

AFRP シートで曲げ補強した RC 梁の破壊挙動解析

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
（独）北海道開発局土木研究所 正 員 栗橋 祐介

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把握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た。本研究ではシートの剥離挙動に着目しているため、ひび割れ発生位置および進展方向を実験結果に基づき接触面要素（Interface Element）を用いてモデル化した。また、シートの剥離を再現するために Coulomb Friction 型モデルの適用を試みている。なお、本数値解析には汎用構造解析ソフト DIANA 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の 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 に示すとおりである。

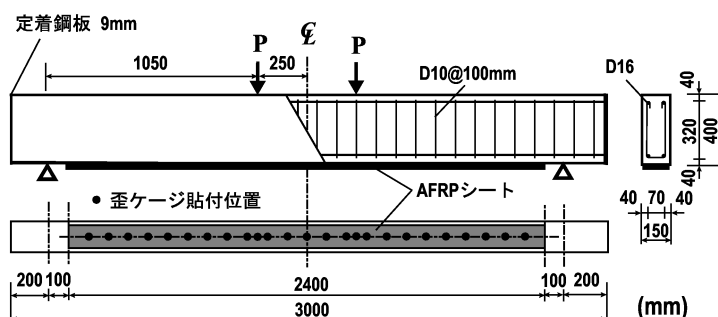
3. 数値解析モデル

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、RC 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。コンクリート、鉄筋および AFRP シートは、8 節点あるいは 6 節点の三次元固体要素を用いてモデル化している。また、スターラップには DIANA に予め組み込まれている埋め込み鉄筋要素（Embedded Reinforcement Element）を用いている。要素の積分点数は、解析精度を考慮して埋め込み鉄筋要素を除いて全要素 8 点積分とした。

4. 材料物性および接触面要素モデル

コンクリートの応力－歪関係には、圧縮側に対しては、材料実験から得られた圧縮破壊強度 f'_c を用い、圧縮歪 3,500 μ までは土木学会コンクリート標準示方書に基づいて定式化し、3,500 μ 以後は初期弾性係数の 0.05 倍で 0.2 f'_c まで線形軟化するモデルとした。一方、引張側に関しては線形軟化モデルを適用している。上下端鉄筋およびスターラップ要素には、塑性硬化係数を考慮した弾塑性体モデルを適用した。AFRP シートには、引張強度に達した時点で破断したと見なされるモデルを適用した¹⁾。

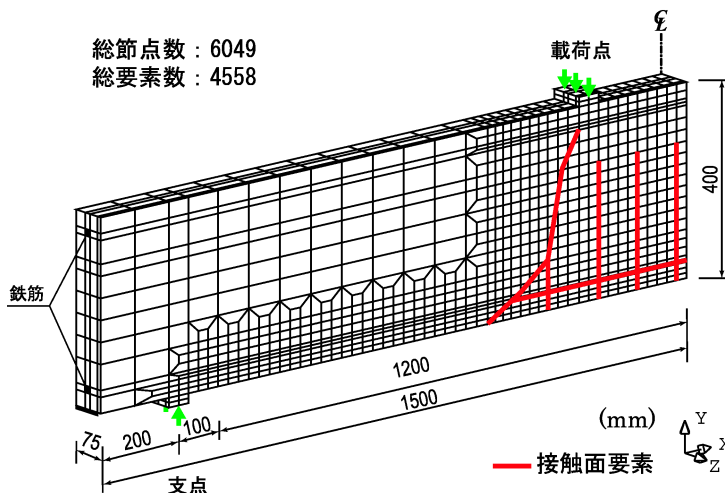
本数値解析では、RC 梁の実挙動に即して RC 梁のひび割れの進展やシートの剥離性状に着目した検討を行うため、コンクリート部、コンクリート－鉄筋間、コンクリート－AFRP シート間、にそれぞれ Discrete Cracking モデル、Bond-slip モデル、剥離モデルなる接触面要素を配置して、ひび割れの開口、鉄筋のすべり、およびシートの剥離等の不連続現象をモデル化している¹⁾。



図－1 試験体の形状寸法

表－1 各材料の力学的特性値

	コンクリート	鉄筋	AFRP シート
圧縮強度 f'_c (MPa)	28.2	-	-
引張強度 f_t (MPa)	2.34	-	2480
降伏強度 σ_y (MPa)	-	380	-
弾性係数 E (GPa)	23.4	206	131
ポアソン比 ν	0.2	0.3	0.2



図－2 要素分割図

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. 数値解析結果および考察

5.1 離散ひび割れ分布およびシート剥離性状

図－3には、解析最大荷重時の離散ひび割れ分布性状、第1主応力および付着界面の軸方向せん断応力分布性状を示している。この時点では、曲げおよび斜めひび割れが開口し、これらのひび割れの交叉によって形成されたコンクリートブロックのピーリング作用によってシートの剥離が進行し始めていることが分かる。付着界面の軸方向せん断応力に関するコンター図を見ると、剥離先端近傍部および曲げひび割れ直下部は局所的に5 MPa程度の大きな値を示しており、シートが剥離する寸前であることが分かる。これに対して、等曲げ区間では1 MPa前後の小さな応力状態を示し、その領域でシートが剥離する傾向にないことが分かる。

