

深さ方向を対象とした促進中性化後の pH と水和生成物の変化

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻
芝浦工業大学 工学部 土木工学科

○伊藤孝文
伊代田岳史

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おり、セメント業界で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 を発生する一方で、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。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一方で、セメント量が少ないことによる初期強度や中性化に対する抵抗性が低下する。本研究では、この混合セメントの欠点とされている中性化抵抗性に着目した。

コンクリートにおいて中性化の進行度合いを把握する手法としてフェノールフタレイン法が多く利用されている。しかし、この方法では pH の値が 10.2~10.3 の境界は色の呈色によって判別することができるが、中性化域や未中性化域における pH の値は不明確である。また、その中性化域と未中性化域における水和生成物の量も確認することができない。促進環境で劣化させた供試体の分析方法として、塩水浸せき試験では深さ方向に試料を採取し電位差測定により全塩化物イオン濃度や可溶性塩化物イオン濃度の分析を行う研究は広く行われており、特に混合セメントにおいては高い塩分遮蔽効果が確認されている。一方で、促進中性化試験を行った試験体を深さ方向に分析した研究は少なく、中性化による鉄筋の腐食をコンクリート中のアルカリ性や pH の低下が重要とするのであれば、深さ方向の pH の分布について検討を行うことは重要であると考えた。

そこで、本研究では促進中性化を行った試験体を用いて中性化前後での pH や水和生成物の変化を深さ方向に分析を試みた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び供試体諸元

表-1 に使用したモルタルの配合を示す。配合は、高炉セメント B 種相当の B50 と、極端に中性化が早い配合として BFS を 85%置換した B85 を設定した。モルタル供

表-1 モルタルの配合

| 配合 (略号) | W/B | S/C | 結合材割合 (%) | | |
|---------|-----|-----|-----------|-----|----|
| | | | OPC | BFS | FA |
| N100 | 0.5 | 3 | 100 | - | - |
| B50 | | | 50 | 50 | - |
| B85 | | | 15 | 85 | - |

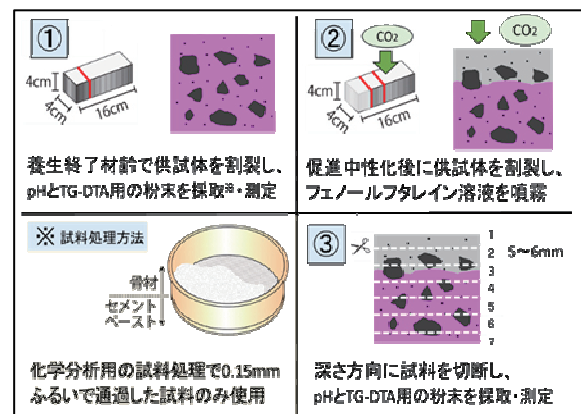


図-1 実験方法

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 で一定とし、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をし、28 日間の封緘養生を行った。

2. 2 実験方法

図-1 に実験の手順を示す。養生終了後、促進中性化を行う前に供試体を割裂し中性化前の pH と水和生成物の量を測定するための試料を採取した。その後、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に静置した。4 週間静置後に供試体を割裂し、中性化深さは JIS 規格に準拠してフェノールフタレイン溶液を噴霧し、表面から赤紫色に呈色した部分を 6 点測定し、その平均値を中性化深さとした。中性化深さを測定後、深さ方向に 6mm 毎で切断を行い、各層の pH と水和生成物の量を測定するための試料を採取した。

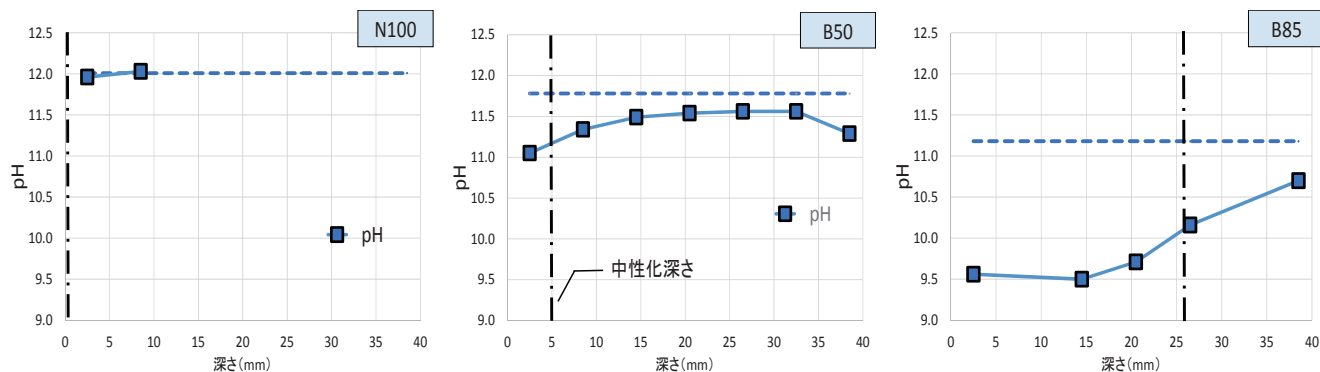


図-2 pH (封緘養生 28 日、促進中性化 28 日)

