

混和材と石炭ガス化スラグ細骨材を併用したコンクリートの強度特性・耐久性評価(1)
圧縮強度および静弾性係数に及ぼす影響

東京電力ホールディングス ○ 正会員 松浦忠孝
正会員 小林保之

1. はじめに

土木学会をはじめとする各機関により石炭ガス化スラグ細骨材（以下、CGS という）を用いたコンクリートの設計・施工の標準化に資する様々な研究が取り組まれ、その成果として、近く学会指針が刊行される予定である。これら指針の作成にあたっては、基本的な使用方法としてセメント種類を普通ポルトランドセメント（以下、OPC という）とした配合を中心に評価がなされてきた。他方、市場では、環境負荷低減や高耐久化を指向してフライアッシュ（以下、FA という）や高炉スラグ微粉末（以下、BFS という）等の混和材、あるいは混合セメントの利用が求められる機会が多くなっている。そのため、今後のCGS 利用普及を堅固なものとするには、CGS とこれら混和材等を併用した場合のデータを蓄積し、整理していくことが必要である。

本研究では、CGS と FA または BFS を併用したコンクリートについて基礎的な硬化物性を評価することを目的として、圧縮強度および静弾性係数の評価を行った。

2. 使用材料

試験に使用した材料を表-1 に示す。CGS は、勿来 IGCC 発電所産（試料名：P3-A）の JIS A 5011-5 に適合するもの、混和材は FA II 種（JIS R 6201）および BFS 4000（JIS R 6206）に適合する材料を用いた。次に、コンクリート配合を表-2 に示す。水結合材比（W/B）は 50%一定とし、混和材置換率は、併用による影響が出現しやすいように FA/B=25%（フライアッシュセメント C 種相当）、BFS/B=45%（高炉セメント B 種相当）と高めの設定とした。CGS を用いた配合の CGS 混合率（全細骨材量に対する CGS

の容積比）は、標準的な利用範囲を考慮して 50%とした。目標スランプ・空気量は、12±2.5cm、4.5±1.5%とし、単位水量一定の条件で、混和剤使用量によりフレッシュ性状の調整を行った。

3. 試験方法

円柱供試体φ100×200mm により、材齢 28 日および 91 日において圧縮強度試験（JIS A 1106）、静弾性係数試験（JIS A 1126）を実施した。なお、混和材を使用した配合では、反応を促すうえで湿潤養生が重要となる。CGS の反応性も養生（水分供給）の影響を受けることが予想されることから、それぞれの配合について養生方法を 2 水準（①脱型後、20℃水中養生、②型枠存置 5 日または 7 日後、20℃、60%RH 気中養生）設定し、養生による影響も確認することとした。ここに、以降の図中の凡例の W は水中養生、D は気中養生を指す。

表-1 使用材料

品目	記号	仕様・品質試験値（抜粋）
水	W	上水道水
結合材 B	C	普通ポルトランドセメント（OPC）、密度 3.16g/cm ³
	FA	フライアッシュ II 種、密度 2.31 g/cm ³ 、比表面積 4320cm ² /g、活性度指数〔材齢 28 日〕85%、〔91 日〕100%
	BFS	高炉スラグ微粉末 4000、密度 2.89 g/cm ³ 、比表面積 4380cm ² /g、活性度指数〔材齢 28 日〕98%、〔91 日〕106%
細骨材 S	SI	掛川産、表乾密度 2.58 g/cm ³ 、吸水率 1.64%、微粒分量 1.4%、実積率 67.3%
	CGS	表乾密度 2.79g/cm ³ 、吸水率 0.29%、炭素含有率 0.08%、微粒分量 5.3%、実積率 69.7%
粗骨材	G	菊川市河東産、表乾密度 2.63g/cm ³ 、吸水率 1.07%、実積率 63.8%
混和剤	AD1	標準形 I 種
	AD2	I 種
	AD3	I 種（フライアッシュ用）

表-2 コンクリート配合

配合 No.	W/B	S/a	CGS 混合率	単位量 kg/m ³							フレッシュ性状					
				W	B			S		G	AD1 C×%	AD2 C×%	AD3 C×%	スランプ cm	空気量 %	コンクリート温度 ℃
					C	FA	BFS	SI	CGS							
OPC-0	50	47	0	160	320			841	0	968	0.35	0.0025		12.0	3.8	21
OPC-50			50					421	455		0.35	0.0025		12.0	4.7	21
FA-0			0		240	80		828	0	955	0.05		0.08	13.5	4.0	21
FA-50			50					415	449		0.10		0.06	13.5	4.3	21
BFS-0			0		176		144	836	0	960	0.35	0.0025		13.0	3.8	21
BFS-50			50					418	452		0.35	0.0030		14.0	4.8	21

キーワード 石炭ガス化スラグ細骨材 混和材 圧縮強度 静弾性係数 湿潤養生

連絡先 〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1 東京電力ホールディングス（株）経営技術戦略研究所 TEL070-4540-1400

