

鉄筋コンクリート梁の曲げ性状に及ぼす腐食形態の影響

羽田コンクリート工業(株)(元金沢工業大学大学院) 学生会員 ○矢野真義
金沢工業大学環境・建築学部 正会員 宮里心一

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材とは、鉄筋とコンクリートが一体となって外力に抵抗する構造体である。そのため、鉄筋腐食を伴う材料劣化のみならず、構造部材としての耐荷力の低下状況を定量的に把握する必要がある。しかしながら、コンクリート中の塩分移動や腐食発生の評価に比べると、鉄筋腐食に伴う力学性能の変化に関する検討は圧倒的に研究例が少なく^{1) 2)}、体系的な取組みがなされていない。以上の背景から本研究の目的は、塩害により劣化したモルタル梁供試体を用い、腐食形態(局部腐食、全面腐食)および腐食量が曲げ性状に及ぼす影響を明らかにする。

2. 梁の曲げに対する実験的検討

2.1 実験概要

図-1 に供試体概要を示す。供試体は、100×100×700mmの角柱供試体であり、水セメント比を60%とした。内部には、直径6mmの鉄筋(丸鋼)をかぶり10mmの位置に埋設し、その端部では鉄筋の定着を考慮して90°フックを設けた。腐食形態の種類は、局部腐食と全面腐食の2種類に設定した。そのため、局部腐食供試体では、中央に厚さ0.5mm、高さ50mmのろ紙を挿入し、さらにその近傍20mmの範囲では鉄筋にろ紙を巻き、曲げひび割れを模擬した。一方、全面腐食供試体では、練混ぜ水にモルタル中で15kg/m³相当のNaClを添加した。その後、作製した供試体の腐食程度を3水準に変化させた。すなわち、鉄筋の目標侵食率(目標直径)は5%(5.75mm)、10%(5.50mm)及び20%(5.00mm)である。したがって、全8ケースについて、各2本の供試体を用いて検討した。上記の通りに腐食させるため、脱型後全ての供試体は水中(温度20℃)にて28日間の初期養生後、次の2種類の方法にて暴露を行った。

1)塩害促進暴露試験：塩水浸漬(温度50℃)2日間と乾燥(温度50℃、湿度60%)5日間を1サイクルとし、塩害促進暴露を行った。また、実際の暴露期間(目標侵食率)は、次に示す通りである。すなわち、140日間(5%)、336日間(10%)及び672日間(20%)である。2)電食試験：モルタル中の鉄筋を陽極及び3%の食塩水中に配置した銅板を陰極とし、直流安定化電源を使用して約13.5mAの電流を通電させた。さらに、電食期間(目標侵食率)は、次に示す通りである。すなわち、局部腐食の場合、3日間(5%)、5日間(10%)及び9日間(20%)である。一方、全面腐食の場合、12日間(5%)、20日間(10%)及び28日間(20%)である。

2.2 曲げ試験方法

ロードセル、5つの変位計、5つのひずみゲージ、及び3つのパイ型変位計(図-2 に設置状況を示す)を用いて、変形性状と破壊状況を確認した。また、各荷重段階におけるひび割れ発生状況も観察した。さらに試験後、供試体内部の鉄筋を取り出し、腐食減量を計測した。

2.3 侵食率と腐食減量の定義

a) 侵食率は、試験前の鉄筋の直径 d_1 (mm) と腐食生成物除去後の鉄筋の直径 d_2 (mm) を測定し、式(1)より求めた。

b) 腐食減量は、腐食対象範囲における試験前の質量 m_1 (g) と腐食生成物除去後の質量 m_2 (g) を測定し、式(2)より求めた。なお、腐食対象範囲とは、局部腐食供試体の場合に20mmの領域とし、全面腐食供試体の場合には600mmの領域とした。

$$\text{侵食率}(\%) = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \quad \dots(1) \quad \text{腐食減量}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \dots(2)$$

キーワード:鉄筋コンクリート梁、腐食形態(局部腐食、全面腐食)、腐食量、曲げ性状、荷重-変位曲線

連絡先:〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1 TEL:076-248-1305 FAX:076-294-6713

