

既設RC高欄における鉄筋腐食の計測

首都高速道路公団
首都高速道路公団
(株)太平洋コンサルタント

○正会員 成沢 光弘
正会員 植木 博
向井 浩三

1. はじめに

コンクリート内に存在する鋼材の腐食に関する侵食度は、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を評価する際に重要な要素である。しかし、この値を実構造物から求めるには、複雑な要因と多くの年数を要することから室内の促進実験でデータを得ることが多い。今回、拡幅工事で撤去される経年 25 年の高欄が発生したので、今後の解析的検討に資することを目的に鉄筋の侵食度を実測した。本論文は、この結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 試験高欄

実構造物は、首都高速湾岸線の新木場・辰巳 JCT 間 4 車線化に伴って撤去された鉄筋コンクリート壁式高欄（以下、高欄という。）である。高欄の断面諸元は図 - 1 に、概要は表 - 1 に示す。

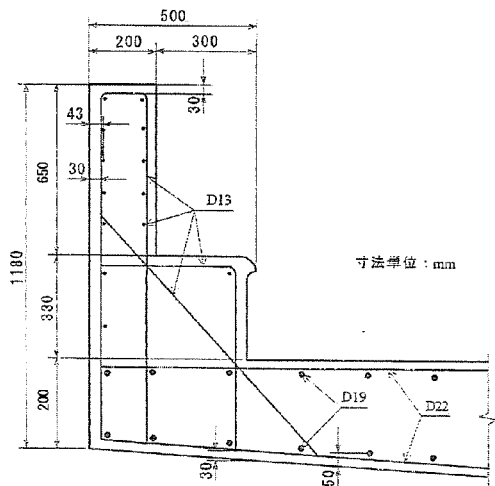


図 - 1 高欄断面図

2.2 試験方法

試験項目を表 - 2 に示す。ひび割れ観察については、目視観察によりひび割れ図を作成した。鉄筋位置は、電磁波レーダーにより特定し、鉄筋のかぶり厚も測定した。鉄筋の腐食状況は自然電位を測定し、腐食状況の評価は ASTM C 876 に準拠して行った。鉄筋と鉄筋周辺のコンクリートの状況を調査する方法として、

高欄断面方向に直角に $\phi=15\text{cm}$ のコアを採取した。

表 - 1 高欄の概要

竣工年月	昭和 54 年 7 月
供用年月	昭和 55 年 2 月
撤去年月	平成 16 年 7 月（拡幅工事のため）
経過年数	25 年
設計基準強度	$\sigma_{ck} = 29.4 \text{ N/mm}^2$
使用セメント	普通ポルトランドセメント
最大粗骨材寸法	25mm
スランプ	$8 \pm 2.5 \text{ cm}$
空気量	$4 \pm 1\%$
使用鉄筋径	D13
鉄筋の被り	高欄の内側、外側ともに 23.5mm
配筋状態	主鉄筋、帯鉄筋とも約 100mm 間隔
撤去時の交通量	西行き 92,800 台 / 日

表 - 2 各試験方法

測定項目	測定方法
ひび割れ	目視観察及び写真撮影により作成
鉄筋位置	電磁波レーダー法及び電磁誘導法の併用及び
かぶり厚さ	コア中の鉄筋かぶり厚さの測定
鉄筋腐食	自然電位法 ASTM C876 に準拠 JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」 目視観察による腐食レベル
中性化深さ	JIS A 1152-2002 「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準拠
塩化物濃度	3 箇所測定

コアの採取位置は自然電位の測定を参考に、A：鉄筋健全部、B：鉄筋腐食部（ひび割れなし）、C：鉄筋腐食部（ひび割れあり）について行った。採取したコンクリートコアを割裂し、鉄筋の腐食レベルを目視によりグレーディングした。表 - 3 に鉄筋の腐食レベルを示す。鉄筋の腐食レベルは、建設省土木研究所、日本構造物診断技術協会共同研究報告書「コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）」に従った。