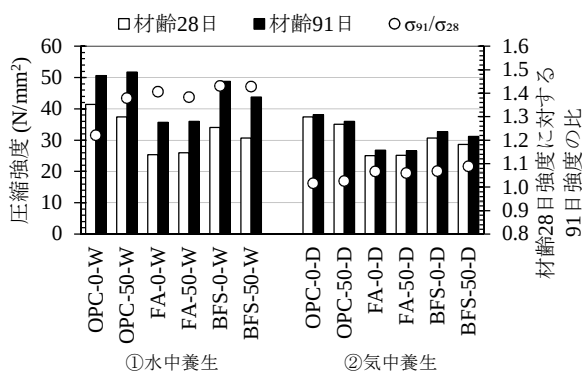


図-1 圧縮強度試験結果

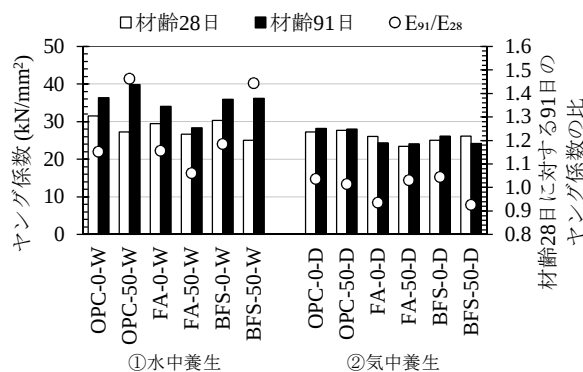


図-2 静弾性係数試験結果

4. 試験結果と考察

4.1 圧縮強度

圧縮強度の試験結果を図-1に示す。CGSの使用によって、材齢28日強度はやや低下する傾向であるものの、水中養生ではいずれの配合においても材齢91日にかけて堅調な強度の増進が認められた。このうち、OPC-50-Wは、材齢91日においてOPC-0-Wより強度が高くなっており、CGSが強度増進に寄与することを示している。さらに、OPC-50-Wの材齢28日に対する91日の強度増進の比(σ_{91}/σ_{28})は、FA、BFSを使用した配合と同等であり、CGSが混和材に並ぶ有能な材料であることを示している。一方、FA-50-W、BFS-50-Wの強度は、材齢91日時点ではそれぞれFA-0-W、BFS-0-Wの同等以下に留まり、OPC-50のような強度の向上は認められなかった。ただし、強度増進率は、FA-0-W、BFS-0-Wと同等となっており、この結果から、混和材を使用した配合では、CGSの反応より混和材による反応が支配的であるものと考えられる。気中養生では、全ての配合において材齢28日から91日にかけての強度は僅かな増進に留まった。OPC-50-DもOPC-0-Dとの有意な差は認められず、この結果から、CGSを使用することによって強度増進を期待する場合には、混和材を使用した配合と同様に湿潤養生が重要であることが確認された。

4.2 静弾性係数

静弾性係数の試験結果を図-2に、また、この結果を圧縮強度と静弾性係数の関係で整理したものを図-3に示す。既往の文献⁷⁾では、CGS混合率を高めたコンクリートの静弾性係数は、同一強度ではやや大きくなるとされている。今回の結果においては、W/Bを50%一定としているために強度差が生じていることから単純な比較はできないものの、圧縮強度と静弾性係数の関係は、CGS混合率を50%に留めていることも相まって、CGS未使用の

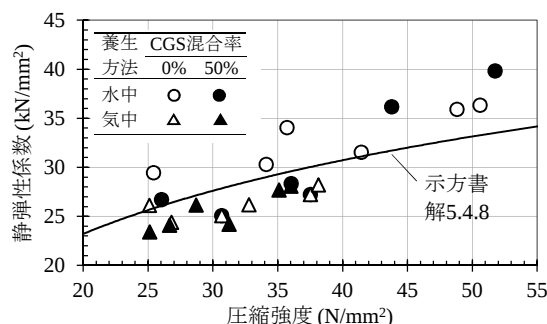


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

配合と有意な差を生じることはなかった。また、混和材使用による統一的な傾向も認められなかった。ここに、FA-50-Wの材齢91日における静弾性係数の増進が他より顕在しなかった理由は定かでない。気中養生の静弾性係数は、混和材およびCGSの使用によらず、いずれもコンクリート標準示方書〔設計編〕による推定式をわずかに下回る結果となった。岡島ら²⁾は、乾燥に伴う静弾性係数の低下要因として、ペーストの収縮によって骨材周囲に生じたマイクロクラックの影響を示唆しており、今回の結果もこれと同様の機構と推察される。

5. まとめ

本研究の結果より、CGSの反応性は、OPC配合において強度増進に寄与するが、FAやBFS等混和材と併用した場合は、少なくとも材齢91日までは混和材の反応に律速し、CGS利用による強度増進は顕在しにくいことが確認された。また、CGSの反応性を確保するうえで、湿潤養生が重要であることが確認された。

参考文献

- 1) 長瀧重義, 阿部道彦, 松浦忠孝: JIS A5011-5 (石炭ガス化スラグ骨材) 制定の概要, コンクリート工学, Vol.59, No.6, pp.496-501, 2021.
- 2) 岡島達雄, 一瀬賢一: コンクリートの強度および弾性定数の含水率依存性, セメント技術年報, Vol.36, pp.211-213, 1982.