

鉄筋腐食膨張により生じるひび割れ面積推定手法に関する研究

京都大学 学生会員 高谷 哲 西日本旅客鉄道（株） 正会員 荒木 弘祐
 京都大学 正会員 山本 貴士 正会員 服部 篤史 フェロー 宮川豊章

1 研究目的

筆者らは既報^{1),2)}で、鉄筋腐食により生じる膨張圧がかぶりコンクリートへのひび割れを引き起こし、剥落を生じさせるまでのメカニズムをモデル化した実験を行っており、その実験結果と実際の鉄筋腐食の整合性について検討している。本研究では、既報の研究の成果を踏まえ、より実構造物の配筋に近い供試体を作成し、実験を行った。得られた実験結果の中から、半径変化量とひび割れ進展エネルギーの関係を用いて、ひび割れ面積を腐食長さと同断面半径減少量の関数で表すことを検討した。

2 既報^{1),2)}

筆者らは既報で、弾性体を用いた鉄筋腐食膨張圧モデル実験を行い、図-1に示すように系全体に与えられるエネルギー(U)と、コンクリートおよび弾性体に蓄積されるエネルギーの和(U_E+U_C)には差があり、この差は、主にひび割れの発生進展に消費・消散されるエネルギーであることを明らかにしている。また、コンクリート破壊エネルギーをG_Fとして、ひび割れ進展エネルギー(U_S)とひび割れ面積(A)の間には、次式の関係がほぼ成り立つことを示している。

$$U_S = G_F \cdot A \quad (1)$$

3 実験概要

作成した供試体は400mm×150mm×400mmの角柱供試体で、内部に20×400mmの円柱空洞を貫通させ、実構造物を模擬するために直交配筋を設けた。弾性体は、位置決め治具を用いて供試体中央に配置した。かぶり厚は10, 20 および 30mmの3種類作成し、内部に挿入する弾性体長さ(内圧導入長さ)は50, 100, 150 および 200mmの4種類作成した。供試体はかぶりおよび弾性体それぞれの組み合わせを4体ずつ作成し、合計48体作成した。載荷は既報²⁾に準じて行った。

4 実験結果と考察

4.1 ひび割れ進展エネルギー算出結果

半径変化量とひび割れ進展エネルギーの関係の一例を図-3に示す。両者の関係は、すべての供試体で同様の傾向を示す結果となり、概ね最大内圧時を変曲点とするS字曲線形状の関係となった。得られたS時曲線は半径変化量に対して凹凸が少なく、線形近似したところ、相関係数は0.98~0.99であった。ここから、半径変化量とひび割れ進展エネルギーのキーワード 鉄筋腐食 G_F 断面半径減少量 ひび割れ面積

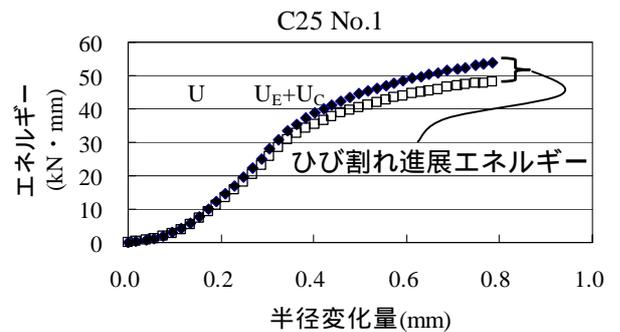


図-1 エネルギーの消散

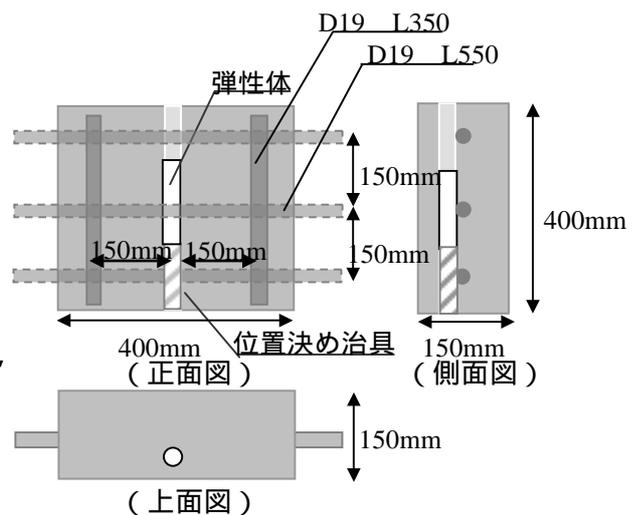


図-2 供試体概要

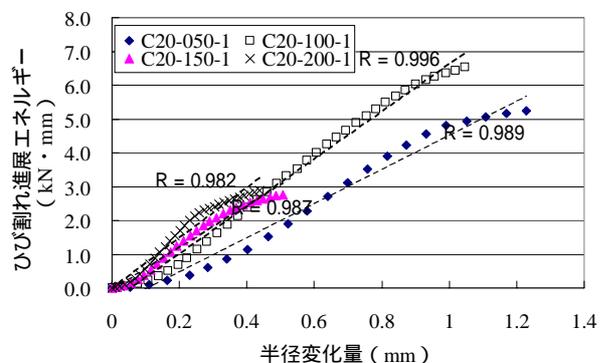


図-3 ひび割れ進展エネルギー算出結果

関係は切片 0 の直線で近似できることが分かった．このことから，半径変化量とひび割れ進展エネルギーの関係式を得ることにより，ある半径変化量の時に発生しているひび割れ進展エネルギーを推定することが可能であると考えられる．

