

コンクリート中における鉄筋腐食膨張率の実験的検討

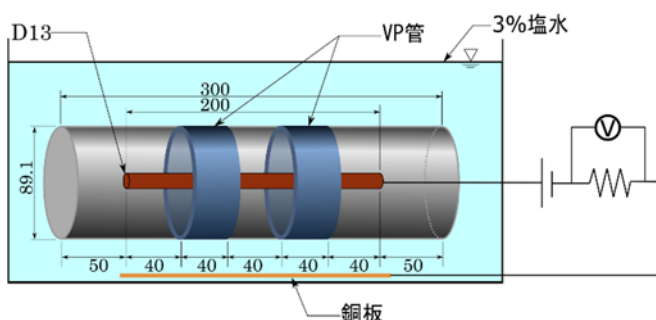
長岡技術科学大学 正会員 ○山口 貴幸
長岡技術科学大学 正会員 下村 匠

1. はじめに

RC 構造物において、塩害や中性化による鋼材の腐食が生じ、構造性能および耐久性が低下することが深刻な問題になっている。鋼材の腐食による劣化が進行している RC 構造物の現有性能を的確に評価するためには、腐食ひび割れ等の外観変状と内部の鋼材腐食の関係を明らかにすることが不可欠とされている。両者の関係を力学モデルにより結びつけるには腐食生成物の膨張率、剛性が必要であるが、それらは実測困難であるため仮定した数値を用いることが多い。本研究では、コンクリート中の鉄筋を電食により腐食させ、腐食生成物の膨張率を測定する実験を行った。既往の研究^{1),2)}などでは、条件によって膨張率に大きな幅があるため、本研究では、鉄筋腐食による膨張がコンクリートに生じるひび割れにどの程度寄与しているかを検討した。

2. 電食試験方法

図—1 に電食試験方法と試験体の概要を示す. 試験体の打設前の型枠内面にリング状に 40mm 幅で切断した硬質ポリ塩化ビニル管(VP 管, 呼び径 75mm)を設置し, 異形鉄筋 D13(L=200mm)を中心に配置し, コンクリート (W/C=60%) を打設した. この VP 管



図—1 試験体の概要および電食試験方法



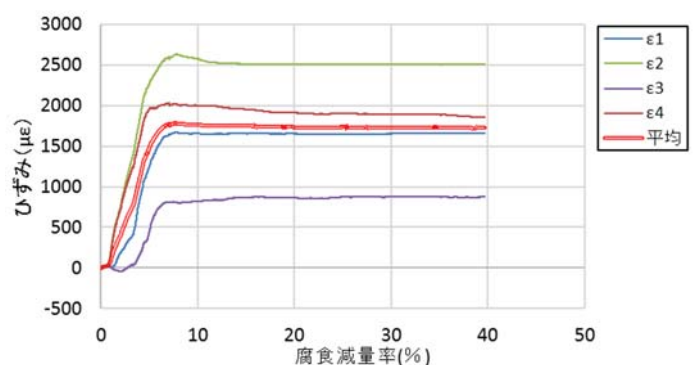
図—2 除錆後の鉄筋

リングのひずみから、電食試験中の鉄筋の腐食膨張を算出する。打設後 28 日間水中養生後、VP 管リングの軸対称位置の表面円周方向にひずみゲージを 1 枚ずつ、合計 4 枚設置した。これを水槽（塩水濃度 3%）に、陰極とする銅板とともに入れ、湿潤膨張の影響がないように、5 日後から通電を開始した。鉄筋表面の電流密度は $1.30\text{mA}/\text{cm}^2$ となるように、電源の出力を調整した。

電食終了後、鉄筋をはつり出し、60℃の10%クエン酸二アンモニウム水溶液に24時間浸漬させ、腐食生成物を除去した後に鉄筋重量を測定し、初期重量との差を最終減量とした。除錆後の鉄筋を図—2に示す。

3. 電食試験の結果

図—3 に VP 管リングのひずみ—腐食減量率関係



図—3 ひずみ—腐食減量率関係



図—4 ひび割れからの腐食生成物の流出

キーワード 鉄筋腐食, 腐食生成物, 膨張率, 電食

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-46-6000

を示す。腐食減量率は、電食試験後に取り出した鉄筋の最終減量と最終積算電流量との関係から算出したものである。VP管リングのひずみは、腐食減量率が6%程度まではほぼ直線的に増加し、それ以降はほぼ一定になっている。これは、6%までは、腐食生成物の発生による体積膨張が、そのままリングを押し広げる体積増加に繋がっているためと考えられる。腐食減量率が6%以降は、コンクリートの表面のひび割れがある程度開いたことによって、発生する腐食生成物がひび割れから流出し(図—4)、それ以上の膨張に寄与しなくなったため、ひずみが一定になったと考えられる。

