

木質構造における部材および接合部の  
長期耐力性能とその評価に関する研究

佐藤雅俊



2-1	試験方法	91
2-2	試験結果および考察	97
第3節	壁体内通気による結露性状	121
3-1	試験方法	121
3-2	試験結果および考察	123
第4節	本章のまとめ	126
第5章	木質構造における釘接合部の長期使用時の性状	129
第1節	釘の腐食実態	129
1-1	建物の概要および調査方法	129
1-2	調査結果および考察	130
第2節	釘接合部における釘の腐食と耐力	136
2-1	釘径の減少	136
2-2	釘の腐食と耐力	145
第3節	釘接合部のクリープ特性	151
3-1	木質材料を側材とした釘接合部のクリープ	151
3-2	釘の種類・側材厚さの影響	158
3-3	環境条件の影響	158
3-4	荷重の変動の影響	159
3-5	釘接合部のクリープ曲線と変形機構	167
第4節	釘接合部の繰返し荷重下の特性	173
4-1	各種木質材料を側材とした釘接合部の 繰返し荷重下における変形	173
4-2	釘の種類・側材厚さの影響	184
第5節	本章のまとめ	187
第6章	木質材料・部材のクリープ特性	190
第1節	パーティクルボード下地材のクリープ特性	190
1-1	クリープ曲線と環境条件	190
1-2	荷重の増減によるクリープと変形モデル	198
第2節	木質複合梁のクリープ特性	204
2-1	試験方法	204

2-2	試験結果および考察	206
第3節	集成材梁部材および接合部のクリープ特性	210
3-1	試験方法	210
3-2	試験結果および考察	214
第4節	応力条件の区分	220
4-1	作用応力区分	220
4-2	材料の特性値と変形型式	221
第5節	本章のまとめ	234
第7章	小型加振機による木質構造住宅の劣化度の評価	237
第1節	モデル建物における劣化度評価法に関するモデル実験	237
1-1	試験方法	237
1-2	試験結果および考察	239
第2節	劣化度評価法の既存建築物への適用	242
2-1	試験対象家屋の概要	242
2-2	試験方法	243
2-3	試験結果および考察	243
第3節	本章のまとめ	253
第8章	木質構造における部材および接合部の長期耐力性能とその評価法の提案	254
第1節	劣化環境条件の区分	254
1-1	温度・湿度条件の区分	254
1-2	応力条件の区分	256
第2節	長期耐力性能の評価	258
2-1	部位別環境区分	258
2-2	部位別長期耐力性能評価法	261
2-3	建物全体としての長期耐力性能の評価	266
第3節	本章のまとめ	267
第9章	結 論	268
参考文献		276
謝 辞		285

## 第1章 序論

### 第1節 研究の目的と範囲

木質構造における構造材料としては、従来木材および構造用合板がその主流であったが、近年の木材資源状況や有効利用等を考えると、パーティクルボードやファイバーボードなどの面材料をはじめとして、各種の木質材料や部材が出現している。したがって、それらの合理的な使用法を考えていく必要がある。

一方、木材や木質材料・部材を構造用材料として使用するときには、破壊強さやヤング係数を用いてそれらの安全性やたわみについて検討を行う。その際にはそれらが長期間にわたって、支障がないかどうかをも検討する<sup>1)</sup>。

この長期間にわたる構造耐力上の検討項目には、熱、水分、荷重などの物理的・機械的な要因による変化と、腐朽菌やシロアリなどの生物的な要因による変化とがある。

この時間の経過に伴う変化は、木材や木質材料だけではなく他の材料についても共通した問題であり、使用する部位や環境条件によってそれらの性能が支配されるため明確な解答を得にくく、未解決の部分が多い課題である。

しかし、材料の材質特性が長期間にわたって安定している（材質的な変化が少ないあるいは認められない）ということは建築用材料として用いる場合の基本であり、さらにこのことは、材料の長期的な特性に基づいた材質の改良や材質に適した使用箇所の設定、施工法の適正化をはかる上でも重要なことである。

本論文では、現在、木質構造において重要視されている木質材料・部材および接合部（主に釘接合とし、接着接合に関しては、工場等において一定の品質管理のもとで実施されており、その使用範囲も限定されていることから本論文では対象としなかった）のクリープや耐力低下（低減）に関する特性にもとづいた構造面での合理的な使用法を明らかにすることを目的としたものであり、その基本的な考え方はそれらが使用される環境条件を明らかにし、使用部位や条件に応じた木質材料・部材および接合部の長期耐力性能評価とその区分について整理・とりまとめを行うことである。

## 第2節 木質部材および接合部の長期耐力性能評価に関する既往の研究と問題点

木造建築物の主要構造部を構成する材料・部材や構造形式は、著しく変化してきており、従来の製材品を主にした木構造とは異なり木質構造<sup>2)</sup>といった名称が一般化してきている。それらを材料面からみると、合板、パーティクルボード、集成材などの木質材料の使用が多くなり、構法面においても、木質系の工業化構法や枠組壁工法などが材料の変化とともに出現してきている。

このような状況にあつて、主要構造部を構成する材料・部材や接合部の構造性能の評価は、流動的で複雑化してきている。

一方、それらの評価をとりまく外的条件も著しく変化してきており、設計や施工面を合理化すると評価との間に矛盾を生ずることも多くなってきている。

このような背景をもとに木質構造の合理的な設計に対応し、かつ天然資源である木材等の将来に亘つての適正な使用法の裏づけとなる新たな評価体系とくに長期耐力性能の評価に関する体系の確立が強く望まれるようになってきている。

ここで、材料や部材の長期性能に関する研究の経緯をみると、昭和30年代の後半から世界各国で建築物に要求される条件として性能（目的または必要に応じてものが発揮する能力：Performance<sup>3)</sup>）という概念が導入されるようになり、C I B（国際建築研究情報会議）W60（性能概念の委員会：昭和46年）、R I L M（国際材料構造試験研究機関連合：昭和51年発足）を契機として、性能が論じられるようになった。また、このような動きと呼応して我が国においても昭和35年以来、建設省建築研究所を中心に、性能論<sup>4)~8)</sup>に基づいた材料設計に関する研究が実施されてきた。そこでは、第1に材料に要求される性能を明らかにすること、第2に材料に要求される性能に呼応した各材料が有している性能を明らかにすること、第3に第1で整理した条件と第2で明らかにした材料の性能から最適な材料を選択、決定する方法を定めることなどに重点が置かれ研究がなされてきた。

したがって、この一連の研究の中では、材料の試験方法から評価および要求条件に対応した材料等の選定手法が述べられている。一方、昭和48年度からは、これらの研究をさらに進展させ、住宅性能を総合的に評価するシステムの開発研究<sup>9)</sup>が実施されてきた。この研究は、工業化住宅性能認定制度を充実するために行なわれたもので、扱われている項目は、大きく分けて安全性（構造耐力性能、防火性能）、居住性（換気、通気性能、断熱性能、音響性能等）、耐久性、施工性などである。

しかし、これら諸性能の中でも時間的な要素の入った耐久性能（Performance over

time )に関する研究、<sup>3)</sup> 言い換えれば長期性能に関する研究は、定量化の困難さもあり、いまだ明確になつていない部分を多く残している。

一般に、長期性能とは材料や部材が使用される環境下において要求される水準を、長期間（建物の耐用年数の間）保持することである。

したがって、材料や部材が使用される環境条件が明らかになっている必要があり、さらにその環境条件下において、材料等の諸性能がどの程度変化（劣化）するものかを把握しておかなければならない。

このようなことは、木質構造において使用されている木材や木質材料および部材等についても同様であり、それらが使用される環境条件を明らかにした上で、その環境区分に応じた性能評価試験等を実施し、その結果をもとに使用部位に応じた使い分けをする必要がある。そのためには、まず材料や部材が使用されるであろう建物の各部位における環境条件の定量化が必要となる。

既往の研究において環境条件の定量化に関する試みについてみると、建物の各部位における環境（温・湿度）条件の調査というよりは、居住性に関連した室内気候に関する<sup>10)~17)</sup>研究が多い。また、一方では、環境条件を建築物の部材別（壁部材、屋根部材等）に調査された例もあるが、実際に居住した状態で建物の各部位の環境を調査した研究はほとんどないのが現状である。しかし、環境調査は別として使用環境下において、木質構造の構成材料や部材がどのような状態になっているかを調査した報告は数多くある。また、<sup>27)~49)</sup>その中には、木質構造の構造耐力上、重要な釘接合部の劣化状況を調査した報告もあり、<sup>50)~56)</sup>現状ではこれらの調査結果をもとに材料や部材等の長期耐力性能を評価せざるを得ない状況である。しかし、実際に使用された状況から長期性能を評価するのでは年数もかかり、材料等の多様化を考えると対応できないことは明らかである。そこで、実際に使用される環境条件をシュミレートした条件下で短期間における性能試験等を行い、材料や部材等の長期耐力性能の評価を行う必要がある。<sup>57)</sup>

このような性能の評価については、現状では工業化構法において実施されているだけである。しかしながら、材料面におけるこの種の研究をみると、JISやJAS等のような製造規準ではなく、建物に使用される場合を想定した性能規格を作成する必要があることから、性能を評価するための研究も徐々になされつつある。<sup>60)~66)</sup>

一方、木質構造における建物の長期耐力性能に関連した研究等をみると、従来より実施されてきたものはそのほとんどが生物劣化を扱った研究であった。それも生物である腐朽菌やシロアリの生育を主にしたものであり、木質構造の建物の各部位における環境条件との対応で生物劣化が論じられた例は数少ない。さらに、それらの研究成果をもと<sup>67)~78)</sup>

に地域別あるいは建物内で生物劣化が発生する可能性の予測等について研究された例はほとんどない。

一方、環境条件との対応で木質材料の長期耐力性能が建物に作用する湿気（水蒸気・水分）に影響されることが、前述した実態調査等の結果からも明らかになっているが、それら湿分（水分）の中で、現在、もっともその発生が危惧されているものに、建物内の結露問題がある。これについては、従来より理論や試験報告、さらに対応策など数多く出されているが、部材に発生する結露の評価方法やそれにもとずいた部材の性能の分類まで行われた例はほとんどない。

木質構造の長期耐力性能を考えた場合、それに影響を与える要因は生物劣化だけではなく木材や木質材料および部材等の長期性能すなわちクリープ特性や木質構造の接合で主要な釘接合部における釘の腐食による耐力低下やクリープ特性、またクリープのように一定の荷重が作用する場合だけではなく、繰返しの荷重が作用する場合の挙動などが考えられる。

これらの項目について、既往の研究等をみると、木材については、小試験体による梁部材のクリープ試験や理論的検討等がなされているが、複合梁や集成材梁、床部材等の実大材でのクリープ特性に関する報告はほとんどないのが現状である。また、木質材料のクリープ特性については、ボード類を中心に研究がなされているが長期耐力性能の評価まで考慮した研究はない。さらに、釘接合部のクリープや繰返し荷重を受けた場合の特性に関しては、木材相互の接合については報告がなされているが、現状で多用されている木質材料と木材との接合については、報告がなされていない。

一方、釘接合部の耐力低下を考えた場合、上記したクリープ等の他に釘接合部における釘の腐食、すなわち使用環境条件や被接合材料の含水率変化によって生ずるであろう釘径の減少やそれにもとまう耐力の低下が考えられるが、これについても報告は少ない。また、環境条件と釘接合部の耐力の低下に関しては、設計時に考慮すべき低減係数が示されているがこれに関する資料等はない。

さらに、部材などの劣化によって建物がどの程度劣化しているかあるいはどの程度影響を受けているかを判定するための手法に関する研究が実施された例は少ない。したがって、本論文で提案した材料や部材および接合部の長期耐力性能に関するクリープ特性や耐力の低下にもとずいた環境区分あるいは長期耐力性能の評価に関しては、その考え方が示されていない。

そこで、本論文においては、木質構造における部材や接合部等の使用環境条件と長期耐力性能との関連について研究したものであり、本論文の構成は、以下のようになって



いる。

第1章は、序論で研究の目的と範囲を示すとともに、木質部材および接合部の長期耐力性能に関する既往の研究の概要および問題点さらに本論文の構成についてその概要等を述べた。

第2章は、木質構造による住宅等における構成材料や部材の環境条件（温度・湿度）、ならびに、それらの含水率状態を調査することにより、長期耐力性能を評価する上で重要な湿気（水蒸気・水分）の発生原因を明らかにし、その結果をもとに環境条件区分について検討した。

第3章は、生物劣化の発生の可能性について、生物劣化の中でも腐朽をとりあげ、腐朽菌の生育に関するモデル試験の結果をもとに、それらの発生の可能性に関する地域別の区分について検討した。

第4章は、建物に作用する湿気（水蒸気・水分）の中でも、その発生が危惧されている建物内での結露をとりあげ、とくに壁部材に関する結露のモデル試験を実施し、壁体構成や構法が結露に及ぼす影響について検討した。

第5章は、木質構造の接合部として広範囲に利用されている釘接合部をとりあげ、それらの長期耐力性能を考える上で重要な釘の腐食やクリープあるいは繰返し荷重下の特性について検討した。

第6章は、木質材料であるパーティクルボード下張材、木質部材である複合梁（合板ボックスビーム、7×7複合梁）および集成材梁部材のクリープ特性について検討し、さらに第5章および本章の結果をもとに、応力条件の区分を提案した。

第7章は、木質構造住宅の建物全体としての劣化度評価について、モデル試験および既存の建物における試行をもとに劣化度の評価について検討した。

第8章は、前章までの成果をもとに、木質構造における材料や部材および接合部、さらに建物全体の長期耐力性能を評価する際に考慮されなければならない各部位別の環境条件区分や長期耐力性能の評価に関する基本的な考え方を提案した。

## 第2章 木質構造住宅における建物各部の温湿度および部材の含水率

木質構造による住宅の構成材料である木材・木質材料および部材、さらに建物の長期耐力性能をみた場合、長期耐力性能に影響を及ぼすのは構成材料の生物（的）劣化や接合部の耐力低下（低減）などが考えられる。このような耐力の低下を誘発する要因の1つとしては、構成材料・部材の含水率を増加させる建物の外部および内部からの湿気（水蒸気・水分）の影響が考えられる。

これらの湿気には、水仕舞（給排水管周辺の漏水）や雨仕舞（外壁の亀裂、雨樋のつまり、屋根防水など）の不備による使用水や雨水、床下土壌面からの水分、さらに現状では避けがたい結露水（室内からの水分移動、室内外の温度差）などの侵入や停滞が考えられる。

このような湿気の発生原因は、上記した他に、建物の構法や住い方の差異、建物が建設されている地域の気象条件によっても左右されるものと考えられる。

本章では、木質構造による住宅におけるこれら湿気の建物の各部位における状態を、建物が建設されている地域の気象条件との関連から整理し、温度や湿度条件としてとらえ、劣化環境条件を設定する際の環境区分との対応を試みた。さらに、建物を構成している材料や部材が、環境条件下でどのような含水率状態にあるかを把握することにより、環境条件との関連から含水率の増加に影響を及ぼす要因について整理し、木質材料や部材さらに建物の長期耐力性能を評価する上で重要な湿気について検討した。

### 第1節 木質構造による住宅における建物各部位の温湿度

本節では、木質構造の長期耐力性能に影響を及ぼす湿気（水蒸気・水分）が建物の各部位においてどのような状態であるかを把握するため、気候区および第3章の腐朽区分をもとに4地域（旭川、千葉、富山、鹿児島）を選定し、これら地域における木質構造による住宅の長期耐力性能評価において重要であると考えられる各部位の温度・湿度を計測し、それらの環境条件と生物劣化（腐朽）との関連および劣化環境条件を設定する際の環境区分との対応について検討した。

## 1 - 1 温度・湿度の変動傾向

### 1 - 1 - 1 建物の概要

建物の各部位における温度・湿度の調査対象とした建物は、実際に居住している状態の建物であり、建物の建設地域および棟数は、旭川（A、B棟）、千葉（C棟）、富山（D棟）、鹿児島（E棟）の4地域、計5棟の木質構造による住宅である。

なお、建物の建設地域の選定は、我が国の気候区および第3章の成果として提案した腐朽区分（ある地域の気温が15℃以上となる時間数と腐朽との関連から我が国を区分、図-3-2-3参照）にもとずいて行った。各地域を気候区と腐朽区分でみると、旭川は北海道北西部地方で腐朽区分Ⅰ、千葉は関東地方で腐朽区分Ⅳ、富山は北陸地方で腐朽区分Ⅳ、鹿児島は南九州地方で腐朽区分Ⅳとなる。

建物の概要は、次の通りである。

#### (1) A棟

建物（A）は、枠組壁工法による2階建住宅で、寒冷地向けの仕様である。

床下は、土壌面からの湿気を防ぐためにポリエチレンシートを全面に敷き、その上に乾燥した砂がまかれ防湿処理が施されていた。床下の高さも高く、間仕切り布基礎に設けられている改め口も大きいため、床下における人の動きは比較的容易であった。床下換気孔は通気を重視しその配置、量ともに多かった。また、床には断熱材（厚さ100mm、一部200mm）が施されていた。壁の構成は、呼称206の枠組材を用い、外壁下張材には厚さ12mmの硬質セメント板が張られ、外装は吹き付け仕上げであった。壁内には厚さ150mmの断熱材が挿入されていた。

建物の平面図を、図-2-1-1に示した。

#### (2) B棟

建物（B）は、在来軸組構法による2階建で、北海道では一般的な住宅であった。床組は、凍上による1階床の不陸をさけるため、大引型式となっていた。したがって、床下の高さは、大引下端では土壌面に接するほど低く、人の動きは不可能な状態であった。また床下土壌面は、防湿処理が施されておらず、建設残廃材が撤去されていない状態であった。また換気孔の数は少なく、内部の間仕切り布基礎も閉鎖されており、床下の通風はかなり悪い状態であった。なお、この建物は、本調査以前にナミダタケによって被害を受け、その箇所を補修した経緯があった（図-2-1-2参照）。

外壁は、通常のラスモルタル塗りでリシン仕上げを施してあった。ラス下地板と断熱材（厚さ50mm）との間には、防水紙の代わりに発泡スチロールのシート（透湿性

が低い)が張られていた。そのため、ラス下地板や断熱材は、結露と考えられる水分によってかなり濡れていた。

この建物を品質の面からみれば、かなり程度の低い建物であった。

建物の平面図を、図-2-1-2に示した。

### (3) C棟

建物(C)は、枠組壁工法によるタウンハウス形式の3階建住宅であり、品質の面からみてもかなり程度の高い建物であった。

床は、束型式で構造用合板張りとなっており、断熱材が挿入されていた。また床下は、土間コンクリートになっており換気孔も多いため、通風状態は良好であった。しかし、床下の高さがさほどなく人の動きは容易ではなかった。外壁は、窯業系のサイディング張りで、壁内には厚さ50mmの断熱材が挿入されていた。

建物の平面図を、図-2-1-3に示した。

### (4) D棟

建物(D)は、在来軸組構法による2階建て、富山地域に見られる典型的な住宅であった。床には、厚さ50mmの断熱材が挿入されていた。なお、床下には防湿処理は施されていなかった。外壁は、通常のラスモルタル塗りで、リシン仕上げを施しており、壁内には厚さ50mmの断熱材が挿入されていた。

建物の平面図を、図-2-1-4に示した。

### (5) E棟

建物(E)は、在来軸組構法による平家建住宅である。

床下の状態は、換気孔が多いため通風が良く、床下土壌は乾燥していた。なお、床下防湿処理は施されていなかった。外壁は、フレキシブル板に塗装仕上げで、一部ラスモルタル塗りになっていた。また、壁内には、断熱材は挿入されていなかった。

建物の平面図を、図-2-1-5に示した。

以上のような建物において各部位の温度および湿度を計測したが、その方法は温度と湿度が同時に計測できる極小型の温湿度センサー(エース科学研究所製)を用い、変換器を介して打点記録計にて自動記録を行った。計測点数は、C棟においては5点、それ以外の各建物においては6点とした。これらの計測点は、建物の内部で材料や部材の長期耐力性能に影響を与える湿度が、建物の部位の中では比較的高くなると思われる箇所(床下、壁内、浴室の天井等)とした。なお、計測期間は1年間とした。

建物の各部位における計測点は、図-2-1-1~5に○印で示した。

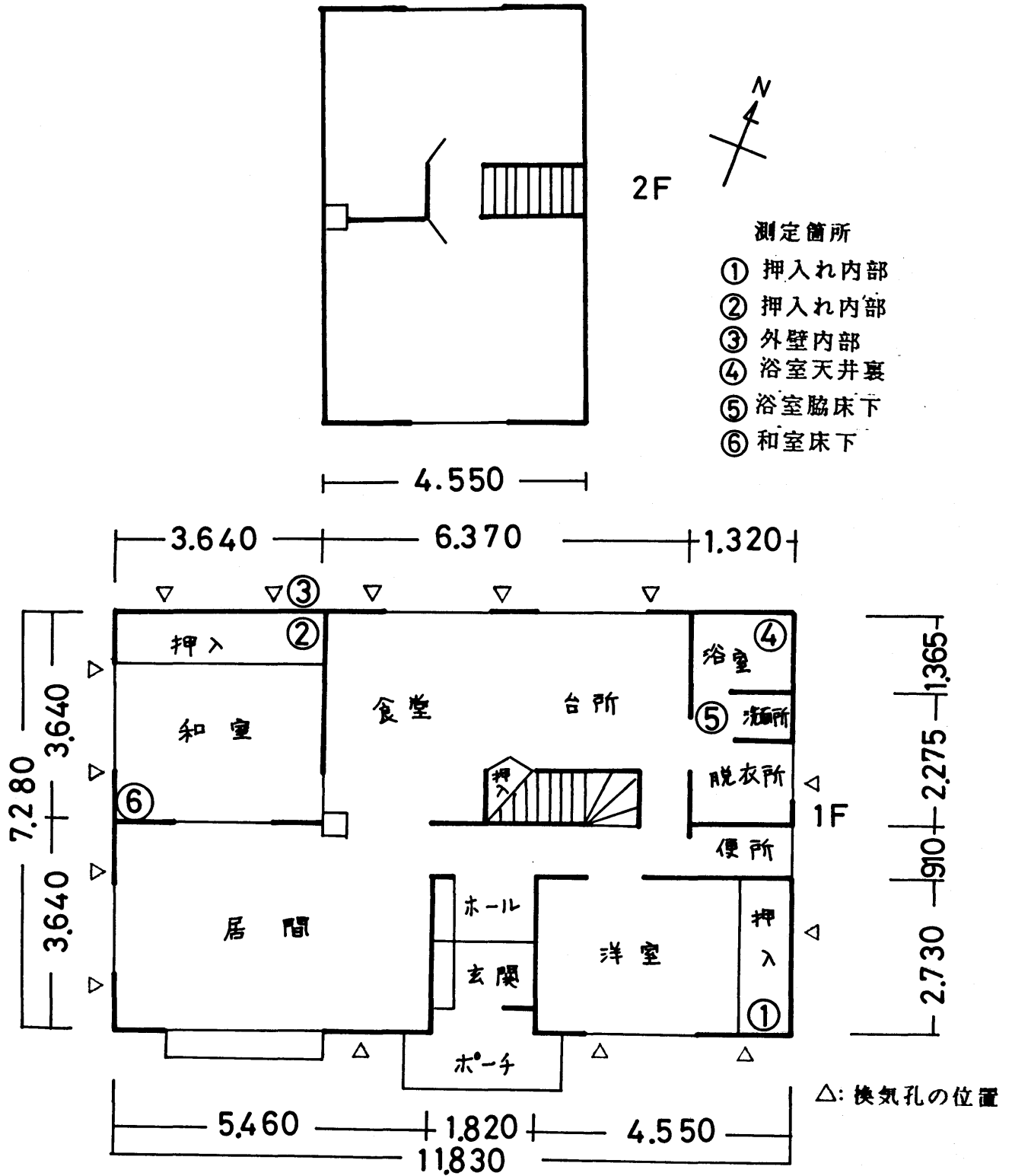
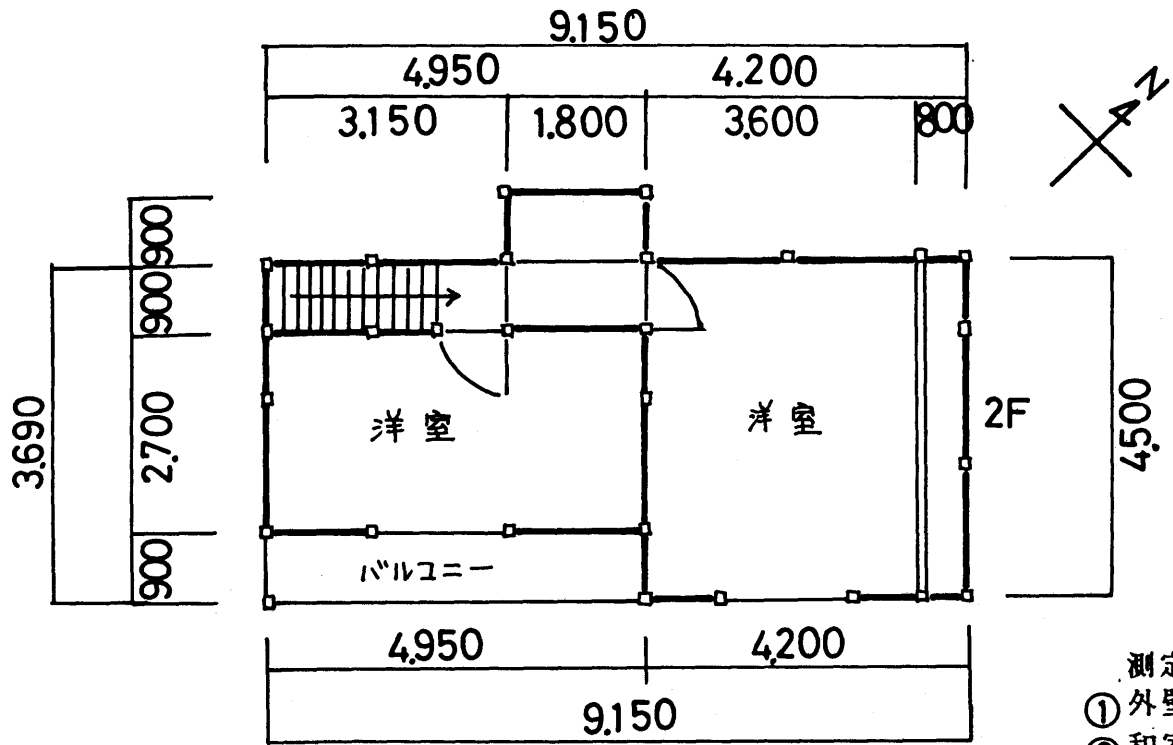
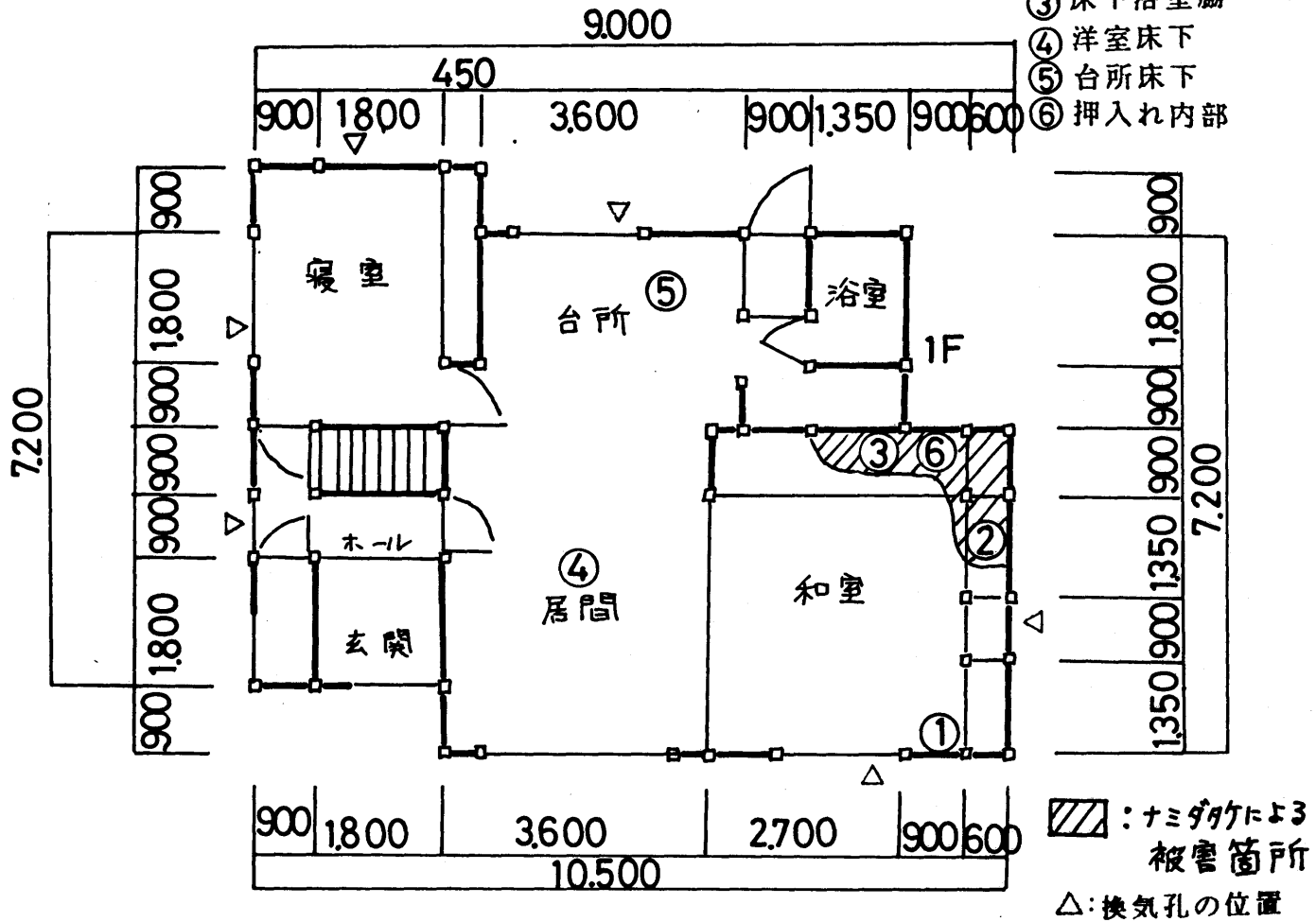


図-2-1-1 建物の平面図 (A)



- 測定箇所  
 ① 外壁内部  
 ② 和室床下  
 ③ 床下浴室脇  
 ④ 洋室床下  
 ⑤ 台所床下  
 ⑥ 押入れ内部



- ▨ : ナミダダケによる  
被害箇所  
 △ : 換気孔の位置

図-2-1-2 建物の平面図 (B)

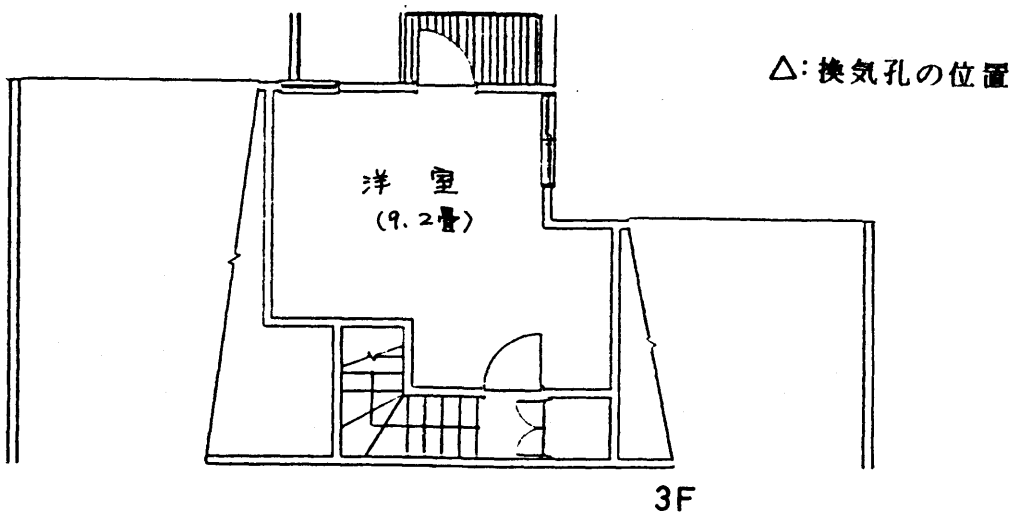
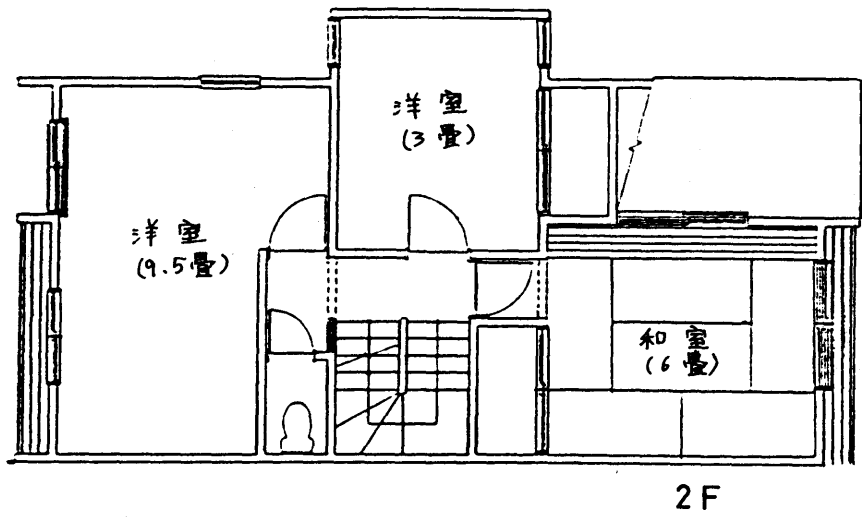
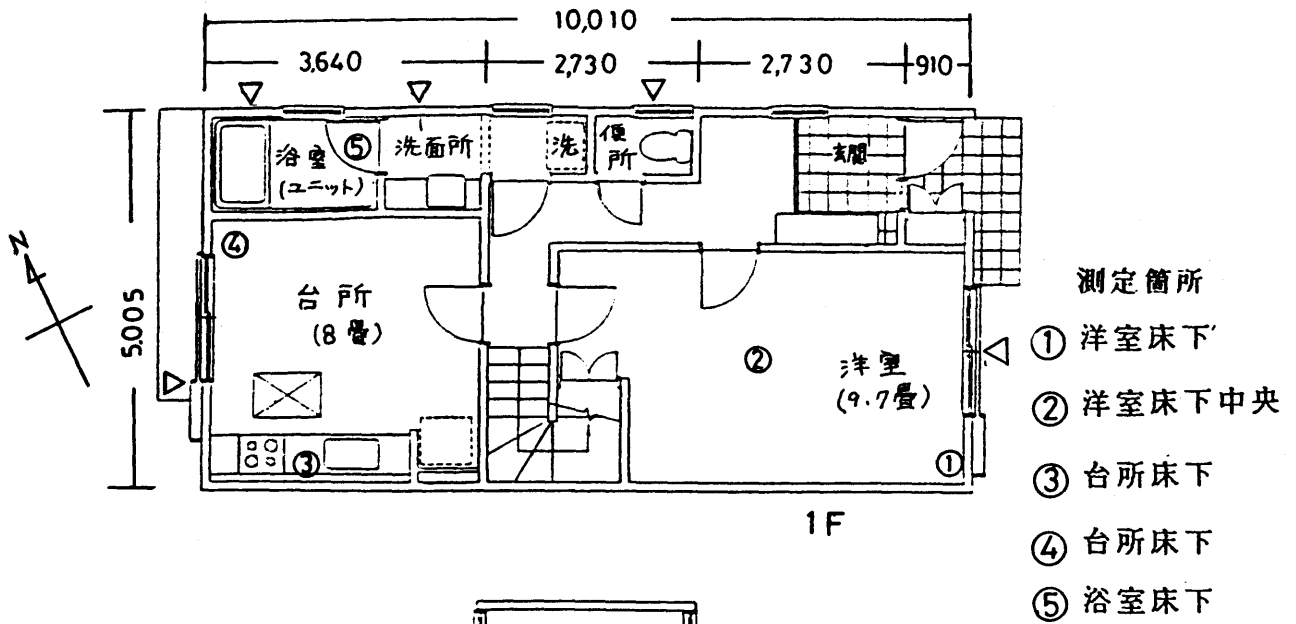
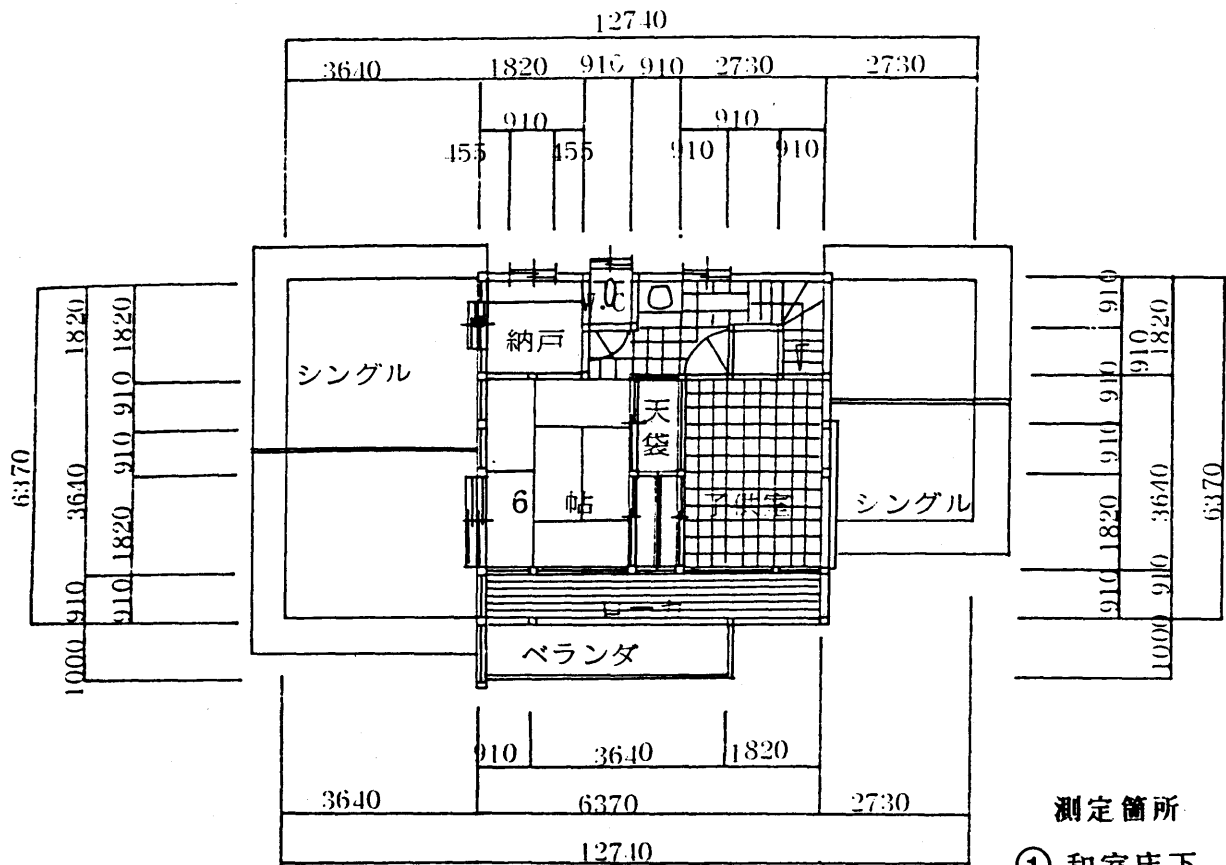


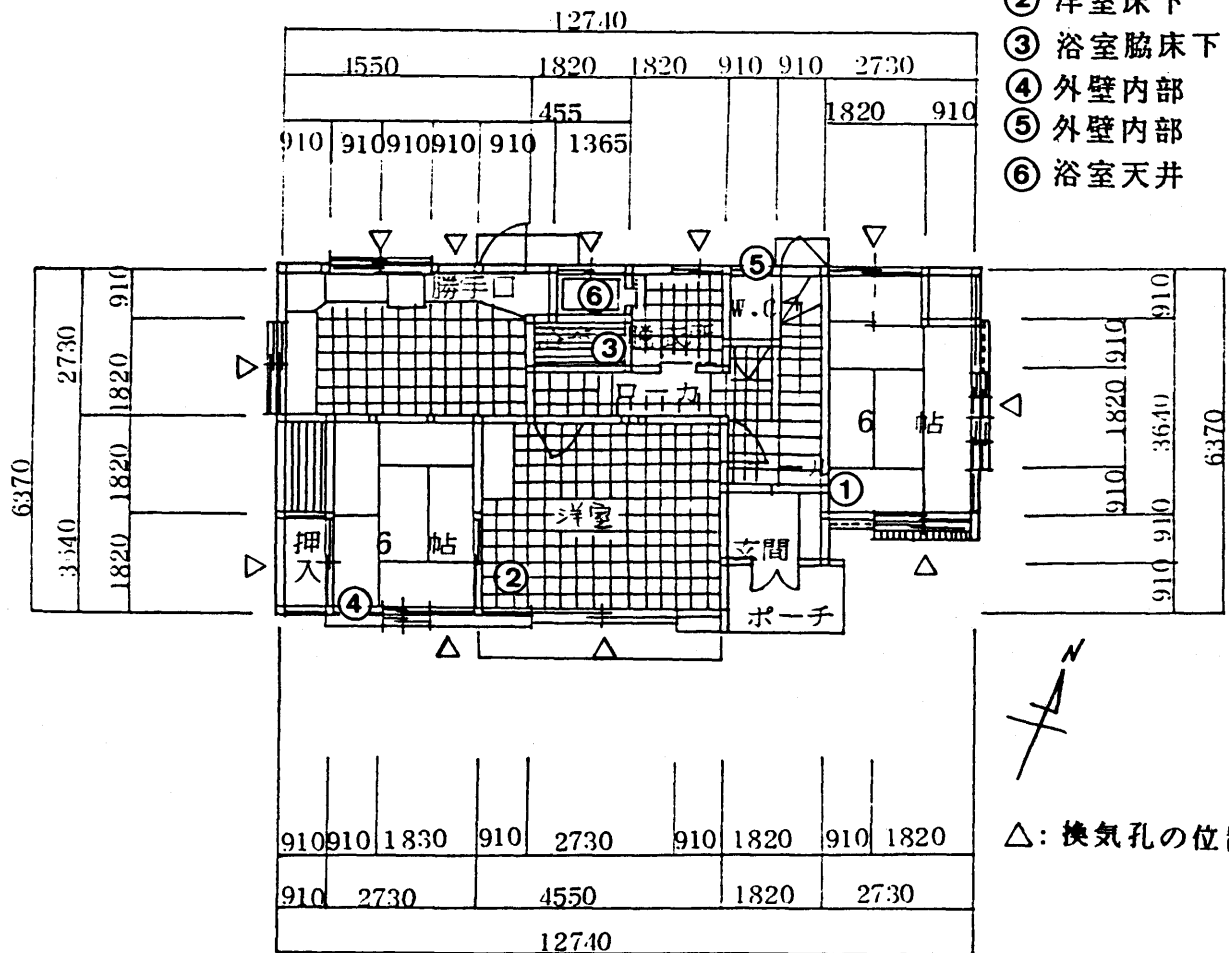
図-2-1-3 建物の平面図 (C)



2階 平面図

測定箇所

- ① 和室床下
- ② 洋室床下
- ③ 浴室脇床下
- ④ 外壁内部
- ⑤ 外壁内部
- ⑥ 浴室天井



1階 平面図



△: 換気孔の位置

図-2-1-4 建物の平面図 (D)



- 測定箇所 ① 浴室天井  
 ② 台所外壁内部  
 ③ 浴室脇床下  
 ④ 台所床下  
 ⑤ 和室床下  
 ⑥ 外壁内部

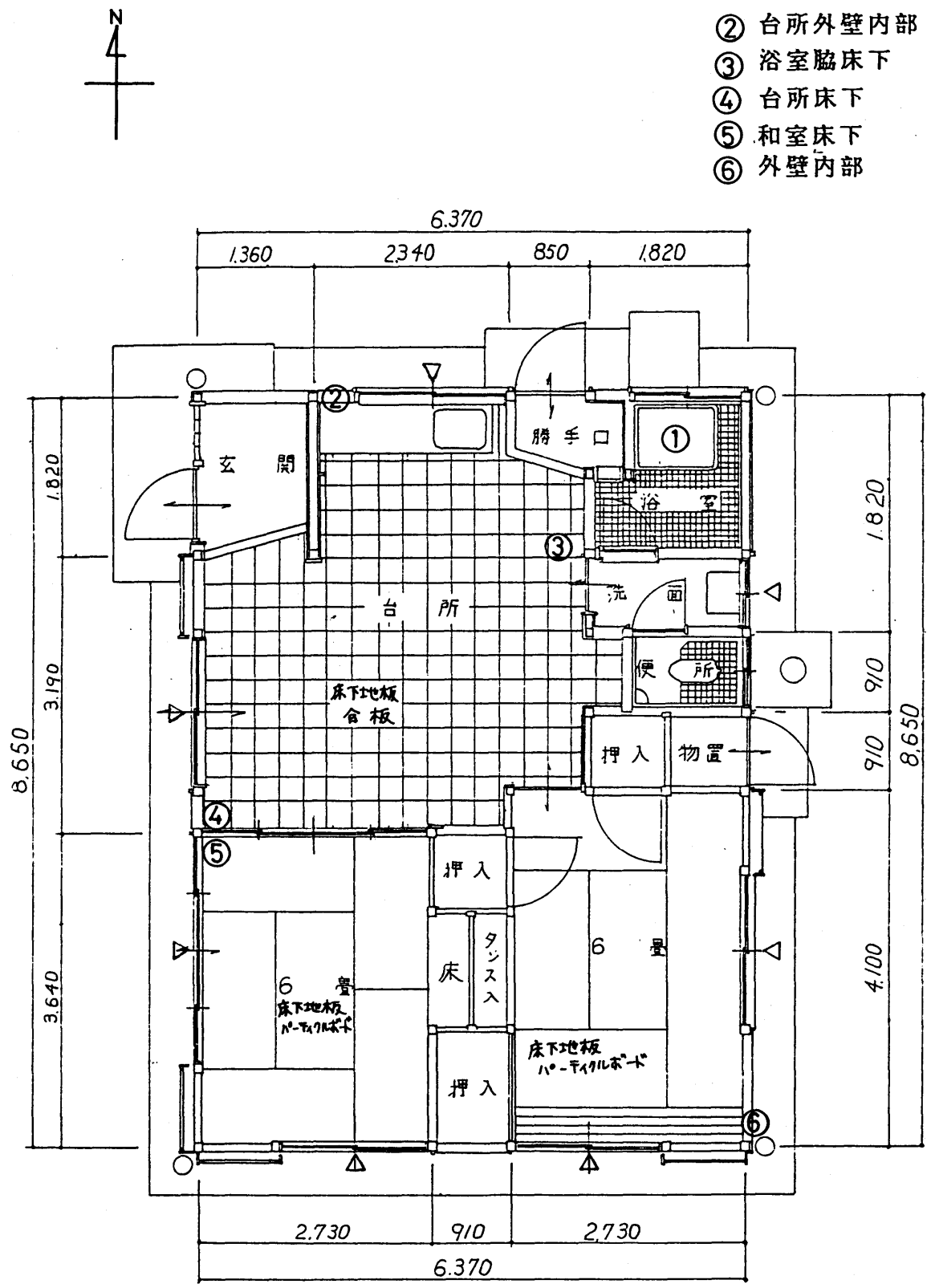


図-2-1-5 建物の平面図 (E)

## 1-1-2 計測結果および考察

それぞれの建物における一年間の計測結果を図-2-1-6~15に示した。これらの図は、建物の各部位の温度と湿度の月平均値を用いて気候図（クリモグラフ）として表わしたものである。また、各々の建物の各部位における一年間の温度および湿度と外気条件（温度、湿度）との関係を図-2-1-16~30に、さらにそれらの関係式を表-2-1-1に示した。

これらの結果より全般的な傾向として次のような点が認められた。

- (1) 表-2-1-1より、建物の各部位における温度は、外気温度との相関が高く、その変動幅も小さいことから、建物の各部位の温度は、外気の温度条件の影響を受けることが明らかとなった。

一方、湿度は建物や建設地域によって、また建物内の部位、とくに浴室の天井・床下や外壁の内部などにおいて外気湿度との相関が低く、変動幅も大きいことが認められた。この傾向は、各部位における通気（通風）の差異や住い方（入浴回数、暖房方法やその時間）に関係しているものと考えられる。すなわち、通気量が多い箇所では外気の流入量が多くなり、そのため外気の湿度との相関が高くなる。また、住い方に関しては、入浴や暖房によって発生する水蒸気の影響を受け、それらが部材内に透湿するため外気との相関が低くなったものと考えられる。したがって、建物の各部位の湿度は、外気の湿度条件よりも構法や住い方による影響の方が大きいことが明らかとなった。

- (2) 建物内の温度・湿度の年間変動をみるために、気候図から年間の温度・湿度の最低値・最高値を求め表-2-1-2に示した。これより、A棟においては建設地域が旭川であることから、建物の各部位の温度は外気温度より全般的に高く、とくに最低値において、外気温度との差が他の地域の建物と比べ大きく。また湿度は、外気より低くなる傾向が認められ、防水や防湿処理の効果が現れているものと考えられる。

C棟においては、建物の各部位の温度は外気温度の変動幅に含まれ、湿度はその最低値が外気湿度より低くなるが、最高値は全般的に外気より高くなる傾向が認められた。

C棟の場合、計測箇所がすべて床下であることを考えると、土間コンクリート面からの放湿と室内からの水蒸気が透湿し、さらに通気（換気孔が十分であっても隅角部あるいは部材断面が大きいと空気はその部分を流れなくなり淀みを生ずる可能性がある）が十分行われないためにこのような傾向を示したものと考えられる。

D棟においては、建物の各部位の温度はA棟と同様に外気温度より全般的に高くなり、湿度は部位によって外気湿度より低い箇所もあるが、全般的に外気湿度とほぼ同様の変動を示すことが認められた。

E棟においては、建物の各部位の温度はほぼ外気温度の変動幅に含まれるが、湿度が全般的に外気湿度より高くなる傾向が認められた。E棟においてもC棟と同様なことが考えられる。

次に、温度と湿度の変動幅についてみる。この変動幅は建物の各部位における湿気の室内側からの透湿あるいは発生量の差をみることができる。

そこで、図-2-1-16~30に示した相関図から各々の建物の各部位における温度・湿度の変動幅を外気と比較してみると、表-2-1-3に示したようにまとめられる。

これらの結果から、次のような点が認められた。

(1) A棟の場合、温度変動が大きいのは押入れ（北側）であり、以下押入れ（南側）、浴室床下、和室床下（西側）、浴室天井、外壁（北側）の順になっている。また、湿度変動は浴室床下が大きく、以下外壁（北側）、和室床下、浴室天井、押入れ（南、北側）の順になっている。

(2) C棟の場合、温度変動が大きいのは浴室脇床下であり、以下洋室（南側、中央）浴室床下、台所床下の順である。

湿度変動が大きいのは、洋室（中央）で、以下浴室床下、洋室（南側）、浴室脇床下、流し台床下の順になっている。

(3) D棟の場合、温度変動が大きいのは和室床下（南側）と外壁（西側）で、以下洋室床下（南側）と浴室天井、浴室床下、外壁（北側）の順になっている。

湿度変動が大きいのは、浴室天井であり、以下浴室床下と外壁（南側）、洋室床下（南側）、和室床下（南側）と外壁（北側）の順になっている。

(4) E棟の場合、温度変動が大きいのは浴室天井であり、以下台所床下と和室床下、外壁（北側、東側）の順になっている。

湿度変動が大きいのは、台所床下であり、以下浴室天井と外壁（北側・東側）、浴室床下と和室床下の順になっている。

(5) 各部位毎に温度・湿度の変動傾向をみると、全般的に床下は、温度の変動幅が小さいが、湿度の変動幅が他の部位に比べ大きく、室内からの透湿や土壌面からの水分や換気孔の配置や量等が影響しているものと考えられる。

外壁については、温度・湿度の変動がかなりあり、室内の環境条件との関連が重

要であることが考えられる。とくに、B棟においては冬期の壁内結露によって温湿度センサー（計測点①）が計測不能になったことから明らかである。

また、温度・湿度の変動がかなり大きい部位は浴室の天井や床下であり、これらの部位は建物の中でも湿気の影響を受けやすいことが明らかとなった。また、この結果は、既往の実態調査の報告と一致する結果となった。<sup>27)～49)</sup>

## 1-2 建物の各部位における温度・湿度と構成材料の含水率との関係

建物の各部位における温度・湿度条件は、その部位における構成材料や部材の長期耐力性能に影響を及ぼす湿気の状態や構成材料の含水率を知る上で重要な示唆を与えてくれる。

ここでは、建物の各部位別に計測した温度・湿度条件の結果をもとに、その部位における木材の含水率を求め、環境条件と構成材料の含水率との関係について検討した。

そこで、図2-1-6～15に示した温度・湿度の計測結果から平衡含水率<sup>121)</sup>を求めると表-2-1-4に示したようになる。なお、同表には比較のために各々の地域の外気条件から求めた含水率も示した。

表-2-1-5から、全般的な傾向として、外気の温度・湿度条件から求めた含水率よりも建物の各部位の温度・湿度条件から求めた含水率の方が高くなる傾向があり、なんらかの形で計測部位に湿気が供給されたものと考えられる。また、湿度が高い部位（床下）の含水率は、その他の部位に比べ含水率も高くなる傾向が認められる。建物の各部位別にみるならば、床下とくに浴室近くにおける部材の含水率が高くなっている。このことは、1-1-2で考察した要因によるものと考えられる。

一方、外壁に用いられていた部材の含水率をみるとA棟を除きB棟（計測点①）、D棟（計測点⑤）など断熱材が挿入された壁は、断熱材が挿入されていない外壁（E棟：計測点②、⑥）と比べ、同一の建物内における各部位の部材の含水率よりも高く、結露や雨水の侵入した可能性のあることが認められた。

以上のような含水率の傾向は、建物の各部位の環境条件を計測することにより認められたことであるが、このことから部位の環境条件の中でも湿度の条件が、その部位を構成している部材の含水率変動に与える影響が大きいことが明らかとなった。

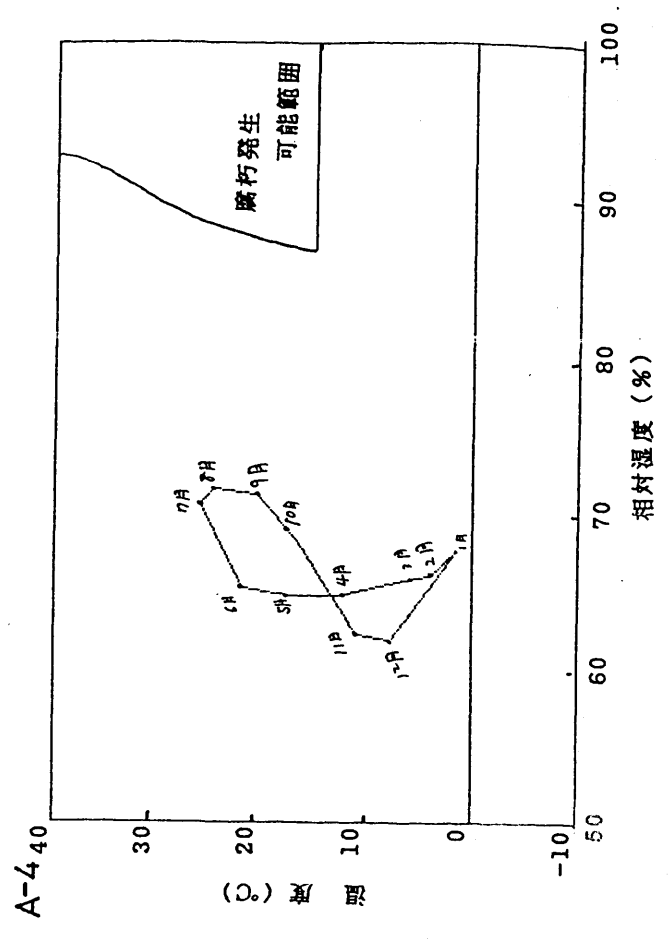
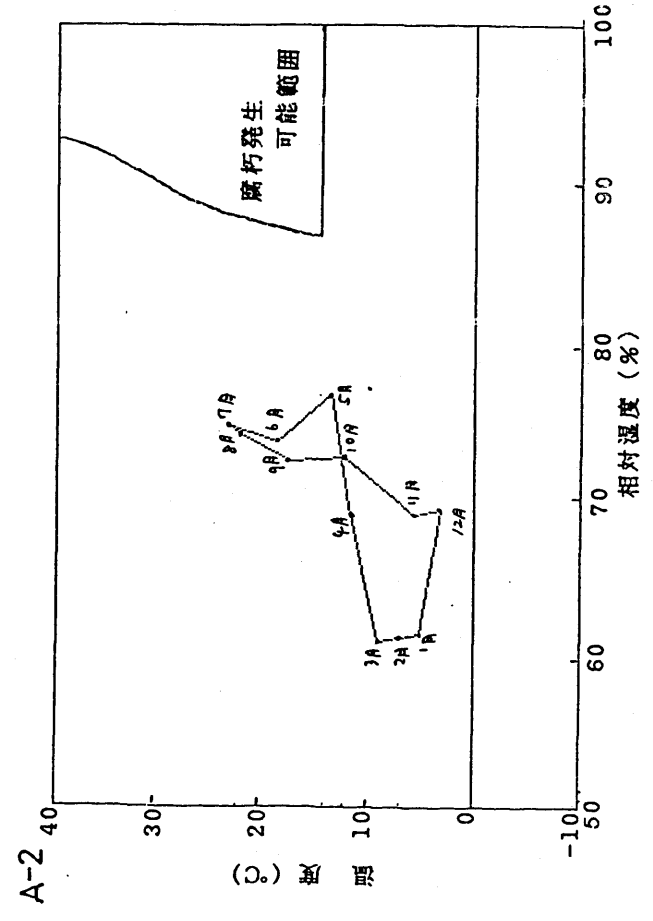
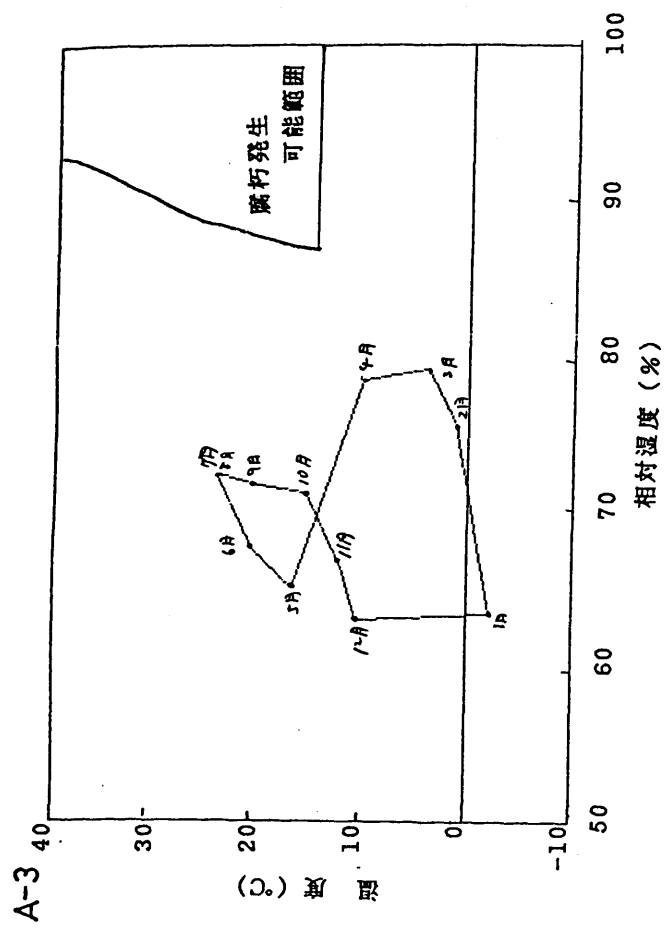
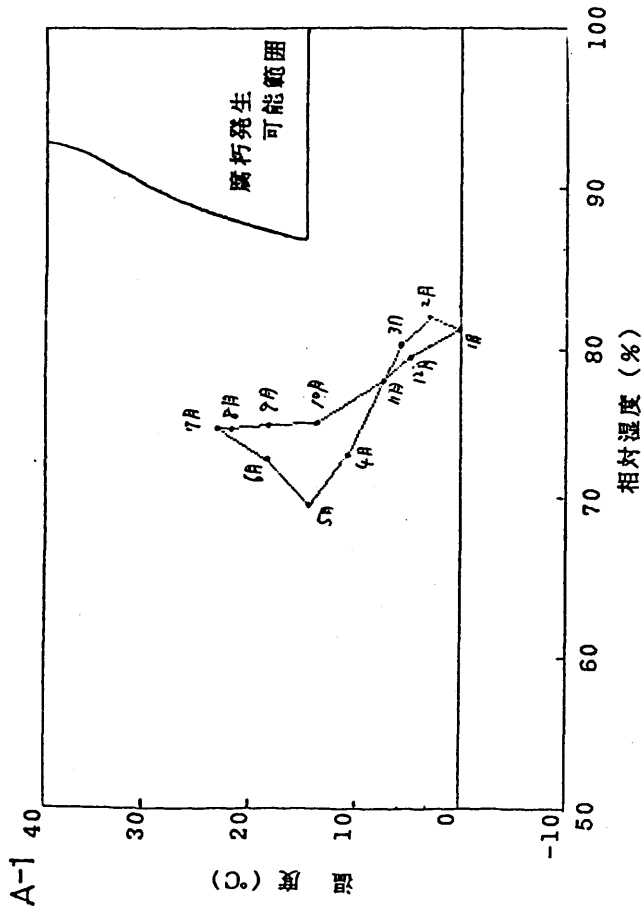


