水分逸散量と中性化速度の関係に関する一考察

鹿島建設(株)　正会員　○渡邉賢三　吉田祐麻　芦澤良一　坂井吾郎

1．背景および目的

フライアッシュ（以下，FA）をはじめとする混和材を用いたコンクリートは，一般的に中性化速度が大きくなることが明らかとなっている．これは，主に FA のポゾラン反応によって水酸化カルシウムが消費され，中性化に対する抵抗性が低下しているためと結論付けられている．一方で，コンクリートの中性化の進行速度は，含水率や環境湿度に大きく影響され，環境の相対湿度が 40～60%RH の時に中性化速度が最も大きくなることが知られている[1)]．本報文では，FA セメントを用いたコンクリートの中性化に対する抵抗性に着目し，水分の挙動と中性化速度の関係について基礎的なデータに基づいた考察結果を述べる．

2．実験概要

本検討では，**表－1** に示す特性値を有する JIS Ⅱ種相当の FA を普通ポルトランドセメント（以下，OPC）に 15wt%内割り置換したフライアッシュ B 種セメント（以下，FB）を用いた．**表－2** にコンクリートの配合を示す．試験には，W/C=50%，空気量 4.5%，スランプ 8cm の普通コンクリートを用い，後述するセンサーの配置の制約から粗骨材最大寸法を 10mm とした．なお，OPC と FB のケースで，セメントペースト量が同量となるように配合を調整した．供試体形状は 100×100×400mm の角柱とし，水分逸散状況を把握するため，電気容量式の水分センサーを**図－1** に示すように，コンクリート底面の表面から 10，30，50，70mm の位置に設置した．各供試体は，1 層 20mm の 5 層打ちとして，充填状況を確認しながら木槌で側面をたたき振動を与えて打ち込んだ．打込み後，20℃の環境にて打込み面を封かん養生し，7 日後に型枠を取り外し，20℃，湿度 60%RH で材齢 91 日まで静置した．材齢 91 日において，底面を除く 5 面をエポキシ樹脂で被覆し，温度 20℃，湿度 60%RH，CO_2 濃度 5%の促進中性化養生を約 260 日間行い，途中 5 回の中性化深さの結果から中性化速度係数を評価した．また，水分逸散挙動を測定するために，型枠を取外した直後の材齢 7～26 日まで，型枠取外しから 19 日まで，センサーでコンクリート中の相対湿度を計測した．なお，中性化深さ，水分逸散の測定はそれぞれ N=1，N=2 とした．

表－1　フライアッシュの特性値

含有率(%)			強熱減量(%)	密度(g/cm³)	比表面積(cm²/g)	メチレンブルー吸着量(mg/g)	製造工場
SiO_2	Al_2O_3	CaO					
61.7	24.6	1.64	2.4	2.29	3730	0.31	H 火力

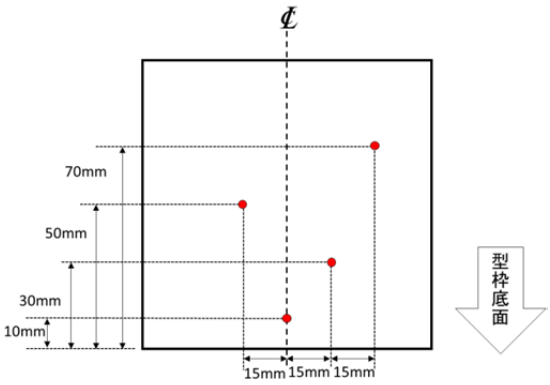
表－2　コンクリート配合

ケース	W/B(%)	スランプ(cm)	空気量(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³)				
					W	B		S	G
						C	FA		
OPC	50.0	8.0	4.5	45.0	175	350	－	789	972
FB					171	291	51	789	972

3．実験結果

3.1　促進中性化試験

図－2 に促進中性化試験の結果を示す．既往の知見のとおり，OPC より FB の方が中性化速度係数は大きくなった．また，Y 切片が材齢 91 日時点の促進中性化開始前の中性化深さを示すと仮定すると，OPC で約 3mm，FB で約 9mm と FB の方が 3 倍近く大きな値となった．



図－1　相対湿度センサーの配置位置

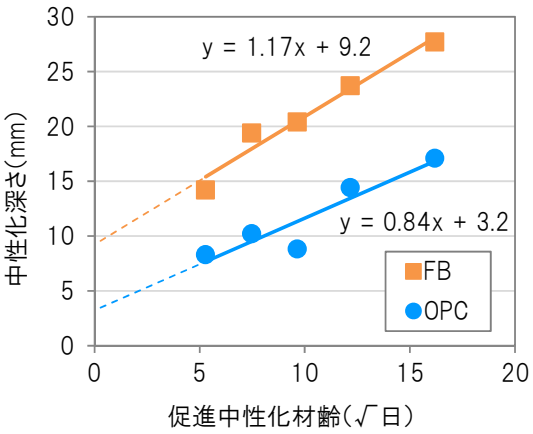
3.2　水分逸散挙動

図－3 に水分逸散挙動としてコンクリート中の相対湿度の測

キーワード：中性化，含水率，フライアッシュ，養生，水分逸散

連絡先　　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設(株)技術研究所　TEL　042-489-8020

