# 応急橋梁へのCFRPの適用に関する実験的検討

鈴木 洋史<sup>1</sup>・山田 順一<sup>1</sup>・市川 智隆<sup>1</sup> 間山 利勝<sup>1</sup>・浅倉 太一<sup>2</sup>・中田 光洋<sup>2</sup>

1防衛装備庁 陸上装備研究所 (〒252-0206神奈川県相模原市中央区淵野辺 2-9-54)

<sup>2</sup>正会員 防衛装備庁 陸上装備研究所 (〒252-0206 神奈川県相模原市中央区淵野辺 2-9-54) E-mail: nakata.mitsuhiro.tq@cs.atla.mod.go.jp

大規模災害時等に用いられる応急橋梁は、車両への搭載や迅速な架設のために軽量であることが望まれる.防衛装備庁陸上装備研究所では、自衛隊用応急橋梁の高性能化を目指し、応急橋梁への CFRP の適用 に関する研究を実施している.本研究では、CFRP を適用した想定橋梁の概要設計及び強度試験用供試品 の製造を行い、強度特性を取得した.その結果、設計した想定橋梁は想定荷重に対して十分に耐荷できる ことを確認し、従来構造に比べて約 26%の軽量化が達成できることを確認した.

Key Words: Emergency Bridges, CFRP, Scale model, Honeycomb Sandwich Panel

# 1. はじめに

防衛装備庁陸上装備研究所は、有事、大規模災害時等 に自衛隊が使用する応急橋梁についての研究を所掌して いる.現在の自衛隊用応急橋梁は、車両への搭載・運搬 や現地での迅速な架設の必要性から、主要構造部をアル ミニウム合金による溶接組み立て構造(以下「アルミ構 造」という.)とすることを基本としている.こうした 自衛隊用応急橋梁について、搭載車両の多様化や径間長 の延伸などの高性能化を企図すると、従来のアルミ構造 では限られた容積、質量等の制約条件のもとで要求仕様 を満足できない場合が生じると考えられる.そこで陸上 装備研究所では、従来のアルミニウム合金よりも比強度 の高い炭素繊維強化プラスチックス(Cabon Fiber Reiforced Plastics.以下「CFRP」という.)に着目し、自衛 隊用応急橋梁の主要構造部へのCFRPの適用可能性に関 する研究を実施してきた.諸外国においても同様に軍用 応急橋梁の主要構造部へのFRPの適用に向けた研究が行 われている.表-1 に、諸外国における軍用応急橋梁へ のFRP適用研究の事例を示す.本発表では、平成29年 度から令和3年度にかけて実施した「将来軽量橋梁技術 の研究」(以下「本研究」という.)において、CFRP を適用した軽量な自衛隊用応急橋梁の概要設計を実施し、 強度評価を行うための強度試験用縮尺供試体及び主要部 分の部分構造供試体を製造し、載荷試験を行った結果に ついて述べるものである.

名称(年代)	CRPB (2018-)	CAB (2000-)	FRPDB (2012-)			
国名・研究機関	中国陸軍工兵司令部研究所ほか	米国国防高等研究計画局ほか	加国陸軍士官学校			
外観	Holded juit Frankriterier 1997 Rolegenaal Tolorigen					
橋長・質量・耐荷重	24m・4.4t(想定)・約 60tf	12m・6t・約 70tf	9.6m・2t(片側)・約13tf			
適用材料	CFRP,バルサ	CFRP,バルサ	GFRP <sup>※</sup> ,鉄鋼材料			
供試体の概要	1/2.5 縮尺模型及び部分構造模型	実大構造(連結部なし)	実大構造			
CPRB: CFRP Rapid Portable Bridge <sup>1)</sup> , CAB: Composite Army Bridge <sup>2)</sup> , FRPDB: FRP Deloyable Box Beam <sup>3)</sup>						
※GFRP: Glass Fiber Reinforced Plastics ガラス繊維強化プラスチックス						

表-1 諸外国における軍用応急橋梁へのFRP適用研究の事例













に,引張荷重が下部連結金具にそれぞれ作用する.本研 究では,接合部分にとって厳しい負荷となる引張荷重が 作用する下部連結金具部の強度について検討した.

