

鉄筋腐食による水平ひび割れと鉄筋に沿ったひび割れの境界値

香川大学大学院 学生会員 ○本田健一郎 四国総合研究所 正会員 中川裕之
 四国電力 非会員 西谷昌晃 香川大学創造工学部 フェロー会員 松島 学

1. はじめに

腐食ひび割れは、鉄筋に沿ったひび割れと水平ひび割れのひび割れモードが存在する。鉄筋間隔が各モードに大きく影響する。実構造物で見られる鉄筋に沿ったひび割れと水平ひび割れの例を図1に示す。鉄筋間隔が大きい場合、鉄筋に沿ったひび割れが発生し、鉄筋間隔が小さいと水平ひび割れが発生する。水平ひび割れはコンクリートを剥落させる危険なひび割れであるため、大きな問題となっている。本研究は、鉄筋間隔による鉄筋に沿ったひび割れと水平ひび割れのひび割れモードの境界値を力学モデルにより求め、電食実験の結果と比較した。

2. 水平と鉄筋に沿ったひび割れの力学モデル

提案する力学モデルを図2に示す。鉄筋に沿ったひび割れの力学モデルを図2(a)に示す。鉄筋に腐食が生じると円周直交方向に腐食生成物による内圧 q_0 が発生する。 q_0 に対して鉄筋周りのかぶりコンクリートが抵抗する領域を図中に破線部で示す厚肉円筒シェルとしてモデル化した。この領域内で円周方向に発生する引張周応力 f_{tr} は式(1)のように求められる。

$$f_{tr} = \frac{1.0}{\alpha_0(\kappa_0 - 1)} q_0 \geq \sigma_{cr} \quad (1)$$

α_0 : 完全塑性体を考慮したことによる実験係数(=0.6),

D : コンクリートのかぶり(mm)

κ_0 : 形状係数 $(2D+\phi)/\phi$

Φ : 鉄筋径(mm)

σ_{cr} : コンクリートの引張応力度(N/mm²)

f_{tr} が σ_{cr} を超えると、赤い線に示す鉄筋に沿ったひび割れが発生する。

水平ひび割れの力学モデルを図2(b)に示す。図2(a)と同じように円周直交方向に腐食生成物による内圧 q_0 が発生する。 q_0 のかぶりがはく離する方向の鉛直成分の合力($P_r=2rq_0$)として引張力 P_t が生じる。従って、コンクリートに水平ひび割れを発生させる

コンクリートの引張応力 f_{th} は式(2)で表される。

$$f_{th} = \frac{\beta \cdot P_t}{l_0 - \phi} \geq \sigma_{cr} \quad (2)$$

β : 応力の分布係数(=1.5), r : 鉄筋の半径(mm)

q_0 : 内圧(N/mm²), P_t : 内圧の鉛直成分の合力 $2rq_0$ (N/mm)

l_0 : 鉄筋間隔(mm)

f_{th} が σ_{cr} を超えると赤い線に示す水平ひび割れが発生する。

3. 電食実験によるひび割れモードの境界値

電食実験の手法を図3に示す。試験体を海水と同じ塩分濃度 3%の塩水に浸し、直流化電源装置を用いて鉄筋側を陽極、ステンレス板側を陰極につなぎ、アノード反応とカソード反応を起こすことにより鉄筋の腐食を発生させた。図3の右上の図のように水槽にステンレス版を敷き、スポンジを介して塩水を浸透させ、飛沫帯の環境を模擬した。導線を直列につなぎ、鉄筋を腐食させた。腐食電流密度が 1.0mA/cm² になるように電流量を調整し、実験を行った。試験体の寸法は 900×180×400(mm)で鉄筋間隔 $l_0=60,80,90,100,120,180,240$ mm の試験体 7 体を作製した。かぶり厚は 30mm とした。異形鉄筋 $\Phi=D19$ を採用した。本実験では鉄筋間隔の無次元量 l_0/Φ によるスラブ試験体のひび割れモードの境界値を求めた。力学モデルと実験のひび割れモードの境界値を図4に示す。図中の●は中央の腐食した鉄筋を 10cm ごとに切断し、測定した平均鉄筋腐食減量を示している。鉄筋腐食減量は鉄筋間隔とは相関関係がなく、 l_0/Φ に対して一定値をとる。水平ひび割れと鉄筋に沿ったひび割れの境界の鉄筋間隔の無次元量 l_0/Φ は力学モデルで 3.8、電食実験で 4.5 と求められた。

