

国産材を使った新しい木造建築の開発

(IVY ファスナーの基本性状)

Development of the new wooden structure using Japanese wood

尾形素臣[†], 堀内康久^{††}, 松久勝也^{††}, 村上桂秀^{†††}, 神谷勇輝^{††††}
Ogata Motoomi[†], Horiuchi Yasuhisa^{††}, Matuhisa Katuya^{††},
Murakami Yoshihide^{†††}, Kamiya Yuki^{††††}

Abstract. The purpose of this study is that the wood is used as structural material factory of large-span steel structure were mainly low-rise warehouses, and stores. Since the conifer grows upright. It can be used as column material is suitable. To be used as material for this beam, the effectiveness of the steel is not enough. The large span low-rise structure pillar for this - wood, beams - a mixture of steel frame structure is valid. Challenge to achieve such a mixed structure the development of wood and steel fasteners are joined to become the most important issue. The first study aimed to clarify the basic properties of the fastener and its development.

1. 今年度の研究計画

本研究は従来鉄骨構造であった大スパンの工場、倉庫、店舗等の構造材として木材を使用することを研究の主目的とした。針葉樹は直立して発育するので、柱材として使用することが適当である。これに対して梁材として使用するには、鋼材ほどの有効性はない。このため低層大スパン構造には柱-木材、梁-鉄骨の混合構造が有効である。このような混合構造を実現するための課題は木材と鋼材を接合するファスナーの開発が最重要課題となる。ファスナーの開発とその基礎的性状を明らかにすることを最初の研究目的とした。

2. ファスナーの基本的性質

木材と鋼材を接合するファスナーとしてIVYネジを採用した。IVYネジの詳細を図-1に示す。このネジは尾形素臣および、吉田幹彦（岡部株式会社）、五味寛容人（岡部株式会社）が1979年に鉄筋コンクリート型枠の締め金具用ネジとして開発したものである。型枠締め金具は再利用の際セメントが付着し清掃に多くの時間がかかった。このためセメントノロを掃除しやすいことを特長として掃除しやすいネジとした。現在、生産されているのはM12のみである。これをファスナーとして使用することとした。当時はコイルネジと呼んでいた。今はIVYネジと呼んでいる。本論文でもIVYネジと呼ぶこととした。図-1および写真-1にJISネジ、IVYネジおよびラグスクリューのそれぞれM12を示す。

IVYネジはJIS並目ネジに準拠して作られているので

ネジ外径	12.0 mm
ネジ谷径	10.106 mm
ネジピッチ	4.25 mm

である。ネジの形状は異なるが、有効断面積はJISネジと同一の84.3 mm²とした。この数値はネジ部の応力計算に用いられるが、ナットの保証荷

† 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（豊田市）

††† 愛知工業大学臨時技術職員（豊田市）

†††† 有限会社シービーリサーチ（名古屋市）

重応力などを求めるときにも用いる。

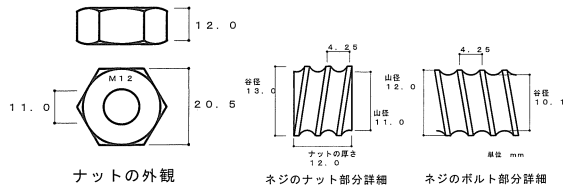


図-1 IVYネジの詳細

ネジ形状は木ネジであるラグスクリューに近似している。ただしラグスクリューは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に比べネジ山が厚くできているのでナットを取り付けることができる。しかしながら、ネジ山の厚さは木ネジとして木材にねじ込む際には大きな力が必要となる。また、ネジピッチが大きいのでナットの厚さがIVYネジは12mmとなっている。現在、生産されているIVYネジ-M12はJIS G 3507-1「冷間圧造用炭素鋼-第1部:線材」のSWRCH15Kから製作されている。SWRCH15Kは標準的ネジ材料である。強度区分はJISネジM12の4.8相当である。IVYネジはJISネジとラグスクリューの中間的な性能が期待された。JISネジは木材の乾燥収縮による緩みを防止できない。ラグスクリューはナットを付けることのできる木ネジであり木材の乾燥収縮による緩みは防止できる。IVYネジも木ネジであり、木材の乾燥収縮による緩みを防止できる。さらに、木材にねじ込んだ場合、大きな引き抜き力に対しナットを付けることにより耐えることが期待された。IVYネジの外観を図-2および写真-1に示す。比較のためラグスクリューとJISネジも示した。

