

木材の吸脱湿サイクルに伴う釘の引き抜き抵抗

金森勝義 千野 昭
河原田 洋 三

1. はじめに

釘の引き抜き抵抗は対象となる木材と釘が同一のものであっても、釘を打ち込む時の木材の含水率条件と打ち込んだ後の雰囲気条件によって著しく変動すると言われている。

しかしながら我が国ではこれらの条件を考慮した文献が数少なく¹⁾²⁾、釘の引き抜き耐力に対する評価方法の検討は北米などに比較すると必ずしも十分ではないと指摘されている³⁾⁴⁾。

このような観点から、前報⁵⁾では生材に釘を打ち込み、それを徐々に乾燥させた場合の釘の引き抜き抵抗について検討した。本実験では気乾材に釘を打ち込み、それを吸湿と脱湿の繰り返しを受けるような雰囲気条件に放置した場合（以下、吸脱湿条件と略す）の釘の引き抜き抵抗について検討した。

また比較のために、同様の気乾材に釘を打ち込み、それを乾湿の影響を受けないような雰囲気条件に放置した場合（以下、平衡条件と略す）についても併せ検討したので報告する。

なお本報告の一部は昭和51年度林業研究発表大会において発表した。

2. 実験方法

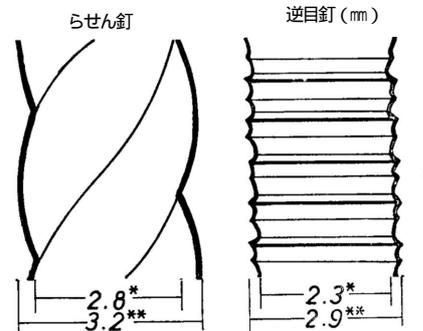
2.1 供試材

実験には北海道産のエゾマツ、カラマツ、ミズナラの気乾材を用いた。各樹種の全乾比重、平均年輪幅、

第1表 各樹種の全乾比重、平均年輪幅、含水率

樹 種	全乾比重		平均年輪幅 (mm)		含水率* (%)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
エゾマツ	0.39	0.02	1.8	0.4	11.1	0.6
カラマツ	0.45	0.02	4.8	0.7	11.1	0.4
ミズナラ	0.63	0.02	1.0	0.2	10.8	0.5

*釘を打ち込む時の含水率である。



第1図 らせん釘と逆目釘の胴部の形状

*ルート径, **クレスト径

含水率は第1表に示すとおりである。

試験片は厚さ5cm、幅5cm、長さ12cmの二方柱目板に仕上げたのち、温度 20 ± 2 、関係湿度 65 ± 5 %の恒温恒湿室に約1ヵ月間調湿させてから実験に供した。試験片の数は各試験条件につき5個とした。

2.2 釘の種類と形状

実験に用いた釘は長さが約50mmの鉄丸釘、らせん釘 (Helically threaded nail)、逆目釘 (Annularly threaded nail) の3種類である。鉄丸釘は直径が2.77mmのN50釘、らせん釘と逆目釘は胴部の形状が第1図のものである。なお逆目釘は他の釘よりもルート径が小さく、しかも表面が亜鉛メッキされたものであるために、ミズナラには打ち込みが困難であったので使用しなかった。

2.3 釘の打ち込み

釘は前報⁵⁾と同様に、試作した釘打ち機を使って試験片の各打ち込み面（板目、柱目、木口）に2本ずつ釘長の2/3だけ打ち込み、その打ち込み位置はJIS Z2121に準拠した。

2.4 雰囲気条件

釘を打ち込んだ試験片は第2表の2通りの雰囲気条件に所定の時間まで放置した。吸脱湿条件は

第2表 零 囲 気 条 件

		温 度	関 係 湿 度	平 衡 含 水 率
		(°C)	(%)	(%)
吸 脱 湿 条 件	吸 湿	20 ± 2	85 ± 5	約 18
	脱 湿	20 ± 2	25 ± 5	約 5
平 衡 条 件		20 ± 2	65 ± 5	約 12

