

## コンクリートに貼付した CFRP シートの付着強度試験と付着挙動のモデル化

九州大学大学院 学生会員 ○高 文君 (株) 大塚社会基盤総合研究所 フェロー 大塚 久哲  
九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀 九州大学大学院 正会員 山崎 智彦

### 1. はじめに

炭素繊維強化プラスチックシート（以下、CFRP シート）で補強したコンクリート系部材における曲げやせん断に関する補強効果の研究は数多くなされ、既存コンクリート構造物の耐震補強材料としての利用が増えているが<sup>1)</sup>、その補強効果を有効にするためには、CFRP シートとコンクリートの付着性能を確保しなければならない。特に、1995 年阪神・淡路大震災と 2011 年東日本大震災をきっかけに既存構造物の耐震補強工事の重要性が再認識されているが、CFRP シートとコンクリートの付着挙動に関する実験と解析（モデル化）についての報告は少ない。また、著者らは過去に実施した CFRP シートによる I 型フレキシブル RC 橋脚供試体の補強実験では、CFRP シートの補強により、靱性増加の効果を確認できたが、CFRP シートとコンクリートの剥離強度を数値的に確認できなかった<sup>2)</sup>。そのため、本研究は、CFRP シートとコンクリートの付着挙動に関する実験及び有限要素解析を行ったものである。

### 2. 付着強度試験

本研究では、I 型断面フレキシブル RC 橋脚載荷実験供試体<sup>3)</sup>に CFRP シート貼付工事を行い、28 日養生した後に、40×40mm の鋼製アタッチメントを、2 液式エポキシ樹脂接着剤を用いて CFRP シート表面に接着し、引張供試体を完成させ、約 1 時間あるいは 1 日後、単軸油圧引張試験機を用いて純引張試験を行い、CFRP シートとコンクリートの付着強度を測定した。引張供試体を 24 個製作し、電動カッターで切断作業（四面切りおよび三面切り）を行い、鉛直引張と水平引張の付着強度試験を行った。写真-1 に付着強度試験の載荷状況を示す。図-1 に引張試験機を示す。

実験結果より、①コンクリート打設日から約一ヶ月後に鉛直引張試験を行ったところ、平均鉛直付着応力は  $3.15\text{N/mm}^2$  であり、CFRP シートとコンクリートが剥離した後、約  $0.28\text{N/mm}^2$  の付着強度を維持できることが確認できた。②コンクリート打設日から約二ヶ月後に鉛直引張試験を行ったところ、平均鉛直付着応力は  $3.35\text{N/mm}^2$  であり；③コンクリート打設日から約三ヶ月後に鉛直引張試験を行ったところ、平均鉛直付着応力は  $4.21\text{N/mm}^2$  であり、また、三回目の試験では、水平引張試験も行った。その結果、平均水平付着応力は  $1.21\text{N/mm}^2$  であった。

以上の考察から、CFRP シートとコンクリートの鉛直方向付着強度は約  $3.15\text{N/mm}^2$  であり、CFRP シートとコンクリートが剥離した後、約  $0.28\text{N/mm}^2$  の付着強度を維持できることが確認できた。また、コンクリート材齢にしたがって付着強度は向上する傾向があること、CFRP シートとコンクリートの水平方向付着強度は鉛直方向付着強度の約 1/3 になることが分かった。



写真-1 付着強度試験の載荷状況



図-1 引張試験機

キーワード CFRP シート、付着強度試験、付着応力、有限要素解析、材料構成則

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学大学院 工学府 TEL 092-802-3374

### 3. 有限要素解析

付着強度試験結果により、CFRP シートとコンクリートの付着挙動を表す材料構成則を構築させ、市販のコンクリート系構造を対象とした非線形有限要素解析ソフト「FINAL<sup>4)</sup>」を用い、著者らが行った CFRP シートによる I 型フレキシブル RC 橋脚供試体の補強実験結果<sup>2)</sup> との比較を行った。

図-2 に鉛直方向 CFRP シートによる補強実験供試体のモデル化を示す。解析モデルには、コンクリートは四辺形要素に置換し、鉄筋はすべて要素内埋め込み鉄筋として扱った。CFRP シートのモデル化として、CFRP シートをユーザー定義した要素でモデル化し、CFRP シート要素節点とコンクリート要素節点の間にバネ要素を用い、2つの構成節点を結び、接着面の付着をバネで再現した。ここで、解析モデル 1 はバネを剛とし、解析モデル 2 はバネの剛性として付着強度試験データから構築した材料構成則を入力したものである。

