

木ねじの形状の違い及び腐食が引き抜き性能へ与える影響と引き抜き性能推定法の提案

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: Japanese 出版者: 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 公開日: 2023-04-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 公江, ゆき メールアドレス: 所属: 大阪市立大学 |
| URL | https://ocu-omu.repo.nii.ac.jp/records/2011597 |

木ねじの形状の違い及び腐食が引き抜き性能へ与える影響と

引き抜き性能推定法の提案

THE EFFECT OF WOOD SCREW SHAPE AND CORROSION ON WITHDRAWAL PERFORMANCE AND PROPOSAL OF ESTIMATION METHOD ON WITHDRAWAL PERFORMANCE

建築計画・構法分野

公江 ゆき

Architectural Planning & Building System

Yuki KOE

近年、木質構造用のねじの使用範囲拡大に伴い、引抜き方向に力を抵抗させる設計が増えている。また建築物の長寿命化に伴い耐久性の重要性も高まっている。ねじの引抜き性能は仕様ごとに実験によって確認され、理論的な裏付けに基づく性能の推定方法は確立されていない。本研究では、異なる形状のねじを強制的に腐食させて引き抜き試験を行い、腐食による性能の変化を確認した。また、引き抜き抵抗メカニズムを考察し、腐食による性能の変化を推定する手法を提案した。

In recent years, as the range of use of screws for wood structures has expanded, more and more screws are being designed to resist forces in the pull-out direction. Also, durability is becoming increasingly important as buildings have a longer service life. The pullout performance of screws is confirmed by experimentation for each specification, and no method for estimating performance based on theoretical support has been established. In this study, pull-out tests were conducted by forcing screws of different shapes to corrode to check the change in performance due to corrosion. Based on the consideration of pull-out resistance mechanism, a method to estimate the change in performance due to corrosion was proposed.

1. はじめに

1-1. 背景・目的

木造建築では、接合部の性能が建物全体の構造性能に与える影響は大きい。木造住宅や近年増加傾向にある中大規模木造建築などの木質構造建築物に用いられる接合具として、釘、ボルト、ラグスクリューなどがあるが、木ねじを用いた接合部が増加している。ねじはせん断方向に耐力を負担させるのが一般的であるが、使用範囲の拡大に伴い引抜き方向に耐力を負担させる設計が増加している。しかし木質構造設計規準・同解説に記載されている引き抜き耐力式は、JIS規格のねじを指定の条件下で施工した場合にのみ適用される一方で、一般に流通しているねじはJIS規格以外のものも多くその仕様は多岐に渡るため、引き抜き性能は仕様ごとに実験によって確認されているのが現状である。また上記耐力式は試験により定められた実験式であり、理論的に性能を推定する手法は確立されていない。

また、建築物の長寿命化による耐久性の重要性が高まっている。木造建築を安全に長期間利用するためには改修や補修方法を十分に検討し、その都度構造性能を正確に評価することが重要であるが、木造住宅の耐震診断における劣化診断では接合具の腐食による耐力は一律に低減されている。

本研究は、引き抜き試験から形状及び腐食度合いが性能へ与える影響を考察し、腐食による性能の変化を理論的に推定する手法を提案した。ここで本研究における腐食とは接合具の発錆を指す。本研究の成果から接合部における引き抜き性能の変化を予測し、正確な改修・補修が可能になることを最終的な目標とする。

1-2. 既往研究

木造住宅の劣化調査では、今村ら¹⁾が釘の目視による劣化度指標を定め、築年数や釘の直径変化率との関係式を提案した。また多くの劣化調査で高含水率になる部位で釘の劣化が著しいことが報告された。劣化調査に関する報告は全て1990年頃までに建設された物件であり、接合具は釘、ボルトおよびかすがいである。

木ねじの引き抜き性能について、樹種や形状が耐力に与える影響や実験式が、試験結果により報告されているが、理論的に性能を推定する方法は確立されておらず、木規準では金谷ら²⁾の実験をもとに制定された。本多ら³⁾によりラグスクリューボルト(以降、LSB)における理論式の考え方をを用いて、健全なねじの引抜き性能を理論的に推定する方法が提案された。

釘の場合、腐食すると耐力が上昇することが報告されている⁴⁾一方で、木ねじにおける腐食による性能の変化に関する研究はほとんどない。

2. ねじの普及と変遷

2-1. 調査の目的と概要

ねじが木造住宅に用いる接合金物として普及した時期や明確な要因は不明である。産業史や関連する法規の変遷の整理と金物及び接合金物メーカー2社、(財)日本住宅・木材技術センター（以降、住木センター）への聞き取り調査から普及の時期と要因を考察した。

2-2. ねじの産業と木造住宅における利用の変遷(表1)

ねじ産業の発展は幕末・明治期に遡る。ねじ及び製造機械は輸入代替の過程が長く、その期間にねじ商社が誕生した。国内では戦後の需要拡大に続き、高度経済成長による内需拡大と輸出市場の開拓により製造が本格化した。日本のねじ関連企業の創業は1940～1960年代に集中し、最盛期（1970年頃）には、一時的に世界最大の輸出国であった⁵⁾。その後ねじ産業は、プラザ合意による円高基調への移行が原因で輸出の競争力が失われたこととバブル景気の崩壊の二度の転換期を経て、ねじの事業所および生産量は激減し、需要産業のニーズに沿った形で生き残りを計る形となった⁶⁾。

