

大型一面せん断試験機の作製とその目的

Large-Sized Direct Shear Apparatus Constructed in ERC, University of Tsukuba

松倉公憲*

Yukinori MATSUKURA

I はじめに

せん断箱の大きさの最大直径が96 cm という大型一面せん断試験機を新たに作製した。本稿では、この試験機の概観と仕様を紹介すると同時に、この試験機を作製した意義と目的について述べる。

II 大型一面せん断試験機作製の意義と目的

地形営力 (geomorphic agency) が地形構成材料 (landform material) に作用して物質が移動すると地形変化が起こる。このような地形変化のメカニズムを解明することが、地形学における重要な課題の1つである。特に、地形構成材料の物性を定量的に把握することの重要性は Yatsu (1971) によって提唱され、地形材料学 (landform material science) と呼ばれている。

地形構成材料は一般に岩盤と岩屑に分けられる。岩屑はその粒径によって礫 (一般に中央粒径が4 mm 以上のものを指す)、砂 (4 mm ~ 0.063 mm)、シルト・粘土 (0.063 mm 以下) などに細分される。これらの材料はそれぞれに固有の諸物性 (力学的性質・物理的性質・化学的性質・鉱物学的性質など) を有している。それゆえ地形の研究においては、営力とその営力に応答する物性を的確に見出し、それ

らを計測しなければならない。たとえば一般にマッシュメントの問題においては物性の中の力学的性質 (圧縮強度・引張強度・せん断強度など) が重要となる。特に、山崩れ・地すべり等の斜面の安定・不安定の力学的な解析には、せん断強度のデータが不可欠となることが多い。

従来、岩屑のせん断強度はいわゆる標準型の直径6 cm のせん断箱を有する一面せん断試験機、または直径3-5 cm、高さ6-10 cm 程度の大きさの供試体を用いる三軸圧縮試験によって求められてきた。しかし、これらの試験機を用いて試験できるのは、せん断箱あるいは供試体の大きさとの関係から、岩屑の中でも砂や粘土などの細粒材料に限られる。その結果、地形学の分野においてもシラスやマサ、あるいは地すべり粘土などの物質については、そのせん断強度を測定し、それをもとに斜面の安定解析を行うというような研究が行われてきている。これに対し、礫のような粗粒な岩屑のせん断強度は、上記の大きさの試験機では試料が大きすぎるため測定できない。このような粗粒岩屑の強度試験を行うためには、大型の試験機がどうしても必要となるのである。

世界的にみれば標準型のせん断試験機を有する地理学教室あるいは地球科学教室も少しずつ増えているようである。しかし筆者の知る限り、大型せん断

* 筑波大学地球科学系

試験機としては、カナダの Guelph 大学の地理学教室の所有するものが唯一のものである。その一面せん断試験機は、1 フィート (30.5 cm) × 1 フィートの大きさの角型のせん断箱を有している。そしてこの試験機を用いた研究で公表されたものとしては、片麻岩の岩屑 ($d_{100} = 30 \text{ mm}$; $d_{50} = 12 \text{ mm}$; $d_0 = 0.1 \text{ mm}$) のせん断強度を議論した Carson (1975) の論文があるだけのようである。

以上の事実は地形を研究している我々の粗粒岩屑のせん断強度に関するデータ・情報が極めて乏しい(ほとんどない)ことを示している。従って、粗粒岩屑からなる斜面(たとえば崖錐など)は極めて普遍的に世界中に広く分布しているにもかかわらず、それらの斜面で生起する地形形成プロセスについて力学的に研究された例はほとんどない。勿論、礫のせん断強度については土質工学の分野において研究が行われてきている。そこでは、フィルダムのロック材あるいは盛土の材料としての礫材(土質工学の分野では粗粒材と呼んでいる)の強度が問題となるからである。しかし試験が大がかりになるため、一般に単発で行われることが多く系統だった基礎的な研究が少ない。また高拘束圧下での粒子破碎・変形・締め固め効果など工学的観点からの研究が多いため、地形の説明や解析に使えるデータや情報はそれほど多くはないように思われる。

