# AFRP シート緊張接着 RC 梁の耐荷挙動に関する数値解析的研究

室蘭工業大学大学院	学生会員 〇	氏家	友哉	室蘭工業大学大学院	フェロー	岸	徳光
三井住友建設(株)	フェロー	三上	浩	室蘭工業大学大学院	正会員	小室	雅人

#### 1. はじめに

本研究では、アラミド繊維製 FRP(AFRP)シート緊張接 着曲げ補強 RC 梁の耐荷性状および破壊性状を適切に評 価可能な数値解析手法の確立を目的として、有限要素法 による三次元弾塑性解析を行い、実験結果との比較によ り解析手法の妥当性を検討した.なお、本解析には、構 造解析用汎用コード DIANA9.3 を使用した.

#### 2. 試験体概要

図-1には、解析対象とした試験体の形状寸法を示している. 試験体は、幅 300 mm、高さ 220 mm、全長 3,600 mm の複鉄筋矩形 RC 梁であり、上端および下端鉄筋にはD22 を 2 本ずつ配筋し、スターラップにはD10 を 100 mm 間隔で配筋している. 緊張接着用シートには幅 300 mm のAFRP シートを用い、シートの補強範囲は梁中央部から両支点の 80 mm 手前までとしている. コンクリートの 圧縮強度は  $f'_c$  = 39.2 MPa、主鉄筋の降伏強度は  $f_y$  = 382 MPa であった. **表**-1 には、解析に用いた AFRP シート の力学的特性値を示している. なお、本解析で対象としている試験体は、AFRP シートへの目標導入緊張率をそれぞれ 20 %、40 % とした T20、T40 試験体である.







#### 3. 解析概要

#### 3.1 解析モデル

図-2には、解析モデルの要素分割状況を示している。 解析モデルは、RC 梁の対称性を考慮した 1/4 モデルとし、 コンクリート,鉄筋および AFRP シートは8節点あるい は6節点固体要素を,スターラップは埋込み鉄筋要素を用 いてモデル化している。境界条件は、対称切断面におい て法線方向変位成分を拘束し,支点部は単純支持状態と なるように鉛直方向変位成分のみを拘束した。また、コ ンクリートのひび割れや鉄筋のすべり、シートの剥離等 の幾何学的不連続現象を適切に再現するために、図-2 に示す箇所に接触面要素を配置している。それらの接触 面要素のうち、コンクリートの主要なひび割れ部は、コ ンクリートの応力が引張強度に達するとひび割れが開口 するものとした。また、鉄筋-コンクリート界面におい ては、CEB-FIP モデルコードによる鉄筋の付着応力-す べり関係に従うものとしている.シート-コンクリート 界面における接触面要素は、コンクリートの応力が引張 強度もしくはシートの限界せん断応力に達した時点で剥 離し、コンクリート要素には力が伝達しないものと仮定 している。なお、その他のコンクリート要素に関しては、 分布ひび割れモデルを適用している.

#### 3.2 材料構成則

**図-3**には、本解析に用いたコンクリートの材料構成則 を示している. 圧縮側は、ひずみが -3,500 µ 以下の場

表-1 AFRP シートの力学的特性値 (公称値)

繊維 目付量 (g/m <sup>2</sup> )	保証 耐力 (kN/m)	設計厚 (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 (GPa)	破断 ひずみ (%)				
830#1	1,176	0.572	2.06	110	1 75				
435/435#2	588/588	0.286	2.00	110	1.73				
#1 緊張接着用シート #2 応力分散用シート									



キーワード:RC梁, FRPシート,緊張接着,有限要素法,弾塑性解析

連絡先:〒050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5226/-5227



図-4 荷重-変位関係

合に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<sub>c</sub> ま で線形軟化するモデルとした.一方,引張側は,コンク リート標準示方書に準拠した引張軟化曲線を適用してい る.また,鉄筋は等方弾塑性体にモデル化し,降伏の判 定には von Mises の降伏条件を適用している. AFRP シー トには,応力が引張強度に達した時点で破断するカット オフモデルを用いている.

#### 3.3 解析手法

本解析では、実験の手順を数値解析的に再現している. すなわち、1)シートの一端部を拘束し、他端部に強制変 位を与えることで数値解析的にシートに緊張力を導入す る;2)コンクリート要素-シート要素間に接触面要素を 配置し、シートの緊張力を開放することで試験体にプレ ストレスを導入する;3)載荷位置に鉛直下向きの強制変 位を与えることで、静載荷を再現する、である.

## 4. 数値解析結果と実験結果の比較

#### 4.1 耐荷性状

**図-4**には,解析結果より得られた載荷荷重とスパン中 央点変位の関係を実験結果と比較して示している.

図より,実験結果では,シートの導入緊張力の増加に 伴いひび割れ発生荷重,主鉄筋降伏荷重および最大荷重 が増大していることが分かる.また,いずれの試験体に おいてもひび割れ発生時および主鉄筋降伏時に剛性が低 下している.なお,T20試験体ではシート剥離で,T40試 験体はシート破断によって終局に至っている.

次に数値解析結果に着目すると,最大荷重は実験結果 に比べて,T20 試験体では若干控えめに,T40 試験体の場 合には若干大きく評価している.しかしながら,ひび割 れ発生および主鉄筋降伏による剛性低下を含め,実験時 の剛性勾配を精度よく再現しているものと判断される.

### 4.2 破壊性状

図-5には、T20試験体における終局時近傍の実験状況 および数値解析結果より得られる軸方向ひずみ分布を比



(a) 実験におけるシート剥離状況



# 図-5 終局時近傍における実験状況と軸方向ひずみ 分布の比較(T20試験体)

較して示している.

図-5(a)より,実験では斜めひび割れの開口後,コン クリートがシートを押し下げて引き剥がすピーリング作 用によるシート剥離によって終局に至っている.

一方,数値解析結果(図-5(b)参照)においても,斜め ひび割れ部に配置したコンクリート要素間の接触面要素 が開口し,ピーリング作用によってシートが剥離してい る様子が分かる.さらに,等曲げ区間に配置した接触面 要素が開口していることに加え,ひび割れ開口程度のひ ずみ(1,180µ)を超える軸方向ひずみが発生している.こ れらの性状は,実験結果におけるシート剥離状況やひび 割れ分布と概ね一致しており,数値解析結果は実験結果 の破壊形式を適切に再現可能であるものと考えられる.

なお,T40 試験体に関しても,数値解析結果はシート破 断により終局に至っており,実験結果の破壊形式および ひび割れ分布を大略再現できていることを確認している.

- 5. まとめ
  - AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁の静的耐荷性状 は、提案の数値解析手法を適用することにより、終 局変位近傍における荷重-変位関係を除き、実験結 果の剛性勾配や変曲点等の耐荷性状を概ね再現可能 である。
  - また、数値解析結果は実験結果の破壊形式およびひび割れ分布を大略再現可能であることが明らかとなった。