

炭素繊維で補強したカラマツ集成材の耐荷力試験

Strength tests of glulam beams reinforced by CFRP

○平沢 秀之* 三河友人** 及川昭夫*** 小林朗****

HIRASAWA Hideyuki, MIKAWA Tomohito, OIKAWA Akio and KOBAYASHI Akira

*博(工学) 函館工業高等専門学校 (〒042-8501 函館市戸倉町14-1)

**準学士 秋田大学工学資源学部 (〒010-8502 秋田市手形学園町1-1)

***北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

****工修 日鉄コンポジット(株) (〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-8)

ABSTRACT The effects of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) on glued laminated timber bridges are investigated in this study. Glulam beams without reinforcement can be applied to comparatively short span bridges, however, the span length can be expected to be longer if it is reinforced by CFRP. In this study, eight glulam beams with different reinforcing types were tested. Two kinds of CFRP are used in the tests, one is a sheet type, and the other is a plate type. As a result of tests, failure loads of reinforced beams were about 1.5 times the beams without CFRP. The CFRP reinforcement can improve the load carrying capacity of glulam beams effectively.

Keywords: 炭素繊維、集成材、補強、耐荷力

CFRP, glulam beam, reinforcement, load carrying capacity

1. まえがき

木材を薄い挽き板に加工し、接着剤を使って積層した集成材を主要材料とする木橋が近年多数架けられるようになってきた。集成材は強度のばらつきが少なく、大断面部材も製作可能であるため、構造材料として非常に優れている。集成材に関する規格は、日本農林規格(JAS)により強度等級が規定されており¹⁾、ラミナの配置による断面構成から、所定の強度を有する部材を製作することができる。このような集成材を使用して歩道橋ばかりでなく、大規模な車道橋も建設されている。橋梁に木材を利用することは、環境負荷の低減を考えた場合においても、資源の循環活用や温暖化防止効果の面で有効と言える²⁾。

集成材は構造材として使用することに適しているが、補強を行って強度を更に向上させれば、木橋への適用性がより高まると考えられる。鋼橋やコンクリート橋の分野では、アラミド繊維や炭素繊維が既設橋の補修材として、あるいは耐震補強材として使用する研究³⁾が見られる。炭素繊維は引張強度が非常に高い(鋼材の約5~8倍)材料である。木材に対してもこれらの材料を用いた補強事例が見られ⁴⁾、耐荷力実験も実施されている。著者ら⁵⁾による耐荷力実験では、プレート状に硬化させた炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が補強材として用いられ、集成材の下面に設けられたスリットにプレートを挿入接着させた補強方法が効果的であるとする結果を得ている。

本研究はCFRP補強としてプレートに加えてシートを使用することとし、集成材の耐荷力を検討するものである。炭素繊維プレートの挿入接着による補強法が効果的であることを踏まえ、炭素繊維シートとプレートを併用する補強法を用いた実験供試体を作製し、耐荷力実験を実施する。実験用集成材桁として、強度等級がE95-F270クラス、樹種は北海道内産のカラマツを使用した全8体の供試体を作製し、載荷試験を実施した。

2. 試験体概要

2.1 炭素繊維シート及び炭素繊維プレート

炭素繊維は先端複合材料の一つであり、ヤング係数と引張強度が非常に高い材料である。また、耐候性、耐腐食性に優れ、疲労による劣化が少なく、温度膨張がほとんど無い等の性質を有する。炭素繊維シートは繊維を敷き詰めて布状にしたものである。炭素繊維プレートはシート複数枚分に相当する炭素繊維を樹脂で硬化させ、板状にしたものである。写真-1は炭素繊維シートとプレートの概要を表している。本研究で用いる炭素繊維シートは、幅120[mm]、厚さ約0.1[mm]の寸法を有し、炭素繊維プレートは幅25[mm]、厚さ1[mm]の寸法である。表-1はこれらの材料定数(ヤング係数 E と引張強度 σ_f)を表している。

