

# 報告 骨材製造過程の分級砕石を使用した CSG の施工

大矢通弘\*<sup>1</sup>・天明敏行\*<sup>2</sup>・国峯紀彦\*<sup>3</sup>・村上祐治\*<sup>4</sup>

**要旨：** CSG (Cemented Sand and Gravel) 工法は通常、河床砂礫等の現地発生材を用いる。今回は、現地の砕石工場から調達した骨材製造過程で得られる材料を用いて CSG の施工を行った。その結果、基本的に RCD 用コンクリートと同様の配合設計ができること、材料と施工の適切な管理により一般重機でも十分な品質の CSG が得られること、購入材を用いた CSG でも品質管理や施工性の容易さなどにより現地発生材を用いた CSG と同等のコストで施工できる可能性のあること等が分かった。

**キーワード：** CSG, 購入材, VC 値, 品質管理, 現地発生材

## 1. はじめに

CSG 工法は、河床砂礫等の現地発生材にセメントと水を添加混合して製造し、ダンプトラックで運搬、ブルドーザーで敷均し、振動ローラで転圧することにより構造物を築造するものである。もともとはフィル材料の強度増加を図り、越水に対する抵抗性を強化させるために考えられた工法で、平成 4 年度に建設省長島ダムの上流仮締切堤において初めて実施された<sup>1)</sup>。その後、製造方法や品質管理手法の検討が行われ、仮締切堤以外の構造物にも適用されるようになった<sup>2)</sup>。さらに、最近では CSG をコンクリート材料として評価し、ダム本体の内部コンクリートに相当する部分に適用した事例も見受けられる<sup>3)</sup>。

一般に、CSG 工法は現地発生材を洗浄・分級せずにそのまま用いる点に特徴があり、その特徴ゆえにコスト低減が可能であると考えられてきた。しかし、天然材料特有のばらつきに起因する品質評価や施工管理の難しさといった問題点も同時に内在しており、より品質レベルの高い構造物をめざす場合にはそうした問題点が顕在化して逆にコスト高の要因ともなる。この場合、ある程度品質管理の施された購入材を用いることに

より、一定の品質を確保しつつ、条件によっては現地発生材と遜色のないコストでの施工の可能性も考えられる。図-1 に各種材料と比較した場合の CSG の強度の範囲を概念的に示す。CSG はソイルセメントと RCD 用コンクリートの中間的な強度範囲をめざすものといえる。その適用に際しては、構造物の要求品質に応じた適切な材料・工法の選択が重要である。

本報告は、上記の点に着目して、現地発生材料ではなく現地の砕石工場から安価に購入した骨材製造過程の材料を用いて、バックホウ混合方式により CSG を製造し、ダム工事現場の仮設構造物に適用した結果を報告するものである。

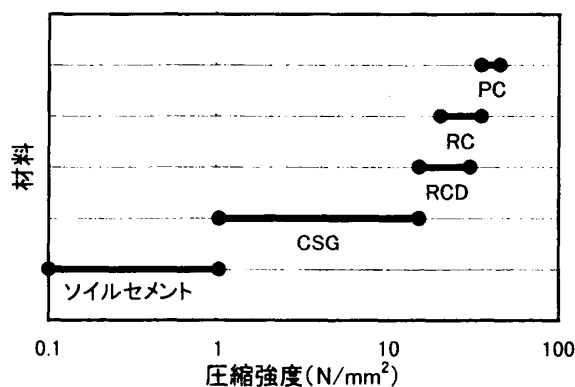


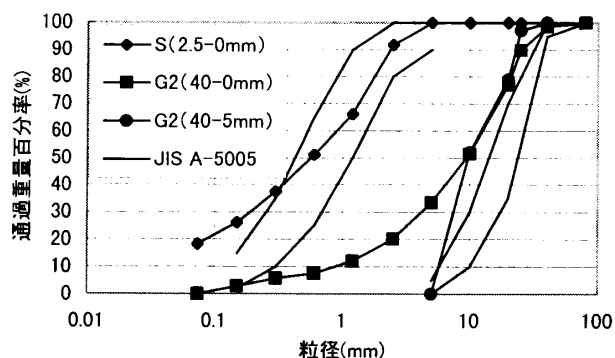
図-1 各種材料の強度範囲

\* 1 (株) 間組土木本部ダム統括部 工修 (正会員)

