

◆ 報 文 ◆

ペースト量がCSGの材料特性に及ぼす影響

吉田 等* 平山大輔** 扇谷 昇*** 萩原 潤****

はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel) は、建設現場で容易に入手することができる掘削土砂や河床堆積物などの岩石質な原材料を洗浄せずに大玉だけを除去したもの（以下、「母材」と呼ぶ）に、セメント、水を添加し簡易混合して締固めた材料である。CSGは、母材の選択範囲が広く、施工の簡略化を図ることができることから、周辺環境への負荷の軽減、建設コストの縮減などを行うことが可能であり、新たなダム の堤体材料として注目を集めている。

CSGの物性値は、母材の粒度分布、単位水量、混合の程度などの変動にともない、ばらつくことが知られている¹⁾。また、CSGの応力ひずみ特性は弾塑性的であり、構造物を設計する際には、CSGの弾性領域を把握することが重要である。

このような、CSG特有の材料特性は、使用する母材の特性や施工方法などによるものと考えられるが、それ以外に、ペースト量不足という配合上の要因も考えられる。CSGは単位セメント量が少なく、施工性から単位水量もそれほど多く設定できないため、母材の空隙に対しペースト量が不足することが多い。

超貧配合コンクリートの材料特性については、すでに上阪らによる研究成果²⁾が報告されているが、本研究では、CSGという観点から、単位ペースト量が不足し、母材の空隙が十分に充填されていない状態におけるCSGの材料特性と物性値のばらつきについて、室内材料試験による調査を行ったものである。

1. 実験の目的

CSGの母材に添加するペースト量（セメント量+水量）が、CSGの圧縮強度、引張強度、弾性

係数、応力-ひずみ曲線などの材料特性およびその物性値のばらつきに及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、室内材料試験による検討を行った。なお、CSGの材料特性は、母材粒度、混合方法、締固め方法などの影響を受けるため、これらの条件はすべて一定とした。

2. 実験方法

2.1 使用材料

表-1に、実験に用いた材料とその物性を示す。セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、母材は最大粒径を150mmとし、粒度分布は「コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編」に

表-1 使用材料と物性値

使用材料	種類および物性
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度 3.21g/cm^3
母 材	安山岩, 細骨材率 $s/a = 30\%$
粒径 (mm)	0~5 密度 2.65g/cm^3 , 吸水率 1.86%
	5~10 密度 2.70g/cm^3 , 吸水率 1.26%
	10~20 密度 2.72g/cm^3 , 吸水率 0.97%
	20~40 密度 2.72g/cm^3 , 吸水率 0.78%
	40~80 密度 2.73g/cm^3 , 吸水率 0.53%
	80~150 密度 2.74g/cm^3 , 吸水率 0.31%
混 和 剤	AE減水剤 ポゾリスNo.8