建築関連のねじ企業においても最盛期は輸出が重点的であったが、不振となった後に国内の釘の販売先であった金物メーカーに、それまで米国に販売していたコーススレッド及び軽天ねじ等を販売し始めた。木造住宅においては、充電式ドライバーが爆発的に売れたことをきっかけにコーススレッドが普及した。それに伴い工場を持たないファブレスメーカーが台頭し、台湾から輸入して国内で販売を行なった。

一方、日本は戦後推定420万戸の住宅不足にあった状態から復興の施策や経済成長を経て大量の住宅が供給された。住宅政策のうち戦後最も住宅を供給した住宅金融公庫が発行した仕様書では、接合部には釘やボルトの使用が指示されている。また、初めて制定された木造建築用金物規格は性能過剰により住宅規模には普及しなかった。その中で粗悪な金物が出回った実情を鑑みて(社)日本木質構造材料協会(住木センターの前身)(以降、木構協)は接合金物の規格化、承認制度を開始したが、留め付けは釘とボルトが指定され、2010年までねじを用いた接合金物の規格はなかった。

1995年に初めてK社が公的機関によるねじを用いた接合金物の同等認定を取得し、各社が同様にねじ止めの金物の販売を始めた。また、2005年に初めてF社が枠組壁工法用石膏ボードねじの大臣認定を取得し、各社が同様に販売を始めた。そして軸組構法の石膏ボードもねじ止めできるよう取り組まれた。このように住宅の各部位においてねじが普及し始め、規格化の要望が各所から挙がったことから、住木センターは国土交通省補助事業を活用しねじ及びねじ用接合金物の規格化に向けた開発事業を開始し、規格が制定された。

2-3. まとめ

木造住宅に用いられる接合金物としてのねじの普及は、輸出不振による国内販路の拡充にはじまり、充電式ドライバーの普及がきっかけとなった。また、金物や接合金物メーカーが金物や面材をねじ止めできるような承認を得たことがきっかけとなり規格化に繋がった。

表1. 年表(聞き取り調査および文献7)より

| 年代 | 社会 | 年号および事象 |
|------|----------------|--|
| 1950 | 特需景気 | 1950 建築基準法公布施行(壁量規定) 1951 住宅金融公庫 仕様書発行開始 |
| 1960 | | 1962 電気マルノコ・電気ドリル開発、販売 1965 建築金物 JIS 制定 1969 M社電池ドリル販売開始 |
| 1970 | | 1974 (社)木構協 設立(住木の前身) 1976 Cマーク表示金物規格制定 1976 優良金物協議会 設立(木金協の前身) 1977 仕様書にCマーク金物 1978 Zマーク表示金物規格制定 1979 仕様書にZマーク金物 |
| 1980 | プラザ合意 | 1981 基準法改正(新耐震規準) 1982 住木センター同等認定制度開始 1985 以降 コーススレッド・軽天ねじの国内販売強化 1987 基準法改正(準防火地域3階建て建設可) |
| 1990 | バブル崩壊 阪神大震災 | 1995 K社 ねじ止め金物同等認定取得 1997頃 充電式ドライバー普及 |
| 2000 | | 2000 告示1460号 接合金物の義務化 2001頃 住木誌「工具に対応した金物用ねじの登場」 2005 F社 枠組壁工法石膏ボードねじ大臣認定取得 2006 住木セ.ねじ及びねじ用金物の規格化事業開始 |
| 2010 | | 2010 タッピングねじの規格制定 2012 仕様書「釘以外の接合金物を用いる場合は特記」 |

3. 木ねじの形状と腐食が引き抜き性能へ与える影響

3-1. 実験概要

本実験では、木材に打ち込んだ複数の仕様の木ねじを強制的に腐食させ、引き抜き試験を行うことで、単位接合部にねじの腐食が起きた際の引き抜き性能を検証した。使用したねじの寸法を表あ、試験体仕様を図1に示す。引き抜き試験終了後、木ねじの腐食度合いを定量評価した。また、ねじ打ち込み時と最大耐力時の断面の状態を顕微鏡で観察した。

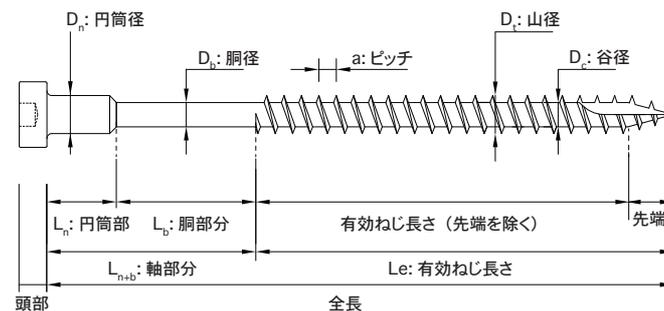


図1. ねじ各部名称

表2. ねじ寸法一覧(mm)

| ねじ呼称 | ねじ長さ Le | 軸長さ L _{nb} | 山径 Dt | 谷径 Dc | ピッチ a | 試験体高さ h(図2) |
|------|---------|---------------------|-------|-------|-------|-------------|
| 045a | 38 | 5 | 5.5 | 3.7 | 3.2 | 60 |
| 055a | 45 | 10 | 5.5 | 3.5 | 2.5 | |
| 075a | 60 | 21 | 5.5 | 3.7 | 3.2 | |
| 075b | 52 | 15 | 6.0 | 4.8 | 2.7 | 120 |
| 075c | 60 | 15 | 7.0 | 4.2 | 3.2 | |
| 090a | 60 | 30 | 5.5 | 4.5 | 2.5 | |
| 105a | 90 | 15 | 7.0 | 4.8 | 3.2 | 150 |
| 150a | 70 | 80 | 6.0 | 3.5 | 2.5 | |