#### c) その他

架設時に地面と接触する導板端部は、接地部として端 部から1000mmの範囲をアルミニウム合金(A7075P)と し、床版、底板及び腹板とはボルト締結とした.また、 架設時に必要となるアルミニウム合金(A7075P)製の 繰り出しレールを設けている.床版上面には、タイヤと の接触を考慮した AFRP(Aramid Fiber Reinforced Plastics) シートを舗装として貼り付けている.

#### 2. 研究の概要

#### (1) 想定橋梁

本研究では、自衛隊の装備する総質量 25t 前後の各種の装輪車(民生の大型トラックを含む.)に搭載可能な橋長 22m,耐荷重約 294kN (30t級車両の通行を想定)の応急橋梁を想定し、橋梁システム全体の概要設計を行った.図-1に想定橋梁の概要設計結果を示す.

## a) 主要断面

想定橋梁の橋梁形式は、既存の自衛隊用応急橋梁の形 式に倣い、通過車両の左右それぞれの踏面を形成する上 路式の4個の導板を連結した構成である.導板の主要断 面は、各種形式から質量、製造コストを比較検討し、 CFRP とアラミドハニカムコアによるハニカムサンドイ ッチパネルをアルミ合金製の結合金具を介して締結した 箱形断面とした.図-2 に想定橋梁の導板部の主要断面 を、図-3 にハニカムサンドイッチパネル間結合金具部 の概要をそれぞれ示す.床版-腹板間の結合金具部では、 特に床版のハニカムコアが厚く、ボルト締結が困難であ ることから、図-3(a)に示すように常温硬化型エポキシ液 状接着剤を使用して接着接合とした.腹板-底板間の結 合金具部は図-3(b)に示すようにボルト締結とした.いず れの結合金具もアルミニウム合金(A7075P)を使用し た.

#### b) 連結部

自衛隊用応急橋梁は、車両に搭載する必要から径間途 中で橋軸方向に主要構造部が分断され、分断部に取り付 けられた連結機構を介して大荷重が伝達される.本研究 では、種々の形式がある自衛隊用応急橋梁に普遍的に適 用可能な連結機構として、合金鋼製の連結金具を CFRP の主要構造部にボルト締結により接合する形式を想定し、 接合部の強度を確認することとした.図-4 に想定橋梁 の連結部の概要を示す.連結部では、車両の通過による 正の曲げモーメントから生じる圧縮荷重が上部連結金具

#### (2) 適用材料

本研究では、CFRP を航空機等の大型構造部材の製造 で実績のあるプリプレグ・オートクレーブ成型法 4によ り製造することとし、部位により2種類のCFRPを使用 した. せん断荷重が支配的となる腹板及び横桁には, 強 度及びコストに優れる東レT700相当炭素繊維の2/2 綾織 クロス材プリプレグを使用した成型材(以下「CFRP A」 という.)を,橋梁の全体曲げ荷重を分担する床版及び 底板には剛性に優れる東レT800相当炭素繊維のUD材プ リプレグを使用した成型材(以下「CFRP B」という.) をそれぞれ選定した. 表-2 に本研究に適用したプリプ レグの概要を示す. 選定した CFRP に対し、材料強度を 取得するために各種の試験規格に基づいた材料試験を実 施した. 材料試験により取得された材料強度に対し, 試 験結果の平均値の 85%又は MIL-B 値 5の小さい方の値を 評定値としたの.表-3に CFRP\_A の材料特性試験結果を, 表-4に CFRP Bの材料特性試験結果をそれぞれ示す.表 -3 及び表-4 に示すせん断ひずみの評定値については、 面内せん断試験の結果又は最大主ひずみ則から引張ひず み評定値の2倍若しくは圧縮ひずみ評定値の2倍の値の うち、最も小さい値としている。弾性係数は別途実施し

た単層板の材料試験結果から得られた弾性係数から,古 典積層理論を用いて算出した値である.表-5 に本研究 に適用した CFRP の強度特性を示す.

ハニカムサンドイッチパネルのアラミドコアは,輪荷 重が負荷される床版には特に大きなせん断力が作用する ことから,せん断強度を高める目的でかさ密度の大きな ハニカムコアを,それ以外の底板,腹板及び横桁には軽 量化を重視したハニカムコアを選定した.また,**表**-5 に示されるように,本研究で使用した CFRP はいずれも 圧縮ひずみが評定値となることから,橋梁の曲げに対し て圧縮を分担する床版の 0°方向炭素繊維の割合を増加 させ,曲げ剛性の向上を寄図した.**表**-6 に主要構造部 の積層構成を示す.