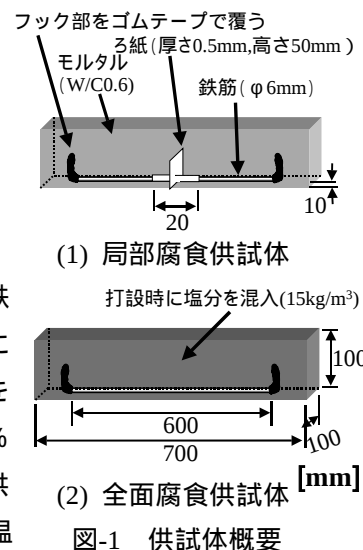


図-1 供試体概要

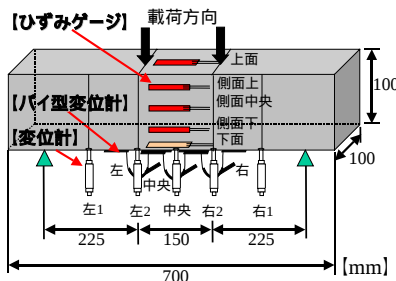


図-2 各測定器具の設置状況

2.4 実験結果と考察

図-3, 図-4 に荷重-中央変位曲線を, 表-1 に鉄筋の腐食状況を示す。これらによれば, 侵食率が増加するにつれて曲げ破壊荷重は低下することが認められる。特に, 図-3 より局部腐食における侵食率が 42% の時は, 曲げ破壊荷重の低下が著しい。すなわち, 早期にひび割れが発生後, 終局時には鉄筋が破断し, 供試体は折れた。これは, 鉄筋の断面積が大幅に減少し, 鉄筋の引張破壊荷重が急激に低下したためと考えられる。したがって, 局部腐食により一箇所腐食が進行すると, 極めて危険な状態になることが判断できる。図-5, 図-6 に, 腐食減量と曲げ剛性(曲げモーメント M と曲率 ϕ との関係より, その勾配を曲げ剛性とする)の関係を示す。これらによれば, 腐食減量が増加するにつれて, 曲げ剛性は低下することが認められる。特に, 図-5 より局部腐食における侵食率が 42% の時は, 曲げ剛性の低下が著しいことが認められる。表-1 鉄筋の腐食状況

試験方法	局部腐食			全面腐食		
	腐食減量	鉄筋の換算直径	侵食率	腐食減量	鉄筋の換算直径	侵食率
塩害促進暴露試験	28.3%	5.08mm	15.3%	5.0%	5.80mm	3.3%
電食試験	11.3%	5.65mm	5.8%	2.5%	5.92mm	1.3%
	24.8%	5.20mm	13.3%	6.5%	5.80mm	3.3%
	66.6%	3.47mm	42.2%	11.1%	5.66mm	5.7%

3. 梁の曲げに対する理論的検証

3.1 曲げ破壊荷重の算出方法

2.と同様の方法で作製・暴露した円柱供試体に対して, JIS A 1149 に準じて圧縮強度試験を行い, 圧縮強度(f_c)を求めた。次に, 終局曲げモーメント M_u と曲げ破壊荷重 P_u は, 式(3)と式(4)により求めた。なお, 鉄筋の断面積は, 腐食減量より換算した直径から算定した。

$$M_u = A_s f_u \left(d - \frac{1}{2} \frac{A_s f_u}{0.85 f_c b} \right) \quad \dots(3) \quad P_u = \frac{16 M_u}{3l} \quad \dots(4)$$

ここで, A_s は鉄筋の断面積, f_u は鉄筋の引張強さ(451kN/mm²),

d は有効高さ(87mm), b は梁の幅(100mm), l は支間長(600mm)である。

3.2 理論値による検証

図-7, 図-8 に, 腐食形態と腐食量が曲げ破壊荷重に及ぼす影響を示す。これらによれば, 局部腐食と全面腐食ともに, 腐食減量の増加につれて曲げ破壊荷重が低下することが認められる。特に, 図-7 より局部腐食における腐食減量が 66% の場合, 大幅に低下することが確認できる。

