

岩盤せん断試験で見られた堆積軟岩のせん断強さに関する「寸法効果」(潜在的な不連続面の影響)

横浜国立大学 正会員 谷 和夫

1. 堆積軟岩のせん断強さに関する「寸法効果」と潜在的な不連続面の影響

風化の影響を受けていない新鮮な堆積軟岩は、硬岩に比べて「寸法効果」の影響が小さいと期待されている。しかし、細粒分が多い堆積岩では地質年代が古くなると層理面に平行な面構造が容易に発達するので、たとえ見掛け上は連続かつ均質であっても、潜在的なものも含めて不連続面をまったく含まない堆積軟岩は稀である。一方、不連続面が岩盤のせん断強さに及ぼす影響が著しいことは周知である。このため、堆積軟岩の力学特性を評価するために充分な供試体の大きさを合理的に判断する基準を設定するためには、潜在的な不連続面の影響による「寸法効果」を検討する必要がある。

著者等は、潜在的な不連続面を含む蓋然性が異なる2種類の堆積軟岩(シルト岩と泥岩)のせん断強さに関する「寸法効果」を、供試体の直径を10mmから500mmに変化させた三軸圧縮試験(TC: Triaxial compression test)によって検討した¹⁾。その結果、潜在的な不連続面を含む蓋然性が低いシルト岩では、せん断強さに関する「寸法効果」は工学的に無視できる程度に小さいが、潜在的な不連続面を含む蓋然性が高い泥岩では、たとえ見かけ上は連続かつ均質であっても、寸法が大きいほどせん断強さが低下する明らかな「寸法効果」が確認された。一方、岩盤のせん断強さを調べる最も一般的な岩盤せん断試験(RST: Rock shear test)では、低い初期垂直応力の条件では引っ張り破壊の影響が大きくなることが指摘されており²⁾、TCとは異なる傾向の「寸法効果」が見られる可能性がある。本論文では、TCと同じ堆積軟岩を用いて、せん断面の面積が20-900cm²の範囲で変化させたRSTを行った結果について報告する。

2. 用いた堆積軟岩と岩盤せん断試験(RST)の方法

試料には地質年代の異なる2種類の堆積軟岩(「シルト岩」と「泥岩」)を用いた(表1を参照)¹⁾。「シルト岩」は新第三紀鮮新世後期(3.4-1.6Ma)の海成堆積物で、塊状・軟質で節理はほとんど観察されない。「泥岩」は新第三紀中新世後期から鮮新統前期(10.4-3.4Ma)の海成堆積物で、概ね塊状・軟質で密着した節理が僅か(数10cm間隔)に発達しているが試験体には目視で確認できる節理を全く含まない部分のみを用いた。

岩盤せん断試験(RST)は基本的に土木学会の『原位置岩盤試験法の指針』のロックせん断試験に則して室内で実施した^{2&3)}。見掛け上は不連続面を全く含まないブロック試料(35-55cm角)から、せん断面の面積Aが20cm²(一辺4.5cm)、100cm²(一辺10cm)、400cm²(一辺20cm)、900cm²(一辺30cm)となるようにダイヤモンド・カッターで試験体を方形に切り出した。初期の垂直応力 σ_n は0.0-2.2MPa、傾斜荷重の想定せん断面となす角度は0°(姿勢制御方式)-20°、せん断応力 τ の载荷速度は0.006-0.98MPa/min.とした。

3. 岩盤せん断試験(RST)の結果(「寸法効果」の検討)

得られたせん断強さ τ_f は、傾斜荷重の想定せん断面となす角度や τ の载荷速度に依存する傾向は見られなかった(参考文献3および図1を参照)、せん断面の面積Aの影響(「寸法効果」)について以下に議論をする。

図2に破壊時のせん断応力 τ_f と垂直応力 σ_f の関係を示す。泥岩ではAが大きくなるに伴って τ_f の値が明らかに低下しているが、シルト岩ではデータのばらつきもあることから断定的な判断をすることは難しいが寸法に依存しないよう

