

第V部門 両引き試験による鉄筋腐食ひび割れと付着強度の関係に関する研究

京都大学 学生員 ○碓本 大 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

鉄筋コンクリート構造物においてコンクリート中の鉄筋が腐食した場合、鉄筋の付着強度や機械的性質が低下し、部材の耐荷性に大きな影響を与えると考えられる。従って外観から把握できる腐食ひび割れ幅からこれらの低下を把握できることが望まれる。付着強度に関しては、従来は片引き試験により関連付けていたが、実構造物の状態との差が指摘されている。そこで、本研究は電食法を用いて鉄筋腐食を模擬した供試体を作成し、両引き試験を行い、腐食ひび割れと付着強度の関係の知見を得ることを目的とした。また、実験の過程において、積算電流量と腐食減量の関係、腐食生成物の体積膨張倍率についての所見が得られたのでこれを報告する。

表1 配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スラン プ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	細骨材率 (%)	水 (kg/m ³)	セメン ト (kg/m ³)	NaCl (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	AE 減水剤 (cc/m ³)
15	12±2	4	62	51	179	288	5	910	905	718

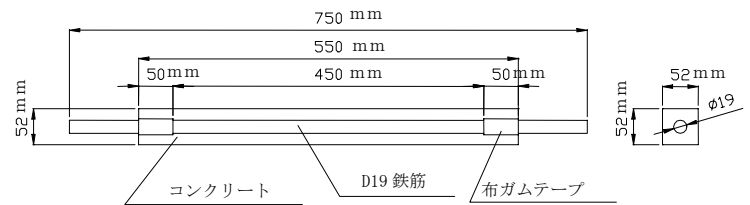


図1 供試体寸法

表2 供試体内訳

計算腐食 減量(g)	通電時間 (h)	供試体数
0	0	4体
3.61	12.83	4体
7.23	25.71	4体
10.86	38.61	4体
14.5	51.56	4体
21.81	77.54	4体
29.16	103.65	4体
43.97	156.28	4体
58.93	209.45	4体
74.03	263.15	4体
合計		40体

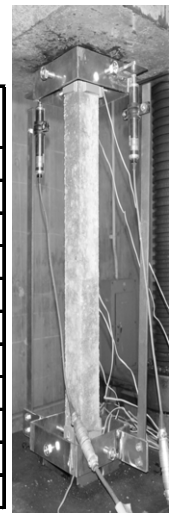


写真1

供試体設置状況

2. 実験概要

(1)供試体 両引き試験供試体を40体作成した。

配合を表1、供試体寸法を図1に示す。鉄筋はD19を用いた。

(2)電食処理 電源に直流電源装置を用い、電食溶液は5%NaCl水溶液を使用し、陰極として銅板を供試体に巻き付け、陽極に鉄筋を繋ぎ、表2に示す通電時間に従い1mA/cm²の定電流を流した。電食処理後、腐食ひび割れ幅を50mm毎、計10点計測し、平均を取り、腐食ひび割れ幅とした。

(3)両引き試験 万能試験機を使用し、写真1のように供試体を配置し、5kN/分で载荷を行った。同時に、突出部の鉄筋ひずみ、コンクリート部分のひずみ、コンクリート部分の変位を測定した。载荷は鉄筋の降伏点で終了し、荷重を保持した状態で、载荷で発生したひび割れをマジックでトレースした。試験終了後、供試体を破壊し、鉄筋を取り出し、60℃、10%のクエン酸水素二アンモニウム水溶液に24時間浸漬した後、腐食減量を測定した。

3. 実験結果および考察

(1)積算電流量と腐食減量 積算電流量と腐食減量の関係を図2に示す。図2中の理論値は、表2にも示したファラデーの式によって求められた値である。この図より、積算電流量が30Ahより小さい場合は理論値に近い値となり、40Ah以上になると理論値を下回る結果となったことが分かる。電食処理後の供試体の母材コンクリートに腐食ひび割れが発生しており、表面のひび割れ部に腐食生成物が付着していたこと、また、通電中に電圧降下が見られたことを考慮すると、電食処理中に発生した腐食ひび割れを通じて、腐食生成物が陰極側の銅板と接触し、電食電流の一部が短絡電流

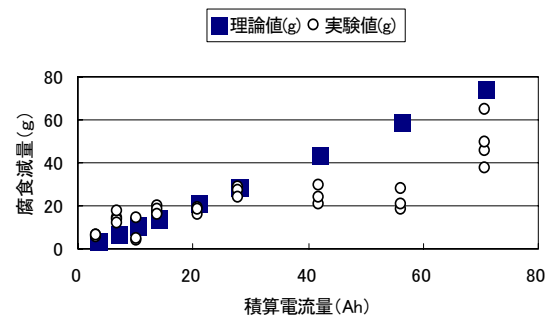


図2 積算電流量と腐食減量

となり鉄筋腐食に使われなかったことが考えられる。

(2)腐食生成物の体積膨張率 ちらの式⁽¹⁾を使い、腐食ひび割れ幅、鉄筋直径、かぶり、腐食減量から腐食生成物の体積膨張倍率を求めた。図3に腐食減量と体積膨張倍率の関係を示す。腐食生成物の体積膨張倍率は、範囲として1.5～7.6倍、平均では3.19倍、標準偏差は1.41という結果が得られた。この平均値は、一般にいわれている腐食生成物の膨張倍率(2.5倍)よりも大きい。電食による腐食生成物の体積膨張倍率について報告した吉岡ら⁽²⁾の結果とは合致した。