3-2. 実験方法

3-2-1. 腐食促進操作

ねじ頭にシーリング剤を塗った試験体を、水を張ったコンテナ内に並べ70℃の恒温器に静置することで、腐食を促進させた。腐食させる期間は、0週(健全)、1週、3週、5週、(7週)とした。

3-2-2. 引抜き試験および断面観察試験

図2のようにアムスラー万能試験機を用いて1mm/minの速度で加力し、最大荷重の50%になるまで一方向単調静的加力引張試験を行った。断面観察のための試験では、最大荷重に達した時点で加力を終了し、試験体を割り、断面の状態を光学顕微鏡を用いて観察した。

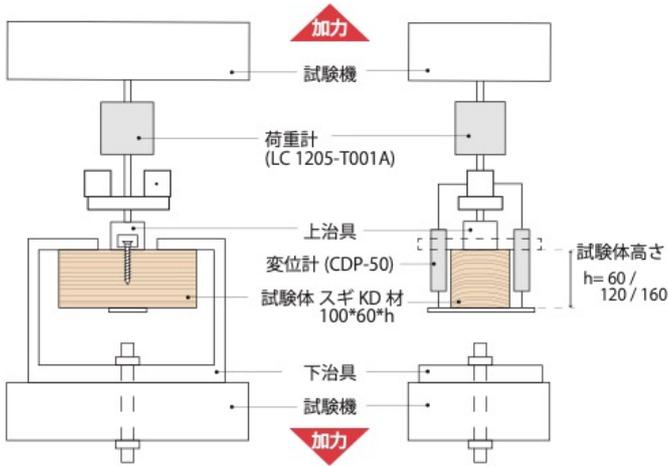


図2 試験セットアップ図

3-2-3. 腐食度合いの測定

引き抜き試験が終了後、試験体から取り出したねじはJASO M609-912に従って錆を取り除き、重量及び各部径(頭部・円筒部・胴部・ねじ山・ねじ谷)を測定した。各部径の測定はデジタル式ノギスを用い、それぞれの位置で直行二方向を測定し、平均値を算出した。

