

石炭ガス化スラグ細骨材を混和したコンクリートの各種耐久性評価

日本大学工学部 ○成瀬陽平 中川匡 学生会員 相内豪太
 日本大学工学部 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

近年、従来の石炭火力発電方式に対して発電効率や環境性能が向上した石炭ガス化複合発電(以下、IGCC)が注目されており、現在、全国で3基稼働している。IGCCからは副産物として石炭ガス化スラグ(以下、CGS)が発生する。このCGSは2020年10月にコンクリート用スラグ骨材としてJIS A 5011-5に制定され、今後利用普及が期待されている。一方、東北地方をはじめとする積雪寒冷地の道路構造物では、凍結防止剤の大量散布によりコンクリート構造物の塩害や凍害、アルカリシリカ反応(以下、ASR)が促進され、これらが複合的に作用することによる早期劣化が社会問題となっている。よって、CGSを用いたコンクリートの道路構造物への普及にあたっては、凍結防止剤が散布されるような厳しい環境を想定した耐久性について体系的に評価する必要がある。そこで本研究では、各IGCCから排出されるCGSを用いたコンクリート供試体を作製し、凍結防止剤散布下で想定される各種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。単位水量 170kg/m^3 、水セメント比50%、細骨材率46%の普通コンクリート(N)を基準とし、P1およびP2から排出されるCGSを細骨材に対してそれぞれ30%、50%、100%で容積置換した6条件、P3のCGSを細骨材に対して50%で容積置換した1条件の計8条件である。なお、いずれの配合についても目標スランプを $12\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量を5.0~6.0%としてAE減水剤及びAE剤により調整した。検討項目は、ASTM C672、JIS A 1148 にそれぞれ準拠した凍結融解試験、

SSW法によるASR試験、3%NaCl水溶液を湛水させた塩分浸透促進試験である。なお、ASTM法による凍結融解試験は凍結防止剤散布下を想定して試験媒体に3%NaCl水溶液を使用し、ASR試験については表-1と同配合で粗骨材のみを反応性骨材に変更して供試体を作製した。

3. 実験結果と考察

図-1にASTM C672法による凍結融解試験結果を示す。図より、P1を混和した条件ではいずれもNよりもスケールンが増加する結果であり、50サイクル時点では置換率に応じてスケールン抵抗性が低下する傾向であった。また、P2も同様の傾向であり、CGSを混和することで普通コンクリートよりもスケールン抵抗性が低下する結果であった。これはCGSコンクリートでは骨材界面の性状やブリーディングの影響で若材齢の圧縮強度が低く、特に打込み面でその影響が顕著に表れるためと推察される。しかし、いずれも50サイクル時点のスケールン量は 1.0kg/m^3 以下であることから一定の凍結融解抵抗性

表-1 コンクリート配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					混和剤(C×%)		Slump (cm)	Air (%)	温度 (°C)
			W	C	S	CGS	G	AE減水剤	AE剤			
N	50.0	46.0	170	340	823	0		1.0	0.002	11.0	5.6	22.0
P1-30%					576	259		0.8	0.004	12.0	5.9	22.0
P1-50%					411	431		0.6	0.005	12.5	6.0	22.0
P1-100%					0	863	988	0.6	0.008	9.5	5.8	22.0
P2-30%					576	276		0.7	0.003	11.5	6.0	23.5
P2-50%					411	459		0.5	0.004	11.5	5.5	23.5
P2-100%					0	919		1.0	0.003	10.5	6.0	23.0
P3-50%					411	465	983	0.8	0.020	14.0	5.9	12.5

