

接着および釘着木材接合部の海水暴露に対する耐久性*

作野友康**・李 鍾信**・川田俊成**・田中孝治***

平成2年5月31日受付

Durability of Glued or Nailed Wood Joints after Exposure to Sea Water *

Tomoyasu SAKUNO**, Jong Sin LEE**, Toshinari KAWADA**,
and Koji TANAKA***

Three-ply double lap shear specimens were prepared using beech wood as core. On both sides are solid wood (Buna and Akamatsu) and wood-based materials (plywood and fiberboard). Three types of joints were made, namely, glued joint using resorcinol and water-soluble polyvinyl isocyanate as adhesives, nailed joint and nailed glue joint. The specimens were treated with sea water and fresh water by vacuum soak and dry repeat exposure. After exposure, the maximum load to failure of the specimens and the accumulated salt content were measured and the data was analysed.

The durability of any type of joint (maximum load to failure) decreased compared with the unexposed ones. The decrease in strength was more conspicuous in the case of wood based materials in the solid wood. Nevertheless, there was no significant difference between the salt water and the fresh water treatment, between glue joint and nailed glue joint, and within different adhesives. The salt content of the specimen increased with the increase in the number of cycles. Inverse correlation between joint strength and the number of cycles were observed.

* 第40回日本木材学会大会 (1990年4月, つくば) において口頭発表した。

** 鳥取大学農学部農林総合科学科森林生産学講座

** Department of Forestry Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

*** ミサワホーム近畿株式会社

*** Misawa Home Kinki Co. Ltd.

緒 言

最近の木質構造物においては接合部に多くの釘あるいは接合金物が用いられているが、日本海沿岸地方では多量の塩分を含んだ強力な潮風（季節風）が特に冬期には強く吹き、これにともなって塩分による金属接合部の急速な劣化が生じて耐久性が劣ってくるのが心配される。しかしながら、これまで多くの接合部の耐久性に関する研究報告があるが、金物を用いた接合と接着接合とを比較検討した報告はほとんどない。ましてや海水暴露あるいは海岸地域に暴露して、その耐久性と塩分との関係などについて検討した報告は皆無である。そこで筆者らはこれまで小試験片による接着接合部の海水に対する耐久性について若干の実験を行って報告した⁹⁾。本研究はこれをさらに進め、木材および木質材料接合部の日本海沿岸地域における耐久性を評価するための基礎データを得ることを目的として行ったものである。木材および木質材料を接着・釘着・釘-接着剤併用接合した接合部材を海水および水道水に暴露して耐久性を比較検討するとともに海水暴露による塩分集積状況を調べ、耐久性との関係についても検討した。

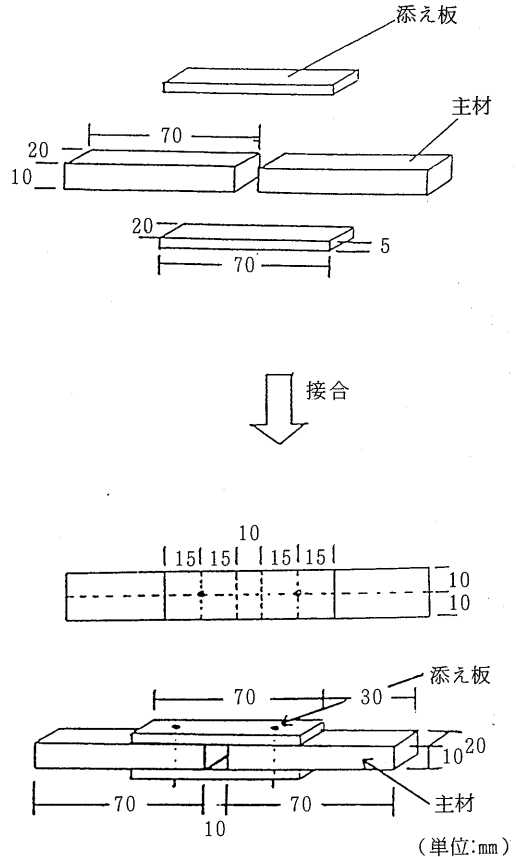
供試材料および実験方法

材料および試験片の作製

試験片は第1図に示すような本研究用に考案したものをを用いた。すなわち中央部分の2枚の心板（主材）の両側に接合材（添え板）を接合させたダブルラップジョイントの引張せん断型試験片である。この試験片の主材の両端をチャックに固定して引張試験を行って接合部の破壊強度を測定する。

