

京都大学 学生会員○半田 伸太郎 正会員 山本 貴士
正会員 服部 篤史 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

本研究では、引張主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、載荷終了後の RC 供試体からはとり出した引張主筋の断面減少分布を詳細に測定することにより、引張鉄筋の腐食の分布と曲げ耐荷性状の関係を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

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) = 80×140(113.5)×1460(1260) mm の引張側 1-D13(SD345)の単鉄筋 RC はりで、引張鉄筋比は $p=1.40\%$ である。コンクリートの水セメント比は 0.62 で、載荷時のコンクリート強度は 36.1~41.6 N/mm² であった。

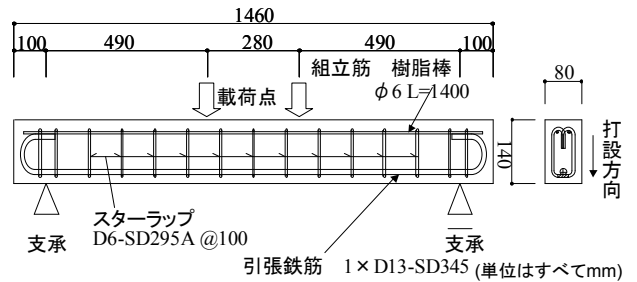


図 1 供試体の形状・寸法

2.2 実験要因

鉄筋全長に対する目標平均質量減少率を、健全、腐食量 3%、10%、30%とした。引張主筋の腐食は電食で模擬し、積算電流量は目標腐食減少率 3%、10%、30%に対してそれぞれ 69.2 A・h、230.8 A・h、692.4 A・hとした。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。

2.3 測定項目および載荷方法

載荷終了後に供試体から主筋をはとり出し、60℃、10%のクエン酸水素アンモニウムに 24 時間浸漬して腐食生成物と取り除いた後、鉄筋の質量と 50mm 間隔で鉄筋径（各断面の最小径となる方向）を測定した。載荷は、スパン長 1260mm に対し曲げスパン 280mm 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。なお、以上の実験計画は、土木学会「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」で検討している「鉄筋が腐食した RC 部材の載荷実験に関する統一試験方法」で企画され、その一環として実施したものである。

3. 実験結果および考察

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の結果を表 1 に示す。平均残存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、鉄筋径の平均値は小さく、標準偏差は大きくなる傾向にある。電食であっても、電食電流の流れやすさは供試体軸方向の部位によって異なり、腐食ひび割れが発生した後はさらに大きく相違して鉄筋径に分布が生じたと考えられる。

表 1 鉄筋の質量減少率、鉄筋径、残存断面積

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
3	3.8	11.62	106.0	3.44
	4.1	11.67	106.9	2.57
10	13.2	11.00	95.2	7.35
	11.9	11.24	99.4	7.95
	12.9	11.28	100.1	8.87
	33.7	9.54	74.0	23.97
30	30.2	10.08	82.2	24.52
	28.9	10.05	81.1	21.33

3.2 曲げ載荷試験

3.2.1 荷重-変位曲線および破壊形式

各腐食段階のうち 1 体の荷重-変位曲線を図 2 に示す。質量減少率 10%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むかえ、その後圧壊の進行により終局に至る挙動を示している。曲げ区間の小さい鉄筋径位置で鉄筋の降伏が先行し、降伏荷重が小さくなるとともに、鉄筋の断面

減少により最大荷重が低下している様子が伺える。これに対し、質量減少率 30%では、鉄筋腐食量の軸方向のばらつきが大きくなり、この結果、区間平均的な破断ひずみが小さくなることで、曲げ圧縮部コンクリートの圧壊前に引張主筋が破断して終局に至った。特に、3 体中の 1 体は、部材降伏と同時に引張主筋が破断し、降伏荷重、最大荷重ともにきわめて小さくなった。

3.2.2 降伏および最大荷重

降伏荷重および最大荷重と質量減少率の関係を、それぞれ図 3、図 4 に示す。それぞれ縦軸は健全時の降伏荷重、最大荷重で除して荷重比として表した。図中には、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荷重および最大荷重の計算値をあわせて示す。降伏荷重および最大荷重は、質量減少率の増加とともに低下し、その低下率は鉄筋の断面減少分の荷重低下にほぼ等しい。しかし、腐食鉄筋の軸方向の断面積分布の影響で計算値を若干下回るものも見られる。また、電食でなく、実際の腐食では、さらに耐荷力にばらつきが大きくなる可能性がある。そこで、測定した鉄筋径の分布に基づいて、その統計的特長を考慮し、曲げ耐荷力の算定に適用することを試みた。