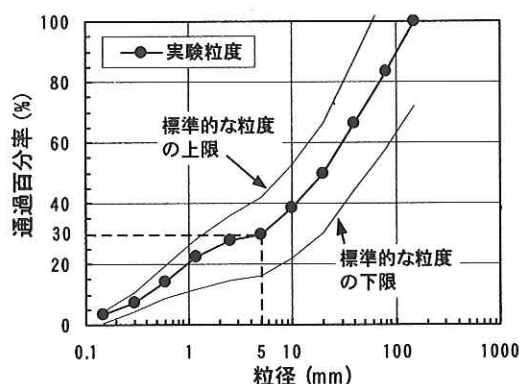


図-1 母材粒度分布

定める標準粒度内の平均的な値に設定した。母材の粒度分布を図-1に示す。

2.2 実験方法

表-2に、実験ケースを示す。基本ケースは、通常のRCD (Roller Compacted Dam-Concrete) 用コンクリートと同等のフレッシュ性状を有するCSGとし、標準VC (Vibration Compaction) 値20秒を満足する配合とした。この配合から、水セメント比を $W/C = 0.98$ で一定としたまま、供試体が作製可能な範囲まで単位ペースト量を減じていったのが、ケース1～6である。強度試験用の供試体は、 $\phi 150\text{mm} \times H300\text{mm}$ の円柱供試体であり、40mmふるいでウェットスクリーニングしたCSGを用いてRCD用コンクリート標準供試体作製装置(表-3に仕様を示す)により作製した。供試体は恒湿・恒温室において封緘養生を行い、材齢91日で圧縮強度試験、引張強度試験を行った。各試験に用いた供試体の数は、1ケースあたり20本(圧縮強度試験10本、引張強度試験10本)であり、平均値、変動係数(=標準偏差÷平均値)を求めた。

圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて行った。試験時には載荷荷重、供試体全体変位を計測し、供試体が破壊荷重に到達した後も、しばらく載荷を継続し、破壊後の変位を計測した。計測機器の配置を図-2

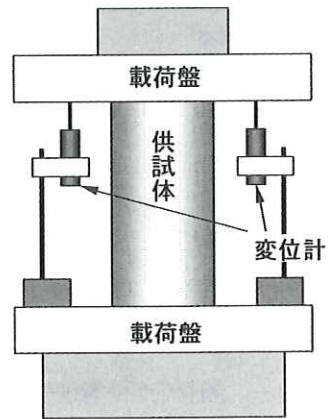


図-2 圧縮強度試験における計測器設置状況

に示す。

引張強度試験は、JIS A 1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に準じて行った。

2.3 圧縮強度試験のデータ整理

圧縮強度試験のデータは、図-3に示す応力-ひずみ図により整理した。応力の最大値をピーク圧縮強度と定義し、応力-ひずみ曲線における直線部を弾性領域、弾性領域における最大圧縮応力を弾性領域圧縮強度と定義した。

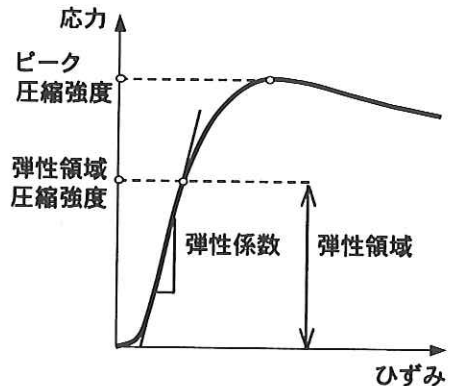


図-3 応力-ひずみ

表-2 実験ケースと配合

ケース	配合条件	単位量 (kg/m ³)			試験項目
		ペースト	水	セメント	
基本		198	98	100	
1	Gmax = 150mm	183	91	92	圧縮強度試験
2		163	83	85	
3	W/C = 0.98	153	76	77	
4	s/a = 30%	138	68	70	引張強度試験
5		108	53	55	
6		78	39	39	

表-3 RCD用コンクリート標準供試体作製装置の仕様

項目	仕様
モールド	内径150mm×内高300mm
振動数	3,000回/分(振幅1mm)
起震力	140kgf
締固時間	可変式(本実験では、1層あたり40秒、3層に分けて締固めた)

3. 実験結果

3.1 単位容積質量

CSGの単位容積質量比と単位ペースト量の関係を図-4に示す。ここで、単位容積質量比とは、理論配合上の単位容積質量に対するCSG供試体の単位容積質量の比である。単位ペースト量の増加にともない、単位容積質量比が大きくなることを確認できる。標準VC値が20秒であり、RCD用