半径変化量は腐食生成物層を含めた見かけ上の鉄筋半径と健全鉄筋半径の差である．腐食膨張倍率を一定とすれば，図 - 3 横軸の半径変化量は一次関係で鉄筋の断面半径減少量に換算することができる．一方， G_F を一定とすれば式(1)より，図 - 3 縦軸のひび割れ進展エネルギーとひび割れ面積の間には一次関数関係が成り立つ．半径変化量とひび割れ進展エネルギーの関係が線形近似できることから，断面半径減少量とひび割れ面積の関係も線形関係であると考えられる．そこで，実験終了時のひび割れ面積を求め，実験終了時の換算断面半径減少量とひび割れ面積の関係を整理することとした．

4.2 ひび割れ面積算出方法

図 4 に示すように，CAD 上で剥離ひび割れを三角形で近似し，各辺の長さを求めた．このトレース図はコンクリート表面への投影図となっているため，三平方の定理を用いて図 - 6 斜線部三角形の三辺の長さを求め，ヘロンの公式により斜線部の面積を算出した．各三角形の面積の総和を剥離ひび割れ面積とした．軸ひび割れについては，(ひび割れ長さ) × (かぶり) を軸ひび割れ面積とした．剥離ひび割れ面積と軸ひび割れ面積の和をひび割れ面積とした．

4.3 ひび割れ面積推定式

得られた換算断面半径減少量とひび割れ面積の関係を図 - 5 に示す．それぞれの直線の傾きを k とおき，かぶりおよび内圧導入長さが傾き k に与える影響について整理した．結果を表 - 1 に示す．表 - 1 を見ると，傾き k はかぶりの影響は受けず，内圧導入長さが大きくなると傾き k が大きくなることが分かった．内圧導入長さとの傾き k の関係を図 - 6 に示す．図を見ると，内圧導入長さとの傾き k は概ね線形関係にあることが分かった．以上より，ひび割れ面積 A は，内圧導入長さ L および断面半径減少量 r を用いて次式により算出できることが分かった．

$$A = k\Delta r = 1085 \cdot L \cdot \Delta r \quad (2)$$

内圧導入長さは，実構造物における腐食長さ相当し，式(2)は，腐食長さと断面半径減少量に分かれればひび割れ面積を推定できることを意味している．今後ひび割れの進展パターンを把握することにより，内部ひび割れの進展の予測が可能であると考えられる．

参考文献

- 1) 高谷哲，荒木弘祐，服部篤史，宮川豊章：弾性体を用いた鉄筋腐食膨張圧モデル化の実験的検証，土木学会年次講演会，5-275，2004
- 2) 高谷哲，荒木弘祐，服部篤史，宮川豊章：コンクリート破壊エネルギー G_F 算出方法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol27，2005

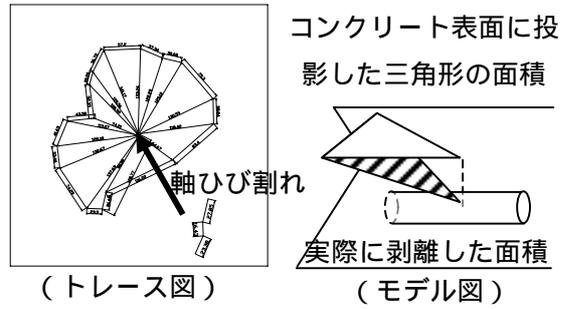


図 - 4 面積算出モデル
かぶり10mm

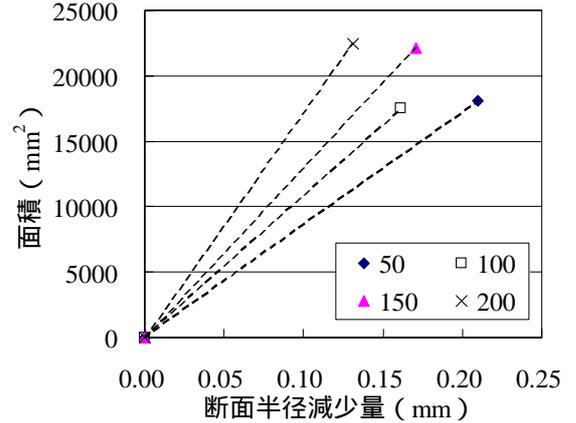


図 - 5 断面半径減少量 - ひび割れ面積関係

表 - 1 かぶり (C : mm)，内圧導入長さ (L : mm) と傾き k (mm^2/mm) の関係

	直線の傾き(k)			
	L50	L100	L150	L200
C10	86230	108761	129543	171067
C20	60639	126020	140078	244915
C30	68115	98636	156815	264454
内圧導入長さ毎平均	71661	111139	142145	226812

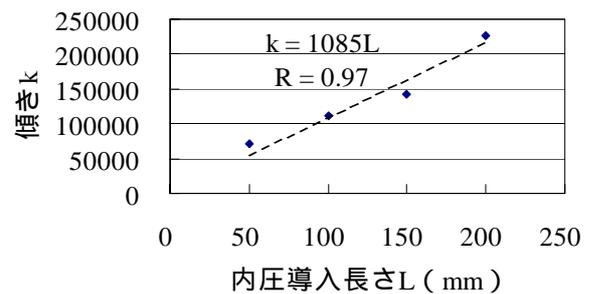


図 - 6 内圧導入長さ毎の傾き