

高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの基礎物性に関する検討

鹿島建設（株） 正会員 ○井上 友 正会員 室野井 敏之
正会員 橋本 学 正会員 坂井 吾郎
竹本油脂（株） 正会員 齊藤 和秀

1. はじめに

現在、建設工事では高炉スラグ微粉末の含有率が 40％程度の高炉セメント B 種（以下、BB と表記）が広く使用されているが、CO₂ の削減の観点から BB よりもさらに高炉スラグ微粉末の含有率を高めた高炉セメント C 種の利用の促進が望まれる状況にある。しかし、高炉スラグ微粉末の含有率が高くなるに従ってブリーディング量が多い、初期強度が低い、収縮が大きい等の課題が顕在化し、中でも中性化の進行が速く耐久性の確保が難しいことから、現状ではほとんど使用されていない。このような高炉スラグ高含有セメント特有の課題に対して、セメント中の SO₃ 量を通常のセメントよりも高めること等により改善する研究¹⁾ がなされている。本報では、高炉スラグ高含有セメント（以下、ECM と表記）²⁾ の中性化抑制を考慮した配合について、基礎物性に関する試験結果を報告する。

2. 試験概要

本検討では、一般的な RC 土木構造物に適用されるコンクリートの配合として、セメントに BB を使用し、スランプ 8cm、水セメント比 55％、単位セメント量 300kg/m³ のもの（以下、BB 配合）を設定し、ECM を用いたコンクリート（以下、ECM 配合）がこれと同等以上の諸性能を有することを目標とした。具体的な ECM 配合の目標は、(1) スランプ：8cm、(2) 呼び強度：24（材齢 28 日）(3) 中性化抵抗性：中性化速度係数が BB 配合と同等以下、(4) 断熱温度上昇量：終局温度が BB 配合と同等以下とした。また、CO₂ 削減の趣旨と断熱温度上昇量（マス部材への適用）を鑑み、単位セメント量は増加させず、BB 配合と同一とすることを前提とし、水セメント比を変えることで目標を満たす検討を行った。まず、以上の方針に従い ECM および BB それぞれを用いたコンクリートについて水セメント比と中性化速度係数の関係を把握するための試験を行い、試験結果から BB 配合と同等の中性化速度係数が得られる ECM 配合の水セメント比を見い出した。その水セメント比から ECM 配合を選定し、基礎物性を BB 配合と比較した。ここで、単位セメント量を増加させずに中性化抵抗性を確保するために、単位水量を低減する必要が生じ、スランプの確保ができなくなった。そこで、ECM 用に試製した AE 減水剤を用いて単位水量を低減することで中性化抵抗性とスランプの確保の両方を満たすようにした。本検討で使用する材料の一覧を表－1 に示す。記号 AD-N が試製した AE 減水剤である。また、実施した試験項目を表－2 に示す。促進中性化試験は JIS A 1153 のコンクリートの促進中性化試験方法に準拠して行い、コンクリートの配合は単位セメント量を一定として単位水量により水セメント比を変化させた。基礎物性試験は上に述べた目標の検討のためスランプ試験、凝結時間試験、ブリーディング試験、圧縮強度試験および断熱温度上昇試験を行った。

表－1 使用材料一覧

項目	記号	種 別
水	W	上水道水
セメント	BB	高炉セメント B 種 市販品 密度；3.04g/cm ³
	ECM	高炉スラグ高含有セメント 試作セメント スラグ含有率；60～65％ 密度；2.98g/cm ³ SO ₃ 量；3.60％
細骨材	S1	東京都八王子産 砕砂 表乾密度；2.64g/cm ³ 、粗粒率；3.04 吸水率；0.98％
	S2	千葉県富津産市鶴岡産 山砂 表乾密度；2.61g/cm ³ 、粗粒率；1.44 吸水率；1.35％
粗骨材	G	東京都奥多摩産 砕石 表乾密度；2.65g/cm ³ 、実積率；61.1％ 吸水率；0.60％
混和剤	AE	AE 剤 樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤
	AD-1	AE 減水剤(標準形) 有機酸系誘導体と芳香族高分子化合物
	AD-N	AE 減水剤(ECM 用多機能タイプ、標準形) 変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系化合物の複合体

表－2 試験項目一覧

試験項目	試験方法
促進中性化試験	JIS A 1153
スランプ試験	JIS A 1150
凝結時間試験	JIS A 1147
ブリーディング試験	JIS A 1123
圧縮強度試験	JIS A 1108 試験材齢 1, 3, 7, 28, 56, 91 日
断熱温度上昇試験	JCI-SQA3

表－3 コンクリートの配合

セメント 種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	目標 空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 ^{※1} C×%	AE剤 ^{※2} (A)
					W	C	S1	S2	G		
ECM	20	50	43.1	4.5	150	300	641	160	1062	1.0	3.0
BB	20	55	44.1	4.5	165	300	642	161	1021	0.1	4.0

