

論文 CSG の経時変化に関する実験的考察

平山 大輔*¹・川崎 秀明*²・西山 浩史*³・小島 伸介*⁴

要旨：ダム関係構造物において、近年急速に施工例が増え新しい堤体材料として期待を集めている CSG は、基本的に無分級無洗浄の河床砂礫や掘削ズリなどの近傍調達材に少量のセメントと水を混合して、低コストを実現した材料である。一方、ダムにおける CSG 施工は、RCD 工法と同様に面状に広く大量の打設を行うことを前提としているため、混合後から締固めまでの時間差が生じるのは避けられない。よって、適切な施工を行うためには、放置時間が、フレッシュ性状や圧縮強度などの CSG 特性に及ぼす影響を把握しておく必要がある。そこで室内試験を実施し、温度条件、放置時間と CSG の材料特性の関係を明らかにした。
キーワード：CSG, 温度条件, 放置時間, 経時変化, 微粒分, VC 試験, 圧縮強度試験

1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel) は、基本的に無分級無洗浄の河床砂礫や掘削ズリなどの近傍調達材に少量のセメントと水を混合して低コストを実現した材料である。一般的に、CSG はコンクリートと比べて単位セメント量 (60~80 kg/m³ 程度) と単位水量がともに少なく、強度も低い。そのため、ダムの堤体材料として用いる場合には、材料強度 (特に引張強度) をあまり必要としない台形ダムと組み合わせることで、合理的な設計が可能となる。

コスト上は、コンクリート骨材に相当する CSG 母材を採取されたままの粒度、含水状態で使用することから、骨材製造設備などを省略し、混合設備を簡素化する利点を有する。さらに、掘削ズリや河床砂礫を母材として有効利用できるため、新たに材料山での採掘を必要とせず、採取コストを縮減でき、かつ自然環境負荷の低減にも大きく寄与することができる。このような理由から、最近では、CSG に関する材料および混合装置などの研究が官民一体となって盛ん

に進められているのが現状である。

一方、ダムにおける CSG 施工は、RCD 工法と同様に面状に広く大量の打設を行うことを前提としているため、混合後から運搬とブルドーザ敷均しを経て振動ローラによる締固めまでの時間差 (以下、放置時間) が生じるのは避けられない。よって、適切な施工を行うためには、放置時間がフレッシュ性状や圧縮強度などの CSG 特性に及ぼす影響を把握しておく必要がある。

なお、RCD 工法では、フレッシュ性状において、VC 値が 50 秒を超えると締固めが困難とされており、経時変化の余裕幅内で放置時間の規制 (2~4 時間が普通) を設けている。このことは、放置時間内は締固めが可能なワーカビリティを保つ必要があることを示している。CSG についても実際の施工を考えた場合、温度や日照などの厳しい気象条件を想定して、放置時間による CSG 特性への影響を把握する必要があると考えられる。

本論文では、温度条件を変えた中での混合後

*1 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 ダム研究室主任研究官 (正会員)
 *2 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 ダム研究室室長 工博 (正会員)
 *3 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 ダム研究室交流研究員
 *4 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 ダム研究室交流研究員

から締固め完了までの放置時間の違いにより、フレッシュ時及び硬化後の CSG 特性にどのような影響を与えるかを明らかにしたものである。

2. 使用材料

2.1 使用材料

使用材料の種類および物性を表-1に示す。

表-1 使用材料の種類および物性

使用材料	種類及び物性
セメント	普通ポルトランドセメント 密度 = 3.21 g/cm ³ 比表面積 = 3,360 cm ² /g
母材 (0~5mm)	岩種：安山岩 (スクリーニングス) 密度 = 2.71 g/cm ³ , 吸水率 = 1.00 % 粗粒率 = 2.17
母材 (mm)	岩種：安山岩
80~40	密度 = 2.71 g/cm ³ , 吸水率 = 0.74 %
40~20	密度 = 2.72 g/cm ³ , 吸水率 = 0.79 %
20~10	密度 = 2.72 g/cm ³ , 吸水率 = 1.04 %
10~5	密度 = 2.67 g/cm ³ , 吸水率 = 1.68 %
混和剤	A E 減水剤 遅延形 I 種