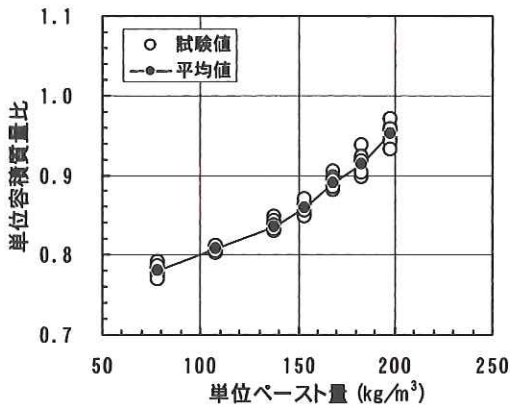


図-4 単位容積質量比と単位ペースト量の関係

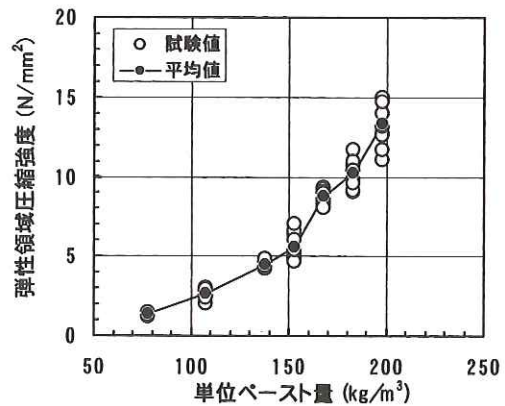


図-6 弾性領域圧縮強度と単位ペースト量の関係

コンクリート相当の十分な締固めがなされている基本ケースでは、単位容積質量比が約0.95と大きく、母材の空隙がペーストによりほぼ充填されていると考えられる。これに対し、単位ペースト量が減少すると、母材の空隙を十分に満たすだけのペースト量が不足し、単位容積質量比が低下するものと考えられる。

3.2 圧縮強度

ピーク圧縮強度、弾性領域圧縮強度と単位ペースト量の関係を図-5、6に示す。ピーク圧縮強度、弾性領域圧縮強度とも、単位ペースト量の増加とともに大きくなる傾向が確認できる。

図-7は、弾性領域圧縮強度とピーク圧縮強度と関係を示したものである。弾性領域圧縮強度とピーク圧縮強度の間には強い相関関係が認められ、単位ペースト量によらず、弾性領域圧縮強度は