図-2-1-6

建築物の各部位における気候図

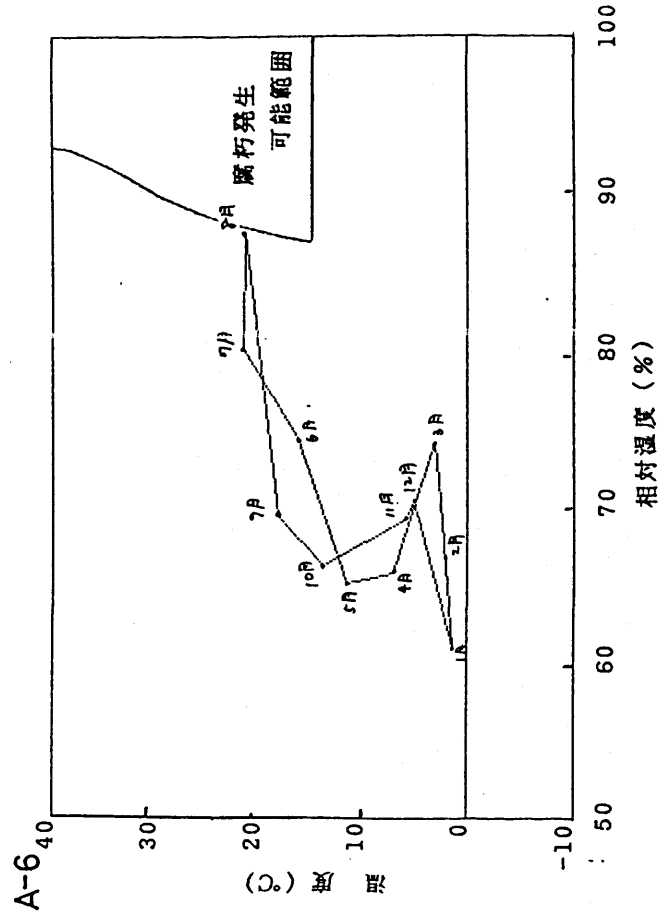
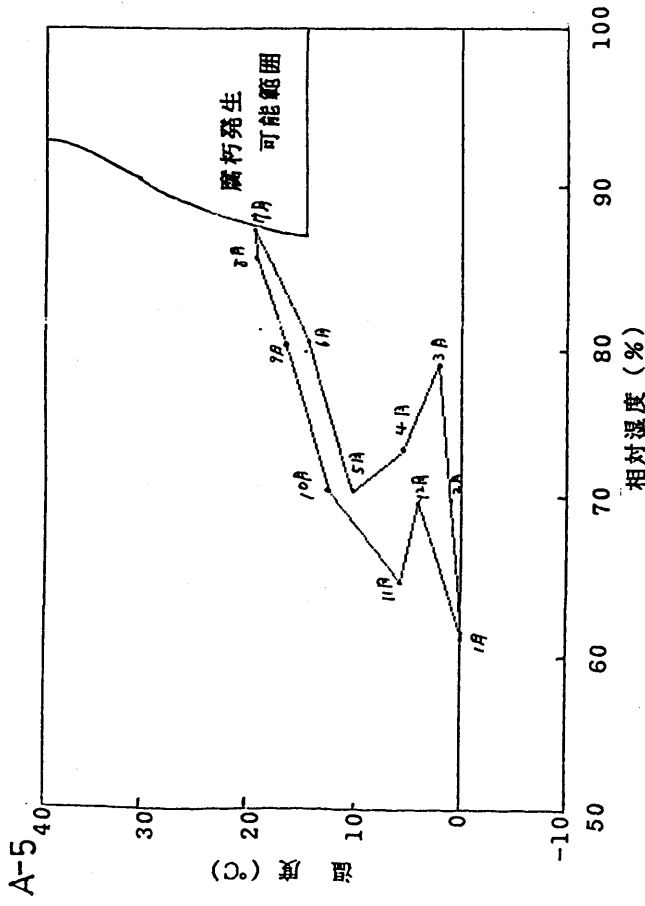
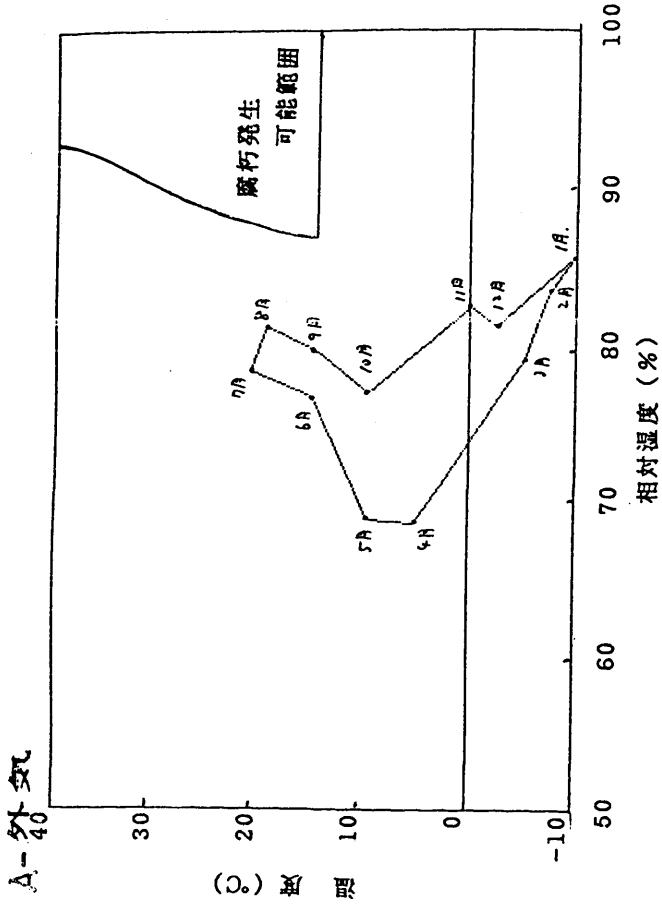


図-2-1-7 建物の各部位における気候図

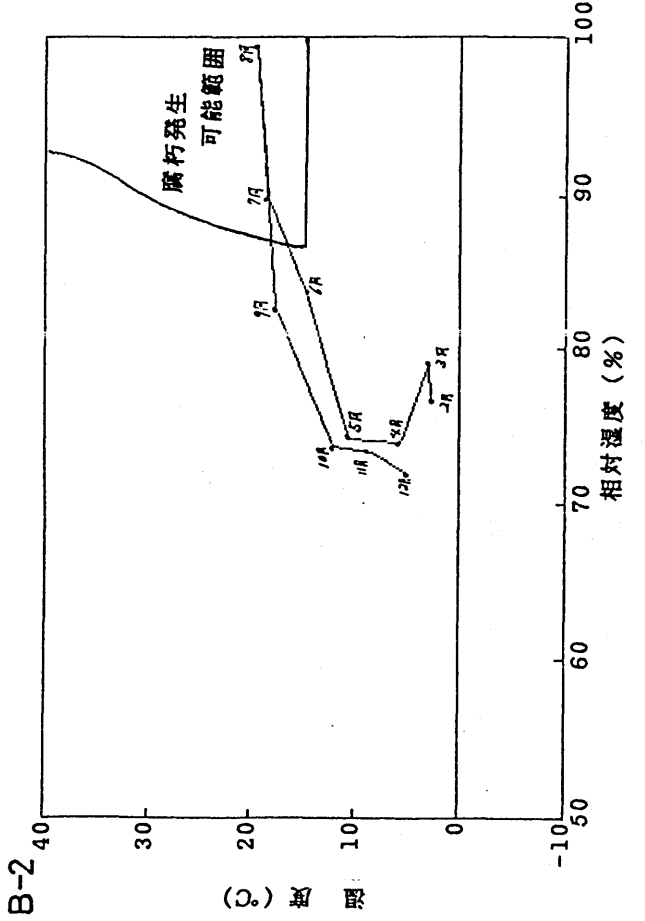
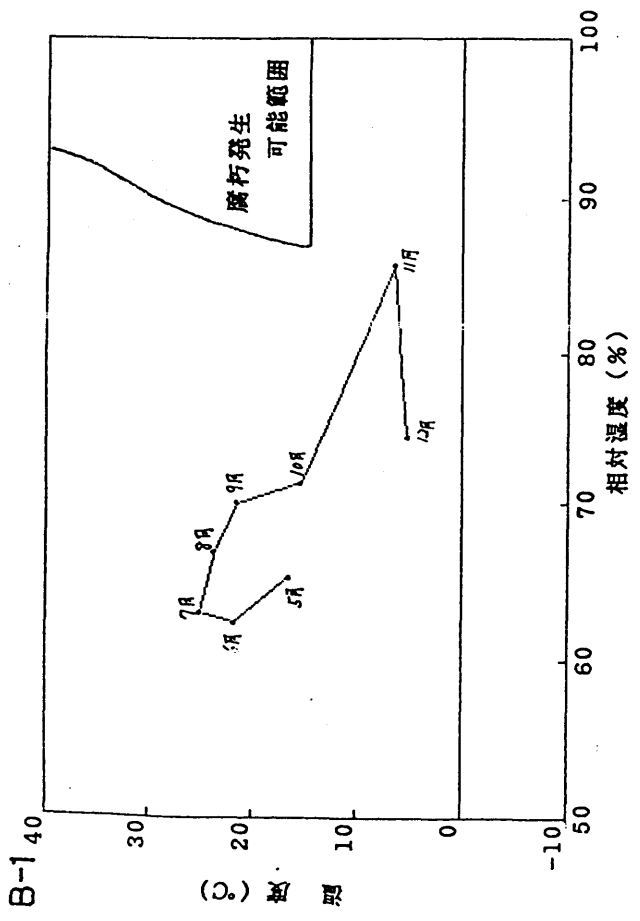
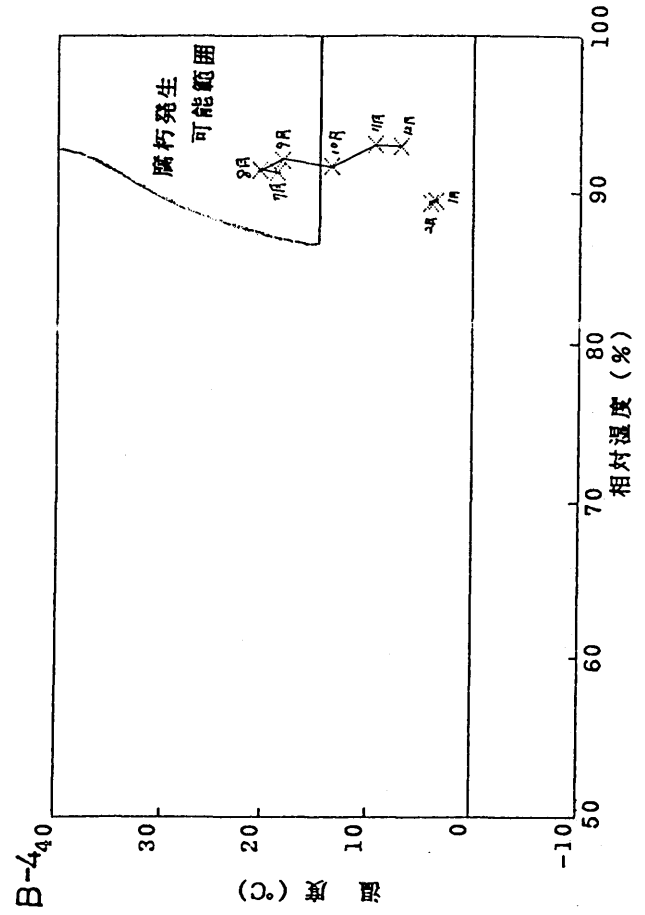
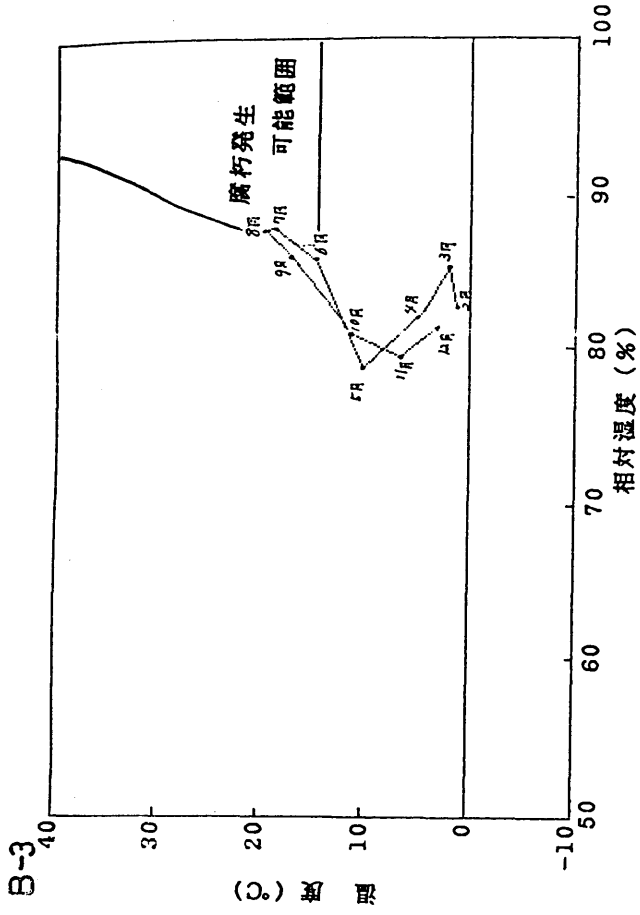
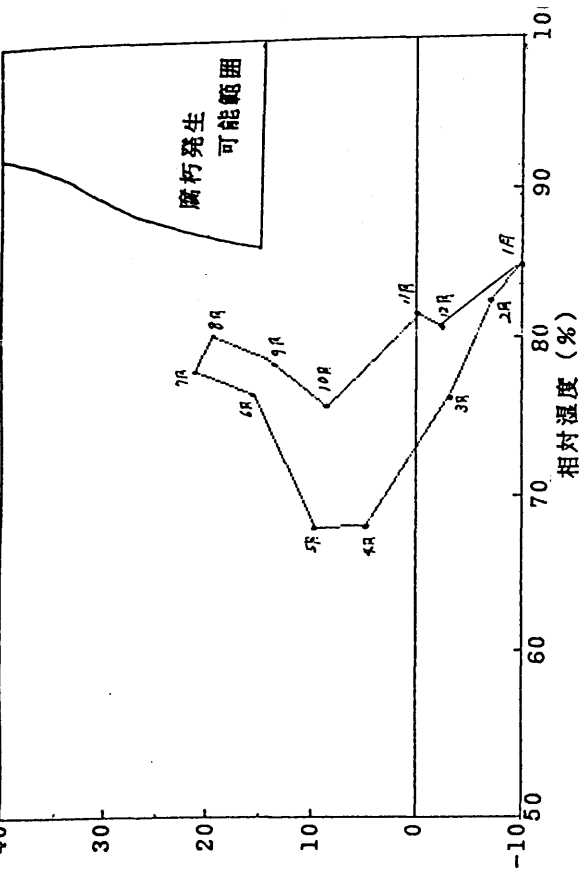
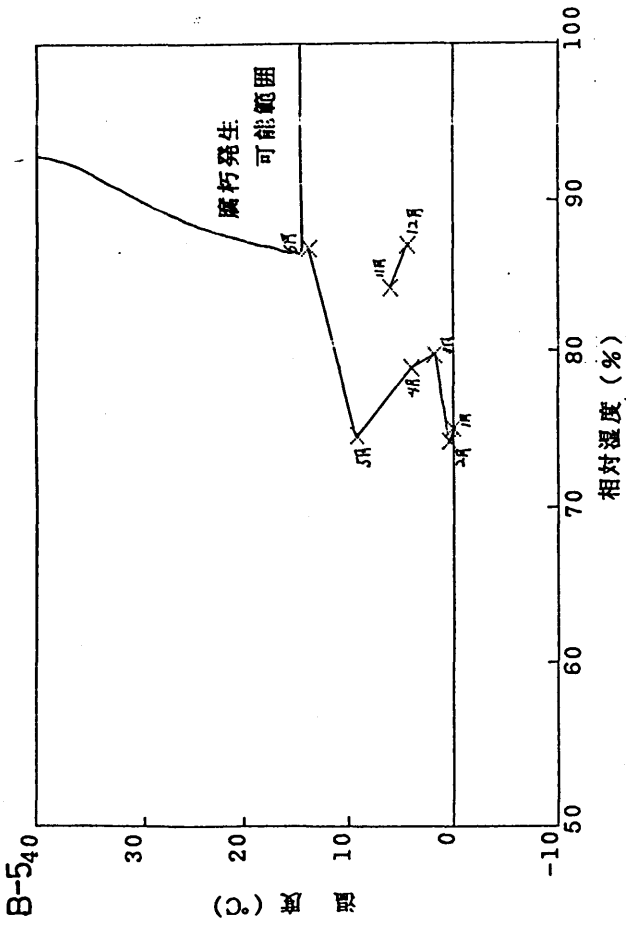


図-2-1-8 建築物の各部位における気候図

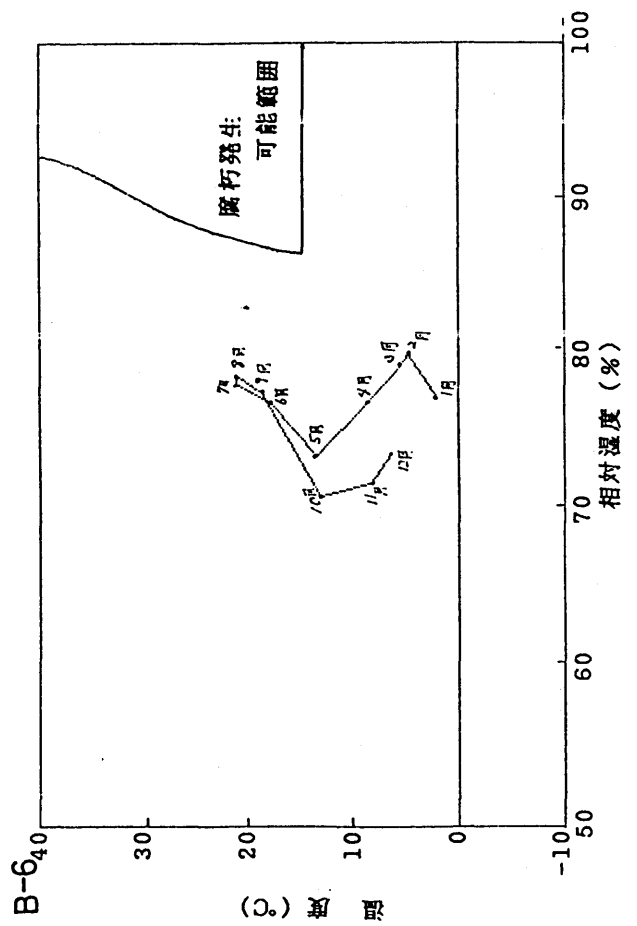
B-外気



(C) 概 要



(C) 概 要



(C) 概 要



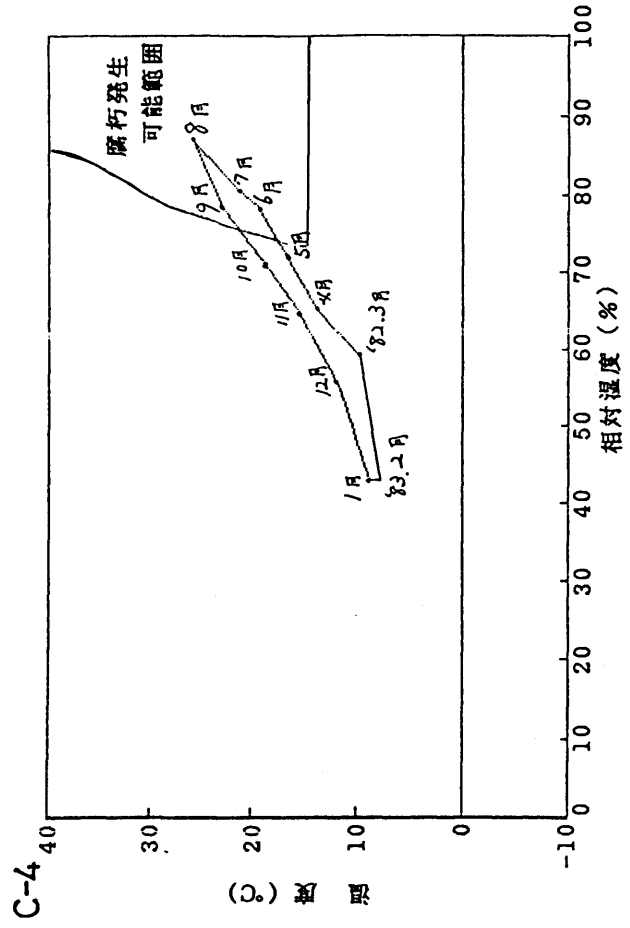
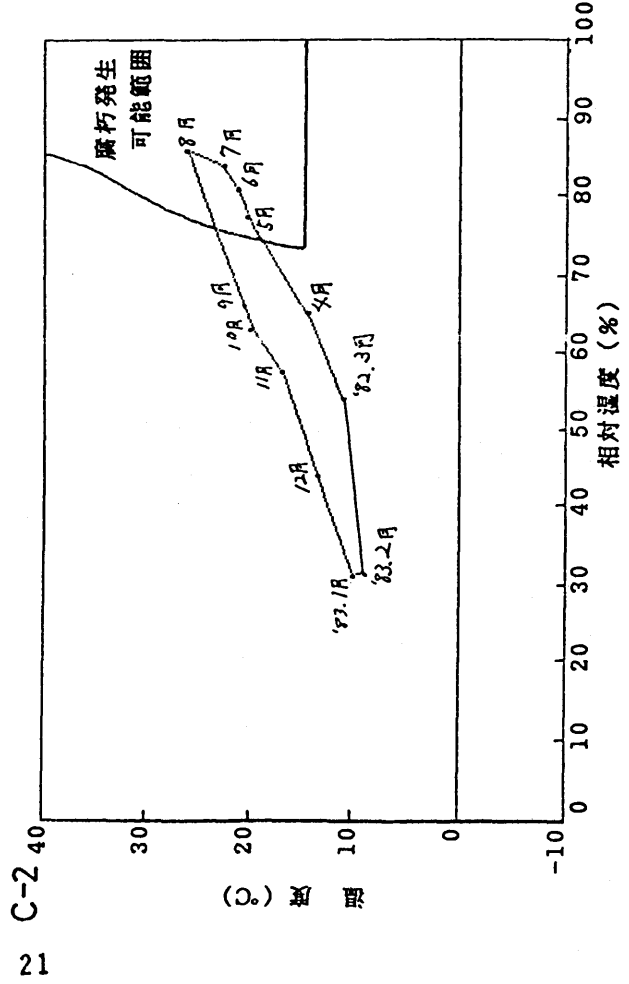
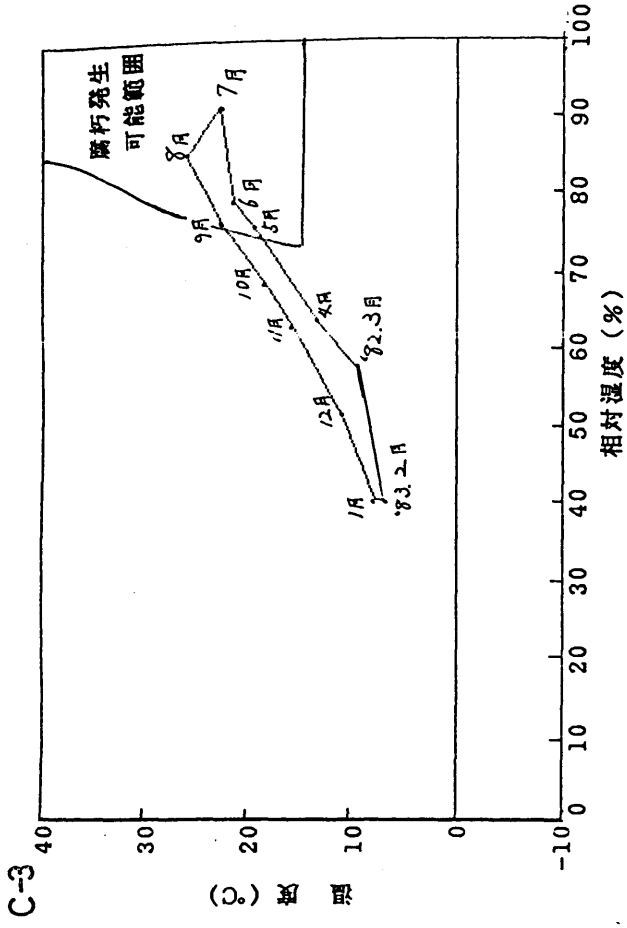
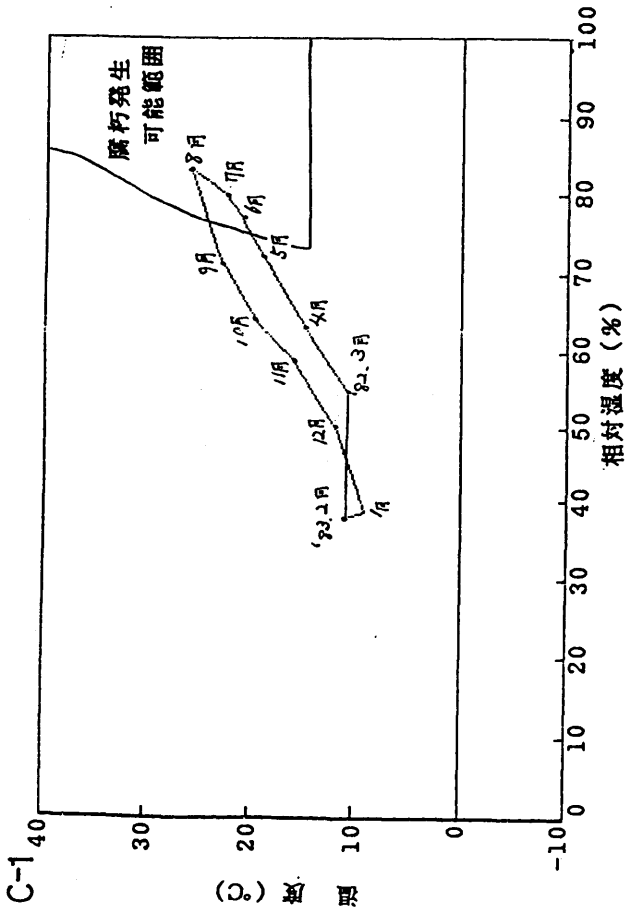


図-2-1-10 建物の各部位における気候図

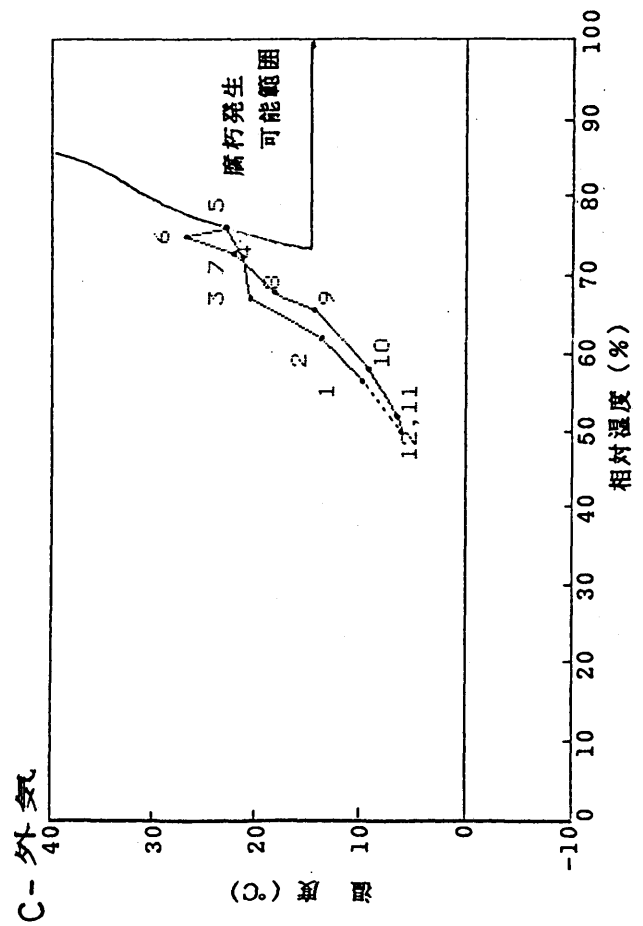
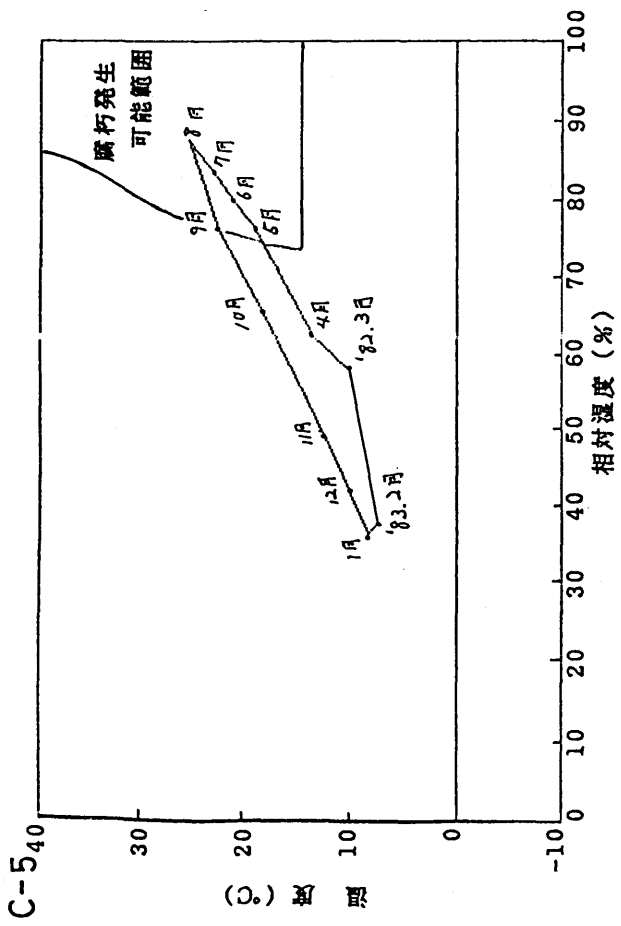


図-2-1-11 建築物の各部位における気候図

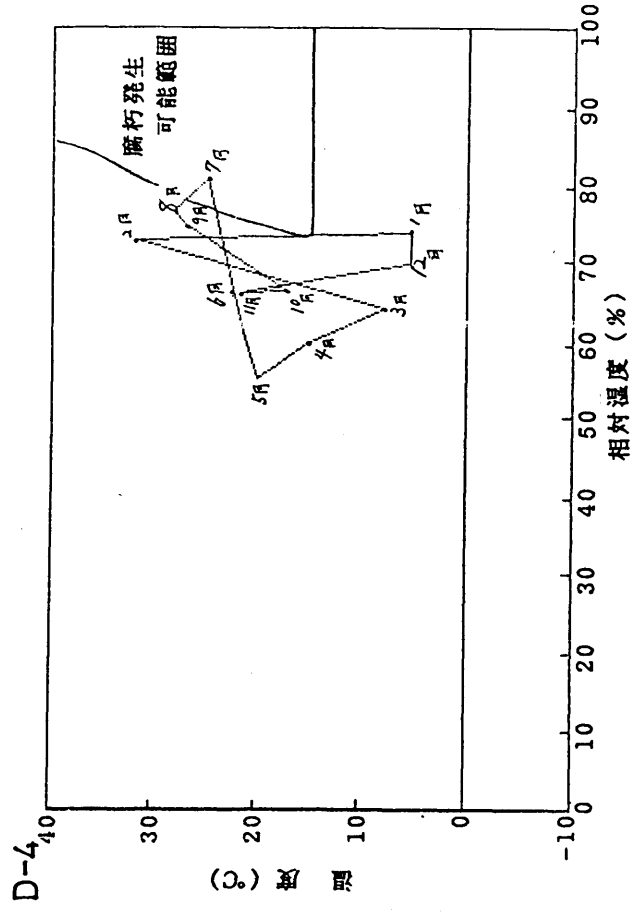
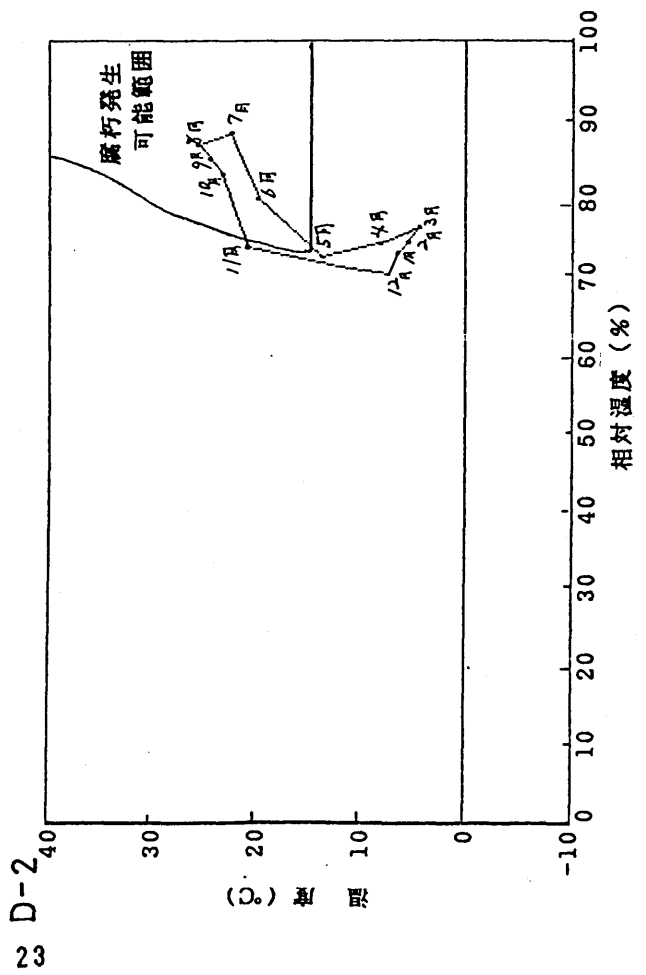
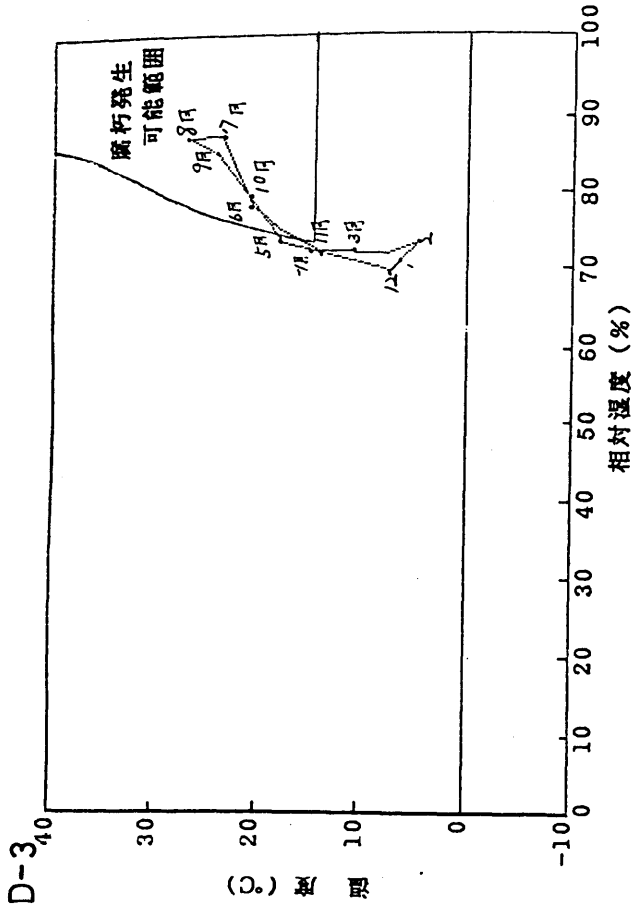
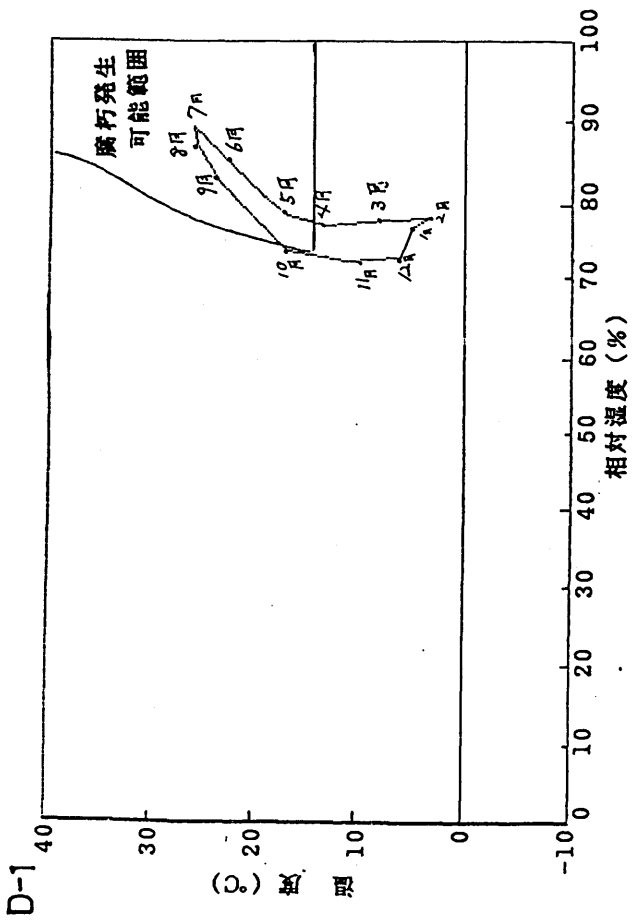
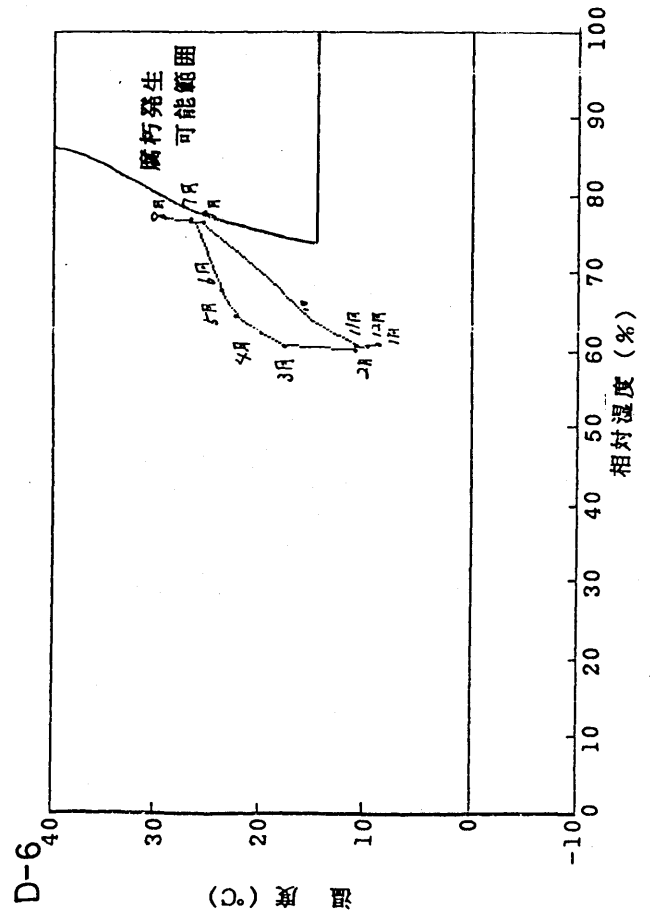
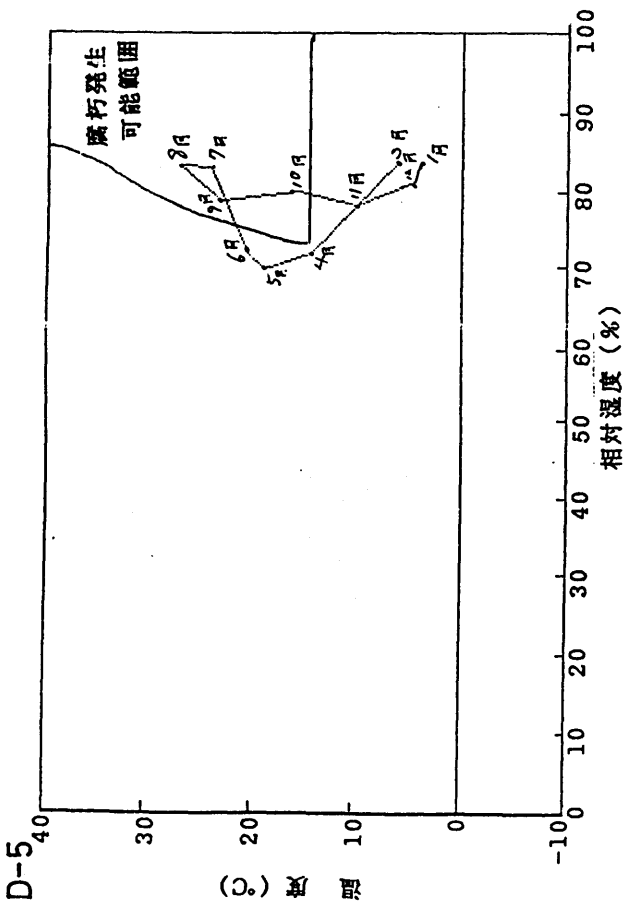
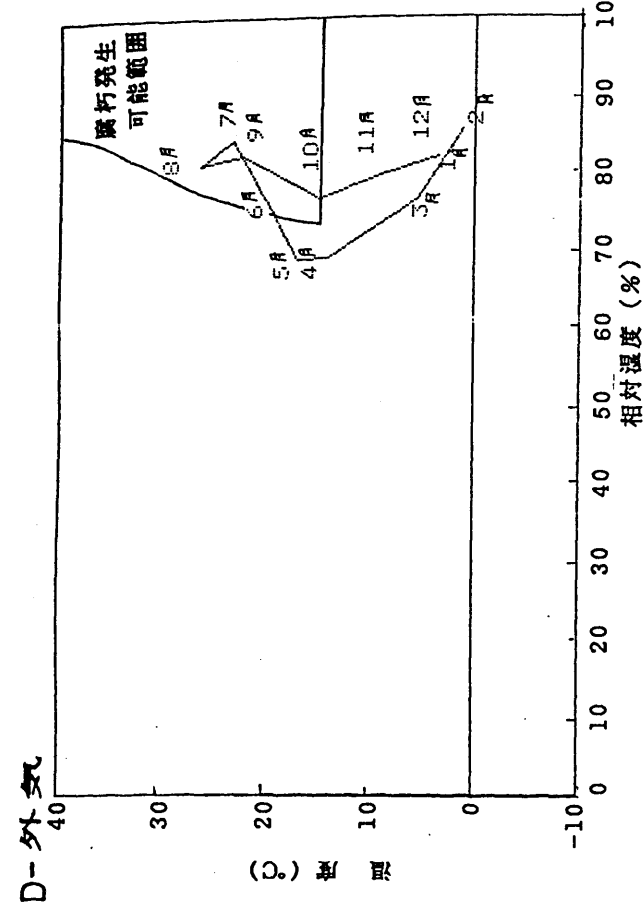


図-2-1-12 建築物の各部位における気候図



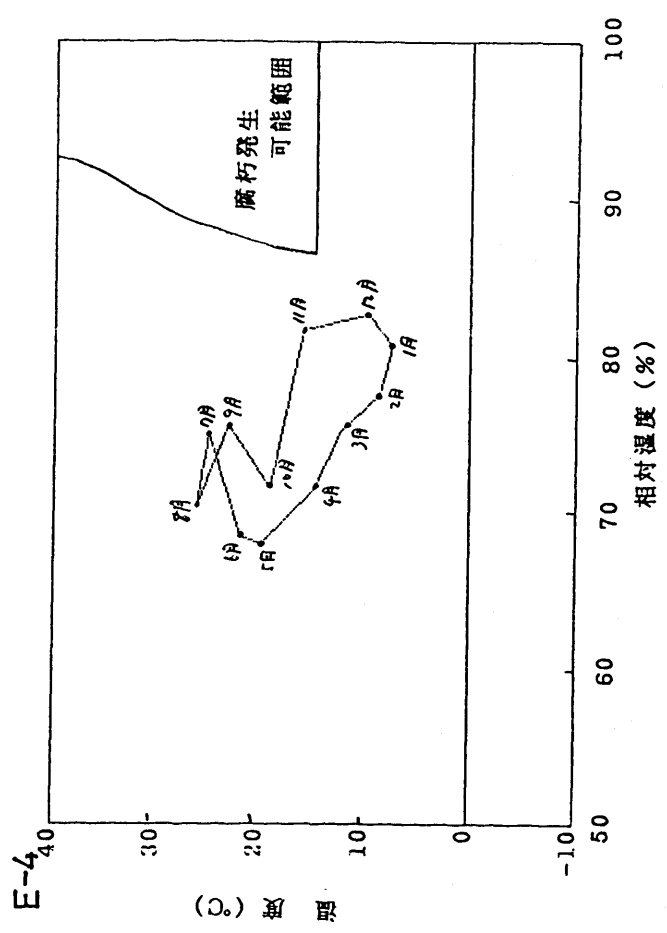
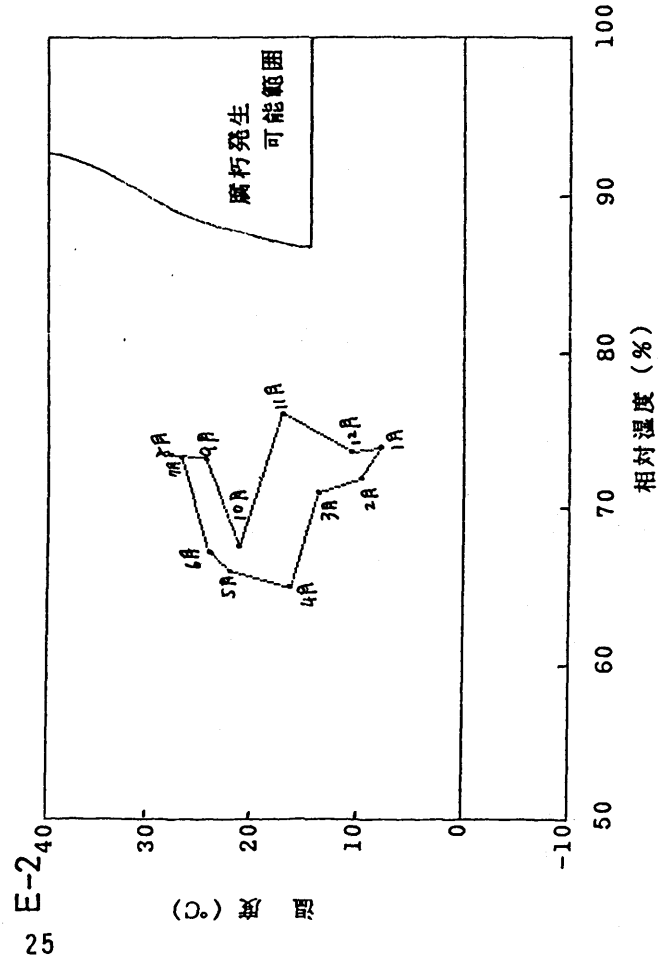
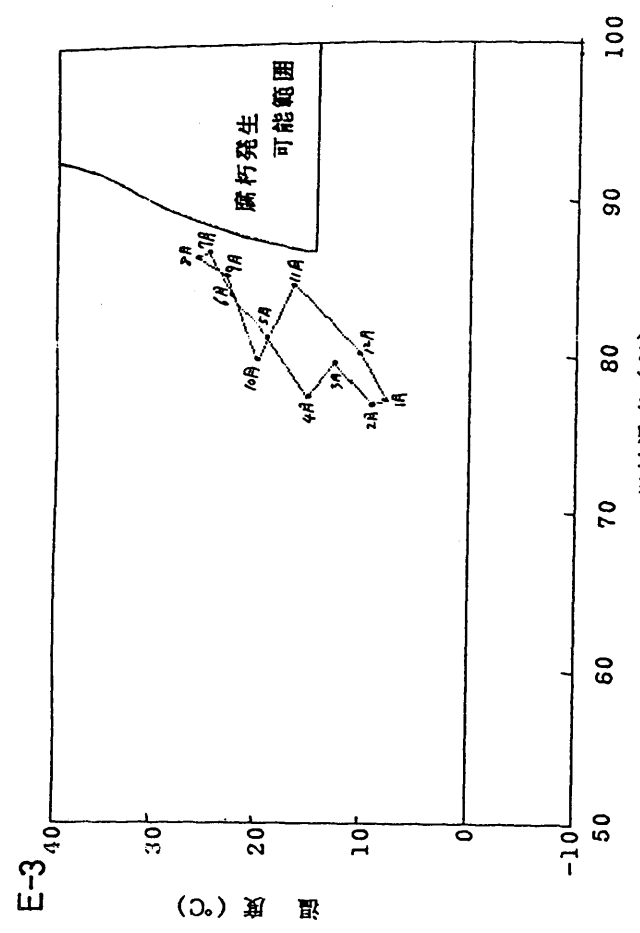
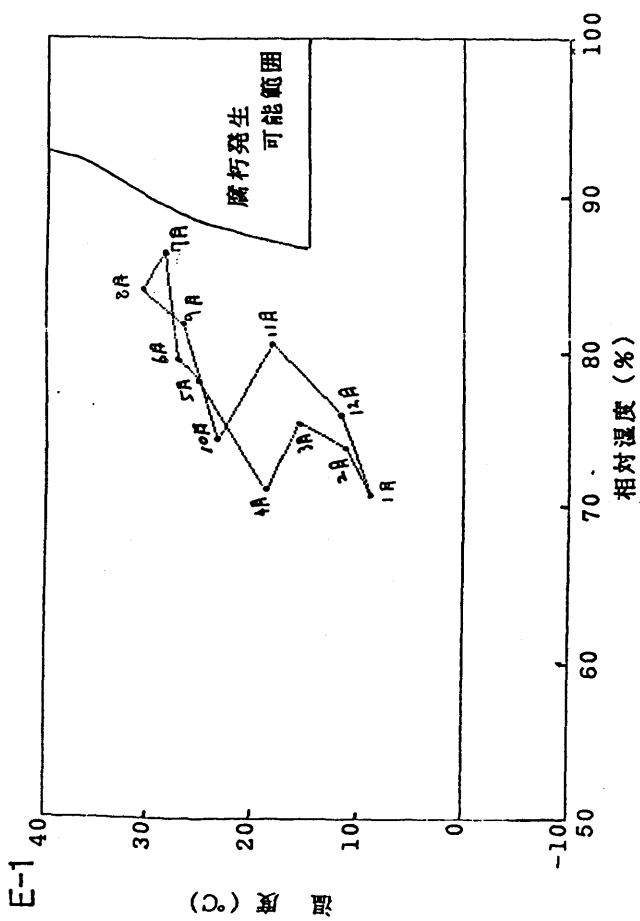


図-2-1-1-4 建築物の各部位における気候図

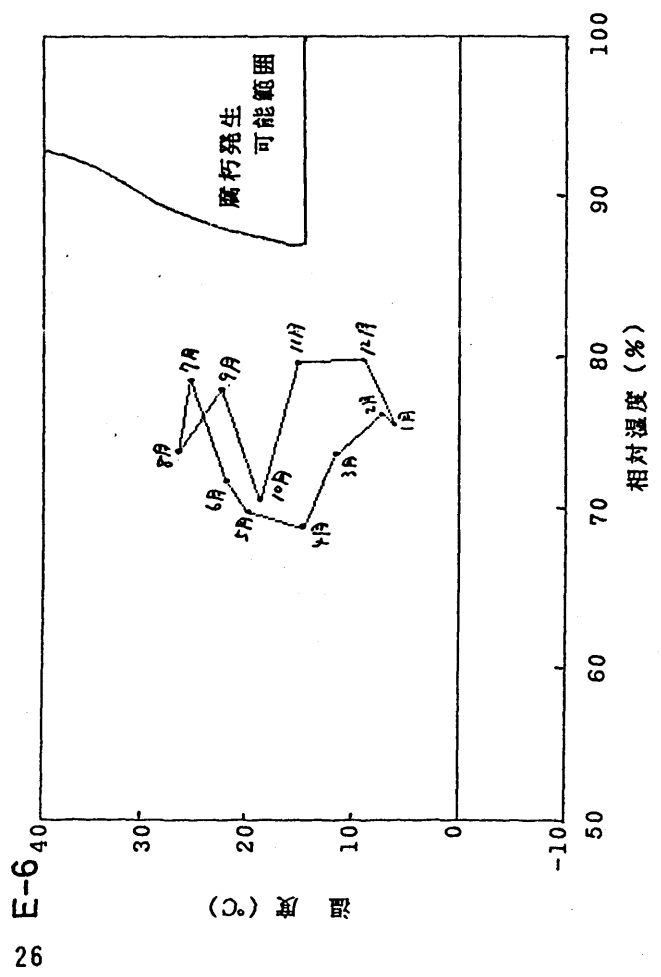
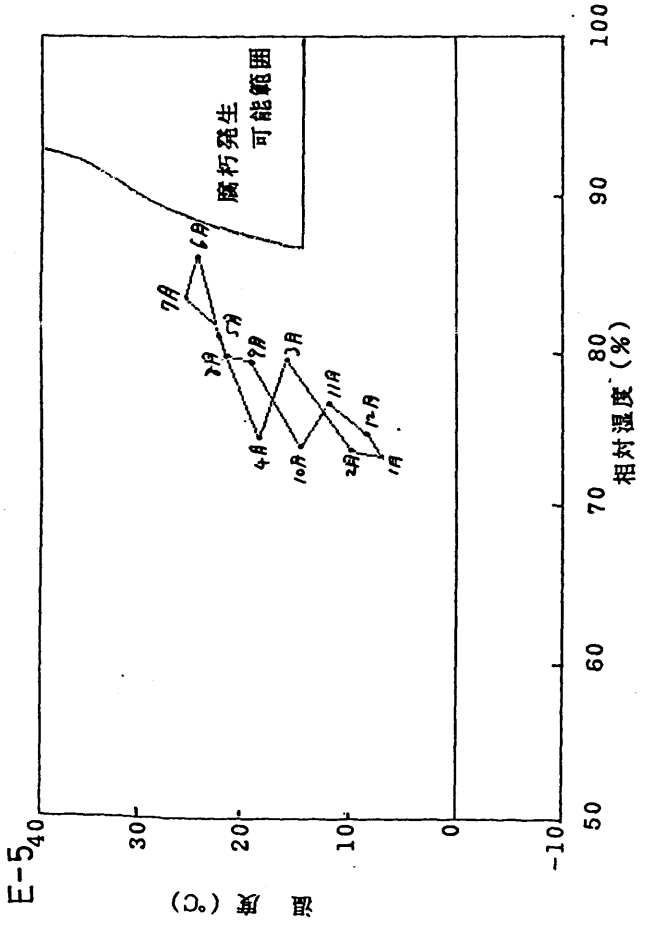
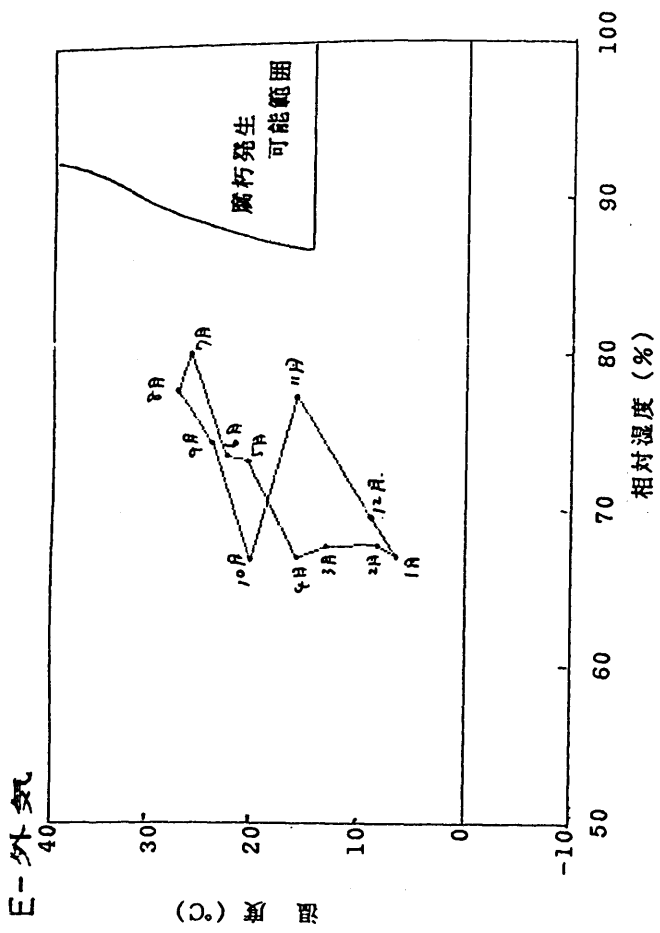