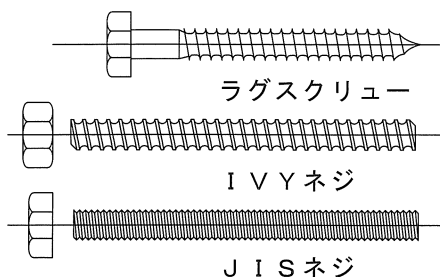


図-2 上からM12-ラグスクリュー、M12-IVYネジおよびM12-JISネジ

3. IVYネジの基本性状

IVYネジ-M12の基本性状を実験によって明らかにした。比較のためJISネジ4.8-M12

ラグスクリューM12も使用した。

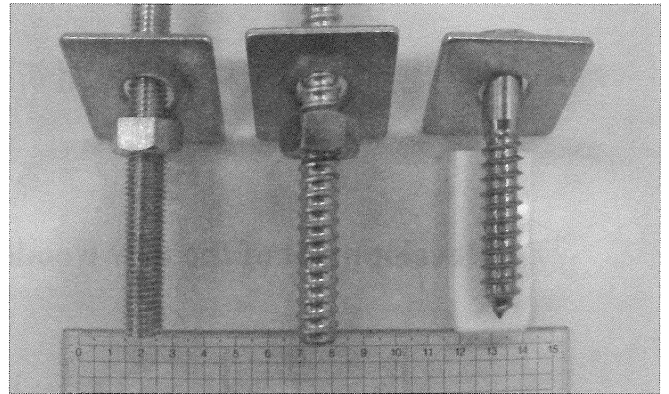


写真-1 左からM12-JISネジ、M12-IVYネジおよびM12-ラグスクリュー

3.1 IVYネジの化学成分

IVYネジはJIS G 3507「冷間圧造用炭素鋼線材」SWCH15Kより転造で作製した。

JIS規格に定められている化学成分は

SWRCH15K	C	Mn	Si	P	S
	0.13~0.18%	0.30~0.60%	0.10~0.35%	0.03%以下	0.03%以下

である。冷間加工用に使用されている標準的鋼材である。

表-1はIVYネジのチェック分析による化学成分である。ボルトもナットも炭素量が少なく冷間加工性の良い鋼材である。

表-1 IVYネジおよびナットの化学成分

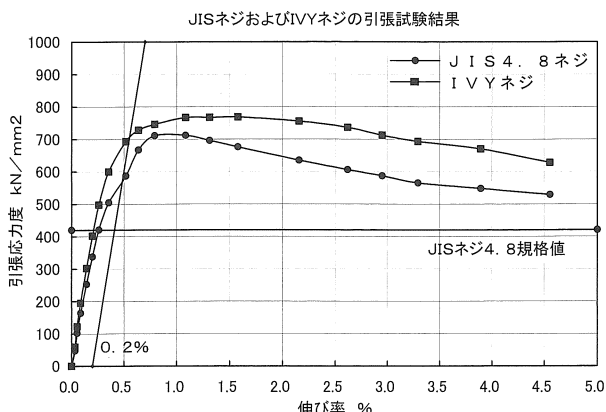
ネジの種類	化学成分 %				
	C	Mn	Si	P	S
IVYネジ-M12ボルト	0.13	0.57	0.22	0.02	0.01
IVYネジ-M12ナット	0.13	0.55	0.21	0.02	0.01

3.2 IVYネジの引張強さ

IVYネジ-M12とJISネジ4.8-M12のネジのままでの引張試験を行った。検長は300mmとした。JIS4号も検討試験結果を「表-1 IVYネジ-M12の引張試験結果」と「グラフ-1 M12-IVYネジおよびJISネジの荷重-伸びの関係」に示す。グラフはネジのままの結果を示している。

表-1に「JIS4.8ネジおよびIVYネジの引張試験結果」を示す。結果は試験体3個の平均値である。IVYネジの引張強さは769N/mm²であり、JISネジ4.8規格値420N/mm²以

上を満足している。引張応力度-伸び率の関係は「グラフ-2 M12-IVYネジの引張試験結



グラフ-1 M12-IVYネジおよびJISネジの応力-伸びの関係

果例」に示されたように、降伏点は明確でないものの、0.2%耐力は600N/mm²以上であり、高い値を示している。JISネジ4.8規格値降伏点336N/mm²以上を満足している。明確な降伏点が無いのは冷間加工の影響である。500N/mm²におけるヤング率は1.90×10⁵N/mm²でありネジ加工の影響でやや低めである。最大伸びは5%程度であり、伸び率としては大きなものではない。以上の試験結果からIVYネジはJISネジ4.8相当のネジとして使用可能と判断された。構造設計上はSS400と同等に使用できるといえよう。その場合、降伏点は235N/mm²以上、引張強さは400N/mm²以上となる。JIS4号での引張試験も行った。