※1 BB 配合ではAD-1, ECM 配合ではAD-Nを使用した。 ※2 1A=C×0.001%

3. 配合選定のための中性化試験

促進中性化試験から得られた中性化深さから水セメント比と中性化速度係数の関係を算出した結果を図－1に示す。同一の水セメント比ではECMの方がBBよりも中性化速度係数が1.0 (mm/√週)程度速くなる傾向であった。このことからBBの中性化速度係数を基準とし、これと同程度の値が得られるように水セメント比を定めることでECMの中性化抵抗性を確保できると考えた。同図からBBのW/C=55%と同等の中性化速度係数が得られるECMの水セメント比はW/C=51%程度であることから、BB配合の水セメント比を55%, ECM配合の水セメント比を50%とし、表－3に示す配合を選定し、これらの基礎物性の確認を行った。

4. 選定した配合による基礎物性の試験結果

ECM配合では単位水量を15 kg/m³減じたが、スランプ8.0cmとなり、2.で述べたECM用に試製したAE減水剤を用いることで、目標値を満足する結果を得た。また、凝結時間試験ではBB配合より始発時間で2時間程度、終結時間で4時間程度遅延し、ブリーディング試験では、ブリーディング量がBB配合より低い結果が得られた。ECM配合はスラグ微粉末の含有率が高く、初期の水和反応が遅くなることに加え、ECM用に試製したAE減水剤を比較的多く使用したことにより凝結時間が遅延したと考えられる。一方、ブリーディング量は、同一配合であれば、高炉スラグ微粉末の置換率が多いECM配合の方がBB配合よりもブリーディング量が多くなるが、本試験ではECM配合の方がBB配合に比べて、単位水量を大きく減じていることから、この影響が卓越しECM配合の方が、ブリーディング量が小さくなったものと考えられる。

次に材齢と圧縮強度の関係を図－2に示す。各材齢において、ECM配合の水セメント比を5%小さくすることでECM配合とBB配合の強度発現はほぼ同等となり、目標値である材齢28日の呼び強度24N/mm²を満たした。

材齢と断熱温度上昇量の関係を図－3に示す。ECM配合の終局温度は41.0℃であり、BB配合(51.6℃)よりも10℃程度低い結果であった。これは、ECM配合とBB配合の単位セメント量を同一にしたため、クリンカー量の少ないECM配合の方が、発熱量が小さくなったことによるものと考えられる。

5. まとめ

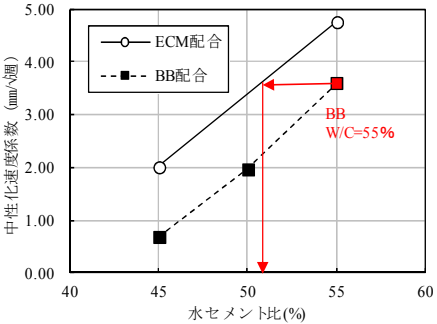
本検討より得られた知見を以下に示す。

- (1) 今回選定したECM配合は、既存のBB配合の水セメント比55%を、促進中性化試験の結果から5%低減し、目標値であるスランプ8cmおよびBB配合と同等の圧縮強度を得ることができた。
- (2) 断熱温度上昇量試験において、ECM配合はBB配合よりも断熱温度上昇量が10℃程度小さくなる結果を得た。

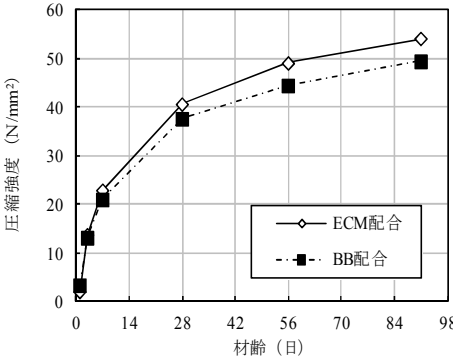
参考文献

1) 二戸信和ほか：高炉セメントの発熱と収縮に及ぼすスラグ粉末度とSO₃の影響，コンクリート工学年次論文集，30巻，2号，pp.121-126，2008

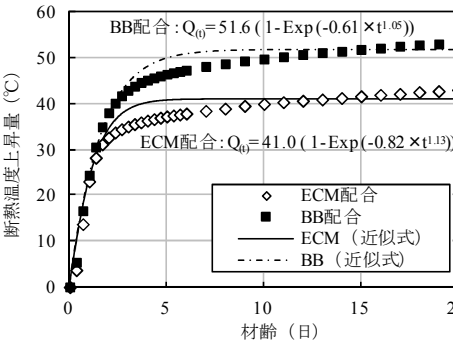
2) 米澤敏男ほか：エネルギー・CO₂ミニマム（ECM）セメント・コンクリートシステム，コンクリート工学，48巻，9号，pp.69-73，2010.9



図－1 水セメント比と中性化速度係数の関係



図－2 材齢と圧縮強度の関係



図－3 材齢と断熱温度上昇量の関係