

III-10

セメントを添加した砂礫材料のせん断強度に関する基礎的検討

建設省土木研究所 正会員 佐藤小次郎 正会員 豊田光雄 中村昭

1. はじめに

現在、筆者らは砂礫材料にセメントを添加し、締固めすることによって材料の強度増加を図り、構造物を築造する工法の開発を目指している。

本報文は、セメントを添加した砂礫材料の三軸圧縮試験を行い、材料の応力～ひずみ特性および試験値のバラツキについて検討を行った結果を報告する。

2. 試験概要

試験に用いた材料は砂礫材料（表乾比重 $G_b=2.62$ 、吸水率 $Q=1.6\%$ ）にセメントを添加したものである。使用したセメントは高炉セメントB種である。試験は材料の応力～ひずみ特性を把握するために繰返し載荷による三軸圧縮試験と試験値のバラツキについて同一材料、同一試験条件による三軸圧縮試験を実施した。前者の試験では図-1に示すようにピーク荷重の大きさを想定し3段階の載荷パターン（ $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ の1/4、1/2、3/4）で実施した。すなわち、単位セメント量の多少によって載荷重の大きさは異なる。後者は、同一材料（単位セメント量 40Kg/m^3 と 60Kg/m^3 の両材料）での三軸圧縮試験であり、最適含水比で作製した供試体を7日養生したものを各々10供試体ずつ試験した。試験条件を整理したものを表-1に示す。図-2は三軸圧縮試験に用いた材料の粒度分布である。

表-1 試験条件

項 目	繰返し載荷試験	バラツキ試験
供試体寸法	$\phi 20 \times h 40\text{cm}$ 、最大径 37.5mm	
粒 度	細骨材率 $S/A=30\%$ 、 $U_c=21$	
単位セメント量	0.60, 100Kg/m^3	40.60Kg/m^3
含 水 比	最適含水比	
せん断速度	供試体高さの $0.05\%/min$	
養生日数	7日	

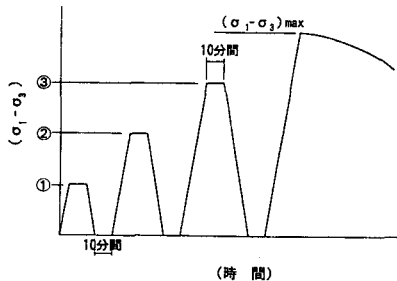


図-1 載荷パターン

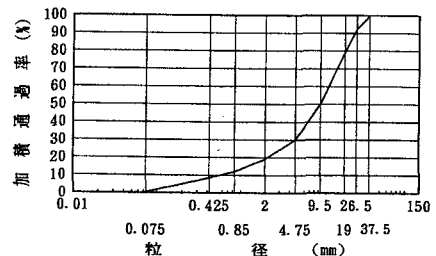
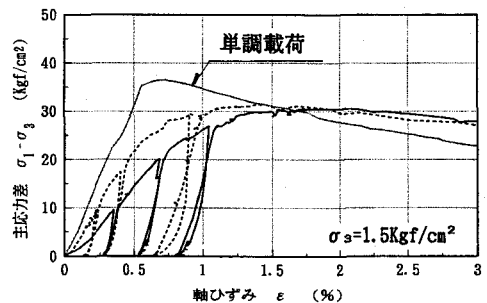


図-2 粒度分布

3. 試験結果および考察

3.1 繰返し載荷による応力～ひずみ特性

図-3は単位セメント量 60Kg/m^3 における応力～ひずみ曲線である。繰返し載荷試験は同一条件で2回行い、単調載荷の場合と比較したものである。同一試験でも試験値のバラツキはあるが、除荷した場合に塑性ひずみが生じる傾向を示している。強度的な評価を行うと単調載荷ではひずみが0.7%程度でピーク強度を生じているのに対し繰返し載荷ではピーク強度を生じるひずみが増大し（約1.5%となり）ピーク強度の大きさも約15%小さくなっている。比較のために砂礫材料の繰返し載荷の事例を図-4に示す。当然のことながら繰返

図-3 応力～ひずみ曲線 ($C=60\text{ Kg/m}^3$)

し、載荷ごとに塑性ひずみを生じている。強度評価では先ほどの傾向と異なり単調載荷に比べ繰返し載荷ではひずみ硬化が生じピーク強度が増加している。また、図示できなかったが単位セメント量 $100\text{Kg}/\text{m}^3$ でも単位セメント量 $60\text{Kg}/\text{m}^3$ に比べて小さいが塑性ひずみを生じている。すなわち、セメントを添加した砂礫材料の応力～ひずみ特性はセメント量が少なくなるほど弾性体ではなく、塑性的性質も持つ材料であると言える。