吸湿と脱湿を各々1ヵ月間ずつ繰り返し、平衡条件は釘を打ち込む以前に試験片を調湿した雰囲気条件と同一にして行った。

2.5 釘の引き抜き

釘の引き抜きは三洋製作所製の試験機により、引き抜き速度を1.5mm/minに設定して行った。

吸脱湿条件の場合は吸湿 脱湿 吸湿の2ヵ月間を1サイクルとして、打ち込み直後(0サイクル), 1・3・5サイクル後に釘を引き抜いた。ただし、0から1サイクルまでの放置時間は気乾材を起点としたので3ヵ月間である。

平衡条件の場合は打ち込み直後, 24時間後, 1・2週間後, 1・3・6・11ヵ月後に釘を引き抜いた。

3. 結果と考察

3.1 鉄丸釘

吸脱湿条件の鉄丸釘の引き抜き抵抗は第2図に示すように、樹種によって多少異なる傾向が認められた。

エゾマツとカラマツでは各打ち込み面とも0から1サイクルまでの減少が著しく、その後はほぼ一定の値を示した。ミズナラでは各打ち込み面とも他の2樹種

と同様に0から1サイクルまでの減少が著しいが、その後も徐々に低下する傾向を示した。

この樹種による傾向の違いは木材の吸脱湿サイクルに伴って釘身付近の繊維が収縮と膨潤を繰り返し、その弾性回復が次第に失なわれるまでの時間が樹種によって異なるためと考えられる。

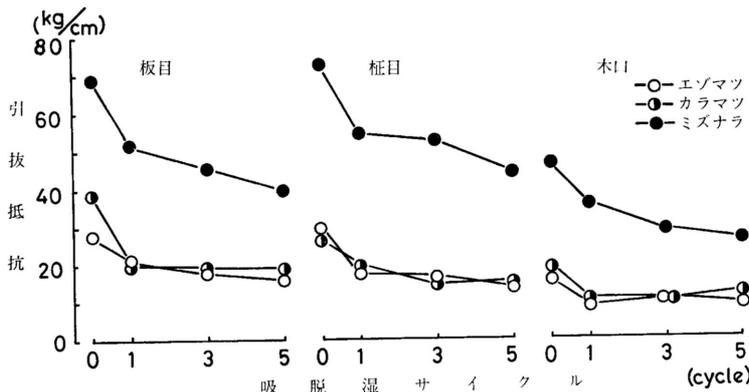
3樹種の各吸脱湿サイクルにおける引き抜き抵抗を比較すると、各打ち込み面ともミズナラが他の2樹種よりも大きく、エゾマツとカラマツでは板目の0サイクル以外に顕著な差が認められなかった。一般に鉄丸釘の引き抜き抵抗は木材の比重の5/2乗に比例する⁶⁾が、今回の実験に用いたカラマツは第1表に示すように、年輪幅が広いためにこのような結果を示したものと考えられる。

次に各打ち込み面の引き抜き抵抗を比較すると、3樹種とも板目と柾目の値は全ての吸脱湿サイクルにおいて木口の値よりも大きかった。Stern⁷⁾の実験ではサウザンパインの含水率を16% 約35% 約15%のサイクルで3サイクルまで繰り返してから含水率10%まで乾燥させた結果、長さ2 1/2", 直径0.113"の鉄丸釘の引き抜き抵抗は木材の吸脱湿に伴って増減しながら徐々に増加した後、ほぼ打ち込み直後の値まで漸減すると報告している。またSenftら⁸⁾の実験ではダグラスファーとレッドオークの含水率を5% 20% 5%, 20% 5% 20%の2通りのサイクルで10サイクルまで測定した結果、6, 8, 10ペニー釘とこれらを亜鉛メッキした釘の引き抜き抵抗は全ての条件とも1回若

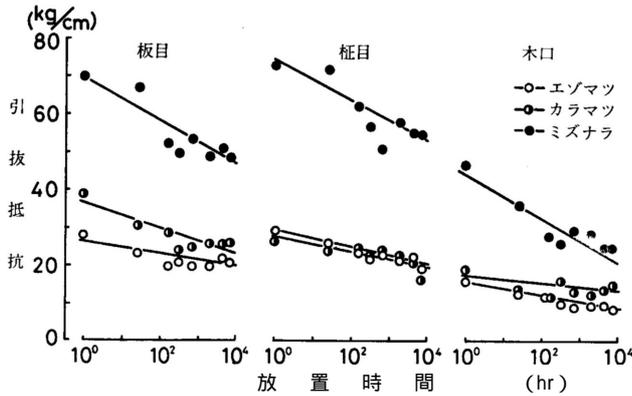
しくは2回の増減を経たのち漸減するが、10サイクルの値は打ち込み直後の値よりも低下しないと報告している。

