

不攪乱火山灰質粘性土の セメンテーション効果に起因したせん断強さ

楊 俊傑¹・諸戸靖史²

¹ 正会員 博(工) 八戸工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒 031-8501 八戸市大字妙字大開 88-1)

² フェロー 工博 八戸工業大学教授 工学部土木工学科 (〒 031-8501 八戸市大字妙字大開 88-1)

不攪乱火山灰質粘性土のセメンテーション効果を調べるために、青森県南部地方に分布している高館ロームと神奈川県平塚にある関東ロームを用いた標準圧密試験と定体積一面せん断試験を行った。その結果、(1)セメンテーション効果は、不攪乱火山灰質粘性土の圧密降伏応力を大きくするとともに、そのせん断強さを増大させる、(2)このセメンテーション効果は、拘束圧の増大や凍結・融解作用により低下する、ことが明らかになった。

Key Words : volcanic cohesive soils, cementation, standard consolidation test, consolidation yield stress, constant volume direct shear test, shear strength

1. はじめに

青森県八戸市を含む南部と呼ばれている地方における台地や段丘の上には十和田・八甲田火山を起源とする火山灰土が厚く堆積している。黒ぼくの下に八戸火山灰(八戸ローム層)、その下に高館火山灰(高館ローム層)である。土工事の対象となるのはふつう八戸ローム層と高館ローム層である¹⁾。これらのローム土には極めて鋭敏なものが多く、掘削、運搬、転圧などの過程でこね返しの作用を受けると著しく強度が低下し、施工に支障をきたすことが多い。ローム土と呼ばれる火山灰質粘性土の乱さない状態と乱した状態で大きく強度が変化する主な原因として、非晶質物質によるセメンテーションの影響であることが推測されている^{1), 2)}。この結作用ともいうセメンテーションとは、間隙水中の溶存物質や懸濁物質が土粒子間の小さい間隙や接触点に長い年月にわたって付着し、土粒子を物理化学的に結合させる作用のことをいう^{3), 4)}。

セメンテーション効果が土の工学的性質に及ぼす影響としては、室内試験における圧密降伏応力を土被り圧より大きくするとともに、せん断強さを増大

させることが挙げられる³⁾。ところが、このようなセメンテーション効果は拘束圧に依存するものと考えられる。また、青森県のような季節的凍土地帯に分布しているローム土は繰返し凍結・融解作用を受けている。ローム土の有するセメンテーション効果は凍結・融解作用にも影響されるものと考えられる。

本論文では、火山灰質粘性土の力学性質に影響を及ぼすセメンテーション効果に着目する。青森県南部地方に分布する高館ローム3試料と神奈川県平塚市にある関東ローム1試料を模式材料とする。まず、これらの火山灰質粘性土について、セメンテーションの発達状況と圧密特性への影響を標準圧密試験により調べる。次に、簡便で拘束圧を設定できることから定体積一面せん断試験を用い、セメンテーション効果が拘束圧や凍結・融解作用に依存しながら火山灰質粘性土のせん断特性に及ぼす影響を明らかにする。最後に、不攪乱火山灰質粘性土の圧密定体積一面せん断強さについて考察し、標準圧密試験および一軸圧縮試験の結果と拘束圧がゼロの時のせん断試験結果との比較を行う。

表-1 実験に用いたローム土の物理的性質

	色*	土粒子の 密度 ρ_s g/cm ³	自然 含水比 w_n %	液性限界	塑性限界	液性指数	塑性指数	粘土分 %	シルト分 %	砂分 %	
				w_L %	w_p %	I_L	I_p				
高館 ローム	南郷	褐	2.803	65.0	76.2	39.7	0.69	36.5	29	33	38
	六戸	褐	2.737	68.8	62.4	40.9	1.3	21.5	31	45	24
	十和田湖	暗褐	2.815	89.0	62.1	40.1	2.2	22.0	30	30	40
関東ローム (平塚)	暗褐	2.890	90.0	96.7	42.6	0.88	54.1				

※：標準土色帖から分類

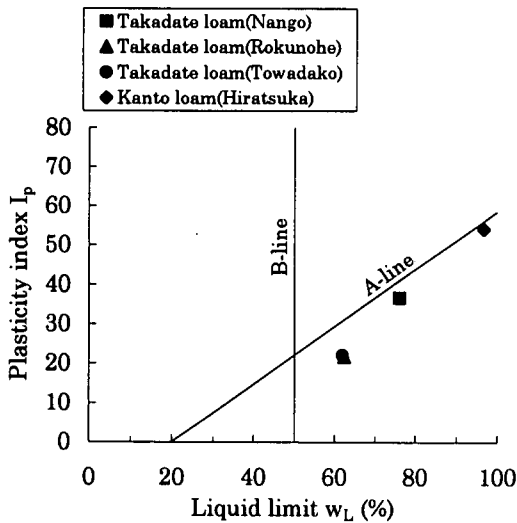


図-1 ローム土の塑性図上の分布

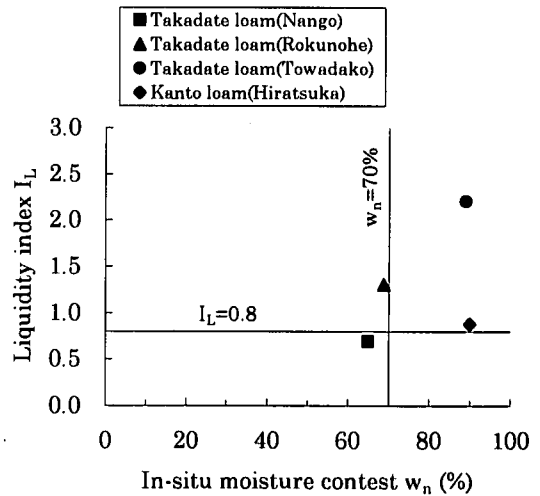


図-2 ローム土の $w_n \sim I_L$ チャート上の分布

2. 実験概要

(1) 不攪乱試料の採取方法と試料の物理的性質

実験に用いた試料は青森県南部地方にある南郷村、六戸町下吉田および十和田湖町篠沢の切土斜面から採取された高館ロームと神奈川県平塚市にある東海大学工学部敷地内から採取された関東ロームである。不攪乱試料としては、高館ロームの場合、切土斜面からスコップで約 200mm 立方のブロックを切り取って、含水比が変化しないようビニール袋に入れた後、クッションを敷いた運搬車で実験室へ運ばれ、また、関東ロームの場合は、直径 200mm、長さ 200mm の塩び管を地中に打ち込み、掘り出さ

れたものである。実験に用いたローム土の物理的性質を表-1に、塑性図上の位置を図-1に、また自然含水比～液性指数チャート²⁾上の位置を図-2に示す。図-1に示すように、すべての高館ロームがV_{H1}に分類されるのに対して、関東ローム(平塚)はV_{H2}に分類され、また高塑性である。図-2に示すように、関東ローム(平塚)に比較すると、六戸の高館ロームは低含水比で、高液性指数である。また、各高館ロームについて粒度試験も行われ、図-3がそれらの結果である。すべての高館ロームはほぼ同様な粒度分布特性を示していることが分かる。

(2) 標準圧密試験、定体積一面せん断試験および一軸圧縮試験の概要

セメンテーション効果がローム土の圧密特性およびせん断特性に与える影響を調べるためには、セメンテーションを有する試料と有さない試料を用いた

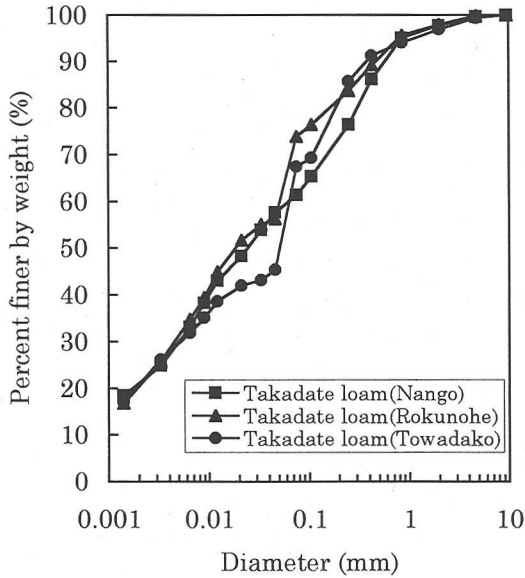


図-3 高館ロームの粒径加積曲線

実験を行い、それらの結果を比較する方法を考えている。各ローム土について、試料を不攪乱と攪乱の二種類とし、不攪乱試料がセメンテーションを保っていると思われ、攪乱試料はセメンテーションを失ったと考えている。なお、セメンテーション効果に及ぼす凍結・融解作用の影響を調べるために、十和田湖町篠沢の高館ロームについて、不攪乱の状態凍結・融解作用を受けさせた場合の試料を用いた実験も行った。