\* 2 (株) 間組土木本部ダム統括部 (正会員)

\* 3 (株) 間組東北支店土木部

\* 4 (株) 間組技術研究所技術研究部土木研究室 工博 (正会員)



図－1 粒度曲線

## 2. 使用材料

### 2. 1 結合材

結合材はプレミックスされた中庸熟フライアッシュセメントを用いた。フライアッシュ混合率は30%である。

### 2. 2 骨材

#### (1) 骨材の種類

表－1 に使用した骨材の種類を示す。粗骨材 G1 および G2 は碎石工場において未洗浄の段階で最初にふるい分け選別されたもので、原材料に近い性質を有している。細骨材 S は、骨材製造過程の洗浄時に産出されるダスト分で、本来は廃棄物として処理されるものである。この細骨材 S は、CSG の細粒分 (s/a) および微粒分の調整を目的として使用した。これらの材料はすべて現場近くの碎石プラントから購入した。

#### (2) 骨材の物理的性質

CSG の配合設計を行うに際し、G2 の骨材を 40－5mm の粗骨材と 5－0mm の細骨材に分級して粒度試験を実施した。図－1 に粒度分布を、表－2 に粗粒率を示す。図－1 には JIS A－5005 に示されている砕砂の粒度分布の範囲も示した。この範囲と細骨材 S の粒度分布を比較すると、粒径の小さい範囲で規格外となること、0.15mm 以下が 26%と微粒分の多い材料であることなどが分か

表－1 骨材の種類

| 呼び名 | 粗骨材G1   | 粗骨材G2<br>(細骨材を含む) | 細骨材S<br>(ダスト) |
|-----|---------|-------------------|---------------|
| 粒径  | 80-40mm | 40-0mm            | 2.5-0mm       |

表－2 粗粒率

| 骨材          | 粗粒率  |
|-------------|------|
| S           | 2.27 |
| G2 (40-0mm) | 5.91 |
| G2 (40-5mm) | 6.69 |
| G2 (5-0mm)  | 3.47 |

表－3 物理試験結果一覧

| 骨材 | 粒径      | 比重   |      | 実積率(%) | 吸水率(%) | 洗い試験 | 安定性試験 |
|----|---------|------|------|--------|--------|------|-------|
|    |         | 表乾   | 絶乾   |        |        |      |       |
| G1 | 80-40mm | 2.62 | 2.55 | 59.4   | 3.1    | —    | —     |
| G2 | 40-5mm  | 2.50 | 2.33 | 66.2   | 7.3    | —    | —     |
|    | 5-0mm   | 2.36 | 2.12 | 65.7   | 11.2   | —    | —     |
| S  | 2.5-0mm | 2.63 | 2.55 | 67.7   | 3.0    | 19.1 | 2.0   |

表－4 試験練りケース一覧表

| 単位結合材量           |     | C+F=120kg |      |      | C+F=80kg |      |      | C+F=40kg |      |      |
|------------------|-----|-----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|
| S混合率             |     | 0.6       | 0.75 | 0.9  | 0.75     | 0.9  | 1.05 | 0.9      | 1.05 | 1.2  |
| s/a(%)           |     | 26.3      | 29.1 | 32.5 | 29.1     | 32.5 | 35.6 | 32.5     | 35.6 | 38.8 |
| 単位<br>水量<br>(kg) | 100 |           | ○    |      |          |      |      |          |      |      |
|                  | 120 |           | ○    |      |          |      |      |          |      |      |
|                  | 125 |           | ○    |      |          |      |      |          |      |      |
|                  | 130 |           |      |      |          |      | ○    |          | ○    |      |
|                  | 133 | ○         | ○    | ○    |          | ○    |      |          |      |      |
|                  | 135 |           |      |      |          |      |      |          | ○    |      |
|                  | 140 |           | ○    |      |          | ○    |      |          | ○    |      |
|                  | 145 |           | ○    |      |          |      |      |          |      |      |
|                  | 150 |           |      |      | ○        | ○    | ○    | ○        | ○    | ○    |
|                  | 152 |           | ○    |      |          |      |      |          |      |      |
|                  | 160 |           |      |      |          | ○    |      |          | ○    |      |

