

(50) 鋼・GFRP合成はりの終局強度に関する 実験的研究

橋本 国太郎¹・日比 英輝²・杉浦 邦征³

¹正会員 神戸大学大学院准教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:hashimoto@person.kobe-u.ac.jp

²正会員 株式会社ヒビ (〒503-1337 岐阜県養老郡養老町直江613-1)
E-mail:hidekey@hibi-frp.co.jp

³正会員 京都大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail:sugiura.kunitomo.4n@kyoto-u.ac.jp

GFRPは軽量かつ高耐食性を有し、さらに鋼材と同程度の強度を持つことから、近年では、国内においても、腐食環境の悪い場所では、歩道橋や検査路などの構造部材として採用され始めている。しかし、剛性が鋼材に比べ小さいことから使用荷重下においてたわみや振動の問題がある。その問題を改善するために著者らのグループでは、GFRP積層内にステンレスや鋼材で製作されたパンチングメタルを挿入した鋼・GFRP合成はりを開発している。先行研究で、挿入量による剛性の増加率などがわかっているが終局強度の解明までには到っていない。そこで、本研究では、その終局挙動を実験的に解明することを目的とし、クーボン試験およびI断面はりによる3点曲げ試験を実施した。

Key Words : steel and GFRP composite beam, three point bending test, ultimate strength

1. はじめに

(1) 研究背景および目的

FRPとは繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Polymer)の略称であり、一般にはエポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂などの熱硬化性樹脂や熱可塑性樹脂を繊維で補強・強化し、樹脂単独に比べ強度や剛性を向上させた複合材料である。FRPの特徴としては、軽量かつ強度が高く施工性に優れており、錆びないため耐食性にも優れている。また繊維方向と繊維直角方向ではその力学的特性が大きく異なるため、繊維の種類や量、繊維の配向方向によって異なる力学的特性を示す異方性材料である。そのため積層方法により、様々な材料特性を考案することもでき、繊維が直交するように織り込んだロービングクロスを板に使用した場合には、板面内において等方性材料に近い力学的挙動を発揮させることも可能である¹⁾。

本研究ではFRPの中でもガラス繊維を強化繊維としたGFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer)に着目している。GFRPは強化繊維に炭素繊維を用いたCFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer)やアラミド繊維を用いたAFRP(Aramid Fiber Reinforced Polymer)など、他のFRPと比べ、価格当た

りの強度や剛性、耐熱性に優れ、実用性が高く水門や歩道橋などの実際の土木構造物で広く用いられている²⁾。

しかし、一般に橋梁などに使用される鋼材に比べると剛性が小さいため、たわみが大きくなることが、不利な点として挙げられる。設計ではたわみを抑えるために部材断面を大きくしており、鋼部材に比べ大きな断面が必要となるなど、課題がいくつか残されている³⁾。

著者らは、GFRP部材の剛性の増大を目的に、鋼板をGFRP部材内に積層一体化したI形の鋼・GFRP合成はりの曲げ挙動について検討を行っている⁴⁾。しかし、図-1に示すように試験体の接着法の不備から接着面で部材が剥離し、本合成はりが本来持っていると考えられる終局強度の測定やより大きな荷重を受けた場合の力学的挙動の解明には至っていない。そこで、本研究では、鋼・GFRP合成はり部材の曲げ試験体の製作方法の改善を行い、本構造の力学的挙動の解明および終局強度の測定を目的として載荷実験を行った。また、鋼・GFRP合成板からなるクーボン試験片による引張試験および曲げ試験も実施し、その基本性能の検討も行った。

(2) 合成はりの製作方法の改善

著者らが行った先行研究⁴⁾でのI形部材の成形方法を図-2 (a)に示す。この先行研究ではC形部材をウェブ背面で接着することでGFRPのI形部材を製作しており、荷重時にはこの接着面の剥離が先行し、部材の終局強度が測定される前の早い段階で破壊に至った。本研究では、課題である試験体の製作方法の改善策として、図-2 (b)に示すようにC形部材を積層し、すぐに抱き合わせた後にさらにフランジ板を積層する一体成形とし、外力により部材同士が剥離しにくい工夫した。