図-2-1-15 建物の各部位における気候図

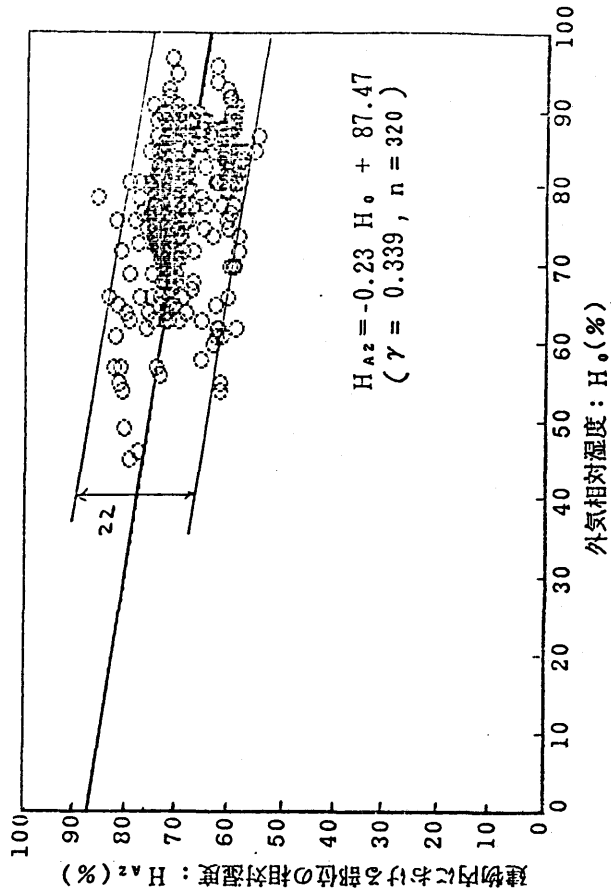
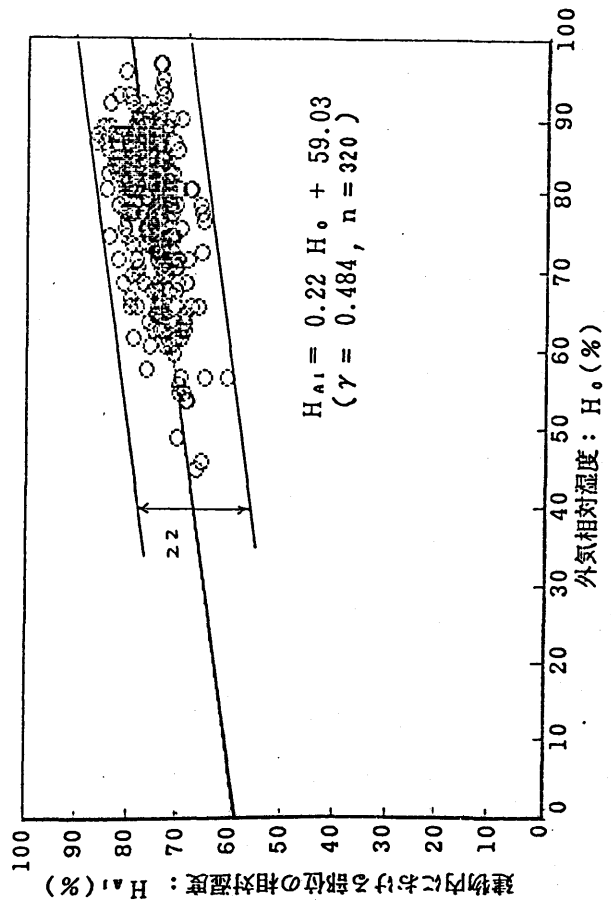
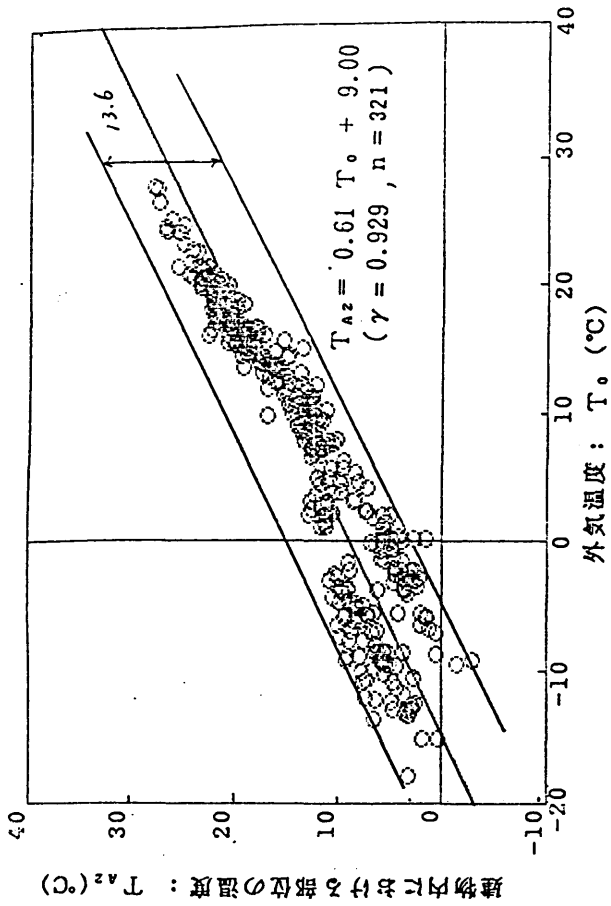
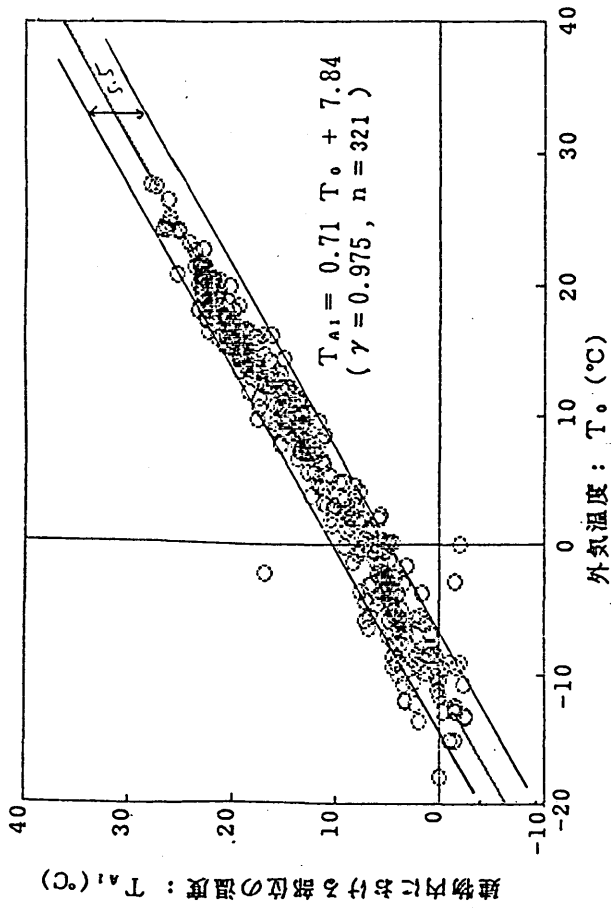


図-2-1-16 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

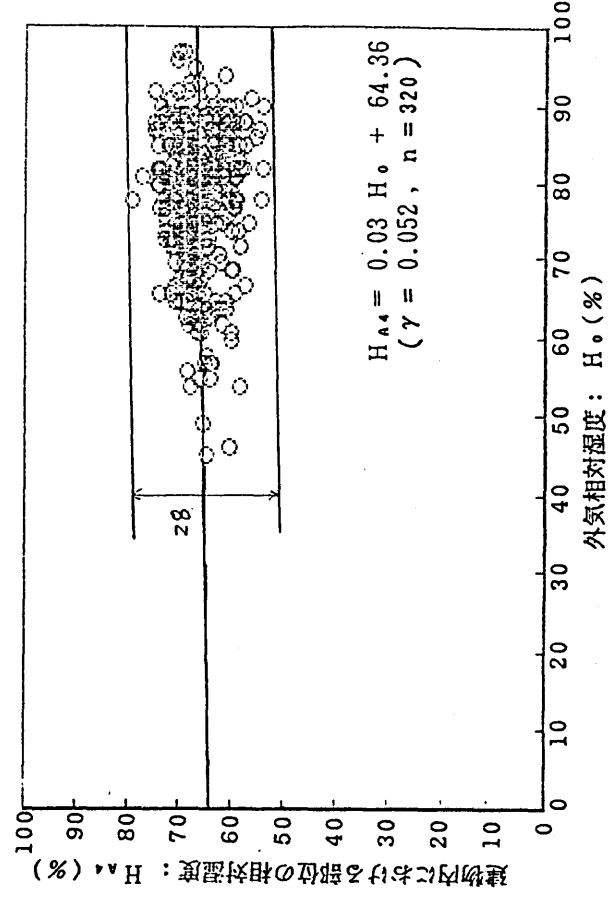
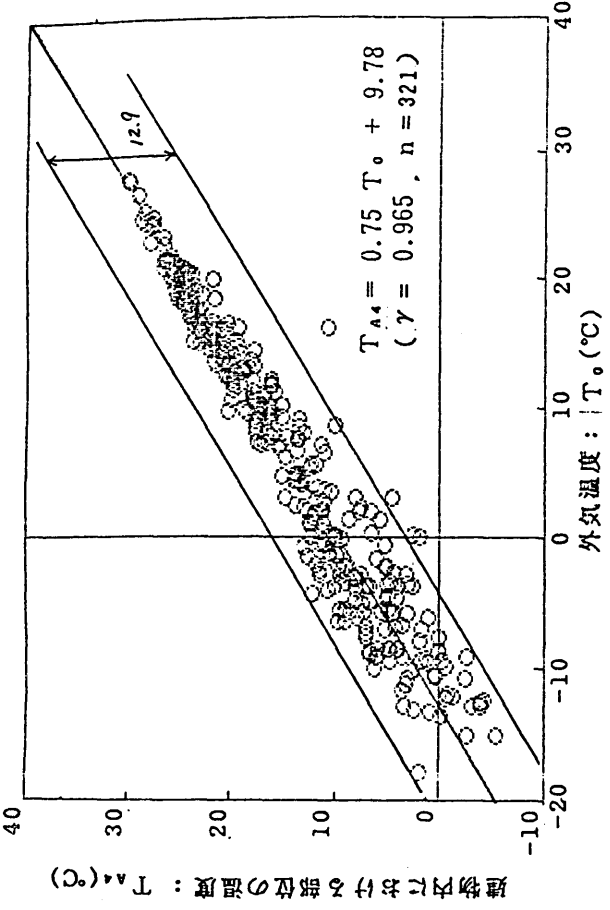
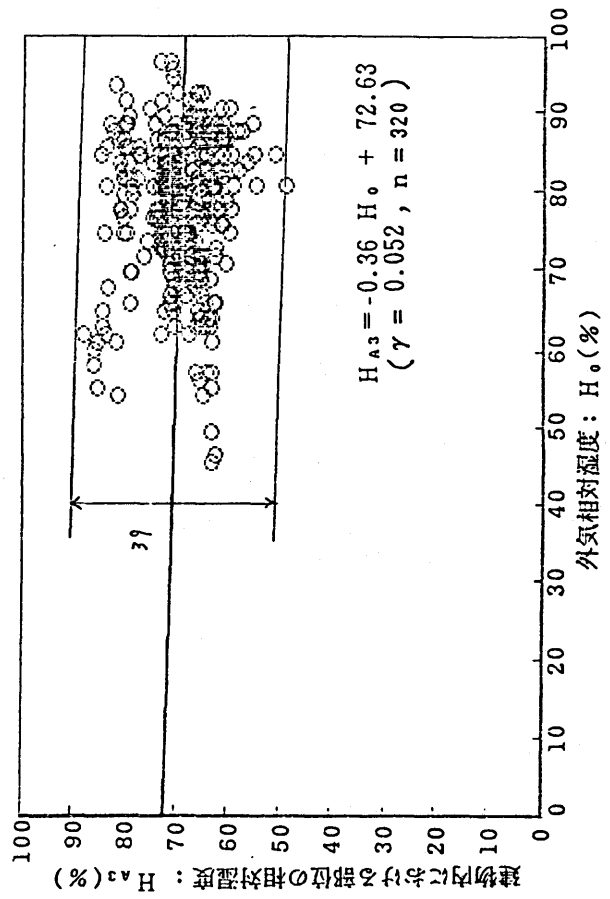
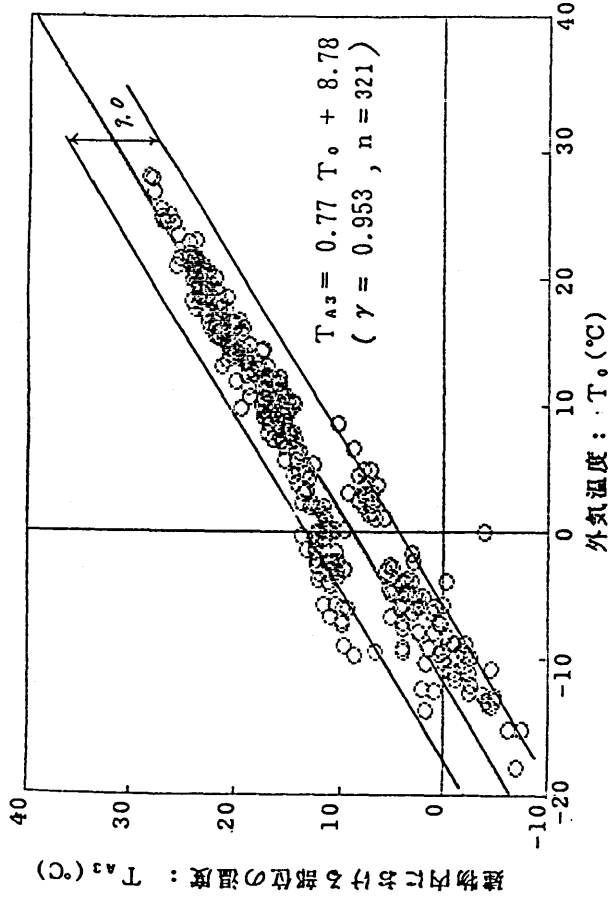
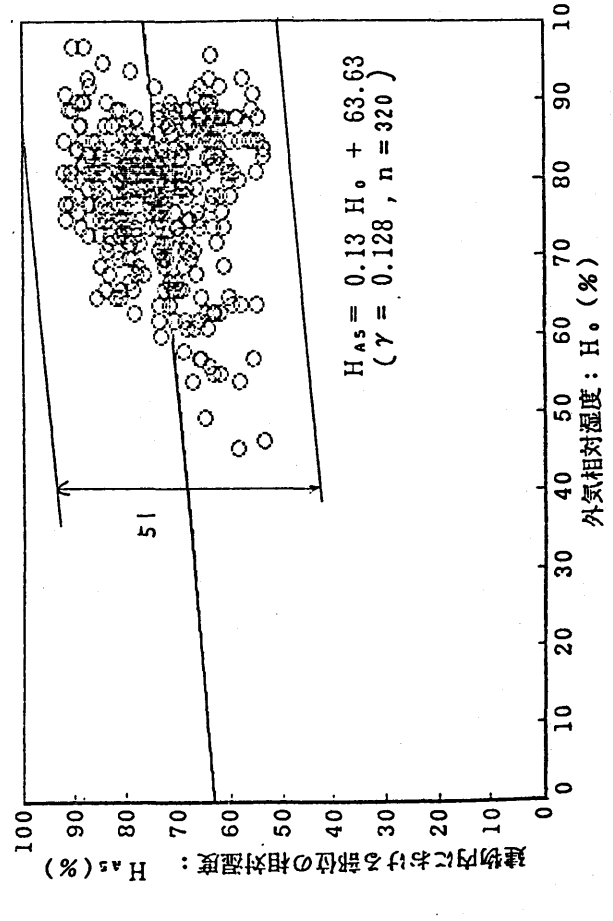
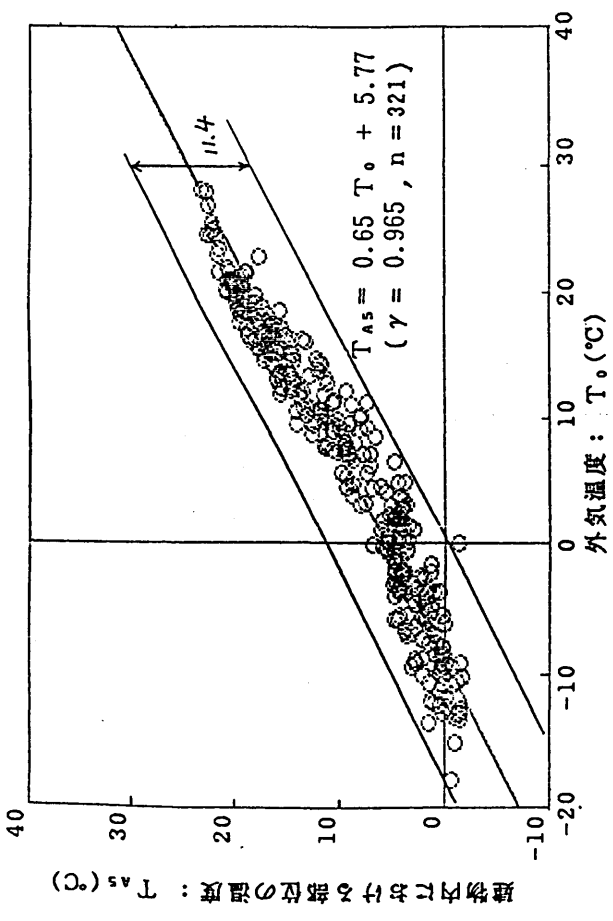
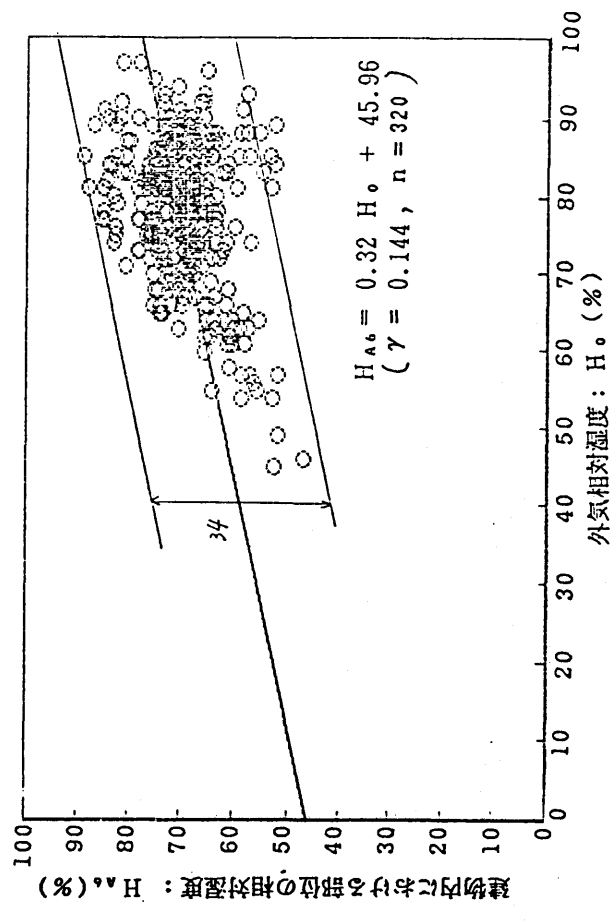
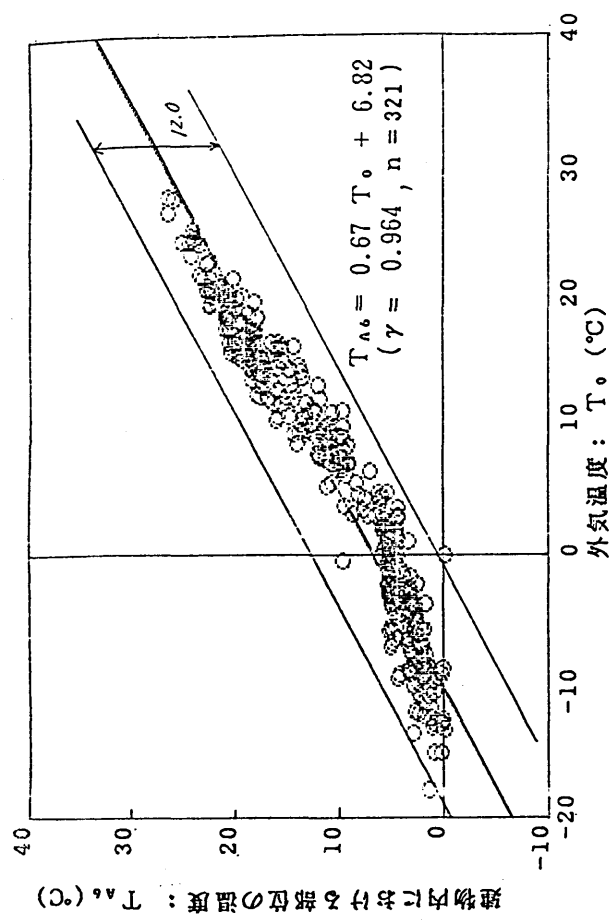


図-2-1-17 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係





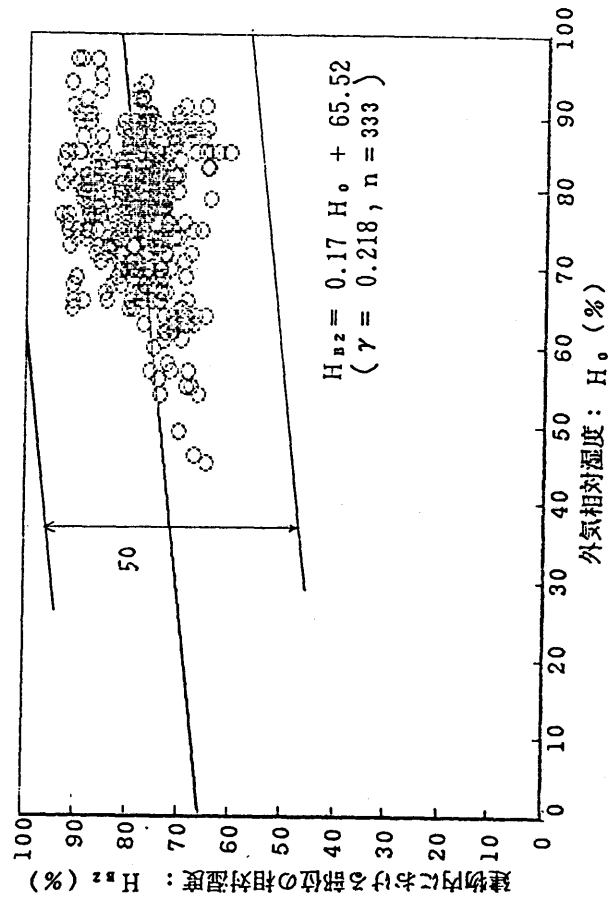
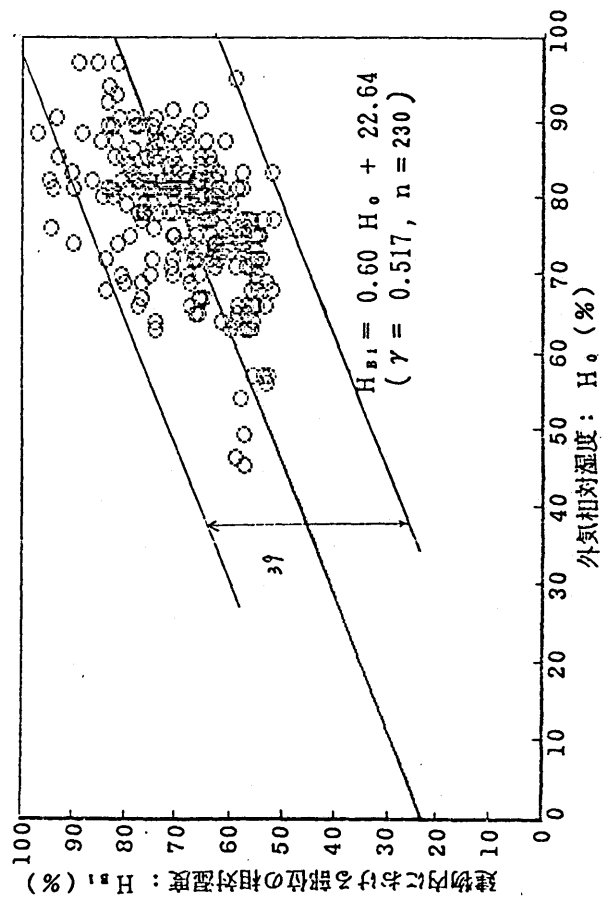
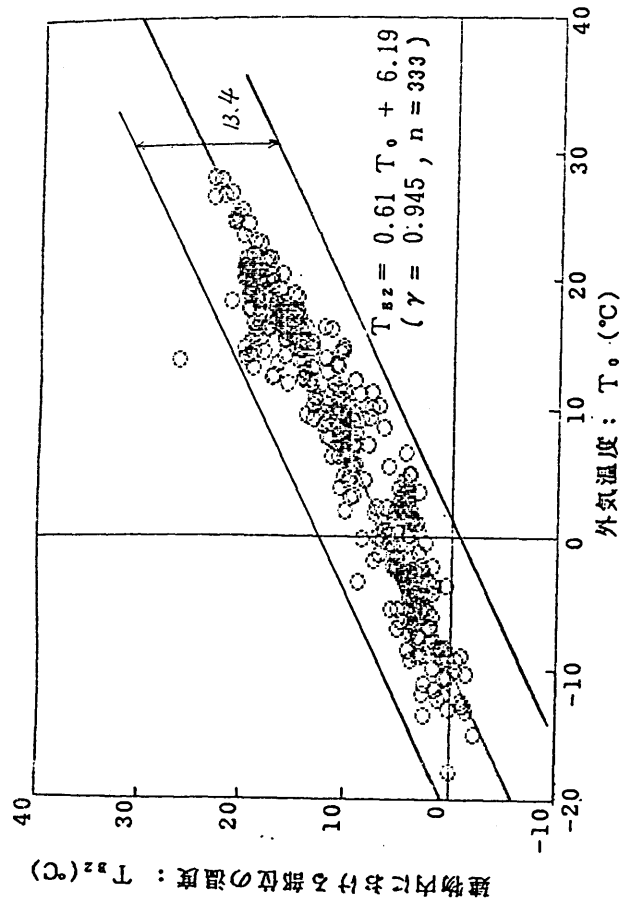
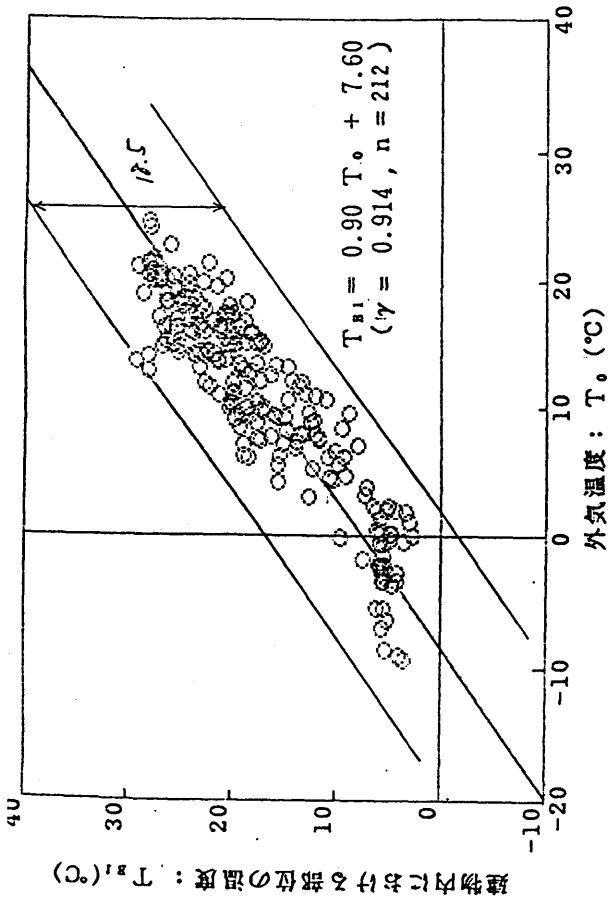


図-2-1-1-9 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

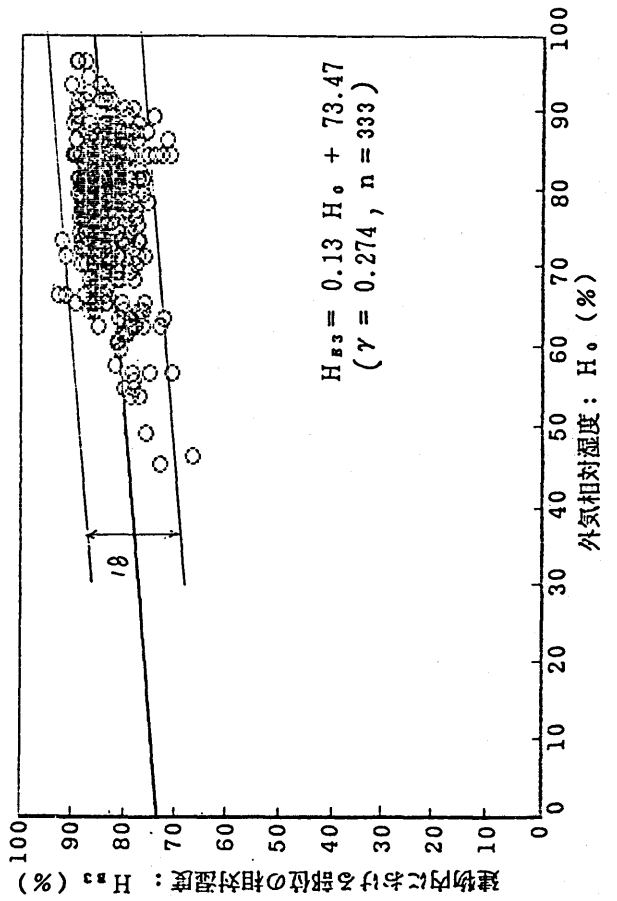
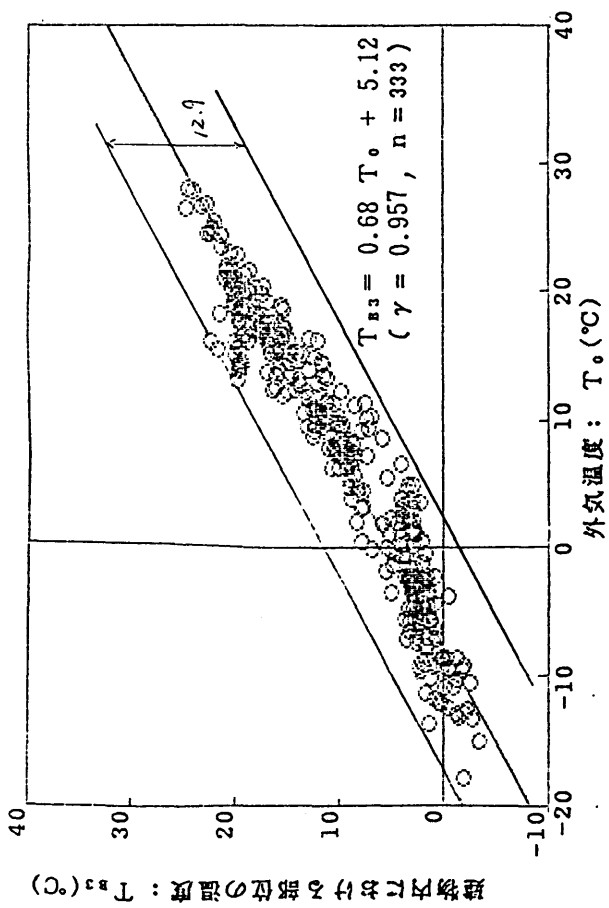
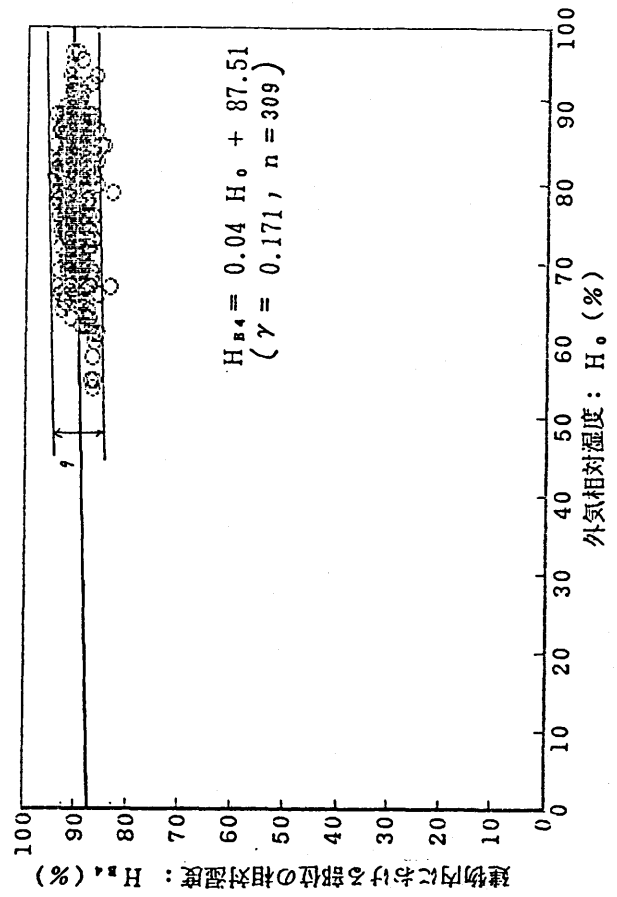
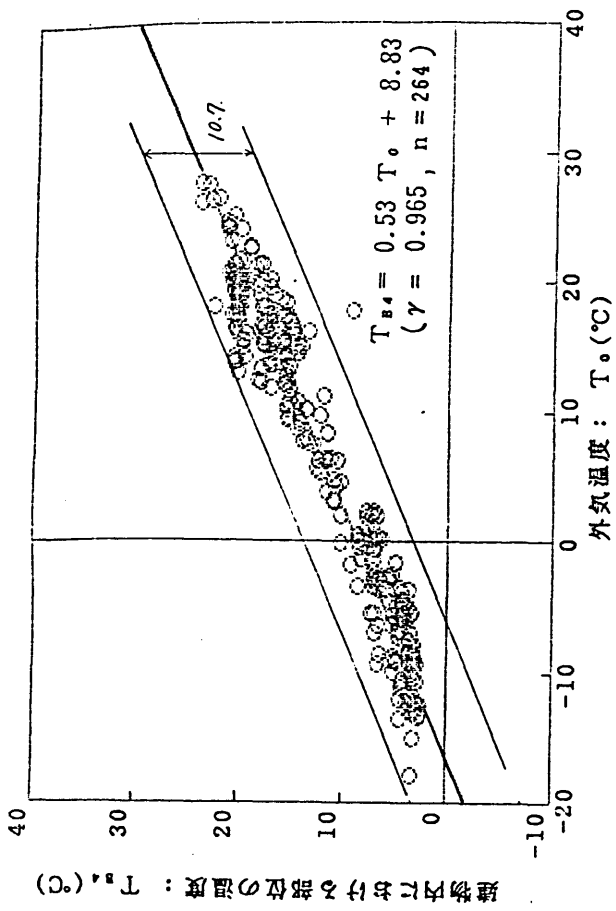


図-2-1-20 建築物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

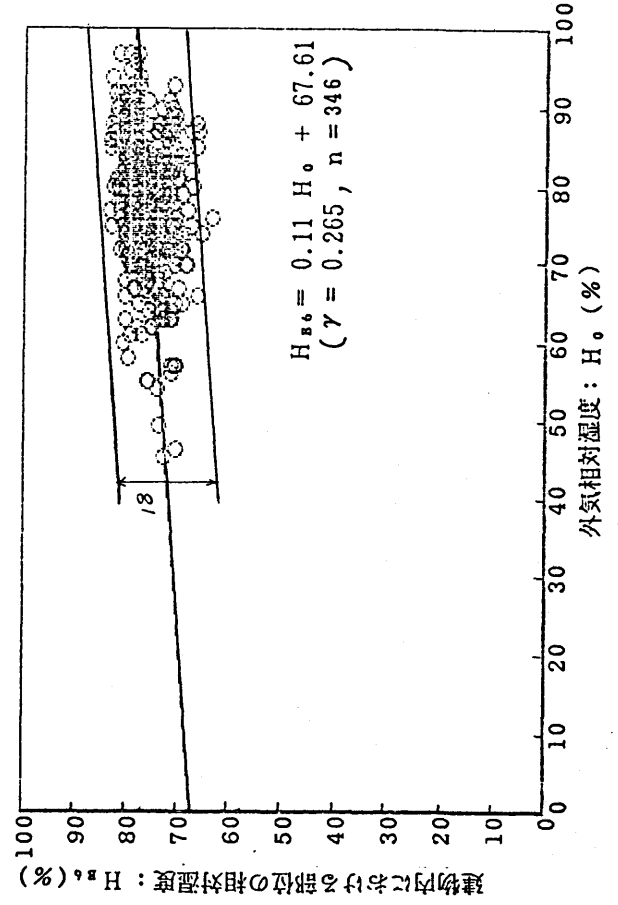
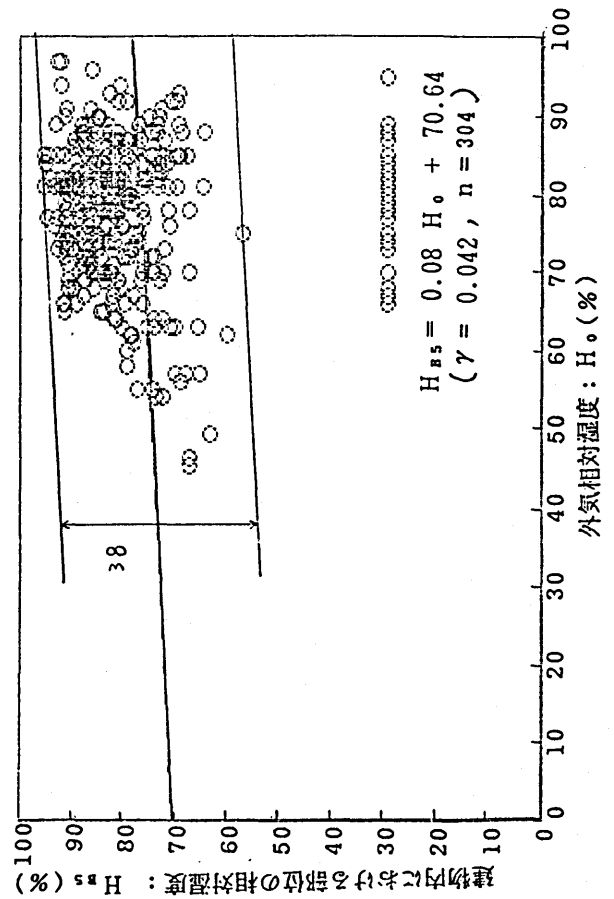
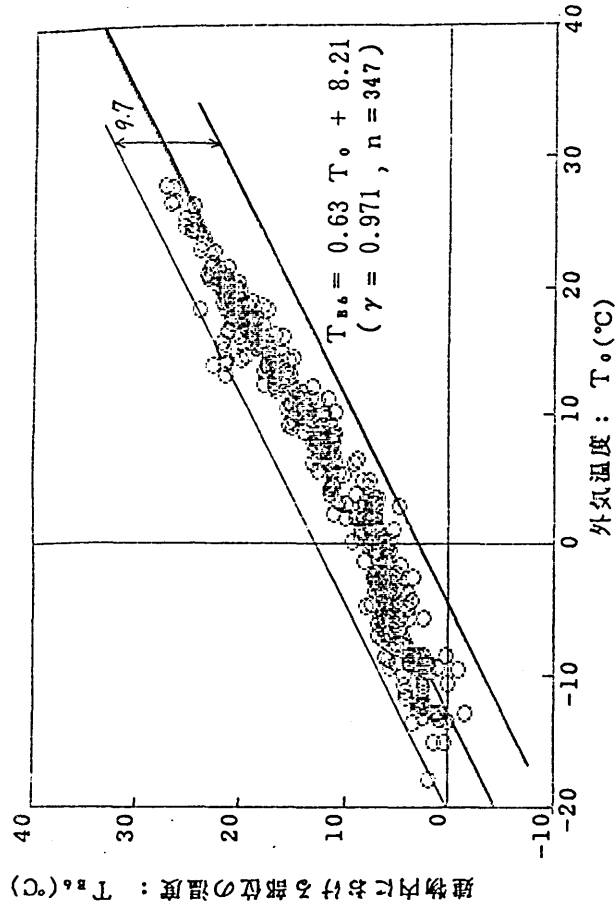
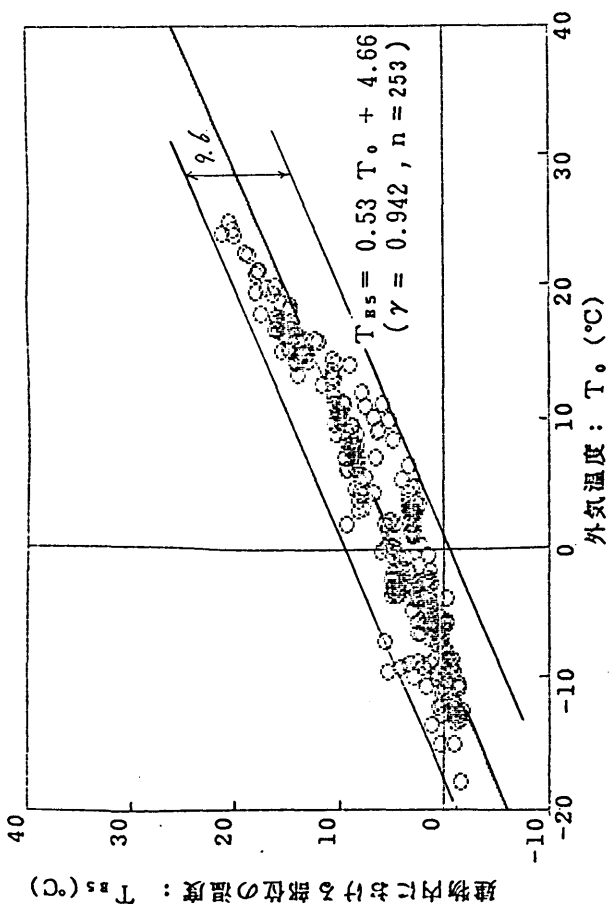
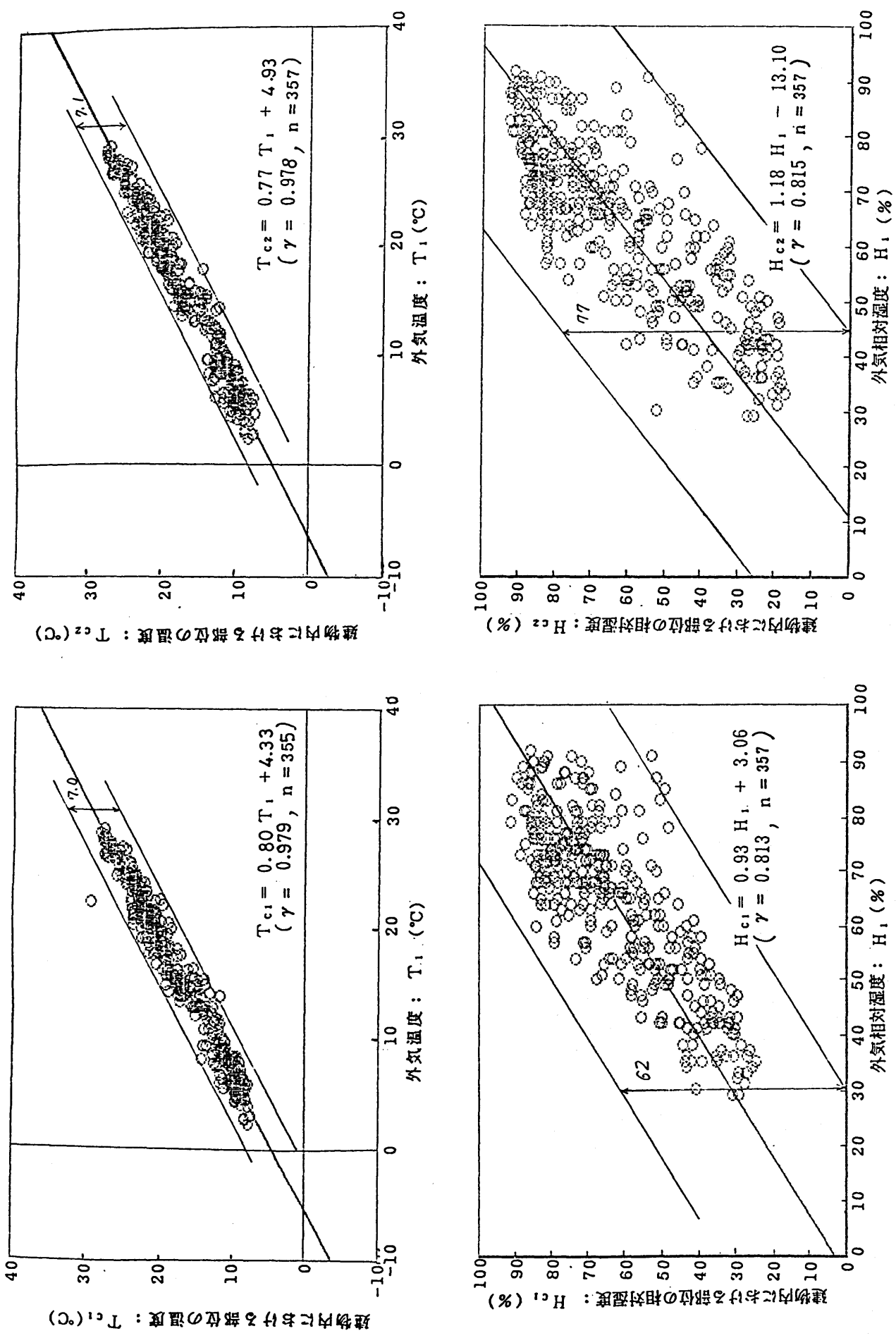


図-2-1-2-1 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

図-2-1-2-2 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係



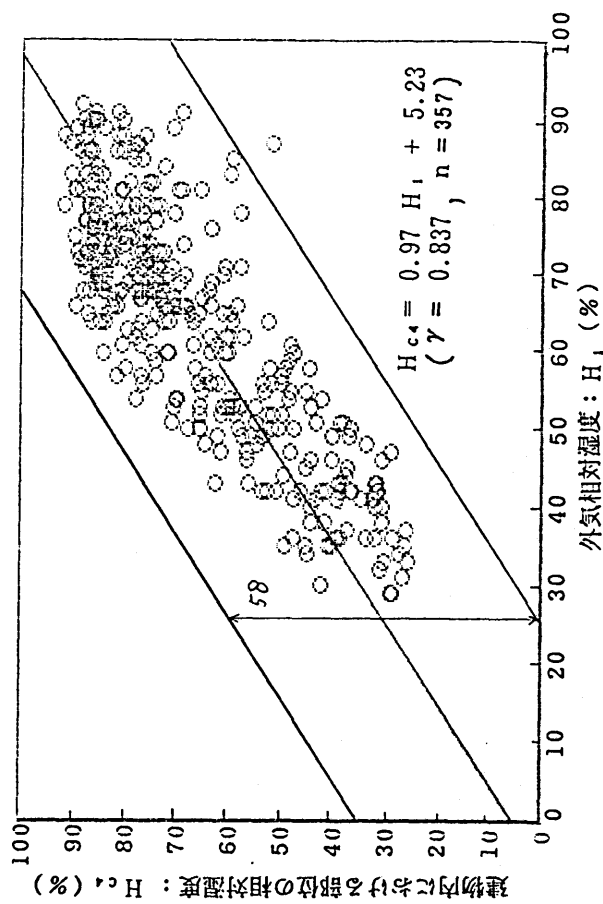
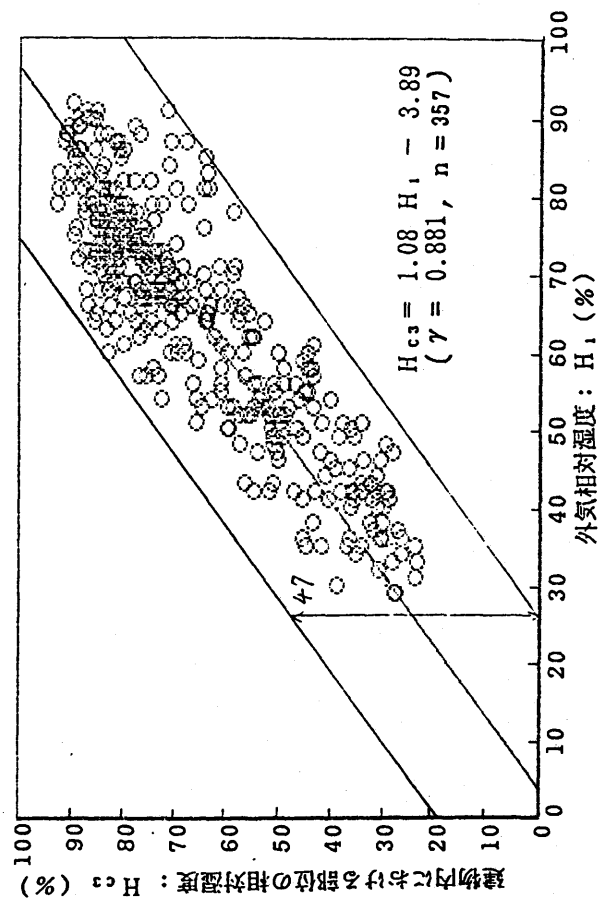
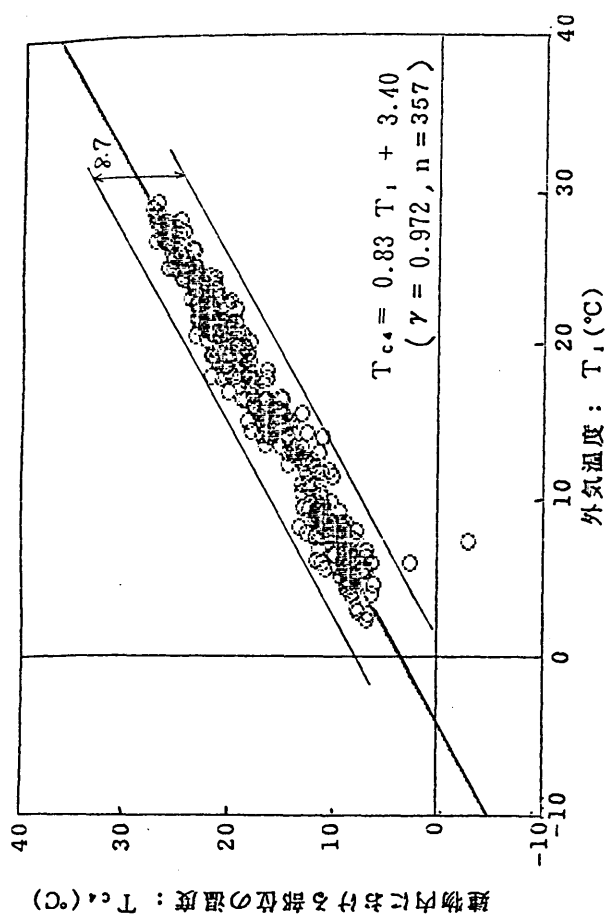
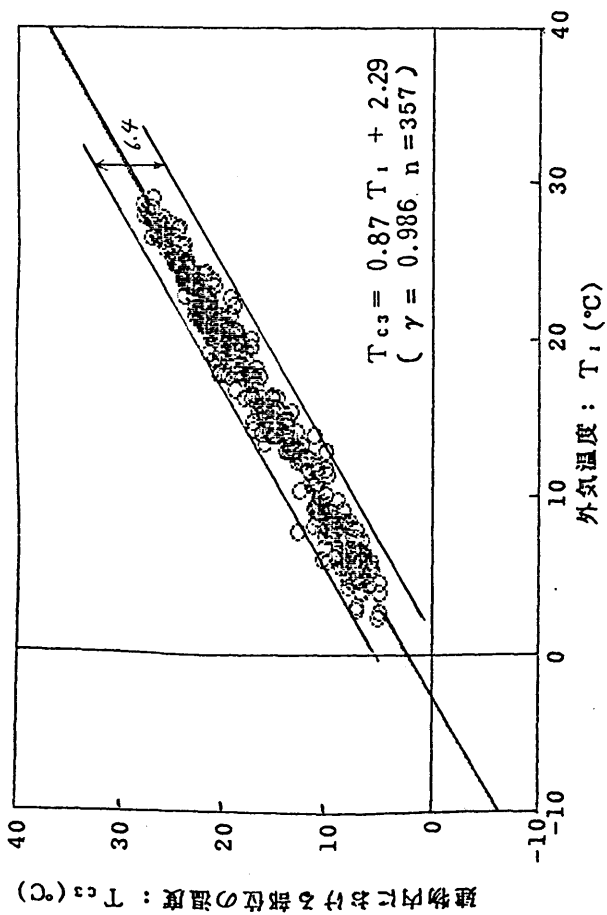


図-2-1-23 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

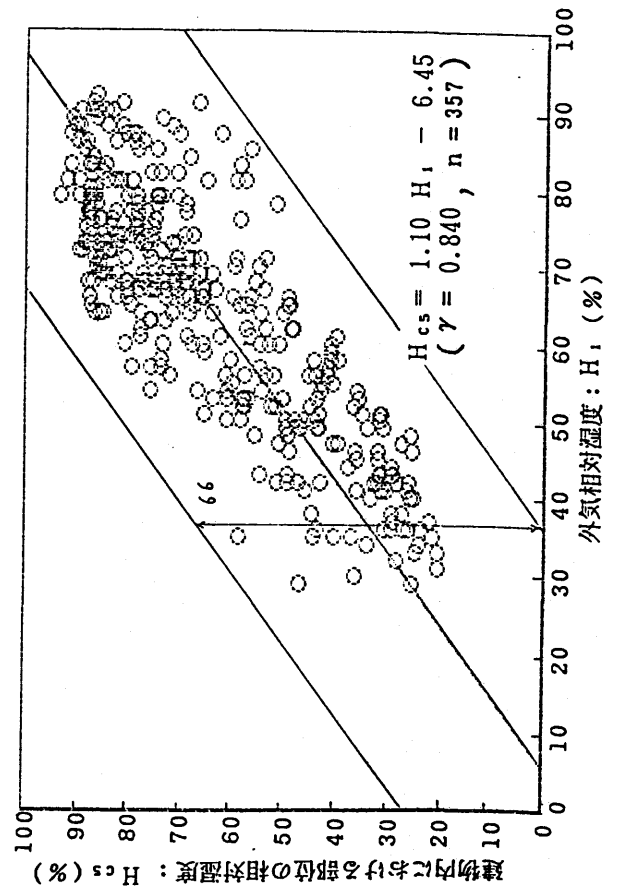
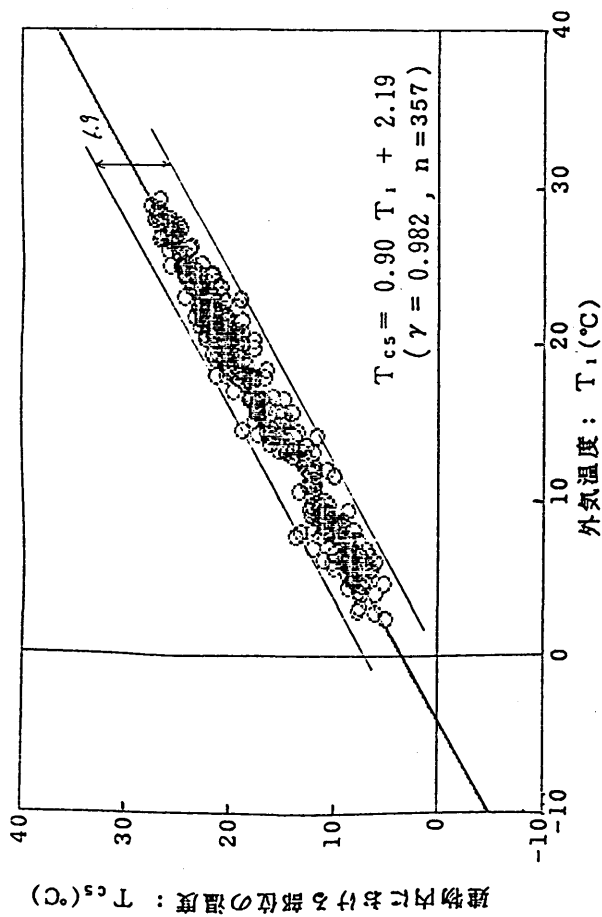


図-2-1-2-4 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

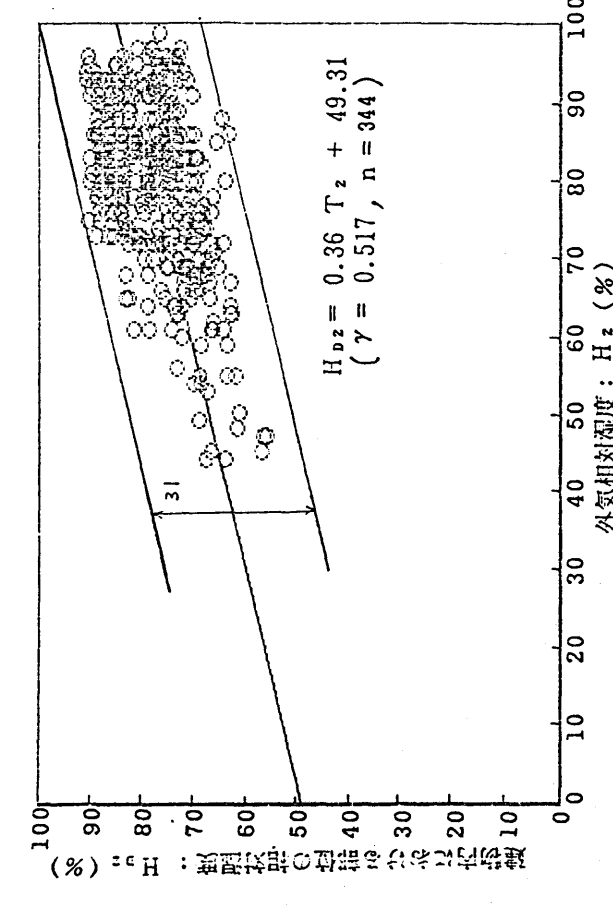
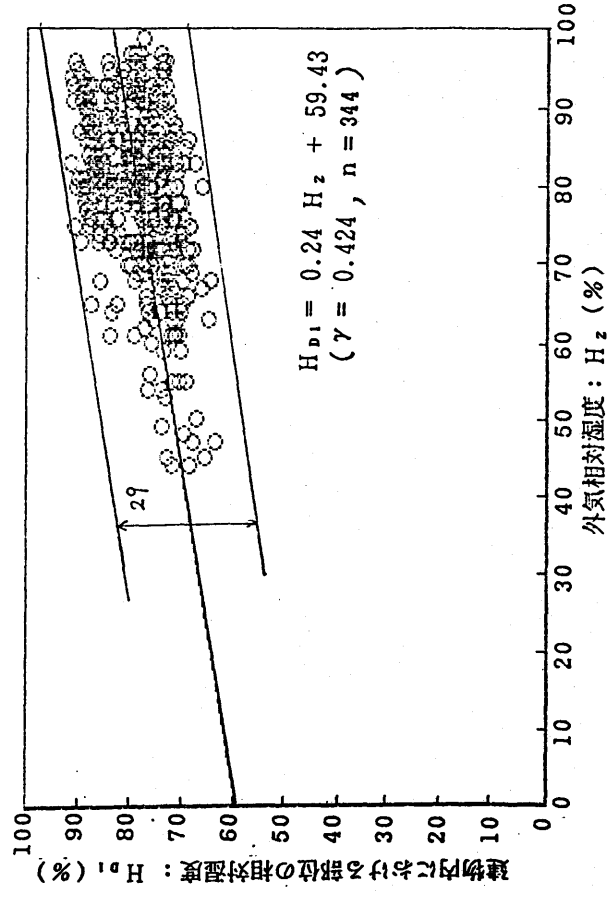
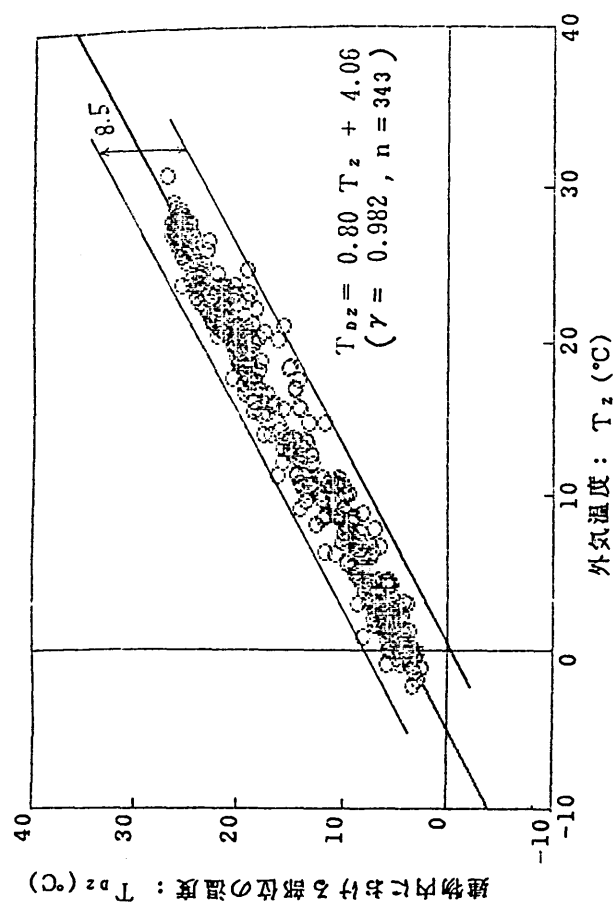
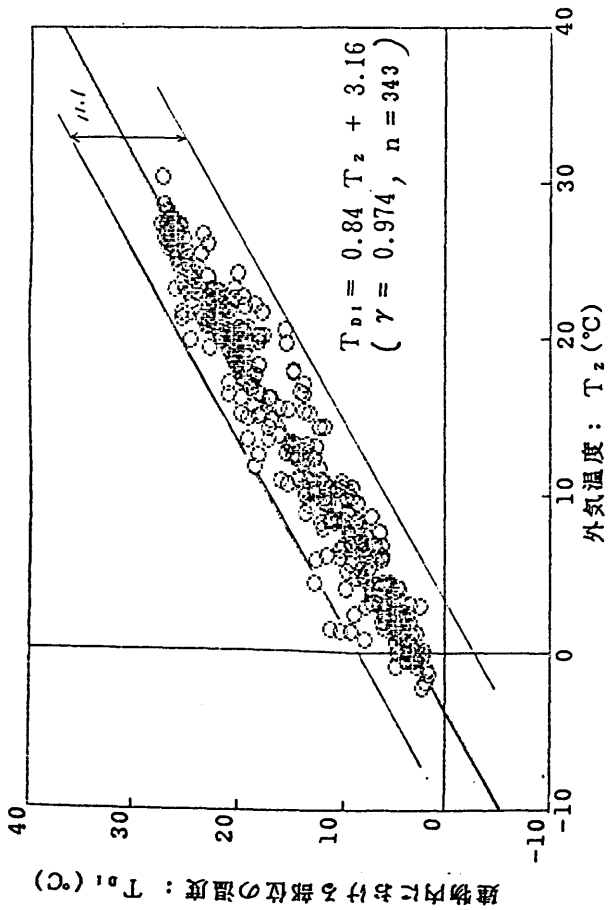
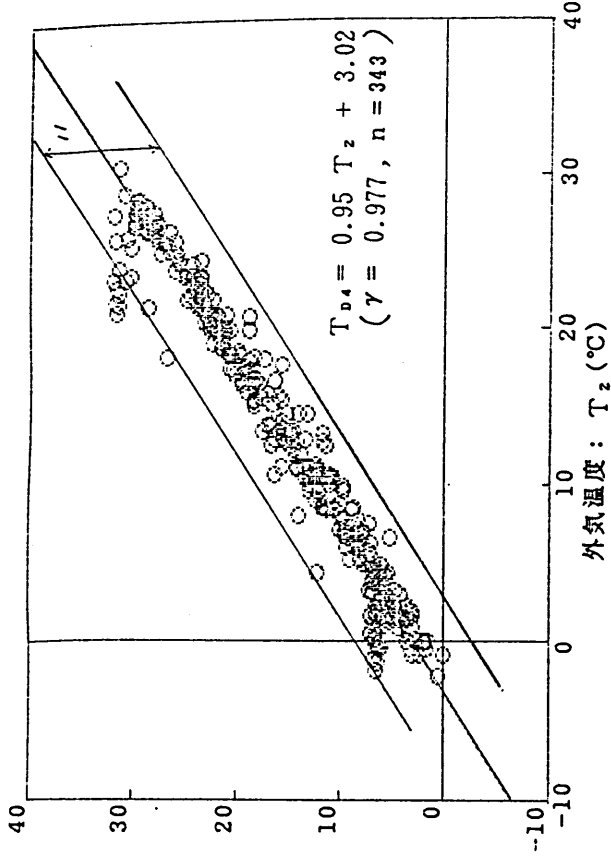