ナットについては強度試験ができない。その代替として硬さ試験を行った。Hv>200となった。引張強さに換算すると700N/mm²程度と推定される。ナットの強度区分の表し方は、ネジの呼び径に応じた保証荷重応力値で表現される。組み合わせるボルトの強度区分に対応したナット強度を選定しなければならない。ボルト強度区分4.8に対応するのはナットの強度区分4となる。Hv>200であれば強度区分4は満足する。

3.3 ナットの引き抜き荷重

IVYネジは木ネジとボルトの双方の性質を持つファスナーである。そのためナットとの組み合わせで十分な引き抜き荷重が得られるかは、重要な課題となる。グラフ-4に「IVYネジナットの引き抜き試験結果」を示す。ナットが1個では40.3

表-2 JIS4.8ネジおよびIVYネジの引張試験結果

ネジの種類	降伏点	引張強さ	伸び
	N/mm ²	N/mm ²	%
JIS4.8ネジ ネジのまま	570	769	5
IVYネジ-M12 ネジのまま	650	769	5
IVYネジ-M12 JIS4号	600	745	7

kNで引き抜けてしまった。ボルト側のネジ山がつぶれていた。ナット2個では64.0kNまで引き抜けず、ネジ部が引張破断した。ネジ山が低いことと、ネジピッチが大きいことが、この結果をもたらしたものと見える。

ナット1個の引き抜き荷重はややばらつきが大きかったので、20個の試験を行った。その結果はナット1個

引き抜き荷重平均値 40.8kN 標準偏差 σ = 1.86kN

ナット2個

引き抜き荷重平均値 64.2kN 標準偏差 σ = 0.41kN

である。

1個の場合のナット引き抜き荷重はJISのネジのM12の4.8に相当する引張荷重と同じく35.4kNとすることが妥当であると判断した。ナット2個はネジ部破断で荷重は「表-1 IVYネジ-M12の引張試験結果」と同等なので、引き抜き強さをネジ部引張荷重まで必要とする場合は、ナット2個を使用し、ダブルナットとしなければならない。なお、ダブルナットであればゆるみ防止の副次的効果が期待できる。

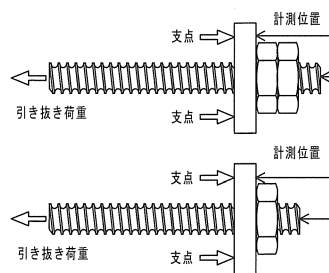
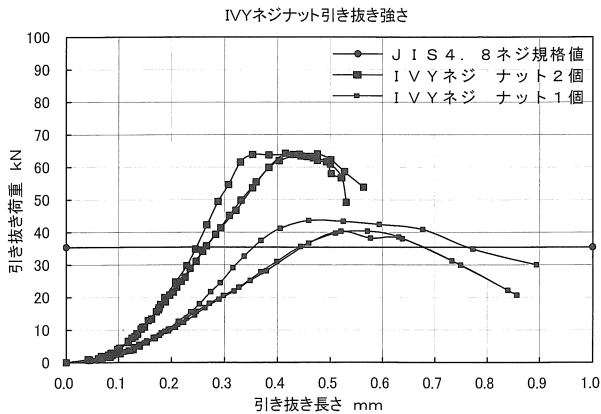


図-3 ナットの引き抜き試験体形状

ボルトとナットの組合せでは、締め付けによる破断は、ボルト側で発生することが好ましい。JIS B 1052-2:2009「締結用部品の機械的性質-第2部 保証荷重値規定ナット-並目ネジ」にナットの強度規格が定められている。実験の結果、この強度区分4に相当することが確かめられた。



グラフー2 ナットの引き抜き試験結果

保証荷重試験

保証荷重試験は、供試ナットの保証荷重値が規格に適合しているかを判定する試験である。

強度区分4はボルトの最小降伏点までを負荷させることができる引張強さを N/mm^2

で表した値の $1/100$ である。IVYネジのものは $400 N/mm^2$ 以上の降伏点となる。

締め付けた場合の破断は常にボルト側で発生することが望ましいが、IVYネジは冷間加工の影響が大きく、強度が極めて高くなっているため、ナットの保証荷重を満足することを目標とした。IVYネジの保証荷重試験結果はグラフー2 ナット引き抜き試験結果を示す。引き抜き荷重は $40 kN$ 程度であり、この時のボルトの引張応力は $474 N/mm^2$ となる。IVYネジの引張強度 $64.8 kN$ の 60% 程度となる。ネジピッチが粗いことと、ネジ山が低いことなどがその理由としてあげられる。ただしIVYネジを4.8相当のネジとして使う場合は、強度不足にはならない。

