

腐食促進実験による RC および PRC 部材の鋼材腐食に関する研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○川名 桂子
 首都高速道路株式会社 西岡 友樹
 埼玉大学大学院 フェロー 睦好 宏史
 埼玉大学大学院 正会員 浅本 晋吾

1. 目的

コンクリート構造物の老朽化が深刻となる時代を迎え、耐久性評価方法や劣化予測手法の確立は急務である。本研究はひび割れを人為的に導入した RC 梁および PRC 梁に対して腐食促進実験を行い、ひび割れの有無およびひび割れ幅の大きさが鋼材腐食に及ぼす影響ならびに耐力低下について、実験および解析的に明らかにすることを目的としたものである。

2. 実験的検討概要

実験に用いた梁供試体の形状寸法を図-1 に示す。各供試体には、腐食促進実験を行う前に、静的 2 点载荷により所定のひび割れ幅を有する曲げひび割れ(表-1)を導入した。腐食促進実験中は、図に示すように、供試体上部に PC 鋼材を配置してプレストレスを与え、梁の下部に生じさせたひび割れ幅を制御する構造とした。腐食促進実験は、直流安定化電源を用いて、対象とする鉄筋を陽極、供試体の底面に設置したチタンメッシュを陰極として通電を行った。なお、供試体は質量パーセント濃度 5%の NaCl 溶液の入ったアクリル製プール内に設置した。電流密度は、各鋼材の表面積に対して $557\mu\text{A}/\text{cm}^2$ に設定し通電を行った。

通電終了後の供試体に対して载荷実験を行い曲げ性状を求めた。さらに载荷実験終了後に鋼材をはつり出し、質量パーセント濃度 10%のクエン酸水素二アンモニウムに 2 日間漬けて除錆した後、質量の減少量を計測した。

3. 実験結果

表-1 に実験要因及び载荷実験結果、図-2 に荷重と変位の関係、図-3 に PRC 供試体の曲げ耐力と通電日数及び引張鉄筋質量減少率の関係を示す。RC 供試体に着目すると、導入ひび割れ幅の大きい供試体ほど耐力が低下している。しかし、RC 供試体の鋼材質量減少率に着目すると、RC-14-007 と RC-7-02 では質量減少率は同程度であり、RC-14-0 と比較しても約 2%しか差がなく、各供試体で耐力ほどの大きな違いはないことが確認できる。これは、はつり出し後の鋼材の状況から、腐食性状の違いによる影響であると推測される。すなわち、質量減少率が同程度である場合においても、腐食が鋼材全面に及ぶ場合や局所化する場合で、腐食のパターンによって耐力が異なってくるものと考えられる。また、PRC 供試体に着目すると、通電日数が増加するにしたがって、耐力低下が生じていることが確認できる。鋼材をはつり出した結果、PC 鋼より線にまで腐食が進行しておらず、耐力低下は主に引張鉄筋の腐食により生じたと考えられる。

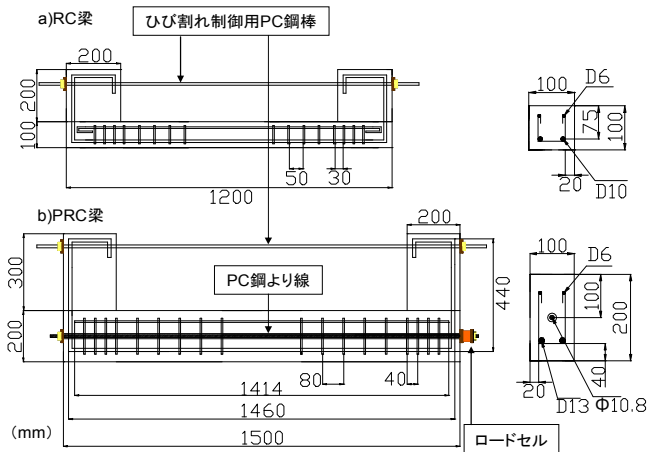


図-1 供試体形状寸法

表-1 実験要因および载荷実験結果

供試体	通電日数 (日)	導入曲げひび割れ (mm)	終局耐力減少率 (%)	引張鉄筋質量減少率 (%)
RC-ref	0	0	0	0
RC-14-0	14	0	42.8	41.4
RC-14-007	14	0.07	50.3	43.6
RC-7-02	7	0.2	78.2	43.6
PRC-ref	0	0	0	0
PRC-3-007	3	0.07	7.4	12.9
PRC-7-007	7	0.07	24.4	29.2
PRC-14-007	14	0.07	54.8	51.2

キーワード 腐食促進実験, 曲げひび割れ幅, 質量減少率, 供用年数, 劣化予測

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3427

さらに図-3 に示すように、物理的根拠はないが、本実験においては、最大荷重と通電日数、質量減少率はほぼ線形関係になった。したがって、本実験の範囲においては、PRC 梁の場合、PC 鋼より線まで腐食が進行していなければ、引張鉄筋の質量減少率から概ね耐力を予測することが可能であるといえる。