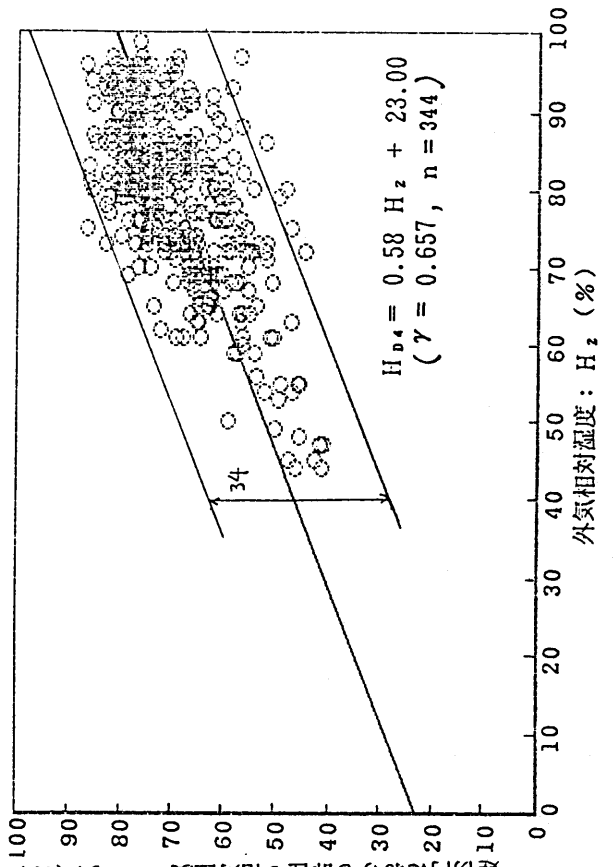
図-2-1-25 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係



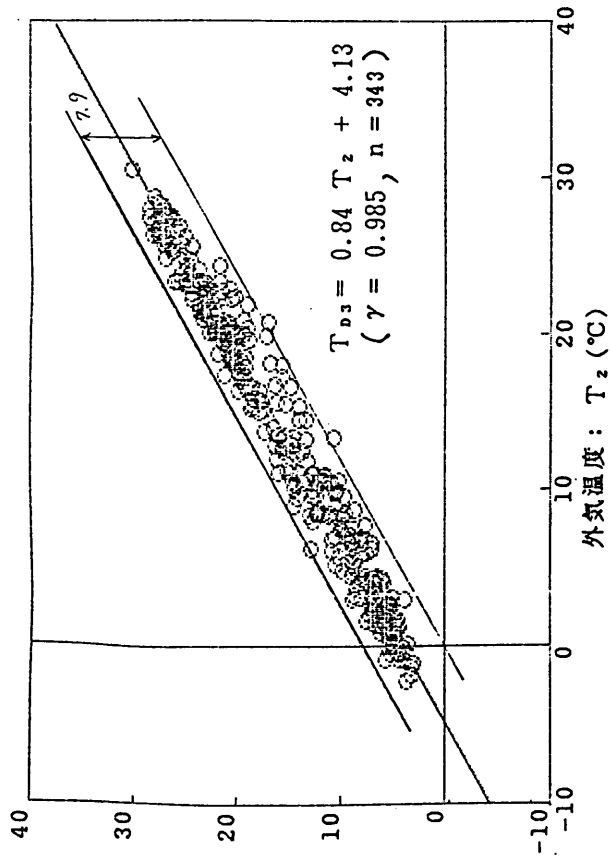
建物内における部位の温度： $T_{D4}$  (°C)



建物内における部位の相対湿度： $H_{D4}$  (%)



建物内における部位の温度： $T_{D3}$  (°C)



建物内における部位の相対湿度： $H_{D3}$  (%)

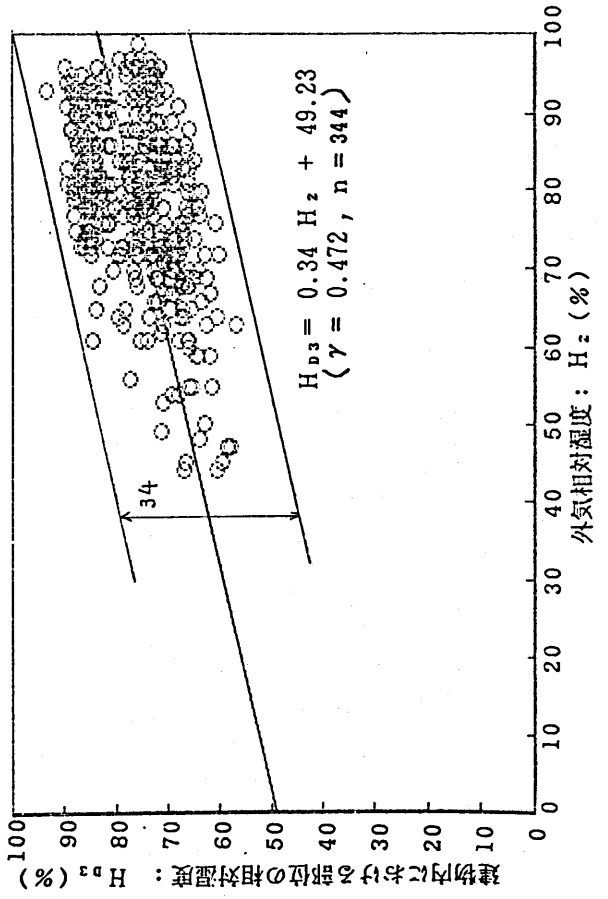


図-2-1-26 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

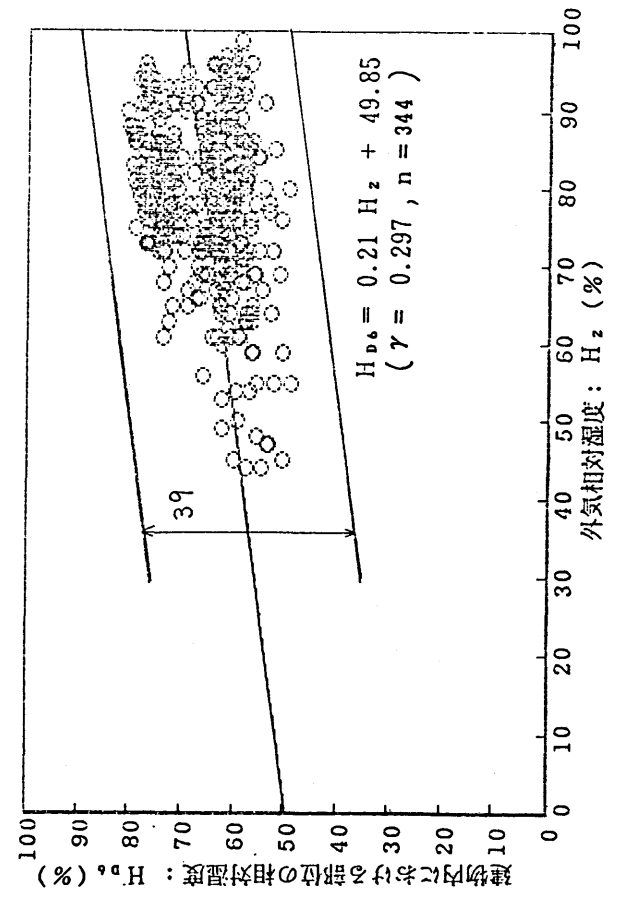
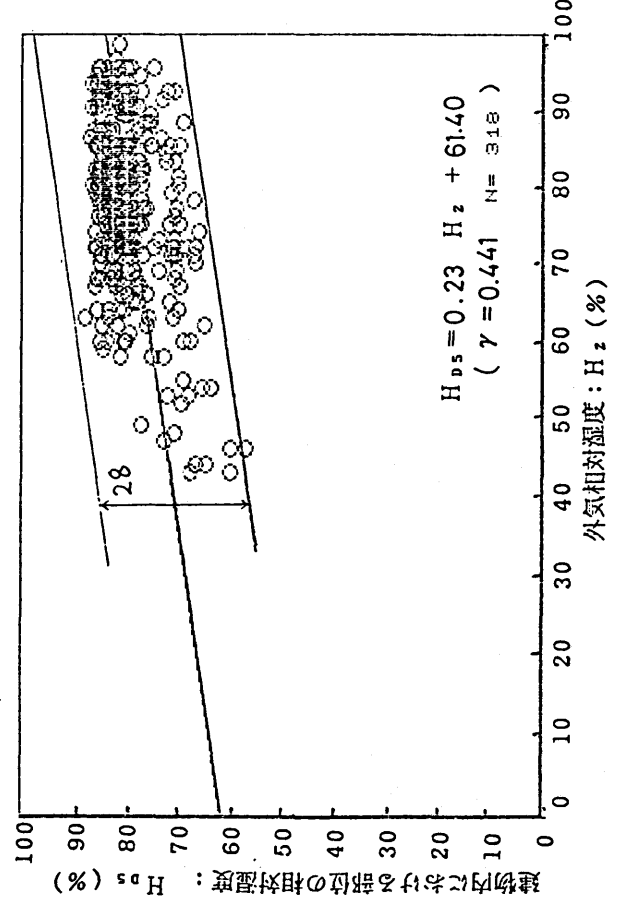
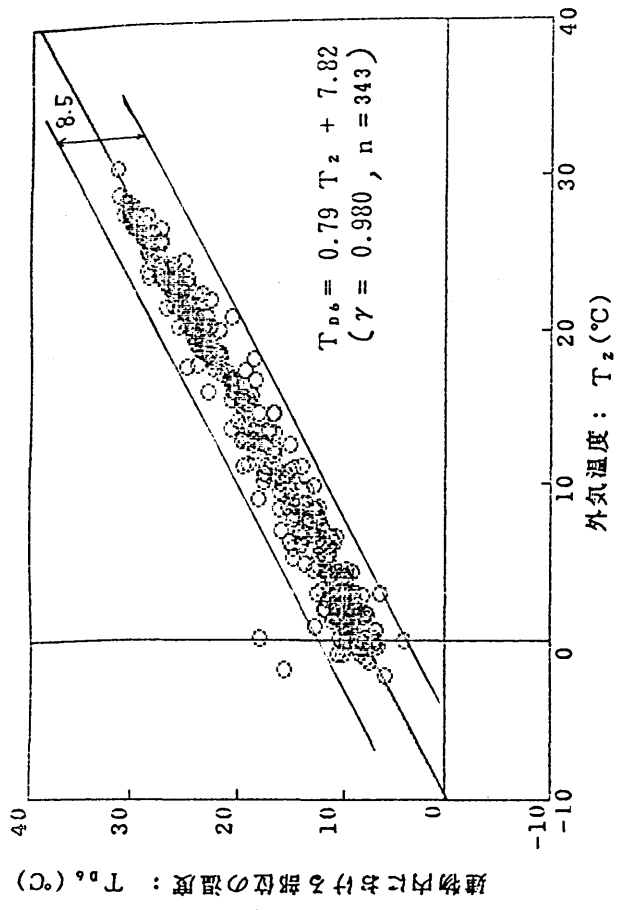
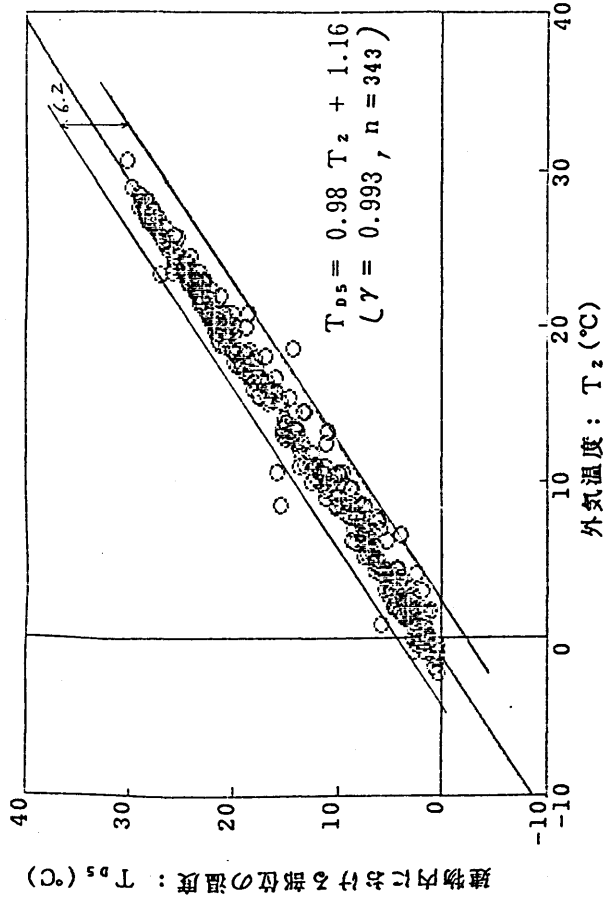


図-2-1-27 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

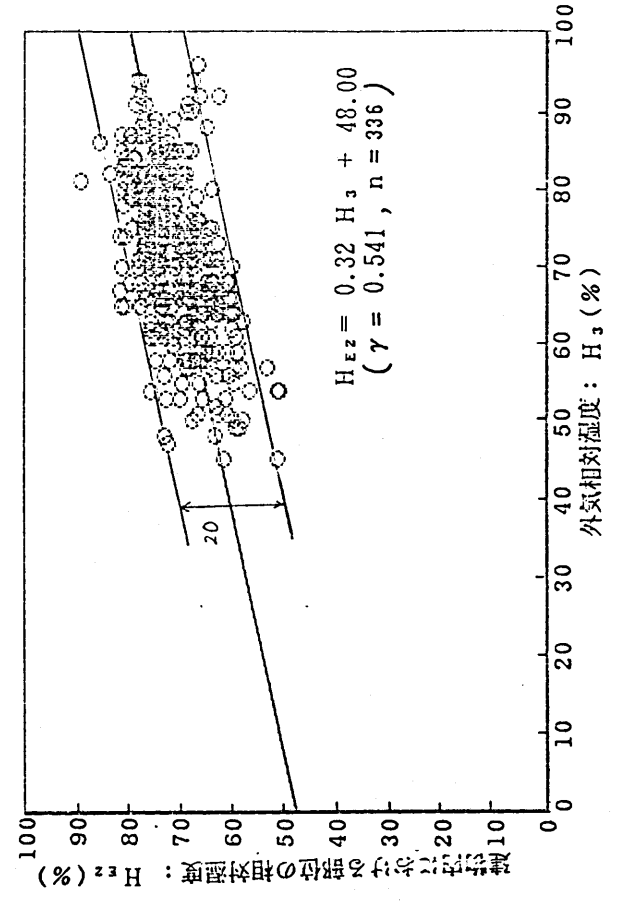
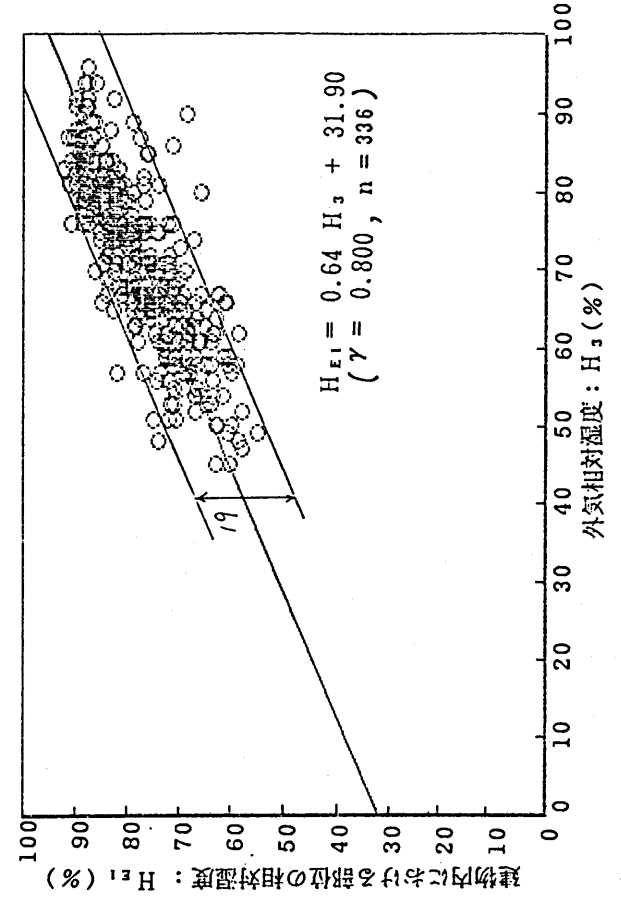
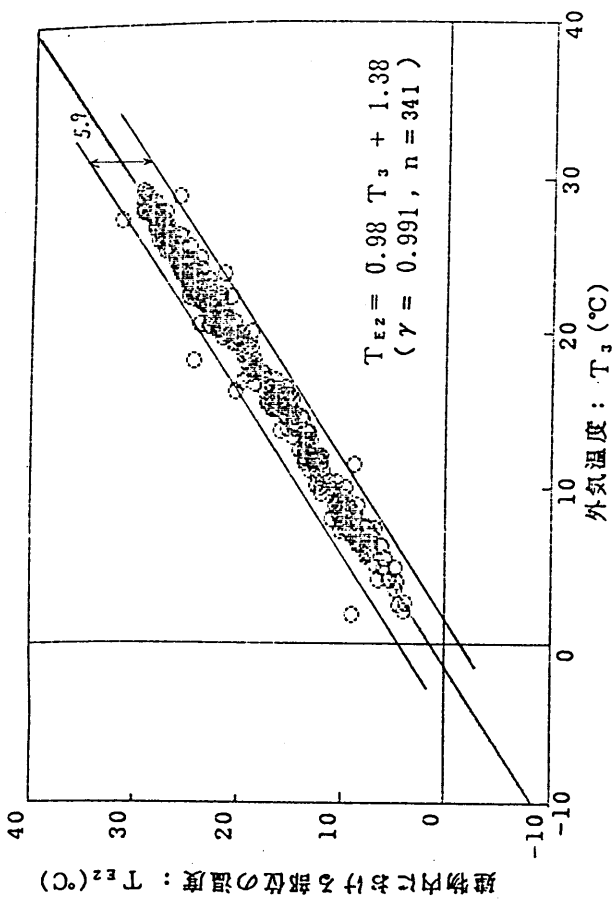
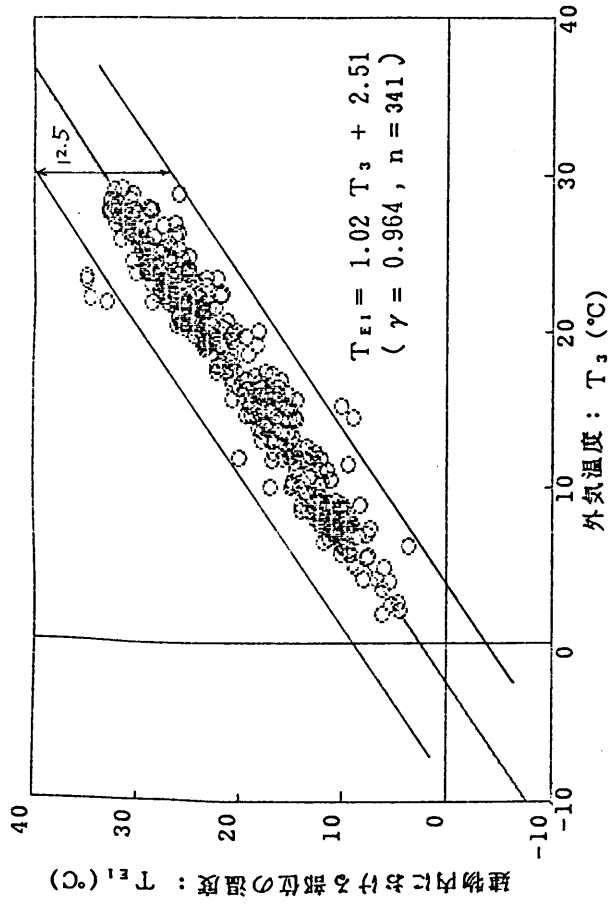


図-2-1-28 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

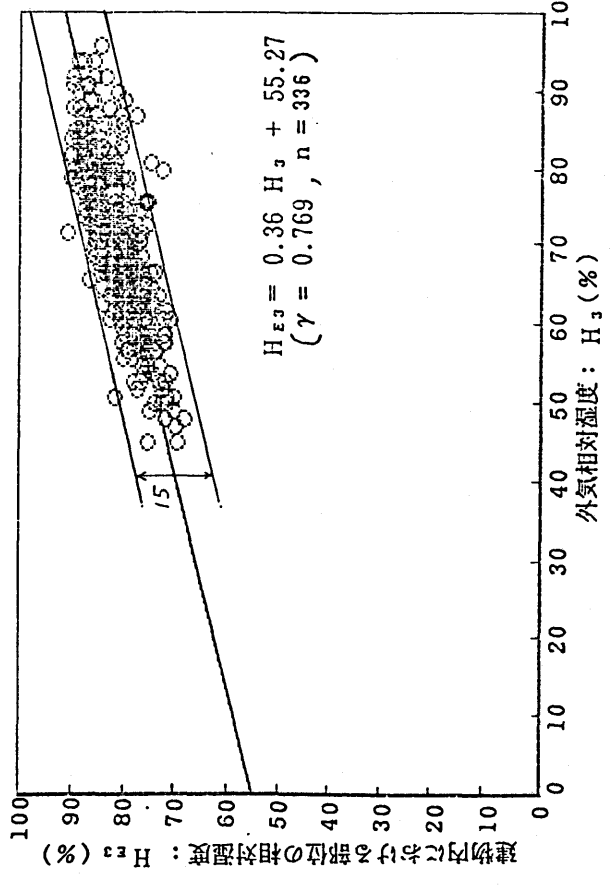
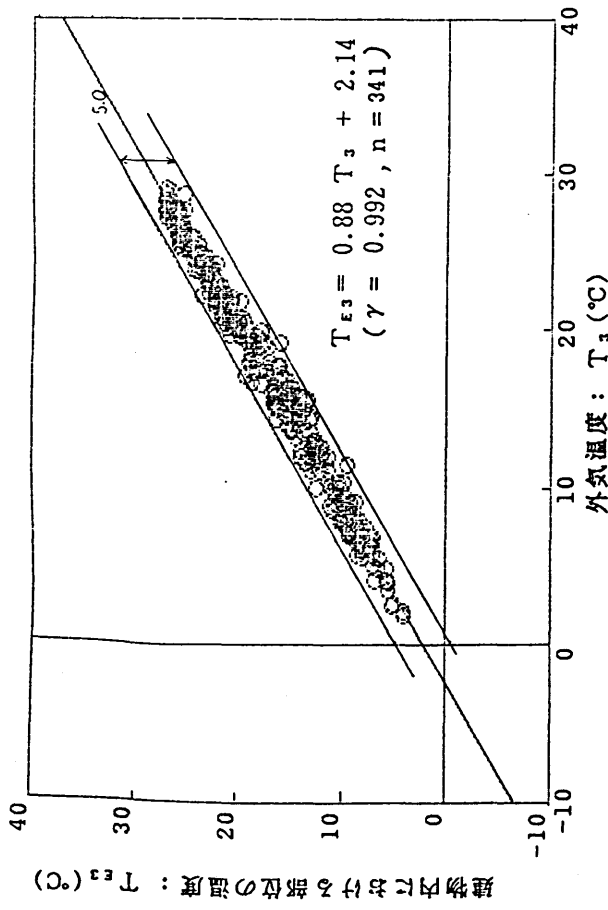
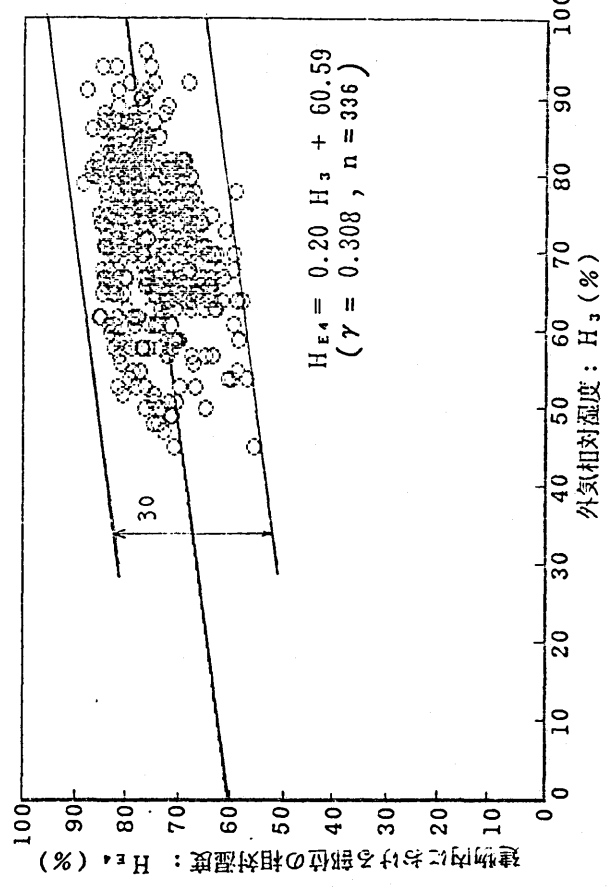
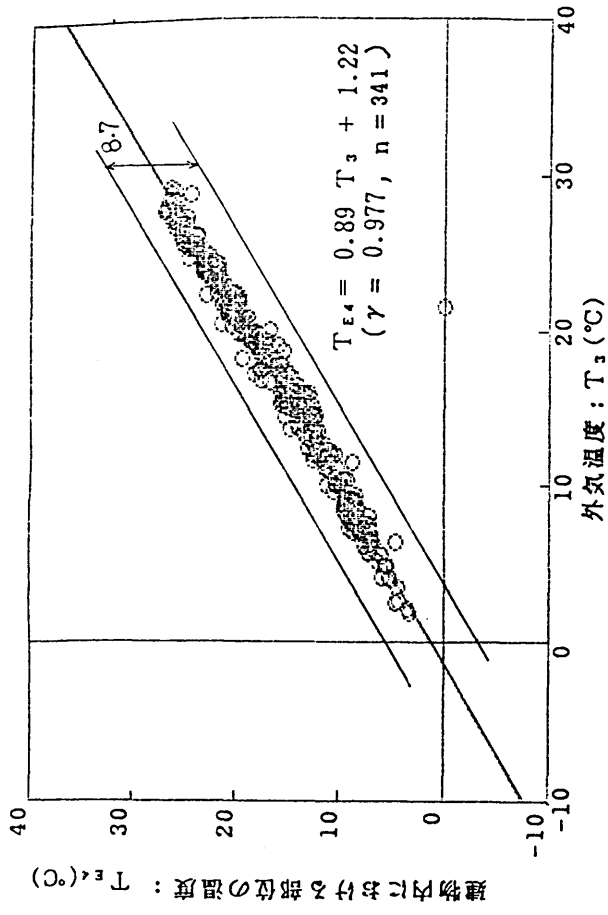


図-2-1-29 建物の各部位における温度・湿度と外気の温度・湿度との関係

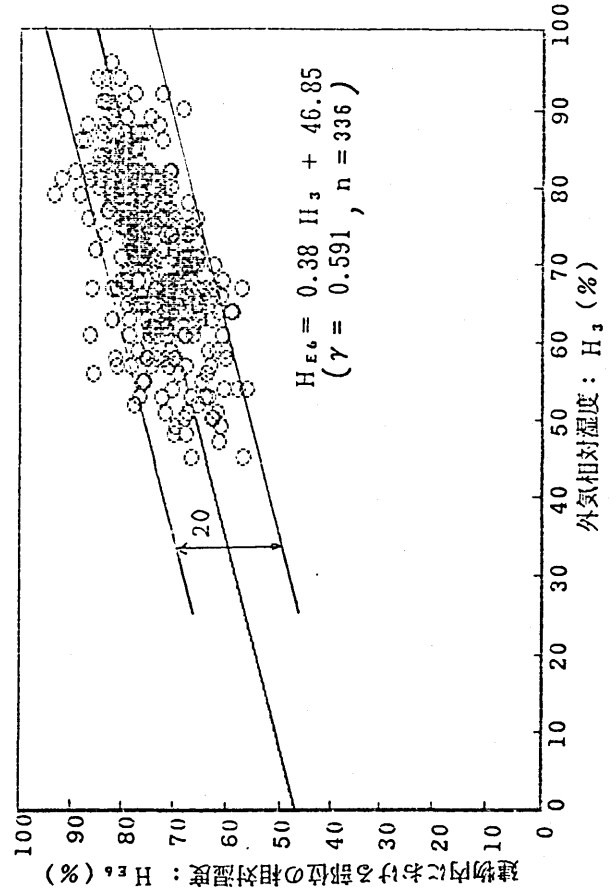
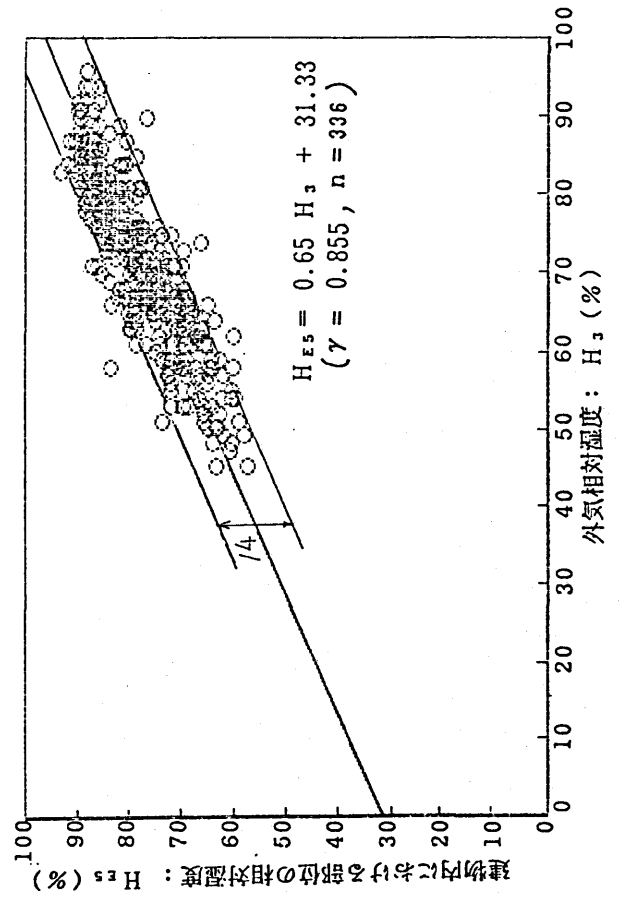
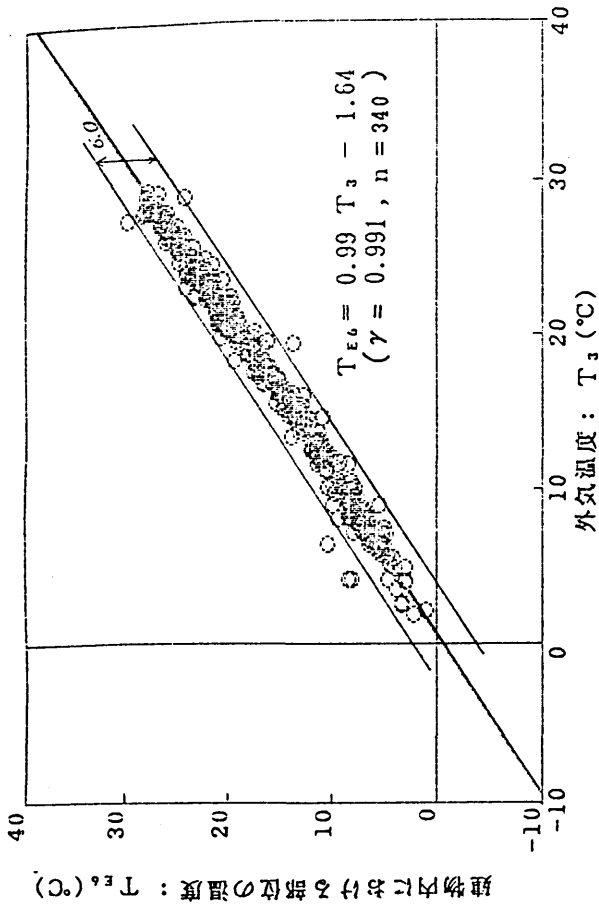
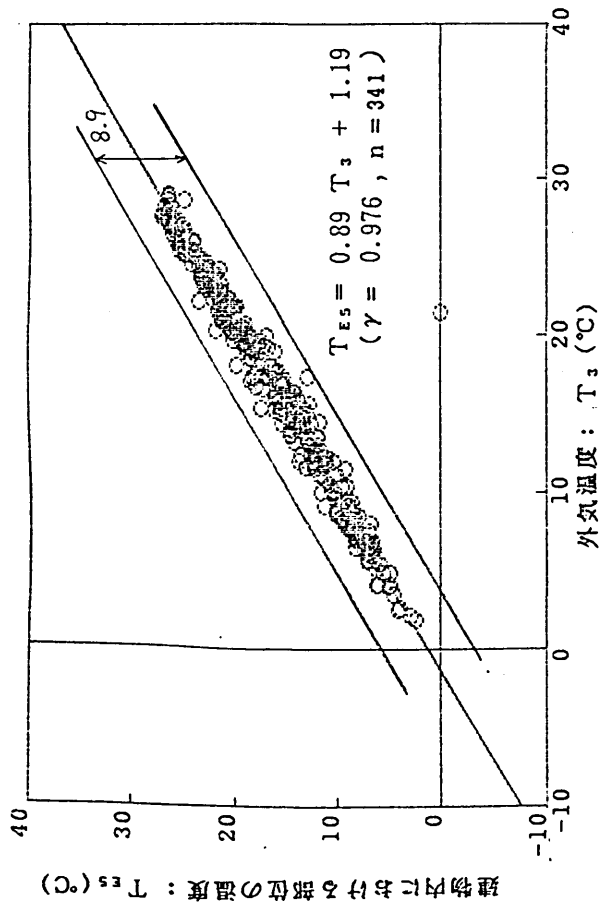


表-2-1-1 外気温度・湿度と建物各部位の温度・湿度との関係

建 物	方 位・部 位	温 度	相 関 係 数
		湿 度	
A	①南側押入れ内部	$T_{A1} = 0.71 T_o + 7.84$	0.975
		$H_{A1} = 0.22 H_o + 59.03$	0.484
	②北側押入れ内部	$T_{A2} = 0.61 T_o + 9.00$	0.929
		$H_{A2} = -0.23 H_o + 87.47$	0.339
	③北側外壁内部	$T_{A3} = 0.77 T_o + 8.78$	0.953
		$H_{A3} = -0.36 H_o + 72.63$	0.052
	④浴室天井裏	$T_{A4} = 0.75 T_o + 9.78$	0.965
		$H_{A4} = 0.03 H_o + 64.36$	0.052
	⑤東側浴室脇床下	$T_{A5} = 0.65 T_o + 5.77$	0.965
		$H_{A5} = 0.13 H_o + 63.63$	0.128
	⑥西側和室床下	$T_{A6} = 0.67 T_o + 6.82$	0.964
		$H_{A6} = 0.32 H_o + 45.96$	0.144
B	①南側外壁内部	$T_{B1} = 0.90 T_o + 7.60$	0.914
		$H_{B1} = 0.60 H_o + 22.64$	0.517
	②東側和室床下	$T_{B2} = 0.61 T_o + 6.19$	0.945
		$H_{B2} = 0.17 H_o + 65.52$	0.218
	③東側床下浴室脇	$T_{B3} = 0.68 T_o + 5.12$	0.957
		$H_{B3} = 0.13 H_o + 73.47$	0.274
	④南側洋室床下	$T_{B4} = 0.53 T_o + 8.83$	0.965
		$H_{B4} = 0.04 H_o + 87.51$	0.171
	⑤北側台所床下	$T_{B5} = 0.53 T_o + 4.66$	0.942
		$H_{B5} = 0.08 H_o + 70.64$	0.042
	⑥東側押入れ内部	$T_{B6} = 0.63 T_o + 8.21$	0.971
		$H_{B6} = 0.11 H_o + 67.61$	0.265

注)  $T_o, T_1, T_2, T_3$  は各地域の外気温度  
 $H_o, H_1, H_2, H_3$  は各地域の外気湿度

表-2-1-1 外気温度・湿度と建物各部位の温度・湿度との関係 (続き)

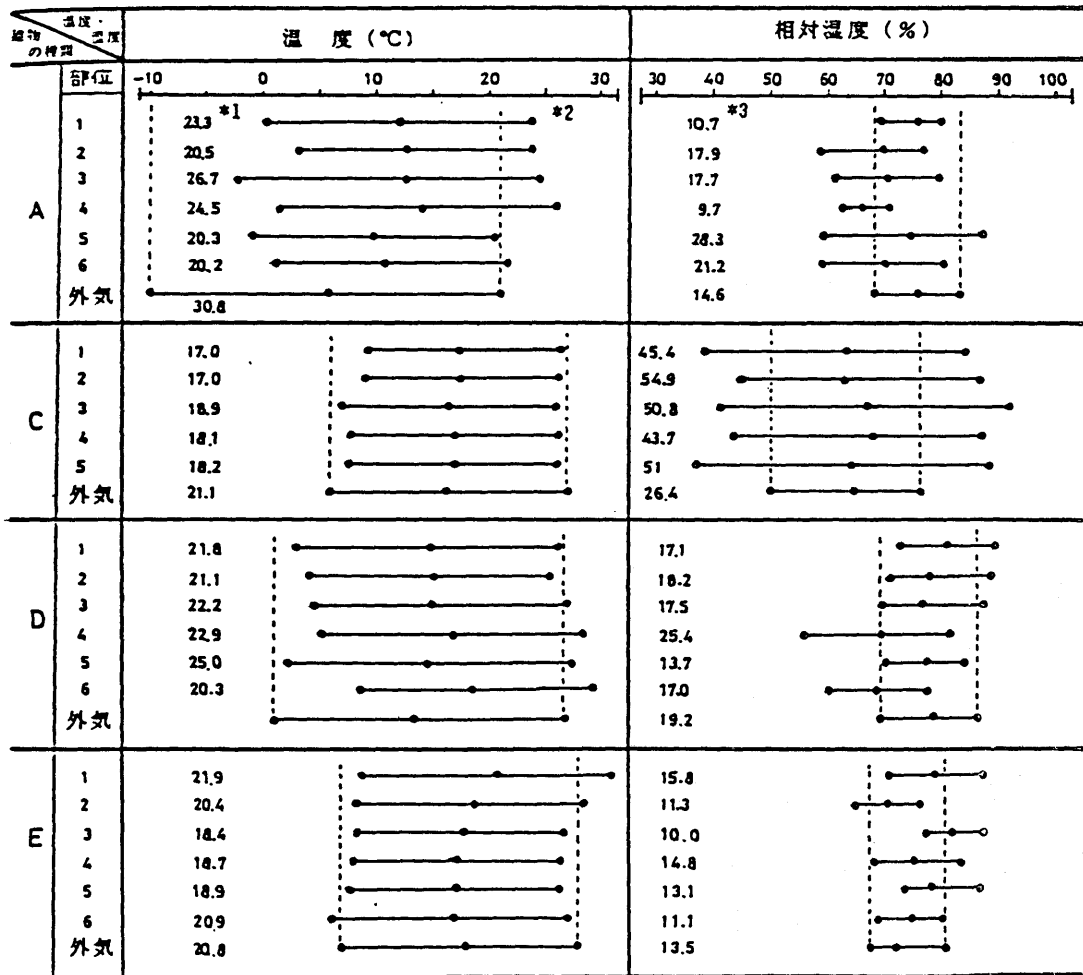
建 物	方 位・部 位	温 度	相関係数
		湿 度	
C	①南側洋室床下	$T_{c1} = 0.80 T_1 + 4.33$	0.979
		$H_{c1} = 0.93 H_1 + 3.06$	0.813
	②南側洋室床下中央	$T_{c2} = 0.77 T_1 + 4.93$	0.978
		$H_{c2} = 1.18 H_1 - 13.10$	0.815
	③西側台所床下 (流し台下)	$T_{c3} = 0.87 T_1 + 2.29$	0.986
		$H_{c3} = 1.08 H_1 - 3.89$	0.881
	④北側台所床下 (浴室脇)	$T_{c4} = 0.83 T_1 + 3.40$	0.972
		$H_{c4} = 0.97 H_1 + 5.23$	0.837
	⑤北側浴室床下	$T_{c5} = 0.90 T_1 + 2.19$	0.982
		$H_{c5} = 1.10 H_1 - 6.45$	0.840
D	①南側和室床下	$T_{D1} = 0.84 T_2 + 3.16$	0.974
		$H_{D1} = 0.24 H_2 + 59.43$	0.424
	②南側洋室床下	$T_{D2} = 0.80 T_2 + 4.06$	0.982
		$H_{D2} = 0.36 H_2 + 49.31$	0.517
	③北側浴室脇床下	$T_{D3} = 0.84 T_2 + 4.13$	0.985
		$H_{D3} = 0.34 H_2 + 49.23$	0.472
	④南側外壁内部	$T_{D4} = 0.95 T_2 + 3.02$	0.977
		$H_{D4} = 0.58 H_2 + 23.00$	0.657
	⑤北側外壁内部	$T_{D5} = 0.98 T_2 + 1.16$	0.993
		$H_{D5} = 0.23 H_2 + 61.40$	0.441
	⑥北側浴室天井	$T_{D6} = 0.79 T_2 + 7.82$	0.980
		$H_{D6} = 0.21 H_2 + 49.85$	0.297

表-2-1-1 外気温度・湿度と建物各部位の温度・湿度との関係 (続き)

建 物	方 位・部 位	温 度	相 関 係 数
		湿 度	
E	①北側浴室天井	$T_{E1} = 1.02 T_3 + 2.51$	0.964
		$H_{E1} = 0.64 H_3 + 31.90$	0.800
	②北側台所外壁内部	$T_{E2} = 0.98 T_3 + 1.38$	0.991
		$H_{E2} = 0.32 H_3 + 48.00$	0.541
	③北側浴室脇床下	$T_{E3} = 0.88 T_3 + 2.14$	0.992
		$H_{E3} = 0.36 H_3 + 55.27$	0.769
	④西側台所床下	$T_{E4} = 0.89 T_3 + 1.22$	0.977
		$H_{E4} = 0.20 H_3 + 60.59$	0.308
	⑤西側和室床下	$T_{E5} = 0.89 T_3 + 1.19$	0.976
		$H_{E5} = 0.65 H_3 + 31.33$	0.855
	⑥東側外壁内部	$T_{E6} = 0.99 T_3 - 1.64$	0.991
		$H_{E6} = 0.38 H_3 + 46.85$	0.591



表-2-1-2 温度・湿度の年間変動幅



\* 1 温度の変動幅を示す。 \* 3 湿度の変動幅を示す。

\* 2 最低 平均 最高



表-2-1-3 外気と建物各部位の温度・湿度との相関図における各々の変動幅

建物		A	B	C	D	E
①	温度	5.5	18.5	7.0	11.1	12.5
	湿度	22.0	39.0	62.0	29.0	19.0
②	温度	13.6	13.4	7.1	8.5	5.9
	湿度	22.0	50.0	77.0	31.0	20.0
③	温度	9.0	12.9	6.4	7.9	5.0
	湿度	39.0	18.0	47.0	34.0	15.0
④	温度	11.4	10.7	8.7	11.0	8.7
	湿度	28.0	9.0	58.0	34.0	30.0
⑤	温度	12.9	9.6	6.9	6.2	8.9
	湿度	51.0	38.0	66.0	28.0	14.0
⑥	温度	12.0	9.7	—	8.5	6.0
	湿度	34.0	18.0	—	39.0	20.0

表-2-1-4 建物の各部位における温度・湿度と推定した木材含水率範囲との関係

建 物	方 位・部 位	含水率範囲 (%)
A	①南側押入れ内部	13~16
	②北側押入れ内部	11~15
	③北側外壁内部	11~16
	④浴室天井裏	11~13
	⑤東側浴室脇床下	11~19
	⑥西側和室床下	11~19
	外 気	13~18
B	①南側外壁内部	————
	②東側和室床下	14~30
	③東側床下浴室脇	16~30
	④南側洋室床下	20~30
	⑤北側台所床下	————
	⑥東側押入れ内部	13~17
	外 気	13~18
C	①南側洋室床下	8~20
	②南側洋室床下中央	6~20
	③西側台所床下	8~22
	④北側台所床下	8~20
	⑤北側浴室床下	7~21
	外 気	9~16

表-2-1-4 建物の各部位における温度・湿度と  
推定した木材含水率範囲との関係

建 物	方 位・部 位	含水率範囲 (%)
D	①南側和室床下	14～21
	②南側洋室床下	13～21
	③北側浴室脇床下	13～20
	④南側外壁内部	10～16
	⑤北側外壁内部	13～20
	⑥北側浴室天井	11～15
	外 気	15～20
E	①北側浴室天井	13～19
	②北側台所外壁内部	12～15
	③北側浴室脇床下	15～22
	④西側台所床下	13～18
	⑤西側和室床下	14～19
	⑥東側外壁内部	13～17
	外 気	12～17

### 1-3 建物の各部位における温度・湿度条件と材料・部材の生物劣化との関係

前項までに建物の各部位における温度・湿度の変動、またそれから推定される構成材料の含水率について全般的な傾向を述べたが、ここでは各部位に使用されている材料や部材の生物劣化とくに腐朽菌の生育条件と環境条件との関連について考察する。

なお、生物劣化に関しては第3章で詳しく述べるが、ここでは、そこで明かとなった生育条件の中で温度条件（15℃以上）と、木材含水率が20%以上になる相対湿度の範囲を設定し、計測対象とした建物にあてはめてみた。その結果は、図-2-1-6～15の気候図に示したようになる。これより次のような点が認められた。

- (1) A・E棟は、建物の各部位において腐朽菌が生育する条件に到っておらず、被害も認められなかった。
- (2) B棟の場合は、A棟と同一地域に建設されていたが、建物の概要で述べたように、計測以前に腐朽菌（ナミダタケ）によって和室床下（計測点②）や浴室脇床下（計測点③）において被害を受け補修等を行った建物である。それにもかかわらず、計測中にも同じ場所で腐朽菌が再発生した。このことは、含水率の推定結果からもこの部位における部材の含水率が30%近い値であることから明らかである。  
なお、生物劣化の発生する危険範囲は計測点②、③においては7・8月、また洋室床下（計測点④）においては、7～9月であった。
- (3) C棟の場合は、外気条件では生育条件に到っていないが、建物の計測部位すべてについて6～8月が生物劣化の発生する危険範囲に入っていた。しかしC棟は、防腐処理等が施されていたため被害は認められなかった。
- (4) D棟の場合は、外気条件においてすでに6～10月まで危険範囲に入っていた。建物の各部位についてみると、和室床下（計測点①）では5～9月、洋室床下（計測点②）では6～9月、浴室脇床下（計測点③）では6～10月、南側外壁（計測点④）では7月、北側外壁（計測点⑤）では7～10月までそれぞれ生物劣化の発生する危険範囲に入る傾向が認められた。しかし、D棟では防腐処理等が施されていたため、ここでも被害は認められなかった。

腐朽の発生の可能性について、建物の各部位の気候図（環境条件）をもとに検討した結果、建物の各部位の環境条件である温度・湿度を計測することが、生物劣化を予想する有効な手法であることが認められ、計測に際しては、5～9月頃を計測期間とすれば、建物の各部位における生物劣化発生の予想は可能であることが認められた。

## 第2節 木質構造等による住宅における部材の含水率

前節においては、木質構造の長期耐力性能に影響を及ぼす湿気（水蒸気・水分）が、建物の各部位においてどのような状態であるかを把握するため、建物が建設されている地域の気象条件との関連から温度や湿度条件としてとらえ、生物劣化との関連および劣化環境条件を設定する際の環境区分との対応について検討した。

本節では、建物を構成している材料や部材が、環境条件下でどのような含水率状態にあるかを把握し、含水率の増加に影響を及ぼす要因について、実際に居住している状態での枠組壁工法による住宅や住民が転居後2日経過したブロック造住宅において調査を実施し、それらの関係について整理した。

### 2-1 枠組壁工法住宅における部材の含水率

#### 2-1-1 建物の概要および調査方法

調査の対象とした住宅は、神戸の名谷、有野地区に建設された枠組壁工法によるタウンハウス型式および戸建の2階建て住宅であり、施工の程度は、住宅金融公庫の標準仕様書に準拠したかなり施工水準の高い建物である。また、調査対象とした建物は、居住者が生活を行っている状態であった。各々の建物の概要を以下に示す。

##### (1) 建物A、B

建物A、Bは、名谷地区に建設されたタウンハウス型式の住宅で中住戸の建物である。

建物Aは、昭和55年に建設され、経過年数2年がたった。外壁は、構造用合板下地に直接スタッコ吹付け仕上げが施されており、内部には断熱材（グラスウール：厚さ50mm）が挿入され、内装はビニルクロス貼りであったが、防湿層は施工されていなかった。床は、束型式で構造用合板張りになっており、洋室の床下には断熱材（スタイロフォーム：厚さ20mm）が挿入されていた。なお、和室の床下には断熱材は挿入されていなかった。また、床下土壌面には、防湿処理（防湿シート：ポリエチレンシート厚さ0.1mmの上に乾燥した砂がのせてある）が施されていた。

建物Bは、昭和52年に建設され、経過年数5年がたった。外壁は、シーリングボード下地にラスモルタル塗り、その上にアクリルリシン吹付け仕上げがなされていた。内装はビニルクロス貼りであったが、防湿層は施工されていなかった。

床は、東型式で構造用合板張りとなっており、断熱材が挿入されていた。また、床下土壌面は、建物Aと同様に防湿処理が施されていた。

建物A、Bの1階平面図を図-2-2-1に示した。

## (2) 建物C、D

建物C、Dは、有野地区に建設された戸建の住宅である。

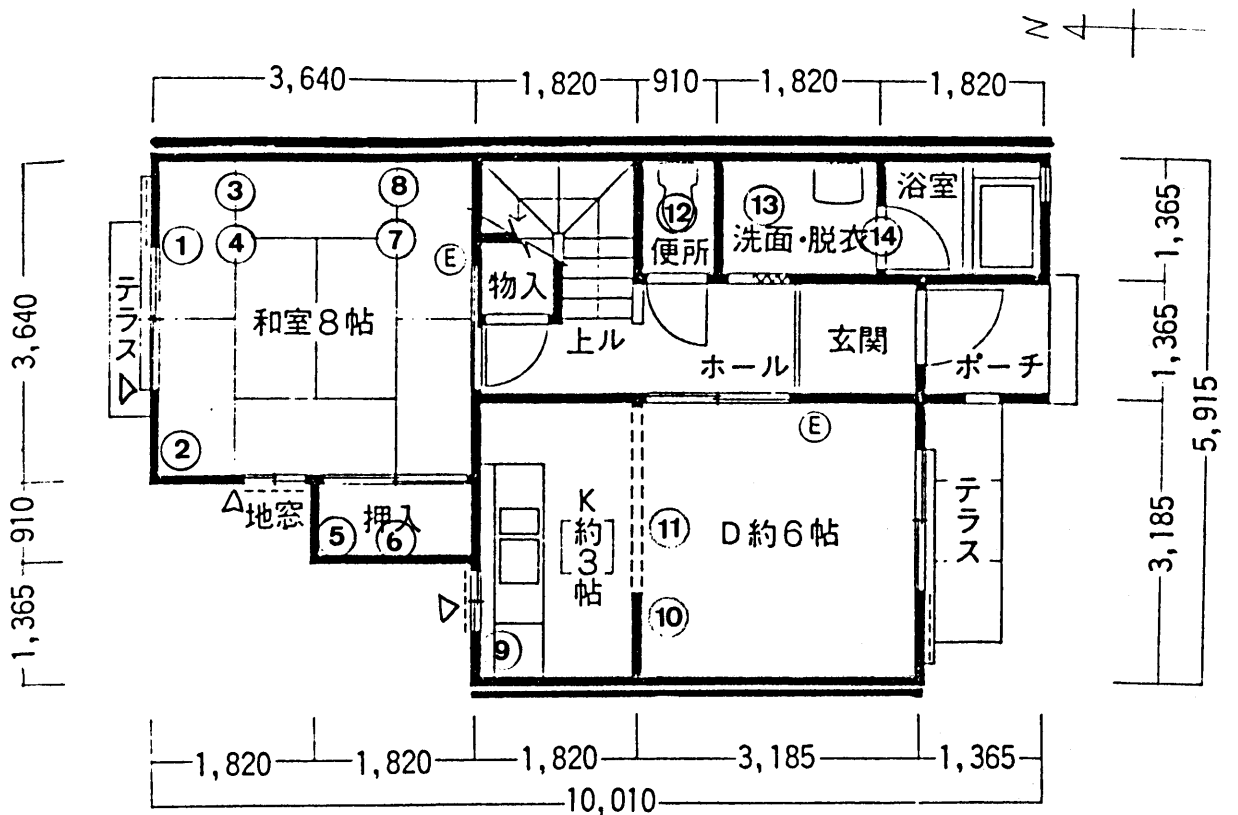
建物Cは、昭和55年に建設され、経過年数2年がたった。外壁は、構造用合板下地に直接スタッコ吹付け仕上げが施されており、内装はビニルクロス貼りであったが、防湿層は施工されていなかった。

床は根太型式の床組に構造用合板張りで、断熱材が挿入されていた。また、床下土壌面は、他の建物と同様に防湿処理が施されていた。

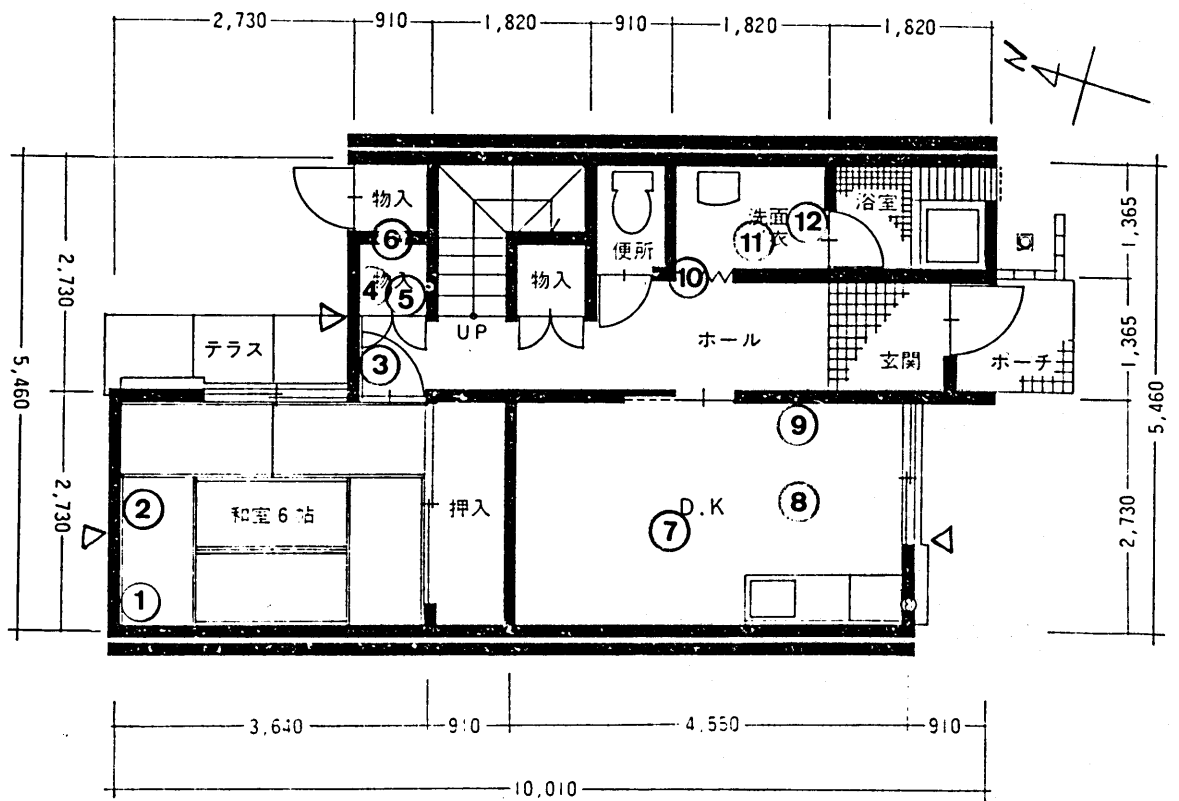
建物Dは、昭和56年に建設され、経過年数は1年しかたっていない。建物の仕様等は、Cの建物と同様であるが、枠組材に未乾燥材を使用していた。

建物C、Dの1階平面図を図-2-2-2に示した。

調査は、対象とした建物各部位の中でも湿分（水分）の影響が多く、生物劣化を生じやすい1階部分の床下を中心に、押入れや外壁についても、各部材の含水率を電気抵抗式の木材水分計（k e t t 社製）で計測を行った。計測箇所は、平面図に○印で示した位置である。なお、調査日は2月で天気は晴天であった。



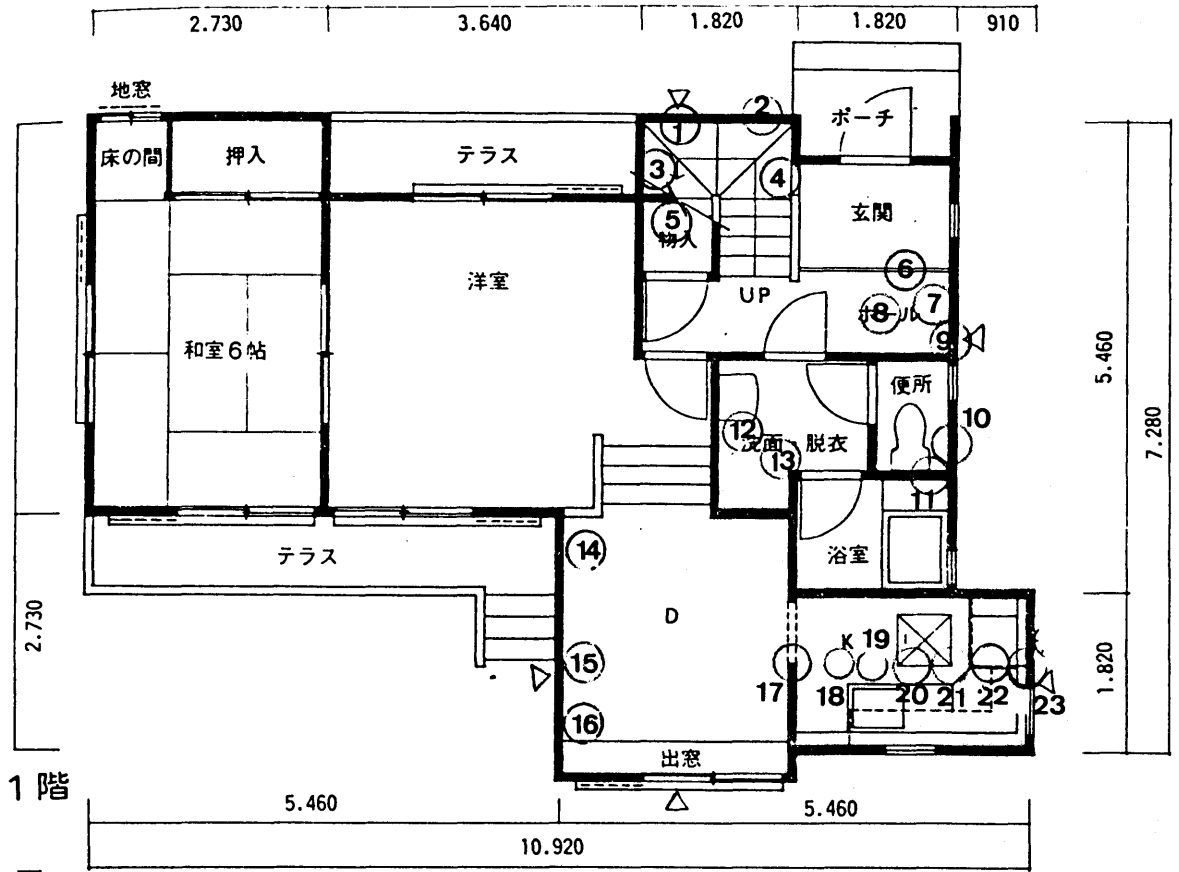
(A)



