

# 論文 粘性土を含んだ CSG のフレッシュ特性および硬化特性について

大矢通弘<sup>\*1</sup>・天明敏行<sup>\*2</sup>・村上祐治<sup>\*3</sup>・小林貞之<sup>\*4</sup>

**要旨:**粘性土を多く含んだ CSG (Cemented Sand and Gravel) のフレッシュ特性および硬化特性の把握を目的にして室内試験を行い, CSG の配合と締固め特性および強度特性との関係を検討した。その結果, 粘性土を多く含む CSG において, 細骨材の水分量把握に乾燥加速度法の適用の可能性があること、単位水量設定後所要強度から単位セメント量を求めるというコンクリートの配合手順が基本的に適用可能であること等を明らかにした。

**キーワード:**CSG, 骨材, 粘性土, フレッシュ特性, 硬化特性, 締固め

## 1. はじめに

CSG 工法は、現地発生材に水とセメントを添加して練混ぜ強度増加を図る工法であり、経済性および資源の有効利用の面から注目されている。特に近年、仮締切堤や押え盛土工等のダム工事の仮設構造物を中心に適用事例が増えている<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。また、砂防ダム本体袖部に本設構造物として適用した事例も見受けられる<sup>5)</sup>。ただし、これまでの CSG は粘土・シルト分の含有量の少ない河床砂礫等の材料を骨材として使用したケースがほとんどであった。

公共事業に対するコスト縮減および周辺環境への影響を最小限に抑えるという社会的要請を考慮すると、今後河床砂礫材以外に、粘性土を多く含む場合であっても現地発生材をそのまま流用して CSG を検討するケースが増加していくものと予想される。

本論文は、粘土・シルト分を多く含む現地掘削材を用いた CSG の室内配合試験を行い、その骨材特性とフレッシュ特性および硬化特性を明らかにすることにより、材料面における CSG の適用範囲の拡大を図るものである。

## 2. 試験の概要

## 2. 1 使用材料

表-1 に CSG に使用した材料を示す。セメント・骨材・水のみであり混和材等は使用していない。また、図-1 に使用骨材の粒度曲線を表-2 に物理特性をそれぞれ示す。表に示す細骨材および粗骨材の区分は、全粒径の材料を自然含水比状態で 5mm ふるいを用いて行ったものである。通常のコンクリート用細骨材の洗い損失量 (0.075mm 以下の粘土・シルト分) の限度が 3~5% であることを考慮すると、今回の細骨材における洗い損失量は 19% であり非常に大きいこと、また吸水率も 11% と比較的大きい値を示していることがわかる。

表-1 使用材料

項目	仕様
セメント	高炉セメントB種 JIS R5211 (比重3.04、比表面積3,850cm <sup>2</sup> /g)
骨材	Aダム地点堤体掘削すり
水	茨城県つくば市水道水

## 2. 2 試験方法

### (1) 骨材試験

配合計算における骨材の表面水率補正は、通常のコンクリートと同様に JIS 規定に基づき吸水率を測定して行った。即ち、細骨材では JISA1109 に基づき、湿潤試料を順次乾燥させな

\* 1 (株) 間組土木本部ダム統括部主任 工修 (正会員)

\* 2 (株) 間組土木本部ダム統括部 (正会員)

\* 3 (株) 間組技術研究所技術研究部土木研究室主任研究員 工博 (正会員)

\* 4 (株) 間組土木本部ダム統括部課長

表-2 物理特性

試験項目	細骨材	粗骨材	全粒径
含水比試験 (JISA1203)	—	—	11.6%
洗い試験 (JISA1103)	19.0%	3.0%	—
比重吸水試験 (JISA1109、1110)	表乾比重 吸水率	2.30 11.23%	2.54 0.54% 3.44%
安定性試験 (JISA1122)	13.2%	4.1%	—