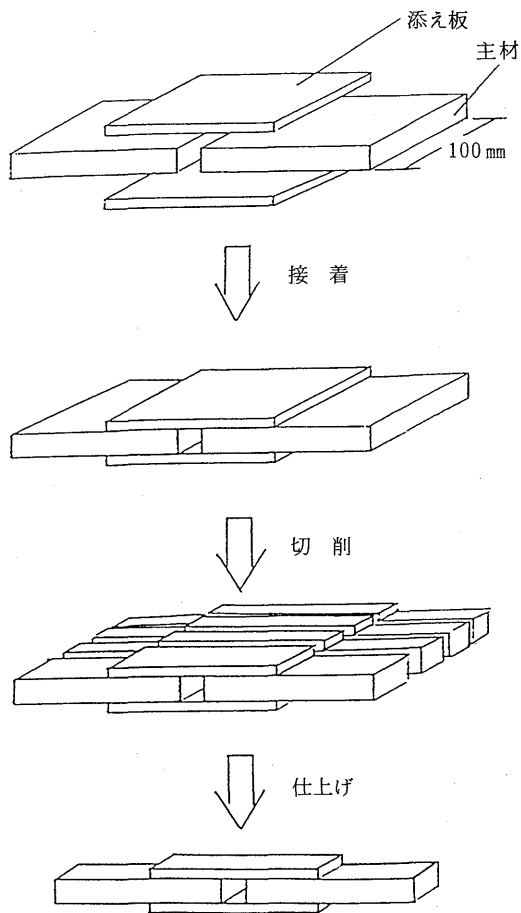
供試材として主材にはブナ柾目挽板（厚さ10mm）を用いた。添え板としては素材として厚さ5mmのブナおよびアカマツの柾目挽板を、木質材料として同様に厚さ5mmの合板（1類）および中比重ファイバーボード（MDF）をそれぞれ用いた。なお、木質材料は市販のものでありMDFは外装用材料として製造されたものではないが劣化状態を比較するためにこれを用いた。

これらの材料を用いて次の3種類の接合方法の異なる試験片を作製した。(1)釘接合試験片および釘-接着剤併用接合試験片：主材および添え板の各材料を幅20mm、長さ70mmに切断し、第1図に示すように、まず2本の釘のみで固定して接合した「釘接合試験片」を作製した。この場合、釘は普通鉄丸釘N25を用い金槌で添え板側より板の表面に釘の頭がややくい込む程度に打込んだ。次に、



第1図 釘接合および併用接合試験片

添え板の片面に接着剤を塗布して、これらを釘接合試験片の場合と同様にして2本の釘で固定して接合した「釘-接着剤併用接合試験片」（以下併用接合試験片という）を作製した。この場合に用いた接着剤は市販のレゾルシンオール系樹脂（大鹿レジン、ディアノールD-33：以下D-33とする）および水性高分子-イソシアネート系樹脂（鹿印ピーアイボンドPI-127：以下PI-127とする）の2種類とした。接着剤の配合等はメーカーの指定通りとし、250g/m²の塗布量で塗布した。これらの試験片は接合後7日間以上20±5℃の恒温室で養生した。(2)接着接合試験片：主材および添え板を幅100mm、長さ70mmに切断し、第2図に示すように組合せて接着接合した。接着剤は前記と同様のものを用い、塗布量も同様にした。圧縮力10kg/cm²でD-33は24時間、PI-127は3時間それぞれ圧縮して24℃の恒温室内で接着した。接着後7日間



第2図 接着接合試験片

以上養生した後幅20mmに切断して接着接合試験片を製作した。

実験方法

常態試験

養生後の釘接合、接着接合および併用接合試験片をそれぞれ引張試験を行って接合部を破壊させて最大破壊荷重を測定した。各条件毎に5個の試験片を試験した。引張試験は島津オートグラフAG-5000Aを用いて、引張速度20mm/分で行った。

水中減圧浸漬試験

各条件で接合した試験片各5個を海水（鳥取市郊外の日本海より汲んだ海水：塩分濃度3.06%）および水道水を入れたデシケーター中に試験片が完全に浸水するように浸漬した。アスピレーターで吸引して減圧下にて24時間浸水暴露した後、湿潤状態のまま前述と同様の方法で引

張試験を行った。

水中減圧浸漬-乾燥繰り返し試験

前述と同様の方法で水中浸漬処理を行った後、各試験片を100℃の恒温乾燥器中で24時間乾燥させる操作を1サイクルとして、この操作を5回繰り返して（5サイクル）行い、各サイクル毎に乾燥させた状態の試験片について同様の方法で引張試験を行った。