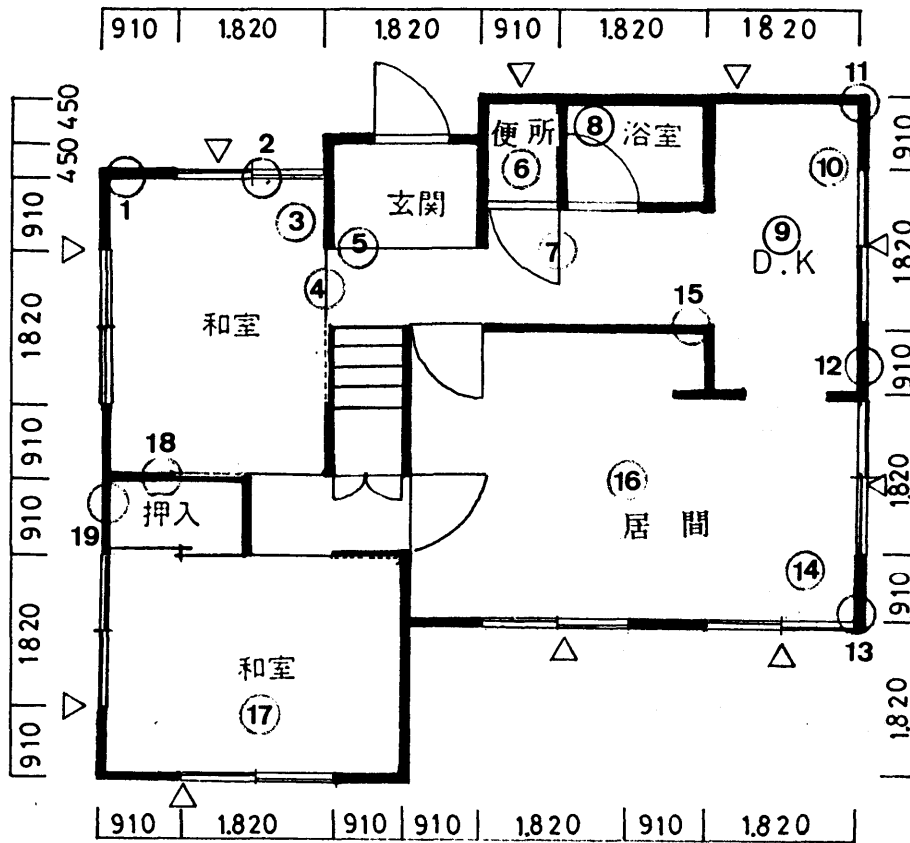
(B)

△：換気孔の位置

図-2-2-1 建物A・Bの平面図(1階部分)



(C)



(D)

△換気孔の位置

図-2-2-2 建物C・Dの平面図(1階部分)



## 2-1-2 調査結果および考察

調査対象建物の各部位における部材の含水率（平均値）の計測結果を表-2-2-1~4に示した。これらの結果より次のことが認められた。

### (1) 建物A、B

タウンハウス型式の建物AとBをみると、含水率は全般的に低い値であった。

ここで、調査時点における各部位の温度・湿度から木材の平衡含水率を求めると、台所の床下（14℃、42%RH）では約8%、押入れ内部（15℃、56%RH）では10~11%、外気条件（13℃、40%RH）では7~8%となる。これらの含水率と計測値を比べると、建物Aでは、外気に接する押入れ（計測点5、6）の構造用合板（床下張り材）や出隅部の縦枠および和室（計測点1、2）の端根太の含水率が、他の部材より相対的に高く、さらに方位でみると北側の部材の含水率が他の部位より相対的に高い傾向を示した。

このことは、雨水や使用水等の侵入がみられないことから、外気に接する部位においては結露を生じる可能性のあることを示しているものと考えられる。

そこで、結露の可能性についてみると、例えば、外気に接する押入れ（計測点5）の縦枠材の含水率は16~18.5%であり、これをこのときの温度（15℃）に対する相対湿度に換算すると78~85%RHとなる。さらにこの相対湿度（15℃）で結露を生じる温度（露点）は約12~13℃となり、外気の温度条件を考慮すると結露を生ずる条件になりうるものと考えられる。

建物Bにおいて、建物Aと同様に、調査時点における各部位の温度・湿度から木材の平衡含水率を求めると、台所の床下（15℃、40%RH）では約8%、押入れ内部（12℃、64%RH）では11~12%、外気条件（11℃、45%RH）では8~9%となる。これらの含水率と計測値を比べると、外気に接する和室（計測点1、2）の端根太や根太の含水率が20%を越える値を示していた。

このことは、Aと同様に、外気に接する部位においては結露を生じる可能性のあることを示しているものと考えられる。

そこで、結露の可能性についてみると、端根太（計測点1）の含水率は、20~23%であり、これをこのときの温度（12℃）に対する相対湿度に換算すると87~93%RHとなる。さらにこの相対湿度（12℃）で結露を生じる温度（露点）は約11~12℃となり、この場合も外気の温度条件を考慮すると結露を生ずる条件になりうるものと考えられる。

さらに、外気に接する物入れ（計測点4）の外壁下張り材であるシーリングボード

の含水率が、他の部位における部材よりも高い値を示す傾向が認められた。このことは、物入れの壁には断熱材が挿入されていなかったことからこれも結露の可能性が考えられる。

一方、両建物ともに水場まわり（台所、洗面所、便所）の部材の含水率は低く、乾燥してる状態であった。このことは、給排水管からの漏水などがなくまた床下の防湿処理が床下土壌からの水分の供給を阻止していたため、床下の湿度が低くなったものと考えられる。

これらの結果より、タウンハウス型式の建物の部材含水率は、外気に接する部位においてその他の部位より相対的に高くなる傾向が認められ、その原因としては、結露が考えられる。

## (2) 建物 C、D

戸建の建物 C と D をみると、生物（的）劣化を生ずると考えられる含水率（20%）より全般的に低い値であった。

建物 C では、調査時点における各部位の温度・湿度から木材の平衡含水率を求めると、台所の床下（8℃、50%RH）では約9～10%、脱衣室床下（9.5℃、42%RH）では8%、外気条件（9℃、42%RH）では約8%となる。これらの含水率と計測値を比べると、全般的に含水率は高い値を示しているが、とくに外気に接する食堂の西側の土台（計測点 14、15、16）、北側の階段下の床下（計測点 1、2、3、4、5）における根太、端根太、土台および洗面所（計測点 12、13）の根太の含水率が、他の部材より相対的に高い値を示す傾向が認められた。このことは、建物 A、B と同様に雨水や使用水等の侵入がみられないことから、結露によると考えられる。

そこで結露について検討すると、上記した部位における部材の含水率の範囲は16～18%であり、これをこのときの温度（約9℃）に対する相対湿度に換算すると78～84%RHとなる。さらにこの相対湿度（9℃）で結露を生じる温度（露点）は約7～8℃となり、結露の可能性は十分あるものと考えられる。

建物 D では、C と比べ全般的に含水率は低いが、調査時点における各部位の温度・湿度から木材の平衡含水率を求めると、台所の床下（11℃、40%RH）、居間の床下（12℃、40%RH）、外気条件（9℃、42%RH）ともに約8%となる。

この含水率と計測値を比べると、外気に接する東側の台所（計測点 10、11、12）や北側の便所や浴室（計測点 6、8）の土台が、他の部材より相対的に高い

含水率を示す傾向が認められた。このことは、他の建物と同様に雨水や使用水等の侵入がみられないことから、結露による含水率の増加が考えられる。

そこで結露について検討すると、上記した部位における土台の含水率の範囲は13～17%であり、これをこのときの温度(約11℃)に対する相対湿度に換算すると68～82%RHとなる。さらにこの相対湿度(11℃)で結露を生じる温度(露点)は約8～9.5℃となり、結露の可能性は十分あるものと考えられる。

なお、建物Dは生材を枠組材に使用していたことから、部位によっては含水率の高い部材があるのではないかという予想もあったが、建築後1年が経過していたことから、木材の含水率は平衡に達し、乾燥していたものと考えられる。

これらのことより、戸建住宅では方位に関係なく、外気に接する部位における部材の含水率が、その他の部位の部材より相対的に高くなることが認められた。

以上の結果より建物の各部位における部材の含水率は、雨仕舞・水仕舞あるいは防湿対策がなされていれば、方位に関係なく外気と接する部位における部材の含水率が、その他の部位の部材より相対的に高くなる傾向にあることが認められた。また、その原因として、結露の影響が大きいことが明らかとなった。



表-2-2-2 含水率計測結果 (建物: B)

方位	建物の部位・部材	含水率 (%)					
		0	5	10	15	20	25
北側	和室 端根太	[Horizontal bar with vertical hatching, length ~22%]					
	1 土台	[Horizontal bar with solid black fill, length ~10%]					
	和室 2 根太	[Horizontal bar with white fill, length ~22%]					
	廊下 3 端根太	[Horizontal bar with vertical hatching, length ~12%]					
	物入 4,5,6 合板	[Horizontal bar with diagonal hatching, length ~10%]					
	根太 土台	[Horizontal bar with solid black fill, length ~10%]					
中央	シーリング材 (壁)	[Horizontal bar with white fill, length ~15%]					
	D・K 根太	[Horizontal bar with white fill, length ~12%]					
	7,8,9 大引	[Horizontal bar with cross-hatching, length ~10%]					
	束	[Horizontal bar with horizontal hatching, length ~10%]					
	脱衣 根太	[Horizontal bar with horizontal hatching, length ~10%]					
	10,11,12 大引	[Horizontal bar with cross-hatching, length ~8%]					

表-2-2-3 含水率計測結果 (建物: C)

方位	建物の部位・部材	含水率 (%)				
		0	5	10	15	20
東側	玄関 6,7 8,9 換気 便所 10 浴室 11 根太土台 端根太土台 側根太土台 根太土台					
西側	食堂 14 15 16 ブロック 合板 根太土台 端根太土台 土台					
南側	台所 17,18,19,20 21,22,23 根太土台					
北側	物入 階段 1,2,3,4 5 根太土台 端根太土台					
中央	洗面 12,13 合板 根太					

表-2-2-4 含水率計測結果 (建物: D)

方位	建物の部位・部材	含水率 (%)				
		0	5	10	15	20
東側	台所 10,11,12 根太 端根太 土台					
西側	押入 18,19 端根太 土大台 引東					
南側	和室南側 17 居間 13,14 合根太 板大引 東太 端根太 土大台 引東					
北側	和室北側 1,2,3 玄関 5 便所 6 浴室 8 端根太 土大台 引東 土キ ン台 根太 土台					
中央	廊下 4,7,15 居間 16 根端 大太 東引 根太 大引 東					

## 2-2 ブロック造住宅における部材の含水率

木材および木質材料の用途は、木質構造に限らず、鉄筋コンクリート造等の構造躯体内に使用される場合もある。このような場合、木材および木質材料は、広義にみれば非構造材料としての扱いとなるが、床、天井等のように構造的要素を要求される面もある。木質構造で使用される場合と比較すれば、躯体との取り合いが異なるだけで、木材相互や木材と木質材料の施工等は、木質構造と同様である。

一方、ブロック造の躯体内に使用されている木材や木質材料の劣化状況とその劣化を誘発する含水率あるいは含水率を増加させる要因相互の関係は、木質構造における場合と共通であると考えられる。

ここでは、ブロック造住宅における部材である木材や木質材料の劣化状況とその劣化を誘発する含水率あるいは含水率を増加させる要因について調査しそれらの関連について検討した。

### 2-2-1 建物の概要

調査対象とした建物は、青森県青森市街地の県営および市営のブロック造公営住宅である。調査件数は、棟数で4棟（A、B、C、Dの各棟）、戸数にして7戸である。各棟の建設年度は、A棟が昭和37年、B棟が昭和38年、C棟が昭和32年、D棟が昭和38年である。またA・C棟は2階建、B・Dは平家である。

調査の対象として選定した住戸の各棟内での位置および間取りを図-2-2-3、4に示した。これらの建物は前述したように構造躯体が補強コンクリートブロック造で、内装、天井、床組および小屋組が木造となっていた。また、立地条件の関係から冬期において強い西風を受けるため、A・B棟においては、西側妻面のブロック外壁面に木質系の外装サイディング材を張り付けてあった。一方外壁等から雨水の侵入を防ぐために、A・B棟においてはエマルジョン系樹脂による吹付け工事、C・D棟においては外壁の亀裂部分の目地をコーキング処理し、さらにシリコン樹脂吹付けによる防水工事が建設後実施されていた。

調査対象とした建物の敷地は、周辺地域の宅地開発等により、周辺地盤よりも20～30cm程度低くなり、生活使用水や雨水などの処理は排水ポンプに頼っていた。そのため、雪解け時や大雨の時は、床下が浸水することも多々あり、床下土壌の含水率は、常に高い状態にあったと考えられる。また調査対象建物には、断熱材は施工されていなかった。



使用されている木材の樹種は、青森県がヒバ材の産地であることから、耐久性を必要とされる部位および内部造作材に多量のヒバ材が使用されていた。

なお本調査時には入居者は、転居した後（2日後）であった。

## 2-2-2 調査方法

調査は、建物各部位における部材の含水率および劣化状況を調査した。木材含水率の計測には、木材水分計（k e t t 社製）を用いた。この水分計は、最高35%までの水分しか計測できないため、これ以上の含水率を有するものは35%以上として扱った。また、劣化状況は部材の目視観察やドライバーによる触針によって腐朽状態を調査した。

各々の建物における調査位置は図-2-2-3、4に○印で示した。また、調査対象とした部材は以下の通りである。

- a. フローリング b. 床下地板 c. 根太 d. 大引 e. 根太掛け
- f. 束 g. 畳寄せ h. 柱 i. 窓わく j. 胴縁 k. 敷居
- l. 野地板 m. 妻面モルタル下地板 n. 母屋 o. 小屋束 p. 小屋梁
- q. たるき

調査は6月下旬～7月初めにかけて実施した。

木材の劣化状況を判定する際の木材の含水率と腐朽との関連は、木材の含水率が20%までは腐朽に対して安全側であり、30%を越えると腐朽は活発になることが認められていることから、部材含水率20%以上の場合に腐朽の可能性があると判定した。<sup>69), 122)</sup>

一方、青森県における気象条件から求められる木材の平衡含水率をみると、14%<sup>121)</sup>（4月）～18%（7月、8月）であり、本調査時期を考慮しても外部から何らかの形で水分が供給されない限り腐朽に至る含水率にはならないものと考えられる。

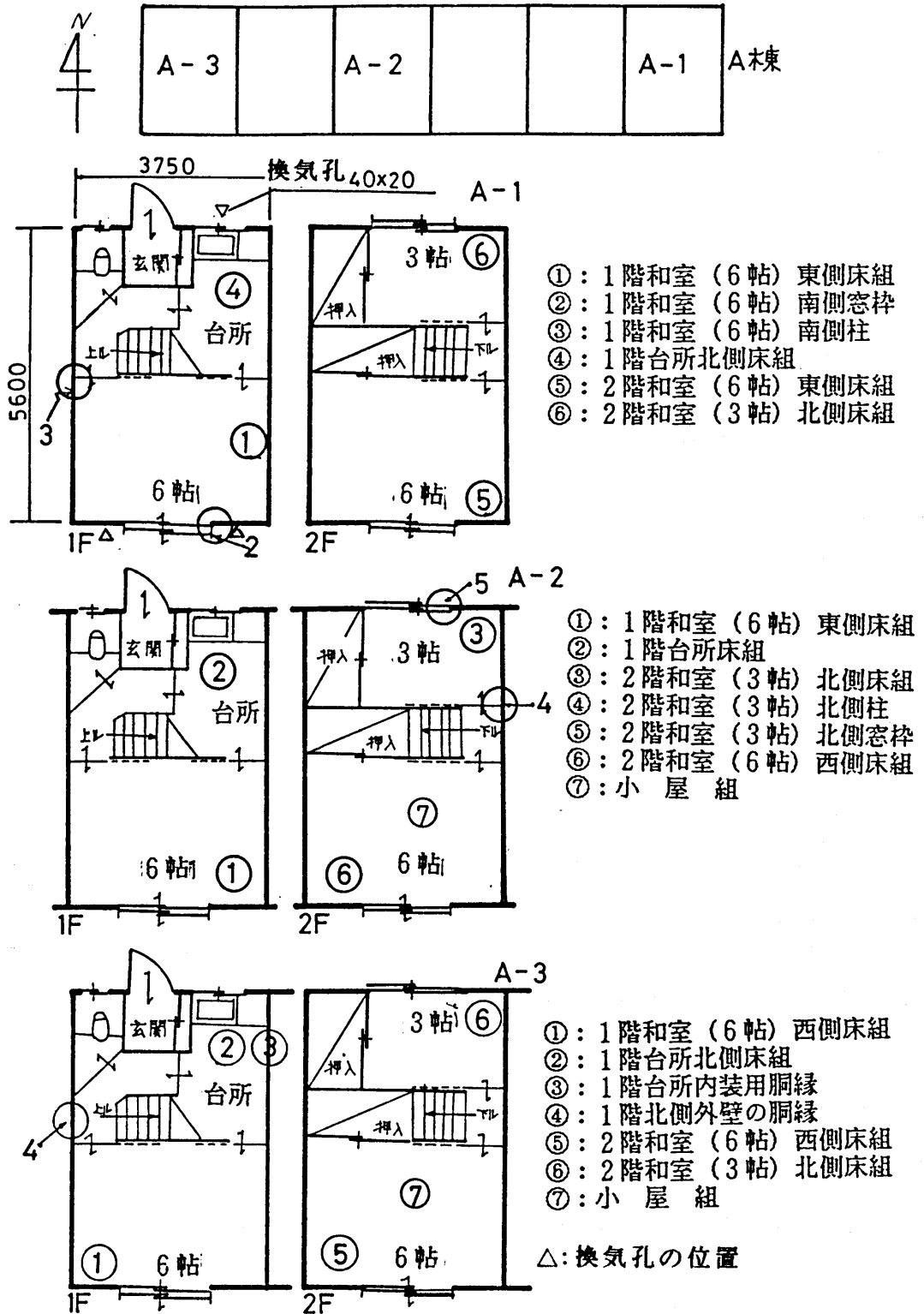


図 - 2 - 2 - 3 調査対象建物 (A)

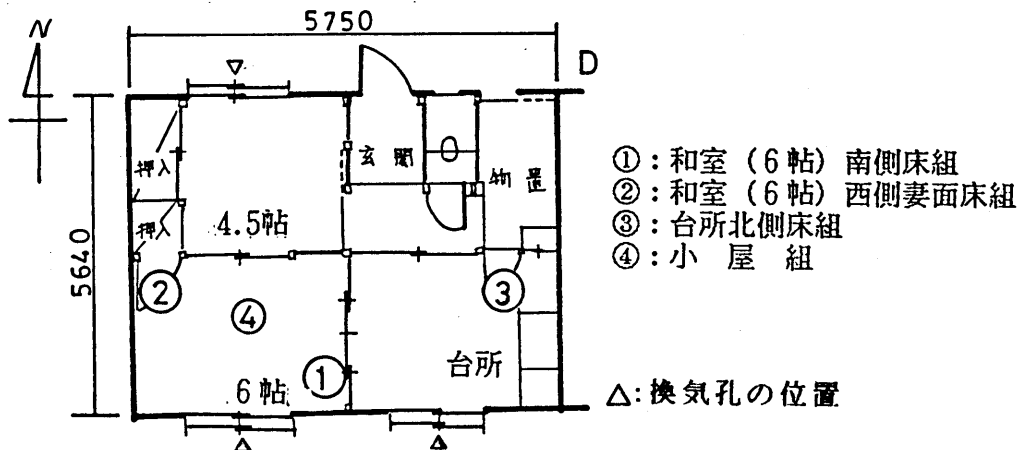
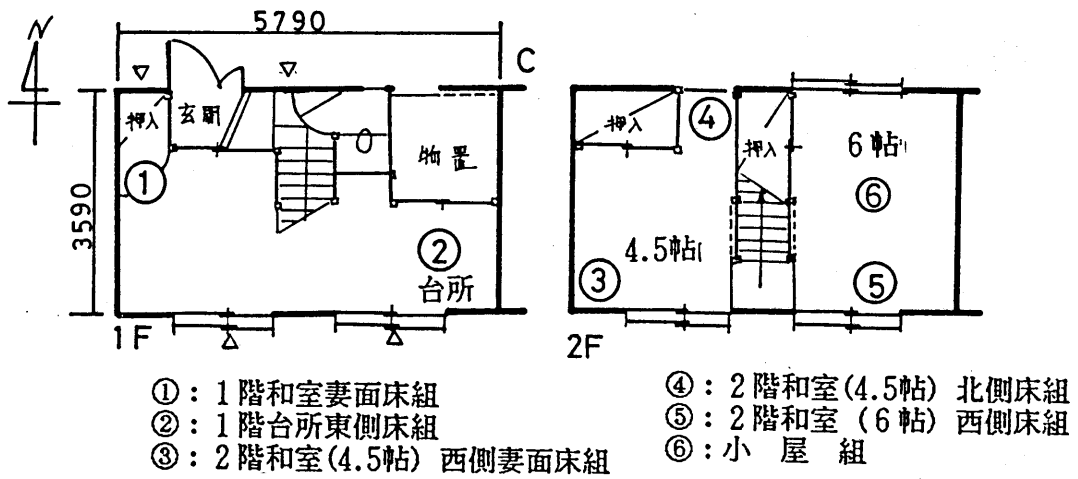
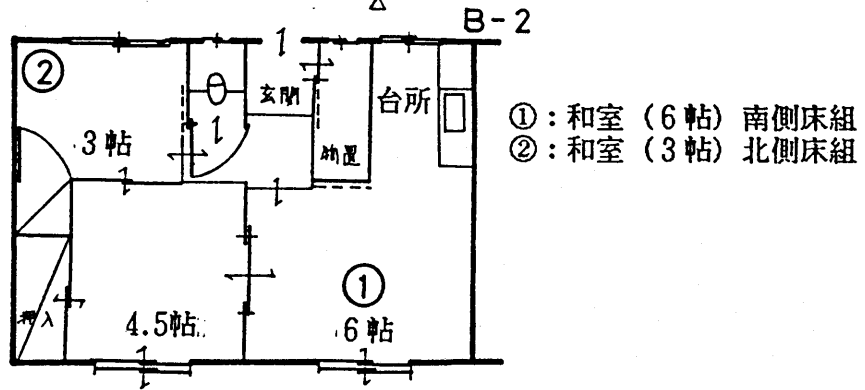
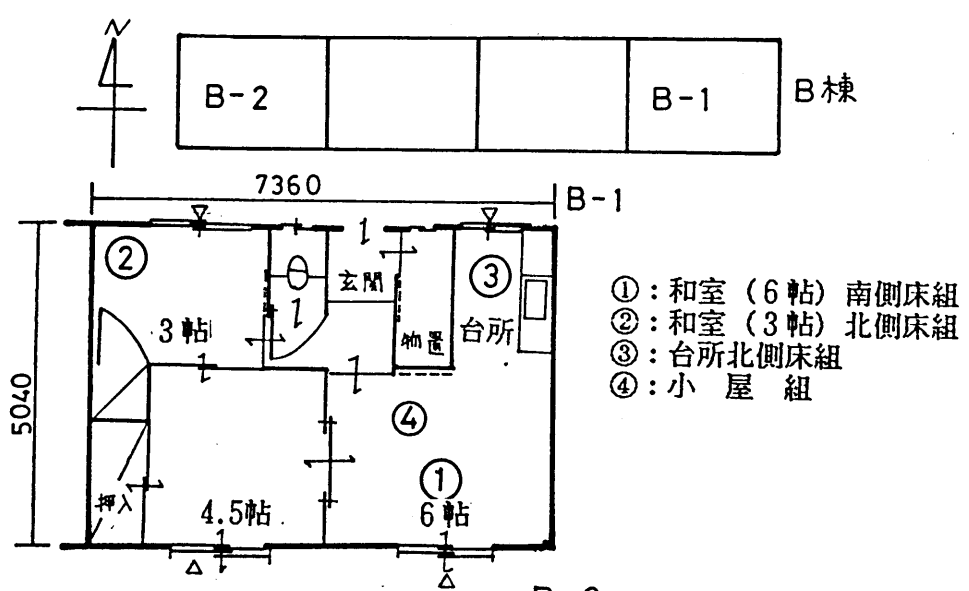


図-2-2-4 調査対象建物 (B、C、D)

### 2-2-3 調査結果および考察

調査対象の建物における木材含水率の計測結果を図-2-2-5、6に示した。これらの結果から次のようなことが認められた。

#### (1) A棟について

A棟については、図-2-2-3からも判るように、調査した住戸は、木材の耐久性上その使用環境が厳しいと思われる外周壁を有するA-1、A-3および中住戸A-2の計3戸である。各戸の1階部分について、室の用途別に床組材の含水率をみると、台所がもっとも高く、次いで和室の順になっている。さらに部材別にみると、A-1、A-3では大引、根太、床下地板、フローリングなどの床組材が約20%の値を示し、A-2では20~35%の範囲の値を示している。

A-2において含水率が高い原因は、床高さや床下の換気などが他と比べ差異がないことから、床下土壌の含水率が他の住戸より高いためと考えられる。このことは、A-2の床下に水が侵入し、停滞していた形跡が見られたことから明らかであった。この点については、<sup>18,19,21)</sup> 既往の研究によれば床下土壌の含水率が高い場合、夜から明け方にかけて外気温度よりも床下の温度が高くなり、床組材に結露を生じる可能性があることが報告されていることから、A-2のように常に床下が湿っている場合には、床組を構成する部材は、常時高含水率状態を保持しているものと考えられる。

次に各戸の2階部分について方位別に部材の含水率をみると、妻面を有していない中住戸A-2の和室がもっとも低く、次いで片側に妻面のあるA-3の和室(6帖)、北側の和室(3帖)の順となる。A-1の場合、南側の妻面付近の床組はA-2と同様に含水率は低いが、北側の妻面付近の床組材は20~30%と他に比べかなり高い値を示した。このことは、3帖間の北側の壁部と東側妻面のコーナー部分に多量のカビが発生していたことから、北側外壁や東側妻面などの外気と直接接触している壁面に発生した結露水や雨水が、床組にしみ込んだためと考えられる。この水分については、調査時点に確認できるほどであった。なお、この原因として調査建物には断熱材が施工されていないこと、壁面の防水が不備であったことまたブロックが吸水性のよい材料であることなどがあげられる。一方、小屋組材については含水率20%以下と低い値を示した。

窓枠については、北側と南側に使用されている場合を比較すると、北側の窓枠の含水率が高い値を示していた。このことは、日照の有無によって生ずる材料の乾燥の違いによるものと考えられる。

## (2) B棟について

B棟については、方位の違いによって床組材の含水率に差は認められなかった。しかし床組の構成で見れば、土壌面に近い大引、根太、床下地板の順で含水率が高くなる傾向を示し、B棟もA棟と同様に床下土壌の含水率の影響を受けているものと考えられる。小屋組については、A棟と同様に低い含水率を示していた。

## (3) C棟について

室の用途別に床組材の含水率みると、台所がもっとも高く、次いで1階和室の妻面付近、2階の和室の順となる。部位別にみれば、台所の床組材は一様に高い含水率を示し、1階和室の場合は、床下(土壌面)から離れている部材ほど低い含水率を示し使用水による影響が認められた。2階の和室については、方位による差は認められなかった。

小屋組材については、A棟と同様に低い含水率を示していた。

## (4) D棟について

室の用途および方位別に床組材の含水率をみると、西側に妻面を有する和室の外壁付近の値が高く、次いで台所、和室の南側となった。妻面で含水率が高い理由は、A-1と同様に結露水や雨水によるものと考えられる。小屋組についてみると、西側妻面のモルタル下地板が最も高い含水率を示し、他の構成材料は他の棟と同様に低い含水率を示した。なお、モルタル下地板の含水率が高い値を示した原因として、結露とモルタル面に入った亀裂から雨水が侵入したためと考えられる。

### 2-2-4 木材の含水率と腐朽との関係

各々の建物内の室別および方位別の木材の含水率と、木材の腐朽の程度とを整理すると表-2-2-5に示したようになる。

この結果から、木材の含水率が20%以下の箇所では腐朽は認められず、20~30%の範囲で部分的に腐朽が認められ、30%以上では確実に腐朽しているということが認められた。このことは、木材の含水率と腐朽との関係と一致する。<sup>69), 122)</sup>

建物の部位と腐朽との関連をみると、腐朽が認められなかった部位は、小屋組材および2階の床組材だけであり、部分的に腐朽が認められたのは、1階床組材および妻面を有する外壁付近の床組材であった。確実に腐朽していたのは、台所の床組材および妻面がラスモルタル塗りの部位におけるモルタル下地板であった。また、腐朽の観察から耐久性<sup>121)</sup>があるとされているヒバ材も刃材部を使用しているものはかなり腐朽し、防腐処

理等の必要性が認められた。

以上のような結果から、ブロック造住宅における部材である木材や木質材料の含水率を増加させ生物劣化を誘発する要因は、木質構造と同様に外周壁においては結露の発生や外装仕上げの亀裂からの雨水の侵入、床組においては土壌面からの水分、さらに水場まわりにおいては使用水などが木材の含水率を上昇させる要因であることが明らかとなった。

## 2-3 木質構造における部材の含水率の増加とその要因

木質構造住宅の構成材料である木材・木質材料および部材、さらに建物の長期耐力性能をみた場合、長期耐力性能に影響を及ぼすのは構成材料の生物(的)劣化や接合部の耐力低下(低減)などが考えられる。このような耐力の低下を誘発する要因としては、構成材料・部材の含水率を増加させる建物の外部および内部からの湿気(水蒸気・水分)の影響が考えられる。

本節では、上記した湿気の発生原因と部材の含水率との関係を把握するために、枠組壁工法による住宅やブロック造住宅において調査を実施し、それらについて検討した。

その結果、建物の各部位における部材の含水率は、外周壁においては結露の発生や外装仕上げの亀裂からの雨水の侵入や停滞、床組においては土壌面からの水分、さらに水場まわりにおいては使用水などが木材の含水率を増加させる要因であることが明らかとなった。したがって、雨仕舞(外壁の亀裂、屋根防水など)・水仕舞(給排水管周辺の漏水など)の不備がなく、あるいは床下の防湿処理がなされていれば、結露水(室内からの水分移動、室内外の温度差)の発生を除いて、その他の要因は排除できるものと考えられる。しかし、結露については、建物の構法(材料構成、気密性、施工性)や住い方の差異、建物が建設されている地域の気象条件によってその発生状況が異なり、さらに現状では未解決部分が多いため、木質構造の長期耐力性能に影響を及ぼす生物(的)劣化や接合部の耐力低下(低減)などを誘発する要因の中で、最も重要であると考えられる。

以上のようなことから、木質構造の長期耐力性能を評価する際に考慮されるべき項目として結露の重要性が明らかとなった。

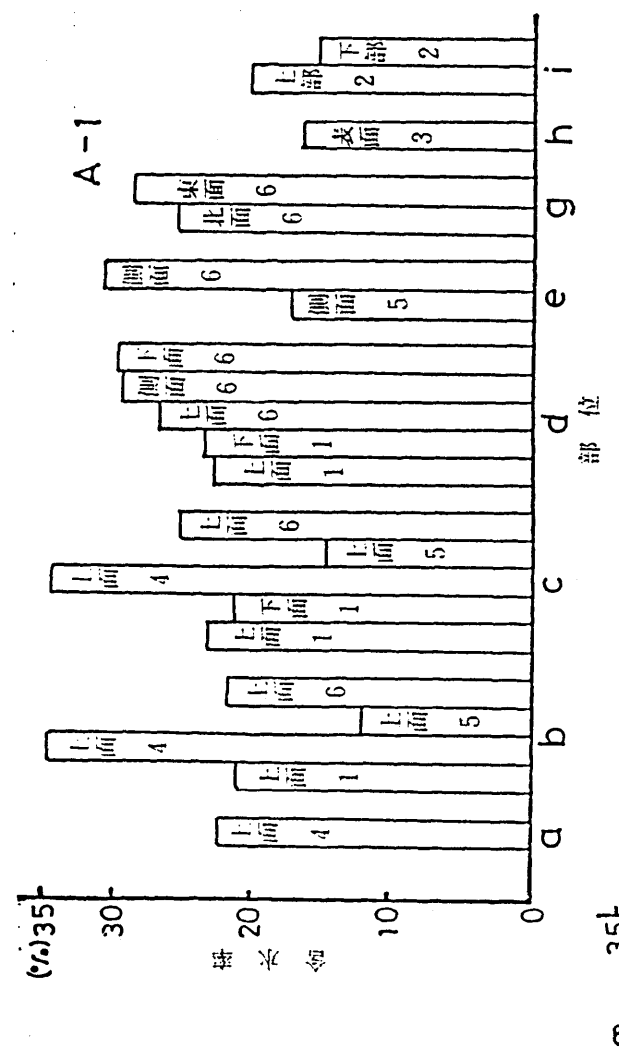
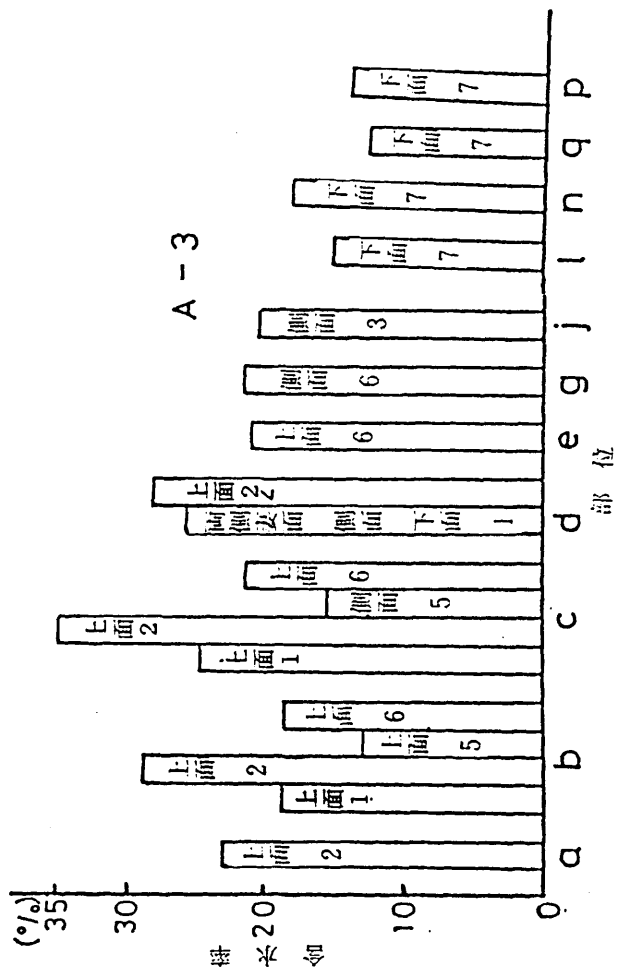


图-2-2-5 部材別含水率 (A-1, A-2, A-3)

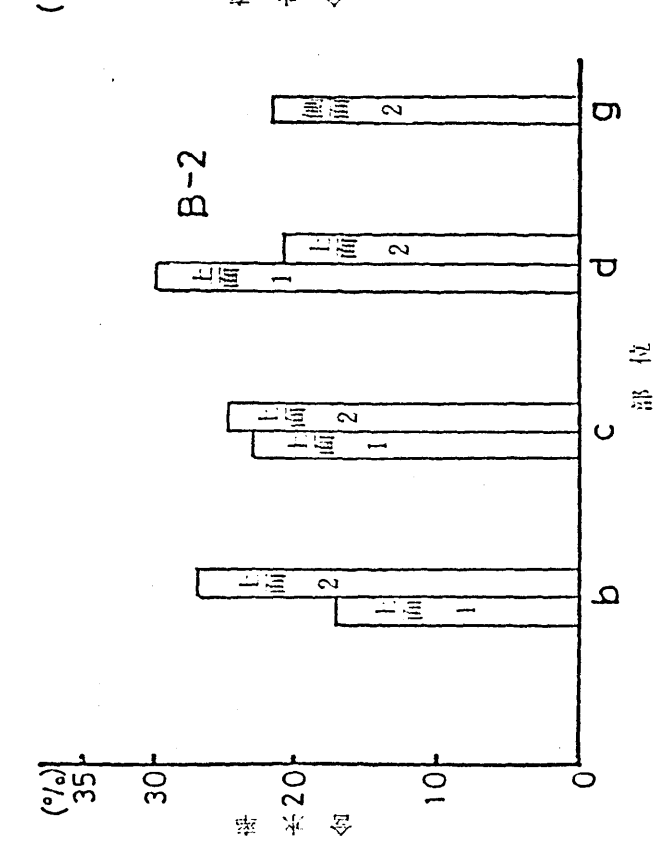
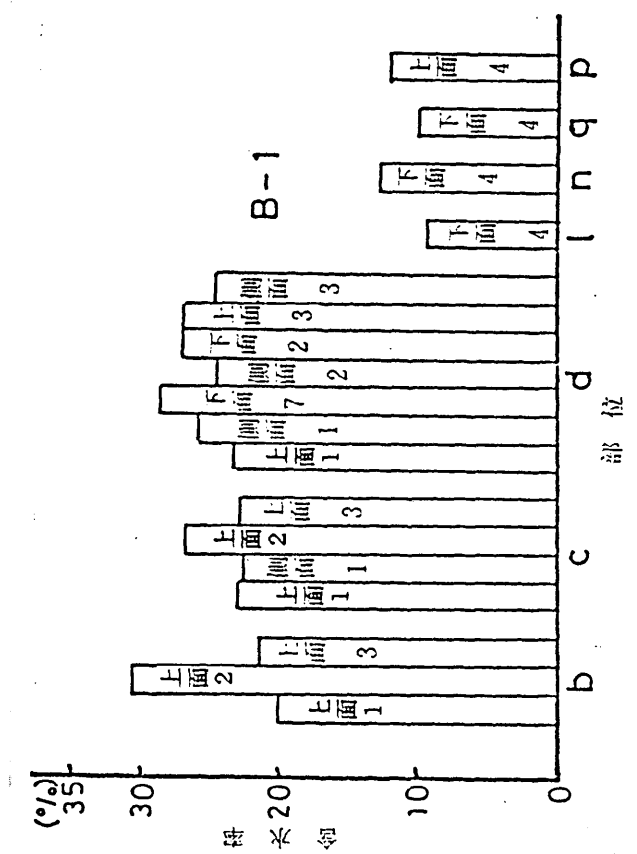
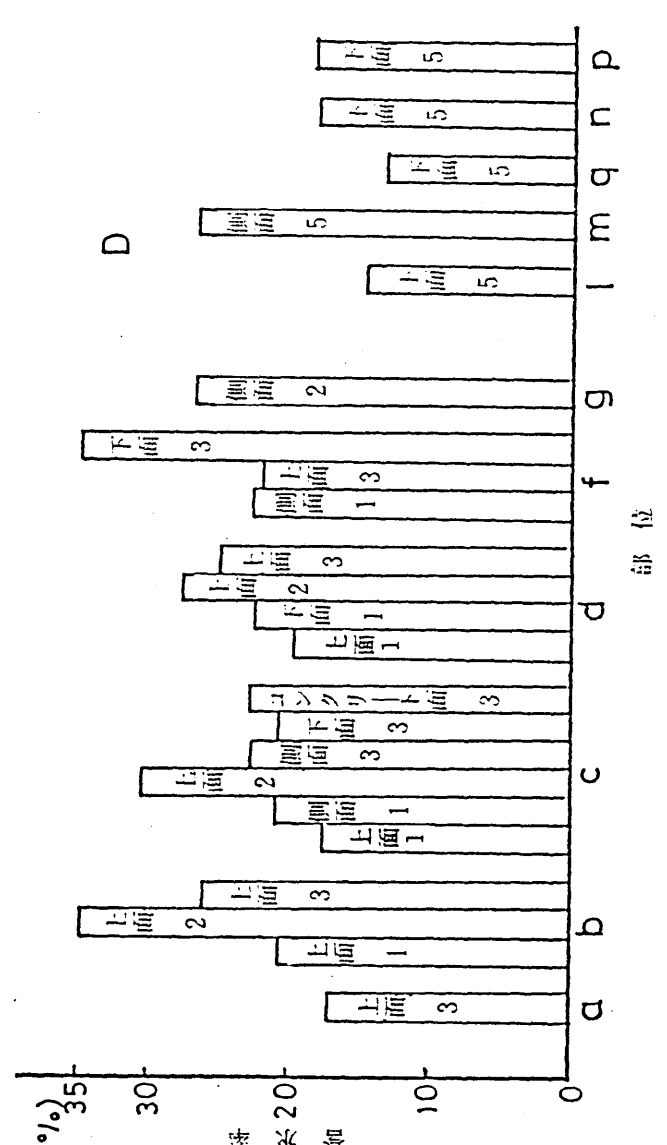
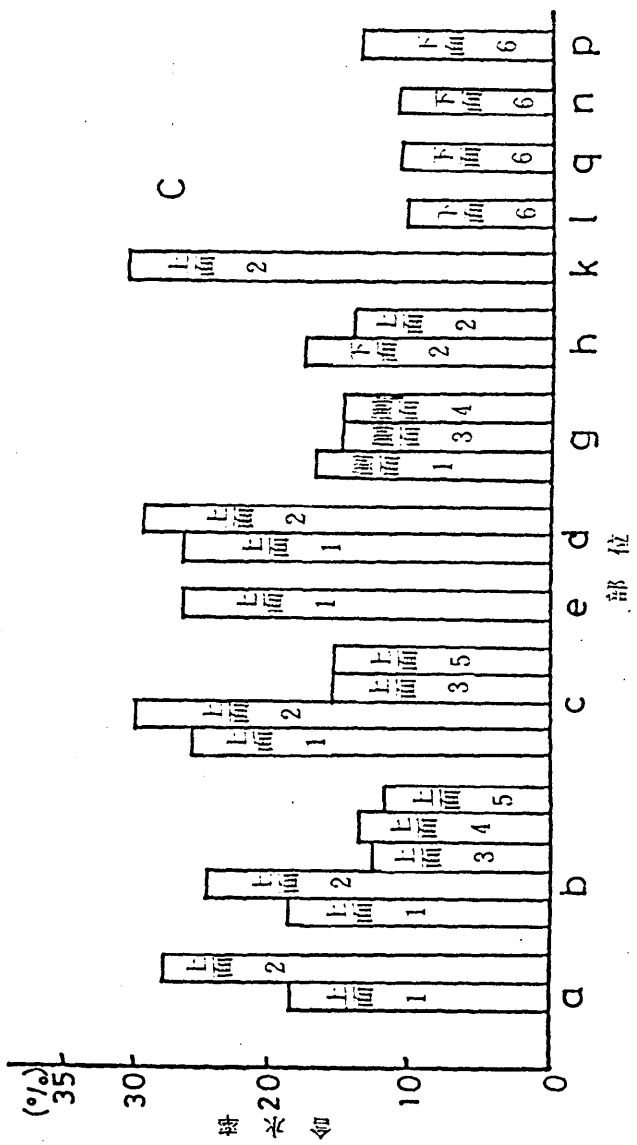


图-2-2-6 部材別含水率 (B-1, B-2, C, D)



表-2-2-5 各室別の腐朽の程度

調査対象棟	腐朽は認められない (木材含水率20%以下)	部分的に腐朽が認められる (木材含水率20%~30%)	確実に腐朽している (木材含水率30%以上)	備考
A	1	2階和室(6帖) 東側床組	1階和室(6帖) 東側妻面床組 2階和室(3帖) 北側床組	1階台所北側床組 東側が妻面
	2	2階和室(3帖) 北側床組 2階和室(6帖) 西側床組 小屋組	1階和室(6帖) 東側界壁面 床組	1階台所床組 棟の中央部
	3	2階和室(6帖) 南側床組 2階和室(3帖) 北側床組 小屋組	1階台所内兼用胴縁 1階和室(6帖) 西側床組	西側が妻面
B	1	小屋組	和室(6帖) 南側床組 和室(3帖) 北側床組 台所北側床組	1階台所北側床組 東側が妻面
	2		和室(6帖) 南側床組 和室(3帖) 北側床組	西側が妻面
C	棟	2階和室(4.5帖) 西側妻面床組 2階和室(4.5帖) 北側床組 2階和室(6帖) 西側床組 小屋組	1階台所東側床組 1階和室西側妻面床組	西側が妻面
	D	和室(6帖) 南側床面 小屋組	台所北側床組 モルタル下地板(西側妻面) 和室(6帖) 西側妻面床組	西側が妻面

### 第3節 本章のまとめ

本章では、木質構造による住宅における湿気（水蒸気・水分）の建物の各部位における状態を、温度・湿度条件として建物が建設されている地域の気象条件との関連から整理し、さらに、建物を構成している材料や部材が、環境条件下でどのような含水率状態にあるかを把握することにより、環境条件との関連から含水率の増加に影響を及ぼす要因についても整理を行った。

ここでは、建物の各部位における温度・湿度の計測結果や部材含水率の調査をもとに建物を構成している材料や部材の長期耐力性能を評価する際の劣化環境条件の区分を試みる。

温度については、建物の各部位における温度・湿度の計測結果から、上限で30～40℃の範囲内におさまっている。しかし、計測の対象ではない部位、例えば小屋組部材<sup>24)</sup>などを考えると上記した上限値を上回り65℃以上になることがあると報告されている。

一方、下限値についてみると北海道以外は0℃以下になることはないが、外気の温度条件との関連から-10℃を下限値とみれば安全側の評価となる。また、腐朽菌の生育温度をみた場合、最適温度は24～35℃と言われている。これらのことから、温度区分としては①65℃以上、②65～40℃、③-10～40℃程度の区分が考えられる。それ以外の温度については、木質構造の長期耐力性能には直接関係がないものとして区分から除外してもよいものと考えられる。

湿度（水分）は、本章における調査結果からも認められたように木材の含水率の増加に影響を及ぼし、木質構造の長期耐力性能を考える上で重要な要因である。

湿度の範囲は、建物の各部位の計測結果からみても幅が広く、40～90%の範囲になっている。また、部位によっては、水分の状態（結露水）で存在することも認められた。さらに、部材含水率の調査から構成材料の含水率の増加に影響を及ぼす要因やそれとの関連も明らかとなった。

このようなことから、湿度区分を行うと①吸水状態（相対湿度90%以上）、②吸水状態と乾燥（相対湿度80%以下）が繰返される、③相対湿度が80～90%、④大気の状態（相対湿度80%以下）、⑤乾燥状態（相対湿度40%以下）となる。

この区分と実際に部材等の含水率に影響を与える要因との関連をみると、吸水状態になる場合には、水仕舞（給排水管周辺の漏水）や雨仕舞（外壁の亀裂、雨樋のつまり、屋根防水など）の不備による使用水や雨水、床下土壌面からの水分、換気不良、さらに結露水（室内からの水分移動、室内外の温度差）などの侵入や停滞が考えられる。

吸水状態と乾燥（相対湿度80%以下）が繰返される場合には、開口部材まわりや外壁の亀裂からの雨水の侵入や乾燥、さらに床組における使用水や結露水の侵入や乾燥などが考えられる。

相対湿度が80～90%になる場合は、吸湿性の高い内外装材料が使用された場合の壁内、床組においては換気孔は満たされているが隅角部などにおける湿気の淀み、小屋組においては換気孔がなくまた階下に浴室などがある場合などが考えられる。

大気の状態は、温度・湿度の計測結果からも通気状態が良ければ、外気の状態に近くなることから区分にに入れる必要があると考えられる。

乾燥状態になる場合は、外壁や屋根において日照の影響がある場合などが考えられる。

上記した温度および湿度（水分）の区分は、本章の調査結果から想定される区分であるが、これについては、後述する釘接合部のクリープ特性や耐力低下さらに木質材料や部材のクリープ特性などとの関連もあり、第8章においてそれらの特性もふまえ劣化環境条件の区分として提案する。

### 第3章 木質構造における木材等の腐朽の可能性について

木材や木質材料・部材さらに建物等の長期使用時において、それらの長期耐力性能に関連する要因には、温度・湿度、応力（荷重）等の物理的要因の他に、腐朽菌やシロアリなどの生物による生物的要因がある。これらの要因は、単独で作用する場合よりもむしろ互いに関連しあいながら作用することが多いものと考えられる。

これらの要因の中でも、建物の構造耐力上の問題を生じやすいのが生物的要因である。生物的要因による劣化（長期耐力性能の低下）は、生物である腐朽菌やシロアリ等の生育条件に適合した環境条件下に材料や部材等が置かれた場合に生ずる。それらの生育に必要な条件は、栄養、酸素、水分、温度であり、至適条件は生物の種類によって異なる。これらの条件の中で木質構造の建物を対象とした場合、栄養は木材の構成成分であり、酸素は空気中のどこにでも存在するため、水分と温度が重要な条件となる。

この水分と温度について、腐朽菌とシロアリの生育条件をみると、水分については、空気中の水分（湿度）と木材中の水分（含水率）が考えられる。

一般には、湿度が高いほど生物の生育がよく、腐朽菌の場合は、木材の含水率が20%以下になると生育しなくなり、発育可能な最低湿度は85%で、最適湿度は95%前後といわれている<sup>69), 122)</sup>。しかし、木材の含水率は温度30℃、湿度96%の条件下で24%前後であり、空気中の水蒸気だけでは、腐朽菌が活発に活動するための木材含水率にはならないのが普通である。したがって、何等かの形で水分が木材に供給されない限り腐朽の進行は考えられない。そこで、前章の調査や既往の報告等を参考に木材に供給される水分についてみると、水仕舞や雨仕舞の不良によって侵入した水、結露水、使用水等が考えられる。さらに、これら水分の発生する原因についてみると、建物の設計、施工、住い方や維持管理に起因しているものがほとんどである。

一方、シロアリの場合は、湿った木材中あるいは自ら水分を運んで湿度を調節する種類もいることから、腐朽菌が生育できる水分が存在すれば生育は可能となる。

温度については、腐朽菌の場合、種類によって至適温度は異なるが、一般的な範囲としては、10℃以下、50℃以上になると生育を停止することが多く、70℃以上になると大部分の菌は死滅し、30℃前後が最適とされている<sup>121)~123)</sup>。

シロアリの場合も種類によって異なるが、ヤマトシロアリは6℃で活動を始め、12℃以上になると活発となり、35℃になると活動を停止し、最適温度は28℃であるといわれている<sup>122), 123)</sup>。また、イエシロアリは1月の平均気温が4℃以上、1月の最低平均気温が0℃以上で、一年の平均気温が14℃以上の地域に分布しており、これ以外の地域で

122),123)  
は生育できないといわれている。

したがって、シロアリの場合、建物の建設されている地域の気象条件（温度）と生息分布<sup>123)</sup>とがはっきりしている。

以上のように、生物（的）劣化を誘発する環境条件は、建物等の長期耐力性能に関する評価を行う際に設定されるべき環境条件とも関連し重要となる。しかし、生物（的）劣化を誘発すると予測される環境条件の設定やそれによる地域区分の設定に関しては、対象が生物であることからそれらの生育条件の把握が未だ十分になされておらず、実施されていないのが現状である。とくに、腐朽に関しては建物の建設地域や部位との関連でその可能性について検討された例はない。なお、シロアリについては、それらの生息地域と気象条件との関連が明らかであり、すでに区分がなされている。

そこで、本章では、腐朽をとりあげ、腐朽菌の生育条件と環境条件との関連を明らかにし、それをもとに腐朽が発生する可能性を予測するための地域区分について検討した。

## 第1節 腐朽に関するモデル試験

腐朽を誘発する要因として、腐朽菌の生育条件のなかでも、とくに水分（湿度）と温度が重要であることが考えられる。このような条件が建物内で発生する原因は、水分（湿度）に関しては、建物の設計、施工、住い方や維持管理に起因し、温度については建物の建設地域（第2章の結果から建物の各部位における温度は気象条件と関連があることから、ここでは建設地域の差を主に考える）によって異なるものと考えられる。

この両者を比較した場合、前者は個々の建物の固有条件に関係し、後者は個々の建物に共通な条件であることから、本節では温度と腐朽との関係について検討することにした。

そこで本節では、建物の建設地域と腐朽との関係を検討するための基礎資料を整える目的で、建物の中において腐朽が生じやすい床下環境下において、温度と腐朽量との関係を求めるためのモデル試験を実施し、それらの結果をもとに生育に必要な温度条件を求め、腐朽との関連を明らかにし、腐朽が発生する可能性を予測するための地域区分について検討した。

## 1-1 試験方法

試験は、建物内の実際の使用環境条件下に近い状態で腐朽のモデル実験を行うために、建築研究所構内（茨城県）に建設された図-3-1-1に示した枠組壁工法による実大の試験住宅の床下（中央）に、図-3-1-2に示した培養瓶を設置し、腐朽と温度との関係を調べた。

培養方法および重量減少量の測定等に関しては、木材の耐朽性試験方法（JIS Z 2119）<sup>124)</sup>に準拠した。

試験に用いた腐朽菌の種類は、褐色腐朽菌であるオオウズラタケの耐朽性試験用標準菌株（林試 0507）である。試験片の寸法や樹種および個数については、試験片の寸法が20×20×20mm（ベイツガ辺材）で、培養瓶中にこれらを5個ずつ入れた。

培養基は、石英砂 200g の培地に培養液（馬鈴薯煎汁液に2%のグルコースを加えたもの）60mlを加え、さらに砂表面にブナ木粉を加えたものである。

試験片の重量減少量は、培養瓶を設置後、8週間毎に培養瓶3本（試験片にして15本）を取り出し、試験片に付着した菌糸を除去した後、60±2℃で乾燥し試験片の恒量（ $W_1$ ）を求めた。なお、重量減少率の算出には次式を用いた。

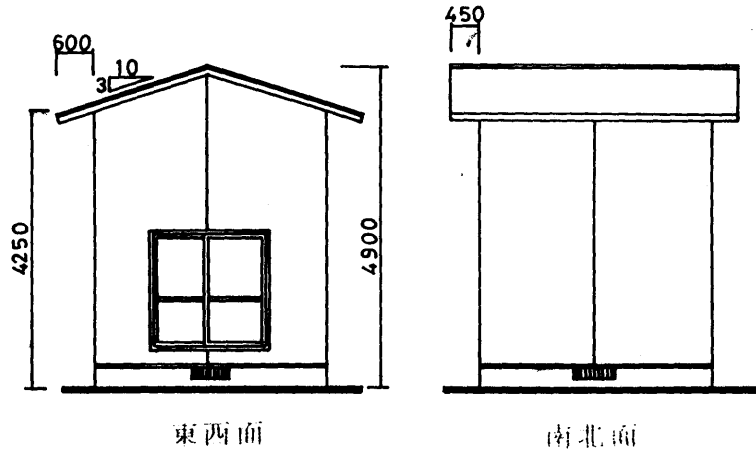
$$\text{重量減少率（\%）} = \{ (W_1 - W_0) / W_0 \} \times 100 \dots\dots\dots (3 \cdot 1 \cdot 1)$$

ここに、 $W_0$ ：試験前の重量（60±2℃で乾燥後）

$W_1$ ：試験後の重量（60±2℃で乾燥後）

一方、床下環境条件（温度・湿度）は、試験の期間中、自記温湿度記録計を用いて計測した。

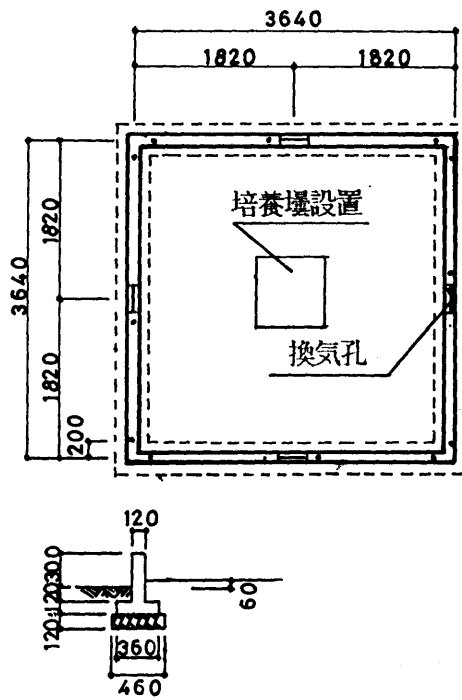
なお、試験の開始時期は、その時点における温度が腐朽に与える影響（高温期から開始した場合と低温期から開始した場合とでは腐朽量（速度）が異なるのではないかと考えられる）を考慮して、高温時期である9月から開始する場合（試験1）と低温時期である5月から開始する場合（試験2）の2条件に分けて実施した。



東西面

南北面

a) 試驗用住宅立面圖



b) 試驗用住宅床伏圖

圖-3-1-1 培養壇設置位置

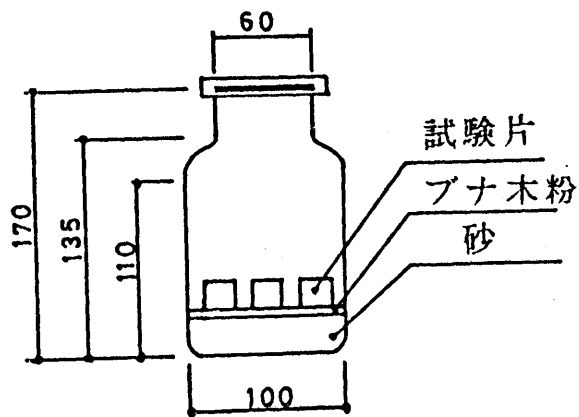


圖-3-1-2 培養基

## 1-2 試験結果および考察

培養瓶中の木片の重量減少率と経過日数との関係を図-3-1-3に示した。

これより、高温時期から開始した試験(1)では、低温期に向かうためその期間中の重量減少量は約10%と少なく、それ以降腐朽量が増加し、腐朽曲線はS字を描くような傾向が認められた。一方、低温期から開始した試験(2)では、腐朽量が直線的に増加する傾向が認められた。このように異なった傾向を示す理由として、床下環境における温度条件の違いが考えられる。

そこで、両試験期間中の温度条件を腐朽菌が生育するための最低条件である10℃から5℃間隔に、15℃、20℃として基準温度を設定し、試験期間中においてそれぞれの基準温度以上となる時間数の合計を測定期間毎に求めた。その結果を図-3-1-4に示した。

この結果より、各基準温度が出現する時間数の合計が多くなるにつれて、腐朽量が増加する傾向が認められた。

次に、腐朽量と各基準温度との関係を求めると、図-3-1-5~6に示したようになり、基準温度が高くなるにつれて、腐朽量(重量減少量)は増加する傾向が認められた。また、試験(1)の期間中における基準温度と腐朽量との関係は、試験(2)におけるそれと比較して、基準温度毎の差が明瞭である。このことは、試験の開始時期による差が現れたものと考えられる。すなわち、試験(1)では、低温期に向かうために腐朽菌が生育可能な温度条件(基準温度)の出現した時間数が少なく、そのため基準温度の効果が現れ、試験(2)では逆に多いために各基準温度の効果がさほどなく基準温度と腐朽量との関係が、明瞭に現れた場合とそうでない場合とに分れたものと考えられる。

このことは、試験の開始時期および腐朽菌が生育可能な温度条件の出現時間数が腐朽に大きな影響を与えることを示すものであると考えられる。

そこで、試験(1)および試験(2)の結果をまとめて、各基準温度と腐朽量との関係を求めると、図-3-1-7~9に示したような結果が得られた。

これらの結果より、基準温度の中でも15℃以上の温度が出現する時間数と腐朽量との相関が高いことが認められた。

一方、試験に供した腐朽菌(オオウズラタケ)の生育可能な温度範囲をみると、一般には、15℃~45℃と言われていることから、腐朽の可能性のある温度の下限値として、本試験から得られた基準温度15℃を採用してもよいものと考えられ、以後、この温度を基準として腐朽の可能性について検討することにした。



