

金属製錬スラグ細骨材を用いた粉体系高流動コンクリートの配合特性

太平洋セメント(株) 正会員 徳橋 一樹
 八戸工業大学 正会員 阿波 稔
 八戸工業大学 正会員 庄谷 征美

1. まえがき

近年、コンクリートの施工性の改善を主目的とした自己充てん型高流動コンクリートが開発され、また1997年7月には、土木学会から「高流動コンクリート施工指針」が発行されるに至り、各種公共構造物等に幅広く使用されてきている。一方、資源のリサイクル、有効利用といった観点から産業副産物をコンクリート用材料として積極的に利用する研究が鋭意進められている。この研究の一環として、金属を精錬する際に副産されるスラグを利用した代替骨材の研究が進展し、高炉スラグ、フェロニッケルスラグおよび銅スラグがコンクリート用骨材として、1997年8月にJIS A 5011に統合規格化されるに至った。そこで本研究は、高流動コンクリートの自己充填性を得るためのメカニズムはその構成材料間の密度差が大きく関わりを持っていることから、これら密度の異なるスラグ細骨材を用いた粉体系高流動コンクリートの配合設計手法について実験的検討を加えたものである。

2. 実験の概要

セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材は、2.5mm粒度に適合するように粒度調整した。密度 2.67g/cm^3 、吸水率0.45%、F.M.2.35の高炉スラグ細骨材(以下BFS細骨材と略す)と密度 2.97g/cm^3 、吸水率1.37%、F.M.2.48のフェロニッケルスラグ細骨材(以下FNS細骨材と略す)および密度 3.63g/cm^3 、吸水率0.31%、F.M.2.20の銅スラグ細骨材(以下CUS細骨材と略す)を用いた。さらに、比較用および混合用に密度 2.67g/cm^3 、F.M.2.55の石灰石砕砂を使用した。粗骨材は、最大寸法20mmの硬質砂岩砕石を使用した。混和材としては、密度2.70および比表面積を3タイプに変化させた石灰石微粉末($10000\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $5700\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $4000\text{cm}^2/\text{g}$)を用いた。また、高流動性およびフレッシュ性状の保持性能を付与する目的で、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用し、空気連行の助剤として、天然樹脂酸塩を主成分とするAE剤を使用した。

なお、コンクリート配合条件は、水セメント比を55%、空気量は $4\% \pm 0.5$ と一定にし、コンクリートの細骨材絶対容積に対するスラグ細骨材の混合率は、0%、50%および100%とした。自己充てん性を得るためのフレッシュコンクリートの各種評価試験体は、スランブフロー $700 \pm 50\text{mm}$ 、V型漏斗流下時間10~20秒程度、間隙通過性試験(ランク1)300mm以上、フレッシュ性状保持性能が60分を目標とした。

3. 実験結果

図-1は粗骨材とモルタルの密度差と水粉体容積比との関係を石灰石微粉末の比表面積毎に示したものである。この図に示されるように、比表面積が $4000\text{cm}^2/\text{g}$ の石灰石微粉末を用いたコンクリートの場合、所要の自己間てん性を確保する為に要求される水粉体容積比は、粗骨材とモルタルの密度差が変化してもおよそ0.80と一定の値となった。

一方で、比表面積が $6000\text{cm}^2/\text{g}$ および $10000\text{cm}^2/\text{g}$ の石灰石微粉末を用いたコンクリートの場合、粗骨材とモルタルの密度差が大きくなると共に、要求される水粉体容積比が減少する傾向が見られた。

配合名	凡例
Control(4000)	●
BFS-50(4000)	■
BFS-100(4000)	▲
FNS-50(4000)	⊗
FNS-100(4000)	⊙
CUS-50(4000)	⊠
CUS-100(4000)	⊡
Control(6000)	○
BFS-50(6000)	□
BFS-100(6000)	△
FNS-50(6000)	⊗
FNS-100(6000)	⊙
CUS-50(6000)	⊠
CUS-100(6000)	⊡
Control(10000)	◇
BFS-100(10000)	▲
FNS-100(10000)	⊙
CUS-100(10000)	⊡

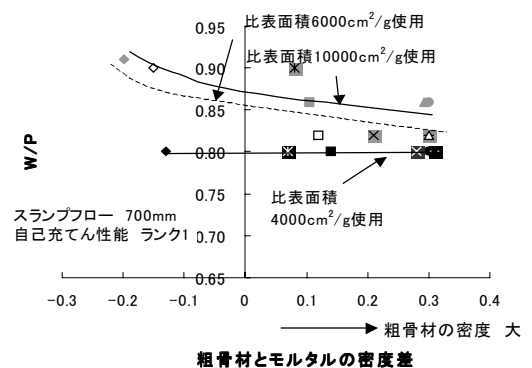


図-1 粗骨材モルタルの密度差と W/P の関

キーワード：高流動コンクリート，スラグ細骨材，石灰石微粉末，比表面積，水粉体容積比，単位粗骨材絶対容積

連絡先：太平洋セメント(株)・中部支店 〒460-0008 名古屋市中区栄2-1-1 日土地名古屋ビル14F Tel 052-220-3153

これは粗骨材とモルタルの密度差が大きくなると、間隙通過試験において鉄筋間での粗骨材のかみ合いが生じ易く生じ易いためであり、それを回避する為にペーストの粘性を増大させる必要があるためであると考えられる。