3-3. 結果と考察

3-3-1. 形状と引き抜き性能

既往研究や規準式と同様に、ねじ長さ及び山径と引き抜き性能は正の相関関係が確認できた(図3)。

その他の形状と性能に特に相関は見られなかった。

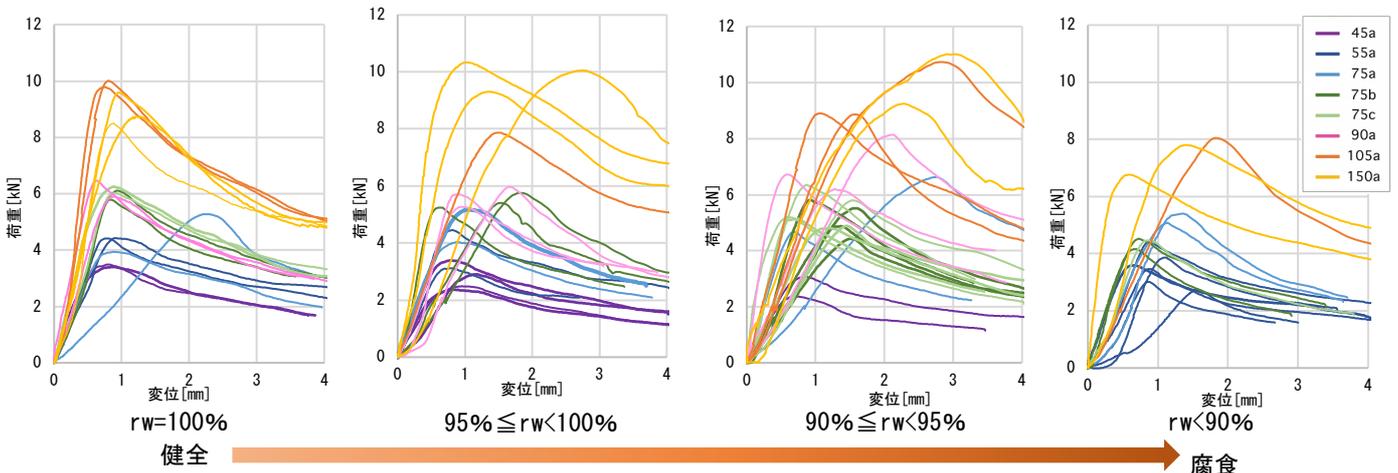


図6. 腐食度合いごとの荷重変位曲線

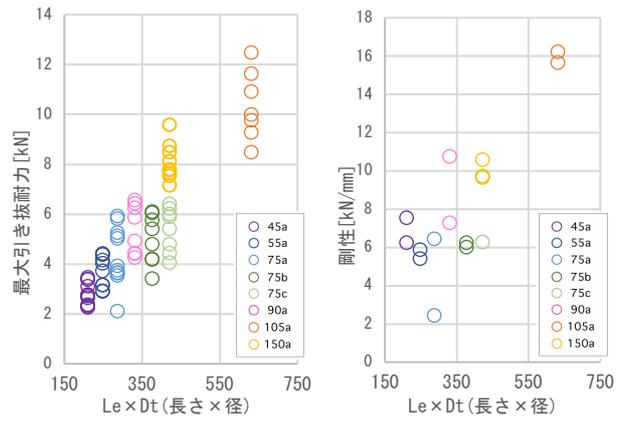


図3. 長さ×径-引き抜き性能

3-3-2. 腐食度合いの定量評価

除錆後のねじはねじ山の減少、谷や軸部の凹凸が確認できた(図4)。また重量残存率と各径残存率は正の相関があり、腐食後の各径は以下の式で表せる(図5)。

$$D'_t = (0.74 r_w + 26.39)/100 \times D_t \quad (1)$$

D'_t : 腐食後山径

$$D'_c = (0.19 r_w + 0.49)/100 \times D_c \quad (2)$$

D'_c : 腐食後谷径

ここで、 r_w : 重量残存率(%)



図4. 除錆後のねじ

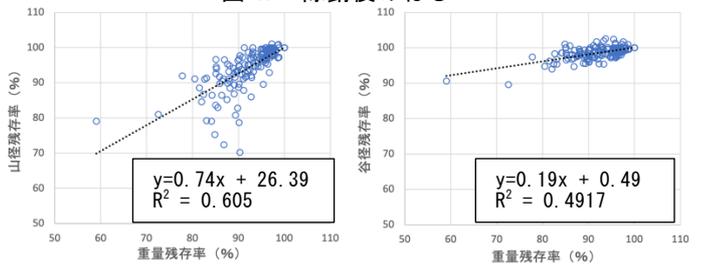


図5. 重量残存率-各径残存率

3-3-3. 腐食による引き抜き性能の変化

図6に腐食度合いごとの荷重変形曲線、図7に重量残存率と引抜き性能の比較を示す。引抜き性能は、腐食すると直線的に下がるものと、一時的に上昇または横ばいになるものに分かれた。ただし剛性はデータ数

が少なくばらつきが大きい。ねじの引き抜きはねじ山による抵抗と、軸部や谷部分の摩擦による抵抗の和であり、図8のように腐食すると前者は減少し、後者は上昇すると考えられる。表3に全長に対する各部の割合と、腐食による性能の変化を示す。軸部および谷部の割合が少ないと摩擦による抵抗の影響が小さくなり、腐食すると直線的に性能が低下すると考えられ、表3からその閾値はおおよそ74%である。

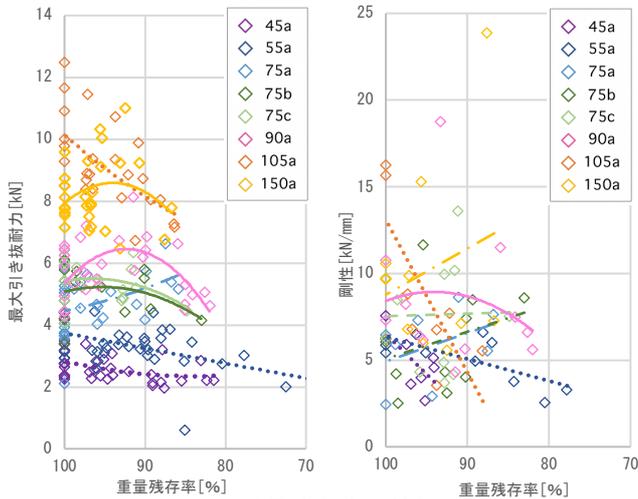


図7. 重量残存率—性能

表3. 各部割合と性能変化

| | 軸部割合 | 軸と谷割合 | 耐力変化 | 剛性変化 |
|-----|------|-------|------|------|
| 45a | 0 | 73.6 | → | → |
| 55a | 10 | 73.1 | → | → |
| 75a | 15.4 | 77.7 | → | → |
| 75b | 14.3 | 77 | → | → |
| 75c | 14.3 | 75.6 | → | → |
| 90a | 29.4 | 78.9 | → | → |
| 105 | 5.3 | 73 | → | → |
| 150 | 51.7 | 85.6 | → | → |

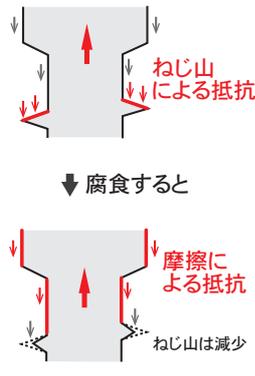


図8. 腐食による影響

3-3-4. 各状態のねじ部分の断面

図9, 10に打ち込み時と最大耐力時の断面を示す。打ち込むと木材はねじの谷部に圧縮され、ねじ山によって繊維方向に開かれるように「めねじ」が形成される。最大耐力時にはねじ山頂点部に亀裂が入っていることが確認できる。腐食すると亀裂の場合に加えて、ねじ谷部に存在する木材のせん断破壊が確認できた。

