

I-A11

FRP部材の力学的挙動に関する数値計算手法

建設省土木研究所 正会員 木嶋 健
明嵐政司
西崎 到

1. はじめに

近年、繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastic：FRP、以下FRPと略称）が構造材料として注目されてきている。土木構造分野において、FRPは、コンクリート緊張用ケーブル、鉄筋代替材料、グラウンドアンカー等に見られる。しかし、FRPを構造部材として使用した土木構造物の例は世界的に見ても少なく、日本においては建設省土木研究所で造られた人道橋に見られる程度である。

既存橋梁を概観すると、鋼材や鉄筋・PCコンクリートを構造部材として造られたものが多い。仮に、橋梁の構造部材をFRPとした場合、その防食性能により塗装等に要する費用が不要となるため、維持管理面において既存橋梁よりも経済的になると考えられる。FRPは、防食性能の他、軽量性も兼ね備えているため、これらの特徴を生かしたFRP構造物に対する期待が高まってきている。

橋梁の設計法については、鋼橋や鉄筋・PCコンクリート橋梁を中心として、これまでにかなりの研究が進展してきている。しかし、FRPを構造部材とした橋梁構造については、実施事例が少ないことよりその設計法が確立されていない。一方、多層構造で複雑なFRP構造部材の力学挙動を解析する場合、解析的な手法だけでは困難と考えられ、数値計算手法の適用を視野に入れておく必要がある。本稿では、3点曲げ試験を取り上げて、FRP構造部材の力学挙動を有限要素法により試算し、実験値と比較した結果を報告するものである。

2. 力学挙動の計算手法

FRPは、一般に図-1に示すような多層の積層構造となっている。本稿では、このようなFRPの力学挙動を数値計算により推計することを目的として、有限要素法の適用を試みた。そして、実験値と計算値とを比較することにより、有限要素法の適用可能性について検討した。なお、有限要素法の計算にあたっては、汎用ソフトのANSYSを用いた。

実験値と計算値との比較に用いた部材の構成は、マット／ローピング／マットの3層構造である。部材各層の弾性定数は、以下に示す手順により算出した。

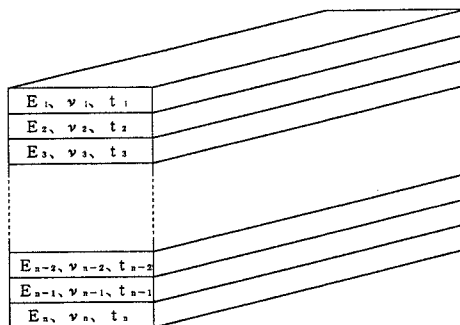


図-1 FRP部材の構造

$$\begin{aligned} \text{ローピング層} : \quad & 0^\circ \text{ 方向} \quad E_c = E_{rov} V_f + E_{res} (1 - V_f) \\ & 90^\circ \text{ 方向} \quad 1/E_c = V_f/E_{rov} + (1 - V_f)/E_{res} \\ \text{マット層} : \quad & 0^\circ \text{ 方向} \quad E_c = E_{csm} V_f + E_{res} (1 - V_f) \\ & 90^\circ \text{ 方向} \quad E_c = E_{csm} V_f + E_{res} (1 - V_f) \end{aligned}$$

$$\left(\begin{array}{lll} E_c : \text{各層の弾性定数} & E_{rov} : \text{ローピングの弾性定数} & E_{res} : \text{レジンの弾性定数} \\ E_{csm} : \text{マットの弾性定数} & V_f : \text{繊維の含有率} & \end{array} \right)$$

キーワード： FRP構造材料、3点曲げ試験、有限要素法

〒305-0804 茨城県つくば市旭1 tel: 0298-64-2211 fax: 0298-64-4464

3. 数値計算結果

数値計算は有限要素法を用いるものとし、引抜成形正方形断面部材（中空角柱）の3点曲げ試験について、実験値と計算値とを比較した。部材はGFRPの3層構造であり、その諸元は図-2に示す通りである。

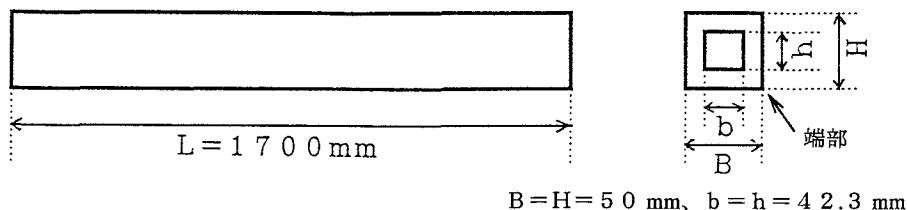


図-2 試験体に関する諸元

3点曲げ試験は、支間を1500mmとし、支間中央部上面を奥行き方向に線状載荷することにより行った。荷重の載荷点には直径30mmの治具ピンを使用し、載荷速度を75mm/minとしている。測定項目は、試験体の中央下面変位である。部材に荷重を加えていった場合の中央下面変位および治具ピン移動量の変化を示すと図-3のようになる。図-3より、荷重と変位との関係は、破壊に至るまではほぼ直線関係にあることが読みとれる。ここ

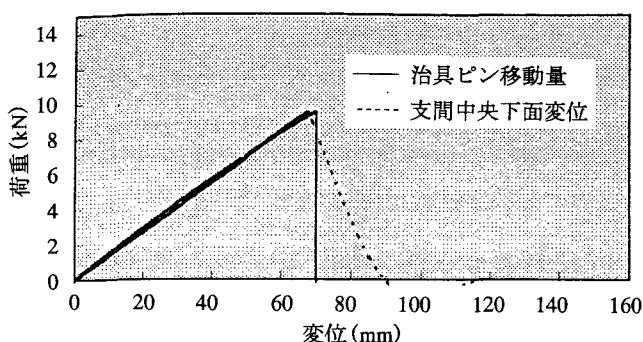


図-3 荷重と変位の関係

では、支間中央下面変位について、実験値と計算値との比較を行った。図-3に示した荷重-変位曲線に基づいて、破壊に至るまでの間は材料が線形弾性にあると見なし、数値計算を行う。数値計算は、中空の断面部材をシェル構造と見なし、積層シェル要素を用いて行った。計算に用いた材料定数は表-1に示すとおりである。

表-1 FRP部材の材料定数

	弾性定数 (0°)	弾性定数 (90°)	ポアソン比	厚さ (mm)
マット層	18.7 GPa	18.7 GPa	0.32	0.693
ロービング層	48.2 GPa	9.18 GPa	0.25	2.464
マット層	18.7 GPa	18.7 GPa	0.32	0.693

荷重を9.5 kNとした場合の支間中央下面変位の実験値と計算値との比較結果は、表-2に示す通りである。比較結果を見ると両者は比較的良好に一致しており、FRPのような複雑な材料構造を持つ力学挙動の解析に、有限要素法の適用が効果的であることが分かった。

表-2 支間中央下面変位の数値計算値と実験値との比較

	端部	端部から 1/6B	端部から 1/3B	中央部
計算値	-72.8 mm	-72.6 mm	-72.5 mm	-72.4 mm
実験値	-67.6 mm			

4. 今後の課題

FRPのような複雑な構造材料を使用した部材の解析を行う場合、有限要素法の適用が有効であることが分かった。今後、橋梁の設計に向けて効率的な解析を行っていくためには、有限要素法だけでなく、より簡略化した計算方法を用いることが必要であろう。