第Ⅴ部門　　鉄筋断面の周方向腐食分布がひび割れ発生限界腐食量に与える影響に関する解析的検討

京都大学　学生会員　○齊藤　亮介
京都大学　正 会 員　　山本　貴士
京都大学　正 会 員　　高谷　哲
京都大学　フェロー　　宮川　豊章

１．研究目的

コンクリート中の鉄筋が腐食すると耐荷力の低下やひび割れの進展によってかぶりコンクリートの剥落が生じる危険性があるため，内部鉄筋の腐食の程度を推定することが有効であると考えられている．そのため，ひび割れ発生限界腐食量(以下，限界腐食量)やひび割れ幅と腐食量の関係については多くの研究が行われているが，未だ統一的な見解が得られていないのが現状である．限界腐食量に影響する要因は多いが，本研究では，FEM 解析によって鉄筋断面の周方向腐食分布が限界腐食量に与える影響に関して検討を行った．

２．解析概要

２．１モデル概要

解析には汎用解析ソフト DIANA9.4.4 を使用した．解析モデルは，400×400×150mm の角柱 3 次元モデルで鉄筋要素を 150mm ピッチで配置した．また，モデル中央に軸方向の円柱空洞を設け，この空洞内面に面圧を与えることで腐食膨張圧を模擬した．この時，面圧を与える区間の長さが実際の腐食における腐食長さに相当している．**図 1** に使用したモデルの一例として，かぶり 20mm，鉄筋径 D19，腐食長さ 100mm の解析モデルを示す．境界条件として，上面と底面を 3 軸の並進・回転方向共に拘束した．

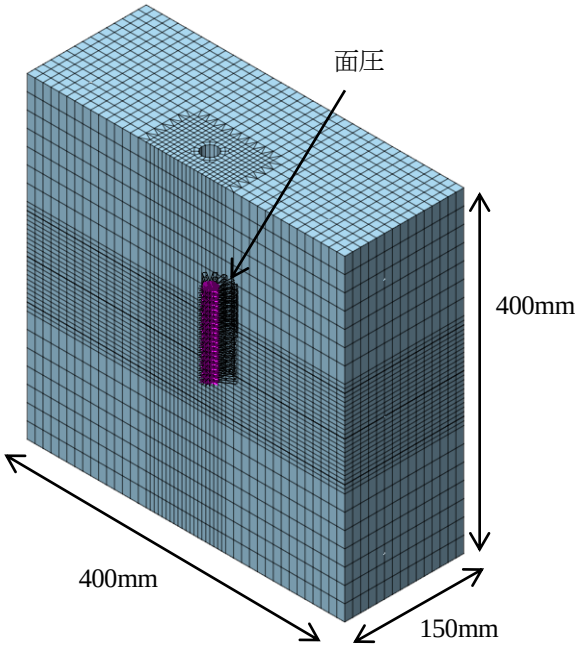

図 1　解析モデルの一例

２．２構成則および材料特性

解析に使用したコンクリートの諸元を**表 1** に示す．コンクリート要素は弾性のソリッド要素を使用し，ひび割れの表現には，分散ひび割れモデルを使用した．また，引張軟化特性を考慮し，終局ひずみをコンクリートの破壊エネルギーG_fに基づいて定義した [1]．供試体内部に配置した鉄筋は，DIANA 独自の要素である埋込鉄筋要素で再現した．また，鉄筋には，で一般に部材の耐力等の照査に用いてよいとされている応力 - ひずみ関係 [1]を用いた．以上の材料構成則を**図 2**，**図 3** に示す．

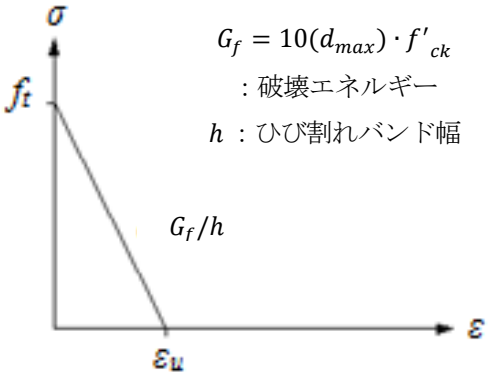

図 2　引張り軟化特性 [1]

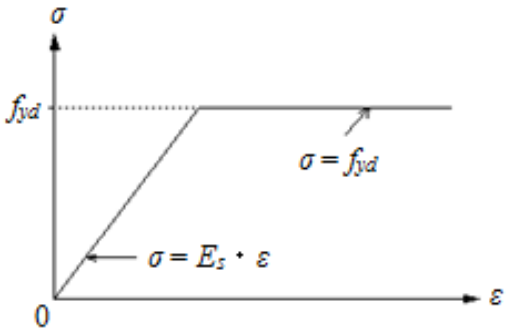

図 3　鉄筋の構成則 [1]

２．３解析要因

解析要因として，かぶり 4 種類（10，20，30，40mm），腐食長さ 3 種類（100，150，200mm），導入する膨張圧の周方向分布 4 種類（1/4 周:r90，1/3 周:r120，1/2 周:r180，全周:r360）を設

Ryosuke SAITO, Satoshi TAKAYA, Takashi YAMAMOTO and Toyoaki MIYAGAWA
saito.ryosuke.37m@st.kyoto-u.ac.jp