表-2 本研究に適用したプリプレグの概要

	概要	標準弾性率炭素繊維プリプレグ
CFRP_A	繊維	帝人(株) UTS50 22 綾織クロス材
	樹脂	エポキシ樹脂 帝人(株) #135
	概要	高弾性率炭素繊維プリプレグ
CFRP_B	繊維	帝人(株)IMS65 UD材
	樹脂	ベンゾオキサジン樹脂

+++		学校での内護さ	試験結果ひずみ(µst)			弾性係数	評定応力
们们和我被告诉	1	砂沢口の眉伸成	引張	圧縮	せん断	(GPa)	(MPa)
有孔引張の	低温	[±45/(0,90)] <sub>2s</sub>	8 570	-	-		385
有孔圧縮8	高温吸湿	[±45/(0,90)] <sub>2s</sub>	-	6080	-	44.9	229
衝擊後圧縮9	常温常湿	[±45/(0,90)] <sub>2s</sub>	-	4 540	-		204
面内せん断 <sup>10</sup>	常温常湿	[0]20	-	-	32 300	3.62	117
フィルドホール(引張)11)	高温吸湿	[±45/(0,90)] <sub>2s</sub>	7 660	-	-	44.0	344
フィルドホール(圧縮)11)	高温吸湿	[±45/(0,90)] <sub>2s</sub>	-	6500	-	44.9	292
	評定値		7 660	4 540	9 0 8 0	-	-

表-3 CFRP\_Aの材料特性試験結果

表-4	CFRP_B	の材料特性試験結果
-----	--------	-----------

材料試験項目		試験世の屋構成	試験結果ひずみ(µst)			弹性係数	評定応力
		<b>科映</b> 「り」自1再成	引張	圧縮	せん断	(GPa)	(MPa)
有孔引張》	低温	[+45/0/-45/90]2s	8 980	-	-		486
有孔圧縮8	高温吸湿	[+45/0/-45/90]2s	-	4 570	-	54.1	247
衝擊後圧縮9	常温常湿	[+45/0/-45/90] <sub>2s</sub>	-	4 070	-		220
面内せん断 <sup>10)</sup>	常温常湿	[0] <sub>20</sub>	-	-	15 000	6.02	90.4
フィルドホール(引張)11)	高温吸湿	[+45/0/-45/90]3s	7 870	-	-	54.1	426
フィルドホール(圧縮)11)	高温吸湿	[+45/0/-45/90]23	-	6210	-	34.1	336
	評定値		7 870	4070	8 140	-	-

表-5	本研究に適用	した	CFRP	の強度特性
-----	--------	----	------	-------

$\backslash$	単層板					疑似	等方材		
	縦弾性	生係数	*************	ポアン	ソン比	公开出来 155 米4		材料評定値	
	0°方向	90°方向	(CPa)	0°方向	90°方向	和比P甲1生1余安义 (CPa)	引張	圧縮	せん断
	(GPa)	(GPa)		(-)	(-)	(OI a)	(µst)	(µst)	(µst)
CFRP_A	63.3	63.3	3.62	0.038	0.038	44.9	7 660	4 540	9 0 8 0
CFRP_B	138	9.16	6.02	0.33	0.02	54.1	7 870	4070	8 1 4 0

表-6 主要構造部の積層構成 表面板 ハニカムコア 適用部位 材料 板厚(mm) 積層構成 材料 CFRP\_B 床版 6.00 [0/+45/90/-45/0]45 CFRP B [+45/0/-45/90]36 底板 4.56 アラミド 467 [(±45)/(0,90)/(±45)] CFRP\_A 腹板・横桁 備考 ※0°方向縦弾性係数 67.6GPa



図-5 導板模型の概要



図-6 導板模型の外観

## (3) 供試品

想定橋梁の概要設計を踏まえ、導板、連結部及び床版 部の強度特性を取得するための各供試品を製造した.そ れぞれの概要を以下に示す.

#### a) 導板模型

想定橋梁の変形特性を把握するため、1/2 スケールの 縮尺模型を製造した. CFRP の材料強度は成形時の微少 な空隙等の影響を受け、板厚に依存する傾向があること から、CFRP 部の板厚のみを想定橋梁と同じ板厚となる 1/1 として製造した. 図-5 に導板模型の概要を、図-6 に 導板模型の外観をそれぞれ示す.

