# FRP による木橋の補修および FRP を接着した集成材接合部の含水率

Rehabilitation of wooden bridge with FRP and moisture content of glulam's joint covered with FRP

○柳川靖夫 \*1 宮武 敦\*2 林 知行\*3 藤田和彦\*4 山本 健\*5 YANAGAWA Yasuo, MIYATAKE Atsushi, HAYASHI Tomoyuki, FUJITA Kazuhiko and YAMAMOTO Ken

- \*1農博 奈良県森林技術センター (〒635-0133 奈良県高市郡高取町吉備1)
- \*2 農修 (独) 森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)
- \*3 農博 (独) 森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)
- \*4 広島県立総合技術研究所林業技術センター (〒728-0013 広島県三次市十日市東 4-6-1)
- \*5 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター (〒739-0046 広島県広島市鏡山 3-13-26)

ABSTRACT We investigated rehabilitation technique for deteriorated members of wooden bridge using fiber reinforced material (FRP). Before the re-construction of Kappa-bashi in Hiroshima prefecture, we repaired partially two of those deteriorated under cord members using FRP and epoxy resin adhesive. We also studied moisture content changes of glulam's joint covered with FRP under outdoor exposure. As the results, iron-pin inserted and FRP covered specimen showed relatively lower moisture contents compared to those of iron-pin inserted and FRP non-covered specimen. Covering for end section of glulams with copper plate lowered its moisture content remarkably. It was suggest that FRP gluing at the joint part of glulam or covering cross section of glulam are effective measures to prevent water immersion into its inner part and inhibit increase of moisture content of glulam for a long term.

Keywards: FRP、補修、ポリビニルアルコール、含水率、集成材 FRP, rehabilitation, poly vinyl alcohol, moisture content, glulam

#### 1. はじめに

(独) 森林総合研究所の運営費交付金プロジェクト (課題番号: 200702) では、広島県内に 1990年に架設され 13 年後に撤去された木造トラス橋(かっぱ橋)の部材を使用し、一連の実験を実施している 1)。その一つとして、昨年広島県総合技術研究所・林業技術センター内にかっぱ橋の残部材を使用した木製トラス橋を再架設した。この実験では、木橋の劣化を抑止する種々の措置や部材の補修を実施して経過を観察している 2)。本報告では同実験の一部として実施した、劣化した下弦材のポリビニルアルコール繊維を使用した繊維強化プラスチック(以下 PVA-FRP とする)による補修作業について報告する。また、著者らは屋外環境下で使用される集成材の接合部含水率の変化を調べるとともに、接合部の含水率増加を抑止する手法の開発を他の運営費交付金プロジェクト中で試みている 3.4)。そこでは、ポリビニルアルコール繊維を使用したシート状材料(以下 PVA-S とする)を集成材の接合部に接着し、接合部における割れや接着はく離の発生を抑止して集成材内部への水浸入を抑止することを試みるとともに、木口面の被覆や集成材上部水平面の被覆が接合部の含水率に及ぼす影響等を検討している。本報ではこれらの結果についても報告する。

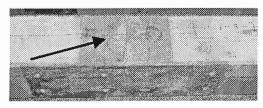
## 2. 実験

#### 2.1 木橋部材の補修

図1に補修を行った下弦材の補修前の状態を示す。 8プライのベイマツ集成材であり幅は220mm、厚さ は 262mm であった。下弦材の上部水平面には多く の割れが発生していたものの、今回は特に水が滞留 しやすいものと推測される、トラス斜材(以下斜材 とする)の取り付き部分の下弦材上部水平面および 両側面を補修した。同部分は下弦材を下から受ける 形式でコの字型の大型接合鋼板が装着されていた箇 所であり、下弦材および斜材それぞれに貫通させた ボルトを接合鋼板に緊結し、2本の斜材が下弦材に 取り付く接合部を構成していた。長期の供用を考慮 した場合、接合鋼板と下弦材側面との間に水分が滞 留し、上面のみならず側面でも劣化が発生する可能 性が考えられたため側面も補修を行った。補修した 下弦材は2本で、下弦材Bの上部水平面は下弦材A よりも劣化が進行していた。なお、補修は以下の手 順により実施した。

