モルタル充填ＧＦＲＰ梁部材の力学特性に関する数値計算

建設省土木研究所　正会員　木嶋　健
正会員　明嵐政司
㈱富士ピー・エス　正会員　徳光　卓
建設省土木研究所　正会員　西崎　到

１．はじめに

FRP（Fiber Reinforced Plastic）は、軽量で引張強度が高く、防食性に優れる等の特徴を有しており、今後土木構造部材への展開が見込まれる。航空・宇宙、船舶等の分野では既に構造部材として利用されているが、土木分野ではプレストレストコンクリート緊張ケーブル等のように補強材料としての利用が一般的である。FRP としては、ガラス繊維を使用した GFRP の他に、炭素繊維を使用した CFRP、アラミド繊維を使用した AFRP 等が提案されているが、GFRP の利用が最も多い。

一方、GFRP は繊維方向に対する引張強度は高いが、弾性係数やせん断強度は比較的低い。従って、中空 GFRP 引抜成形材の曲げを考えた場合、曲げたわみやせん断応力に対して十分な耐力を有しているとは言えない。本稿では、曲げ耐力の向上を目的として GFRP の中空部分にモルタルを充填した梁部材を考え、４点曲げ試験の力学特性について FEM による数値計算を実施し、実験値と比較した検討を行った。

２．モルタル充填ＧＦＲＰ梁部材の載荷実験

GFRP 梁部材としては、KP40（外形断面寸法は h40×b25×t3mm）を用いる。層構成は、Mat／Roving／Mat の３層構造となっている。GFRP 梁部材の全長は引抜方向に 500mm となっており、GFRP 各層、充填モルタルの弾性係数は表－１に示す通りである。GFRP 部材各層の弾性係数は、各層を構成するガラス、CSM（Continuous Strand Mat）、VE（Vinyl Ester）樹脂等の弾性係数から求めた推定値である。充填モルタルの弾性係数は、材令 28 日の円柱供試体を用いて実験により求めたものである。

表－１　GFRP とモルタルの材料特性

GFRP の材料特性

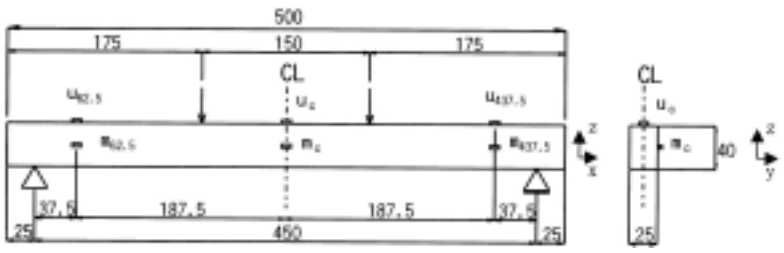
	弾性係数（GPa）						ポアソン比	層厚 (mm)
	Ex	Ey	Ez	Gxy	Gyz	Gzx		
Mat	18.7	18.7	18.7	7.08	7.08	7.08	0.32	1.0
Roving	48.2	9.18	9.18	5.97	6.33	5.97	0.24	1.325
Mat	18.7	18.7	18.7	7.08	7.08	7.08	0.32	1.0

モルタルの材料特性

弾性係数（GPa）		ポアソン比
E	G	
29.8	12.4	0.2

載荷実験は、図－１に示すように４点曲げ試験とし、支間中央部と支点から 37.5mm の点で変位とひずみの計測を行っている。荷重は変位制御で静的載荷するものとし、支間長は 450mm、載荷位置は支間中央から 75mm とした。

GFRP は異方性材料であるが、中空部分に充填するモルタルは等方性材料である。解析にあたっては、異方性材料と等方性材料の複合材料に対しても適用が比較的簡単な FEM を用いる。また、GFRP と充填モルタルとは完全に一体となって挙動すると仮定している。



図－１　４点曲げ試験（▁：変位・ひずみ計測位置）

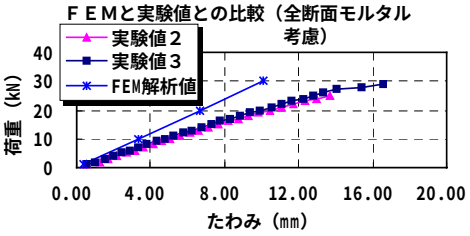
３．解析結果

（１）変位

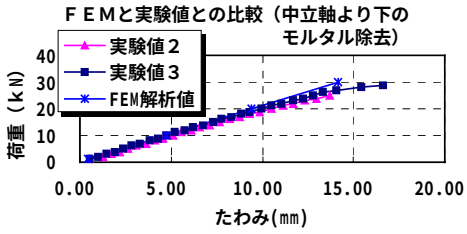
支間中央下面の変位について、解析結果と実験値とを比較した結果は図－２に示す通りである。解析結果