#### b) 連結部模型

連結部の強度評価のため、実大の強度試験用部分構造 模型を製造した. 図-7 に連結部模型の概要を、図-8 に 連結部模型の外観をそれぞれ示す.連結部模型は、概要 設計を行った下部連結金具とその主要構造部への取り付 け部を模したものであり、底板には5列5行の24本(最 前列のみ4本),腹板には5列4行(最前列のみ3本) の19本のボルトで締結した構造である.ボルトは、 12.7mm径のチタン合金製の市販品である.

## c) 床版部模型

輪荷重による床版のせん断強度及び床版-腹板結合部 の応力分布を評価するため、床版部の実大の部分構造模 型を製造した.図-9に床版部模型の概要を、図-10に床 版部模型の外観をそれぞれ示す.







3. 試験の概要

#### (1) 導板模型の載荷試験

導板模型に対しては輪荷重走行試験機を用いた動的載 荷試験及び構造試験機を用いた静的載荷試験を実施した.

#### a) 試験荷重

前記のとおり、導板模型は 1/2 縮尺としつつ CFRP 板 の板厚のみを 1/1 としている. そのため、想定橋梁と導 板模型では曲げ剛性などが相似ではない. そこで載荷試 験に先立ち、導板模型に負荷すべき荷重を構造解析によ り導出した.板厚を含めた各部の寸法を 1/1 とした構造 解析モデル(以下「実大モデル」という.)と、板厚の み1/1とし、各部の寸法を1/2とした導板模型の構造解析 モデル(以下「導板模型モデル」という.)を作成した. まず、実大モデルに対して構造解析を実施し、耐荷重 294kNに、設計で想定した衝撃係数を加味した荷重を負 荷した際に生じる各部の作用ひずみを取得した.次に、 導板模型モデルに対して構造解析を実施し、実大モデル で得られた作用ひずみと同等の作用ひずみが生じる荷重 を求めたところ, 82.1kN となり, これを 100%荷重と設 定した. ここで前記のとおり CFRP\_A 及び CFRP\_B のい ずれも圧縮ひずみが評定値となることから、曲げにより 圧縮を分担する床版部を比較対象とした. 図-11 に載荷 荷重の導出の概要を示す.

連結部模型及び床版部模型については、実大であることから想定橋梁に耐荷重 294kN が作用した際に各部に実際に作用する荷重をそれぞれ 100%荷重としている.

なお、本研究では、既往研究<sup>12)33</sup>を参考に設計におい て想定橋梁の全体安全率を15と設定しており、載荷試 験時に150%荷重において各部の発生ひずみ(金属部で は発生応力)が材料の評定値を超えないことを確認した.

## b) 動的載荷試験

導板模型に対する衝撃係数を確認するため、輪荷重走 行試験機を用いた動的載荷試験を実施した.表-7 に動 的載荷試験の試験条件を、図-12 に動的載荷試験の試験 概要をそれぞれ示す.衝撃係数への走行速度の依存性を 把握するため、試験機で設定可能な低速及び高速の2水 準の走行速度を設定し、走行速度ごとに 10 往復させた ほか、走行台車を径間中央にて静止させ、衝撃係数を算



	(一社)日本建設機械施工協会
試験機	施工技術総合研究所
	輪荷重走行試験機1号機
おおしままし	軸間距離 1 400mm,
<b>戦</b> 何百里	ダブルタイヤ 11R22.5 16PR
載荷荷重	100%荷重相当
走行速度	中央静止,約2.6km/h,約4.3km/h









出する際の基準となる静的たわみを取得した.

図-13 に動的載荷試験のたわみ・変位線図の一例を, 図-14 に衝撃係数の計測結果をそれぞれ示す.図-14 に 示す衝撃係数は,径間中央でのたわみ(又はひずみ)を 載荷台車を径間中央で静止させた状態で計測した静的た わみ(又はひずみ)で除した値であり,平均値は1.07以 下となった.今回の模型試験により計測された衝撃係数 は,載荷台車の走行速度が低速であることや載荷台車と 実車両との懸架装置の構造などの違いなどから参考値と なるものの,設計時に予測していた値とほぼ等しい結果 となった.

#### c) 静的載荷試験

導板模型の破壊までの強度特性を確認するため,構造試験機を用いた静的載荷試験を実施した.表-8 に静的載荷試験の試験条件を,図-15 に静的載荷試験の試験 概要をそれぞれ示す.試験に使用した試験機の能力の上限から設計荷重の200%までの負荷を行った.

