

## 高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄の塩害に対する耐久性について

開発虎ノ門コンサルタント(株) フェロー会員 ○上平 謙二  
 中日本高速道路(株) 正会員 青木 圭一

### 1. 目的

積雪寒冷地に建設された高速道路橋においては、NaCl を主とする凍結防止剤が散布されるため、これまでに施工された剛性防護柵（コンクリート製壁高欄）（以下、壁高欄という）には、塩分がコンクリート表面から浸透することによる鉄筋の発錆やコンクリートのひび割れが散見されている。しかしながら、壁高欄に付着する凍結防止剤による塩分濃度の状況を含めた耐久性に関する知見は少なく、コンクリートの表面塩分濃度と、その耐久性の相関性についての具体的な報告はほとんど見受けられない。

そこで、本報告では、コンクリート標準示方書「土木学会，2017年制定」（以下、コンクリート標準示方書という）に準拠し、フィックの拡散方程式を用いて、高炉スラグ微粉末を混合したプレキャスト壁高欄の耐久性について、コンクリート表面の塩化物イオン濃度とコンクリートかぶりの関係を整理したので、その内容を報告する。

### 2. 対象とした高炉スラグ混入壁高欄コンクリートの物性

対象としたスラグ混入壁高欄コンクリートは、設計基準強度：40 N/mm<sup>2</sup>，コンクリートの目標スランプ：21 cm，水セメント比：40%，空気量：4.5%であり、セメントには、早強ポルトランドセメントを使用し、高炉スラグ微粉末4000を30%混合している。本壁高欄コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

コンクリートの種類	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		W	H	BF	S	G	Ad
40-21-25 (H4000B-30%)	40	170	298	128	783	915	3.84

注) Ad：ポリカルボン酸エーテル系の高性能AE減水剤

### 3. スラグ混入壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数

表-1に示したコンクリート配合で製作されたφ100×200 mmの円柱供試体を用い、電子線マイクロアナライザー（EPMA）による面分析結果（JSCE-G574「EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法」に従い実施した結果）と普通コンクリートを用いた壁高欄の塩分調査から、本スラグ混入壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数は、 $D_c=0.13\text{cm}^2/\text{年}$ と想定される事が分かっている<sup>1) 2)</sup>。

### 4. スラグ混入壁高欄コンクリートのかぶり別耐久性の評価

本スラグ混入壁高欄の塩害に対する耐久性評価については、式-1に示すフィックの拡散方程式を用いた。

$$C(x, t) = C_0 \left\{ 1 - \text{erf} \left( \frac{0.1 \cdot x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \right\} + C_i \quad \dots \dots \dots \text{式-1}$$

ここに、 $C(x, t)$ ：コンクリート表面からの距離  $x$  における塩化物イオン濃度(kg/m<sup>3</sup>)， $x$ ：コンクリート表面からの距離(mm)， $t$ ：経過年数(年)， $C_0$ ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度(kg/m<sup>3</sup>)， $\text{erf}$ ：誤差関数， $D_c$ ：コンクリートの塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数(cm<sup>2</sup>/年)， $C_i$ ：初期塩化物イオン濃度(kg/m<sup>3</sup>)

なお、本スラグ混入壁高欄の耐久性評価については、コンクリート表面の塩化物イオン濃度とコンクリートかぶりをパラメータとして検討することとするが、本壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数については、上記の  $D_c=0.13\text{cm}^2/\text{年}$  を基本として、この見掛けの拡散係数のばらつきなどを考慮し、また、既往の研究成果<sup>3)</sup>も参考にして、 $D_c=0.15\text{m}^2/\text{年}$  の場合と  $D_c=0.20\text{cm}^2/\text{年}$  の3水準について評価することとした。また、 $C_i=0.3\text{kg}/\text{m}^3$  とした。

なお、鋼材腐食発生限界濃度の計算においては、本スラグ混入壁高欄コンクリートと高炉セメントB種相

キーワード：塩害，剛性防護柵，高炉スラグ微粉末，コンクリートかぶり，耐久性

連絡先：〒170-0005 東京都豊島区南大塚 3-20-6 開発虎ノ門コンサルタント(株) TEL：03-3985-5497

当を用いたコンクリートとの塩分浸透履歴を比較した結果、高炉セメント B 種相当を用いたコンクリートと類似することから、高炉セメント B 種相当を用いたコンクリートとして、式-2 を用いて計算した<sup>2)</sup>。

$$C_{lim} = -2.6(W/C) + 3.1 \quad (0.3 \leq W/C \leq 0.55) \quad \text{式-2}$$

ここに、 $C_{lim}$ : 鋼材腐食発生限界濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $W/C$ : 水セメント比。

また、コンクリート表面における塩化物イオン濃度 ( $C_0$ ) については、既往の論文から<sup>4)</sup>、想定塩化物イオン濃度として、20 年前後の経過年数に対して、概ね、 $5.04\text{kg}/\text{m}^3 \sim 7.15\text{kg}/\text{m}^3$  と報告されていることから、 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $4.0\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $5.0\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $6.0\text{kg}/\text{m}^3$  及び  $7.0\text{kg}/\text{m}^3$  の 5 水準を設定した。