3.3 腐食分布を考慮した曲げ耐荷力の算定

鉄筋径の測定結果から求めた断面積の平均値 $A_{s,corr,m}$ と、標準偏差 σ を求め、その分布形として正規分布 $N(A_{s,corr,m}, \sigma^2)$ を仮定する。このとき、腐食鉄筋断面積の特性値 $A_{s,corr,k}$ は、次式(1)で表される。

$$A_{s,corr,k} = A_{s,corr,m} - k\sigma \quad (1)$$

ここで、腐食鉄筋の断面積がその特性値を下回る確率を 5% と定め ($k=1.64$)、各腐食段階で特性値を求める。これを用いて各供試体の降伏荷重を求めた。降伏荷重比の実験値および計算値と平均質量減少率の関係を図 5 に示す。ほぼ全ての供試体において降伏荷重を安全側に評価することができた。しかし、引張主筋破断により終局に至った供試体では、特性値を用いた計算値を下回っている。局所的に鉄筋径が小さくなっていたと予想される破断位置の鉄筋径が測定できなかったことも一因として考えられるが、腐食分布のばらつきが大きくなる領域では特性値の定め方をさらに検討する必要がある。

4. 結論

- (1)鉄筋の平均質量減少率が大きくなるにつれ、鉄筋径の平均値は小さく、標準偏差は大きくなる。
- (2)質量減少率の増加にともなう耐荷力の低下は、腐食鉄筋の平均断面減少を考慮することで求められる。しかし、腐食分布のばらつきにより、平均断面減少分の耐荷力低下よりも大きくなることもある。
- (3)測定した鉄筋径の分布に基づいた腐食鉄筋断面積の特性値を用いて耐荷力を算定することで、耐荷力の実験値を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的な性能小委員会」(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。

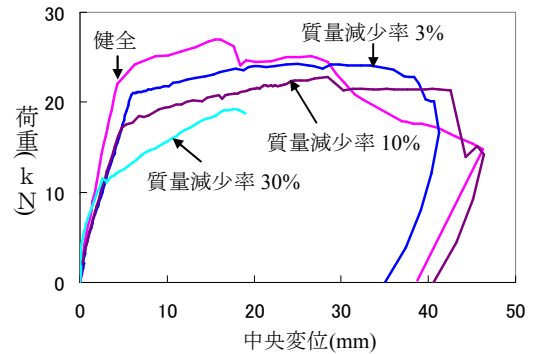


図 2 荷重-変異曲線

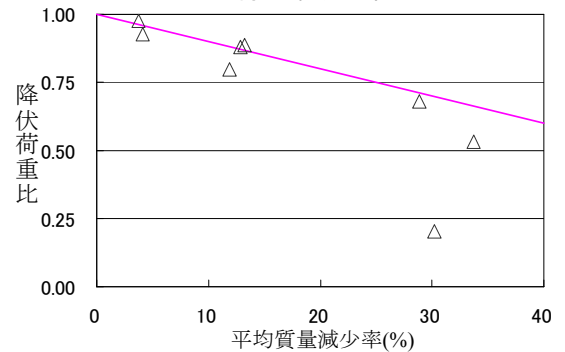


図 3 降伏荷重と質量減少率の関係

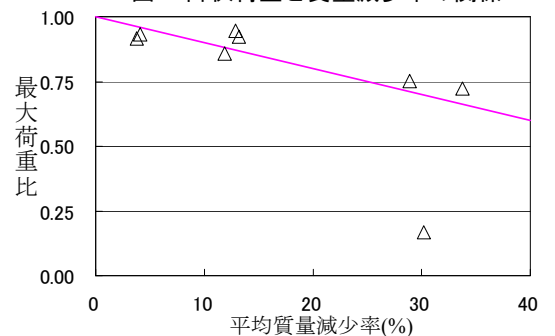


図 4 最大荷重と質量減少率の関係

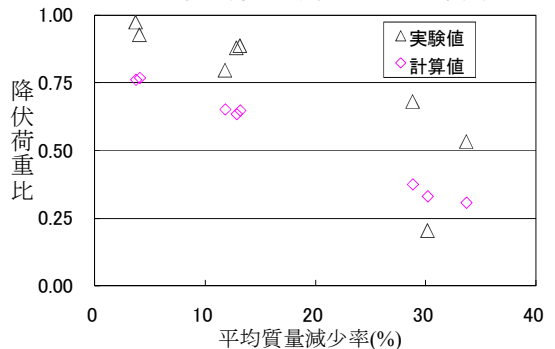


図 5 降伏荷重の実験値および計算値と平均質量減少率の関係