

約 7 年間曝露した環境配慮コンクリートの耐久性

大成建設(株)技術センター 正会員 ○荻野正貴, 正会員 大脇英司, 正会員 宮原茂禎
(国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 正会員 櫻庭浩樹

1. はじめに

カーボンニュートラル宣言を受け、建設産業でも CO₂ 排出量の削減が必須である。著者らはポルトランドセメントに替えて高炉スラグを主な結合材とする環境配慮コンクリートを開発した¹⁾。CO₂ 排出量を 72~78% 削減する。基本的な性能はポルトランドセメントを使用した呼び強度 24 のコンクリート（以下、N100）と同等であるが、低発熱性や塩害抵抗性は N100 より優れる。他方、中性化速度はやや速い¹⁾。混和材を大量に使用したコンクリートの設計・施工指針²⁾を参考に、耐久性照査が可能なコンクリートである。本報では、沿岸部などに約 7 年間曝露した環境配慮コンクリートの曝露試験結果と、耐用年数を評価した結果を報告する。

2. 試験方法

環境配慮コンクリートの配合は文献¹⁾と同様であり、結合材の概要を表 1 に示す。ポルトランドセメントを高炉スラグで置き換え、CO₂ 排出量を 72~78%削減した。これらのコンクリートで φ10×20cm の円柱供試体と 10×10×40cm の角柱供試体を製作した。材齢 7 日まで湿潤マットで養生し、材齢 28 日まで 20℃の屋内に静置した。角柱供試体は 10×10×20cm に切断し、型枠側面の 1 面（10×20cm）を除いて被覆した（図 1）。供試体は茨城県の内陸部、沖縄県と新潟県の沿岸部で曝露した（表 2）。約 7 年後に回収し、目視観察にて表面にひび割れやアブサンデンがないこと確認した。円柱供試体により圧縮強度試験を行い、角柱供試体は図 1 のように加工して中性化深さと塩分濃度を測定した。なお、曝露期間 20 か月までの結果は先に報告している¹⁾。

3. 試験結果

圧縮強度の推移を図 2 に示す。環境配慮コンクリートの強度は曝露 2 年後から 7 年後までに 8~15%増進し、特に BFS-S の増進が顕著であった。屋外曝露により強度が増進することが確認できた。

曝露試験で求めた中性化速度係数と、促進試験結果から換算した中性化速度係数²⁾を比較して図 3 に示す。曝露 7 年後に求めた中性化速度係数は曝露 2 年後の場合と比べて 8~33%小さくなった。特に BFS-S は 3 地点のいずれも 2 年後より

表 1 結合材の構成

配合名	結合材の構成(mass%)					CO ₂ 排出量 削減率
	B	E+L	S	H	N	
BFS-S	77	16	7	—	—	▲72%
BFS-SH	77	16	3	4	—	▲73%
BFS-H	80	16	—	4	—	▲78%
N100	—	—	—	—	100	基準

注) B：高炉スラグ,E+L：膨張材および石灰石微粉末, S：消石灰,
H：早強ポルトランドセメント, N：普通ポルトランドセメントを示す。

表 2 曝露場所の環境：2013/10~(1)86 か月または(2)89 か月

曝露 地点	平均気温 (℃)	平均湿度 (R.H.%)	平均降水量 (mm/月)	飛来塩分量 (mg/dm ² /day)
茨城県 ⁽¹⁾	14.7	75	115	—
新潟県 ⁽¹⁾	14.1	77	246	0.511
沖縄県 ⁽²⁾	22.9	77	193	1.18

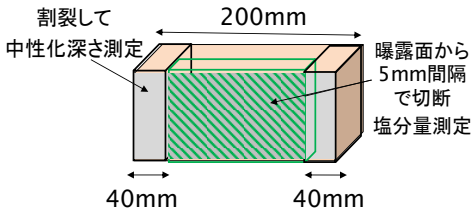


図 1 曝露試験体の分析方法

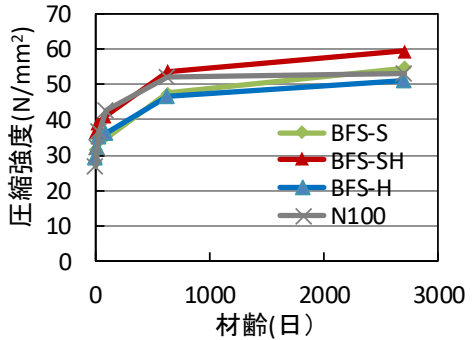


図 2 圧縮強度（沖縄県）

キーワード CO₂ 排出量削減, スラグ, 曝露試験, 塩分浸透, 中性化, 耐用年数

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7221

り 20%以上小さく、強度の増進の影響が推察される。また、屋外に曝露した時の中性化速度係数は促進試験結果から換算して求める値に対して 10～54%小さく、促進試験により裕度を持って中性化速度係数が評価できることが明らかになった。

