

銅スラグ細骨材を使用したコンクリートの諸特性に関する調査

三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー生産部セメント研究所 正会員 ○木村 祥平

三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー生産部セメント研究所 正会員 黒岩 義仁

三菱マテリアル(株) 金属事業カンパニー営業部 美坂 剛

1. はじめに

資源の有効利用および資源骨材の枯渇化の観点から、銅スラグ細骨材の利用拡大が期待されている。これまで銅スラグ細骨材を使用したコンクリートは、天然砂を使用したものに比べてブリーディングが増大する課題があり、(公社)土木学会および(一社)建築学会の施工指針では銅スラグ細骨材の混合率を30%以下で使用することが示されている。そこで、著者らは銅スラグ細骨材の粒度および微粒分の粒形を調整することで細骨材として単独で使用してもワーカブルなコンクリートが製造可能で、かつブリーディングが抑制できることを確認した^{たとえ1)}。本報ではこの銅スラグ細骨材を使用したコンクリートのフレッシュ性状、強度特性、鉄筋との付着強度および耐久性状を調査し、山砂を用いた普通コンクリートと比較検討した結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 使用材料

使用材料を表1に示す。セメントには高炉セメントB種を、細骨材には粒度および0.15mm以下の微粒分の粒形を調整した2.5mm銅スラグ細骨材と比較用として福島県いわき市産の山砂を用いた。

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合条件を表2に示す。配合はケーソン本体を想定し、W/Cを国土交通省の港湾の施設の技術上の基準・同解説²⁾に示されている鉄筋コンクリートの最大W/Cである50%とした。また、銅スラグ細骨材の混合率(以下、CUS混合率)は0、50および100vol%とした。なお、目標スランブは12.0±1.5cm、目標空気量は4.5±1.0%とした。

2.3 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表3に示す。塩化物イオン浸透性は10wt%のNaCl溶液に1年間浸漬し、見掛けの塩化物イオン拡散係数で評価した。鉄筋付着強度はNEXCO試験方法の無収縮モルタル品質管理試験方法³⁾の鉄筋付着強度試験に準拠し、標準養生材齢28日で測定した。試験体の寸法は150×150×150mmとし、鉄筋にはφ19mmの丸鋼を用いた。また、ブリーディングによる水平鉄筋下部の空隙の形成が鉄筋との付着強度に及ぼす影響を調査するため、鉄筋は試験体中央に水平に挿入し、その埋めこみ長さを150mmとした。

表 1 使用材料

材料		記号	備考
セメント	高炉セメント B 種	C	密度 3.04g/cm ³
細骨材	2.5mm 銅スラグ細骨材	CUS	密度 3.50g/cm ³ , 吸水率 0.43% F.M.2.44, 0.15mm 未満の微粒分量 11%
	山砂	PS	密度 2.61g/cm ³ , 吸水率 1.26% F.M.2.57, 0.15mm 未満の微粒分量 4%
粗骨材	山砂利	G	密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 0.87%
混和剤	AE 減水剤標準型	AD	リグニンスルホン酸系

表 2 コンクリートの配合条件

W/C(%)	CUS 混合率(vol%)	スランブ(cm)	空気量(%)
50	0, 50, 100	12±1.5	4.5±1.0

表 3 試験項目および試験方法

試験項目	試験規格	備考
スランブ	JIS A 1104:2014	—
空気量	JIS A 1128:2014	—
コンクリート温度	JIS A 1156:2014	—
ブリーディング	JIS A 1126:2012	—
単位容積質量	JIS A 1116:2014	—
圧縮強度	JIS A 1108:2006	測定材齢：7, 28 日
静弾性係数	JIS A 1149:2010	測定材齢：7, 28 日
鉄筋付着強度	NEXCO 試験方法 ³⁾	測定材齢：28 日
長さ変化	JIS A 1129:2010	—
凍結融解抵抗性	JIS A 1148:2010	—
中性化深さ	JIS A 1153:2012	—
塩化物イオン浸透性	JSCE-G 572-2010	浸漬期間：1 年

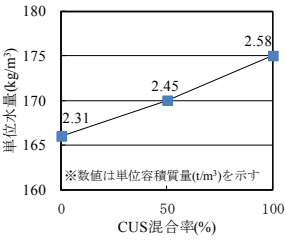


図 1 単位水量

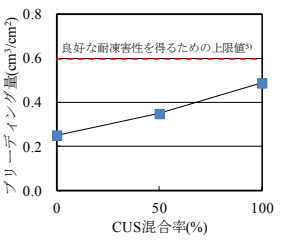


図 2 ブリーディング量

キーワード 銅スラグ細骨材, フレッシュ性状, 強度特性, 付着強度, 重量コンクリート

連絡先 〒368-8504 埼玉県秩父郡横瀬町大字横瀬 2270 番地 TEL 0494-23-7209

3. 試験結果

3.1 フレッシュ性状

CUS混合率とコンクリートの単位水量およびブリーディング量との関係を図1および図2に示す。なお、図1にはコンクリートの単位容積質量(単位: t/m^3)も示す。CUS混合率100vol%の単位容積質量は日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説に示される重量コンクリートの範囲である $2.5t/m^3$ 以上を満足した⁴⁾。単位水量とブリーディング量はCUS混合率が多いほど増加した。ブリーディング量はCUS混合率100vol%で $0.49cm^3/cm^2$ となったが、土木学会の施工指針に示される良好な耐凍害性を得るためのブリーディング量の $0.6cm^3/cm^2$ 以下⁵⁾を満足した。

