

## 木橋における集成材ボルト接合部の繰り返し挙動に関する実験的検討

### Ultimate behavior of bolt joints for glulam bridges under cyclic load

○渡辺 浩\* 飯村 豊\*\* 樋口 友三\*\*\* 山田 朗央\*\*\*\*

WATANABE Hiroshi, IIMURA Yutaka, HIGUCHI Yuzo and YAMADA Akio

\*博(工) 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

\*\*博(農) 宮崎県木材利用技術センター (〒885-0037 都城市花繰町 21-2)

\*\*\*宮崎ウッドテクノ(株) (〒883-0105 宮崎県東臼杵郡東郷町大字山陰字桑木田 914-1)

\*\*\*\*修(工) (株)横河ブリッジ (〒273-0026 船橋市山野町 27)

**ABSTRACT** A lot of modern timber bridges are made of glulam and have a joint system with steel plate and bolts. Some of them have characteristic joints that glue is filled into the clearance between bolt and bolt hole in order to prevent its backlash.

These joint systems were tested under the cyclic load. They were designed in the same standard as bridges. Through this study, it became clear that unfilled joint system may lead to the break of bolt under the cyclic design load, and filled joint system behaves stable under the excessive cyclic load.

**Keywords** : 集成材、接合部、繰り返し载荷、疲労  
*glulam, joint, cyclic load, fatigue*

### 1 はじめに

近年多く見られるようになった木橋では、写真-1の例のように主構造材に集成材が用いられているものが多い。集成材は丸太を一旦挽き板にしてから積層して再構成された木質材料であるため、元の丸太以上の断面を持つ部材を自由に作り出すことができることが利点のひとつである。このため、これらの木橋では旧来の木橋と比較して大断面化と少部材化がなされており、外観上の特徴にもなっている。

ところで、大断面化や少部材化されれば個々の部材接合部に作用する荷重は大きくなり、接合部も大型化する。このためこれらの接合部では写真-2のようにボルト接合された鋼板を介して接合される例が大半である。ただしこの接合法ではボルトのネジ山の保護等のためボルト孔がボルト径よりも大きくされることが多いため、初期すべりやがたつき、めり込みが発生する可能性がある。この対策としてボルト孔の隙間に樹脂が充填されることがある。写真-2の例でもこの処理が施されており、初期すべりやがたつき、めり込みの防止のみならず、接合剛性や耐力の上昇等の期待もできる。しかしながら、これらの挙動が実大材レベルで検証された例はない。

そこで本研究では、写真-1の木橋と同様に設計された添え板タイプの接合材とスギ集成材とのボルト接合部を対象として、繰り返し载荷試験を実施してその終局耐力や挙動を調べるとともに、ボルト孔の隙間に樹脂を充填した試験体についても同様な試験を実施して挙動の変化を調べた<sup>1)</sup>。