- ① 補修部分の表面を約 1,200mm の長さ、約 5mm の深さで電気かんなにより平滑に切削する。
- ② サンダー他により切削した部分を仕上げる。
- ③ 2液型のエポキシ樹脂接着剤を塗布する。
- ④ FRP を補修箇所に堆積する。
- ⑤ 厚さ 30mm、幅 135mm、長さ 600mm のベイマッ材 4 枚を 1 組として当て板とし、FRP の上に隙間無く堆積し、長さ 65mm の木ネジを 100mm 間隔で打ち込んで圧締する。
- ⑥ 圧締24時間後に当て板と木ネジを除去する。
- ⑦ 木ネジを除去した後に生じた穴をシアノアクリレート系接着剤で充填する。
- ⑧ 余分に切削した部分に充填材を塗布し、補修面 を平滑に仕上げる。
- ⑨ 橋を再組み立てした後補修部分に保護塗料を塗布する。

使用した PVA·FRP は、繊維には(株)クラレの T-5516 を、マトリックスにはエポキシ樹脂を使用した幅が 500mm で長さが 1,000mm の 3 プライ平板であった。これを、長さはそのままに幅 250mm に裁断した後、接着面を#120 サンダーで研磨した。なお、PVA·FRP の加工性は良好で、通常のプラスチックカッターで切断でき、孔開け加工等も容易である。FRP と木材との接着には 2 液型のエポキシ樹



(a) 下弦材 A



(b) 下弦材 B

図 1 補修前の下弦材 注:矢印はトラス斜材の取り付き位置。

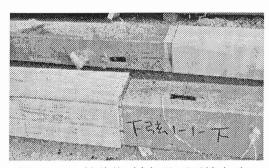


図2 FRP 接着後(奥) 及び圧締中(手前) の下弦材

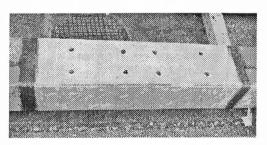


図3 ボルト孔加工及び仕上げ加工後

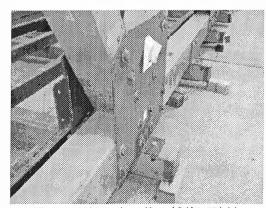


図4 再組み立て後の補修下弦材

脂接着剤 ((株) オーシカ製、TE-9、以下 EP 接着剤とする) を使用した。接着剤は平滑に加工したベイマツ下弦材の補修部分に、不朽部分や割れへの染み込みを考慮して塗布した。

図2にFRPを接着した下弦材および圧締中の下弦材を示す。図3は3面の補修が完了し、ボルト孔を開け表面仕上げを行った後の状態である。表面を仕上げた後にトラス橋を再組み立てし、補修部分には保護塗料を塗布して仕上げた(図4)。また、木口面からの吸水を抑止するため、補修部分に取り付く各斜材の木口面にアスファルトを塗布した。

今回の補修では解体された部材が使用できたため、供用中の劣化した木橋部材の補修方法として考慮した場合、本手法が広く適用できるとは言い難いものの、適用可能な場合も考えられる。一方、新規木橋を対象とした場合には劣化防止措置として適用可能であると考えられる。そのため、実橋における今回の補修方法が屋外環境下でどの程度の耐久性を備えているかを今後調べる必要がある。また、今回の補修方法が集成材の含水率分布に及ぼす影響も、モデル実験等で検討する必要があると考えられる。

# 2.2 屋外における集成材接合部の含水率増加を抑止する試み (屋外曝露試験)

屋外環境下における集成材接合部の含水率分布を明らかにし、含水率の増加を抑止するための 試験を行った。試験体形状を図5に、試験体の構成および試験(曝露)条件を表1に示す。

試験体には幅 105mm、厚さ 300mm、 長さ 660mm のスギ集成材を使用した。 集成材表面における割れや接着はく離の 発生を抑止するため、250mm× 300mm(長さ方向×厚さ方向)の PVA·S を、集成材の両側面、木口面から 50mm 離れた位置に接着した。なお、PVA-Sの 繊維は PVA-FRP に使用した繊維と同一 であり、シートの厚さは約 0.5mm であ った。接着直前にスギ集成材の表面を #120サンダーで研磨した後EP接着剤を 400g/m<sup>2</sup> 塗布して PVA·S を堆積し、当て 板とクランプとを使用して 24 時間圧締 した。解圧後図5に示すとおりボルト挿 入試験体では 13mm 径の孔を、鋼製ピン (以下ピンとする) 挿入試験体では 12mm 径の孔をそれぞれ 12 箇所で開け、 12mm径のボルトもしくは 13mm 径の ピンを挿入した。また、試験体上部水平 面の被覆(以下上面カバーとする)につ いては、①無し、②厚さ 10mm のスギ板 材、および③銅板、の3条件を設定した。 PVA·S を接着した部分から離れた 木口面のみ、シリコン樹脂を使用し てシールした(以下シール木口面と する)。もう一方、すなわち PVA·S を接着した部分に近い木口面(以下 PVA·S 木口面とする) については、 上面カバー無およびスギ板材カバー

