

第V部門 引張主鉄筋の腐食したRCはりの曲げ耐力算定における腐食分布の考慮に関する研究

京都大学 学生会員○半田 伸太郎 正会員 山本 貴士
正会員 高谷 哲 フェロー会員 宮川 豊章

1. 研究目的

本研究では、引張主鉄筋の腐食を電食によりシミュレートした RC はりに対して曲げ載荷試験を行い、供試体の平均的な腐食量と耐荷性能のばらつきについて明らかにするとともに、引張主鉄筋の腐食分布を考慮した曲げ耐力の算定に関する検討を行った。

2. 実験概要¹⁾

2.1 供試体

供試体の形状・寸法を図1に示す。幅×高さ(有効高さ)×全長(スパン長)=110×165(140)×1800(1600)mmの引張側3-D10(SD345)の鉄筋RCはりで、引張主鉄筋比は $p=1.39\%$ である。コンクリートの目標配合強度は $f_{cr}=24\text{ N/mm}^2$ とした。

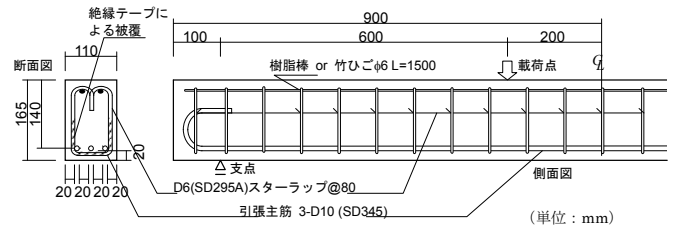


図1 供試体の形状・寸法 (単位: mm)

2.2 実験要因

引張主鉄筋全長に対する目標平均質量減少率を、0%(健全)、3%、10%、20%とした。引張主鉄筋の腐食は電食で模擬し、積算電流量は目標値3%、10%、20%に対して、それぞれ132.7 A・h、441.6 A・h、886.2 A・hとした。

2.3 測定項目および載荷方法

載荷終了後に供試体から鉄筋をはり出し、60℃、10%のクエン酸水素二アンモニウムに24時間浸せきして腐食生成物を取り除いた後、鉄筋の質量を測定するとともに、鉄筋径を軸方向の50mm間隔で各断面の最小径となる方向を目視で判断し、ノギスで測定した。平均質量減少率は腐食前後の引張主鉄筋の質量差を腐食前の質量で除して求めた。載荷は、スパン長1600mmに対し曲げスパン400mmの対称2点1方向単調載荷曲げ試験とし、荷重、スパン中央および載荷点変位、両支点変位を測定した。終局は、ポストピーク以降、荷重が最大荷重の8割まで低下する点とした。

3. 実験結果および考察

表1 鉄筋の質量減少率、鉄筋径、残存断面積

3.1 腐食状況

腐食鉄筋の平均質量減少率、平均鉄筋径および平均残存断面積とその標準偏差を表1に示す。断面積は測定した鉄筋径を直径とする円断面を仮定して求めた。質量減少率が大きくなるにつれ、残存断面積の平均値は小さく、標準偏差は大きくなる傾向にある。電食であっても、腐食ひび割れの発生を一因として供試体内の電食電流の流れやすさが異なり、残存断面積に非一様な分布が生じたと考えられる。

目標質量減少率 (%)	平均質量減少率 (%)				平均鉄筋径 (mm)			平均残存断面積 (mm ²)			残存断面積の標準偏差		
	L	M	R	Ave.	L	M	R	L	M	R	L	M	R
3	5.77	7.07	6.49	6.44	8.53	8.51	8.55	57.14	56.89	57.48	2.81	3.45	2.47
	7.48	8.33	7.62	7.81	8.53	8.24	8.40	57.14	53.38	55.49	2.82	4.10	2.71
10	9.94	18.15	13.69	13.93	8.64	8.08	8.18	58.64	51.53	52.99	2.94	7.75	8.14
	15.97	16.53	13.48	15.33	8.33	8.00	8.26	54.56	50.51	53.69	3.91	6.01	4.52
20	17.37	24.66	19.34	20.46	8.48	7.57	8.24	56.52	45.30	53.41	2.79	7.23	4.33
	8.42	16.94	11.04	12.13	8.58	7.77	8.37	57.81	47.55	55.16	2.58	4.40	5.78
	16.06	17.93	11.08	15.03	8.31	7.94	8.42	54.33	49.69	55.71	4.27	6.55	3.91
	24.54	35.65	23.46	27.89	7.69	6.81	7.79	46.95	37.62	48.49	8.93	12.78	10.90

3.2 荷重-変位曲線および破壊形式

各腐食段階の荷重-変位曲線を図2に示す。図中には、引張主鉄筋の破断時点を×印で示した。また、図中に示した質量減少率は、引張主鉄筋3本の平均値である。質量減少率が15%程度までは、いずれも鉄筋降伏後に荷重が漸増し、曲げ圧縮部コンクリートの圧壊によって最大荷重を迎え、その後圧壊の進行により終局に至る挙動を示した。これに対し、質量減少率20%を超える供試体では、曲げ圧縮部コンクリートの圧壊前に引張主鉄筋が破断して終局に至った。鉄筋腐食量の軸方向のばらつきが大きくなり、腐食量の大きな断面にひずみが集中して破断に至ったと考えられる。