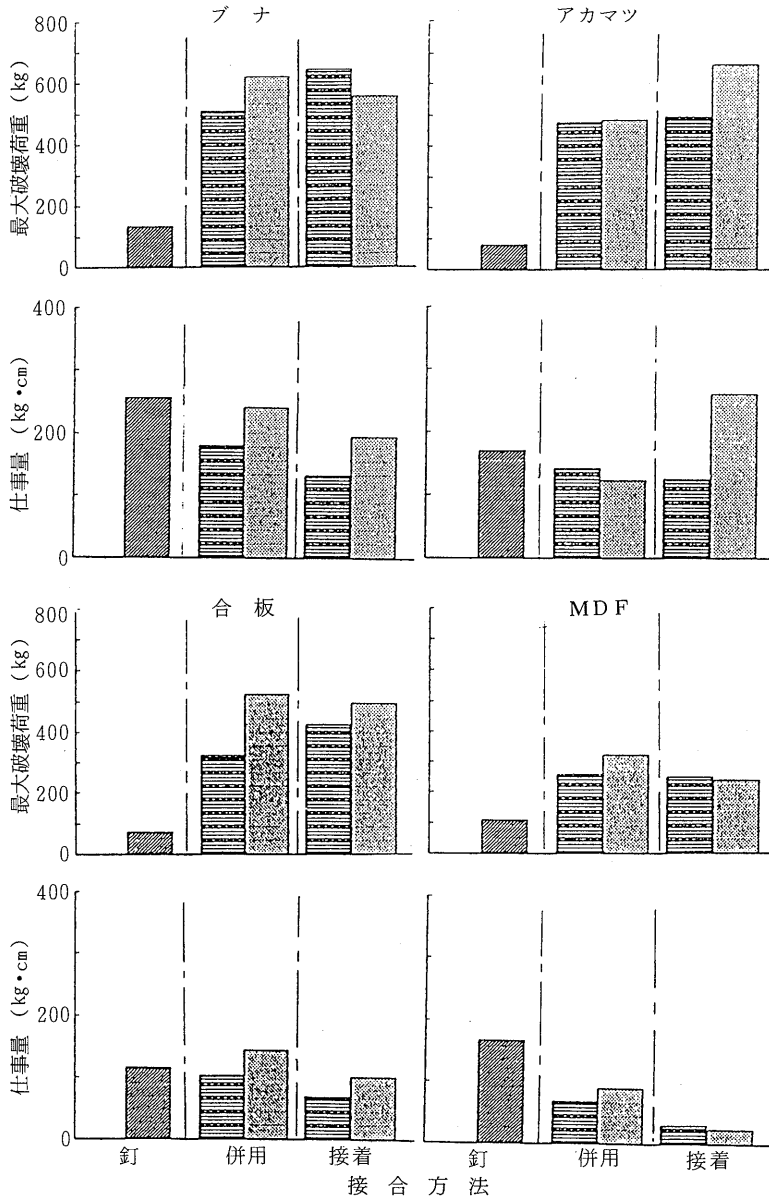
塩分含有量の測定

海水中に浸漬暴露した場合の塩分の試験片中への集積状況を見るために、各サイクル毎に塩分濃度測定用試験片の含有塩分濃度を測定した。すなわち、厚さ5mm、幅20mm、長さ100mmの試験片を用いて前述の水中減圧浸漬-乾燥操作を行った。各サイクル暴露後の試験片を長さ10mmに切断して20mlの蒸留水中に4片入れ、試験片より塩分が十分に溶脱するまで放置した。塩分の溶脱した蒸留水中の塩分濃度を塩分分析計（東亜電波工業製SAT-2A）で測定した。

結果および考察

常態接合力

各接合方法によって接合した試験片の常態時における接合部の最大破壊荷重（接合力）および破壊までの仕事量を各添え板の種類毎に第3図に示す。接合力は添え板の種類によって異なるが、素材ではブナとアカマツを比べると全体的にブナの方が高い値を示している。これはブナの比重がアカマツ（比重0.51）に比べて高い（比重0.67）ことに起因していると考えられる。接合方法について比較すると接着接合と併用接合との間にほとんど差は認められない。併用接合における接着圧縮力に対する釘打ちの効果については井上^{2,3)}あるいは井間⁴⁾の報告があるが、いずれも釘打ちによってかなりの圧縮力が期待できるとしている。特に釘の周辺部ではかなり強力な圧縮状態となっているが釘からはなれるに従って圧縮力は低くなることが明らかにされている。この場合、もし空隙充填性の乏しい接着剤を用いた場合には問題があるが、本実験で用いた接着剤はいずれもその心配は少ない。したがって、均等に圧縮力がかかっている接着接合と併用接合との差はほとんどなかったものと考えられる。接着剤間の差をみるとブナの接着接合においてD-33の方が高い値を示した他はいずれもPI-127の方が若干高い値を示した。しかし、Zorning^らの報告では併用接合でエラストマー系の接着剤とフェノール・レゾルシノール系の接着剤とを比較したところ、フェノール・レゾルシノール系の接着剤は釘打ち法に関係なく最も優れて



第3図 常態における最大破壊荷重および破壊までの仕事量

▨ : D-33, ▩ : PI-127

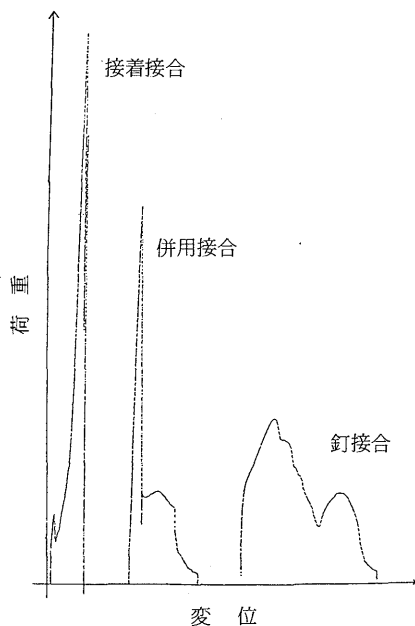
いたことを報告している。

木質材料を用いた場合にはいずれも素材に比べて値は低く、特にMDFでは接着および併用接合の接合力は素材の約半分程度の値であった。これはMDF自体の内部結合力が小さく、接着部分で破壊するのでなく、材料内部ではくり破壊する機会が多いためであろう。

