

鉄筋の腐食膨張によるひび割れ時腐食減量

香川大学 正会員 ○松島 学
早稲田大学 正会員 関 博
四国総合研究所 正会員 横田 優

1. はじめに

ひび割れ発生時の腐食減量は、一般に電食実験の結果から求められ、コンクリート標準示方書によれば $10\text{mg}/\text{cm}^2$ と言われている。電食実験は、①腐食がひび割れ面に集中し、局所的な腐食が生じること、②鉄筋全体がアノードとなることから2次元的形状の腐食形態になることから実構造物の腐食形態とは異なる、③電食試験と実際の環境では腐食生成物が若干異なることが言われている。実構造物は、鉄筋とコンクリートの間には、施工時のブリージングや、乾燥収縮により隙間が空いていることが自明である。鉄筋が腐食すると、その隙間を埋めてからコンクリート部に内圧を発生させる。しかし、電食実験による鉄筋の腐食の場合、局所的に腐食が進行することから広い範囲で鉄筋とコンクリート部の隙間を埋めることなく、局所的な腐食応力によりひび割れが発生することが考えられ、隙間の影響が出にくいことが挙げられる。したがって、実構造物は空隙を埋めるまでの腐食減量分だけひび割れ発生までに多く必要であることがわかる。

本研究は、鉄筋の腐食膨張によるひび割れ発生時腐食減量を電食実験の結果、理論力学モデルを使った計算結果から実構造物のひび割れ発生時の腐食減量を考えたものである。

2. ひび割れ発生モデル

筆者らは鉄筋が腐食することによりコンクリートにひび割れが発生するモデルを厚肉円筒モデルにより力学的に解く方法を提案してきた。図-1 に腐食膨張によるひび割れ発生の力学モデルの考え方を示す。鉄筋が腐食することにより 2.5 倍に(b)にあるように腐食した鉄筋が膨張することにより(a)のまだ腐食していない鉄筋と(c)のコンクリート部が内圧をうける厚肉円筒シェルとして挙動するとし、コンクリートの引張応力を求める。この引張応力がコンクリートの引張強度を超えるとひび割れが発生するとしている。このモデルは、2次元的なモデルであり、実際の腐食のように3次元的に腐食している状況を再現はしていない。したがって、実構造物のひび割れ時腐食減量 W_A は、式(1)のように定義できる。

$$W_A = W_{SP} + \beta_T \cdot W_C \quad (1)$$

ここで、 W_{SP} は、鉄筋とコンクリートの間の空隙を埋めるための腐食減量で、Lui らによれば $12.5 \times 10^{-6}\text{m}$ ($9.9\text{mg}/\text{cm}^2$)の空隙厚さであるとしている。 W_C は、図-1 により求められた2次元的な力学モデルにより求められたひび割れに必要な腐食減量である。 β_T は、3次元的な効果を考慮するための割増係数である。式(1)で電食実験による鉄筋の腐食減量は W_C に相当し、 β_T と W_{SP} が実際の構造物の腐食減量を求めるための係数である。式(1)で $W_{SP}=9.9\text{mg}/\text{cm}^2$ と考え、 $\beta_T=1.5$ と仮定する。電食実験から求められているひび割れ発生時腐食減量 $10\text{mg}/\text{cm}^2$ から実構造物の腐食減量を計算すると、 $25\text{mg}/\text{cm}^2$ が実構造物のひび割れ発生時腐食減量となることが想定される。

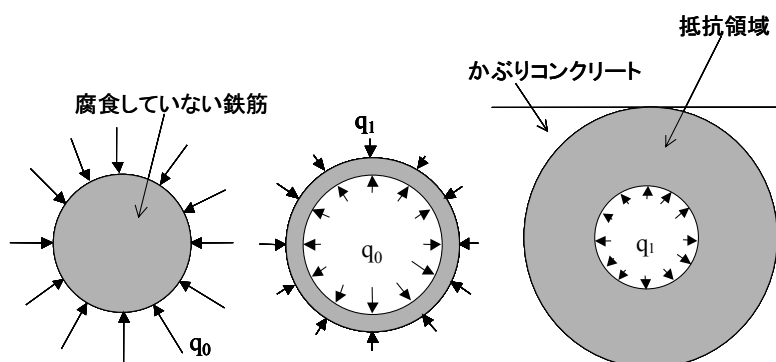


図-1 腐食膨張によるひび割れ発生の力学モデル

3. 電食実験の腐食減量と2次元力学モデルの比較

電食実験によるひび割れ発生時腐食減量と2次元力学モデルから求めた腐食減量 W_c と比較する。計算では、鉄筋径を 22mm（主鉄筋を想定）、16mm（せん断補強筋を想定）の2つを考え、かぶりを 3.0cm～10.0cm にわたり計算した。図-2 に計算された腐食減量とかぶりの関係を示す。図に見られるようにかぶり厚さが大きくなるにつれて腐食減量は増加する。さらに、鉄筋径が小さい方が、ひび割れ時腐食減量が大きい傾向にあり、現実の電食実験の結果を裏付けている。図-3 に既往の電食実験から求められたかぶり厚とひび割れ発生時腐食減量の関係に、本研究で提案している力学モデルから求められた腐食減量の計算結果を比較した。図に見られるように、既往の電食によるひび割れ発生時腐食減量とかぶりの関係は、本研究で提案している力学モデルと一致しており、電食実験の腐食は2次元形状の腐食であり、初期の空隙を考慮していないことを裏付けている。