ダブルナットではボルト部分で破断した。当然、引張強度は $65 kN$ となった。M12 JIS 4.8ネジの保証荷重 $35.4 kN$ の2倍近くになる。構造安全上ボルト部破断を期待する場合はダブルナットにしなければならない。

IVYネジは以上の検討の結果、保証荷重を $35.4 kN$ とした。この場合、ナットからボルトが抜け出る荷重となる。

ナット1個はナットが抜けてしまった。引き抜き荷重はM12 JIS 4.8ネジの保証荷重 $35.4 kN$ を約 20% 上回っている。標準偏差 2σ で $37.1 kN$ であり、保証荷重を上回っている。ナット2個ではネジ部が破断し、ネジの引張強度となっている。標準偏差 2σ で $63.3 kN$ と大きな値となっている。ネジ部で破断しているため、ナット抜けに比べ、標準偏差は小さくなっている。安定した強度といえよう。

4. 木構造に適用する基礎的性状

IVYネジは基本的にナットを付けられる木ネジである。木ネジとしての性状の解明が必要となる。

4.1 使用木材の基礎的特性

愛知県内のスギ間伐材である。丸太の直径 $25 cm$ を $15 cm \times 15 cm$ の角材として使用した。当然、芯持ち材となる。

加工した時点の特性は

含水率 $13\% \sim 15\%$ 比重 $0.38 \sim 0.43$ 外周部年輪幅 $2.3 mm \sim 7.8 mm$

である。その後、5年間に渡って研究を続けたので5年後には

含水率 7.8% 比重 0.35 (測定値10個の平均値)

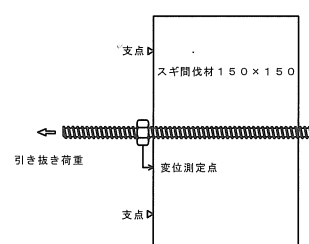
となった。乾燥は実験室内の自然乾燥であり、極めて乾燥が進んだ。

基準比重 (グループの気乾比重「含水率 15% 」の下限值) と対応樹種グループではJ3に相当する。J3の基準比重は 0.32 であり、やや上回っている。

IVYネジを木構造に適用するため、木ネジとしての特性を明らかにする必要がある。ここでは、スギ間伐材およびスギ集成材を使い、木ネジとして強度を確認した。なお木ネジであるM12ラグスクリュー長さ $100 mm$ を比較ため使用した。なお先穴は $8 mm$ とした。J3に対する推奨値はM12に対して $5 mm \sim 8 mm$ 程度とされている。ラグスクリューに比べ、ねじ込み難いことを考慮し、 $8 mm$ とした。(参考文献1)

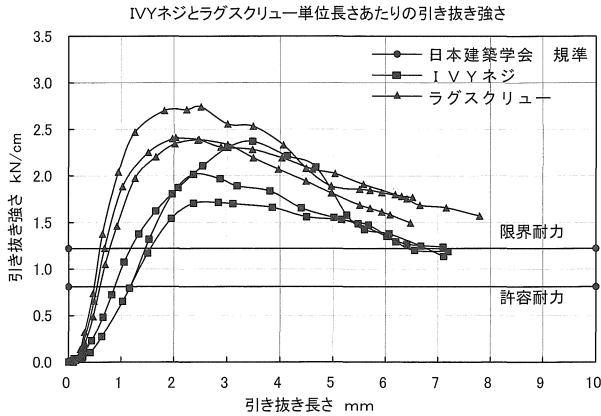
4.2 木材からの引き抜き荷重

木材は $150 mm \times 150 mm$ のスギ間伐材を使用した。木材のネジ下穴は $8 mm$ とした。IVYネジはM12とした。比較のため同径のラグスクリューを使用した。ラグスクリューはネジの頭に丸鋼を溶接して引張力をかけるようにした。



図ー4 IVYネジの引き抜き試験体形状

間伐材は芯持ち材なので I V Y ネジはほぼ木目に直角に位置している。引き抜き強度は木目を切り裂く形となる。研究の基本方針として、I V Y ネジの特性を生かすためには、この形の使用を中心とした。なお比較のため M 1 2 - L 1 0 0 ラグスクリューの引き抜き耐力も測定した。



