

繰返し荷重を受ける木ダボ接合部の疲労特性に関する研究

Study on fatigue properties of hardwood dowel joints under cyclic loading

○佐々木貴信* 金高悟* 中谷誠* 小泉章夫** 小松幸平***

SASAKI Takanobu, KANETAKA Satoru, NAKATANI Makoto, KOIZUMI Akio and KOMATSU Kohei

*秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒016-0876 能代市海詠坂 11-1)

**北海道大学大学院農学研究科 (〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目)

***京都大学生存圏研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

ABSTRACT Joints in timber construction are mostly connected with metal fasteners, such as steel plates and bolts or drift pins. However, high-strength performance of steel that consume much energy to produce and to process is not fully utilized in some cases. Therefore, a new joint method using hardwood dowels as an alternative to metal fasteners has been developed. Recently, this type of joint method which is called the hardwood dowel joints has been used for joints of large-scale timber structures, such as timber buildings and timber bridges because it can be performed high moment resistance. However, the fatigue properties of the joint under the cyclic loading has not been clarified, and an urgent problem of this type of joint method. In this research, to clarify the fatigue properties of the hardwood dowel joints experimentally, the fatigue testing was done.

Keywords : 木橋、木ダボ接合、疲労試験、集成材

timber bridge, hardwood dowel joint, fatigue test, glued laminated timber

1. はじめに

木質構造の接合部には、一般に、鋼板、ボルト、ドリフトピン等の金属接合具が用いられる。しかしながら、構造物の規模や用途によっては、経済性や使用環境の観点から金属接合が適していない場合もある。近年、金属接合に代わる木質構造の接合部として木ダボを用いた接着接合(木ダボ接合)が開発され、梁や柱材の縦継ぎ、柱-土台等の仕口接合あるいは切り欠き部の補強などのアプリケーションが提案されている¹⁾。図1に示したのは、スギ集成材梁の縦継ぎに用いた例であり、スギ集成材の木口に加工された先孔に湿気硬化型ポリウレタン樹脂接着剤を充填し、ハードメープルのダボ材を挿入接着する構造である。これにより、優れたモーメント抵抗性能を発揮し、ダボ材の配置によっては、スギ集成材の曲げ強度に匹敵する接合強度が得られることが示されている²⁾。木ダボ接合による縦継ぎは、これまでにスギ大断面集成材を用いた林道橋の主桁接合(写真1,2)^{3),4)}など大規模な木質構造にも採用されている。しかしながら、屋外使用条件下における耐久性や、自動車荷重のような繰返し荷重作用下における、接合部の疲労特性については明らかにされておらず、本接合方法の緊急の課題とされている。

