

分散ひび割れ型 FEM によるひび割れ幅の予測  
(その 8 : 付着割裂ひび割れのモデル化)

正会員 ○佐藤 裕一\*

正会員 長沼 一洋\*\*

鉄筋コンクリート      ひび割れ幅      性能評価  
有限要素法              分散ひび割れモデル      付着

## 1. はじめに

FEM において RC 部材の付着劣化を表現するには、鉄筋要素とコンクリート要素の間に接合要素を組み込む方法が最も簡便であり、1967 年の Ngo の研究<sup>1)</sup>以来広く用いられている。この方法の問題として、本来は鉄筋周辺に一定の広がりを持つ付着劣化現象を、無次元の接合要素に集約してモデル化している点が挙げられる。

本論では、接合要素に隣接するコンクリートのひび割れ発生条件を、藤井・森田の付着応力～滑りモデル<sup>2)</sup>に連動させることにより、付着割裂ひび割れの表現を試みた。

## 2. 計算方法と解析対象

解析対象は渡辺らの逆対称曲げせん断梁試験体<sup>3)</sup>のうち付着割裂破壊した 6 体とする(表 1)。実験変数はせん断スパン比 ( $a/d = 1, 2, 3$ ) とせん断補強筋の有無である。梁断面は 300 mm×450 mm、主筋は 4D29 (SD685)、せん断補強筋は 2D13@100 (SD345,  $p_w = 0.84\%$ ) である。

要素分割は梁幅方向の対称性を利用した 1/2 モデルとする(図 1)。コンクリートには 8 節点六面体要素を使用し、スパン部分は約 60 mm 角の要素分割とした。主筋は 2 節点トラス要素、せん断補強筋はコンクリート要素内の分散鉄筋として表現した。载荷は試験体上に設けた加力用の梁要素に強制変位を与え、定比率荷重を分配する。

表 1 解析対象試験体一覧

| Specimen | Span (mm) | $f'_c$ (MPa) | $p_w$ (%) |
|----------|-----------|--------------|-----------|
| DB400    | 800       | 28.6         | 0.00      |
| DB408    | 800       | 28.9         | 0.84      |
| DB600    | 1200      | 30.3         | 0.00      |
| DB608    | 1200      | 28.9         | 0.84      |
| DB800    | 1600      | 29.3         | 0.00      |
| DB808    | 1600      | 29.3         | 0.84      |

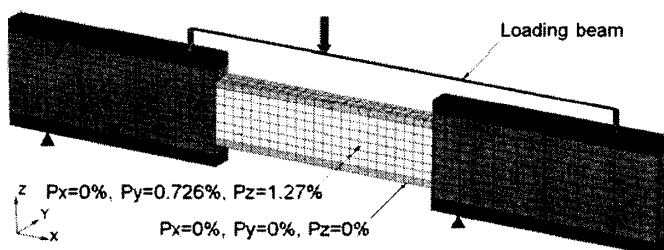


図 1 解析モデル (DB808)

図 2 に藤井・森田による弾塑性型付着応力～滑りモデルを示す。これを主筋に沿って配置した 4 節点接合要素に適用する。割裂により付着応力が急減するが、この時に隣接するコンクリート要素にひび割れを導入する。ひび割れの方向はその時点の最大主応力方向に直交する方向とする。またひび割れ面重心位置を主筋要素重心位置まで移動する。本解析ではひび割れ先端の応力集中を考慮しているため、この重心移動処理によりひび割れが主筋に沿って進展しやすくなる。