釘接合の接合力は他の接合方法に比べて低い値であったが、添え板の材料が素材でも木質材料でもほとんど同じ値であり、材料の影響が少なかった。釘接合の接合力の値と接合（接点）部分の面積との関係を見ると、他の接合方法に比べて釘接合は極めて少ない。すなわち、接着剤を用いて接合した接着接合と併用接合では1個の試

験片の接着面積は24cm²であるのに対して、釘接合では釘の断面積(0.08cm²)のみで接着されていると考えるとわずか1/300にすぎない。しかし、実際の接合力の値は1/4~1/5の差であり、それぞれの接着面積当りの接合力に換算すれば釘接合ははるかに大きい接合力を示していることになる。すなわち、単純に計算すれば接着、併用接合が20~30kg/cm²であるのに対して釘接合では5,000~7,500kg/cm²であり250~300倍釘接合の方が強いということになり、釘の接合能力は非常に大きいといえる。また、添え板の材料が異なってもいずれも最大破壊荷重は80~150kgの範囲にあり、MDFのような材料でもかなりの接合力を発揮させることが明らかになった。

破壊までの仕事量を見ると、いずれの添え板材料についても釘接合が最も高い値を示し、中でもブナが最も高い値を示した。そこで第4図に各接合方法の試験片について引張試験を行った場合の典型的な荷重-変位曲線を示す。釘接合の破壊までの仕事量を見ると、最大破壊荷重が高くないのに高い値を示すのは、接合部が破壊して完全に分離するまでに釘の保持力がかかなり持続しているためであることがこの図から明らかにされる。これに対して接着接合部は最大破壊荷重を示す最初のピークで破壊が生ずると、その直後に接合部が分離してしまうこと



第4図 接合方法の異なる試験片の引張試験における典型的な荷重-変位曲線

を示しており、仕事量の値はあまり高くない。また、併用接合では破壊後、釘の保持力で分離するまで若干継続されることを示している。

これらの結果より、現場接着を考えた場合接着剤を用いて接合する際にプレス圧縮しなくても、接着剤塗布後直ちに釘打ちによって接合部を固定して接合すれば十分な接着力を発揮させられるものと考えられる。また、破壊時には、簡単に接合部が分離しないように保持できる利点もある。ただし、接着後十分に養生期間を取る必要がある。

以上のように、いずれも常態試験ではそれぞれに十分な接合能力を発揮していることが明らかになったので、これらを促進暴露した場合の耐久性を評価するのに問題はないと思われる。

