

GFRP 梁の断面寸法が曲げ特性に及ぼす影響の検討

(Study on the effects of cross section dimensions on the flexural properties of GFRP beams)

北海道大学工学部

北海道大学大学院工学研究院

北海道大学大学院工学研究院

北海道大学大学院工学研究院

○学生員

正 員

フェロー

正 員

竹津宗平 (Sohei Taketsu)

松本高志 (Takashi Matsumoto)

林川俊郎 (Toshiro Hayashikawa)

何 興文 (Xingwen He)

1. はじめに

近年、社会基盤施設の耐久性・維持管理性の向上がさらに求められる中で、軽量、高強度、および耐腐食性に優れる材料である繊維強化ポリマー(Fiber Reinforced Polymer、以下、FRPと称す)を用いた構造物が注目されている。FRPは図-1に示すような、繊維を強化材とし、樹脂を基材とする複合材料である。FRPは非鉄繊維と樹脂の複合材料であるため、耐腐食性に優れる。すなわち、FRPに用いられる炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維などの非鉄繊維は化学的に非常に安定した構造を有しており、基材に用いられる、エポキシ、不飽和ポリエステル、ビニルエステルなどの樹脂も金属系材料と比べて優れた耐腐食性を持っている。²⁾

しかし、FRPを構造材料として利用するにあたって材料の設計値を求めるための材料係数の算出にはデータが不足していることや、いくつかの方法が混在して使用されていることにより、標準的な手法の確立が出来ていない。²⁾また、FRPは繊維と樹脂の複合材料のため、繊維の量や方向によってFRP毎に強度や曲げ特性が異なる。よって、部材の試験評価方法については、現在小さい試験片サイズによる手法を準用することが一般的であるが、土木構造物に適した標準的な方法が定められているとはいえない。

これらのことから本論文では、FRPの中でも比較的安価で、実際に歩道橋として架設されているガラス繊維強化ポリマー(Glass Fiber Reinforced Polymer、以下、GFRPと称す)を対象として、合理的な建設構造物の設計を可能にするために寸法と部材強度の関係を検討する。そのために、供試体の対面の板厚の差が大きい2面を選び、載荷面として弾性範囲内で曲げ載荷実験を行い、荷重と変位の関係から断面寸法と曲げ特性の関係を検討する。

2. 供試体

実験に供したGFRPは、箱形断面の引抜成形材である。

図-2にGFRP引抜成形材の標準寸法と本実験の供試体の断面寸法を示す。内部の繊維の多くは引抜方向の一方向層となっており、基材はビニルエステル樹脂である。隅角部の内面および外面には半径が板厚程度のアールが付いている。

2.1 断面寸法の許容差

本実験の供試体についてJIS K 7015に従い、断面寸法(外形寸法、板厚寸法、直角度合い、平面度合い、曲り度合い、ねじれ度合い)が許容差内に収まっているかを確認した。

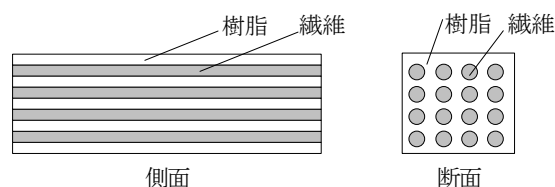


図-1 FRPの概念図

	B(mm)	t(mm)
標準	75.00	5.000
面1	75.20	5.207
面2	75.35	5.487
面3	75.23	5.419
面4	75.30	5.472

図-2 供試体の断面寸法

結果として、断面寸法において上記の項目が許容差に収まっている事を確認した。

2.2 断面寸法の変動

全ての項目について許容差に収まっていることが確認できたが、供試体の板厚が標準寸法と比べて最大で0.487mmの差となり、10%程大きい値を示した。さらに、同供試体の4面比較においては最大で0.265mmの違いを確認した。対面の板厚の差は面1、面3について大きくなるため、載荷面は面1(以下、薄面と称す)、面3(以下、厚面と称す)とした。

3. 曲げ載荷実験

3.1 載荷条件

図-3に曲げの載荷条件を示す。載荷条件は4点曲げとし、荷重制御により載荷を行った。スパン、せん断スパン、および曲げスパンはそれぞれ、850mm、285mm、280mmである。このスパン割は、3等分の4点曲げの条件に近くなるように設定した。

