

国産材を使った新しい木造建築の開発

(木構造と鉄骨構造のファスナーの開発)

Development of the new wooden structure using Japanese wood

(Development of the fastener of wood structure and steel frame structure)

尾形素臣[†], 堀内康久^{††}, 松久勝也^{†††}, 村上桂秀^{††††}, 織田麻衣子^{†††††}

Ogata Motoomi[†], Horiuchi Yasuhisa^{††}, Matuhisa Katuya^{†††}

Murakami Yoshide^{††††}, Oda Maiko^{†††††}

Abstract Now, wood is used mainly as building materials for residences. For this reason, even if it studies the wood use expansion for residences, it is hard to become a true use expansion. A wood structure must be expanded as an alternative structure of reinforced concrete structure and steel frame structure. The wood structure is suitable for the beam-column structure. Also historically, it has developed as a beam-column structure. Reinforced concrete structure is hard to be called true beam-column structure. For this reason, it is advantageous to use it as an alternative structure of the steel frame structure where it has developed as the same beam-column structure. Wood is inflammable material. So, as structure material of a high-rise building, various devices are needed. The steel frame structure of this point is also the same. A factory and a warehouse are raised as a steel frame structure without fire-resistant covering. Both structure has no fire-resistant covering in a low layer. This research sets it as the target to perform technical development of a possibility of using a wood structure as an alternative structure of steel frame structure.

1. 研究目的と研究の背景

日本は国土の70%が森林であり、世界有数の森林の国である。木材資源として利用できる森林蓄積量は世界の5位である。これは驚くべきことである。しかしながら、木材資源の80%を輸入している。国産材は20%にすぎない。

豊田市をみてみよう。市町村合併で広大な面積となった。その70%が森林である。豊田市は自動車の町であると世界中の人が思っている。これは確かであるが、林業の町でもある。豊田市は日本の産業の縮図といえる。最先端産業と最も遅れた林業とが市の主要産業となっている。豊田市が最優先で解決すべき産業振興課題は林業振興である。

豊田市の林業では驚愕すべき事実がある。豊田森林組合が販売する木材は15000m³/年である。しかしながら実際に伐採するスギ、ヒノキは60000m³/年である。実に75%が間伐材として森林に放置されたままになっている。さらに15000m³/年の木材

は丸太として販売されるが、これから建材に加工すると、歩留まりは50%程度である。建材として使われるのは伐採される林業資源の約10%にすぎない。約90%は廃棄されてしまう。木材の80%を輸入しながら、国産材の90%を廃棄している。日本には多くの無駄があるが、これほどの資源浪費はないであろう。この問題には豊田市ゆえの(日本ゆえの)理由がある。最先端の産業があるため、労働コストが高くなり、効率の悪い森林

† 愛知工業大学工学部建築学科教授(豊田市)
†† 愛知工業大学工学部建築学科非常勤講師
有限会社堀内建築研究所代表取締役
(名古屋市)
††† 愛知工業大学工学部建築学科非常勤講師
(豊田市)
†††† 愛知工業大学工学部建築学科臨時技術員
(豊田市)
††††† 有限会社シービーリサーチ

資源は市場価値が無いとされてしまうからである。これも地域によっていくらか異なるだけで、日本のどこでも大なり小なり抱えている問題である。このため市場価格の高いヒノキばかり伐採されスギは放置されたままになっている。豊田市内の林業資源はスギの方が圧倒的に多いが、伐採される木材は70%以上がヒノキである。このままにすれば、ヒノキの林業資源は枯渇し、スギばかりになってしまう。安価なスギ資源を建材として有効活用する可能性を求めることが研究目的である。

