

石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの圧縮クリープ特性

鹿島建設(株) 正会員 ○橋本 学
東京電力ホールディングス(株) 正会員 松浦忠孝
広野 IGCC 合同会社 金澤 学

1. はじめに

石炭ガス化複合発電は、発電効率の向上や CO₂ の分離回収技術との親和性により日本国内でも研究開発が進められており、今後の普及が期待されている。この発電方式で副生される石炭ガス化スラグ（以降、CGS；Coal Gasification Slag と称す）は、年間 10～20 万トンの排出が予測され、コンクリート用細骨材として有効利用できる可能性がある¹⁾。CGS を用いたコンクリートについては、実構造物に適用する上での一般的な性質は取得されているものの²⁾、そのクリープ特性については明らかになっていない。そこで本検討では、この CGS 細骨材を用いたコンクリートの圧縮クリープ特性について、天然砂（川砂）を用いた一般的なコンクリートと比較することでこれを評価した。

2. 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

表-1 に使用材料を、表-2 にコンクリートの配合を示す。細骨材に川砂、CGS 細骨材を用いた 2 配合とした。CGS 細骨材は勿来 IGCC 発電所より副生したものである。同一スランプを得るための単位水量は、川砂の 163kg/m³ に対し CGS 細骨材 156kg/m³ であった。これは、CGS 細骨材の粒径が川砂よりも表面が平滑で粒形もよいためである。

(2) 実験項目

圧縮強度試験は JIS A 1108 に従い、圧縮クリープ試験開始直前の材齢 28 日にて実施し、静弾性係数試験（JIS A 1149）と併せて実施した。供試体の養生条件は、材齢 7 日までを標準水中養生とし、材齢 7 日以降は温度 20 ± 2℃、湿度 60 ± 5% の気中養生とした。圧縮クリープ試験は JIS A 1157 に従い、供試体にひずみゲージ（T 社製、PL-60-11）を貼付し、データロガー（T 社製、TDS-530）にて圧縮クリープ試験時の全ひずみと無載荷ひずみを、載荷開始から 180 日まで 30 分間隔にて測定した。

3. 実験結果

(1) 圧縮強度および静弾性係数

図-1 に載荷開始前の材齢 28 日における圧縮強度および静弾性係数の比較を示す。圧縮強度は CGS 細骨材を用いることで、川砂に比べて 10% 程度低下する一方で、静弾性係数については、川砂と比較して 20% 程度大きくなった。圧縮強度が小さい理由として、CGS 細骨材は、骨材の表面が極めて平滑であることから、骨材界面とペーストの付着が川砂よりも劣るためと考えられる。静弾性係数について

表-1 使用材料

材料名	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度：3.16g/cm ³ ，比表面積：3,240g/cm ²
細骨材	S	川砂（大井川水系川砂），表乾密度：2.55g/cm ³ ，吸水率：1.71%，粗粒率：2.70
	CGS	勿来 IGCC 発電所産，表乾密度：2.79g/cm ³ ，吸水率：0.29%，粗粒率：2.66
粗骨材	G	碎石 20～5mm（青梅産砂岩），表乾密度：2.65g/cm ³ ，吸水率：0.50%，実積率：62.4%
混和剤	Ad	AE 減水剤（標準形，主成分：リグニンスルホン酸とポリカルボン酸化合物）
	AE	AE 剤（主成分：変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤）

表-2 コンクリートの配合

ケース	G _{max} (mm)	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad (C*%)
						W	C	S	CGS	G	
川砂	20	12	4.5	50.0	47.0	163	326	839	—	971	1.0
CGS	20	12	4.5	50.0	47.0	156	312	—	918	987	1.0

AE の添加量は、所定の空気量を満足するように適宜調整した。
(川砂：0.0015kg/m³，CGS：0.0020kg/m³)

キーワード：石炭ガス化スラグ細骨材，クリープ特性，圧縮強度，静弾性係数

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

は、CGS 細骨材の密度が川砂よりも大きく、また、骨材の弾性係数も大きいことから、コンクリートの静弾性係数も大きくなったものと考えられる。なお、既往の研究²⁾において、CGS 細骨材と天然の細骨材を用いた場合の強度比較では、長期材齢になるほど強度差は小さくなるとされている。これは、CGS 細骨材の界面がポゾラン活性を有しており、界面部でポゾラン反応することでペーストと骨材の界面が強固になり、長期強度が増進するとされている。CGS 細骨材は材齢 28 日時点では圧縮強度が 10%程度低くなるものの、長期的には強度差は小さくなると考えられる。

(2) クリープひずみ

図-2 に単位クリープひずみの実測値とコンクリート標準示方書 [設計編] (2017 年制定) で示されるクリープ予測式 (式 1) より求めた予測値をプロットしたものを示す。なお、図中には、比較として土木学会が保有するデータベースの値³⁾も示した。

$$Cr(t, t') = \frac{4W(1 - RH/100) + 350}{12 + f'_c(t)} \cdot \log_e(t - t' + 1) \quad (式 1)$$