写真-1 かりこぼうず大橋

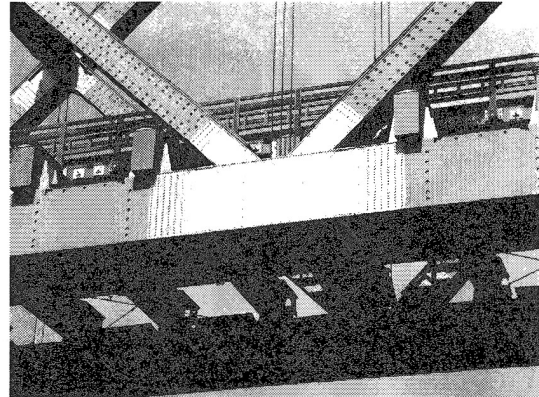


写真-2 大断面集成材の接合部

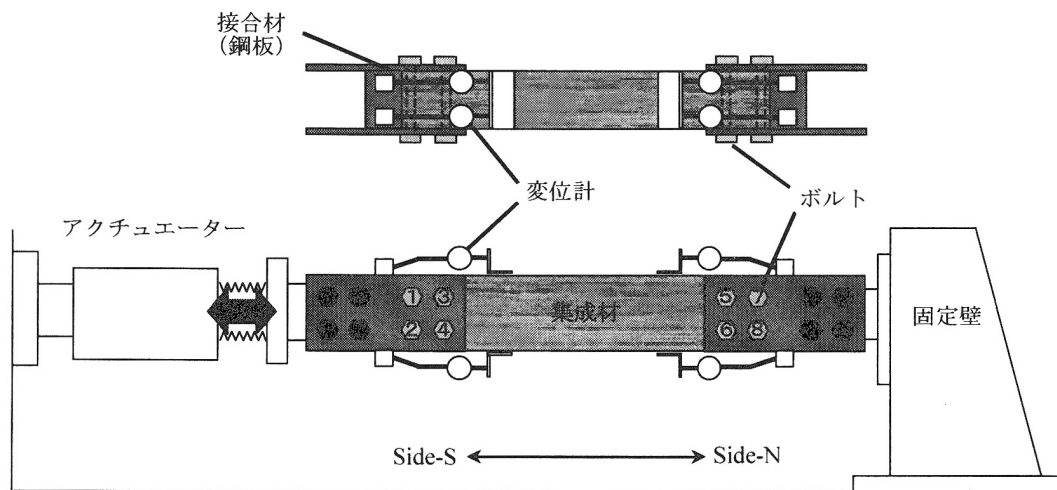


図-1 試験装置と試験体

## 2 試験体と載荷試験の概要

### 2.1 試験体

図-1 のような鋼板添板タイプの試験体を製作した。集成材は E65-F225 のスギであり、断面は幅が 210mm、高さが 300mm である。全長は 2000mm で両端に同一の諸元の接合部を有している。ボルトは M24 の SS400 相当の中ボルトが 4 本、鋼板は SS400 材である。ボルトの径は 24mm であるのに対し、集成材、鋼板ともにボルト孔は 26mm となっている。

試験体数は樹脂非充填 (N) モデルと樹脂充填 (F) モデルが 3 体ずつである。これらはいずれも同一の寸法を有しており、木質構造設計基準・同解説<sup>2)</sup>に基づき設計されている。樹脂充填モデルについては、樹脂非充填モデルと同様に製作してからボルト孔とボルト、木部材と接合材との隙間にエポキシ樹脂が注入されている。

### 2.2 載荷方法と測定

実験では、図-1 および写真-3 に示すように試験体の片方を固定壁に、もう片方を最大能力 500kN のアクチュエータに締着し、荷重制御により軸方向荷重を与えた。荷重は図-2 のような正負同一

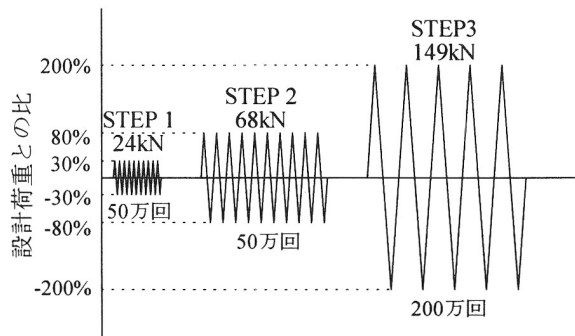


図-2 載荷荷重と回数

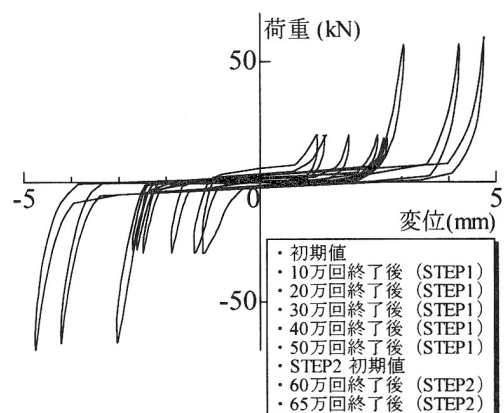


図-3 非充填モデルの荷重－変位関係の例 (N-2)

