

論文 [1061] 高性能 AE 減水剤を添加した高炉スラグ混入コンクリートの性質

正会員 西林新蔵 (鳥取大学工学部)
正会員 ○吉野 公 (鳥取大学工学部)
湯谷政博 (鳥取大学大学院)

1. まえがき

最近、アルカリ骨材反応による損傷あるいは塩害などが原因となったコンクリートの耐久性の低下が問題となっているが、その対応策の一つに高炉セメントの使用あるいは高炉スラグ混入コンクリートの使用があげられている。一方、従来の流動化剤の欠点であるスランブロス改善し、生コンクリートプラントで添加して流動化コンクリートが製造できる高性能 AE 減水剤が開発されている。したがって、高炉セメントあるいは高炉スラグ混入コンクリートの施工性を改善する手段として高性能 AE 減水剤が用いられる機会が増加するものと考えられるが、これに関する資料は少なくデータの蓄積が望まれている。

本研究は、高炉スラグ混入コンクリートの施工性を改善する手段として高性能 AE 減水剤を添加した場合のコンクリートの諸性質の把握を目的として計画した。すなわち、高炉スラグの置換率あるいは細骨材率等の要因が高性能 AE 減水剤を添加した高炉スラグ混入コンクリートにおよぼす影響について実験的に検討した。

表-1 セメントの性質

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究で使用した普通ポルトランドセメントの物理的性質を表-1に、また高炉スラグ微粉末(以下スラグ)の物理的性質および主要化学成分を表-2にそれぞれ示す。骨材には、粗骨材として碎石(最大寸法:20mm,比重:2.72,吸水率:0.74,F.M.:

比重	粉末度 (cm^2/g)	凝結時間(時間-分)		圧縮強さ(kgf/cm^2)		
		始 発	終 結	3 日	7 日	28日
3.15	3150	2-35	3-40	125	230	415

表-2 高炉スラグ微粉末の性質

6.54)を、細骨材として砕砂と陸砂を混合して土木学会標準粒度範囲に入るように調整したもの(比重:2.64,吸水率:1.65,F.M.:2.73)を用いた。また、化学混和剤は高性能 AE 減水剤および空気量調整用の AE 剤を用いた。化学混和剤の主要成分を表-3に示す。

比重	粉末度 (cm^2/g)	化 学 成 分 (%)					
		SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	MgO	SO_3
2.89	4540	31.9	13.4	0.2	42.1	6.1	2.0

表-3 混和剤の主要成分

種 類	主 要 成 分
高性能 AE 減水剤	変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸および特殊有機酸無水物の複合物
AE 剤	変性アルキルカルボン酸化合物

2.2 実験条件

本実験で選んだ試験要因および水準を表-

4に示す。スラグ置換率は、0, 30, 50, 70%の4水準とし、細骨材率はスラグ置換率0, 30%では44~50%、50%では41~50%、70%では41~47%とした。コンクリートの配合は、細骨材率47%でスランプが18±1cmとなるブレンコンクリートの水量を試練りによって求め、それをもとに高性能AE減水剤を使用した場合の減水率20%として単位水量

表-4 実験条件

空気量	4.5 ± 0.5 %
単位結合材量	350 kg/m ³
スラグ置換率	0, 30, 50, 70%
細骨材率	41, 44, 47, 50%

を決定した。つぎに、高性能AE減水剤の添加量を決定するために、添加量を3水準に採った予備試験を行い、その結果から高性能AE減水剤の添加量(単位結合材量×1%)を決定した。

2.3 試験項目および測定時間

試験項目は、スランプ試験、空気量試験、ブリージング試験、凝結試験および圧縮強度試験であり、スランプ試験は練上り直後から30分ごとに120分まで、空気量試験は60分ごとに120分まで測定を行った。ブリージング試験および凝結試験は練上り直後に試料を採った。また、圧縮強度試験は、練り混ぜ直後と60分後に円柱供試体(φ10×20cm)を作製し、標準養生の後、材令7, 28日で行った。なお、経時変化の測定は練り板上にビニールシートをかけて静置しておいた試料を各測定時にスコップで練り直した後にいった。

3. 結果および考察

3.1 スランプ

図-1は縦軸に練上り直後のスランプ、横軸に細骨材率を採って、これらの関係を示したものである。図より、スラグ置換率0, 30%の細骨材率50%を除き、各点とも18±1cmの範囲に入っているが、各スラグ置換率ごとにピークが認められた。それぞれのスラグ置換率においては単位水量は一定であるので、ピーク点は最適細骨材率を表すものである。この最適細骨材率はスラグ置換率0, 30%の場合には44~47%、スラグ置換率50, 70%の場合には44%付近にあると思われ、スラグ置換率の増加とともに最適細骨材率は小