図-1 先行研究でのI形部材の破壊モード

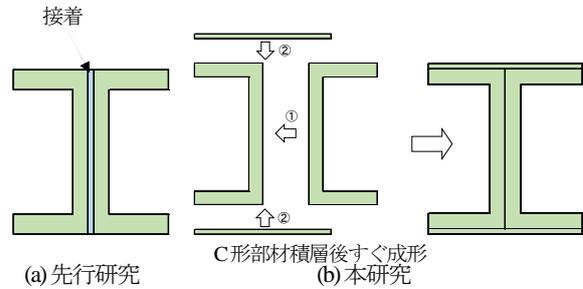


図-2 I形部材の成型方法

2. クーポン試験による引張および3点曲げ試験

(1) 引張試験

a) 試験体および試験方法

ここではGFRP板および鋼板として、GFRPとの付着性を確保するためにパンチングメタル（以下PM）を積層した鋼・GFRP板の引張強度および引張弾性係数を確認する。試験に用いたPMの概要を図-3に、試験体の積層構成を表-1に示す。ここで表-1中の記号としてSFMはサーフェスマット、CSMはチョップドストランドマット、RCはロービングクロスを表し、#の後の数字はシートに含まれるガラス繊維の含有量（単位：g/m²）を表している。

図-3に示すように、使用するPMは長孔を有するステンレス鋼板のSLタイプと、円孔と十字孔を有するSPHC鋼板のCRタイプの2種類を用いた。各試験体を5体ずつ製作して引張試験を行った。

試験方法としてFRP材の引張試験の基準であるJIS K 7165⁵⁾を参考に行った。試験片の寸法およびひずみゲージ貼付位置を図-4に示す。図-4に示すように、引張試験片は、試験機でつかむ部分にアルミ製タブを接着し、つかみ部での破壊が生じないようにした。引張試験は万能試験機（島津製作所 AG-250kNXplus）を用いて荷重および試験機ストロークを、試験片中央に貼ったひずみゲージによりひずみを測定した。

b) 試験結果

各試験体の試験後の様子を図-5に、試験結果のまとめを表-2に、得られた応力-ひずみ関係を図-6に示す。図や表中の板に作用する応力 σ はJIS K7054より $\sigma = P/hb$ として計算した。ここで、 P ：試験荷重、 b ：板幅、 h ：板高さとしている。

表-2より平均最大応力はそれぞれ $\sigma_{GFRP} = 377 \text{ N/mm}^2$ 、 $\sigma_{CR} = 270 \text{ N/mm}^2$ 、 $\sigma_{SR} = 277 \text{ N/mm}^2$ となり、GFRP試験体が最も大きくなり、CRタイプとSLタイプで大きな差は見られなかった。そのため最大応力はGFRPとPM間で

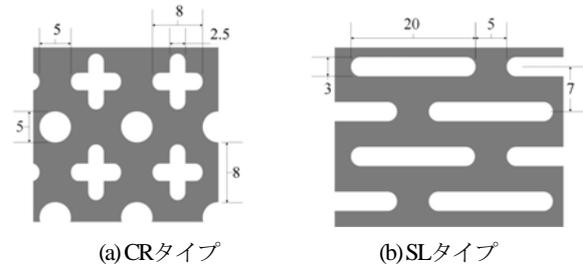


図-3 パンチングメタルの概要（単位：mm）

表-1 積層構成

(a) GFRP板

積層種類	積層枚数
SFM#30	1
CSM#320	1
RC#600	20
CSM#320	1
SFM#30	1

(b) 合成板

積層種類	積層枚数
SFM#30	1
CSM#320	1
RC#600	9
CSM#320	1
PM	1
CSM#320	1
PM	1
CSM#320	1
RC#600	5
CSM#320	1
SFM#30	1

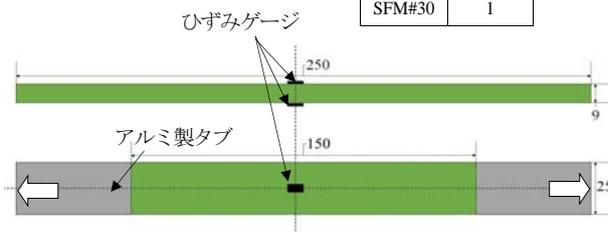


図-4 引張試験片の概要（単位：mm）

の合成効果が影響していると思われる。

引張弾性係数 E を JIS K7054 より、ひずみ ϵ_{500} 、 ϵ_{2500} のときの応力 σ_{500} 、 σ_{2500} から $E = (\sigma_{2500} - \sigma_{500}) / (\epsilon_{2500} - \epsilon_{500})$ として算出した。 $E_{GFRP} = 25.9 \text{ kN/mm}^2$ 、 $E_{CR} = 24.0 \text{ kN/mm}^2$ 、 $E_{SL} = 29.6 \text{ kN/mm}^2$ で全試験体のうち SL 試験体が最も大きくなった。荷重載荷初期では、PM と GFRP が一体となって変形しているため、PM の弾性係数が大きいほど、引張弾性係数が大きくなると考えられる。図-5 より、GFRP 試験体は断面の GFRP が均等に膨張し破壊に至っている。これは引張荷重が試験体断面に均等に働いているためと考えられる。一方、PM を積層した CR タイプと SL タイプでは、GFRP と PM の境で層間剥離が生じ、GFRP が膨張するように破壊に至っている。これは、剛性の小さい GFRP が PM より大きな変形をすることで、接着面での合成を失い、GFRP に応力が集中し、GFRP の破壊に至ったと推測される。そのため断面当たりの GFRP 量が多いほど最大荷重が大きくなると考えられる。

