

既存 RC 構造物の変状から同定した中性化による鋼材の腐食速度

パシフィックコンサルタンツ（株）

正会員　○松橋　宏治　正会員　松枝　修平

（公財）鉄道総合技術研究所

正会員　轟　俊太郎　正会員　曾我部　正道　正会員　谷村　幸裕

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物（以下、RC 構造物と言う）の維持管理においては、経年による性能低下を定量的に予測することが望ましく、そのためには鋼材の腐食速度を適切に設定することが重要となる。また、鋼材の腐食速度は、既往の研究によりある程度明らかにされているが、RC 構造物の劣化は、使用材料や環境条件の影響を受け、鋼材の腐食速度は構造物毎に大きくばらつくと考えられるため、構造物に応じた腐食速度を設定することが求められる。そこで、本検討では、中性化により変状が顕在化したと考えられる既存 RC 構造物の変状状況に、既往の研究で提案された劣化予測モデル¹⁾を適用することで鋼材の腐食速度を同定することを試みた。

2. 対象構造物

2.1 構造物の概要

本検討では、図 1 に示す一般形状を有し、供用開始後 48 年が経過した鉄道 RC 単純桁を対象とした。本構造物のコンクリート配合に関する情報は、設計基準強度を $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 、最大水セメント比を $W/C=53\%$ とする設計値のみがしゅん工図により確認できる以外は不明であった。また、本構造物は比較的内陸部に立地することから、飛来塩分等による外部からの塩分供給はほとんどないと考えられる。

2.2 構造物調査

構造物調査は、変状状況、鋼材のかぶり、中性化深さおよび塩化物イオン濃度に対し実施した。変状状況は、目視および打音調査により、桁下面における剥離剥落の位置と範囲を詳細に調査した。鋼材のかぶりは、最外縁鉄筋であるスターラップの桁下面におけるかぶりを電磁誘導法により測定した。この測定を、桁の全スパンもしくは半スパンに配置された全てのスターラップに対し、鉄筋一本当り 2 箇所を測定した。塩化物イオン濃度は、φ25mm の集塵機能付き電動ドリルでコンクリート粉末を採取し、蛍光 X 線分析により全塩化

物イオンを測定した。また、ドリル孔にフェノールフタレイン 1%溶液を噴霧することにより中性化深さを測定した。これらの調査を、隣接する複数の桁に対し表 1 に示す箇所数で実施した。

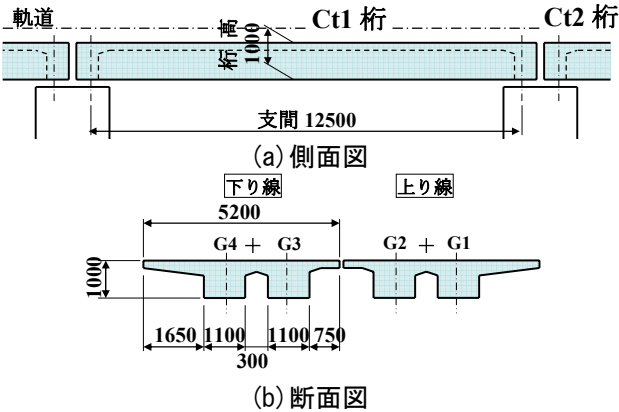


図 1 対象構造物の一般形状寸法

表 1 調査数量

桁名称		調査 スパン	かぶり測定 鉄筋本数	中性化 深さ	全塩化物 イオン
Ct1	G1	全スパン	70 本	1 ケ所	1 ケ所
	G2	全スパン	66 本	1 ケ所	1 ケ所
Ct2	G1	半スパン	42 本	2 ケ所	1 ケ所
	G2	半スパン	32 本	1 ケ所	1 ケ所
	G3	全スパン	69 本	1 ケ所	---
	G4	全スパン	70 本	2 ケ所	1 ケ所

3. 調査結果

表 2 に、変状率、かぶり、中性化深さおよび全塩化物イオン濃度の調査結果を整理した。目視および打音による剥離剥落の変状状況は、桁下面を図 2 に示すようにメッシュ分割を行い、各メッシュでの変状の有無により変状率として整理した。また、本構造物に多数見られる補修跡（断面修復）も変状箇所として扱った。

表 2 の全塩化物イオン濃度で示す表面付近とは表面

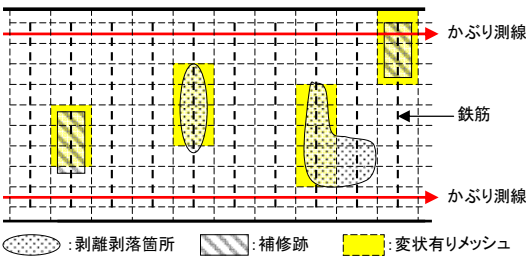


図 2 変状調査の整理要領

キーワード 中性化、構造物調査、鋼材腐食速度、劣化予測

連絡先 〒541-0052 大阪府大阪市中央区安土町 2-3-13 パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社交通技術部 TEL06-4964-2318

からの深さ 0~20mm 範囲を, 部材深部と記したのは深さ 60~80mm 範囲における濃度を示す. 表 2 より, 各調査対象の剥離剥落の変状率は 4.1~25.6%であった. また, 全塩化物イオン濃度は鋼材が位置する表面付近で, 中性化による濃縮の影響で濃度が高い傾向があるが, 鉄筋腐食にはほとんど影響のない程度であった.