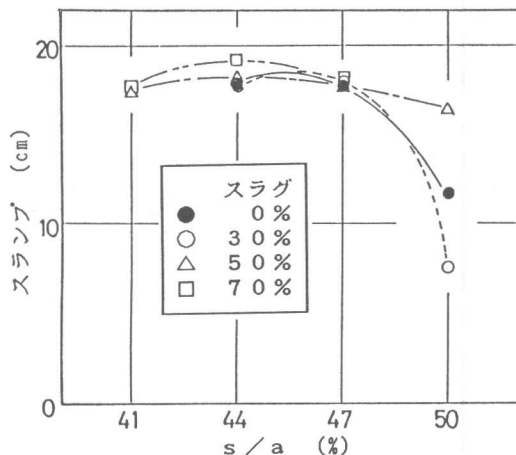


図-1 スランプとs/aとの関係

き、各点とも18±1cmの範囲に入っているが、各スラグ置換率ごとにピークが認められた。それぞれのスラグ置換率においては単位水量は一定であるので、ピーク点は最適細骨材率を表すものである。この最適細骨材率はスラグ置換率0, 30%の場合には44~47%、スラグ置換率50, 70%の場合には44%付近にあると思われ、スラグ置換率の増加とともに最適細骨材率は小

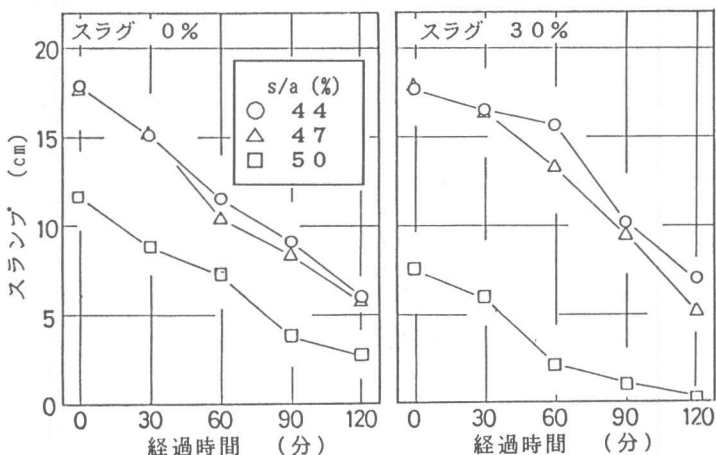


図-2 スランプの経時変化(スラグ置換率0, 30%)

さくなる傾向にあった。

図-2、3に各スラグ置換率ごとのスランブの経時変化を示す。図より、スラグ置換率が大きくなるにつれてスランブの経時変化に及ぼす細骨材率の影響が大きくなる傾向がみられた。また、スラグ置換率0~50%では最適細骨材率付近でスランブロスが最も小さくなったが、スラグ置換率

70%では最適細骨材率より小さい細骨材率41%でスランブロスが最も小さくなった。

図-4は各スラグ置換率において最もスランブロスが小さかった細骨材率におけるスランブの経時変化を示したものである。図より、スラグ置換率0%のものに比べて、スラグ置換率30、50%のものは練上り後60分までのスランブロスは小さいが、その後スランブロスは大きくなり、練上り後90分ではスラグ置換率0~50%のものは同じスランブとなった。一方、スラグ置換率70%のものは練上り後30分までのスランブロスはスラグ置換率30、50%のものと同程度であるが、その後スランブロスが大きくなり、練上り後90分ではかなりのスランブプロスを示した。以上の結果から、スラグを混入したコンクリートは初期のスランブロスは小さいが、ある時期からスランブロスが大きくなり、その時期はスラグ置換率が大きくなるにしたがって早くなるものと考えられる。これは、スラグの置換率が增大するに伴いセメント量が減少するため、活性持続ポリマー(スランブロス低減成分)が加水分解するのに必要なアルカリ量が不足してくるためと推定される。

3.2 空気量

所定の空気量を得るために要したAE剤量とスラグ置換率との関係を図-5に示す。一般に、スラグを混入したコンクリートは通常のコンクリートに比較してAE剤量が増加する傾向にあり、この増加の程度はスラグの置換率および粉末度に比例して大となる傾向がある¹⁾といわれており、本研究において

