歩道橋への適用を目指した CFRP 補強 GFRP 積層桁の構造特性に関する基礎実験

大森 政和¹・松村 政秀²・久部 修弘³・野阪克義⁴

¹学生員 立命館大学大学院生 理工学研究科環境都市専攻(〒525-0058 滋賀県草津市野路東 1-1-1) E-mail:rd0002sv@ed.ritsumei.ac.jp

²正会員 大阪市立大学大学院准教授 工学研究科都市系専攻(〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138) E-mail:m_matsu@civil.eng.osaka-cu.ac.jp

³正会員 三菱樹脂インフラテック株式会社 防水補強部(〒103-0021 東京都中央区日本橋石町 1-2-2) E-mail:hisabe.nobuhiro@mb.mpi.co.jp

⁴正会員 立命館大学准教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-0058 滋賀県草津市野路東 1-1-1) E-mail:k-nozaka@se.ritsumei.ac.jp

近年,FRPの橋梁への適用が検討されているが,設計指針などが確立していないため,FRPを用いて橋梁 を設計する際には、事例ごとの検討が必要な状況である.著者らは、比較的安価なGFRPを主材として、CFRP で補強した桁を既存橋梁の拡幅歩道橋へ適用できないかを検討している.本研究では、使用するGFRPの性 能を把握するための要素実験を行い、その結果をもとに桁の4点曲げ載荷実験を行った.要素実験では引張 試験と矩形断面と箱型断面の圧縮試験、支圧部の局部載荷試試験を行った.桁実験では箱断面でのGFRP桁 とGFRP桁を4層重ねた積層桁、さらに積層桁をCFRP板で補強した積層補強桁の3種類の桁を用意し、要 素実験と比較した崩壊形状の相違や、桁としての強度などの検討を行った.要素実験の結果からGFRP桁単 体の強度はおおよそ予測可能であることが確認できたが、積層桁および補強積層桁の場合には崩壊形状が変 化したために要素実験結果からの予測が難しいことが分かった.

Key Words : GFRP girder, extended sidewalk, material strength, bending strength

1. はじめに

既存橋梁の多くは鋼材やコンクリートで建設され ているが、自然環境からの影響による腐食など、耐久 性についての問題が指摘されている.これらの問題を 解決するための新たな建設材料として、近年、繊維強 化樹脂材(Fiber Reinforced Plastic: FRPと表記) が建設分野で注目されている^{1), 2)}.

FRP とは繊維に樹脂を浸み込ませ、硬化させて成形した複合材料であり、比強度が高く、自由設計、耐腐食性,他の材料との複合性で優れているとされている.

一方,既存橋梁の中には,交通需要の変化とともに 歩道部分の追加や歩道部分の拡張が必要となる橋梁 もある.このような場合,橋梁の床版部を拡幅する必 要があるが,既存の主桁などの主構造部材に拡幅部分 の床版を支持する部材を添架する場合が多い.

このような拡幅歩道橋の部材は,既存橋梁の下部構 造への負担や,メンテナンスの簡便性を考慮すると, 軽量で腐食に強い材料が適していると考えられる.現 在では,拡幅歩道橋にアルミニウム材や FRP が用い られているケースもある.特に FRP は軽量で施工時 にも重機を必要としないため,交通車両がある既設橋 における拡幅歩道橋設置への適用性は高いと思われ る.

しかしながら、FRP橋梁が建設されている事例はあ

るものの²⁾,鋼材とは異なる材料特性を持つために設計指針などが未整備の状況であり,FRPを橋梁に適用するためには事例ごとの検討が必要である.FRPを構造部材として適用可能か検討する場合,構成する材料の強度を把握し,さらに部材としての挙動・強度を把握,設計に必要なデータを収集する必要がある^{3),4)}.

著者らは、比較的安価なGFRPを主材とし、高強 度・高弾性CFRPで補強した桁を既存橋梁の拡幅歩道 橋に適用することを目的として検討を行っている.想 定している部材は拡幅歩道橋の床版を支える桁部分 であり、図-1に示すように箱形断面のGFRP材を積層 した桁部材である.これまでI型GFRP断面のフラン ジのみにCFRPを配置した適用事例⁵⁰はあるものの, 設計上の自由度が低いという欠点があった.ここで提 案する箱型断面を積層する方法の特徴は,必要断面性 能に応じて自由に桁高さ・CFRP補強量を組み合わせ ることができる点である.