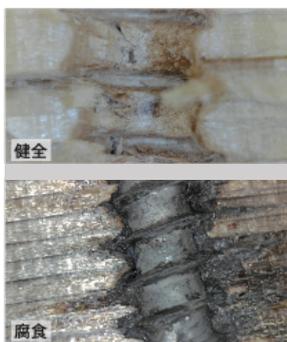


図9. 打ち込み時断面

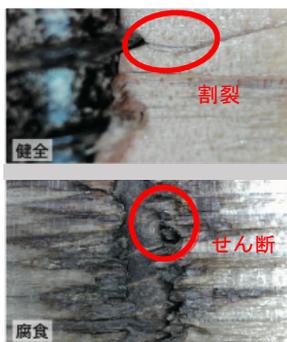


図10. 最大耐力時断面

4. 引き抜き耐力の推定

4-1. 概要

最大引き抜き耐力 P_{max} は、ねじ山による耐力 P_t と軸部および摩擦力 P_f の和であると考えられる。

$$P_{max} = P_t + P_f \quad (3)$$

それぞれについてねじの腐食による変化を、重量残存率 r_w を用いて定式化することを目標とした。

4-2. ねじ山による耐力 P_t

4-2-1 既往研究(割裂強度)によるねじ山耐力の推定

本多ら³⁾は、単位ねじ部における強度 P_{single} をねじ山に起きる割裂による耐力として算出し最大引き抜き耐力を推定する方法を提案した。(以降、本多式) 3-3-4の通り、健全なねじの引き抜き耐力はねじ山頂点の割裂による可能性が高い。以下に本多式の導出を示す。

まず、ねじ山の割裂を破壊力学における開口モード(モードI)とみなし、破壊の定義を(4)に定める。

$$G_c = -P_{single} \cdot (\delta_1 - \delta_2) / t\Delta\beta \quad (4) \quad G_c: \text{エネルギー解放率}$$

次に、図11のように単位ねじ部における、ねじ谷部に存在する木材を等価梁置換法によりモデル化し、加力初期と割裂が $\Delta\beta$ 進展した際のせん断変形による加力点の変位 δ_1, δ_2 を以下のように求め^{注1)}、(5)(6)を(4)に代入して P_{single} を算出する。

$$\delta_1 = \kappa w t^2 / 2GaD_t \quad (5) \quad \kappa: \text{形状係数}(=1.2)$$

$$\delta_2 = \kappa w (t^2 + 2t\Delta\beta) / 2GaD_t \quad (6) \quad G: \text{せん断弾性係数}$$

そして、 P_{single} を打ち込み長さ分だけ足し合わせることで最大引き抜き耐力 P_{90} とする。

$$P_{90} = \frac{L_e}{a} P_{single} = L_e D_t C_\gamma \sqrt{\frac{2}{a}} \quad (7) \quad C_\gamma: \text{割裂破壊定数}^{注2)}$$

このように P_{single} をねじ山頂点の割裂耐力と仮定すると P_{single} はねじ山高さの変化に依存せず、腐食によりねじ山が減少しても耐力は変化しないという理論になる。(7)による計算値と実験値を比較すると、本多らによる検証結果と同様に安全側の評価となる(図12)

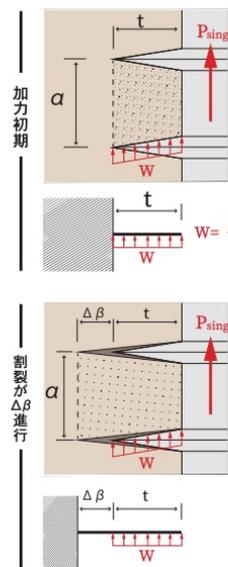


図11. モデル化

が、3-3-3で示した通り、腐食すると耐力はねじにより変化するため、実験値から外れた値となる(図17 緑線)。

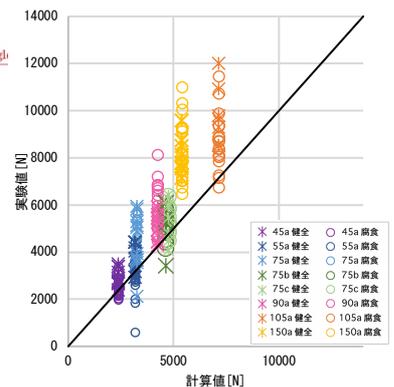


図12. 式(7)計算値—実験値

4-2-2. せん断強度によるねじ山耐力の推定

3-3-4 で行った考察から、腐食によりねじ山が減少すると、単位ねじ部の強度はねじ山頂点の割裂よりも、ねじ谷部に存在する木材のせん断破壊が先行する可能性がある。したがって、腐食した場合のねじ山による引抜き耐力 P_t は以下の式で表すことができる。

$$P_t = f_s \cdot \pi \cdot D_t' \cdot Le \quad (8) \quad f_s: \text{せん断強度}^{注3)}$$