2.2 CSG 母材の粒度

実験に用いた母材 (0~5mm) には、微粒分を多く含み、コンクリート標準示方書 (ダムコンクリート編) の標準粒度を満足しないスクリーニングスを用い、母材 (5~80mm) については、標準粒度範囲内のものを使用した。なお、このスクリーニングスは、粗骨材製造時に発生する微粒分で粒径が 2.5mm 以下のものを用いた。母材 (0~5mm) の粒度を表-2、図-1に、全母材の粒度曲線を図-2に示す。

表-2 母材 (0~5mm) の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)	粒径別百分率 (%)					
	0.15 以下	0.15 ~0.3	0.3~0.6	0.6~1.2	1.2~2.5	2.5~5.0
標準粒度上限	15	20	30	30	25	20
スクリーニングス	19	15	20	22	24	0
標準粒度下限	2	12	15	10	10	5

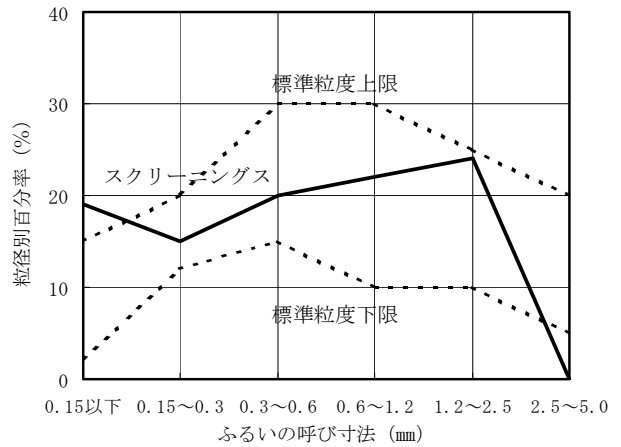


図-1 母材 (0~5mm) の粒度

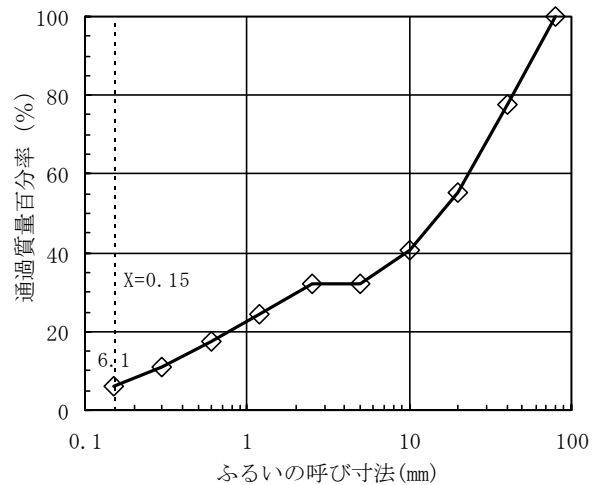


図-2 母材の粒度曲線

3. 実験方法

3.1 実験配合

実験に用いた CSG の配合条件を表-3に、配合表を表-4に示す。

表-3 配合条件

母材の最大寸法	80mm
単位セメント量	80kg/m ³
細骨材率	32%

表-4 配合表

名称	Gmax (mm)	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)							
				水	セメント	母材 (0~5mm)	母材 (5mm以上)				混和剤
							80~40	40~20	20~10	10~5	
実験配合	80	125	32	100	80	745	523	525	334	203	0.200

3.2 実験フロー

CSG を現場で施工する際、施工時期や施工方法を考慮すると、外気温や練混ぜ後の CSG 温度の変化、また、混合後から締固めまでの一連の流れにおける CSG 放置によるフレッシュ性状の変化があげられる。そこで本実験では、現場の状況をふまえ 2 種類の試験を実施した。フローを図-3 に示す。