本検討の研究フローを図・2 に示す.まず,GFRP 桁を構成する材料の要素試験を行い,材料特性を把握 する.次に桁試験を実施,強度や崩壊形状についての 検討を行い拡幅歩道橋への適用可能性を検討する.拡 幅歩道橋への適用についてさらなる検討が必要であ ると判断される場合には,再度桁試験を行い,最終的 に拡幅歩道橋への適用に関する指針を提案していく 予定である.



図-1 GFRP 積層補強桁想定図



図-2 研究フロー

現在までに、GFRPの材料特性を把握するための要素 実験(圧縮・引張試験等),およびGFRP桁(単体, 積層,補強した積層)の曲げ載荷試験まで終了したた め、本論文ではそれらの実験結果についてまとめ、得 られた知見について述べる.

2. 要素実験

(1) 要素実験概要

歩道橋への適用を想定している GFRP 桁部材 (100mm×100mm,厚さ5mmの正方形箱型断面)の 材料特性を把握するため,桁部材から切り出した試験 片を用いて引張試験,圧縮試験(矩形断面,箱型断面), および局部載荷試験を行った.試験は全て万能試験機 を用い,ひずみ・荷重・変位の計測を行った.なお, 実験に用いたGFRP材は全て長手方向の1方向繊維補 強材である.

a) 引張試験

引張試験片の概要図を図-3に示す.引張試験はFRP



図-4 圧縮試験概要図(左図-矩形,右図-箱型)

成形板の両端に治具となる鋼板を接着し,鋼板を引張 試験機のグリップで挟み引張荷重を与えた.ひずみゲ ージは表側の中央に1箇所と裏側に左右から5mmの 位置に2箇所の計3箇所に貼付けた.供試体は2種類 使用し,寸法は繊維方向供試体(A-1~3)が350×40 ×5mm,繊維直角方向供試体(B-1~3)が100×40× 5mmであり,各3体の計6体載荷試験を行った.繊 維方向と繊維直角方向で供試体の寸法が異なるのは 繊維方向の供試体では強度が高いため,先にグリップ 付近ですべりが発生することを防ぐためである.

b)圧縮試験(矩形断面)

矩形断面の圧縮試験の概要図を図-4(左図)に示す. 矩形断面の圧縮試験では、GFRP桁から切り出してき た供試体を加工せず試験を行った.単軸のひずみゲー ジを表側の中央に1箇所と裏側の左右から5mmの位 置2箇所,計3箇所に貼付けた.供試体は繊維方向 (A-1~3)と繊維直角方向(B-1~3)の2種類使用し, 寸法はともに90×40×5mmで,計6体載荷試験を行 った.

c) 圧縮試験(箱型断面)

箱型断面の圧縮試験の概要図を図-4(右図)に示す. 箱型断面の圧縮試験では,想定している GFRP 桁 (100mm×100mm,厚さ5mmの正方形箱型断面)が 矩形断面と比較して圧縮挙動がどのように異なるか を検討した.供試体は高さLが90mm(A-1~3),180mm (B-1~3),270mm(C-1~3)の3種類について各3体 ずつの計9体試験した.ひずみゲージは15~25mm間 隔で,Aでは1面に5枚で計4面に20枚,Bでは1 面に7枚で計4面に28枚,Cでは1面に6枚で計4 面に24枚貼付けた.



d) 箱型供試体の局部載荷試験

局部載荷試験の概要図を図-5 に示す. GFRP 桁の曲 げ載荷試験を行った場合, 載荷位置および支点部にお いてめり込み破壊(支圧破壊)が起こり, 圧縮強度や 引張強度に至らずに桁が耐力を失う可能性が想定さ れたため, 予め箱型断面で, どの程度の支圧力でめり 込み破壊が発生するかを実験的に検討した.

供試体は長さ 200mmの GFRP 桁部材を用い,載荷 範囲を 50mm (A-1~3) と 100mm (B-1~3)の2 種類 として各3体ずつ計6体載荷試験を行った.