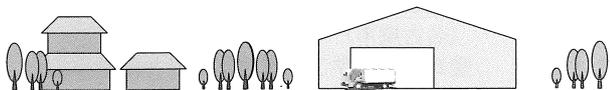
本研究は平成19年度から、廃棄されているスギ間伐材の有効利用に関する研究を継続してきた。これは「総合技術研究所プロジェクト研究 国産材を使った新しい木造建築の開発」として平成21年度まで継続され特願 2009-028897「部材接合構造、及び、木材と木梁との接合構造、並びに、接合具」学校法人名古屋電気学園、有限会社堀内建築研究所

が成果として得られた。特許の内容は林業資源を鉄骨構造の代替構造として使うための技術開発である。

2. 国産木材の建材としての利用拡大

現在、木材は主として住宅用建材として使われている。このため住宅用の木材利用拡大の研究を行っても、真の利用拡大になりにくい。鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造の代替構造として木構造を拡大しなければならない。木構造は柱-梁の軸組構造に適している。歴史的にも軸組構造として発展してきた。鉄筋コンクリート構造は真の軸組構造とは言い難い。このため、同じ軸組構造として発展してきた鉄骨構造の代替構造として使用することが有利である。木材は可燃材である。それ故、高層建築の構造材としては、様々な工夫が必要となる。この点は鉄骨構造も同様である。耐火被覆なしの鉄骨構造として工場、倉庫があげられる。ともに主として低層で耐火被覆なしである。本研究は鉄骨構造の代替構造として木構造を使用する可能性の技術開発を行うことを具体的な目標としている。

木材の特性は圧縮材に適していることである。自然の状態では樹木の幹は曲げ圧縮材となっている。この特性を生かすには柱-木材、梁-鋼材の混合構造が好ましいと予想される。柱は一般的に曲げ圧縮荷重を受ける。梁は曲げ材である。短い柱間隔であれば梁も短くなるが、工場、倉庫を主目的とすると梁は極めて長くなる。10mを越えた梁を木材で構成するのはやはりかなり困難であろう。実現しようとするれば、梁せいを大きくせざるをえない。平屋であれば屋根は木構造トラスも可能であるが、2階建てであれば2階の床は大きな梁せいはとりにくい。屋根の木構造トラスもかなり複雑な構造になる。このようなことを考慮し、柱-木材、梁-鉄骨の混合構造を実験テーマに選定した。



木材は主に住宅の構造材として多用されてきた。しかし、日本の住宅着工件数は80万戸程度となり、最大時の1/2程度まで落ち込んでいる。住宅用としては需要増加が見込めない。

工場、倉庫、店舗等は大スパン構造の可能な鉄骨造がほとんどである。鉄骨構造は軸組構造であり、同じ、軸組構造の木構造は鉄筋コンクリート構造より組み合わせが容易である。今後、梁-鉄骨、柱-木材の混合構造が、木構造増加の手段となりうる。

図-1 木造と鉄骨構造

3. 木材と鋼材を結びつけるファスナーの開発

木材のファスナーはクギ、木ネジ、ボルトがある。鋼材はボルトが主力である。木材と鋼材を結びつけるファスナーが開発できなければ、木材-鋼材混合構造は成り立ちにくい。両材料に共通のファスナーはボルトである。ボルトで木材と鋼材を結びつける接合部を考えてみよう。図はその一例である。

この接合は多く使用されている。しかしながら、木材のボルト穴はボルト径に比べ大きく、また木材の乾燥収縮等によって緩みを生じることは避けがたい。このためボルト軸方向にもそれと直角方向にも剛性の高い接合方法とはならない。木材だけであればラグスクリュー（木ネジ）は剛性の高い接合部を作ることが可能であるが、鋼材との組み合わせでは疑問が残る。

以上の課題を解決するため、木材-鋼材混合構造用のファスナーとしてIVYネジを開発した。このネジは岡部株式会社の鉄筋コンクリート構造用の型枠締め金具のネジとして使用しているものであり、同社の吉田幹彦氏、五味寛人氏と筆者が開発に携わったものである（参考文献2、3）。本研究で上記のファスナーとして利用を検討したものである。

