

III-277 軟岩のせん断試験とすべり面の設計強度定数の決定法

北海道大学大学院 学生員 佐野 彰
 北海道大学工学部 正員 三田地 利之
 北海道大学工学部 正員 湊谷 啓
 北海道大学研究生 佐々木 純生

1. まえがき 自然斜面を構成する固結度の低い泥質軟岩のせん断強度定数を試験によって精度良く求めることは、軟岩斜面の安定解析に関する理論的な解析精度を高めることとなる。本報告は、あらたに試作改良した軟岩用繰返し一面せん断試験機の特徴と、地すべり斜面より採取した泥質岩での実験結果をもとにせん断強度定数の決定方法に関する検討を行なったので報告するものである。

2. 試料及び実験 実験に用いた試料は余市郡仁木町N地区に発生した地すべりのすべり面付近で採取した泥質岩の不攪乱試料であり、新第三紀泊累層群に相当する地質となる。採取した試料は直径5cm、高さ5cmの円柱供試体として作成し、パラフィンで被覆した後、水温18℃の一定温度で水中保管した。

表.1 試料の基本的な性質

比重	自然含水比	コンシステンシー				粒度組成(%)			湿潤密度	孔隙比	飽和度	一軸圧縮強度
Gs	Wn (%)	LL(%)	PL(%)	IP	>5 μ	5~75 μ	75 μ <		$\rho_w(g/cm^3)$	e	Sr(%)	(kgf/cm ²)
2.625	35.84	123.6	25.0	98.7	78.3	20.7	1.0		1.844	0.934	100.7	3.3

今回試作改良した軟岩用繰返し一面せん断試験機は、下部固定・上部可動型であり、垂直荷重は下方よりベラムシリンダーによる空気圧で載荷する構造となっている。横方向から加えられるせん断力は可変モーターよりロッドを介してせん断箱へ伝達され、さらに前後へ連続した繰返し移動を可能にしている。さらに構造上の大きな特徴としては①上下せん断箱間の摩擦がなく、その間隔も調整できる。②せん断箱と供試体せん断面間の摩擦も無くする構造である。③供試体上下両面で垂直応力を測定することによりせん断箱内での周面摩擦の影響を補正できる²⁾。④広範囲なせん断速度(0.001~0.5 mm/min)が選択できる。⑤供試体の形状寸法はボーリングコアをほとんどそのまま使用でき、直径50~70mm、高さ25~100 mmまで任意に選定できる。⑥せん断往復時の変位量を任意に選定でき、しかも事前に繰返し回数を設定した自動繰返しが可能である。

繰返し一面せん断試験は垂直応力を $\sigma=0.5, 1.0, 2.0$ (kgf/cm²)の3段階とし各垂直荷重で24時間圧密後にせん断を開始した。せん断速度はピーク強度が確認されるまで0.01mm/minで行ない、その後は0.5 mm/minとし、せん断応力にせん断面の凹凸によるかみ合せ抵抗の影響が無くなるまで30往復の自動繰返しを行なっている。また、せん断時の最大水平変位量は前後それぞれ6mmとした。

3. 実験結果及び考察 泥質岩の繰返し一面せん断試験により得られたせん断・垂直応力比(τ/σ)—水平変位(HD)図の一例を図-3に、また破壊包絡線を表わす $\sigma-\tau$ 図を図-4に示した。 τ -HD図では水平変位が1~2 mmの間でピーク強度(τ_p)に達し、その後急激にせん断応力が低下し、さらに変位を加えていくこ

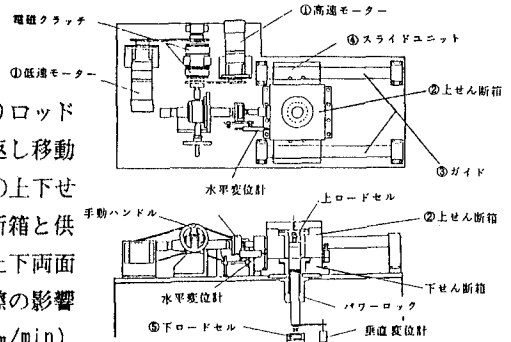


図1 繰返し一面せん断試験機平面図および側面図

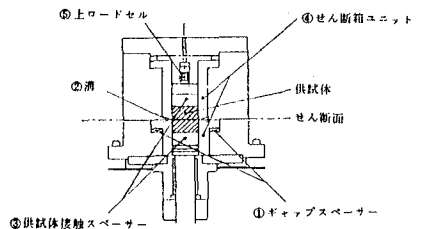


図2 せん断箱詳細図

とで残留強度（ τ_r ）に収束する傾向が表われている。 $\bar{\sigma}-\tau$ 図ではピーク強度に多少のバラツキが見られるが、残留強度の破壊包絡線では $C_r=0$ のほぼ一直線上に近似される結果を示している。