このように既往の文献と傾向を異にしたのは吸脱湿の雰囲気条件, 1サイクルの設定時間及び樹種などの違いによるものと考えられる。

なお吸湿の過程で釘にさびが発生したが、このさびによる引



第2図 吸脱湿条件における鉄丸釘の引抜き抵抗



第3図 平衡条件における鉄丸釘の引抜抵抗

引き抜き抵抗の増加は認め難いようであった。

一方比較のために行った平衡条件の鉄丸釘の引き抜き抵抗は第3図に示すように、各樹種、各打ち込み面とも放置時間を片対数に取ると直線的に減少する傾向を示した。この傾向はNoguchiら²⁾が各種の鉄丸釘について行った実験結果と一致した。

3樹種の各放置時間における引き抜き抵抗を比較すると、各打ち込み面ともミズナラが他の2樹種よりも全て大きな値を示し、エゾマツとカラマツの柾目では両樹種に顕著な差が認められなかった。また打ち込み面の引き抜き抵抗を比較すると、3樹種とも各放置時間における値は木口よりも板目、柾目の方が大きかった。ただしカラマツの11ヵ月後の値では木口の方が柾目よりも若干上回るものも見られた。

第3表 鉄丸釘の2条件における増減率と平均値の差の検定

樹種	打ち込み面	増減率* (%)		2条件の平均値の差の検定**
		吸脱湿条件	平衡条件	
エゾマツ	板目	-40.9	-26.0	○
	柾目	-51.4	-34.8	◎
	木口	-42.9	-43.5	NS
カラマツ	板目	-50.3	-31.7	○
	柾目	-43.7	-38.1	NS
	木口	-35.7	-20.5	NS
ミズナラ	板目	-42.9	-29.3	◎
	柾目	-39.4	-25.2	◎
	木口	-43.6	-45.9	NS

* $\left(\frac{\text{吸脱湿条件5サイクル又は平衡条件11ヵ月後の平均値}}{\text{打ち込み直後の平均値}} - 1 \right) \times 100$ (%)

+は増加率を、-は減少率を表わす。

** 吸脱湿条件5サイクルの平均値と平衡条件11ヵ月後の平均値の差をt検定した。○は各々危険率5%と1%で有意、NSは有意差が認められなかったものである。

第3表は吸脱湿条件5サイクル（釘を打ち込んでから11ヵ月後）と平衡条件11ヵ月後の引き抜き抵抗の増減率並びにこれらの平均値の差をt検定した結果を示したものである。

まず増減率を見ると、樹種及び打ち込み面によって若干異なるが、吸脱湿条件では約 - 35 ~ - 50%、平衡条件では約 - 20 ~ - 45%程度の値を示した。

次に平均値の差の検定結果を見ると、エゾマツとミズナラでは板目と柾目、カラマツでは板目に有意差が認められた。すなわちこれらは全て平衡条件11ヵ月後の方が吸脱湿5サイクルの引き抜き抵抗よりも大きいことがわかった。

このように鉄丸釘の引き抜き抵抗は2つの雰囲気条件とも打ち込み直後の値よりも減少するが、この割合は吸脱湿条件の方が平衡条件よりも大きくなる傾向が認められた。ただし各樹種の木口とカラマツの柾目については両者間に明らかな差が認められなかった。

