

## 論文 CSG の減水混合効果に関する実験的考察

川崎 秀明\*1・平山 大輔\*2・小島 伸介\*3・西山 浩史\*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(母材)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。しかしながら母材中に微粒分が多い場合、微粒分とセメント粒子が吸着しあいセメント粒子が均一に混ざらないことによる不均一混合や、急速に強い粘りが生じることによる混合困難に陥りやすい。そこで、混合時の水量を減じてワーカビリティを高め、打設時に残り水量を加水する減水混合工法の適用性を、室内実験により明らかにした。

**キーワード：**CSG, 減水混合, 微粒分, VC 試験, 弾性領域強度, 弾性係数

## 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 ( $60\sim 80\text{kg/m}^3$  程度) と水 ( $80\sim 130\text{kg/m}^3$  程度) を混合して低コストを実現した材料である。使用する母材は、採取されたままの粒度、含水状態で使用することから、破碎設備や洗浄設備などを省略できるほか、混合設備も簡易なもので済む。また、主として掘削ズリや河床砂礫を母材として有効に利用できるため、新たに材料山での採掘を必要とせず、採取コストおよび製造コストが縮小でき、さらには自然環境負荷の低減にも大きく寄与することができる。このため最近では、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。

一般的に、CSG は品質的にバラツキが大きく、コンクリートよりも強度が低い。このためダムの堤体材料として用いる場合は、材料強度（特に引張り強度）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。

一方、CSG の母材は採取したままの状態で使用することが多いため、CSG の母材中に微粒分が多い場合、微粒分とセメント粒子が吸着しあいセメント粒子が均一に混ざらないことによる不均一混合や、急速に強い粘りが生じることによる混合困難に陥りやすい。そのような問題への有力な対応として、混合時の水量を減じてワーカビリティを高め、打設時に残り水量を加水するような工夫があり、経験的にかなりの効果が認められている（以下、減水混合と呼ぶ）。ただし、減水混合については、明確な手法が確立されてなく、混合性、強度、密度、施工性等への影響も未確認である。そこで、減水混合の及ぼす影響を把握するための数種類の室内実験を行い、微粒分の多い CSG 母材を用いた CSG の品質保持に有効な方法であることを確認した。

## 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。粒径 5mm 以上の母材については製品骨材を混合使用し、その粒度分布を表-2、図-1に示す。

---

\*1 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 ダム研究室室長 工博（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 ダム研究室主任研究官（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

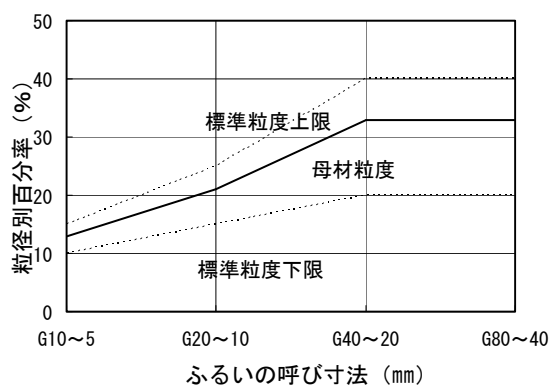
すようにコンクリート標準示方書（2002 年制定  
ダムコンクリート編）の標準粒度内に調整した。

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<br>密度=3.21g/cm <sup>3</sup> 、比表面積=3.360cm <sup>2</sup> /g                                                                                                                    |
| 母材<br>(0～5mm) | 岩種:安山岩<br>標準粒度砂 密度=2.64g/cm <sup>3</sup> 、吸水率=1.74%、粗粒率=2.63<br>スクリーニングス 密度=2.71g/cm <sup>3</sup> 、吸水率=1.00%、粗粒率=2.17                                                                     |
| 母材<br>(5mm以上) | 岩種:安山岩<br>80～40 密度=2.71g/cm <sup>3</sup> 、吸水率=0.74%<br>40～20 密度=2.72g/cm <sup>3</sup> 、吸水率=0.79%<br>20～10 密度=2.72g/cm <sup>3</sup> 、吸水率=1.04%<br>10～5 密度=2.67g/cm <sup>3</sup> 、吸水率=1.68% |
| 混和剤           | AE減水剤 遅延形Ⅰ種                                                                                                                                                                               |