我々は砂や粘土のせん断強度を測定するのと同様に、粗粒岩屑のそれも測定しなければならないのである。大型一面せん断試験機を作製した意義・目的はまさにここにある。

Ⅲ 大型一面せん断試験機の概要

1) 一面せん断試験機にした理由

せん断強度定数(粘着力 c とせん断抵抗角 ϕ) の測定には、三軸圧縮試験からそれらを間接的に求める方法と、一面せん断試験のように直接求める方法とがある。一般には、一面せん断試験は、三軸圧縮試験に比較して、1) 供試体の応力状態、特に主応力が明確でない、2) 供試体内の応力とひずみが均一でない、などの理由で土質工学の分野での評価はそれほど高くない(三笠・高田, 1980)。しかし、我々

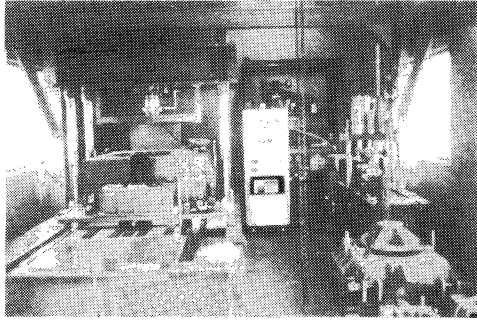
の扱う地形の問題は、たとえばすべり面や崩壊面を考慮して安定計算を行うというようなことが多い。このような場合は軸対称の破壊面をもつ三軸圧縮試験よりも、平面変形・平面破壊の一面せん断試験の結果を利用する方が、より状況に即していることになる。また、一面せん断試験は、三軸圧縮試験に比較して実験操作が簡便であり、それだけ数多くの実験ができるという利点も持っている。以上のようなことから、試験機を円筒型のせん断箱(供試体が円筒形になるという意味であり、せん断箱の外形は角である)をもつ一面せん断試験機とすることにした。

2) 5種類のせん断箱を作製した理由

地形学で扱う岩屑は数 μm の粘土から数 10 cm ~ 数 m の巨礫まで極めて広い範囲にわたっている。それゆえ、設計前の段階ではできるだけ大きなせん断箱を作製したいと考えた。しかし現実には、試験に用いる試料の量や機械の構造上の制約などから最大直径が 1 m 前後のせん断箱が限界だろうと思われた。そしてこの大きさの試験機では 1 回の試験に 300 ~ 400 kg の試料が必要であり、実験にかかる労力も極めて大きくなることが予想された。逆にせん断箱の直径が 1/2 になれば(深さも 1/2 になるとして) 1 回の実験に必要な試料の量は 1/8 となり、実験の作業はかなり楽になる。そこで、粒径の大きいものは大きなせん断箱で、小さい粒径のものは小さなせん断箱で(すなわち地形材料の大きさに応じて)試験できるように、大きさの異なる 5 種類のせん断箱が設計された。それぞれの径は、標準型の直径 6 cm を基準に倍の 12 cm, 24 cm, 48 cm, 96 cm と決められた。

3) 試験機の概要および仕様

せん断箱の直径が 2 倍になると載荷する垂直力、せん断力ともに 4 倍の荷重が必要となる。そのため上記の 5 種類のせん断箱を、同一の試験装置上に設置することは精度の点から難しいことが判った。そこで、大容量の試験機(直径 96 cm, 48 cm, 24 cm のせん断箱を載せる)と小容量の試験機(直径 24 cm, 12 cm, 6 cm のせん断箱を載せる)の 2 台に分けて作製した(第 1 図参照)。直径 24 cm のせん断箱は、大容量と小容量のどちらの試験機を用いて



