

CSG のクリープ特性

独立行政法人 土木研究所 正会員 切無沢 徹, 岩下 友也, 山口 嘉一
国土交通省北海道開発局 (元土木研究所) 佐々木 晋

1. はじめに

コスト削減, 材料の有効利用の観点から, ダム関連工事に CSG が広く活用されてきており, 近年では CSG をダム本体に用いた台形 CSG ダムが建設されてきている. しかし, CSG の長期的な変形特性については検討実績が少なく, 十分な説明がされていない. CSG は, 河床砂礫や掘削ズリなど建設現場周辺で得られる材料 (母材) を基本的に分級・洗浄せずに用いるため, 母材に付着している微粒分を含む場合がある. その微粒分の量や質が CSG の強度に影響を与えると考えられている¹⁾. 本論文では, CSG と RCD 用コンクリートを想定した試験体を, 同じ骨材を用いた上で微粒分の量を調整して作製し, それらのクリープ特性について検討した.

2. 試験概要

2. 1 材料及び配合条件

CSG と RCD 用コンクリートを想定した試験体の配合を表-1 に, また, CSG 材／骨材の粒度分布を図-1 に示す. CSG を想定した試験体 CSG-1,2 の CSG 材は, コンクリート用骨材 (製品骨材, 流紋岩) を用い, その粒度分布は既設の CSG 構造物の CSG 材粒度分布を参考とし, 微粒分量については粘土を加えることにより調整した. RCD 用コンクリートを想定した試験体 RCD は, CSG-1,2 と同じ骨材を用い, 骨材配合比率は既設の RCD 工法によるダムのコンクリート配合を参考とした. 各試験体は VC 試験等により締固めに適切な単位水量を設定した. また, 既設の台形 CSG ダム (K ダムの副ダム) の堤体材料に用いられた CSG 材 (花崗岩) による試験体 (以下, 実 CSG とよぶ) と, CSG を想定して配合調整した試験体との試験結果の比較により, CSG-1,2 を CSG と想定する妥当性を確認した. 実 CSG の配合を表-2 に, また, CSG 材粒度分布を図-1 に併せて示す.

2. 2 試験方法

クリープ試験は PC 鋼棒式²⁾を採用し, 温度 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温恒湿条件下で行った. 試験体 ($\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$) は作製後 91 日で試験体中央部にコアドリルを用いて穴 ($\phi 13.3\text{mm}$) を空け, 試験体表面はそのままの状態 (気中) とアルミ箔粘着テープ ($t=0.5\text{mm}$) を巻いて乾燥を抑えた状態 (封緘) において PC 鋼棒 ($\phi 13\text{mm}$) により軸力载荷した. 载荷応力は堤高 50m, 100m の台形 CSG ダムモデルの FEM 解析 (自重+静水圧) により求めた最大発生圧縮応力 (0.79N/mm^2 , 1.55N/mm^2) とした. 測定は試験体中央両面に, 標点間距離が 100mm となるようにコンタクトチップを貼り, コンタクトゲージを用いて 2 箇所計測した (図-2 参照). また, 気中及び封緘条件において軸力を载荷しない乾燥収縮のみの計測を実施し, 軸力を载荷した試験体の各ケースの全ひずみから, 载荷時のひずみ及び载荷後の乾燥収縮ひずみを差し引いた値をクリープひずみとした. 上記を含み, 試験方法は JSTM C 7102 「コンクリートの圧縮クリープ試験方法」に準じた.

2. 3 試験ケース

表-3 に試験ケース及び軸力载荷開始材齢 (91 日) の一軸圧縮試験結果を示す.

