

Effective Lateral Resistance of Combined Timber Joints

(複合型木材接合部の有効せん断耐力)

学位論文内容の要旨

木質構造物では釘、ボルト等の機械的接合具が様々な箇所で使われている。ときには一つの接合部で異なる種類の接合具が併用される複合型木材接合もみられる。釘接合やボルト接合のような個々の接合部については多くの研究が行われているが、複合型の接合部についてはほとんど研究されていない。複合型接合はしばしば実際の木質構造で使われているが、現行の規準では正確に評価できない場合も多い。そこで、本論文では、複合型接合部の2つの例として、釘・ボルト併用接合と木材－合板－木材釘接合をとりあげ、その荷重－変位関係を解析し、設計用許容耐力の評価法について提案を行った。

1. 釘・ボルト併用接合

釘・ボルト併用接合は木質構造物の安全性を向上させるためによく用いられる接合法である。試験体はトドマツ材 (*Abies sachalinensis*) を用いた主材を2枚の3mm厚鋼板(側材)ではさむ形式で作製した。接合部の種類は、CN50釘のみ、径10mmのSS400ボルトのみ、および両者を合わせた接合具で接合する3種類とした。ボルト接合部において鋼板と主材の先孔径は12mmとした。試験体数は各種類18体ずつとした。試験は油圧試験機で行い、主材と鋼板間の相対変位を測定した。

釘・ボルト併用接合部のせん断試験を行った結果、荷重－変位曲線の形状が階段型になることが観察された。これは負荷の際、釘とボルトの荷重負担の開始時期がずれることが原因で、ボルトと先孔間に隙間があることに起因する。従来の接合部の評価方法では、試験より得られた荷重変形曲線を完全弾塑性モデルに置換して諸特性値を算出する。しかし、荷重変形曲線が階段状となった釘・ボルト併用接合部では、降伏荷重を従来の評価方法では適切に評価できないことが明らかとなった。そこで、新たに許容変位の考えを取り入れた許容耐力評価方法を試みた。

はじめにボルト接合部の主材と側材の先孔内で生じる初期すべりの合計を、それぞれのボルトの初期位置の分布確率を正規分布と仮定したモンテカルロ・シミュレーションによって求めた。1000個の正規乱数を発生させて、鋼板と木材の先孔内におけるボルト初期位置の分布(ボルトが鋼板や木材に接するまでの距離)の分布を得た。その分布の上限5%値をノンパラメトリックに求め、初期すべり量を決定した。シミュレーションの結果、ボルトの初期すべりを先孔クリアランス(先孔径－ボルト径)の75%とみてよいことがわかった。そこで、ボルト接合部の荷重変形曲線を解析から得られた初期すべりだけ平行移動し、釘接合部の荷重変形曲線と足し合わせることで、初期すべりの大きさが異なる併用接合部の荷重変形曲線をモデル化することができた。

次に許容変位の決定だが、許容変位は接合部の種類や接合箇所によって取り得る値が異なる。ここでは、木造住宅に一般的に使われている筋かい端部の釘・ボルト併用接合部を想定して、その構造体の損傷限界である変位(2mm)を採用した。モデル化された併用接合部と実際の併用接合部の荷重変形曲線から以下の結果が得られた。(1) 最大耐力は先孔の

大きさと被接合部材の靱性に左右される。(2) 初期剛性と有効許容耐力は先孔の大きさとボルトの初期位置に左右される。(3) 釘・ボルト併用接合は個々の接合具を単独に用いた場合に比べて破壊までの吸収エネルギーが大きく耐震性に寄与できる。

2. 木材－合板－木材釘接合

木材－合板－木材釘接合は枠組み壁工法による木造住宅などで見られる接合部で、例えば、床根太の上に下地合板を CN50 で釘打ちし、合板の上に立て起こした耐力壁の下枠の上から合板を貫通させて根太に CN90 で釘打ちする場合である。この場合、下枠と根太とのせん断力の伝達は、以下の 2 つのメカニズムによる。(1) 下枠に作用した水平力の一部が CN90 を介して根太に直接伝わる、(2) 下枠から合板に伝わり、さらに CN50 を介して根太に伝わる。このようなメカニズムを想定した設計法はまだ整備されていない。そこで、部材の間に合板を挟み込んだ接合部の挙動を把握するために、木材－合板－木材釘接合部試験体を作製してせん断試験を行った。

