

高炉スラグ細骨材の粒径がセメント硬化体の各種物性に与える影響

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○中村 好裕
 名古屋工業大学大学院 正会員 吉田 亮
 竹本油脂株式会社 正会員 齊藤 和秀
 JFE ミネラル株式会社 正会員 吉澤 千秋

1.はじめに

近年、天然骨材の枯渇が懸念されており、その代替として産業副産物である高炉スラグ細骨材（以下、スラグ細骨材）が注目されている。スラグ細骨材は潜在水硬性を有し、セメント硬化体に対して長期強度増進、乾燥収縮低減、中性化速度低下などの物性向上効果をもたらすことが知られている。しかし、その効果の程度には差があり、それはスラグ細骨材の粒径の違いにより異なると考えられる。

本研究では、スラグ細骨材を粉碎し、粒径を調整した高炉スラグ細骨材粉碎品（以下、スラグ粉碎品）を用い、スラグ細骨材の粒径の違いが、圧縮強度、乾燥収縮および中性化速度に及ぼす影響について、同程度の粒径を持つガラスビーズや瀬戸産砕砂を用いた供試体と比較することで検討を行った。

2.実験概要

2.1 使用材料・配合

供試体は普通ポルトランドセメント、大井川産陸砂、高炉スラグ細骨材、高炉スラグ微粉末、高炉スラグ細骨材粉碎品、ガラスビーズ、瀬戸産砕砂、消泡剤、高性能AE減水剤を使用し作製した。水セメント比を50%、単位水量および単位セメント量を一定とし、各種細骨材を大井川産陸砂の容積に対して30%の割合で置換した。配合、フレッシュ性状および各種スラグ細骨材の物性を表1に示す。

表1 配合、フレッシュ性状、スラグ細骨材の物性

種別	記号	粒径(μm)	W/C	置換率(%)	フロー(mm)	空気量(%)	比表面積(cm ² /g)
大井川産陸砂	S100(基準)		50%	30%	175.5	1.8	-
高炉スラグ細骨材	SgS				157.0	2.0	-
高炉スラグ微粉末	SgP				215.5	0.0	3900
スラグ粉碎品300-150	SgSP300-150	300-150			177.0	0.7	-
スラグ粉碎品150-75	SgSP150-75	150-75			145.5	0.6	-
スラグ粉碎品75-45	SgSP75-45	75-45			167.0	1.1	-
スラグ粉碎品45-25	SgSP45-25	45-25			255.5	0.0	2600
スラグ粉碎品25以下	SgSP25以下	25以下			-	0.0	2960
ガラスビーズ250-177	GB250-177	250-177			265.5	1.2	-
ガラスビーズ63-37	GB63-37	63-37			187.0	2.7	-
瀬戸産砕砂150-75	SS150-75	150-75			185.0	1.2	-

2.2 各種試験概要

(1) 圧縮強度試験および静弾性係数試験

円柱供試体を各2本作製し、圧縮強度試験(JIS A 1108)および静弾性係数試験(JIS A 1149)を行った。打設後24時間で脱型し、封緘養生(温度20℃、湿度60%)および標準養生を行った。試験材齢は、圧縮強度は封緘養生の供試体で材齢7、28日、水中養生の供試体で材齢28日とし、静弾性係数は封緘養生および標準養生の供試体で材齢28日とした。

(2) 長さ変化試験および質量減少率試験

角柱供試体を各2本作製し、長さ変化試験(JIS A 1129)を行った。打設後24時間で脱型し、材齢7日まで標準養生を行った後、基長を測定した。以降、恒温恒湿槽内(温度20±3℃、湿度60±5%)に静置し、乾燥材齢6週までの乾燥収縮ひずみおよび質量減少率を算出した。

(3) 促進中性化試験

角柱供試体を各1本作製し、促進中性化試験を行った。打設後24時間で脱型し、材齢6週まで封緘養生を行い、それ以降、温度20℃、湿度60%、二酸化炭素濃度5%の恒温恒湿槽内に静置し、促進中性化開始から1、6週時点で中性化深さの測定を行った。

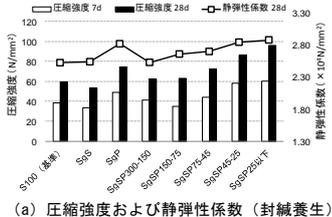
3.実験結果および考察

3.1 スラグ細骨材の粒径が圧縮強度発現に及ぼす影響

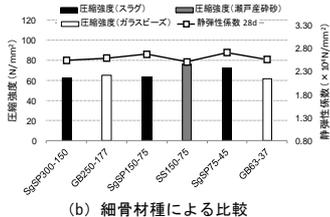
圧縮強度および静弾性係数の試験結果を図1に示す。スラグ細骨材の粒径が小さいほど、圧縮強度、静弾性係数ともに大きくなる結果となった。特に、粒径45μm以下のスラグ供試体において、強度増加は顕著である。これは、粒径の小さいスラグ細骨材が結合材として機能したことによる実質の水結合材比の減少や、潜在水硬性によって組織が緻密化したことによる影響であると考えられる。また、図1(b)中の瀬戸産砕砂との比較では、圧縮強度はSS150-75の方が大きいのに対し、静

キーワード：高炉スラグ細骨材、骨材寸法、高炉スラグ微粉末、乾燥収縮、中性化、圧縮強度

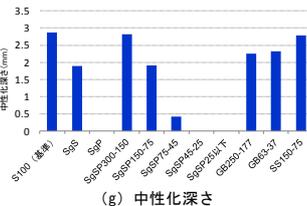
連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院 TEL 052-735-5125