表 - 3 鉄筋の腐食レベル

鉄筋の腐食状況	鉄筋腐食度
腐食無し	1
ごく表面的な腐食	2
浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食	3
断面欠損が著しい腐食	4

コア毎に、凍結防止剤の影響を受けない高欄の外側（車道側と反対）面について鉄筋の腐食量の測定、中

キーワード 鉄筋コンクリート 中性化 侵食度

東京都中央区日本橋箱崎町 43-5 首都高速道路公団東東京管理局保全部 tel03-5640-4867 fax03-5640-4882

性化深さの測定を行った。また、鉄筋の腐食に対する飛来塩分の影響を調べるために、塩化物濃度を測定した。

2.3 中性化深さの測定

中性化深さ測定は、JIS A 1152 に準拠した。中性化深さ測定位置は、コアを中心より割裂し、フェノールフタレイン 1%エチルアルコール溶液を噴霧して、表面からの未着色部分を 14 点測定した。

2.4 コンクリート中の鉄筋腐食生成物の測定

腐食前の鉄筋重量を求めるために必要な、鉄筋の単位質量の測定を行った。測定には電子天秤を用いて、0.001g まで測定した。腐食していない鉄筋を長さ 15 cm 程度切出し、端部を直角に仕上げて正確な鉄筋長を求め、その時の鉄筋質量から単位質量を算出した。表 - 4 より、本試験では腐食前鉄筋の単位質量を 0.940 kg/m とし、以下の計算に用いた。

腐食生成物の測定は、日本コンクリート工学協会（JCI）による「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法（JCI-SC1）」に準じて、10%クエン酸二アンモニウム溶液（60 ）に 2 日間浸漬後、鉄筋をいためない方法で腐食生成物を除去し、その重量変化から腐食重量減少量を求めた。腐食度及び侵食度の算出に用いている鉄筋の表面積は、異形鉄筋の公称直径から算出した。

表 - 4 鉄筋の単位質量測定結果

鉄筋長さ1 (mm)	鉄筋長さ2 (mm)	平均鉄筋長 (mm)	鉄筋質量 (g)	単位質量 (kg/m)
134.20	134.06	134.130	126.460	0.943
132.61	133.00	132.805	125.032	0.941
134.63	134.49	134.560	126.793	0.942
139.51	139.18	139.345	130.288	0.935
平均				0.940

*: 単位質量(kg/m)=鉄筋質量 / 平均鉄筋長さ

2.5 塩化物イオン濃度の測定

鉄筋位置付近のコンクリートの塩化物イオン濃度を 3 箇所測定した。

3. 考察

塩化物イオン濃度の平均値は経年 25 年で 0.110 kg/m³ であった。コンクリート中の鋼材腐食限界塩化物イオン濃度は既往の研究結果によると、全体的には 0.3~1.2 kg/m³ 程度の濃度を閾値とする場合が多い。調査高欄では海砂は使用されておらず、東京湾から離隔もあり、飛来塩分は少ない。従って、現在までの鉄筋の腐食は塩化物イオンによるものでなく、中性化に伴う pH の低下によるものであると考えられる。