このような背景のもとに、本研究では、ポリウレタン樹脂接着剤を用いた木ダボ接合部の疲労特性を明らかにすることを目的に静的引張および引張疲労試験を行った。

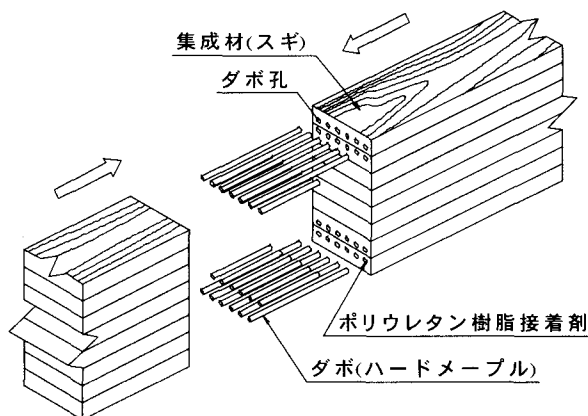


図1 木ダボ接合による集成材の縦継ぎ



写真 1 奥ものべ紅香橋（高知県物部村）

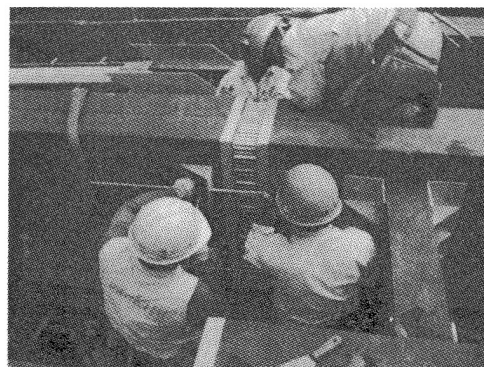


写真 2 木ダボ接合による主桁の縦継ぎ

2. 試験体および試験方法

2.1 試験体

試験体の母材にはスギ集成材、ダボ材にはハードメープル（ $\phi 16\text{mm}$ ）を用いた。スギ集成材およびハードメープルのヤング係数の平均値はそれぞれ、 7.5GPa 、 15.9GPa であった。接着剤には湿気硬化型ポリウレタン樹脂接着剤を使用し、ダボ材の埋め込み深さ 112mm （径の 7 倍）、母材の先孔 18mm の条件でダボ 1 本による接合試験体を作成し、静的および疲労試験をそれぞれ行った。

2.2 静的試験

疲労試験における、負荷レベルを決定することを目的に、木ダボ接合部の静的引抜試験を行った。写真 3 に試験状況を示す。試験体数は 28 体とし、万能試験機の引張チャックで支持し、破壊に至るまで負荷速度 $2\text{mm}/\text{min}$ で引張負荷した。木ダボの引抜変位の測定は写真 3 に示すように変位計を取付けて行った。

2.3 疲労試験

写真 4 に示すように、サーボアクチュエーターを使用して、繰り返し引張荷重を与えた。荷重レベルは、静的試験の結果から得られた下限値を基準に、その 90% および 60% とし、周期 5Hz の三角波（引張片振り負荷）を与えた。試験体数は各レベル 3 体とした。静的試験と同様に、荷重および引抜変位を測定し、サンプリング間隔 10msec で記録した。

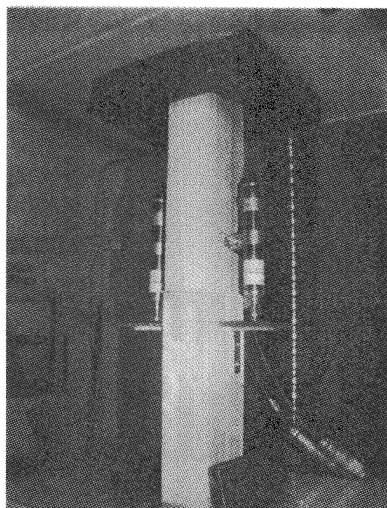


写真 3 静的引張試験

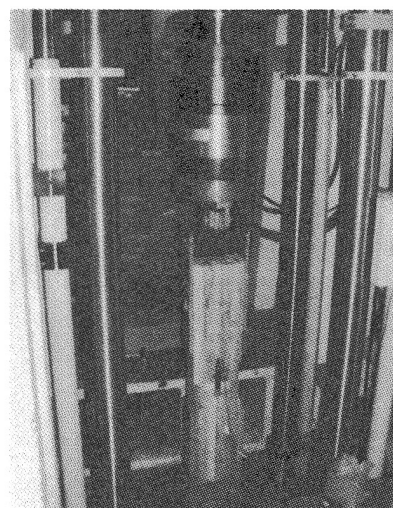


写真 4 疲労試験

3. 試験結果と考察

3.1 静的試験

全ての試験体の破壊形態は接着層の破壊による木ダボの引抜けであり、木ダボの破断による破壊形態は認められなかった。図2に全試験体の荷重-変位曲線を示す。両者の関係は線形ではないが、最大荷重の1/2程度までは弾性的な挙動を示している。最大荷重の平均値は19.6kN、標準偏差は1.85kNであった。また、最大荷重の下限值(信頼水準75%下限5%値)は、16.4kNであった。この結果に基づいて、疲労試験の負荷レベルを、図中に示すように15kN(下限値の90%)および10kN(下限値の60%)と設定した。