降伏および最大荷重比と質量減少率の関係を図3に示す。縦軸は、健全時の降伏および最大荷重を100として

それぞれの荷重比を表した。図中には、平均質量減少率を断面減少率として仮定して求めた鉄筋断面積から算出した降伏および最大荷重の計算値の健全からの低下直線をあわせて示した。いずれも質量減少率の増加とともに低下し、質量減少率が 15% 程度までの低下率は、鉄筋の平均断面減少分の低下率と一致している。しかし、20%以上の質量減少率では、鉄筋断面積のばらつきに起因する引張主鉄筋破断による破壊のため、平均断面減少以上に荷重が低下した。

3.3 腐食分布を考慮した曲げ耐力の算定

実点検におけるかぶりののはつり位置数点において鉄筋径を直接計測することを念頭に置き、得られた測定値からその部材中の引張主鉄筋径の特性値を推定し、そこから得られる鉄筋断面積を用いて曲げ耐力を算定する手法を検討した。

まず、供試体軸方向から任意の 3 断面を抽出し、はつり出した鉄筋で測定した軸方向 50mm 間隔の鉄筋径のプロファイルから、抽出された断面位置に相当する鉄筋径を同定する。それぞれの断面での鉄筋径の代表値は、幅方向に 3 本ある引張主鉄筋の最小値とした。各断面の鉄筋径の代表値を定め、それらから供試体軸方向の平均値 d_m と標準偏差 σ を求める。軸方向の鉄筋径の分布形として正規分布 $N(d_m, \sigma^2)$ を仮定した場合、腐食鉄筋径の特性値 d_k は、次式で表される。

$$d_k = d_m - k \cdot \sigma \quad (1)$$

ここで、特性値の定め方として、今回は、腐食鉄筋径がその特性値を下回らない確率を 95% として $k=1.64$ を採用した。得られた特性値から腐食鉄筋の断面積を求め、等価応力ブロックを用いた曲げ耐力算定式に代入して曲げ耐力を算定した。供試体 1 体につき、任意の 3 断面を抽出する試行を 5 回行った。

最大荷重の実験値を得られた計算値で除した値と平均質量減少率の関係を図 4 に示す。断面内の腐食鉄筋径の代表値としてその最小値を用い、軸方向の鉄筋径の特性値を $k=1.64$ により定めることで、引張主鉄筋破断で終局に至った供試体を含め、曲げ耐力を安全側に算定できている。しかし、曲げ圧縮破壊に至っているものでは、きわめて安全側の評価になっている。今回は、供試体軸方向に対して無作為に 3 断面を抽出しているため、比較的健全な領域と大きく腐食した領域が混在した母集団となり、標準偏差が大きく現れた可能性がある。これに対し、実際の点検を意識すれば、部材中の劣化程度の異なる領域をグレード分けし、分けられた領域ごとに特性値を得ることで、より真値近い推定が可能になるものと考えられる。

4. 結論

かぶりのはつり位置数点で直接計測した鉄筋径から部材中の引張主鉄筋の鉄筋径の特性値を推定し、曲げ耐力を算定する手法を提案した。断面内の腐食鉄筋径の代表値としてその最小値を用い、軸方向の鉄筋径の特性値を適切に定めることで、引張主鉄筋破断で終局に至った供試体を含め、曲げ耐力を安全側に算定できた。

参考文献

- 1) 土木学会：続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズ 85，土木学会，pp.10-16，2009.5

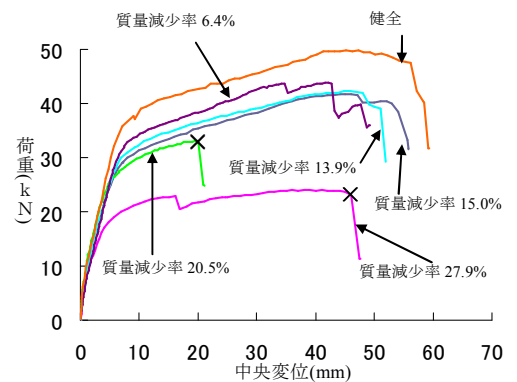


図 2 荷重-変位曲線

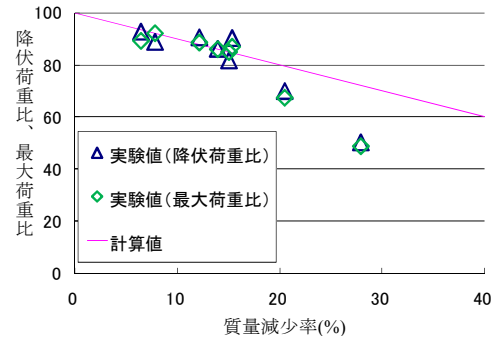


図 3 降伏荷重比および最大荷重比と質量減少率の関係

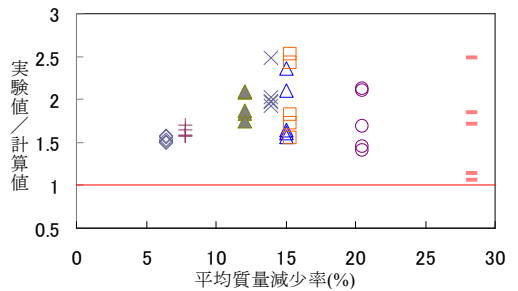


図 4 実験値と計算値の比較