(2) 要素実験結果

要素実験結果の応力-ひずみ曲線を図-6~9 に示す. 縦軸は応力,横軸はひずみである.

a)引張試験結果

引張試験より得られた応力-ひずみ曲線の一例を図 -6,7示す.図-6はAタイプ,図-7はBタイプの供 試体である.Aタイプの弾性係数の算出については応 力-ひずみ曲線の比較的直線であった載荷初期の範囲 (500-2500με)を用いた.

表-1,2に引張試験結果の要約を示す.算出した弾 性係数の平均は34,000MPaであり,使用したGFRP のカタログ値は20,000~30,000MPaである.Bタイプ の試験では20MPaまでは弾性的な挙動を示している ため,応力-ひずみ曲線の10~20MPaの範囲から弾性 係数を算出した.その結果,弾性係数は平均で11,000 MPaとなった.カタログ値5,000~7,000MPa(表-3) より大きい値を示しているが,応力-ひずみ曲線の傾



図-7 引張試験ひずみ挙動 B

表-1	引張試験結果	А	

	A-1	A-2	A-3	average
P _{max} (kN)	58.0	69.5	52.2	59.9
f _t (MPa)	284.1	328.7	263.0	291.9
$E_t(MPa)$	35600	33600	33600	34000
	表-2	引張試験結	ī果 B	
	B-1	B-2	B-3	average
P _{max} (kN)	7.74	8.65	8.79	8.39
$f_t(MPa)$	36.3	40.5	41.1	39.3
$E_t(MPa)$	11680	10500	9830	11000

表-3 GFRP の材料特性表

	単位	繊維方向	繊維直角方向
比重		1	.6~2.0
引張強さ	MPa	250~550	20~40
引張弾性係数	GPa	20~30	5~7
曲げ強さ	MPa	250~550	70~130
曲げ弾性係数	GPa	10~25	7~10
圧縮強さ	MPa	200~450	70~130
横剪断強さ	MPa	130~200	40~70
繊維含有率	%	2	15~60

きが不安定であるため, 誤差が大きかったのではない かと考えられる. 本試験では荷重が大幅に低下した時 点で載荷を終了している.

A タイプでは樹脂部の破壊や層間での剥離が発生 したことで大幅に荷重が低下し、その時の荷重が引張 強度となっている.載荷後の供試体から見ても繊維が 破断している様子はなかった. B タイプでは繊維の強 度が働かず、樹脂のみの強度となっているために低い 値となっている.崩壊形状としては、中央ではないが 引張破壊が確認できた.

b)圧縮試験結果(矩形断面)

圧縮試験(矩形断面)から得られた応力-ひずみ曲線の一例を図-8,9 に示す.図-8 は A タイプ,図-9 は B タイプの供試体である.結果の一覧を表-4,5 に示す.

本実験では厚さ 5mm の供試体を直接圧縮したため, 想定としては両端単純支持としているが,実際には端 部で曲げへの抵抗力が存在すると考えたために両端 固定支持の理論値を表-6に載せている.結果としては 単純支持と固定支持の理論値の中間の数値となった. これは,板の端部を切り出した状態のままで載荷した ことが原因であると考えられる.

表-4 圧縮試験結果(矩形断面)A

	A-1	A-2	A-3	average
P _{max} (kN)	40.6	46.3	48.2	45.0
f _c (MPa)	203.0	231.5	241.0	225.2

	表-5	圧縮試	験結果(矩刑	彡断面)	В
		B-1	B-2	B-3	average
P _{max} (kN)		14.2	13.7	13.4	13.8
f _c (MPa)		71.0	68.5	67.0	68.8

表-6 圧縮試験結果(矩形断面)理論値

	繊維方向		繊維直	角方向
境界条件	単純	固定	単純	固定
$P_{cr}(kN)$	17.4	69.6	4.6	18.5
f _{cr} (MPa)	87.0	347.8	23.1	94.2





c) 圧縮試験結果(箱型断面)

圧縮試験(箱型断面)の結果を表-7-9 に示す.崩 壊形状としては箱型供試体の角部分に長さ方向に亀 裂が入ったことにより,面と面の繋がりがなくなって いた.供試体高さが高いほど最大荷重が低くなってい るのは供試体中央のたわみの大きさに起因すると考 えられる.つまり,供試体高さ中央付近の面外変形が 大きくなり,角部分の引張応力が増加した.これによ り,矩形断面の場合より箱型断面の方が,耐力が低下 すると考えられる.