載荷点には、幅50mm、高さ55mm、奥行き200mmの鋼製載荷ブロックを置き、鋼製ブロックの上に長さ1635mmの形鋼(鋼種はSS400)を介し、その上の幅154mm、高さ55mm、奥行き100mmの鋼製載荷台を載荷した。また、載荷点と支点では、幅50mm、板厚5mm、奥行き120mmの鋼製板を石膏を用いて梁供試体に接着している。

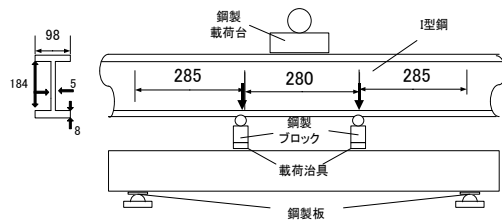


図-3 荷条件

側面



上面

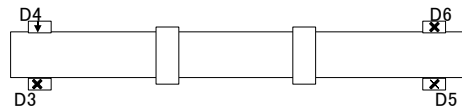


図-4 計測器の配置

本実験は、初めに厚面を載荷面として弾性範囲内で載荷をし、続いて薄面を載荷面として同様に載荷を行った。載荷は弾性範囲内のみで曲げ載荷を行うため、約15kNまで載荷を行うこととした。

3.2 計測器の配置

図-4に計測器の配置を示す。

変位計の配置については、載荷点位置にレーザー変位計、せん断スパン中央位置にダイヤルゲージを設置した。また、載荷することによって生じる支点的沈下量を把握するために支点治具端にダイヤルゲージを置き、さらにウェブ部の変形がないことを確認するためにダイヤルゲージを供試体側面に設置した。

一軸ひずみゲージと三軸ひずみゲージについては、せん断スパン中央に三軸ひずみゲージを設置する。一軸ひずみゲージは曲げスパン中央部にウェブの上端と下端からそれぞれ10mm離れた点に設置した。ここで、上端の一軸ひずみゲージは圧縮方向の梁方向直ひずみを示し、下端は引張方向の梁方向直ひずみを示す。

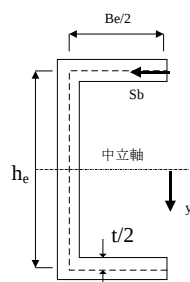


図-5 断面の定義

4. ひずみとたわみ変位の算定式

梁理論に基づいた梁軸方向直ひずみと面内せん断ひずみの算定式を示す。これらは曲げ載荷実験で計測されるひずみから、梁軸方向弾性係数とせん断弾性係数を算出する際に用いる。

梁軸方向直ひずみ ϵ_x は、

$$\epsilon_x = \frac{M_z}{E_x I_z} y \quad (1a)$$

で与えられる。ここで M_z は着目点における z 軸に関する曲げモーメント、 E_x は梁軸方向の弾性係数、 I_z は z 軸に関する断面2次モーメント、 y は中立軸から断面の着目点までの距離である。

面内せん断ひずみ γ_{xy} は、図-5の断面に基づき、

$$\gamma_{xy} = \frac{V_y}{G_{xy} I_z} \left[\frac{h}{2} S_b - \left(\frac{y^2}{2} - \frac{h_e^2}{8} \right) \right] \quad (1b)$$

で与えられる。ここで V_y は梁軸方向着目点におけるせん断力、 G_{xy} はせん断弾性係数、 h_e は梁の有効高さ、 S_b は図-5に示す箱形断面の幅方向対称面からの距離である。

たわみ変位 δ は、

$$\delta = \frac{P}{2E_x I_z} \left\{ -\frac{x^2}{6} + (a^2 + ab) \frac{x}{2} \right\} + \frac{Px}{2G_{xy} A_w} \quad (1c)$$

