

養生の違いがフライアッシュコンクリートの中性化に及ぼす影響

愛媛大学大学院 学生会員 ○門屋朱里

愛媛大学大学院 正会員 河合慶有 正会員 氏家勲

1. はじめに

近年、日本では東日本大震災の影響による原子力発電の停止が長期化しており、それに伴い石炭火力発電の需要が増加している。石炭火力発電所では、産業副産物としてフライアッシュが多量に発生しており、コンクリートの混和材として利用することが研究されてきている。フライアッシュコンクリートは、長期強度の増進、ワーカビリティの改善などの利点を持つことがこれまでに確認されている。しかし、セメントをフライアッシュで内割置換したコンクリートは水結合材比や初期養生によって中性化の進行が速いことが懸念され、陸上構造物への利用は積極的に行われていないのが現状である。そこで本研究では、養生の異なるフライアッシュコンクリートにおいて中性化の進行に及ぼす影響度の高い因子を把握することを目的とした。

2. 実験概要

本研究では、セメントに普通ポルトランドセメント(以下 OPC)を使用した。また、セメント重量に対して30%のフライアッシュを内割にて置換した配合(以下 FA)を検討した。単位水量は 175kg/m^3 とし、水粉体比は 40, 50, および 65%の3水準とした。本研究で検討したコンクリートの示方配合を表1に示す。供試体は1辺が100mmの立方供試体とした。養生は、材齢3日または7日で脱型し材齢28日まで気中養生するケース、また、打設翌日に脱型し材齢7日または14日(水粉体比65%のみ)まで湿布養生するケースの4ケースで行った。養生終了後、1面を残してエポキシ樹脂系接着剤を用いてシールし、温度 40°C 、相対湿度60%、二酸化炭素濃度5%の環境下で材齢91日まで促進中性化試験を行った。試験終了後、図1のように供試体を乾式カッターで切断し、フェノールフタレイン法による中性化深さの測定および示差熱重量分析を行った。示差熱重量分析では、供試体(B)から10mmごとにモルタル部分のみを取り出し、粉末状にした試料を用いて 600°C まで測定し水酸化カルシウム含有率を算出した。

表1 示方配合

供試体	W/B	単位量 (kg/m^3)					単位量 (g/m^3)		
		W	C	FA	S_1	S_2	G	AE減水剤	AE剤
OPC65	65%	175	269	—	415	428	994	1614	1076
OPC50	50%	175	350	—	395	412	957	2152	538
OPC40	40%	175	437	—	384	396	918	6122	1749
FA65	65%	175	188	81	409	422	979	0	1076
FA50	50%	175	245	105	392	404	938	0	2099
FA40	40%	175	306	131	373	385	893	5247	2186

3. 実験結果および考察

示差熱重量分析の結果から算出した水酸化カルシウム含有率の結果では、フェノールフタレイン法により確認された中性化領域と未中性化領域の境界付近で著しい増大が認められた。図2に示す各供試体における未中性化領域の水酸化カルシウム含有率の結果より、最も水酸化カルシウム含有率の高かったケースはいずれの水粉体比の供試体においても湿布養生を施したケースであった。また、これらの供試体では気中養生を施した供試体と比較して中性化深さが小さくなる傾向が認められた。

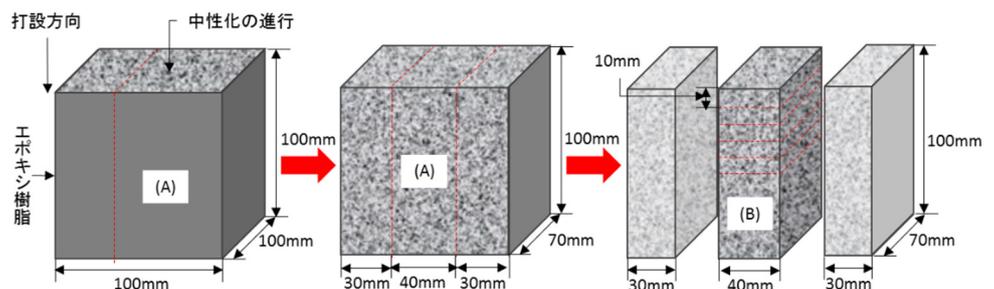


図1 供試体の切断方法

4. 中性化速度に影響を及ぼす因子の検討

中性化深さの予測式から算出した中性化速度係数と、フェノールフタレイン法によって測定された中性化深さの結果から算出した促進中性化速度係数の比較を行った。本研究では Papadakis ら^{1,2)}の提案した以下の式を用いて中性化速度係数を推定した。

$$X_c = \sqrt{\frac{2[\text{CO}_2]^0 D_{e,\text{CO}_2} t}{[\text{CH}] + 3[\text{CSH}]}} \quad (1)$$

$$X_c = \sqrt{\frac{2D_{e,\text{CO}_2} (\text{CO}_2/100)t}{0.33\text{CH} + 0.214\text{CSH}}} \quad (2)$$

$$D_{e,\text{CO}_2} = (1.64 \cdot 10^{-6}) \varepsilon_p^{1.8} [1 - (\text{RH}/100)]^{2.2} \quad (3)$$

