

# 炭素繊維補強プラスチックを用いた I 型構造部材の有限要素解析

信州大学 学生員 ○浦野仁美  
信州大学 正会員 小山 茂  
信州大学 正会員 大上俊之

## 1. はじめに

繊維強化プラスチック (FRP) 複合材料の代表的なものとして、強化繊維に炭素繊維を用いた CFRP やガラス繊維を用いた GFRP などがあり、従来の土木材料と比べて軽量性、比強度の高さ、保湿性や耐腐食性に優れているなどの利点が注目され、土木分野でも広く用いられるようになってきている。しかし、複合材料の製造は RC などの他材料に比べてより大きなエネルギーやコストがかかるため、配合設計の効率化や環境負荷低減技術が強く求められている。そこで本研究では、埼玉大学で行われたハイブリッド FRP 積層梁の曲げ試験<sup>1)</sup>を対象に森田中理論<sup>2)</sup>に基づく平均化手法を用いた有限要素解析を行い、より強度の高い新たな積層比率や積層順序のモデルを提案する。

## 2. 解析対象の曲げ試験

### 2.1 概要

実験では、CFRP と GFRP を積み重ねるハイブリッド積層梁に対して 4 点曲げ試験を行った (図 1)。実験には積層比率の異なる 3 種類の供試体がいられ、それぞれの供試体のフランジ部、ウェブ部の CFRP、GFRP 積層比率は表 1 のとおりである。なお、フランジ部の CFRP の割合が多い順にモデル CFRP52、CFRP33、CFRP14 と名付けているが、各数字はフランジ厚に対する CFRP の体積分率を表しており、数が減るに従って剛性が低くなっている。実験データでは供試体の寸法や CFRP、GFRP、GFRP-CSM (比較的細かい GFRP 繊維材をランダムに並べた薄いマット) の積層比率が与えられており、フランジ部には CFRP と一部 GFRP を積層していること、ウェブ部には GFRP-0/90°、GFRP±45° (0/90°や±45°は梁の軸方向に対する繊維の向き) を積層していることが示されている。しかし、積層枚数や積層順序、母材や介在物そのものの材料定数は一切公開されていない。

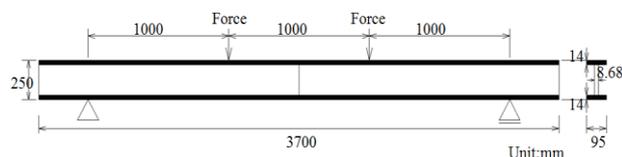


図 1 解析モデル

表 1 各積層材料の積層比率 (%)

	モデル	CF-0°	GF-0/90°	GF±45°	GF-CSM
フランジ	CFRP52	52	10	13	25
	CFRP33	33	29	13	25
	CFRP14	14	48	13	25
ウェブ	全てのモデル	0	32	42	26

### 2.2 実験結果

3 種類の供試体それぞれの曲げ試験において、終局状態で載荷点付近および載荷スパン内で見られた破壊モードを以下に示す。

- ・モデル CFRP52…載荷点での応力集中による破壊、  
上フランジの層間剥離
- ・モデル CFRP33…上フランジの層間剥離
- ・モデル CFRP14…ウェブ上部の局部座屈、  
上フランジの層間剥離

なお、モデル CFRP52 および CFRP14 では 2 種類の破壊モードが確認されているが、破壊は極めて脆性的に起こり、どちらがメインの破壊モードかを視覚的に判断するのは困難であった。また、CFRP の積層比率が高いほど梁の剛性が大きくなる一方、梁の終局強度は、全てを CFRP で積層するモデル CFRP52 よりもある程度 GFRP を積層したモデル CFRP33 の方が高くなっている。

## 3. 解析モデル

本研究では CFRP52、CFRP33、CFRP14 の 3 種類の解析モデルを作成し、有限要素解析を行った。積層枚数や順序は公開されていないが、実験に使用された梁のフランジ厚およびウェブ厚と各積層材料の積

層比率の関係で与えられた数字から、フランジ部に11枚のFRP板を積層していると推定し、沖縄県のFRP歩道橋<sup>3)</sup>の積層構造に倣ってマットとFRP板を交互に積層するモデルを仮定した(図2)。積層順序については、各層で成形収縮が異なると板状積層板では成形後に反りが起こりやすいため、フランジ縁端側を1枚の板とみなした時の板厚中心線に対称に積層した<sup>4)</sup>。またプラスチックや繊維の材料定数については、後にCFRPにおける繊維の体積分率を変化させた時の挙動を調べることを考えているため、森田中の方法を用いて同定解析を行った。同定解析の結果を表2に示す。なお表中の添え字は、母材に関する諸量をM、介在物に関する諸量をIとしている。