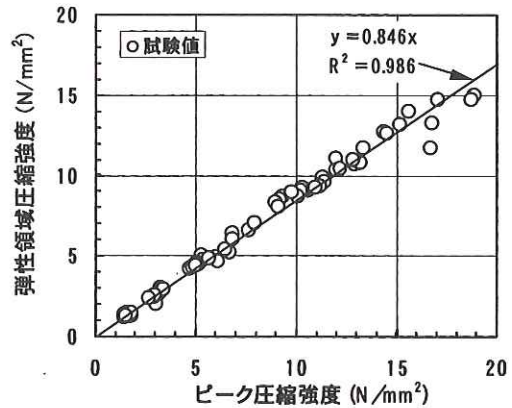


図-7 弾性領域圧縮強度とピーク圧縮強度の関係

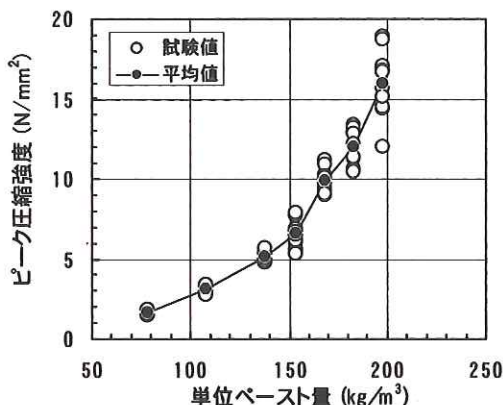


図-5 ピーク圧縮強度と単位ペースト量の関係

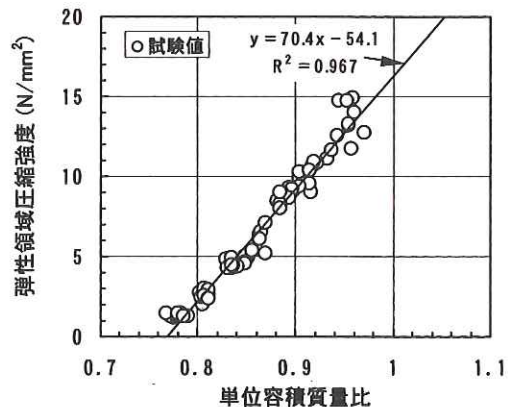


図-8 弾性領域圧縮強度と単位容積質量比の関係

ピーク圧縮強度の約85%という結果であった。このことから、CSGの応力-ひずみ曲線において、弾性領域は、単位ペースト量によらず一定であると考えられる。

弾性領域圧縮強度と単位容積質量比との関係を図-8に示す。この図から、単位容積質量比に比例して弾性領域圧縮強度が大きくなることを確認できる。CSGの単位容積質量は、単位ペースト量以外にも材料の粒度分布、施工方法などの影響を受けるが、CSGの強度を管理する上で、単位容積質量は重要な項目の1つと考えられる。

3.3 弾性係数

弾性係数と単位ペースト量の関係を図-9に示す。単位ペースト量の増加にともない、弾性係数が大きくなることを確認できる。

図-10は、弾性係数と弾性領域圧縮強度の関係

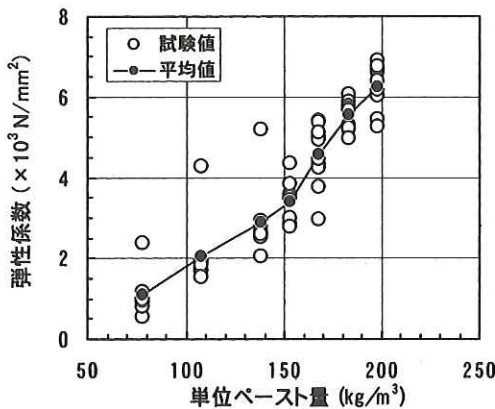


図-9 弾性係数と単位ペースト量の関係

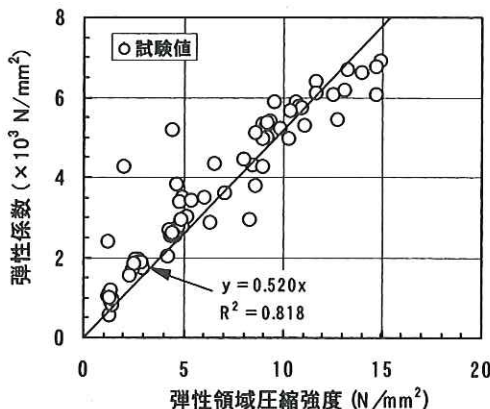


図-10 弾性係数と弾性領域圧縮強度の関係

を示したものである。弾性係数と弾性領域圧縮強度には相関関係が認められ、弾性領域圧縮強度に比例して弾性係数が大きくなる。

弾性係数と単位容積質量比の関係を図-11に示す。単位容積質量比に比例し、弾性係数が大きくなることを確認できる。圧縮強度と同様、単位容積質量はCSGの弾性係数を管理する上で重要な項目の1つと考えられる。

3.4 引張強度

図-12に引張強度と単位ペースト量の関係を示す。単位ペースト量が大きくなるにしたがって引張強度が大きくなる傾向が確認できる。

引張強度と弾性領域圧縮強度の関係を図-13に、引張強度とピーク圧縮強度の関係を図-14に示す。弾性領域圧縮強度、ピーク圧縮強度と引張強度との間には相関関係が確認でき、引張強度は弾性領