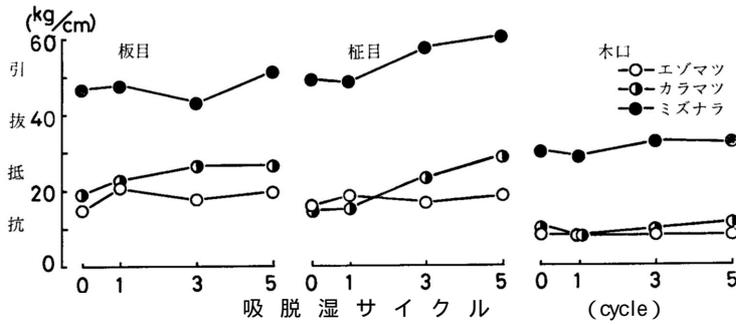
3.2 らせん釘

吸脱湿条件のらせん釘の引き抜き抵抗は第4図に示すように、鉄丸釘とは異なる傾向を示した。

板目と柾目では樹種によって多少傾向が異なるが、各樹種とも5サイクルの値は打ち込み直後よりも大きな値を示した。木口では全ての樹種が打ち込み直後とほぼ等しい値を示した。

Stern⁷⁾の実験結果でもらせん釘の引き抜き抵抗は木材の吸脱湿に伴って増加の傾向をたどることが報告されている。3樹種の各吸脱湿サイクルにおける引き抜き抵抗を比較すると、各打ち込み面ともミズナラが他の樹種よりも全て大きく、エゾマツとカラマツでは板目と柾目の3、5サイクル以外に顕著な差が認められなかった。また打ち込み面の引き抜き抵抗を比較すると、3樹種とも各吸脱湿サイクルにおける板目と柾目の差は少なく、木口が一番小さな値を示した。

なおこの釘は鉄丸釘と同様に、吸湿の過程でさびが発生したが、このさびによる引き抜き抵抗の

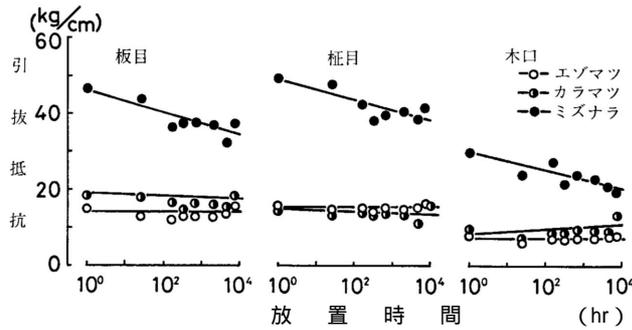


第4図 吸脱湿条件におけるらせん釘の引抜抵抗

増加は認め難く、むしろ胴部の形状による影響の方が大きいと考えられる。すなわちらせん釘の保持力はスパイラルしながら打ち込まれるので、鉄丸釘のように緊束力と摩擦係数によって決まるのではなく、これら他に釘身付近の木材繊維の圧縮力やせん断力等が影響するためと考えられる。

一方平衡条件のらせん釘の引き抜き抵抗は第5図に示すように、樹種によって異なる傾向を示した。

エゾマツでは全ての打ち込み面とも放置時間に伴う変化がほとんどなかった。カラマツでは木口が放置時



第5図 平衡条件におけるらせん釘の引抜抵抗

第4表 らせん釘の2条件における増減率と平均値の差の検定

樹種	打ち込み面	増減率* (%)		2条件の平均値の差の検定**
		吸脱湿条件	平衡条件	
エゾマツ	板目	+31.1	+ 6.6	○
	柾目	+16.9	+ 6.9	NS
	木口	± 0	+ 4.9	NS
カラマツ	板目	+40.7	- 0.5	○
	柾目	+90.7	+ 9.3	◎
	木口	+ 9.9	+39.6	NS
ミズナラ	板目	+ 9.8	-19.4	◎
	柾目	+22.5	-14.8	◎
	木口	+ 7.6	-33.0	◎