がらフローコーンに詰めコーンを引き上げた時に細骨材のコーンが初めて崩れる状態を表乾状態として判定した(フローコーン法)。また、粗骨材では JISA1110に基づき、十分吸水させた試料の表面を布で拭いて表乾状態とした。ただし、粘性土を多く含む細骨材の場合には上記のフローコーン法の適用には問題のあることが指摘されており<sup>6)</sup>、比較のために乾燥加速度法による細骨材の表乾状態の把握も試みた。

乾燥加速度法は、温度40℃、湿度40%の定常状態で試料を乾燥させ、乾燥過程における時間-質量変化から乾燥加速度曲線を求め、乾燥加速度がピーク(特異点)を示す点の含水状態を骨材の見掛けの表乾状態とするものである<sup>7)</sup>。試料は自然含水比状態でふるい分けした0-5mm、5-20mmの2種類とし、それぞれ2回測定を行った。

### (2) CSGの練混ぜ

CSGの練混ぜは JISA1138「試験室におけるコンクリートの作り方」に準拠した。135リットルの可傾式ミキサ用い、1バッチ当たり80リットルの練混ぜを行った。図-2にバッチごとの配合試験の手順を示す。配合は単位セメント量を60kg/m<sup>3</sup>~140kg/m<sup>3</sup>、単位水量を170kg/m<sup>3</sup>~280kg/m<sup>3</sup>の範囲で変化させた。全粒径で練混ぜ後、40mmでウェットスクリーニングしたものと試料とし、各種試験を行った。

### (3) フレッシュなCSGの性状確認

フレッシュなCSGの性状を把握するために、標準VC試験、単位容積重量、空気量、温度測定を行った。なお、標準VC試験はRCD工法技術指針(案)「付録-1.振動台式コンシスタンシー試験方法」によった。

### (4) 硬化したCSGの性状確認

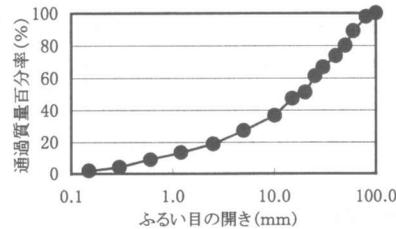


図-1 粒度曲線

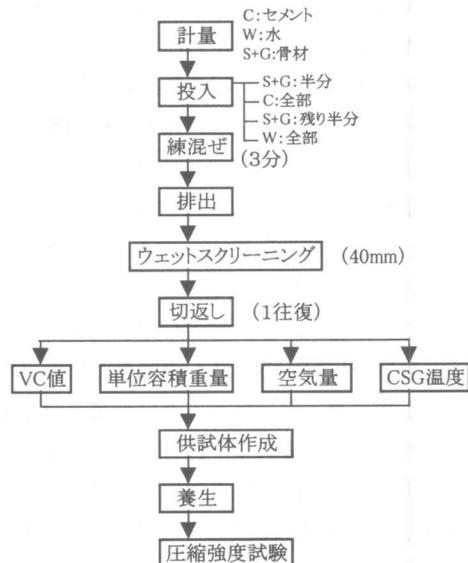


図-2 配合試験の手順

供試体の作成は、RCD工法技術指針(案)「付録-2.圧縮強度試験用供試体の作成方法」に準拠した。供試体は直径15cm、高さ30cmとし水中養生を行った後、JISA1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて材齢7日、28日に一軸圧縮強度試験を行った。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 骨材試験

#### (1) 乾燥加速度法による表乾状態の把握

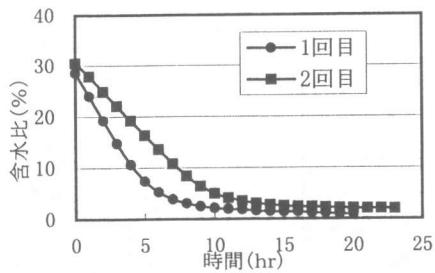


図-3 含水比の経時変化  
(0-5mm)