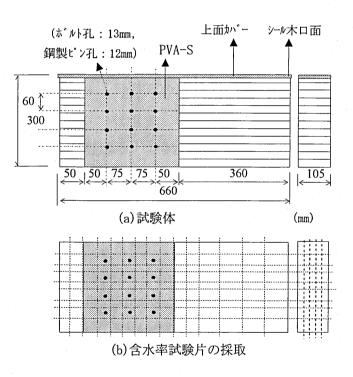


図 5 屋外曝露試験の試験体および含水 率試験片の採取方法

表1 屋外曝露試験の条件

曝露期間	4 ヶ月	6ヶ月	12 ヶ月
上面カバー	無し	10mm 厚スギ板	銅板
PVA-S 近辺の 木口面被覆	無し		6ヶ月間無、残り6ヶ 月間有(銅板で被覆)
接合具	ボルト(M12)または鋼製ピン(φ13mm)		

ではそのままとした。銅板カバーでは曝露開始から 6 ヶ月間はそのままとし、その後に銅板で被覆して引き続き 6 ヶ月間の曝露に供した。なお、すべての試験条件において PVA-Sを接着しない試験体(以下 PVA-S 無とする)も作製して同様に曝露に供した。これら試験体は、アスファルト地面より約 500mm 上に東西方向に並べて設置した。曝露期間は、上面カバー無が 4 ヶ月(6 ~9月)、スギ板材カバーが 6 ヶ月(6 ~11月)、銅板カバーが 12 ヶ月(6 月~翌年 5 月)であった。所定の曝露期間が経過した後各試験体から接合具を除去し、図 5(b)に示すとおり鋸断して各試験片の含水率を絶乾法により測定した。

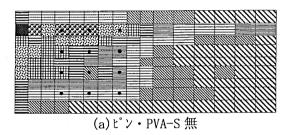
#### 3. 屋外曝露試験の結果

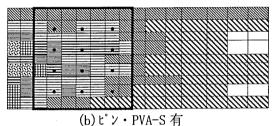
### 3.1 接合具の種類と含水率

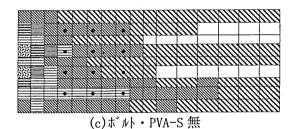
図 6(a)~(d)に、異なる 2 種の接合具を使用した各試験体の曝露後の含水率分布として、上面カバー無の各試験体の結果を示す。なお、幅方向の中央部分から採取した試験片の含水率分布のみを示した。図中、黒枠は集成材表面でPVA·S が接着されていた部分を示す。

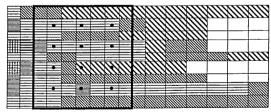
いずれの試験体とも PVA-S 木口面付近は高 い含水率を示し、同木口面から水分が浸入して いることが分かる。(a)の「ピン・PVA-S 無」で は、同木口面付近のみならず上部のピン周辺で も含水率が顕著に増加していた。この部分の集 成材表面を観察すると、ピン孔に沿って木材割 れが発生していた。したがって、PVA-S木口面、 表面割れ、およびピン孔から浸入した水により 含水率が増加したものと推測される。また、同 部分周辺では腐朽が発生した試験片も見られ、 降水後などはより高い含水率であった可能性も 考えられる。一方、(b)の「ピン・PVA-S 有」で は、PVA·S 木口面付近で含水率増加は認められ たもののピン孔周辺における含水率は(a)の「ピ ン・PVA·S 無」より低い値を示した。これは、 PVA·S を表面に接着したため割れが発生せず、 そのため内部に浸入する水が減少したことが原 因と推測される。しかし、PVA-S 有であっても ピン孔付近では25%近い含水率を示した。この 含水率増加は、PVA-S 木口面から浸入した水お よびピン孔から浸入した水が原因と推測される。 ピン孔からの水浸入対策としては、ピン孔表面 をシールする等の措置が考えられる。

ボルトを挿入した試験体の接合具周辺における含水率は、ピンを挿入した試験体と比較するとより低い含水率を示した。PVA-S 木口面周辺での含水率増加は認められたものの、(c)の「ボルト・PVA-S 無」であっても、ボルト周辺での含水率の顕著な増加は認められなかった。この









(d) ボルト・PVA-S 有

含水率区分(%)				
10~12.5		22.5~25		
12.5~15.0		25~30		
15~17.5		30~40		
17.5~20		40~50		
20~22.5		50~		