表1: 実験に用いた試料の物性

	シルト岩	泥岩
単位堆積重量 γ_t (kN/m ³)	16.1 - 17.3	19.0 - 20.2
含水比 w (%)	43.2 - 48.9	21.4 - 29.9
せん断波速度 V_s (m/sec.)	450 - 600	900 - 1000
一軸圧縮強さ q_u (MPa)	2.5 - 3.5	10 - 11

(注) V_s はコア(拘束圧0)の超音波速度計測による。

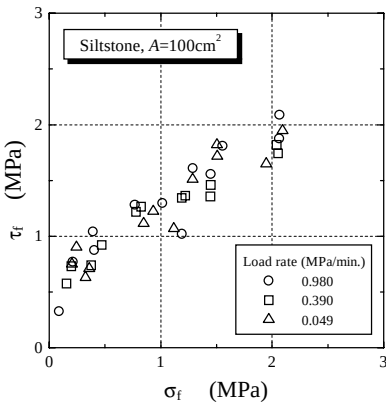


図1: せん断応力の载荷速度の影響 (シルト岩、A=100cm²)

キーワード: 岩盤、岩盤せん断試験、寸法効果、せん断強さ、不連続面、堆積軟岩

連絡先: 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5、電話: 045-339-4034、FAX: 045-331-1707、E-mail: tani@cvg.ynu.ac.jp

に見える。2つの強度定数（粘着力 c とせん断摩擦角 ϕ ）に及ぼすせん断面の面積 A の影響を図3に示す。泥岩では A の増大に伴って c も ϕ も顕著に減少するが、シルト岩では c も ϕ もほぼ一定であることがわかる。

粘着力 c とせん断摩擦角 ϕ が、せん断強さ τ_f の「寸法効果」に寄与する程度は応力レベルに依存する。そこで、クーロンの破壊基準（式（1））によって表わされる破壊時のせん断応力 τ_f のせん断面の面積 A に対する変化率を計算した（ σ_f は破壊時の垂直応力）。

$$\tau_f = \sigma_f \cdot \tan \phi + c \quad \text{式（1）}$$

$$\frac{\partial \tau_f}{\partial (\log A)} = \frac{\sigma_f}{\cos 2\phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial (\log A)} + \frac{\partial c}{\partial (\log A)} \quad \text{式（2）}$$

式（2）の左辺は A が10倍変化する時の τ_f の変化を表わしており、右辺の ϕ には平均値を、 c と ϕ の A の値に対する変化率 $\partial c / \partial (\log A)$ 、 $\partial \phi / \partial (\log A)$ は図3より直線回帰（最小二乗法）によって求めた。図4に $\sigma_f=0-4\text{MPa}$ の範囲で計算した $\partial \tau_f / \partial (\log A)$ とこれを τ_f で無次元化した値を示す。泥岩では応力レベルによらず τ_f が A の10倍当たり約30%も低下するが、シルト岩では工学的に問題とならない程度（ A の10倍当たり τ_f が約2%低下）の「寸法効果」しか見られないことが分かる。

4. RSTとTCの「寸法効果」の違い

潜在的な不連続面の影響によって、RSTでもTCと同様に泥岩でのみ顕著な「寸法効果」が見られた。しかし、大寸法化による泥岩のせん断強さの低減率は、TCでは供試体の直径 d の変化に対して8-16%（ A の変化に対しては4-8%に換算）で¹⁾、RSTで見られた低減率（約30%）よりはるかに小さい。TCでは c のみが低減するのに対して、RSTでは低応力レベルで引っ張り破壊の影響が大きいので ϕ も同程度に低下することがその理由と推察される^{2&3)}。堆積軟岩のせん断強さを室内の小規模なせん断試験によって評価する場合には、「寸法効果」の程度を試験法の性質も考慮した上で十分に検討することが必要である。

参考文献：（1）谷（2001）、第36回地盤工学研究発表会。（2）谷（1999）、第29回岩盤力学に関するシンポ。（3）谷（1998）、第10回岩の力学国内シンポ。