(3)腐食ひび割れ幅と付着強度比の関係 腐食・载荷ひび割れの一例を図3に示す。図のように、腐食ひび割れ幅が大きくなると、载荷ひび割れの本数は減少した。

载荷ひび割れの本数からひび割れ間隔を求めた。また、付着応力の分布を载荷ひび割れ間隔の中央から付着応力が増加し、载荷ひび割れ部付近で応力が最大(付着強度)となる線形モデルと仮定した。これにより求めた付着強度を、電食0の付着強度で除したものを付着強度比とした。得られた付着強度比と腐食ひび割れ幅の関係を図4に示す。腐食ひび割れ発生から0.3mmで付着強度が4割程度まで低下し、片引き試験による既往の研究と同様であった。しかし、0.4mm以上では緩やかな低下傾向を示した。これは、腐食により载荷ひび割れ本数が少ない状態においては、付着応力分布が仮定とした線形モデルと異なる可能性と、既往の研究でも見られるばらつきによるものと考えられる。

4. 結論

(1)積算電流量と腐食減量の関係は、30Ah以下の場合、理論値と実験値が概ね一致したが、積算電流量が40Ahを超えると実験値が理論値を下回る結果が得られた。腐食ひび割れを通して、腐食生成物が陰極側の銅板と接触し、短絡電流が生じたためと考えられる。

(2)電食で生じた腐食生成物は一般的にいわれる体積膨張倍率2.5倍より大きいことが明らかとなった。

(3)付着応力分布を線形モデルとした両引き試験において、腐食ひび割れ幅が大きくなるにつれ、0.3mm程度までは既往の片引き試験による結果と同様の付着強度比の低下傾向を示した。

5. 参考文献

(1)鉄筋腐食によるコンクリートひび割れ発生状況及びひび割れ幅に関する研究： ち 路寛ら 土木学会論文集 No. 669/V-50 p161-171 2001年 (2)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 p271-272 1982年 (3)コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書：日本コンクリート工学協会 コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会 1998年 報光社

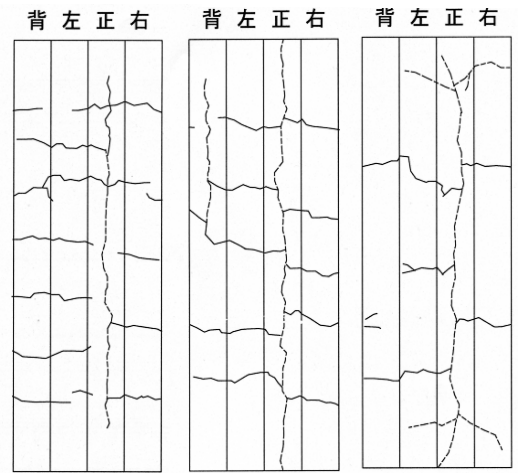


図3 ひび割れ図

腐食ひび割れ幅

0.1mm

0.5mm

0.67mm

载荷ひび割れ本数

7本

5本

3本

実線：载荷ひび割れ 破線：腐食ひび割れ

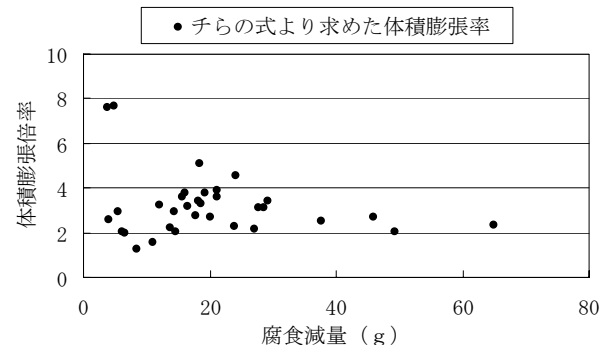


図4 腐食減量と体積膨張倍率の関係

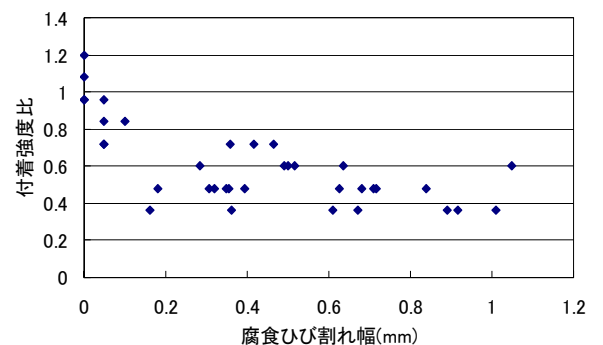


図5 腐食ひび割れ幅と付着強度比