

1. はじめに

近年、様々な業界で環境負荷低減に向けた取り組みが広く行われている。建設業界においては、高炉スラグ微粉末 (BFS) やフライアッシュ (FA) などの混和材料の積極利用が望まれている。製造時に高温で燃焼するセメントは大量に CO₂ を発生させる一方で、産業副産物である BFS や FA をセメントの一部に置き換えることで CO₂ の排出量を大幅に抑制することができる。混和材料をコンクリートに用いることは環境負荷低減の観点で非常に有効である。また、混和材料をセメントに置換した混合セメントは塩害抵抗性や化学抵抗性の向上、長期強度の増進などの利点がある。しかし、その一方で JIS A 1153 「コンクリートの促進中性化方法」に準じて試験を行った場合、中性化速度が大きくなる。これは、セメントの一部を混和材料に置換したことによって水酸化カルシウム [Ca(OH)₂] やカルシウムシリケート系水和物 [C-S-H] などのセメント由来の水和物が減少することで、コンクリート中の pH が低下することが要因の一つとされている。しかし、松田ら¹⁾は高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートと普通ポルトランドセメントを使用した場合において、実環境での中性化深さが同程度であったと報告している。

そこで本研究では、モルタル供試体を用いてモルタル中の pH と水和物の関係に着目し、促進試験で中性化したモルタル内部の水和生成物や pH の変化を深さ方向毎に分析を行い、混和材高置換コンクリートの促進試験による中性化特性を JIS A 1153 「コンクリートの促進中性化方法」で評価を行い、混合セメントにおいて、中性化進行が早い原因について検討を行う。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び試験体緒元

表-1 モルタルの配合

	W/B	S/C	OPC	BFS	FA
N100	0.5	3	100	-	-
B50			50	50	-
B35F15			50	35	15
B65			35	65	-
B50F15			35	50	15
B85			15	85	-
B70F15			15	70	15

表-1 に本研究で使用したモルタルの配合を示す。モルタル供試体の試験体寸法は 40×40×160mm で、全てのモルタルで水結合材比 W/B を 0.5 に一定とし、水：結合材：細骨材の質量比を 0.5：1：3 とした。セメント種は普通ポルトランドセメントを使用し、打込みしたモルタルは翌日脱型し、7 日及び 28 日間の封緘養生を行った。

2. 2 促進中性化試験

封緘養生後、側面の 1 面を除きアルミテープでシールした供試体を促進中性化試験装置 (20°C, RH60%, CO₂ 濃度 5%) に静置し、所定材齢毎に供試体を割裂した。中性化深さはフェノールフタレイン溶液を噴霧し、開放面から赤紫色に呈色した部分までを測定した。中性化深さを測定後、深さ方向に 6mm 毎で切断、粉碎を行い、各層毎に pH と水和生成物の測定を行った。ここで、分析試料中に骨材が混入すると化学分析を行う際に誤差が生じる。そこで、めのう乳鉢にて骨材に付着したペースト部を削ぎ落とし、骨材をできる限り取り除いた試料を更に微粉碎し、0.15mm のふるいを通過した粉末のみを pH と水和生成物の測定試料とした。