S混合率はG1:G2:S(=1:2:x), s/aは細骨材率を表す。

る。表－3 に粒度分布以外の物理試験結果を示す。いずれの骨材も吸水率は大きく、3%以上であった。また洗い試験においては細骨材 S で 19.1%と、通常の骨材より大きい結果であった。

## 3. CSGの配合選定

### 3. 1 試験練りケース

3 種類の骨材の最適な配合比、単位セメント量および単位水量を決定するために試験練りを実施した。表－4 に実施した試験練りのケースを示す。単位結合材量は 120, 80, 40kg/m<sup>3</sup> の 3 ケー

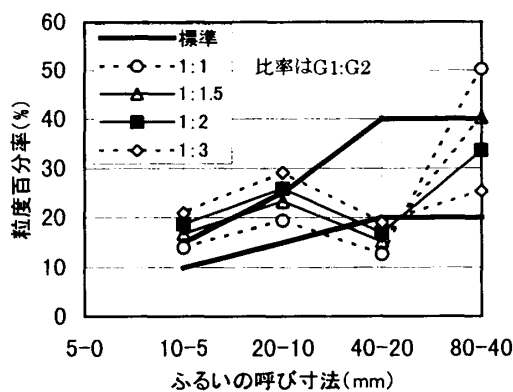


図-2 粗骨材の混合比率と粒度

スとし、S 骨材の混合比率は 0.60 から 1.20 まで変化させた。さらに最適な S 骨材の混合比率の配合に対して単位水量を変化させて VC 値の測定、圧縮強度試験等を実施した。ここで G1 と G2 の混合比率はコンクリート標準示方書に示される Gmax80mm における粗骨材の標準粒度を参考にして 1:2 に固定した。図-2 に G1 と G2 の混合比率を変化させた場合に得られる粒度および標準粒度の範囲を示す。

### 3. 2 試験練り結果

#### (1) S 骨材の最適混合比

図-3 に S 骨材 (ダスト) の混合比と VC 値の関係を示す。各配合とも VC 値が最小となる最適なダスト混合率の存在が認められる。最も締固めやすい細骨材率の存在という点において、今回の CSG は RCD 用コンクリートと同様の性質を有することが分かる。

#### (2) 単位水量

図-4 に単位水量と VC 値の関係を示す。各配合とも単位水量と VC 値の対数とは線形関係にあることが分かる。また、通常の RCD 用コンクリートに比べて同一の VC 値を得るための単位水量が大きいこと、単位結合材量が  $40\text{kg/m}^3$  と少ない場合には VC 値のばらつきがやや大きくなること等が認められる。