表 1　コンクリートの諸元

圧縮強度 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	ポアソン比	弾性係数 (N/mm²)
38.3	3.5	0.16	29676

定した．4 種類の内圧導入の模様を，内圧を与えた円柱空洞の xy 断面として**図 4** に示す．

3．解析結果

r90 では鉄筋周囲のかぶり側 1/4 周，r120 では 1/3 周，r180 では 1/2 周が等しく腐食する場合を，r360 では鉄筋全周が等しく腐食する場合を模擬しており，円柱空洞内節点の変位の最大値であるかぶり直下の節点の変位が腐食による鉄筋半径の変化量に相当する値であると考えられる．そこで，ひび割れ発生時の円柱空洞のかぶり直下の節点の変位を比較することとした．**表 2** にかぶり直下の節点変位を示す．腐食長さの影響が見られないため，腐食長さ 3 種類の平均値で比較を行った．

r90，r120，r180 の結果を r360 の結果で除した値は，約 1.01 倍，約 1.22 倍，約 1.06 倍の変位量であった．前述の通り表中の変位値は，腐食による鉄筋半径の変化量に相当し，周方向の腐食分布を考慮すると，r90 シリーズの限界腐食量は全周腐食の約 0.25 倍，r120 シリーズは約 0.41 倍，r180 シリーズは約 0.53 倍であると考えられる．つまり，周方向腐食分布が生じた場合でもかぶりコンクリート表面にひび割れが生じるのに十分な膨張圧を生じさせ，腐食分布が小さいほど限界腐食量は小さくなると考えられる．

全周腐食を 1.0 とした場合の周方向腐食分布の割合と限界腐食量の関係を**図 5** に示す．限界腐食量は周方向腐食割合に概ね比例して大きくなっており，次式で精度よく近似できることが分かる．

$$\frac{W_{loss}{}'}{W_{loss}} = 1.1 \times r_c \qquad (1)$$

ここで，W_{loss}：全周腐食の場合の限界腐食量，$W_{loss}{}'$：周方向腐食分布が生じた場合の限界腐食量，r_c：全周腐食を 1.0 とした場合の周方向腐食分布の割合とする．

4．結論

周方向腐食分布が生じる際の限界腐食量は周方向腐食分布に概ね比例して大きくなり，全周腐食時の限界腐食量との比は$\frac{W_{loss}{}'}{W_{loss}} = 1.1 \times r_c$で表されることが分かった．

参考文献

1)　土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，2007

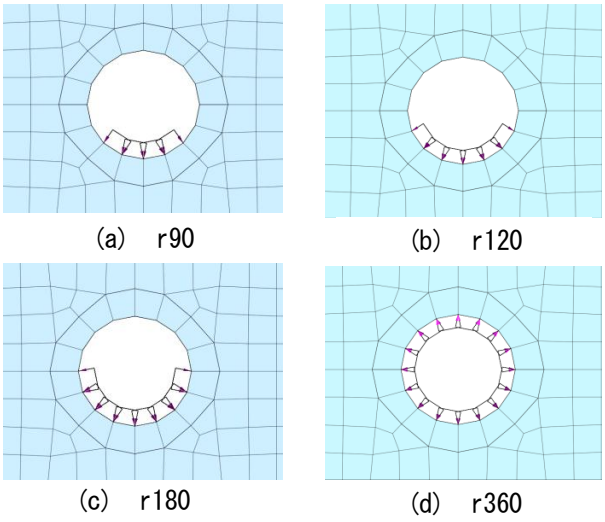

図 4　内圧導入パターン

表 2　円柱空洞内部の最大変位量

変位量(mm)		C			
		10	20	30	40
L100	r90	0.049	0.040	0.032	0.045
	r120	0.069	0.042	0.037	0.046
	r180	0.056	0.042	0.035	0.044
	r360	0.050	0.043	0.037	0.048
L150	r90	0.043	0.048	0.039	0.052
	r120	0.06	0.05	0.05	0.05
	r180	0.06	0.04	0.04	0.05
	r360	0.05	0.05	0.04	0.04
L200	r90	0.05	0.05	0.04	0.05
	r120	0.07	0.05	0.06	0.06
	r180	0.06	0.04	0.05	0.05
	r360	0.05	0.05	0.04	0.04

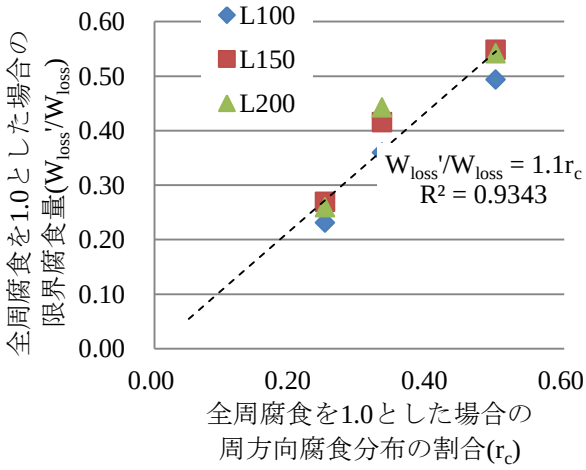

図 5　全周腐食を 1.0 とした場合の
限界腐食量と周方向腐食分布の割合