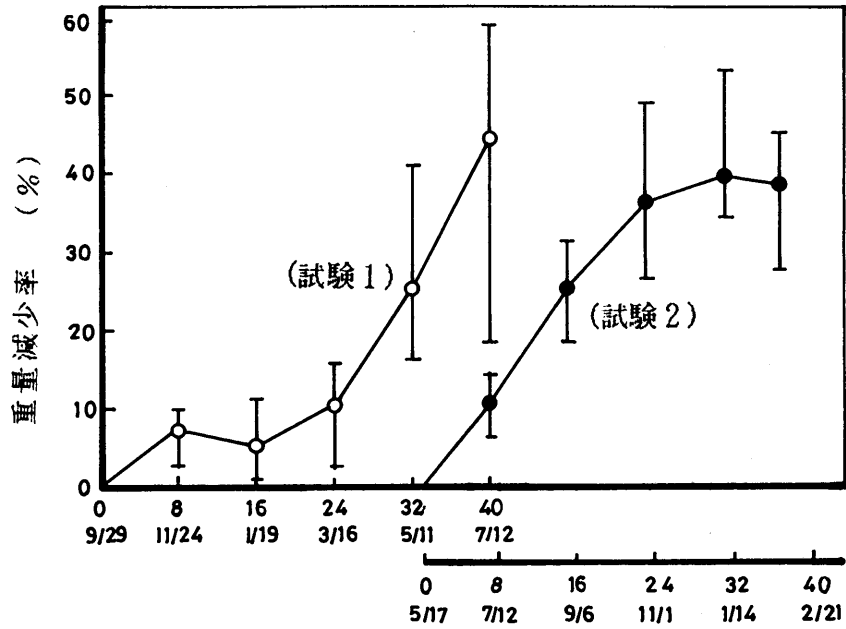


図-3-1-3 床下環境下における腐朽の進行状態

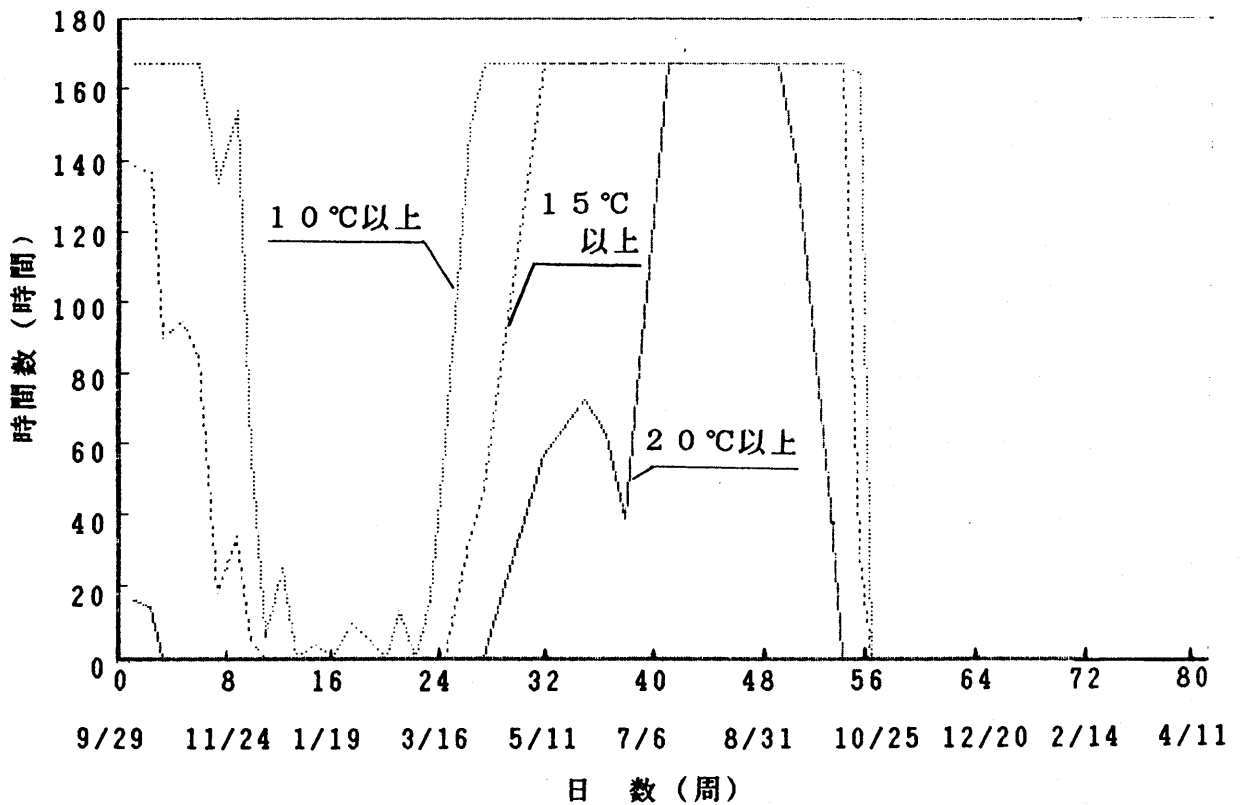


図-3-1-4 床下における基準温度以上の時間数

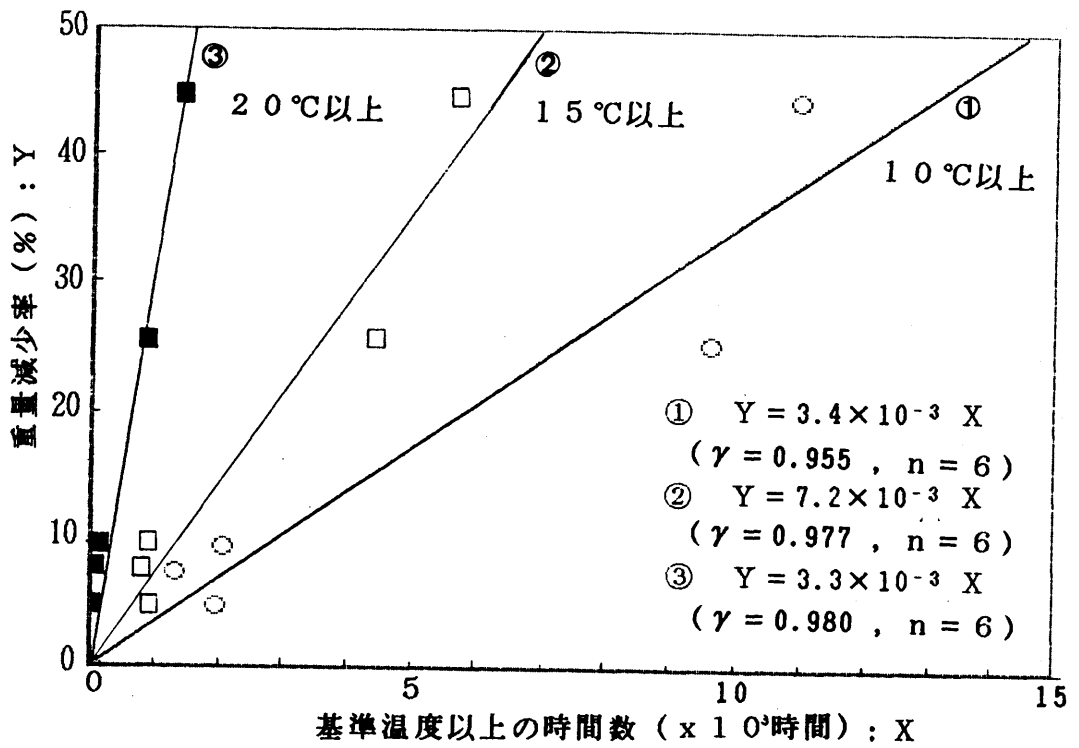


図-3-1-5 基準温度以上の時間数と重量減少率 (試験1)

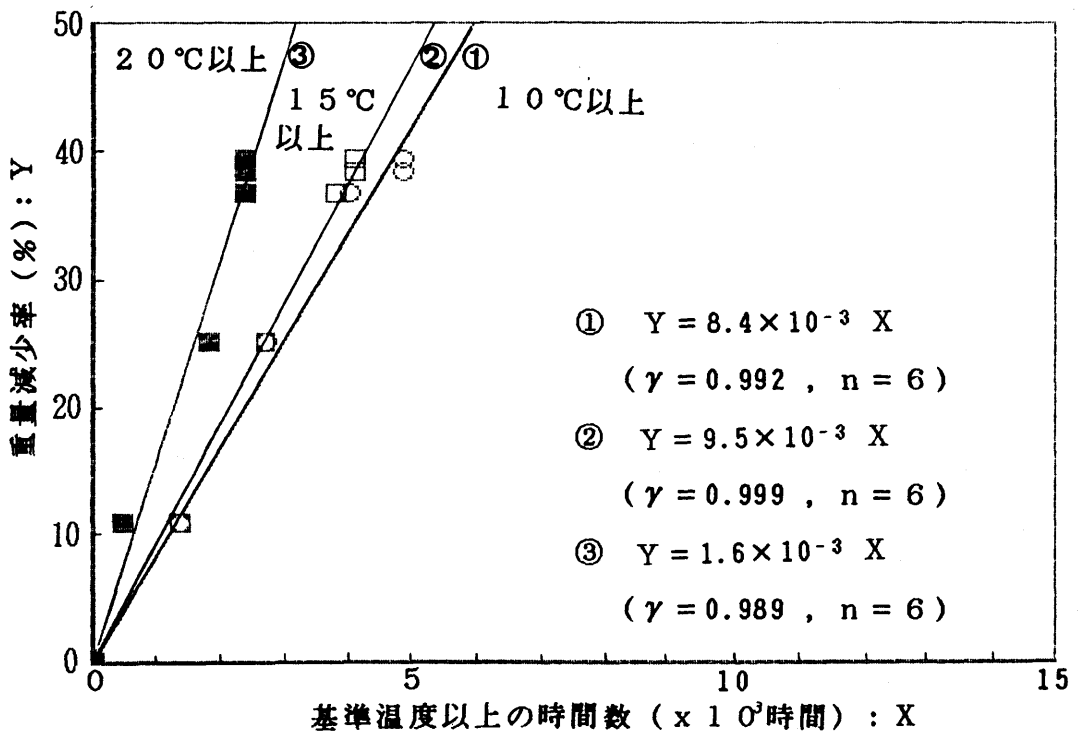
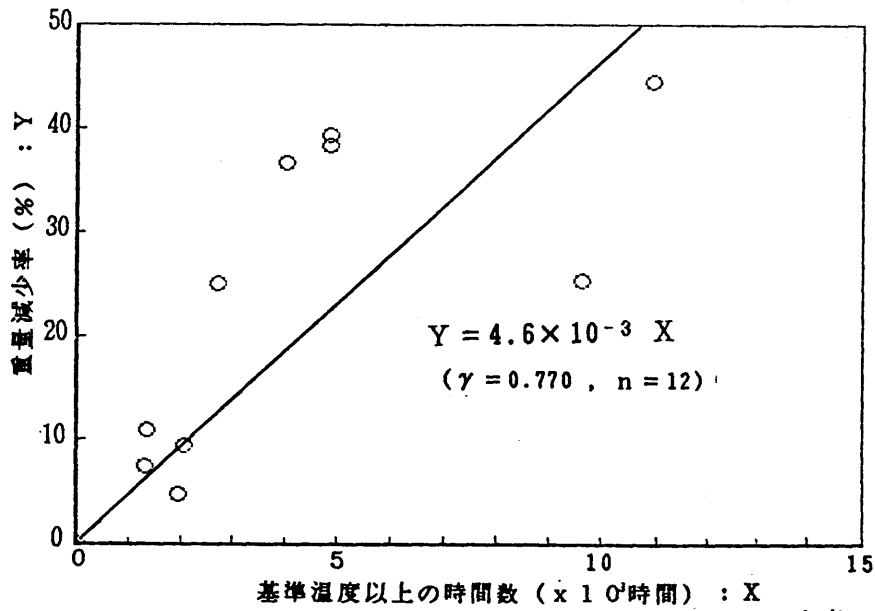
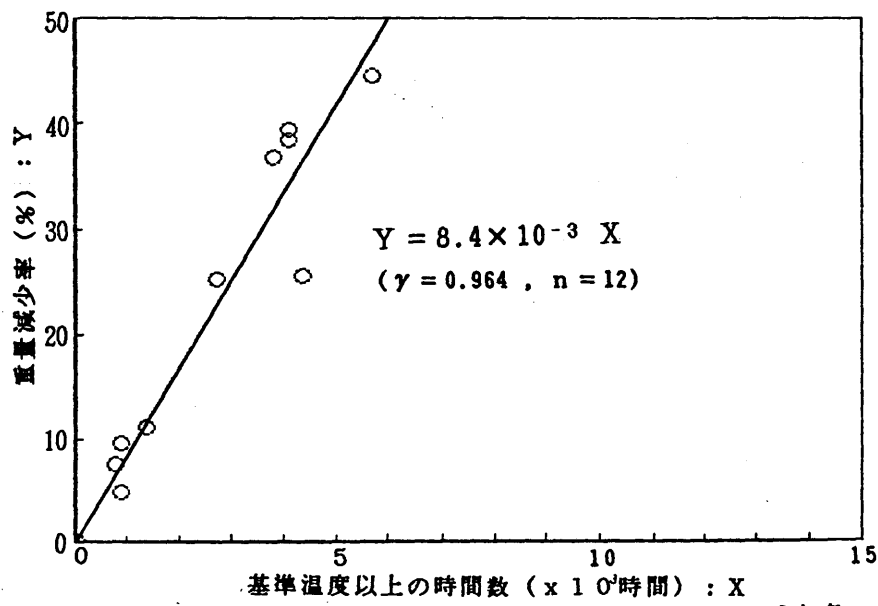


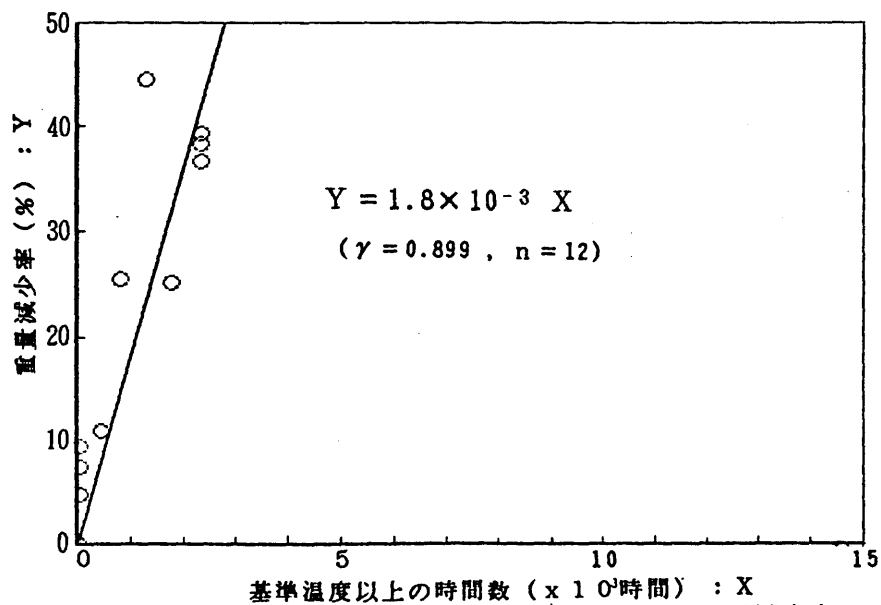
図-3-1-6 基準温度以上の時間数と重量減少率 (試験2)



☒ - 3 - 1 - 7 基準温度 (10°C) 以上の時間数と重量減少率



☒ - 3 - 1 - 8 基準温度 (15°C) 以上の時間数と重量減少率



☒ - 3 - 1 - 9 基準温度 (20°C) 以上の時間数と重量減少率

## 第2節 腐朽の可能性

木質構造による建築物の腐朽の可能性については、北米においては、腐朽と関連が強いといわれている温度と降雨頻度からクライメイトインデックス（気象指数）として、<sup>79),80)</sup>建物の建設地域毎の区分がなされ、防腐処理等の際の参考として実用に共されている。一方、我が国においては、シロアリに関する防蟻対策地域区分図と同一の区分を用いているのが現状である。<sup>123)</sup>

しかし、この区分では木質材料や部材、さらに木質構造の多様化を考慮すると、不合理（過剰な処理等を行う結果となる）にならざるをえない。

そこで、本節においては第1節で求めた温度と腐朽量との関係から、我が国における木質構造による建物の建設地域別の腐朽の可能性について検討した。

### 2-1 地域区分

前節におけるモデル試験の結果から、環境条件である温度が15℃以上になる時間数の合計と腐朽との関係が最も相関が高いことが認められ、腐朽の可能性のある温度として15℃を提案した。ここでは、その温度を基準として地域区分を検討する。

なお、地域区分に際しては、重量減少率と耐朽性の区分（例えば、耐朽性大、中、小）との関係が明らかになっていなければならないが、我が国にはその判定基準がないため、<sup>125)</sup>ASTM D 2017-81 に示されている判定基準を用いることにした。

ASTMの判定基準は、表-3-2-1に示したように区分Ⅰは耐朽性が高い、区分Ⅱは耐朽性がある。区分Ⅲは耐朽性が中程度。区分Ⅳはわずかな耐朽性あるいは耐朽性が低いという区分になっている。この考え方を地域区分にあてはめると、区分Ⅰは腐朽の可能性がない。区分Ⅱは腐朽の可能性が少ない。区分Ⅲは腐朽の可能性はある。区分Ⅳは腐朽地域となる。

そこで、前節の図-3-1-8に示した15℃以上になる時間数の合計と重量減少率との関係に、表-3-2-1に示した重量減少率を代入し、整理すると表-3-2-1に示したような時間数が求められる。

次に、気象庁から借用した気象観測データ（アメダス：1976～1982年）を用い、アメダスの観測地点毎に表-3-2-1に示したように気温が15℃以上になる年間の時間数の合計で地域区分を行い、図-3-2-1に示した区分図を得た。

表-3-2-1 腐朽区分と15℃以上になる時間数





区分	重量減少率 (%)	15℃以上の時間数	耐朽性区分
I 	0~10	0~1200	耐朽性が高い (腐朽の可能性がない)
II 	11~24	1201~2850	耐朽性がある (腐朽の可能性が少ない)
III 	25~44	2851~5250	耐朽性が中程度 (腐朽の可能性はある)
IV 	45以上	5251~	耐朽性が低い (腐朽地域)



図-3-2-1 15℃以上の時間数と腐朽区分

この図より、北海道、東北の一部や中部の山岳地帯を除いてほとんどの地域が、腐朽の可能性のある地域（区分Ⅲ）となり、とくに南西諸島や鹿児島、四国の太平洋沿岸では腐朽地域（区分Ⅳ）となった。

この区分図から、地域毎の腐朽の可能性については、ほぼ推定がつくものと考えられるが、さらに詳細な区分についてみると図-3-2-2に示したようになる。

この図では、気温が15℃以上になる年間の時間数の合計を1000時間毎に区分し、重量減少率との関係を示したものである。

このような結果を用いることにより、建物が建設されるあるいは建設された地域の腐朽の可能性を判定することが可能となり、建物の長期耐力性能を評価する際の判定基準になるものと考えられる。

## 2-2 クライメイトインデックス（気象指数）との比較

腐朽の可能性に関する研究は、北米においてはクライメイトインデックス（気象指数）として実用に供されているが、これは月平均気温（ $T_i$ ）と1ヶ月の間で降水量が0.25mm以上の日数（ $D_i$ ）をもとに、次式から算出されるものである。

$$\text{気象指数 (C I)} = \frac{\sum_{i=1}^{12} [(T_i - 2) (D_i - 3)]}{16.7} \dots\dots\dots (3 \cdot 2 \cdot 1)$$

上式を用いて我が国における気象指数を算出し、区分図を作成すると図-3-2-3に示した区分図が得られる。なお、算出に当っては、我が国の気象観測データ（アメダス）では、降水量が0.25mm以上の日数が観測されていないため、降水量については1mm以上の日数を用いた。

気象指数と腐朽との評価基準であるが、アメリカではC Iが35以下（区分Ⅰ）の地域は腐朽の可能性が少ない。C Iが35～65以下（区分Ⅱ）の地域では、腐朽の可能性はある。C Iが65以上（区分Ⅲ、Ⅳ）は、腐朽地域としている。

ここで、本研究から求めた区分図（図-3-2-1）と比較すると、C Iによる区分ⅡとⅢを合わせれば、本研究から得られた結果とほぼ同様の結果が得られる。したがって、腐朽の可能性に関する地域区分図として、本研究から得られた区分は、我が国における木質構造による建物の腐朽の発生の可能性を予想する上で、有効であると考えられる。

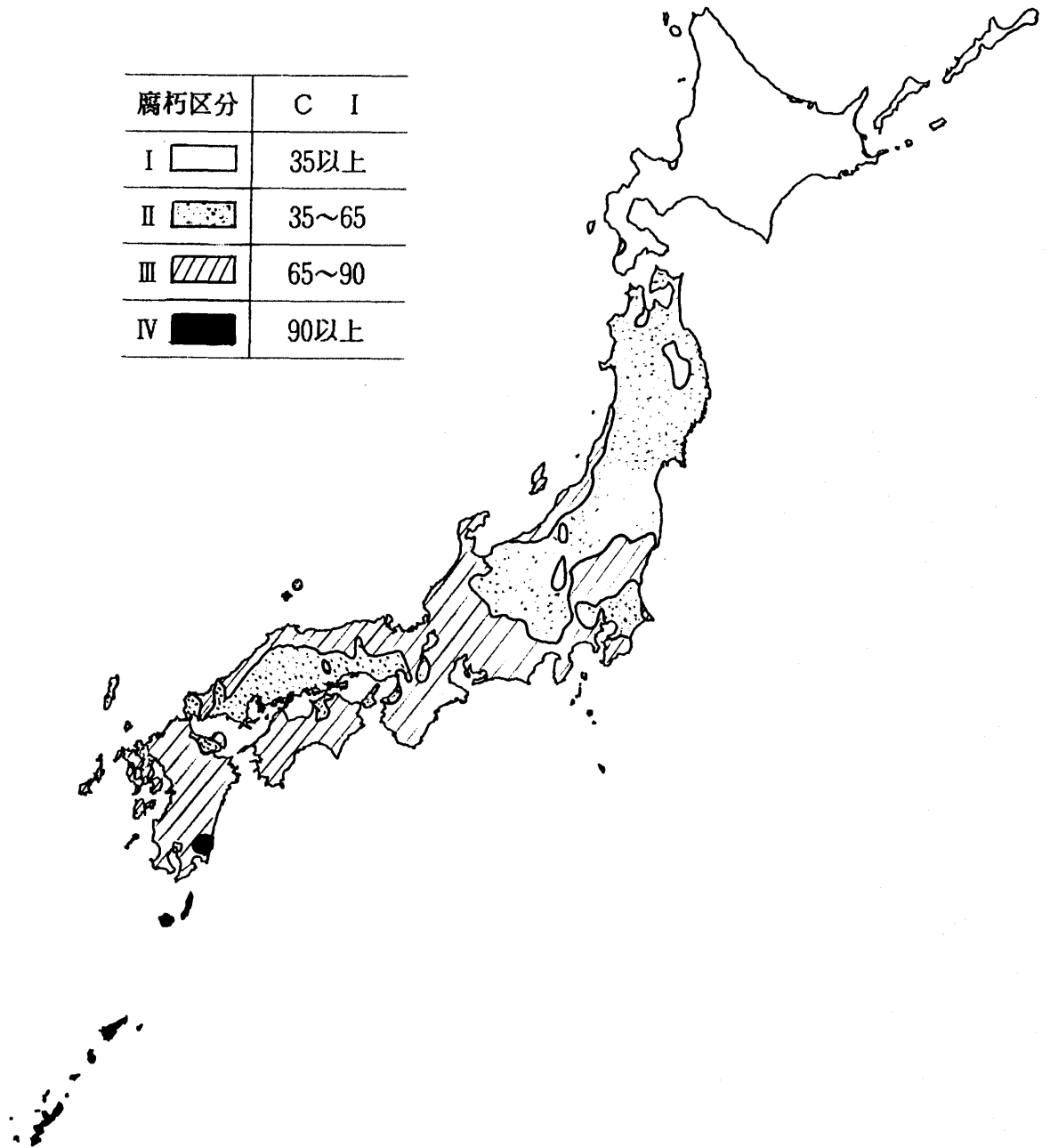









図-3-2-2 クライメイトインデックスによる区分

区分	重量減少率 (%)	15℃以上の時間数
I 	0~17	0~1999
II 	17~25	2000~2999
III 	25~34	3000~3999
IV 	34~42	4000~4999
V 	42~50	5000~5999
VI 	50~59	6000~6999
VII 	59~67	7000~7999

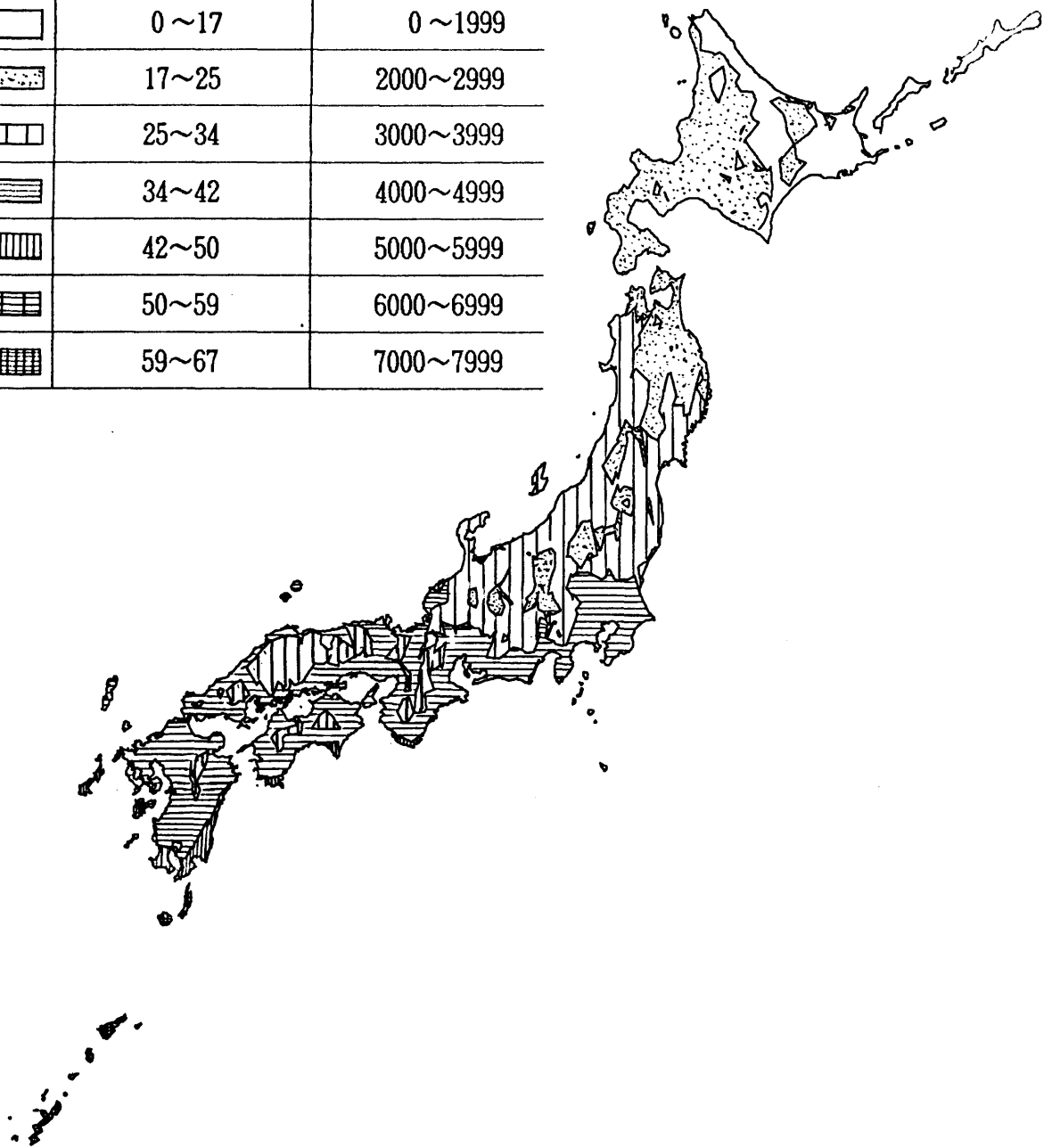


図 - 3 - 2 - 3 15℃以上の時間数の区分 (1000時間毎)



### 第3節 本章のまとめ

木質構造の長期耐力性能に関する要因の中でも、建物の構造耐力上の問題を生じやすいのが生物(的)劣化である腐朽や蟻害である。それらは生物が繁殖することによって生じるため、生育に必要な条件が整う必要がある。その生育条件の中でも、建物の環境条件と関連する水分や温度が重要となる。この両者を比較した場合、前者は個々の建物の固有条件に関係し、後者は個々の建物に共通な条件である。

しかし、生物(的)劣化を誘発すると予測される環境条件の設定やそれによる地域区分の設定に関しては、対象が生物であることからそれらの生育条件の把握が未だ十分になされておらず、実施されていないのが現状である。とくに、腐朽に関しては建物の建設地域や部位との関連でその可能性について検討された例はない。一方、シロアリについては、それらの生息地域と気象条件との関連が明らかであり、すでに区分がなされている。

そこで、本章では、腐朽をとりあげ、腐朽菌の生育条件と環境条件との関連をモデル試験によって明らかにし、その結果をもとに腐朽の可能性に関する地域区分について検討した。本章で得られた結果を要約すると次のようになる。

腐朽に関するモデル試験の結果、建物内の環境における温度が15℃以上になる時間数の合計と腐朽量との間には高い相関があり、また試験の開始時期(高温期、低温期)によっても腐朽の傾向に差のあることが明らかとなった。

一方、木材の含水率と生育との関係においては、含水率が20%以上の場合に腐朽菌が活動し始めると言われている。このことと本試験の結果とから、木質構造の長期耐力性能評価の中で、腐朽の可能性を評価する際には、建物の各部位における温度条件および構成材料の含水率が各々15℃、20%以上になるときあるいは建物の各部位における環境条件(温度、湿度)が、前述した条件をつくり得る場合には、その部位等において腐朽が発生する危険性があると判定することになる。

さらに、温度が15℃以上になる年間の時間数の合計と腐朽量との関係を用いて作成した我が国における腐朽の可能性に関する地域区分図と、北米で実施されている気象指数(クライメイトインデックス)の考え方を用いて求めた区分図とは、その分布傾向においてさほど差がなく、本研究で検討した地域区分図が、我が国における木質構造の腐朽に関する地域別可能性を予測する上で有効であることが考えられる。

#### 第4章 木質構造における壁部材の結露性状について

木質構造における壁部材の長期耐力性能をみた場合、構造耐力の低下が重要となるが、それを生ずる原因として、壁部材の構成材料である木材や木質材料の生物(的)劣化や釘接合部の耐力低下が考えられる。またこのような劣化や耐力低下を生ずる要因には、建物の外部からの湿気(水蒸気・水分)と内部からの湿気の影響が考えられる。このことは前章における部材の含水率調査の結果からも明らかである。まず、外部からの湿気についてみると、外装材の亀裂からの雨水の侵入等があげられる。一方、建物内部からの湿気については、断熱工法の採用によって発生が危惧されている壁体内での結露の問題があげられる。さらに、建物の構法からみても、従来は、真壁造であったものが大壁造へ移行しつつあり、大壁造の場合には一度雨水等が侵入すれば、建物の気密性が向上しているために、水分等は建物外に排出しにくく構造躯体内に滞留することが考えられ、前述した湿気が発生等に関与していることが考えられる。

これらの要因の中でも雨水の侵入に対しては、適正な雨仕舞を施すことで対処できるであろうが、壁体内の結露に関しては、壁体の構法(材料構成、気密性、施工性)や暖房器具等の変化(室内の湿気を多発させる場合がある)による住い方の差異など個々の建物固有の条件が考えられ、それらが複雑にからみあっている。さらに、個々の建物固有の条件の他に、建物が建設されている地域の気象条件とも関連する。

壁体内の結露に関しては、計算でも確認し得ることになっているが、現状において結露問題が顕在化していることをみると、必ずしもそうとは言えない面もある。また、既往の研究においても、壁体の材料構成とくに室内からの水蒸気を遮断する防湿層と外部へ水蒸気を排出するための外装下張り材や外装仕上げ材料などの透湿性や壁体の通気性、さらに施工性等については、未だ明らかになっていない点が多い。

したがって、本章では、壁部材の長期耐力性能評価における検討項目の一つである構造耐力の低下に影響を及ぼす要因として、結露(水)を取り上げることにした。

そこで、現状で考え得る一般的な壁体について、モデル環境条件下での、壁体内の結露試験を実施し、壁体の構成材料や工法の違いによって、結露性状がどのように異なるかを明らかにし、壁部材の長期耐力性能を評価する際に考慮されるべき結露と壁体の仕様との関連について検討した。

## 第1節 中空パネルにおける防湿および下張材の吸湿について

壁体内の結露を防止するためには、室内からの水蒸気を壁内に透湿させないための防湿層の施工および壁内に流入した水蒸気を外部へ排出あるいは吸湿するために外装下張材や仕上材料の透湿性や吸湿性が重要となる。

そこで、本節では、壁体内の結露発生に影響を及ぼす防湿層の効果および外装下張材の吸湿性について、中空パネルを用いて実験的に検討した。

### 1-1 試験方法

試験体は、呼称 204材の乾燥材を枠組材とし、これに外装下張材としてシーリングインシュレーションファイバーボード（以下シーリングボードと略す）と構造用合板、内装下張材として石膏ボードおよびアクリル板を張った表-4-1-1に示したような中空パネル（横320mm×縦420mm×厚89mm）である。

これらのパネルを、それぞれ図-4-1-1に示したように、恒温恒湿室内に設置した恒温恒湿機の開口部分に取り付け、恒温恒湿機側を屋外側、恒温恒湿室を室内側として結露試験を実施した。

試験環境は、室内外ともに20℃、70%RHの平衡状態から開始し、屋外側を10℃→5℃→0℃→-10℃と各々の段階で、中空パネル内の温湿度状態が平衡になるまで温度条件を一定に保った。その際、図-4-1-1に示したように各部位の温湿度分布および結露の発生状況を計測した。

温度の検出には、銅-コンスタントタン（c-c）熱電対を用い、温湿度の計測には、温湿度センサー（エース科学研究所製）を使用し、デジタル記録計にて自記記録させた。

表-4-1-1 試験体の構成

構成略図	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
構成材料（厚さmm）	石膏ボード ⑫ + シーリングボード ⑬	石膏ボード ⑫ + 防湿層 (0.1) ⑭ + シーリングボード ⑬	石膏ボード ⑫ + 防湿層 (0.1) ⑭ + シーリングボード ⑬ + アルミ箔全面	アクリル板 ③ + 合板 ⑨ + アルミ箔全面	アクリル板 ③ + 合板 ⑨ + アルミ箔片面

## 1-2 試験結果および考察

### (1) 防湿層の効果および下張材の吸湿

図-4-1-2に、下張材がシーリングボードの場合の屋外温度10°Cにおける各計測点の相対湿度の変化を示した。

試験体(a)と(b)を比較すると、壁体内部への水分の供給を阻止する働きのある防湿層(ポリエチレンフィルム 厚さ0.1mm)を施したものは、無いものに比べ平衡時における壁体内中空部の相対湿度は低い傾向を示した。試験体(b)と(c)を比較すると、(b)は温度が低下するにつれて、壁体内中空部の相対湿度も低下する傾向を示した。(c)では壁体内中空部の相対湿度は増加し、10時間以降はほぼ一定の値を示した。

このことは、シーリングボードと枠組材の吸湿性に関係し、(b)ではシーリングボードおよび枠組材の吸湿によって相対湿度が低下する傾向を示し、(c)ではシーリングボード全面がアルミ箔でおおわれているためボードによる吸湿が阻止され、屋外温度が低下するにつれ壁体内の相対湿度が高くなったものと考えられる。

### (2) 室内側からの湿気の流入

室内側からの湿気の流入を調べるために、外装下張材が合板で、内装にアクリル板を張り、その表面に穴( $\phi = 3\text{mm}$ )をあけた場合とそうでない場合、またアクリル板を試験途中で瞬時取り除いた場合について検討した。

図-4-1-3(1)(2)(3)にそれらの結果として壁体内の相対湿度の変化を示した。

図-4-1-3(1)は、合板および枠組材をアルミ箔でおおい吸湿をなくしたうえで、アクリル板に穴をあけた例である。

図-4-1-3(2)は、合板の壁体内中空側表面を残し、枠組材および合板の屋外側表面をアルミ箔でおおい、アクリル板に穴をあけた場合である。

これらの結果から、合板をアルミ箔でおおい吸湿をなくした場合、合板による吸湿がないため、壁体内の相対湿度は高い値を示した。また、試験途中でアクリル板に2ヶ所穴をあけても、相対湿度が上昇しないことが認められた。このことは、壁の構法が大壁造の場合は気密性が高くなっているとされているが、外装下張材と枠組材との接合面の僅かな間隙からでも水蒸気が流出することを示すものと考えられる。

一方、合板の壁内側表面を残し他をすべてアルミ箔でおおった場合は、合板の吸

湿性と接合面からの水蒸気の流出によって、壁内の相対湿度は(1)の場合と比べさほど高くないことが認められた。しかし、アクリル板を瞬時取り除き、屋内側の湿気を壁体内に流入させ、ふたたびアクリル板を取り付けた試験体(e)の場合は、図-4-1-3(3)に示したように流入した水蒸気の量が合板の吸湿性能を越えまた合板が吸湿した水蒸気が合板の屋外側表面に貼られたアルミ箔によって壁体外に放出できないために壁内の相対湿度は低下しないことが認められた。

以上のようなことから、壁内結露を誘発する壁内の湿度の上昇を防ぐためには、防湿層を設けること、また外装下張材料には吸湿性の高い材料を用い、さらに外装仕上げには透湿性の高い材料を用いることが重要であることが明らかとなった。

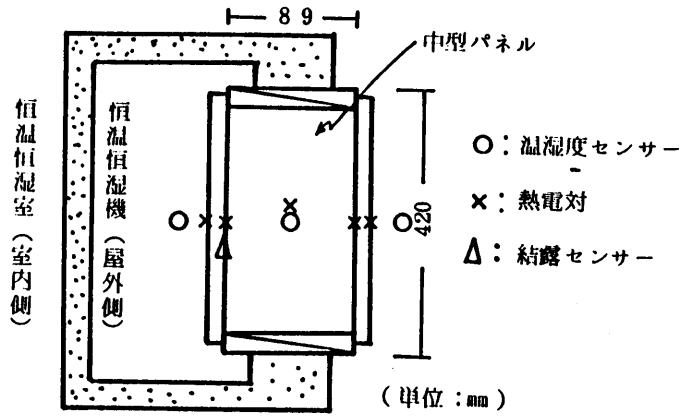


図-4-1-1 試験装置

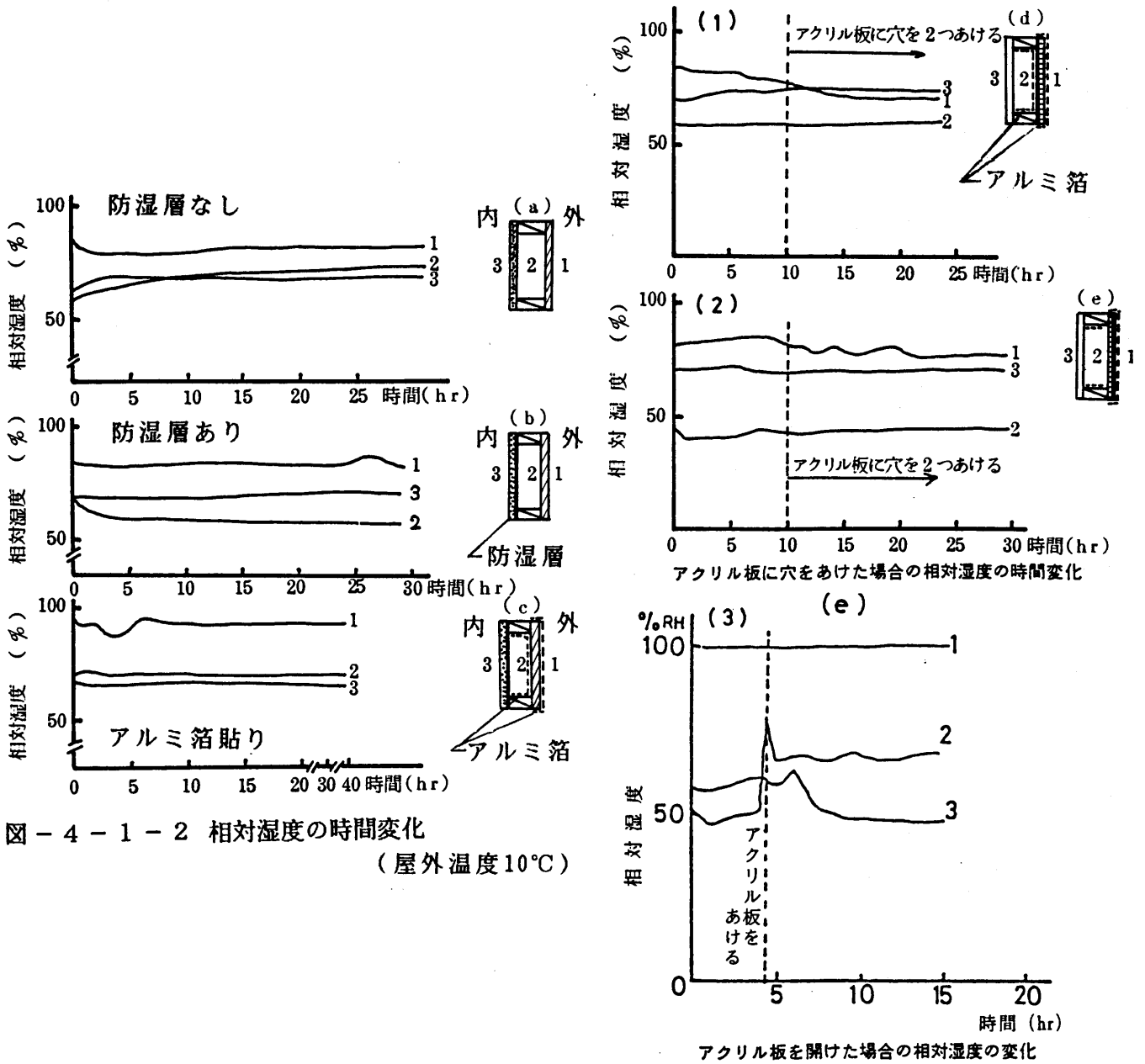


図-4-1-2 相対湿度の時間変化  
(屋外温度10°C)

図-4-1-3 相対湿度の時間変化

## 第2節 壁体の材料構成の違いによる結露性状について

壁内結露に影響を及ぼす要因に関しては、壁体の材料構成とくに室内からの水蒸気を遮断する防湿層と外部へ水蒸気を排出するための外装下張り材や外装仕上げ材料などの透湿性や壁体の通気性、さらに施工性等が重要となる。

本節では、外装下張り材や外装仕上げ材料、防湿層など壁体構成材料の組合せの違いや断熱材の施工性の違いが、壁内の結露発生にどのような影響を及ぼすかを明らかにし、壁部材の長期耐力性能を評価する際に考慮されるべき結露と壁体の仕様について検討した。

### 2-1 試験方法

試験体は、枠組壁工法による外壁を想定したものである。なお、枠組壁工法による壁部材を対象とした理由は、構法的に大壁造であり、在来軸組構法による壁部材と比べ気密性が高く結露が発生した場合、壁部材の耐力低下に与える影響が大きいと判断したためである。

枠組材は、枠組壁工法用製材の呼称 204の乾燥材で、枠組は図-4-2-1(a)に示したように 910mmモジュールを基本とした標準試験体(I、II)と比較対照用(III)の試験体の2種類である。

標準試験体は、縦枠材の心々距離 455mmで、下枠材から1820 mmの位置に下張材の受材を兼ねたファイヤーストップを設けた。比較対照用試験体は、巾狭(心々距離 388mm)ではあるが中央部に受け材を設け、上、下が各々別の仕様になるようにした。試験体の内装下張材は、枠組壁工法ではもっとも一般的な材料である石膏ボード(厚さ12mm)を使用した。

外装下張材は、一般的な材料である構造用合板(厚さ9 mm)とシーリングインシュレーションファイバーボード(以下シーリングボードと略す:厚さ12mm)を用いた。なおシーリングボードは、製造法等で若干異なるため、2種類(i、ii)を採用した。

シーリングボード(i)は、片側表面にアスファルトによる被覆があり、シーリングボード(ii)は、全面にアスファルトを含浸させたボードである。下張材の釘打仕様については、住宅金融公庫枠組壁工法住宅工事共通仕様書<sup>126)</sup>に準拠した。

外装仕上げは、ラスモルタル塗り・リシン吹付け、合板表面にスタッコ仕上げ、乾式

工法（サイディング張り）および未仕上げのものである。

断熱材は、グラスウール（厚さ50mm）断熱材で片面アルミ蒸着フィルム（表面に水蒸気を透湿する穴があげられていない）、片面クラフト紙となったものを用いた。

試験体の壁体構成を表-4-2-1、2および図-4-2-2に示した。

試験は、図-4-2-3に示したように、試験体を独立した温湿度調節機を有する2つのチャンバーの境界面に設置し、各試験体相互で2つのチャンバーの環境条件を分断した。その際に目地部分は、油粘土で密封した。そして一方を室内側に、他方を室外側とした。

試験環境は、室内側のチャンバーを温度20℃、湿度70%RH一定とし、屋外側のチャンバーを温度20℃、湿度70%RHから順次、10℃、75%RH→5℃、85%RH→0℃→-10℃→20℃、70%RHとそれぞれの段階毎に、一昼夜の間同一環境条件を継続した。なお一昼夜継続した理由は、壁体内中空部の温湿度状態を平衡にするためである。

本試験で計測した項目は次の通りである。

#### （1）壁体各部位の温度分布

温度の検出は、銅-コンスタタン（c-c）熱電対で行い打点記録計およびデジタル記録計にて自記記録させた。熱電対による計測点は、図-4-2-1(a)(b)(b)に示したように各構成材料の表面温度を検出するように貼付した。

#### （2）壁体内中空部の温湿度分布

壁体内中空部における温湿度の変化は、温湿度センサー（エース科学研究所製）を壁体内に挿入し自記記録させた。計測点は、図-4-2-1(a)に示すように標準試験体で各々3点ずつである。

#### （3）外装下張材の中空側表面の膨張・収縮

木材は、吸湿、脱湿によってその含水率が増加し、一般に含水率の変動によって膨張・収縮が生じるが、その範囲は、繊維飽和点以上（結合水領域）では、ほぼ直線的な関係を示しており、繊維飽和点（自由水領域）では、膨張・収縮は基本的には生じない。外装下張材の構造用合板およびシーリングボードも木質材料であり、基本的な性質には変わらない。ただし、合板は単板が交互に積層されているため、膨張・収縮に拘束があり、シーリングボードは解繊された繊維の絡み合いや接着によるきわめて多孔質のマット状ボードであるため、変動量については木材とは異なるものと考えられる。また、外装下張材の表面に生じた結露水の状態が、定性的には表面に生じた結露水が自由水の形であるとすれば、下張材である木質部材の吸水もしくは吸着によって部材内部に侵入する。一般に、吸着は結合水の形で行なわれ



るため膨張を伴い、下張材の表面には伸びが観測される。この伸びと吸着とは、周囲の湿度条件に平衡するまで、あるいは繊維飽和点までつづくと考えられる。したがって、下張材の含水率は伸びを計測することによって間接的に観測することができ、完全に伸びが停止した段階では、マクロな空隙部分にも水分が存在する完全な自由水領域であることが考えられる。このような傾向は、水分の移動が早い場合、例えば下張材の厚さが薄い場合、あるいは多孔質のときは明確に現れるであろうが、通常下張材はある厚さを有し、拡散等が比較的遅いときには、厚さ方向に水分傾斜を生じ、反り等の曲げ応力が観察されることが考えられる。

これらの点については、詳細な検討が必要であろうが、本試験では膨張・収縮による下張材表面の伸びを歪ゲージ（ベース和紙、ゲージ長：10mm）を用いて計測し、下張材の反りの傾向を求めた。なお本試験の場合は、温度の変化がかなり大きいので歪ゲージによる測定については、温度補償が不可欠であり、下張材表面に貼付した状態での温度補償やジュール熱の補償等のためにダミーゲージを用意した。

一方、木材の膨張・収縮量は、接線方向が繊維方向に比較して大きい。このようなことから、アクティブゲージとして接線方向の伸びを、ダミーゲージとして繊維方向の伸びを計測した。またシーリングボードの場合は、繊維に方向性がないため、ダミーとして合板小片の繊維方向にゲージを貼付したものを、アクティブゲージの近傍に貼付した。このように2ゲージ法によって検出された出力は、歪測定器によって自記記録させた。計測点は、図-4-2-1(a)に示した。

#### (4) 外装下張材の中空側表面の結露

結露の検出には、図-4-2-4に示したような歪ゲージ（ベース：和紙、ゲージ長：10mm）を切断した結露センサーを考案し用いた。

このような結露センサーを用いた理由は、ペーパーゲージはベースが和紙であるため吸湿、吸水状態が他のゲージに比べ木質材料に近く、また結露水の木質材料への移動が可能と考えたからである。

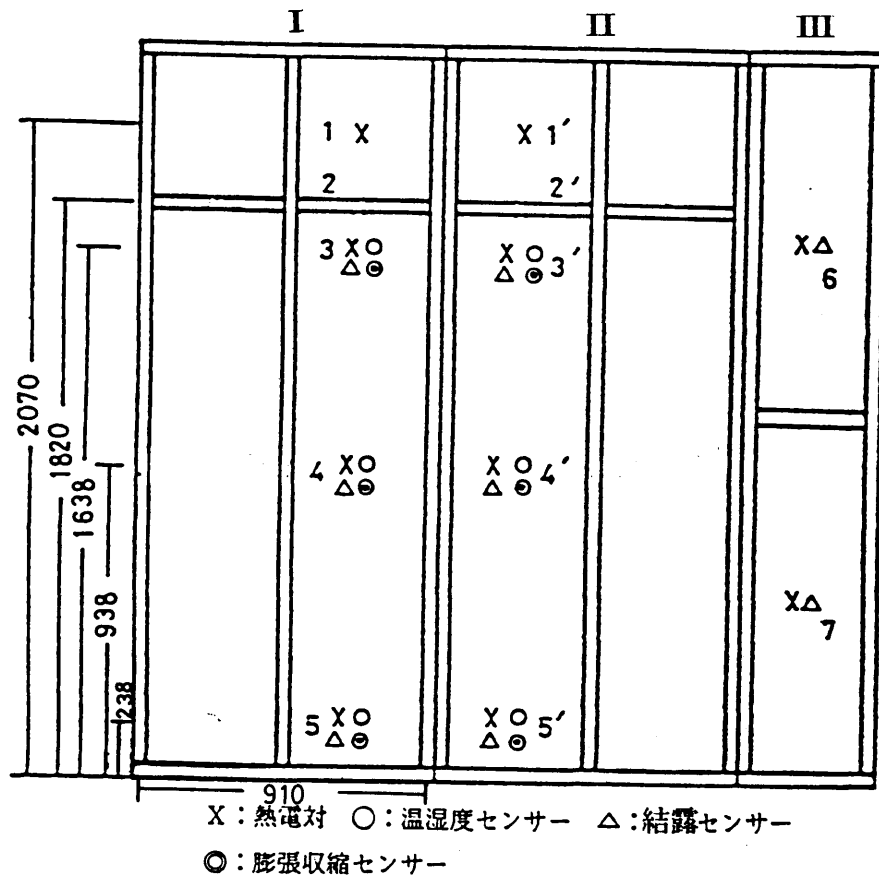
結露センサーの検出機構は、ゲージの抵抗線の一部が切断されたものを、ブリッジ回路が成立しているアクティブゲージと並列に取り付け、バランスさせておき、結露水によって切断されたゲージが通電するとその差異が歪として検出されるようになっている。しかし、吸放湿物質等の表面に生じた結露水は、吸水や吸着および拡散をするため、その歪量は変動することが予想される。したがって、どの数値の時点で結露が発生したか限界値を定める必要がある。そこで、計測データの変動や試験途中における壁体内観測等を行い、総合的に結露発生の時点を判断することに

した。

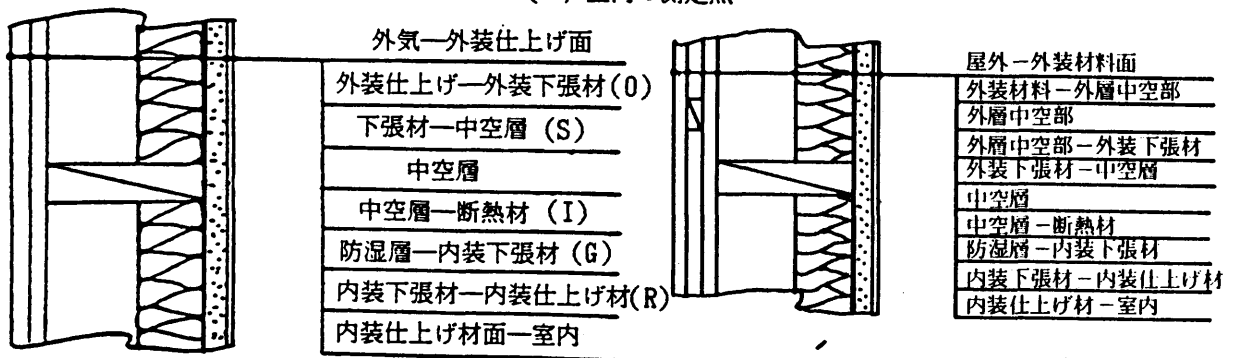
計測点は、図-4-2-1(a)に示した箇所である。

(5) 目視等による壁内の観察

前述した計測の他に試験の途中で、室内側の石膏ボードを一部切断し、目視による壁内観察を行った。なお切断した部分は、標準試験体では熱電対、各種センサー類の挿入されていない部分とした。壁内の観察は、屋外温度0℃および-10℃の時点で実施した。



(a) 壁内の測定点



(b) 壁内縦断面の温度測定点

(湿式工法)

b) 壁内縦断面の温度計測点

(乾式工法)

図-4-2-1 実大試験体および温湿度測定箇所

表-4-2-1 試験体

構成略図	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h) 胴縁	
構成材料 (厚さ: mm)	石膏ボード 04 + 合板(9)シーリング 02	石膏ボード 04 + 断熱材 60 + 合板(9)シーリング 02	石膏ボード 04 + 断熱材(0.1) + 防湿層(0.1) + 石膏ボード 02 + 合板(9)シーリング 02	石膏ボード 04 + 合板(9)シーリング 02 + ラスモルタルリシン吹付け 02	石膏ボード 04 + 断熱材 60 + 防湿層(0.1) + 石膏ボード 02 + 合板(9)シーリング 02	石膏ボード 04 + 断熱材 60 + 合板(9)シーリング 02 + ラスモルタルリシン吹付け 02	石膏ボード 04 + 断熱材(0.1) + 防湿層(0.1) + 石膏ボード 02 + 合板(9)シーリング 02 + スタフコ仕上げ(6)	石膏ボード 04 + 断熱材(0.1) + 防湿層(0.1) + 石膏ボード 02 + 合板(9)シーリング 02 + スタフコ仕上げ(6)	乾式サイディング + 合板(9)シーリング 04 + 断熱材 60 + 防湿層(0.1) + 石膏ボード 04

表-4-2-2 試験体の構成

(単位: mm)

内装仕上げ	内装材	断熱材	下張材	胴縁	仕上材	
ビニルクロス	セッコウボード (厚さ 12mm) + 防湿層 (ポリエチレンシート 0.1mm)	グラスウール 厚さ 50mm	構造用合板 厚さ 9 mm	縦胴縁	窯業系防火サイディング (スクリュー釘 38mm) @300, @200 鉄板系サイディング	
				横胴縁	窯業系防火サイディング 鉄板系サイディング ウッドシェイク	
				通気胴縁	窯業系防火サイディング 鉄板系サイディング	
			シーリング 厚さ 12 mm	SN 40 釘 周囲 @100 中央 @200	縦胴縁	窯業系防火サイディング 鉄板系サイディング
					横胴縁	窯業系防火サイディング 鉄板系サイディング ウッドシェイク
					通気胴縁	窯業系防火サイディング 鉄板系サイディング

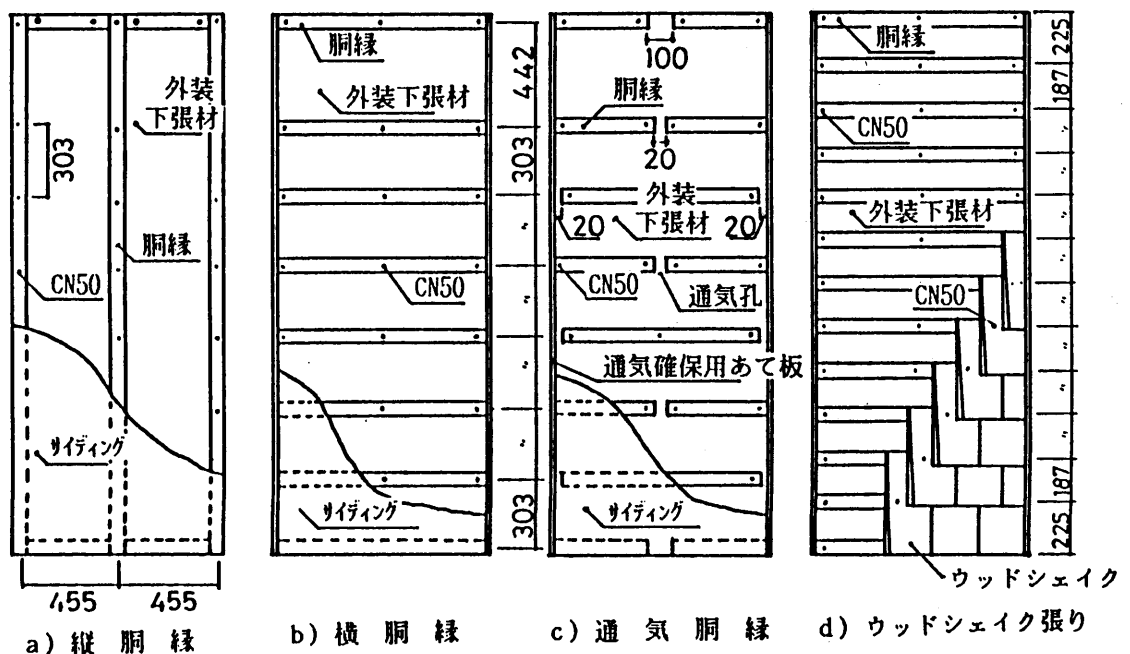


図-4-2-2 胴縁の種類

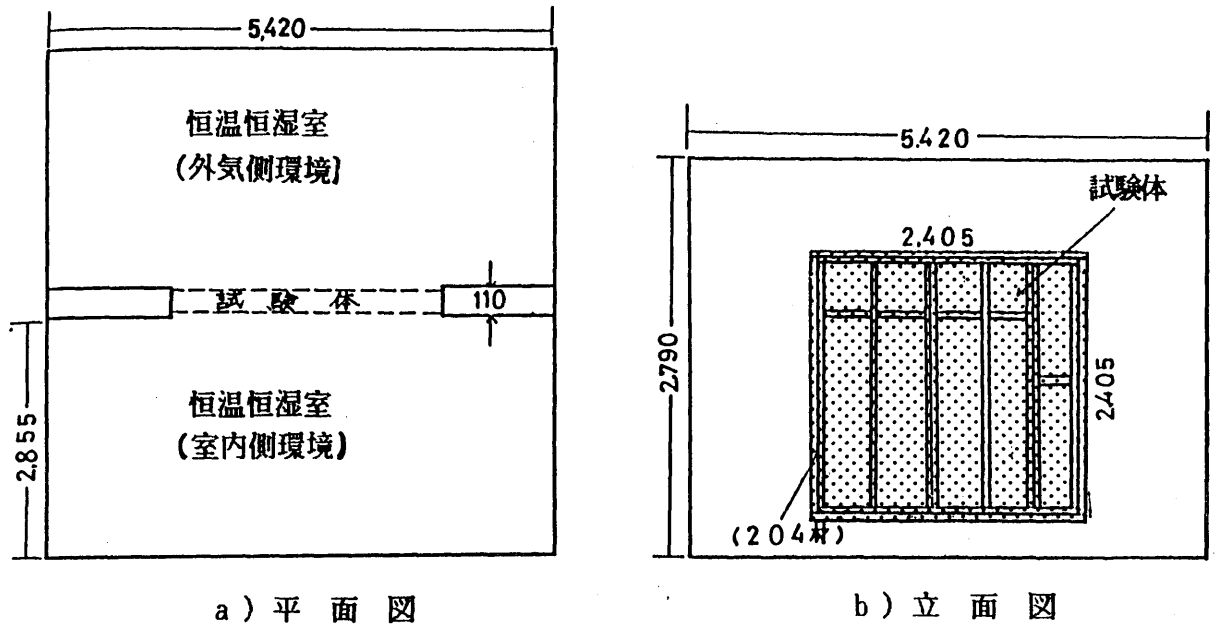


図-4-2-3 試験装置の概略

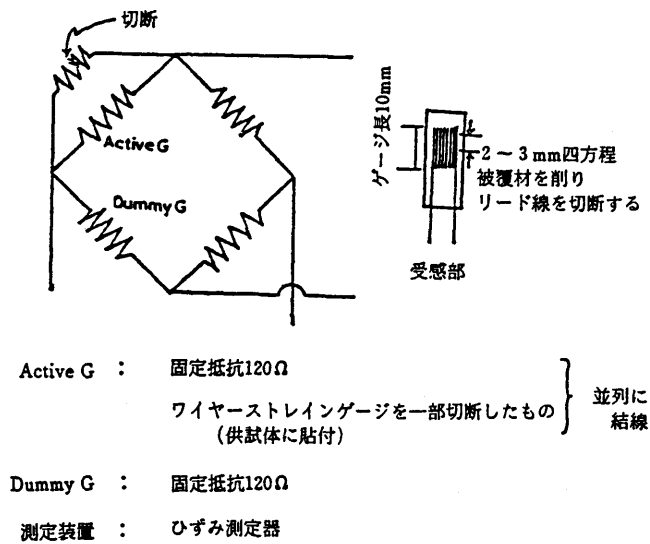


図-4-2-4 結露測定用センサー概略

## 2-2 試験結果および考察

### 2-2-1 温度および湿度分布

図-4-2-5に温度変化の計測例として表-4-2-1に示した試験体(b)において、下張材が構造用合板で屋外温度が $10^{\circ}\text{C}$ → $5^{\circ}\text{C}$ の場合を示した。また、図-4-2-7～10に表-4-2-1に示した試験体(b)において、下張材が構造用合板およびシーリングボードで屋外温度が各々 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $5^{\circ}\text{C}$ 、 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ で、壁体内中空部の温湿度が平衡に達した時点の壁体縦断面の温度分布の計測例を示した。

