

石炭ガス化スラグを細骨材として用いたコンクリートの各種耐久性評価

日本大学 非会員 ○宮本凌佑 齋藤夢向 学生会員 相内豪太
 正会員 前島拓 フェロー 岩城一郎
 東京電力ホールディングス株式会社 正会員 松浦忠孝

1. はじめに

石炭ガス化スラグ(CGS)は、従来の石炭火力発電よりも発電効率と環境性能が向上した新たな発電方式である石炭ガス化複合発電プラント(IGCC)から排出される副産物であり、2020年にコンクリート用スラグ骨材として制定されている。このCGSは石炭起源の材料であることからコンクリートに混和することで、ポズラン反応に起因するとみられる長期強度増進効果や塩分浸透抵抗性の向上に寄与することが明らかとなっている¹⁾。一方で、CGSを過度に置換した場合、ブリーディングが増大し、それに伴って凍結融解抵抗性が低下する可能性が報告²⁾されており、CGSの利用普及を図るには置換率を含めた最適な配合を選定する必要がある。また、福島県内には2基のIGCCが稼働しており、地産地消の観点からも福島県内のコンクリート材料としての利用が望まれる。しかし、福島県をはじめとする積雪寒冷地で供用される道路構造物では、冬期に大量の凍結防止剤が散布されることで、コンクリートの塩害や凍害、ASRなどの材料劣化が複合的に生じるリスクが高く、CGSを用いたコンクリートにおいても塩分環境下を想定した各種材料劣化に対する耐久性について検討する必要がある。そこで本研究では、CGSを細骨材として用いた供試体を作製し、各種材料劣化に対する耐久性について実験的に検討した。

2. 実験概要

表-1にコンクリートの配合を示す。本試験では福島県内のIGCCから副生されるA種、B種のCGSを用いた。表より、単位水量170kg/m³、水セメント比50.0%、細骨材率46.0%の普通コンクリート(N)を基準配合とし、CGSはいずれもNの細骨材の容積に対し、30%、50%、100%で置換した。コンクリートのフレッシュ性状はスランプ12±2.5cm、空気量を5.0~6.0%の範囲となるようAE減水剤およびAE剤により調整した。検討項目は、圧縮強度試験、JIS A 1148法に準拠した凍結融解試験、コンクリート打込み面を3%NaCl水溶液で湛水させ、40℃環境下で91日間促進させる塩分浸透促進試験、SSW法に準拠したASR試験である。なお、ASR試験では表-1と同配合で粗骨材のみ反応性骨材に変更した供試体を使用した。

表-1 コンクリートの配合

ID	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位数 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)		Slump (cm)	Air (%)	
				W	C	S	CGS	G	AE減水剤			AE剤
N	20	50.0	46.0	170	340	823	0	988	1.0	0.002	11.0	5.6
A-30%						576	259		0.8	0.004	12.0	5.9
A-50%						411	431		0.6	0.005	12.5	6.0
A-100%						0	863		0.6	0.008	9.5	5.8
B-30%						576	276		0.7	0.003	11.5	6.0
B-50%						411	459		0.5	0.004	11.5	5.5
B-100%						0	919		1.0	0.003	10.5	6.0

3. 実験結果および考察

図-1に圧縮強度試験結果を示す。図より、CGSを混和した供試体は、その種類によらず材齢28日までは置換率に応じて強度が低い結果であった。一方、材齢91日以降では、365日に至るまで置換率に伴い強度増進する傾向を示し、CGSの混和による長期強度増進効果がみられた。

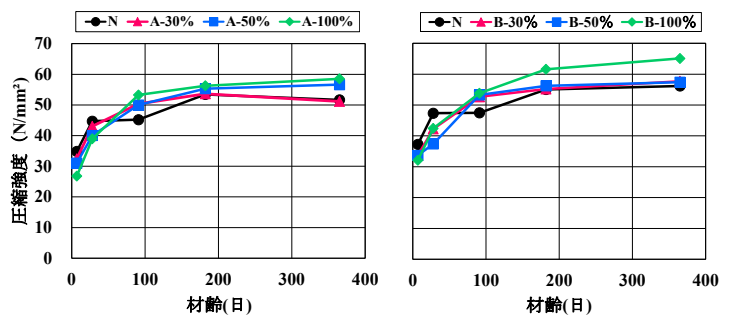


図-1 圧縮強度試験結果

図-2、3に凍結融解試験結果として質量減少率と相対動弾性係数の推移を示す。なお、凍結融解試験は開始材齢を28日と182日とした2条件で実施した。まず、A種を用いた供試体の材齢28日で開始した条件では、Nよりも凍結融解抵抗性が低下する結果であり、また置換率に伴ってその傾向が顕著であった。材齢182日で開始した試験では、Nよりも凍結融解抵抗性は劣るものの、材齢28日の試験結果と比して凍結融解抵抗性が明らかに向上する結果であった。一方、B種は、材齢28日、182日いずれもNと同程度の凍結融解抵抗性が示されてお

