

各種混和材を混入したコンクリートの中性化に関する検討

○九州大学大学院 学生会員 内藤 哉良

九州大学大学院 フェロー 松下 博通

九州大学大学院 正会員 鶴田 浩章

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

(株)奥村組

福田 諭士

1. 目的

コンクリートの高強度化・高流動化・高耐久化・組織の緻密化や早期劣化対策などの要求性能を満足するためにコンクリート用混和材は必要不可欠な材料である。しかし、混和材を混入したコンクリートの耐久性については未だ十分なデータの蓄積が行われておらず検討が必要である。そこで本研究では、各種混和材を混入したコンクリートの中性化について、混和材置換率、養生期間の違い等を変化させた促進実験を行った。

2. 実験概要

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 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$
高炉スラグ微粉末	比表面積 $4160\text{cm}^2/\text{g}$ 密度 $2.88\text{g}/\text{cm}^3$
フライアッシュ	比表面積 $4110\text{cm}^2/\text{g}$ 密度 $2.31\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	海砂、密度 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率 1.60% 、粗粒率 2.67
粗骨材	碎石、密度 $2.90\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率 1.00% 、最大寸法 20mm

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、配合および圧縮強度を表-2 に示す。コンクリートの配合は水結合材比を一定とし、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 で 28 日または 91 日間の水中養生を行った。

表-2 供試体の種類・配合および圧縮強度

記号	混和材	混和材置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 (N/mm ²)		無混入との強度比		伸び率
					W	B		S	G	28日	91日	28日	91日	
						C	混和材							
N50	-	-	50	44	170	340	-	769	1100	45.2	46.6	1.00	1.00	1.03
N50B30-4	高炉	30		43	170	238	102	748	1115	44.1	54.3	0.98	1.16	1.23
N50B50-4	スラグ	50		43	170	170	170	746	1112	38.7	57.1	0.86	1.22	1.48
N50B70-4	微粉末	70		43	170	102	238	744	1109	34.1	51.1	0.76	1.10	1.50
N50F10	フライ アッシュ	10		41	160	288	32	730	1181	43.5	50.4	0.96	1.08	1.16
N50F20		20		41	160	256	64	726	1174	41.5	53.2	0.92	1.14	1.28
N50F30		30		41	160	224	96	722	1168	40.1	54.0	0.89	1.16	1.35

2.2 実験項目及び方法

圧縮強度試験：JIS A 1108 に準拠し、材齢 28 日、91 日における圧縮強度を求めた。

中性化促進試験：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、エポキシ樹脂で浸透面以外の面を遮蔽し、促進試験を開始した。試験環境は CO_2 濃度 7%、温度 40、湿度 60% とした。試験開始より 4、13、26 週間後に供試体を割裂し、割裂面に 1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧後、未着色域を中性化部とし、深さ 10 点の平均を中性化深さとして求めた。

細孔径分布測定：中性化深さ測定時に、浸透面から深さ約 5mm の位置より 5mm 角のモルタル試料を採取した。これをアセトンに浸漬し水和を停止させ、水銀圧入式ポロシメータにより細孔径分布を測定した。

3. 実験結果及び考察

図-1、図-2 に水中養生期間を 28 日とした場合の高炉スラグ微粉末、フライアッシュ混入コンクリートの中性化深さを示す。高炉スラグ微粉末、フライアッシュともに置換率低くなるに従って中性化深さが小さくなる傾向となった。これは、置換率が低くなることで結合材中の混和材量が少なくなり、より早くコンクリートの硬化体組織が生成され中性化の進行を抑制するからであると考えられる。また、スラグ混入コンクリートの N50B30、N50B50、フライアッシュ混入コンクリートの N50F10 および N50F20 に着目すると、中性化深さの伸びの勾配が促進期間を経るにつれて緩やかになっていることが確認できたが、これはポゾラン

キーワード：高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、中性化、促進中性化試験、細孔径分布、

連絡先：福岡市東区箱崎 6-10-1、TEL：092-641-3131 内線 (8654)、FAX：092-642-3271

反応による硬化体組織生成過程であるため中性化抵抗性が向上したからであると考えられる。

図-3 に中性化促進期間 28 日における供試体表面の直径 40nm 以上の全細孔容積と中性化深さの関係を示す。既往の研究において、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¹⁾とされており、本研究でも同様の線形関係が見られた。しかし、N50 と N50F20 は、40nm 以上の全細孔量はほぼ等しいにもかかわらず中性化深さは N50F20 の方が上回った。これはフライアッシュのポゾラン反応によってコンクリート中の水酸化カルシウムが減少することにより、コンクリート中の pH が低下し、絶対的なアルカリ量が低い N50F20 の中性化深さが N50 の中性化深さを上回ったのではないかと考えられる。したがって、同じ細孔量であってもコンクリート中のアルカリ量の違いが中性化の進行速度に影響を与えることが確認された。