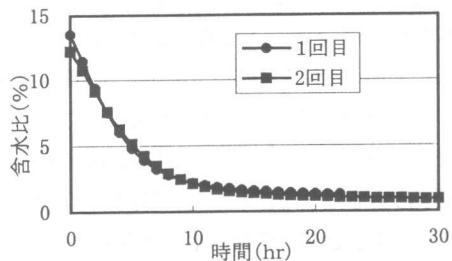


図-6 含水比の経時変化  
(5-20mm)

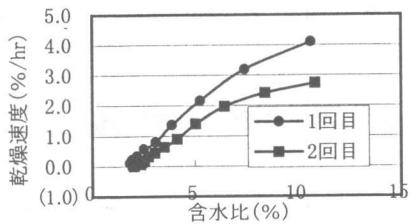


図-4 含水比と乾燥速度  
(0-5mm)

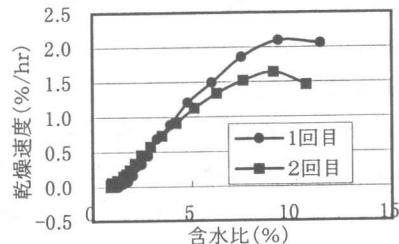


図-7 含水比と乾燥速度  
(5-20mm)

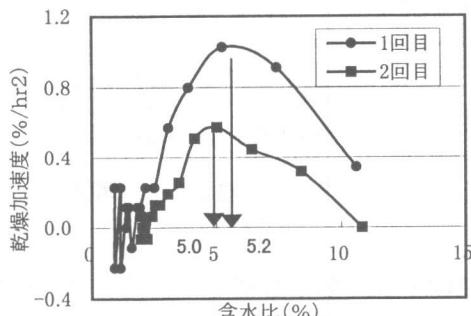


図-5 含水比と乾燥加速度  
(0-5mm)

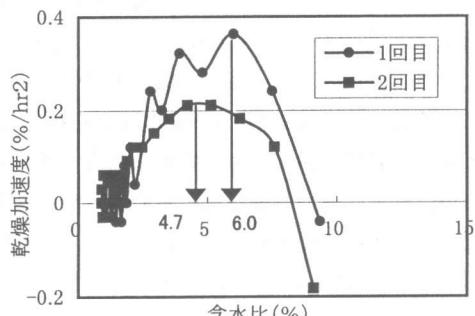


図-8 含水比と乾燥加速度  
(5-20mm)

図-3～5に0-5mm 試料の、図-6～8に5-20mm 試料の測定結果をそれぞれ示す。また、表-3に乾燥加速度法およびJIS法によりそれ求めた吸水率の比較を示す。ここでJIS法は0-5mm 試料に対してはJISA1109のフローコーン法、5-20mm 試料に対してはJISA1110の吸水後表面水を拭きとる方法により、それぞれ表乾状態を判定したものである。表より、測定方法の違いによる吸水率の差異が認められる。

0-5mm 試料においては乾燥加速度法の方が小さい吸水率を示すが、これはフローコーン法においては、細粒分同士の固まりの内部に含ま

表-3 吸水率の比較

測定方法	0-5mm	5-20mm
乾燥加速度法	1回目 5.2	6.0
	2回目 5.0	4.7
	平均 5.1	5.4
JIS法	1回目 10.72	0.53
	2回目 11.73	0.61
	平均 11.23	0.57

(単位:%)

れる水分等により、より多くの水分を保有した状態で表乾状態を把握しているためと考えられる。また、5-20mm 試料においては乾燥加速度法の方が大きい吸水率を示すが、これは試料の状態による差によるものと考えられる。即ち、JIS

法では水洗いを行うが、今回の乾燥加速度法では粗粒材に付着している細粒分の影響を調べるために水洗いせずに測定したため、細粒分の保有する水分の量だけ含水比が大きく出たものと考えられる。以上の粘性土が骨材の保水状況に及ぼす影響を概念的に示したのが図-9である。

