

# 連続繊維シート補強 RC はりにおける付着破壊の有限要素解析

神戸大学大学院 学生員 杉山 裕樹  
 神戸大学工学部 正員 森川 英典

1. はじめに：連続繊維シート補強 RC はりにおいて著者らが行った実験<sup>1)</sup>によって、接着樹脂の材質の相違により付着破壊性状が大きく異なることが明らかとなった。本研究ではこれらの破壊性状に着目して、付着要素のモデル化を提案し、有限要素解析法を用いることによりはりの耐荷性能を評価することを目的としている。本稿では、引張付着試験に基づいてモデル化した付着要素を導入し RC はりの有限要素解析を行い、耐荷力評価実験結果と比較することにより解析結果の精度の検証を行った。

2. 解析の概要：解析は二次元有限要素解析を用いた。解析モデルを図-1 に示す。解析対象モデルは著者らが行った実験において用いた供試体であり断面が 150×150mm、長さが 1400mm の RC はりとし、繊維シートは、幅 75mm、長さ 1100mm とし、エポキシ樹脂を用いて供試体下面に接着した。解析モデルは、対称供試体であったため、片側のみをモデル化して、スパン中央断面を軸方向に拘束した。また、コンクリートを平面応力要素、鉄筋要素を線要素とし、コンクリート要素と引張鉄筋要素の接触節点において、付着を考慮したバネ要素を導入している。さらに、はり下面に貼り付けた

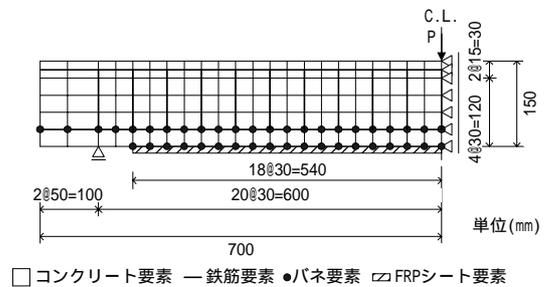


図-1 解析モデル図

繊維シート要素を線要素でモデル化し、コンクリート要素と繊維シート要素との接触節点において、付着を考慮したバネ要素を導入している。コンクリート要素の引張側については、引張限界ひずみまでは弾性範囲として、引張限界ひずみに達すると、応力 - ひずみ関係が直線関係になるように引張軟化モデルを導入した。繊維シート要素については、弾性 - 破断型でモデル化した。接着樹脂要素の特性について高弾性率および低弾性率を図-2 に示す。接着樹脂要素の特性は、マクロ的にとらえるため著者らが行った引張付着試験<sup>2)</sup>により算出した付着力と相対変位との関係を基にして、バネ剛性を算出し、付着方向のみ弾塑性型でモデル化した。本解析では要素のはく離が開始すると要素の付着力はそれ以上増加しないと仮定している。したがって、はく離現象については塑性域を設けることで考慮した。塑性域に達する判定については相対変位により行った。塑性域に達する相対変位については、要素のはく離開始点であるため、さらにミクロ的にとらえる必要がある。図-3 に示す下村らによるモデル化の手法<sup>3)</sup>を用い引張付着試験結果から算出した付着応力 - 相対変位関係において、弾性 - 軟化 - はく離型モデルが占める面積と同等の面積になるような弾性 - はく離型モデルを考え、そのモデルにおけるはく離相対変位を本解析手法における要素のはく離開始相対変位と仮定した。しかし、低弾性率の樹脂においては、引張付着試験においてははく離にいたらず、繊維シートの破断により破壊したため、さらに大きな付着力、相対変位においてははく離するものと考えられる。したがって、本研究で

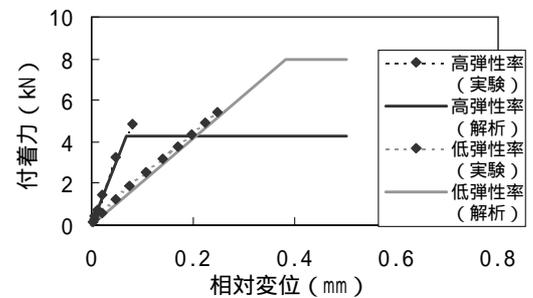


図-2 接着樹脂の特性

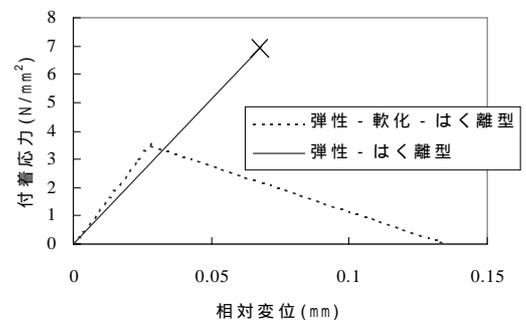


図-3 付着応力 - 相対変位関係 (高弾性率)

キーワード：連続繊維シート補強，エポキシ樹脂，有限要素解析，RC 部材  
 連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL：078-803-6027