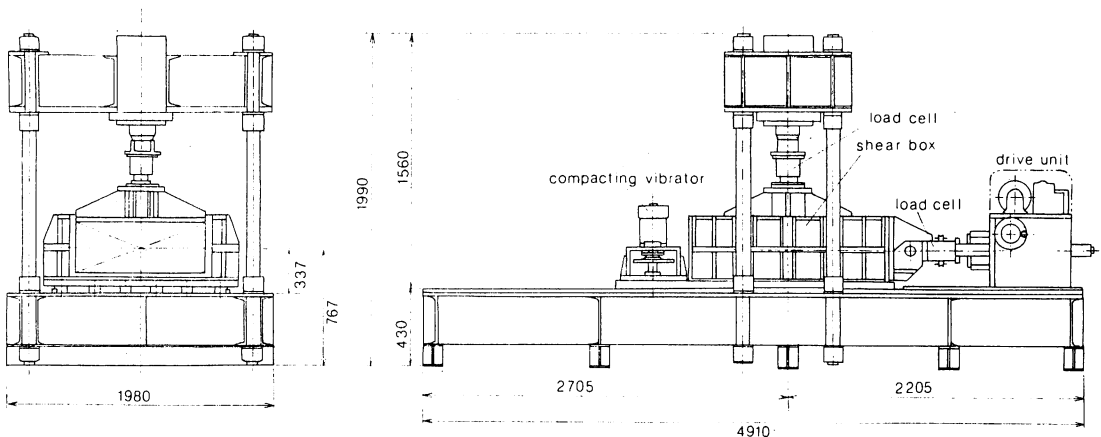
第1図 大型一面せん断試験装置の全容。左側が大容量の試験機、右側が小容量の試験機、中央にあるのがデータ表示部および記録計。

も試験可能なように設計されている。

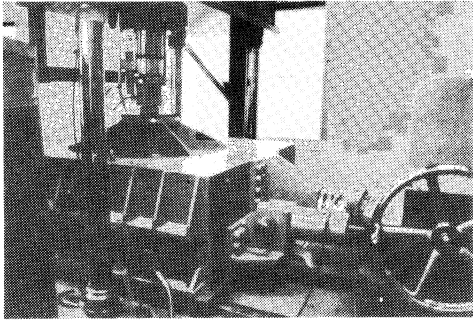
試験機の仕様・性能を第1表にまとめて示した。大容量試験機に直径96 cmのせん断箱を載せた状態を示したのが第2図である。この試験機では、サーボコントロール機能をもつ油圧シリンダーによって垂直荷重がかけられる。また、下箱を電動ジャッキによりジャッキボックス側に引張ることによってせん断荷重が与えられる(第3図参照)。大容量試験機では垂直荷重・せん断荷重ともに最大100 tonまで載荷できるように設計されているが、この値は最大垂直応力・最大せん断応力ともに10 kgf/cm²程

第1表 大型一面せん断試験機の仕様および性能

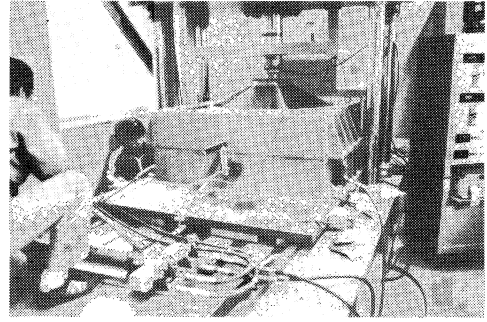
	大 容 量		小 容 量	
	直径	高さ	直径	高さ
使用可能なせん断箱	96 cm × 38.4 cm 48 cm × 19.2 cm 24 cm × 9.6 cm		24 cm × 9.6 cm 12 cm × 4.8 cm 6 cm × 2.4 cm	
垂直荷重	油圧シリンダー (サーボコントロール) 最大100 ton		ペローフラムシリンダー 最大5 ton	
せん断荷重	ボールスクリージャッキ (50 ton 2台) 最大100 ton 最大ストローク 300 mm 下部せん断箱移動		スクリージャッキ 最大5 ton 最大ストローク 80mm 下部せん断箱移動	
せん断速度	0.96~3.84 mm/min		0.024~0.96 mm/min	