また、図-6 より、鋼・GFRP 板の弾性係数はひずみ 1500μ 程度で徐々に低下していることから、GFRP と PM の合成が失われ始めるのは 1500μ 程度であると考えられる。

試験力と GFRP 面積の関係を表-3 に示す。ここで P : 平均最大試験力、 A_{GFRP} : 平均 GFRP 断面積を表している。試験力が全て GFRP にかかると仮定したとき、GFRP にかかる応力 P / A_{GFRP} は 300 N/mm^2 程度である。このことから、PM を積層することにより GFRP 層が二分され層が薄くなり破断しやすくなったと考えられる。

(2) 曲げ試験

a) 試験体および試験方法

GFRP板および2種類のPMを積層した鋼・GFRP板の曲げ強度および曲げ弾性係数を確認するため、各試験体を5体ずつ製作して曲げ試験を行った。試験体の寸法およびひずみゲージ貼付位置を図-7に示す。試験体には引張試験に用いた試験体と同様の積層構成のものを使用した。

試験方法としてFRP材の曲げ試験の基準である JIS K 7017⁹⁾ を参考に3点曲げ試験を行った。曲げ試験は万能試験機（島津製作所AG-250kNXplus）を用いて荷重および試験機ストロークを測定、および試験片中央に貼ったひずみゲージによりひずみを測定した。

b) 試験結果

各試験体の試験後の様子を図-8に、試験結果のまとめを表-4に、得られた応力-ひずみ関係を図-9に示す。なお、表-4と図-9の試験片に作用する応力 σ は JIS K7017 より $\sigma = Me / I = 3PL / 2bt^2$ として計算した。ここで M : 試験片中央に作用する曲げ応力、 e : 図心から縁までの距離、 I : 試験片の断面二次モーメント、 P : 試験荷重、

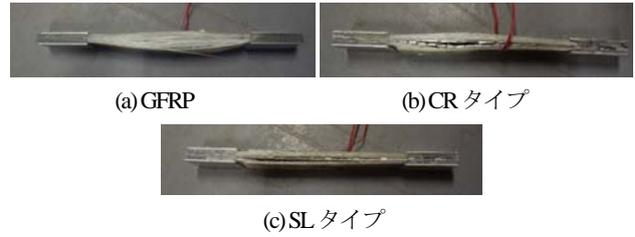


図-5 引張試験片の破壊モード

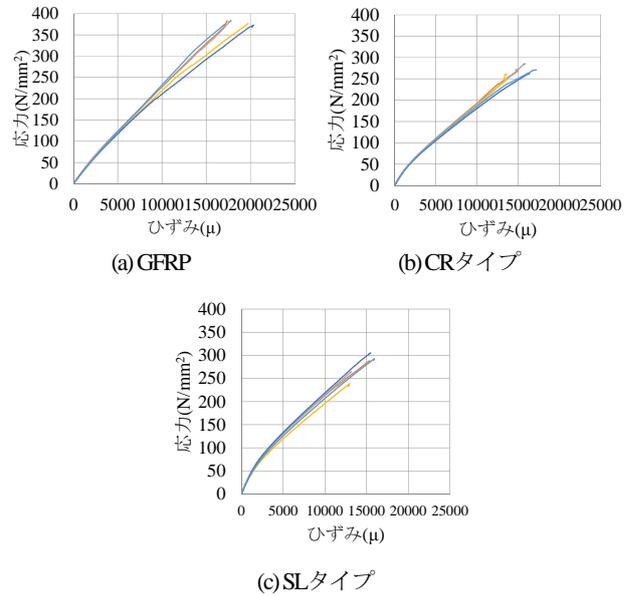


図-6 引張試験の応力-ひずみ関係

表-2 引張試験結果のまとめ

	最大応力 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	標準偏差	引張弾性係数 (kN/mm ²)	平均 (kN/mm ²)
GFRP1	382	378	4.39	26.5	25.9
GFRP2	380			26.7	
GFRP3	376			25.6	
GFRP4	372			25.0	
GFRP5	373			25.7	
CR1	271	270	9.75	24.3	24.0
CR2	285			24.6	
CR3	261			23.9	
CR4	262			23.4	
CR5	271			23.8	
SL1	288	277	26.4	30.3	29.6
SL2	264			30.3	
SL3	238			27.5	
SL4	305			30.9	
SL5	292			28.9	