実験値を比較するために,箱型断面の1面を全辺単 純支持とした圧縮板と仮定して算出した理論値を表 -10に示す.理論値に関しては以下の式を用いた.

理論値と比較した場合,実験結果では高さが高くな るほど最大荷重が下がる傾向があるのに対し,理論値 では最大荷重が上がっていることがわかる.これは崩 壊形状の違いが起因していることが考えられる.この ため,箱型断面を使用する場合は面外変形を考慮に入 れて設計していく必要がある.

$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$
(1a)

$$\mathbf{k} = (\frac{m}{\alpha} + \frac{\alpha}{m})^2 \quad \alpha = \frac{L}{b} \tag{1b}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \times b \times t \tag{1c}$$

ここで,	k:座屈係数,
	v:ポアソン比(=0.3),
	E:弾性係数,
	b:供試体幅,
	t:供試体厚,
	L:供試体高,
	m:崩壊形状(=1)である.

表-7 圧縮試驗結果(箱形断面)A

	A-1	A-2	A-3	average	
P _{max} (kN)	395.2	353.5	459.2	402.6	
f _{cb} (MPa)	198.7	181.6	227.9	202.8	
表-	8 圧縮試験	険結果(箱	形断面)I	3	
	B-1	B-2	B-3	average	
P _{max} (kN)	385.6	352.0	240.0	325.9	
f _{cb} (MPa)	194.5	177.6	119.4	163.8	
表-	9 圧縮試験	検結果(箱	形断面)(2	
	C-1	C-2	C-3	average	
P _{max} (kN)	341.8	334.5	352.8	343.0	
f _{cb} (MPa)	179.2	174.5	183.1	179.0	
表-10 圧縮試験結果(箱型断面)理論値					
	L	k	σ_{cr}	P _{cr}	
	(mm)		(MPa)	(kN)	
A	90	4.0	310.8	590.4	
В	180	55	4263	809 9	

9.4

724.2

1376.0

С

270

表-11 局部載荷実験結果						
P _{max} (kN)	1	2	3	average		
А	48.5	42.4	44.2	45.0		
В	86.6	83.4	86.9	85.6		
表-12 CFRP の材料特性						
	単位	高強度		高弾性		
厚さ	mm	1.2		1.2		
幅	mm	50		50		
DY LL H HI		170000		450000		
弾性係数	MPa	170000		450000		

d) 箱型供試体の局部載荷試験結果

局部載荷試験結果を表-11 に示す.崩壊としては載荷位置に用いていた鋼材が GFRP 桁材にめり込む形であった.供試体 A, B で比較した場合,載荷幅が 2 倍になることにより最大荷重も約 2 倍となっており,最大荷重が載荷幅におおよそ比例していることがわかる.これは,支圧強度が単純に支圧部の材料強度に依存していることを示している.

桁として用いる場合にはこの載荷幅(支圧部分の長 さ)を大きくすることは現実的ではなく,桁として用 いるためには支圧部での補強も検討する必要がある.

(3) 要素実験結果まとめ

要素実験により GFRP 材の材料特性や独自の崩壊 形状といったデータを得ることができた.矩形断面と 箱型断面とでは崩壊形状が異なる結果となることが 分かった.また,局部載荷試験によって支圧部の補強 の必要性を確認することができた.

3. 桁実験

(1) 桁実験概要

桁実験では、箱型断面のGFRP桁単体(GFRP単体 桁)、GFRP桁を4層接着剤で積層した桁(GFRP積層 桁)、さらにGFRP積層桁をCFRPで補強した桁(GFRP 積層補強桁)の3種類について実験を行い、比較およ び検討を行った.桁実験では全てアクチュエーターを 用いた4点曲げ載荷試験で試験を行い、ひずみ・荷 重・たわみの計測を行った.なお、積層桁の実験につ いて、横ねじれ座屈は生じないことを確認したため、 特に横補剛などは設けていない.

GFRP の繊維については要素試験同様に長手方向の1方向繊維補強材である.要素実験で行った結果から支圧部の補強として 90mm×90mm×90mmの木材を載荷点と支点の供試体内部に設置した.使用したCFRPの材料特性を表-12に示す.

a) GFRP 単体桁

GFRP 桁の載荷試験では,100mm×100mm,厚さ 5mmの正方形箱型断面で長さL=1600mmの供試体を 3 体使用した.余長を 50mm ずつとったスパン 1500mmとし,等曲げ区間を 500mmとした.