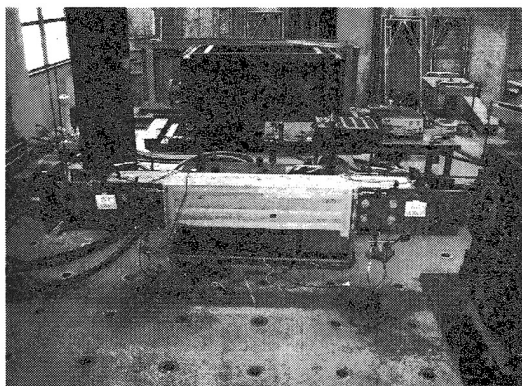


写真-3 載荷試験の様子

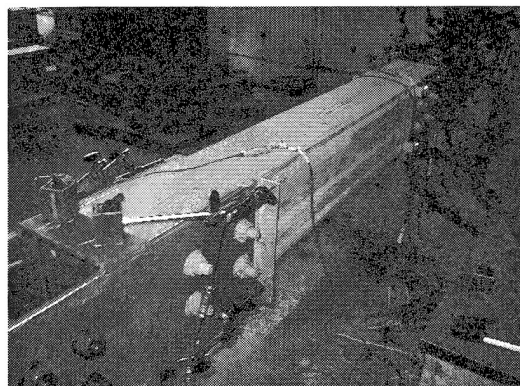


写真-4 変位の測定

振幅繰り返し荷重とし、まず常時作用する程度である 24kN を 50 万回、続けて設計上作用するほぼ最大の荷重程度である 68kN を 50 万回載荷し、さらに建築物の短期許容耐力相当である 149kN を 200 万回まで与えて終局挙動を確認した。なお樹脂の充填は一般に設計耐力には考慮されないため、これらは樹脂充填モデルについても同じである。

STEP1 と STEP2 で載荷した 50 万回は 1 日あたりの大型車両通行台数を 50 台想定すると約 27 年に相当する。ただし実際の構造物では自重等により初期軸力が存在するため、このような正負繰り返し荷重が作用することは稀である。

実験では写真-1 の橋の例を参考に周波数 2.3Hz で繰り返し力を与えた。10 万回毎に繰り返し試験を停止し、毎秒 0.1mm 程度の速度で静的繰り返し試験を行い、写真-4 のように接合材と木部材との相対変位を測定した。なお、荷重が最大となる STEP3 においても接合材や木部材の伸縮は微小である。

### 3 載荷試験の結果とその検討

#### 3.1 非充填 (N) モデル

##### (1) 荷重－変位関係

図-3 は N-2 の荷重と変位の関係、また図-4 は各モデルの載荷回数と変位の関係を示している。なお、本文では載荷回数は STEP1 からの総計で示すことにする。載荷回数の増加により変位が