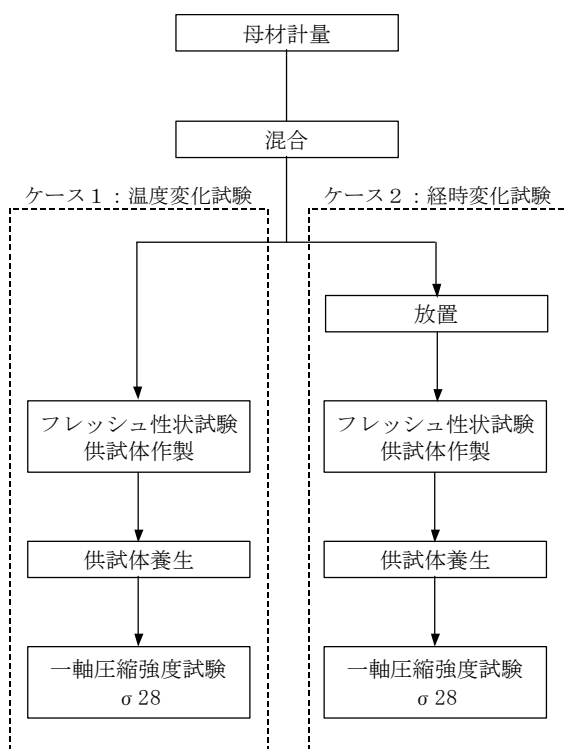


図-3 実験フロー

3.3 試験ケース

(1) ケース1：温度変化試験

CSG の施工時期が異なる場合を想定し、混合および養生時の CSG 材料温度を 3 段階に設定して、フレッシュ性状や圧縮強度を測定した。試験ケースを表-5 に示す。

表-5 温度変化試験ケース一覧

ケース名	混合後の温度 養生温度	放置時間
1-1	10℃	0分
1-2	20℃	0分
1-3	30℃	0分

(2) ケース2：経時変化試験

CSG の施工において、混合後から締固めまでに一定時間を要する場合を想定し、温度を 20℃、30℃とした場合で、放置時間を 60 分、120 分とした場合のフレッシュ性状、圧縮強度を室内試験により求めた。試験ケースを表-6 に示す。

表-6 経時変化試験ケース一覧

ケース名	混合後の温度 養生温度	放置時間
2-1	20℃	60分
2-2	20℃	120分
2-3	30℃	60分
2-4	30℃	120分

3.4 CSG の混合方法

CSG の混合に使用するミキサは可傾式の公称容量 110 リットル練り用とし、1 バッチ当たり 60~90 リットルで行った。CSG 混合状況を写真-1 に示す。

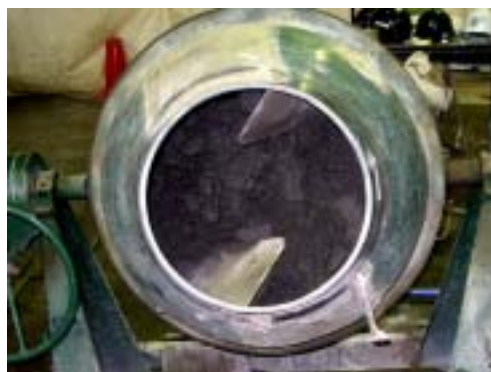


写真-1 CSG 混合状況

なお、使用する母材は混合後の温度を目標温度にするため、事前に所定の温度に設定された恒温恒湿室内（湿度は 75% で一定）へ母材や試験器具を入れ、10℃、20℃、30℃とそれぞれ一定になるよう温度管理を行った。

3.5 放置方法

混合後の CSG 材料は、直ちに所定の混合後の温度・放置時間を保持できるように、恒温恒湿室に放置した。放置する際の試料は、厚さ 10~

15cm 程度にスコップで広げ、室内は温度調節による風が直接試料に当たり水分が逸散しないよう、木製枠にビニールシートを取り付けたもので試料を囲う処置を施した。CSG の放置状況を写真-2 に示す。



写真-2 CSGの放置状況

3.6 フレッシュ性状試験

フレッシュ性状試験として、標準 VC 試験を実施した。標準 VC 試験は、JSCE-F507「RCD コンクリートのコンシステンシー試験方法 (案)」に準じ、VC 値、沈下量、単位容積質量を測定した。

3.7 供試体作製方法

所定の放置時間経過後、直ちに供試体の作製を行った。供試体作製にあたっては CSG をウェットスクリーニングし、母材最大寸法 40mm 以下として試料を用いた。締固めには、一定の締固めエネルギー伝達効果のある供試体作製装置を用いた。装置の仕様および供試体の作製状況を表-7、写真-3 に示す。

表-7 供試体作製装置の仕様

項目	仕様
モールド寸法	φ 150mm × H300mm
振動数	3000 cpm
起振力	1.37kN
自重	27kg
締め固め板直径	140mm
試料の詰め方	3層
締め固め時間	各層 40秒



写真-3 供試体作製状況

養生は、供試体全体をビニールで密封した封緘養生とし、恒温恒湿室で所定の材齢 ($\sigma 28$) まで養生を実施した。また、恒温恒湿の室温は、各試験ケースに合わせて温度調整を行った。封緘養生の状況写真を写真-4 に示す。