キーワード CSG, RCD, コンクリート, クリープ, 微粒分

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独) 土木研究所 TEL029-879-6781, E-mail: kirinashi@pwri.go.jp

表-1 試験体配合

試験体	CSG-1	CSG-2	RCD
Gmax	40mm (最大粒径80mmの試料をウェットスクリーニングしたもの)		
微粒分量 (%)	6	6	-
単位セメント量 (kg/m^3)	80	120	80
単位水量 (kg/m^3)	120	120	97
フライアッシュ (kg/m^3)	-	-	20

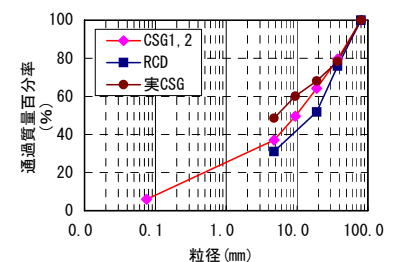


図-1 試験体の CSG 材／骨材粒度分布

表-2 実 CSG 試験体配合

試験体	実CSG
Gmax	40mm (最大粒径80mmの試料をウェットスクリーニングしたもの)
単位セメント量 (kg/m^3)	80
単位水量 (kg/m^3)	110

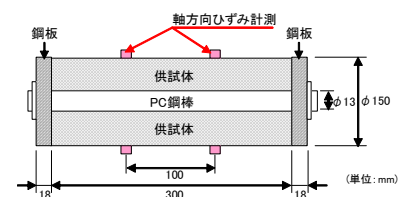


図-2 クリープ試験装置

表-3 試験ケース

Case	試験体	CSGの強度 [*] (N/mm^2)	静弾性係数 (N/mm^2)	载荷応力 (N/mm^2)	载荷状態
1	CSG-1	6.8	8,300	0.79	気中
2				1.55	封緘
3					封緘
4	CSG-2	10.8	12,000	1.55	封緘
5	RCD	7.6	12,300	0.79	気中
6				1.55	封緘
7					封緘
	実CSG	3.8	7,200	1.55	封緘

^{*}CSGの一軸圧縮試験から得られる応力-ひずみ曲線で, 応力とひずみが直線関係 (弾性領域) にある範囲での最大応力

微粒分を加えた CSG-1 は、微粒分を加えない RCD より CSG の強度及び静弾性係数が小さい。単位セメント量を増やした CSG-2 は、RCD より CSG の強度が大きい、静弾性係数は同程度である。

3. クリープ試験結果と考察

図-3 に載荷時の気中及び封緘条件を比較した Case 1,2,5,6 のクリープひずみを示す。載荷応力はいずれのケースも 0.79N/mm^2 である。CSG-1, RCD とともに、封緘条件(Case2,6)は気中条件(Case1,5)よりクリープひずみは小さく、載荷後の早い時期ほどその差は大きい。載荷 1 年後の封緘条件におけるクリープひずみは気中条件より 3 割程度小さい。乾燥の影響がない場合には、クリープは低減することを確認した。

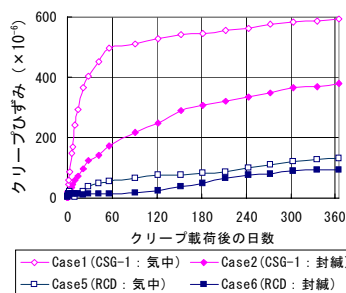


図-3 Case1, 2, 5, 6 のクリープひずみ
(載荷応力 0.79N/mm^2)

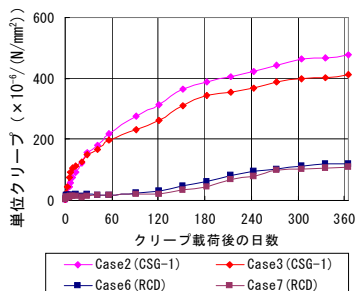


図-5 Case2, 3, 6, 7 の単位クリープ

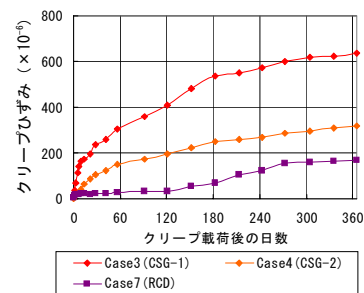


図-4 Case3, 4, 7 のクリープひずみ
(載荷応力 1.55N/mm^2)