と表される。ここで P は荷重、 x は着目点、 a はせん断スパン、 b は曲げスパン、 A_w はウェブ断面積である。

5. 実験結果

曲げ載荷実験によって得られた、圧縮側と引張側の梁方向直ひずみと断面寸法から得られる断面2次モーメントを(1a)の式に代入することで梁軸方向の弾性係数 E_x を得た。図-6に載荷面の板厚が異なる場合の圧縮側の梁軸方向弾性係数、図-7に載荷面の板厚が異なる場合の引張側の梁軸方向弾性係数を示す。荷重が小さい時に弾性係数が小さくなる原因としては、載荷時の遊びによる可能性がある。次に、三軸ひずみゲージから得られたひずみを用いてせん断ひずみを求め、断面寸法から得られる値を(1b)の式に代入することでせん断弾性係数 G_{xy} を得た。図-8に1sでの載荷面の板厚が異なる場合のせん断弾性係数、図-9に2sでの載荷面の板厚が異なる場合のせん断弾性係数を示す。

さらに、上記によって得られた、圧縮側と引張側の E_x の平均値、 G_{xy} を(1c)の式に代入することでたわみ変位を得た。図-10にD1での載荷面の板厚が異なる場合のたわみ変位、図-11にD2での載荷面の板厚が異なる場合のたわみ変位、図-12にL1での載荷面の板厚が異なる場合のたわみ変位、図-13にL2での載荷面の板厚が異なる場合のたわみ変位を示す。その結果、載荷点において約15kNで載荷面を厚面とした場合において載荷面を薄面とした場合に比べて、たわみ変位に約0.1mmの違いが生じた。