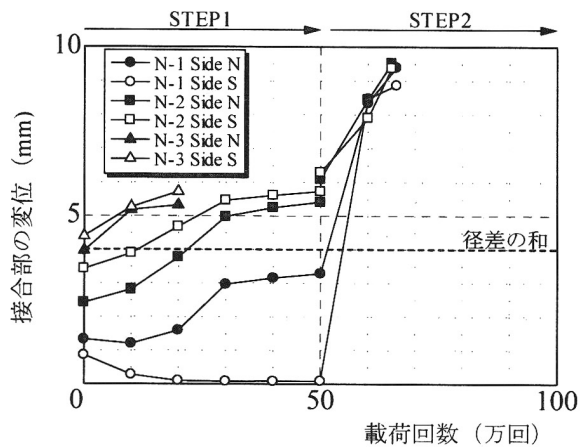


図-4 非充填モデルの載荷回数と変位

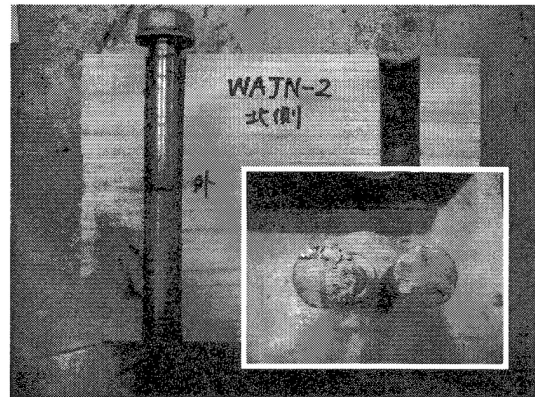


写真-5 破断したボルト (N-2)

徐々に大きくなっていることがわかる。ここで、集成材と接合材の径差の和は 4mm であり、当初から最大で 4mm のがたつきが生じる可能性がある。

N-1 はボルトをインパクトレンチにより締めつけたもので、N-2 はボルトを手で軽く締めたものである。STEP1 では、N-1 においてボルトの締め付けによる接合材と集成材との間の摩擦力により相対変位が小さくなっているが、STEP2 では両者の差はなくなっている。

N-2 では STEP1 の相対変位の増加が比較的大きいのは 30 万回程度までである。これはある程度めり込むと壁面が締め固められることによりめり込み剛性が大きくなるためと考えられる。このことから STEP1 をさらに載荷しても変位はほとんど増加しないと考えることができる。

初期の変位が 4mm より小さいのは、ボルトが 4 本であることと、径差が載荷方向と直交する方向にも存在するため、上下方向の変位も加わりスムーズな水平方向変位が制限されているためと考えられる。以上のことから、N-2 では STEP1 終了後に 2mm 程度のめり込みが生じていたものと考えられる。

STEP2 では荷重の増加に合わせて変位が急に増加し、N-1 は約 66 万回、N-2 では約 65 万回でボルトが破断したために試験を終了した。ボルトが破断したのは、N-1 では Side S の 1 本、N-2 では Side N の 2 本と Side S の 1 本であった。写真-5 は破断したボルトの様子である。ボルトの破断面に中立軸が明瞭に表れていることや、モーメントが最大となる中央部で破断していることから、これらのボルトは曲げ疲労により破断したものと考えられる。

## (2) ボルト孔の変化

図-5 は集成材のボルト孔部分を写真-5 のように切断して測定したボルト孔の径の幅員方向の分布である。また図-6 は STEP1 の 20 万回が終了した時点で実験を中止した N-3 のボルト孔の径を同様に測定したものである。いずれの図においても縁部ほどボルト孔が広がっていることから、ボルトは曲げ変形していたものと考えられる。ここでボルトの降伏応力を  $235\text{N/mm}^2$  とし、ボルトに作用する面圧が長さ方向で一定であると仮定すると、降伏荷重は 49kN で、そのときの中央部のたわみは 0.44mm となる。すなわち N-2 では STEP2 の 68kN によりボルトが曲げ降伏し、結果として端部のボルト孔の広がりが助長されたものと考えられることができる。

## (3) まとめ

以上のように、STEP1 では相対変位の多少の変位の増加は見られるもののいずれも破壊には至らないことがわかった。しかし STEP2 では許容耐力以下であるもののボルトに疲労が原因と考えられる破断が発生した。このような荷重が実構造物で作用することは稀であるが、繰り返し荷重

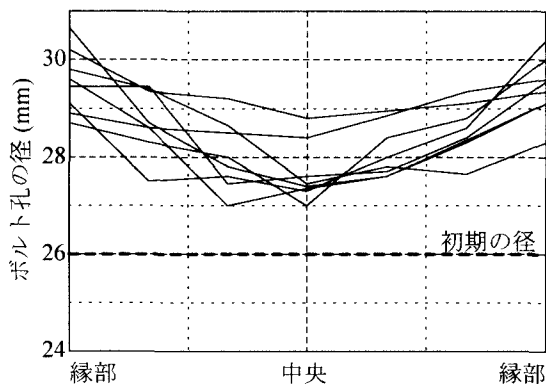


図-5 ボルト孔の径 (N-2, 65万回終了後)