は塑性域に達する相対変位については、高弾性率樹脂を参考とし少なくとも最大付着応力発生時における相対変位の2倍以上の相対変位においてははく離が生じているため、はく離開始時相対変位を最大付着応力発生時の相対変位の2倍と仮定した。計算は全面塑性域に達した時点もしくは繊維シートのひずみが破断ひずみに達した時点で終了した。供試体の名称および要因については、表-1に示す。また、繊維シートの性質およびエポキシ樹脂の物性については、表-2, 3に示す。

3. **実験の結果および考察**：供試体 C-H-L および C-L-L の荷重 - たわみ関係について図-5, 6に示す。両者とも樹脂のはく離現象を塑性現象としてモデル化したことにより、ある程度実験結果を追従していることがわかる。しかし、両者とも最大荷重においては実験値より解析値の方が大きい結果となった。これは、はく離時における付着応力の解放を行っていないためであり、また、鉛直方向のはく離現象を考慮していないためであると考えられる。各供試体について考察を行うと、供試体 C-H-L での最終的な破壊形態は、実験結果ではシートはく離により破壊し、解析結果では、全面塑性域に達し計算が終了したため、本解析手法においては、ほぼ同様の破壊形式であったと考えられる。また、供試体 C-L-L での破壊形態は、実験結果、解析結果ともシート破断であった。しかし、解析結果の方が破断時のはり中央部のたわみが大きい値となった。これは、実験においては水平方向のいわゆる単純引張力のみならず、ひび割れ部における面外せん断の影響<sup>4)</sup>により、単純引張による引張強度より小さい引張力で破断することが考えられるためである。また、供試体 C-H-L と C-L-L を比較すると実験結果と同様に解析結果においても樹脂の弾性率が小さいものの方が最大荷重、最大たわみにおいて大きい値となることが表現できた。

4. **結論**：以上から次の結論を得た。

- ・荷重 - たわみ関係においてはある程度解析結果が実験結果を追従することができた。
- ・破壊形式についても実験結果と解析結果はほぼ同様であった。
- ・解析結果においても樹脂の弾性率が小さい方が最大荷重、最大たわみは大きい値となることが表現できた。
- ・今後の課題としては、より精度良くはく離現象を考慮するためには要素が全面はく離に達した時点で付着応力を解放させる必要があると考えられる。

【参考文献】1) 杉山裕樹, 森川英典, 高田至郎, 小林秀恵, 中島潤一郎：エポキシ樹脂の材質に着目した RC はり部材の FRP シート接着補強における接着性能の評価, 土木学会第 54 回年次学術講演会, -359, pp.718-719, 1999.9.  
 2) 森川英典, 小林秀恵, 杉山裕樹, 中島潤一郎：コンクリート部材の FRP シート接着補強におけるエポキシ樹脂接着性能の実験的評価, 建設工学研究所論文報告集, 第 41 - A 号, pp.121-140, 1999.11.  
 3) 上原子昌久, 下村匠, 丸山久一, 西田浩之：連続繊維シートとコンクリートの付着・剥離挙動の解析, 土木学会論文集 No.634 / -45, pp.197-208, 1999.11.  
 4) 岳尾弘洋, 松下博通, 佐川康貴, 牛込敏幸：せん断スパン比を変化させた CFRP 補強梁の曲げ載荷実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.205-210, 1999.6.

表-1 解析要因

供試体番号	繊維シートの種類	樹脂の圧縮弾性率
C-H-L	炭素繊維	高弾性率
C-L-L	"	低弾性率

表-2 繊維シートの性質

繊維シートの種類	繊維目付 (g/m <sup>2</sup> )	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )
炭素繊維シート	300	0.167	3481	2.30×10 <sup>5</sup>

表-3 エポキシ樹脂の物性

樹脂の種類	圧縮弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	引張せん断接着強さ (N/mm <sup>2</sup> )
高弾性率	2.6×10 <sup>3</sup>	44.1	22.8
低弾性率	0.3×10 <sup>3</sup>	8.8	8.8

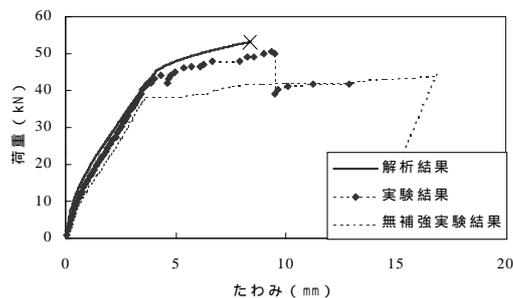


図-4 荷重 - たわみ関係 (高弾性率)

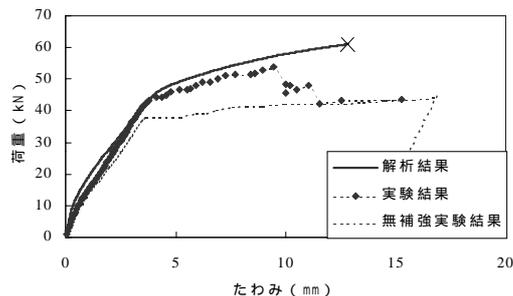


図-5 荷重 - たわみ関係 (低弾性率)