### (2) 粘性土を含む骨材の水分量管理

骨材の水分量管理では、骨材中にセメントとの反応に寄与する正味の水分量がどれだけあるかをいかに正確に把握するかがポイントとなる。骨材の表乾状態はこの基準を与えるものであり、表乾状態より乾燥側にある吸水率分は反応に寄与しない水分、表乾状態より湿潤側にある表面水率分は反応に寄与する水分として捉えられる。粘性土を多く含む骨材の場合には、上記の細粒分同士の固まりや粗骨材に付着する細粒分の影響等により JIS 法による表乾状態の把握だけでは、実際にセメントとの反応に寄与する水分量を正確に把握できない可能性があるといえる。

一方、フローコーン法と比較して乾燥加速度法には費用および測定時間の課題はあるものの、細粒径の試料に対しても測定値のばらつきが少ない、表乾状態の判定に測定者の恣意が入る余地がない等の利点を有することにより、今後粘性土を多く含む CSG の骨材の水分量管理への適用の可能性を考えられる。

### 3. 2 フレッシュなCSGの特性

#### (1) 単位水量とコンシスティンシー

図-10に単位セメント量を  $80\text{kg/m}^3$  に固定した場合の単位水量と VC 値の関係を示す。RCD 用コンクリートと同様に、単位水量の増加に伴う VC 値の減少傾向が認められる。ただし、RCD 用コンクリートで施工上の目安とされる VC 値 20 秒前後では、CSG の練上がり時の流動性が大きく、また練混ぜ時のモルタル分のミキサ壁面への付着が顕著であることから、振動ローラ等による締め施工は困難であると判断される。

練混ぜ状況の観察に基づき、トラフィカビティの確保やウェイビング現象の発生を考慮した施工性から判断すると、単位水量は  $W=200\text{kg/m}^3$

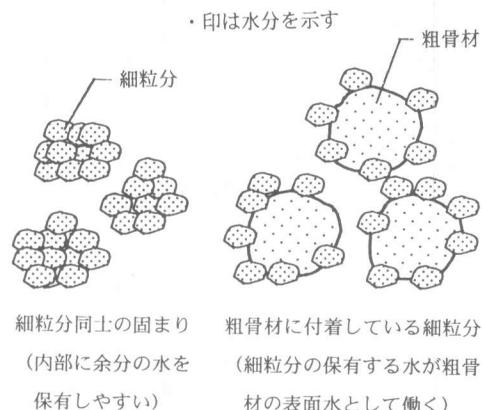


図-9 粘性土が骨材に及ぼす影響

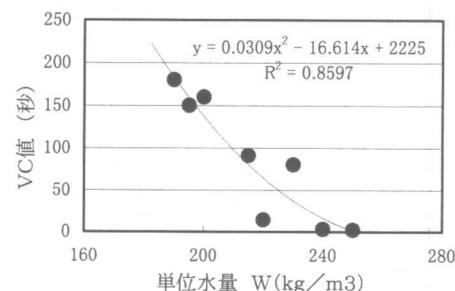


図-10 単位水量とVC値の関係  
(C=80kg/m3)

前後が最適である。ただし、この時の VC 値は 100~150 秒の範囲を有することになり、この範囲における測定値のばらつきや粘性土を多く含むことによるモルタル分の浮かび上がりへの影響等を考慮すると、施工性を考慮した CSG のコンシスティンシーを VC 値で評価することは難しいと考えられる。なお、空気量は 2.1~6.8%（平均 4.1%）、練り上がり温度は 21.0~23.0°C（平均 22.2°C）の範囲であった。

#### (2) 単位水量と単位容積重量の関係

図-11に単位セメント量を  $80\text{kg/m}^3$  に固定した場合の単位水量と単位容積重量の関係を示す。図より単位水量が  $W=230\text{kg/m}^3$  附近に単位容積重量のピークがあること、単位水量が小さくなれば単位容積重量のばらつきが大きくなることが推測される。特に、ピークの存在は CSG

