

銅スラグ細・粗骨材を骨材の一部置換したコンクリートの 400℃までの耐火性能

徳島大学大学院 学生会員 ○中島和俊 徳島大学大学院 正会員 橋本親典
 徳島大学大学院 正会員 渡邊健 徳島大学大学院 正会員 石丸啓輔

1. はじめに

近年、自動車や貨物列車による交通の増加に伴い、トンネルの火災事故が多発しており、土木のコンクリート構造物の耐火性について検討することが重要視され始めている。また、天然骨材の産出量の減少に伴い、砕石砕砂を用いたコンクリートが主流になりつつある。これによる代替骨材の検討として、銅スラグや石灰石が挙げられる。一般的に、乾燥収縮抑制効果が期待できる石灰石は耐火性が劣り、銅スラグを置換したコンクリートはブリーディングが懸念されている¹⁾。本研究では、代替骨材コンクリートの汎用性を拡大していくためにも短所となる部分の特性を検討し、多面的視点での利用拡大を目指すため、これまで使用実績の少ない銅スラグを細骨材と粗骨材の両方に置換したコンクリートを用いて普通骨材コンクリート、石灰石骨材コンクリート、銅スラグ骨材コンクリートの 400℃までの耐火性能について実験的検討を行った。

2. 実験概要

本試験の配合を表-1 に、使用材料及び物理特性を表-2 に示す。CuS5(粒径≤5.0mm)、CuG10(5.0mm≤粒径≤10mm)、CuG20(10mm≤粒径≤20mm)の3種類の粒径の異なる銅スラグを用い、CuS5を細骨材に、CuG10とCuG20を1:1で粗骨材に質量置換した。骨材の置換率による影響を検討するため、骨材以外の配合は全て同一とした。石灰石も同様に細骨材と粗骨材に質量置換(50、100%)した。配合名のCuは銅スラグ骨材、石灰は石灰石骨材を意味し、%表記は置換率である。

円柱供試体(φ100×200mm)を作成し、加熱には電気マuffle炉を使用した。福田¹⁾の研究を参考に、独自に設定した加熱条件は、ピーク温度を200、300、400℃の3パターンとし、それぞれ30分かけてピーク温度まで上昇させ、ピーク温度で継続時間90分間それぞれ加熱を行った後、加熱を停止し自然冷却させて終了とした。その後、加熱後の供試体の圧縮強度と弾性係数を測定し、比較することで耐火性能の評価とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 フレッシュ性状

図-1にブリーディング試験結果を示す。銅スラグ骨材の表面の平滑度の影響で保水能力が砕石砕砂に比べて非常に小さく、自由水が増加したため、砕石砕砂コンクリートに比べて、銅スラグ骨材置換のコンクリートのブリーディング量は多く、約3倍程度であった。石灰石骨材は砕石砕砂にも関わらずブリーディングが銅スラグ骨材コンクリートと同程度であった。多量のブリーディング水が確認できたCu100%であるが、置換率を50%に変更することによって、ブリーディング量は半分程度に低減できることが確認できた。

表 - 1 配合

配合名	単位量(kg/m ³)								AE (C×%)	SP (C×%)	SL (cm)	Air (%)	CT (°C)
	W	C	S			G							
			砕砂	CuS5	石灰	砕石	CuG	石灰					
普通	175	350	854	0	0	850	0	0	5A	2.5A	7	4.5	20.2
Cu100%	175	350	0	1179	0	0	1165	0	1A	0.6A	1	7	22.2
石灰100%	175	350	0	0	880	0	0	890	1A	2A	14	4.5	21.1
Cu50%	175	350	590	590	0	583	583	0	1A	0.6A	3	6.5	18.3
石灰50%	175	350	440	0	440	447	0	447	1.5A	2A	6.5	4	20.2

表 - 2 使用材料の物理特性

	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率
普通Pセメント	3.16	-
砕砂	2.57	1.77
砕石	2.56	2.16
CuS5	3.55	1.6
CuG20	3.59	0.5
石灰砕砂	2.65	0.66
石灰砕石	2.68	0.84

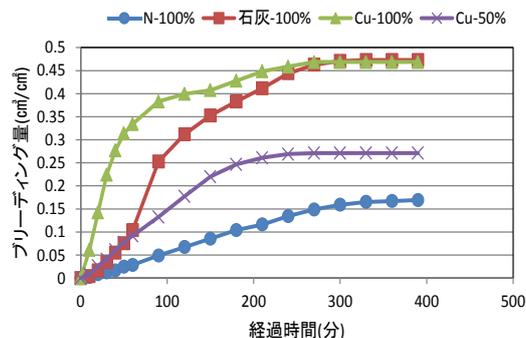


図-1 ブリーディング試験結果

3.2 予備試験における外観観察

予備試験として、500℃の加熱試験後における外観観察を行った。普通骨材コンクリートは、供試体が全体的にピンクに変色していて、粗骨材は赤く変色していた。マッフル炉に入れる前に供試体に油性ペンで書いていた供試体番号はほとんど消えて薄くなっていた。石灰石骨材コンクリートは、普通骨材コンクリートで見られたような供試体の変色は見られなかったが、爆裂を起こし、供試体は大きく破壊した。供試体番号はわずかに薄くなっていた。銅スラグ骨材コンクリートは、マッフル炉に入れる前後で、粗骨材の変色は見られず、供試体番号もはっきりと残っていた。