圧密試験は標準圧密試験で、一面せん断試験は定体積試験である。これらの試験用供試体はともに直径 6cm で、高さ 2cm の扁平な円板状である。また供試体の作製方法も同じである。不攪乱供試体は、採取してきたブロックからカッターリングとストレートエッジを用いて作製する。攪乱供試体は、不攪乱供試体を作製した時の削りくずを使用し、それをビニール袋に入れたまま十数回、塊がなくなる程度練り返した後に、手でリングに詰め込むことにより、得られたものである。この場合、不攪乱供試体の初期間隙比に近づくように攪乱供試体の質量を調整した。凍結・融解試料は、カッターリングよりひとまわり大きく形成された不攪乱試料を、ビニール袋に包んで -20℃ で 4 日間凍結させ、次に 22℃ の水槽で 4 日間融解させるものとする。供試体の作製方法は不攪乱の場合と同じである。ここに、凍結・融解作用によるセメンテーション効果の変化を知ることが目的とし、また簡単のため、不攪乱試料には拘束

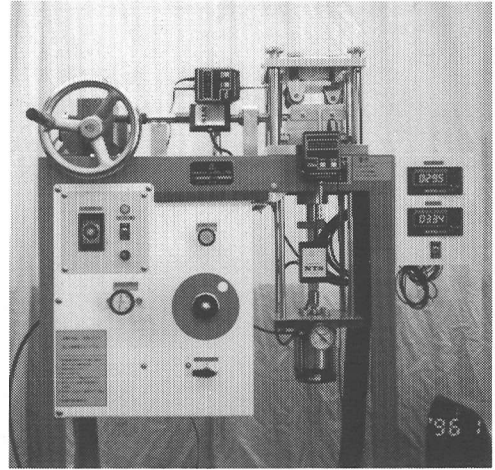


写真-1 定体積一面せん断試験機

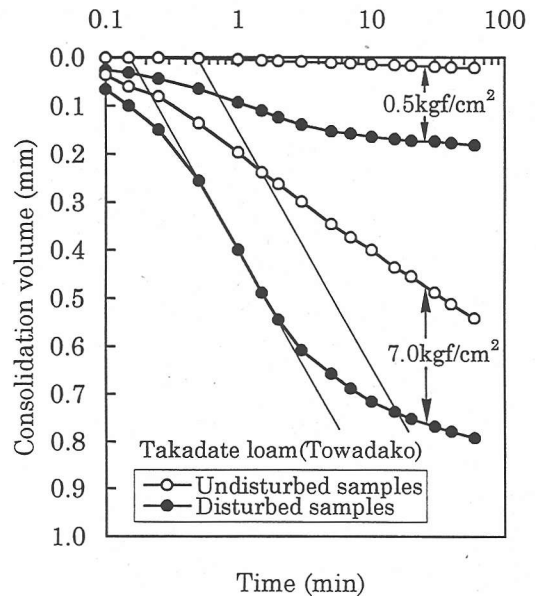


図-4 3t 法による圧密終了の確認 ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)

圧⁵⁾のないまま、急速な凍結と融解を与えたものを凍結・融解試料とした。

圧密定体積一面せん断試験装置は、写真-1に示すようにコンパクトな三笠式である。圧密圧力は 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 kgf/cm^2 のように設定した。圧密時間は、図-4に示すように 3t 法により圧密終了を確認でき、すべてのケースについて 1 時間とした。なお、せん断速度は 0.15 mm/min 、最大せん断変位は 8 mm とした。

一軸圧縮試験に用いた供試体の高さは 10 cm 、直

表-2 ローム土の初期状態と標準圧密試験結果 (1kgf/cm² ≒ 98kPa)

試料状態	項目	初期状態					結果				
		試料の地盤内における深さ m	湿潤密度 ρ_t t/m ³	試料の受けた土被り圧 p_v kgf/cm ²	初期含水比 w_0 %	初期間隙比 e_0	飽和度 S_r %	圧縮指数 C_c	圧密降伏応力 p_c kgf/cm ²	過圧密比 OCR (p_c/p_0)	
南郷	不攪乱	5	1.550	0.78	65.0	2.000	91	0.65	4.0	5.1	
	攪乱	/	1.561	/	67.0	2.118	89	0.65	/	/	
六戸	不攪乱	2.5	1.453	0.36	71.0	2.239	88	0.48	1.5	4.2	
	攪乱	/	1.513	/	67.9	2.038	92	0.36	/	/	
十和田湖	不攪乱	4	1.399	0.56	89.0	2.806	89	1.25	4.0	7.1	
	攪乱	/	1.408	/	88.1	2.761	90	0.65	/	/	
	凍結・融解	4	1.386	0.56	75.4	2.564	83	0.69	2.0	3.6	
関東ローム (平塚)	不攪乱	2	1.280	0.26	90.0	3.380	77	0.61	3.5	13.5	
	攪乱	/	1.280	/	90.0	3.135	83	0.40	/	/	

注：表中のデータは、それぞれ不攪乱試料，攪乱試料，凍結・融解試料について実験回数によって平均した値を示すものである。

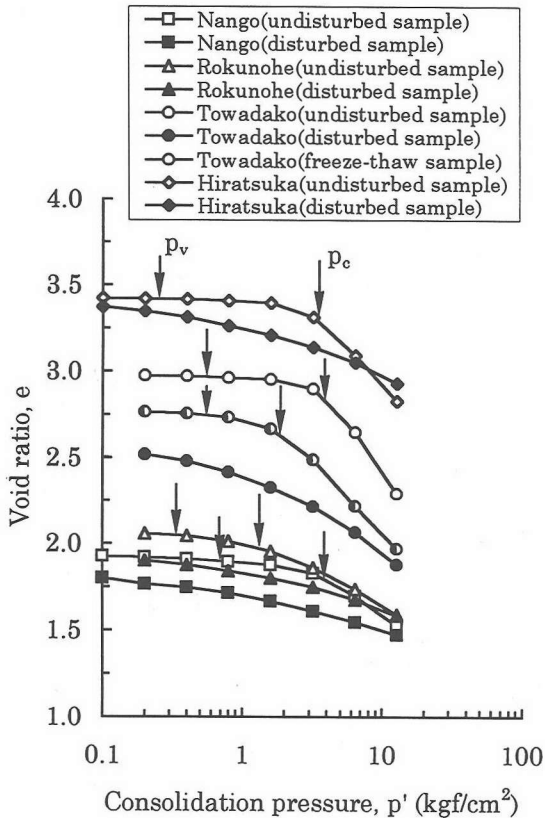


図-5 高館ローム (南郷, 六戸, 十和田湖) と関東ローム (平塚) の e - $\log p'$ 曲線 (1kgf/cm² ≒ 98kPa)