詳細を図に示す。ラグスクリューと比較するとネジピッチは同じであるが、ネジ山がラグスクリューに比べ厚くなっている。ネジピッチはJIS六角ボルトの3倍程度であり、ネジの谷は円弧である。一般のボルトと同様にナットを取り付け、締め付けて接合が可能である。ラグスクリューはネジ山が木材を切り裂く刃になっているためナットを取り付けることができない。IVYネジはラグスクリューネジとJISボルトとの中間的な特性を持っている。

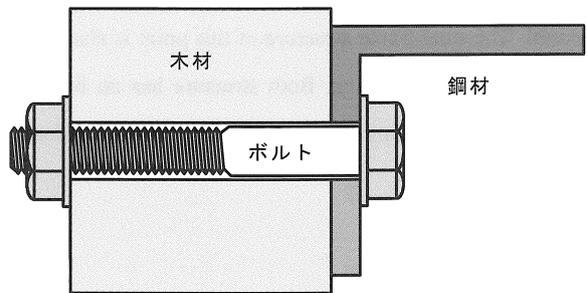
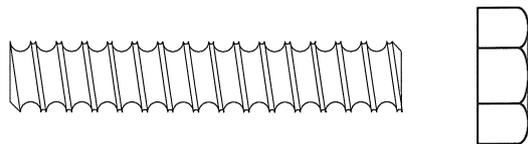
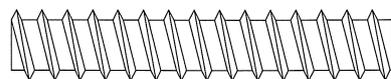


図-2 木材と鋼材の標準的接合方法



IVYネジ



ラグスクリュー

図-3 IVYネジとラグスクリュー

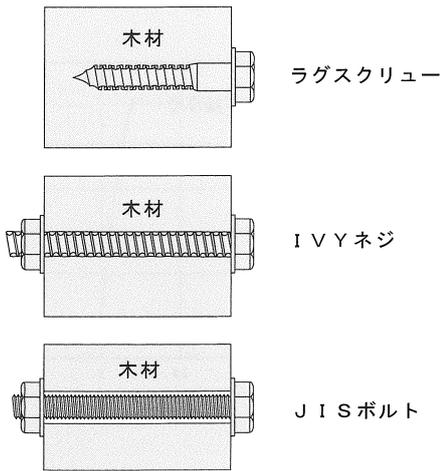


図-4 ファスナー各種と木材の接合方法

木材をラグスクリュー、I V YネジおよびJ I Sボルトで締め付けた例を示す。ラグスクリューは木ネジであるからナットは付けられない。I V Yネジはナットを取り付け、木材を締め付けることができる。本研究における試作品のI V Yネジはφ12mmであるが、スギ材ではφ10mmの下穴をあけた。ラグスクリューもM12（φ12mm）、J I SボルトもM12（φ12mm）で穴はφ12mmである。

4. I V Yネジの引き抜き試験

I V Yネジがボルトとしてどのような性能を示すか引き抜き試験を行った。引き抜き試験の結果強度区分4.6 J I Sボルト規格値を上回る引き抜き強度を得た。ただし、ネジ部では破断せず、ナットが抜けてしまった。これはI V Yネジの引張強度が極めて高いためであり、ネジとナットの組み合わせとしては十分であった。なおI V Yネジは「冷間圧造用炭素鋼線材 J I S G 3 5 0 7」の強度区分4.8から転造によって製作した。

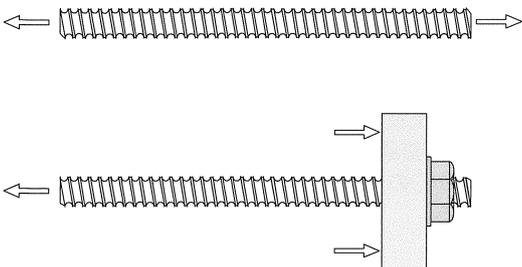


図-5 I V Yネジの引き抜き試験

5. I V Yネジを使用した木-鉄骨混合構造

5.1 I V Yネジを使用したスプリットT接合

I V Yネジがボルトと同様に使用できる可能性が認められ、これをファスナーとした木-鉄骨混合構造を検討してみる。接合方法は鉄骨構造で使用されているスプリットT接合を採用する。詳細を図-6に示す。柱に接合するには高力ボルトを使用する。