4. 腐食膨張率の検討

腐食膨張率を検討するにあたって、今回は以下の仮定を設ける。①腐食ひび割れが表面まで貫通した後はコンクリートは剛体とする。②VP管リングによる拘束はないとする。③腐食生成物は非圧縮性とする。すなわち、鉄筋の腐食による自由膨張により周囲のコンクリートが押し広げられるとみなす。体積膨張率 γ は下記によって表される。

$$\gamma = \frac{V_{pr}}{V_{loss}} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta r}{R} = \frac{1}{R} \left\{ \sqrt{r^2 + (\gamma - 1) \frac{V_{loss}}{\pi}} - r \right\} \quad (2)$$

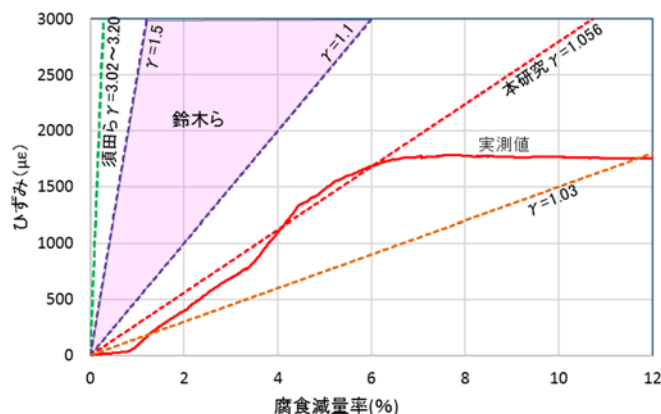
ここで、 V_{loss} :鉄筋の単位長さあたりの体積減少量

V_{pr} :鉄筋の単位長さあたりの腐食生成物の体積

r :鉄筋の公称半径(=6.35mm)

R :コンクリートの半径(=44.55mm)

上記より、腐食生成物の流出が始まると考えられる腐食減量率6%のとき、VP管リング平均ひずみの実測値と一致する体積膨張率は1.056となった。既



図—5 体積膨張率の比較

往の研究では、鈴木ら¹⁾は体積膨張率を1.10~1.50、須田ら²⁾は3.02~3.20としている。これらを図—5に示して比較する。須田らは、腐食生成物の鉄化合物組成割合とそれぞれの密度から算出しており、そのまま本研究の検討方法に用いると、腐食生成物がひび割れや空隙への分散を考えないので、腐食膨張を過大に評価することになったと考えられる。鈴木らは、ひび割れ発生限界腐食量の解析と電食実験との比較を行い、妥当とされた腐食膨張率を算出した。本研究の実測値で、ひび割れが発生する腐食減量率1%程度からひずみが生じており、膨張をそこからの傾きで考えると、体積膨張率は鈴木らの1.1と同程度となる。

腐食減量率6%を超えた範囲では、腐食生成物がひび割れから流出していくため、膨張の進行に寄与せずに、腐食は進行していったと考えられる。ただし、本実験は電食を行うために水中に浸漬しているため、腐食生成物の流動性が、実環境のものよりも高かったと考えられる。実環境での腐食生成物の膨張率に関する検討を進める必要性がある。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 実験の結果から検討し、腐食生成物の体積膨張率1.056を得た。これは、腐食生成物の空隙やひび割れへの分散により膨張に寄与しない部分を除く、みかけの体積膨張率である。
- (2) ひび割れがある程度開くと、腐食生成物が流出することにより、それ以上ひび割れ拡大に寄与しない。

ただし、本研究は電食による促進試験であることにより、腐食生成物の性状など、自然状態での腐食とは異なる部分があるので、実環境に適用するためには、その違いを明確にした上での検証が必要になる。

参考文献

- 1) 鈴木 三馨, 福浦 尚之, 丸屋 剛: 塩害による腐食劣化予測に対する構造・鋼材腐食連成解析手法の構築, 土木学会論文集 E2, Vol. 70, No. 3, 301-319, 2014.
- 2) 須田 久美子, MISRA Sudhir, 本橋 健一: 腐食ひび割れ発生限界腐食量に関する解析的検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vo1.14, No. 1, pp.751-756, 1992.