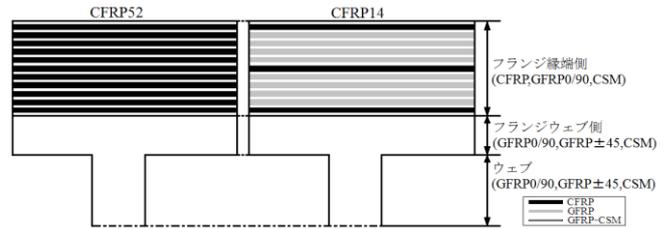


図 2 積層構造

表 2 材料定数の同定値

	$E_M$ (GPa)	$E_I$ (GPa)	$\nu_M$	$\nu_I$	$G_M$ (GPa)	$G_I$ (GPa)
CFRP	2.814	223.175	0.274	0.352	1.105	82.538
GFRP-0/90°, GFRP±45°	2.802	68.883	0.241	0.117	1.129	30.834
GFRP-CSM	6.803	68.883	0.347	0.117	2.488	30.834

#### 4. 解析結果

図3に荷重-変位関係を、図4に荷重-ひずみ関係をそれぞれ示す。ここで図中の実線は解析結果、破線は実験結果、×点を実験での崩壊点を表している。巨視的な材料定数を実験値に同定させてモデル化したこともあり、解析結果と実験結果との剛性は全てのモデルでよく一致しており、実験結果を精度良く表すことができている。

#### 5. おわりに

実験結果から、積層比率によって破壊モードが異なることが確認されているが、現段階ではそれぞれに対する破壊基準を明らかにしていない。今後は、有限要素解析により応力計算を行い、破壊基準を確立・検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) Nguyen,D.H., Mutsuyoshi,H., Asamoto,S. and Matsui,T.: Structural behavior of hybrid FRP composite I-beam, *Construction and Building Materials* 24, pp956-pp969, 2010.
- 2) Mori,T. and Tanaka,K.: Average stress in matrix and average energy of materials with misfitting inclusions, *Act. Metall.*, pp571-574, 1973.
- 3) 山城和男：国内初実用FRP橋(横断歩道橋)の整備，沖縄しまたて協会建設情報誌しまてい，vol14, pp22-25, 2001.
- 4) 植村益次, 福田博: ハイブリッド複合材料, pp9, 2002.

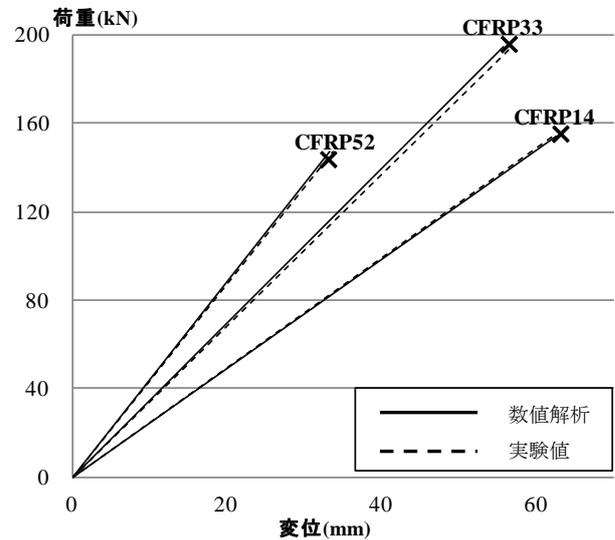


図 3 荷重-スパン中央変位関係

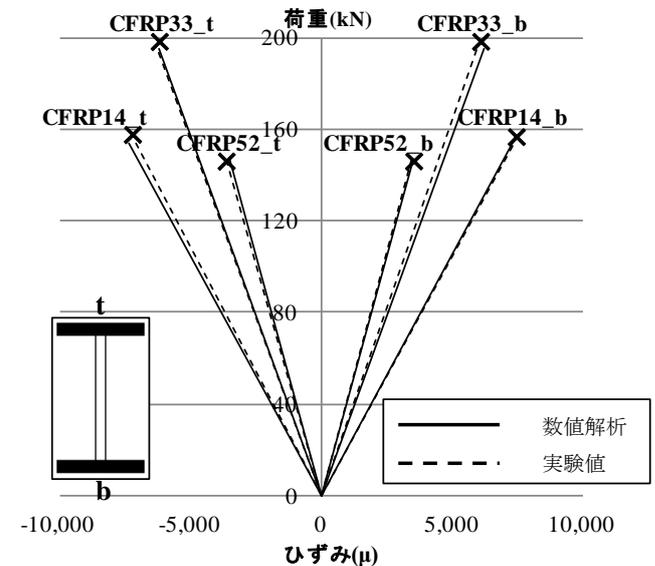


図 4 フランジ上下端の荷重-ひずみ関係