コンクリートの塩化物イオン拡散性状の相違が鉄筋腐食のばらつきに及ぼす影響

北海道大学大学院	学生会員		C	〕城ヶ崎	竒雄太
北海道大学大学院	フェロー			横田	弘
北海道大学大学院	正会員			橋本	勝文
北海道大学大学院	学生会員	古谷	宏一,	中村	一貴

# 1. はじめに

海洋環境下における鉄筋コンクリート(RC)構造物で は、塩害による鉄筋腐食が顕在化している.また、RC 構造物の鉄筋腐食は様々な要因によって局所的に発生 し、同一構造物や部材内においても非一様であること が知られている<sup>1),2)</sup>.したがって、塩化物イオン拡散 性状および鉄筋腐食の非一様性を定量的に評価した上 で、適切な維持管理を行う必要がある.

本研究では、桟橋上部工から切り出した床版から直径 33.4mmのコアを30本採取し、表面塩化物イオン濃度( $C_0$ )および見かけの拡散係数( $D_{ap}$ )を算出した.また、鉄筋の腐食生成物を取り除いた10cm区間の質量を測定し、目視で腐食が確認されていない鉄筋の質量からの差分を鉄筋腐食減少量( $M_{corr}$ )として算出した.さらに、 $C_0$ および $D_{ap}$ により求まる鉄筋位置での塩化物イオン濃度の差異と鉄筋の自然電位(E)、腐食電流密度( $I_{corr}$ )および $M_{corr}$ のばらつきの関係を考察した.

#### 2. 床版の概要

検討対象は供用期間が約 40 年間の桟橋コンクリー ト上部工から切り出した床版の一部である.目視調査 の結果による劣化度判定結果は,d(4 段階評価のうち 最も健全側の評価)であった.

## 3. 塩化物イオン拡散性状と鉄筋腐食性状の関係

全塩化物イオン濃度の測定結果から、Fick の拡散第 二法則に基づく塩化物イオンの拡散方程式を用いて  $C_0$ および  $D_{ap}$ を算出した.また、算出した  $C_0$ および  $D_{ap}$ を用いて、かぶりに相当する深さ 5cm の位置での 供用年数 40 年時点の塩化物イオン濃度(C)を求めた.

図1に*C*と*E*, *I*<sub>corr</sub>および*M*<sub>corr</sub>の関係を示す.これ より, *C*のデータ数のうち約 90%が腐食発生限界濃度 とされる 1.2kg/m<sup>3</sup>より大きいことが確認された.



キーワード 塩害,鉄筋腐食,塩化物イオン拡散性状,自然電位,腐食電流密度,信頼性評価 連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-706-6204

適合度	$C_0$	$D_{ap}$	Ε	Icorr	$M_{corr}$
高	対数正規	対数正規	ワイブル	ワイブル	ワイブル
	ガンベル	ワイブル	ガンベル	正規	ガンベル
t	ワイブル	ガンベル	対数正規	ガンベル	正規
低	正規	正規	正規	対数正規	対数正規

表1 K-S 検定の結果

図 1-a)より、 $C \geq E$ の相関は低く、90%以上の確 率で腐食ありと判断される-230mV(vs Ag/AgCl)より 卑の値を示した。図 1-b)より、 $C \geq I_{corr}$ の相関は低 く、Cが 1.2kg/m<sup>3</sup>よりも大きい値でも、 $I_{corr}$ は概ね 0 になることがあった。図 1-c)より、 $C \geq M_{corr}$ の相関 は低いものの、測定したすべての鉄筋で、腐食が生 じていたことを目視にて確認した。

以上より、塩化物イオン拡散性状( $C_0$  および  $D_{ap}$ ) に基づく鉄筋位置での塩化物イオン濃度(C)から鉄 筋の腐食性状(E,  $I_{corr}$ および $M_{corr}$ )を評価することは 困難であることがわかった.

さらに、 $C_0$ ,  $D_{ap}$ , E,  $I_{corr}$ および  $M_{corr}$ の度数分布 に対し、コルモゴロフースミノルフ検定(K-S 検定) により最も適合度の高い確率分布形を決定した.表 1 に K-S 検定により  $C_0$ ,  $D_{ap}$ , E,  $I_{corr}$ および  $M_{corr}$ に 対して求めた各分布系の適合度の順位を示す.これ より、塩化物イオン拡散性状を示す  $C_0$ および  $D_{ap}$ の 分布形状は対数正規分布、鉄筋腐食を示す E,  $I_{corr}$ および  $M_{corr}$ の分布形状であるワイブル分布となり、 異なる分布形を示すことがわかった.

## 4. 鉄筋腐食性状評価の信頼性

塩化物イオン拡散性状から実際の  $M_{corr}$  を推定す ることは困難であったが、非破壊検査で得られる Eおよび  $I_{corr}$ の測定結果のうち約 90%は鉄筋腐食の進 行を示唆しており、E が貴の値となる場合  $I_{corr}$ が概 ね0となることが確認された.このときの $M_{corr}$ は、 その平均値よりも小さな値となっていた.そのため、 E および  $I_{corr}$ の測定結果が鉄筋腐食性状を評価する ための有効な指標であると考え、その信頼性を評価 した.

本研究では、測定点数による E および Icorr の信頼 性を定量化するため、ワイブル分布(表 1 参照)に従 う乱数を発生させ、モンテカルロシミュレーション を行った.その結果得られた E および Icorr の測定点 数と誤差平均値(測定点数による E および Icorr の誤差 和を試行回数で除した値)の関係を図 2 に示す.同図



より, E および  $I_{corr}$ において, 測定点数を多くすれ ば指数関数的に誤差平均値は小さくなり, 測定点数 を E では少なくとも 10 点,  $I_{corr}$ では少なくとも 20 点確保することで, それぞれの誤差平均値の期待値 を小さくすることができることがわかった.

#### 5. まとめ

 $C_0$ および $D_{ap}$ の分布形状は対数正規分布, E,  $I_{corr}$ および $M_{corr}$ の分布形状はワイブル分布を示した.また,鉄筋腐食性状は、自然電位および腐食電流密度による評価が有効であり、これらの測定点数と測定 誤差の関係を定量的に明らかにした.

### 参考文献

- 加藤絵万,岩波光保,山路徹,横田弘:建設後 30年以上経過した桟橋上部工から切り出した RC部材の劣化性状と構造性能,港湾空港技術研 究所資料, No.1140, 2006年
- 2) 濱田洋志,加藤絵万,岩波光保,横田弘:鉄筋 腐食が生じた RC はりの構造性能評価に関する 一考察,耐久性力学に関するシンポジウム論文 集,pp.333-336,2007年