主材（根太を想定）と合板間の釘本数が木材－合板－木材釘接合部のせん断性能に与える影響を調べるため、主材と合板は 0～4 本の CN50 釘で釘打ちし、CN90 釘 1 本を用いて側材（下枠を想定）から合板を通して主材へ釘打ちした。また主材と合板間にすべりが生じないようにポリウレタン樹脂接着剤で接着して側材と主材を CN90 釘で釘打ちした接合部、主材－合板釘接合部（CN50 使用）、主材－側材釘接合部（CN90 使用）についても試験を行った。主材と側材には S-P-F204 材を用い、合板には 15mm 厚カラマツ (*Larix kaempferi*) 合板を用いた。試験体数は各条件 6 体ずつとした。

接合部のせん断試験は油圧試験機で行い、主材と側材間の相対変位と主材と合板間の相対変位を測定した。合板と側材間の相対変位は、主材－側材間と主材－合板間の相対変位の差から算出した。

実験の結果、主材－合板間の変位量は CN50 釘が増加すると減少した。合板－側材間の変位量は最大荷重までは釘本数の影響はみられなかったが、最大荷重以降は釘本数の影響がみられた。主材－合板間の変位は合板－側材間のそれよりも小さいので、荷重と接合部全体の荷重－変位曲線は CN50 釘の本数によって少し変化する結果となった。CN50 釘が釘打ちされた接合部の初期剛性は主材－側材釘接合部よりも低い値を示したが、CN50 釘の本数を増やすことで改善できることが分かった。

一方、最大荷重については、主材－合板間の CN50 釘が 1 本以上あれば差がみられず、主材－側材釘接合部よりも高い値を示した。CN50 釘が釘打ちされていない接合部の最大荷重は、かなり低かった。また、主材と合板を接着した接合部の最大耐力は CN50 釘打ち接合部よりも高い値を示した。合板を主材と側材の間に挟み込んだ接合部が主材と側材を直接 CN90 釘で釘打ちした接合部よりも高い値を示した理由として、合板のクロスバンドが降伏後の釘のめりこみ抵抗に寄与したと推測される。

終局変位は CN50 釘の本数が増えるに従って増加した。これは破壊に達するまでのエネルギー吸収量が増加したことを意味する。

主材と合板が適切に接合され、合板の密度が主材・側材の密度よりも大きい場合、木材－合板－木材釘接合部を木材－木材釘接合部とみなすことで、許容せん断耐力を推定できることがわかった。これはこの形式の接合部を現行の規準に従って評価できることを意味している。

以上、複合型接合について実験的検討を行った結果、適当な接合具の組み合わせによって接合部のエネルギー吸収量を増加させ、耐震性を高められることが明らかとなった。また、併用接合部の性能は現行の指針等で示されている評価方法では評価できないことがわかった。このため、許容変位の考え方を取り入れた評価方法を新たに提案した。しかし、複合型接合は使用条件に応じて許容変位などが異なる。このため、設計法を一般化するのではなく、条件に応じて個別に設計するのが適当である。

学位論文審査の要旨

主査	准教授	小泉章夫
副査	教授	平井卓郎
副査	教授	小池孝良
副査	助教	澤田圭

学位論文題名

Effective Lateral Resistance of Combined Timber Joints

(複合型木材接合部の有効せん断耐力)

本論文は図 29, 表 9, 引用文献 142 編を含む総頁数 134 頁の英文論文であり, 他に参考文献 2 編が添えられている。

木質構造物では釘, ボルト等の機械的接合具が様々な箇所で使われている。これら個々の接合部については多くの研究が行われているが, 異種接合具を組合せて用いる複合型の接合部についてはあまり研究されていない。また, 複合型接合は現行の設計規準では正確に評価できない場合も多い。そこで, 本論文では, 複合型接合部の代表例として, 釘・ボルト併用接合と木材-合板-木材釘接合をとりあげ, その一面せん断における荷重-変位関係を解析し, 設計用許容耐力の評価法について提案を行った。

