

腐食鉄筋を有するRC部材の耐力低下と耐力算定式の関係について，その2

東電設計（株） 正会員 ○鈴木 修一
 中央大学理工学部土木工学科 学生会員 村上 祐貴
 中央大学理工学部土木工学科 正会員 大下 英吉
 東京電力（株） フェロー会員 堤 知明

1. はじめに

これまで半世紀にわたり建設されてきた既設RC構造物の多くが補修・改修時期を迎えている。施設管理者は限られた予算の中でそれらの構造物の適切な維持管理が求められている。その実現には既設構造物の将来予測技術の精度向上が重要となる。そこで、以前より、鉄筋が著しく腐食する塩害劣化を対象としたRC構造物の残存耐力に関する研究を実施している。これまでの研究では、適切なせん断補強筋を有さない古い既設RC構造物を対象とした鉄筋腐食に伴う残存耐力に関する実験的な検討を行った。昨年は、その研究成果として、せん断補強筋のないRC梁部材は鉄筋腐食に伴う耐力低下が著しく、鉄筋腐食率が20%程度になると残存耐力は健全な状態の35%程度になることを報告した¹⁾。その後、現行のコンクリート標準示方書（コ示）に準拠し²⁾、適切なせん断補強筋を有するRC構造物の鉄筋腐食に伴う残存耐力に関する実験的な研究を実施した。本報告では、その実験より得られたせん断補強筋を有するRC梁部材の鉄筋腐食率と残存耐力および終局曲げ耐力算定式²⁾との関係について述べる。

2. 鉄筋腐食を有するコンクリート部材の残存耐力評価に関する実験

2.1 実験概要

図-1に示すようなRC梁供試体を電食により鉄筋腐食させ、曲げ載荷試験を実施した。表-1は本報告で取り上げるせん断補強筋を有する供試体の検討ケースである。鉄筋腐食については、健全な状態、腐食あり（引張鉄筋の腐食率10,20および30%）の4水準を考えた。腐食領域として、鉄筋全長を対象とするばかりでなく、等曲げ区間の鉄筋だけ部分腐食させた場合の検討も行った。同表には実際の鉄筋腐食率の測定結果も併せて示した。部分腐食はほぼ目標とする腐食率であるが、鉄筋全長を腐食させた供試体には、実際の腐食率が目標腐食率に達していないものもある。引張鉄筋ばかりでなくせん断補強筋の腐食率も測定したところ、せん断補強筋の腐食率は引張鉄筋よりもかなり大きくなる傾向が見られる。表-2は材料試験より得られた供試体の材料特性である。ここに示した鉄筋降伏応力は、鉄筋降伏時の引張力を計測より得られた鉄筋断面積の平均値で除した見かけ上のものである。これと鉄筋腐食率には線形関係が見られたため、表中には鉄筋腐食率の関数として示した。なお、線形関係になる理由としては、腐食した鉄筋は局所的に腐食の進行している領域が存在し、その領域の影響が支配的であること、腐食のパラッキが鉄筋腐食率の増加とともに大きくなること等が考えられる。

2.2 実験結果

図-2に各検討ケースの荷重-たわみ関係を示す。横軸は供試体中央で計測したたわみ量、縦軸は載荷荷重である。鉄筋全長を腐食させた供試体では、健全な状態（供試体A）に比べて腐食率の増加に伴い最大荷重が低下する傾向が見られる。腐食率4%（供試体B）では約5%程度の低下であるのに対し、腐食率14~18%（供試体B~E）では約30~40%の低下が見られる。等曲げ区間のみ部分腐食させた供試体（FおよびG）では、鉄筋腐食率に伴い耐力低下は見られるものの、その低下の程度は鉄筋全長を腐食させた供試体に比べて小さい。供試体の破壊性状は、いずれの供試体も延性的な破壊挙動であった。せん断補強筋なしの供試体では、供試体支点近傍で生じた付着割裂により脆性的な破壊挙動であった^{1),3)}。せん断補強筋がある場合には、支点近傍での付着割裂は生じていない。したがって、両者の破壊挙動の相違は、付着割裂の有無が支配的な要因になっていると考えられる。

3. 筋腐食率と残存耐力および耐力評価式との関係

図-3は、鉄筋腐食率と各供試体の耐力比の関係を示したものである。耐力比は各供試体の耐力を健全な状態（供試体A）の耐力で除して無次元化した値である。既往のせん断補強筋なしの場合の耐力比¹⁾も併せて示した。また、