#### (3) VC 値の経時変化

図-5 に初期 VC 値を 1 秒に設定して VC 値の経時変化を測定した結果を示す。単位結合材量により VC 値の経時変化に差が見られる。即ち、

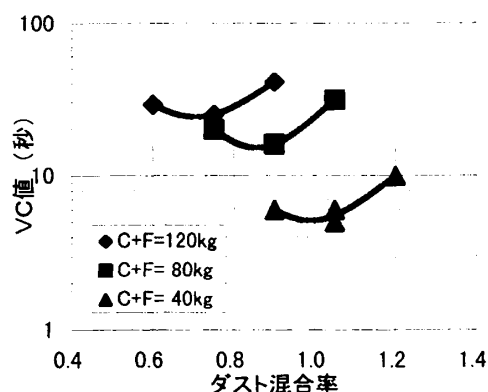


図-3 S骨材比とVC値

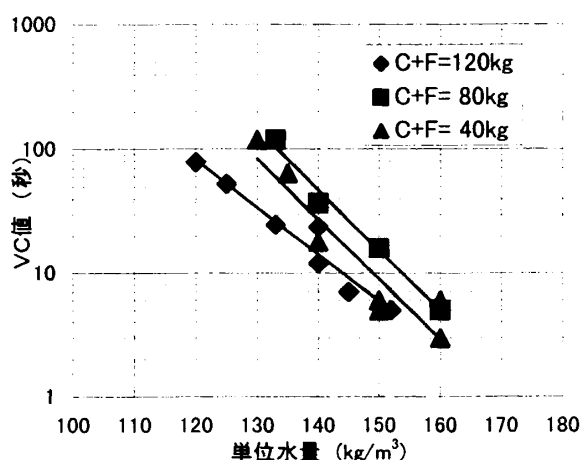


図-4 単位水量とVC値の関係

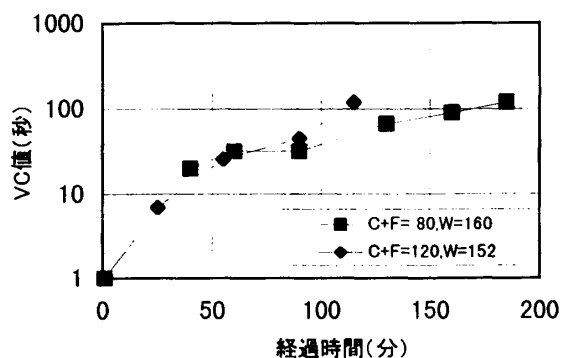


図-5 VC値の経時変化

VC 値が 100 秒を超えるまでの経過時間は、単位結合材量が  $120\text{kg/m}^3$  の場合には約 2 時間であるのに対し、単位結合材量が  $80\text{kg/m}^3$  の場合には約 3 時間となっている。VC 値が 100 秒を超える場合、実施工において、ブルドーザーや振動ローラーによる締固めを行っても密度増加が少なくなるなどの施工の困難性が予想される。よって、コ

ンシステンシーの経時変化を考慮すると、単位結合材量が  $120\text{kg/m}^3$  よりも  $80\text{kg/m}^3$  の方が施工上有利であるといえる。

#### (4) 結合材水比と圧縮強度の関係

図-6 に結合材水比と圧縮強度の関係を示す。試験は直径 15cm、高さ 30cm の供試体を用い、JISA1108 の方法に準じて行った。図よりいずれの配合においても結合材水比と圧縮強度の間には正の線形関係があることが分かる。単位結合材量が  $120\text{kg/m}^3$  と  $80\text{kg/m}^3$  では強度レベルにそれほど大きな差異はなく、7 日で  $2\sim 4\text{N/mm}^2$ 、28 日で  $4\sim 6\text{N/mm}^2$  程度である。

ただし、単位結合材量が  $40\text{kg/m}^3$  では明らかにセメント量の減少に起因すると思われる強度の低下傾向が認められる。

### 3. 3 CSGの示方配合

表-5 に室内の試験練り結果から求めた CSG の示方配合を示す。目標 VC 値は、本施工における経時変化を考慮して 5~20 秒に設定した。

## 4. 現場施工

### 4. 1 試験施工による配合の修正

通常、超硬練りコンクリートにおいては VC 値がコンシステンシーの指標となり、振動ローラーによる締固めの場合には VC 値 20 秒程度が目安とされる。今回の CSG においては、VC 値の経時変化を想定して示方配合の VC 値を 5~20 秒に設定した。しかし、現場での試験施工の結果、示方配合のままでは水分が多く締固めが困難となること、逆に練上がり時の VC 値が 40 秒程度であればトラフィカビリティの確保ができ、ウェーピング現象の発生も見られないことが分かった。この結果に基づき、本施工では単位水量を少なく調整し、目標 VC 値は 40 秒とした。表-6 に修正した配合を示す。また、施工中は VC 値の経時変化に留意し、練上りから締固めまでの時間を 2