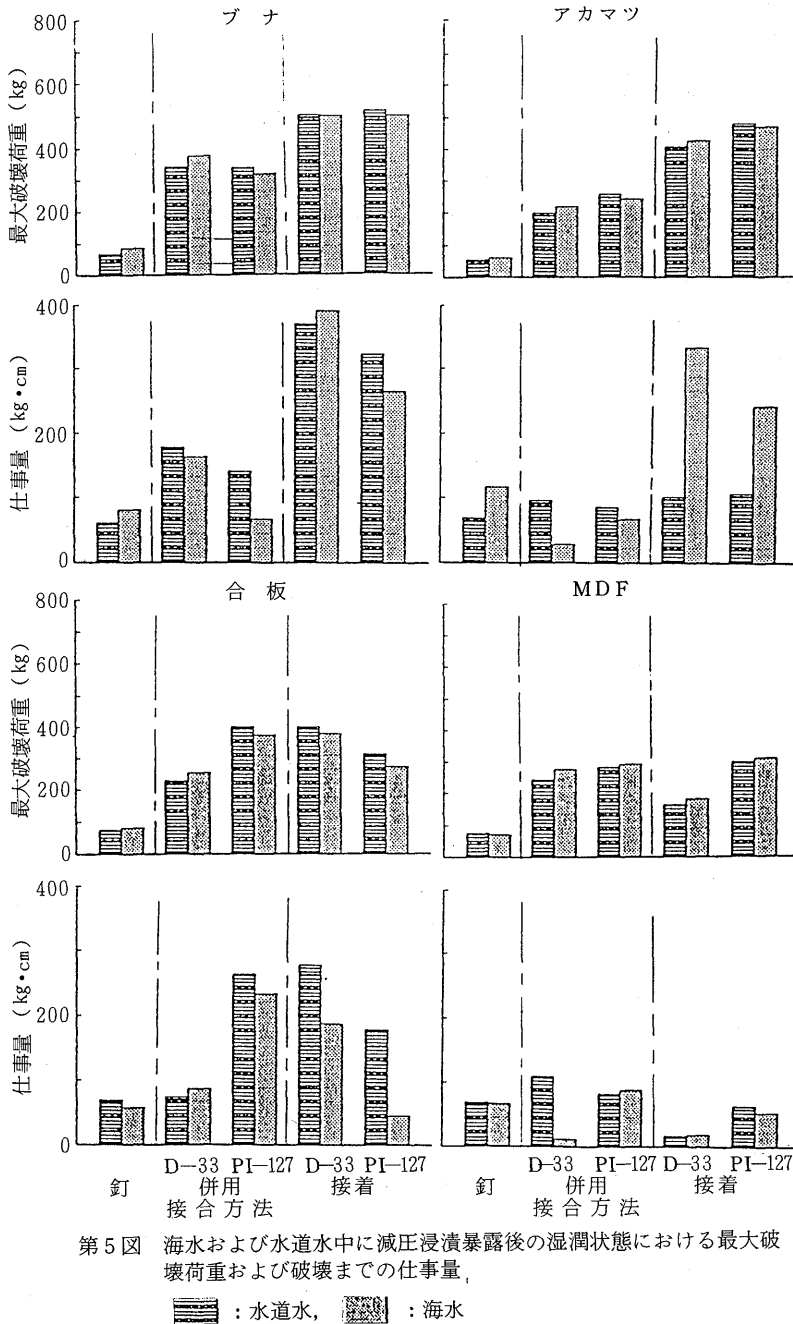
水中減圧浸漬暴露後の耐久性

各接合方法によって接合した試験片の水中減圧浸漬後の最大破壊荷重および仕事量を各添え板毎にまとめて第5図に示す。この場合には湿潤状態で引張試験を行っており、いずれも常態試験の結果より低い値を示した。

素材の接合力はブナ、アカマツともに接着接合が常態に対する低下割合が最も低かった。ところが、これに対して併用接合では低下割合が大きかった。この傾向は接着剤の種類、海水と水道水に関係なくほぼ同じであり、これらの条件による差は認められなかった。

木質材料では接着接合と併用接合の値の低下割合がほぼ同程度であり、D-33を用いた場合の方がPI-127を用いた場合より低下割合が大きかった。ただし、合板を接着接合したものは異なった傾向を示した。また、海水と水道水に暴露した場合を比較すると、MDFではその差が認められなかったが、合板では海水に浸漬した方が水道水に浸漬した場合より低い値を示した。

釘接合の接合力はいずれの材料の場合とも比較的低下割合が大きかった。これは湿潤状態で試験を行っているために、釘の引抜き抵抗に対する水分の影響であると考えられる。すなわち、釘と接合材料の接触面に水分が介在して摩さつ抵抗を小さくしていることと、材料自体が軟化していることが加味されていると考えられる。一方、材料の膨潤によって材料自体が釘を圧迫する力が増加していることも考えられるが前者の要因との相殺の結果、前者の影響の方が優っているため引抜き抵抗が低下したのと考えられる。このことは、徳田の報告⁹⁾による含水率の高い材料の釘の引抜き抵抗は、それ以下の含水率の場合より低い値であったことからしても立証できることで



ある。

このようなことから、前述の素材の併用接合で低下割合が大きかったこともうなずける結果である。もしそう考えれば、やはりプレス圧縮した接着接合に比べて併用

接合の場合には接着時の圧縮力が不十分であったことが耐水性に若干影響を及ぼしていることも考慮すべきことである。またさらに、破壊までの仕事量をみると素材の併用接合の場合、常態に対する値の低下割合が非常に大き

くなっている。この傾向からも併用接合の圧縮力の不足が耐久性に影響を及ぼしていることが考えられる。

木質材料の破壊までの仕事量をみるとMDFでは接着接合が低い値を示した。また、合板、MDFとも海水に暴露した方が水道水に暴露した場合より低い値を示し、素材の場合と同様の傾向であった。釘接合試験片では仕事量の低下が接着接合、併用接合より少なかった。