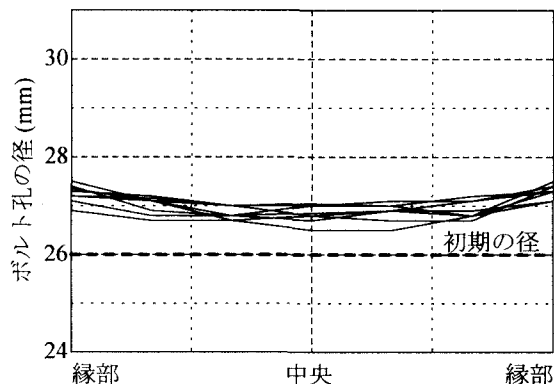


図-6 ボルト孔の径 (N-3, 20万回終了後)

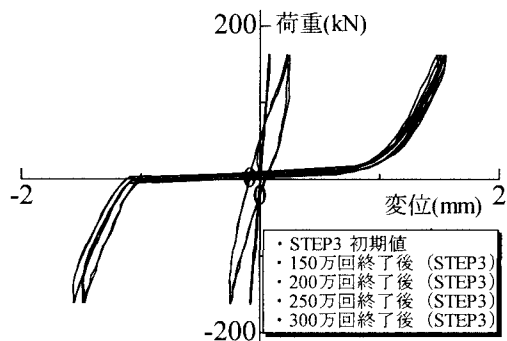


図-7 充填モデルの荷重-変位関係の例 (F-1)

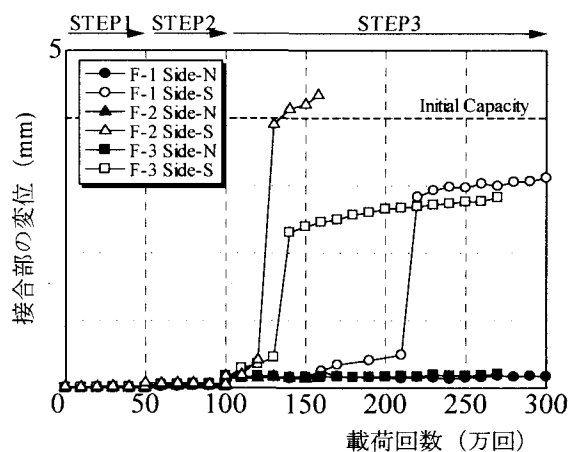


図-8 充填モデルの載荷回数と変位

下におけるこのような破壊形態について今後検討の必要があると考えられる。

### 3.2 充填 (F) モデル

#### (1) 荷重-変位関係

図-7 は F-1 の荷重と変位の関係、また図-8 は各モデルの載荷回数と変位の関係を示している。STEP1、STEP2 の載荷ではいずれも変位は微小であり、樹脂充填の効果が明瞭に現れていた。

STEP3 では下記のとおりであった。F-1 では 220 万回において変位が急増したがその後は漸増し、300 万回でも破壊しなかったため試験を終了した。F-3 では 140 万回において変位が急増しその後漸増したのは F-1 と同様であったが、270 万回終了時にボルトの破断が確認されたため試験を終了した。F-2 では 130 万回で変位が急増し、その後も変位の増加は他の 2 試験体と比較しても大きかった。そして 160 万回終了時にボルトの破断が確認されたため試験を終了した。

F-1 と F-3 では変位の急増はおよそ 2mm であったが、これは接合材 (鋼板) の径差に相当するものと考えられる。すなわち、STEP2 までは接合材と集成材の接触面に充填されていた樹脂の接着効果により変位が生じなかったが、STEP3 の載荷により徐々に破壊されたため、ボルトと接合材のボルト孔との径差に相当する変位が生じたものと考えられる。これに対し F-2 では変位の急増はおよそ 3.5mm であり、接着面の破壊と同時にめり込みも進行したと考えられる。

