

京都大学 学生会員○中元 佑一 正会員 山本 貴士
正会員 高谷 哲 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

本研究では、引張主筋に、電食によるはり軸方向の腐食量の分布を与えた RC はりに対して曲げ載荷試験を行い、引張主筋の腐食部位が耐荷挙動に与える影響を明らかにすることを目的とした。また、実験で得られた部材中の腐食量の分布を用いて、実構造物の耐荷力評価に適用するための分布の考慮方法について検討を行った。

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、引張主筋比は $p=1.39\%$ である。コンクリートの目標配合強度は $f_{\sigma}=24\text{ N/mm}^2$ とした。

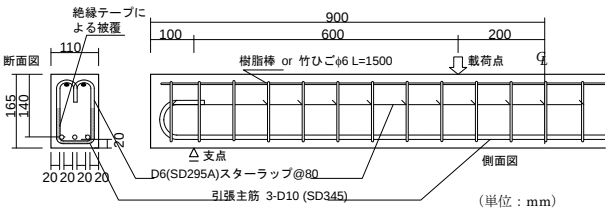


図 1 供試体の形状・寸法

2. 2 実験要因

鉄筋腐食部位としてその区間をせん断スパン，または曲げスパンに限定し，腐食区間に対する目標質量減少率を 0%(健全)，3%，10%，20%とした。

2. 3 載荷方法および測定項目

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。載荷終了後に供試体から鉄筋をはり出し，JCI-SC1 法に基づき除錆した後，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筋の質量差を腐食前の質量で除して求めた。

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，曲げ載荷試験結果

3. 1 腐食状況

腐食鉄筋の質量減少率，平均鉄筋径，平均残存断面積とその標準偏差，および曲げ載荷試験結果を表 1 に示す。

鉄筋の軸方向 腐食分布	目標質量 減少率(%)	平均質量減少率(%)			Ave.	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			降伏 荷重 (kN)	最大 荷重 (kN)
		L	M	R		L	M	R	L	M	R	L	M	R		
なし															37.0	43.7
															42.3	48.2
せん断スパン	3	2.84	2.88	2.53	2.75	8.45	8.39	8.47	56.06	55.30	56.31	0.45	0.74	0.63	43.6	47.9
	10	4.18	6.78	4.63	5.20	8.64	8.44	8.56	58.59	55.90	57.51	2.33	2.17	1.25	41.0	51.0
	20	5.61	7.70	5.25	6.19	8.47	8.41	8.40	56.38	55.52	55.39	0.39	0.99	0.75	42.0	52.4
曲げスパン	3	2.91	2.91	3.20	3.00	8.45	8.45	8.42	56.08	56.12	55.73	0.40	0.84	0.56	43.0	51.2
	10	4.96	6.66	5.90	5.84	8.40	8.25	8.35	55.48	53.44	54.70	0.53	1.91	0.82	40.1	49.8
	20	4.32	5.16	6.37	5.28	8.36	8.36	8.39	54.93	54.83	55.26	0.30	1.03	1.06	42.2	52.8

す。ほとんどの供試体において目標とした軸方向の区間とその区間外に若干至る腐食が確認された。一方，質量減少率は目標を 3%としたものを除いて，目標値を大きく下回る結果となった。

3. 2 破壊形式およびひび割れ性状

全ての供試体において曲げ引張破壊によって終局に至った。せん断スパンを腐食対象としたものでも，曲げ引張破壊からせん断破壊に変化する供試体はなかった。

3. 3 降伏荷重および最大荷重

腐食区間の質量減少率と降伏および最大荷重比の関係を図 2 に示す。縦軸は，健全供試体の降伏および最大荷重を 1 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を用い

て RC 断面計算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。なお、降伏荷重は、荷重－変位曲線の傾きが、初期の傾きから乖離し始める点とした。

健全供試体において、変形および破壊が荷重点直下の断面に集中し、降伏および最大荷重が小さくなった影響を受け、腐食供試体の降伏および最大荷重が健全より大きくなったようである。質量減少率が小さい段階であり、ほとんどの供試体で大きな荷重低下は見られない。ただし、降伏荷重において、平均断面減少分の低下の割合に応じた低下を示しているようである。曲げスパン内あるいはせん断スパン内の曲げモーメントが最大となる付近の断面の腐食の影響を受けて、部材の降伏開始が早まったと考えられる。

4. 腐食の分布を考慮した曲げ耐荷力評価

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部材中の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荷力を算定した。また、鉄筋径の測定位置について、部材の全長から任意に 3 断面を選定する場合と、健全と見られる区間は選定せず、腐食ひび割れの発生領域から 3 断面を選定する場合における算定結果の相違について検討を行った。

供試体軸方向の全長、または腐食ひび割れ発生領域から任意の 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 本ある引張主筋の平均値とした。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、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。供試体全長および腐食ひび割れが発生した領域の 2 通りを母集団として特性値を算出し、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荷力を算定した。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質量減少率の関係を図 3 に示す。全ての供試体に関して最大荷重の実験値を安全側に評価できた。また、鉄筋径の母集団を全長よりも腐食ひび割れ発生領域に限定した方が計算値に対する実験値の比が小さく、実験値をより精度良く算定できているといえる。同様に腐食ひび割れ発生領域に限定した方が、計算値に対する実験値の比のばらつきが小さくなる傾向にある。

5. 結論

かぶりののはつり位置数点において鉄筋径を直接計測し、測定値から部材中の引張主筋の腐食分布特性を推定して曲げ耐荷力を算定する手法において、腐食ひび割れの発生状況に応じて領域分けした部位に限定して求めた引張主筋断面積の特性値を用いることで、腐食を生じた RC 曲げ部材の曲げ耐荷力を安全側に算定できるとともに、健全と腐食部位の混在した部材全長から引張主筋断面積の特性値を求めて算定した曲げ耐荷力よりも実験値を精度良く算定できた。

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

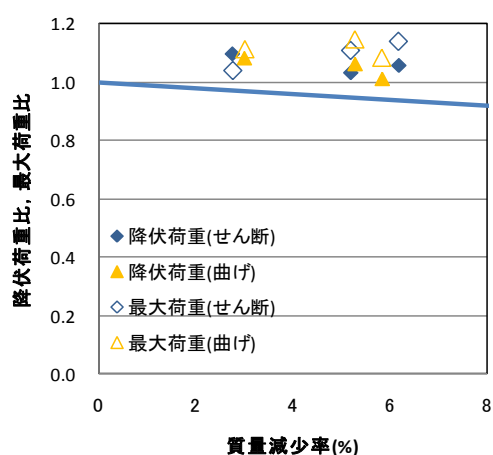


図 2 質量減少率と降伏荷重比，最大荷重比

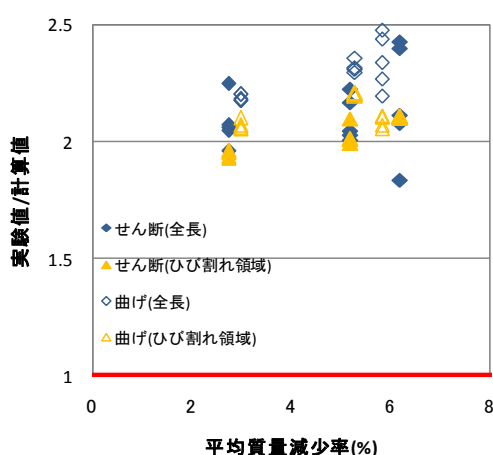


図 3 実験値と計算値の比較