

香川大学大学院	学生会員	○金谷誠也
香川大学	正会員	松島学
四国総合研究所	正会員	横田優
四国総合研究所	正会員	中川裕之

1. はじめに

現在、鉄筋コンクリートは社会基盤を構成するほとんどの構造物で使用されている。近年、鉄筋コンクリート構造物の早期劣化問題が深刻化し、コンクリート片のはく落による第三者障害が懸念される。コンクリートのひび割れモードは、鉄筋のかぶりと間隔の大きさによって変化する。図-1に示すように鉄筋位置による幾何学的形状により、鉄筋かぶりが小さいと表面はく離ひび割れ、鉄筋かぶりが大きいと鉄筋に沿ったひび割れ、鉄筋間隔が狭いと水平はく離ひび割れとなる。

本研究は、弾塑性有限要素法解析によって鉄筋かぶりと鉄筋間隔におけるひび割れのシミュレーションを行い、ひび割れモードの境界とひび割れ発生時の鉄筋の腐食減量を求めた。数値解析の結果を既往の実験と比較を行うことで、ひび割れモード区分と限界腐食減量の関係を明らかにする。

2. ひび割れシミュレーション

ひび割れモードを区分するためのモデルを構築し弾塑性有限要素法解析を行った。本解析では、鉄筋の腐食膨張を鉄筋部分の熱膨張と考え、鉄筋部分に筒状の物体を置き換え、これに熱荷重を与え、腐食による鉄筋の膨張を模擬した。

ひび割れモードを区分するために、図-2に示すように鉄筋かぶりを変化させるモデル(a)と鉄筋間隔を変化させるモデル(b)を作成した。かぶりの変化は芯かぶり $C=15\sim60\text{mm}$ を 5mm ピッチで設定した。鉄筋は D16 ($\phi=16\text{mm}$) を配筋し、平面ひずみ問題として考えた。鉄筋間隔モデルは、既往の実験の供試体の寸法をもとに、主鉄筋方向に垂直な断面を $1/2$ 、平行な断面を $1/2$ の $1/4$ モデルを作成した。鉄筋間隔の変化は、鉄筋間隔 $L=40$

～ 200mm を 20mm ピッチで設定した。主筋は D16 ($\phi=16\text{mm}$)、せん断補強筋は D10 ($\phi=10\text{mm}$) を配筋した。

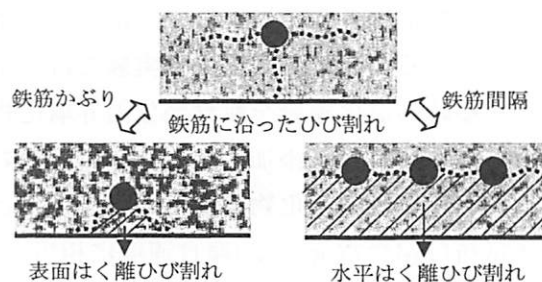


図-1 ひび割れモード

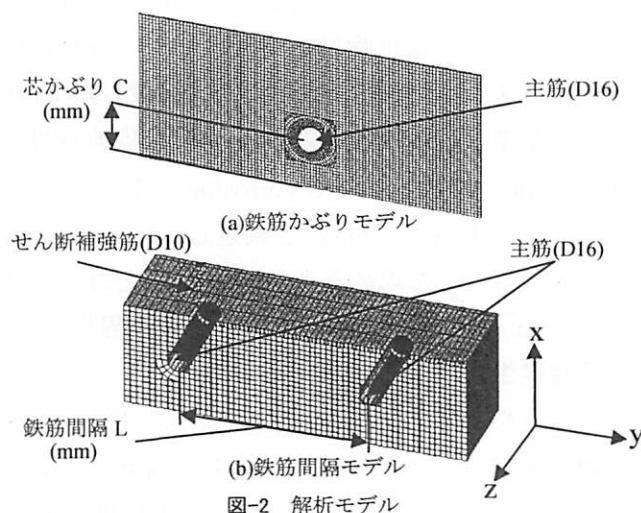


図-2 解析モデル

3. 結果と考察

(1) ひび割れの進展

鉄筋かぶりの変化によるひび割れ進展を図-3に示す。図中の黒い円が鉄筋を示し、点線はひび割れを示す。ひび割れの進展の初期段階では、かぶりに関係なく鉄筋周直方向に垂直に生じる。鉄筋かぶりが小さいとはく離状に進展し、大きいと鉛直方向に進展した。コンクリート表面へのひび割れ進展は、随時ひび割れが進展するのではなく、ひび割れ進行途中から一気に進展し、コンクリート表面に達する。

鉄筋間隔の変化によるひび割れ進展を図-4に示す。ひび割れは、鉄筋間隔が狭いと①と②ある

いは③のひび割れが生じ、鉄筋間隔をつなぐ水平はく離ひび割れとなる。鉄筋間隔が広いと②と③のひび割れが生じた後、④のひび割れが生じひび割れは鉛直に進展し鉄筋に沿ったひび割れとなる。

(2) ひび割れモードと限界腐食減量

限界腐食減量はコンクリートと鉄筋の境界部分の応力-変位関係から求める。鉄筋かぶりの変化による限界腐食減量の関係とひび割れモードの境界を図-5、鉄筋間隔の変化によると限界腐食減量の関係とひび割れモードの境界を図-6に示す。