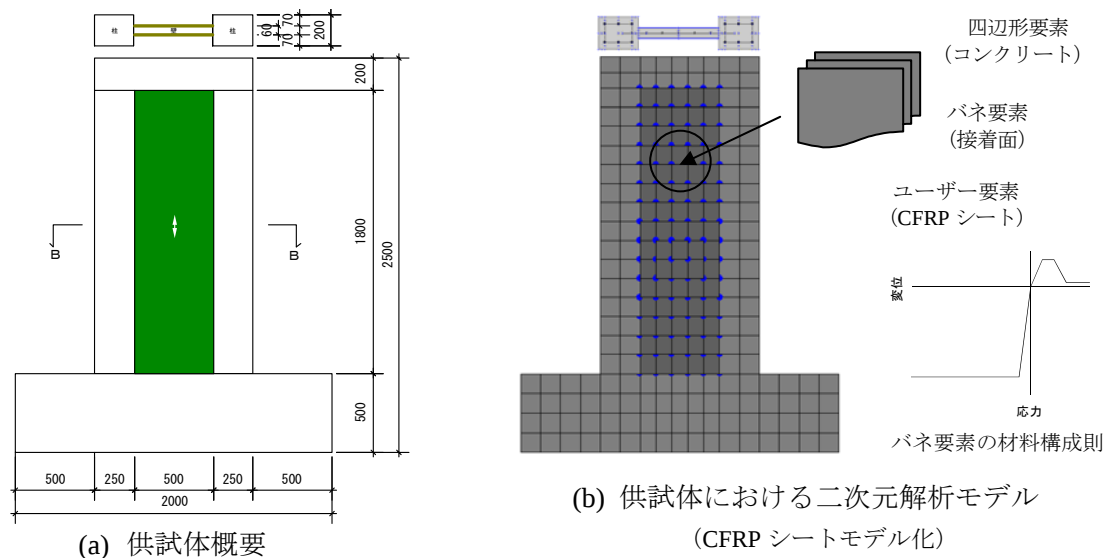


図-2 鉛直方向 CFRP シートによる補強実験供試体のモデル化

例として文献 2) における供試体 No.2 の有限要素解析により得られた荷重-変位曲線と実験値との比較した結果を図-3 に示す。供試体 No.2 において、CFRP シートをユーザー定義した要素でモデル化し、CFRP シート要素節点とコンクリート要素節点の間にバネ要素を用いて解析を行ったところ、バネ要素の接合タイプを剛接合とした扱った解析モデル 1 より一般タイプとして付着強度試験データから構築した材料構成則を用いた解析モデル 2 のほうが終局変位まで解析することができた。

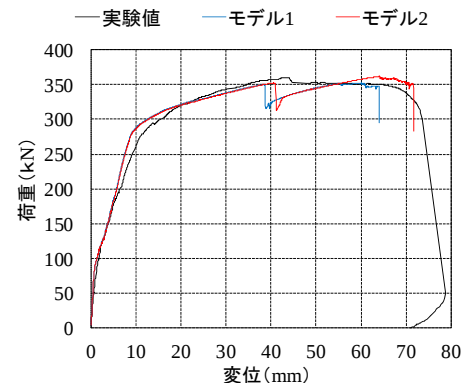


図-3 解析結果と実験結果の比較

### 4. まとめ

本研究では、CFRP シートとコンクリートの付着挙動を把握するため付着強度試験及び有限要素解析を行った。その結果、CFRP シートをユーザー定義した要素でモデル化し、CFRP シート要素節点とコンクリート要素節点の間にバネ要素を用い、2つの構成節点を結び、接着面の付着強度を付着強度試験データから構築した材料構成則を用いた解析モデルは、CFRP シートとコンクリートの付着挙動を良く再現できることが分かった。

**謝辞：**本研究は、九州大学基金助成事業「学生の独創的研究活動支援」を得て行われた。また、本実験の載荷治具の製作に九州大学山本大介技術職員のご協力やご助言を頂いた。ここに記して、謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 築山有二, 山本将, 長谷川敏之, 玉田和也: 中央自動車道 鶴川大橋における耐震補強対策について, 土木学会地震工学論文集, 2003.10
- 2) 山崎智彦, 大塚久哲, 高文君, 今村壮宏: CFRP シートによる I 型断面フレキシブル RC 橋脚模型のせん断補強実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 2, pp. 1411-1416, 2011.6
- 3) 高文君, 大塚久哲, 河邊修作, 今村壮宏: 軸力と交番载荷を受ける I 型断面フレキシブル RC 橋脚の復元力特性とエネルギー吸収に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No. 2, pp. 397-402, 2013.6
- 4) 伊藤忠テクノソリューションズ (株): FINAL/V11 HELP