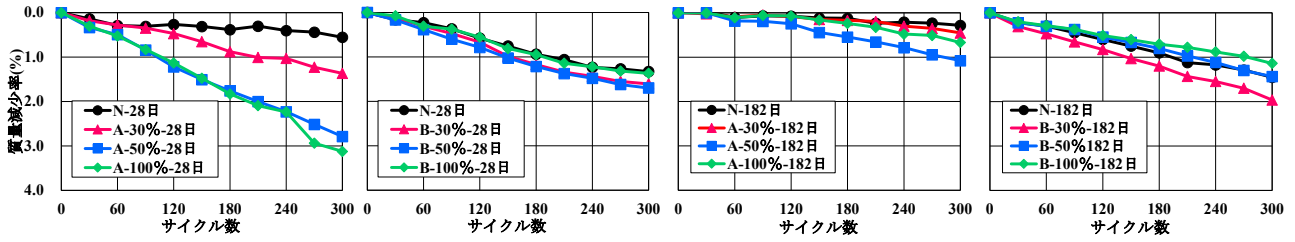


図-2 質量減少率

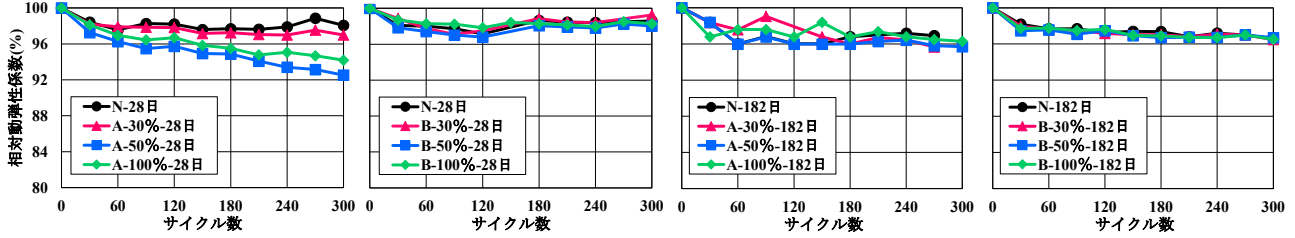


図-3 相対動弾性係数

り、CGSの種類によって凍結融解抵抗性が異なる結果であった。相内ら²⁾は、塩分環境下においてCGSを使用したコンクリートの打設面のスケリング抵抗性が低下することを報告しているが、本検討においては試験開始材齢およびCGSの種類、置換率に関わらず相対動弾性係数が90%以上を示しており、5.0~6.0%の空気量を確保することで十分な耐凍害性を有するものと判断される。図-4に塩分浸透促進試験結果を示す。

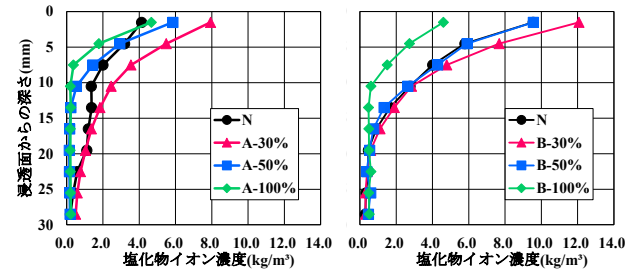


図-4 塩分浸透試験結果

図より、深さ方向10mm以深に着目すると、A種では50%、100%、B種では100%で塩化物イオンの浸透がなく、CGSを用いたコンクリートは置換率に応じて塩分浸透抵抗性が向上することを明らかとした。図-5にASR試験結果を示す。図より、CGSの種類によらず、いずれも促進初期では置換率に応じて膨張が促進される結果であった。これはCGSのアルカリ含有量(Na₂Oeq)がA種で10.9%、B種で3.39%とA種の方が

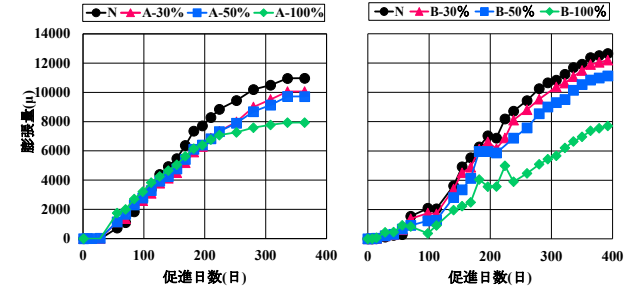


図-5 ASR試験結果

高い値であり、促進初期においてはこのアルカリ量に応じてコンクリート細孔溶液中のアルカリ濃度が高くなり、ASRが促進されたものと推察される。一方、促進長期においては置換率の増大に伴い膨張が抑制される傾向が認められた。膨張抑制の機構は明らかでないが、長期における強度増進や塩分浸透抵抗性の向上等を考慮すると、CGSのポズラン反応の進行がASRによる膨張を抑制したものと考えられる。この究明は今後の課題としたい。

4. まとめ

本研究では、CGSを細骨材として用いたコンクリートの各種耐久性について実験的に検討した。その結果、CGSは種類によらずコンクリートの長期強度増進に寄与する材料であることを明らかとした。また、凍結融解試験では、材齢経過に伴って凍結融解抵抗性が向上する結果を示し、空気量を5.0~6.0%確保することによって十分な凍結融解抵抗性を有することを示唆した。塩分浸透促進試験では、置換率に応じて塩分浸透抵抗性が向上することが確認された。ASR試験では、CGS内に含まれるアルカリ量により初期膨張が促進されるものの、置換率に応じて長期における抑制効果が確認された。

【参考文献】

- 1) 相内豪太ら：石炭ガス化スラグを細骨材として用いたコンクリートの諸物性に関する検討,土木学会年次学術講演会, 2021.9
- 2) 相内豪太ら：凍結防止剤散布環境下における石炭ガス化スラグを細骨材として用いたコンクリートの各種耐久性評価,コンクリート工学年次論文集, Vol.44, pp.1636-1640, 2022.7