表-3 試験力と面積の関係

	平均最大試験力 \bar{P} (kN)	平均 GFRP 面積 \bar{A}_{GFRP} (mm ²)	\bar{P} / \bar{A}_{GFRP} (N/mm ²)
GFRP	80.5	214	377
CR	68.1	196	346
SL	63.9	205	311

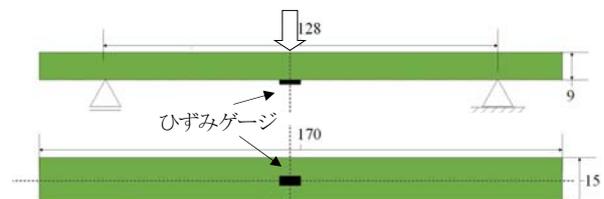


図-7 曲げ試験体の概要

L : 支点間距離, b : 試験片幅, h : 試験片高さとしている。

図-8より, PMを積層した試験片では, 荷重点である中央とは少しずれた位置で折れ曲がっていることがわかる。これはPMの孔によって有効断面が小さくなっている位置で折れ曲がったためと考えられる。また, SLタイプでは, 破壊後GFRPとPMが大きく剥離している。これはCR試験体に比べSL試験体のほうがより大きな応力が働いていたためと考えられる。

表-4と図-9より, 平均最大応力はそれぞれ $\sigma_{GFRP} = 331$ N/mm², $\sigma_{CR} = 144$ N/mm², $\sigma_{SR} = 290$ N/mm²で, GFRP板試験体が一番大きくなった。PMを積層すると, 荷重が増えるにつれてPMとGFRPの境界で剥離が生じ破壊に至るため, GFRP試験体のほうが最大応力が大きくなったと考えられる。また, 引張試験に比べ破壊に至るひずみが大きくなっている。これは, 曲げ試験においてひずみゲージを設置した引張側で破壊に至るひずみに達すると, ひずみの小さい圧縮側へ応力が再分配されているためと考えられる。さらに, PMを積層した試験体では, ともに層間剥離が発生し荷重が大きく低下したあと, 再び荷重が増加している。これは, GFRPが破断した後もPMが荷重を受け持っていたためと考えられる。そのため図中に示すように, 同じPMを用いた試験体では, 1度目の破壊の後の応力-ひずみ挙動が類似していることがわかる。

曲げ弾性係数をJIS K7055より, ひずみ ϵ_{500} , ϵ_{2500} のときの応力 σ_{500} , σ_{2500} から $E = (\sigma_{2500} - \sigma_{500}) / (\epsilon_{2500} - \epsilon_{500})$ として算出した。 $E_{GFRP} = 20.7$ kN/mm², $E_{CR} = 15.2$ kN/mm², $E_{SR} = 19.2$ kN/mm²でGFRP試験体が最も大きくなった。

最大曲げ応力, 弾性係数がともにGFRP試験体が最も大きくなった理由として, 今回用いた試験片のサイズが小さいこともありPMとGFRPが完全に合成されていないなどの原因が考えられる。

3. 合成はり試験体による3点曲げ実験

(1) 実験供試体および実験方法

GFRPはりおよび2種類のPMを積層した鋼・GFRP合成はりの最大強度, 剛性および力学的挙動を確認するため, 各試験体を3体ずつに対して3点曲げ試験を行った。試験体の断面寸法を図-10に, 橋軸方向の寸法, 荷重方法, およびひずみゲージ貼付位置を図-11に示す。荷重点および支点には, 縦補剛材および荷重板を置き, 荷重点および支点での応力集中の影響をなくした。スパン中央および支点の垂直変位, および荷重点の下フランジと荷重点から200 mm支点側に離れた位置でのウェブ・フラン

