

ハイブリッドFRP 桁のせん断変形特性とせん断破壊強度

首都大学東京 正会員 中村一史・フェロー 前田研一  
 埼玉大学 フェロー 睦好宏史 東レ 正会員 鈴川研二

1. はじめに

社会基盤施設の再構築が求められる中で、先進複合材料の適用が各方面で検討されている。このうちペDESTリアンデッキについては、工費、工期の短縮が期待されるハイブリッドFRP 桁が提案されている<sup>1)</sup>。特に、FRP を歩道橋の主桁に適用する場合、たわみ剛性が設計の上で支配的となることから、せん断変形を考慮したたわみ特性を正確に把握する必要がある。そこで本研究では、開発したハイブリッドFRP 桁を対象に、曲げ載荷試験を実施して、フランジの幅や物性値が、せん断変形特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、ウェブのせん断破壊強度を把握する。

2. 開発したハイブリッドFRP 桁

フランジを炭素繊維 (CF) とガラス繊維 (GF) を組み合わせたFRP とし、ウェブを全てGFRP としたI形断面形状のハイブリッドFRP 桁を開発した。 $V_f$  を50%として製作されたハイブリッドFRP 桁の材料特性を表-1に、その種類と実験シリーズを表-2にそれぞれ示す。ここでは、フランジの幅や材料特性がハイブリッドFRP 桁の構造特性に及ぼす影響を把握するために、表-2に示すような5つのシリーズについて検討を行った。なお、表-1に示した軸方向弾性係数E、せん断弾性係数Gについては各種繊維の体積比率から積層理論に基づいて算出された理論値である。

表-1 ハイブリッドFRP 桁の材料特性

部位	種類	体積比率			t (mm)	E (GPa)	G (GPa)
		CF0°	GF0°	GF45°			
フランジ	A	55	30	15	14	65.7	4.4
	B	35	50	15	14	48.8	4.4
	G	—	85	15	14	22.8	4.5
ウェブ	共通	—	50	50	9	15.7	6.7

表-2 ハイブリッドFRP 桁の種類と実験シリーズ

実験シリーズ	095AA	095BB	095GB	250AA	250BB
フランジ幅 (mm)	95	95	95	250	250
U. Flg. の種類	A	B	G	A	B
L. Flg. の種類	A	B	B	A	B

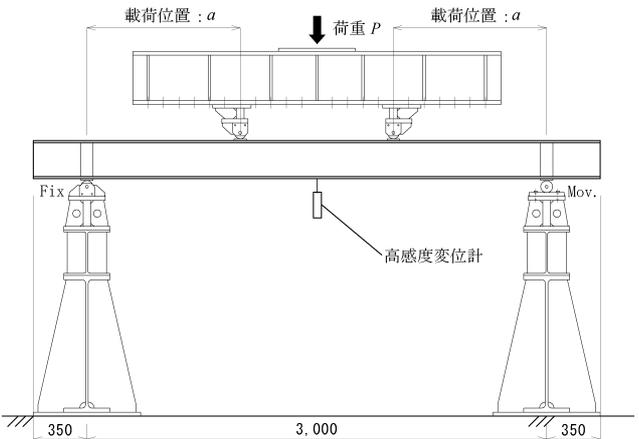


図-1 静的曲げ載荷実験のセットアップ

3. 静的曲げ載荷実験によるせん断変形特性の検討

図-1に示すように、支間長Lを3,000mmとして、静的曲げ載荷試験を実施した。ハイブリッドFRP 桁の支持条件は単純支持とし、載荷位置aを700, 1,000, 1,300, 1,500mmと変化させて、荷重制御 (1.0kN/sec) により荷重Pを0~50kNの範囲で静的載荷を行った。桁のたわみについては、支間中央部の下フランジ下面の鉛直変位zcを高感度変位計と動ひずみ測定器を用いて計測した。なお、せん断変形に伴うたわみについては、Timoshenkoはり理論に基づく関係式を、荷重と変位を増分形で表示して変形した次式により評価した。

$$\frac{\Delta z_c}{\Delta P} = -\frac{a^3}{12E_b I} + \left( \frac{L^2}{16E_b I} + \frac{\kappa}{2G_b A} \right) a \quad (1)$$