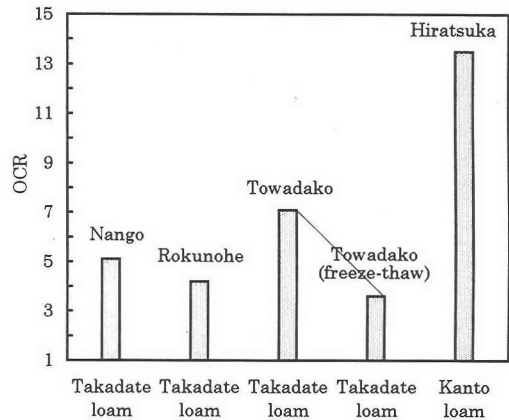


図-6 実験に用いた不攪乱ローム土の過圧密比と凍結・融解作用による影響

径は 5cm を標準とした。圧縮速度は毎分 1%であった。

3. 圧密試験結果とその考察

(1) 実験に用いたローム土のセメンテーションの発達状況および凍結・融解作用の影響

試料の初期状態および圧密試験結果を表-2に示す。回数により実験結果には若干のばらつきがある

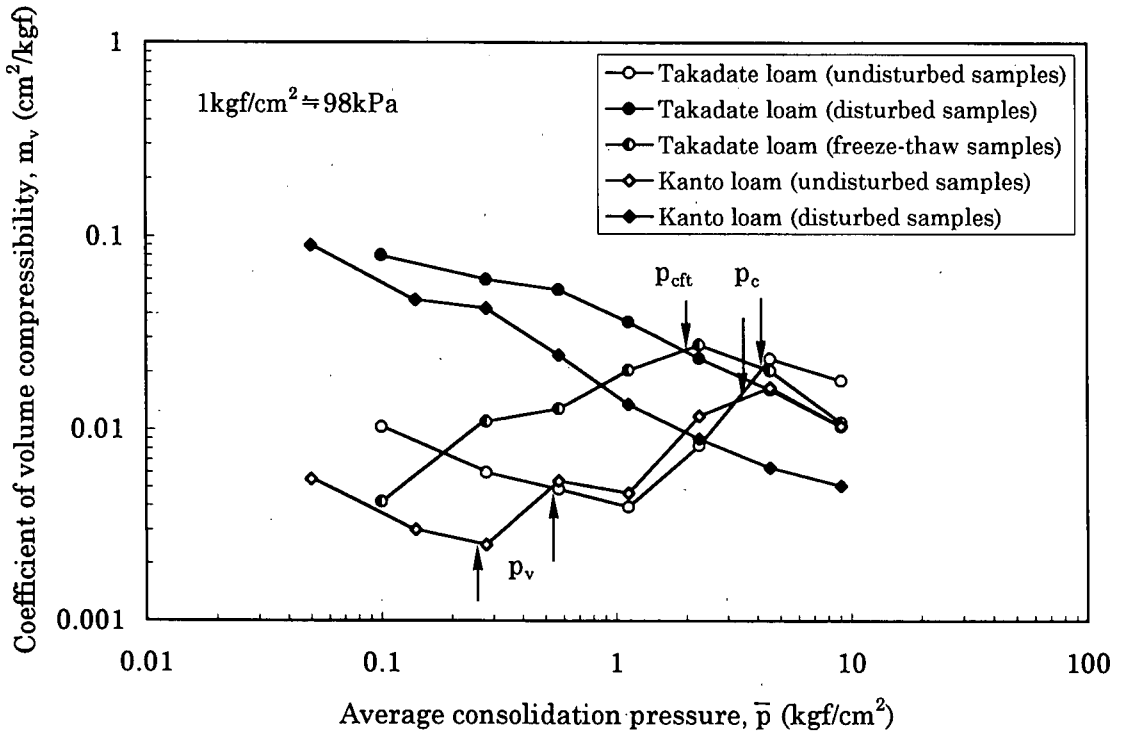


図-7 高館ローム（十和田湖）と関東ローム（平塚）の体積圧縮係数と平均圧密圧力との関係

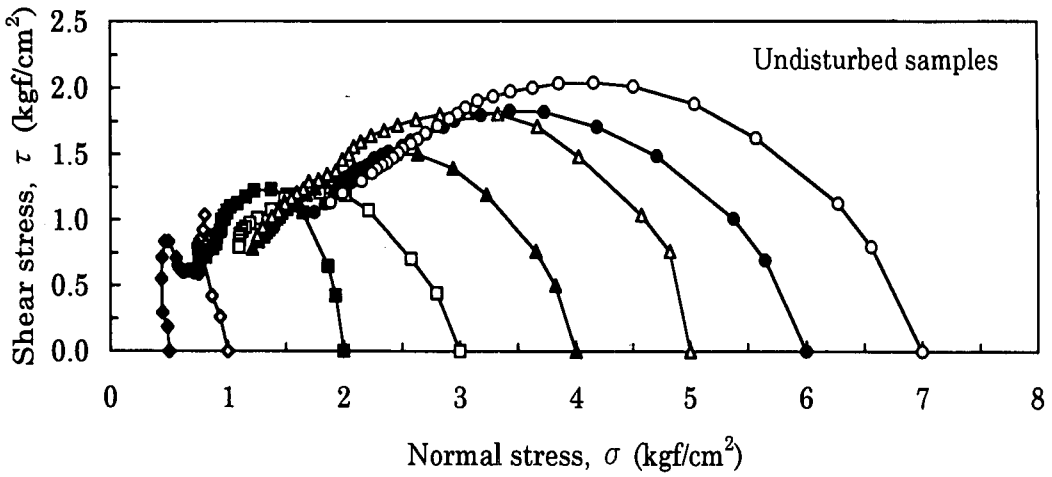
が、表中に示すのはそれらの平均値である。図-5には各ローム土の $e-\log p'$ 曲線を示す。各不攪乱試料と凍結・融解試料の曲線には土被り圧と圧密降伏応力の位置を ↓ で示している。圧密降伏応力を示す ↓ はすべてそれぞれの土被り圧を示す ↓ の右側にある。すなわち、いずれのロームには不攪乱の状態でセメンテーションが発達していることを示唆している。攪乱試料の $e-\log p'$ 曲線は不攪乱のそれと明確に異なっており、はっきりした降伏応力を示さない。これは繰り返したことによりセメンテーションが破壊されたことを示すものである。

各不攪乱ローム土の過圧密比 OCR ($= p_c / p_v$) を図-6のように示す。関東ローム（平塚）には最もセメンテーションが発達していることが分かる。また、不攪乱の状態で凍結・融解作用を受けると、その過圧密比 OCR が小さくなり、セメンテーション効果が弱まることを示すものと考えられる。これは、①凍結時に間隙水が氷になるため体積が膨脹すること、②凍結面に向かって間隙水が移動すること、および③凍結・融解作用を受けた試料の含水比が凍結・融解作用を受けていない不攪乱試料のそれに比べて小さくなったこと（表-2参照）から、融解時に氷が水になり流出したことが考えられる。すなわち水

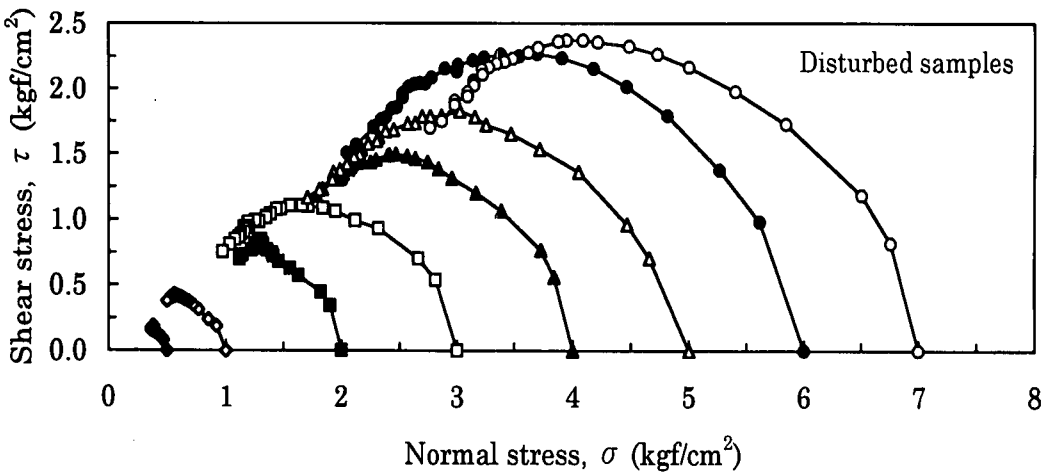
の移動があること等により、土の構造が弱められたか、あるいは乱されたためと考えている。