図-5をみると、表面はく離ひび割れから鉄筋に沿ったひび割れのひび割れモードの境界は、芯かぶり $C=25\sim30\text{mm}$ であった。一般化するために鉄筋径 16mm で除した値 C/ϕ を指標とすると $C/\phi=1.56\sim1.88$ であった。解析による限界腐食減量は $\Delta W=9\sim12\text{mg/cm}^2$ の範囲であった。若干であるが芯かぶり指標が増えるに従い増加している。これは、鉄筋かぶりが増加することで鉄筋の膨張圧に対する抵抗力が大きくなったためである。解析によるひび割れは、モデル化した腐食膨張圧が初期からコンクリートに直接作用することや、途中から急速に進展しコンクリート表面を貫通するために、鉄筋かぶりの増加に伴う限界腐食減量の増加量は少ない。

図-6をみると、水平はく離ひび割れから鉄筋に沿ったひび割れのひび割れモードの境界は、鉄筋間隔 $L=100\sim120\text{mm}$ であった。一般化するために鉄筋径 16mm で除した無次元量 L/ϕ を指標とすると $L/\phi=6.25\sim7.50$ であった。鉄筋の限界腐食減量は $\Delta W=9\sim12\text{mg/cm}^2$ の範囲であった。鉄筋間隔が狭いと限界腐食減量は上昇を続け、鉄筋間隔がひび割れモードの境界で限界腐食減量は 11mg/cm^2 程度で一定となる。しかし、極めて小さな変化であり鉄筋間隔の変化による限界腐食減量の変化やひび割れモードとの関係はないと考えられる。

鉄筋かぶりモデル、鉄筋間隔モデルともに限界

腐食減量は $\Delta W=9\sim12\text{mg/cm}^2$ で、コンクリート標準示方書が示す 10mg/cm^2 を裏付ける結果となった。

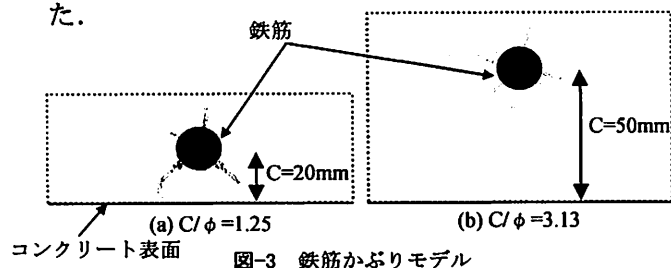


図-3 鉄筋かぶりモデル

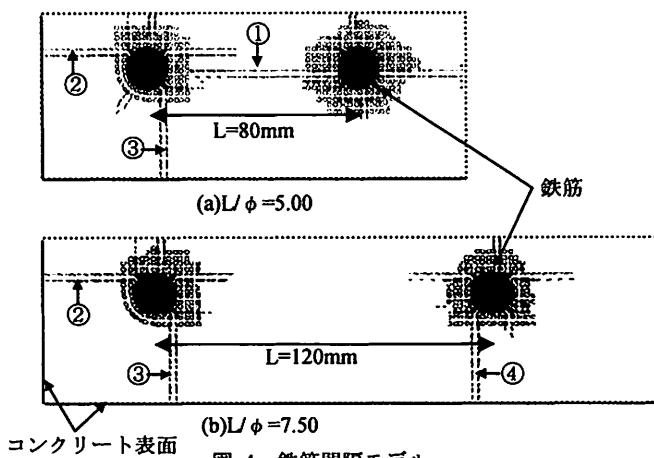


図-4 鉄筋間隔モデル

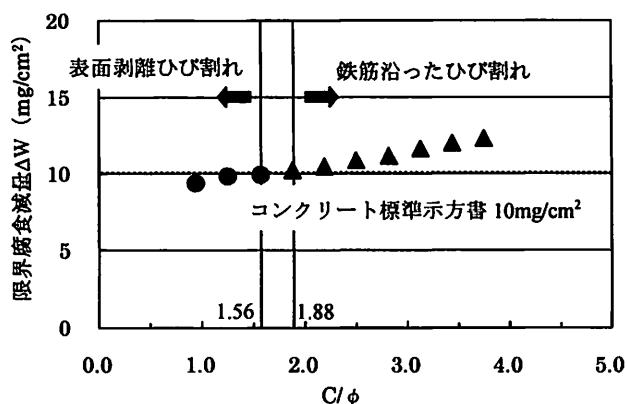


図-5 鉄筋かぶり C/ϕ の変

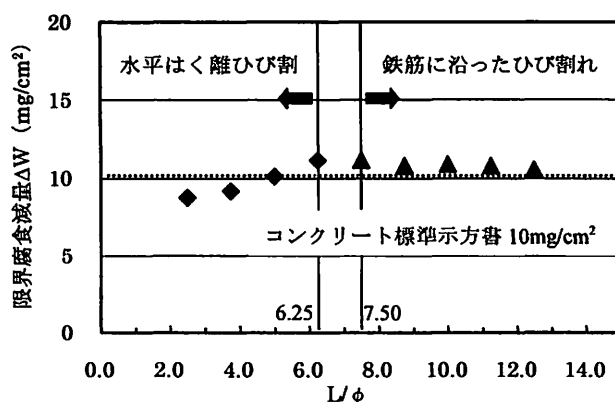


図-6 鉄筋間隔 L/ϕ の変化