

断面修復を行った鉄筋コンクリートの再劣化における破壊エネルギーに関する研究

京都大学 学生会員 金 珉旭 学生会員○高谷 哲

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

断面修復後の再劣化によるひび割れ発生・進展のメカニズムは不明確な点が多く、定量的な剥離の予測を行うのは難しいのが現状である。そこで、本研究では断面修復を施した供試体に対して鉄筋腐食模擬実験を行い、ひび割れの進展を破壊エネルギーで評価した。

2. 実験概要

供試体内部に弾性体を挿入し、弾性体を圧縮変形させることによりポアソン効果で内部膨張圧を発生させる手法を用いて鉄筋腐食膨張圧を模擬した。供試体は 400×400×

150mm の角柱供試体で、D19 鉄筋を 150mm 間隔で格子配筋するとともに、内部にφ20×400mm の円柱空洞を貫通させた。弾性体(長さ 200mm)は、供試体中央に配置し、かぶりは 20mm とした。断面修復材はポリマーも保水剤も含まないプレーン(L)、ポリマーは含まないが保水剤を含むプレーン(H)および PCM (M) の 3 種類、断面修復形状は図 1 に示す 30V、40R および 70R の 3 種類、断面修復幅は 100mm、150mm および 200mm の 3 種類とし、これらの組み合わせについて 2 体ずつ作成し、合計 36 体作成した。載荷速度は 0.01mm/sec とし、測定項目は鉛直変位、鉛直荷重および供試体中央に設置したひずみゲージ値とした。載荷は剥落する時点で終了とした。載荷の様子を図 2 に示す。

3. エネルギー算出方法

鉛直変位(dL)および鉛直荷重(P)は、式 (1) を用いて半径変化量(dr)および内圧(pi)に変換できる¹⁾。また、鉛直変位、鉛直荷重、半径変化量および内圧を用いて式

(2) より各エネルギーを算出することができる²⁾。

ここで、E：弾性体の弾性係数、ν：弾性体のポアソン比、A₁：弾性体断面積、r₁：弾性体の元半径、L：弾性体元長、U：系全体に与えられたエネルギー、U_E：弾性体に蓄積されたエネルギー、U_C：コンクリートに蓄積されたエネルギー、U_S：ひび割れ進展に消費されたエネルギーをそれぞれ表す。

4. 実験結果および考察

4.1 剥離ひび割れ

断面修復形状 30V は剥離が発生した状態のまま断面修復したことを模擬している。載荷終了後、剥離ひび割れの進展経路を目視観察したところ、図 3 に示すように断面修復形状 30V の供試体では界面にひび割れが進展して

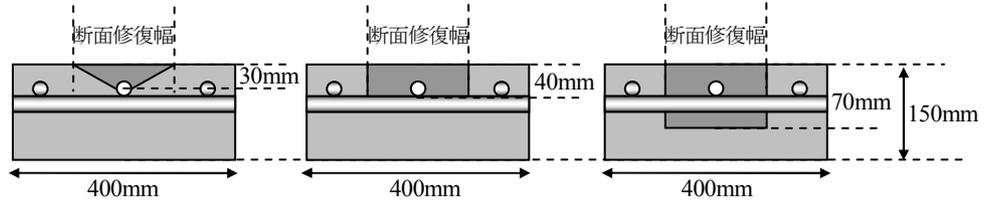


図 1 断面修復形状の模式図(左から 30V,40R,70R)

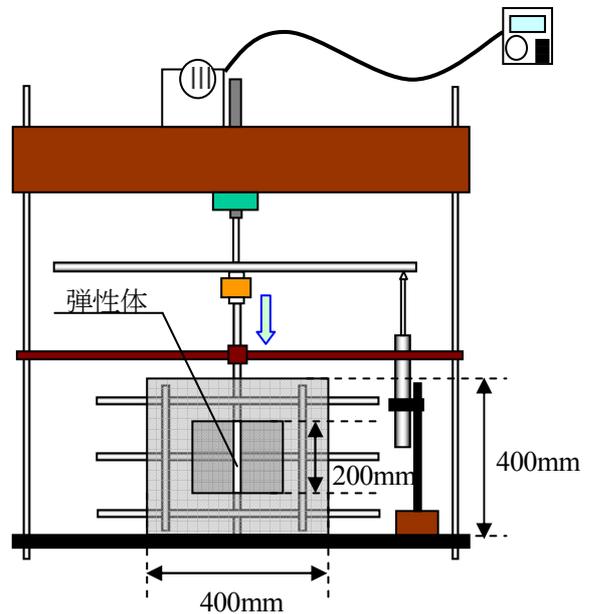


図 2 載荷の様子

$$p_i = \frac{\nu E}{\nu - 1} \left(\frac{dL}{L} - \frac{P}{Er_1^2 \pi} \right) \quad dr = \frac{\nu \cdot dL \cdot r_1}{L} \quad (1)$$

$$U = \sum_j \frac{(dL_{j+1} - dL_j)(P_j + P_{j+1})}{2}$$

$$U_E = \sum_j \frac{E}{2L} \cdot (A_{1j+1} - A_{1j}) \cdot (dL_{j+1} - dL_j)^2 \quad (2)$$

$$U_C = \sum_j \frac{1}{2} (p_{ij} + p_{i,j+1}) \cdot (dr_{j+1} - dr_j) \cdot (r_1 + dr_j) \cdot (L - dL_j) \cdot 2\pi$$

$$U_S = U - (U_E + U_C)$$

キーワード 断面修復, 再劣化, 鉄筋腐食, 破壊エネルギー

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター C1-453 TEL 075-383-3173 FAX 075-383-3177

