

中性化と塩分浸透の複合作用に対する環境配慮コンクリートの性能評価

大成建設(株)技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○岡本 礼子
 大成建設(株)技術センター (現 四国支店) 正会員 荻野 正貴
 大成建設(株)技術センター 技術企画部 正会員 宮原 茂禎
 大成建設(株)技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 大脇 英司
 (国研) 土木研究所 先端材料資源研究センター 正会員 中村 英佑

1. はじめに

「環境配慮コンクリート」は、ポルトランドセメントの使用を極限まで削減して材料の生産からコンクリートの製造に係る CO₂ ガスの排出を抑制し、結合材のほとんどを高炉スラグで構成して 3R を推進する。ポルトランドセメントを使用した同じ強度レベルのコンクリートと比較して CO₂ 排出量を 70～80%削減し、約 3.8 倍の産業副産物を活用する。コンクリートとしては呼び強度 24 の普通コンクリートと同等の性能を有し、特に低発熱性、塩分浸透抵抗性、アルカリシリカ反応抑制効果に優れる。他方、中性化の進行は速い¹⁾。塩害環境への適用が期待されるが、中性化が同時に作用する場合にはこの影響を考慮する必要がある。ここでは、沿岸部で行った曝露試験の結果を踏まえ、中性化が作用する場合の塩分浸透抵抗性を評価した結果を報告する。

2. 試験体の作製と曝露試験

環境配慮コンクリートの結合材の構成を表 1 に示す。配合条件等は文献に詳しい²⁾。BEL-S はポルトランドセメントを使用しない。BEL-SH, BEL-H では刺激材のうち消石灰を、CO₂ 排出量が顕著に増加しない割合でポルトランドセメントと置換した。比較には普通ポルトランドセメントによるコンクリート(N100:W/C=0.55)を用いた。10×10×40cm の角柱試験体を作り、水中養生(記号:/水)と湿潤養生(同:/湿)を行った。水中養生は、20℃で材齢 3 日まで湿潤シートで覆った後、脱型して 28 日まで 20℃の水中で養生した。湿潤養生では湿潤シートを 7 日間(N100 は 14 日間)設置し、脱型後、材齢 28 日まで 20℃-RH60%で養生した。試験体を 10×10×20cm に切断し、型枠側面の 1 面を曝露面として残りを被覆した。曝露地点と環境を表 2 に示す。曝露期間を 20 ヶ月とし、深さ方向の全塩化物イオン量の分布とフェノールフタレインを用いた中性化深さを測定した。また、塩水浸漬と中性化促進の試験で性状を確認した。これらの試験手順と試験環境は文献³⁾と等しい。

3. 曝露試験の結果と複合作用の評価

塩水浸漬試験の結果を図 1 に例示する。N100/水的全塩化物イオン量の分布は Fick 則により、浸漬期間 0.5 年と 1.0 年で同一の表面塩化物イオン量、拡散係数を用いて近似できた。BEL-S/水は浸漬期間 0.5 年と 1.0 年での分布曲線が等しく、塩化物イオンの侵入が停滞した。同様な停滞は BEL-SH/水、BEL-H/水にも観察された。曝露試験の結果の例を図 2 に示す。N100/水的全塩化物イオン量の分布は浸漬試験と同様に Fick 則に従った。BEL-S/水、BEL-SH/水、BEL-H/水は表面から約 10mm で濃度が最高となった。中性化が進行して濃集したと思われる。これらは湿潤養生の場合でも同様であった。

環境配慮コンクリートへの塩分浸透評価は、水中では侵入の停滞により Fick 則が適用できず、気中では中性化の考慮が必要であり、容易でない。

表 1 環境配慮コンクリートの結合材の構成

配合名	環境配慮コンクリート(質量比)				比較用 (質量比)	CO ₂ 排出量 削減率	
	高炉 スラグ 微粉末	刺激材		ポルトランドセメント			
		石灰石微粉末, 膨張材混合物	消石灰		早強		普通
BEL-S	77	16	7	—	—	▲72%	
BEL-SH	77	16	3	4	—	▲73%	
BEL-H	80	16	—	4	—	▲78%	
N100	—	—	—	—	100	基準	

キーワード 低炭素、副産物、コンクリート、高炉スラグ、中性化、塩分浸透

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター 社会基盤技術研究部 Tel. 045-814-7228

表2 曝露環境

最寄の気象データ 曝露地点	平均気温	平均湿度	積算降水量
沖縄県大宜味村(沿岸)	21.8 °C	73.7 %	3903 mm
新潟県上越市(沿岸)	12.4 °C	74.7 %	5406 mm
茨城県つくば市(参考)	13.0 °C	71.7 %	2697 mm

塩化物イオン侵入の先端(フロント)は中性化の進行に先行したが, 中性化深さから概ね 10mm 以内に位置した(図2). このことから, 環境配慮コンクリートの設計・施工マニュアル(案)では, 塩害環境における中性化残りを 15mm とし, 中性化の作用する場合の塩化物イオンの侵入を評価している³⁾.