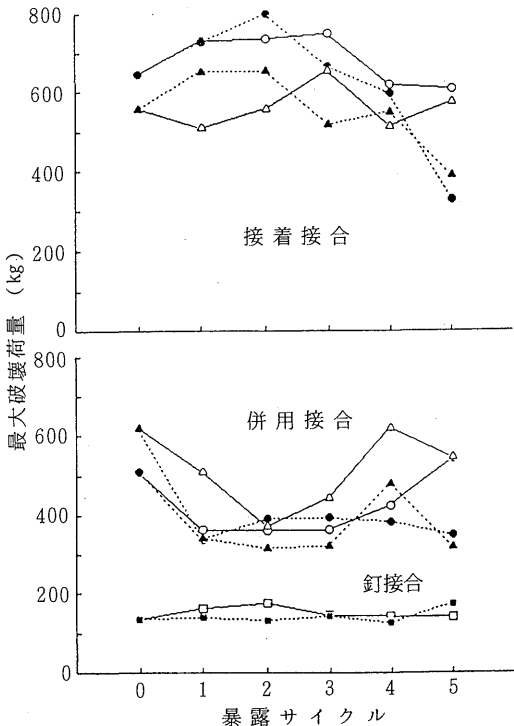
水中浸漬-乾燥繰り返し暴露後の耐久性

各接合方法の異なった試験片を水中浸漬-乾燥暴露を5サイクル繰り返した場合の各暴露サイクル毎の最大破壊荷重の変化を各添え板毎にまとめて第6-9図に示す。

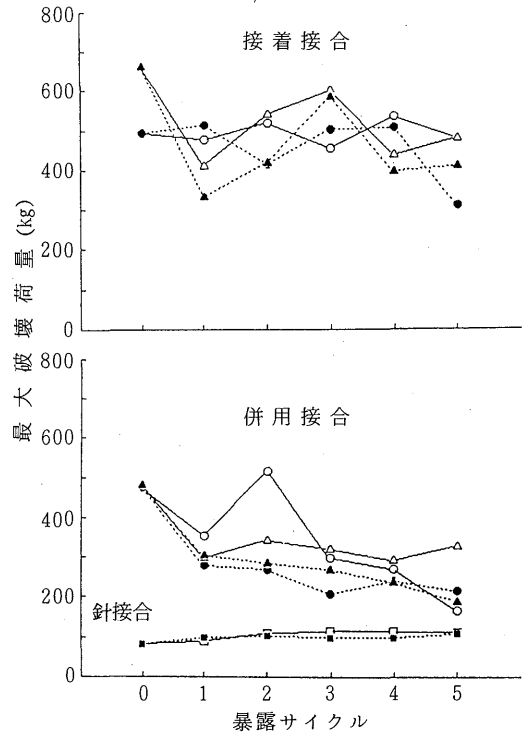
まず、素材でブナの場合第6図に示すように、接着接合試験片では水道水に浸漬したものは3サイクルまで用いた接着剤によって異なった挙動を示した。すなわちD-33では3サイクルまではほとんど値は変化せず、むし

ろ常態より高い値を示したが、PI-127では1サイクルでかなり値が低下し、その後徐々に高くなった。そして、4サイクルでは両者ともほぼ同程度の低下割合を示し、5サイクルではむしろD-33の方が低い値となった。これに対して海水暴露では両接着剤がほぼ同じ傾向を示し、1、2サイクル暴露後には常態の約1/2の値となった。併用接合試験片ではいずれの場合にも1サイクル暴露後にかなり値が低下したが、その後5サイクルまではほぼ同じ程度の値を維持した。特に水道水に暴露したものは4、5サイクルでの値が3サイクルよりも高くなった。釘接合ではサイクル数が増加してもほとんど値は変化しなかった。

アカマツ(第7図)では、接着接合においてPI-127の1サイクル目でかなり値の低下がみられたがその他の試験片ともほぼ同じ値で、サイクル数が増加しても常態の値に近い値で推移した。ただし、海水に暴露し



第6図 ブナ試験片の海水および水道水浸漬-乾燥繰り返し暴露サイクルにおける最大破壊荷重の推移
○, ● : D-33, △, ▲ : PI-127,
— : 水道水浸漬, : 海水浸漬



第7図 アカマツ試験片の海水および水道水浸漬-乾燥繰り返し暴露サイクルにおける最大破壊荷重の推移
○, ● : D-33, △, ▲ : PI-127,
— : 水道水浸漬, : 海水浸漬

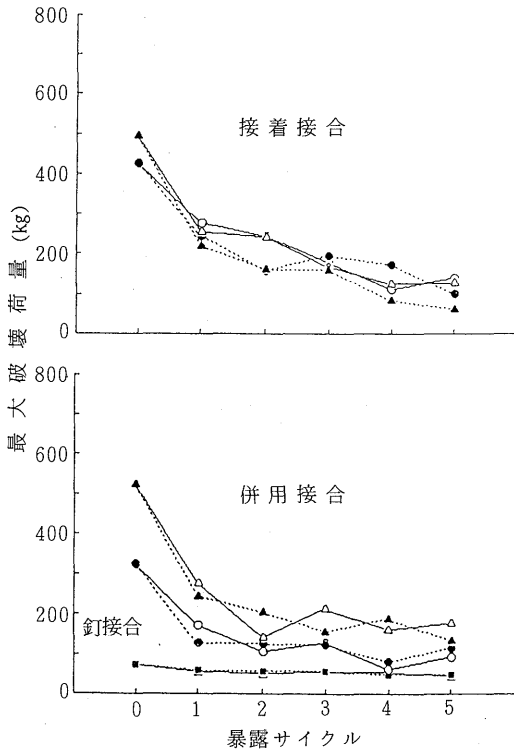
た場合、4、5サイクルでは水道水に暴露したものより低い値を示した。併用接合では、2サイクル目に水道水に暴露した場合に高い値を示した他は1サイクル暴露でかなり値が低下し、その後も徐々にサイクル数とともに低下する傾向を示した。釘接合ではブナと同様にほとんど値の変化がなく、むしろ常態より高い値を示す場合もあった。

木質材料では第8および9図に示すように接着接合、併用接合では合板、MDFともに1サイクルの暴露でかなりの低下を示した。その後、合板では接着接合がほぼ直線的に値が低下したのに対して、併用接合では2サイクル以後ほぼ同じ値で推移した。またこの傾向はMDFのいずれの試験片とも同じであった。釘接合では素材の場合と同様にサイクル数が増加しても値は常態とほとんど同じ程度であった。