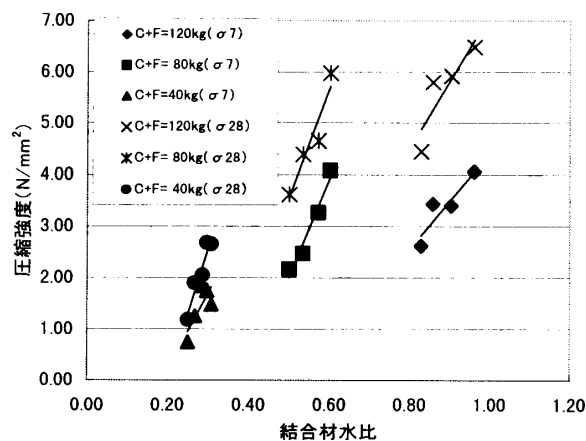


図-6 結合材水比と圧縮強度の関係

表-5 CSGの示方配合

| 粗骨材の<br>最大寸法<br>Gmax<br>(mm) | 目標<br>VC値<br>(秒) | 水結合材<br>比<br>W/C+F<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単位量<br>(kg/m³) |            |            |             |            |
|------------------------------|------------------|---------------------------|--------------------|----------------|------------|------------|-------------|------------|
|                              |                  |                           |                    | 水<br>W         | 結合材<br>C+F | 2.5-0<br>S | 80-40<br>G1 | 40-0<br>G2 |
| 80                           | 5~20             | 200                       | 32.5               | 160            | 80         | 483        | 536         | 1012       |

表-6 修正した配合

| 粗骨材の<br>最大寸法<br>Gmax<br>(mm) | 目標<br>VC値<br>(秒) | 水結合材<br>比<br>W/C+F<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単位量<br>(kg/m³) |            |            |             |            |
|------------------------------|------------------|---------------------------|--------------------|----------------|------------|------------|-------------|------------|
|                              |                  |                           |                    | 水<br>W         | 結合材<br>C+F | 2.5-0<br>S | 80-40<br>G1 | 40-0<br>G2 |
| 80                           | 40               | 175                       | 32.5               | 140            | 80         | 494        | 548         | 1037       |

時間に規制して施工することとした。

### 4. 2 施工

今回の CSG は、ダム本体のコンクリート用骨材の予備貯蔵ヤードの底盤部および擁壁部の構造物に適用した。図-7 に重力式擁壁部の断面、図-8 に CSG の施工の流れを示す。練混ぜはコンクリート製の樹状のヤード（容量  $60\text{m}^3$ ）にて材料の量管理を行いながら実施した。また転圧は、1 層 25cm で 2 層敷均し後に行った。法面は当初 1:0.7 の勾配で計画したが型枠なしのバックホウ仕上げが難しく、1:0.8 の勾配に変更して施工した。CSG の数量は全部で約  $1,500\text{m}^3$ 、施工期間は 14 日間であった。

### 4. 3 品質管理

#### (1) 品質管理項目

表-7 に現場施工時の品質管理項目を示す。含水比は練混ぜ時の加水量を決定するため、セメント添加前の材料に対し現場で実施した。また日々の材料のばらつき度合いを確認する目的で、

40mm, 20mm, 5mm の3種類のふるいにより現場で簡易的な粒度試験を実施した。

VC試験は内径24cm,高さ20cmの標準容器を用い, 40mmでウェットスクリーニングしたフレッシュなCSGに対して行った。また, 直径15cm, 高さ30cmの供試体を用いて硬化後のCSGの圧縮強度を確認した。さらに, 現場の転圧面ではスタッフとレベルによる沈下量とRIによる密度測定を実施した。

## (2) 品質管理結果

表-7に現場施工時の品質管理結果も合わせて示す。表中の粒度試験結果は, 細粒分(0-5mm)含有率のみを示す。湿潤状態での試験結果の方が絶乾状態のものより小さい値となっている。含水比の影響および試料採取量の差異(湿潤では2~3kg/回, 絶乾では30kg/回)を考慮すると, 絶乾状態の方がより真の値に近いと考えられる。

フレッシュなCSGの品質では, 空気量, VC値, 密度とも室内での試験練り時と比較して変動幅のより大きい結果となった。この原因としては材料そのもののばらつきの他に, 現場における正確な量の加水の難しさがある。また, CSGのコンシステンシーの評価に関しては, 粘性土を含む掘削材料を用いたCSGの場合<sup>4)</sup>とは異なり, 今回の購入材によるCSG