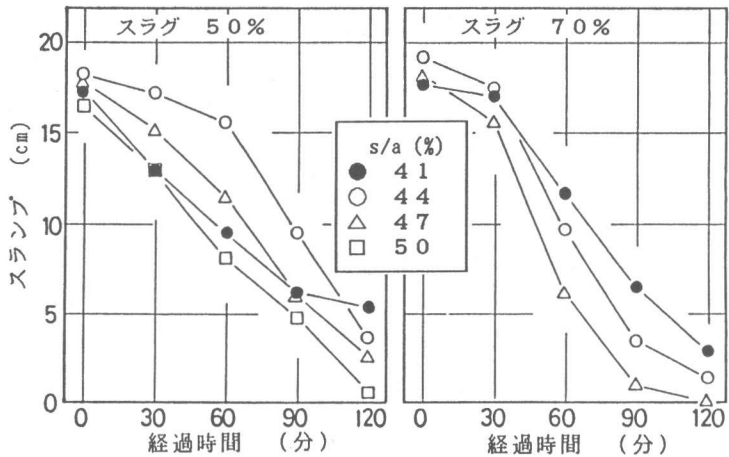


図-3 スランブの経時変化(スラグ置換率50、70%)

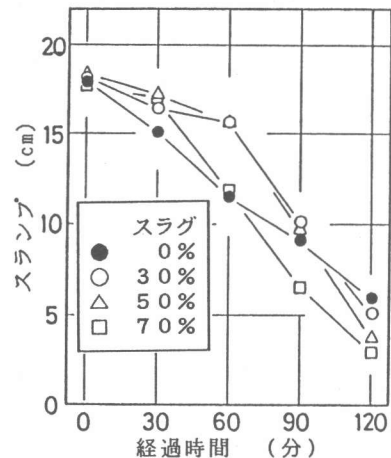


図-4 スランブの経時変化
(スラグ置換率の影響)

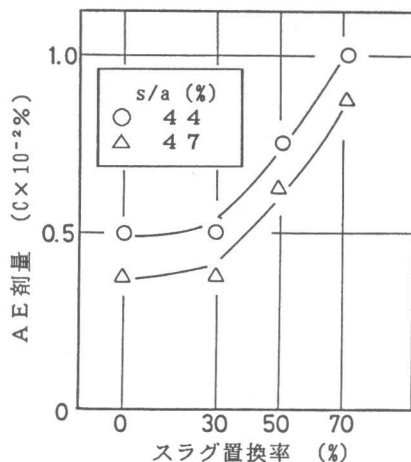


図-5 AE剤量とスラグ置換率との関係

も同様の傾向がみられるが、とくにスラグ置換率が30%を超えるとかなりA E 剤量が増加し、スラグ置換率 0%に比較して、スラグ置換率50%で約 1.5 倍、70%で約 2倍のA E 剤量を要した。

空気量の経時変化を図-6に示す。また、空気量の減少を比較するために、練上り直後から 60 分後の空気量の減少を縦軸に、細骨材率を横軸に採って図-7に示す。

これらの図より、練上り後60分では、スラグ置換率および細骨材率にかかわらず、練上り直後からの空気量の損失は1%前後となっており、その後の空気量の変化もスラグ置換率の違いによる差はほとんどみられなかった。したがって、スラグ置換率が多くなるにともなって所定の空気量を得るためのA E 剤量は増加するが、連行された空気量の安定性はスラグ置換率を増加しても変化しないと判断できる。

3. 3 ブリージング

図-8にブリージング量とスラグ置換率との関係を示す。図より、細骨材率の違いにかかわらず、スラグ置換率30%においてブリージング量は最高となり、スラグ置換率50%を超え70%になると急激にブリージング量は減少した。一般に、スラグの置換率がブリージングに及ぼす影響は用いたスラグの粉末度によって異なるといわれている²⁾。本研究で用いた粉末度4500²/g 程度のスラグの場合には、通常のA E コンクリートにおいてス