ひずみゲージは上面と下面,側面片側の3面に貼付

表-13 GFRP 桁実験結果						
$P_{max}(kN)$	1	2	3	average		
А	42.9	39.9	39.4	40.8		
В	115.7	117.3	117.3	116.8		
С	168.2	174.5	152.2	165.0		

けた. 計測は等曲げ区間内で行い,中央から左右 300mmの位置の2列とした.上面と下面については 中央に1枚ずつ,側面は高さ方向に20mm間隔で貼付 け,1列に6枚計12箇所のひずみを計測した.たわ みについては桁中央の1箇所のたわみを計測した.

b) GFRP 積層桁

GFRP 積層桁の載荷実験では GFRP 単体桁実験の供 試体を縦方向に 4 層重ねた桁を 3 体使用した.桁の長 さは L=3000mm,載荷は 4 点曲げ載荷で行い,余長を 100mm ずつ取りスパン 2800mm,等曲げ区間を 800mm とした.

桁の積層方法はエポキシ樹脂による接着接合で行った.積層は接着層厚が一定になるように接着面同士 にエポキシ樹脂を十分に塗り,接着した際に空隙がで きないように積層した.積層は1層を合わせ2層にし, その後2層の桁を合わせて4層にした.

ひずみゲージは上面と下面,側面片側の3面に貼付けた.計測は等曲げ区間内で行い,中央と中央から左右300mmの位置の3列とした.上面と下面については中央に1枚ずつと側面片側は上下25mmを取り50mm間隔で貼付け,1列に10枚の計30箇所のひずみを計測した.たわみについては桁中央の1箇所のたわみを計測した.

c) GFRP 積層補強桁

GFRP 積層補強桁の載荷実験では GFRP 積層桁と同 寸法,同条件で試験を行っている.異なる点としては GFRP 積層桁の上面に高強度 CFRP 板,下面に高弾性 CFRP を接着補強していることである. CFRP の寸法 は上面,下面ともに 50×1.2mm の長さ 3000mm を使 用している. CFRP の接着については積層と同様のエ ポキシ樹脂を用いて,接着層厚が一定で空隙ができな いように接着した.

ひずみゲージに関しては GFRP 積層桁と同位置で 上面と下面に関しては CFRP 上に貼付けた.また,せ ん断領域での検討を行うために,載荷点と支点との間 に片側面の1列に4枚貼付け,計34箇所のひずみを 計測した.

また,積層桁の試験から支圧部の負担が大きいと考 えたため、載荷点と支点にそれぞれ幅 100mm の鋼板 を挟んで試験を行った.

(2) 桁実験結果

桁の載荷試験における2点を合計した最大荷重を 表-13にまとめて示す.表中AがGFRP単体桁,Bが GFRP積層桁,CがGFRP積層補強桁の結果である. 引張・圧縮試験の結果から断面内のひずみ分布が直線 であると仮定して算出した曲げ耐力を表-14,15に示 す.





図-10 GFRP 単体桁ひずみ分布図

a) GFRP 単体桁結果

GFRP 単体桁での崩壊形状としては箱型断面の圧 縮試験における崩壊形状と一致しており,供試体の圧 縮側において角部に亀裂が入り上面と側面との繋が りがなくなり崩壊を起こしている.実験における箱型 試験の圧縮強度から GFRP 単体桁の崩壊荷重を算出 した理論値41.0kNと本実験での最大荷重40.8kNを比 較してもほぼ同値となっていたため,曲げ試験におい ても箱型断面の特徴を示すことがわかった.

GFRP単体桁におけるひずみ分布図を図-10に示す. 縦軸に供試体高さ方向, 横軸にひずみをとり分布を示 している. 20kN における桁断面のひずみをとったと き,ほぼ直線的な挙動を示しており,理論値とも近い 直線となっているため、実験としては想定通りの結果 となったと考える.崩壊した時の写真を図-11に示す.

b) GFRP 積層桁結果

GFRP 積層桁では、桁を積層することで桁の最大荷 重の向上が見られた.最大荷重に関しては、あまり大 きなぶれはなく 115~118kN で全て崩壊が発生した. しかし、理論値として 190.6kN と最大荷重を想定して いたが、平均で116.8kNとなった.これは接着層のず れや支圧部へのひび,また桁端部の最下層にひびが入 り支点部の支えが不安定になったことが原因と考え る. 想定していたとおり, 特に横倒れの影響はなかっ たと言える.