4. 劣化予測

塩害による劣化過程は潜伏期、進展期、加速期、劣化期の 4 つのステージに分けて説明するモデルが一般的に知られている。こうした塩害による劣化過程について、腐食促進日数を変化させた PRC 供試体を用いて、各ステージに相当する実環境下における供用年数を解析的に検討して劣化予測を行った。解析は、中村らの研究において提案した手法を用いた。潜伏期について

では飛沫帯であると仮定し、Fick の拡散則により実橋換算を試みた。この際に鋼材腐食発生限界濃度及び拡散係数を定義する必要がある。鋼材腐食発生限界濃度については、 1.8kg/m^3 を限界値と定義した。また、拡散係数については、コンクリート標準示方書の算定式に基づき、実験で用いた水セメント比から $0.685\text{cm}^2/\text{year}$ と定義した。計算の結果、潜伏期は実橋換算年数 5.3 年に相当するという結果が得られた。供試体のコンクリート内には鋼材腐食発生限界濃度と同値である 1.8 kg/m^3 の塩化物イオンが混入されていることから、これは実験供試体が通電の開始以前に既に 5.3 年間供用された状態にあり、通電の開始直後に鋼材の腐食が開始することを意味している。進展期については市販の有限要素構造解析プログラム WCOMD を用いて、腐食膨張圧を強制変位で模擬し、変位制御型の増分解析により腐食ひび割れが発生するまでの挙動を解析した。飯泉らの研究を参考に、WCOMD で得られた総変位量を腐食量に換算し、ひび割れ発生前の腐食速度で除することで実橋換算年数を求めた結果、進展期は実橋換算年数 6.5 年に相当するという結果を得た。加速期・劣化期についてはファラデーの法則から積算電流量を用いて総腐食量を求め、ひび割れ発生後の腐食速度で除することで実橋換算年数を求めた。これより、3 日間通電した PRC-3-007 は実橋換算年数 3.0 年、1 週間通電した PRC-7-007 は 9.1 年、2 週間通電した PRC-14-007 は 19.7 年に相当するという結果を得た。これは、塩害環境の最も厳しい飛沫帯を想定した上で得られた推定値であるため、劣化状態の安全側を評価していると考えられる。

5. 結論

- (1) 本実験により、曲げひび割れ幅は鋼材の腐食性状に影響を及ぼし、曲げひび割れ幅の大きい供試体ほど鋼材腐食が局所化し、鋼材腐食が局所化した方が全面腐食を生じた場合よりも大きな耐力低下を生じる。
- (2) PC 橋梁が最も厳しい環境下である飛沫帯で供用されたと仮定し、電流密度 $557\mu\text{A}/\text{cm}^2$ で通電を行った場合、実験供試体の劣化程度を実構造物に換算した場合、3 日間で約 15 年間、1 週間で約 21 年間、2 週間で約 32 年間に相当することが推測された。

参考文献

- ・ コンクリート標準示方書〔施工編〕，pp.24-28，2002 年制定
- ・ 中村典昭，睦好宏史，Ha Minh，西岡友樹：塩害によるポステン式 PC 梁の劣化予測，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1025-1030，2006
- ・ 飯泉興平，関博，薛昕：塩化物と中性化の複合作用を受ける RC 部材の鉄筋腐食とかぶりコンクリートに発生するひび割れに関する研究，コンクリート工学年次論文集，vol.27，No.1，2005，pp.925-930

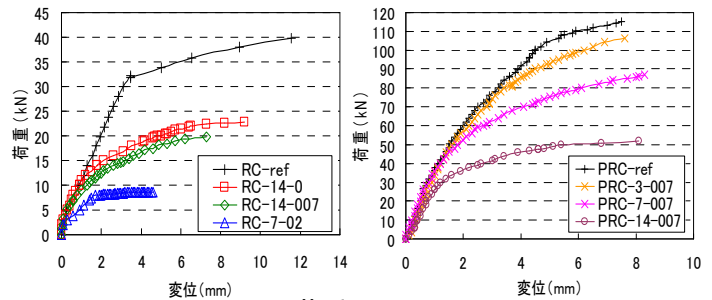


図-2 荷重－変位関係

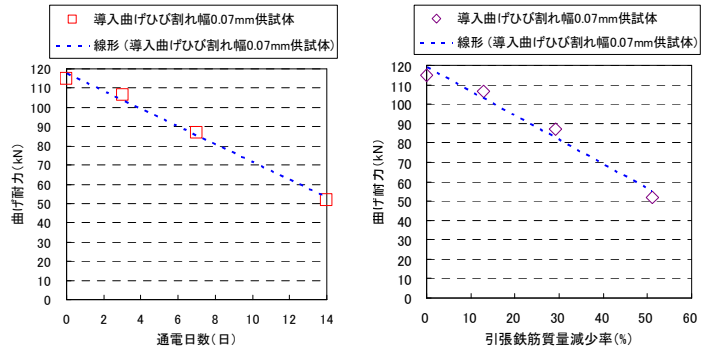


図-3 曲げ耐力－通电日数，引張鉄筋質量減少率関係