写真-4 封緘養生状況

3.8 供試体試験

(1) 供試体密度

所定の供試体養生が完了し、圧縮強度試験の直前に断面寸法および質量を測定し、硬化後の単位容積質量を算出する。このデータをもとに、供試体密度を求めた。

(2) 一軸圧縮強度試験

JIS A 1108 に準じ、一軸圧縮強度を実施した。载荷は供試体の破壊状況を確認しながら最大荷重に達した時点で終了した。

4. 実験結果および考察

4.1 温度変化試験

(1) 混合後の温度と VC 値の関係

ケース 1 における混合後の温度と VC 値の関係を図-4 に示す。混合後の温度が 10℃では VC 値 25 秒程度であったが、温度が 20℃、30℃と高くなるにつれ、VC 値は温度に比例して同 40 秒、60 秒と大きくなる傾向が見られた。これは、混合後の温度が高くなることによりセメントの水和反応が促進し、凝結が進行した影響のためと考えられる。

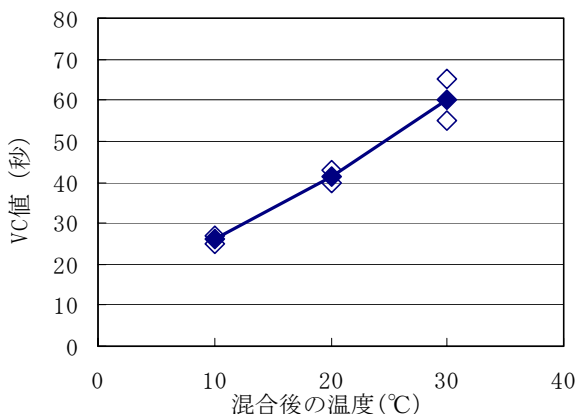


図-4 混合後の温度と VC 値

(2) 温度と圧縮強度・供試体密度の関係

ケース 1 における温度と圧縮強度・供試体密度の関係を図-5 に示す。

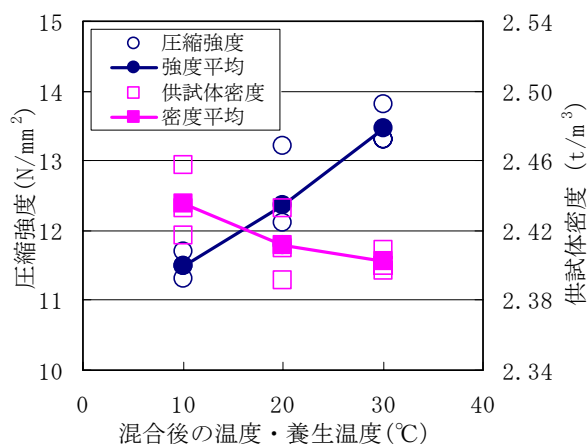


図-5 温度と圧縮強度・供試体密度の関係

平均値でみると、混合後の温度・養生温度が

10℃上がるごとに、圧縮強度は約 1 割増加する傾向が認められた。

しかし、供試体密度については、各温度が高くなるほど、供試体密度は低くなる傾向が認められた。混合後の温度と VC 値の関係で前述したとおり、温度が高くなることにより、セメントの水和反応が促進されて凝結が進行した可能性が高いと思われる。そのため、締固め時には CSG の中で振動による十分な水分の拡散が行えず、締固める効果が減少し、結果として供試体密度に現れたものと考えられる。

(3) 放置時間と VC 値の関係

ケース 2 における放置時間と VC 値の関係を図-6 に示す。20℃、30℃のケースとも、放置時間とともに VC 値は増加し、20℃では 120 分経過後、30℃では 60 分経過後に計測不可（測定は 120 秒を上限とした）となった。放置時間に比例した VC 値の増加は、CSG 締固め時におけるワーカビリティの低下を生じる可能性が大きく、施工にあたってはセメント結合材料の選定や CSG 練混ぜ後の温度管理方法、散水・シート被覆など、放置時における養生方法の改良などが求められる。

