

III-317 多段階載荷三軸試験による粗粒材の強度定数の決定（その1）

（株）竹中土木 正会員 高橋三津彦
竹中技術研究所 中崎英彦 上田貴夫

1. まえがき

近年、フィルダムの建設、高速道路盛土部、土地造成における岩塊盛土等、粗粒材を使用する工事が増加しており、それに伴って良質の材料の入手が困難な場合が多くなってきている。また、経済的にも工事地点から遠く離れた場所にある良質の材料を用いるよりも、多少材質が劣っても、工事地点近傍において採取される材料を使用したい場合も多い。その場合、材質に関する評価を適切かつ迅速に行うことが非常に重要となってくる。

現在、粗粒材の強度定数を決定するための試験法としては、大型三軸圧縮試験機を用いて数本の供試体をせん断して c 、 ϕ を決定するという方法（三軸圧縮試験法：Single Stage Triaxial Compression Test, 以下SSTと呼ぶ。）が一般に採用されている。しかし、この方法は試験が大規模になるために多大の労力と時間を要する上、供試体を同一の状態に作成することが困難なため試験結果にバラツキが出やすい。それに対して最近研究され始めた多段階三軸圧縮試験法（Multiple Stage Triaxial Compression Test, 以下MSTと呼ぶ。）では一本の供試体に数段階の拘束圧を加えてせん断を行い、その材料の強度定数を求めるため、SSTと比較して簡便な試験で安定した結果を得ることが期待できる。このMSTは硬岩や飽和軟岩を対象とした非排水試験では有効であることが確認されている^{1)~3)}が、排水試験では拘束圧を変化させるタイミングやダイラタンシーの挙動により試験結果に差が出てくることが指摘されている^{4),5)}。

筆者らは粗粒材に対するMSTの適用にあたって、その基本的特性を把握しておくためにまず物性がはっきりしており、供試体も同一の状態を比較的容易に作成することのできる豊浦標準砂を使用して数種の応力経路をたどらせるMST試験を実施し、さらにその結果をもとに粒度組成を変化させた粗粒材に対してMST試験の適用を試みた。そして若干の結果を得たので考察を加えてここに報告する。

2. 豊浦標準砂を用いた試験の概要

図-1に今回豊浦標準砂を用いて実施した試験の応力経路の種類を示す。(a)のMST-1は現在MSTを行う場合に通常用いられているもので、各拘束圧でのせん断においてピーク強度が認められたら軸差応力を除荷し、拘束圧を一定量上昇させ、圧密を行った後に再び次段階のせん断を行うというものである。

(b)のMST-2は次に説明するSPC（Stress Path Control：応力経路制御試験）の適用性を検討するために実施したもので、ピーク強度が認められた後、軸差応力を除荷しないで次の拘束圧に移行するとどういった影響がみられるかを検討するためのものである。ただし、この試験ではピーク検出後一時載荷を停止

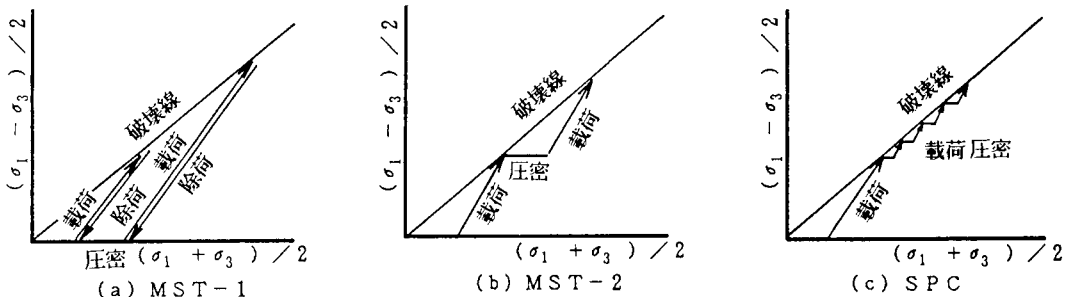


図-1 各種の応力経路の概念図

して拘束圧を一定量上昇させ、圧密を行った後に再び載荷を開始している。(c)のSPCはパソコンによる自動制御を目的としたもので、各拘束圧においてピーク強度を検出すると同時にパソコンが拘束圧をあらかじめ設定しておいた一定量だけ昇圧し、次段階のせん断に移行する。

供試体は標準砂を用い、直径3.5cm、高さ7.8cmの円柱状で、間隙比が0.63になるように締固めた。そして脱気水で飽和させた後、拘束圧をかけて圧密させ、せん断を開始した。