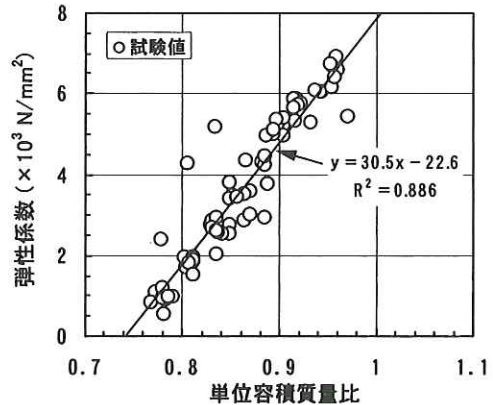


図-11 弾性係数と単位容積質量比の関係

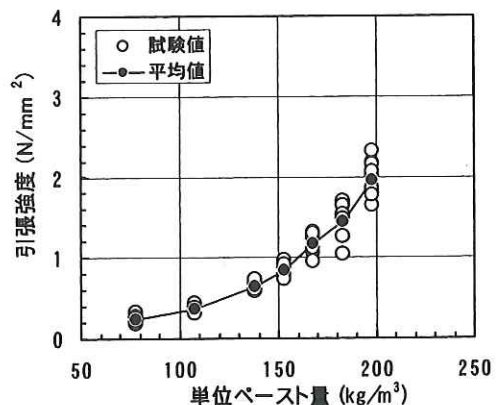


図-12 引張強度と単位ペースト量の関係

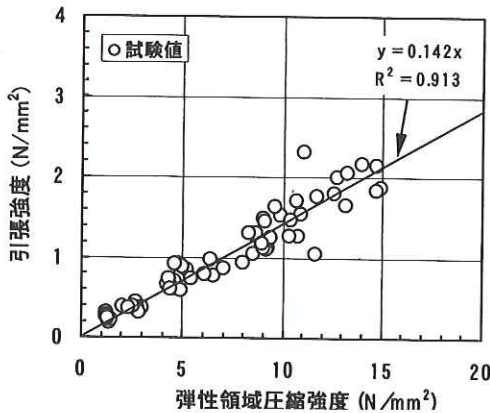


図-13 引張強度と弾性領域圧縮強度の関係

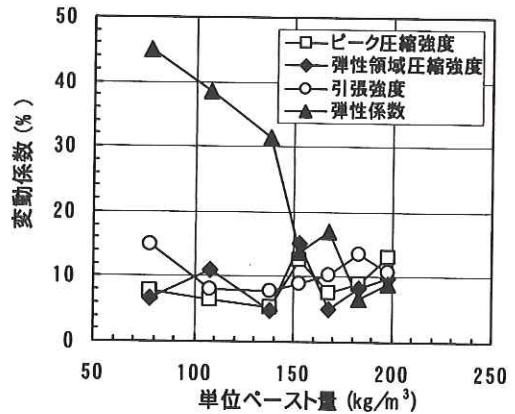


図-15 変動係数と単位ペースト量の関係

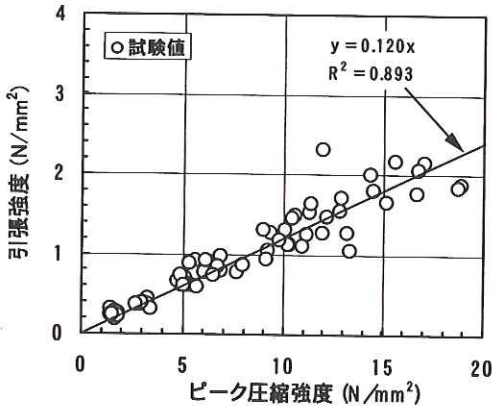


図-14 引張強度とピーク圧縮強度の関係

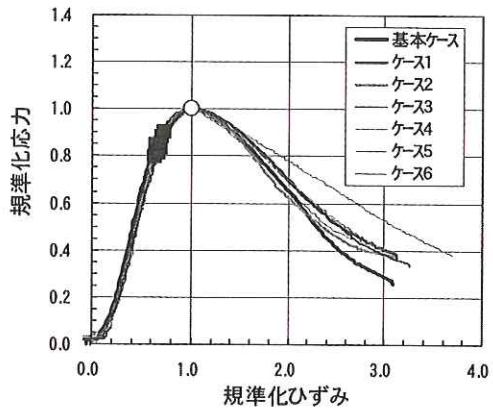


図-16 規準化した応力-ひずみ曲線

域圧縮強度の約15% (およそ1/7程度)、ピーク圧縮強度の約12% (およそ1/8程度)である。単位ペースト量が小さいケースでは、試験後の供試体破壊面観察において空隙などが認められたものの、圧縮強度に比例した引張強度が得られた。このことから、圧縮強度と引張強度の関係は単位ペースト量の影響を受けないと考えられる。

3.5 変動係数

図-15に、物性値 (ピーク圧縮強度、弾性領域圧縮強度、引張強度、弾性係数) の変動係数と単位ペースト量の関係を示す。

ピーク圧縮強度、弾性領域圧縮強度、引張強度の変動係数は、単位ペースト量によらず10%前後であるが、弾性係数の変動係数は、ペースト量の減少にともない大きくなる傾向を示した。

3.6 応力-ひずみ曲線

図-16に単位ペースト量ごとの平均的な応力-ひずみ曲線を示す。図中の曲線は、ピーク圧縮強度とそのときのひずみにより規準化したものであり、○印はピーク圧縮強度、■印は弾性領域圧縮強度を示している。規準化した応力-ひずみ曲線は、単位ペースト量によらず、ほぼ1つに重なっている。特に、ピーク強度以降、延性的に強度低下する領域においても、応力-ひずみ曲線の形状が類似していることが確認できる。

4. まとめ

