

弾性体を用いた鉄筋腐食膨張のモデル実験におけるひび割れ幅と換算腐食減量の関係

西日本旅客鉄道株式会社 施設部 正会員 ○荒木 弘祐
 京都大学大学院 社会基盤工学科 学生会員 高谷 哲
 京都大学大学院 社会基盤工学科 正会員 服部 篤史
 京都大学大学院 社会基盤工学科 フェロー 宮川 豊章

1. はじめに

著者らはこれまで、鉄筋腐食に伴い発生する腐食膨張圧のモデル化手法の開発に取り組んできた。これは、コンクリート中の円柱空洞に設置した弾性体を圧縮変形させ、そのポアソン効果によって内圧を発生させる手法¹⁾である。本論では、既報²⁾の実験に、引き続き行ったその後の実験を加え、整理した実験結果の総括の中から、半径変化量を腐食減量に換算した換算腐食減量とかぶり表面のひずみをひび割れ幅に換算した換算ひび割れ幅の関係について報告を行う。さらに、本実験結果から得られる換算腐食減量と換算ひび割れ幅の関係と、既往の研究で報告されている両者の関係を比較した。

2. 実験結果の換算

2. 1 半径変化量の腐食減量への換算

半径変化量(dr)は腐食生成物を含めた見かけ上の鉄筋半径(r_2)と、腐食前の鉄筋半径(r_0)との差である。ここで、腐食膨張倍率を一定(γ)とすれば、**図-1**に示すように、断面の幾何学的関係から式(1)が成り立つ。

$$\pi r_2^2 \times L = \gamma (\pi r_0^2 - \pi r_1^2) \times L + \pi r_1^2 \times L \quad \text{式(1)}$$

$r_2 = r_0 + dr$, $r_1 = r_0 - \Delta r$ より、代入して Δr で整理すると、式(2)が得られる。

$$\Delta r = r_0 - \sqrt{\gamma r_0^2 - (r_0 + dr)^2} / (\gamma - 1) \quad \text{式(2)}$$

ここで、鉄の密度(ρ_s : mg/mm^3)を用いて、上記と同様に幾何学的関係から Δr を腐食減量(W_{loss} : mg/cm^2)に換算すると、式(3)が得られる。

$$W_{\text{loss}} = 50\rho_s \Delta r (2r_0 - \Delta r) / r_0 \quad \text{式(3)}$$

式(1)~(3)を用いて、半径変化量を換算腐食減量に換算した。

2. 2 ひずみゲージ値のひび割れ幅への換算

実験では、データロガーでかぶり表面の中央部に設置したひずみゲージ値を測定した。実験において、目視で確認したところ、かぶり表面に発生する軸方向ひび割れ(**写真-1**)は一本のみ発生した。そこで、このゲージ値にゲージの検長(60mm)を乗じることで、かぶり表面に発生する軸方向ひび割れの換算ひび割れ幅(w)とした。

3. 換算腐食減量と換算ひび割れ幅の関係式

3. 1 換算腐食減量と換算ひび割れ幅の関係

換算ひび割れ幅が 0.05~0.30mm のデータを 0.05mm ピッチで抜き出し、それぞれに対応する半径変化量を **2. 1** で示した手法で、 $\rho_s = 7.85 \text{mg}/\text{mm}^3$, $\gamma = 2.5$ 倍, $r_0 = 10 \text{mm}$ として換算腐食減量とし、換算腐食減量と換算ひび割れ幅の関係をかぶり(C , mm)ごとにまとめ、**図-2**に示す。ただし、かぶり 10, 20mm では換算ひび割れ幅が 0.2mm 以上

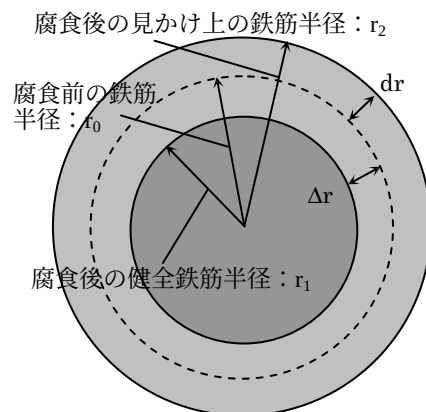


図-1 半径変化量の腐食減量への換算

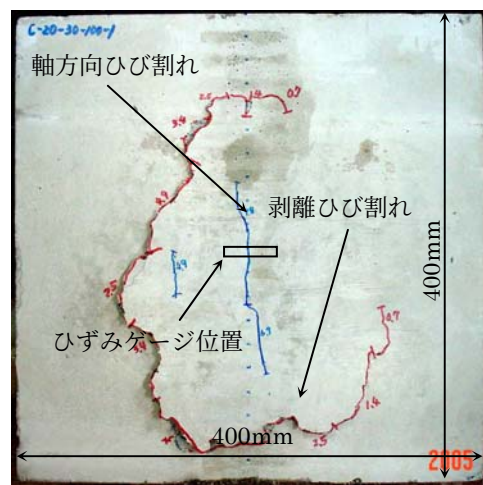


写真-1 载荷終了後の供試体かぶり表面の一例($C=30 \text{mm}$, $L=100 \text{mm}$)

キーワード 鉄筋腐食, ひび割れ幅, 腐食減量, 腐食減量推定式

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田二丁目4番24号 JR西日本施設部 TEL 06-6375-8841

となる前に**写真－1**に示す剥離ひび割れが発生したため、この範囲の関係は得られなかった。

図－2をみると、換算ひび割れ幅が大きくなると、換算腐食減量も大きくなる傾向がみられ、この傾向は既報³⁾と合致する。また、かぶりが大きくなると図中のプロットが上方に、すなわち換算腐食減量が大きくなる傾向が見られた。

