

## 第V部門

## 電食によって鉄筋腐食を模擬した供試体の腐食膨張倍率に関する研究

京都大学 学生員 ○石飛 泰将 西日本旅客鉄道(株) 正会員 荒木 弘祐  
 京都大学大学院 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

鉄筋腐食に伴い発生する腐食生成物は元体積より膨張することから、かぶりコンクリートにひび割れが生じる。この時の腐食膨張倍率は一般に2.5倍とされているものの、腐食膨張倍率に関する研究は多くない。そこで本研究では、電食により鉄筋腐食を模擬した供試体に対し、錆層厚さを計測し腐食膨張倍率を算出し、時間との関係を得ることを目的とした。また、実験の過程において、ひび割れ発生時間と電食実験時の鉄筋・銅板間の電圧の関係、電食効率について考察が得られたのでこれを報告する。

## 2. 実験概要

(1)供試体 電食用に供試体を15体作成した。供試体寸法を図1に示す。鉄筋はφ19mm丸鋼を用いた。打設前に60℃、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液に24時間浸せきし、鉄筋黒皮を除去し、鉄筋径を端部より80, 200, 320, 440mmの位置でノギスを用い測定した。

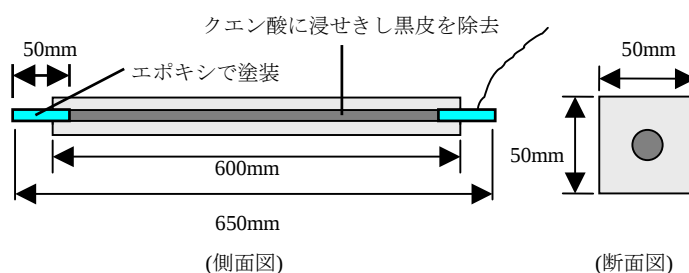


図1 供試体概要

表1 電食供試体一覧

| 電流密度<br>(mA/cm <sup>2</sup> ) | 電食時間<br>(時間) | 供試体数<br>(体) |
|-------------------------------|--------------|-------------|
| 1.0                           | 1.0          | 1           |
|                               | 1.5          | 1           |
|                               | 2.0          | 1           |
|                               | 20           | 3           |
|                               | 30           | 3           |
| 0.5                           | 20           | 1           |
|                               | 30           | 2           |
| 2.0                           | 20           | 1           |
|                               | 30           | 1           |

(2)電食方法 電源に直流電源装置を用い、電解質溶液は5%塩化ナトリウム水溶液を使用した。陰極としての銅板を供試体に巻き付け、陽極を鉄筋に接続し通電を行った。本実験の前に予備実験を行い、印加時間と鉄筋・銅板間の電圧変化を測定した。この時間と電圧変化の関係を参照し、通電時間を設定した。電流密度、通電時間を表1に示す。本研究では、迷走電流を低減するため、端部露出鉄筋を外部に突出させた電食槽をベニヤ板で作成した。電食槽を写真1に示す。

(3)錆層厚さ測定 供試体を乾式高速切断機で長さ100mm毎、6体に切断し、断面を整形するため、#80, #220の紙ヤスリを用いて端面研磨機で研磨を行った。錆層厚さの測定は、中央4体の両切断面、すなわち8断面で行った。測定は断面を対角線で4分割し、それぞれの領域で5点を任意に抽出し、ルーペ(5/1000mmまで)、またはマイクロスコープ(1/1000mm)で測定を行った。

(4)腐食膨張倍率の算出 錆層厚さ測定後、コンクリートを取り除き、60℃、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液に24時間浸せきし、腐食生成物を除去した。鉄筋重量を測定し、比重、鉄筋長さで除し腐食後の健全鉄筋の直径を算出した。鉄筋断面の幾何学的関係を用いて腐食前の鉄筋径、錆層厚さ、腐食後の健全な鉄筋の直径から腐食膨張倍率を算出した。

## 3. 実験結果および考察

(1)電食実験中の電位差の変化 鉄筋・銅板間の電位差と時間の関係の一例を図2に示す。図2を見ると175分辺りから電圧が降下している。ひび割れ発生に伴い鉄筋と銅板が電解質溶液を通して短絡することで電圧が降下すると考えると、この時間に供試体表面にひび割れが発生したものと考えられる。また、図2では2500分辺りに急激な電圧の降下が見られる。これは、



写真1 電食槽写真

Yasutaka ISHITOBI, Kosuke ARAKI, Takashi YAMAMOTO, Atsushi HATTORI and Toyoaki MIYAGAWA