本実験では、CSGの基本的な材料特性を明らかにするために、単位ペースト量に着目した室内材料試験を実施した。その結果をまとめると、以下のとおりである。

- ①CSGの単位容積質量比、ピーク圧縮強度、引張強度、弾性領域圧縮強度、弾性係数は、単位ペースト量に比例する。
- ②弾性領域圧縮強度に対するピーク圧縮強度、引張強度、弾性係数の物性値の比率は、単位ペースト量によらず一定である。
- ③単位ペースト量の減少にともない、弾性係数の変動係数が増加する傾向がみられる。
- ④規準化したCSGの応力－ひずみ曲線は、単位ペースト量によらず同一であり、弾性領域の範囲もほぼ同一である。
- ⑤実施工におけるCSGの物性値の管理手法として、単位容積質量管理が有効と考えられる。

今回の実験では、単位ペースト量を減じていても、ピーク圧縮強度、弾性領域圧縮強度、引張強度の変動係数に変化が見られなかった。しかしながら、弾性係数については、単位ペースト量の減少にともない、変動係数が大きくなる傾向がみられた。これは、単位ペースト量が少ないことにより、供試体内の空隙が多くなり、圧縮応力を受けた際に不等な変形が生じたためと考えられる。

今後、CSGの材料特性に影響を及ぼすその他の要因について引き続き調査を進めるとともに、CSGの材料特性を考慮したダムの設計手法についても研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 藤沢侃彦ほか：台形CSGダムの特徴と現在までの検討状況，ダム技術，No.191，pp.2-23，平成14年8月
- 2) 上阪恒雄ほか：超貧配合コンクリートの力学特性に関する調査，土木研究所資料 第3656号，平成11年7月

吉田 等*



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部流
域管理研究官
(前 ダム研究室長)
Hitoshi YOSHIDA

平山大輔**



同 ダム研究室研究官
Daisuke HIRAYAMA

扇谷 昇***



大成建設(株)東京支店小
松川第二ポンプ所(作)
(前 ダム研究室交流研
究員)
Noboru OUGIYA

萩原 潤****



同 ダム研究室交流
研究員
Jun HAGIWARA