

付着破壊特性を考慮した連続繊維シート補強 RC はりの有限要素解析

阪神高速道路公団 正 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¹⁾により、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。本稿では、繊維シートの引張付着試験の結果に基づいた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付着特性による RC はりの耐荷性能を評価することを目的とし、耐荷力評価実験結果と比較することにより本解析手法の精度の検証を行った。

2. 解析の概要：解析は2次元有限要素解析を用いた。解析モデルを図-1に示し、解析要因について表-1に示す。解析対象モデルは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。付着特性を示す付着バネ要素のモデルをそれぞれの繊維シートについて図-2、図-3に示す。繊維シートとコンクリート間の付着特性は、コンクリートに発生するひび割れの影響を大きく受ける。しかし、実現象におけるひび割れは離散的に局所化したひび割れが発生しているのに対し、本FEM解析においては分散ひび割れモデルではりのひび割れ現象をとらえている。つまり、実現象と解析とでは、はく離の形態が大きく異なることが考えられる。また、最大付着応力の発生は位置によってばらつきがあることや、はく離破壊が発生すると動的にはく離が進行することから図-2、3のように有限の接着面積に対する付着力と相対変位との関係によりモデル化する。ただし、付着力が一定となったはく離破壊発生後は、接着面全体に対しては、はく離にいたっていないが、FEM解析モデルに導入することを考えると、接着面全体ではなく、個々の要素としてはく離破壊条件が必要となる。そこで、要素としてのはく離破壊を付着力-相対変位関係において付着力が一定となった時の相対変位、つまり付着破壊が発生した時点で、要素としては、はく離破壊と判定する。また、鉛直方向の接着特性は著者らが行った実験により本供試体の範囲においてのせん断ずれ量による影響は小さいため、ここでは無視することとする。表-2、3、繊維シートの性質およびエポキシ樹脂の物性について示す。