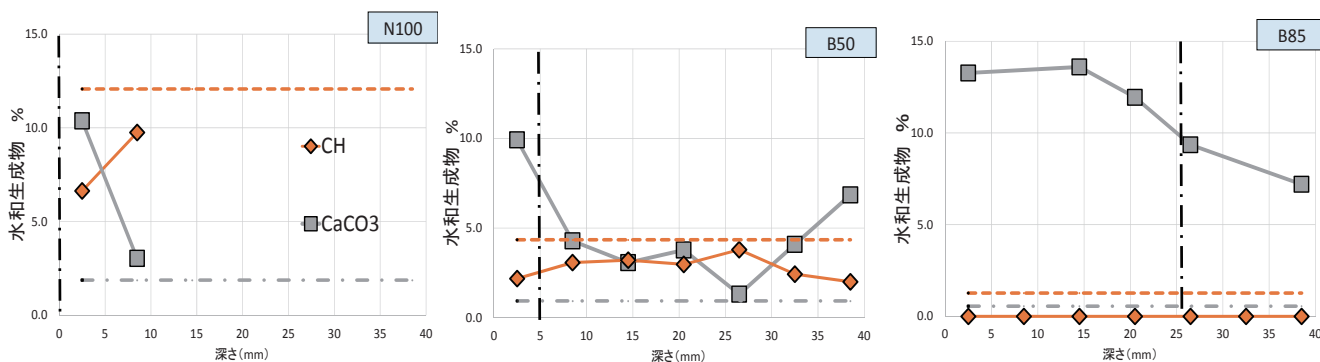


図-3 水和生成物 (封緘養生 28 日、促進中性化 28 日)

3. 実験結果

3. 1 pH の測定

図-2 に中性化前後での深さ毎の pH の変化を示す。図中の N100 は促進中性化を 4 週間行っても中性化深さは 0mm であったため、1 層目の pH も低下していない。B50 の 1 層目ではフェノールフタレインで中性化域と判断した領域でも pH が 11 程度であることが分かる。一方、B85 では pH が 9.5 程度まで低下していることから、フェノールフタレインで中性化域と判断した領域でも配合毎に pH の値が大きく異なることが分かった。

また、B50 に着目すると、フェノールフタレインで未中性化域と判断した 3~6 層目において中性化前より pH が低下していることが分かる。このことから、未中性化域においても炭酸ガスが浸透していることが想定される。

次に、B85 に着目すると中性化域においては pH の値は深さ方向に一様であるが、未中性化域に近づくにつれて pH が若干上昇していることが分かる。

3. 2 水和生成物の測定

図-3 に中性化前後での深さ毎の水和生成物の変化を示す。中性化前後で pH の低下が確認できなかった N100 の 1 層目に着目すると、中性化前より $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が減少し CaCO_3 が増加していることが分かる。このことから、pH に変化が確認できなくても水和物の炭酸化は進行していると考えられる。

一方、中性化が進行している B50 と B85 に着目すると、

中性化域では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が減少し CaCO_3 が増加していることが分かり、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が完全に炭酸化する前に中性化深さが進行していることが分かる。また、pH が減少した B50 の未中性化域の 3~6 層目において CaCO_3 が生成されていることが確認できた。このことから、未中性化域においても炭酸化が進行していると考えられる。

次に、特に中性化が進行している B85 に着目すると、中性化域における CaCO_3 量は深さ方向に一様であることが分かる。B85 のような結合材中の OPC 割合が少ない配合では中性化前の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が少ないため、ここで生成が確認された CaCO_3 は C-S-H による炭酸化が主体であると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。促進中性化後の供試体を深さ方向に分析を行ったところ

- (1) フェノールフタレインで中性化域と判断した領域では pH が減少しており、その値は配合毎に異なった。
- (2) 未中性化域においても、pH の減少と CaCO_3 が増加していることが確認できた。このことから、炭酸ガスは内部まで浸透し中性化が進行していると考えられる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (15K06169, 研究代表者: 伊代田岳史) の助成を受けたものである。

3 日目 5 月 31 日 (水) 第 1 会場 第 2 会場 第 3 会場