果得られた比体積分布を表2に示す。表中には「x字型」のせん断帯付近の土要素を網掛けにした。上下端部よりも中心部のほうが比体積は大きい。また、せん断帯以外の部分に比べてせん断帯付近の比体積は大きくなっており、最大比体積はせん断帯付近にある土要素で、その値は1.797となっている。

図7は、供試体の比体積のばらつきを $v \sim \log p'$ 平面上にプロットしたものである。図中のA点は、供試体をエレメントと仮定したときのせん断開始直前の状態を示す。非排水圧縮試験を行うと、供試体全体はA点から比体積一定のままB点の限界状態線(Critical state line)に達して破壊する。C点は、同じ速度での部分吸排水試験を実施し、破壊した時の状態を示す。供試体全体で吸水した量を体積平均して得た平均の比体積 $\Delta e$ は0.034であった。非排水せん断直前の供試体全体の平均比体積は1.738であるのに対し、破壊後の比体積は1.797から1.714までばらつき、その差 $\Delta e'$ は0.083にもなる。境界非排水であっても供試体内で比体積は非常にばらつき、供試体全体が吸水した平均の比体積 $\Delta e$ の3倍程度にもなった。

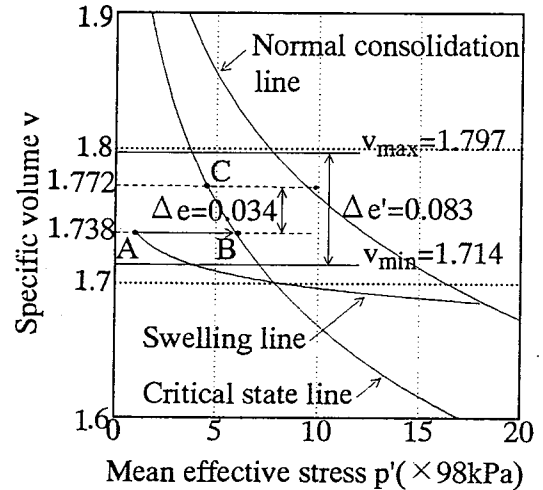


図7 代表する土要素の比体積変化

別途行った文献1),2)の解析に対し、本研究の実験は、3軸供試体であることや供試体上下端の摩擦がある等の点で条件が異なるものの、破壊後のせん断帯付近の含水比が高いという実験結果は、解析と同じ傾向であった。この傾向から、分岐後に、せん断帯付近の土要素が $p' \sim q$ 応力空間において限界状態線の上側で吸水軟化挙動を示したと推論することができる。

## 6. 変形形状の観察

破壊に至るまでの供試体の変形形状の観察も行った。そして軸ひずみ速度によって、供試体の破壊モードは、少なくとも2種類に分類することができた。速い試験では、はじめ供試体側面の中央部分が「くびれ」、その後供試体上端面からキャップがめり込むように供試体を斜めにせん断帯が貫いた。一方遅い試験では、「ちょうちん」のように供試体側面の中央部分が膨らみ、供試体側面の膨らみ初めの部分から斜め「袈裟掛け」に切るようにせん断帯が発生した。

## 7. おわりに

超過圧密土のせん断特性の把握が、どのような地盤工学的ニーズによるものかは、たとえば本シンポジウムの浅岡・小高3)も参照。

## 8. 参考文献

- 1)浅岡顕、中野正樹、野田利弘、外岡ちづる(1995)：超過圧密粘土の3軸圧縮試験における载荷速度効果、第30回土質工学研究発表会
- 2)野田利弘、浅岡顕、外岡ちづる(1995)：平面ひずみ境界非排水条件下の正規／超過圧密粘土矩形供試体の分岐・分岐後の水～土骨格連成挙動」、土木学会第50回年次学術講演会
- 3)浅岡顕、小高猛司、野田利弘(1995)：密な砂の吸水軟化挙動に関する実験と解析、第7回地盤工学シンポジウム