GFRP 積層桁のひずみ分布を図-12, 13 に示す. キ ャプションのカッコ内には計測位置を記載してある.



図-11 GFRP 単体桁崩壊図



図-12 GFRP 積層桁ひずみ分布図 (300mm)



載荷途中の比較的安定した挙動を示していた 50kN 時 のひずみの分布を見ると中心では単体桁同様に直線 的な分布が見られており,積層した場合でも高さとひ ずみの関係は一定であると考えられる。図-12(中央か ら 300mm の位置)の高さが 200mm, 箱型の上面に貼 ったひずみのデータが直線分布から外れている.これ は載荷点に用いた丸鋼棒が上面の GFRP を押しつぶ したことで、載荷点付近に貼っている上面のひずみが 本来の値とは異なる挙動を示したのではないかと考 える.

c) GFRP 積層補強結果

GFRP 積層補強桁では、GFRP 積層桁に高強度 CFRP と高弾性 CFRP を貼り付けることで最大荷重の向上 を確認することができた.本実験では荷重 143.6kN に 達したとき ε=2666µε となり高弾性 CFRP が破断する 形での崩壊を想定していたが、実験では 152~175kN まで載荷したが破断は見られなかった. CFRP の強度 を低く見積もっていたために CFRP の破断以前に桁 の圧縮側の一部が崩壊する形で実験が終了した.なお、 表-14、表-15 に示した理論値は GFRP 桁の板要素の破 壊にもとづいた最大荷重値であり、前述の値とは異な っている点に注意が必要である.

これは単体桁と積層補強桁とで等曲げ区間の長さ の違いによって発生したと考えられる. 箱型断面では 曲げ変形の他に箱型の web が外側に膨らむ形での変 形があった.この変形は支圧部で最も大きく変形し, 支圧部から離れるにつれて小さくなる.そのため,単 体桁では等曲げ区間全体で圧縮変形が発生したが,等 曲げ区間が長めの積層補強桁では全体で崩壊せず,支 圧部分付近が崩壊したと考える.崩壊した時の写真を 図-14 に示す.

50kN 時における GFRP 積層補強桁の等曲げ領域の ひずみ分布を図-15, 16 に示す.キャプションのカッ コ内には計測位置を記載してある.図の縦軸は供試体



図-14 GFRP 積層補強桁崩壊図



図-15 GFRP 積層補強桁ひずみ分布図(300mm)

高さ方向, 横軸はひずみをとり分布を示している. 等曲げ領域でのひずみを確認したところ, GFRP 積層桁と同様に直線的な挙動を示していた.

GFRP 積層桁での崩壊形状などの要因を見るために、せん断領域でのひずみの挙動を確認した. せん断領域のひずみ分布を図-17 に示す.

圧縮側,引張側それぞれ2点のみの計測であるが, それぞれの領域では直線的に分布しているように見 受けられる.しかしながら,圧縮側と引張側とが一直 線上にないように見受けられ,また理論値では等曲げ 区間のひずみの半分のひずみが生じているはずであ ることを考慮すると,せん断力による変形が生じてい たものと考えられる.

(3) 桁実験結果考察

桁実験では、GFRP 材を桁にした場合の挙動につい ての確認と CFRP 板を貼り付けたときの補強効果に ついての検討を行った.GFRP 単体桁では GFRP 桁と しての耐力は箱型断面の圧縮試験での強度と一致す る結果となり、崩壊形状も近い形であった.

しかしながら, 積層により荷重が大きくなると支圧 部で崩壊が生じた. GFRP 桁の内側に木材をつめて補 強したが, GFRP が圧潰してしまうために結局 GFRP 桁の web 部分に荷重が集中したためではないかと考 えられる.

ひずみに関しては、単体桁でも積層した場合でも,



図-16 GFRP 積層補強桁ひずみ分布図(中央)



図-17 GFRP 積層補強桁ひずみ分布図 (900mm)

曲げモーメントが卓越している場合には断面内で直 線的な分布をとることが分かった.