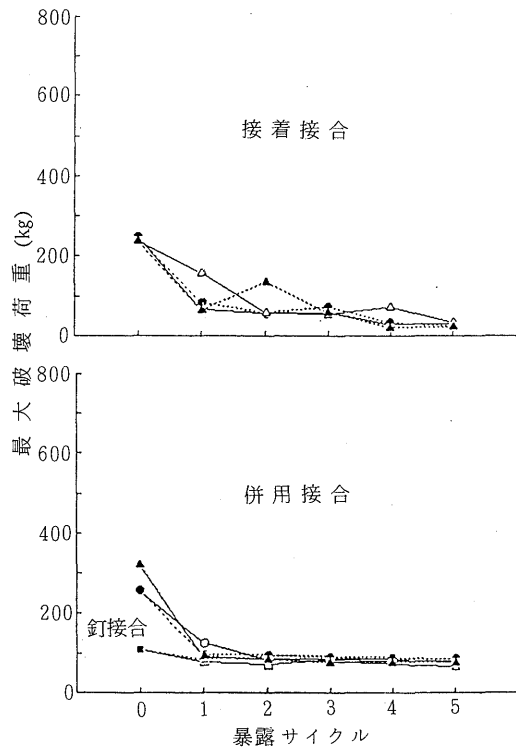
このように木質材料はやはり素材に比べて繰り返し暴

露に対する耐久性は乏しかった。合板は1類であるが厚さが薄いため心板の劣化が大きく、接合部より材料内部で破壊するが多かった。また、MDFは内装用の材料であり、このような苛酷な条件に暴露すれば耐久性のないことは当然の結果といえるであろう。

素材の釘接合における繰り返し含水率変化を受けた場合の引き抜き抵抗について徳田⁷⁾は釘接合部は含水率変化を受けても、ほぼ一定値に落ちつくことを報告しており、本実験の結果もその傾向と同様であった。しかし、Chowら¹⁾は木質材料に対する釘の引抜き抵抗を種々の方法で測定し、水中浸漬繰り返し試験では6サイクルでせん断引抜き耐力が30~40%減少したことを報告している。したがって、本実験では添え板に木質材料を用いたが主材にブナ素材を用いているために素材での釘の引抜き耐力にかなり支配されていると考えられる。ところが、併用接合でサイクル暴露によって値が低下したのは前述



第8図 合板試験片の海水および水道水浸漬—乾燥繰り返し暴露サイクルにおける最大破壊荷重の推移
○, ● : D-33, △, ▲ : PI-127,
— : 水道水浸漬, : 海水浸漬



第9図 MDF試験片の海水および水道水浸漬—乾燥繰り返し暴露サイクルにおける最大破壊荷重の推移
○, ● : D-33, △, ▲ : PI-127,
— : 水道水浸漬, : 海水浸漬

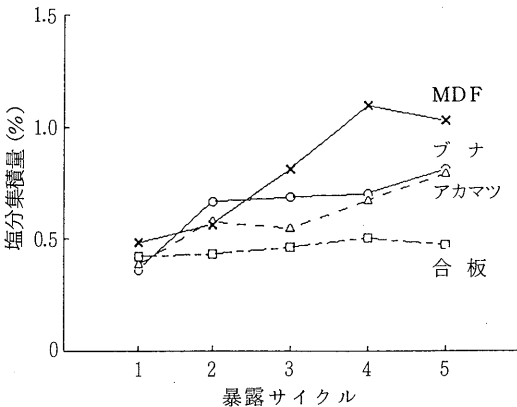
のように材料自体の劣化が大きかったことが主な原因であると推察される。

海水暴露における試験片の塩分集積量と接合部の耐久性

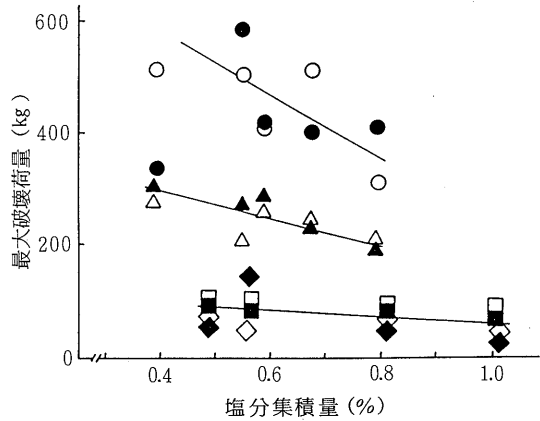
海水浸漬-乾燥繰り返し暴露の各サイクル毎の試験片の塩分集積量を第10図に示す。いずれもサイクル数が増加するにつれて、塩分濃度は増加するがその増加量は材料によって非常に差があった。1サイクルではすべての材料がほぼ同じ程度であったが、サイクル数とともにその差があらわれ、合板はほとんど増加しなかったがMDFは最も増加し、素材はその中間的で2樹種がほぼ同じ傾向を示した。

このような塩分の集積量と接合部の耐久性との関係について検討したところ、海水暴露試験片の接合力と塩分集積量との間には何らかの関係があることが明らかになった。特にアカマツとMDFにおいては第11図に示すように顕著な負の相関関係が認められた。アカマツでは接着接合と併用接合とは接合力が異なった値であったが、それぞれに負の相関関係を示した。また、MDFについては接着接合と併用接合とがともにほぼ同程度の接合力であり、両者が同一傾向の相関を示した。すなわち、いずれも塩分取積量の高い方が接合部の耐久性が低下することが明らかになった。