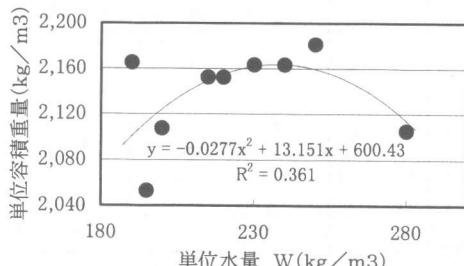


図-11 単位水量と単位容積重量の関係  
(C=80kg/m<sup>3</sup>)

の締固めにおいても土の締固め特性における最適含水比と同様の状態が存在することを示している。

### (3) 単位水量と密度比の関係

図-12に単位セメント量を 80kg/m<sup>3</sup> に固定した場合の単位水量と密度比の関係を示す。密度比は測定した単位容積重量を示方配合から求まる理論密度で除した値である。図-12では図-11のように曲線のピークが明確ではなくより右肩上がりの曲線関係に近づく。これは、単位水量が大きくなる程、密度の絶対値はともかく、理論密度に対しての締まり易さは大きくなることを示している。また、図より単位水量が 200kg/m<sup>3</sup> であれば理論密度の 95% を確保できることが分かる。ただし、単位水量を増加させることにより密度比が増し空隙の少ない CSG が得られる反面、単位水量增加に伴う強度低下の影響も考えられるため、単位水量の設定においてはこの両関係を考慮する必要がある。

## 3.3 硬化したCSGの特性

### (1) 単位セメント量と圧縮強度の関係

図-13に単位セメント量と圧縮強度の関係を示す。単位水量が 200kg/m<sup>3</sup> および 220kg/m<sup>3</sup> の場合とも、通常のコンクリートと同様に、単位セメント量と圧縮強度との間には正の線形関係が認められる。今回の空気量の変動を考慮すると、空気量の差異が強度に与える影響よりも単位セメント量の差異が強度に与える影響の方が大きく出ていることが分かる。

### (2) セメント水比と圧縮強度の関係

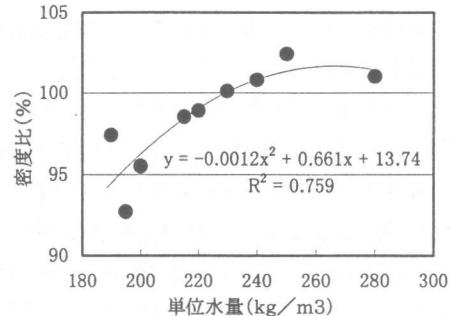


図-12 単位水量と密度比の関係  
(C=80kg/m<sup>3</sup>)

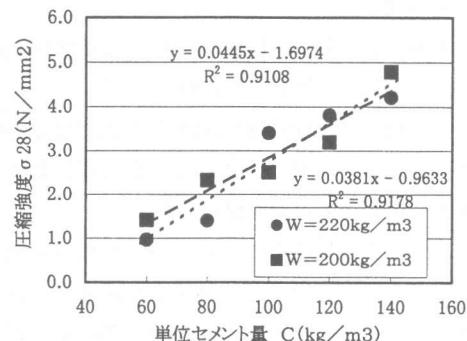


図-13 単位セメント量と圧縮強度の関係

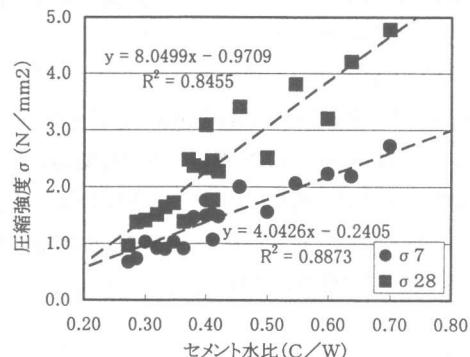


図-14 セメント水比と圧縮強度の関係

図-14にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。7日強度および28日強度とも、通常のコンクリートと同様に、セメント水比と圧縮強度との間には正の線形関係が認められる。