キーワード 鉄筋腐食，耐荷性能，維持管理

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3 東電設計（株） TEL03-4464-5527

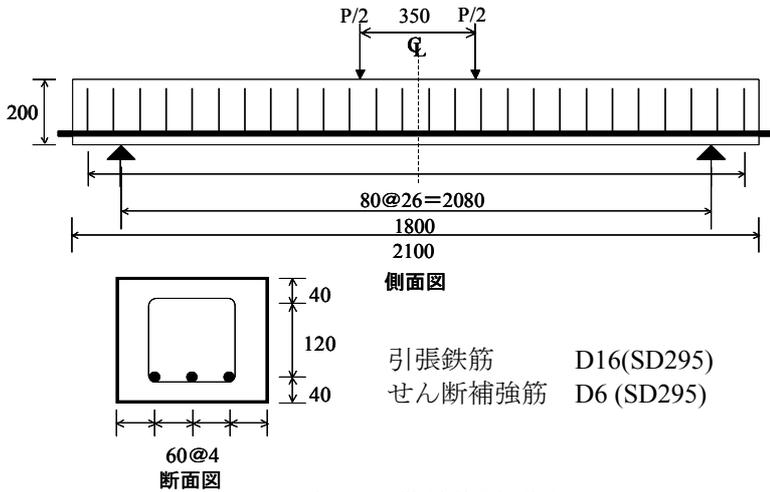


図-1 供試体概要図

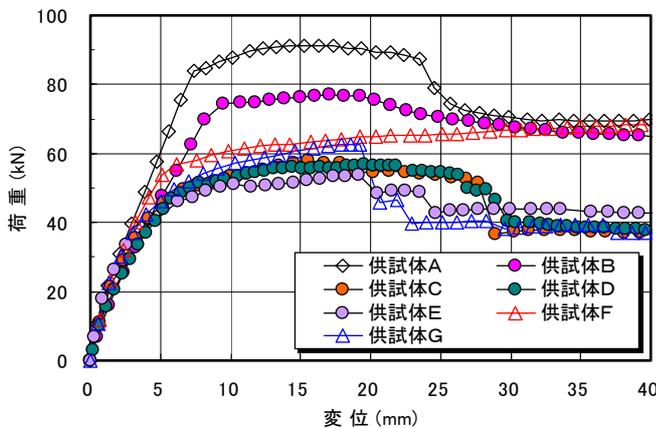


図-2 荷重-たわみ関係

表-1 検討ケースと鉄筋腐食率

検討ケース	目標腐食率	腐食領域	測定結果(平均腐食率)	
			引張主筋	せん断筋
供試体A	0%	—	—	—
供試体B	5%	全長	3.7%	13.0%
供試体C	10%		13.5%	63.4%
供試体D	20%		15.9%	57.4%
供試体E	30%		17.9%	59.3%
供試体F	20%		等曲げ区間のみ	20.2%
供試体G		19.4%		76.9%

表-2 材料特性

コンクリート	圧縮強度	28.5	N/mm ²
	弾性係数	2.27×10^4	N/mm ²
鉄筋(引張鉄筋)	降伏応力	$-2.43r+369$ ※	N/mm ²
	弾性係数	2.1×10^5	N/mm ²

※r: 鉄筋の平均腐食率

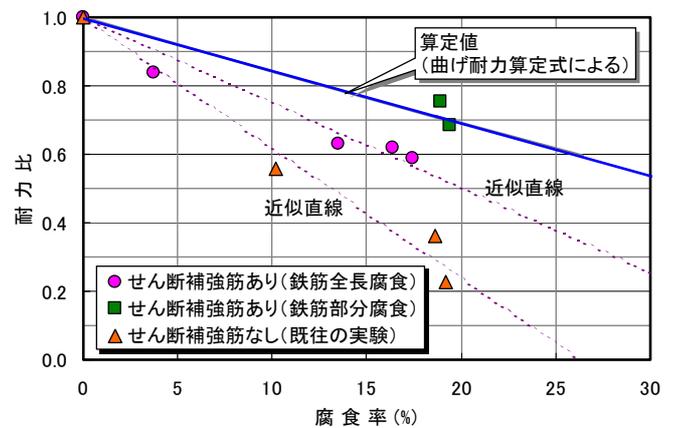


図-3 鉄筋腐食率と耐力比の関係

コ示に基づく終局曲げ耐力算定式を用い、鉄筋腐食率に応じて鉄筋量や鉄筋降伏応力を変化させて求めた耐力を健全な状態の耐力で無次元化した算定値を青い太線で示した。実験結果は、いずれの供試体においても鉄筋腐食に伴い耐力は低下するものの、その低下割合はせん断補強筋あり（供試体 B～E）の方がせん断補強筋なしに比べて小さい。これは、せん断補強筋のコンファインド効果により、腐食ひび割れ幅の進展が拘束され、鉄筋とコンクリートの付着応力の低下さらには鉄筋の抜け出し挙動が抑制されるためと考えられる。しかし、せん断補強筋ありの場合でも、算定値と比べると耐力の低下割合が大きい。したがって、梁全長のわたり鉄筋が腐食した場合には、鉄筋断面減少や降伏応力度の低下といった材料劣化のみの評価では、残存耐力を過大評価する可能性がある。本実験結果に従えば、せん断補強筋を有する梁部材で、鉄筋腐食が梁全長にわたる場合の耐力低下率は、鉄筋腐食率の約 2.5 倍がひとつの目安になりそうである。鉄筋腐食が等曲げ区間のみの場合の耐力低下率は算定値とほぼ同様な値となった。これは腐食領域が部分的なので、梁全体として十分な付着力が確保されているためである。

4. おわりに

本報告では、適切なせん断補強筋を有する RC 構造物でも、鉄筋腐食が梁全長にわたり生じると、材料劣化のみを考慮した評価では残存耐力を過大評価する可能性があることを示した。本実験での供試体は定着部がストレート形状であるが、定着フックを有する RC 構造物ならば、その形状効果により付着力の低下をカバーできるため、残存耐力の低下率は本実験よりも小さくなるはずである。したがって、今後、フックが耐力に与える影響の把握が必要である。さらに、これまでの実験結果を踏まえて数値解析による評価手法の構築も重要な課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木修一, 木下哲秀, 大下英吉, 福本幸成: 鉄筋腐食を有する RC 部材の耐力低下と耐力算定式の関係について, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集 5-029, pp.57-58, 2005.9.
- 2) 土木学会: 2002 年制定 コンクリート標準示方書, 2002.3.
- 3) 村上祐貴, 木下哲秀, 鈴木修一, 大下英吉, 福本幸成: 鉄筋腐食を生じた RC 梁部材の残存曲げ耐力性状に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.17, No.1, Issue40, pp.61-74, 2006.1.