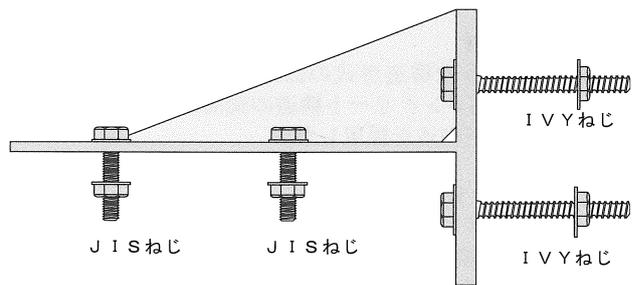
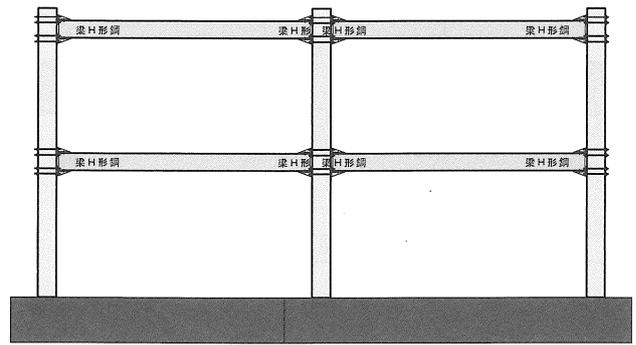


図-6 「柱-木材 梁-鉄骨」の架構とスプリットT接合部の詳細

5.2 スプリットT接合による接合部の強度

試験体製作に当たり、次の3種類の接合方法を検討した。

①ラグスクリュー引き抜き形

柱木材とのかみ合わせは良好であったが、柱中央で割れ破壊を発生し、良好な仕口は作れなかった。

②J I Sボルト貫通形

従来から使用されているJ I Sボルトを柱木材に貫通させた仕口である。下穴は14φと大きく、柱木材とJ I Sボルトはかみ合っていないため、良好な仕口は得られない。