グラフ 3 間伐材の引き抜き試験結果

試験結果をグラフ X に示す。ラグスクリューの引き抜き特性については以下の式が一般に使われている。

$$\begin{aligned} \text{終局限界耐力} &= 23.5 \rho^{0.8} d \\ &= 23.5 \times 0.35^{0.8} \times 12 \\ &= 1.22 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

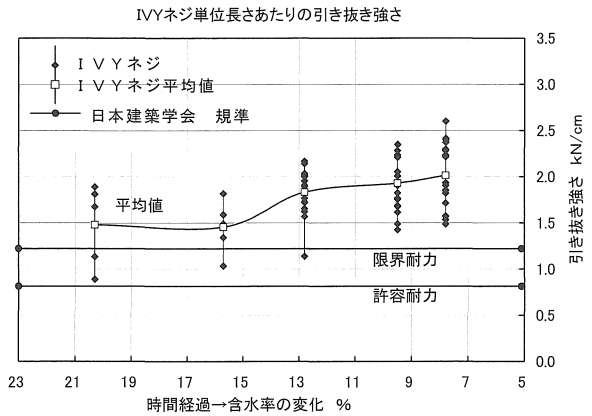
$$\text{使用限界耐力} = 1.22 \times 2/3 = 0.81 \text{ kN/cm}$$

ρ : 木材の比重
 d : ネジの径

なお、この値は日本建築学会 木質構造限界状態設計指針 (案) ・同解説によるものである。ラグスクリューのネジ部分長さは 6 cm であり、I V Y ネジは 15 cm である。単位長さあたりの引き抜き荷重は I V Y ネジがラグスクリューに比べ少ない、木ネジとしての効率は低くなっている。ただしラグスクリューはネジ部と胴部に分かれているが、I V Y ネジは全ネジであり、木材表面に近い部分はネジ効率が悪いと推定されるので、胴部に相当する長さをキャンセルすれば、大差ない。木ネジとしての性能はラグスクリューと同等といえる。

木材、特に間伐材は含水率が大きい。含水率と I V Y ネジの引き抜き強度の関係を 5 年間の経年変化を観察した。I V Y ネジの間伐材からの引き抜き荷重と間伐材の含水率の関係を示した。研究開始時から 3 年なので乾燥は実験室内の自然乾燥である。乾燥とともに引き抜き荷重を測定した。グラフの左側の含水率の大きい試験体ほど古いことになる。限界

耐力は J 3 材の比重 0.35 から単位長さあたりの強度は開始時の含水率は 20% 以上であり、最終的には 7.8% まで乾燥した。引き抜き荷重は乾燥とともに向上し平均値で 1.5 倍程度となった。この間に木材は乾燥収縮により大きくひび割れが発生した。ネジ込みの方向は木目と直角の方向なので、ひび割れの影響は軽微といえる。このような特性は、実構造物に適用した場合、極めて有効なといえる。J I S ネジは乾燥による緩みが大きな課題となる。これに対して I V Y ネジは乾燥による緩みを軽減できる。もちろん、乾燥により木材は収縮するので、ナットの緩みは除去できない。しかし、ネジ込み長さ 15 cm で 30 kN 程度の引き抜き荷重を維持できるので、構造物の乾燥収縮による変形を最小限にできる可能性がある。



グラフ 4 I V Y ネジの引き抜き強度の経年変化

5. 結果のまとめ

I V Y ネジと木材との組み合わせで、引き抜き強度がほぼラグスクリューなみであることと、5 年間の経年変化が良好な結果をもたらすことが明らかになった。鋼材と木材を接合するファスナーであるばかりでなく、木材加工一般に使用拡大が期待できる。

参考文献

- 1) J I S G 3507-1 「冷間圧造用炭素鋼—第 1 部：線材」
- 2) J I S B 0205-4 「一般用メートルねじ—第 4 部：基準寸法」
- 3) J I S B 1051 「炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質—第 1 部：ボルト、ねじ及び

植込みボルト」

4) J I S B 1 0 5 2 - 2 「締結用部品の機械的性質—第 2 部: 保証荷重値規定ナット—並目ネジ」

5) 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 1 9 7 9 年 9 月

6) 「木質構造設計規準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法」(日本建築学会)

7) 日本建築学会「木質構造限界状態設計指(案)・同解説」2 0 0 3 年