

V-157 フライアッシュ混合低発熱セメントを用いたコンクリートの耐久性

日本セメント(株)中央研究所 正会員 田中 敏嗣
 日本セメント(株)中央研究所 正会員 下山 善秀
 日本セメント(株)中央研究所 上野 雅之

1. まえがき

近年、マスコンクリートの温度上昇を低減するために、ポルトランドセメントに高炉スラグを高混和し、さらにフライアッシュを混和した3成分系混合セメントの使用例が増えている。この種のセメントを用いたコンクリートの発熱及び強度特性についてはある程度明らかにされているが¹⁾、耐久性に関する検討はまだ十分に行なわれていないと思われる。

本研究は、上記3成分系混合セメントを用いたコンクリートの耐久性(強度増進性状、中性化性状、耐凍害性、耐硫酸塩性)に関する知見を得ることを目的とした。本報告はこれらの促進試験および屋外環境下における材令1年までのデータが得られたので、これまでの成果をまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料:表-1に、実験に用いた普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末及びフライアッシュの物理的性質を示す。なお、高炉スラグにはSO₃を2.5wt%添加した。細骨材は川砂と山砂の混合砂を、粗骨材は硬質砂岩系砕石を用いた。また、混和剤は遅延形AE減水剤を用いた。

表-1 セメント、スラグ及びフライアッシュの物理化学的性質

記号	種類	粉末度 (cm ² /g)	比重	塩基度	灰分率 (%)
N	普通ポルトランドセメント	3260	3.13	-	-
BS	高炉スラグ微粉末	3780	2.94	1.87	93.1
FA	フライアッシュ	3320	2.23	-	-

2.2 コンクリートの配合:コンクリートの配合は、表-2に示すように各種土木用マスコンクリートの配合を参考に決定した。

表-2 コンクリートの配合

配合条件				単位量 (kg/m ³)					
スラブ (cm)	空気量 (%)	練り上がり温度 (°C)	細骨材率 (%)	W	C	S	G	No.8 (C×%)	303 (A)
6.5±1.5	4±1	20±1	48.0	148	250	914	1005	0.25	4~15

2.3 実験計画および実験方法:表-3に示す計画に従って実験を実施した。材料の混合比率は、スラグ置換率60%及び80%の2成分系混合セメントを基準とし、これに対してフライアッシュを15及び30%置換した。耐久性の評価項目は、①屋外環境における強度増進性状 ②屋外環境における中性化性状 ③促進試験による中性化性状 ④耐凍害性 ⑤耐硫酸塩性とした。また、実験方法を表-4に示す。

表-3 スラグ及びフライアッシュ置換率が耐久性に及ぼす影響に関する実験計画

混合比率 (%)			記号	耐久性試験項目				
N	BS	FA		屋外暴露		促進試験		
				圧縮強度試験	中性化試験	中性化試験	凍結融解抵抗性試験	耐硫酸塩性試験
40	60 30	0 30	N-S80 N-S30-F30	○	○	○	-	○
20	65 50	0 15 30	N-S80 N-S85-F15 N-S50-F30	○	○	○	○	○

表-4 試験項目および方法

試験項目	試験方法	供試体寸法 (cm)	水中養生 (日)	試験材令
① 圧縮強度	JIS A 1108, 1132	φ10×20	28	0.5, 1, 3年
② 中性化	フェノールメチル噴霧法	10×10×40	28	0.5, 1, 3年
③ 促進中性化	CO ₂ 濃度10%, 20°C 80%RH	10×10×40	3, 14, 28	5.9, 18.27, 36日
④ 凍結融解抵抗性	JIS A 6204 附属書2	10×10×40	28	30ヶ月毎
⑤ 耐硫酸塩性	JIS原案「コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法(案)」	10×10×40	28	1, 3, 6, 12ヶ月

3. 結果および考察

3.1 屋外環境下における強度増進性状:図-1に屋外環境下における圧縮強度増進性状を示す。これより、暴露開始時(材令28日)から暴露材令0.5年までの間に圧縮強度は、フライアッシュを置換した場合40~60%増進し、無混和の場合の20~35%の増進より大きい。しかし、材令0.5年以降の伸びはほとんど認められない。これは屋外暴露の影響でなく、セメント、スラグ及びフライアッシュの経時的な水和特性の影響によるものと考えられる²⁾。

3.2 屋外環境下における中性化性状:図-2に屋外環境下における中性化性状を示す。暴露材令0.5年および1年における中性化深さは、スラグ置換率が60%以上の場合普通セメントの約4~6倍となることが報告され

ているが³⁾、フライアッシュの混和によりさらに増大し、フライアッシュ置換率30%の場合無混和の2成分系混合セメントと比較して材令1年で1.2~1.5倍となった。これは、①スラグと比べてフライアッシュの反応性が小さいため、同図中に示すようにフライアッシュ置換率が大きくなるほど全細孔容積が大きくなり透気性が増す、②水和反応によって生じる水酸化カルシウムの量が少なくなる等が原因として考えられる。