塩化物イオンの侵入について飛来塩分量が最も多かった沖縄県での結果を図 4 に例示する。いずれも中性化の進行により塩分が濃集し、表面から 5～15mm の深さで塩化物イオン濃度が最大となった。環境配慮コンクリートの塩化物イオンの侵入の先端は 20～25mm であり、N100 が 30mm を超えることに対して遅く、曝露期間が延びても既報の結果¹⁾に一致した。また、侵入の先端は中性化深さから 15mm 以内にあり、中性化残りを 15mm とした設計・施工指針²⁾による耐久性照査が有効であることを支持した。

4. 耐用年数の評価

各コンクリートを海岸付近の RC 造に適用したときの耐用年数を表 3 の設計用値により算出した。中性化速度係数は曝露 7 年での 3 地点の中の最大値を、塩化物イオン拡散係数は塩水浸漬試験結果¹⁾を採用した。中性化、塩害、中性化と塩害の複合作用を比較し、最短の耐用年数を図 5 に示した。

環境配慮コンクリートの耐用年数は N100 の 1.5～2.5 倍となった。特に、中性化速度係数の小さい BFS-S は耐用年数の向上幅が大きかった。

5. まとめ

7 年間曝露した環境配慮コンクリートを評価した。圧縮強度は増進し、中性化速度係数は曝露 2 年後の値より小さくなった。塩化物イオン濃度は通常のコンクリートの約半分の濃度であった。

環境配慮のコンクリートを海岸付近の構造物へ使用した際の耐用年数は通常の 1.5～2.5 倍と算出され、塩害対策に有用であると示された。

なお、本研究は、(国研)土木研究所が過去に主催した共同研究「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) 土木研究所ほか：環境配慮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. 2)土木学会：混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー152，土木学会，2018.

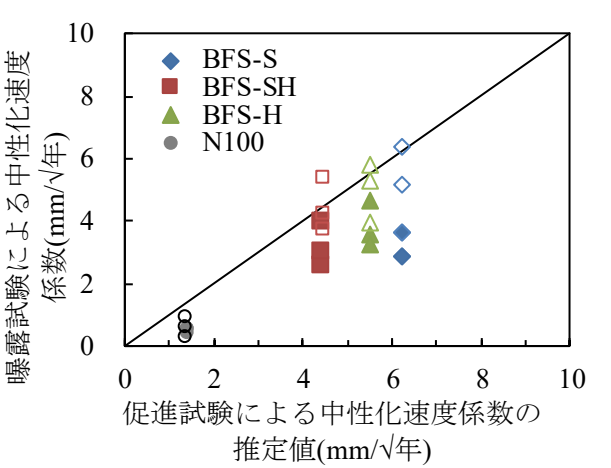


図 3 中性化速度係数
(ハッチング有：曝露 7 年，ハッチング無：曝露 2 年)

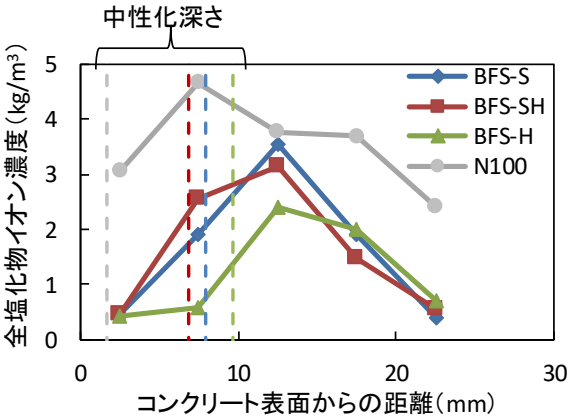


図 4 塩化物イオンの侵入（沖縄県）

表 3 耐用年数の算出に用いた設計用値

	BFS-S,SH,H	N100
かぶり	50mm	
中性化速度係数	3.6～4.7mm/√年	0.6mm/√年
中性化進行評価式	√t 則による ^{2), 17)}	
中性化残り	15mm ¹⁾	10mm ³⁾
塩化物イオン拡散係数	0.32～0.40 cm ² /年 ²⁾	2.15cm ² /年 ²⁾
表面塩化物イオン濃度	2.0kg/m ³ ³⁾ 汀線からの距離約 500m の環境に相当 ³⁾	
腐食発生限界塩化物イオン濃度	1.2kg/m ³ ¹⁾	1.75kg/m ³ ²⁾
塩化物イオン侵入評価式	Fick の拡散方程式による ¹⁾	

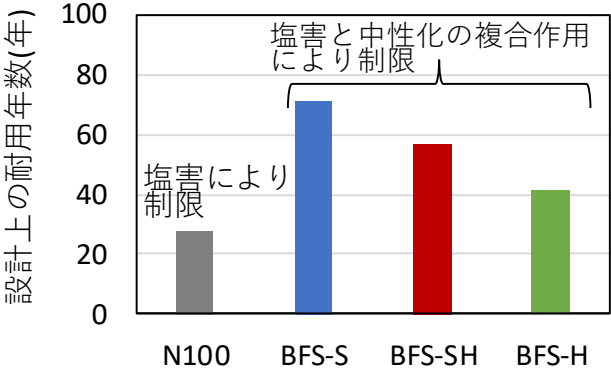


図 5 海岸付近の RC 造への適用時の耐用年数