1. 釘・ボルト併用接合

釘・ボルト併用接合は木質構造物の安全性を向上させるためによく用いられる接合法である。本研究では, 木材(主材)と 3mm 厚鋼板(側材)を CN50 釘と径 10mm のボルトを併用して接合した試験体について, せん断試験を行った。その結果, 荷重-変位曲線の形状が階段型になることが観察された。これは負荷の際, 釘とボルトの荷重負担の開始時期がずれることが原因で, ボルトと先孔間に隙間があることに起因する。この初期すべり量をボルトの初期位置の分布確率を正規分布と仮定したモンテカルロ・シミュレーションによって求めた。その結果, ボルトの初期すべりを先孔クリアランス(先孔径-ボルト径)の 75%とみてよいことがわかった。そこで, ボルト接合部の荷重変形曲線を, 解析から得られた初期すべりだけ平行移動し, 釘接合部の荷重変形曲線と足し合わせることで, 釘・ボルト併用接合部の荷重変形曲線をモデル化することができた。このような挙動の降伏荷重は, 従来のように接合部の荷重~変位挙動を bi-linear 置換して求める評価方法では, 適

切に評価できなかった。そこで、新たに許容変位の考えを取り入れた許容耐力評価方法を提案した。ここで、許容変位については、在来構法住宅で一般的に使われている筋かい端部の釘・ボルト併用接合部を想定して、その構造体の損傷限界変位を採用した。モデル化された併用接合部と実験から得られた併用接合部の荷重変形曲線を考察して、以下の結論が得られた。(1) 最大耐力は先孔の大きさと被接合部材の靱性に左右される。(2) 初期剛性と有効許容耐力は先孔の大きさとボルトの初期位置に左右される。(3) 釘・ボルト併用接合は破壊までの吸収エネルギーが大きく、耐震性に寄与できる。

2. 木材－合板－木材釘接合

木材－合板－木材釘接合は枠組み壁工法による木造住宅などで見られる接合部で、例えば、床根太と耐力壁の間に下地合板をはさむ接合がある。この場合、耐力壁下枠と床根太のせん断力の伝達は、以下の2つのメカニズムによる。(1) 下枠に作用した水平力の一部がCN90を介して根太に直接伝わる、(2) 下枠から合板に伝わり、さらにCN50を介して根太に伝わる。このようなメカニズムを想定した設計法はまだ整備されていない。そこで、部材の間に合板を挟み込んだ接合部の挙動を把握するために、CN50で合板を釘打ちした主材に側材をCN90釘で接合した試験体を作製して、せん断試験を行った。実験の結果、最大荷重については、主材－合板間のCN50釘が1本以上あれば差がみられず、主材に側材を直接釘打ちしたものより高い値を示した。合板を主材と側材の間に挟み込んだ接合部が主材と側材を直接CN90釘で釘打ちした接合部よりも高い値を示した理由として、合板のクロスバンドが降伏後の釘のめりこみ抵抗に寄与したと推測される。初期剛性と終局変位はCN50釘の本数が増えるに従って増加した。これは破壊に達するまでのエネルギー吸収量が増加したことを意味する。以上、主材と合板が適切に接合され、合板の密度が主材・側材の密度よりも大きい場合、木材－合板－木材釘接合部を木材－木材釘接合部とみなすことで、許容せん断耐力を安全側で推定できることがわかった。これはこの形式の接合部を現行の規準に従って評価できることを意味している。

本研究の結果、複合型接合では、適当な接合具の組み合わせによって接合部のエネルギー吸収量を増加させ、構造の耐震性を高められることが明らかとなった。また、釘・ボルト併用接合部の性能は現行の指針等で示されている評価方法では評価できないことがわかった。このため、許容変位の考え方を取り入れた評価方法を提案したが、複合型接合は使用条件に応じて許容変位などが異なる。このため、設計法を一般化するのではなく、条件に応じて個別に設計するのが適当であることを明らかにした。これらの研究成果は今後の木質構造設計に大きく寄与するものである。よって、審査員一同は、オクム・ゴードン・ワニヤマが博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。