3.2 強度特性

圧縮強度を図3に、静弾性係数を図4に示す。圧縮強度はCUS混合率に係らず同等で、静弾性係数はCUS混合率100vol%で山砂を用いた普通コンクリートより材齢28日で約 $4 \times 10^3 N/mm^2$ 高くなった。図5に示すコンクリートの鉄筋付着強度はCUS混合率に係らず普通コンクリートと同等以上であり、今回の検討範囲であるブリーディング量 $0.5cm^3/cm^2$ 程度以下では、ブリーディングが鉄筋付着強度に及ぼす影響は認められなかった。

3.3 耐久性

図6から図8に示す長さ変化率、相対動弾性係数および見掛けの塩化物イオン拡散係数はCUS混合率に係らずほぼ同等であった。銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの中性化については土木学会の施工指針⁵⁾では銅スラグ細骨材を用いることで小さくなるとされている。一方、渡辺らは銅スラグ細骨材を用いても中性化深さは変わらないと報告している⁶⁾。本研究においては図9に示すように中性化深さはCUS混合率が高いほど小さくなり、土木学会の施工指針と同様の結果となった。本結果の理由については今後検討する必要がある。

4. まとめ

粒度および微粒分の粒形を調整した銅スラグ細骨材を使用したコンクリートについて、強度特性、鉄筋との付着強度および耐久性を調査した。その結果、銅スラグ細骨材を使用した場合にブリーディング量は増加したが、銅スラグ細骨材を単独使用した場合でもブリーディング量は $0.5cm^3/cm^2$ 程度であり、圧縮強度、鉄筋付着強度および耐久性は山砂を用いた普通コンクリートと同等以上であることがわかった。以上より、粒度および微粒分の粒形を調整した銅スラグ細骨材は混合率を50%以上としてもコンクリートに適用できると考えられる。

参考文献

- 1) 黒岩義仁, 高尾昇, 佐々木憲明: 銅スラグ細骨材の微粒分の量および実積率がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.43 - 48, 2013.9
- 2) 国土交通省: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2012.3
- 3) 東日本高速道路株式会社 ほか: NEXCO 試験方法 第3編 コンクリート関連試験方法, 2010.7
- 4) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, pp.176 - 177, 2009.2
- 5) 土木学会: 銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー92, 1998.2
- 6) 渡辺純一, 田村裕美, 藤井隆史, 綾野克紀: 銅スラグのコンクリート用材料への有効利用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1535 - 1540, 2010.7

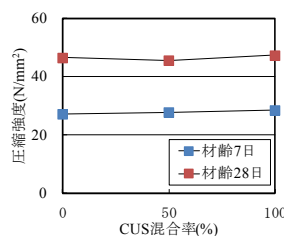


図3 圧縮強度

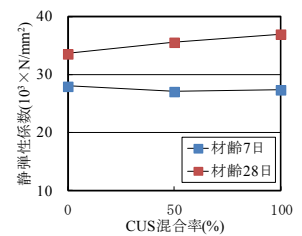


図4 静弾性係数

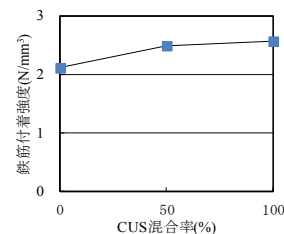


図5 鉄筋付着強度

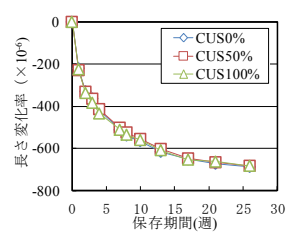


図6 長さ変化率

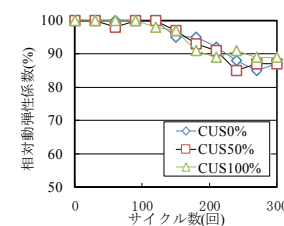


図7 凍結融解抵抗性

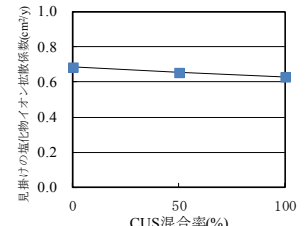


図8 塩化物イオン拡散係数

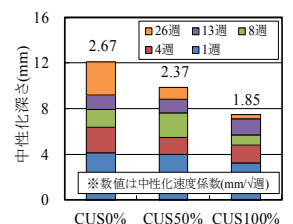


図9 中性化深さ