5.2 荷重－変位関係

図－4には、荷重－スパン中央部変位（以後、単に変位）曲線に関する解析結果を実験結果と比較して示している。図より、主鉄筋降伏による剛性勾配の低下後においても、解析結果は解析最大荷重時（変位 21.7 mm）まで実験結果と良く対応していることが分かる。その後、解析結果の荷重が急激に低下している。これは、この時点よりかぶりコンクリート部に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作用によりシートの剥離が急激に進展しているためと考えられる。最大荷重および最大荷重時変位は、164.7 kN および 21.7 mm であり、実験結果の 167.5 kN および 24.3 mm より、それぞれ 2.8 kN および 2.6 mm 程度小さい。

5.3 シートの歪分布性状

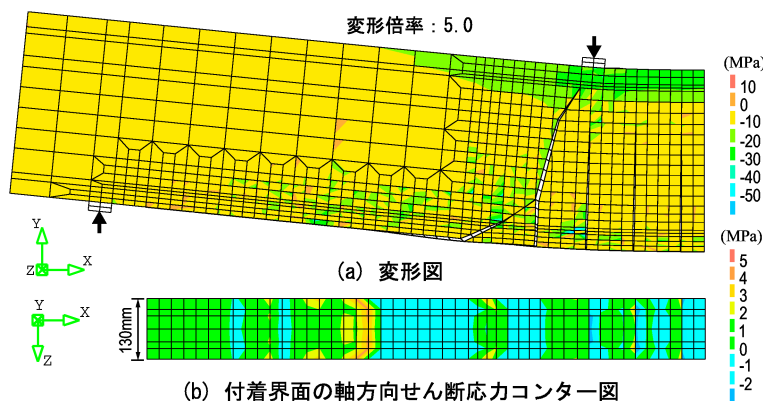
図－5には、主鉄筋降伏時(a)から解析最大荷重時(c)までの各変位時点におけるFEM解析結果を実験結果と比較して示している。図より、主鉄筋降伏時には、解析結果は実験結果と良く対応していることが分かる。中間時点では、等せん断力区間の両結果は良く一致しているものの、等曲げ区間では実験結果が解析結果より若干大きく示されている。これは、実験結果の歪分布が曲げひび割れの発生により局所的に大きくなるためと考えられる。解析最大荷重時の結果を見ると、等曲げ区間において、実験結果は曲げひび割れが発生している箇所があるため、解析結果より局所的に大きな歪値が現れている。また、左側等せん断力区間に関しては、両結果ともシート歪のほぼ様な区間が現れている。これは、かぶりコンクリート部に形成されたコンクリートブロックのピーリング作用によってシートの剥離が発生し、剥離した区域の歪が均等化されたためと考えられる。これより、シートの剥離は梁下縁の斜めひび割れ発生部から支点に向かって進行している傾向が分かる。

6. まとめ

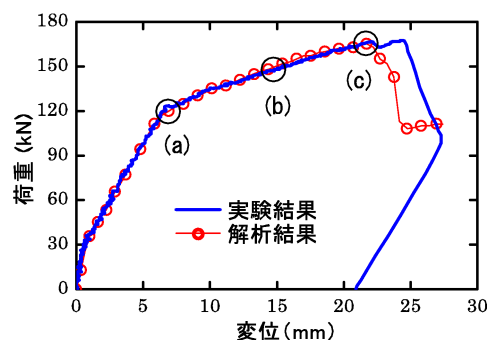
- 1) 本研究で提案した各モデルを適用することにより、載荷初期からシートが全面剥離に至る現象を精度良く再現可能であることが明らかとなった。
- 2) 曲げひび割れに起因する界面せん断応力の増加が示されず、曲げひび割れのみの発生によってシートが剥離する傾向は示されないことが確認された。

参考文献

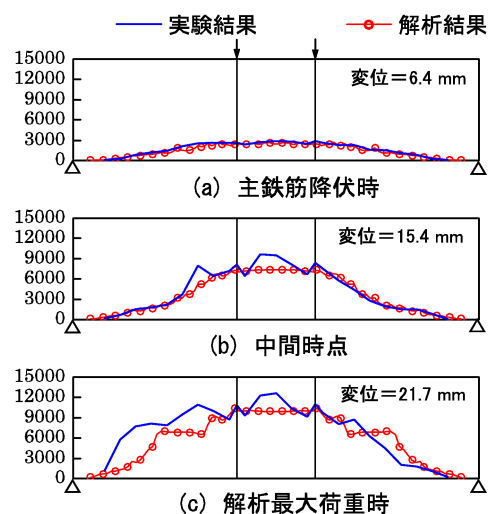
- 1) 岸 徳光, 三上 浩, 松岡 健一, 張 広鋒: AFRP シート曲げ補強 RC 梁の剥離挙動解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 58 号, pp.784-787.



図－3 ひび割れ分布、第1主応力および界面せん断応力分布



図－4 荷重－変位関係



図－5 シートの歪分布性状