

# 高強度弾性パテ材を用いて炭素繊維シートを接着した鋼板の解析モデル化に関する検討

長岡技術科学大学 学生会員 ○高森敦也  
正会員 宮下 剛

## 1. はじめに

鋼部材の補修・補強工法として、鋼板添接と比べ、種々の利点を有する炭素繊維シート接着工法（以下、CFRP 接着工法）がある。CFRP 接着工法では、高応力下や鋼部材に局部座屈が生じた場合に、CFRP シートのはく離が生じ、脆性的な破壊を示すことがある。このため、鋼材と CFRP シートの接着層に低弾性で伸び性能が高いポリウレアパテ樹脂製パテ材（以下、パテ材）を挿入し、CFRP のはく離を抑制する<sup>1)</sup>。

一方、パテ材を用いた場合、鋼部材から CFRP への応力伝達に遅れが生じ、さらに、パテ材の非線形性に起因して、応力の増大とともに、鋼部材の応力低減効果が低下する<sup>1)</sup>。

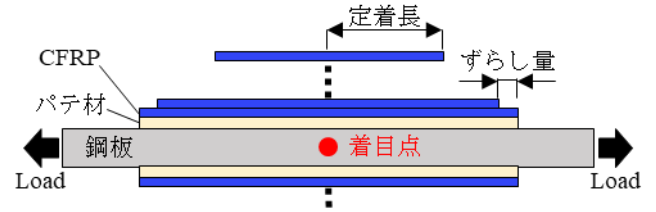


図-1 モデル化の対象とした実験の概念図

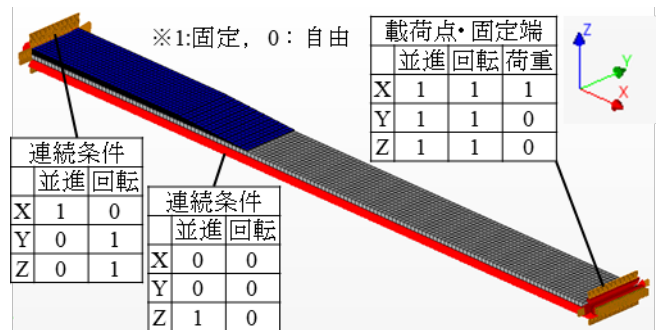


図-2 解析モデル

## 2. 研究目的

本研究では、パテ材の挿入による高応力下での応力低減効果の把握に向け、FEA モデルの構築ならびにその妥当性の検証を実験結果との比較を通じて行う。

## 3. 検討方法

### (1) モデル化の対象とした実験

パテ材による応力低減効果について検討した既往研究<sup>1)</sup>で行われた実験結果を検討対象とする。具体的には、平鋼に CFRP シートを接着した試験体の一軸引張試験であり、図-1 に示すように荷重軸方向中央点を着目点とし、定着長とずらし量をパラメータに設定している。

いま、この実験より得た着目点の鋼材応力 $\sigma_{sn}$  ( $\sigma_{sn} = P/A_s$ ,  $P$ : 荷重,  $A_s$ : 鋼板断面積) と鋼材ひずみ関係、式(1)より求まる応力低減係数 $c_n$ を FEA と比較することで FEA モデルの妥当性を検討する。

$$c_n = \frac{P/\varepsilon - E_s A_s}{E_s A_{cf,s}} \quad (1)$$

ここで、 $P$ は試験より得た荷重、 $\varepsilon$ は着目点の鋼材ひずみ、 $E_s$ は鋼材の弾性係数、 $A_s$ は鋼板の断面積、 $A_{cf,s}$ は CFRP の鋼換算断面積である。

表-1 使用要素

材料	使用要素
炭素繊維	曲面シェル
含浸接着剤	ソリッド
パテ材	界面要素
鋼板	ソリッド

図-3 モデル概念図

### (2) モデル化と検討内容

FEA には DIANA10.5 を用いた。図-2 に解析モデルを示す。解析モデルは 1/4 モデルとし、図-2 にモデルの概念図、表-1 に使用した要素を示す。パテ材は界面要素 (Interface Elements) を用いてモデル化した。この要素では、二つの平面間の界面を横切る法線方向とせん断方向それぞれの応力-相対変位関係により界面挙動を記述する。この応力-相対変位関係に非線形性を考慮することで、複合材の層間のはく離のモデル化が可能となる。本研究では、要素試験の結果から、特にばらつきが大きかったせん断方向の応力-相対変位関係に着目し、関係曲線の変化点をパラメータとする検討を行った。

## 4. 解析結果

### (1) 軟化以前のせん断剛性の検討

積層数 1 層, 定着長 200mm のモデルを用いてパテ材の軟化が始まる以前のせん断剛性の影響について検討した. まず, パテ材の材料試験より得た値の平均値を用いた図-4 に示す三角形分布のタイプ (Ave.) を用いた. 応力低減係数 $c_n$ の実験値と解析値の比較を表-2 に示す. ここから, Ave.タイプより得た解析結果は実験値より約 20%小さい.