ここに、Lは支間長、aは支点から載荷位置までの距離、 $E_b$ はI形断面の換算軸方向弾性係数、 $G_b$ はI形断面の換算せん断弾性係数、 $\kappa$ はせん断補正係数、Iは断面2次モーメント、およびAは断面積である。なお、せん断補正係数 $\kappa$ は、全断面積Aに対するウェブの断面積 $A_w$ の比( $A/A_w$ )で与えられる概算値を用いた。

図-2は、各載荷位置aにおいて荷重-変位関係から得られるたわみ剛性の逆数(式(1)の右辺)をプロットしたものである。式(1)は載荷位置aの3次式で示されることから、各シリーズにおける実験値のプロット点を最小2乗法により近似した曲線を図中に併記している。図より全シリーズで精度

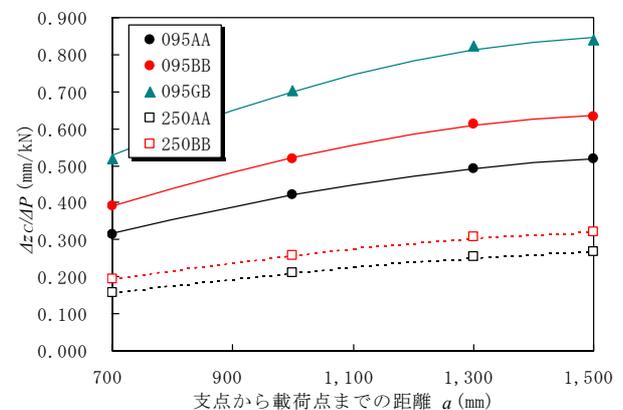


図-2 たわみ剛性の逆数と載荷位置の関係

Key Words : ハイブリッドFRP, せん断変形, 曲げ剛性, せん断破壊強度

連絡先 : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 042-677-1111 FAX. 042-677-2772

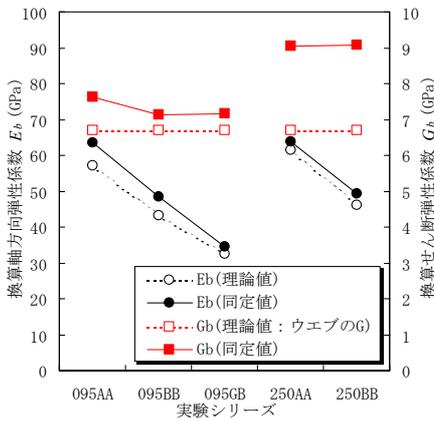


図-3 換算弾性係数の同定結果

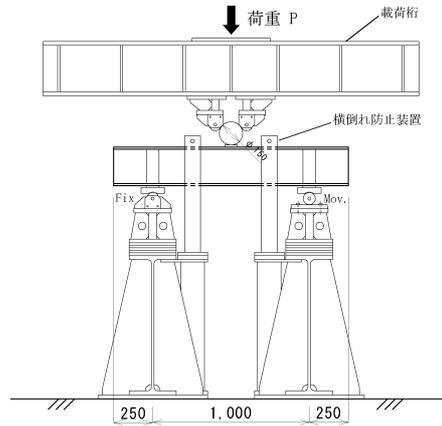


図-4 せん断破壊実験のセットアップ

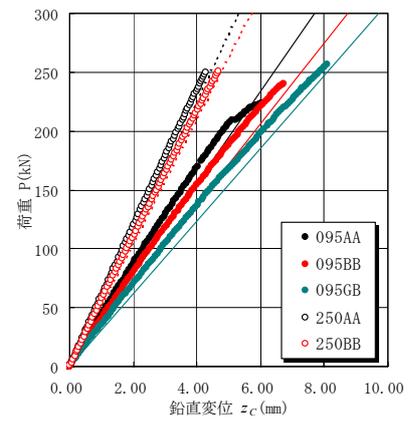


図-5 荷重-変位曲線

良く近似されていることが解る。

さらに、実験値による近似曲線から換算軸方向弾性係数  $E_b$  と換算せん断弾性係数  $G_b$  を同定した結果を図-3 に示す。図中には、表-1 に示した弾性係数の理論値より算出した換算値も示している。図より、CF の割合が増加するほど  $E_b$  は増加するが、せん断変形はウェブのせん断剛性に支配されるため、フランジ幅が一定であれば  $G_b$  はほとんど変化しないことが解る。また、フランジ幅を広くすると  $G_b$  も若干増加することも解る。特に、曲げ剛性に支配的な換算軸方向弾性係数はほぼ理論値通りであり、実用上十分な精度で製作できることが確かめられた。