表－２ 母材（5mm 以上）の粒度

| ふるい目   | 【粒径別百分率】 |        |        |        |
|--------|----------|--------|--------|--------|
|        | G10～5    | G20～10 | G40～20 | G80～40 |
| 標準粒度上限 | 15       | 25     | 40     | 40     |
| 母材粒度   | 13       | 21     | 33     | 33     |
| 標準粒度下限 | 10       | 15     | 20     | 20     |

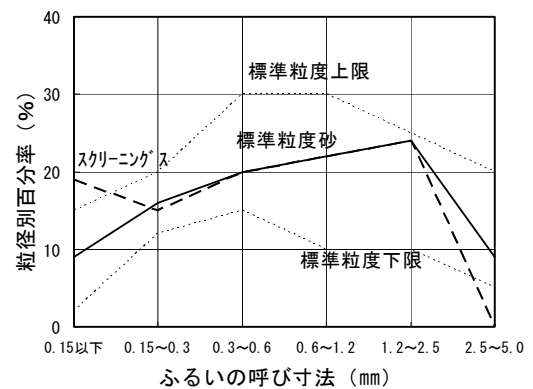


図－１ 母材（5mm 以上）の粒度

母材（0～5mm）については、コンクリート標準示方書（ダムコンクリート編）の標準粒度分布内とする砂（以降「標準粒度砂」と呼ぶ）と、スクリーニングス（粗骨材製造の際に発生する微粒分で2.5mm以下の粒径のもの）の2種類の母材を使用した。母材（0～5mm）の粒度分布を表－3、図－2に示す。

表－３ 母材（0～5mm）の粒度

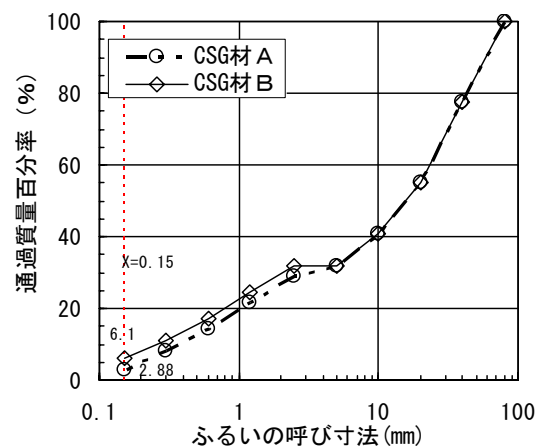
| ふるい目     | 【粒径別百分率】 |          |         |         |         |         |
|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
|          | 0.15以下   | 0.15～0.3 | 0.3～0.6 | 0.6～1.2 | 1.2～2.5 | 2.5～5.0 |
| 標準粒度砂    | 15       | 20       | 30      | 30      | 25      | 20      |
| スクリーニングス | 9        | 16       | 20      | 22      | 24      | 9       |
| 標準粒度下限   | 2        | 12       | 15      | 10      | 10      | 5       |



図－２ 母材（0～5mm）の粒度

## 2.2 CSG 粒度

実験に用いた CSG 材として、母材（0～5mm）に標準粒度砂を用いた CSG 材 A と、スクリーニングスを用いた CSG 材 B の2種類を用いた。CSG 材 A は通常のダムコンクリート用の骨材であり、CSG 材 B は CSG 材 A よりも微粒分を多く含み、標準粒度を満足しない材料である。使用した CSG の母材粒度分布を図－3に示す。



図－３ 母材の粒度曲線

## 3. 実験方法

### 3.1 基本配合

基本配合として、CSG 材 A を用いた CSG で、下記の条件を満足するように基本配合を決定した。表－4に決定した基本配合を示す。

- ・母材の最大寸法 80mm
- ・単位セメント量 80kg/m<sup>3</sup>
- ・細骨材率 (s/a) 32%
- ・標準 VC 値 20 秒

表－４ 基本配合

| No.   | Gmax<br>(mm) | W/C<br>(%) | 細骨材率<br>(%)      | 単位<br>ペースト量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |               |            |           |           |          |              |
|-------|--------------|------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------|------|---------------|------------|-----------|-----------|----------|--------------|
|       |              |            |                  |                                     | 水                       | セメント | 母材<br>(0～5mm) | 母材 (5mm以上) |           |           |          | 混和剤<br>AE減水剤 |
|       |              |            |                  |                                     |                         |      |               | 80<br>～40  | 40<br>～20 | 20<br>～10 | 10<br>～5 |              |
| ケース 1 | 80           | 125        | 32<br>(標準粒度砂)    | 180                                 | 100                     | 80   | 726           | 523        | 525       | 334       | 203      | 0.200        |
| ケース 2 |              |            | 32<br>(スクリーニングス) |                                     |                         |      | 745           |            |           |           |          |              |

