

長期暴露した塩分を含む鉄筋コンクリート梁の劣化性状

鉄建建設 正会員 ○西脇 敬一 鉄建建設 F会員 宮本 征夫
鉄道総研 正会員 長谷川雅志 鉄道総研 正会員 大屋戸理明 鉄道総研 正会員 来海 豊

1. はじめに

鉄筋の腐食は、コンクリート構造物の耐久性に影響を及ぼす一つの大きな要因である。12年前に鉄筋の腐食が耐荷力に与える影響を確認するため、塩分を混入した鉄筋コンクリート(RC)梁を製作し、暴露後20ヶ月が経過した時点で、載荷試験や鉄筋の腐食量等の測定を行った¹⁾。これと同時期に製作したRC梁は、暴露を開始してから約12年が経過した。今回、鉄筋の腐食やコンクリート劣化の経年変化、およびそれに伴う耐荷力への影響を確認するため、20ヶ月時と同様に各種試験を行った。

本報告では、今回行った試験の中で鉄筋の腐食とコンクリートの劣化の調査結果と考察を述べる。

2. 供試体および試験概要

コンクリートの配合を表1に示す。セメントは、早強ポルトランドセメントを使用している。試験に用いたRC梁の形状寸法を図1に示す。鉄筋のかぶり厚は、引張鉄筋、圧縮鉄筋ともに20mmである。

作製後約3ヶ月間室内養生したRC梁にあらじめ、曲げ載荷によりひびわれを導入した。その後1ヶ月ほど静置した後、屋外に暴露した。暴露中は、RC梁の側面を鉛直方向に向け静置した。なお、暴露3ヶ月目から17ヶ月間は、塩分として濃度3%の塩水を1回あたり5リットル程度、1日3回撒水した。それ以後は、塩水の撒水を行わず自然暴露とした。

試験には、図1に示すRC梁を3体(以下:供試体A、B、Cと称す)用い、外観観察、中性化深さ、コンクリート中の塩化物イオン量、および鉄筋の腐食状況等の調査を行った。試験方法を表2に示す。

3. 劣化状態調査結果

(1)外観観察 供試体の外観観察結果の一例を図2に示す。外観は、暴露時の撒水面(以下:表面と称す)と反対面(以下:裏面と称す)で異なり、表面はペーストが洗い流されざらついていて、裏面は滑らかであった。錆汁の溶出は、引張や圧縮鉄筋に比べ、スターラップに多く見られ、同一供試体では表面よりも裏面で鮮明であった。すべての供試体で、引張鉄筋に沿った軸方向ひびわれが発生していた。また、圧縮鉄筋やスターラップに沿ったひびわれも一部見られた。表面に比べ裏面にひびわれが多く発生しており、錆汁の溶出状況と一致するものであった。

(2)中性化深さ 中性化の試験結果を表3に示す。中性化深さは、ひびわれ部分で最大25mm程度まで達していたが、平均では3.2~6.1mmであり、早強セメントを用いたこともあり、それほど進行していなかった。中性化残りは、最も小さいもので14mm程度であった。

供試体Aの中性化深さは、他の供試体に比べやや大きくなった。試験後の配合分析の結果、水セメント比が、

キーワード：鉄筋腐食、長期暴露、経年劣化、塩化物イオン、中性化

連絡先：千葉県成田市新泉 9-1 電話 0476-36-2354 fax 0476-36-2380

表1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
		W	C	S	G
65	50	165	245	932	953

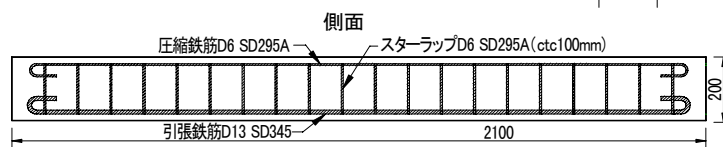
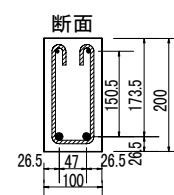


図1 RC梁の形状寸法 単位(mm)

表2 試験方法

試験項目	試験方法
外観観察	目視でひびわれや錆汁の観察
中性化深さ	フェノールフタレイン法
塩化物イオン量	JCI-SC4 硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法
鉄筋の腐食	JCI-SC1 コンクリート中の鋼材の腐食評価方法

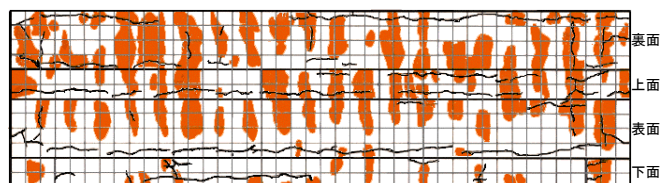


図2 供試体の外観例(供試体C)

他の供試体に比べ若干大きかったことに起因すると考えられる。一方、供試体BとCは、白山式²⁾で水セメント比を65%、施工程度による係数を良および普通とした場合の中性化深さ3.0～4.2mmとおおむね一致する結果であった。