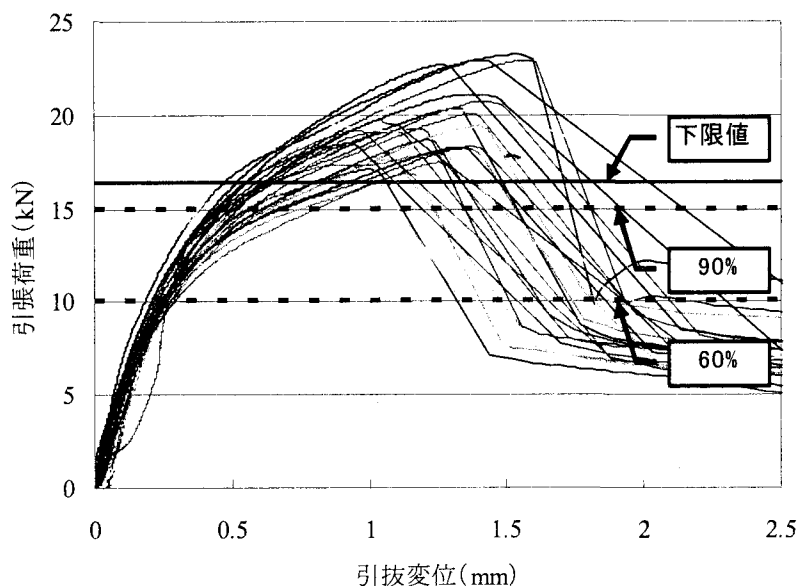


図2 荷重-引抜変位曲線

3.2 疲労試験

疲労試験の結果を表1に示す。15kN(下限値の90%)負荷の試験体は、2万回に満たない繰返し数で破壊した。10kN(下限値の60%)負荷の試験体は、1体が62万回程度で破壊したが、他2体は300万回まで負荷したが破壊に至らなかった。図3に破壊した試験体について負荷レベルと繰返し数の関係を示す。破壊に至らなかった、2体については、疲労試験後に、そのまま破壊に至るまで引張負荷し、繰返し負荷が引抜強度に与える影響について確認した。各試験体の引抜荷重は表1に示すように、静的試験の平均値を上回る結果が得られ、繰返し荷重が接合強度に与える影響は認められなかった。

表1 疲労試験結果

試験体	繰返し数(回)	繰返し負荷後引抜荷重(kN)
90% No. 1	6,500	-
90% No. 2	5,679	-
90% No. 3	18,699	-
60% No. 1	623,919	-
60% No. 2	(3,000,000)	24.4
60% No. 3	(3,000,000)	25.9