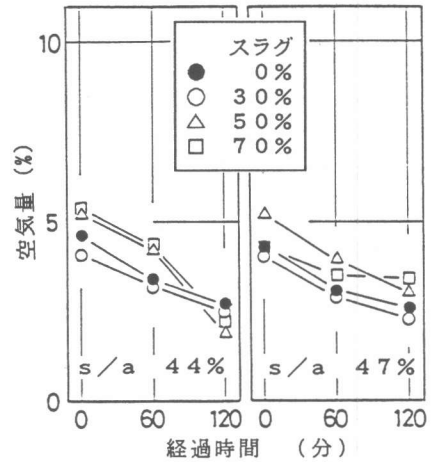


図-6 空気量の経時変化

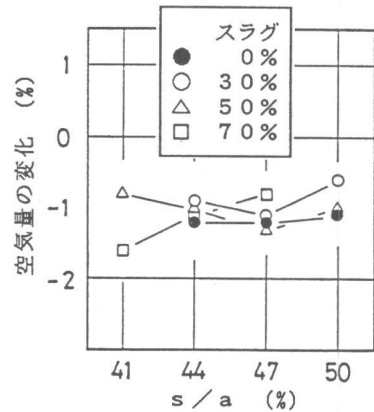


図-7 空気量の減少と s/a との関係

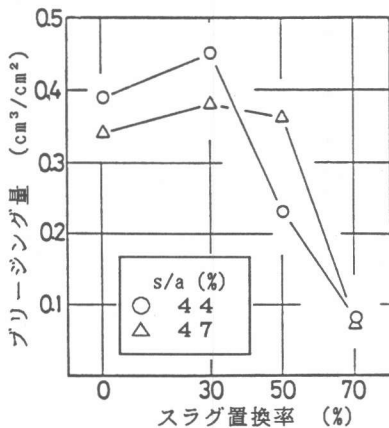


図-8 ブリージング量とスラグ置換率との関係

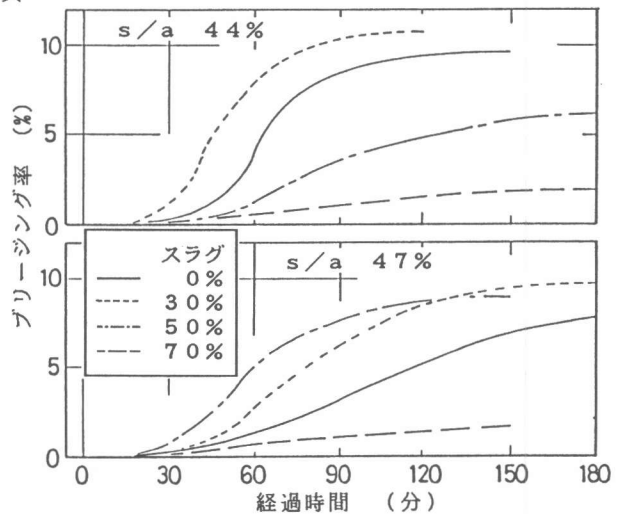


図-9 ブリージング率の経時変化

ラグ置換率30%でブリージングは増加し、スラグ置換率60%を超えると急激に減少するという本研究と同様の傾向を示した報告³⁾もなされている。

図-9にブリージング率の経時変化を示す。図より、スラグを混入したことによってブリージングの終了時間が遅くなることはなく、むしろスラグ置換率が0~50%の範囲では、最終ブリージング率が同程度の場合には、スラグ置換率の大きいものが初期にブリージングが多く、ブリージング終了時間が早くなる傾向がみられた。

3.4 凝結時間

始発および終結時間とスラグ置換率との関係を図-10に示す。高炉スラグの置換率が凝結時間に及ぼす影響は、使用する混和剤によって異なり、一般にはスラグ置換率に対応して凝結が遅くなる傾向にあるが、高性能減水剤を使用する場合には、これとは逆に凝結が速くなることがあると指摘されている⁴⁾。本研究の結果からは、高性能A E減水剤を使用した場合には、始発時間はスラグ混入率によってほとんど影響されず、一方、終結時間はスラグ置換率50%までは変わらないが、スラグ置換率70%になると遅くなる傾向にあることがわかった。

3.5 圧縮強度

供試体の作製時期の影響を検討した。その結果、練上り後60分の供試体の圧縮強度は、練上り直後の供試体のそれに比べて空気量が減少した影響で高く出る傾向にあったが、その差はわずかであった。

図-11は、縦軸にスラグ置換率0%のコンクリートの圧縮強度に対する強度比を、横軸にスラグ置換率を採って各材令ごとにこれらの関係を示したものである。また、図-12は圧縮強度と材令との関係を示したものである。

これらの図より、各材令の強度は、スラグ置換率の増加とともに低下しており、材令7日ではスラグ置換率0%のものに比べて30%のもので8割、50%のもので6割、70%のもので5割強となっている。