促進試験での中性化速度から曝露環境での速度を推定し⁴⁾, 曝露試験の結果と比較した(図3). 推定速度の方が速く, 中性化速度は促進試験で予測できる. 環境配慮コンクリートでは推定速度から中性化深さを求め, 中性化残り(15mm)を付加して塩害評価指標とした. N100 では全塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 (腐食発生限界相当)となる深さを指標とした(図4). N100 は約 40 年で 100mm を超えるが, 環境配慮コンクリートは 50 年間で 45~60mm であり, 施工地域に適った曝露試験の結果が採用できると, より優位になると思われる. また, 刺激材の工夫(BEL-S → BEL-SH)で中性化速度を7割に抑制できた.

環境配慮コンクリートの中性化速度は N100 の数倍だが, 中性化で塩化物イオンが“押し込まれて”も N100 より優れた浸透抵抗性を示した. また, 施工環境に近い湿潤養生でも水中養生と同様な結果であり, 実用, 展開においても期待できる.

4. おわりに

環境配慮コンクリートは中性化が速く, 高い塩分浸透抵抗性を活かさないことが懸念された. 曝露試験の結果, 促進中性化試験を用いて塩分浸透抵抗性が評価でき, 通常のコンクリートと比して浸透抵抗性に優れることが分かった. なお, 本研究は国立研究開発法人土木研究所が主催する共同研究「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」の成果の一部である.

参考文献

- 1) 大脇英司ほか:セメントを使わない環境配慮コンクリートの開発と期待:技術士, No.601, pp.4-7 (2017).
- 2) 土木研究所ほか:低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(VI), 土木研究所 (2016).
- 3) 宮原茂禎ほか:高炉スラグ微粉末を大量使用した環境配慮コンクリートの曝露試験および室内試験における耐久性, Cement Science and Concrete Technology, Vol.70, pp.443-449 (2017).
- 4) 日本建築学会:高耐久性コンクリート造設計施工指針(案)・同解説, pp.87-88 (1991).

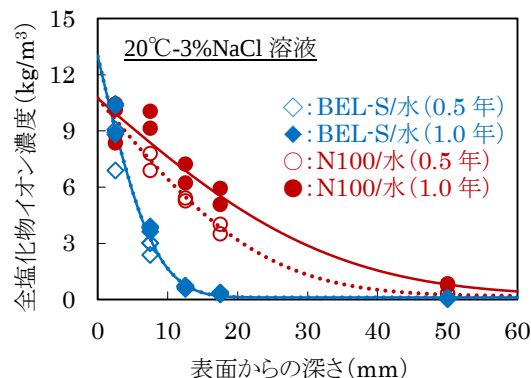


図1 塩水浸漬による塩分浸透抵抗性の評価

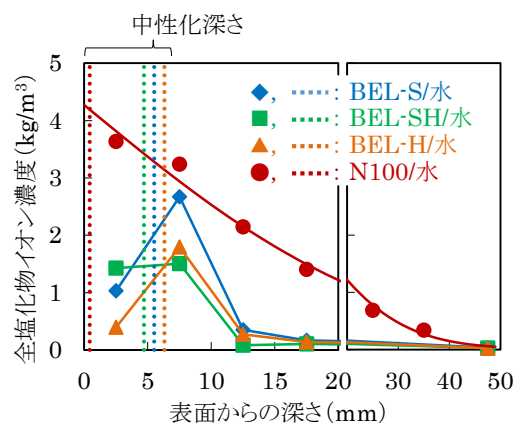


図2 沖縄での曝露試験における中性化と塩分浸透

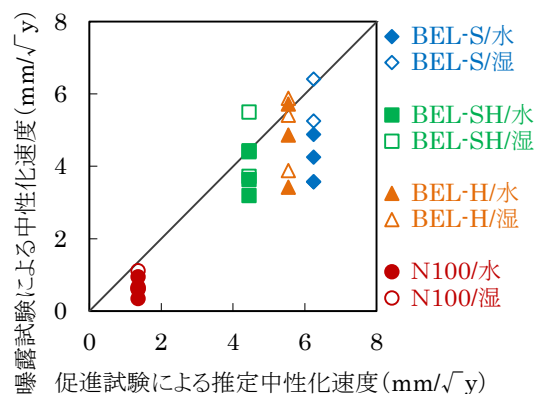


図3 環境配慮コンクリートの中性化速度

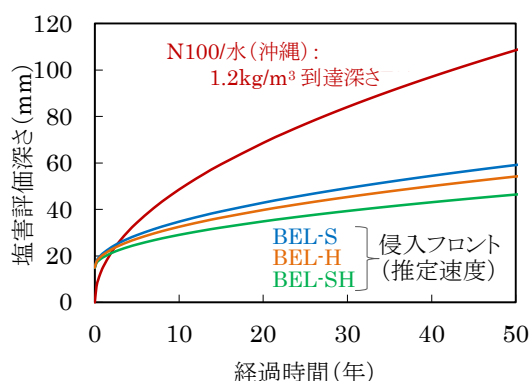


図4 中性化の作用下での塩分浸透評価