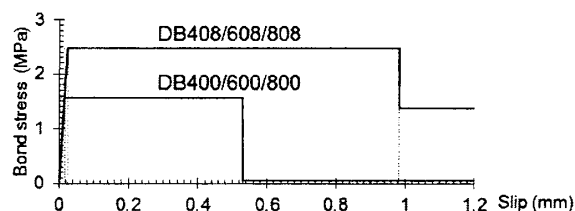


図 2 付着応力～滑りモデル

## 3. 計算結果

図 3a にせん断力～変位関係を示す。細線は実験値、実線は割裂無しの解析、点線は割裂有りである。割裂は最大荷重到達後に生じるが、せん断力～変位関係上の差異はそれほど顕著ではない。せん断補強筋のある試験体 (DB408, DB608, DB808) は実験と解析の対応性は良好であるが、せん断補強筋の無い試験体 DB800 の強度・靱性は過大評価されている。図 3b に割裂ひび割れを考慮した解析におけるスパン 4 等分点の上端の割裂ひび割れの幅を示す。せん断補強筋の無い DB400, DB600, DB800 の割裂ひび割れ幅が 2 mm 以下にとどまっているのに対し、せん断補強筋のある DB408, DB608, DB808 はひび割れ幅が大きく、特に DB608 は 11.8 mm に達している。

図 4 に実験と解析による各試験体のひび割れ分布を示す。解析は回転角 5% 時 (DB400 のみ 2.5% 時) の図であり、付着割裂に特有なひび割れ分布が表示されている。しかしながら実験においてはスパン全域にせん断ひび割れが成長する前に、主筋に沿った割裂ひび割れが発生し、無ひび割れ領域が残っていたのに対し、本解析では、そのような状況が再現できていない。この原因として、藤井・森田モデルで定義される割裂破壊時の滑り量に達する以前から、主筋に沿った付着劣化と周辺コンクリートの剛性低下が徐々に進行していた可能性が考えられる。

#### 4. まとめ

鉄筋に沿った接合要素の挙動に連動させたひび割れ発生条件の導入により、付着割裂ひび割れがある程度再現できることが分かった。せん断補強筋が無い場合に耐力を過大評価する点を含めて、今後、解析精度向上のためには、割裂時の滑り量や主筋周囲のマイクロクラックの成長を考慮しながら改善を進める必要がある。

##### 【参考文献】

- 1) Ngo, D. and Scordelis, A. C.: Finite element analysis of reinforced concrete beams. Journal of the American Concrete

Institute 1967; 64:152-163.

- 2) 後藤定己, 森田司郎, 藤井栄, 得能正隆, 福井健二: 割り裂き付着破壊モードに与える横補強筋の影響, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (構造系), Vol. 21, pp.197-200, 1981  
3) 渡辺健, 田所敏弥, 谷村幸裕, 黒川浩嗣: 逆対称曲げが作用したディープビームの破壊性状に関するせん断スパン比の影響, コンクリート工学年次論文集 Vol. 29, No. 3, pp.691-696, 2007