3.2 試験値のパラツキ

せん断強度に影響する要因には、大きく分けると人為的に制御が可能なもの（材料要因、試験要因）と、不可能なものに分けられる。制御が不可能なものとして、同一供試体で繰返し試験を行ったときに生じる試験値のパラツキがある。図-5は単位セメント量 $40\text{Kg}/\text{m}^3$ で10供試体の応力～ひずみ曲線を重ね合わせたものである。応力～ひずみおよび体積ひずみ変化の曲線は類似しているが、あるパラツキの幅を持っている。単位セメント量 $60\text{Kg}/\text{m}^3$ でも同様の傾向であった。この10個のデータのバラツキについてピーク時の主応力差、15%ひずみ時の主応力差および乾燥密度の分布性状を調べた結果を表-2に示す。表-2には粗粒材料（粒径 $63.5\sim 0.42\text{mm}$ 、班れい岩、均等係数 $U_c=12$ ）の試験結果¹⁾も併記している。図-6に単位セメント量とピーク時の主応力差および変動係数の関係を示す。図からわかるように単位セメント量が多いほどピーク時の主応力差の分布範囲は広がっている。これを変動係数で評価すると粗粒材料で約4%、単位セメント量 $40\text{Kg}/\text{cm}^2$ 、 $60\text{Kg}/\text{m}^3$ でそれぞれ約6%、約11%となっている。主応力差のパラツキの原因の1つとして個々の供試体の密度のパラツキが考えられるが、乾燥密度とピーク時の主応力差の相関は見られない。また、乾燥密度の変動係数は単位セメント量の多少によらず約1%となっている。すなわち、初期構造のパラツキおよび試験誤差がこれらのバラツキに反映しているものと考えられる。

4. まとめ

今回の試験結果により次のようなことが分かった。(1) $40\sim 60\text{Kg}/\text{m}^3$ のセメントを添加した砂礫材料は除荷時に塑性ひずみを生じており、その傾向は砂礫材料の場合とあまり変わらない。(2) 最大主応力差のパラツキはセメント量の増加に伴い大きくなる。参考文献1) 伊藤基博、豊田光雄他：ロック材料の三軸試験値のばらつき、第25回土質工学研究発表会、1990

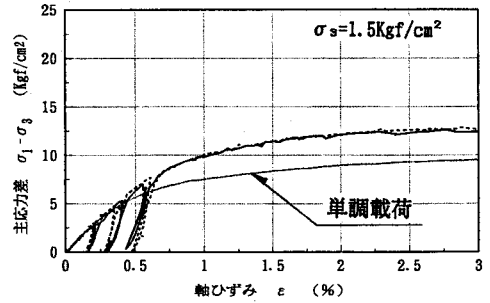


図-4 応力～ひずみ曲線（河床砂礫）

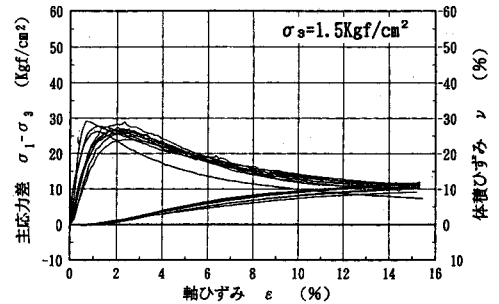


図-5 応力～ひずみ曲線（ $C=40\text{ Kg}/\text{m}^3$ ）

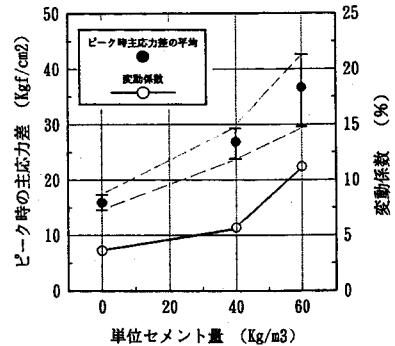


図-6 単位セメント量と最大主応力、変動係数

表-2 試験値のパラツキ

項 目		単位セメント量 (kg/m³)	試験値の範囲	平均値	標準偏差	変動係数 (%)	平均値の 90% 信頼区間
主応力差	ピーク時	4.0	23.93~29.04	26.89	1.52	5.7	26.01~27.77
		6.0	29.56~42.40	36.65	4.11	11.2	34.27~39.03
		粗粒材料	14.65~16.62	15.94	0.58	3.64	——
	15%密時	4.0	7.56~11.64	10.55	1.19	11.3	9.86~11.24
		6.0	8.31~16.49	12.35	2.32	18.8	11.01~13.70
乾燥密度 (t/m³)	4.0	2.108~2.169	2.131	0.021	1.0	——	
	6.0	2.110~2.197	2.152	0.022	1.0	——	