図 - 2 は、中性化残りとの鉄筋の腐食率との関係を目視によりグレーディングした鉄筋の腐食レベル毎に

プロットした図である。本高欄では、中性化残り 10mm 前後を境に、腐食レベル 1, 2 のグループと腐食レベル 3, 4 のグループに分けられる。

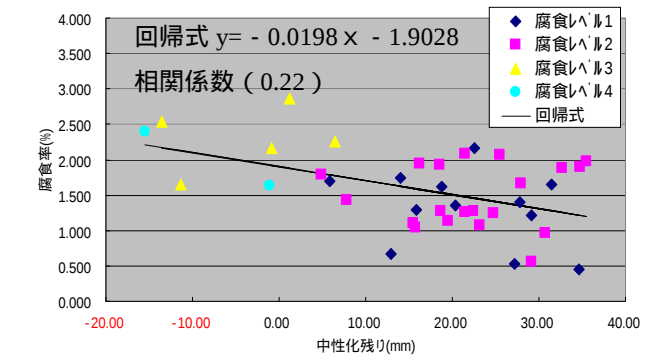


図 - 2 鉄筋の腐食率と中性化残りの関係

次に、日本コンクリート工学協会（JCI）による「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法（JCI-SC1）」の評価方法での腐食度および侵食度を表 - 5 に示す。個別のコア毎には、若干バラツキはあるが、腐食レベル毎に平均侵食度を算出した。

表 - 5 高欄の鉛直鉄筋の侵食度

番号	目視による 腐食 レベル	ひび割れ 幅(mm)	鋼材の 表面積 (mm ²)	除去前 - 除去後 鉄筋重量(g)	腐食度 (mg/mm ² / year)	侵食度 (mm/year)	レベル毎の 平均侵食度 (mm/year)
A4	1	無	5729.39	2.283	1.59 × 10 ⁻²	2.03 × 10 ⁻³	1.58 × 10 ⁻³
B2	1	無	5779.26	2.381	1.65 × 10 ⁻²	2.10 × 10 ⁻³	
B12	1	無	5685.50	0.706	4.97 × 10 ⁻³	6.33 × 10 ⁻⁴	
B13	1	無	5787.24	0.626	4.33 × 10 ⁻³	5.51 × 10 ⁻⁴	
B17	1	無	5755.32	2.927	2.03 × 10 ⁻²	2.59 × 10 ⁻³	1.88 × 10 ⁻³
A1	2	無	5910.92	2.645	1.79 × 10 ⁻²	2.28 × 10 ⁻³	
A2	2	無	4512.49	2.212	1.96 × 10 ⁻²	2.50 × 10 ⁻³	
B3	2	無	5829.13	1.478	1.01 × 10 ⁻²	1.29 × 10 ⁻³	
B4	2	無	6024.63	1.765	1.17 × 10 ⁻²	1.49 × 10 ⁻³	2.52 × 10 ⁻³
B6	2	無	5831.13	1.514	1.04 × 10 ⁻²	1.32 × 10 ⁻³	
B18	2	無	5434.14	2.127	1.57 × 10 ⁻²	1.99 × 10 ⁻³	
B2	2	無	5577.77	2.484	1.78 × 10 ⁻²	2.27 × 10 ⁻³	
A3	3	無	5071.06	3.037	2.40 × 10 ⁻²	3.05 × 10 ⁻³	2.91 × 10 ⁻³
B15	3	無	5537.87	2.155	1.56 × 10 ⁻²	1.98 × 10 ⁻³	
C1	3	0.2	5543.86	3.742	2.70 × 10 ⁻²	3.44 × 10 ⁻³	
C2	3	0.3	5787.24	2.951	2.04 × 10 ⁻²	2.60 × 10 ⁻³	
C3	3	0.4	5454.09	2.890	2.12 × 10 ⁻²	2.70 × 10 ⁻³	2.88 × 10 ⁻³
C0	4	0.3	5583.76	3.156	2.26 × 10 ⁻²	2.88 × 10 ⁻³	

4. まとめ

(1)中性化残りとの鉄筋の腐食

本高欄では、中性化残り が 10mm 以下の個所において、腐食レベル 3, 4 が多く存在している。この傾向は、土木学会:平成 11 年版 コンクリート標準示方書「施工編」-耐久性照査型-改訂資料に符合しており、中性化残り 10mm から腐食が生じると考えられる。

(2)鉄筋の侵食度

設置後 25 年間を経過した高欄における鉄筋の侵食度は、10⁻³ のオーダーである。これはコンクリート表面にひび割れが存在しても経年によりひび割れにほこり等が蓄積されることによると考えられる。