図 6 屋外曝露試験の結果(1) 接合具と含水率分布(上面かずー無) 注:幅方向中央部分から採取した試験片の みを表示。黒太線枠はPVA-Sの接着位置。

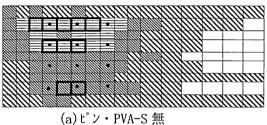
一因として、ボルト孔周辺では表面割れが発生しなかったこと、および座金によりボルト孔が覆われていたため内部に浸入した水がピンを挿入した試験体よりも少なかったこと等が考えられる。(d)の「ボルト・PVA·S 有」での接合具周辺の含水率分布は、(c)の「ボルト・PVA·S 無」よりも相対的に高かった。これは、以下の理由によるものと推測される。すなわち、ボルト孔からは少量の水が内部に浸入したものと考えられ、その量は、PVA·S 無では内部含水率を顕著に増加させる量ではなく、また一部は表面から蒸発したものと考えられる。一方、PVA·S 有では表面が PVA·S で被覆されていたため表面からの蒸発が阻止されていた。これらの水分の収支(浸入量一蒸発量)を考慮した場合、PVA·S 有の方が PVA·S 無よりも大きく、その結果より高い含水率を示したものと推測される。しかし、長さ方向の断面毎に試験片の重量を合計し、各断面での含水率を算出したところ、同一の断面位置における PVA·S 無と PVA·S 有との差はいずれも 1%以下であった。また、PVA·S 有では顕著な含水率増加は発生していないこと、および PVA·S 無では長期間の曝露では表面割れが発生することも予想されこと、等を考慮すると、接合具にボルトを使用した場合であっても、PVA·S の接着は接合部の含水率増加を抑止する手法として有効であると考えられる。

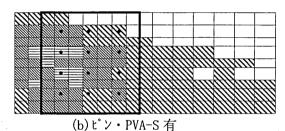
#### 3.2 木口面被覆の効果

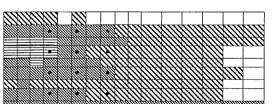
図 7(a)~(d)に、上面カバーに銅板を使用した 各試験体の含水率分布を示す。 PVA·S 木口面 は曝露開始から 6 ヶ月間はそのままとし、その 後 6 ヶ月間は銅板で被覆した。

PVA-S 木口面を被覆しなかった試験体と比 較して、いずれの試験体も同木口面周辺および 接合具周辺でより低い含水率を示した。木口面 被覆の効果が顕著であったのは「ピン・PVA-S 無」の条件であり、被覆しなかった他の試験体 では PVA·S 木口面周辺で顕著な含水率増加が 認められたのに対し、(a)の「ピン・PVA-S 無」 における同木口面周辺での含水率は 20%以下 であった。同試験体では、図に示すとおりピン 周辺の一部において腐朽が発生していたものの、 いずれも同木口面を被覆していなかった期間に 発生したものと推測される。(b)の「ピン・PVA-S 有」の接合具周辺における含水率は(a)の「ピ ン・PVA-S 無」よりも低く、3.1 の上面カバー 無の試験体で得られた結果と同様に PVA-S を 接着した効果が認められた。また、「ピン・PVA-S 有」では腐朽は発生していなかった。

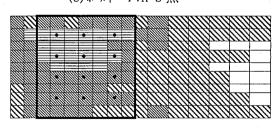
接合具にボルトを使用した試験体の結果は、PVA-S 木口面周辺での含水率が低かったことを除き 3.1 で得られた結果とほぼ同じであり、接合具周辺での含水率は、PVA-S 無<PVA-S 有、であった。この理由は 3.1 で記したとおり、水分の収支(浸入量一蒸発量)を比較すると、「ボルト・PVA-S 無」の方が「ボルト・PVA-S 有」より小さかったためと推測される。







(c) ボルト・PVA-S 無



(d) ボルト・PVA-S 有

図7 屋外曝露試験の結果(2) 木口面被覆が含水率に及ぼす影響 (上面銅板カバー試験体) 注:含水率区分その他は図6を参照。(a) の黒枠は腐朽が発生した試験片を示す。

#### 3.3 上面カバーの効果

図 8(a)~(f)に、上面カバーの有無もしくは上面カバーの種類と含水率との関係を示す。なお、図はすべてピンを挿入した試験体の結果であり、また、最上部の水平面から採取した試験片の結果のみを示した。