同一供試体での中性化深さは、表面より裏面で大きくなった。これは、表面に比べ裏面は降雨の影響をあまり受けなかったものと考えられるが、表面はペースト分が洗い流されていたため、実際よりも中性化深さが小さく測定された可能性もある。

(3)塩化物イオン量 表面から各深さにおけるコンクリート重量に対する塩化物イオン量の分布の一例を図3に示す。図中には、暴露20ヶ月時の全塩化物イオン量の結果も併せて記した。20ヶ月時には、全塩化物イオン量の分布は裏面側で多い傾向が見られたが、今回の結果では、表面からの深さ毎に大きな違いは認められなかった。コンクリート中の全塩化物イオン量は、重量百分率で約0.2%であるため、4.5kg/m³程度と推定され、20ヶ月時に比べ大幅に減少していた。可溶性塩化物イオン量の分布は、中性化の影響を受ける表面と裏面の表層部分で若干大きく、既往の研究結果³⁾と一致する結果が得られた。

(4)鉄筋の腐食 引張鉄筋の腐食調査結果を表4に示す。引張鉄筋は、腐食面積率90%以上、重量減少率11～14.8%であり、全面にわたり錆が見られたが、リブやふしが無くなるほどの極端な断面欠損を生じている箇所は少なかった。鉄筋の腐食量の経年変化は、20ヶ月時に重量減少率が0～4%程度であったことから、その後の約10年間の自然暴露で、10%程度増加したこととなり、鉄筋の腐食速度は、重量減少率で1.0%/年程度と推定される。

表面側と裏面側の比較では、腐食面積率は同程度であるが、重量減少率は裏面側の方が大きい。これより、裏面側の鉄筋は表面側に比べ、孔食傾向がより大きいことがうかがえ、暴露20ヶ月時において塩化物イオンが裏面側に多く蓄積していた結果と一致する。

スターラップでは、写真1に示すように、腐食を生じていない部分と著しい腐食を生じている部分があり、特に破断するほどの大きな断面欠損も見られた。このように1本のスターラップでも腐食状態は大きく異なった。スターラップの腐食については、現在調査中である。

4. おわりに

- 約12年間暴露した塩分含有RC梁の各種試験により、以下の劣化性状が確認された。
- セメントに早強ポルトランドセメントを用いたこともあり、中性化の進行は緩やかであった。暴露12年間における中性化深さは、白山式とおおむね一致した。
- 全塩化物イオンは、暴露20ヶ月時には裏面側に多く蓄積されていたが、暴露12年時では表面からの深さに関わらず、ほぼ同量となる傾向が見られた。
- 暴露20ヶ月時からの10年間に鉄筋の腐食速度は、重量減少率で1.0%/年程度と推定された。
- スターラップは、部分的に著しい腐食を生じており、大きな断面欠損が見られた。

【参考文献】

- 山住,宮本,佐藤：鉄筋を腐食させたRCはり劣化状態と耐力について,第12回日本コンクリート工学年次講演会論文集, pp557～562, 1990
- 日本建築学会：コンクリートの調査設計・調査管理・品質管理指針案・同解説,1976
- 例えば 岸谷,小林 他：塩化物を含むコンクリート中における鉄筋腐食と中性化との関係,コンクリート工学論文集, vol2 No.1, pp77～83, 1991

表3 中性化の試験結果

供試体	表面 (mm)	裏面 (mm)	最大 (mm)
A	5.3	6.1	25.4
B	3.3	4.0	24.1
C	3.2	3.7	14.9

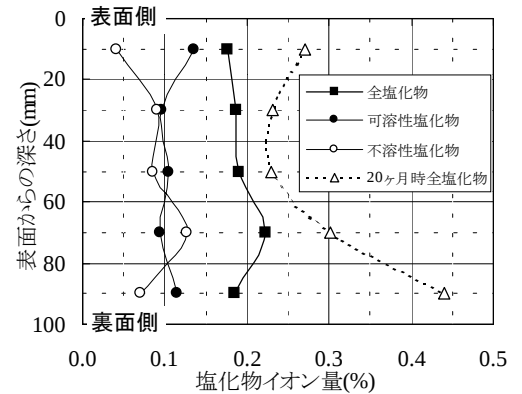


図3 塩化物イオン量の分布

表4 鉄筋の腐食調査結果

供試体	鉄筋位置	採取位置	腐食面積率 (%)	重量減少率 (%)
A	表面側	左側	98.8	16.2
		右側	99.7	13.5
	裏面側	右側	95.6	13.7
B	表面側	左側	99.1	12.4
		右側	98.0	13.2
	裏面側	左側	98.9	15.0
		右側	93.0	12.9
C	表面側	左側	95.1	11.7
		右側	90.9	10.4
	裏面側	左側	92.0	12.1
		右側	89.1	11.0

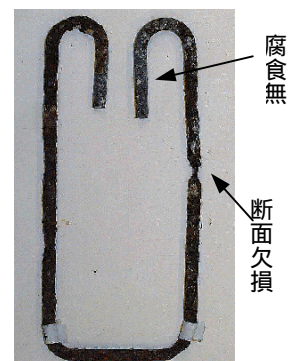


写真1 スターラップの断面欠損