コンクリート標準示方書には中性化速度係数を決定する式が示されている。この式の混和材の影響を考慮した係数 k は高炉スラグ微粉末が 0.7、フライアッシュが 0 となっている。この式を計算値とし、実測値との比較を行った。図-4 に高炉スラグ微粉末 4000 およびフライアッシュを使用した場合の中性化深さの実測値と計算値の比較を示す。フライアッシュは促進期間が経つにつれ、水中養生期間 28 日および 91 日双方とも、4 週以降から計算値が上回っている。したがって、フライアッシュ混入による中性化抵抗性は、無視できないものであると考えられる。

以上の結果、コンクリート標準示方書による式のフライアッシュの混和材係数 k は安全率を見積もった式であると考えられ、中性化を予測する場合、フライアッシュ混入による中性化速度への影響を考慮する必要がある。

4. 結論

以上、本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 混和材を混入したコンクリートは、水中養生期間 28 日や 91 日では硬化体形成途中であるため、試験期間中にも硬化体を形成し徐々に中性化抵抗性が向上する。
- (2) コンクリート標準示方書による中性化予測式の混和材を考慮した係数 k については、促進試験との整合式を確立するために、今後コンクリート中のアルカリ度等を考慮した検討を行う必要があると考えられる。

【参考文献】 1) 郭度連ほか：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/V57，pp59-68，2002.11

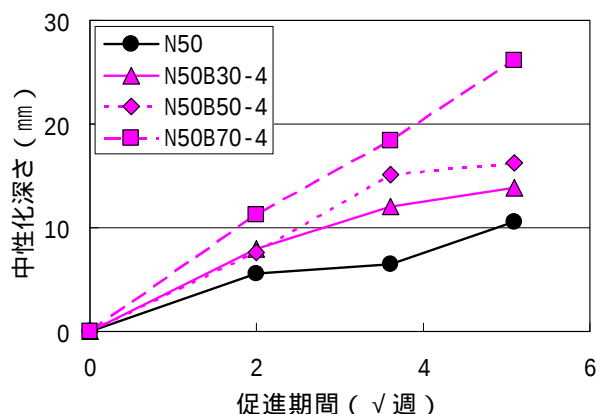


図-1 スラグ混入コンクリートの中性化深さ

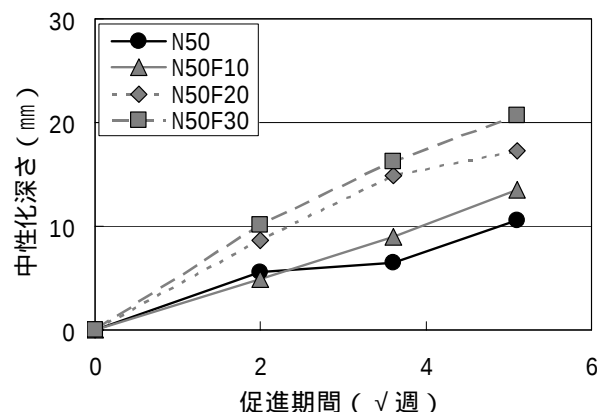


図-2 フライアッシュ混入コンクリートの中性化深さ

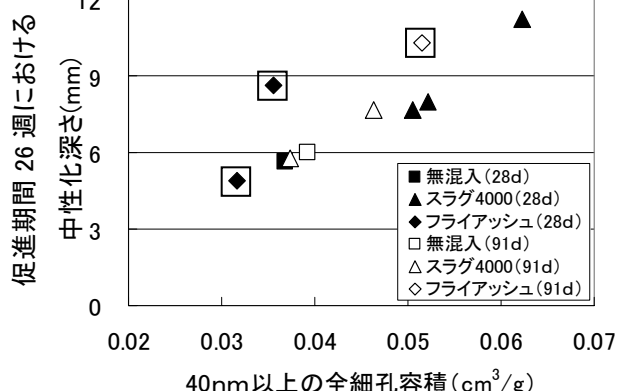


図-3 40nm 以上の細孔容積と中性化深さ

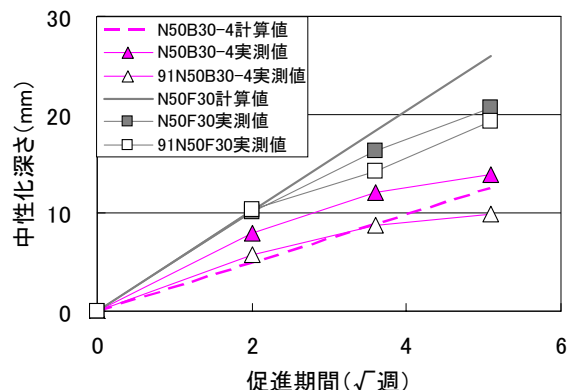


図-4 中性化深さの実測値と計算値の比較