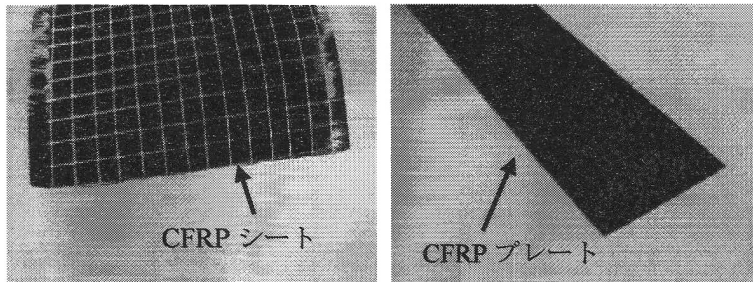


写真-1 炭素繊維シートとプレート

表-1 材料定数

	E [N/mm ²]	σ_f [N/mm ²]
CFRPシート	264000	4076
CFRPプレート	159796	3218
集成材	9310	27

2.2 集成材

本実験で用いる集成材は、積層数を8層とし、異等級構成で強度等級をE95-F270とするカラマツ集成材である。表-1に材料定数を示す。図-1は集成材の寸法と載荷方法を表している。荷重は2点載荷とし、載荷点と支点部で集成材にめり込みが生じないように鋼板が敷かれている。

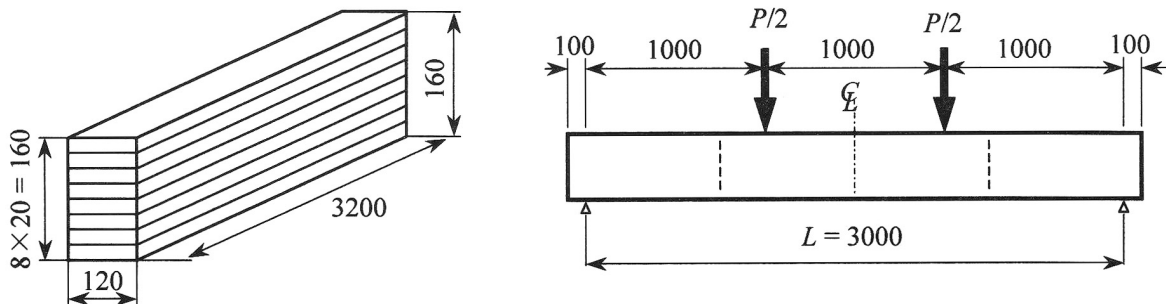


図-1 載荷実験用集成材桁

2.3 炭素繊維で補強した集成材桁断面

図-2に示すように、補強無し供試体と炭素繊維シート及び炭素繊維プレートで補強した供試体を、それぞれA, B2体ずつ作製した。Type-2は桁の下面にシートを接着したものである。Type-3は桁の下面に深さ25[mm]の溝を入れ、炭素繊維プレートを挿入接着させる方法と、最下層のラミナを3本に切り離し、炭素繊維プレートを挟んで接着してから万力で締め付けて一体化する方法の2通りの方法を用いて作製した。溝にプレートを挿入接着させた場合は、充填した接着剤が溝からあふれ出すことで接着剤が十分行き渡ったと判断した。Type-4は、Type-2と3を併用した供試体である。なお、炭素繊維と集成材の接着にはエポキシ樹脂を使用した。

表-2は各ラミナのヤング係数と炭素繊維のヤング係数を考慮し、合成断面として算出した、桁断面の断面2次モーメントである。Type-1Aでは $I = 5.030 \times 10^7$ [mm⁴]であるが、ラミナ毎のヤング係数を考慮しないで断面寸法のみから算出した断面2次モーメントは $I = 4.096 \times 10^7$ [mm⁴]となる。表-2より炭素繊維で補強しても必ずしも断面2次モーメントが大きくなること分る。

