

各種混和材を混入したコンクリートの中性化に関する研究

九州大学大学院 学生会員 福田 諭士
九州大学大学院 正会員 陶 佳宏

九州大学大学院 フェロー 松下 博通
新日鐵高炉セメント(株) 正会員 前田 悦孝

1. はじめに

2002 年制定「コンクリート標準示方書」において中性化速度係数の予測値を求める場合、混和材の影響を表す係数は高炉スラグ微粉末が 0.7、フライアッシュが 0 となっており、中性化の進行にはフライアッシュ混和の影響を無視し、セメント量のみで評価することになる。しかし、フライアッシュの混和とコンクリートの強度の関係において、長期材齢ではポゾラン反応の影響により強度が増進するということが知られている。また、混和材混入コンクリートは無混和コンクリートに比べ硬化速度が遅く、硬化中に促進試験をしてしまうと構造物との比較が困難となる。そこで本研究は、混和材の種類・置換率および養生期間の違いにより各種混和材を混入したコンクリートの中性化進行機構について促進試験により比較・検討を行った。

2. 試験概要

2-1. 使用材料および配合

使用材料を表-1 に、供試体の種類および圧縮強度を表-2 に示す。コンクリートの配合はスランプ $10.0 \pm 2.0 \text{ cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1.0 \%$ を満足するように試験練りを行い決定した。打設より 24 時間後に脱型し、その後温度 20°C で 28 日または 91 日間水中養生を行った。

2-2. 試験方法

供試体は $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ の角柱供試体とした。所定の養生後、1 日気中乾燥させ、エポキシ樹脂により浸透面（打設側面）以外の 5 面にシール処理を施した。シール処理は 2 日間で 2 回行い、材齢 31 日または 94 日から中性化促進試験を開始した。また、圧縮強度は材齢 28 日、91 日にそれぞれ JIS A 1108 に準拠して行った。中性化促進試験は炭酸ガス濃度 7%、温度 30°C 、湿度 60% の槽内に入れて促進試験を行った。試験開始より 4 週、13 週、26 週に供試体を切断し、切断面に 1% フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧して未着色域を中性化部とし、その深さ 10 点を測定し、平均して中性化深さとした。

3. 試験結果および考察

(1) 置換率の影響

図-1 に養生期間 28 日の、図-2 に養生期間 91 日のそれぞれ高炉スラグ微粉末とフライアッシュの置換率ごとの中性化深さを示す。図よりどちらの混和材も置換率が大きくなるにつれ中性化深さが増大していることが確認できる。また、特に高炉スラグ微粉末の方で顕著であるが、養生期間が長いほど中性化深さは小さく、促進期間が長いほど中性化深さの伸び率（勾配）が減少していることがわかる。これは混和材の特徴である長期強度の増進によりコンクリートの組織が緻密

表-1 使用材料

材料	種類
セメント	普通ポルトランドセメント、密度 3.16 g/cm^3
高炉スラグ微粉末	比表面積 $4160 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、密度 2.88 g/cm^3
フライアッシュ	比表面積 $4110 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、密度 2.31 g/cm^3
細骨材	海砂、密度 2.58 g/cm^3 、吸水率 1.60%、粗粒率 2.67
粗骨材	砕石、密度 2.90 g/cm^3 、吸水率 1.00%、最大寸法 20mm
AE 減水剤	リグニンスルホン酸系
AE 剤	アルキルアリルスルホン化合物系 高アルキルカルボン酸塩系（フライアッシュのみに使用）

表-2 供試体の種類および圧縮強度

記号	混和材	混和材置換率 (%)	W/B (%)	圧縮強度(N/mm ²)	
				28日	91日
N50	—	—	50	45.2	46.6
N50B30-4	高炉スラグ 微粉末	30		44.1	54.3
N50B50-4		50		38.7	57.1
N50B70-4		70		34.1	51.1
N50F10	フライ アッシュ	10		43.5	50.4
N50F20		20		41.5	53.2
N50F30		30		40.1	54.0

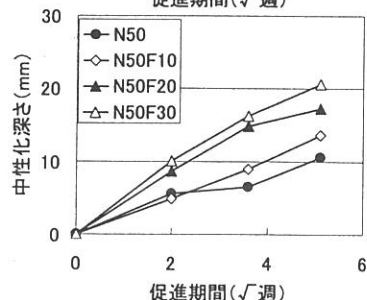
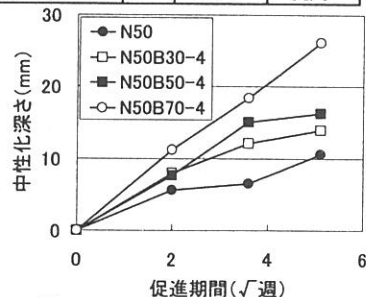