なお、釘のさびびについて水道水に暴露した場合と比較したところ、海水に暴露した方がさびびが出やすいことが明らかになり、サイクル数とともにさびびが多くなるのが観察されたが定量的にこれを測定することができなかつ



第10図 海水浸漬-乾燥繰り返し暴露サイクルにおける試験片の塩分集積量の推移



第11図 アカマツおよびMDF試験片の海水浸漬-乾燥繰り返し暴露における塩分集積量と最大破壊荷重との関係
 アカマツ接着接合: ○ D-33 ● PI-127
 " 併用接合: △ " ▲ PI-127
 MDF接着接合: □ D-33 ■ PI-127
 " 併用接合: ◇ " ◆ PI-127

た。さびびの発生は釘の引抜き抵抗力を増大させると徳田⁹⁾が報告しているが本実験の結果では釘接合の値があまり低下しなかったのはさびびの効果かもしれない。しかし、併用接合の結果からは、最大破壊荷重とさびびの関係は認められなかった。また、塩分集積量とさびびの関係についても明確にはできなかったが経験的には塩分量が多い方がさびびが多くなるのが考えられる。

結 論

素材および木質材料を釘接合および2種類の接着剤を用いて接着接合、釘-接着剤の併用接合した試験片を海水および水道水に暴露して、それらの耐久性を検討したところ次の結論を得た。

1) 接合方法の異なる試験片の常態時における接合力は接着接合と併用接合との間に明確な差異は認められなかった。また、用いた接着剤の種類による差異もなかった。しかし添え板の種類によって差があり、素材に比べて木質材料(合板, MDF)の方が低い値を示した。

釘接合の接合力は他の接合方法に比べると値は低いが、接合面積を考慮して比較するとかなり強力な接合力である。

一方、破壊までの仕事量は釘接合が最も高い値を示したのに対し、接着接合が最も低い値であった。

2) 水中減圧浸漬後の湿潤接合力はいずれも常態より

低い値となったが、接着接合、併用接合では素材に比べて木質材料の値の低下割合が大きかった。ただし、素材では接着接合より併用接合の方が低下割合が大であった。これらの傾向は両接着剤とも、また海水、水道水暴露ともほぼ同様であった。釘接合では常態に対する値の低下割合が他の接合方法の場合より大きかった。

一方、破壊までの仕事量は海水に暴露した場合が水道水に暴露した場合より大きかったが、釘接合の低下割合は他の接合方法より少なかった。

3) 水中浸漬-乾燥繰り返し暴露後の接着接合および併用接合の接合力は素材ではサイクル数が増加してもあまり低下しなかったが、木質材料は1サイクルでかなりの低下を示し、その後も徐々に低下した。また、海水に暴露した場合の方が水道水に暴露した場合より低下割合が大きく、特にサイクル数が増えるとその傾向が明確になった。しかし、釘接合の接合力はいずれの場合もサイクル数が増加してもほとんど変化せず、常態より高い値を示す場合もあった。

4) 海水暴露における試験片の塩分集積量は暴露サイクル数が増加するにつれて増大したが、増加量は材料によって差があった。塩分集積量と接合力の間には負の相関関係が認められ塩分集積が多いほど接合力が低下する傾向が明らかになった。特にアカマツとMDFではこの関係が顕著であった。

謝 辞

本研究は昭和63年度文部省科学研究費補助金（一般研究C，研究代表者：作野友康）の援助によって行ったものである。

文 献

- 1) Chow, P. et al.: Effects of test method and exposure conditions on lateral nail and staple resistance of wood-base panel materials. *For. Prod. J.*, **35** (9) · 13-18 (1985)
- 2) 井上明生：釘圧縮による接着層の形成。木材工業，**42** (7) · 20-23 (1987)
- 3) 井上明生ほか：現場接着重ね梁の接着剤の広がりとお曲げ性能。第38回木材学会研究発表要旨集，p.306 (1988)
- 4) 風間正行ほか：建築現場におけるのり・くぎ併用接合 — くぎ押し込み抵抗とくぎ押し込み圧縮力 — ：木材学会誌，**36** (1) 22-28 (1990)
- 5) 作野友康：広葉樹接着部材の各種暴露条件下における接着耐久性。昭和62年度科学研究費研究成果報告書，(1988) pp.80-84
- 6) 徳田迪夫：釘接合の研究（第2報）各種含水率条件下における釘の引抜き抵抗力。木材学会誌，**24** 705-713 (1978)
- 7) 徳田迪夫：釘接合の研究（第3報）繰返し含水率変化を受ける実大釘接合部の釘引抜き抵抗力。木材学会誌，**24** 822-827 (1978)
- 8) Zorning, H. F. and Vick, C. B.: Method of Nailing and Adhesive Consistency, Affect the Strength of Nailed-Glued Construction Joints. *For. Prod. J.*, **24** (12) · 17-22 (1974)