(8)の計算値と実験値を比較すると、腐食したねじの計算値が実験値に近づいた(図14)。しかし、破壊の原因が割裂からせん断へ移行する閾値は、本多式が割裂破壊定数に大きく依存するため決定できず、今後の課題とする。また P_t のみでは、腐食により耐力が一旦上昇するねじがある点を再現できていない(図17 青線)。

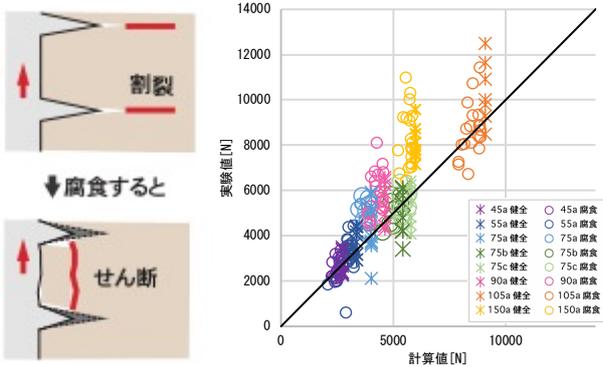


図13. 破壊の変化 図14. 式(8)計算値—実験値

4-3. 摩擦による耐力 P_f の追加

3-3-3 の通りねじにより腐食による耐力の変化が異なるのは、腐食すると摩擦による影響が大きくなるのが要因と考える。そこで、釘の引き抜き試験結果⁴⁾を用いて釘とねじの軸部および谷部の面積比から摩擦力 P_f を算出した。その際、①繊維を押し割って打ち込まれるため、釘と木材繊維は円周分接触しない／②打ち込み方による接合具と木材繊維の接し方の違いから、加力時の摩擦のかかり方が異なる、等の理由から釘の引き抜き耐力について、釘の表面積をねじの軸部および谷部面積に単純に換算した値は、摩擦力として高く見積り過ぎることが考えられる。そこで本研究では試行錯誤的に軸部面積および谷部面積を低減し、摩擦力 P_f を以下の式に定めた。

$$P_f = P_{CN65} \cdot \left(\frac{1}{3.5} S'_{n+b} + \frac{1}{7.5} S'_c \right) \quad (9) \quad \begin{matrix} S'_{n+b}: \text{腐食後の軸部表面積} \\ S'_c: \text{腐食後の谷部表面積} \end{matrix}$$

ここで単位面積あたりの摩擦力は P'_{CN65} 釘の引き抜き試験結果を用いて定めた。(図16)

$$P'_{CN65} = \begin{cases} \frac{1}{2}(-91.43 r_w + 92.96) & , r_w = 100 \\ -91.43 r_w + 92.96 & , 100 > r_w \geq 95 \\ -7.10 r_w + 12.68 & , 95 \geq r_w \end{cases} \quad (10)^{注5)}$$

(3)(8)(9)による最大耐力の推定値と、実験値を比較すると計算値は実験値を捉え(図16)、ねじにより腐食すると一旦耐力があがる傾向も再現できた(図17 橙線)。