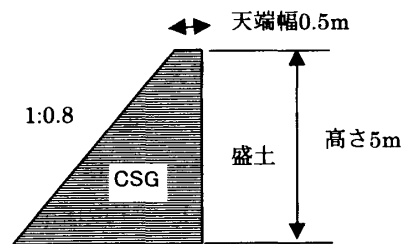


図-7 重力式擁壁部断面

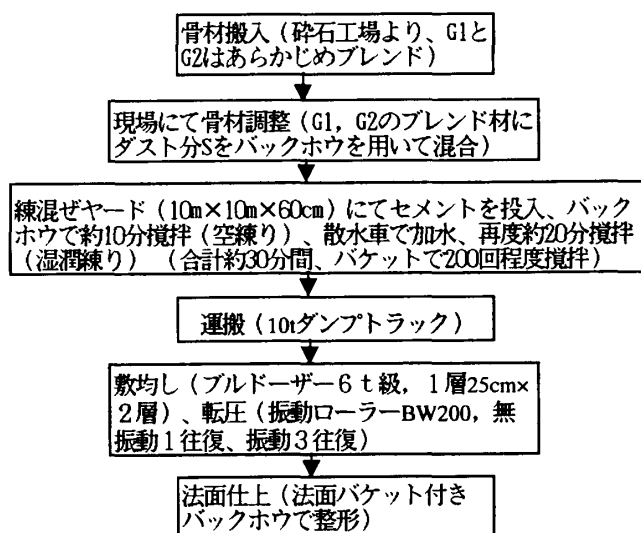


図-8 CSG施工の流れ

の場合には施工性を含めてVC値を目安に評価することができた。

圧縮強度は28日強度で平均 $3.3\text{N/mm}^2$ , 変動係数23.0%と良好な値を示した。これは, 前回の施工実績<sup>5)</sup>から品質管理手法を継承したこと, あ

表-7 品質管理項目および結果

| 品質管理項目       |               | 測定回数 | 品質試験結果          |       |       |       | 備考           |
|--------------|---------------|------|-----------------|-------|-------|-------|--------------|
|              |               |      | 単位              | 最大値   | 最小値   | 平均値   |              |
| 骨材           | 含水比           | 26   | %               | 13.8  | 8.5   | 10.9  | 迅速法(フライパン使用) |
|              | 粒度(湿潤)        | 26   | %               | 45.9  | 12.7  | 25.7  | 0-5mm含有率     |
|              | 粒度(絶乾)        | 14   | %               | 41.3  | 22.9  | 31.7  | 0-5mm含有率     |
| フレッシュ<br>CSG | CSG温度         | 28   | 度               | 27.5  | 19.0  | 23.8  | 練上がり時        |
|              | 現場気温          | 28   | 度               | 29.2  | 17.5  | 23.1  |              |
|              | 空気量           | 24   | %               | 2.4   | 0.2   | 1.1   |              |
|              | VC値           | 22   | 秒               | 120   | 3     | 43.6  |              |
|              | 密度比(締固前)      | 26   | %               | 98.2  | 82.0  | 88.6  | 締固前密度/理論密度   |
|              | 密度比(締固後)      | 26   | %               | 101.6 | 83.8  | 92.6  | 締固後密度/理論密度   |
| 硬化CSG        | $\sigma_7$    | 26   | $\text{N/mm}^2$ | 3.0   | 0.8   | 1.8   | 変動係数32.2%    |
|              | $\sigma_{28}$ | 26   | $\text{N/mm}^2$ | 4.6   | 2.0   | 3.3   | 変動係数23.0%    |
|              | $\sigma_{91}$ | 26   | $\text{N/mm}^2$ | 8.2   | 3.4   | 5.5   | 変動係数21.6%    |
| 現地<br>構造物    | 沈下量           | 22   | mm              | 55.7  | 11.3  | 23.2  | 3点/回測定       |
|              | RI締固密度比       | 21   | %               | 104.0 | 94.0  | 97.9  | 湿潤密度/理論密度    |
|              | RI含水比         | 21   | %               | 10.0  | 14.1  | 11.8  |              |
|              | RI乾燥密度        | 21   | $\text{t/m}^3$  | 2.128 | 1.843 | 1.975 |              |