図-1 養生期間 28 日の中性化深さ

になったからであると考えられる。

(2) 計算値と実測値の比較

図-3 に混和材の種類の違いによる中性化深さの関係を計算値と実測値について示す。計算値については、実環境と促進環境を考慮した上での中性化速度係数算出式¹⁾をもとに算出している。中性化深さは高炉スラグ微粉末、フライアッシュともに28日水中養生したものより91日水中養生したものの方がほぼ全体の促進期間で小さくなった。

ここで、計算値と実測値を比較してみると、高炉スラグ微粉末は、28日水中養生では実測値の方が上回り、91日水中養生ではほぼ同様となり、フライアッシュでは28日水中養生、91日水中養生どちらも実測値の方が下回った。計算値ではコンクリート標準示方書の中性化予測式を用いており、混和材の影響を表す係数も考慮されている。したがって、フライアッシュの係数は0ではなくそれよりも大きい可能性があるのではないかと考えられる。また、圧縮強度と中性化深さの関係はほぼ直線関係にある²⁾が、計算値には養生期間が考慮されていない。したがって、養生期間が28日でも91日でも同様の速度係数で評価してしまう。本研究の結果では養生期間の増加に伴い中性化深さが減少しているということを確認した。この計算値と実測値の差は、計算値でコンクリートの硬化速度と炭酸ガス濃度の関係を考慮していないためであると考えられる。

(3) 細孔径分布

図-4 に水中養生期間91日で、水結合材比50%、置換率30%の試験開始時の供試体表面と内部の細孔容積を示す。91N50B30-4は91N50と全細孔量はほぼ同様であるが、91N50F30は表面、内部ともに多い。中性化の進行はコンクリート内の毛細管空隙の存在に依存し、40nm以上の細孔量と中性化深さは右上がりの直線関係にある³⁾。図-4より91N50F30の40nm以上の細孔量が最も少ないにも関わらず、中性化深さは最も大きい。これは、フライアッシュのボゾラン反応により絶対的なアルカリ量が減少し、中性化し易くなったためであると推測される。

4. 結論

以上の実験結果の比較・検討より以下の結論を得た。

- (1) 「コンクリート標準示方書」における中性化速度係数の予測値を求める場合の混和材の影響を表す係数が、フライアッシュは0より多少ではあるが、大きめである可能性があることがわかった。
- (2) 促進試験より得られた結果から中性化速度係数を予測する場合、コンクリートの硬化速度、アルカリ量の減少割合など、養生期間の違いによって変化する要因を加える必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 魚本健人ほか：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集，No.451 (1997)
- 2) 土木学会：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）（1999）
- 3) 郭徳連ほか：養生条件によるコンクリートの組織変化と中性化を支配する細孔径の評価，土木学会論文集 No.718 (2002)

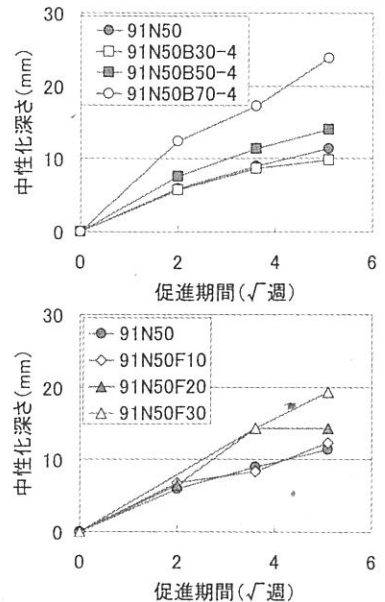


図-2 養生期間91日の中性化深さ

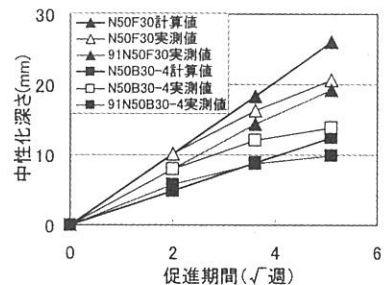


図-3 計算値と実測値

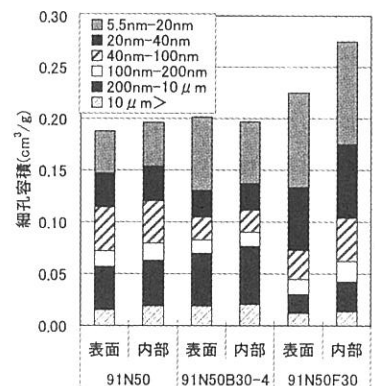


図-4 細孔量