4. 腐食分布の違いによる応力分布の検討

腐食した鉄筋断面のスケッチを図5(a)に示す。黒で塗りつぶしている部分は、まだ腐食していない鉄筋を意味し、橙色の部分は腐食生成物である。鉛直方向のかぶり側の面が最も腐食している。かぶり側

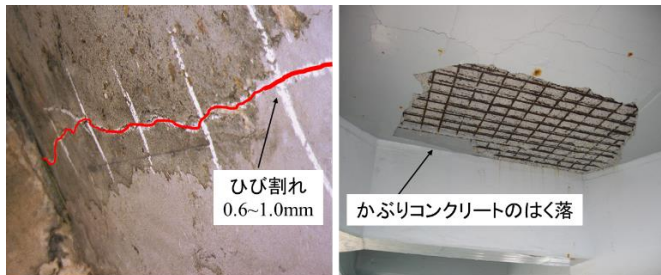
キーワード: ひび割れモード, 力学モデル, 応力分布

連絡先: 香川県高松市多肥下町 1593-15 サクシード 1 101 号室 080-2881-6177

の鉄筋腐食減量を図 5 (b) に示す. かぶり側の水平方向と鉛直方向で比較すると, 腐食量は約 4 倍の差があることがわかる. 力学モデルと電食実験の応力分布の違いを図 6 に示す. 腐食生成物による内圧を $q(\theta)$ とする. 力学モデルの応力分布を図 6(a) に示す. 鉄筋の腐食が全周一様に腐食すると考え, 全方向に均等に応力 $q(\theta)=q_0$ が発生していると今まで仮定していた. しかし, 図 5 に見られるように, 実際の腐食した鉄筋断面からかぶり側の鉛直方向の腐食量が大きいことがわかった. 電食実験の応力分布を図 6 (b) に示す. 腐食量の増減に対応して, 水平方向の応力を小さくし, 鉛直方向の応力を大きくした. 水平方向の内圧 $q(\theta)$ は $q(\theta=0)=1/\alpha q_0$, 鉛直方向の内圧 $q(\theta)$ は $q(\theta=\pi/2)=\alpha q_0$ とした力学モデルを定義した. $\theta=0$ と $\theta=\pi/2$ のときの 2 点を通る方程式から式(3)を定義した.

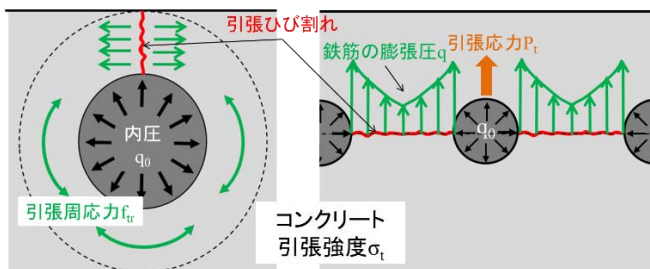
$$q(\theta) = \left\{ \frac{2}{\pi} \left(\alpha - \frac{1}{\alpha} \right) \theta + \frac{1}{\alpha} \right\} q_0 \quad (3)$$

再度, 力学モデルのひび割れモードの境界値を計算した. 力学モデルと実験の境界値が一致するときの α は 1.92 となった. よって, 水平方向($0^\circ, 180^\circ$)と鉛直方向(90°)では相対的に約 4 倍の差があることがわかる.