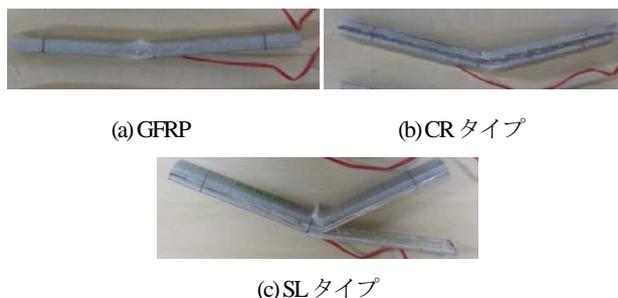


図-8 曲げ試験片の破壊モード

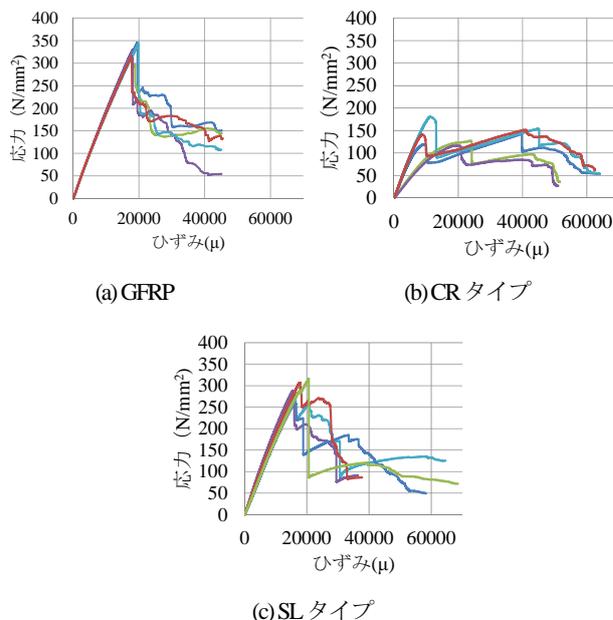


図-9 曲げ試験の応力-ひずみ関係

表-4 曲げ試験結果のまとめ

	最大応力 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	標準偏差	曲げ弾性係数 (kN/mm ²)	平均 (kN/mm ²)
GFRP1	346	331	13.7	20.6	20.7
GFRP2	319			21.1	
GFRP3	331			20.7	
GFRP4	343			20.5	
GFRP5	316			20.7	
CR1	143	144	24.7	17.9	15.2
CR2	127			10.2	
CR3	117			9.2	
CR4	181			19.6	
CR5	151			19.2	
SL1	281	290	22.4	19.2	19.2
SL2	289			21.9	
SL3	259			17.0	
SL4	307			20.2	
SL5	316			17.6	

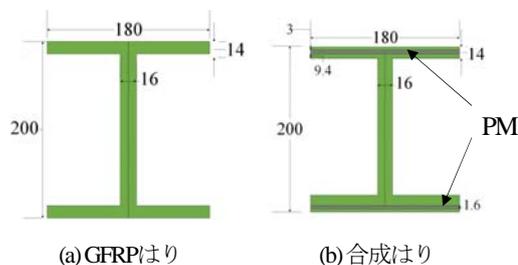


図-10 実験供試体断面の寸法

ジのひずみを測定した。万能試験機（島津製作所製：UH-2000kNI）を用いて荷重および試験機ストロークの測定を行った。

積層構成を表-5に示す。1章でも記述したように、GFRPはり試験体は、C形断面のほりを背中合わせに積層し一体とした後、さらにフランジ板のGFRPを積層しI形断面とした。鋼・GFRPはり試験体はC形断面のほりを背中合わせに積層し一体とした後、表面に厚さ1.6 mmのPMを積層し、さらにフランジ板のGFRPを積層しI形とした。

(2) 実験結果

各試験体の試験後の様子を図-12に、試験結果のまとめを表-6に、荷重-変位関係を図-13に示す。なお、図-13中には、以下に示すティモシェンコ梁のたわみに関する式(1)より算出できる理論剛性 K_t （図中の破線、式(2)）も示している。

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} + \frac{Pl}{4\kappa GA} \quad (1)$$

$$P = 1 / \left(\frac{l^3}{48EI} + \frac{l}{4\kappa GA} \right) \delta = K_t \delta \quad (2)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

ここで、 δ ：はり中央のたわみ、 P ：荷重、 l ：スパン、 E ：曲げ試験で得られた曲げ弾性係数、 I ：断面二次モーメント、 G ：せん断弾性係数は引張試験で得られた引張弾性係数 E とポアソン比 ν より(3)式で算出した。 κ ：せん断補正係数（I形断面の場合 A_w/A 、 A_w ：総断面積）、 A ：ウェブ断面積を表している⁷⁾。また、実験における剛性 K_t は荷重-変位関係の中央下フランジひずみ値 $\varepsilon=500 \mu$ 、 2500μ 時の値を用いて弾性範囲内の直線から算出した⁶⁾。

図-12より、すべての試験体で、はり中央部付近（載荷点支圧板の縁付近）の上フランジで表層のGFRPが剥離するとともに、上フランジおよびウェブに脆性的な破壊が見られ、最終的に、フランジとウェブがせん断破壊し終局に至った。これは、荷重が大きくなると、はりが大きく曲がるため、支圧板の縁がGFRPに食い込み、上フランジの上側を起点として破壊が進行したためと考えられる。

表-6(a)より、各試験体の平均最大荷重は $P_{GFRP} = 206 \text{ kN}$ 、 $P_{CR} = 214 \text{ kN}$ 、 $P_{SL} = 211 \text{ kN}$ でPMを積層した試験体のほうが大きくなった。またGFRPはりではばらつきが小さい傾向にあった。