定結果を示す．ここに，図ではN=2の供試体の平均値を示す．なお，OPCの70mm，FBの30mm以深は100%から低下しなかったため，図示していない．さらに，データには計測中の欠損が生じたケースもある．OPC 10mm位置の相対湿度は，型枠取外し後，ただちに低下し，30mm位置は13日後，50mm位置は18日後に低下し始めた．一方，FB10mm位置の相対湿度は，型枠取外し後約5日後から低下したものの，30mm位置は計測期間終了の19日までに湿度の低下は確認されなかった．以上から，湿度の変化はOPC に比べFBの方が緩やかであり，FBの方が水分が逸散しにくいことを確認できた．



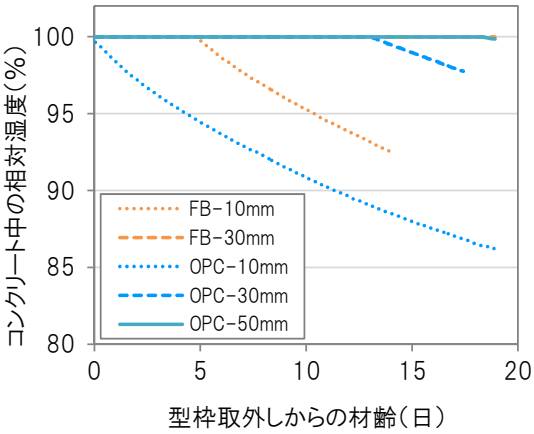
図－2 促進中性化試験の結果

3.3 考察

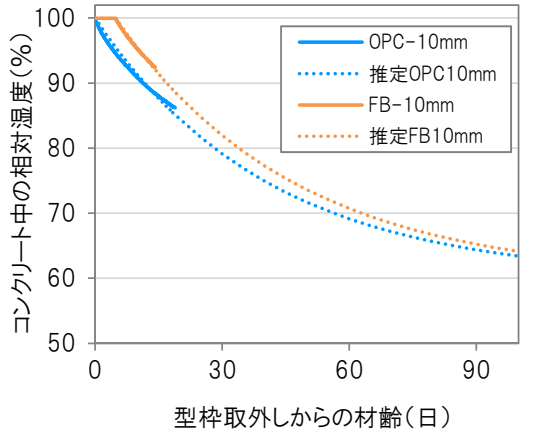
促進中性化試験の結果，中性化深さは7～27mmの範囲であることから，表面からの深さ10mmにおけるコンクリート中の相対湿度に着目することとした．図－4に外挿評価により推測した，深さ10mm位置の相対湿度の変化を示す．相対湿度は式1)に示す関係式で，環境条件に等しい相対湿度60%に収束すると仮定し，測定データから最小二乗法で係数rを算出した．

$$Hc=100-40\,(1-e^{-rt}) \qquad \text{式 1)}$$

ここで，Hc：相対湿度(%)，r：係数（OPC：0.0246，FB：0.0239），t：経過時間（day）とした．外挿評価の結果，深さ10mm位置のコンクリート中の相対湿度は，型枠取外し直後では，数%の差異が認められたものの，材齢91日におけるOPCで64.3%，FBで65.1%とほぼ同等であると考えられた．以上から，図－2に示した自然中性化深さの差異には，含水率の影響はほとんどなく，従来の見解であるFAのポゾラン反応による$Ca(OH)_2$の消費の影響によるものと考えられる．



図－3 水分逸散の測定結果



図－4 水分逸散の外挿評価結果

4．まとめ

同一のW/CでOPCおよびFBを用いたコンクリートの中性化について，コンクリート中の相対湿度に着目し評価した結果，以下のことが明らかとなった．

・OPCとFBを用いたコンクリートを比較すると，FBの方が型枠取外し後の水分逸散が緩慢であった

・本実験条件では，炭酸ガスに接触する際には，コンクリート中の相対湿度の差は小さく，結果としてFBより$Ca(OH)_2$量の多いOPCの中性化速度係数が小さくなった

なお，コンクリート標準示方書設計編2017年度版では，水の浸透に伴う鋼材腐食に関する照査が加わった．今後は，まとめに記述した現象のメカニズムを明らかにするとともに，セメント種類，中性化の程度の異なるコンクリートの鋼材腐食について，さらなる検討を加えていく予定である．

参考文献

1) 例えば，日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点’16，p.83，2016.