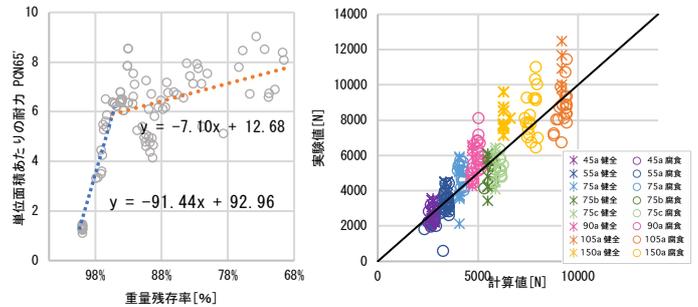


図15. 単位面積あたりの摩擦力 図16. 式(3)計算値—実験値

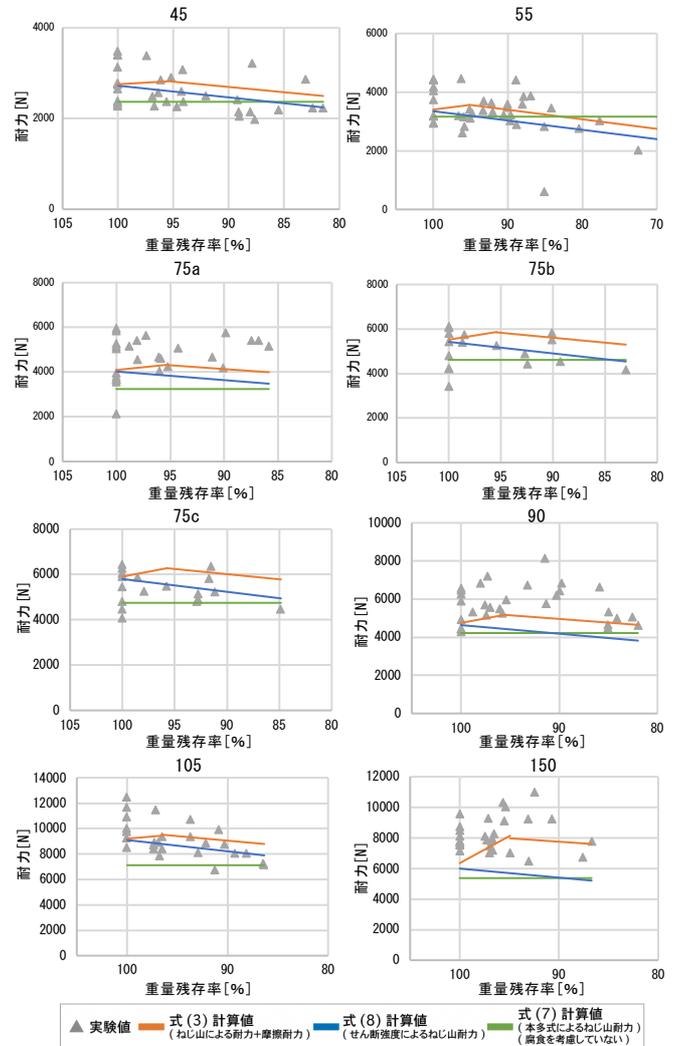


図17. 重量残存率—耐力 (各ねじ)

5. 引き抜き剛性の推定

5-1. 概要

剛性 K についても耐力と同様に、ねじ山による剛性 K_s と軸部および谷部の摩擦による剛性 K_f の和であると考え、それぞれについてねじの腐食による変化を、重量残存率 r_w を用いて定式化することを目標とする。

$$K = K_s + K_f \quad (11)$$

5-2. ねじ山による剛性 K_s

ねじ型接合具としてLSBの引抜き剛性が中谷ら⁸⁾によって提案されており、木質構造接合部設計マニュアルに「すべり係数 K_s 」として記載されている。本多ら³⁾はすべり係数 K_s の式に含まれる係数のうち、せん断剛性係数 Γ と木材の有効断面積 A_w には個別に実験が必

要であることから実務的に有用性が低いことを指摘し、式により算出する方法を示した。

本研究では上記のすべり係数 K_s 、せん断剛性係数 Γ および木材の有効断面積 A_w の算定式に対して、腐食による各径の減少を反映させ、以下の式を得た。

$$K_s = \frac{\Gamma \pi D_t' (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kL}{k(E_s A_s \cosh kL + E_w A_w)} \quad (12)$$

E_w :木材のヤング係数
 E_s :鋼材のヤング係数

ただし、 $k = \sqrt{\Gamma \pi D_t' \left(\frac{1}{E_w A_w} + \frac{1}{E_s A_s} \right)}$ 、 $A_s = \frac{\pi}{4} D_t'^2$ A_s :接合具の有効断面積

$$\Gamma = \frac{K_{single}}{\pi D_t' a} = \frac{\frac{\pi}{4} (D_t'^2 - D_p^2) C_x C_y E_{90}}{\pi D_t' a^2} \quad (13) \quad K_{single}:めり込み剛性^{注5)}$$

ただし、 $C_x = 1 + \frac{4a}{3x_p}$ 、 $C_y = 1 + \frac{4a}{3ny_p}$ 、 $x_p = y_p = \frac{\sqrt{\pi(D_t'^2 - D_p^2)}}{2}$

$$A_w = \pi \left(1.5a + \frac{D_t'}{2} \right) \left(\frac{1.5}{n} a + \frac{D_t'}{2} \right) - \frac{\pi}{4} D_t'^2 \quad (14) \quad n:樹種群による値 (スギ:n=5)$$

(12)(13)(14)によるすべり係数の計算値と実験値を比較すると、健全な状態において、特に有効ねじ長さが短いねじは危険側の評価となる。既往の検証においても同様の傾向を示しており、この原因として(12)は木材の有効断面積の範囲内で応力が均一に分布していると仮定するが、実際は応力の影響範囲が位置より異なり立体的に分布することが挙げられる。腐食による剛性の変化について、実験値はばらつきが大きいが、各径の減少によるすべり係数 K_s 、すなわち「ねじ山による剛性」の減少を再現できた(図18青線)。

5-3. 摩擦による剛性 K_f の追加

耐力の場合と同様の手法で、釘の実験結果より単位面積あたりの剛性 K_{CN65}' を求め、ねじの軸と谷部の面積を乗じることで、ねじの摩擦剛性の算出を試みた。この場合も、算出した摩擦剛性は高く見積り過ぎるため、試行錯誤的に低減を行い、以下の式に定めた。

$$K_f = K_{CN65}' \left(\frac{1}{4} S_{n+b}' + \frac{1}{6.5} S_c' \right) \quad (15) \quad K_{CN65}': \text{単位面積あたりの剛性}$$

$$K_{CN65}' = \begin{cases} -91.43 r_w + 92.96 & , 100 > r_w \geq 95 \\ -7.10 r_w + 12.68 & , 95 \geq r_w \end{cases}$$

(11)~(15)による引抜き剛性の計算値と実験値を比較すると、5-2の通りすべり係数が原因で全体的に危険側の評価となるが、ねじの仕様により腐食すると一旦耐力があがる傾向を再現できた(図18橙線)。

