

鉄筋腐食させたRC梁の非破壊検査と残存曲げ耐力特性に関する実験的研究

防衛大学校 正会員 ○村上 将也 正会員 山本 佳士 正会員 黒田 一郎 正会員 古屋 信明

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下、RC）構造物の老朽化に伴う劣化から生じる危険性について、定量的に評価する必要性が高まっている。そこで、本研究では、電食させたRC梁の残存曲げ耐力特性に注目し、非破壊検査結果から予測した最大耐力推定値と、載荷実験による最大耐力の実測値との比較検討を試みる。

2. 鉄筋腐食したRC梁部材の曲げ載荷実験

供試体の寸法および配筋を図-1に示す。外形寸法はL1460mm×B80mm×H140mm、有効高さは113.5mmであり、鉄筋は異形鉄筋(D13, SD345)を引張側だけに1本配置した。主鉄筋比は1.40%である。

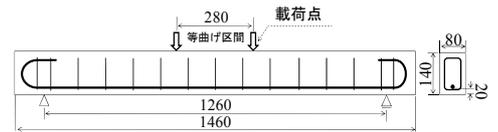


図-1 供試体概要

さらに、せん断補強筋(D6, SD295A)を支点付近のみ50mm, 他は100mm間隔で配筋した。鉄筋腐食方法には、鉄筋を電氣的に腐食させる方法（以下、電食）を用いた。目標とする引張鉄筋の腐食率（腐食により失った鉄筋重量の腐食前の鉄筋重量に対する比率）を3%、10%、30%とした。

表-1 引張鉄筋の腐食率と終局耐力

シリーズ	B1				B2				B3			
	3			0	10			0	30			0
目標腐食率(%)	3			0	10			0	30			0
供試体番号(NO)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
腐食率 (%)	鉄筋全体				鉄筋全体				鉄筋全体			
	2.3	2.4	2.8	2.8	14.2	13.9	13.4	13.4	25.3	26.1	31.6	31.6
	等曲げ区間				等曲げ区間				等曲げ区間			
	3.1	3.4	5	5	15.8	19	12	12	24	28.2	30.3	30.3
終局耐力(KN)	22.7	23.5	20.3	24.9	21.1	20.5	19.6	23.1	16.4	15.0	10.6	22.5

なお、スターラップは電食しないように絶縁処置した。各腐食率に対して3体の供試体を作成し、比較用として腐食率0%の供試体も計3体用意した。本実験で使用する各供試体の番号と目標腐食率等を表-1に示す。

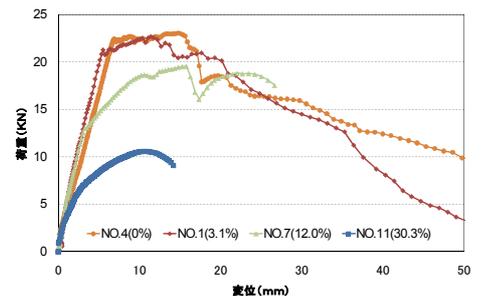


図-2 荷重-変位関係

載荷実験は、図-1に示したように載荷点間隔280mm、支点間距離1260mmとした静的二点曲げ載荷を行った。各目標腐食率の代表1体の荷重と変位の関係を図-2に示した。データの途切れは鉄筋破断を表している。また、凡例中のNOは供試体番号であり、それに続く括弧内の数値は鉄筋の等曲げ区間の実測腐食率を示す。すべての供試体は鉄筋降伏後に最大荷重に達し、等曲げ区間の梁上端のコンクリートの圧壊が始まるとともに荷重を減じていった。最終的な破壊モードは、腐食率の増加とともに曲げ圧縮破壊から鉄筋破断による曲げ引張破壊へ変化した。

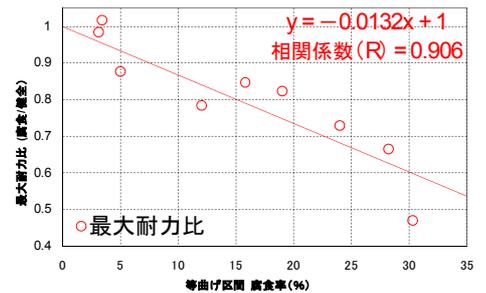


図-3 最大耐力比と腐食率の関係

最大耐力に着目するならば、鉄筋の腐食率が大きくなるほど最大耐力が小さくなっていることがわかる。そこで、各供試体の最大耐力を健全梁（腐食率0%）の最大耐力で除し、それぞれの最大耐力比を算出し、等曲げ区間の腐食率との関係として図-3に示す。図-3において最大耐力比-腐食率関係の分布を直線回帰し、その回帰値の相関係数を求めたところ0.906と極めて高い数値を示しており、回帰式 $y = -0.0132x + 1$ (1) を得た。ここで、yは最大耐力比、xは等曲げ区間の腐食率(%)である。

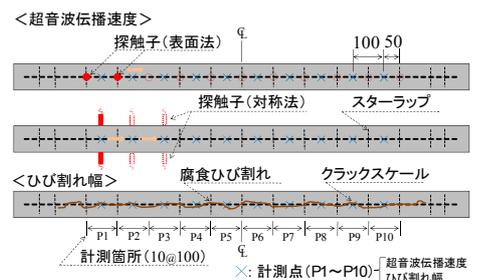


図-4 非破壊検査計測点(供試体底面)