### 3.2 試験ケース

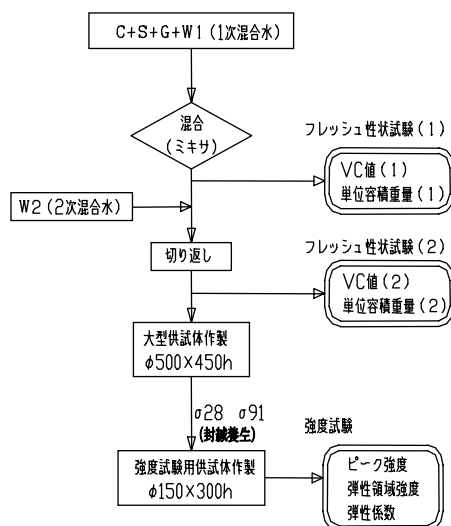
表－５に試験ケースを示す。ケース 1 は基本配合であり，１次混合水率 100%のみとした。ケース 2 については基本配合において，CSG 材 B を用いたケースであり，減水混合における１次混合水率を，100%，85%，70%，55%と変動させて実験を行った。

表－５ 試験ケース

| No.     | 母材<br>(0～5mm) | 単位<br>セメント量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 1次                             | 2次                             | 1次<br>混合水率<br>(%) |
|---------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
|         |               |                                     |                              | 混合水量<br>W1(kg/m <sup>3</sup> ) | 混合水量<br>W2(kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| ケース 1   | 標準粒度砂         | 80                                  | 100                          | 100                            | 0                              | 100               |
| ケース 2-1 | スクリーニングス      |                                     |                              | 100                            | 0                              | 100               |
| ケース 2-2 |               |                                     |                              | 85                             | 15                             | 85                |
| ケース 2-3 |               |                                     |                              | 70                             | 30                             | 70                |
| ケース 2-4 |               |                                     |                              | 55                             | 45                             | 55                |

### 3.3 実験方法

実験フローを図－４に記す。



図－４ 実験フロー

CSG の混合に使用するミキサは可傾式の公称容量 110 リットル練り用を使用し，１バッチ当たり 60～90 リットルで行った。

本試験では，混合水を２段階に分けて混合し

た。１次混合水はミキサによる１次混合前に行い，混合後，CSG をパレット上に排出してスコップで均等に広げ，２次混合水として残りの水量をじょうろにて均等に散布した (写真－１)。２次混合水散布後，直ちにスコップにて切り返しによる２次混合を行った。



写真－１ ２次混合水散布状況

### 3.4 フレッシュ性状試験

ミキサによる混合後および２次混合水の加水後に，CSG のフレッシュ性状を評価するため，標準 VC 試験と単位容積試験を実施した。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)」に準じて行った。単位容積試験から，理論密度に対する締固め密度として，密度比を求めた。試験はウェットスクリーニングを行うことから，理論密度は示方配合から 40mm 以上の母材と，その体積比に応じたペースト量を除くものと仮定した。

２次混合水の加水後，直ちに φ 500mm×h 450mm の大型供試体を作製した。大型供試体作製にあたり，締固め時の人為的なバラツキをできるだけ低く抑えるため，大型供試体締固め装置 (仕様は表－６) を用いた。締固めは 15cm×3 層仕上げとした (写真－２)。

養生は，実施工を考慮して封緘養生とし，恒温恒湿室 (気温 20℃ 湿度 75%) で所定の材令 (28 日，91 日) まで養生を行い，この間，表面からの水分発散を防ぐため大型供試体をビニールシートで密封した。