図-13や表-6(b)より、GFRP試験体ではティモシェンコ梁理論から算出された理論剛性 K_t と実験で得られた剛性

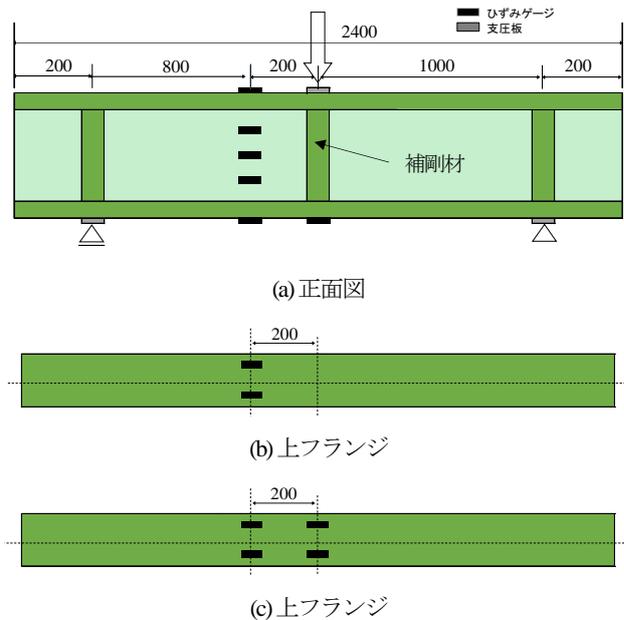
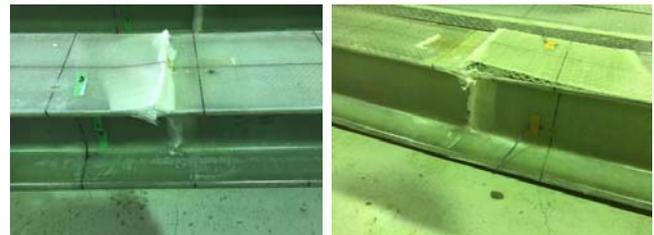


図-11 荷重方法およびひずみゲージ貼付位置

表-5 実験供試体の積層構成

(a) GFRP (b) 合成はり

フランジ		ウェブ		フランジ		ウェブ	
積層種類	積層枚数	積層種類	積層枚数	積層種類	積層枚数	積層種類	積層枚数
CSM#380	1	RC#600	20	RC#600	5	RC#600	20
RC#600	34	SFM#30	1	CSM#380	1	SFM#30	1
SFM#30	1			PM(1.6mm)	1		
				CSM#380	1		
				PM(1.6mm)	1		
				CSM#380	1		
				SFM#30	1		
				RC#600	20		



(a) GFRP (b) CR タイプ



(c) SL タイプ

図-12 実験供試体の破壊モード

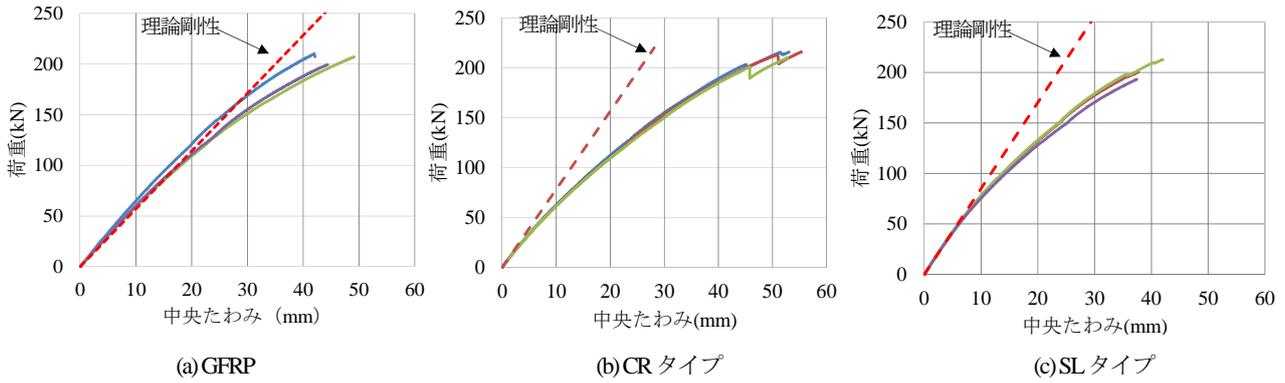


図-13 荷重-変位関係

K_e の値は近いものとなった。一方、合成はり試験体では理論剛性に比べ実験値が小さく実験理論比 (K_e / K_t) が0.8から0.9程度となった。これはGFRPとPMの合成が十分でなく、荷重が進むにつれて剥離が生じ、はり为一体となって挙動していないためと考えられる。文献4)より、先行研究ではGFRP試験体では実験理論比 (K_e / K_t) が1.0程度、PM試験体では0.8程度で、より理論に近い結果となっている。