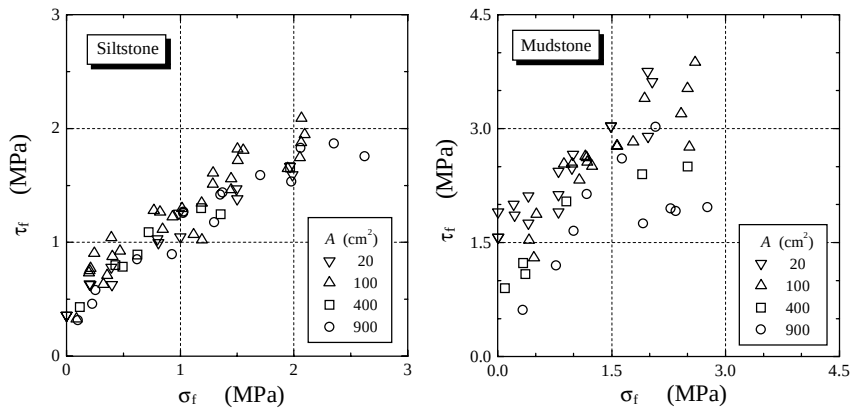


図2：破壊時のせん断応力 τ_f と垂直応力 σ_f の関係

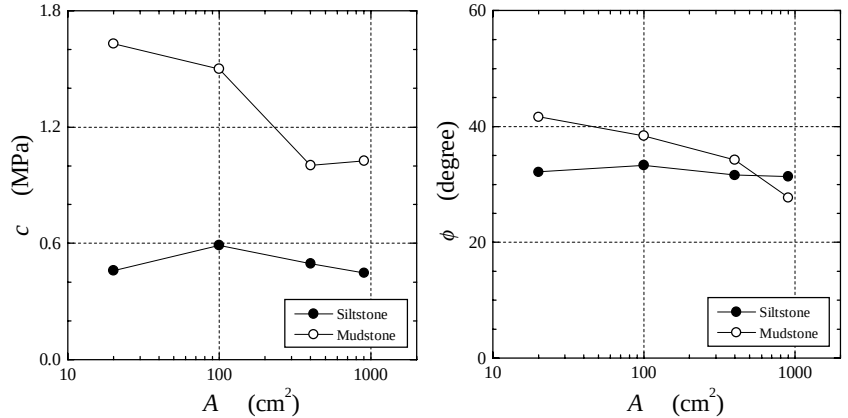


図3：2つの強度定数（ c と ϕ ）とせん断面の面積 A の関係

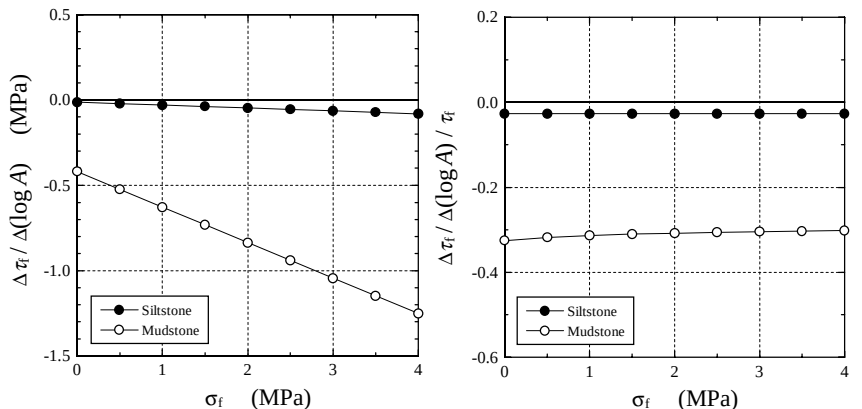


図4： $\partial \tau_f / \partial (\log A)$ 、 $\partial \tau_f / \partial (\log A) / \tau_f$ と破壊時の垂直応力 σ_f の関係