

非破壊試験による塩害調査の予防保全への活用検討（その1）

－初期の鉄筋腐食が構造に与える影響に関する実験的研究－

国士舘大学 正会員 ○津野和宏，学生会員 大前朋葉
東京都立大学 正会員 大野健太郎，大田区 正会員 後藤幹尚

1. はじめに

RC 構造物の塩害に関しては、ひび割れと錆び汁の発生から鉄筋の腐食が確認される例がほとんどであるが、近年ではごく初期の発錆についても非破壊試験により発見が可能となってきた。これを予防保全に生かすためには、初期の発錆がその後の耐久性や構造性能に与える影響を把握する必要がある。本検討では、①非破壊試験により鉄筋の腐食状況と塩分量を把握、②載荷試験により初期の鉄筋腐食が構造性能に与える影響を確認、③三次元有限要素法（FEM）解析によって劣化の進展を予測、という手順により、塩害の予防保全手法の提案を目指す。本稿は、塩水散布によって初期段階の鉄筋腐食を生じた RC 梁供試体と生じていない供試体の曲げ載荷試験結果を比較検討し、その影響について報告するものである。

2. 実験方法

(1) 実験供試体

実験に使用した供試体を図-1 に示す。寸法は長さ 2000mm、高さ 200mm、幅 150mm で、主筋には D13（SD345，設計かぶり 23.5mm），スタラップには非破壊試験に影響を与えないよう、アラミド筋（公称径 2.7mm，補償耐力 7.8kN）を用いた。供試体は、3 日間の散水養生後、材齢 28 日まで気中保管とした。供試体の底面を上向きにして側面にはシーリングを施し、5 体それぞれに濃度が 0，2.9，5.7，13，26%と異なる塩化ナトリウム水溶液を定期的に 3 カ月間散水した。なお、材齢 28 日のコンクリートの圧縮強度は 43.0N/mm² であった。

(2) 曲げ載荷試験

図-1 に示す支点および載荷点位置にて、アムスラー試験機を用いて 4 点曲げ載荷試験を実施した。

(3) AE 計測

曲げ載荷試験の実施中、供試体表面に接着した AE センサによって供試体内部から発生する AE 波を計測し、各載荷段階までの AE 源位置標定の 3 次元分布図を作成した。図-2 に、供試体 A における AE センサ設置位置を示す。

3. 試験結果

(1) 曲げ載荷試験

表-1 に、供試体 A（散布塩分濃度 0%）と供試体 B（同 26%）に関する曲げ載荷試験の主な計測結果を示す。曲げ載荷試験後に実施した研り調査において、供試体 A には発錆が見られなかったが、供試体 B については 5 カ所の軽微な発錆が確認された¹⁾。主筋かぶりの実測値を考慮した降伏荷重の計算値に対する実験値の割合は、

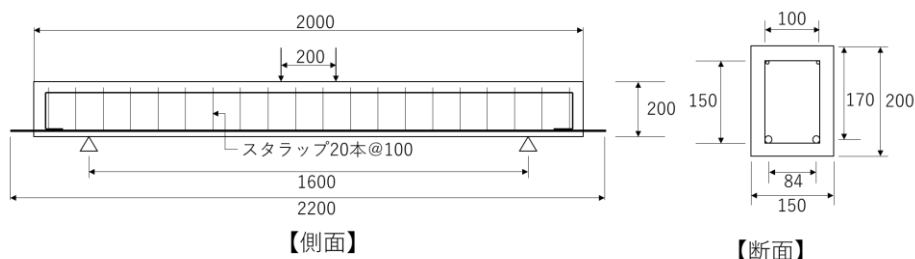
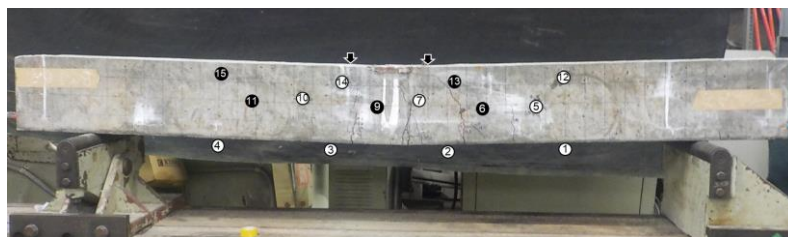


図-1 実験供試体概要



※白は前面，黒は背面の位置を示す
図-2 AE センサ設置位置（供試体 A）

キーワード 鉄筋コンクリート梁，塩害，曲げ載荷試験，AE 計測

連絡先 〒154-8515 東京都世田谷区世田谷 4-28-1 国士舘大学理工学部理工学科まちづくり学系 TEL03-5481-3264

供試体 B が A に比してわずかに小さく、降伏時の中央変位は供試体 B がわずかに大きくなった. また、ひび割れ荷重に関しては、鉄筋ひずみの推移から推定された値に対する変位の推移から推定された値の比は、供試

体 B の方が 1 割程度小さくなった. 図-3 に、荷重 40kN 時（降伏荷重の 9 割程度）における供試体 A および B のひび割れ図を示す. 供試体 B 中央部において主筋に沿った水平ひび割れが発生し、供試体 A と比べてわずかにひび割れの分散範囲が狭かった. 以上から、鉄筋が発錆によってコンクリートと剥離することにより、荷重の早い段階で微小な滑りが生じ、鉄筋の降伏前に鉄筋の節によるコンクリートへの力の伝達に移行し、鉄筋のひずみが大きい中央部分に損傷がやや集中した可能性が考えられる.