上面カバー無での曝露期間は4ヶ月と短かったため、上部水平面に顕著な割れは発生しなかっ た。そのため、(a)の「上面カバー無・PVA·S 無」の PVA·S 木口面周辺の一部で高い含水率を示 したのを除き、その他では含水率は増加していなかった。これに対しスギ板材カバーでは、PVA-S の有無にかかわらず同一部位で比較すると、上面カバー無よりも高い含水率を示す傾向が認めら れ、この傾向は木口面からの吸水の影響を受けないシール木口面周辺でも認められた。これは、 試験体の表面における水分収支の差に基づくものと推測される。すなわち、スギ板材カバーの試 験体では上部水平面から蒸発する水分量が減少したこと、スギ板材との間に水が滞留して試験体 内部に浸入する水分量が増加したこと、あるいはこれら両者の作用により、上面カバー無より含 水率が高くなったものと推測される。この現象は(e)「スギ板材カバー・PVA-S 有」の接合具周辺 でより明確であった。これの一因として曝露期間の相異が挙げられる。すなわち、「スギ板材カバ ー・PVA·S 有」では、曝露期間が(d)の「上面カバー無・PVA·S 有」よりも長かったため内部に 浸入した水も増加したことが考えられる。しかし、PVA·S 木口面から浸入した水分の影響を除外 して考慮した場合、すなわちシール木口面に近い部分の含水率を(b)および(e)の間で比較すると差 は認められない。また、スギ板材カバーにより集成材の上部水平面における割れの発生を抑止す る効果も考えられるため、木口面等からの水浸入を抑止するならば、スギ板材カバーと PVA-S 接着との組合せは、内部含水率の増加抑止に有効であると考えられる。

一方、銅板を使用した試験体では木口面被覆の効果ともあいまって、上部水平面の含水率最大値は(c)の PVA·S 無で 15.4%、(f)の PVA·S 有で 14.6%と相対的に低い値を示し、また PVA·S 有の方が PVA·S 無よりも低い含水率を示した部分が多かった。含水率を測定した時期が異なるものの、銅板カバーでは試験体の上部水平面との間に空隙が存在したことや、あるいは銅板が熱せられることにより上部水平面の材温が上昇して木材から蒸発する水が多くなったこと等の理由により、相対的に低い含水率を示したものと考えられる。

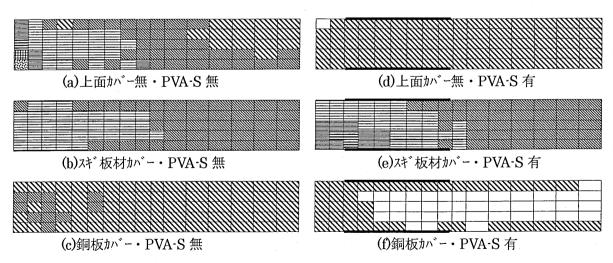


図8 屋外曝露試験の結果(3)上面カバーの効果(ピン挿入試験体のみ) 注:上部水平面の試験片のみを表示。含水率の区分は図6を参照。(d)~(f)の太線はPVA-Sを接着した位置。

### 4. まとめ

ポリビニルアルコール繊維を使用した FRP を表面に接着し、屋外環境下で使用される木橋部材

の劣化部分の補修を試み、また FRP の接着や上面カバー、あるいは木口面被覆により部材端部の接合部の含水率増加を抑止することを試みた。その結果、木口面被覆は含水率の増加を抑止する有効な対策であり、また、例え腐朽が発生する含水率状態にある部材端部の接合部であっても、木口面を被覆することにより顕著に含水率が低下することが判明した。木口面の被覆のみならず、FRP の接合部への接着および部材上面カバー等の措置を適宜組み合わせることにより、長期にわたり部材接合部の含水率を増加させることなく、一定値以下に保つことができる可能性が示唆された。

## 参考文献

- 1) 軽部正彦, 新藤健太, 青木謙治, 加藤英雄, 原田真樹, 林 知行, 藤田和彦, 山本 健, 原田 浩司: 再組立した既存木造トラス橋の載荷破壊試験(その1)全体概要と予備試験、第59 回日本 木材学会大会研究発表要旨集, pp. 45, 2009.
- 2) 軽部正彦, 林 知行, 加藤英雄, 宮武敦史, 藤田和彦, 山本 健, 柳川靖夫: 再組立した既存 木造トラス橋の載荷破壊試験(その6)再編組立架設と屋根・カバーの設置、第59 回日本木材学 会大会研究発表要旨集, pp. 127, 2009.
- 3) 柳川靖夫, 川井秀一, 林 知行:ポリビニルアルコール繊維シートによる木質材料接合部の保護技術の開発(1)、日本接着学会誌、44(8), pp. 288-298, 2008.
- 4) 地域材利用促進のための非住宅用部材への新用途開発、森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集18,2007.