

材料特性の異なる各種 FRP シート曲げ補強 RC 梁の耐荷性状に関する数値解析

室蘭工業大学 ○学 生 員 張 広 鋒
三井住友建設(株) フェロー 三上 浩

室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光
(独) 北海道開発土木研究所 正 員 栗橋祐介

1. はじめに

本研究では、連続繊維シート(以後、FRP シート)を用いて曲げ補強した鉄筋コンクリート(RC)梁の耐荷性状や破壊挙動を適切に評価可能な解析手法¹⁾の汎用性を確認することを目的に、材料特性の異なる各種 FRP シートを用いた曲げ補強 RC 梁に関する三次元弾塑性解析を試み、その妥当性を実験結果と比較する形で検討した。

2. 実験概要

表-1には、解析対象とした試験体の一覧を示している。試験体名の第一項目は RC 梁の断面タイプ(A: 梁高 250 mm, B: 梁高 400 mm), 第二項目は FRP シートの種類および目付量(AT, AK: アラミド繊維, CS: 炭素繊維), 第三項目はシートの補強層数を表している。図-1には試験体の形状寸法, 配筋状況, 載荷点位置およびシートの接着概要を示している。試験体は、いずれも主鉄筋に D16 (SD345) を用いた複鉄筋矩形 RC 梁である。表-2 および表-3には、それぞれ実験時に実施したコンクリート, 鉄筋および FRP シートの材料試験により得られた力学的特性値の一覧を示している。

3. 解析モデル

図-2には、要素分割図の一例として、A-AT525-1 試験体の場合について示している。解析モデルは、RC 梁の対称性を考慮してスパンおよび断面方向に2等分した1/4モデルである。コンクリート, 鉄筋および FRP シートは、8 節点あるいは6 節点3次元固体要素を用いてモデル化している。収束計算には一般に広く用いられている Newton-Raphson 法を採用している。

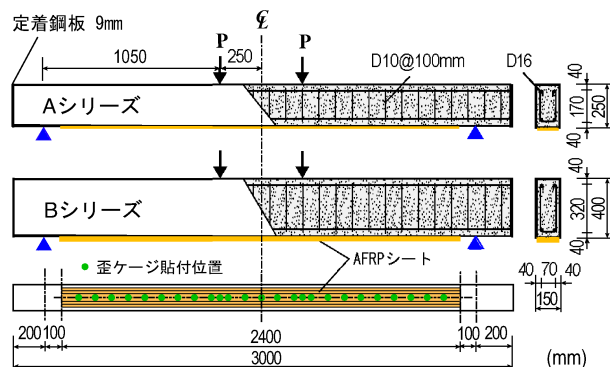


図-1 試験体概要

4. 材料特性および接触面要素に適応したモデル

コンクリートの応力-歪関係は、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、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

表-1 試験体の一覧

試験体名	梁高 h (mm)	せん断 スパン比 a/d	引張剛性 $E_f \times t_f$ (kN/mm)	シート材料
A-AT525-1	250	5.0	29.7	アラミドテクノーラ
A-AK415-1			33.7	アラミドケブラー
A-CS300-1			38.4	炭素(高強度)
B-AT525-2	400	3.1	59.3	アラミドテクノーラ
B-AK415-2			67.5	アラミドケブラー
B-CS300-2			76.8	炭素(高強度)

表-2 コンクリートおよび鉄筋の材料特性一覧

材料	圧縮 強度 f'_c (MPa)	引張 強度 f_t (MPa)	降伏 強度 f_y (MPa)	弾性 係数 E (GPa)	ポアソン 比 ν
コンクリート	29.6	2.34	-	22.1	0.2
主鉄筋	-	-	406	210	0.3
帯鉄筋	-	-	380		

表-3 各種シートの材料特性一覧

シート種類	繊維 目付量 (g/m ²)	厚さ t_f (mm)	引張 強度 σ_f (GPa)	弾性 係数 E_f (GPa)	破断 歪 (%)
アラミドテクノーラ	525	0.378	2.35	78.5	2.99
アラミドケブラー	415	0.286	2.06	118.0	1.75
炭素(高強度)	300	0.167	3.40	230.0	1.48