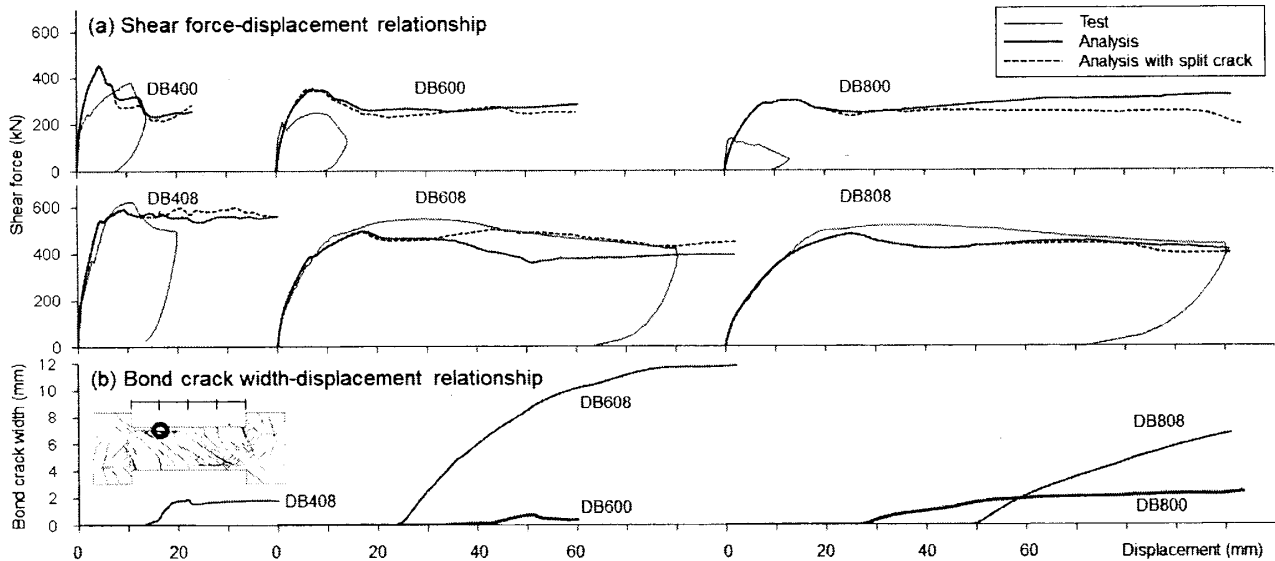


図3 せん断力～変位関係と付着割裂ひび割れ幅

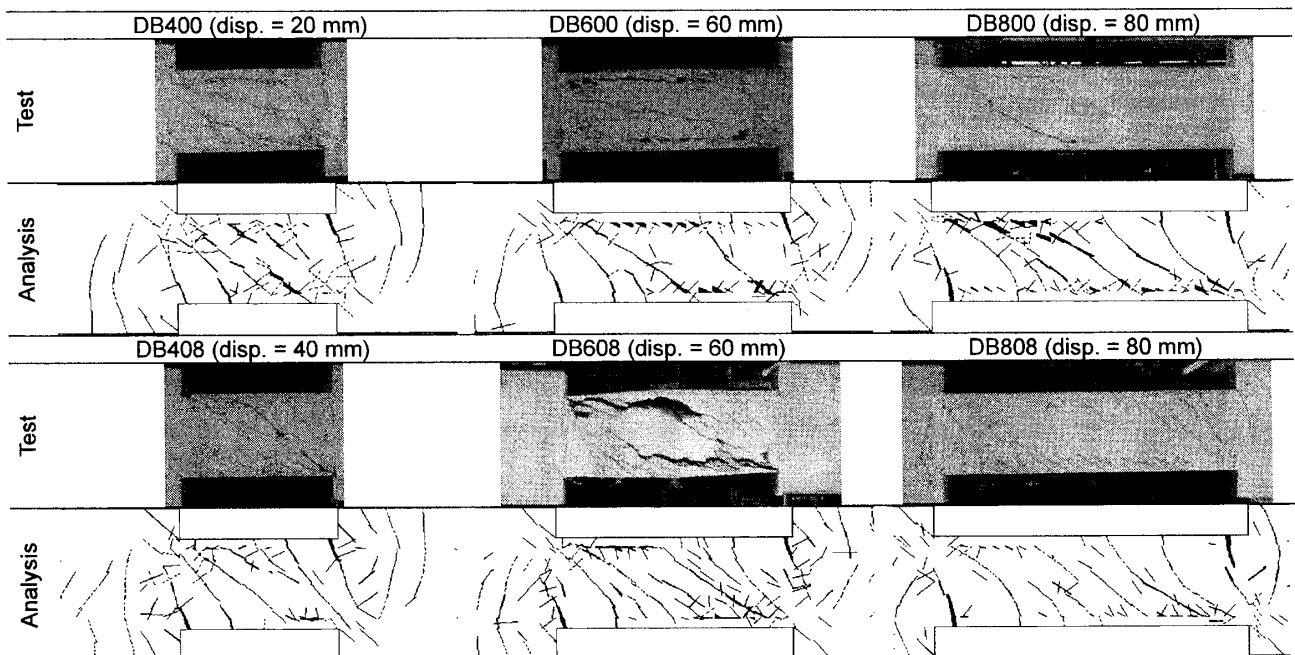


図4 実験と解析によるひび割れ分布 (解析は回転角 5%時)

\* 京都大学大学院 工学研究科・博士(工学)

\*\* (株)大林組技術研究所・博士(工学)

\* Dr. Eng., Graduate School of Engineering, Kyoto University

\*\* Dr. Eng., Technical Research Institute, Obayashi Corporation