計測はすべてパソコンにより行い、リアルタイムでCRTにグラフを表示した。ピーク強度の検出はパソコンにてサンプリングされた軸差応力を瞬間瞬間で比較し、前段階よりも計測値が小さくなった時点でピークとした。また、試験はすべて排水条件とし、ひずみ速度一定で0.1%/minとした。

表-1に試験条件表を示す。ここで、2-1-Mは図-1のMST-1、2-2-MはMST-2のパターンである。また、3-1-SPCは拘束圧の昇圧ステップを0.5kg/cm²に、3-2-SPCは0.1kg/cm²に設定したものである。

表-1 標準砂の試験条件表

試験番号	試験種類	側圧 kgf/cm ²	初期間隙比 e ₀	($\sigma_1 - \sigma_3$) _p kgf/cm ²	($\frac{dv}{df}$) _p	ピーク間隙比 e _p
1-1-S	SST	0.94	0.620	4.08	0.84	0.650
1-2-S		1.92	0.644	7.60	0.70	0.671
1-3-S		2.96	0.683	11.37	0.77	0.704
1-4-S		4.92	0.608	17.79	0.46	0.640
2-1-M 2 3	MST-1	0.93 1.96 2.92	0.652 0.666 0.670	4.02 7.96 11.52	0.77 0.84 0.89	0.678 0.682 0.684
2-2-M 2 3	MST-2	0.94 1.95 2.92	0.643 0.676 0.692	4.17 7.42 10.66	0.90 0.64 0.48	0.669 0.684 0.697
3-1-SPC	SPC	0.5	0.680	---	---	---
3-2-SPC		0.5	0.630	---	---	---

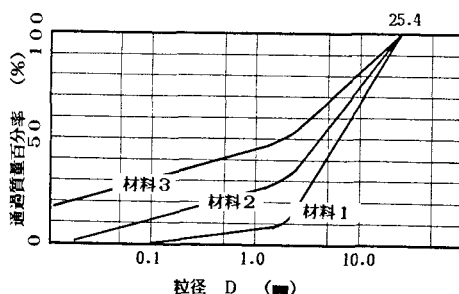


図-2 粗粒材の粒度分布

3. 粗粒材を用いた試験の概要

この試験に用いた試料は、市販の砂利等をもとに人工的に粒度調整したものである。これらの材料の粒度分布を図-2に示す。いずれの材料も試料径との関連から最大粒径D_{max}は25.4mmとした。

試験は、簡便さを考慮して、直径15cm、高さ33cmの中型三軸圧縮試験機を使用した。供試体は、モールドにて所定の締固めエネルギー ($E = 25.4 \times 10^4 \text{ mkgf/m}^3$) になるように12層に分けて最適含水比近傍で締固めた。各材料の密度、含水比を表-2に示す。また、MSTのパターンについては(その2)で示すように標準砂の試験ではMST-1、MST-2の両者の強度特性に差異が認められなかったため、試験の最も行いやすいMST-1を用いることとした。

試験条件は前項で述べた豊浦標準砂を使用した試験と同様にすべて排水条件で、せん断速度は0.1%/minを採用した。

試験結果および考察は(その2)に詳述する。

表-2 粗粒材の試験条件表

試験番号	材料名	試験種別	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	側圧 (kgf/cm ²)
1-1-S	1	SST	2.4	2.08	1.0
1-2-S			2.8	2.07	2.0
1-3-S			2.6	2.18	3.0
1-4-M 2 3	1	MST	2.7	2.18	1.0 2.0 3.0
2-1-S	2	SST	5.5	2.21	1.0
2-2-S			4.8	2.25	2.0
2-3-S			6.2	2.24	3.0
2-4-M 2 3	2	MST	5.3	2.27	1.0 2.0 3.0
3-1-S	3	SST	8.0	2.18	1.0
3-2-S			8.3	2.19	2.0
3-3-S			8.3	2.20	3.0
3-4-M 2 3	3	MST	8.3	2.18	1.0 2.0 3.0

参考文献

- 1) Kovari, K. et al.; Rock Mechanics, vol.7, 1975
- 2) 赤井 他; 土木学会論文報告集, No.311, pp.93~102, 1981
- 3) 上田 他; 第17回土質工学研究発表会, pp.509~512, 1982
- 4) 長谷川 他; 粗粒材料の変形・強度特性とその試験法に関するシンポジウム, pp.15~22, 1986
- 5) 桑原 他; 粗粒材料の変形・強度特性とその試験法に関するシンポジウム, pp.23~26, 1986