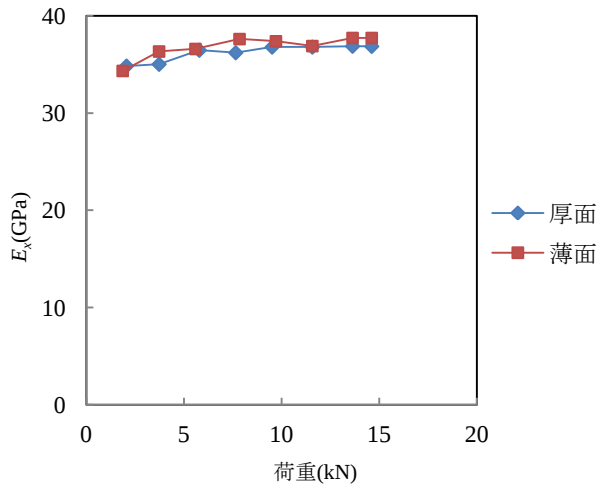


図-6 載荷面の板厚が異なる場合の圧縮弾性係数

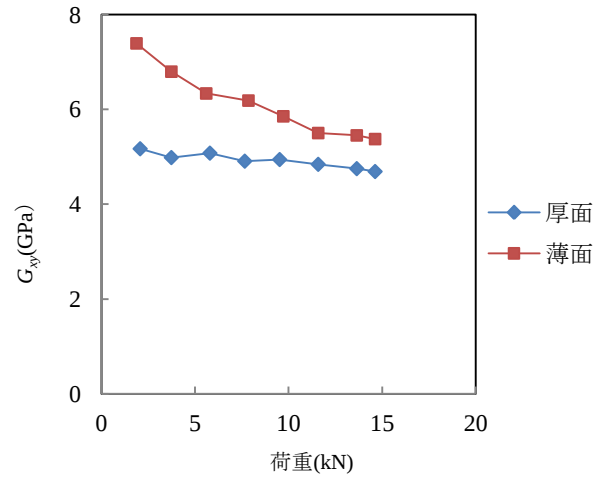


図-9 2sで載荷面の板厚が異なる場合のせん断弾性係数

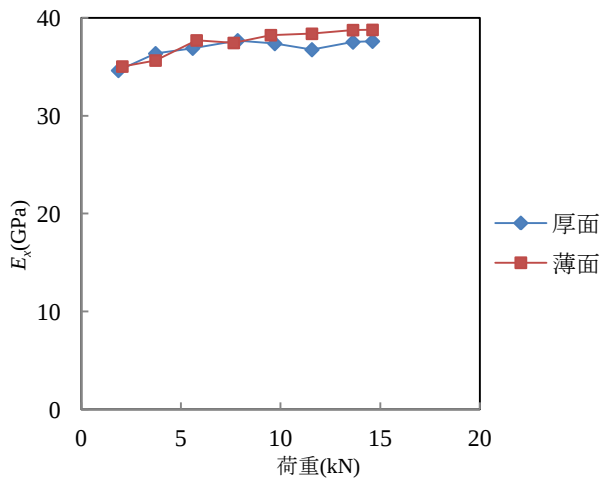


図-7 載荷面の板厚が異なる場合の引張弾性係数

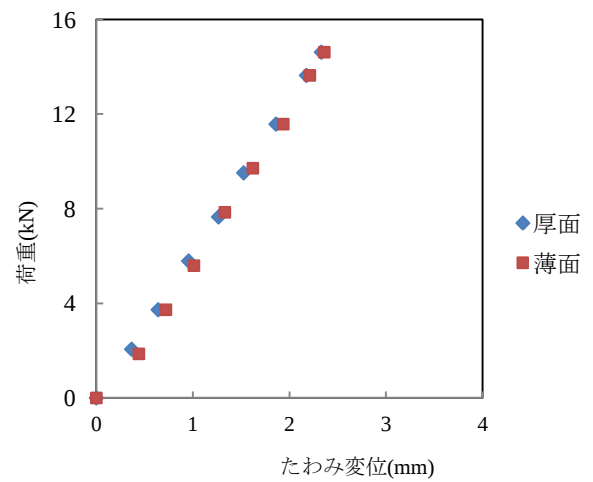


図-10 載荷面の板厚が異なる場合のD1でのたわみ変位

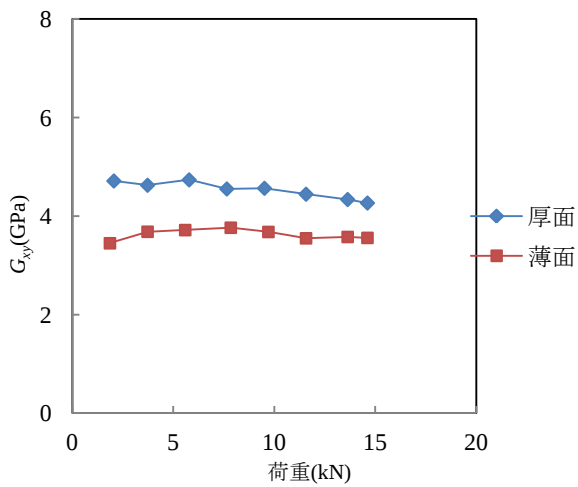


図-8 1sで載荷面の板厚が異なる場合のせん断弾性係数

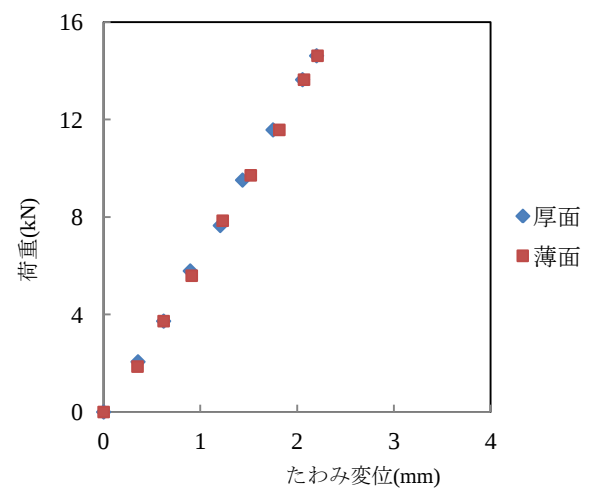


図-11 載荷面の板厚が異なる場合のD2でのたわみ変位

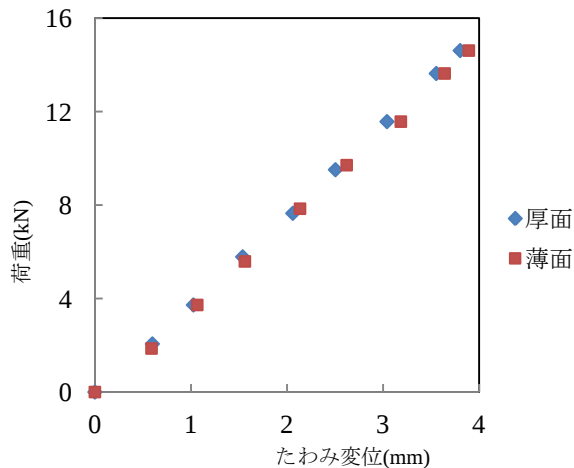


図-12 載荷面の板厚が異なる場合のL1でのたわみ変位

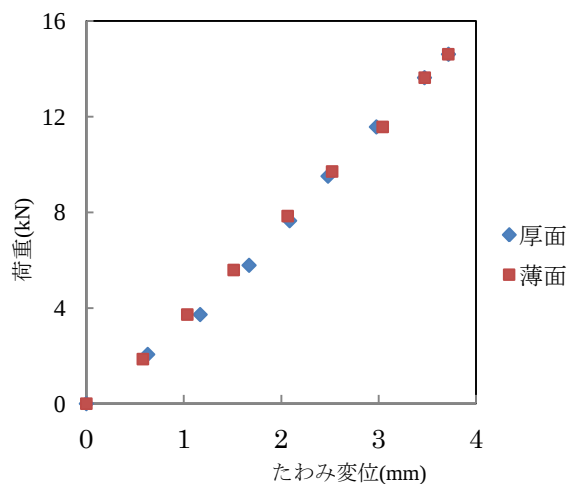


図-13 載荷面の板厚が異なる場合のL2でのたわみ変位

6. 考察

梁軸方向弾性係数の値は約37GPaに分布している。既往の文献²⁾で、アッ行く弾性係数は34.2GPaとなっており、近い値が得られている。

次に、図-6と図-7で圧縮側と引張側での梁軸方向弾性係数を比較した結果、引張側の方が圧縮側よりも弾性係数が高い値を示すことが確認された。これは、繊維は引張方向への力に対して強く寄与し、圧縮方向の力については寄与が若干下がるため、引張側の弾性係数が圧縮側よりも高い値を示すことは妥当である。また、載荷面が厚面の場合と薄面の場合を比較した。図-7において10kN以前に入れ替わりがあるが、概ね薄面の方が高い値を示している。これは、繊維がどちらにも同量存在し、板厚の違いは樹脂の量の違いとなっている可能性を示唆している。