ひび割れから流出した腐食生成物が銅板に接触することで、鉄筋・銅板間の電気抵抗が低下し、電圧が急激に低下したものと推定される。

(2)電食効率 積算電流量と電食効率の関係を図3に示す。本研究では、積算電流量が小さい段階では錆層厚さが小さいため、鉄筋径の公差・誤差の影響を受け、正確な電食効率の算出は困難である。従って図3ではグラフから電食効率が1以上、あるいは負となった供試体について除外した。図3を見ると、電食効率は0.5～0.9を示している。鉄筋腐食を電食で模擬した碓本ら<sup>1)</sup>の研究報告から換算した電食効率は0.3～0.5となることから、本電食槽は迷走電流の低減に一定の効果があつたと考えられる。しかし、印加電流の1～5割が電食に有効でなかったと考えられる。電食効率が1未満となる原因は水素発生が主な原因と推定される。また、ファラデー則に(1)で推定したひび割れ発生時間を代入し、(2)で得られた電食効率の平均値を乗じることで得たひび割れ発生時の腐食減量は電流密度が1.0 mA/cm<sup>2</sup>の時、2.03 mg/cm<sup>2</sup>であつた。これは供試体諸元が類似する田森ら<sup>2)</sup>、武若ら<sup>3)</sup>の研究の結果とほぼ一致する。従って(1)で推定したひび割れ発生時間は適当であり、供試体表面にひび割れが発生した時点で電圧降下が現れると考えられる。

(3)腐食膨張倍率 劣化時間を表す指標としての鉄筋の半径減少量と腐食膨張倍率の関係を図4に示す。半径減少量が大きくなるにつれ腐食膨張倍率が大きくなる傾向にある。これは供試体表面にひび割れが発生するまでは内部拘束圧により腐食生成物の膨張が抑制されるが、ひび割れ発生後は内部拘束圧が解放され、腐食生成物が膨張しやすい環境になり、腐食膨張倍率が大きくなったためと推定される。また、腐食膨張倍率は1～8倍となり吉岡ら<sup>4)</sup>の研究結果とほぼ一致する。

#### 4. 結論

(1)φ19 mm丸鋼を用いたかぶり15 mmの供試体に対し電食実験を行った場合、電流密度が1.0 mA/cm<sup>2</sup>のときひび割れ発生時間は約180分であることがわかった。また、鉄筋・銅板間の電圧降下時点は腐食ひび割れ発生時点と考えられる。

(2)本手法での電食効率は、電流密度によらず0.5～0.9であつた。既往の研究と比較した場合、本電食槽では迷走電流が低減され、効率向上に一定の効果があつたものと考えられる。

(3)電食を行った供試体において半径減少量が大きくなるにつれ、腐食膨張倍率が大きくなることがわかった。

#### 5. 参考文献

1)両引き試験による鉄筋腐食と付着特性に関する研究：碓本 大ら 土木学会 関西支部年次学術講演会概要集 2005 年 2)鉄筋の発錆によるコンクリートのひびわれ性状に関する基礎研究：田森 清美ら コンクリート工学年次論文報告集 10-2 1988 年 3)コンクリート中の鉄筋腐食がRC部材の力学的性状に及ぼす影響：武若 耕司ら 第6回コンクリート工学年次講演会論文集 1984 年 4)鉄筋の腐食生成物の力学的特性に関する基礎的な検討：吉岡 保彦ら 土木学会 第37回年次学術講演会講演概要集第5部 V-136 1982 年

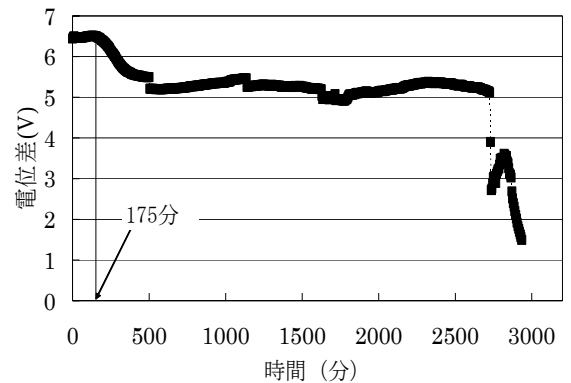


図2 鉄筋・銅板間の電位差

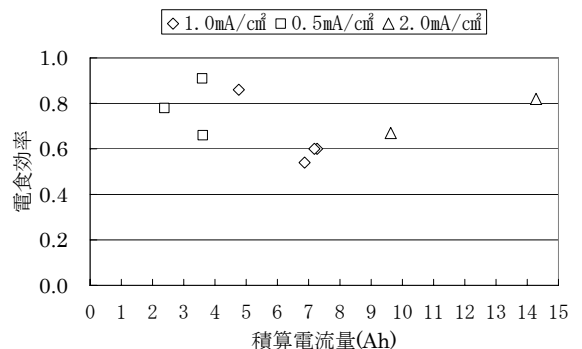


図3 積算電流量と電食効率の関係

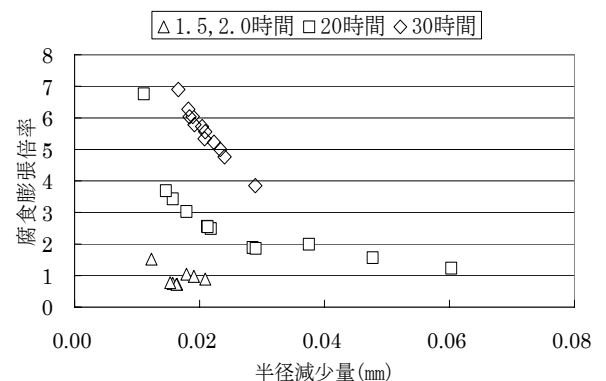


図4 半径減少量と腐食膨張倍率の関係