図-2 は粗骨材とモルタルの密度差と単位粉体容積との関係を石灰石微粉末の比表面積毎に示したものである。この図に示されるように、表面積が4000cm²/gの石灰石微粉末を用いたコンクリートの場合、所要の自己充てん性を確保する為に要求される単位粉体容積は、粗骨材とモルタルの密度差が変化してもほぼ一定の値となった。一方、比表面積が6000cm²/g および10000cm²/gの石灰石微粉末を用いたコンクリートの場合、粗骨材とモルタルの密度差が大きくなると共に、要求される単位粉体容積が増加する傾向が見られた。

図-3 は石灰石微粉末の比表面積と水粉体容積比との関係を示したものである。この図よりスラグ細骨材の種類およびその混合率に関係なく、微粉末の比表面積の増加に伴い水粉体容積比は増加する傾向が見られた。これは比表面積が大きな微粉末ほどフレッシュコンクリートの所要の粘性が得られやすくなるためであると考えられる。また、スラグ細骨材の種類で比較すると、FNS 細骨材および BFS 細骨材を用いた場合は、微粉末の比表面積の増加に伴い直線的に水粉体容積比も増加するが、CUS 細骨材を用いた場合は比表面積が6000cm²/gを境にその増加率が急激に低下する傾向が確認された。

図-4 は単位粗骨材絶対容積と粗骨材とモルタルの密度差との関係を石灰石微粉末の比表面積毎に示したものである。この図に示されるように、粗骨材とモルタルの密度がおおよそ等しくなる点境に、それらの密度差が変化すると、単位粗骨材絶対容積が減少する傾向が見られた。これは粗骨材とモルタルの密度差が変化すると、間隙通過性試験において鉄筋間での粗骨材のかみ合い作用が生じやすくなり自己充てん性が得られ難くなり、それを回避する為に粗骨材の絶対的な使用量を低下させる必要があることを示しているものと考えられる。

図-5 は石灰石微粉末の比表面積と粗骨材絶対容積の関係を示したものである。この図にも見られるように微粉末の比表面積が約8000cm²/gの付近で凸状の曲線となる関係が見られた。これは、比表面積が著しく大きな微粉末材料を用いた場合、コンクリートの構成材料における中間粒子が極端に少なくなるためにs/aを大きくする必要があるためである。また、微粉末の比表面積の低いものを用いた場合には、ペーストに粘性が寄与され難くなり粗骨材量を低下させ、さらに粉体量を増加させる必要があると考えられる。

5.まとめ

粉体系高流動コンクリートの自己充てん性能は、粗骨材とモルタルの密度差と大きく関わりを持っているものと考えられる。これら粗骨材とモルタルの密度差を指標として、自己充てん性を得るための所要の水粉体容積比や単位粗骨材絶対容積の範囲を予想し易く、合理的に配合設計が進められるものと考えられる。

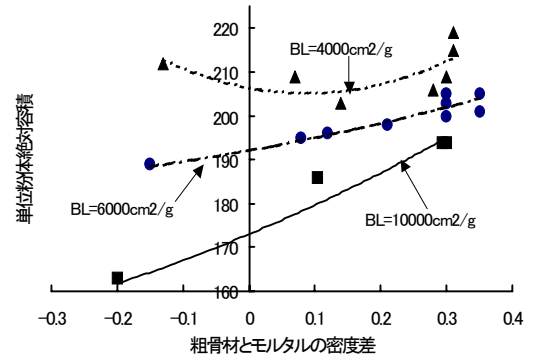


図 - 2 粗骨材モルタルの密度差と粉体量の関係

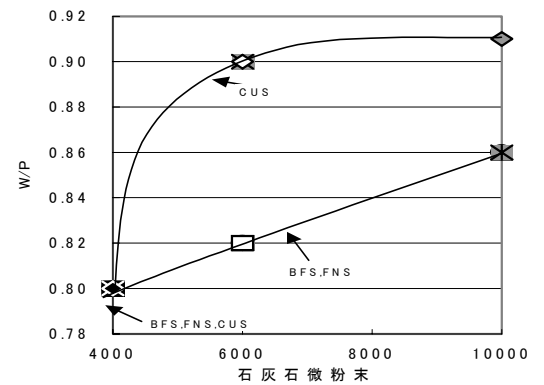


図 - 3 各比表面積における水粉体容積比の関係

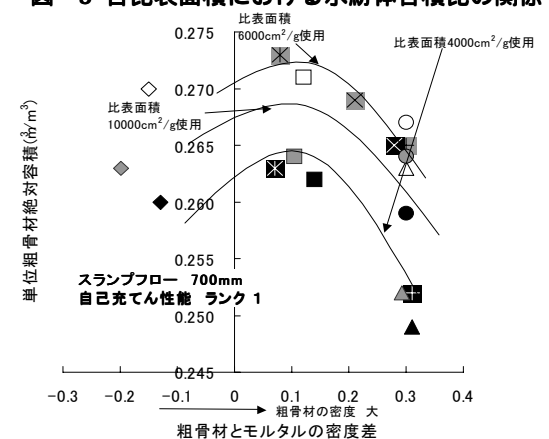


図 - 4 粗骨材モルタルの密度差と単位粗骨材絶対容積との関係

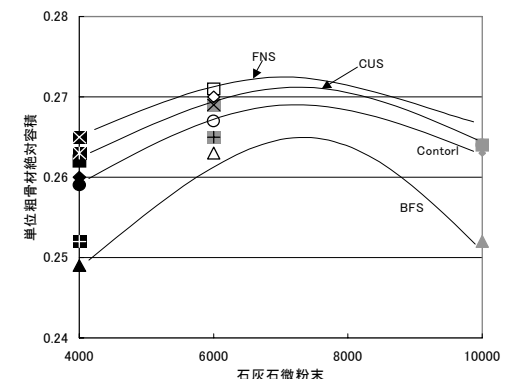


図 - 5 各比表面積別の粗骨材絶対容積の関係