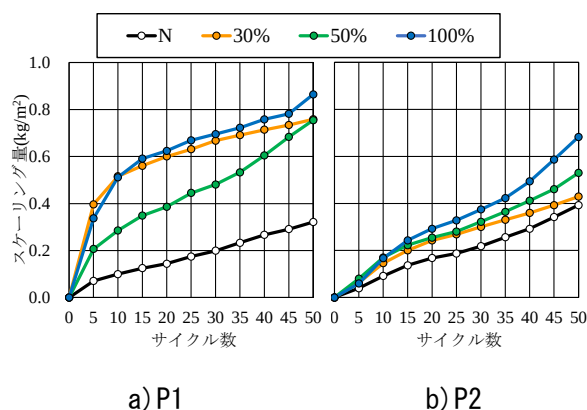


図-1 スケールン量

キーワード 石炭ガス化スラグ、耐久性、凍結防止剤

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学工学部土木工学科 TEL 024-956-8721

を有するものと判断される。図-2、3に JIS A 1148 法による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。材齢 28 日では N に対して CGS を混和した配合ではいずれも質量減少率が増加しており、置換率に伴って凍結融解抵抗性が低下するという前述した ASTM 法と同様の傾向であった。しかし、いずれの条件においても相対動弾性係数は 90%以上を保っていることから、空気量を 5.0~6.0%とすることで優れた耐凍害性を有することが確認された。また、材齢 182 日の試験では、CGS を使用した配合の質量減少率が若干増加するものの、材齢 28 日と比べると明らかに凍結融解抵抗性が向上し、N と同等の相対動弾性係数となった。長期材齢では CGS 自身の反応によるコンクリートの緻密化に伴う強度増進により凍結融解抵抗性が向上したものと推察される。図-4 に ASR 試験の結果を示す。図より、促進日数 28 日以降、全条件で膨張が確認され、84 日時点では CGS を混和したコンクリートはいずれも N よりも膨張量が大きくなる傾向を示した。これは CGS 内のアルカリ含有量が多いことで、反応性粗骨材のアルカリシリカゲルの生成を促進したためであると推察される。一方、促進日数 112 日以降は置換率に伴い膨張量が抑制される結果であった。これは、CGS の反応がポゾラン反応に起因することを前提にすると、コンクリート内部のアルカリが消費されたと推察される。図-5 に塩分浸透促進試験の結果を示す。図より、促進日数 91 日、182 日いずれも同様の傾向を示しており、置換率 30%では N と同程度であったのに対して、置換率 50%および 100%では、浸透面から 10mm 以深からほとんど塩化物イオンが浸透していない。このことから、P-1 の CGS については、細骨材に 50%程度以上置換することで、塩分浸透抵抗性が向上することが示された。

4. まとめ

本研究では CGS 細骨材を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 細骨材を用いたコンクリートは普通コンクリートよりも凍結融解抵抗性が低下するものの、十分なエントレインドエアを連行することで一定の耐凍害性を有することが示された。ASR 試験では、CGS が長期的な ASR 抑制に寄与し得る可能性が示された。また、CGS を 50%程度以上置換することで、凍結防止剤が散布されるような環境においてもコンクリートの塩分浸透抵抗性が向上することを明らかとした。今後は、各種試験を継続するとともに、高アルカリの CGS を用いた場合の ASR 抑制対策をはじめとする耐久性向上について検討を進め、CGS の置換率を含めた適切な配合の検討を進めていく予定である。

【謝辞】本研究の一部は NEDO 助成事業（2019~2021）および IGCC 関係法人の共同運営により実施した試験結果から得たものである。

【参考文献】1)小林保之ほか：石炭ガス化スラグ細骨材が強度発現特性に与える影響検討、JSCE 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会

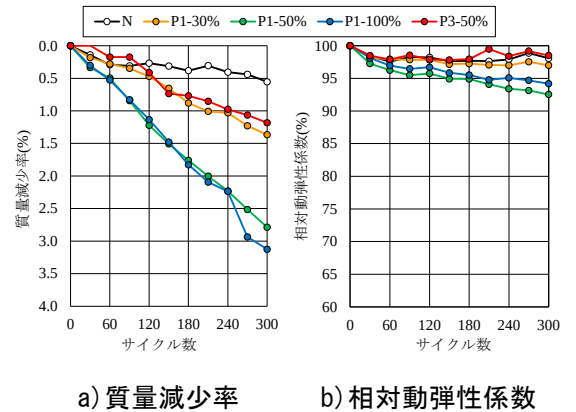


図-2 凍結融解試験(材齢 28 日開始)

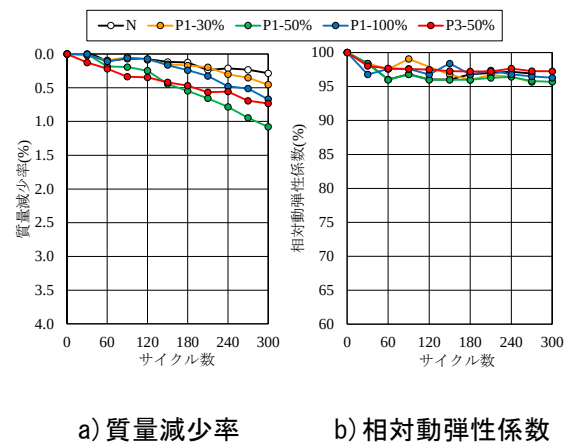


図-3 凍結融解試験(材齢 182 日開始)

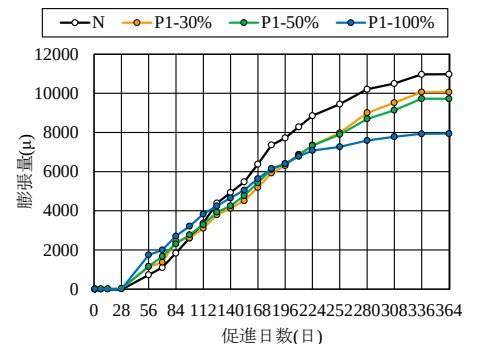


図-4 ASR 試験

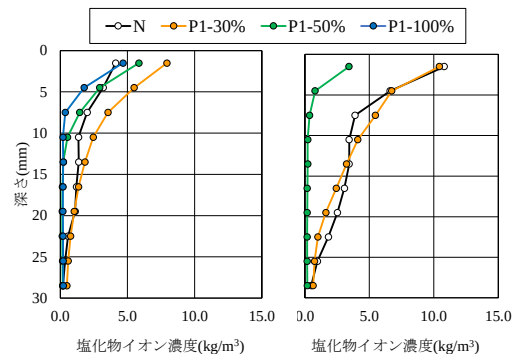


図-5 塩分浸透促進試験