③I V Yネジ貫通形

I V Yネジを柱木材に貫通させた仕口である。I V Yねじは12φで下穴は10φ以下としているため、ねじ山は木材に食い込み、この部分の変形を少なくできる。

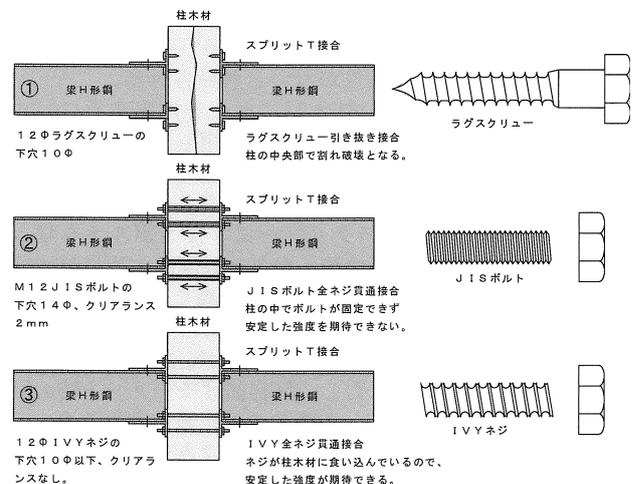


図-7 各種ファスナーの比較検討

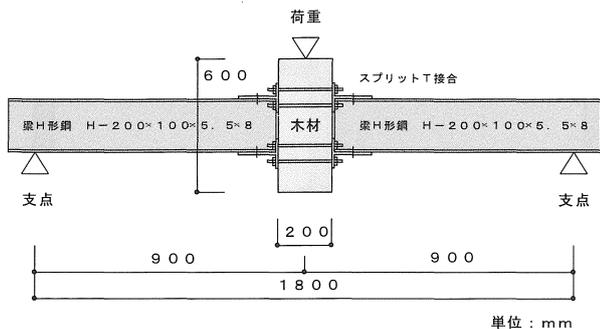


図-8 試験体形状・寸法

曲げ強度の検討

試験体のような構造形式の曲げ強度の既存の算定式はまだない。鉄筋コンクリート構造の梁曲げ強度の算定式を参考にし、以下の式を採用した。

$$M = at \cdot ft \cdot j$$

M: 曲げモーメント

at: 鉄筋断面積

ft: 許容応力度

j: 曲げ応力の中心距離

at を引張側 I V Y ネジの軸断面積 (φ 12 mm)、ft を I V Y ネジの引張強度、j を梁せいりの 0.7 倍と置き換えた。以下、その仮定の下での強度計算を示す。

I V Y ネジ仕口の曲げ強度

I V Y ネジは S S 4 0 0 相当の鋼材なので、計算上の曲げ強度は

$$M_y = 23.5 \times 4 \times 1.13 \times 20 \times 0.7 = 1490 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

M_y: 曲げ降伏強度

$$M_{max} = 40 \times 4 \times 1.13 \times 20 \times 0.7 = 2530 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

M_{max}: 曲げ最大強度

となる。これから計算した荷重は

$$P_y = (M_y / 90) \times 2 = 33.1 \text{ kN}$$

P_y: 降伏荷重

$$P_{max} = (M_{max} / 90) \times 2 = 56.2 \text{ kN}$$

P_{max}: 最大荷重

となる。ラグスクリュー引き抜き形は計算上の強度も得られなかった。また、破壊が柱木材であり、強度予測が困難であり、この形態は実用性が無いと判断される。

J I S ボルト貫通形は柱木材にねじを固定するにはグラウト等の補助作業が必要であり、採用しなかった。I V Y ネジ貫通形は計算値を上回る強度を得ることができた。今後この仕口の利用の可能性が広がった。なお、従来ナットをつける場合はラグスクリューに J I S ボルトを切っていた。この場合、断面は細くなり、強度は大幅に減少する。また加工に手間がかかりコストも高くなる。

実験の結果では設計許容曲げモーメントを上回ることができた。ラグスクリュー接合型に比べ、実用性の高い接合部が可能となった。ただし、許容曲げモーメント時の回転角が 0.8 程度となり、木構造の適正値とされる 0.5 以下を満足できなかった。剛性の面ではさらなる改良が必要である。

J I S ボルト貫通形は柱木材にネジを固定するにはグラウト等の補助作業が必要であり、採用しなかった。I V Y ネジ貫通形は計算値を上回る強度を得ることができた。今後この仕口の利用の可能性が広がった。