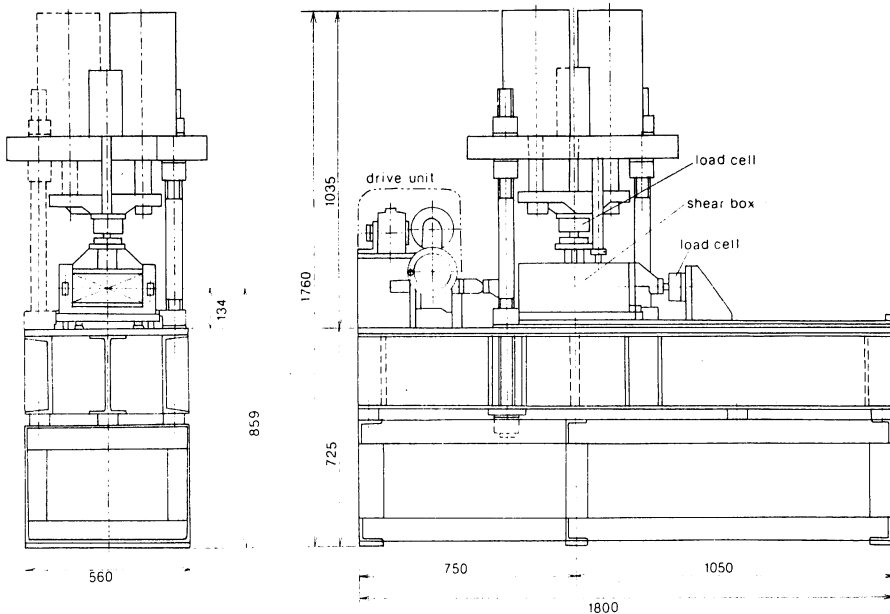
第2図 大容量試験機(直径96 cmのせん断箱を載せた状態)。



第3図 大容量試験機のせん断箱および垂直荷重とせん断荷重の載荷部の様子.



第4図 ジャッキによって上下せん断箱のすき間を開かせる操作をしている状態.



第5図 小容量試験機（直径24 cmのせん断箱を載せた状態）

度を想定して決められた。ベアリングを載せた4個の油圧ジャッキによって上下のせん断箱の間に隙間を開かせることができ、せん断時のせん断箱間の摩擦を除去できる（第4図参照）。

一方、小容量試験機（第5図）はペローフラムシリンダー（エアシリンダー）によって垂直荷重が載荷される。せん断時に上箱が固定されるのは大容量の試験機と同じであるが、せん断荷重は電動ジャッキでピストンを介して下箱を押し機構になってい

る。

両試験機ともに、垂直・せん断荷重はロードセルで、垂直・せん断変位はダイヤルゲージで計測され、それらは適当な時間間隔で自記記録される。また、両試験機ともに、振動締め固めのための起震機を装備できるようになっている。

Ⅳ おわりに

試験機作製の意義と目的のところでも述べたよう

に、本試験機を用いることにより、粗粒な岩屑のせん断特性を知ることができる。我々は、この試験機を用いた実験から得られるデータを基に、岩屑から成る斜面の安定・不安定の問題など、広く地形学的な問題を解決していけるはずである。そのためにこの試験機を十分に活用したいと考えている。

謝 辞

本試験機が完成するまでには実に多くの方々に御支援や御助力を頂きました。以下に記して感謝の意を表する次第です。

大型一面せん断試験機作製の構想は、1979年に作成された『筑波大学水理実験センター実験棟計画(案)』にも載っているように、10年ほど前から練られていた。その頃は、当時地球科学系教授であった谷津栄寿先生が計画・立案の中心となっていた。それ以来先生と筆者とで計画実現のための努力が続けられた。谷津先生が上越教育大学へ転出されてからは井口正男教授(現・福山大学・教授)に種々の御支援を頂いた。そして1987年3月に待望の試験機の完成をみた。

試験機を水理実験センターに設置するにあたっては、水理実験センター長の河村 武教授と地球科学

系長の青木直昭教授からは多大の御尽力を頂いた。地球科学系の砂村継夫教授からは、設計の初期の段階から完成まで数多くの御助言と励ましを頂いた。また同教授をはじめとし、松本栄次助教授、池田宏助教授、安仁屋政武助教授、武田一郎博士(現・京都教育大学・講師)からも多くの御支援を頂いた。

最後に、本試験機の製作に携わった経理部、研究協力部、施設部、水理実験センターの職員の皆様、綾田純一氏をはじめとする株式会社テスコの皆様、御尽力と御協力に対しても深く感謝致します。

文 献

- 三笠正人・高田直俊(1980):大型直接せん断試験。地質と調査, 1980年4号, 41-45.
- Carson, M.A. (1975): Threshold and characteristic angle of straight slopes. Yatsu, E. *et al.*, eds.: *Mass Wasting*, 4th Guelph Symposium on Geomorphology, 1975. Geo Abstract, England, 19-34.
- Yatsu, E. (1971): Landform material science—Rock control in geomorphology. Yatsu, E. *et al.*, eds.: *Research Methods in Geomorphology*, 1st Guelph Symposium on Geomorphology, 1969. Science Research Associations, Canada, 49-56.