4. 結論

1) 全面腐食と比較して局部腐食では, 曲げ破壊荷重及び曲げ剛性の低下が著しかった。2) 局部腐食における侵食率が 42% の時, 曲げ破壊荷重は約 50% に低下し, 終局時には急激な破壊に至った。3) 上記の結果は, 実験的検討のみならず, 理論的に検証された。

【参考文献】

- 1) 青山敏幸ほか: 塩害により鉄筋が腐食した RC 部材の曲げ性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.883-888(1998)
- 2) 山本貴士ほか: 腐食鉄筋を有する炭素繊維シート拘束束曲げ部材の変形特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.1093-1098(2001)

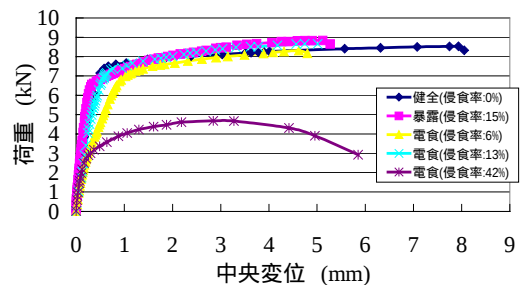


図-3 荷重-中央変位曲線(局部腐食)

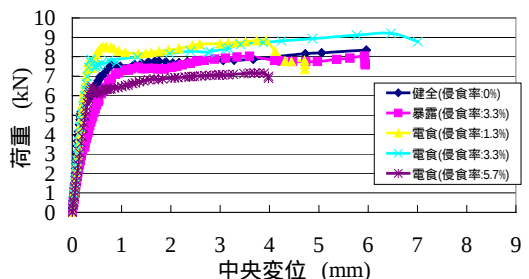


図-4 荷重-中央変位曲線(全面腐食)

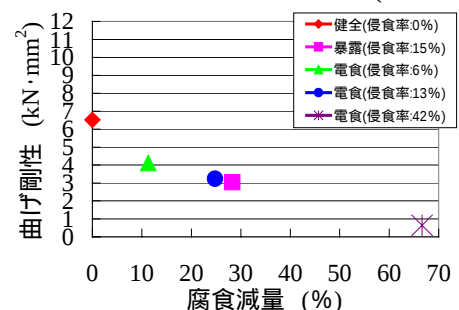


図-5 腐食減量と曲げ剛性の関係(局部腐食)

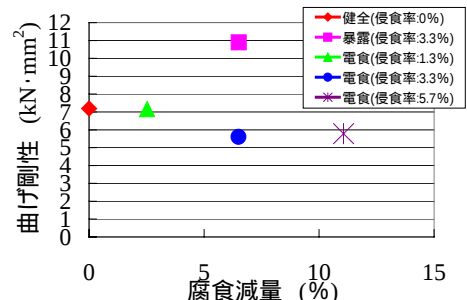


図-6 腐食減量と曲げ剛性の関係(全面腐食)

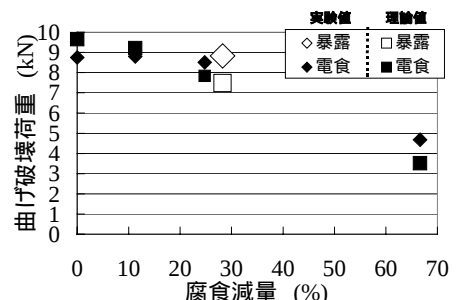


図-7 実験値と理論値の比較(局部腐食)

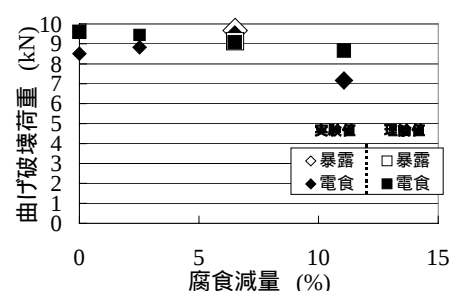


図-8 実験値と理論値の比較(全面腐食)