* , **第3表と同じである。

間に伴って僅かに増加するが、板目と柾目ではほぼ横ばいの傾向を示した。ミズナラでは鉄丸釘の場合と同様に放置時間によって減少する傾向を示した。

樹種及び打ち込み面の各放置時間における引き抜き抵抗については鉄丸釘の場合と概ね同様であった。

第4表は吸脱湿条件5サイクルと平衡条件11ヵ月後の引き抜き抵抗の増減率並びにこれらの平均値の差をt検定した結果を示したものである。

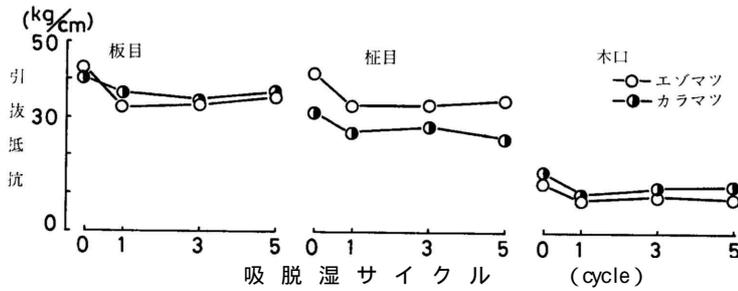
まず増減率を見ると、吸脱湿条件では樹種、打ち込み面による特定な傾向を認め難いが、各樹種とも木口の増加率は板目と柾目に比べて小さかった。平衡条件ではエゾマツが各打ち込み面とも一様な増加率を示したが、カラマツとミズナラでは打ち込み面によってかなり異なった増減率を示した。

次に平均値の差の検定結果を見ると、エゾマツでは板目、カラマツでは板目と柾目、ミズナラでは全ての打ち込み面に有意差が認められた。すなわちこれらは平衡条件11ヵ月後の引き抜き抵抗の方が吸脱湿条件5サイクルの値よりも小さいことがわかった。

このようにならせん釘の引き抜き抵抗は他の釘と異なり、吸脱湿条件では打ち込み直後の値とほぼ同じか若しくは増加の傾向が認められた。平衡条件11ヵ月後との比較では吸脱湿条件5サイクルの方が大きな値を示し、特にミズナラではこの差が顕著であった。ただしエゾマツの柾目と木口、カラマツの木口については両者間に明らかな差が認められなかった。

3.3 逆目釘

吸脱湿条件の逆目釘の引き抜き抵抗は第6図に示すように、鉄丸釘の場合と概ね同様の傾向を示



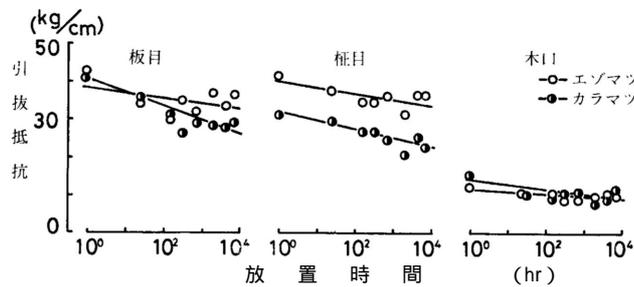
第6図 吸脱湿条件における逆目釘の引抜抵抗

した。

エゾマツ、カラマツとも各打ち込み面の引き抜き抵抗は0から1サイクルまでの減少が著しく、その後はほぼ一定の値を示した。

両樹種の各吸脱湿サイクルにおける引き抜き抵抗を比較すると、柾目ではエゾマツの方がカラマツの値よりも全て大きく、板目と木口では樹種による差がほとんどなかった。また打ち込み面による引き抜き抵抗の比較では各吸脱湿サイクルとも木口が一番小さく、板目と柾目についてはエゾマツで差がなく、カラマツでは板目の方が大きな値を示した。

なおこの釘は亜鉛メッキされているので、さびは発生しなかったがサイクル数に伴って表面が僅かに腐食



第7図 平討条件における逆目釘の引抜抵抗

第5表 逆目釘の2条件における増減率と平均値の差の検定

樹種	打ち込み面	増減率* (%)		2条件の平均値の差の検定**
		吸脱湿条件	平衡条件	
エゾマツ	板目	-15.3	-15.5	NS
	柾目	-17.3	-12.8	NS
	木口	-30.5	-20.3	NS
カラマツ	板目	-9.6	-28.9	○
	柾目	-19.4	-26.8	NS
	木口	-20.1	-22.6	NS