図-13より、合成はりでは、荷重荷初期で理論値と実験値で大きな差異はないが、荷重増加とともに理論値を実験値が下回っているのがわかる。これについても荷重増加によりPMとGFRPとの剥離が徐々に進行し、はり全体としての剛性が下がったことが原因と考えられる。さらに、荷重荷直後では、GFRPはりに比べCRタイプの合成はりの曲げ剛性が大きい、徐々に低下し100kN付近で剛性がほぼ変わらなくなる。荷重直後ではPMとGFRPが合成され一体となって変形しているが、荷重増加につれて層間剥離が生じたためと考えられる。SLタイプは、GFRPはりに比べ常に剛性が大きかった。

また、CRタイプの合成はり試験体では荷重200 kN付近で一度荷重が低下しその後上昇に転じている。これははりのGFRP部分が先に破壊したものの、PMによって荷重が分担され完全な破壊には至らず、その後、PMを含めて破壊が進行したためこのような軌跡を描いたと考えられる。

鋼・GFRP合成はりの鋼板の積層による剛性の上昇について、先行研究と比較を表-7に示す。本研究では、CR鋼板を積層した合成はりの剛性はGFRPはりの1.06倍、SLを積層した合成はりではGFRPはりの1.26倍と上昇した。剛性の上昇率は、先行研究に比べGFRPはりの剛性でPMはりの剛性を除した値 $K_e / K_e(G)$ が10%ほど低下している。原因として、先行研究と本研究では使用した試験体の形状の違い（フランジ高さが低くなった）や成形方法の違いなどが考えられる。

各試験体の荷重50 kN、100 kN、150 kN、および200 kN時のひずみ分布を図-14に示す。ひずみははりの軸方向

表-6 実験結果のまとめ

(a) 曲げ弾性係数および曲げ剛性の実験値

		最大荷重 (kN)	平均 (kN)	標準偏差	曲げ弾性係数	平均 (kN/mm ²)	標準偏差	曲げ剛性	平均 (kN/mm)	標準偏差
					(kN/mm ²)			(kN/mm)		
GFRP	GFRP1	210	206	4.71	25.4	22.9	2.45	6.41	5.83	0.53
	GFRP2	208			20.5			5.37		
	GFRP3	201			22.7			5.71		
CR	CR1	216	214	3.31	14.7	14.9	0.42	6.26	6.16	0.10
	CR2	216			14.6			6.15		
	CR3	210			15.4			6.07		
SL	SL1	202	211	8.19	29.6	30.0	4.66	7.41	7.35	5.71
	SL2	213			34.8			7.23		
	SL3	219			25.5			7.40		

(a) 曲げ剛性の理論値との比較

		曲げ剛性 K_e	平均 (kN/mm)	理論剛性 K_t	K_e/K_t
		(kN/mm)			
GFRP	GFRP1	6.41	5.83	5.71	1.12
	GFRP2	5.37			0.94
	GFRP3	5.71			1.00
CR	CR1	6.26	6.16	7.82	0.80
	CR2	6.15			0.79
	CR3	6.07			0.78
SL	SL1	7.41	7.35	8.51	0.87
	SL2	7.23			0.85
	SL3	7.40			0.87

表-7 先行研究との比較

	(a) 本研究		(b) 先行研究	
	K_e	$K_e/K_e(G)$	K_e	$K_e/K_e(G)$
GFRP	5.83	—	8.70	—
CR	6.16	1.06	10.79	1.24
SL	7.35	1.26	11.93	1.37

のひずみであり、各試験体1体の代表値を示している。GFRPはりでは、ひずみ分布が左右対称の線形を保っており平面保持の仮定が成り立っていると考えられる。一方、PMを積層したCRタイプの合成はりでは、上フランジに比べ下フランジのひずみの値が荷重の増大とともに大きくなっている。これは荷重に対し表層のGFRP板材

とPM間での接着が完全ではなく、下フランジが一体となって変形していなかったためと考えられる。下フランジのひずみが大きくなっていることから、GFRP板材は圧縮に比べ引張りに対して剥離しやすいと考えられる。また、ひずみ分布は100 kN程度で非線形を示し始めるので、100 kN前後で下フランジの表層の剥離が始まったと考えられる。

