

かぶりコンクリートのひび割れ性状に及ぼす鉄筋の腐食膨張量の評価

(株) ジェイアール総研情報システム 正会員 ○大木 裕久

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 鬼頭 直希 渡辺 健 岡本 大

1. はじめに

本研究は、鉄筋腐食によるかぶりコンクリートのひび割れ、剥落のメカニズムを解明するために、鉄筋間隔およびかぶり厚をパラメータとして、コンクリートの収縮・クリープを考慮し、鉄筋の膨張がひび割れ形状に及ぼす影響について明らかにすることを目的としている。

2. 解析概要

解析では、汎用有限要素プログラム DIANA (Ver.9.4.4) を用いて、図—1 に示す 4 本の鉄筋を有するモデルを対象とし 2 次元解析を行った。解析条件は上部を鉛直方向、上部中央一点を水平方向拘束し、横方向のかぶりは全て 50mm に統一した。コンクリートの特性として、固定ひび割れモデルを使用し、ひび割れ後のせん断剛性低減係数 $\beta=0.05$ とした。応力 - ひずみ関係として圧縮側に Thorenfelt, 引張側に Hordijk モデルを用い、圧縮強度 $f'_c=23\text{N/mm}^2$ および引張強度 $f_t=1.8\text{N/mm}^2$ である。鉄筋を弾性体とし、さらに鉄筋とコンクリート間のインターフェース要素では法線方向に剛結とした。

解析方法は材料非線形を考慮した静的解析とし収縮の変化を見るため、CEB-FIP モデルコード 1990¹⁾の収縮ひずみと時間の関係を適用し収縮ひずみを与えた。また収束計算における解法は、Newton Raphson 法を用いて最大収束回数を 20 回とした。

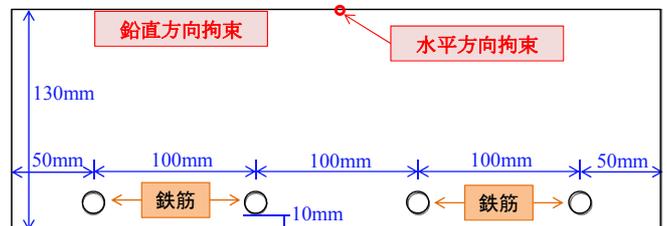
表—1 は鉄筋 D13 に関する諸元であるが、同様の条件で D29 についても実施した。解析対象は全 24 ケースである。また、かぶり厚の相違により、鉄筋膨張前の収縮・クリープ期間をそれぞれ 0 年、10 年、25 年とした。これは、コンクリートの中性化の進行を既往の知見²⁾に従い決定し、かぶり厚に応じて腐食開始時期を定めたものである。また、本研究では、鉄筋膨張開始後の膨張速度について鉄筋の腐食に関する知見を考慮にいたした。鉄筋の膨張に関して、図—2 (c) に示す通り各鉄筋の下側 1/4 の領域に対して、鉄筋の腐食による膨張を表現するものである。これは、かぶりのひび割れ、

剥落が発生している箇所の鋼材の断面をレーザー変位計で計測した結果、図—2 (a) に示す通り、コンクリート表面に近い領域において断面が集中して欠損していたことから、図—2 (b) に示すように腐食による鉄筋の膨張 (変形形状) を簡易に再現できるとした既往の成果³⁾を踏まえたものである。

膨張の際には、コンクリートの中性化環境下における鉄筋の腐食深さの進行速度 0.003mm/年 ⁴⁾に相当する膨張量を導入した。これは腐食深さの 2 倍に膨張することと仮定することで決定したものである。

3. 解析結果

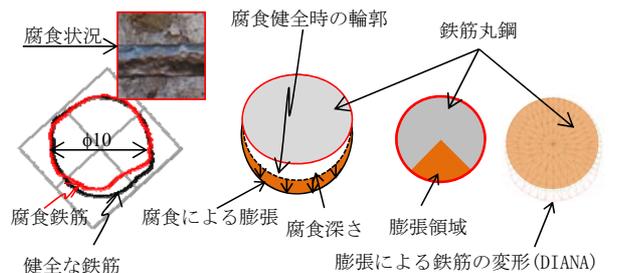
図—3 に、鉄筋が膨張により生じた際の最大主ひずみの分布を示す。高ひずみ領域をひび割れ発生領域に一致していると仮定すると、D13-C10-S100 (鉄筋径-かぶり-鉄筋間隔) および鉄筋径のみ異なる D29-C10-S100 では、鉄筋付近から斜め方向のひび割れ (斜めひび割



図—1 解析モデル (D13-C10-S100)

表—1 解析諸元 (D13)

かぶり (mm)	10	20	30	
収縮クリープ年	0	10	25	
鉄筋間隔 (mm)	50	D13-C10-S50	D13-C20-S50	D13-C30-S50
	100	D13-C10-S100	D13-C20-S100	D13-C30-S100
	150	D13-C10-S150	D13-C20-S150	D13-C30-S150
	200	D13-C10-S200	D13-C20-S200	D13-C30-S200