いた。一方、断面修復形状 40R および 70R の供試体では断面修復材内部でひび割れが進展していたが、断面修復幅が同じ供試体では断面修復形状に関わらずひび割れ進展角度は 30V と同様であった。また、断面修復幅を小さくすると、ひび割れ進展角度は断面修復材内部で収まるように変化することが分かった。

4.2 断面修復形状と G_F の関係

破壊エネルギー(G_F)は、引張によって単位面積のひび割れを進展させるために必要なエネルギーである³⁾ので、ひび割れ進展エネルギー(U_S)、ひび割れ面積(A)および破壊エネルギー(G_F)の間には以下の関係式が成立つ。

$$U_S = G_F \cdot A \tag{3}$$

式(1)および式(2)に弾性体の弾性係数(1.39N/mm^2)およびポアソン比(0.49)を代入し、実験終了時のひび割れ進展エネルギー U_S を求めるとともに測定したひび割れ面積(A)を用い、式(3)より G_F を算出した。断面修復形状と G_F の関係を図 4 に示す。断面修復形状 30V に着目すると、各断面修復材の付着強度は、L : 0.6N/mm^2 、H : 2.4N/mm^2 、M : 2.0N/mm^2 であるため、界面を進展する剥離ひび割れが引張によって生じるのであれば断面修復形状 30V の供試体では断面修復材 $L < M < H$ の順に G_F が大きくなると考えられる。しかし、図 4 を見ると、 G_F と付着強度の傾向が異なるため、界面を進展する剥離ひび割れは引張以外の破壊モードを含んでいると考えられる。また、断面修復幅が同一の供試体についてはひび割れ角度が断面修復形状の影響を受けずほぼ一定(図 3)であったことから、断面修復形状 40R および 70R の G_F も引張以外の破壊モードを含んでいる可能性がある。

4.3 断面修復幅と G_F の関係

断面修復幅と G_F の関係を図 5 に示す。図を見ると断面修復幅は G_F に影響を与えないことが分かる。断面修復材の影響については、30V では影響は見られなかったが、図 5 の 40R を見ると断面修復材 $M < L < H$ の順に大きくなっている。界面にひび割れを生じない断面修復形状 40R の結果は、各断面修復材の剥離ひび割れの破壊エネルギーを表していると考えられ、本実験で使用した断面修復材の剥離ひび割れの破壊エネルギーは $H > L > M$ の順に大きいと考えられる。各断面修復材の引張強度は L : 3.7N/mm^2 、H : 2.8N/mm^2 、M : 3.8N/mm^2 であり、大小関係が破壊エネルギーの傾向と異なる。このことから、断面修復材内部を進展するひび割れも引張以外の破壊モードによって生じている可能性がある。

結論

- 1) 再劣化により生じる剥離ひび割れは、断面修復幅が同一の場合、断面修復形状によらずある一定の角度を持って進展し、断面修復幅が小さくなるとひび割れ角度も小さくなることが分かった。
- 2) 断面修復形状 30V で界面を進展するひび割れの破壊エネルギーが付着強度に依存しなかったことから、剥離ひび割れは引張以外の破壊形態を含む可能性がある。また、算出された各断面修復材の G_F の違いから、剥離ひび割れを生じる際の G_F は断面修復材 $H > L > M$ の順に大きいと考えられる。

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, pp.551-552, 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, pp.163-168, 2005 (3)COMITE EURO-INTERNARIONAL DU BETON : CEB-FIP MODEL CODE 1990, Thomas Telford Services Ltd, 1993

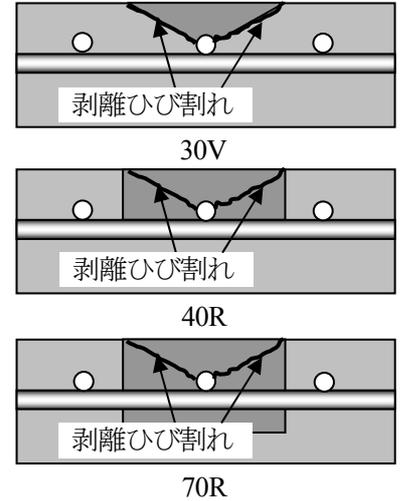


図 3 剥離ひび割れ進展経路の模式図(断面修復幅 200mm)

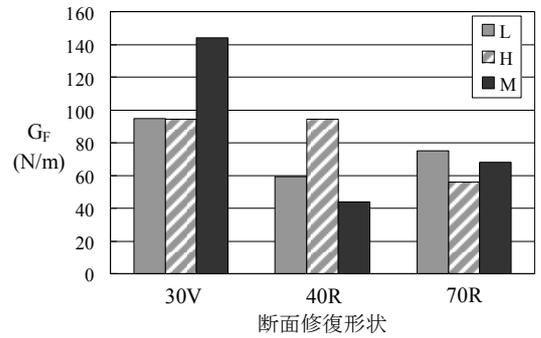


図 4 断面修復形状と G_F の関係 (断面修復幅 200mm)

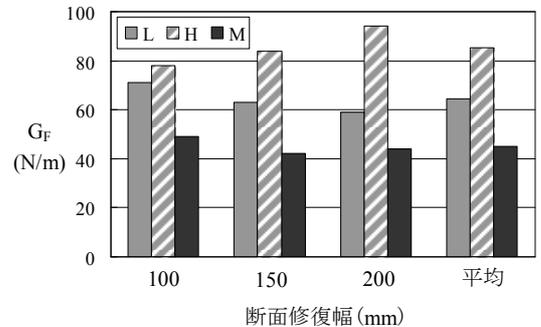


図 5 断面修復幅と G_F の関係 (断面修復形状 40R)