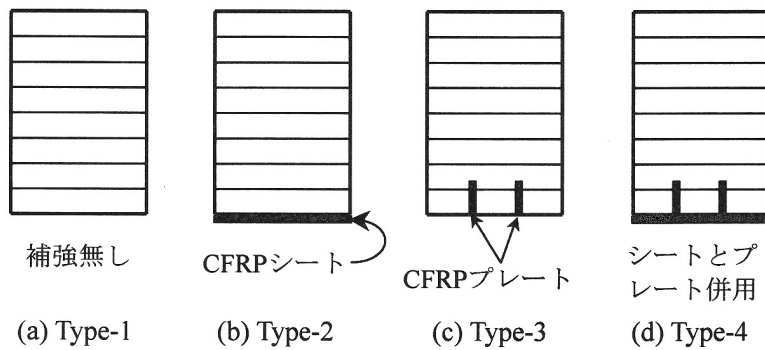


図-2 炭素繊維による補強

表-2 断面2次モーメント

	I [mm ⁴]
Type-1A	5.030×10^7
Type-1B	4.817×10^7
Type-2A	4.781×10^7
Type-2B	5.050×10^7
Type-3A	4.927×10^7
Type-3B	5.284×10^7
Type-4A	5.156×10^7
Type-4B	5.270×10^7

3. 荷重載荷実験

3.1 無補強集成材

写真-2はType-1Aの支間中央付近の破壊状況を表している。図中のひび割れAは、桁の下面から進展した曲げ引張破断である。このひび割れは繊維方向に沿ったせん断ひび割れCに繋がっている。B点は節である。節は強度的に弱点となるため、Aのひび割れがBへと進展している。節へ到達したひび割れは、ラミナの接着層に沿ったひび割れDに進展している。



写真-2 破壊状況 (Type-1A)

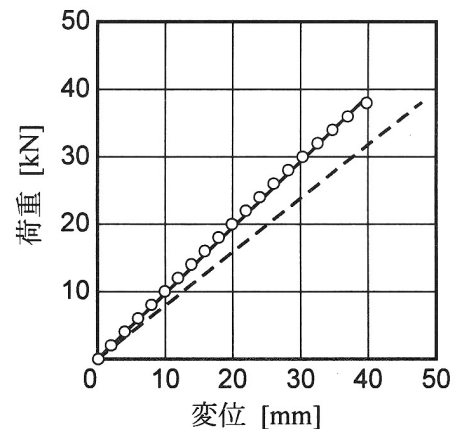


図-3 荷重変位曲線(Type-1A)

図-3は鉛直荷重と支間中央における変位の関係を表している。実線はラミナ毎のヤング係数の違いを考慮して算出した断面2次モーメント($I = 5.030 \times 10^7$ [mm⁴])を用いて計算した結果であり、点線はラミナ毎のヤング係数の違いを考慮しない断面2次モーメント($I = 4.096 \times 10^7$ [mm⁴])を用いて計算した結果である。また、白丸は実験値である。実験値は断面2次モーメントを厳密に求めた解析値に非常に良く一致している。破壊荷重は39.8[kN]であり、非弾性域がほとんど見られず脆性的な破壊であった。Type-1Bについても同様な脆性的破壊が生じた。Type-1AとType-1Bの破壊荷重の平均値は37.0[kN]であった。

3.2 CFRP補強した集成材

Type-2は炭素繊維シートのみによる補強であり、施工が容易である。集成材桁の中立軸から最も離れた引張縁に接着し、ラミナの曲げ引張破断を抵抗することを目的としている。写真-3はType-2Aの供試体で、破壊後に下面側から観察した状況を表している。最下層のラミナは曲げ引張により破断しており、その付近の炭素繊維も部分的に破断している。また、一部の炭素繊維は集成材から剥がれている。しかし剥がれた境界面は接着層ではなく、木材の内部または炭素繊維の内部から剥がれていることが観察できた。このことから炭素繊維と木材の接着は十分であったと考えられる。Type-2の平均破壊荷重は51.0[kN]であった。