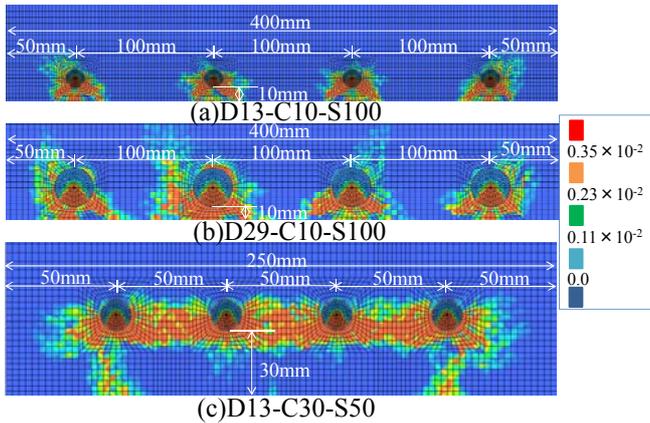


(a) 計測結果 (b) 腐食膨張と変位の関係 (c) 膨張の载荷方法

図—2 腐食状態と鉄筋の膨張方法

キーワード 鉄筋腐食, ひび割れ形状, 非線形有限要素解析

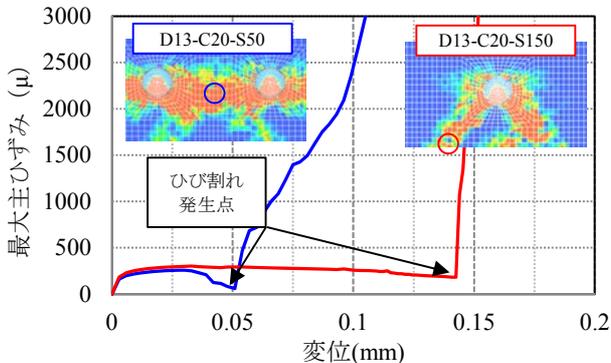
連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-728



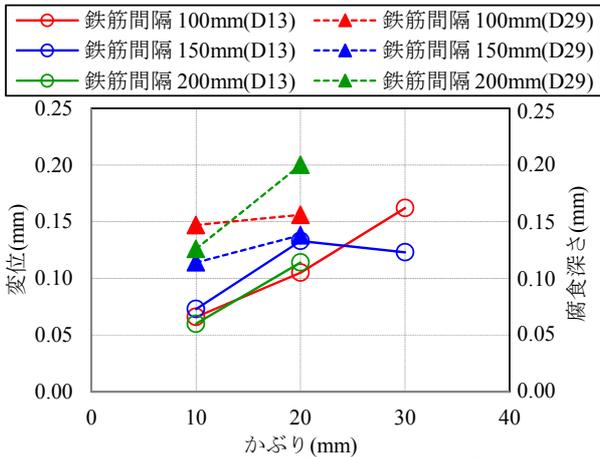
図—3 最大主ひずみ分布（鉄筋付近）

表—2 ひび割れ形状の分類

かぶり (mm)		10	20	30	10	20	30	
鉄筋 間隔 (mm)	50	D13	水平 ひび割れ			D29	水平 ひび割れ	
	100		斜め ひび割れ				斜め ひび割れ	
	150							
	200							



図—4 コンクリートのひずみ変化



図—5 ひび割れ発生時の変位

れ)が発生しコンクリート表面まで達する傾向が把握できる図—3(a)(b). 一方, D13-C30-S50は荷重初期の段階では斜めひび割れが発生するものの, コンクリート表面へのひび割れ進展はなく, 隣接する鉄筋とのひび割れが連結し, 最終的に水平方向のひび割れ(水平ひび割れ)を形成した. さらに端部の鉄筋周辺では, かぶり厚方向に高ひずみ領域が増加していく様子が顕

著に見られた図—3(c).

表—2に, 鉄筋間隔およびかぶり厚を考慮してひび割れ形状を分類した結果を示す. 鉄筋間隔が50mmでは, かぶり厚が20, 30mmは水平ひび割れが卓越して発生したが, 鉄筋間隔が100mmより大きくなると斜めひび割れが卓越して発生した. この場合, 隣接する鉄筋の影響を受けず, 鉄筋径は影響しないと考えられる.

図—4に, 鉄筋の変位とコンクリートのひずみの関係を示す. 斜めひび割れが卓越するケース(D13-C20-S150)では, 鉄筋の変位が約0.14mmに達した時点で, コンクリート表面の着目要素において最大主ひずみが急激に増加した. また, 水平ひび割れが卓越するケース(D13-C20-S50)では, 隣接する鉄筋の中間部に着目した結果, 斜めひび割れが卓越するケースと比較して, 最大主ひずみが急激に増加する時点での変位が小さくなる傾向にあった.

図—5に, 斜めひび割れがコンクリート表面に達した際の変位とかぶりの関係を示す. これは, 最大主ひずみが急激に増加した際の鉄筋の変位を, 鉄筋間隔ごとに示す. 変位は, 鉄筋径ごとにかぶりの増加に伴い増加する傾向が一致した. なお, かぶり30mmでは多少のばらつきが見られ, 初期に導入した収縮・クリープの影響が大きくなった結果であると考えられる. 鉄筋間隔の違いによる変位の違いは見られず, 配置された複数の鉄筋に十分な距離がある場合, 相互に依存しないために, 鉄筋径の影響が表れなかったと考える.

4. まとめ

コンクリート表面に発生する最大主ひずみが, 鉄筋の変位の増加に伴い急激に増加する時点に着目した結果, 斜めひび割れ発生に必要な鉄筋の変位は, かぶりの増加に伴い増加した. なお, 鉄筋径が異なってもひび割れ形状には変化がなかった. 鉄筋間隔50mmでは水平ひび割れの形状も見られたが, 鉄筋間隔100mm以降は斜めひび割れになる傾向が見られた.

参考文献

- 1)CEB-FIP : Model Code 1990, Comite Euro- international du Beton, pp.54-55, 1990
- 2)(財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 丸善株式会社, PP.204-205, 2004.4
- 3)轟 俊太郎, 渡辺 健, 曾我部正道, 谷村幸裕: 鉄筋押抜きによるかぶりコンクリートのはく落に関する検討, 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, Vol.12, pp.69-74, 2012.11
- 4)(財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編) コンクリート構造物, 丸善株式会社, P224, 2007.1