ここに、 $Cr(t, t')$: 単位クリープひずみ ($\mu/N/mm^2$)、 t : 材齢(日)、 t' : 荷重開始材齢(日)、 RH : 相対湿度(%), W : 単位水量(kg/m^3)、 $f'_c(t)$: 荷重開始材齢時の圧縮強度(N/mm^2)

図より CGS 細骨材を用いたコンクリートのクリープひずみは、川砂よりも小さく、また一般的なコンクリートと比べてもやや小さくなる傾向を示した。この理由として、骨材の密度や吸水率、表面形状の違い、単位水量等が影響しているものと考えられる。今回の実験条件の範囲ではあるが、CGS 細骨材のクリープひずみは過去に計測された一般的なコンクリートと同程度であり、コンクリート標準示方書で示される予測式を準用できることが確認された。

(3) クリープ係数

図-3 に荷重日数とクリープ係数の関係を示す。クリープ係数とは、クリープひずみを荷重時の弾性ひずみで除した値であるが、CGS 細骨材を用いたコンクリートのクリープ係数は、川砂よりも小さくなり、荷重日数 100 日で 1.42 であった。

4. まとめ

CGS 細骨材を用いたコンクリートの圧縮クリープ特性について、クリープひずみ、クリープ係数ともに川砂を用いた場合よりも小さくなる挙動を示した。

参考文献

- 1) 長瀧重義, 阿部道彦, 松浦忠孝: JIS A 5011-5(コンクリート用スラグ骨材-第5部:石炭ガス化スラグ骨材)の制定概要, 月刊コンクリートテクノ, Vol.40, No.2, pp.40-44, 2021.2.
- 2) 石川嘉崇, 古川雄太, 阿部道彦: 各種スラグ細骨材の性状比較による IGCC 石炭溶融スラグのコンクリート用細骨材としての有用性の検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol.676, pp.799-805, 2012.6.
- 3) 土木学会: 2002 年版 コンクリート標準示方書 改訂資料, コンクリートライブラリー108, p.17, 2002.3.

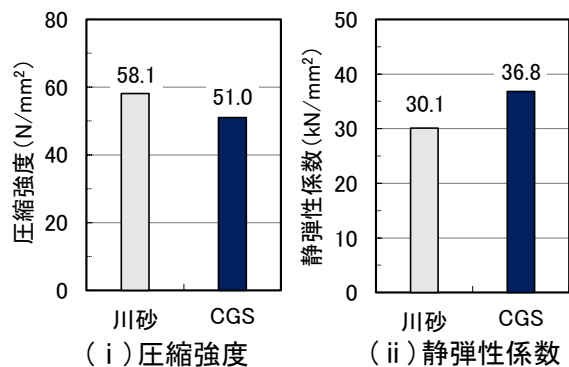


図-1 圧縮強度および静弾性係数の比較 (材齢 28 日)

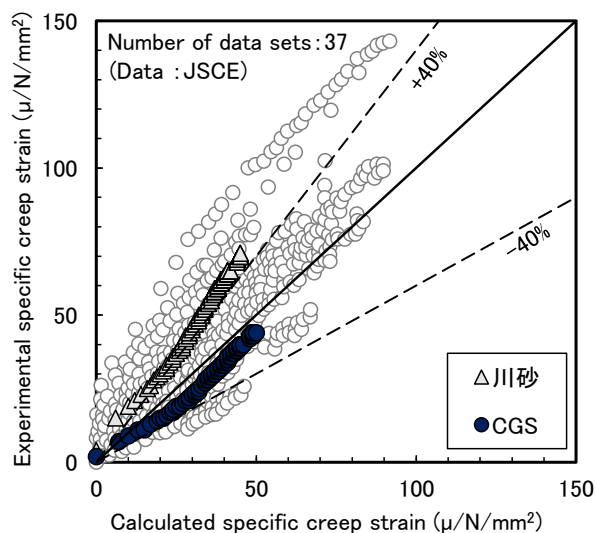


図-2 単位クリープひずみの実測値と予測値の比較

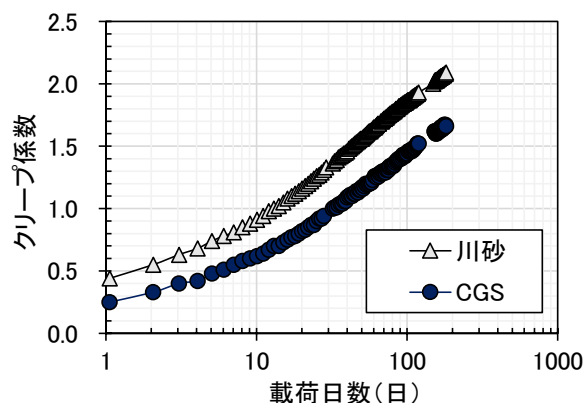


図-3 荷重日数とクリープ係数の関係