ここで、 $[\text{CO}_2]^0$ ：空気中の CO_2 のモル濃度 (mol/m^3)、 D_{e,CO_2} ： CO_2 の有効拡散係数 (m^2/s)、 $[\text{CH}]$ 、 $[\text{CSH}]$ ： $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CSH のモル濃度 (mol/m^3)、 t ：中性化促進期間 (年)、 CO_2 ：空気中の CO_2 濃度 (%)、 ε_p ：コンクリート中の空隙率、 RH ：相対湿度 (%)である。

図 3 に予測式により推定された中性化速度係数と促進中性化速度係数との比較を示す。各供試体の未中性化領域において測定された水酸化カルシウム含有率の最大差より、セメント水和物量が中性化に及ぼす影響度を約 1.2 倍と推定し図中に点線で示した。この図より、2本の線の間に含まれる湿布養生または型枠の存置期間を 7 日とした実験ケースに関しては、セメント水和物量が中性化の進行に及ぼす影響度が高いと考えられる。一方、2本の線の間に含まれない実験ケースのうち、特に 3 日脱型気中養生を施した供試体における結果では最大で約 1.8 倍の差が生じており、空隙率及び有効拡散性の増大からのみ両者の差を説明するのは難しいことから、予測式で考慮されていない因子が中性化に影響を及ぼしていると推察される。

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 湿布養生を施すことにより未中性化領域での水酸化カルシウム含有率が気中養生を施した供試体と比較して高くなることが確認された。このことは、湿布養生を施した供試体における中性化の進行に対する抵抗性が高まる要因の一つと考えられる。
- 2) フライアッシュの混和の有無に関わらず、促進中性化速度係数が中性化速度係数の推定値の約 1.2 倍より小さかった実験ケースでは、養生の違いによるセメント水和物量が中性化の進行に影響を及ぼす因子と考えられる。一方、両者の差が約 1.2 倍以上の実験ケースでは、予測式で考慮されている因子に加え、空隙構造や含水状態を反映した空隙の連結性を考慮した有効拡散性の増大などが考えられる。

参考文献

- 1) V.G. Papadakis, M.N. Fardis, C.G. Vayenas : Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation, *Materials and Structures*, Vol. 25, pp. 293-304, 1992
- 2) V.G. Papadakis : Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress, *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, pp. 291-299, 2000

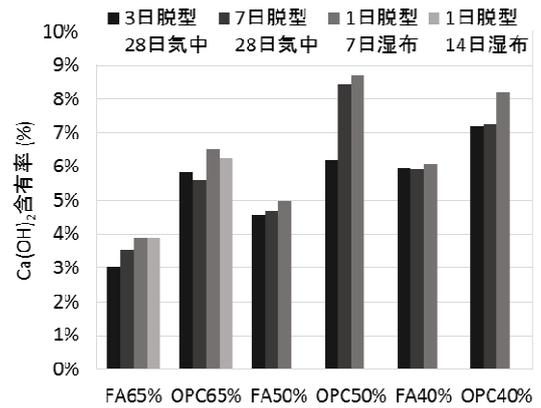


図 2 未中性化領域の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含有率

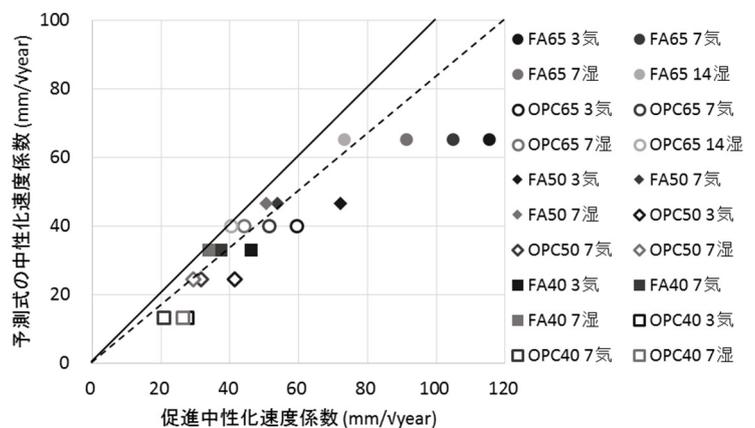


図 3 予測式による推定値と促進中性化速度係数の関係