図-16 に静的載荷試験のたわみ線図を示す. 試験の結果, 100%荷重の負荷により径間中央で 103mm のたわみが生じ,最大たわみ/径間長は約 1/110 となった.

図-17に連結部付近床版上下面のひずみ計測値を、図-18 に床版下面の荷重-ひずみ線図をそれぞれ示す.図-17 に示すように、最も厳しい圧縮負荷を受ける径間中央連 結部付近の床版上面ひずみゲージ(U1,U2及びU3)に おいて、200%荷重負荷時に床版を形成するCFRP\_B材の 圧縮評定ひずみ(4070µst)を超えるひずみが生じた. 他方,除荷後にはこれらのひずみゲージに残留ひずみが



残らなかったことから,200%荷重においても床版上面 CFRP 板の破壊は生じていないと考えられる.また,図-18 に示すように,床版下面のひずみゲージ B3 において, 196%時に非線形なひずみの減少が生じている.当該ひ ずみゲージの計測値は,評定ひずみよりもかなり小さな 値であり,除荷後に残留ひずみも計測されなかった.こ のことから,CFRP 板の破壊ではなく,周辺構造の破壊 が生じたものと考えられる.

以上から,設計した導板部は,安全率1.5に相当する



150%荷重までに破壊等は生じず,想定荷重に対して十分に耐荷できることが明らかとなった.

#### (2) 連結部模型の試験結果

連結部に対しては疲労試験及び過負荷試験を実施した.

#### a) 疲労試験

設計した連結部の耐久性を確認するため、構造試験機 を用いた疲労試験を実施した.表-9 に連結部模型の疲 労試験の試験条件を、図-19 に連結部模型の試験概要及 びひずみ計測位置をそれぞれ示す. 試験荷重は、車両 通過時に想定橋梁が単純支持はり状態で車両荷重及び橋 体自重による正の曲げモーメントが作用することで連結 部(1 個あたり)に伝達される荷重を引張側試験荷重

(864kN)とし、架設時に想定橋梁が片持ちはり状態で 橋体自重による負の曲げモーメントが作用することによ り連結部に伝達される荷重を圧縮側試験荷重(-68.4kN) とした.

図-20 にサイクルごとの最大ひずみを,表-10 に疲労 試験前後の最大ひずみの差異をそれぞれ示す.疲労試験 の結果,20000 回の疲労試験サイクル中に各部に生じる 最大ひずみはほぼ一定であり,大きな変化は見られなか ったことから破壊等は生じておらず,設計した連結部に おける連結金具部と CFRP のボルト締結構造において規 定サイクル数を耐荷した.

#### b) 過負荷試験

疲労試験後,連結部の過負荷時の強度特性を確認する ため、構造試験機を用いた過負荷試験を実施した.表-11 に過負荷試験の試験条件を示す.試験概要及びひず み計測位置は疲労試験と同様である.

図-21 に過負荷試験時の荷重-ひずみ関係を示す.図 -21から,200%負荷までの間で各部のひずみは線形に変

表-9 連結部模型の疲労試験の試験条件

試験機	<b>JFE</b> テクノリサーチ(株) 構造試験機
負荷荷重	引張:864kN, 圧縮:-68.4kN
負荷サイクル	1.0 回/sec
負荷回数	20000回



※ひずみゲ--ジブリッジ回路内の結線不良によるもの G11 G21 2 200 (μst) (μst)( F21 D11 F11 D21 戰 1 000 10 000 15 000 20 000 0 5 000 繰り返し負荷回数(回) 図-20 サイクルごとの最大ひずみ

計測位置	1回目ひずみ (µst)	20000回目 ひずみ (µst)	1回目と 20000回目の 差異(%)
D11	1 367	1 353	-1.0
D21	1 238	1 231	-0.5
F11	1 317	1 278	-3.0
F21	2 0 2 3	2005	-0.9
G11	2118	2066	-2.5
G21	2 0 2 0 2 0	2063	+2.1

表-10 疲労試験前後の最大ひずみの差異

表-11 過負荷試験の試験条件

試験機	JFE テクノリサーチ(株) 構造試験機		
負荷荷重	100%(引張 864kN), 150%, 200%		

化し、急激な変化は見られず、除荷後にも残留ひずみは 計測されなかったことから、破壊等は生じていないと判 断できる.疲労試験及び過負荷試験の実施後、供試体の 分解計測を実施した.分解計測の結果、ボルト孔部の拡 大などは観察されなかった.図-22 に分解計測状況を示 す.



