

コンクリート構造物の耐久性照査に基づくライフサイクルコストの算定

大林組技術研究所 正会員 高橋敏樹
 大林組技術研究所 正会員 竹田宣典
 大林組技術研究所 フェロー 十河茂幸

1. はじめに

土木学会コンクリート標準示方書[施工編]¹⁾の耐久性照査の考え方に基づき、設定照査期間に対してコンクリート構造物の劣化予測を行い、初期建設工法や補修工法を選定して、ライフサイクルコスト（以下LCC）を計算する手法を試みた。構造物係数、材料係数、安全係数等の部分安全係数を設定し、塩化物イオン浸透および中性化の予測がどのように変化するかケーススタディーを行ない、これらの係数を用いた場合と用いない場合の維持管理計画とLCCの算定結果に関して考察を行なった。

2. 耐久性照査に基づく予測

(1) 塩化物イオン浸透

コンクリートへの塩化物イオンの浸透は、式（1）に表される拡散現象として取り扱い、これを1次元の有限体積法で解いて、鉄筋位置での塩化物イオン濃度を時系列で計算し、式（2）のように設定した限界塩化物イオン濃度と比較することにより照査を行なう。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_k \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

ここで、 $c = c(x, t)$: 位置 x 、時刻 t での塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

t : 時刻 (秒)

x : 表面からの距離 (cm)

D_k : 塩化物イオンの拡散係数 (cm^2/s)

$$c \leq c_{\text{lim}} \quad (2)$$

ここで、 c_{lim} : 鉄筋腐食発生限界濃度 (kg/m^3)

ここに耐久性照査の考え方を導入し、塩化物イオン拡散係数に材料係数、塩化物イオン濃度に安全係数、鉄筋腐食発生限界濃度に構造物係数を設定すると、拡散方程式は式（3）、塩害の照査式は式（4）と表される。耐久性照査に用いる各係数は、示方書に準じ、表-1のように設定した。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_k \cdot \gamma_c \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$\gamma_{cl} \cdot c \leq c_{\text{lim}} / \gamma_i \quad (4)$$

(2) 中性化

中性化深さ y は、式（5）の $\sqrt{t}$ 則により計算する。

$$y = (-3.57 + 9.0W/B) \sqrt{t} \quad (5)$$

ここで、 W/B : 有効水結合材比

ここに構造物係数、環境作用係数、安全係数、材料係数を各導入

表-1 耐久性照査に用いる各係数

	種類	記号	数値
塩害	構造物係数	γ_i	1.1
	ばらつきを考慮した安全係数	γ_{cl}	1.3
	材料係数	γ_c	1.3
中性化	構造物係数	γ_i	1.1
	環境係数	β_e	1.6
	ばらつきを考慮した安全係数	γ_{cb}	1.15
	材料係数	γ_c	1.3

表-2 塩害の解析例に用いた維持管理計画

計画	種別	工法	拡散係数 ($\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$)
①	初期建設	普通コンクリート (W/C=50%)	2.4
	補修工法	断面修復工法	0.8
②	初期建設	高強度コンクリート (W/C=30%)	0.4
	補修工法	断面修復	0.8
③	初期建設	高耐久性プレキャスト型枠	0.3
	補修工法	断面修復	0.8

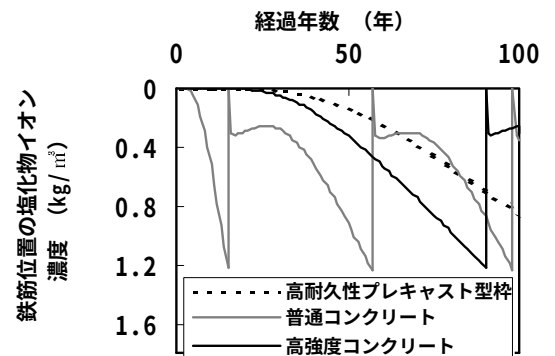


図-1 部分安全係数を用いていない劣化予測の塩化物イオン濃度

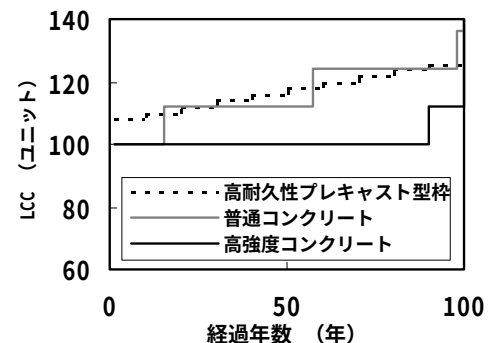


図-2 部分安全係数を用いた劣化予測のLCC

キーワード : ライフサイクルコスト, 劣化予測, 維持管理計画, 耐久性照査, 安全係数

連絡先 : 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 Tel : 0424-95-0945 Fax : 0424-95-0908