3. 実験結果

図-1~4 に封緘養生 7 日後に 7 日間促進中性化を行った際の深さ毎の pH と水和生成物の変

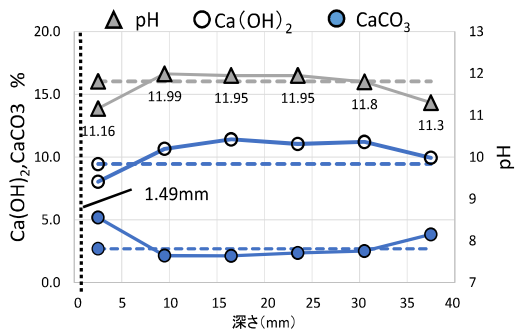


図-1 N100 の pH と水和物の関係

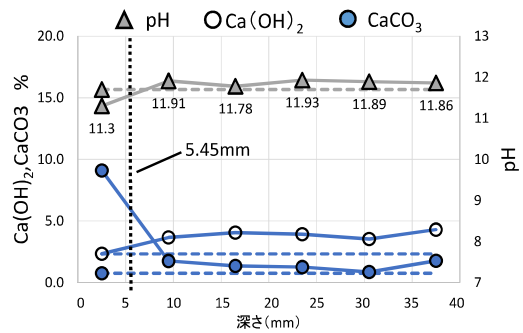


図-2 B50 の pH と水和物の関係

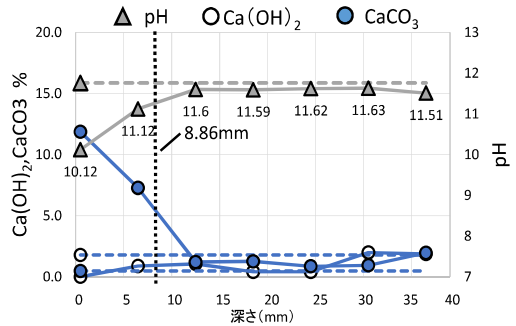


図-3 B65 の pH と水和物の関係

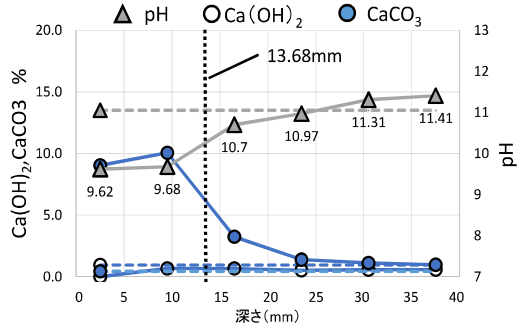


図-4 B85 の pH と水和物の関係

化を示す。ここでは、OPC と BFS を用いた 2 成分系の N100, B50, B65, B85 の結果を代表例として示す。まず、pH に着目すると、全ての結果において中性化域と判断した領域では pH が減少している。これよりフェノールフタレインの呈色境界の 10.2~10.3 と関係性があることが確認できる。ただし、N100 ではわずかに中性化しているが pH はそれほど大きな変化がないことが分かる。

次に、水和生成物に着目すると、B65 や B85 の 2 層目では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が初期値と同程度量残存しているにも関わらず、フェノールフタレインでは呈色が確認できなかった。これは、促進環境で中性化をさせることにより $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の炭酸化が完全に終了するより早く中性化が深層まで進んでいることが考えられる。また、全ての配合で未中性化域の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が初期値に比べて増加していることが確認できた。これは、促進環境時においても内部に残存している水分によって水和反応が進行していることが想定される。一方、 CaCO_3 量に着目すると N100 よりも BFS を置換した配合の方が CaCO_3 量が多い

ことが分かる。これは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 以外にも C-S-H が炭酸化しているため、 CaCO_3 量が多くなったことが影響していると考えられる。C-S-H が炭酸化した場合、Vaterite が生成されることにより空隙が粗大化し中性化が進行する可能性がある。そのため、今後は CaCO_3 の区別 (Calcite 及び Vaterite) を行う必要がある。また、封緘養生の日数による違いや、2 成分系と 3 成分系セメントの違いによる影響について整理を行う。

4. まとめ

中性化前後の深さ毎の pH と $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 の関係について整理した結果、それぞれの結果においてフェノールフタレインの呈色との関係が確認でき、混和材を置換したセメントは CaCO_3 の生成量が多い結果となった。今後は、空隙や CaCO_3 の区別などの追加調査が必要である。

参考文献

- 1) 松田芳範, 上田洋, 石田哲也, 岸利治: 実構造物調査に基づく炭酸化に与えるセメントおよび水分の影響, コンクリート工学論文集, Vol. 32, No. 1, pp629-634, 2010