所定の養生期間後コアボーリングマシンで φ

150mm のコアを抜き取り、端部を切断してφ150mm×300mm の強度試験用の供試体を作製した。

表－6 大型供試体締め装置の

|        | 装置仕様          |
|--------|---------------|
| モールド寸法 | φ500mm×h450mm |
| 振動数    | 1900cpm       |
| 起振力    | 30.4kN        |
| 自重     | 650kg         |
| 締め固め板径 | 480mm         |
| 試料の詰め方 | 3層            |
| 締め固め時間 | 各層60秒         |



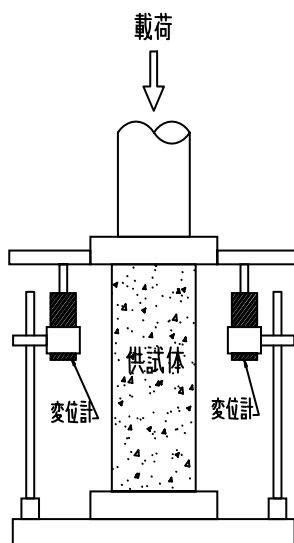
写真－2 大型供試体締め状況

### 3.5 一軸圧縮強度試験

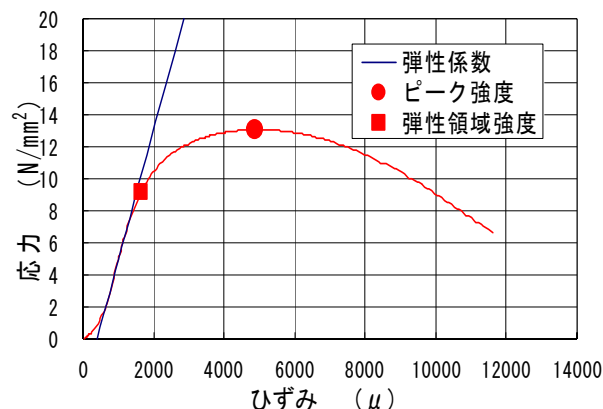
JIS A 1108 に準じ、一軸圧縮強度を実施した。荷重は供試体のピーク強度を確認した後も、ピーク荷重の 1/2～1/3 まで荷重が減少するまで行った。

一軸圧縮強度試験においては、載荷荷重、供試体全体変位

(30cm) を図－5 の方法で計測し、図－6 に示すように、応力－ひずみ曲線を描き、弾性体の領域と判断できる境界点を弾性領域強度 ( $\text{N/mm}^2$ ) として求め、またその時の勾配を弾性係数 ( $\text{N/mm}^2$ ) として求めた。



図－5 ひずみ計測方法

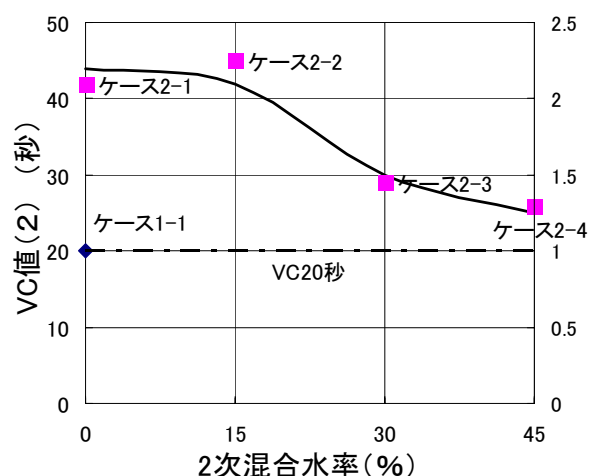


図－6 応力－ひずみ曲線

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 2次混合水率と VC 値(2)の関係

減水混合における 2 次混合水率と 2 次混合後の VC 値(2)の関係を図－7 に示す。CSG 材 A を用いたケース 1 の VC 値(1)が 20 秒程度であるのに対し、微粒分を多く含む CSG 材 B を用いたケース 2－1 では、VC 値(2)が 40 秒程度とワーカビリティが低下していることがわかる。ケース 2 では 1 次混合水率を減じて行く毎に、VC 値(2)も減少し、2 次混合水率が 45% では約半分の 25 秒程度となった。減水混合により CSG のワーカビリティが改善された。



図－7 2次混合水率と VC 値(2)