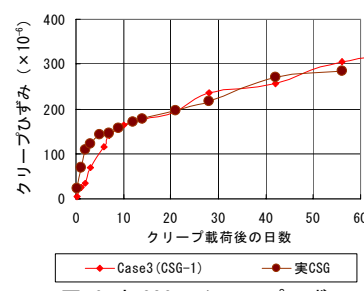


図-6 実 CSG のクリープひずみ
(載荷応力 1.55N/mm^2)

図-4 に封緘条件における各種試験体(Case3,4,7)

のクリープひずみを示す。載荷応力はいずれのケースも 1.55N/mm^2 である。単位セメント量を増やした CSG-2 のクリープひずみは CSG-1 の 1/2 程度となり、単位セメント量が多いことでクリープひずみは小さくなる。CSG-2 の静弾性係数は RCD と同程度であるが、クリープひずみは RCD の約 2 倍である。CSG は、微粒分を含むことで、練混ぜ・締固めに必要な単位水量が増大し、クリープひずみを大きくすると考えられる。RCD は、フライアッシュを混和材として用いることで、同スランプを得るための単位水量を軽減でき、また、フライアッシュのポズラン反応により長期強度が増進し、水密性が向上することで、クリープひずみを小さくすることが見込まれる。

図-5 に封緘条件の Case2,3,6,7 における単位載荷応力当りのクリープひずみ (以下、単位クリープとよぶ) を示す。CSG-1 及び RCD の単位クリープは載荷応力が異なる条件でも同程度であり、一般的なコンクリートと同様³⁾にクリープひずみは載荷応力に比例する。また、CSG-1 の載荷 1 年後の単位クリープは RCD の 4 倍程度である。

図-6 に Case3(CSG-1)の結果と併記して既設 CSG ダムで使用した CSG (実 CSG) を用いた試験体によるクリープひずみを示す。いずれのケースも封緘条件で載荷応力は 1.55N/mm^2 、計測は 56 日まで行っている。CSG-1 は単位セメント量が同じ実 CSG と同様なクリープひずみ傾向を示し、配合調整して作製した CSG-1 を CSG と想定する妥当性が確認できる。

4. まとめ

本稿では、CSG のクリープ特性について、実験により RCD 用コンクリートとの比較を通じて検討した。試験体材料に微粒分を含むことでクリープひずみが大きくなる傾向がある。これは、微粒分が多いほど、設計・施工上必要な単位水量が増えることが要因のひとつと考えられる。また、CSG の単位セメント量が多いほどクリープひずみは小さくなる。CSG の乾燥によるクリープへの影響度合いは、RCD 用コンクリートに比べて比率では若干大きい程度であるが、絶対量の差としては大きい。しかし、台形 CSG ダムでは耐久性向上のために CSG 堤体部の天端と上下流面に保護コンクリートを施工するため、乾燥によるクリープの影響は特に考慮する必要は無いと考えられる。

本試験結果では、載荷 1 年後における CSG のクリープは RCD 用コンクリートのクリープの 4 倍程度となった。しかし、実際の台形 CSG ダムでは、CSG 部は側方が拘束される影響によりクリープ変形が抑えられることや、また、CSG 部は接触する基礎岩盤や保護コンクリートとの付着を必要としないため、この程度のクリープ特性の違いでは、内部クラック発生などの構造上問題となることは無いと考えられる。

参考文献

- 1) 中村洋一, 佐々木晋, 佐々木隆, 山口嘉一: 母材の微粒分が CSG の強度に与える影響, 土木技術資料(49-11), pp.58-63, 2007
- 2) 岡田清, 六車照: コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, pp.1408-1409, 1981
- 3) 2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], (社)土木学会, p.51, 2007