(2) AE 計測

図-4 に、供試体 A および B のひび割れ発生までの AE 計測結果を示す. 点は、側面から見た AE 源位置標定を示しており、供試体 B では A に比べて分布範囲が広い. 前述の各測定結果も加味し、供試体 B では鉄筋の発錆によるはく離から荷重によって広範囲にわたってわずかなずれが生じ、AE が発生しているものと考えられる.

まとめ

曲げ荷重試験において、鉄筋の広範囲にわたるわずかな発錆に起因する構造性能に関する顕著な差異は見られなかったが、発錆によって鉄筋とコンクリートの剥離が生じ、荷重初期においてもわずかなずれが生じている可能性が示された. 過去の研究²⁾において、鉄筋断面に顕著な欠損が生じない限りは最終的な耐力力に大きな影響が出ないことは確認されているが、本研究により、わずかな発錆でもコンクリートとの剥離が生じ、ひび割れに到らない荷重でもずれが生じることにより界面の隙間が拡大する可能性が指摘された. この隙間は、劣化因子の通路となって鉄筋の腐食速度を速め、構造物としての耐久性に影響を与える可能性がある. 以上から、非破壊試験による鉄筋の早期腐食の発見は、予防保全上大きな意味を持つものと思料される.

謝辞

本研究は、一般財団法人橋梁調査会の研究開発助成を受けて行われました。ここに深甚の謝意を表します。

参考文献

1) 大野健太郎他／非破壊試験による塩害調査の予防保全への活用検討（その 2）—超音波法による鉄筋とコンクリートとの界面付着状態推定に関する検討—, 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会, 2023. (掲載予定), 2) 例えば、玉井宏樹他／鉄筋腐食により劣化した RC 梁部材の曲げ耐力性能および耐衝撃性能に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.63A, 2017 年 3 月

表-1 曲げ荷重試験結果（供試体 A および B）

	主筋かぶり (mm)	ひび割れ荷重 (kN)			降伏荷重 (kN)			中央変位 (mm)		鉄筋の腐 食個所数
		①変位か ら推定	②鉄筋ひ ずみから 推定	①/② (%)	③実験値	④※計算 値	③/④ (%)	実験値	対A(%)	
供試体A (塩水濃度0%)	23.11	11.22	10.01	89.2	43.75	46.21	94.7	4.22	100.0	0
供試体B (塩水濃度26%)	28.27	13.8	10.69	77.5	41.56	44.75	92.9	4.37	103.6	5

※計算値：実際の主筋位置を考慮した有効高さ

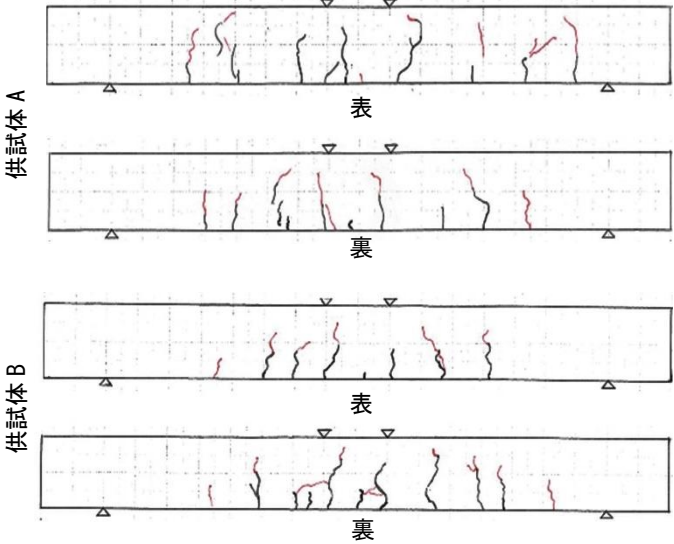


図-3 ひび割れ図（供試体 A および B, 40kN 時）

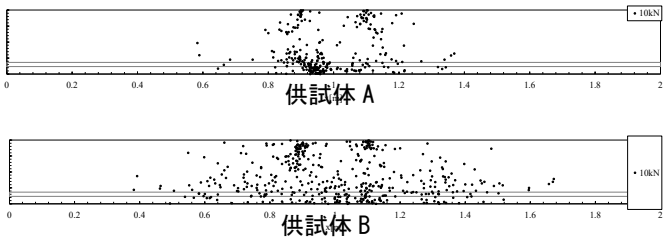


図-4 ひび割れ発生時までの AE 源位置標定（10kN 時）