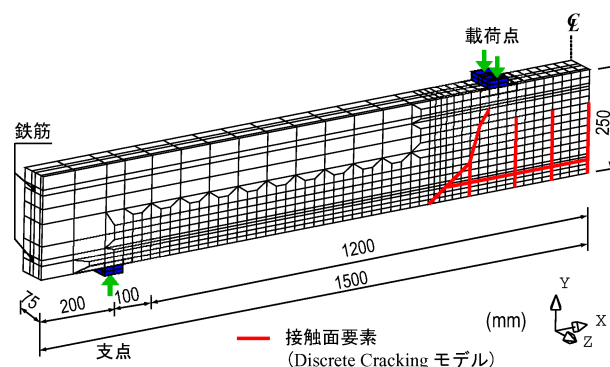
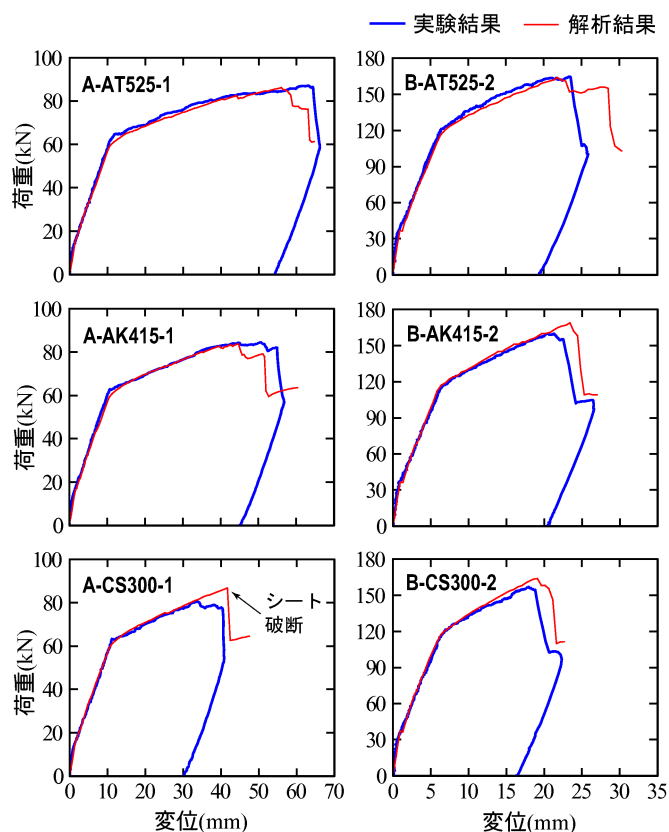


図-2 要素分割図の一例 (A-AT525-1 試験体)

キーワード: RC 梁, FRP シート, 材料特性, 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



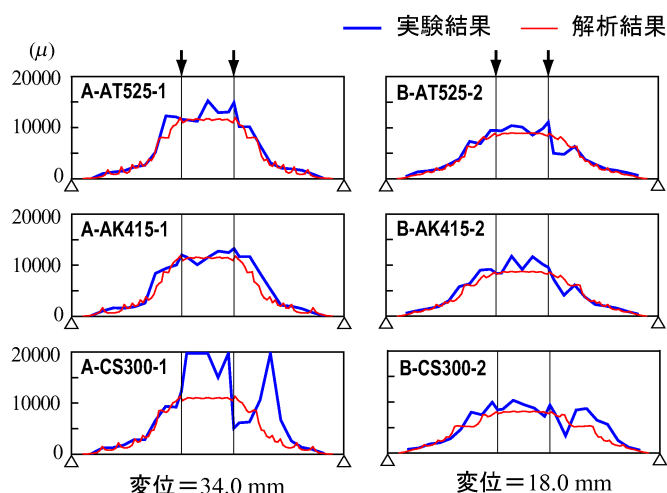
図－3 荷重－変位関係

形軟化モデルを適用している．鉄筋要素には，塑性硬化係数を考慮した弾塑性体モデルを適用した．また，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ている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⁾．本解析では，これらの3モデルの各パラメータをシートの材料特性にかかわらず同一としている．

5. 解析結果および考察

図－3には，各試験体における荷重－スパン中央点変位関係に関する解析結果を実験結果と比較して示している．A-AT525-1 試験体に関する比較図より，解析結果は変位 56 mm 付近まで実験結果と良く一致している．その後，荷重は急に低下していることが分かる．A-AK415-1 試験体に関する結果も A-AT525-1 試験体と同様な分布性状を示している．これらの解析結果において，荷重が急激に低下する時点では，かぶりコンクリートのピーリング作用によって斜めひび割れ先端部からシートの剥離が発生しているものと推察される．また，A-CS300-1 試験体の結果を見ると，実験終局時まで両結果がほぼ同様な分布



図－4 FRP シートの軸方向歪分布

性状を示している．一方，Bシリーズの3試験体に関する比較図を見ると，いずれの試験体においても，解析結果は終局まで実験結果と大略対応していることが分かる．

図－4には，FRPシートの軸方向歪分布に関する解析結果を実験結果と比較して示している．荷重－変位関係の比較図と同様，シートの材料特性にかかわらず，いずれの試験体においても，解析結果は実験結果を大略再現していることが分かる．

6. 付着界面の破壊挙動

本研究では，著者等が提案した剥離モデルを用いて付着界面の破壊挙動を評価している．このモデルでは，付着界面の破壊が表層コンクリート部の破壊によるものと想定した．その理由は，実験終了後の観察結果より，剥離したシートにコンクリート塊が付着していることに基づいている．図－3, 4の各比較図より，シートの弾性係数にかかわらず上述の剥離モデルおよび対応する各パラメータを用いることにより，実験結果の荷重－変位関係やシートの歪分布は数値解析的に大略再現可能であることが明らかとなった．このことは，シートの付着界面における力学特性は，シートの材料特性よりもコンクリートの材料特性に強く依存していることを示唆している．

7. まとめ

- 1) 著者らが提案した解析手法を用いることにより，実験結果の荷重－変位関係やシートの剥離挙動はシートの材料特性にかかわらず大略評価可能であることが明らかとなった．
- 2) シートの付着界面における力学挙動は，シートの材料特性よりもコンクリートの材料特性に強く依存していることが数値解析的に明らかになった．

参考文献

- 1) 岸 徳光，三上 浩，張 広鋒：FRPシート曲げ補強RC梁に関するシートの剥離挙動解析，土木学会論文集，No. 725/V-58, 255-272, 2003.