る程度品質管理の施された購入材を使用したこと等によるものと考えられる。図-9に強度結果を示す。また、現地でのRI密度の測定結果は全体的にデータのばらつきが小さく（変動係数で3.4%）、平均の締固め度も理論密度の98%に近い値となるなど良好な結果を示している。

コスト面においては、今回は骨材製造過程における廃棄予定の材料を一部利用したため安価に調達できたこと、砕石工場が現場近くにあり材料運搬コストを低減できたこと、現地発生材と異なり大玉や根株の除去、粒度調整のための仮置きや再運搬等がほとんど不要であったことなどの理由により、現地発生材を用いた場合とほぼ同等の経済的施工（通常のコンクリート工の約半分のコストでの施工）ができた。以上より、購入材を用いたCSGでも品質管理や施工性の容易さ等により現地発生材を用いたCSGと同等のコストで施工できる可能性のあることが分かった。

## 5. まとめ

骨材製造過程の分級砕石を用いたCSGの施工を通じて、以下の知見が得られた。

- (1) CSGにおいてもRCD用コンクリートと同様、最も締固めやすい細骨材率が存在する。
- (2) 単位水量とVC値の対数とは線形関係にあり、施工性を考慮したフレッシュなCSGのコンシステンシーはVC値を目安に評価できる。また、VC値の経時変化は単位結合材量の影響を受ける。
- (3) 結合材水比と圧縮強度の間には正の線形関係があり、CSGにおいてもRCDコンクリートと同様の配合設計が可能である。ただし、現場での試験施工などにより、VC値の経時変化および施工性の確認が必要である。
- (4) 材料管理と施工管理を適切に行うことにより、一般重機でも十分な品質のCSGが得られる。また、購入材によるCSGでも条件によっては現地発生材と同等の経済的施工ができる可能性がある。

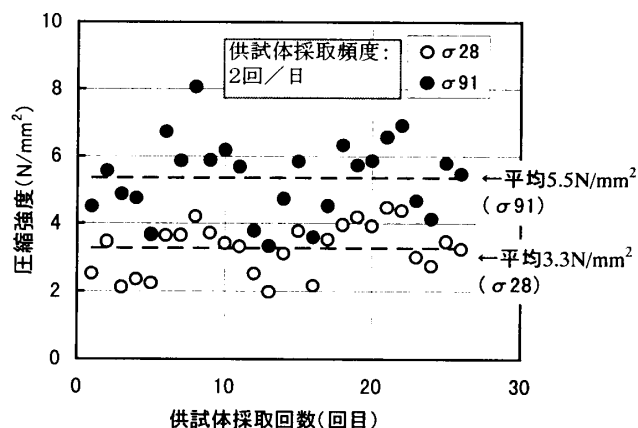


図-9 施工期間中のCSG強度

## 6. おわりに

CSGはコストと工期の面で優れる工法である。今後も材料管理、練混ぜ方法、コンシステンシーの評価方法等に改良を加え、CSGの幅広い展開を図っていきたい。

## 参考文献

- 1) 建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室：C.S.G.材料を用いた施工事例，ダム技術 No.81, pp.72-75, 1993
- 2) 例えば，薬師寺公文・天野正義・田口孝男・左近重信・瀧上吾郎：徳山ダムにおけるCSG工法の設計・施工および品質管理手法について，ダム技術 No.155, pp.19-32, 1999.8
- 3) 村松正明：長島貯砂ダムのCSG工法について，ダム日本 No.658, pp.63-71, 1999.8
- 4) 大矢通弘・天明敏行・村上祐治・小林貞之：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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No.2, pp.1399-1404, 1999
- 5) 国峯紀彦・陣門謙一・野村貢：堤体掘削材料を利用したCSG工法の施工管理手法の確立，土木学会第54回年次学術講演会，VI-117, pp.234-235, 1999