各プロットを各種の近似手法を用いて近似したところ、指数関数近似($W_{\text{loss}}(C)=ae^{bw}$)が最も相関性が良かった。この指数関数近似式と、相関係数を**図－2**に併せて示す。さらに、**図－2**に示した指数関数近似式の係数 a , b をかぶりごとに整理し、**図－3**に示す。係数 a , b ともに、相関係数が最も高くなるように近似した。これら二つの近似式より、換算ひび割れ幅から換算腐食減量を算出する式を式(4)とした。

$$W_{\text{loss}}(C) = (2.98C + 13.2) \exp\{w(0.007C^2 - 0.493C + 11.2)\} \quad \text{式(4)}$$

3. 2 換算腐食減量と換算ひび割れ幅の関係式の誤差

式(4)は、近似を重ねた式であるため、実験結果と式(4)の結果の誤差を検証しておく必要がある。そこで、式(4)の腐食減量と換算腐食減量の差の絶対値を、式(4)の腐食減量で除し、百分率として、これを誤差率と定義した。かぶり、換算ひび割れ幅ごとに誤差率を整理したところ、式(4)は実験結果と比較して最大15%程度の誤差を生じることがわかった。

実構造物において、ひび割れ幅から内部の鉄筋の腐食減量を推定する場合、大きめに推定する方が安全側であると考えられる。これは、大きめに推定した場合、より腐食が進んでいると診断されるため、維持管理においてシナリオが安全側になるためである。式(4)は誤差を15%程度含むことから、式(4)を用いて腐食減量を推定する場合は、割増係数(予測式の精度に関する安全係数⁴⁾、例えば1.3)を乗じて使用することが望ましいと考えられる。

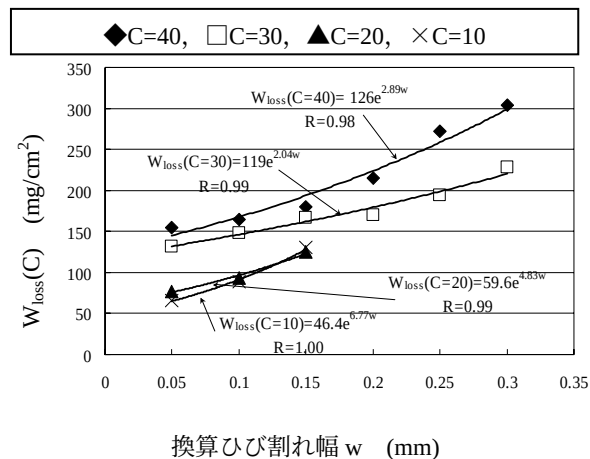
4. 既報の関係式との比較

ひび割れ幅から腐食減量を推定する式は、これまでいくつか提案されている。そこで、式(4)で算出される換算腐食減量と、既報の式を用いて算出される腐食減量の比較を行った。比較は、かぶりを35mmとし、式(4)には割増係数1.3を乗じて算出を行った。結果を**表－1**に示す。**表－1**

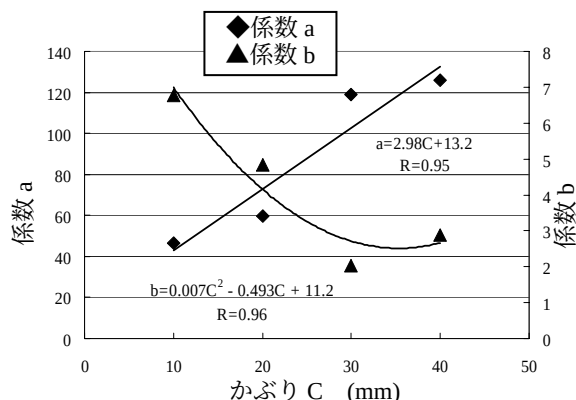
を見ると、式(4)から算出される腐食減量は、ほか二式と比較して総じて大きい(約10倍)ことがわかる。すなわち、式(4)を用いて腐食減量を推定すると、必要以上の過大な腐食減量を推定する可能性もあり、注意が必要である。ただし、既報²⁾でも示したように、ひび割れ発生時の腐食減量が研究者によって異なることを考えると、ひび割れ幅から腐食減量を推定する式に関して今後も研究が必要であると考えられる。

5. 参考文献

1)例えば、荒木弘祐ら：コンクリート中の鉄筋腐食膨張モデル化と実験・解析手法、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集第4巻、2004.10。2)荒木弘祐ら：鉄筋の腐食膨張によるかぶりコンクリート剥落現象とその予測、土木学会論文集、No.802/V-69、2005.11。3)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報告書、1988。4)土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に準拠した維持管理マニュアル(その1)および関連資料、土木学会、2004.11。5)田森 清美ら：鉄筋の発錆によるコンクリートのひび割れ性状に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文集、1988。6)Qi Lukuan ら：鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ発生状況およびひび割れ幅に関する研究、土木学会論文集、No.669/V-50、2001.2。



図－2 換算腐食減量と換算ひび割れ幅の関係



図－3 かぶりと係数 a , 係数 b の関係

表－1 既報と式(4)の関係(w : mm)

既報式	腐食減量(mg/cm²)			
	$w=0.05$	$w=0.10$	$w=0.15$	$w=0.20$
田森式 ⁵⁾	2.2	7.8	13.3	18.9
Qi 式 ⁶⁾	14.7	16.0	17.0	18.5
式(4)	173	196	222	252