6. 結論

本研究で得た知見を以下にまとめる。

- ①ねじは電動工具の普及と公的機関の承認がきっかけで1995~2010年の間に普及したと考えられる。
- ②実験結果から、腐食による性能の変化のねじによる違いは軸部と谷部の割合で分けられた。
- ③ねじの引抜きはねじ山による抵抗と軸及び谷部の摩擦による抵抗の和と推測でき、最大引き抜き耐力及び引き抜き剛性の推定方法を提案した。実験値と比較す

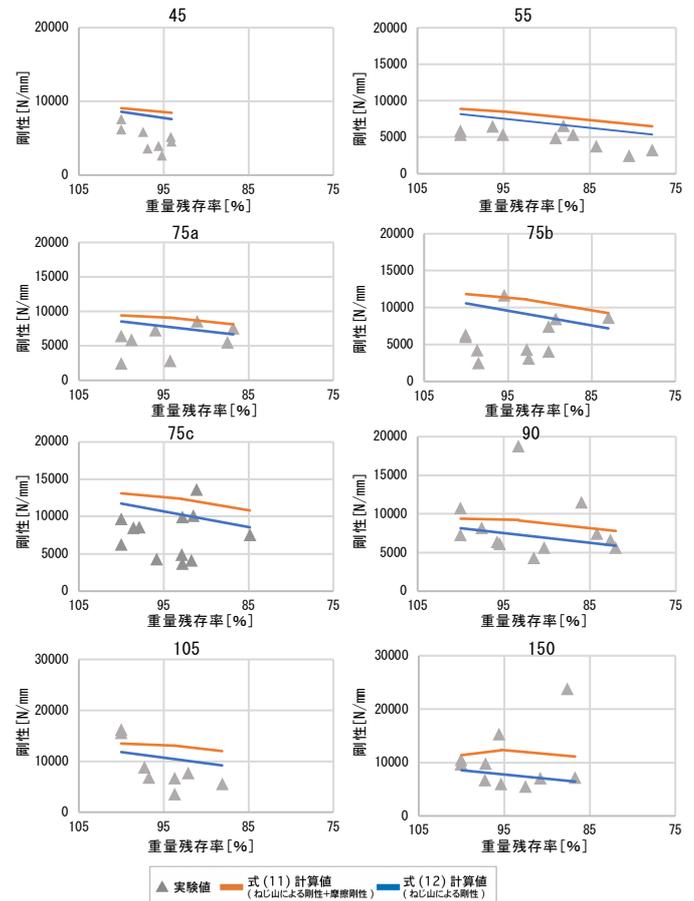


図18. 重量残存率—剛性 (各ねじ)

ると、計算値は腐食による性能の変化を再現できた。今後は、耐力の推定において破壊の原因がねじ山頂点の割裂からねじ谷部のせん断に移行する閾値および摩擦力の理論的な決定手法について検討が必要である。また、ねじ山による剛性に採用した既往のすべり係数 K_s について、より適切な推定方法を検討すべきである。

注

- 注1)幾何学的にせん断変形が卓越するため曲げによる変位は無視する。
- 注2)割裂破壊定数は安村ら⁹⁾による密度で定まる計算式を用いた。(=10.3)
- 注3)繊維直交方向に打ち込んだねじを引き抜く際のせん断面は木口面と柁目面の2面であるとし、井道ら¹⁰⁾による木口面をせん断面とした実験値を2面に換算した値を用いた。(=5.10)
- 注4)健全なねじの最大耐力時の引抜け変位は0.9mm程度であり、健全な釘の0.9mm引き抜け時の耐力は最大耐力の50%程度であったため、健全な場合の単位面積あたりの摩擦耐力を半分到低減した。
- 注5)稲山のめり込み式における加圧面積をねじ山の螺旋をリング形状に置換した面積とした。また、余長は無量大とした。

参考文献

- 1)今村浩人 他5名:30年経過した木造住宅における鉄釘の劣化調査、林試研報、No.322、pp.95-104、1983
- 2)金谷紀行:各種接合部に用いた木質構造接合部の耐力と変形性能に関する研究、東京大学博士論文、1986
- 3)本多渡 他3名:木質構造用ビスの繊維直交方向引き抜き抵抗メカニズムと耐力推定式の提案、木材学会誌 Vol.67, No.4, 178-187, 2021
- 4)石山大樹 他1名:釘接合部の劣化時せん断性能に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第74巻、第646号、pp.2281-2289、2009
- 5)社団法人ねじ工業協会編集委員会 編:日本ねじ工業史、1979
- 6)近藤淳:需要産業の国際化と日本基盤技術産業の競争力低下-日本・台湾・中国におけるネジ産業への質問調査から、経済論叢、187, 3, pp.45-65, 2013
- 7)(財)日本住宅・木材技術センター:木造建築物用接合金物規格の改正について、住宅と木材、2010.10, 2011.09
- 8)中谷誠 他1名:ラグスクリューボルトの引抜き性能発現機構(第2報)、木材学会誌 51(5)、311-317, 200
- 9)安村基:繊維直交方向を受けるボルト接合部における割裂破壊荷重推定法、日本建築学会学術講演梗概集、構造III、2006、pp.65-66
- 10)井道 他2名:実大いす型せん断治具を用いたスギ製材品のせん断強度の評価、木材学会誌 Vol.50, No.4, 220-227, 2004