

## AFRP シート曲げ補強 RC 梁の剥離挙動に関する数値解析的研究

室蘭工業大学 学生員 ○張 広鋒  
三井建設(株) フェロー 三上 浩

室蘭工業大学 正 員 岸 徳光  
室蘭工業大学 フェロー 松岡 健一

## 1. はじめに

本研究では、アラミド繊維製 FRP (以後、AFRP) シートで曲げ補強した RC 梁の破壊挙動を適切に評価可能な数値解析手法の確立を目的として、三次元有限要素法 (FEM) による弾塑性解析を試み、解析結果の妥当性について検討を行った。本数値解析はシートの剥離挙動に着目しているため、ひび割れ幅および進展方向を実験結果に基づき離散ひび割れ要素 (接触面要素) を用いてモデル化している。なお、本数値解析には汎用構造用解析ソフト DIANA<sup>1)</sup>を用いている。

## 2. 試験体概要

図 - 1 には、本解析に用いた試験体の形状寸法および配筋状況を示している。試験体は軸方向筋に D16 (SD345) を用いた複鉄筋矩形 RC 梁であり、せん断補強筋には D10 (SD295) を用い、100 mm 間隔で配筋している。曲げ補強材には AFRP シートを用い、梁底面のスパン中央部から両支点的 100 mm 手前までの範囲に 2 層貼り付けている。なお、実験時における各材料の力学的特性値は表 - 1 ~ 3 に示すとおりである。

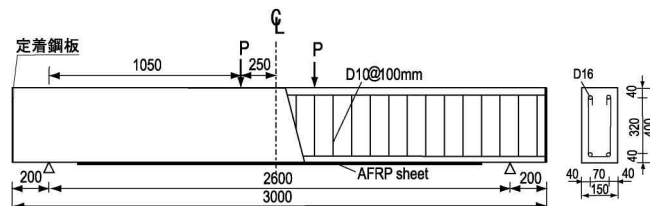


図 - 1 試験体の形状寸法

表 - 1 コンクリートの力学特性値

| 圧縮強度<br>$f_c$ (MPa) | 弾性係数<br>$E_c$ (GPa) | ポアソン比<br>$\nu_c$ |
|---------------------|---------------------|------------------|
| 28.2                | 23.4                | 0.215            |

表 - 2 鉄筋の力学的特性値

| 鉄筋<br>名称 | 材質    | 降伏強度<br>$\sigma_y$ (MPa) | 弾性係数<br>$E_s$ (GPa) | ポアソン<br>比 $\nu_s$ |
|----------|-------|--------------------------|---------------------|-------------------|
| D16      | SD345 | 378                      | 206                 | 0.3               |
| D10      | SD295 | 392                      |                     |                   |

表 - 3 AFRP シートの力学的特性値

| 繊維目付量<br>( $g/m^2$ ) | シート厚さ<br>$t$ (mm) | 弾性係数<br>$E_{af}$ (GPa) | 引張強度<br>$f_{af}$ (GPa) |
|----------------------|-------------------|------------------------|------------------------|
| 415                  | 0.286             | 131                    | 2.48                   |

## 3. 数値解析モデル

図 - 2 には、本解析に用いた RC 梁の要素分割図を示している。解析対象は、梁の対称性を考慮してスパン方向および断面方向に 2 等分した 1/4 モデルである。適用した要素タイプは 8 節点あるいは 6 節点の三次元固体要素である。上端鉄筋およびスターラップ要素には、DIANA に予め組み込まれている埋め込み鉄筋要素を用いている。境界条件は、対称切断面においてはその面に対する法線方向変位成分を拘束し、支点的部は節点の鉛直方向変位成分を拘束している。また、本数値解析では、実験結果の破壊状況を参照して、コンクリート - 鉄筋間、コンクリート - シート間およびコンクリートの内部に発生する曲げひび割れとせん断ひび割れの箇所全てに接触面要素<sup>1)</sup>を配置している。

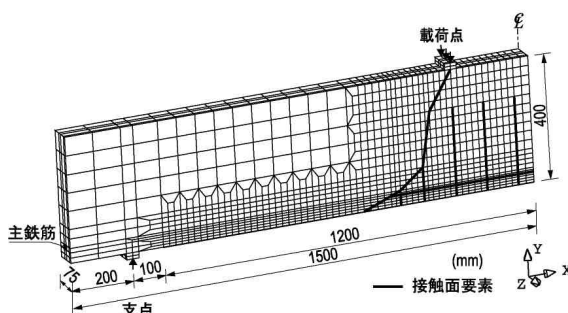


図 - 2 要素分割図

## 4. 材料物性モデル

コンクリート要素の応力 - 歪関係には、圧縮側に対しては土木学会コンクリート標準示方書による関係式、引張側に対しては、線形軟化モデルを用いている。なお、解析対象は RC 構造であるため、引張側の終局歪は下端鉄筋の降伏歪を採用している。上下端鉄筋およびスターラップ要素に用いた物性モデルは、降伏後の塑性硬化係数  $H'$  を考慮した弾塑性体モデルである。 $H'$  は、弾性係数  $E_s$  の 1% と仮定した。AFRP シート要素に用いたモデルは、シートの応力が引張強度  $f_{af}$  に達した時点で破断したと見なされるモデルである。