3.3 圧縮強度

20(常温)、200、300、400℃の圧縮強度を図-2に、加熱温度ごとの相対圧縮強度を図-3に示す。常温時では、同一W/Cにも関わらず、5配合の各種コンクリートの圧縮強度が27～53N/mm²まで大きく変動した。特に銅スラグ骨材100%のコンクリートは、細骨材と粗骨材ともにすべて銅スラグ骨材のため、フレッシュ性状の調整が難しく、表面水率の影響が大きくなったためと考えられる。しかしながら、加熱温度が増加するに従い、すべての配合の圧縮強度は低下する傾向は確認できた。石灰石骨材コンクリートは、常温時から400℃にかけて、圧縮強度が大きく低下した。一方、銅スラグ骨材コンクリートは圧縮強度の低下率が小さかった。銅スラグ骨材100%のコンクリートと石灰石骨材100%のコンクリートの耐火性を比較すると、銅スラグ骨材コンクリートの耐火性能が明らかに優れていた。

普通骨材コンクリートに耐火性能の良い銅スラグを50%置換した場合、200℃以降は、相対圧縮強度が90%以上であり優れた耐火性能を示した。一方、普通骨材コンクリートに耐火性能の悪い石灰石を50%置換した場合、石灰石のみの場合と同程度の耐火性能であった。

3.4 弾性係数

20℃(常温)、200、300、400℃の相対弾性係数を図-4に示す。圧縮強度試験結果では加熱温度が300℃以降では停滞する傾向であったが、弾性係数はすべての配合で低下した。銅スラグ骨材コンクリートは、普通骨材コンクリートと低下の程度は同程度で、400℃の加熱試験においても相対弾性係数は、60%以上を保持した。一方、石灰石骨材コンクリートは、300℃を超えた時点から、大幅に低下し、低下率は60%を大きく下回った。

4. 結論

本研究の範囲内で明らかになったことを以下に記す。

- 1)銅スラグ骨材コンクリートは、石灰石骨材コンクリートよりも耐火性能に優れ、普通砕石砕砂コンクリート以上の耐火性能を有する。
- 2)耐火性能は、耐火性能の低い骨材の影響を受けるのに対して、ブリーディング性能は、ブリーディング性能の低い骨材の影響を受ける。

参考文献 1) 石丸啓輔、福田圭佑、橋本親典、渡邊健：銅スラグ骨材を用いたコンクリートの耐火性および乾燥収縮抑制効果に関する研究、土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集、Vol.19、pp.323-324、2013.5

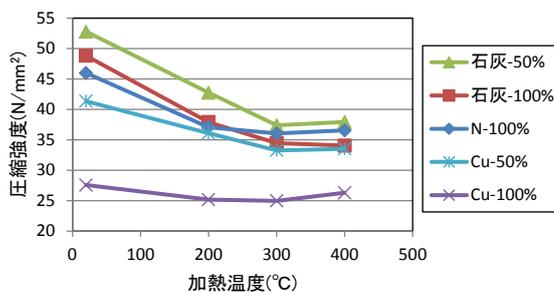


図-2 加熱温度ごとの圧縮強度

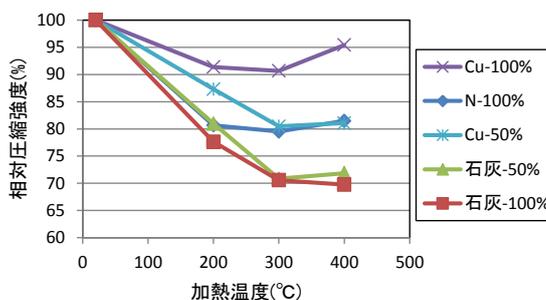


図-3 加熱温度ごとの相対圧縮強度

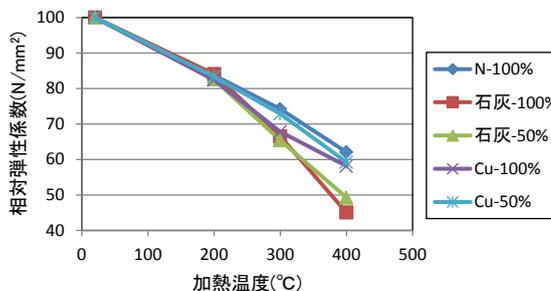


図-4 加熱温度ごとの相対弾性係数