*、**第3表と同じである。

するものが見られた。

一方平衡条件の逆目釘の引き抜き抵抗は第7図に示すように、各樹種、各打ち込み面とも放置時間を片対数にとると直線的に減少する傾向を示した。

両樹種の引き抜き抵抗を比較すると、板目では放置時間が3ヵ月以後、柾目では全ての放置

時間ともエゾマツの方が大きな値を示したが、木口ではほとんど差がなかった。また打ち込み面による引き抜き抵抗の比較では吸脱湿条件の場合と概ね同様であった。

第5表は逆目釘の吸脱湿条件5サイクルと平衡条件11ヵ月後の引き抜き抵抗の増減率並びにこれらの平均値の差をt検定した結果を示したものである。

まず増減率を見ると、吸脱湿条件ではエゾマツが約-15~-30%、カラマツが約-10~-20%程度の値を示し、両樹種とも木口の減少率は他の打ち込み面よりも大きな値を示した。平衡条件ではエゾマツが約-13~-20%、カラマツが約-23~-29%程度の値を示した。しかしこれら2条件の減少率は第3表に示した鉄丸釘の場合よりも低い値を示した。

次に平均値の差の検定結果を見ると、カラマツの板目のみに有意差が認められた。すなわちカラマツの板目では平衡条件11ヵ月後の引き抜き抵抗の方が吸脱湿条件5サイクルの値よりも大きく、この他では両者間に明らかな差が認められなかった。

このように逆目釘は両雰囲気条件とも打ち込み直後の引き抜き抵抗よりも減少するが、この割合は鉄丸釘よりも低く、しかも両条件における11ヵ月後の平均値の差はカラマツの板目を除いて明らかではないことが認められた。

4. まとめ

気乾材に釘を打ち込み、その引き抜き抵抗が木材の吸脱湿サイクルに伴ってどのような傾向を示

すかを釘の種類別に樹種と打ち込み面を変えながら検討した。また比較のために、同様の気乾材に釘を打ち込み、それを乾湿の影響を受けないような雰囲気条件に放置した場合についても併せ検討した。

実験結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 鉄丸釘の引き抜き抵抗は木材の吸脱湿サイクルに伴って一時減少したのち、ほぼ一定の値を示した。一方乾湿の影響を受けない雰囲気条件では放置時間を片対数にとると直線的に減少する傾向を示した。これら両条件における11カ月後の引き抜き抵抗を比較すると、各樹種の木口とカラマツの柾目を除いて吸脱湿サイクルの雰囲気条件の方が小さな値を示した。
- (2) らせん釘の吸脱湿サイクルに伴う引き抜き抵抗は樹種と打ち込み面によって多少傾向が異なったが、5サイクルの値は打ち込み直後とほぼ同じか若しくは増加する傾向を示した。一方乾湿の影響を受けない雰囲気条件ではほぼ横ばいか減少する傾向を示した。両条件における11カ月後の引き抜き抵抗を比較すると、エゾマツでは板目、カラマツでは板目と柾目、ミズナラでは全ての打ち込み面とも吸脱湿サイクルの雰囲気条件の方が大きな値を示した。
- (3) 逆目釘の引き抜き抵抗は、両雰囲気条件とも鉄丸釘と概ね同様の傾向を示したが、これらの減少率は鉄丸釘の場合よりも低い値を示した。上記の条件に

おける11カ月後の引き抜き抵抗の差はカラマツの板目を除いて明らかではなかった。

最後にらせん釘の入手に際し御配慮頂いたアマティ株式会社東京営業所、木田捷氏に対しここに記して深謝の意を表します。

文 献

- 1) 米栖義郎, 竹ノ内勝正, 手代凌一, 大内道男; 工芸研究, No.17 (1958)
- 2) Noguchi, M. and Sugihara, H.; WOOD RESEARCH, No.25, KYOTO Univ. (1958)
- 3) 金谷紀行; 木材工業, Vol.31, No.354 (1976)
- 4) 同上; 同上, Vol.31, No.355 (1976)
- 5) 金森勝義, 河原田洋三, 千野昭; 本誌4月号 (1976)
- 6) USDA For. Prod. Lab., Forest Service; Wood Handbook (1974)
- 7) Stern, E. G.; Va. Polytech. Inst. Wood Res. Lab., No.5 (1951)
- 8) Senft, J. F., Suddarth, S. K.; F. P. J., Vol.24, No.4 (1971)

—木材部 加工科—

(原稿受理 昭52.4.20)