写真－3 は、1 次混合水率 100% で練り上がったケース 2－1 の CSG を目視により確認したものである。混合水が母材中の微粒分に吸水さ

れ、細粒分が団塊となるなど、不均一な練り上がり状態となっていることがわかる。一方、減水混合して練り混ぜた CSG は、2 次混合後の状態が前者と比較しても粘性が低く、母材とセメントが均一に混ざりワーカビリティも良好であった。



写真-3 1次混合水率 100%の CSG

#### 4.2 2次混合水率と密度比の関係

2 次混合水率と密度比の関係を図-8 に示す。2 次混合水率が大きくなるほど、1 次混合後においては、所要の水量が足りず密度比が低くなる傾向がみられるが、2 次混合水率が 0% のケース 2-1 の密度比とほぼ同程度まで回復していることがわかる。このことから、減水混合が密度に与える影響は小さいと考えられる。

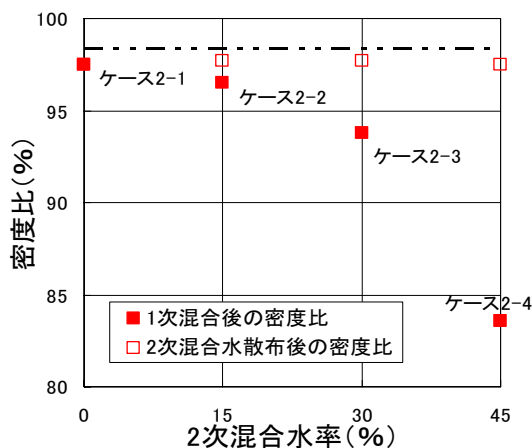


図-8 2次混合水率と密度比

#### 4.3 2次混合水率とピーク強度の関係

2 次混合水率とピーク強度の関係を図-9 に示す。ケース 1 とケース 2-1 を比較すると、微粒分の多いケース 2-1 の方が  $\sigma_{28}$ 、 $\sigma_{91}$  ともに 2 割程高い強度であった。ケース 2 の各ケースについては、2 次混合水率によらず、 $\sigma_{28}$

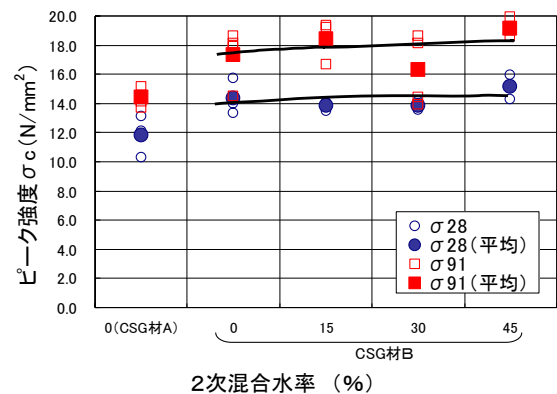


図-9 2次混合水率とピーク強度

で 13.8～15.1 N/mm<sup>2</sup>、 $\sigma_{91}$  で 17.3～19.1 N/mm<sup>2</sup> とほぼ同程度の値であった。また材令による強度の伸びはそれぞれのケースとも約 2～3 割程度であった。

#### 4.4 2次混合水率と弾性領域強度の関係

2 次混合水率と弾性領域強度の関係を図-10 に示す。弾性領域強度についても、ピーク強度とほぼ同様な傾向がみられた。また、材令による弾性領域強度の伸びは 2～3 割であり、ピーク強度に比例して、弾性領域強度も増加すると考えられる。

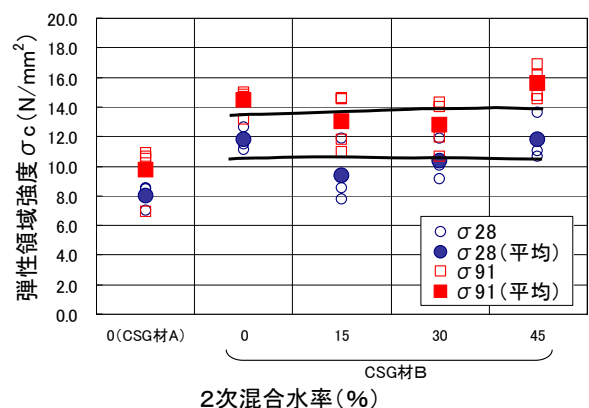


図-10 2次混合水率と弾性領域強度

#### 4.5 2次加水率と弾性係数の関係

2 次混合水率と弾性係数の関係を図-11 に示す。フレッシュ性状試験や強度試験に比べ、同一ケースでの値のバラツキが大きい。2 次混合水率に関わらず、その平均値は 2 次混合水率 0% に比べ同程度以上の値であった。