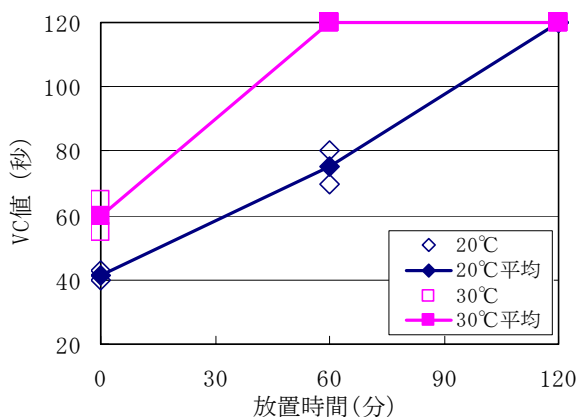
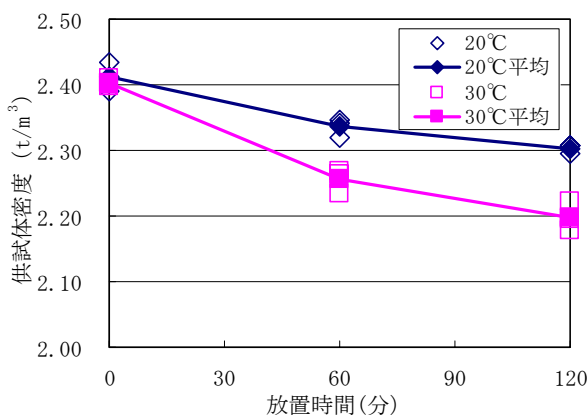


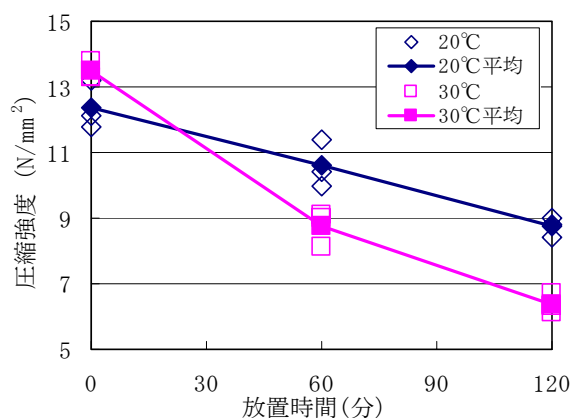
図-6 放置時間と VC 値

4.2 経時変化試験

ケース 2 における放置時間と供試体密度の関係を図-7 に、また放置時間と圧縮強度の関係を図-8 に示す。



図一七 放置時間と供試体密度



図一八 放置時間と圧縮強度

供試体密度は、放置時間に比例して減少する傾向が認められ、放置時の温度が高い30°Cのケースの方が、密度の減少傾向が顕著であった。

圧縮強度については、放置時間0分を基準とすると、60分経過後では温度20°Cで1割程度、温度30°Cで3割程度の強度低下となり、また120分経過後では温度20°Cで3割程度、温度30°Cで5割程度の強度低下となった。放置時間とVC値（図一六）の関係に示したとおり、温度が高いほど、同じ放置時間でもVC値は大きくなり、締固めの困難さが強度低下として現れたものと考えられる。

5. 結論

本実験において、以下のことが確認できた。

(1) CSGのフレッシュ性状は、練混ぜ後のCSG温度が高いほど、また、放置時間が長いほど、VC値が大きくなりワーカビリティが低

下する傾向がある。

(2) CSGの強度は、混合・養生時の温度が高いほど、また、放置時間が長いほど低下する傾向がある。

6. あとがき

CSGは、使用する母材の材料特性に大きく影響を受ける材料であるため、事前に使用する材料の特性を室内実験等で十分把握しておくことが重要である。今回は微粒分を多く含む母材を想定し、寒冷時期や暑中時期を考慮した試験を実施したことで、練混ぜ後のCSG温度や経時変化によるフレッシュ性状の違いが、硬化後の品質に大きな影響を与えることを明らかにした。

コンクリートに比べ強度が小さいCSGの施工において、より一層の安定した品質を確保するためには、実施工を見据えた経時変化試験などを実施し、CSGの性状を把握することが重要である。特に、母材のプレクーリングや材料放置の際における養生方法などの工夫が必要となってくると思われる。

今後は、室内実験の成果をもとに数多くの現地母材を使用し、養生方法や現場施工状況を加味した配合実験を進めたいと考えている。

【謝辞】

本稿のとりまとめにおいては、萩原潤氏、田中源吾氏に多大なる労をいただきました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 台形CSGダム技術資料作成委員会: 台形CSGダム技術資料, 2003. 11
- 2) 藤澤侃彦ほか: 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, 2002. 8
- 3) 川崎秀明ほか: フライアッシュ高置換ダムコンクリートの暑中特性, コンクリート工学論文集, 第13巻1号, pp. 87-96, 2002. 1