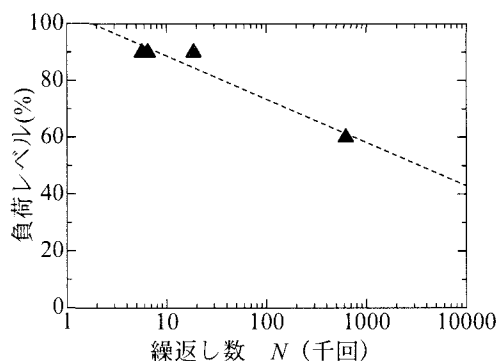


図3 負荷レベルと繰返し数の関係

図4に各負荷レベルにおける繰返し数と引抜変位の推移を示す。90%レベルにおいては繰返し数の増加に伴い、引抜変位が漸増し破壊に至っている。一方、60%レベルにおいては、繰返し数20~30万回まで増加した後、一定量で推移する傾向が見られた。このうち、No.1試験体については、40万回を超えたあたりから再度漸増し破壊までに至ったが、No.2、No.3試験体については300万回の繰返しまでに再度変位が増加する現象は見られなかった。これらの現象について、図2に示した静的試験における荷重-引抜変位関係から分かるように、下限値の90%レベルではすでに弾性域を超えているため、繰返し数の増加に伴って引抜変位が徐々に増加するものと考えられる。一方、60%レベルでは、弾性域と塑性域の境界付近となるため、試験体毎の引抜強度のばらつきによって、破壊に至る場合があるものと推察される。今後さらに試験体数を増やして検討する必要がある。しかしながら、木ダボ接合部の実用上の設計レベルは、下限値の30%が用いられているため、設計荷重レベルでは繰返し荷重が接合強度に与える影響は少ないものと判断される。

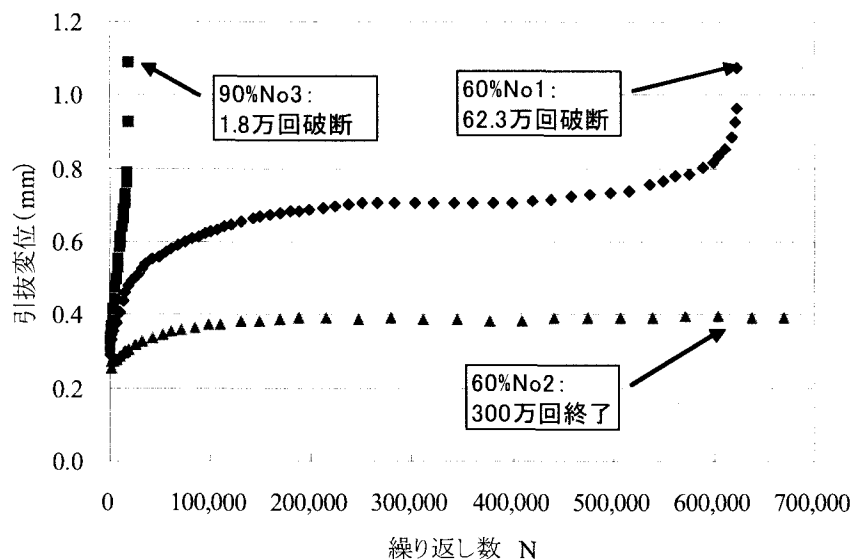


図4 繰返し数と引抜変位の関係

4. まとめ

林道橋の主桁接合など大規模な木質構造にも採用されている木ダボ接合部が繰返し荷重を受けたときの影響を明らかにすることを目的に、静的引張および引張疲労試験を行った。その結果、静的引抜荷重下限値の90%の荷重レベルでは2万回に満たない程度で破壊に至ったが、荷重レベル60%においては、60万回程度で破壊したものと300万回を超えても破壊に至らなかったものにばらついた。しかしながら疲労試験で破壊に至らなかったものは繰返し荷重を与えた後に引抜いたところ、静的試験で得られた耐力と同等の引抜荷重が得られたことから、設計荷重レベルでは繰返し荷重が接合強度に与える影響は少ないものと推察される。今後、さらに試験体数を増やし、荷重レベルと繰返し回数の関係（S-N線図）を明らかにする必要がある。

本研究は、京大生存圏研究所の木質材料実験棟共同利用研究によるものである。

参考文献

- 1) 小泉章夫：“木ダボを接合具に用いた柱-土台仕口の開発”，文部省科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)）研究成果報告書, 2001.
- 2) 佐々木貴信, 小泉章夫, ヨルゲン・イエセン, 飯島泰男, 小松幸平：木ダボによる構造材の縦継ぎ(第2報)ダボ列複層のときの曲げ性能, 木材学会誌, 48(1), pp.23-31, 2002.
- 3) 土木学会木橋技術小委員会編：木橋技術に関する講習会テキスト, pp.316-319, 2001.
- 4) 小松幸平：木質構造研究者の立場から見た近代木橋の再興について, 第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.1-9, 2004.