(2) ローム土の圧縮特性および凍結・融解作用の影響

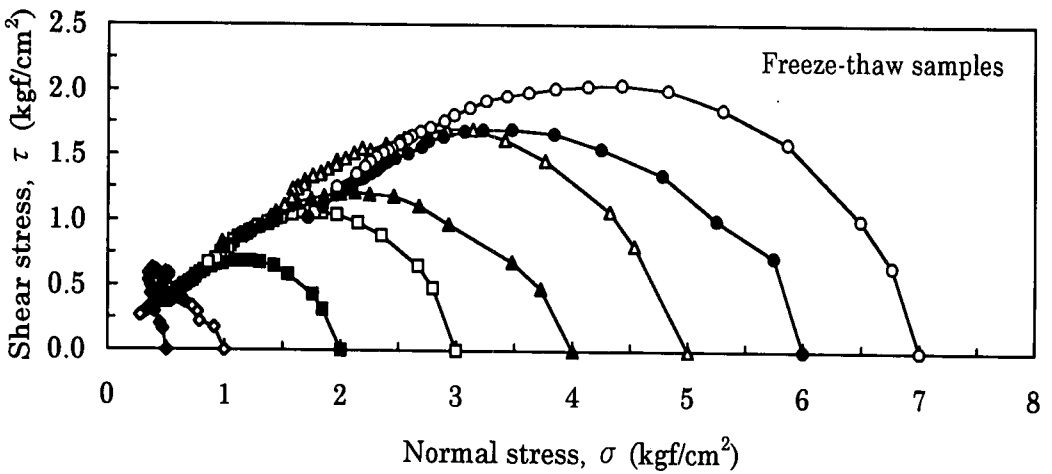
圧縮性を示す体積圧縮係数と平均圧密圧力との関係が一例として図-7に示される。これは凍結・融解試料を用いた試験も行われた十和田湖町篠沢の高館ロームの場合と平塚の関東ロームの場合である。不攪乱試料の曲線には土被り圧 p_v と圧密降伏応力 p_c の位置を、凍結・融解試料の曲線にはその圧密降伏応力 p_{cft} の位置を ↓ で示している。不攪乱試料の場合（高館ローム：○，関東ローム：◇）は、体積圧縮係数と平均圧密圧力との関係が土被り圧 p_v と圧密降伏応力 p_c により三つの領域に分けられる。土被り圧付近までは体積圧縮係数がほぼ一定であり、土は弾性的な挙動を示すものと考えられる。土被り圧付近から圧密降伏応力付近までは、体積圧縮係数が平均圧密圧力とともに大きくなり、土は弾塑性的な領域にあると考えられる。圧密降伏応力の付近で、体積圧縮係数が最大値を示し、それを越えた付近から、体積圧縮係数は次第に小さくなり、土は塑性的な挙動を示し、セメンテーションが破壊され



(a) 不攪乱試料の場合

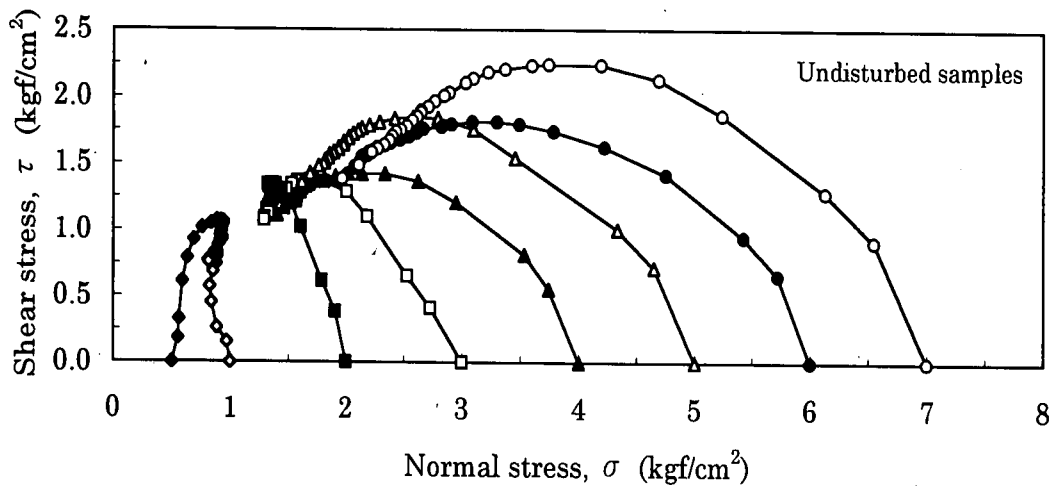


(b) 攪乱試料の場合

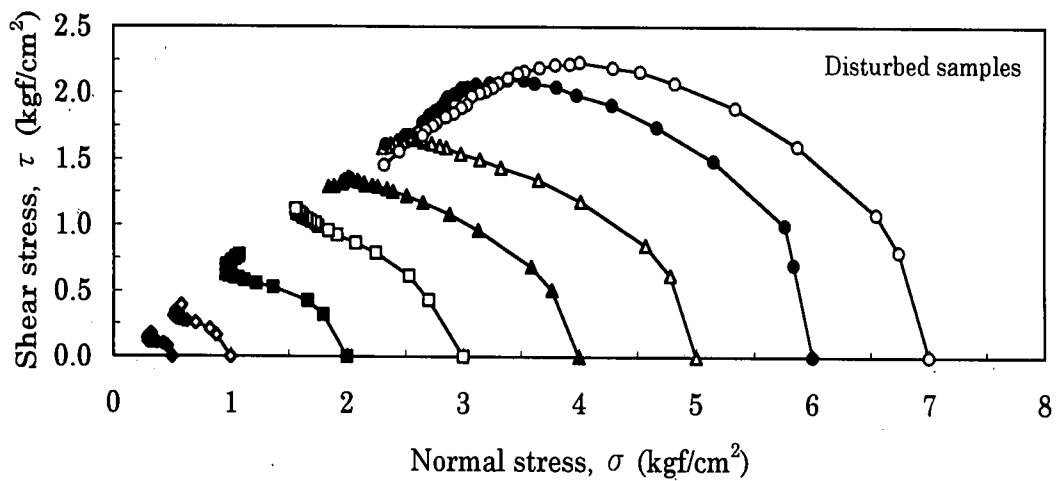


(c) 不攪乱の状態凍結・融解作用を受けた試料の場合

図-8 高館ローム(十和田湖)のベクトルカーブ (1kgf/cm² = 98kPa)



(a) 不攪乱試料の場合



(b) 攪乱試料の場合

図-9 関東ローム（平塚）のベクトルカーブ (1kgf/cm² ≒ 98kPa)

たとえられる。不攪乱試料の場合に対し、凍結・融解試料の場合 (●)，体積圧縮係数と平均圧密圧力との関係には、弾性的な挙動を示す領域が見当たらず、圧密降伏応力 $p_{c,1}$ により二つの領域に分けられる。圧力の最初段階から、体積圧縮係数が平均圧密圧力とともに大きくなり、土は弾塑性的な領域にあると考えられる。圧密降伏応力の付近で、体積圧縮係数は最大値を迎え、それを越えた付近から、体積圧縮係数は次第に小さくなり、土は塑性的な挙動を示し、セメンテーションが破壊されたと考えられる。さらに、攪乱試料の場合（高館ローム：●，関東ローム：◆）は、弾性と弾塑性的な領域が存在せず、圧力の最初段階から体積圧縮係数が大きく、平均圧密圧力の増加とともに、次第に小さくなり、土は塑性的な挙動を示す。これは乱すことによりセ

メンテーションが破壊されたためと考えられる。

4. 圧密定体積一面せん断試験結果、一軸圧縮試験結果とそれらの考察

(1) 不攪乱ローム土のセメンテーション効果に起因したせん断強さおよび拘束圧と凍結・融解作用の影響

まず、圧密定体積一面せん断試験から得られたせん断応力のピーク値に着目して考察する。

実験結果の一例を図-8と図-9に示す。図-8は高館ローム（十和田湖町篠沢）の場合、図-9は関東ローム（平塚）の場合のベクトルカーブである。不攪乱試料、攪乱試料および凍結・融解試料によるせん断

特性が異なることは明らかである。このことをさらに考察するために、図-8と9のようなベクトルカーブからせん断応力のピーク値（せん断強さとする）とその圧密圧力の関係を全応力表示で図-10のように整理した。図-10には各ローム土について、それぞれの実験回数による平均値を示している。図-10に示すように、いずれのローム土においても、攪乱試料の場合はせん断強さと圧密圧力との関係がほぼ原点を通る直線で近似できる。すなわち、攪乱試料のせん断強さは圧密圧力の増加とともに直線的に増加する。また不攪乱試料あるいは凍結・融解試料のせん断強さは、土被り圧 p_v と圧密降伏応力 p_c （凍結・融解の場合は $p_{c(i)}$ ）により分割された三つの領域（①、②、③）に分けて考えられる。