4. まとめ

本研究では、歩道橋への適用を目指した CFRP で補 強された GFRP 積層桁の構造特性について実験的に 検討した.要素実験については引張・圧縮試験、局部 載荷試験を行い、使用する GFRP の強度や崩壊形状に ついて把握した.桁実験では、箱型断面の桁単体での GFRP 単体桁、桁を積層した GFRP 積層桁、さらに積 層桁を CFRP で補強した GFRP 積層補強桁で載荷実験 を行った.

得られた主な結論は以下のとおりである.

- (1) 引張試験では繊維方向に関わらず,主に樹脂の強度に依存する形で崩壊することが多く,繊維の破断は見られなかった.強度に関しては繊維方向と繊維直角方向では明らかな差が見られた.
- (2) 圧縮試験では矩形断面では座屈により崩壊した のに対し, 箱型断面では角部での崩壊が見られ, 断面によって崩壊形状が異なることが分かった.
- (3) 局部載荷試験から支圧部での強度が分かり,桁実 験での補強の必要性が確認できた.
- (4) GFRP では単体桁の場合でも積層,積層補強した 場合でも曲げモーメントが卓越している断面のひ ずみ分布を見るとすべて直線分布となることが分 かった.
- (5) GFRP 単体桁の載荷試験では,要素試験で行った 圧縮試験(箱型断面)の強度と一致する形で崩壊 現象が見られた.
- (6) GFRP 積層桁の場合や GFRP 積層補強桁での載荷 試験では予測していた崩壊とは異なる形での崩壊

現象が確認された.

今後これらの崩壊に対する対策を考えさらに桁の 曲げ試験による検討を進めていく必要があると考え られる.また,今回は支圧部の補強として桁の内側に 木材を詰めたが,桁の外側での補強も考える必要があ る.

このように,支圧部での補強が可能となれば,歩道 橋への適用は十分可能であると考え,具体的な GFRP 桁の寸法や設計方法などについて検討していく予定 である.

参考文献

- 1) 土木学会: FRP 橋梁-技術とその展望-, (公社)土 木学会構造工学委員会 FRP 橋梁研究小委員会, 2004.
- 2) 土木学会:FRP 部材の接合および鋼とFRP 接着 接合に関する先端技術,(公社)土木学会 複合構 造委員会,FRP と鋼の接合方法に関する調査研究 小委員会,2013.
- 水貝脩平,前田研一,柳沼謙一:GFRP 桁の重ね 合わせ合成による大断面化と実用性に関する研 究,土木学会第66回年次学術講演会,CS2-038, 2011.
- 4) J.R. Correia, F.A. Branco, N.M.F. Silva, D. Camotim, and N. Silvestre : First-order, buckling and post-buckling behaviour of GFRP pultruded beams Part 1: Experimental study, Computers and Structures Vol. 89, pp. 2052–2064, 2011.
- 5) 山本育美,浅本晋吾,睦好宏史,鈴川研二: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, pp.485-486, 2007.

EXPERIMENTAL STUDY ON STRUCTUAL CHARACTERISTIC OF A GFRP GIRDER REINFORCED WITH CFRP FOR APPLICATION TO EXTENDED SIDEWALK

Masakazu OOMORI, Masahide MATSUMURA, Nobuhiro HISABE and Katsuyoshi NOZAKA

Although application of Fiber Reinforced Plastic (FRP) to bridge construction has been studied, design guidelines have not been officially authorized. Thus, it is necessary to investigate the applicability of FRP materials as construction members in each case. A possibility of adopting a GFRP girder reinforced by CFRP to extended sidewalk for existing bridges has been investigated by authors. In order to investigate the performance and the characteristics of a GFRP girder, four-point bending tests were conducted based on the experimental test results of material tests. Material tests included tensile tests, compression tests for a rectangular and a box section and bearing strength tests of a box section. For bending tests, a GFRP box section, a stuck of four layers of GFRP box section and a stuck of four layers of GFRP box section with reinforcement of CFRP plates on top and bottom faces were selected in order to compare the failure modes against material tests and the strength as a girder member. The strength of the girder with a GFRP box section was able to be estimated based on the results of material tests. However, the failure modes of the girders with a stuck of four layers of GFRP box section both with and without CFRP plate reinforcement were found to be different from that of the girder with a GFRP box section and of material tests, indicating a difficulty on estimating the strength of layered sections based on the material test results.