図-21 過負荷試験時の荷重-ひずみ関係





(b) 腹板側ボルト孔部(ひずみ計測位置G近傍)
図-22 分解計測状況

以上の試験結果から、CFRPの主要構造部に連結金具 を締結する連結部構造について、安全率 1.5 に相当する 150%荷重に確実に耐荷し、実橋梁を想定した荷重に十 分に耐荷できることを確認した.

#### (3) 床版部模型の試験結果

床版部のハニカムサンドイッチパネルのせん断破壊の状況及び床版-腹板結合金具付近の応力集中の影響を確認するため、アクチュエータによりタイヤ載荷位置相当面積に1輪分の荷重(81kN)を負荷し、破壊が生じるまで荷重を増加させ試験を行った.表-12に床版部模型の試

表-12 床版部模型の疲労試験の試験条件				
試験機	中外テクノス株式会社構造試験機			
負荷面積	タイヤ設置面積相当: 橋軸方向 230mm×幅員方向 420mm			
負荷荷重	100%(81kN)及び破壊まで増加			



図-23 床版部模型の載荷試験概要



験条件を、図-23 に床版部模型の載荷試験概要をそれぞ れ示す.

図-24に床版部模型の荷重-ひずみ関係を示す.図-24 は、床版部模型の幅員方向の断面(図-22のA-A断面.) であり、100%負荷時における床版上下面のCFRP材の幅 員方向のひずみを示したものである.図-24から、床版 上下面のいずれにおいても床版-腹板結合金具端での応 力集中に伴う大きなひずみは見られず、また、載荷治具 周辺のひずみも床版に使用したCFRP\_B材の引張及び圧 縮のいずれの評定ひずみに比べて十分に小さいことが確 認できる.



図-26 床版部模型の破壊状況

次に,想定荷重 100%を超えて荷重を増やした際の試験結果を述べる.図-25 に,床版下面の荷重-変位線図を示す.変位の計測位置は床版下面の中心(図-24 にAI-S として示す位置)であり,鉛直下方向を正に取っている.図-25 から,荷重が 169%(137kN)の時点で変位に急激な変化が生じている.試験時に大きな音が観測されており,破壊が生じたことがわかる.

載荷試験後に供試体の分解計測を行った結果,載荷治 具の外縁近傍となる中心線から幅員方向に 162mm の位 置にハニカムコアの面外せん断破壊が確認された.図-26に床版部模型の破壊状況を示す.

以上の試験結果から、ハニカムサンドイッチパネルを 適用した床版構造において、想定荷重に対して安全率 1.5 を加味した 150%荷重まで確実に耐荷し、設計時に想 定したとおりの破壊モードで破壊が生じることが確認で きた.

## 4. 考察

CFRP を適用した想定橋梁について軽量化の効果を見 積もるため、想定橋梁と同じ耐荷重 294kN、橋長 22mの 主要構造部をアルミ構造(使用材料 A7N01-T6)とした 応急橋梁(以下「比較橋梁」という.)の概要設計を行 い、質量見積もりを行った.図-27 に比較橋梁の概要を、



図-27 比較橋梁の概要

表−13 想定橋梁と比較対象橋梁の質量比
----------------------

	想定橋梁	比較橋梁(ア			
部位	(CFRP 適用)	ルミ構造)の	質量比		
	の質量(kg)	質量(kg)			
主要構造※1	3416	6 5 4 4	-47%		
付加構造※2	1 794	1 042	+72%		
舗装・ボルト**3	412	-	-		
合計	5 622	7 588	-26%		
※1:想定橋梁における CFRP 適用部(床版,底板,腹板及び					
横桁(結合金具含む))					
※2:想定橋梁において金属材料を使用した部位(接地部,連					
結金具、左右連結部及び繰り出しレール)					
※3:アルミ構造では不要な質量					

表-13 に想定橋梁と比較対象橋梁の質量比較をそれぞれ 示す.表-13から、CFRPを適用した想定橋梁では、アル ミ構造に比べて左右連結部の取り付け構造などの付加構 造やアルミ構造では特別な処置の必要のない舗装など質 量が増加する部分もあるものの、主要構造の質量を大幅 に低減出来ていることから、全体として 26%の質量低減 を達成出来る見込みを得た.