試験体の構成によって温度分布に特色がみられるが、その主な点は次のようであった。

- (1) 屋外側温度の低下に伴い、壁体の各部位における温度も低下し、約10時間後にはほぼ平衡状態に達した。
- (2) 図-4-2-1に示した910mmモジュールの標準試験体(I、II)においては、壁体内中空部に面する外装下張材、断熱材、内装石膏ボードなどの表面における温度分布が、同一中空部においては、上部の方が温度が高く、壁内における空気層の対流の影響が認められた。
- (3) 外装下張材用の受け材部分の温度は、断熱材がない場合には石膏ボード表面の温度が他の部位より高く、外装下張材の裏面では、逆に他の部位より低くなる傾向を示し、分布は不均一であった。しかし、断熱材が挿入されることにより各部位との温度差は、なくなるような傾向を示し、断熱材の効果が認められるが、他の部位に比べ複雑な動きをすることが認められた。

図-4-2-6(1)～(4)に壁体内中空部の温度変化の計測例として表-4-2-1に示した試験体(b)において、下張材がシーリングボードで屋外温度が $10^{\circ}\text{C}$ 、 $5^{\circ}\text{C}$ 、 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ の場合を示した。

湿度変化について観測された主な点は次のようであった。

- (1) 標準試験体(I、II)の上、中、下の部位における傾向は、屋外温度が $10^{\circ}\text{C}$ までは上部の方が相対湿度が高く、屋外温度がそれ以下になると上、中、下の各部位において差がなくなる傾向が認められた。
- (2) 中空部の相対湿度は、内外からの湿度の出入りがないと仮定し、温度のみが降下したときの水蒸気から推定できる相対湿度より、屋外温度 $10\sim 5^{\circ}\text{C}$ の範囲では、全般的に低くなる傾向が認められた。主な理由として、① 枠材、下張材等の吸湿性に富む材料が、温度の低下によって吸湿性能を増大するために吸湿を行う。② 水蒸気圧差によって、中空部から低温(屋外)側へ透湿することなどが考えられる。

(3) 中空部の湿度変化は、温度変化と異なり平衡状態と思われる時点が明確ではなく、変動が比較的緩慢であることが認められた。

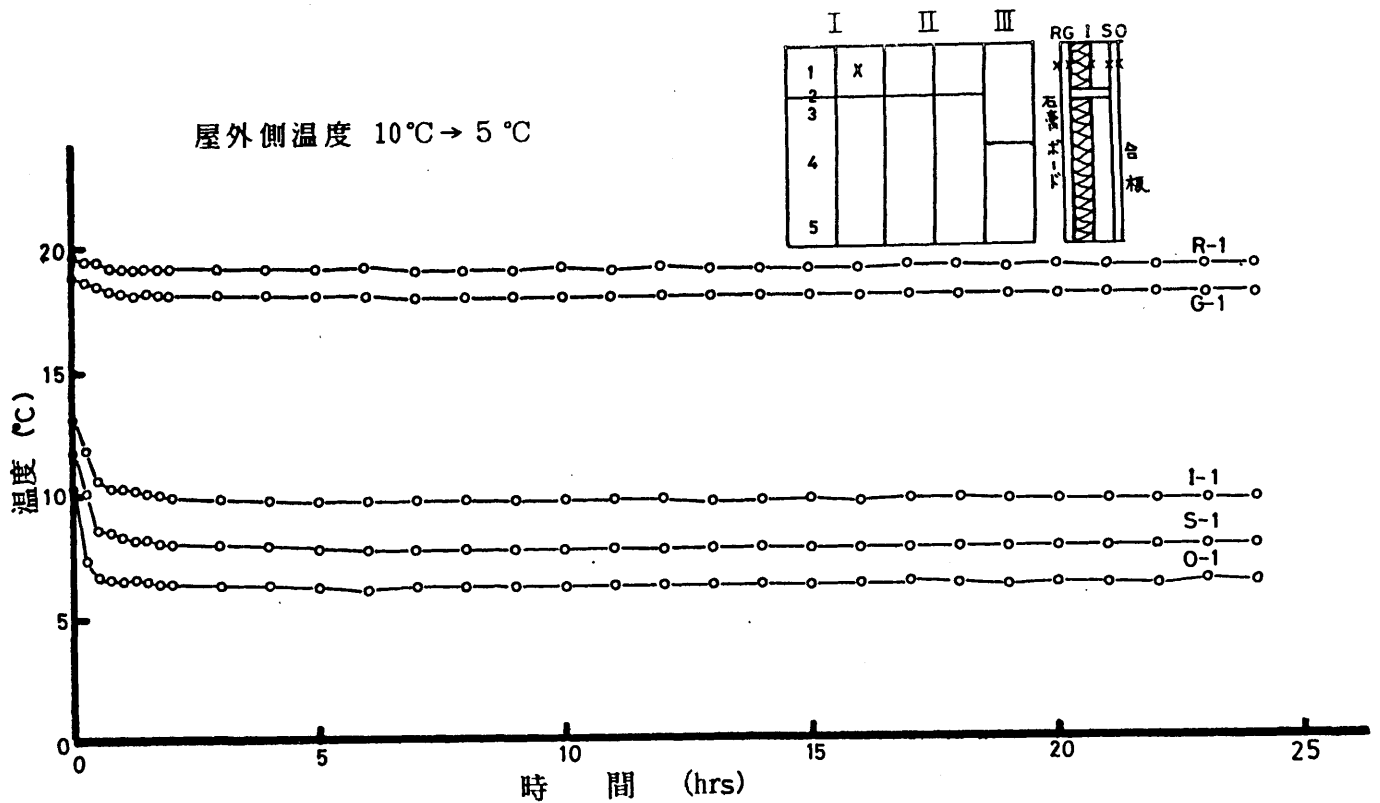


図-4-2-5 壁体内における温度変化例 (試験体 (b) の I における計測点 1 の厚さ方向)

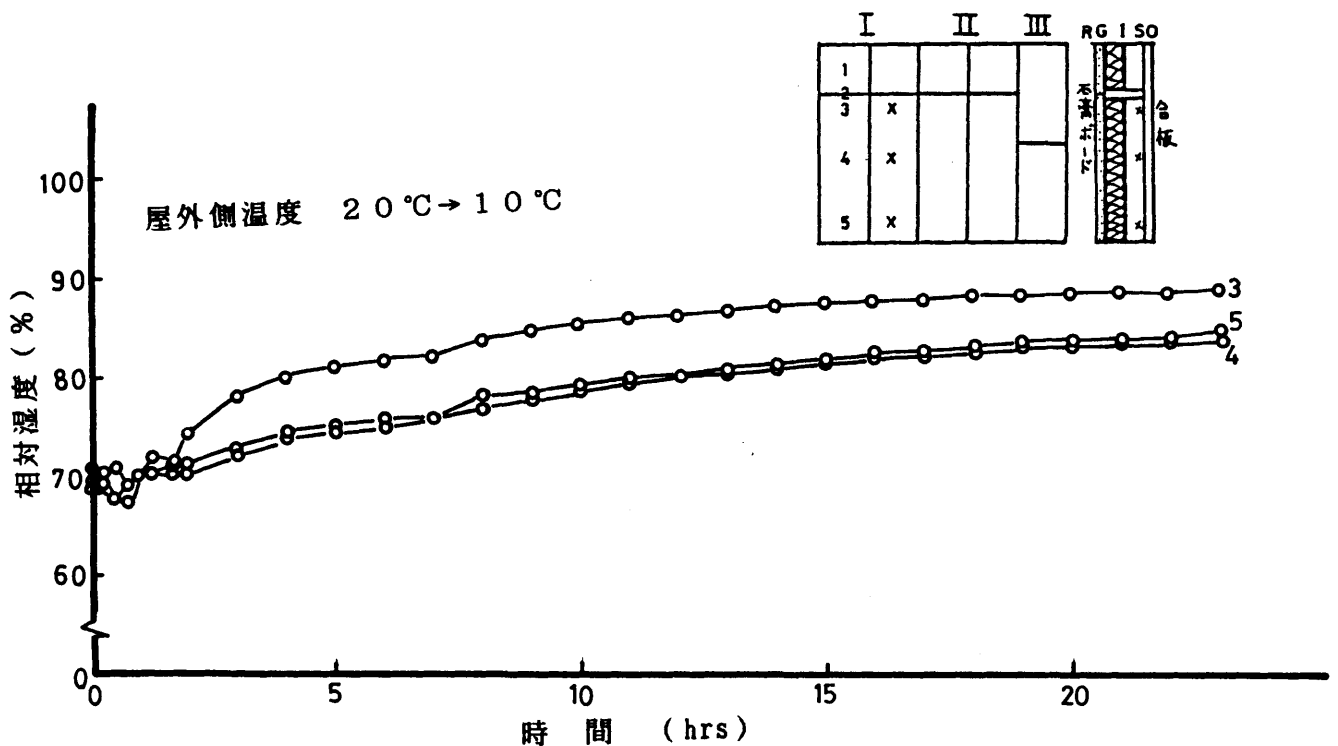


図-4-2-6 (1) 壁体内各部位における湿度変化の例  
(試験体 (b) の I における計測点 3, 4, 5)

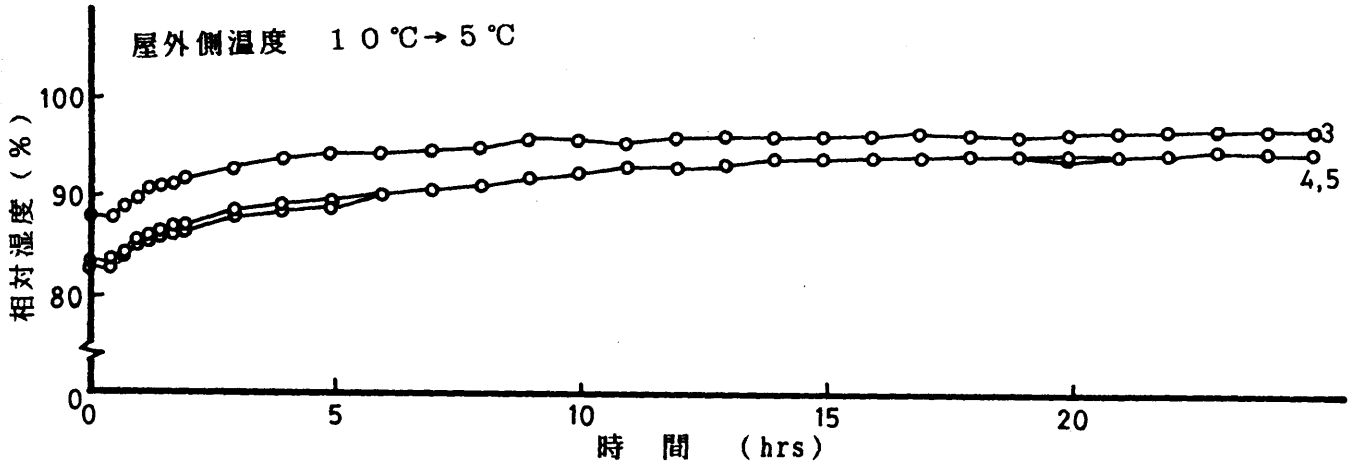


図 - 4 - 2 - 6 ( 2 ) 壁体内各部位における湿度変化の例  
(試験体(b)の I における計測点 3, 4, 5)

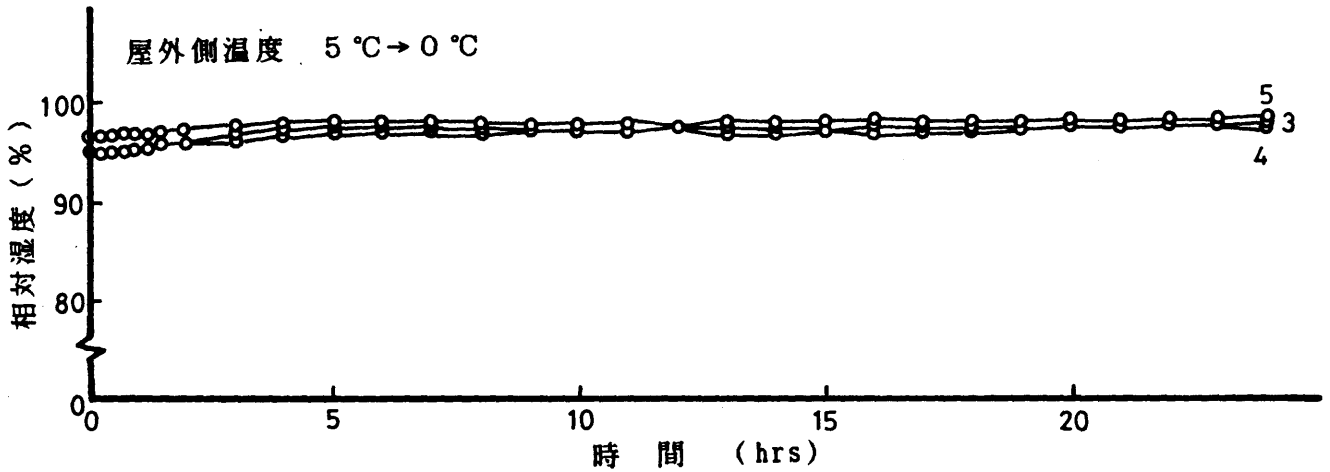


図 - 4 - 2 - 6 ( 3 ) 壁体内各部位における湿度変化の例  
(試験体(b)の I における計測点 3, 4, 5)

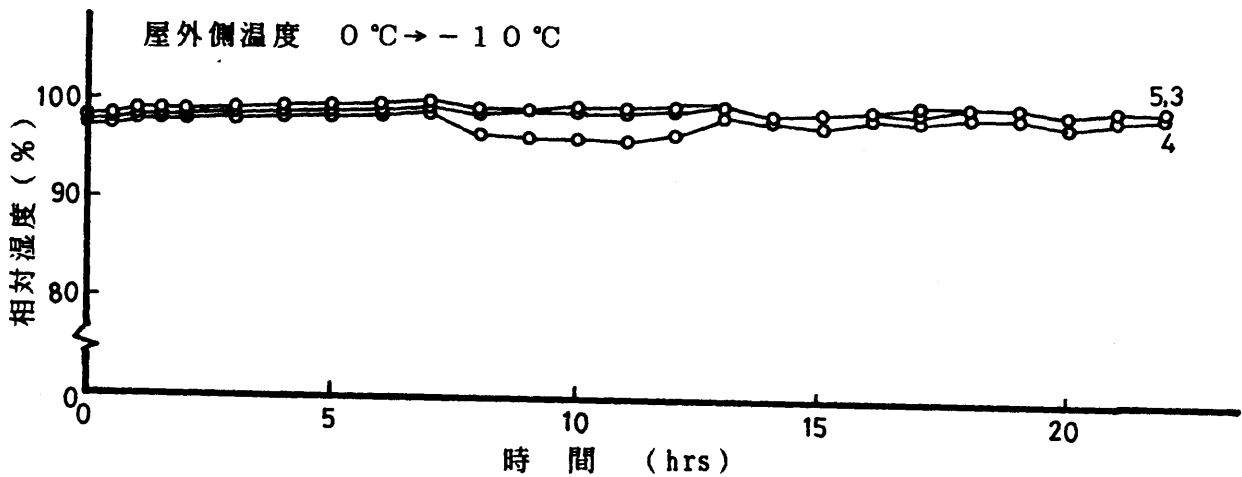


図 - 4 - 2 - 6 ( 4 ) 壁体内各部位における湿度変化の例  
(試験体(b)の I における計測点 3, 4, 5)

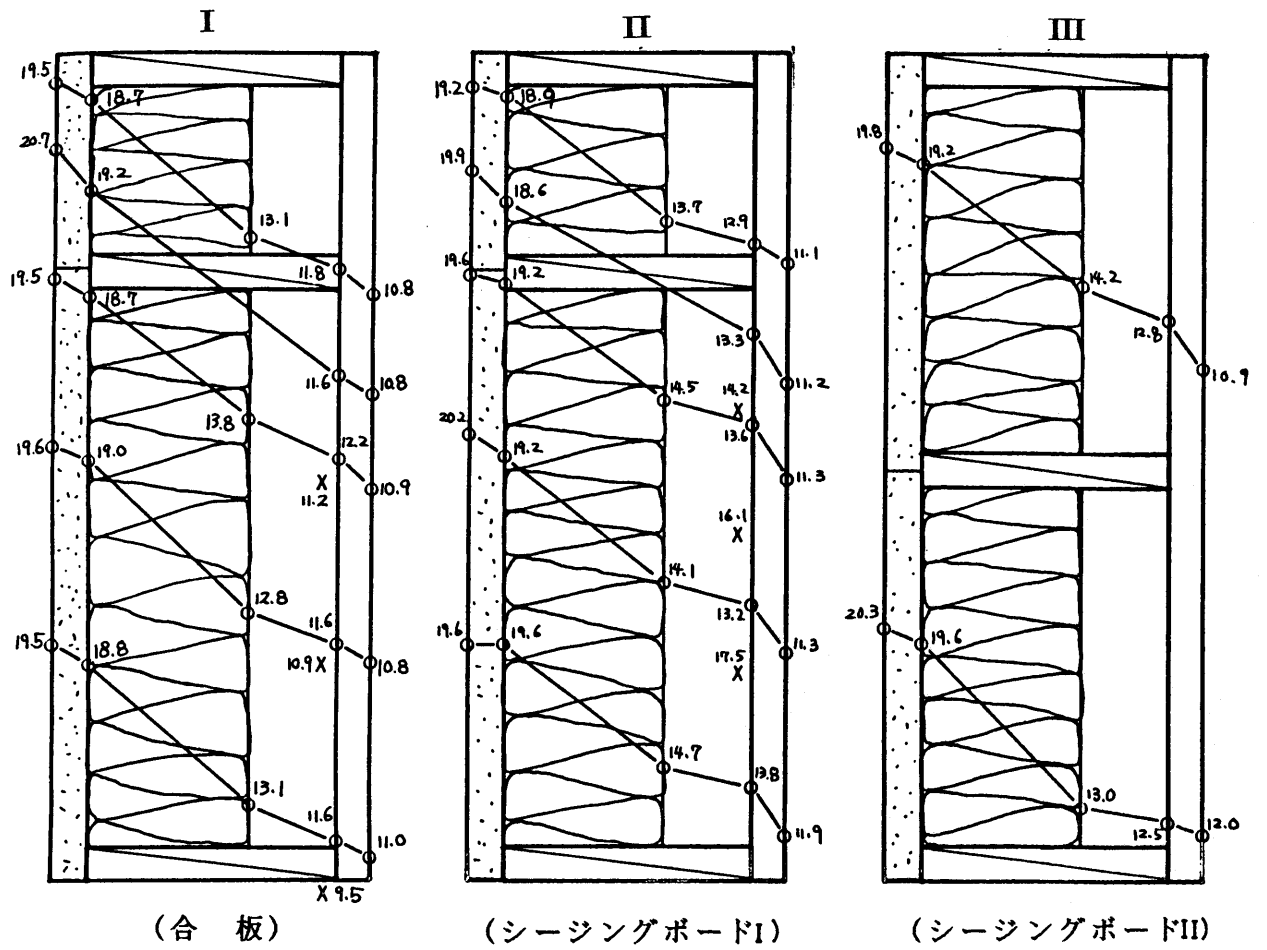


図 - 4 - 2 - 7 壁体縦断面温度分布 (室内側20℃, 70%RH, 屋外側10℃, 80%RH)

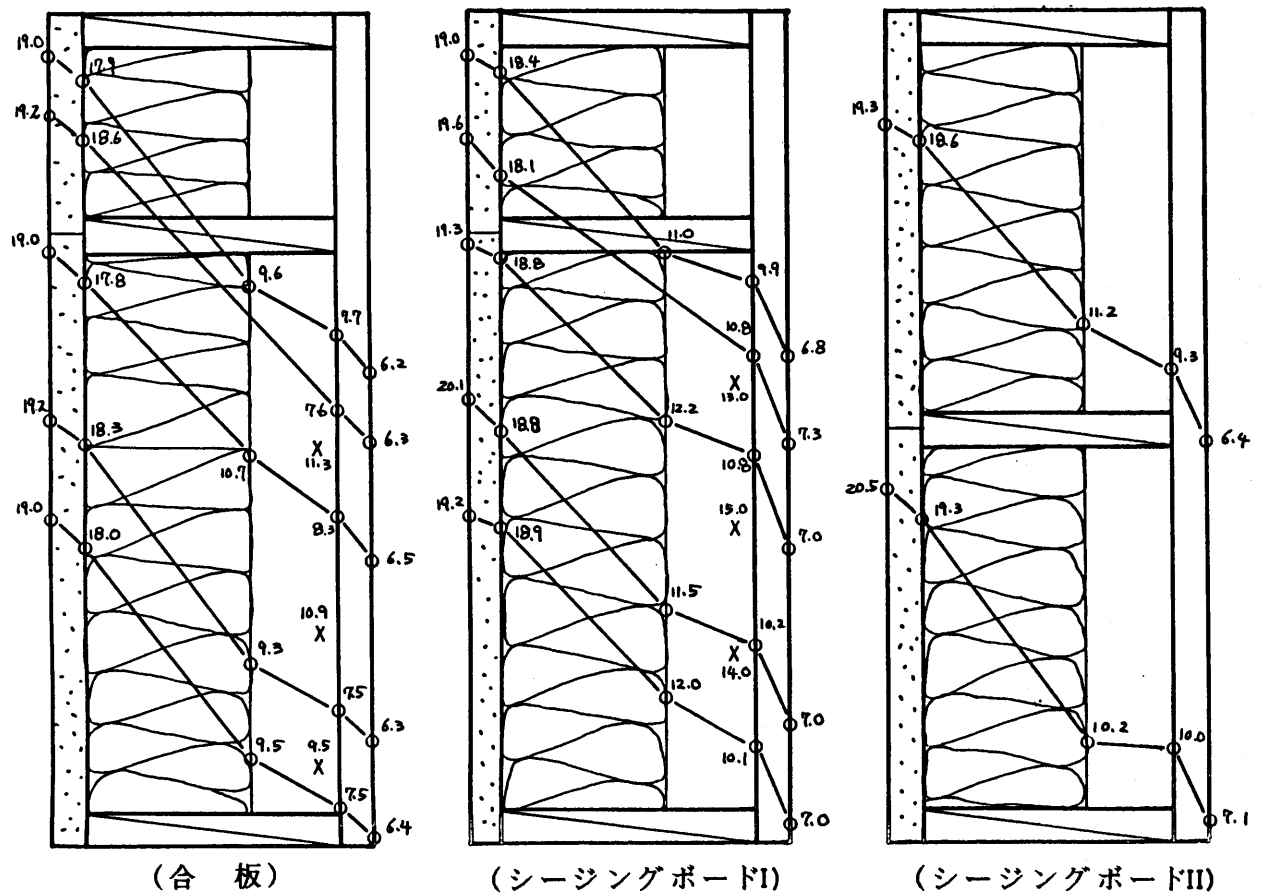


図 - 4 - 2 - 8 壁体縦断面温度分布 (室内側20℃, 70%RH, 屋外側 5℃, 80%RH)



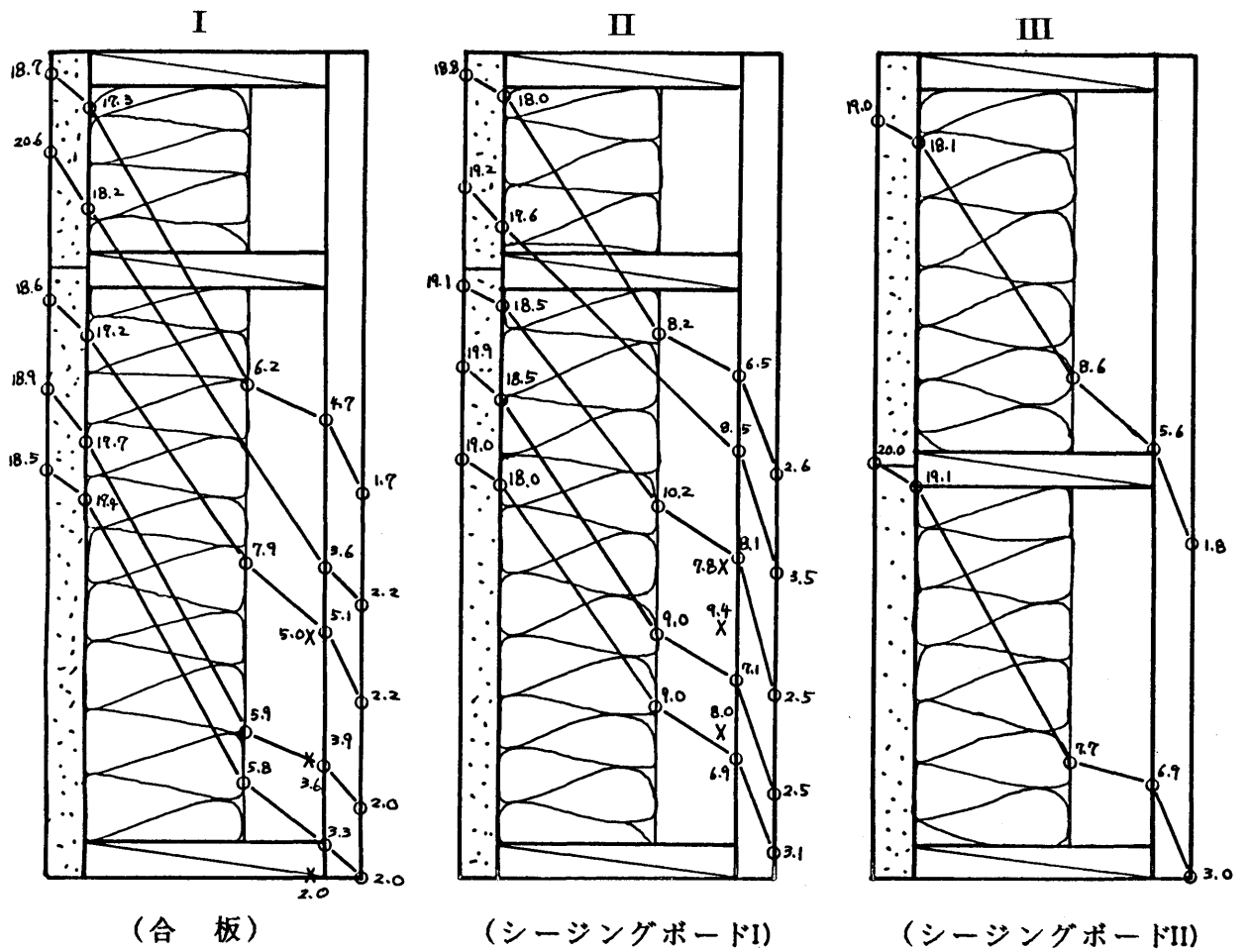


図 - 4 - 2 - 9 壁体縦断面温度分布 (室内側20℃, 70%RH, 屋外側 0℃)

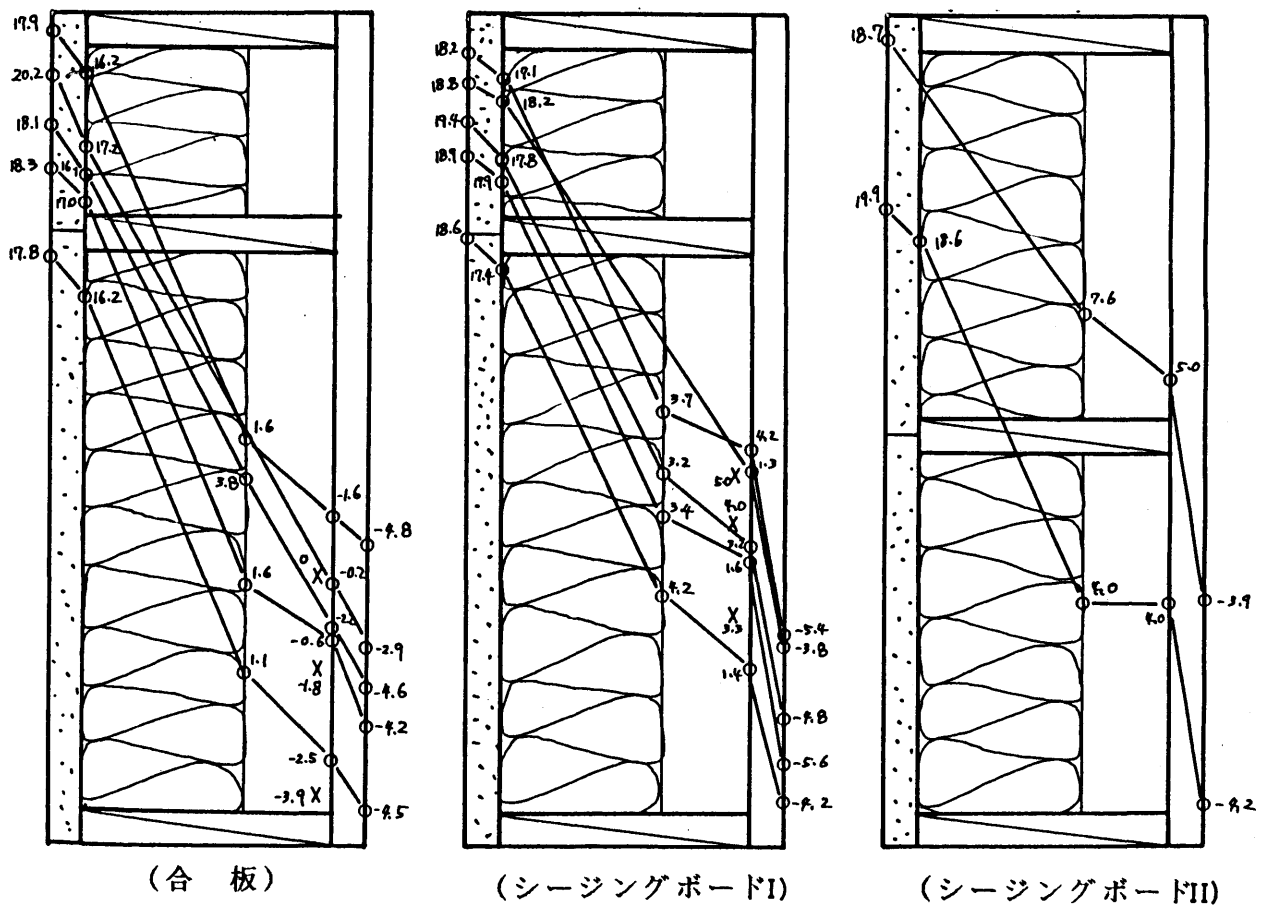


図 - 4 - 2 - 10 壁体縦断面温度分布 (室内側20℃, 70%RH, 屋外側 -10℃)

## 2-2-2 下張材表面の膨張・収縮

壁内の湿度は、構成材料の吸湿性の違いによって変化し、結露と関連のあることが考えられる。すなわち、水分の吸着、吸水が下張材の中空側からのみ生じていると仮定すると、下張材の膨張・収縮は、まず伸び（膨張）を生じ、伸びの厚さ方向における差異（中空側の方が伸びが大きく、屋外側の伸びが小さい）から生じる反り（中空側に凸）を発生する可能性がある。しかし、吸着・吸水がさらに進むと一般に伸びは、停止するか反りが回復してくる傾向を示すものと考えられる。したがって、以上のような傾向が、下張材中空側表面に貼付した歪ゲージによる伸びと縮みから検出されれば、壁内の湿度変化と結露発生の状況が明らかになるものと考えられる。

図-4-2-11、12に各試験体の下張材中空側表面の伸びと縮みの計測結果を示した。なお、計測値は平衡時（各温度における降下後24時間目）を採用した。これらの結果から次の点が認められた。

- (1) 合板が下張材の場合は、伸び（膨張）がまず優勢であるが、仕上げの種類によって傾向の異なることが認められた。とくに仕上げや断熱材がない場合は、典型的な伸びから縮みへの反転が認められた。その他の組合せの場合は、仕上げ材料の拘束条件などの差異によって若干異なることも認められた。
- (2) シーリングボードが下張材の場合は、合板の場合と異なり、伸びが優勢に働かず、屋外温度が5℃以下になると逆に収縮が優勢になってくることが認められた。このことは、結露水の発生や吸着、吸水が中空側表面より屋外側表面に生ずる可能性のあることを示すもので、結露を生ずる位置と関連があるものと考えられる。

## 2-2-3 壁内の結露状況

結露センサーによる計測結果の例を図-4-2-13に示した。また、この図において結露発生の判定は、表-4-2-3に示したように結露を生じていない場合は、結露センサーの出力値が、屋内外の温度が20℃の時点の出力値の幅（ $a\mu$ ）とし、下張材が湿っている状態(B)は、結露センサーの出力値が $(a\pm 10)\mu$ 未満時とした。結露を生じている場合は、結露センサーの出力値の幅 $(a\pm 10)\mu$ 以上時というように評価した。

表-4-2-4、5に、各試験体の結露センサーによる結露の発生状況と目視観察による評価とを示した。

これらの結果より、次のような点が認められた。

### (1) 下張材の種類

下張材の種類（合板、シーリングボード i、ii）によって結露の発生状況に差が

認められた。

シーリングボード（i：屋外側表面にアスファルトによる被覆あり）と（ii：全面にアスファルトを含まず）では、前者は水滴が吸水されやすく、後者は表面に水滴を生じやすい傾向が認められた。

合板の場合、中空側に面した表面から結露を生じているが、シーリングボード（I）は壁体構成によっては、アスファルト面に近いシーリングボード内部で結露を生じる傾向が認められた。この傾向は、伸びの測定および後述する温度分布から算出した露点位置からも明らかであった。

## （2）断熱材の施工

本試験で使用した断熱材は、市販のものであり、表示された施工仕様は、防湿層に相当するアルミ蒸着フィルムを中空面に、クラフト紙を室内側に設置するようになっていた（表-4-2-4では逆と表示）。しかし、この仕様に従った壁体は断熱材内において結露を生じ、結露水が壁内に滞留する可能性のあることが認められた。

一方、高温側（室内側）に、アルミ蒸着フィルム（現状では、水蒸気を透湿する穴があげられているが、本研究を実施した時点では市販品で穴のあいたものはなかった）を向けて挿入した場合（表-4-2-4では順と表示）は、断熱材内における結露は認められなかった。

さらに、初期の室内条件20℃、70%に湿度調整された壁体が冷却された場合の露点温度を計算すると、中空層あるいは断熱材の内部で露点に達する壁体のあることが認められた（図-4-2-14(1)～17(2)参照）。

したがって、グラスウールを包むアルミ蒸着フィルムやクラフト紙の高温（室内）側への配置と透湿抵抗の差異が、断熱材中の結露水の発生、滞留に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。

概して、下張材がシーリングボードの場合は、断熱材の挿入によって結露の発生が早まり不利になる傾向も認められた。

## （3）防湿層の効果

石膏ボード裏面に配したポリエチレンシート（防湿層）の効果は、本実験の範囲内では必ずしも明確ではなかったが、断熱材を包むアルミ蒸着フィルムとの差異は、表-4-2-3において外装仕上げがラスモルタル塗りの場合に、防湿層が有る場合と防湿層の代わりに壁紙を用いた場合との結露発生状況から若干認められる程度であった。しかし、第1節における中空パネルでの試験結果からも明らかな様に、

ポリエチレンシートの付加は有利であると考えられる。また、断熱材中で露点に達した試験体において、多量の結露水が認められなかったことから、防湿層の効果は、かなりあるものと考えられる。この点については、既往の文献からも認められることである。また、防湿層の効果的な挿入位置については、室内側（高温側）に設けると壁内への水蒸気の遮断に効果的である。

#### (4) 外装仕上げ材料の影響

合板が下張材で、外装仕上げ材料が無い場合、スタッコ（ハイウォール工法）仕上げの場合、ラスモルタル塗り仕上げの場合の3種類について結露性状を比較すると、仕上げなしとラスモルタル塗り仕上げとは、同じような傾向を示し、スタッコ仕上げが最も不利であることが認められた。

この理由として、仕上げがない場合は、熱損失の面からは不利であるが、仕上げ材が無いことにより、外装下張材の透湿性が高くなり水分の壁体外への移動に関してはもっとも有利となる。また、ラスモルタル塗り仕上げの場合は、モルタルの付加によって、合板下張材の断熱性能がわずかながら向上し、それによって合板の表面温度の低下が他に比べ小さくなるため、合板表面が露点に達しなくなり有利となる。しかし、スタッコ仕上げの場合は、合板表面にアクリル系の樹脂を吹きつけただけであるため熱損失や水蒸気の移動ともに不利となることなどが考えられる。

シーリングボードが下張材の場合は、モルタル塗り仕上げがある場合には、中空側に面するボード表面の結露発生状況は、仕上げがない場合と比較して合板と同様にかなり発生が遅れ有利になるが、目視観察やボードの伸びおよび露点位置から判断すると、屋外温度0℃前後でモルタル側に近いシーリングボード内部で結露を生じ、中空側表面ににじみ出てくる可能性のあることが考えられる。

外装仕上げ材料が、乾式工法のサイディング張りの場合は、湿式工法に比べ下張材の種類に関係なく、壁内結露の発生はほとんど認められず、結露に対しては有効な工法であることが認められた。とくに、外装仕上げがウッドシェイク張りの場合は有効である。

以上のようなことより、外装仕上げ材料の種類と厚さおよび工法などが、壁内結露の発生に及ぼす影響の大きいことが明らかとなった。とくに、ラスモルタル塗りのような湿式工法とサイディング張りのような乾式工法における結露の発生状況の差異は明らかであった。

#### (5) 露点とその位置について

前項においては、試験結果から明らかになった点を述べたが、ここでは、試験に

おける温度・湿度の計測結果から推測される露点とその位置（試験によって計測された壁体の厚さ方向の温度分布と壁体内中空部の温湿度の計測結果から求められる露点温度との交点を露点とし、それ以下を結露域とする方法によって評価）について以下のような方法で考察する。

本試験の場合、試験前における壁内の平衡状態は、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $70\% \text{RH}$ である。試験体内部における水蒸気圧は、壁体内外からの流入がない限りこの状態が保持されるが、屋外温度の降下にともない壁内の相対湿度は上昇し、その水蒸気圧の露点温度に達した時に結露を生ずる。

そこで、この $20^{\circ}\text{C}$ 、 $70\% \text{RH}$ に対する露点温度（図中一点鎖線）と、各試験体の厚さ方向における壁内中央部の温度分布との関係を図-4-2-14(1)～17(2)に示した。

これらのことから次の点が認められた。

a) 断熱材が挿入されている場合、屋外温度が $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$ になった時には、下張材がシーリングボードでラスモルタル塗りの試験体を除いて、すべての試験体において断熱材中で露点に達し、さらに $5^{\circ}\text{C}$ 以下では、すべての試験体が断熱材中で露点に達することを示している。したがって、中空層に面する断熱材表面の透湿性が高くない限り、断熱材中に露点を生ずることになるものと考えられる。

試験体中、アルミ蒸着フィルムを中空側に面して挿入した試験体（断熱材が逆）は、この典型的な例で、断熱材内に結露を生じ好ましくない。なお、クラフト紙が中空側に面するように挿入した他の試験体では、断熱材中に極度の結露が認められないことから、断熱材内の水蒸気の移動が行なわれ、下張材に水分が吸着したものと考えられる。

b) 断熱材が挿入されていない場合は、下張材の種類によって若干傾向が異なることが認められた。シーリングボード（熱抵抗 $0.245 \text{ m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C} / \text{Kcal}$ ）の場合、合板（熱抵抗 $0.064 \text{ m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C} / \text{Kcal}$ ）に比べ断熱性が高いため屋外温度 $5^{\circ}\text{C}$ までは、シーリングボード内で露点に達し、 $0^{\circ}\text{C}$ では中空部へと露点が移動した。

一方、合板の場合は、 $5^{\circ}\text{C}$ までは中空部において露点に達している結果となった。したがって、シーリングボードの中空側表面のアスファルトコート透湿性が小さければ、シーリングボード内部（屋外側）に結露を生ずる可能性が高く、合板ではアスファルトコート等の被覆がないために、中空部に接する面のみに結露を生ずるものと考えられる。このことは、先に述べたボードの伸びや結露発生状況の計測結果から類推できる結果と同様であった。

次に、下張材における結露の可能性について検討する。なお、結露の可能性については透湿を軸とした理論はあるが、現状では十分であると判定できないため、試験結果をもとに考察した。

下張材の中空部に面する表面の温度に対して相対湿度が各々80、90%の場合の露点温度を図-4-2-14(1)～17(2)に破線で示した(すなわち、下張材表面付近の湿度は、吸湿、結露、吸水などによって複雑であるから概略値として与えた)一方、図中実線で示したものは、中空部で検出された湿度に対する露点温度である。これらの結果から、次の点が認められた。

- a) 屋外温度10℃の場合、いずれの試験体においても下張材中で結露を発生するような露点に達することは少なく、実測した湿度からも露点には達していないことが認められた。
- b) 屋外温度5℃以下で、外装仕上げや断熱材のない場合には、下張材中で露点温度に達する可能性が高く、シーリングボードの場合は、断熱材としての機能がかなり認められることと、屋外側に塗付されているアスファルトコートによって、合板の結露発生位置とは異なることが予想される。
- c) 外装仕上げがなく、断熱材が挿入されている場合は、合板下張材の中では結露を生じにくいことが認められた。このことは、結露センサーの計測結果を裏付けるものであり、下張材が合板の場合は、中空部との境界に生ずる恐れのある結露水を吸着・吸水あるいは移動するのに有利であることを示すものであることが認められた。

一方、シーリングボードの場合は、屋外温度5℃でシーリングボード内部で露点に達する可能性があり、中空部における露点との関係から不利な条件にあるといえ、そのことは結露センサーの結果からも認められた。

- d) スタッコ仕上げで断熱材が挿入されている場合は、合板下張材内部での結露については、温度分布からみても仕上げなしのそれに近い傾向が認められた。しかし、中空において露点に達していることと、スタッコ仕上げの透湿性が低いことから、中空部の湿度も高く、下張材内部表面で結露が発生しやすいことが認められた。また、このことは結露センサーの結果とも一致していた。
- e) ラスモルタル塗りで断熱材が挿入されている場合は、屋外温度5℃までは結露の可能性は少ないが、0℃ではその可能性が認められた。この傾向は、結露センサーの結果とほぼ一致していた。また、モルタル境界面での結露の発生は、シーリングボードの方が合板より低い湿度で生ずることが認められた。

以上のような結果から、壁内結露に影響を及ぼす要因として、壁体の材料構成とくに室内からの水蒸気を遮断する防湿層と外部へ水蒸気を排出するための外装下張り材や外装仕上げ材料などの透湿性や断熱材の施工（アルミ蒸着フィルム面の方向）、外装仕上げ工法（湿式、乾式）等が重要であることが明らかとなり、壁部材の長期耐力性能を評価する際に考慮されるべき結露（水）と壁体の仕様との関連について知見を得た。

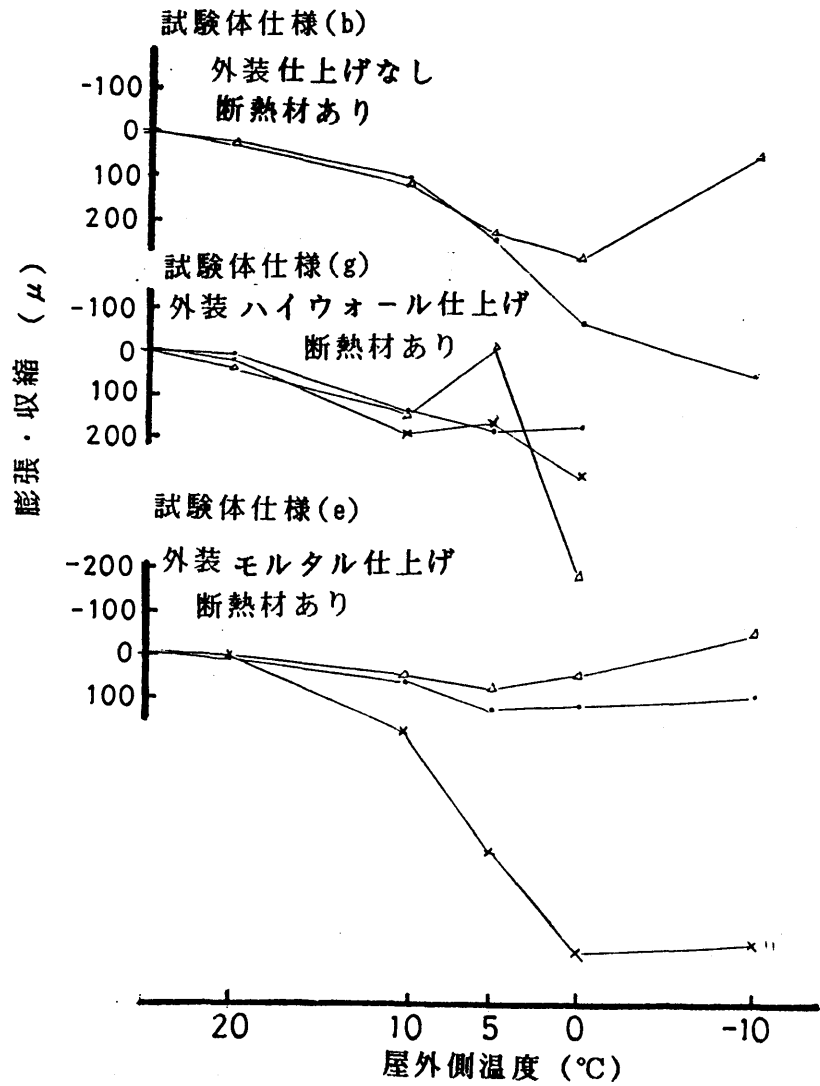
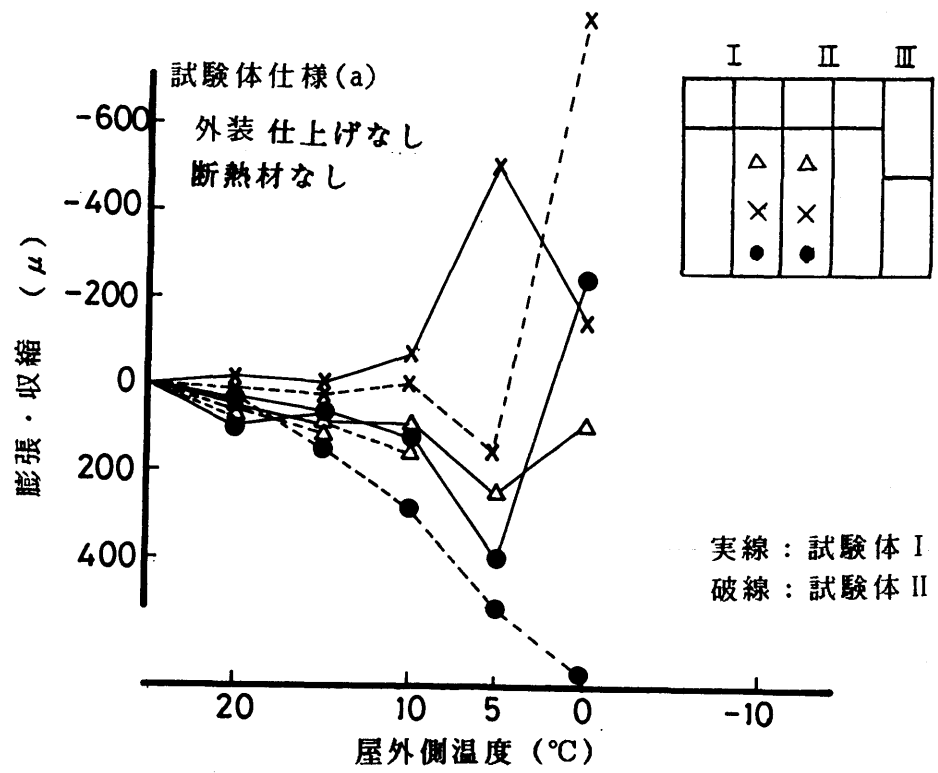


図-4-2-11 屋外温度の変化にともなう下張材表面の膨張・収縮の変化(下張材:合板)



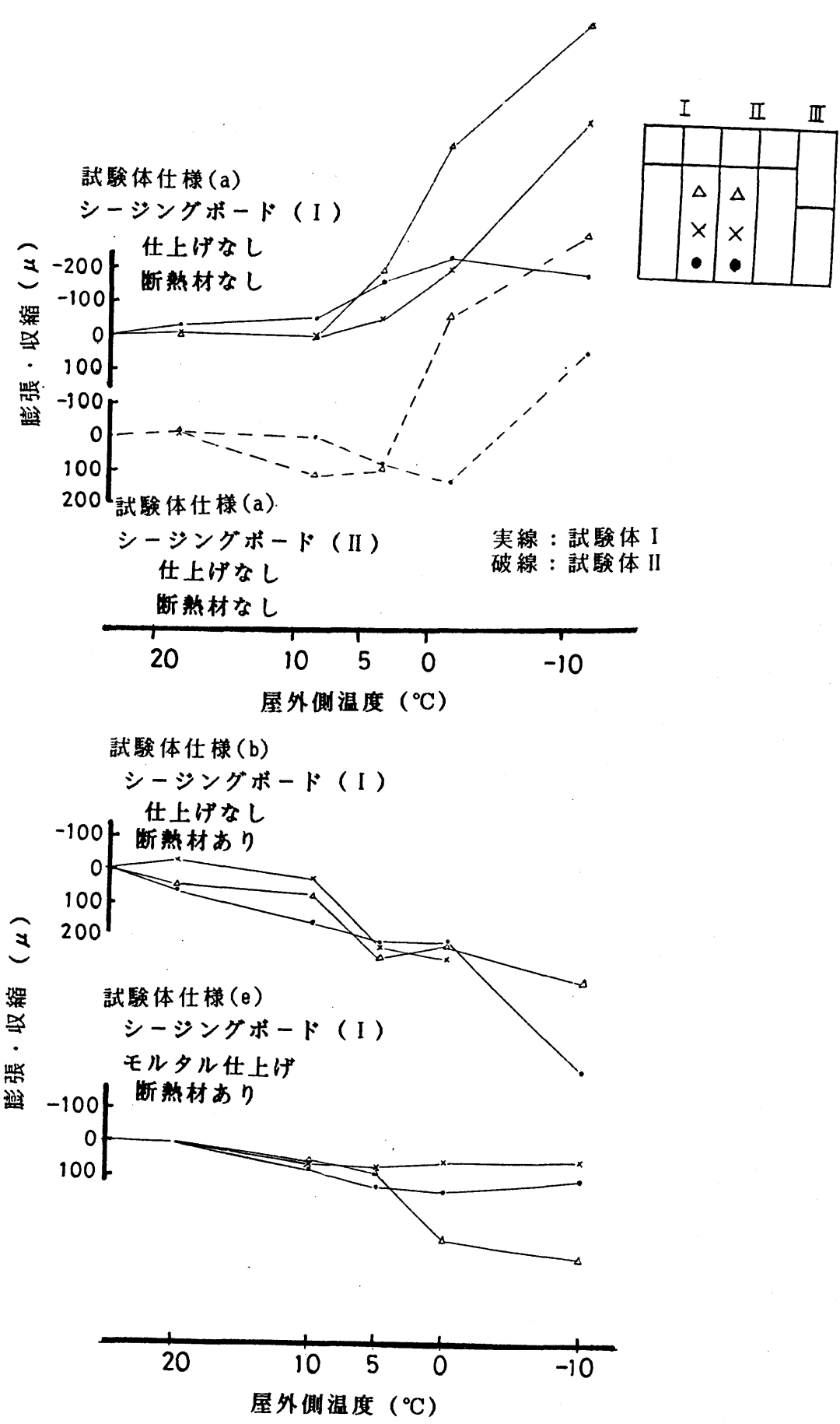


図-4-2-12

屋外変化にともなう下張材表面の膨張・収縮の変化(下張材:シーリングボード)

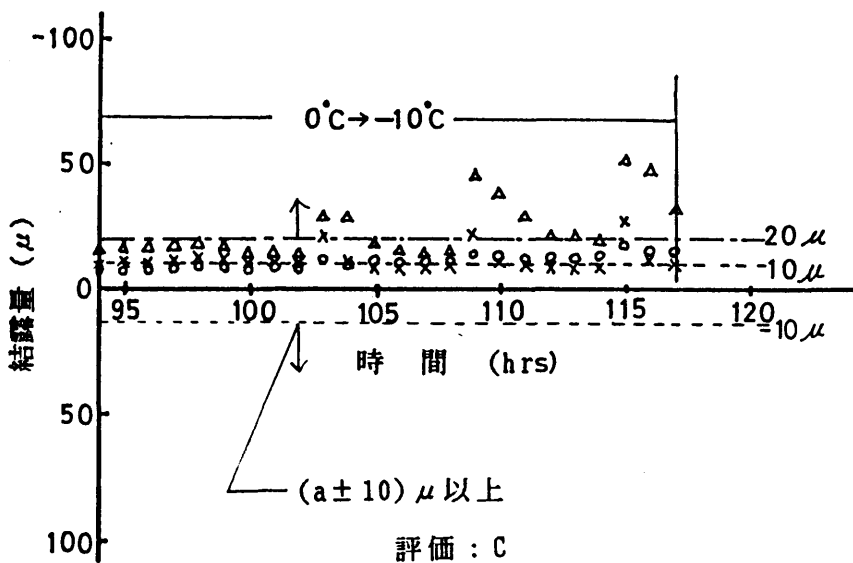
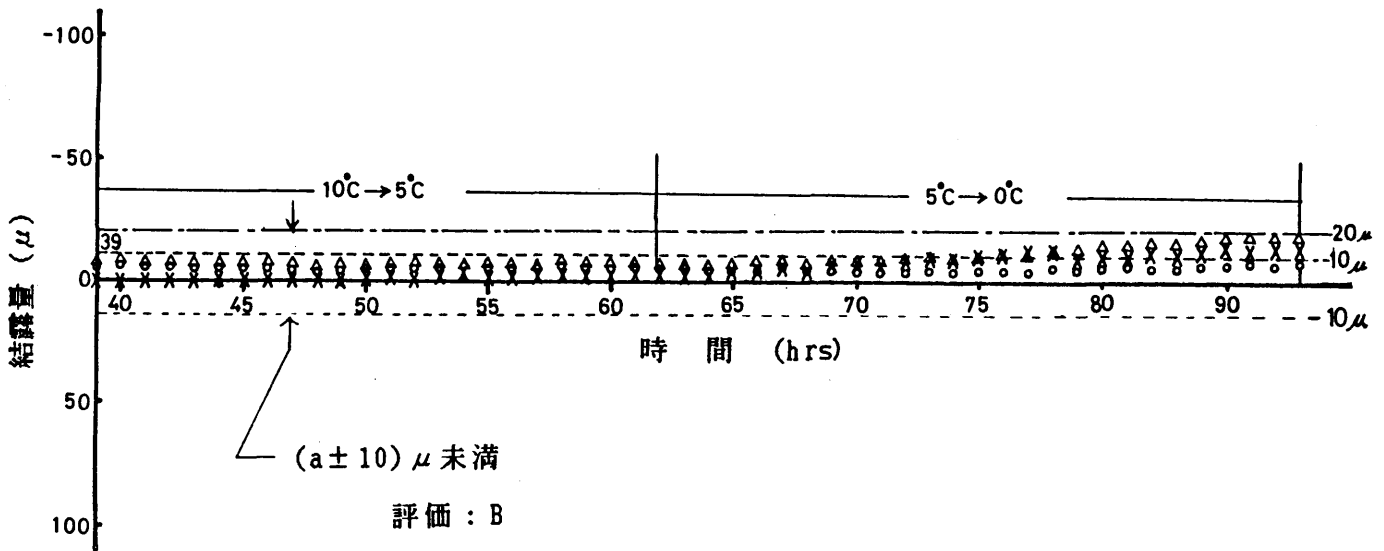
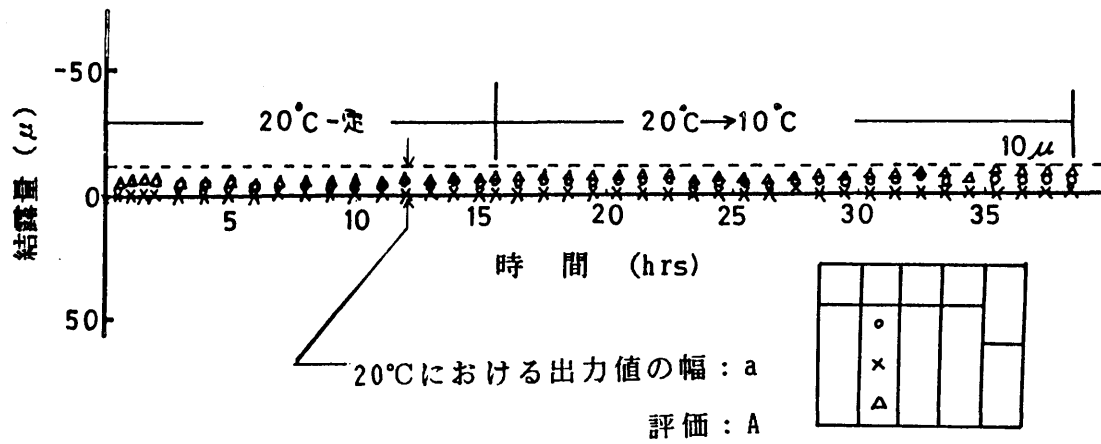


図 - 4 - 2 - 1 3 結露センサーによる測定結果 (下張材: 構造用合板)

表-4-2-3 結露センサーによる壁内結露発生評価区分

目視による下張材表面の状態	結露センサー出力	評価
表面は乾燥しており 結露は生じない	20℃における 平衡時の出力幅	A
表面はやや湿っぽく、 結露水が吸湿、吸水される	20℃における 平衡時の出力幅 ±10μ未満	B
表面に水滴として生じ、 全面が濡れる	20℃における 平衡時の出力幅 ±10μ以上	C