そこで, 軟化が始まる相対変位を実験値の最小値とし, Ave.タイプより剛性を大きくして解析を実施した (type1). この解析より得た応力低減係数 $c_n$ を表-2 に示すが, 応力が小さい範囲では実験値との差が 10%以内となっており整合性が高い.

### (2) 軟化以前のせん断剛性の低下

type1 では, 高応力下における応力低減係数が実験値よりも約 20%程度大きく, パテ材は軟化以前にせん断方向の剛性が低下していることが推測される.

よって, 文献 1) の実験で用いられた試験体のうち高応力下での応力低減効果の減少が顕著である積層数 10 層, 定着長 200mm, ずらし 10mm のモデルを用いて, 軟化以前のせん断方向剛性の低下率 (50,60,70,80,90%) をパラメータとする解析を実施した (図-5). 剛性低下が始まる以前の剛性は type1 と同様とし, 剛性低下が始まる相対変位は type1 の解析より得た応力低減係数と実験値の差が 10%を超えた時点で定着長端部の界面要素に作用していた相対変位 $\delta = 1.14\text{mm}$ とした.

この解析より得た鋼材応力と着目点上の鋼材ひずみ関係を図-6 に示す. ここから, 剛性の低下率が 90% のモデルの結果が実験値との整合性が高い.

## 5. まとめ

本研究では, CFRP 接着工法において, 高応力下における応力低減効果の把握に向け, FEA による解析的検討を行った. 高伸度弾性パテ材を界面要素によりモデル化し, 界面要素に導入するせん断方向の応力-相対変位関係の初期剛性として, 材料試験より得た最大値を用いることで低応力下の応力低減効果を再現した. また, 軟化以前に 90%の剛性低下を設けることで高応力下での応力低減効果の低下も再現することも可能となった.

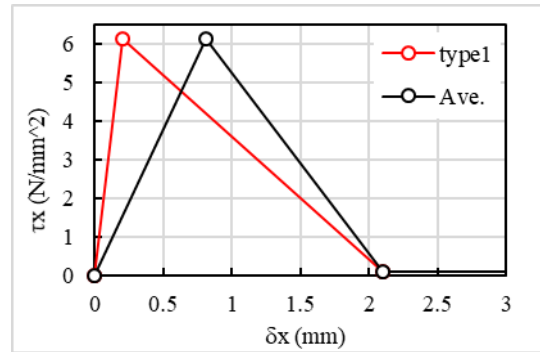


図-4 平均値・type1 のせん断応力-相対変位関係

表-2 解析値と実験値の比較 (応力低減係数)

鋼材応力 $\sigma_{sn}$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力低減係数 $c_n$		実験値との差	
	Ave.	type1	Ave.	type1
150	0.671	0.958	-27%	+4%
200	0.674	0.960	-25%	+7%
300	0.677	0.965	-15%	+21%
320	0.681	0.966	-13%	+23%

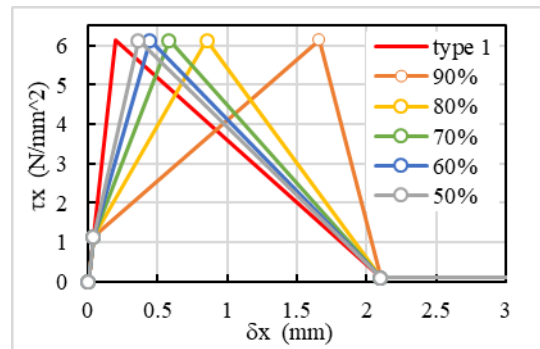


図-5 剛性低下モデルのせん断応力-相対変位関係

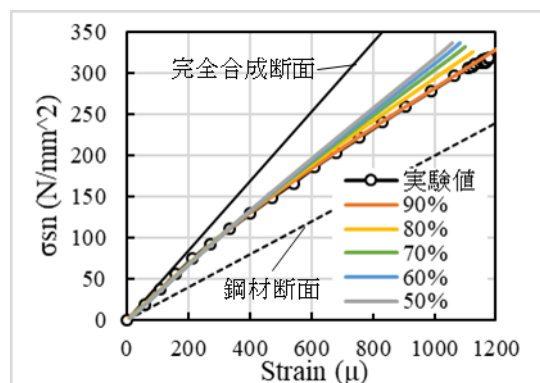


図-6 解析値と実験値の比較 (鋼材応力-ひずみ)

## 参考文献

- 1) 若林大, 宮下剛, 奥山雄介, 秀熊佑哉, 小林朗, 小出宜央, 塚本歴, 長井正嗣: 高伸度弾性パテ材を用いた炭素繊維シート接着による鋼桁補修設計法の提案, 土木学会論文集 F4, Vol.71, No.1, 44-63, 2015.