## 5. 耐久性評価結果

スラグ混入壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数に対する耐久性評価結果として、 $D_c = 0.13\text{cm}^2/\text{年}$  の場合を図-1 に、 $D_c = 0.15\text{cm}^2/\text{年}$  の場合を図-2 に、 $D_c = 0.20\text{cm}^2/\text{年}$  の場合を図-3 にそれぞれ示す。

高炉スラグ微粉末 4000 を 30% 混合した設計基準強度  $40\text{N}/\text{mm}^2$  のプレキャスト壁高欄では、見掛けの拡散係数において、塩分浸透が試験結果より、より浸透すると想定した厳しい条件の場合の見掛けの拡散係数 ( $D_c = 0.20\text{cm}^2/\text{年}$ ) でも、例えば、コンクリートかぶり  $50\text{mm}$  では、100 年耐久を満足するためのコンクリート表面の塩化物イオン濃度は、概ね、 $C_0 = 3.5\text{kg}/\text{m}^3$  程度まで許容でき、コンクリートかぶり  $60\text{mm}$  では、 $C_0 = 4.5\text{kg}/\text{m}^3$  程度まで、また、コンクリートかぶり  $70\text{mm}$  では、 $C_0 = 6.0\text{kg}/\text{m}^3$  まで許容できる結果となった。

## 6. まとめ

冬期の融雪剤の散布環境に応じて、コンクリートの表面塩化物イオン濃度が想定できれば、その環境下でのスラグ混入壁高欄の塩害に対する 100 年耐久に関し、必要コンクリートかぶりを検討できる有用なデータが得られた。

最後に、本報告を纏めるにあたり、東京工業大学 環境・社会理工学院の岩波光保教授に多大なる助言を頂きましたこと、紙面をお借りして感謝します。

### 参考文献

- 1) DAK 式プレキャスト壁高欄「設計・施工ガイドライン〔改訂版〕」, DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会 (2019 年 9 月)
- 2) 上平謙二, 青木圭一, 二戸信和: 塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価, 橋梁と基礎, Vol. 55, No. 4 (2021 年 4 月)
- 3) 与那嶺一秀, 山路 徹, 加藤絵万, 川端雄一郎: 長期海洋暴露試験および実構造物調査に基づくコンクリートの塩化物イオン拡散性状に関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No.1339 (2018 年 3 月)
- 4) 酒井秀昭: 凍結防止剤散布地域の橋梁壁高欄の塩化物イオン濃度の予測方法に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol. 66, No. 3, pp. 268~275 (2010 年 7 月)

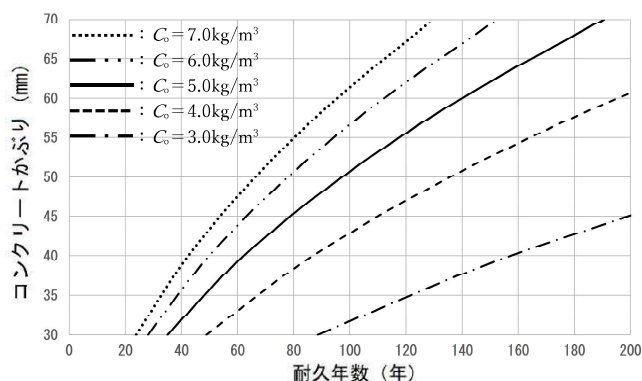


図-1 見掛けの拡散係数  $D_c = 0.13\text{cm}^2/\text{年}$  の場合

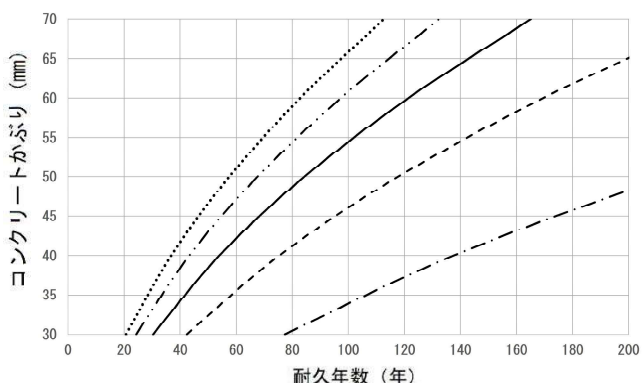


図-2 見掛けの拡散係数  $D_c = 0.15\text{cm}^2/\text{年}$  の場合

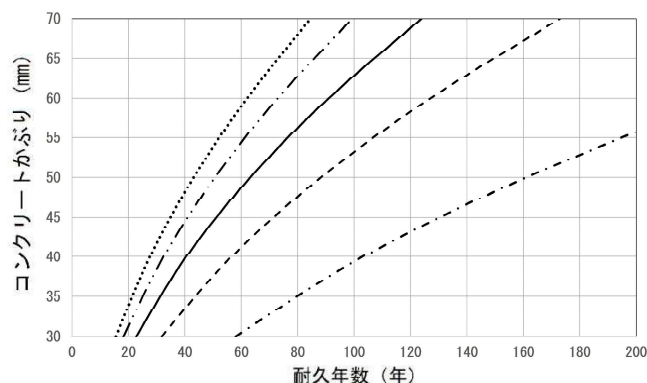


図-3 見掛けの拡散係数  $D_c = 0.20\text{cm}^2/\text{年}$  の場合