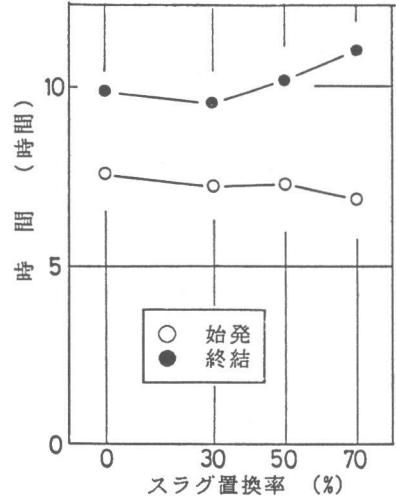


図-10 凝結時間とスラグ置換率との関係

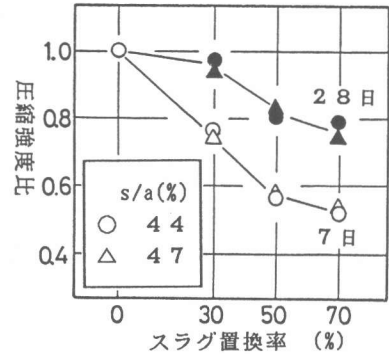


図-11 強度比とスラグ置換率との関係

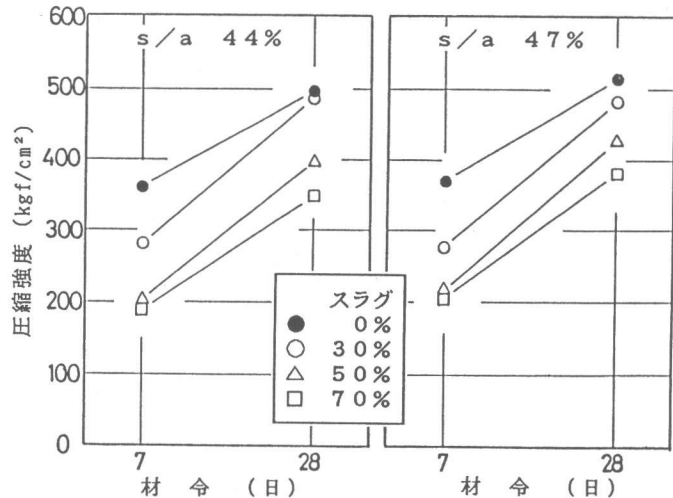


図-12 強度と材令との関係

る。また、材令28日ではスラグ置換率30%ものは0%の場合と同程度の強度となっており、50, 70%のものは8割程度である。この割合は、スラグの粉末度および水結合材比が同程度の通常のAEコンクリート⁵⁾とほぼ同じ値であり、高性能AE減水剤の添加がスラグを混入したコンクリートの強度発現に及ぼす影響はないものと考えられる。また、材令7から28日にかけての強度の増加はスラグを混入したものの方が大きく、長期材令の発現が期待できる。

4. まとめ

本研究は高炉スラグ混入コンクリートの施工性を改善する手段として高性能AE減水剤を添加した場合のコンクリートの性質を把握することを目的として計画した。本研究の範囲内で得られた結果をとりまとめると以下ようになる。

- 1) スラグ置換率の増加とともに最適細骨材率は小さくなる。また、高炉スラグを混入した高性能AE減水剤コンクリートは初期のスランプロスは小さいが、スラグ置換率30~50%練上り後60分から、スラグ置換率70%では30分からスランプロスが大きくなる。
- 2) 所定の空気量を得るためのAE剤量は、スラグ置換率の増加とともにふえるが、連行された空気量の安定性はスラグ置換率が増加しても変化しない。
- 3) 粉末度 $4500\text{cm}^2/\text{g}$ 程度のスラグを用いた場合には、スラグ置換率30%においてブリージングが最大となり、スラグ置換率50%を超え70%になると急激にブリージングが減少する。
- 4) 凝結時間のうち始発時間はスラグ置換率にかかわらず一定であり、一方、終結時間はスラグ置換率50%まではかわらないが、スラグ置換率70%になると遅くなる。
- 5) 材令28日までの圧縮強度は、スラグ置換率の増加とともに低くなるが、高性能AE減水剤を添加したことによる強度発現の変化はみとめられない。

《参考文献》

- 1) 国府勝郎：高炉スラグ微粉末，コンクリート工学，Vol.26，No.4，pp.25~31，1988
- 2) 辻，小林，大塚：高炉スラグ微粉末を用いた流動化モルタルの諸性質，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.285~288，1986
- 3) 依田彰彦，枝広英俊：高炉スラグ粉末を混和材として用いたモルタル及びコンクリートの性質について，セメント技術年報 33，pp.192~196，1979
- 4) 町田篤彦：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工上の問題点，コンクリート工学，Vol.26，No.2，pp.8~14，1988
- 5) 遠藤，児玉，中川，高田：高炉スラグ微粉末がコンクリートの配合と強度におよぼす影響について，高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集，土木学会，pp.73~80，1987