3.3 促進試験による中性化性状：図-3に養生期間と促進中性化試験結果より算出した中性化係数（mm/√日）の関係を示す。これより中性化係数は、養生期間が短い場合に著しく大きくなるのが認められる。フライアッシュを置換した場合でも養生を14日程度行えば、中性化はある程度減少する。

3.4 耐凍害性：図-4に凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。これより、耐凍害性はフライアッシュ置換率が大きくなるほど低下することが認められる。その場合、セメント含有率20%でフライアッシュ置換率30%の場合(N-S50-F30)は、空気量を5%程度連行しても耐凍害性は著しく低下する。これは、フライアッシュの置換率の増大に伴って、気泡分布の状態が変化し、同図中に示すように気泡間隔係数が大きくなるが一因と考えられる。

3.5 耐硫酸塩性：図-5に硫酸マグネシウム溶液中に浸漬した場合の長さ変化を示す。これより、フライアッシュ置換率の増加とともに長さ変化が大きくなり、置換率30%では無混和の場合の4~5倍となり、耐硫酸塩性が低下する。これは、フライアッシュ置換率の増加とともにエトリンガイトの生成量が増えること、細孔構造が粗になること等が原因と考えられる⁴⁾。

4. まとめ

高炉スラグを60~80%置換した2成分系混合セメントにフライアッシュを混和した3成分系混合セメントを用いたコンクリートの耐久性について調べた。本研究の範囲内では、フライアッシュの置換が大きい場合耐久性が低下することが認められた。したがって、このようなセメントを用いる場合、十分に養生を行なう等の対策を事前に検討しておく必要がある。

<参考文献>1)例えば金沢克義他;超低発熱セメントの橋りょうマスコングリート構造物への適用性;コンクリート工学 Vol.27, No.5, 1989 2)長滝重義他;低発熱型セメントを使用したコンクリートの特性と大型モデル実験;セメント・コンクリート No.522, 1990 3)田中敏嗣他;高炉スラグを高混和したコンクリートの耐久性に関する研究;土木学会第46回講演概要集, 1991 4)内川浩;混合セメントの水和および構造形成に及ぼす混合材の効果;セメント・コンクリート No.488, 1987

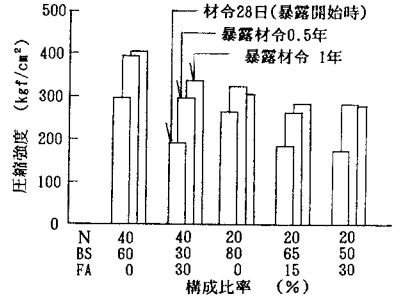


図-1 屋外環境下における圧縮強度増進性状

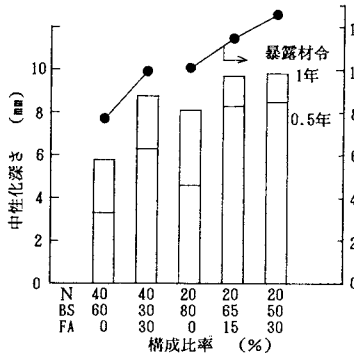


図-2 屋外環境下における中性化性状

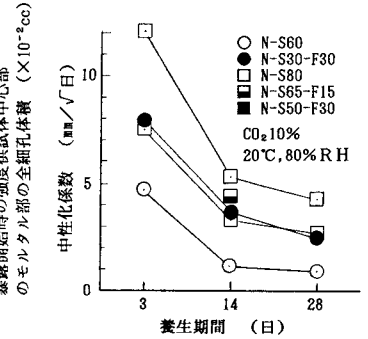


図-3 養生期間と中性化係数の関係

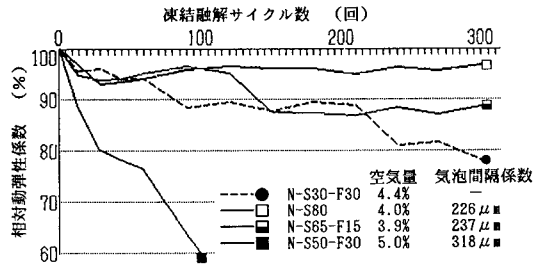


図-4 凍結融解抵抗性試験結果

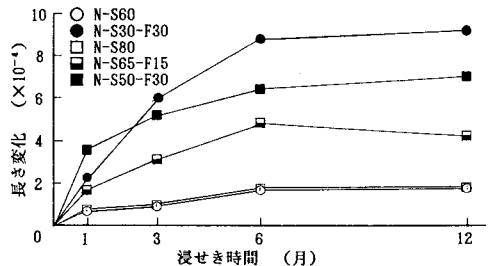


図-5 耐硫酸塩性試験結果