キーワード：　FRP 橋、４点曲げ試験、FEM、充填モルタル、層間せん断破壊
連絡先　　：　〒305-0804　つくば市旭１　Tel. 0298-64-2211　Fax. 0298-64-4464

はモルタルを弾性体と仮定したものであるが、４点曲げ試験の場合にはモルタルにクラックが生じる。モルタルにクラックが生じないとした計算は、中立軸より下方に位置するモルタルの引張応力を考慮することになるため、解析結果と実験値との乖離は結果的に大きくなる。そこで、中立軸より下方の引張応力が発生する部分は、モルタル充填を行わないとして解析を行う。解析結果と実験値とを比較した結果は図－３に示す通りである。解析結果と実験値とは比較的よく一致していることが分かる。



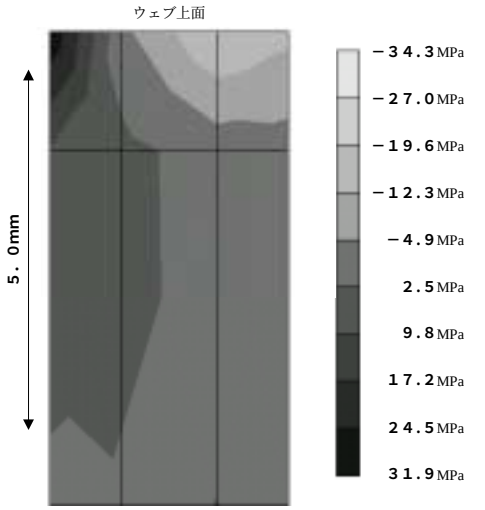
図－２　FEM と実験値との比較(1)



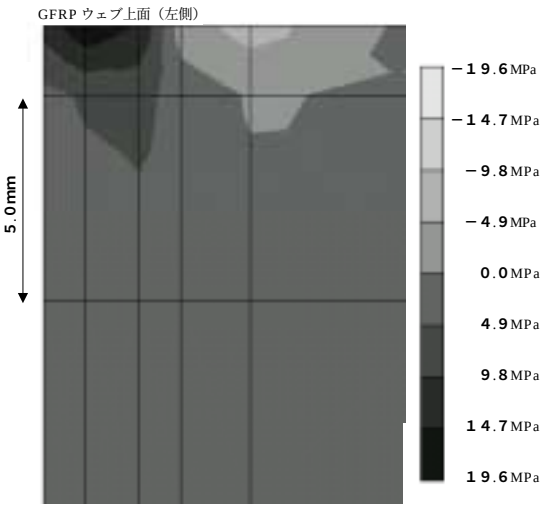
図－３　FEM と実験値との比較(2)

（２）応力

モルタル充填を行わない GFRP 梁部材とモルタル充填を行った GFRP 梁部材の４点曲げ試験について、応力の検討を行う。GFRP 梁部材の場合、実験では載荷荷重 10～12kN で、破壊点直下におけるウェブ層間剥離により破壊に至っている。図－４は載荷点直下における FEM によるウェブ層間せん断応力の結果を表示したものであるが、破壊荷重とほぼ等しい 10kN に対するウェブ上部の層間せん断応力は 20～30MPa に達している。GFRP の層間せん断強度が 20～30MPa であることを考慮すると、FEM による解析結果は実験結果をほぼ表現していると考えられる。図－５は、載荷荷重 10kN に対する載荷点直下のモルタル充填 GFRP 梁部材ウェブ相当部分の層間方向せん断応力を表示したものである。モルタル充填により GFRP ウェブ上部の層間せん断応力が場所により約 10MPa 低下している。



図－４　層間せん断応力（GFRP）



図－５　層間方向せん断応力（モルタル充填）

本解析では、GFRP 隅角部の層構成について厳密なモデル化を行っていないことや、線荷重を６節点に配分した点荷重をモデルで用いたこと等により、その影響を受けやすい隅角部で厳密な値が得られていない可能性もあり、より詳細な検討を行っていく必要がある。

４．まとめ

FEM によりモルタル充填 GFRP 梁部材の力学特性を解析した結果は以下の通りである。

1)FEM により、モルタル充填 GFRP 梁部材の曲げ特性を解析した結果、変位・ひずみについては、GFRP 梁部材の場合と同様、ほぼ正確に表現できることが分かった。

2)モルタル充填 GFRP 梁部材の局部応力については、FEM により大体の状況を表現できることが分かった。しかし、正確な値を得るためには、モデル化等について詳細な検討を行う必要がある。

GFRP 複合部材の力学特性の解析にあたって、FEM は有力なツールとなり得ることが分かった。今後、FEM との整合を図りながら、より簡便な方法を開発する必要があろう。

参考文献

1) 木嶋他、FRP 部材の力学的挙動に関する数値計算手法、土木学会第 54 回年次学術講演会Ⅰ A、1999.9
2) 徳光他、モルタル充填 GFRP 梁の静的曲げ耐荷性状、土木学会第 55 回年次学術講演会、2000.9