### (3) 密度比と圧縮強度の関係

図-15に単位セメント量を 80kg/m<sup>3</sup> に固定した場合の密度比と圧縮強度の関係を示す。図より、密度比の増加に伴う圧縮強度の低下傾向

が認められる。通常は、密度比が大きく空隙の少ない程圧縮強度は大きくなるが、図では逆の傾向が現れている。これは、図-12に示す密度比と単位水量の関係の影響であり、当該範囲においては単位水量の増加による強度低下の影響がより大きく出ているためと考えられる。密度比が当該範囲よりも小さい場合には、逆に空隙が多くなることにより強度が低下し、そのためある密度比において圧縮強度のピークが現れることが推測される。

#### 4.まとめ

本研究により、粘土・シルト分を多く含むCSGにおいて以下の知見が得られた。

- (1) CSGの品質管理には細骨材の水分量把握が非常に重要である。この水分量把握に乾燥加速度法の適用の可能性が考えられる。
- (2) 単位水量の増加に伴うVC値の減少傾向が認められる。ただし、施工上最適なコンシステンシーをVC値によって判断することは難しい。
- (3) 締固め特性において土の最適含水比と同様の状態が存在する。
- (4) 単位セメント量およびセメント水比と圧縮強度との間には正の線形関係が認められる。
- (5) 単位水量の増加に伴い密度比は増加する。また、密度比の増加に伴う圧縮強度の低下傾向が認められ、当該範囲においては単位水量の増加による強度低下の影響がより大きい。

#### 5.おわりに

粘土・シルト分を多く含むCSGにおいても単位水量設定後、所要強度から単位セメント量を求めるという通常のコンクリートの配合手順が基本的に適用可能であることが分かった。ただし、単位水量の設定およびその根拠となる細骨材の表面水率の把握については、粘性土を多く含む場合の測定方法に対するさらなる検討が必要である。また、VC値ではCSGのコンシステンシーを判定することは難しく、これに代わ

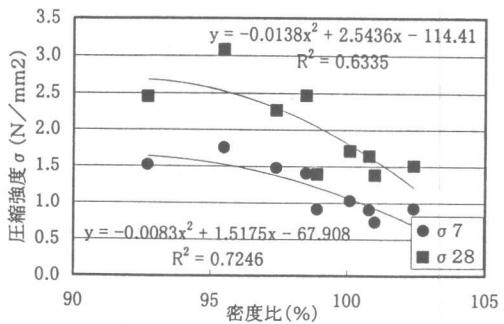


図-15 密度比と圧縮強度の関係  
(C=80kg/m³)

る方法の開発が望まれる。今回は室内配合試験後、現場試験施工を行って最終的に本施工における配合を決定した。

#### 参考文献

- 1) 永山功・渡辺和男・西澤賢太郎：貧配合コンクリートの力学特性、ダム技術、No.139, pp25-32, 1998.4
- 2) 中村昭・豊田光雄・山本裕之・川口昌尚：CSGの工学的性質と施工、土木技術資料36-10, pp. 40-45, 1994
- 3) 松長敏美：久婦須川ダムの概要とCSG工法の材料試験結果について、ダム日本、No.612, pp.53-72, 1995
- 4) 高橋征夫・塙本康二・永江啓師：CSG工法の試験施工について、ダム技術、No.140, pp. 33-40, 1998.5
- 5) 脇芳弘・小山和司・安井輝明・内田淳美：CSG工法を適用した砂防ダム堤体の締固め特性について、土木学会第52回年次学術講演会, pp. 350-351, 1998.9
- 6) コンクリート用骨材研究グループ：コンクリート用細骨材の表乾状態の判定法に関する研究、セメント・コンクリート、No. 517, 1990
- 7) 川村政史・笠井芳夫：ソイルセメントコンクリート製造のための土の見掛けの表乾状態試験方法に関する実験研究、コンクリート工学論文集、第7巻第1号, pp. 103-111, 1996