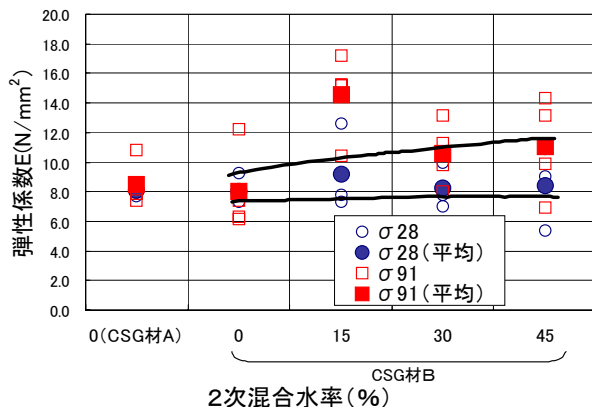


図-11 2次混合水率－弾性係数

#### 4.6 ピーク強度と弾性領域強度の関係

ピーク強度と弾性領域強度の関係を図-12に示す。σ28、σ91のピーク強度に対し、共に弾性領域強度はその回帰直線より、約0.7～0.8倍の値であった。

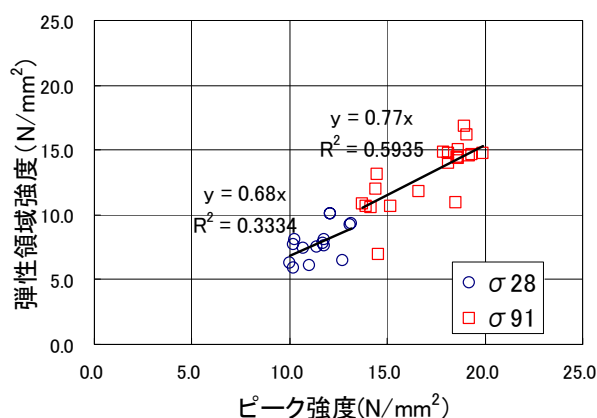


図-12 ピーク強度－弾性領域強度

#### 5. 結論

本実験により以下のことが確認できた。

- (1) 微粒分の多い同一配合のCSGでは、減水混合を行うことでワーカビリティが改善される。
- (2) 同一配合のCSGでは、減水混合を行ってもCSGの締固め密度に与える影響は小さい。
- (3) 同一配合のCSGでは、減水混合を行っても、ピーク強度および弾性領域強度に与える影響は小さい。
- (4) 同一配合のCSGでは、減水混合を行っても、弾性係数に及ぼす影響は小さい。

(1)～(4)より、同一配合でありながら、1次混合水率100%で混合したものと、減水混合したものを比べると、フレッシュ状態においては2次混合水の加水後にほぼ同程度の性状の回復がみられ、VC値についてはむしろ改善される傾向がみられた。これは減水混合を行うことにより、2次混合水の一部が母材などに吸着されない自由水としてはたき、見かけの水量が増加するためだと推察される。また硬化後のCSGの強度については、減水混合を行ってもその影響はほとんど無いことがわかった。

以上から、特に微粒分を多く含むCSG母材を使用した場合は、適切な減水混合を行うことで混合時の練り混ぜ性状は良くなり、施工時のワーカビリティが向上する。また硬化後の強度、密度、弾性係数は若干増加する可能性が高く、減水混合方法は、CSGの混合方法として有効な方法であると考えられる。

#### 6. あとがき

CSGに使用する現地母材の特性は、採取場所により様々であるため、台形CSGダム等でCSGを採用するにあたっては、あらかじめ使用する材料の特性を室内実験および実機試験で確認しておくことが重要である。今後は岩種の異なる現地母材を使用した実験を行い、より適切で合理的なCSGの配合および施工方法について研究を続けて行きたい。

#### 【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、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年11月
- 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(2002.8)