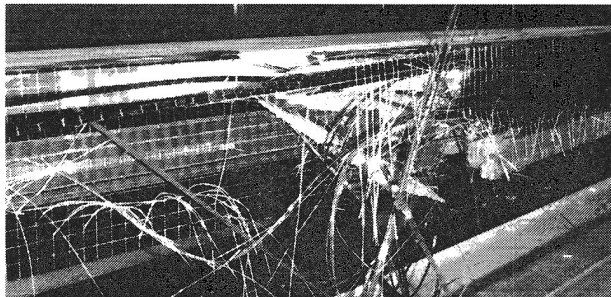


写真-3 破壊状況 (Type-2A)



写真-4 破壊状況 (Type-3B)

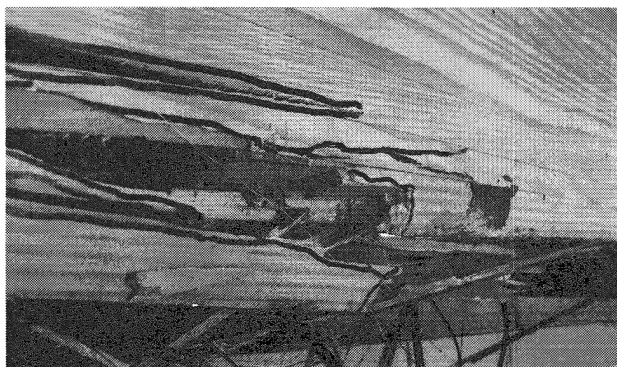


写真-5 破壊状況 (Type-4B)

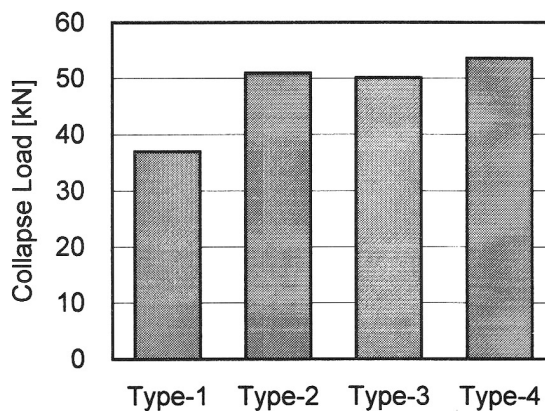


図-4 破壊荷重の比較

写真-4はType-3Bの破壊状況を下面側から観察したものである。最下層ラミナの引張破断が認められる。炭素繊維プレートは、一方の支点から支間中央付近にかけて接着面で滑りを起こしている。しかし、Type-2のような繊維の破断は生じていない。Type-3の平均破壊荷重は50.1[kN]であった。Type-4に関しては、破壊荷重が最大の53.6[kN]となり、写真-5のような破壊状況が得られた。最下層ラミナにおいて引張破断が生じ、そこから繊維方向に沿ってせん断ひび割れが走っている様子が観察できる。Type-4においてもプレートの接着面に滑りが生じている。破壊荷重の実験結果をまとめると図-4のようになり、Type-4が最も耐荷力に優れているが、Type-2,3との差はそれほど大きくない。

6. あとがき

集成材の木橋への適用性を高めることを目的として、先端複合材料である炭素繊維を補強材として使用し、耐荷力実験を実施した。その結果、炭素繊維シートとプレートを併用した補強集成材が最大の耐荷力を示した。しかしながら、炭素繊維シートのみ、またはプレートのための補強も有効であり、特に炭素繊維シートのための補強法は施工が容易であるため、効果的な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 構造用集成材の日本農林規格：平成15年2月27日農林水産省告示第235号。
- 2) 有馬孝礼：なぜ、いま木材か、木橋か，土木学会平成16年度全国大会研究討論会研-7資料，pp.2-6，2004。
- 3) 池田憲二，岸徳光，小室雅人，三上浩：基部加振を受けるAFRPシート補強鋼管橋脚模型の弾塑性応答性状，構造工学論文集，Vol.48A，pp.67-76，2002。
- 4) 大町俊，小林辰美：千樹橋～新素材を使用した木造橋～(設計)，橋梁，pp.56-59，1997. 5。
- 5) 平沢秀之，及川昭夫，小林朗，入江康孝：炭素繊維プレートによる集成材の性能向上と橋梁への適用について，第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp. 155-160，2004。