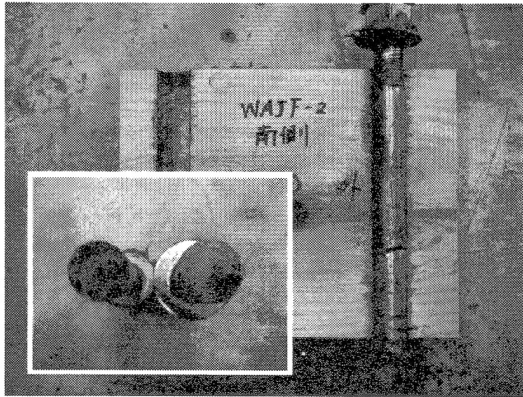


写真-6 破断したボルト (F-2)

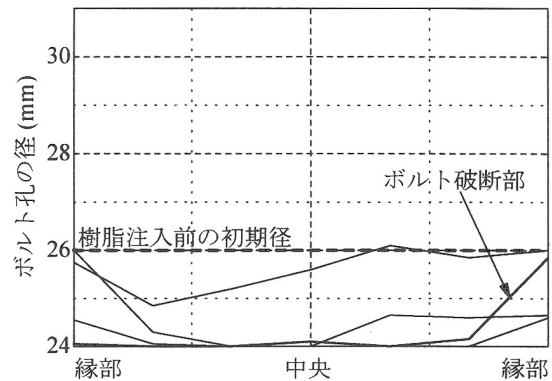


図-9 ボルト孔の径 (F-2, 160万回終了後)

## (2) 樹脂の充填効果

図-4 と図-8 を比較しても明らかなように、樹脂の充填により接合部の繰返し性能は大幅に改善される。これはボルト孔に樹脂が充填されたことでボルトの曲げ変形が生じず、曲げ疲労も生じにくくなったためと考えられる。写真-6 は F-2 の破断したボルトの様子である。このようにボルト破断は中央部から少しずれたところで、破断面の曲げ中立軸も明瞭ではない。

図-9 は最も早くボルトが破断した F-2 の変位が生じた側のボルト孔径の測定結果である。ボルトが破断したボルト孔では破断側の端部に極端な径の広がりが見られる。一方で写真-6 や図-9 から左側のボルト孔に樹脂が十分に充填されていなかったことがうかがえる。このことから、このボルトにはほとんど荷重が作用しなかったため、隣接するボルトに過大な荷重が作用し破断したものと考えることができる。

## (3) まとめ

以上をまとめると、接合部に樹脂を充填することによりその性能が大きく改善されること、また設計荷重の 80% 程度の繰返し荷重が作用してもほぼ完全な接合性能を維持しており、さらに許容荷重の 2 倍が作用しても実用上は十分な程度の接合性能を有していることがわかる。

## 4 結論

本研究では、大断面集成材構造物に用いられる、鋼添板ボルト接合部の繰返し荷重特性を求めたための実験を行い、その挙動を確認した。またこの部分に樹脂を充填した場合の挙動についてもあわせて確認した。本研究で得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- ・ボルト接合部の繰返し載荷では、実用的な荷重範囲では変位の増加は見られるものの機能的には十分な性能を有している。
- ・繰返し荷重が載荷されると、許容荷重以下でもボルトの曲げ疲労による折損が生じる可能性がある。
- ・接合部に樹脂を充填するとその性能は大きく改善され、過大荷重下においても安定した接合性能を示す。

## 参考文献

- 1) 瀬崎 満弘, 村田 忠, 平野 芳治, 佐々木 幸久, 中村 徳孫 : スギ集成材接合部における動的載荷試験, 第 4 回日本木材学会九州支部大会講演集, pp.31-32, 1997.11.
- 2) 日本建築学会 : 木質構造設計基準・同解説, 2002.10.