領域①（ $0 < \sigma_c \leq p_v$ ）および領域②（ $p_v < \sigma_c \leq p_c$ （凍結・融解の場合は $p_{c(i)}$ ））では、不攪乱試料あるいは凍結・融解試料のせん断強さが攪乱の場合に比べて大きくなっている。これは、領域①（ $0 < \sigma_c \leq p_v$ ）では、不攪乱試料あるいは凍結・融解試料はセメンテーションおよび土被り圧による結合力を有するのに対して、攪乱試料にはそれらの結合力を失ったためと考えられ、また領域②（ $p_v < \sigma_c \leq p_c$ （凍結・融解の場合は $p_{c(i)}$ ））では、土被り圧の影響が考えられないが、不攪乱試料あるいは凍結・融解試料と攪乱試料の違いがセメンテーションの有無にあると考えられるからである。なお、土被り圧 p_v に起因したせん断強さ τ_i は未知であるが、図-10に示すように、土被り圧 p_v と攪乱試料の強度線との交わる点から引かれた破線のように仮定する。さらに、領域③（ $\sigma_c > p_c$ （凍結・融解の場合は $p_{c(i)}$ ））では、不攪乱試料あるいは凍結・融解試料のせん断強さは攪乱試料の場合とほぼ同じようになる。これは、3章で述べたように、不攪乱試料あるいは凍結・融解試料の有したセメンテーションが圧密降伏応力を超えた圧密圧力により消失しているためである。そこで、不攪乱試料あるいは凍結・融解試料のせん断強さとセメンテーション効果に起因したせん断強さは以下のように表示することができる。

領域①（ $0 < \sigma_c \leq p_v$ ）では

$$\tau_i = \tau_r + \tau_i + \tau_a \quad (0 < \sigma_c \leq p_v) \quad (1)$$

$$\tau_a = \tau_i - \tau_r - \tau_i \quad (0 < \sigma_c \leq p_v) \quad (2)$$

領域②（ $p_v < \sigma_c \leq p_c$ （ $p_{c(i)}$ ））では

$$\tau_i = \tau_r + \tau_a \quad (p_v < \sigma_c \leq p_c(p_{c(i)})) \quad (3)$$

$$\tau_a = \tau_i - \tau_r \quad (p_v < \sigma_c \leq p_c(p_{c(i)})) \quad (4)$$

領域③（ $p_c(p_{c(i)}) < \sigma_c$ ）では

$$\tau_i = \tau_r \quad (p_c(p_{c(i)}) < \sigma_c) \quad (5)$$

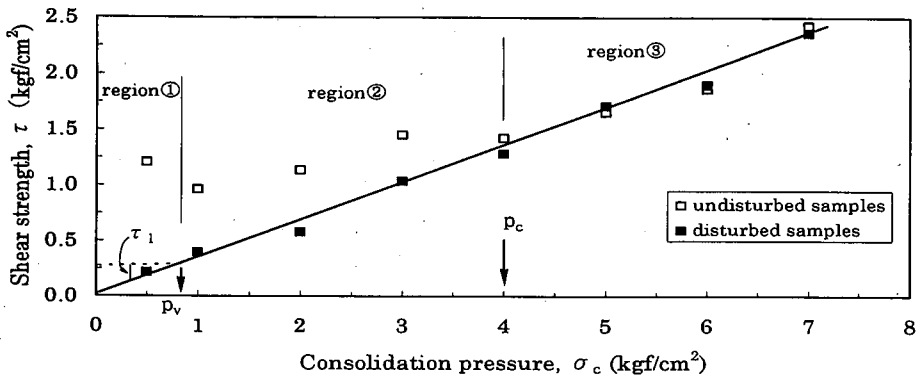
$$\tau_a = \tau_i - \tau_r (=0) \quad (p_c(p_{c(i)}) < \sigma_c) \quad (6)$$

ここに、 τ_i は不攪乱試料のせん断強さ（凍結・融解試料のせん断強さは、 τ_i の代わりに $\tau_{i(i)}$ とくとする）、 τ_r は攪乱試料のせん断強さ、 τ_i は土被り圧の効果に起因したせん断強さ、 τ_a はセメンテーション効果に起因したせん断強さである。

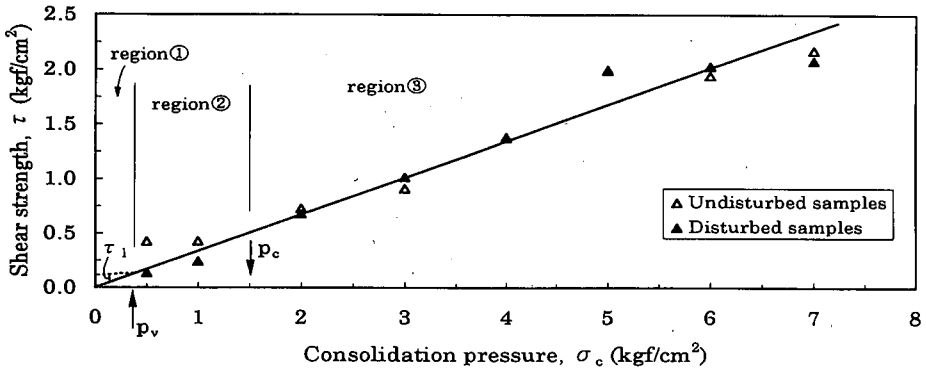
以上の考えに基づき、図-10における不攪乱試料あるいは凍結・融解試料の縦軸の値と攪乱試料の場合のそれとの差と、対応する圧密圧力との関係を図-11のように整理できる。ここに、縦軸をセメンテーション効果に起因したせん断強さ τ_a とする。いずれのローム土においても、領域①（ $0 < \sigma_c \leq p_v$ ）における土被り圧の効果に起因したせん断強さ τ_i が分からないにも係わらず、領域①（ $0 < \sigma_c \leq p_v$ ）と領域②（ $p_v < \sigma_c \leq p_c$ （凍結・融解の場合は $p_{c(i)}$ ））では、セメンテーション効果は圧密圧力の増加と共に減少する傾向が分かる。また、圧密降伏応力を超えた圧密圧力の領域③（ $\sigma_c > p_c$ （凍結・融解の場合は $p_{c(i)}$ ））においては、圧密圧力によりセメンテーション効果に起因したせん断強さはほぼ消失している。不攪乱の状態では、凍結・融解作用を受けると、図-10(c)と11(c)に示すように圧密降伏応力の減少とともにそのせん断強さやセメンテーション効果に起因したせん断強さも小さくなる。以上のことから、セメンテーション効果は拘束圧や凍結・融解作用に依存することが分かる。

一方、高館ローム（南郷）を例として有効応力法で整理されたせん断強さと垂直応力の関係を図-12に示す。図-12(a)に示すように、有効応力表示においても攪乱試料の場合はせん断強さとその垂直応力との関係はほぼ原点を通る直線である。図-12(b)には不攪乱試料の場合の結果を示すものであり、また図-12(a)に示す攪乱試料の場合の平均値も入れた。ここに有効応力表示の場合の p'_i は、全応力表示の場合の圧密降伏応力 p_c （ $= 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ ）に対応するものである。全応力表示の場合と同様に、不攪乱試料のせん断強さは、土被り圧 p'_v と圧密降伏応力 p'_i により分割された三つの領域（①、②、③）に分けて考えられる。領域①（ $0 < \sigma \leq p'_v$ ）および領域②（ $p'_v < \sigma \leq p'_i$ ）では、土被り圧とセメンテーション効果が不攪乱試料のせん断強さに影響を及ぼすことが分かる。

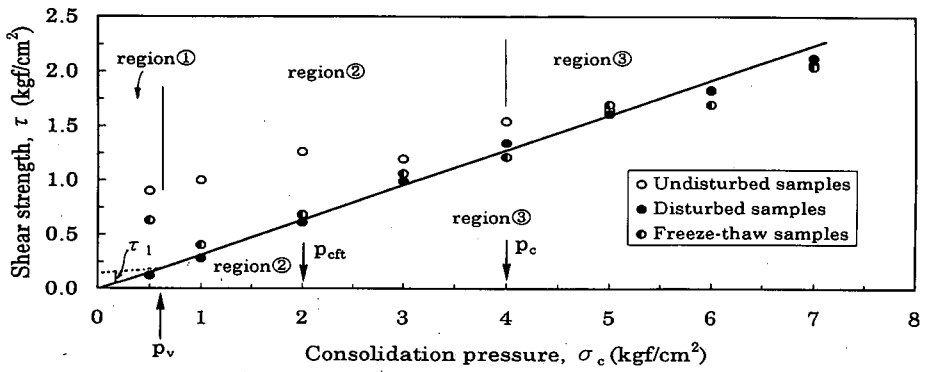
図-13は図-12(b)における不攪乱試料のせん断強さと攪乱試料のせん断強さが直線で近似された場合、それらの縦軸の差（セメンテーション効果に起因したせん断強さとする）と垂直応力との関係を整理したものである。セメンテーションの拘束圧依存性は有効応力表示においても認められる。