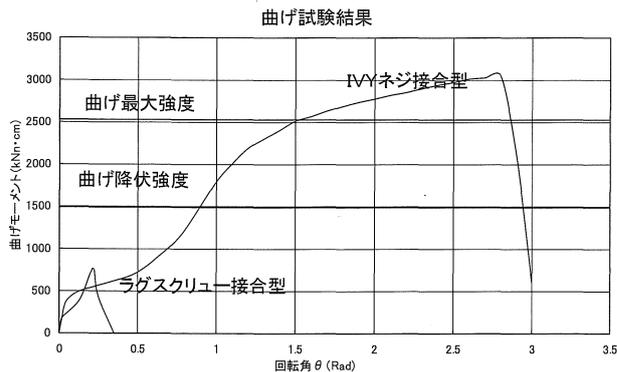


図-9 試験結果

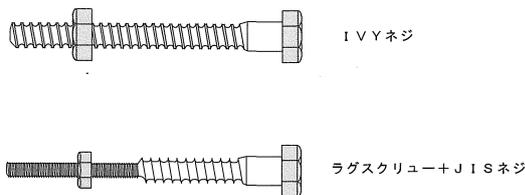


図-10 木材貫通型のファスナーの例

6. 結論

木構造の拡大には価格の問題ほか、技術的に解決しなければならない課題がある。

- ①乾燥収縮に対する対処方法。
- ②大きな空間を構成するためには、ラーメン構造が適しているが、剛な仕口が作りにくいこと。

この課題を解決するため、I V Y ネジを開発した。I V Y ネジは J I S ボルトに比べピッチが 3 倍程度あり、さらにねじ山がとがっているため、木材にねじを差し込むとゆるみが極端に少なくなる利点がある。ねじの形状は木ねじに類似している。ただし、木ねじはナットを取り付けることができない。I V Y ネジは J I S ボルトと同じ大きさで、4.6 ボルトの引き抜き強度があり、木構造に使用した場合、J I S ボルトのように使用でき、さらに、木材の乾燥収縮にも対処できる。今後、木構造の発展に寄与できるものと期待される。

平成 2 2 年度以降は基本的な技術開発から、実際の工事に結びつける実用化技術の開発が必要となる。また、新しい建築技術は国土交通省の審査等を受けなければならない。実用化に向けてのハードルは高い。しかし本学が挑戦すべき課題である。

7. 研究の経過

愛知工業大学総合技術研究所プロジェクト研究「国産材を使った新しい木造建築の開発」

平成 1 9 年度 (初年度)

- ①日本の林業資源の現状調査
温帯である日本では毎年 3% ずつ成長によって林業資源が増加する。日本の林業資源は世界で 10 番目以内できわめて多い。しかしながら国産材の使用割合は 20% と低迷。
- ②スギ間伐材の強度試験

愛知県産は直径25cm程度であり、建材として利用可能であった。ただし、強度は十分であるが、ばらつきが大きいので、集成材として使用が望ましいことも明らかになった。

平成20年度

住宅用よりより大型の建築への使用拡大が期待された。
①大型の建築では木構造部材の接合方法が課題となった。また木材は曲げ材としての性能がやや不足あることも明らかになった。圧縮材としてはきわめて有効であった。接合金具としてスプリットT形鋼をラグスクリューで接合する方法をとったが、強度不足が指摘された。
②試験結果をもとにIVYネジを使用したスプリットT接合方法を特許申請

特願 2009-028897「部材接合構造、及び、木材と木梁との接合構造、並びに、接合金具」学校法人名古屋電気学園、有限会社堀内建築研究所

平成21年度（最終年度）

工場、倉庫、店舗等の従来鉄骨構造であった建築の「木-鉄骨混合構造」への発展がより期待された。最終年度でもあり、この構造の強度試験を行った。なおこの年度の実験にはIVYネジを使用した。
①スプリットT形鋼をIVYネジで接合する方法をとった。接合部の性能としては大きな可能性を感じることができた。プロジェクト研究としては最終年度であるが、実用化に向けてさらに研究を続けることが期待される。
②実設計に適用するためには、設計基準の作成、行政の認可等の課題がある。しかし、今後に期待できる工法であり、国産材の有効利用にもつながるものと期待される。

平成22年度以降

前年度までの研究はファスナーの開発と柱の両側に梁を持つ架構の鉛直荷重時の検討であった。水平荷重時の特性の検討が不可欠である。この検討を主として実験で行う予定である。

参考文献

1. 尾形素臣、堀内康久、織田麻衣子「国産材を使った新しい木造建築の開発」愛知工業大学総合技術研究所・研究報告 第11号 2009年
2. 岡部株式会社ホームページ <http://www.okabe.co.jp/>
3. 五味寛人、尾形素臣「鉄筋コンクリート型枠工事に関する研究 1: 型枠締め金具のゆるみについて」日本建築学会学術講演梗概集 1979年9月