4. 実際の腐食減量

実現場を考えるとひび割れ発生といっても、ひび割れが入った瞬間を見つけることは不可能で、ひび割れが入った瞬間よりも大きな腐食減量になっていることが想定される。図-4 に筆者らが行った電食試験での腐食減量とひび割れ幅の関係を示す。ここで、N は補強筋無を、S は有を示す。40, 70 はかぶりの大きさ(mm)を示す。せん断補強筋の有無、かぶりには関係なく腐食減量とひび割れ幅の関係は線形である。図中には平均値も示すが、ひび割れ発見時の幅を 0.2mm とすると、75mg/cm² 程度になる。この回帰線が正しいと考え、ひび割れ発生時腐食減量を推定すると 30mg/cm² となり、既往の電食実験の結果よりも大きな腐食減量を示す。電食実験の試験体と既往の違いは、試験体は実物に近いモデルを想定しており、せん断補強筋の影響が無いのもスケールの影響と判断している。この結果は、コンクリート標準示方書で示されている 10mg/cm² と異なった値を示している。

5. まとめ

本研究をまとめると次のようになる。

- (1) 実構造物では、施工による初期空隙が存在すること、電食と異なり3次元形状の腐食であり、電食によるひび割れ発生時腐食減量よりも大きな腐食減量が必要である。
- (2) 実構造物のひび割れ発生時腐食減量は、目視検査により発見が遅れることも考えると、25～75mg/cm² と想定される。

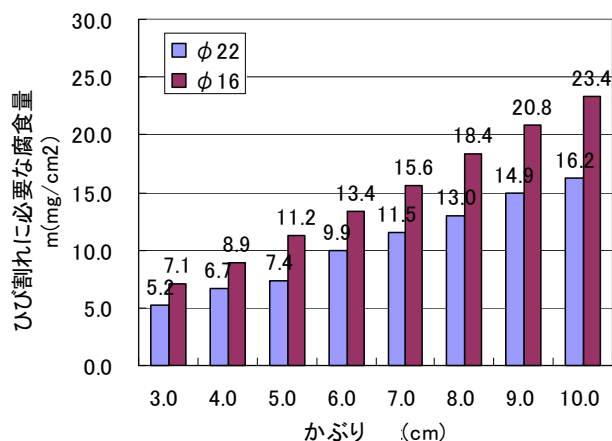


図-2 かぶり厚とひび割れ発生時腐食減量

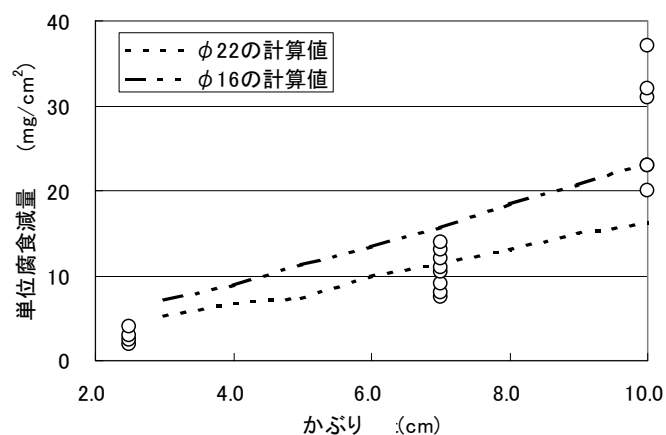


図-3 かぶり厚とひび割れ発生時腐食減量

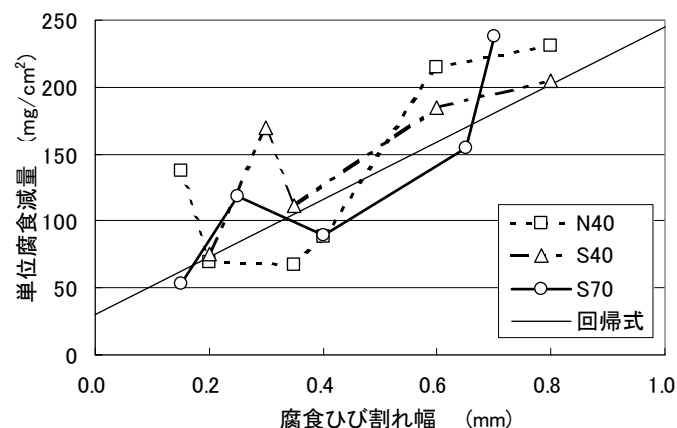


図-4 腐食減量とひび割れ幅