3. 非破壊検査

電食後の劣化状況を把握するために超音波伝播速度、及び腐食ひび割れ幅を計測した。計測点(P1~P10)および計測手法を図-4に示す。

キーワード 鉄筋腐食, 電食, 腐食率, 非破壊検査, 超音波伝播速度, 曲げ耐力

超音波伝播速度は、各計測箇所において底面からは表面法、側面からは対称法の二通りで計測した。また、相対的な劣化の程度を把握するために、電食後の伝播速度を電食前の伝播速度で除した伝播速度比を求めた。腐食ひび割れ幅は、供試体底面に発生したひび割れ幅を図-4に示す各計測点でクラックスケール(0.05mm~2.0mm)を用いて計測した。

また、載荷実験後に鉄筋をはつりだし、図-4に示した各計測点の鉄筋径を計測した。これを鉄筋の公称径で除したものを鉄筋径比とし、超音波伝播速度比との関係を図-5に示す。超音波伝播速度比が小さくなるに従い、鉄筋径比も小さくなる傾向にある。これは、電食に伴い発生した腐食生成物の体積が鉄筋の体積減少分より大きいため、内圧が生じて、周囲のコンクリートに微細なひび割れを発生させ、弾性波を回折させるためである。近似直線における相関係数は0.528である。超音波伝播速度比を計測することで、RC構造物内部の鉄筋腐食量を定量的に把握できる可能性が指摘できる。また、腐食ひび割れ幅と鉄筋径比の関係についても近似直線における相関係数は0.580となり、超音波伝播速度比と同程度の相関関係が認められた。

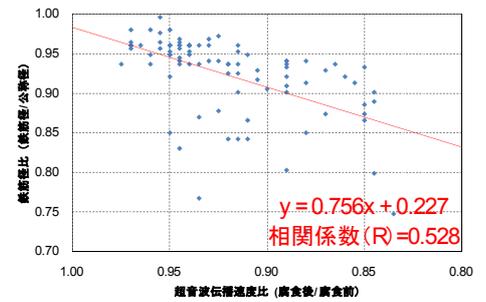


図-5 鉄筋径比と超音波伝播速度比の関係

4. 非破壊検査結果と最大耐力比

非破壊検査結果と鉄筋径比が持つ相関性を応用して、超音波伝播速度比や腐食ひび割れ幅から腐食率推定値 x_n を求めた。 x_n とはつり後に計測された腐食率実測値 x_d および最大耐力比の関係を図-6に示す。 x_n はB1シリーズにおいては x_d より約7%高く評価され、B3シリーズにおいては約10~7%低く評価される傾向にあった。

腐食率推定値 x_n を用いて回帰式(1)から求めた最大耐力比非破壊推定値 y_n と、腐食率実測値 x_d を用いて同じく式(1)から求めた最大耐力比破壊推定値 y_d 、ならびに載荷実験によって得られた最大耐力比実測値 y_{ex} を表-2に示す。最大耐力比非破壊推定値と y_n 最大耐力比破壊推定値 y_d を比較すると、 y_n は目標腐食率3%では y_d を下まわる安全側(緑)の値を呈しているが、目標腐食率10%ではいくつかのケースで y_d を上まわる危険側(赤)の値を示し、目標腐食率30%ではすべて実測値 y_{ex} を上まわった危険側の評価となっている。

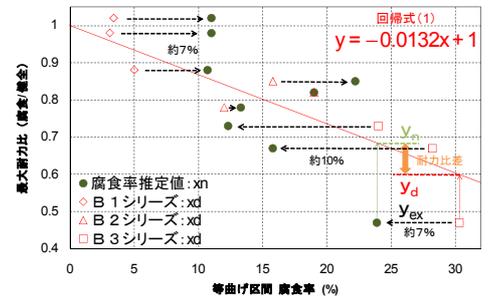


図-6 腐食率推定値と実測値の関係

表-2 非破壊検査結果の評価

目標腐食率 (%)	NO	実測値 (y _{ex})	破壊推定値 (y _d)	最大耐力比	
				非破壊推定値 (y _n)	
				超音波伝播速度	ひび割れ幅
3	1	0.98	0.96	0.85	0.86
	2	1.02	0.96	0.85	0.86
	3	0.88	0.93	0.86	0.85
10	5	0.85	0.79	0.71	0.76
	6	0.82	0.75	0.75	0.81
	7	0.78	0.84	0.82	0.85
30	9	0.73	0.68	0.84	0.81
	10	0.67	0.63	0.79	0.80
	11	0.47	0.60	0.68	0.61

5. 結論

本研究では、各種非破壊検査結果と鉄筋腐食を生じたRC梁部材の残存耐力との関係について評価をおこなった。これにより得られた知見を以下に示す。

- (1) 非破壊検査における超音波伝播速度比と腐食ひび割れ幅のデータと鉄筋径比に、相関を確認した。
- (2) 腐食率が高くなるにつれ、破壊モードが曲げ圧縮破壊から鉄筋破断による曲げ引張破壊へ移行した。
- (3) 本研究では、腐食率10%以下の劣化供試体において、非破壊検査から求めた腐食率推定値をもとに推定した最大耐力は、腐食率実測値から求めた最大耐力推定値、及び載荷実験から得た最大耐力実測値より安全側に評価できた。

謝辞

本論文の作成に際しては、土木学会コンクリート委員会「材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能小委員会」(委員長:下村匠 長岡技術科学大学准教授)の委員諸氏に多大なご協力、ご尽力をいただきました。ここに記して謝意を表します。