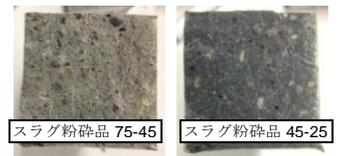
(a) 圧縮強度および静弾性係数(封緘養生)



(b) 細骨材種による比較



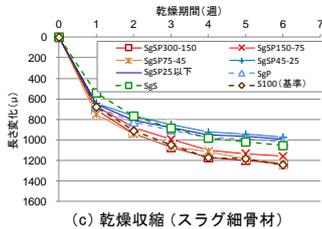
(g) 中性化深さ



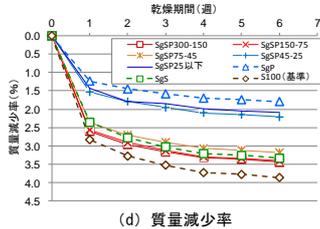
(h) 乾燥収縮(スラグ細骨材)

図1 圧縮強度, 静弾性係数試験結果

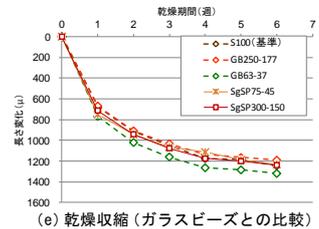
図3 促進中性化試験結果



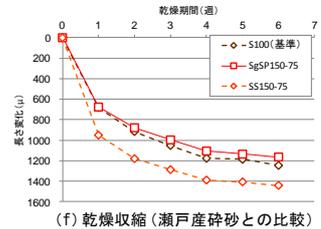
(c) 乾燥収縮(スラグ細骨材)



(d) 質量減少率



(e) 乾燥収縮(ガラスビーズとの比較)



(f) 乾燥収縮(瀬戸産砕砂との比較)

図2 乾燥収縮, 質量減少率試験結果

弾性係数はSgSP150-75の方が大きくなっている。これは、圧縮強度には、瀬戸産砕砂のセメントペーストとの付着の強さや、高圧力载荷時におけるスラグ細骨材のもろさが影響し、静弾性係数には低圧力载荷時におけるスラグ細骨材の硬さによる変形抵抗性の大きさが影響していると考えられる。粒径の大きいガラスビーズ供試体の圧縮強度および静弾性係数が、スラグ供試体と同程度であることも、上記の裏付けとなると考えている。また、粒径が小さい場合には、スラグ供試体の方がガラスビーズ供試体より圧縮強度、静弾性係数ともに大きくなっており、粒径75 μm以下のスラグ細骨材において、強度増進に寄与していると推察される。

3.2 スラグ細骨材の粒径が乾燥収縮に及ぼす影響

長さ変化および質量減少率の試験結果を図2に示す。スラグ細骨材の粒径が小さいほど、乾燥収縮ひずみは小さくなることわかる。既往の研究¹⁾では、骨材寸法が小さいほど収縮抵抗性が小さくなるという報告がされているが、本実験ではそれとは逆の結果を示した。特に、粒径45 μm以下のスラグ供試体では、収縮量が基準と比較して200 μ程度抑制される結果となった。これは、図2(d)からわかるように、潜在水硬性による組織の緻密化によって、水分逸散が抑制されたためであると考えられる。細骨材種による比較について見てみると、瀬戸産砕砂との比較では、上記したスラグ細骨材の変形抵抗性に起因して、スラグ供試体の方が200 μ程度収縮は抑制され、ガラスビーズとの比較では、粒径の小さい場合にはスラグ供試体の方が収縮は低減される結果となった。

粒径の小さい場合についてより詳細に見ると、乾燥収縮では粒径75 μm程度から若干の収縮低減効果が見

られ、粒径45 μm以下になるとその傾向は顕著となる。

3.3 スラグ細骨材の粒径が中性化に及ぼす影響

促進中性化試験の結果を図3に示す。促進中性化開始6週における中性化深さは、スラグ細骨材の粒径が小さいほど、小さくなる傾向が見られた。粒径45 μm以下のスラグ供試体の中性化深さは0 mmであり、供試体内部に潜在水硬性領域を示唆する緑色の呈色(h)が観察された。また、SgSP75-45およびGB63-37の中性化深さはそれぞれ0.4 mm, 2.3 mmと、差が見られた。SgSP75-45では、粒径45 μm以下のスラグ供試体のような供試体内部の呈色や、大きな水分逸散抑制効果は確認されないが、中性化抵抗性を向上させていることが確認された。

4.まとめ

本研究では、スラグ細骨材の粒径の違いがセメント硬化体の物性に及ぼす影響について検討を行った。

セメント硬化体の物性は、スラグ細骨材の粒径が75 μm以下において向上する傾向が見られた。なかでも粒径が45 μm以下のスラグ細骨材では、比表面積がスラグ微粉末より小さくとも、潜在水硬性の影響が確認され、圧縮強度、乾燥収縮、水分逸散抵抗性、中性化抵抗性など、セメント硬化体の物性を大きく向上させる結果となった。

謝辞：本実験の実施にあたり、竹本油脂株式会社 小林竜平氏、名古屋工業大学 太田健司氏には多大なる御協力を頂きました。ここに記し深く感謝致します。

参考文献：1) 鶴飼貴史ほか：骨材の寸法および種類がセメント硬化体の乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究, 土木学会第65回年次学術講演会論文集, V-154, 2010.9