#### 5. まとめ

本研究では、自衛隊用応急橋梁への CFRP の適用に向 けて想定橋梁の概要設計を行い、設計の妥当性を検証す るための強度試験用模型を製作し、強度特性を実験的に 検討した.その結果、以下の知見を得た.

・導板模型の動的載荷試験により得られた衝撃係数は 1.07 程度と,設計時に予測していた値とほぼ等しい結果 となった.

・導板模型の静的載荷試験により得られた破壊荷重は, 想定荷重に対して十分に大きく,想定荷重に対して耐荷 できることが確認できた.

・連結部模型の疲労試験により,想定荷重により規定の 疲労回数を満足できた.また,過負荷試験において想定 荷重に対して余裕があり,設計した連結部構造が十分に 成立することが確認できた.

・床版部模型の載荷試験により、装輪車の輪荷重を想定 した荷重に対して、ハニカムサンドイッチパネルを採用 した床版が十分なせん断強度を有することが確認できた. ・質量は従来のアルミ構造と比較して 26%低減できる見 込みを得た.

他方,本研究では縮尺模型での載荷実験にとどまって おり,実大橋梁の製造及び実車両の走行によりさらに実 証を進めていく必要がある.さらに実用化に向けては, 損傷を受けた際の強度保証についての考え方や点検,修 復方法等を確立できることが望まれる.

今後は、車両通過時の床版への異物の咬み込みや飛来 物の衝突などにより主要構造部に損傷を受けた際の耐荷 力等について検討を実施する予定である.

謝辞:本研究の実施にあたり、供試品の設計、製造及び 試験について日本飛行機株式会社の関係各位に御尽力頂 いた.ここに感謝の意を表す.

#### 参考文献

- Jianwu Xiong, Pengcheng Ai, Jin Xu, Jia-Qi Yang, and Peng Feng: A comprehensive study on CFRP rapid portable bridge: Design, experimental investigation and finite element analysis, *Trans. AGU.*, Vol.31, No.2, 1950.
- J.B.Kosmatka: Dynamic beheavior of the composite army bridge (CAB): Field testing: Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EURODYN

2011, 2011.

- Johanna Center Landherr: Dynamic analysys of a FRP Deployable box beam: 2008
- 4) 鵜沢潔:実用化期の複合材料技術と課題,材料 Vol55,No.1,pp131-137,(公社)日本材料学会,2006
- 5) CMH-17 COMPOSITE MATERIAL HANDBOOK, 20XX
- 6) MIL-A 8860 AIRPLANE STRENGTH AND RIGIDITY, GENERAL SPECIFICATION FOR
- SACMA SRM 5R-94 Recommended Method for Open-Hole Tensile Properties of Oriented Fiber-Resin Composites
- SACMA SRM 3R-94 Recommended Method for Open-Hole Compression Properties of Oriented Fiber-Resin Composites
- SACMA SRM 2R-94 Recommended Method for Compression After Impact Properties of Oriented Fiber-Resin Composites
- 10) ASTM D 5379 Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the VNotched Beam Method
- ASTM D 6742 Standard Practice for Filled-Hole Tension and Compression Testing of Polymer Matrix Composite Laminates
- 12) (公社)土木学会:FRP 歩道橋設計・施工指針(案), pp27-41, 2011
- 13) (公社)土木学会:複合構造レポート 11 土木構造用 FRP 部材の設計基礎データ, pp27-35, 2014

(Received August 26, 2022)

# EXPERIMENTAL STUDY ON APPLICATION OF CFRP TO EMERGENCY BRIDGE

# Hiroshi SUZUKI, Junichi YAMADA, Tomotaka ICHIKAWA, Toshikatsu MAYAMA, Taichi ASAKURA and Mitsuhiro NAKATA

It is desirable that emergency bridges used in large-scale disasters are light in weight so that they can be mounted on vehicles and can be erected quickly. The Acquisition, Technology and Logistics Agency is conducting has been undertaking research on the application of CFRP to the emergency bridges for the Self-Defense Forces with the aim of improving the performance of emergency bridges. Through this study, the strength characteristics of the emergency bridges have been acquired by applying CFRP on the outline design of the assumed bridge, and manufacturing the prototype for the strength examination.

As a result, it was is confirmed that the designed assumed bridge can sufficiently withstand the assumed load. In addition, it is affirmed that the weight can be reduced approximately by 26% compared to the conventional aluminum structure.