表 2 調査結果のまとめ

		変状率	かぶり 平均値 (mm)	中性化 深さ (mm)	全塩化物 イオン(kg/m ³)	
					表面 付近	部材 深部
Ct1	G1	4.1%	22.0(0.25)	12.3	0.798	0.305
	G2	10.5%	20.1(0.30)	10.4	0.610	0.329
Ct2	G1	25.6%	15.5(0.36)	21.4	0.376	0.188
		7.7%	19.1(0.33)	18.9	0.563	0.352
	G2	18.5%	19.6(0.32)	17.4	---	---
	G3	13.0%	16.6(0.48)	12.6	0.774	0.399
	G4	8.7%	21.1(0.28)	32.2	0.798	0.305
		8.9%	17.6(0.38)	34.4	0.610	0.329

※かぶり平均値の()数値は変動係数 (=標準偏差/平均値)

4. 劣化予測モデルによる鋼材腐食速度の同定

ここでは, 表 2 で得られた構造物調査結果に, 既往の研究¹⁾で提案された劣化予測モデルを適用することにより, 鋼材腐食速度の同定を行う. 図 3 に本検討で使用した劣化予測モデルの概念図を示す. 中性化による劣化を対象とした本検討では, 腐食開始の条件を中性化残りが 10mm となった時点とし, 剥離剥落発生時の鋼材腐食深さを式(1)として検討を行う.

$$\Delta r_{sp} = 56 \times 10^{-3} (\phi/c) \quad (1)$$

ここに, Δr_{sp} は剥離剥落発生時の鋼材腐食深さ(mm), ϕ は鋼材の直径で D13 (公称径 12.7mm), c は鋼材のかぶりで構造物調査により得られた数値を用いる. 本劣化予測モデルによる計算を, 図 2 に示す各メッシュで実施することにより剥離剥落の変状率を算定し, 表 2 に示す調査結果と同等となる腐食速度を算定する. メッシュ毎のかぶりは, 2 側線で実施したかぶり測定結果の線形補間により算定した. また, 中性化速度係数は, 調査結果で得られた中性化深さに $\sqrt{t}$ 則を適用し, 各メッシュで最も近い位置の中性化速度係数を用いた.

表 4 に前述の方法により同定した鋼材の腐食速度を, 図 5 に同定した腐食速度による供用開始後 100 年までの劣化予測例を示す. 表 4 より, 鋼材腐食速度は $0.72 \times 10^{-3} \sim 1.16 \times 10^{-3} \text{mm/年}$ ($0.565 \sim 0.907 \text{mg/cm}^2/\text{年}$) で, 鉄道構造物の維持管理標準²⁾で示される腐食速度 $3 \times 10^{-3} \text{mm/年}$ の 30~40%程度の値であった. また, 図 6 には調査で得られた変状率と腐食速度との関係を示した

が, 腐食速度は変状率とは関係なく標準偏差 $0.17 \times 10^{-3} \text{mm/年}$ ($0.134 \text{mg/cm}^2/\text{年}$) のばらつきがある結果となった.

表 4 鋼材腐食速度の同定結果

		変状率の 調査結果	腐食速度	
			$\times 10^{-3}(\text{mm/年})$	($\text{mg/cm}^2/\text{年}$)
Ct1	G1	4.1%	1.11	0.868
	G2	10.5%	1.07	0.836
Ct2	G1-1	25.6%	1.11	0.871
	G1-2	7.7%	0.90	0.706
	G2	18.5%	1.20	0.942
	G3	13.0%	0.72	0.565
	G4-1	8.7%	1.16	0.907
	G4-2	8.9%	0.84	0.657
平均値		12.1%	1.01	0.794
標準偏差		6.9%	0.17	0.134

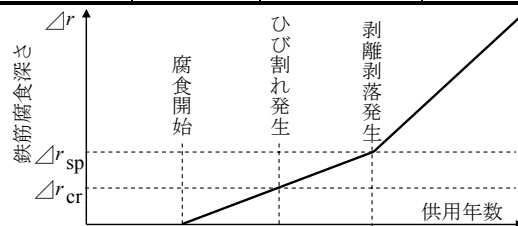


図 3 劣化予測モデルの概念図

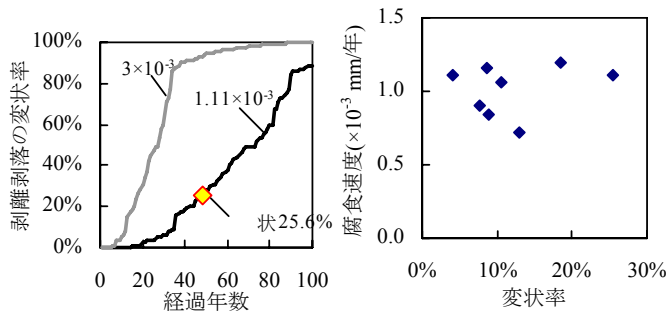


図 5 100 年間の劣化予測例 図 6 変状率と腐食速度の関係

5. まとめ

本検討で得られた知見を以下にまとめる.

- ① 供用開始後 48 年が経過した鉄道 RC 桁を調査した結果, 中性化による鋼材腐食が原因と思われる剥離剥落の変状率は 4.1%~22.6%であった.
- ② 調査で得られた変状率に対し, 劣化予測モデルを適用することで同定した鋼材腐食速度は $0.72 \times 10^{-3} \sim 1.16 \times 10^{-3} \text{mm/年}$ (平均 1.01mm/年) で, 変状率に関係なく標準偏差 0.17mm/年 のばらつき結果となった.

参考文献

- 1) 鳥取他: 中性化の影響を受ける場合の鉄筋腐食に関する劣化予測, 土木学会論文集, No.767/V-64, pp.35-46, 2004.
- 2) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準 (構造物編) コンクリート構造物, 2007.1