4. 3点曲げ載荷実験によるせん断破壊強度の検討

図-4 に示すように、支間長  $L$  を 1,000mm として、3点曲げ載荷実験を実施した。支持条件を単純支持とし、変位制御 (0.01mm/sec) により破壊まで載荷を行った。

図-5 に、荷重と支間中央部の鉛直変位の関係を示す。図より、全てのシリーズで終局までほぼ線形的な挙動を示し、最大荷重は 223~256kN であった。図中には、実測された換算剛性に基づくたわみの算定値を直線で併記したが、差異を生じていることが解る。ここでは図を略したが、載荷点直下では応力集中による影響が大きく、初期の段階から平面保持しないことが差異を生じた要因と考えられる。写真-1 には、載荷点直下におけるウェブの破壊状況を示す。瞬間的かつ脆性的な破壊現象であったが、目視観察の範囲では、載荷点直下のウェブが圧壊し、この時点で終局と判断された。095AA および 095BB (写真-1 (b)) では、ウェブの圧壊直後に、上フランジ部で座屈が発生した。載荷点直下における上フランジ上下面のひずみの差から算定した曲げひずみを図-6 に示す。終局強度が若干低下した 095AA では、約 200kN あたりで屈曲が見られることから、上フランジの局部座屈の連成が終局強度の低下の一因と考えられた。したがって、フランジの局部座屈の連成が生じなければ、ウェブのせん断破壊強度は約 250kN であるといえる。

5. あとがき

以上のことから、静的曲げ載荷実験を実施して、ハイブリッドFRP 桁のせん断変形を考慮したたわみ特性を把握するとともに、はり構造として設計照査時に不可欠な換算断面剛性を実験結果より精度良く同定することができた。さらに、3点曲げ載荷実験により、ウェブのせん断破壊強度を明らかにした。

本研究は、国土交通省建設技術研究開発助成制度 (研究課題名: 革新的材料を用いた社会基盤施設の再構築) の一環として行われたことを付記する。なお、曲げ破壊強度および振動特性については別項<sup>2), 3)</sup>を参照されたい。

参考文献

- 1) 複合構造委員会編: 先進複合材料の社会基盤施設への適用, 土木学会, 複合構造レポート01, pp.121-136, 2007.2.
- 2) 山本育美, 浅本晋吾, 睦好宏史, 鈴木研二: ハイブリッドFRPを用いた構造部材の開発, 土木学会, 第62回年次学術講演会講演概要集, CS15, 2007.9. (投稿中)
- 3) 中村一史・前田研一・睦好宏史・鈴木研二: 減衰自由振動実験によるハイブリッドFRP桁の振動特性の検討, 土木学会, 第62回年次学術講演会講演概要集, CS15, 2007.9. (投稿中)



(a) 095BB シリーズ (b) 095GB シリーズ  
写真-1 載荷点直下におけるウェブの破壊状況

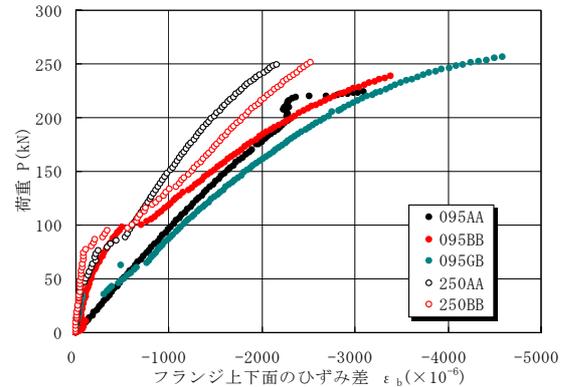


図-6 載荷点直下における上フランジの曲げひずみ