すると、中性化深さの計算式は式(6)のようになり、中性化照査式は式(7)のようになる。各係数は表-1に示す。

$$y = (-3.57 + 9.0W/B) \cdot \gamma_{cb} \cdot \gamma_c \cdot \beta_e \cdot \sqrt{t} \quad (6)$$

$$y \leq y_{\lim} / \gamma_i \quad (7)$$

3. ケーススタディー

(1) 塩化物イオン浸透

海上大気中の構造物で、限界状態を鉄筋位置での塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 として、表-2に示す3種類の維持管理計画について照査を行なった。かぶり厚はすべて80mmとし、見掛けの拡散係数は長期海洋暴露実験²⁾の結果を用いた。各部分安全係数を用いない解析の鉄筋位置での塩化物イオン濃度の履歴を図-1に、LCCを図-2に、各部分安全係数を用いたものを図-3、図-4に示す。安全係数を用いた場合、拡散係数と塩化物イオン濃度の割り増し、限界状態判定値の低減から、限界状態の判定が早まり、全ての維持管理計画において必要補修回数が増えた。安全係数を用いない解析では補修不要であった高耐久性プレキャスト型枠工法を用いた計画でも、安全係数を用いた解析では1回の補修が必要となっている。普通コンクリートによる工法では、4回の補修が必要と計算され、LCCが大きく増加する結果となった。

(2) 中性化

水セメント比65%のコンクリート構造物を考え、かぶり50mm、中性化残り10mmとして中性化について照査した結果を示す。打放しコンクリートと塗装コンクリートの2種類について計算を行ない、補修工法はいずれも再アルカリ化工法を想定した。塗装コンクリートでは、塗装材料の耐久性を20年間と考え、その期間内は中性化速度係数を10%に低減することとした。それぞれ部分安全係数を用いた場合と用いない場合で解析した結果について、中性化深さの履歴を図-5に、LCCの履歴を図-6に示す。安全係数を用いない解析では、打放しコンクリート、塗装コンクリートともに照査期間の100年まで補修不要だったが、安全係数を用いたものでは打放しコンクリートで2回、塗装コンクリートで1回の補修が必要となった。

4. まとめ

示方書の耐久性照査の考え方に基づき、RC構造物のライフサイクルコストを考慮した維持管理計画の選定を試みた。その結果、本ケーススタディーでは各維持管理計画のLCCの大小関係は変わらなかったものの、補修回数の予測が大きく異なり、それに伴いLCCの絶対値が大きく変化した。これより、ライフサイクルコストを考慮した維持管理計画策定には、用いる部分安全係数の適切な値を求めておくことが今後重要であると考えられる。

[参考文献]

- 1) 土木学会：平成11年度版コンクリート標準示方書[施工編]
- 2) 竹田 宣典，十河 茂幸，迫田 恵三，出光 隆：種々の海洋環境条件におけるコンクリートの塩分浸透と鉄筋腐食に関する実験的研究，土木学会論文集，No.599/V-40, pp.91-104, 1998.8

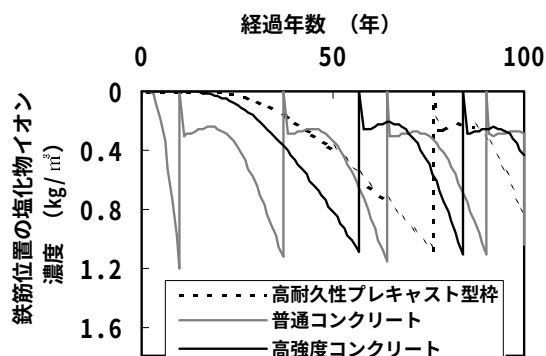


図-3 部分安全係数を用いた劣化予測の塩化物イオン濃度

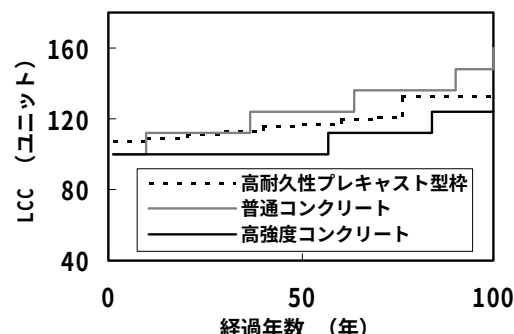


図-4 部分安全係数を用いた劣化予測のLCC

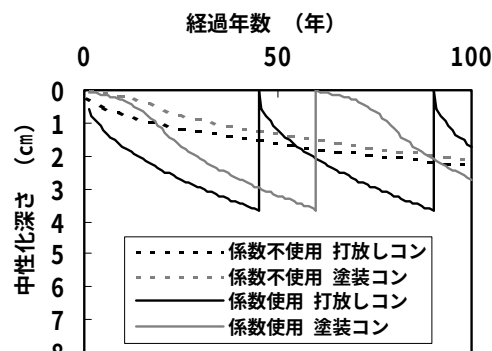


図-5 中性化深さ

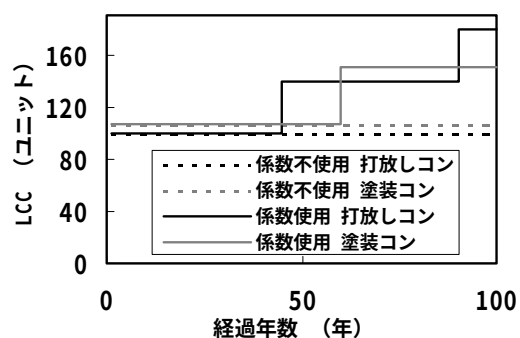


図-6 ライフサイクルコスト