表.2は実験より求められたピーク強度及び残留強度の強度定数と残留係数を導入した地すべり主測線上での強度定数、さらには逆算法によって求めた強度定数である。

逆算法によるすべり面の強度定数は安全率を設定しておいて移動土塊の層厚から C' を推定し、 ϕ' が求められる方法が取られているが、この方法により決定される強度定数は物理的な意味が曖昧なものであることは従来から指摘されている。一方、すべりが発生した時点での安全率（ F_s ）は1.0に近似しなければならず、従って実験によって得られた τ_p 強度定数を用いると $F_s=8.35$ となり過大な安全率が得られ、反面 τ_r 強度定数では $F_s=0.87$ で過小な安全率となって現状に合致していない。残留係数を導入した R 強度を用いた場合には、現実的な安全率が得られる。実際のすべり面強度定数は τ_p 強度と τ_r 強度との中間領域にあるものと考えられるため、残留強度までに低下した割合を示す残留係数 R を導入して実験値を用いたすべり面の強度定数を求めることは、より合理的なすべり面強度定数の算定方法であると言える。

4. まとめ (1) 今回、試作改良した軟岩用の繰返し一面せん断試験機は、従来一面せん断試験機の欠点とされていた上下せん断箱間の摩擦をなくするだけでなく、せん断箱と供試体せん断面との摩擦をなくし、さらには周面摩擦を考慮した試験結果が得られるとともに、連続した自動繰返しせん断によって供試体到大変位を与えることで、軟岩のせん断強度を精度良く測定できるものである。

(2) すべり面の強度定数は臨界条件対応の間げき水圧が観測されている前提のもとで、せん断試験による実験値を用いて残留係数を導入した算定方法で、より合理的に求めることができる。

5. あとがき 今後の課題としては、さらに多くの実験を通して試験方法の確立を期したいと考えている。本研究にあたり、実験・データ整理に協力いただいた大森 壮一郎（大学院生）、中根 理（J R東日本）の両氏に、記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) A.W.Skemp-ton: long-Term Stability of Slopes, Geotechnique Vol.14, Ⅱ, pp75-102, 1964
- 2) 古谷 保: 直接せん断試験機における有効垂直応力の補正法と地すべり粘土のせん断強度測定
農業土木試験所技報 C (造構) 第20号, pp17~44, 1980
- 3) 宜保 清一、武居 有恒、小波蔵 政良: 平均地すべり面強度定数の算定方法について
地すべり 第20巻 第4号, pp1~6, 1984
- 4) 佐野 彰、三田地 利之、渡谷 啓、中根 理: 改良型軟岩用繰返し一面せん断試験機と2、3の実験例
平成四年度地すべり学会北海道支部研究発表会論文集 1992
- 5) 佐野 彰、三田地 利之、佐々木 純生: 地すべり面強度定数の決定方法について
平成四年度地すべり学会北海道支部研究発表会論文集 1992

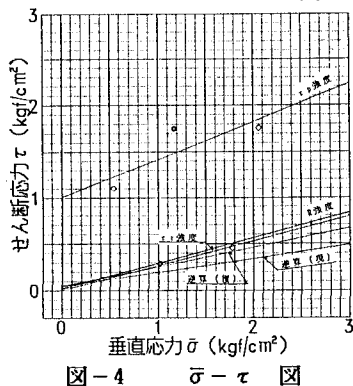
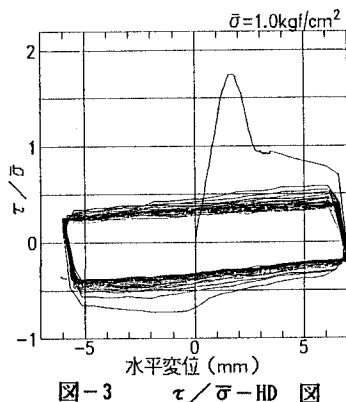


表-2 強度定数の比較

	c (tf/m ²)	$\tan \phi$	ϕ (°)	備 考
実験に基づく強度定数				
τ_p 強度	10.3	0.404	22.0	ピーク強度対応
τ_r 強度	0.08	0.259	14.5	残留強度対応
R 強度(復)	0.28	0.260	14.6	復元断面図 $R=0.98$
逆算法による強度定数				
逆算(現)	0.50	0.141	8.0	現況断面 $F_s=0.95$
逆算(復)	0.50	0.208	11.7	復元断面 $F_s=1.00$

表-3 各強度定数による安全率

	τ_p 強度 ($R=0.00$)	τ_r 強度 ($R=1.00$)	R 強度(復) ($R=0.98$)
現況安定解析断面	—	—	1.22
復元安定解析断面	8.35	0.87	1.00

Skemptonの残留係数

$$R = (\tau_p - \tau_r) / (\tau_p - \tau_r) \quad \dots (1) \text{ 式}$$

残留係数を導入した強度定数

$$C' = R c_r + (1-R) C_p \quad \dots (2) \text{ 式}$$

$$\tan \phi' = R \tan \phi_r + (1-R) \tan \phi_p \quad \dots (3) \text{ 式}$$