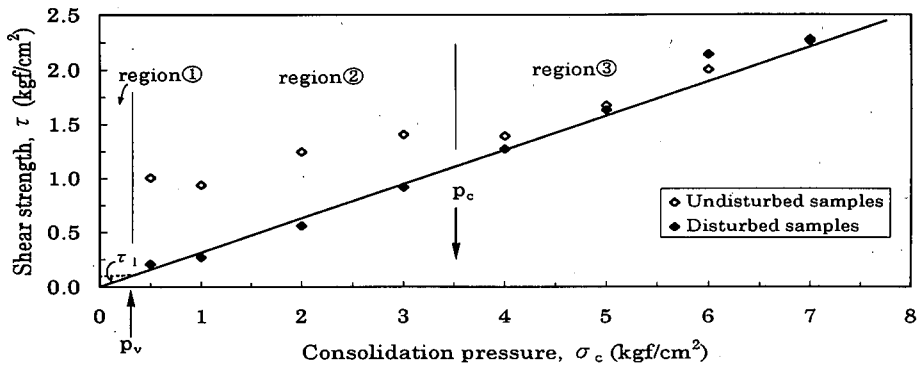
(a) 高館ローム (南郷)



(b) 高館ローム (六戸)

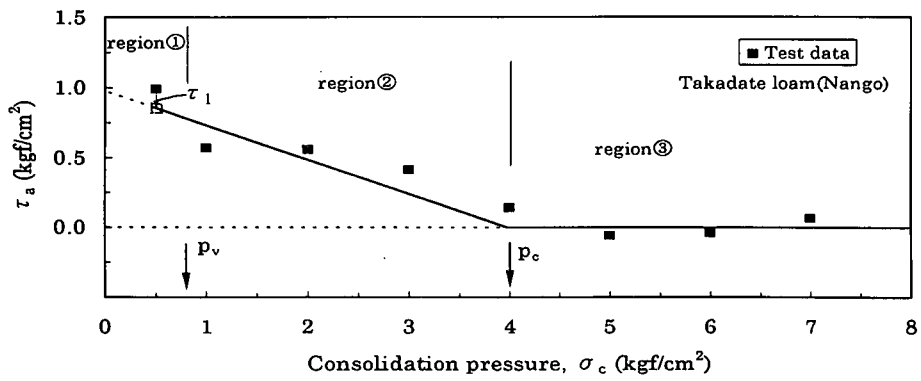


(c) 高館ローム (十和田湖)

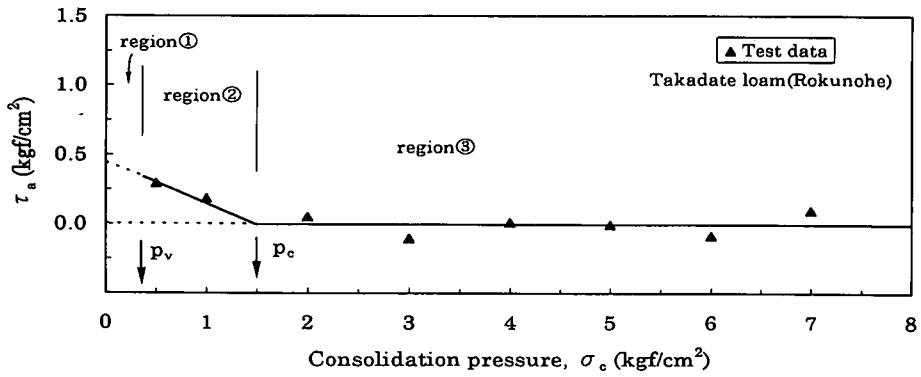


(d) 関東ローム (平塚)

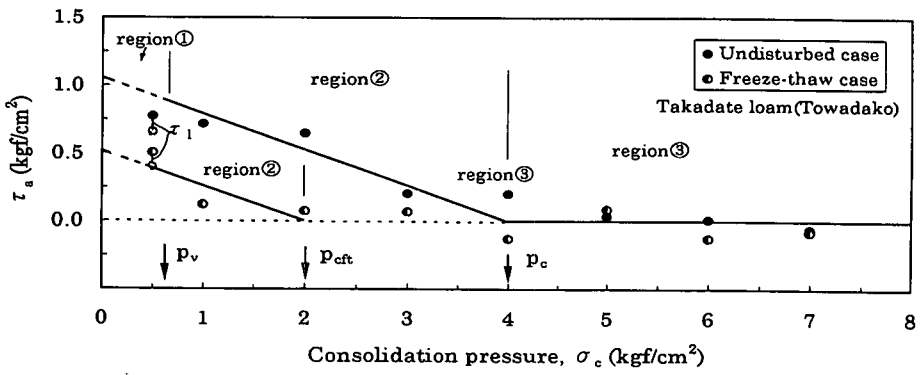
図-10 ローム土のせん断強さと圧密圧力との関係 (全応力表示) ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)



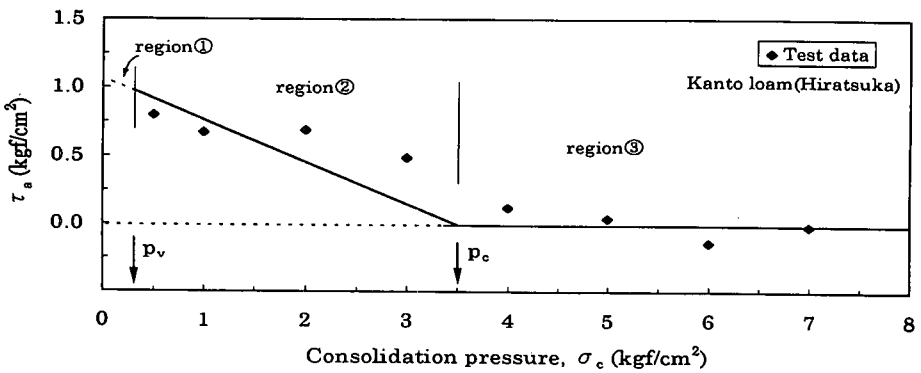
(a) 高館ローム (南郷)



(b) 高館ローム (六戸)

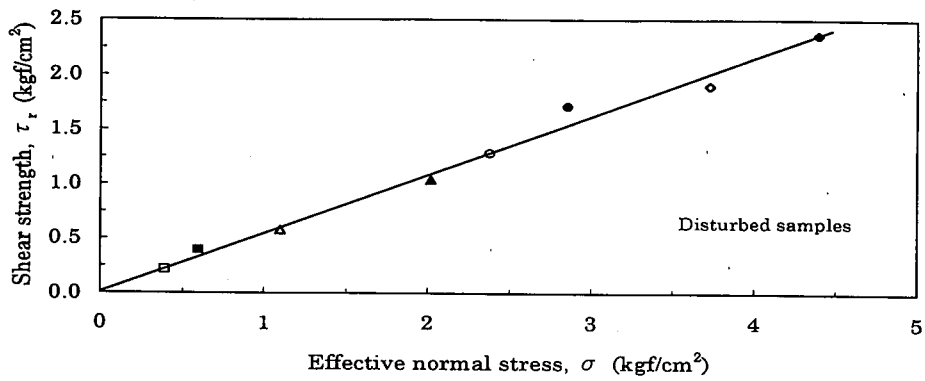


(c) 高館ローム (十和田湖)

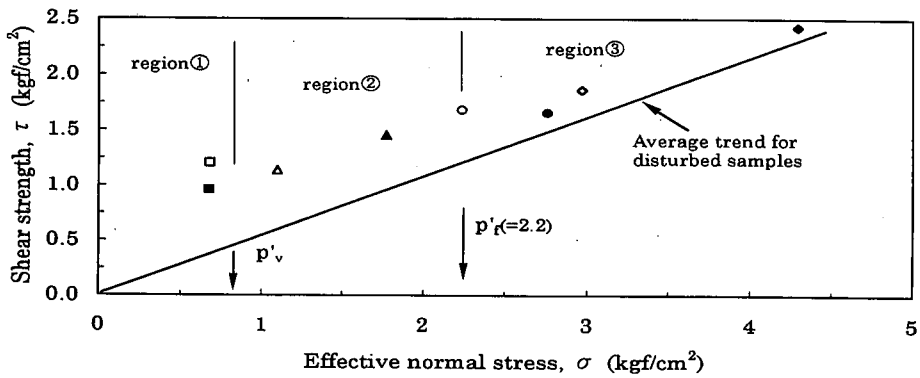


(d) 関東ローム (平塚)