4. 結論および今後の課題

本研究では、鋼・GFRP合成板の基本特性を検討するために、PM鋼板を積層した鋼GFRP試験片の引張試験と曲げ試験を実施し、さらにI形断面を有する鋼・GFRP合成はりに対して、最大強度や曲げ剛性などの力学的挙動を検討するために3点曲げ実験を行った。本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) クーボン試験による引張試験の結果
 - a) 鋼・GFRP試験片の引張弾性係数および最大応力は、GFRP試験片に比べ低い結果となった。
 - b) PM鋼板を積層した試験片では、CR鋼板を積層した試験片にくらべSL鋼板を積層した試験片のほうが引張弾性係数・最大応力ともに大きくなった。
 - c) 鋼・GFRP試験片の引張強度は、試験片の断面当たりのGFRPの厚さが影響する。
- 2) クーボン試験による曲げ試験の結果
 - a) PM鋼板を積層した曲げ試験片では、CR鋼板を積層した試験片に比べSL鋼板を積層した試験片のほうが曲げ弾性係数・最大応力ともに大きくなった。
 - b) PM鋼板を積層した曲げ試験片では、層間剥離が生じ荷重が一度低下した後、PM鋼板が応力を受け持ち荷重が再び上昇することがわかった。
- 3) 合成はりの3点曲げ試験結果
 - a) すべてのはり試験体は、荷重増加につれ支圧板の縁がはりの上フランジ上面に食い込み、せん断破壊した。
 - b) 合成はりの3点曲げ試験結果より、CR鋼板、SL鋼板の積層によってはりの剛性が1.06倍、1.26倍上昇した。
 - c) 鋼・GFRP合成はりの剛性は理論値の80%程度であり、荷重増加とともに表層のGFRPが剥離し剛性が

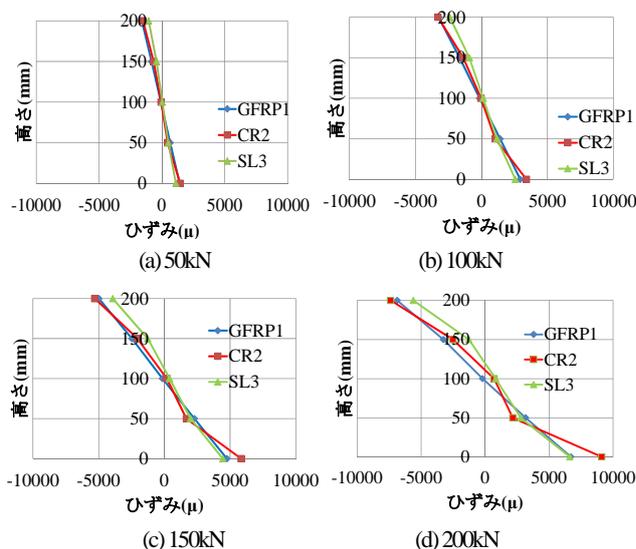


図-14 ひずみ分布

低下した。

今後の課題として、はりにせん断破壊の生じない載荷方法を検討し、鋼・GFRP合成はりの最大強度の検討やPMとGFRPの合成効果を高める検討を行う。

謝辞: 本研究の実験の実施および実験データの整理は、研究当時、神戸大学学生であった川上拓人君に多大な協力を得た。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 強化プラスチック協会：基礎からわかるFRP：繊維強化プラスチックの基礎から実用まで / 強化プラスチック協会編, pp.1, 2016.4
- 2) 前田研一：FRP 橋梁-技術とその展望、土木学会, pp15, 2004.1
- 3) 土木研究所：FRPを用いた橋梁の設計技術に関する共同研究報告書(I)：pp4：共同研究報告書整理番号第324号
- 4) 橋本 国太郎, LEE EngMing, 杉浦 邦征, 西崎 到, 日比 英輝：鋼・GFRP 合成桁の曲げ挙動に関する研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 70, No.5, p.II_31-II_39, 2014
- 5) 日本工業規格 JIS K 7165 (2008)
- 6) 日本工業規格 JIS K 7017 (2008)
- 7) 西野文雄, 長谷川彰夫：構造物の弾性解析, 新体系土木工学7, 技報堂, 1983

EXPERIMENTAL STUDY ON ULTIMATE STRENGTH OF STEEL AND FRP COMPOSITE BEAMS

Kunitaro HASHIMOTO, Hideki HIBI and Kunitomo SUGIURA

Recently, GFRP (glass fiber reinforced polymer) has begun to be adopted as a structural member such as a pedestrian bridge and a inspection foot bridge in the heavy corrosive environment in Japan, because it has light weight and high corrosion resistance and also has the same strength as steel. However, since the rigidity is smaller than that of the steel material, there are problems on deflection and vibration under the service load. In order to improve the problem, the authors group has developed a steel and GFRP composite beam in which punching metal made of stainless steel or steel material is inserted in the GFRP lamination. In the previous study, the rate of rigidity increase due to the insertion amount etc. was known, but it has not reached the finding of the ultimate strength. Therefore, in this study, to investigate the ultimate strength and mechanical behavior of the composite beam experimentally, a coupon test, and a 3 point bending test by using I shaped beam were carried out.