キーワード：RC 梁，AFRP シート，数値解析，離散ひび割れ，ピーリング作用

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

## 5. 離散ひび割れ分布性状及び剥離性状

図 - 2 には解析終局時の離散ひび割れ分布性状，およびコンクリートの第 1 主応力コンター図を示している．主鉄筋降伏時には等曲げ区間に 100mm 間隔で設定した曲げひび割れが全て開口することを確認していることより，実験結果と同様の性状を示しているものと推察される．また，主鉄筋降伏時から解析終局時にかけては曲げひび割れのみならず斜めひび割れも開口し，梁下縁かぶり部において曲げひび割れと斜めひび割れの交差により形成されたコンクリートブロックがシートを下方に押し下げて引き剥がすピーリング現象が再現され，シートの剥離領域が支点方向に拡大した．なお，梁中央部上縁コンクリートの歪は  $2,700 \mu$  程度であり，未だ圧縮破壊に至る状態ではない．

## 6. 数値解析結果と実験結果の比較

### 6.1. 荷重 - 変位関係

図 - 3 には荷重 - 変位曲線の実験結果および FEM による解析結果を示している．図より，主鉄筋降伏点のみならず主鉄筋降伏による剛性勾配の低下後においても，解析結果は実験結果を精度良くシミュレートしていることが分かる．従って，本研究で提案している離散ひび割れやそれに伴うシートの剥離挙動をモデル化した FEM 解析手法により，実験結果とほぼ同様の破壊挙動を再現可能であるものと推察される．

### 6.2. シートの歪分布性状

図 - 4 には主鉄筋降伏時 (a) からシート剥離時 (c) までの各変位時における FEM 解析結果を実験結果と比較して示している．主鉄筋降伏時 (a) および終局時前の変位時 (b) においては，両結果とも良好に対応していることが分かる．一方，シート剥離時 (c) には左側の等せん断力区間において実験結果が FEM 解析結果よりも大きく示されている部分が見受けられる．これは，FEM 解析では試験体の対称性を考慮し，梁の半スパンをモデル化して検討しているのに対し，実験結果ではピーリング作用によりシートの引き剥がれが顕在化した後，シートの剥離の進展が左側に偏ったためと考えられる．しかしながら，解析結果の等曲げ区間および右側等せん断力区間における歪分布性状は実験結果と精度良く対応している．従って，提案の FEM 解析結果はピーリング作用によるシート引き剥がれ開始時の歪分布性状を適切に再現しているものと考えられる．

## 7. まとめ

- 1) 離散ひび割れモデルを考慮した FEM 解析を行うことにより，ピーリング作用によるシートの剥離開始状況を再現することができた．
- 2) 本解析手法により，荷重 - 変位関係および AFRP シートの歪分布性状を精度良く再現できた．

## 参考文献

- 1) DIANA Nonlinear Analysis Manual, TNO Building and Construction Research.

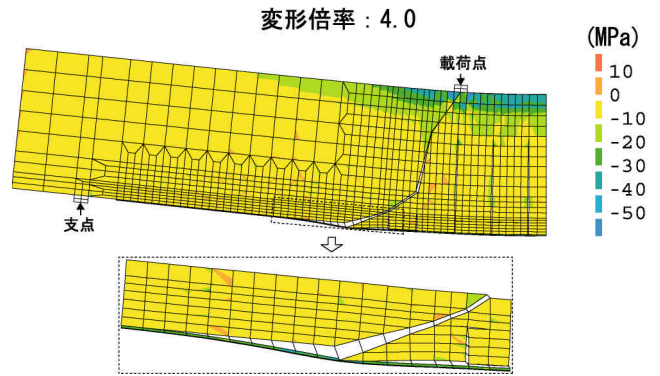


図 - 2 ひび割れ分布性状および第 1 主応力図

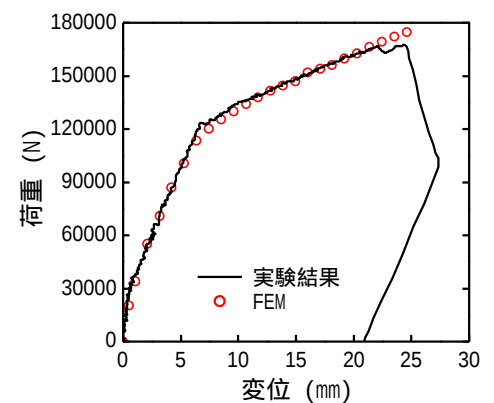


図 - 3 荷重 - 変位関係

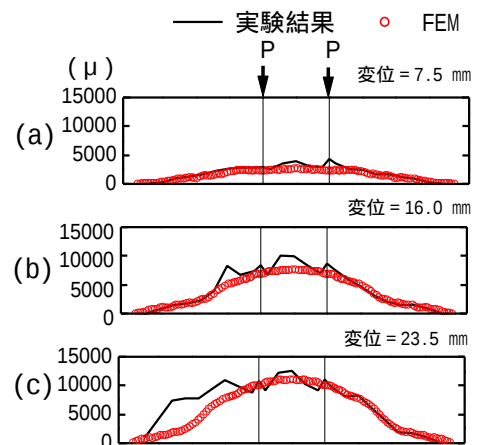


図 - 4 AFRP シートの歪分布