(a) 鉄筋に沿ったひび割れ (b) 水平ひび割れ

図 1 ひび割れモードの違い



(a) 鉄筋に沿ったひび割れ (b) 水平ひび割れ

図 2 力学モデル

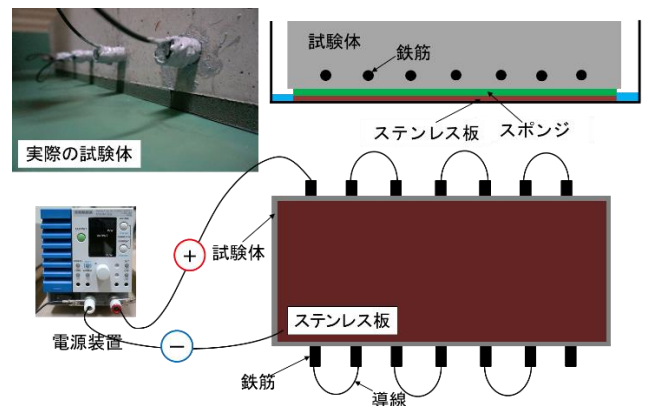


図 3 電食実験の手法

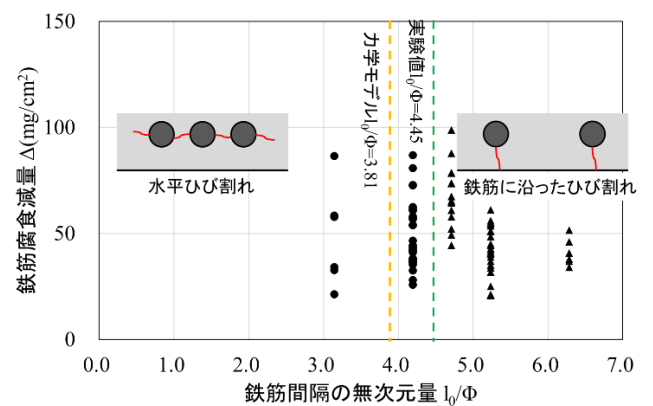
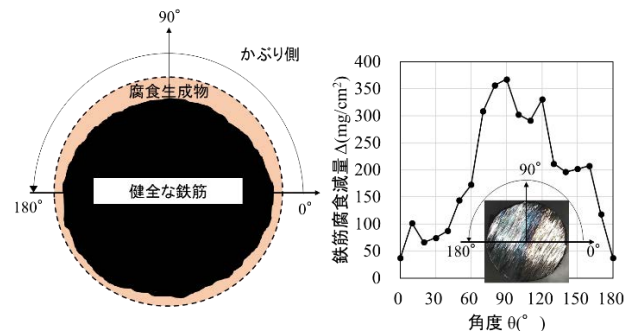
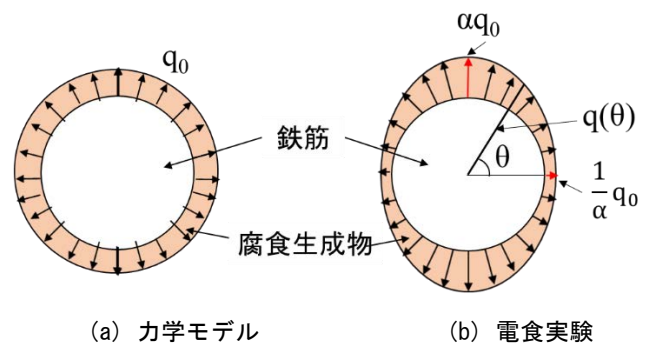


図 4 力学モデルと実験のひび割れモードの境界値



(a) 腐食した鉄筋断面のスケッチ (b) 腐食による鉄筋断面減少量

図 5 実際の腐食した鉄筋断面とスケッチ



(a) 力学モデル (b) 電食実験

図 6 力学モデルと電食実験の応力分布の違い