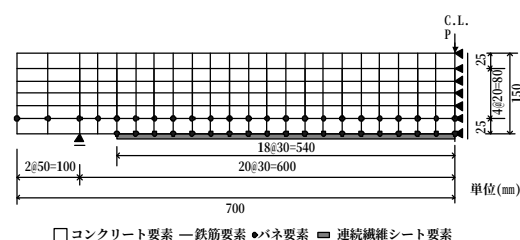


図-1 解析モデル図

表-1 解析要因

供試体名	繊維シートの種類	接着樹脂の弾性率
C-H	炭素繊維	高弾性率
C-L	〃	低弾性率
A-H	アラミド繊維	高弾性率
A-L	〃	低弾性率

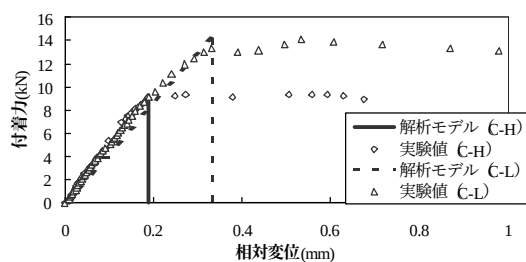


図-2 付着特性のモデル化（炭素繊維シート）

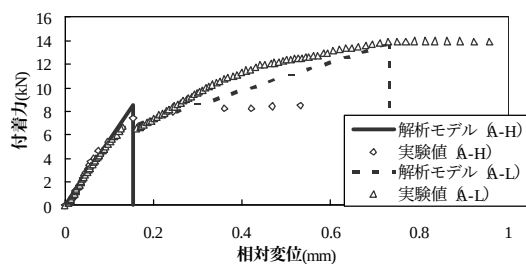


図-3 付着特性のモデル化（アラミド繊維シート）

キーワード：連続繊維シート補強, 付着破壊特性, 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

3. 実験の結果および考察：各供試体の荷重－たわみ関係における実験値との比較図を図-4, 5 に示す。各供試体とも引張付着試験により付着特性をモデル化したことによって精度良く実験値を追随していることがわかる。破壊モードについても実験結果と同様すべて全面はく離破壊となった。本解析結果においては各供試体とも4つの直線領域（初期状態～ひび割れ発生～はり部材の降伏～シートはく離開始～全面シートはく離）で示され、初めの2つの領域では付着特性による差異はほとんどみられないが、3つ目のはり部材降伏後からシートはく離発生までの領域では、曲げ剛性についてはそれほど大きな差異はないが、はく離破壊が発生するまでの荷重およびたわみは、樹脂の弾性率が低いほど大きく、この領域が広い。つまりこのことが最終的な耐力に大きく影響を与えている。また、ほとんど荷重の増加はみられない全面はく離にいたるまでの領域においても樹脂の弾性率が低いほど広くより大きなたわみに対してはく離しにくいことが示されている。以上のようなことから、実験結果と同様に樹脂の弾性率が低いほど最大荷重および全面はく離時のたわみが大きくなることがわかる。この2つの領域の特性が最終的なはり部材の補強性能に大きな影響を与えていることがわかる。図-6 に供試体 C-H の終局状態におけるひび割れ状況の比較図を示す。これによると、実験結果と同様に中央のひび割れが卓越している様子がわかる。しかし、分散ひび割れモデルであるためほぼすべての要素において細かなひび割れが生じており、前述に示したとおり付着破壊現象を適切に表現する場合この影響を考慮する必要がある。また、図-7 にはく離破壊発生時の連続繊維シートひずみ分布の比較図を示す。これによると、概ね実験値を再現できているといえ、はく離現象を問解析モデルにおいて示すことができるといえる。また、樹脂の弾性率が低いほど実験値と同様にはく離時のひずみ値が大きく、より大きな引張力を繊維シートが負担していることが示されている。

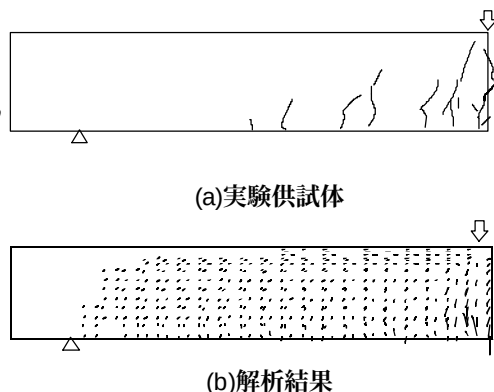


図-6 終局時のひび割れ状況の比較図

表-2 繊維シートの性質

繊維シートの種類	繊維目付 (g/m ²)	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)
炭素繊維シート	300	0.167	3481	2.30×10^5
アラミド繊維シート	415	0.286	2059	1.18×10^5

表-3 エポキシ樹脂の物性

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

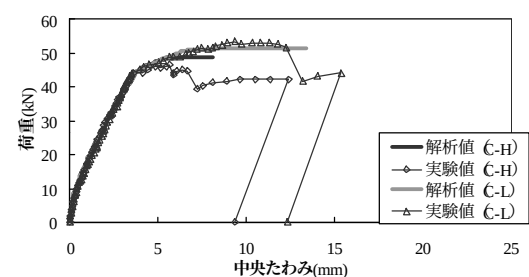


図-4 荷重－たわみ関係（炭素繊維シート）

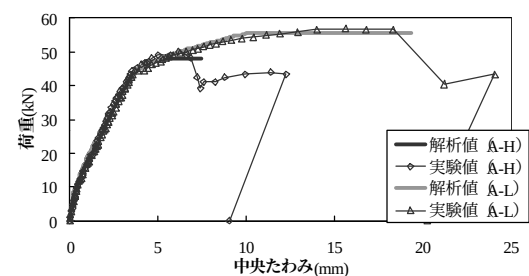


図-5 荷重－たわみ関係（アラミド繊維シート）

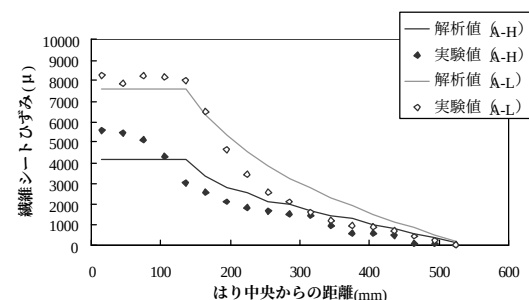


図-7 連続繊維シートひずみ分布

4. 結論：以上から次の結論を得た。

- ・引張付着試験により付着特性のモデル化を行うことによって得られたシート補強RCはりの付着破壊挙動は実験結果と精度良く対応し、本解析手法の有用性が示された。
- ・付着特性の相違は、はり部材降伏後に大きな影響を与え、その結果、RC はりとしての耐荷性能やはく離時のたわみに大きな影響を与えることがわかった。

【参考文献】1)杉山裕樹，森川英典ら：土木学会第54回年次学術講演会，V-359，pp.718-719，1999.9.