図-11 セメンテーション効果に起因したせん断強さと圧密圧力との関係 (全応力表示) ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)



(a) 攪乱試料の場合



(b) 不攪乱試料の場合

consolidation pressure (kgf/cm ²)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
symbol	□	■	△	▲	○	●	◇	◆

図-12 セン断強さと垂直応力との関係を有効応力で整理した場合 (南郷の高館ローム) ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)

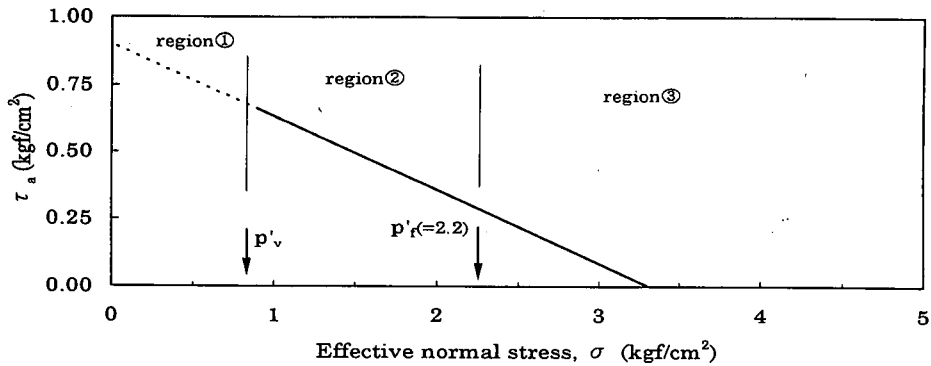


図-13 セメンテーション効果に起因したせん断強さと垂直応力との関係を有効応力で整理した場合 (南郷の高館ローム) ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)

(2) 残留値に着目したローム土のせん断特性

最大せん断変位 (8mm) 時のせん断応力を残留値とし, このときのせん断応力と拘束圧の関係に着目し, ローム土の定体積一面せん断特性を考察する. 図-14は南郷の高館ロームを例として, 最大せん断

変位 (8mm) 時のせん断応力と圧密圧力の関係を全応力表示で整理したものである. また, 図-14には全応力表示のせん断応力のピーク値と圧密圧力の関係も入れており, この直線には攪乱試料の場合の残留値も乗っていることが分かる. また, 圧密降伏

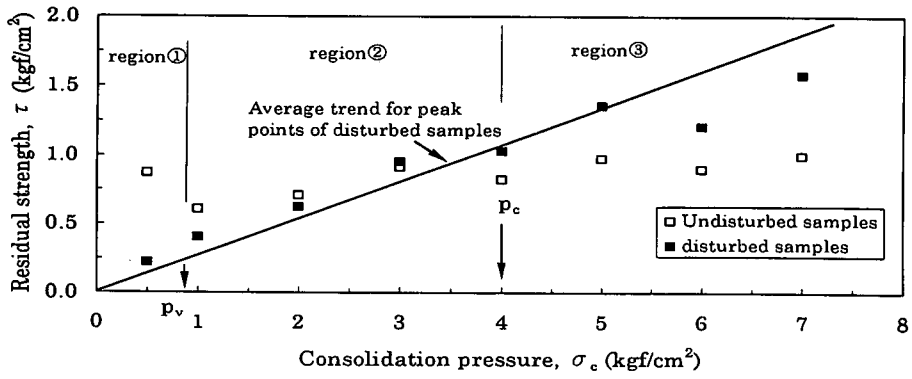
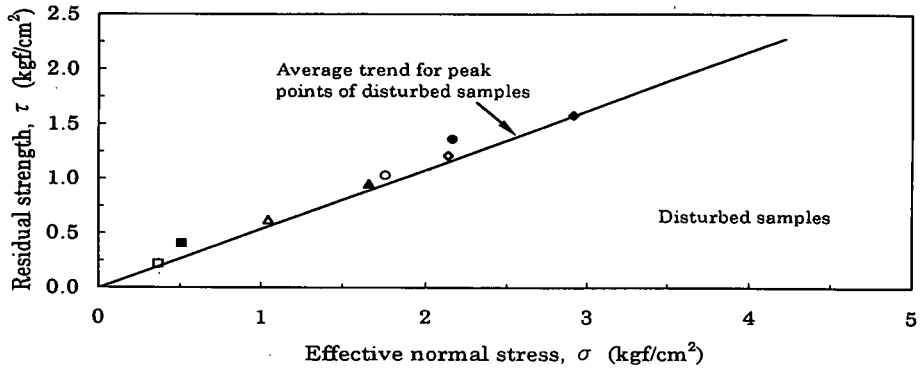
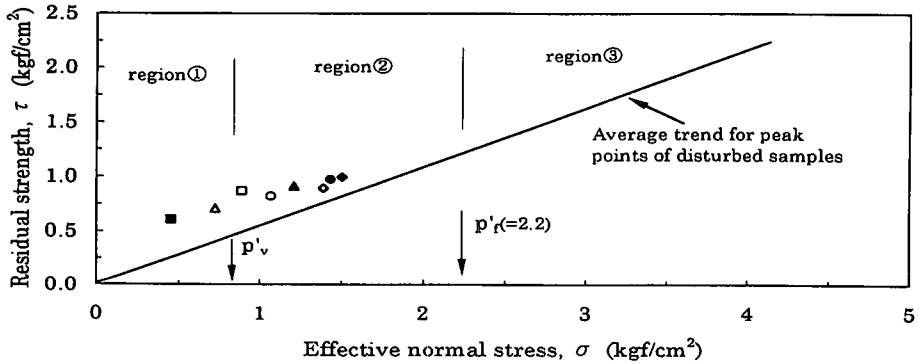


図-14 最大せん断変位 (8mm) 時のせん断応力 (残留値) と圧密圧力との関係 (全応力表示) (南郷の高館ローム)
(1kgf/cm² ≒ 98kPa)



(a) 攪乱試料の場合



(b) 不攪乱試料の場合

consolidation pressure (kgf/cm ²)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
symbol	□	■	△	▲	○	●	◇	◆

図-15 最大せん断変位 (8mm) 時のせん断応力 (残留値) と垂直応力との関係 (有効応力表示) (南郷の高館ローム)
(1kgf/cm² ≒ 98kPa)

応力 p_c を境とした過圧密領域 (領域① ($0 < \sigma \leq p_v$) と領域② ($p_v < \sigma \leq p_c$)) では、不攪乱試料のせん断応力の残留値は、圧密圧力に関係せずほぼ一定になっており、土被り圧あるいはセメシター

ションの影響を受けたままであることを示唆するものである。

一方、せん断応力の残留値とその拘束圧の関係を有効応力で整理した図-15(a)においても、攪乱試料

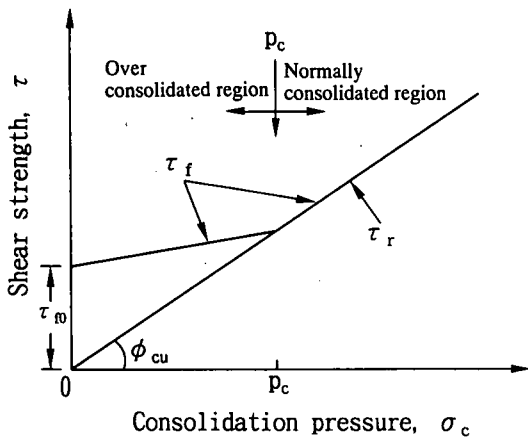


図-16 圧密定体積一面せん断試験結果の模式図

		τ_0 kgf/cm ²	p_c kgf/cm ²	τ_0/p_c	マーク
高 館 ロ ーム	南郷	1.00	4.0	0.25	□
	六戸	0.40	1.5	0.26	△
	十和田湖	0.92	4.0	0.23	○
	十和田湖 (凍結・融解)	0.45	2.0	0.23	●
関東ローム(平塚)		0.80	3.5	0.23	◇

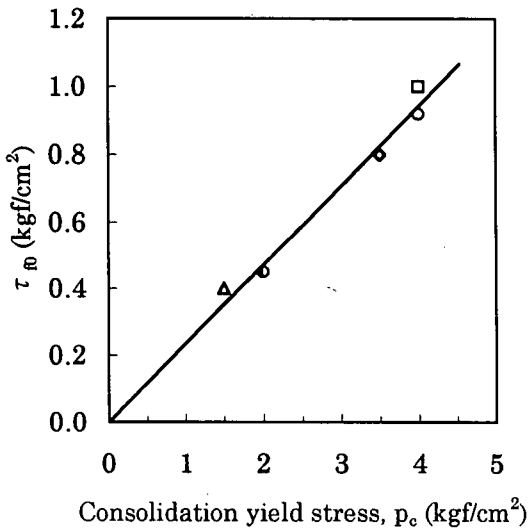


図-17 圧密定体積一面せん断試験結果 (τ_{10}) と圧密降伏応力 (p_c) との関係 ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)