せん断弾性係数についての比較を行う。厚面が載荷面の場合には、1sと2sのせん断弾性係数は約4.7GPaとなり、概ね同様の値を示している。薄面が載荷面の場合では、1sが3.6GPaであり、2sでは徐々に減少傾向であり5.3GPaに近づいている。双方の平均としては4.6GPaとなり、厚面のせん断弾性係数に近づいている。

図-10、図-11、図-12において載荷面を厚面とした場合が同荷重においてたわみ変位が小さい。図-13については8kN以下では載荷面を厚面とした場合にたわみ変位が大きくなっているが、8kN以上では厚面の場合にたわみ変位は小さくなる。以上のことから、概ね厚面が載荷面となる場合において、たわみ変位が小さいということがわかる。

これらのことから、梁軸方向弾性係数が高くなる薄面を引張側とし、低い厚面を圧縮側とする場合にたわみ変位が小さくなることが確認できた。

7. まとめ

本研究では、載荷面での板厚の違いが曲げ特性に及ぼす影響について検討した。

載荷面を厚面として弾性範囲内で載荷をし、続いて載荷面を薄面として同様に弾性範囲内で載荷を行った。

その結果、梁軸方向弾性係数は圧縮側と引張側では引張側で高い値を示し、厚面と薄面では薄面の方が高い値を示した。せん断弾性係数は載荷面を薄面載荷時の2sでの計測値以外は安定した値を得られた。たわみ変位は載荷面を厚面とした場合に、小さくなることが確認できた。

本検討から、梁軸方向弾性係数が高い値を示す薄面を引張側とし、厚面を圧縮側にする場合にたわみ変位は小さくなることが確認された。

参考文献

- 1) 櫻庭浩樹：積層構成が異なるCFRP梁の変動挙動と断面耐力に関する研究，北海道大学博士論文，pp.62-67，2013.
- 2) 杉浦邦征・西崎到・北根安雄・中村一史・三ツ木幸子・山岸敏夫・富山禎仁：土木構造用FRP部材の部分安全係数の策定にむけて，第4回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム論文集，土木学会，pp.1-5，2012.