の場合の残留値が有効応力表示のせん断応力のピーク値と垂直応力の関係直線に乗っていることが分かる。不攪乱試料の場合のせん断応力の残留値は図-15(b)に示すように、攪乱試料の場合に比べて、小さい範囲でやや大きくなっている。

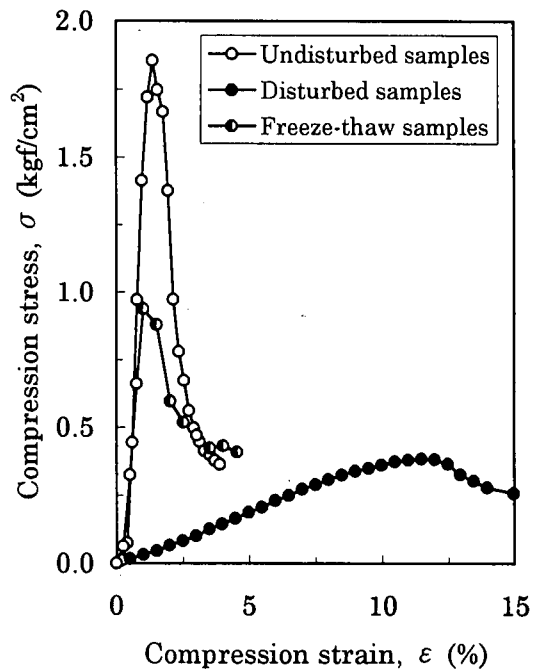


図-18 高館ローム(十和田湖)の一軸圧縮試験結果 ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)

(3) 不攪乱ローム土の圧密定体積一面せん断強さ

図-10に示すような不攪乱試料あるいは凍結・融解試料のせん断強さと圧密圧力との関係を直線で近似できるとすれば、図-16のような模式図が考えられる。図-10から、圧密降伏応力が大きいローム土ほどそのせん断強さつまり図-16における縦軸での切片 τ_{10} は大きいことが分かる。ここに、図-10から得られた各ローム土の τ_{10} と圧密降伏応力 p_c およびそれらの比 (τ_{10}/p_c) を図-17のように整理した。 (τ_{10}/p_c) はほぼ一定であることが分かる。これは、不攪乱試料の圧密降伏応力と攪乱試料のせん断強さから不攪乱試料のせん断強さを推定できることを示唆するものと考えられる。今後さらに検討する必要がある。

一方、せん断強さの縦軸での切片 τ_{10} は拘束圧がゼロのときのせん断強さであることを考える場合、 τ_{10} は一軸圧縮強さ $q_u (=2c_u)$ と密接に関連していると考えられる。高館ローム(南郷, 六戸, 十和田湖)について、一軸圧縮試験を行った。実験結果の一例を図-18に示す。ここに、一軸圧縮試験結果から得られた $c_u (=q_u/2)$ と図-10から得られた不攪乱高館ローム土のせん断強さの縦軸での切片 τ_{10} との比較を図-19のように示す。 c_u と τ_{10} はほぼ等しいことが分かる。

	南郷	六戸	十和田湖	十和田湖 (凍結・融解)
τ_{f0} kgf/cm ²	1.00	0.40	0.92	0.45
c_u kgf/cm ²	0.90 1.10	0.49 0.47	0.93 0.96 1.06	0.47 0.46
マーク	□	△	○	●

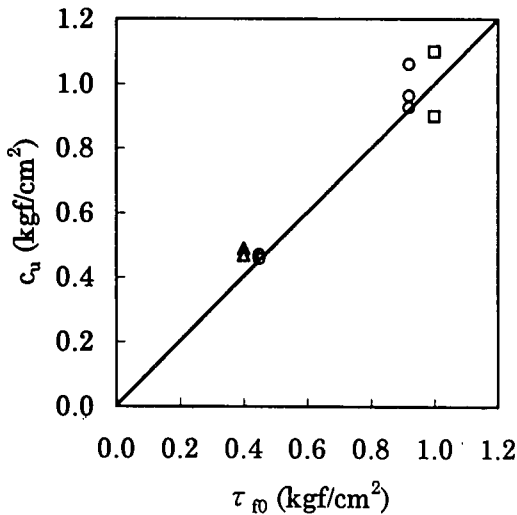


図-19 圧密定体積一面せん断試験結果 (τ_{f0}) と一軸圧縮試験結果 (c_u) との比較 ($1\text{kgf/cm}^2 \approx 98\text{kPa}$)

以上のことから、定数 α を導入した式(7)が成立すると考えられる。

$$\tau_{f0} = c_u = \alpha p_e \quad (7)$$

本研究では、定数 α は約 0.24 である。

5. おわりに

青森県南部地方に分布する高館ロームと神奈川県平塚市にある関東ロームを用いて、圧密試験と圧密定体積一面せん断試験を行った。得られた結果は次のようにまとめられる。

- (1)不攪乱火山灰質粘性土の圧縮特性およびせん断特性はそのセメンテーションの発達状況に影響される。
- (2)セメンテーション効果は拘束圧に依存する。
- (3)圧密降伏応力を境とした過圧密領域では、攪乱

試料に比べて、不攪乱試料の方は圧縮性が小さく、またせん断強さが大きい。正規圧密領域では、圧密圧力により不攪乱試料のセメンテーションが破壊され、不攪乱試料も攪乱試料もそれらの圧縮性およびせん断強さが同じになる傾向がある。

(4)不攪乱高館ロームは、凍結・融解作用を受けると、セメンテーションによる結合力が弱まり、圧密降伏応力の低下とともに、せん断強さが小さくなる。このことから地山や切土斜面では凍結深さと斜面高さ等により凍結・融解作用による斜面の侵食と安定性に問題が発生することが考えられる。そこで、凍結・融解の作用によるせん断強さの低下を考慮したり、また法面保護工を用いたりすることが必要である。

本論文では、圧密定体積一面せん断試験において圧密時間がすべて1時間であった。粗粒分を多く含んでいることもあり、1時間で圧密終了を確認できた。ところが、セメンテーション効果に及ぼす圧密時間の影響も考えられ⁶⁾、今後の研究課題とする。

謝辞：本研究は平成9年度文部省科学研究費補助金（基盤研究(B)(1)；課題番号：09450183；研究代表者：八戸工業大学教授諸戸靖史）の補助を受けている。また関東ローム試料は東海大学工学部杉山太宏先生から提供して頂いたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 諸戸靖史：火山灰質粘性土の性質と地方における土工事上の課題および問題点，第40回土質工学シンポジウム論文集，pp.27-44,1995.
- 2) Moroto,N.: Basic properties of loam soils in Aomori Prefecture, Japan, Soils and Foundations, Vol.33, No.2, pp.35-46, The Japanese Geotechnical Society, 1993.
- 3) 土質工学会：土質工学用語辞典，pp.40-41,1985.
- 4) 地盤工学会：土質工学標準用語集，pp.70,1996.
- 5) 例えば，加藤幸輝，武市 靖，小野 丘：飽和粘性土の凍結・融解履歴とその影響について，地盤工学会北海道支部技術報告集第38号，pp.63-70,1998.
- 6) 森川嘉之，古田康裕，飯塚 敦，太田秀樹：粘性土の等体積一面せん断強さ，土木学会論文集，No.582/III-41,pp.173-182,1997.

(1998. 4. 13受付)

SHEAR STRENGTH OF UNDISTURBED VOLCANIC COHESIVE SOILS UNDERGOING CEMENTATION

Junjie YANG and Nobuchika MOROTO

In order to investigate the cementing effect of volcanic cohesive soils in their in-situ condition, the authors conducted constant volume direct shear tests together with standard consolidation tests on Takadate loam soils which locally distributes over Nanbu District of Aomori Prefecture and a Kanto loam soil which exists in Hiratsuka of Kanagawa Prefecture. The cementation produces a higher consolidation yield stress than overburden pressure and a marked effect on the shear strength in over consolidated region up to the consolidation yield stress. The cementing effect is weakened by the consolidation pressure and the freeze-thaw action.