表-4-2-4 壁内結露発生状況

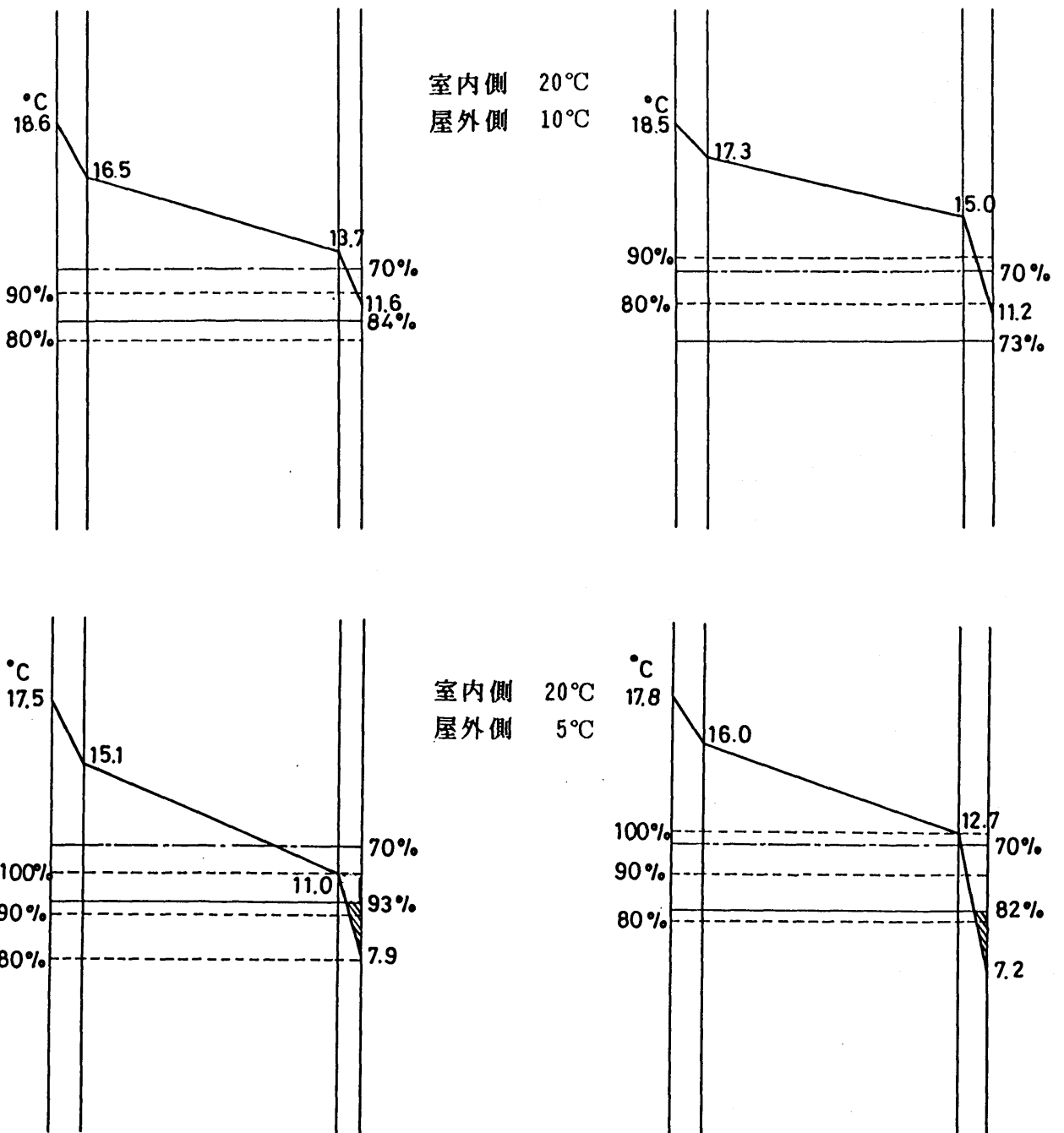
試験体仕様					屋外温度変化による結露発生状態														
外装下張材	外装仕上げ	断熱材	防湿層	内装下地	20℃→10℃			10℃→5℃			5℃→0℃			0℃→-10℃			観察結果		
					3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	0℃	-10℃(-3℃)	
合板	無	無	無	石膏ボード	A	A	A	A	A	B	A	B,C	C	-	-	-	合板上で結露。		
					A	A	A	C	A	A	C	C	B	-	-	-	合板上で結露。		
	無	有(順)	有		A	A	A	A	A	B	B	A	B,C	B,A	B	結露なし、合板面は乾いていた。	防湿層上に結露、合板面は湿っていた。		
	無	有(逆)	無		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	断熱材のフィルム面上に結露	断熱材の両面及び合板面で結露(水結)		
	スタック有仕上げ	無	無		A	A	A	B	B	B	B	A	B,C	C	C	C	合板上で結露、横枠上に水がたまる。	合板上で結露、横枠上に水がたまる。	
					有(順)	有	A	A	A	B,C	B,C	A	C	C	B,C	C	C	C	合板面は湿っぽい。
		有(順)	無		A	A	A	B,C	B	B	B	C	B	B	C	B	B	合板面は湿っている。	合板面は湿っている。
		有(逆)	無		A	A	A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	合板、断熱材ともに結露。	結露が著しく、横枠上に水がたまる。
	リシモル付	無	無		A	A	A	B,C	B,C	A	C	C	B,C	C	C	C	合板面に結露、横枠上に水がたまる。	合板面に結露、内装釘頭に結露、横枠上に水がたまる。	
					有(順)	無(壁紙)	A	A	A	B	B	A	A	B,A	A	A	A	合板面は湿っていた。	内装釘頭に結露、合板面上で水結。
サイア	有	有	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	AB	C	合板面は乾燥していた。	内装釘頭に結露、合板面は乾燥していた。			
			有(順)	有	A	A	A	A	A	A	A	A	C	AB	C	変化なし。	合板面が湿っていた。剛接しめ用の釘がさびていた。		
下装材	無	無	無	石膏ボード	A	A	A	B	B	B	B	B	B	C	B	B	S面が湿っていた。	S面全面で吸湿による縦縞が発生。	
					無	有(順)	有	A	A	A	B,C	B,C	B,C	C	C	C	C	C	C
	有(タ)	有(順)	有		A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B,C	S面が湿っていた。吸水による縦縞が発生。	内装釘頭に結露、S面が湿っていた。吸水による縦縞。	
	乾式サイテング	無	無		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	変化なし。	変化なし。剛接しめ釘がさびていた。	
					有(順)	無(壁紙)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	変化なし。	変化なし。剛接しめ釘がさびていた。
	有(順)	有	有		A	A	A	A	A	A	A	A	AB	A	A	A	かすかに縦縞が発生。	0℃の状態より、縦縞がはっきりしていた。	
					無	無	A	A	A	A	A	A	B	B	A	C	B	C	S面が湿っていた。
	無	有(順)	無		A	A	A	B,C	B,C	A	C	C	C	C	C	S面全面に結露、横枠上に水がたまった。	S面全面に著しい結露、水がたまる。		
					無	有(逆)	無	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	断熱材アルミ面に結露、S面は湿っぽい	S面上及び横枠上に結露。

\*1: 片面アスファルトコート | \*2: 全面アスファルト含没 | S面: シーシングボード

表 - 4 - 2 - 5 壁内結露の発生状態

試験体仕様				屋外温度変化による結露発生状態				
外装材料	胴縁の種類	外装下張材	防湿層	20→5℃	5→0℃	0→-10℃	0℃	-10℃
窯業系 サイディング	横胴縁	シーリング ボード	有	A	A	A→B	変化なし	湿っている
			有	A	A	A	変化なし	変化なし
			ビルクロス	A	B	C	湿っている	全面に結露
	縦胴縁		有	A	A→B	B	変化なし	湿っている
			有	A	A	A→B	変化なし	湿っている
			有	A	B	C	湿っている	部分的に結露
鉄板系 サイディング	横胴縁	有	A	A→B→C	C	湿っている	部分的に結露	
		ビルクロス	A	A	A→B→C	変化なし	全面上結露	
		無	A	A→B	B	湿っている	湿っている	
	縦胴縁	有	A	A	A→B	変化なし	部分的に湿っている	
		ビルクロス	A	A	A→B	変化なし	部分的に湿っている	
		有	A	A→B	B	湿っている	湿っている	
ウッドシェイク	横胴縁	有	A	A	A	変化なし	変化なし	
		ビルクロス	A	A	A	変化なし	変化なし	
窯業系 サイディング	横胴縁	構造用 合板	有	A	A	A	変化なし	変化なし
	縦胴縁		有	A	A	A	変化なし	変化なし
	通気胴縁		有	A	B	C	湿っている	部分的に結露
鉄板系 サイディング	横胴縁		有	A	A→B	C	湿っている	部分的に結露
	縦胴縁		有	A	A	A	変化なし	変化なし
	通気胴縁		有	A	A→B	B	湿っている	湿っている
ウッドシェイク	横胴縁	有	A	A	A	変化なし	変化なし	

A : 結露を生じていない B : 下張材表面が湿っている C : 下張材表面に結露が認められる



(下張材：合板) (下張材：シーシングボード i)  
 (破線は、下張材の中空部に面する表面の温度に対して躯体中空部の相対湿度が各々 80,90,100% の場合の露点温度を示す。)

図-4-2-14 (1) 温度分布と露点位置 (外装、防湿層、断熱材なし)

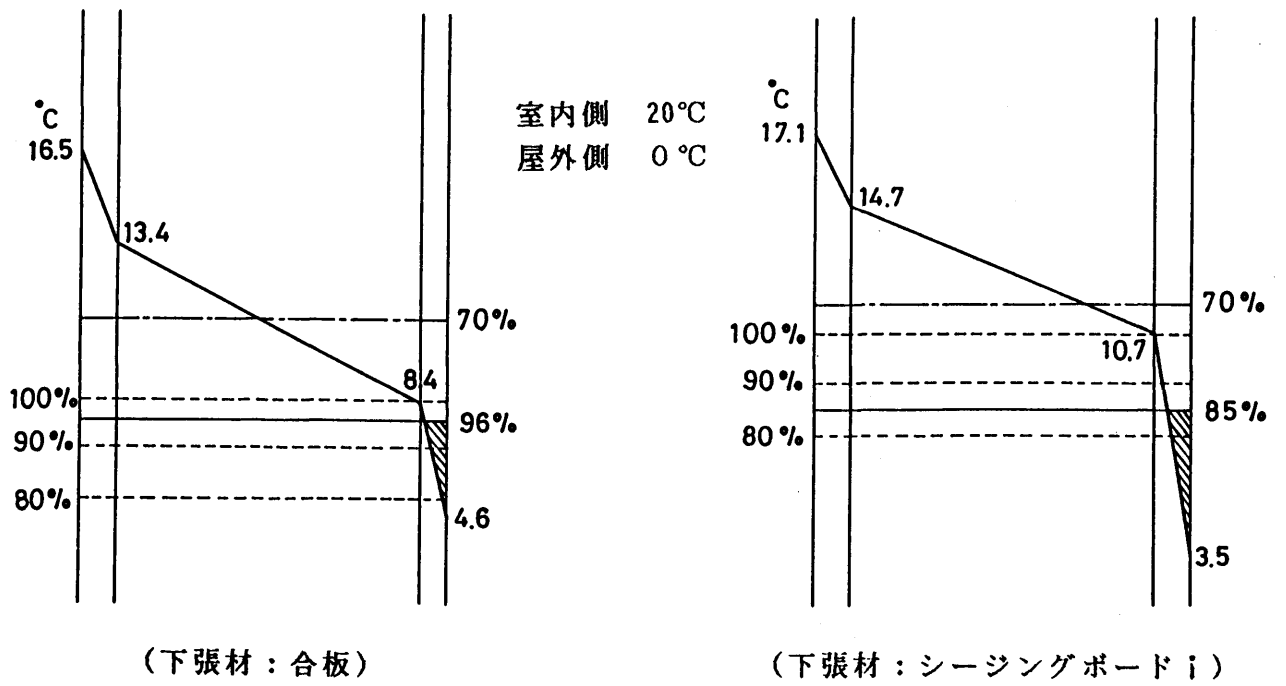
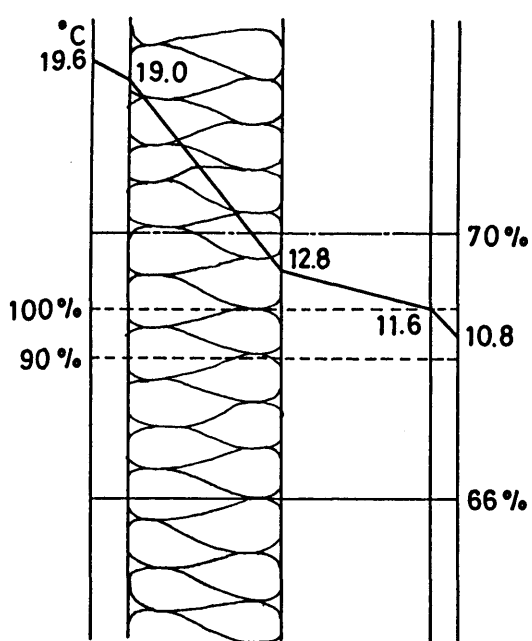
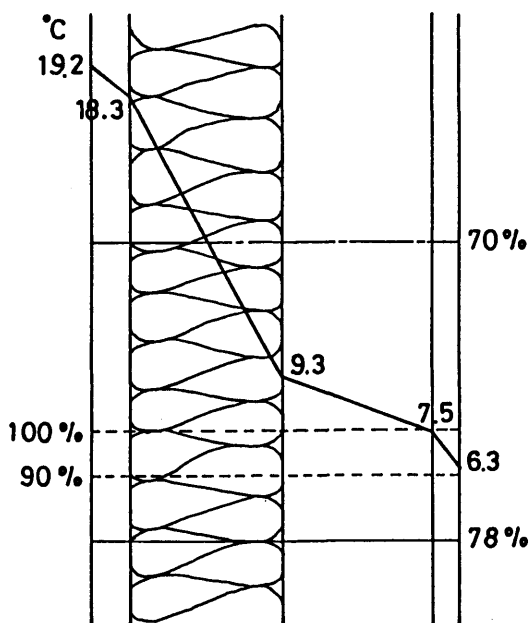
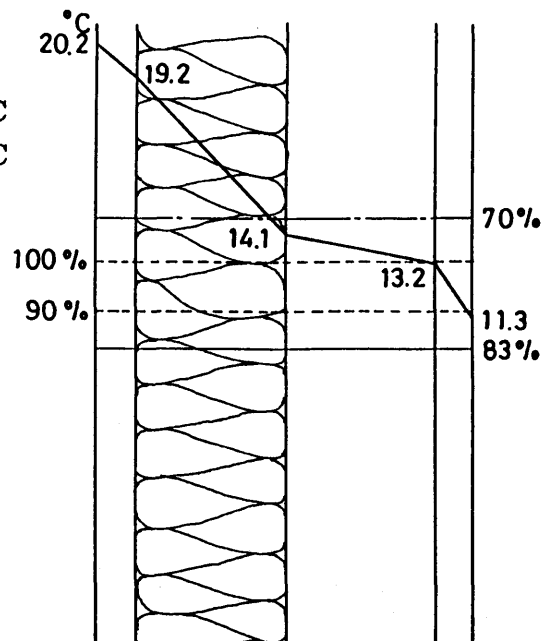


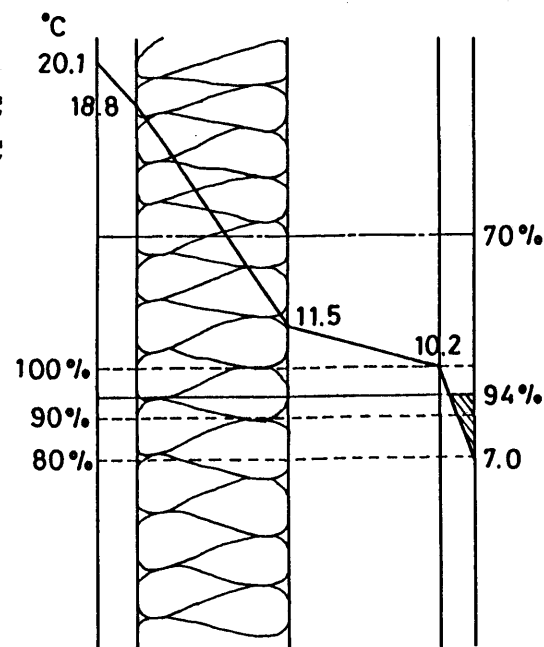
図-4-2-14 (2) 温度分布と露点位置 (外装、防湿層、断熱材なし)



室内側 20°C  
 屋外側 10°C



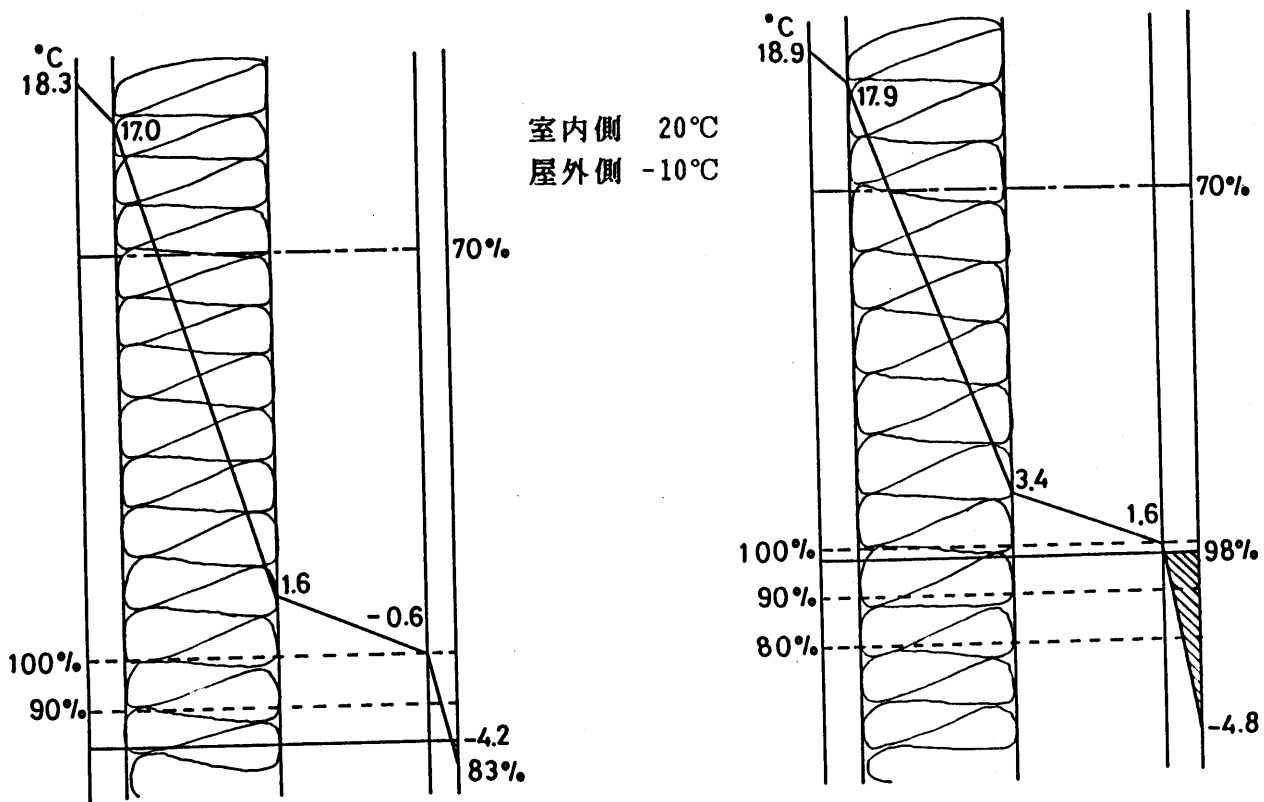
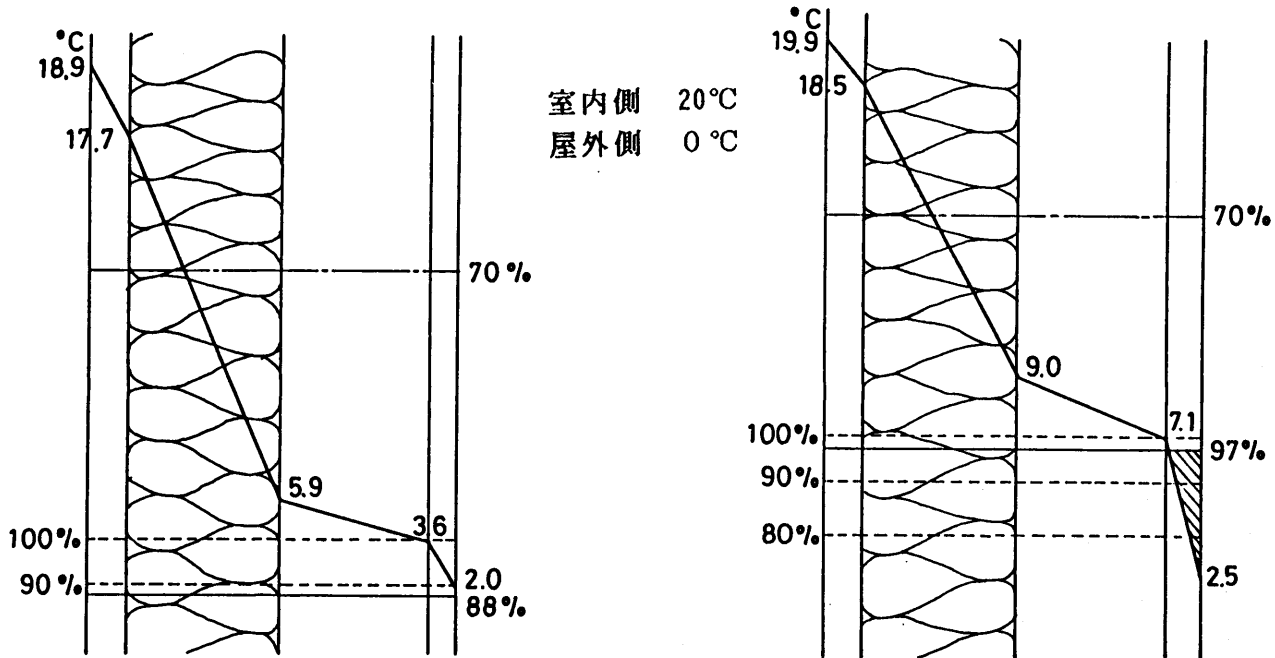
室内側 20°C  
 屋外側 5°C



(下張材：合板)

(下張材：シーシングボード)

図-4-2-15 (1) 温度分布と露点位置 (外装なし、防湿層と断熱材あり)

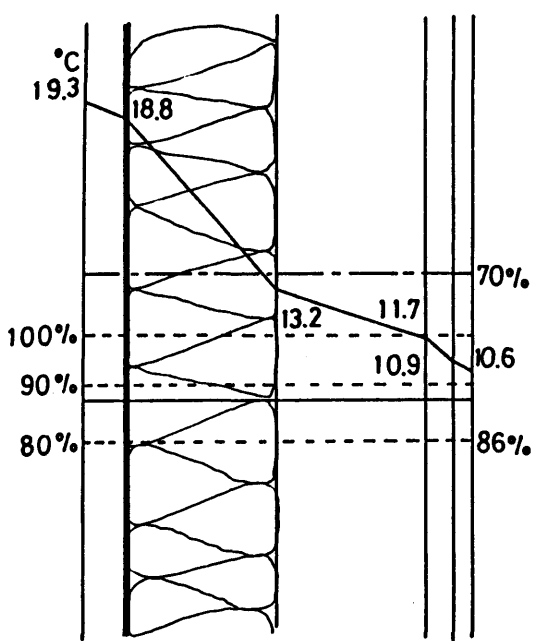


(下張材：合板)

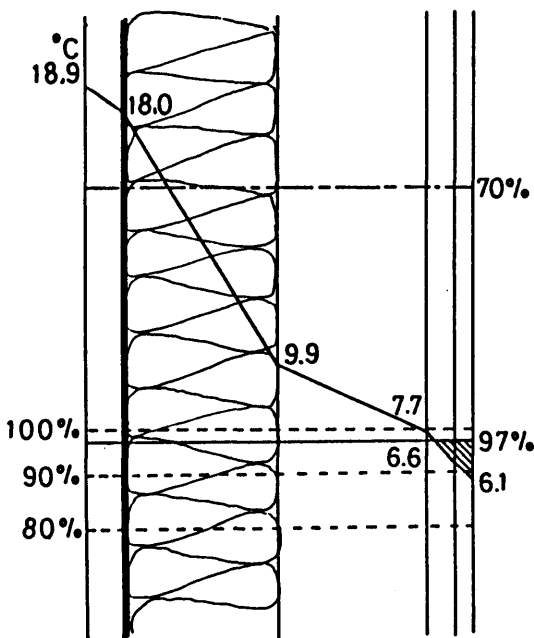
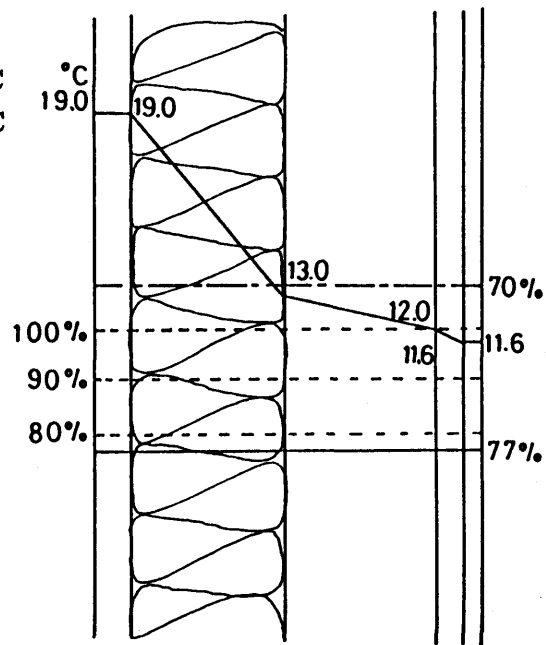
(下張材：シーリングボード i)

図-4-2-15 (2) 温度分布と露点位置 (外装なし、防湿層と断熱材あり)

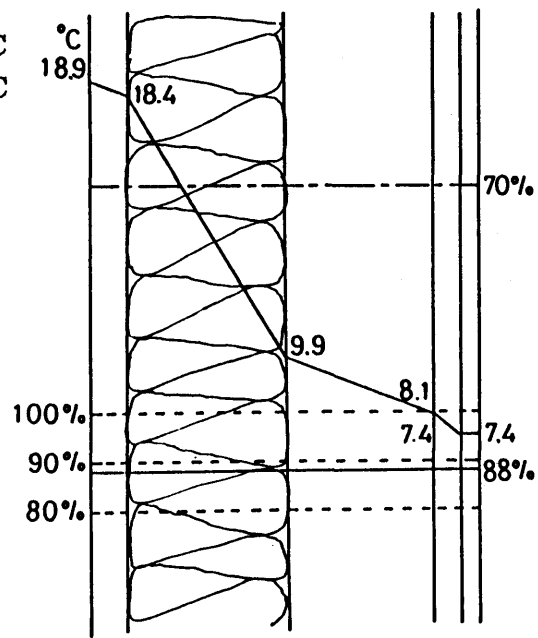




室内側 20°C  
屋外側 10°C



室内側 20°C  
屋外側 5°C



(下張材：合板)

(下張材：合板)

図-4-2-16 (1) 温度分布と露点位置 (外装仕上げ：ハイウォール・スタッコ)

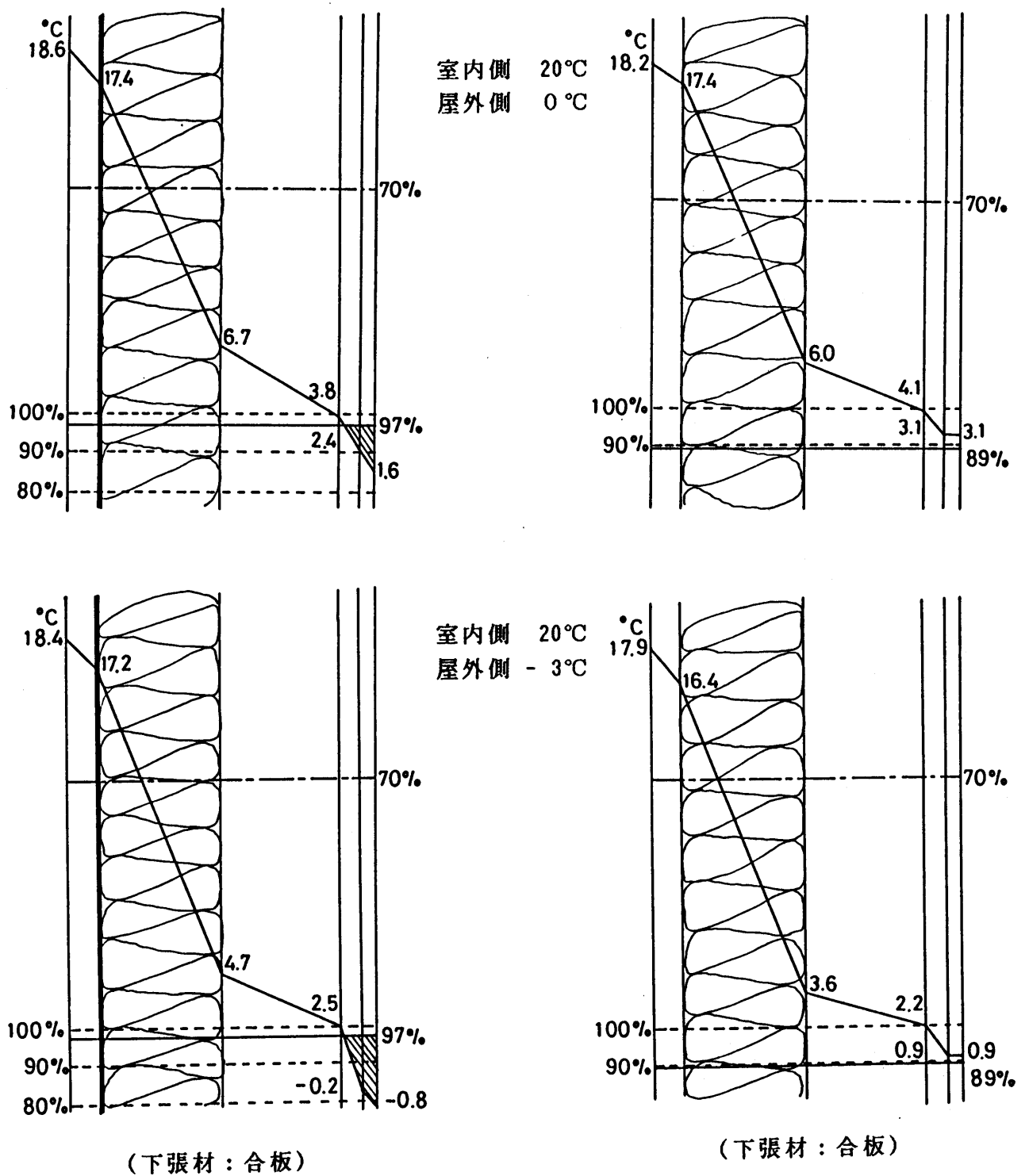
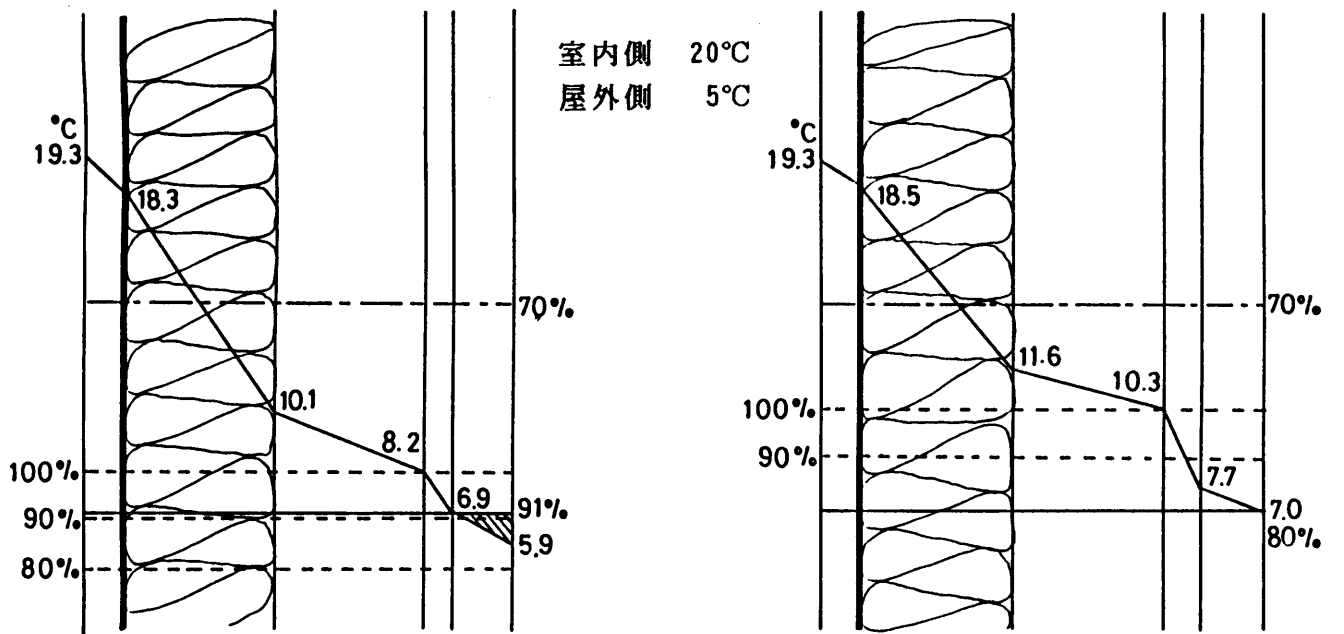
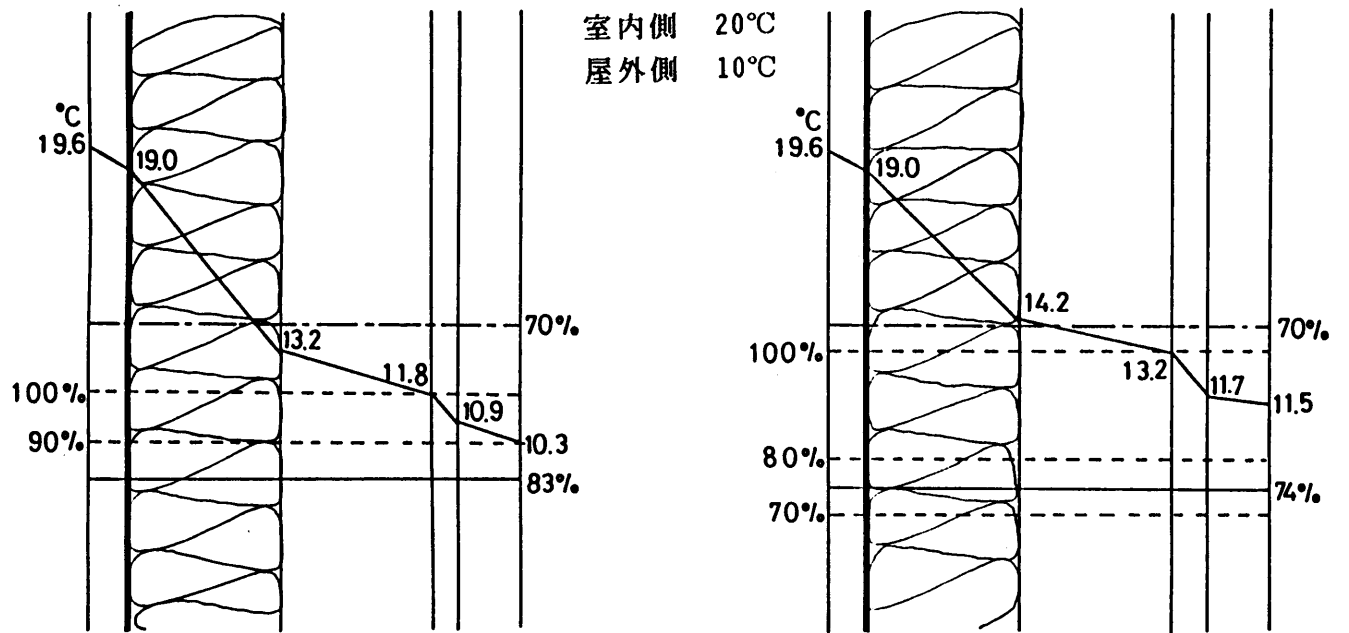


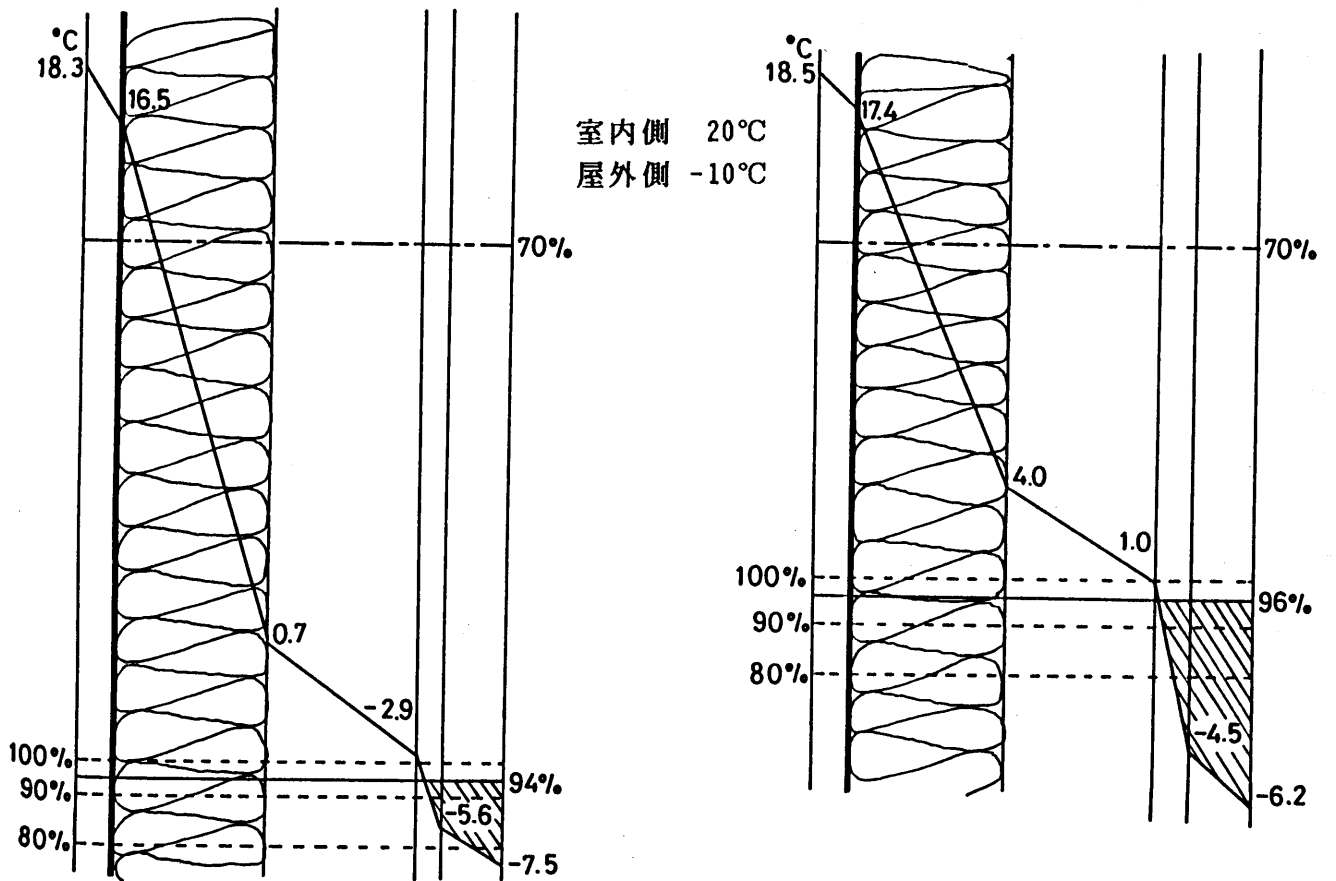
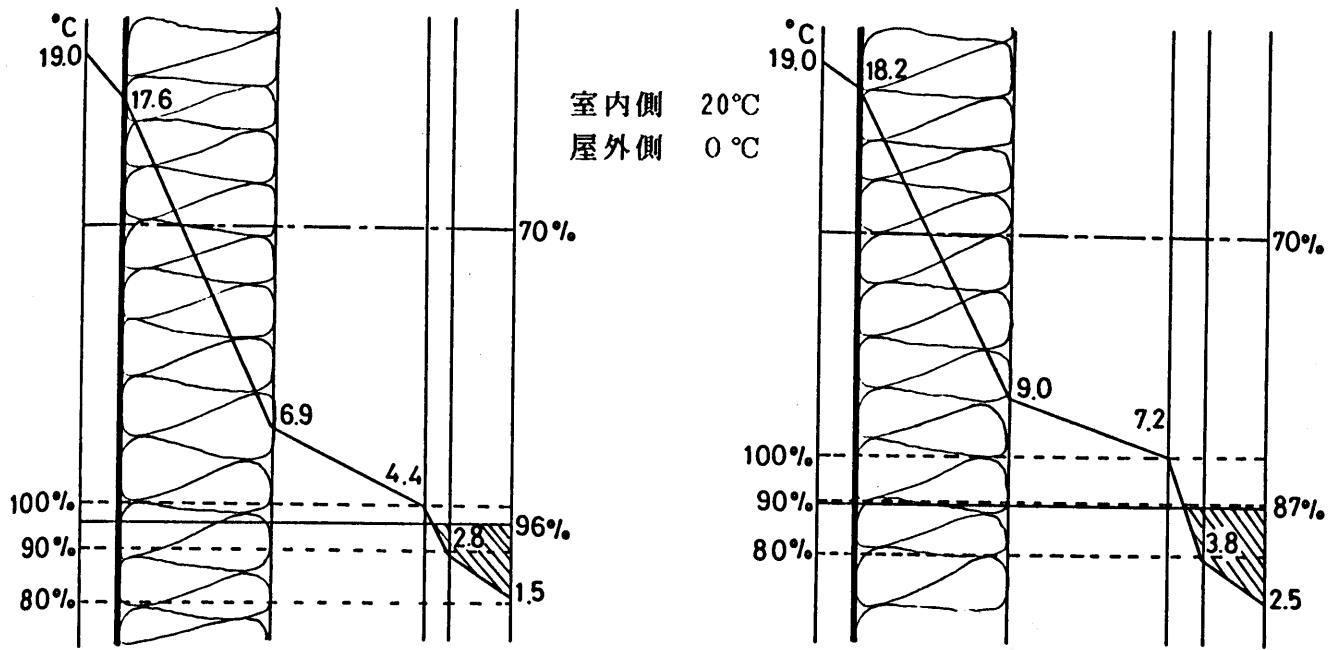
図-4-2-16 (2) 温度分布と露点位置 (外装仕上げ：ハイウォール・スタッコ)



外装下張材：合板

外装下張材：シーシングボード

図-4-2-17 (1) 温度分布と露点位置 (外装仕上げ：ラスモルタル・リシン吹付け)



外装下張材：合板

外装下張材：シーシングボード

図-4-2-17 (2) 温度分布と露点位置 (外装仕上げ：ラスモルタル・リシン吹付け)

### 第3節 壁体内通気による結露性状

壁体内の結露の発生を防止するためには、①防湿層を付加する。②外装仕上げは透湿性の高い材料や工法（乾式工法：サイディング張り）を採用する。③断熱材に貼付されているアルミ蒸着フィルム面を室内側に向けるなど壁体の材料構成を考慮することにより発生を防止できることが前節において明らかとなった。

本節においては、壁体の工法によって結露の発生を防止する措置として、壁体内通気工法をとりあげた。

壁体内通気工法は、壁体に通気孔を設けることにより、そこから外気が通気され、壁体内に侵入した水蒸気を屋外に排出する工法である。この工法に関してはすでに研究がなされているが、その効果については明らかではなく、また現状では、建物の断熱化による断熱材の使用や住い方の変化による影響をも考慮する必要があるため検討することにした。

#### 3-1 試験方法

試験体は、図-4-3-1に示したような形状、寸法のものである。本試験においては、壁体内に冷気流（屋外側空気）を通気しその効果を検討するため、屋外側を想定した下張材に図-4-3-1に示したような通気孔（開口面積：60×210mm）を設けた。

壁体の構成を表-4-3-1に示した。試験体（1）は、断熱材や外装仕上げが施されていない中空パネルである。試験体（2）は、前節において壁内結露の発生が著しい結果となった外装仕上げ（スタッコ仕上げ）を施した壁体であり、この試験体には断熱材（グラスウール：アルミ蒸着フィルム面に穴がけられている）を挿入した。なお、本試験においては、壁体内へ水蒸気を流入させ通気の効果を検討するため、防湿層は付加していない。

試験は、前節と同様の方法で実施した。試験環境は室内側を20℃、65%RH一定とし、屋外側を順次5℃→0℃→-10℃→20℃、65%RHと各々の温度条件毎に一昼夜を基本単位として変化させた。なお、計測項目については前節と同様である。

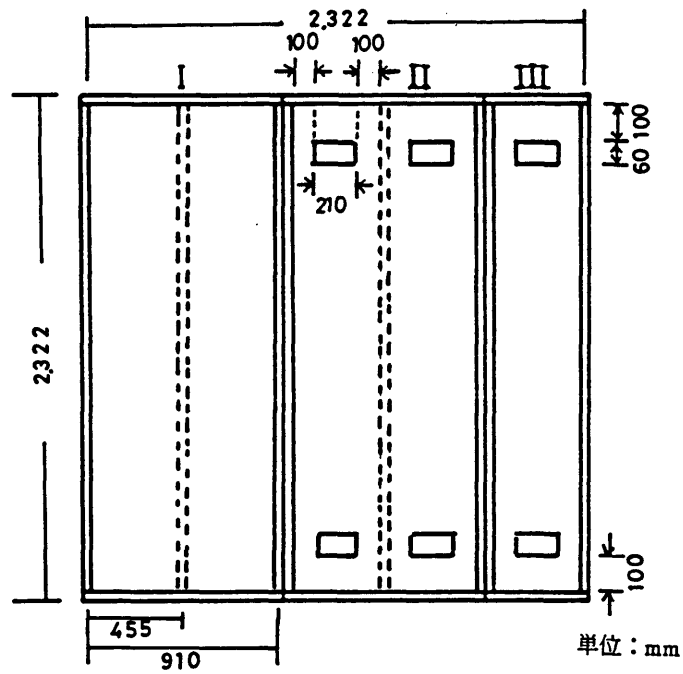


図 - 4 - 3 - 1 試験体略図

表 - 4 - 3 - 1 試験体構成

試験体番号	試験体の構成 (内装仕上げ→外装仕上げ)	
1	I	セッコウボード(12)+中空層(89)+合板(9)
	II	セッコウボード(12)+中空層(89)+合板(9) (-10℃で通気有)
	III	セッコウボード(12)+中空層(89)+合板(9) (通気孔有)
2	I	セッコウボード(12)+断熱材(グラスウール50)+クラフト紙+グラスウール+アルミフィルム)+中空層(39)+合板(9)+スタッコ仕上げ(6)
	II	セッコウボード(12)+断熱材(グラスウール50)+クラフト紙+グラスウール+アルミフィルム)+中空層(39)+合板(9)+スタッコ仕上げ(6) (-10℃で通気有)
	III	セッコウボード(12)+断熱材(グラスウール50)+クラフト紙+グラスウール+アルミフィルム)+中空層(39)+合板(9)+スタッコ仕上げ(6) (通気孔有)

単位: mm

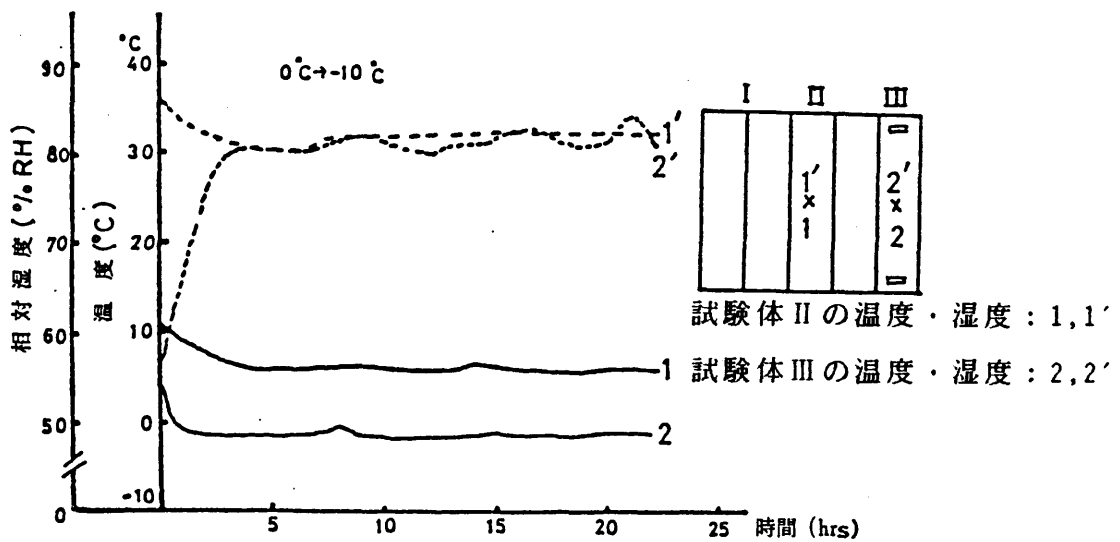


図 - 4 - 3 - 2 壁体内の温湿度変化 (通気孔の有無)

### 3-2 試験結果および考察

外装仕上げや断熱材が施されていない壁体（試験体1）における壁体内の温湿度の変化について、屋外温度を $0^{\circ}\text{C} \rightarrow -10^{\circ}\text{C}$ へ降下させた場合の通気孔（開口面積： $60 \times 210\text{mm}$ ）の有無による違いを図-4-3-2に、また屋外温度が $-10^{\circ}\text{C}$ において、通気孔のなかった壁体（試験体1-II）に通気孔（開口面積 1/2： $60 \times 105\text{mm}$ ）を設けた場合を図-4-3-3に、さらに通気孔を設けたままで、屋外温度を $-10^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ へ上昇させた場合を図-4-3-4にそれぞれ示した。

次に、外装仕上げや断熱材が施された壁体（試験体2）における壁体内の温湿度の変化について、屋外温度が $-10^{\circ}\text{C}$ で通気孔を設けた場合と、試験当初より通気孔を有する壁体の違いを図-4-3-5に示した。また、それぞれの壁体の各屋外温度段階における壁内結露の発生状況を表-4-3-2に示した。

これらの結果より、次のようなことが認められた。

外装仕上げや断熱材が施されていない中空パネル（試験体1）では、屋外温度が $-10^{\circ}\text{C}$ の場合、通気孔の有無によらず、壁内の相対湿度は高い値を示し、温度は通気孔を有する方（試験体1-III）が、通気孔の無い壁体（試験体1-II）と比べ冷気流が壁体内に流入するため低くなる傾向が認められた。

次に屋外温度 $-10^{\circ}\text{C}$ において、通気孔の無かった壁体（試験体1-II）に通気孔（開口面積 1/2： $60 \times 105\text{mm}$ ）を設けると、壁体内の温度が降下するにもかかわらず壁内の相対湿度は、通気孔の無い場合よりも低くなり、通気孔の面積を1/2に減じたために冷気流の壁体内への流入が半減し、試験体（1-III）の場合は、図-4-3-2の場合よりも図-4-3-3に示した方が壁体内の温度は高くなり、湿度も増加する傾向が認められた。

通気孔の面積を1/2にした状態で、屋外温度を $-10^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ へ上昇させた場合、通気孔を有する壁体（試験体1-II）は、無いもの（試験体1-I）に比べ、相対湿度の低下が著しい傾向が認められた。

このことは、通気孔を設けることにより壁体内の水蒸気が屋外へ排出されていることを示すものであり、既往の研究結果と一致した。また壁内結露の発生状況からみても、通気孔を有する壁体は結露の発生が少ないことが認められた。しかし、通気孔を有する壁体は、石膏ボードをかいして冷気流と直接接することになるため、石膏ボードの屋内側表面における結露（表面結露）の発生が著しく、石膏ボード用釘の頭に錆を生じていた。

外装仕上げや断熱材が施された試験体（2）については、屋外温度が $-10^{\circ}\text{C}$ の時点で、  
 通気孔を設けても壁体の温湿度は通気孔のない時点と比べほとんど差異は認められず、  
 壁内の結露発生状況をもても実際の壁体の仕様に近い状態では通気孔の効果は明らかで  
 はなかった。また、中空パネルにみられた石膏ボード表面の結露は観察されなかった。  
 このことは、試験中および終了後に実施した壁内観察の結果、通気孔を有する壁体内の  
 断熱材がかなり濡れていたことから推測できた。

以上のような結果より、壁体内に冷気流（外気）を直接通気することは、外装仕上げ  
 や断熱材が施されていない中空パネルでは効果のあることが明らかとなったが、実際の  
 壁体の仕様に近い状態では、壁体内での湿気の滞留を防ぐ効果は認められず、逆に壁体  
 内の結露の発生を誘発する可能性のあることが明らかとなった。

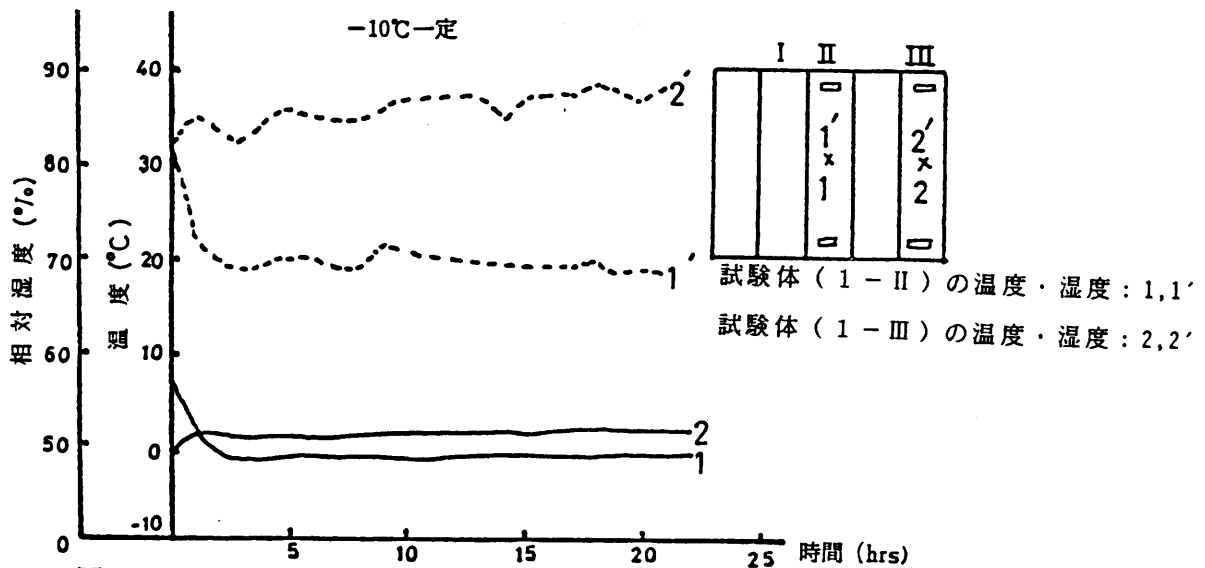


図 - 4 - 3 - 3 壁体内の温湿度変化（通気孔有：開口面積1/2）

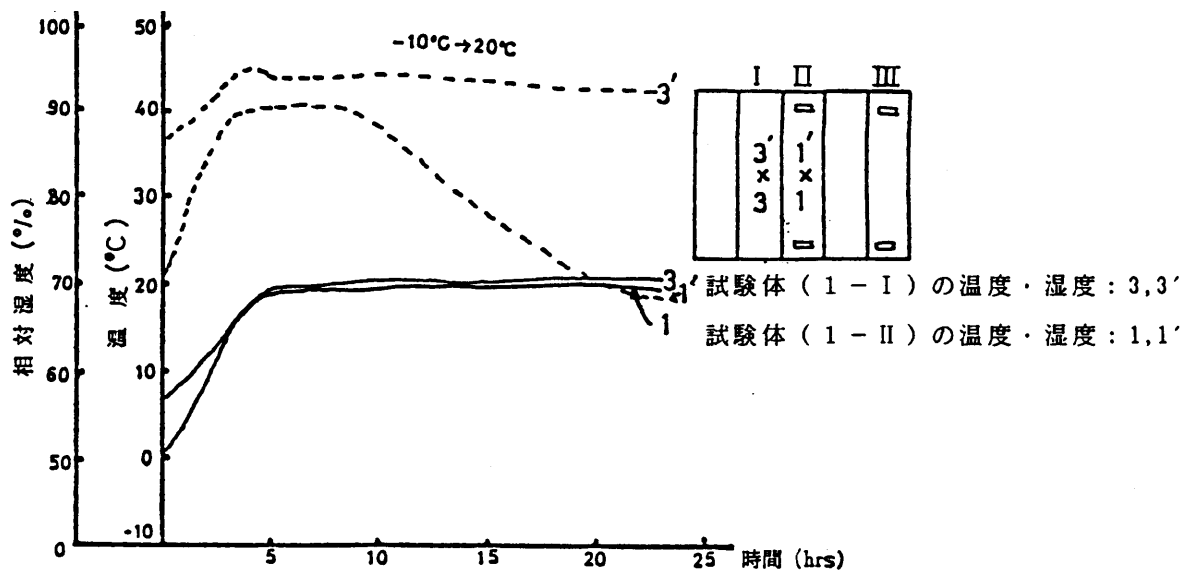


図 - 4 - 3 - 4 壁体内の温湿度変化（通気孔有：開口面積1/2，無）



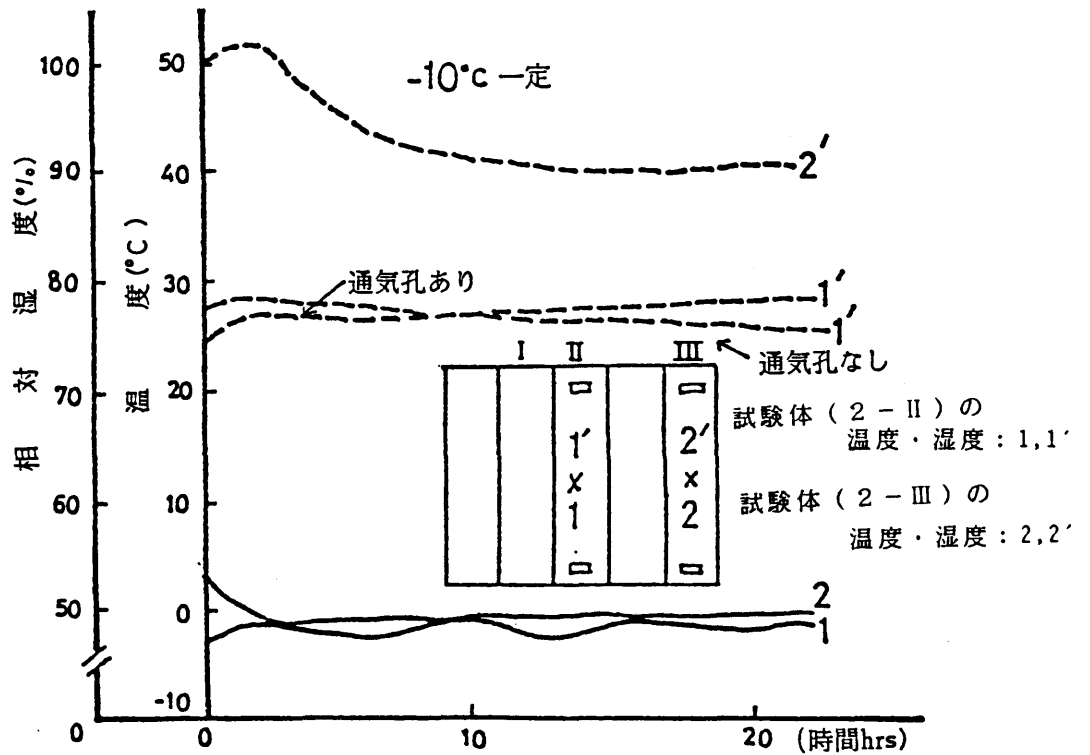


図 - 4 - 3 - 5 壁体内の温湿度変化 (断熱材, 外装仕上げ有)

表 - 4 - 3 - 2 結露の発生状態のまとめ

試験体番号*		屋外温度変化による結露発生状態					
		20°C一定	20°C→5°C	5°C→0°C	0°C→-10°C	-10°C一定	-10°C→20°C
1	I	A	A→B→C	C	C	C	C→B
	II	A	A→B→C	C	C	C→B	B
	III	A	A	A	A	A→C	C→B
2	I	A	A	C	B	B	B→C→B
	II	A	A	A→C	C→B	B	C
	III	A	A	A	C	B	C

注)

A: 結露を生じていない B: 下張材表面が湿っている C: 下張材表面に結露が認められる

\*: 試験体番号は表 - 4 - 3 - 1 を参照

#### 第4節 本章のまとめ

木質構造における壁部材の長期耐力性能をみた場合、構造耐力の低下が重要となるが、それを生ずる原因として、壁部材の構成材料である木材や木質材料の生物(的)劣化や釘接合部の耐力低下が考えられる。このような耐力の低下を生ずる要因には、建物の外部からの湿分と内部からの湿分の影響が考えられる。外部からの湿分についてみると、外装材の亀裂からの雨水の侵入等があげられる。一方、建物内部からの湿分については、断熱工法の採用によって発生が危惧されている壁体内での結露の問題があげられる。

これらの要因の中でも雨水の侵入に対しては、適正な雨仕舞を施すことで対処できるであろうが、壁体内の結露に関しては、壁体の構法(材料構成、気密性、施工性)や暖房器具等の変化(室内の水蒸気を多発させる場合がある)による住い方の差異など個々の建物固有の条件が考えられ、それらが複雑にからみあっている。さらに、個々の建物固有の条件の他に、建物が建設されている地域の気象条件とも関連する。

一方、壁体内の結露に関しては、計算でも確認し得ることになっているが、現状において結露問題が顕在化していることをみると、必ずしもそうとは言えない面もある。また、既往の研究においても、壁体の材料構成とくに室内からの水蒸気を遮断する防湿層と外部へ水蒸気を排出するための外装下張り材や外装仕上げ材料などの透湿性や壁体の工法および通気性、さらに施工性等については、未だ明らかになっていない点が多い。

そこで、本章では、結露(水)を取り上げ、現状で考え得る一般的な壁体について、モデル環境条件下での壁体内の結露試験を実施し、その現象を明らかにするとともに、壁部材の長期耐力性能を評価する際に考慮されるべき結露と壁体の仕様について検討した。

本章で得られた結果を要約すると次のようになる。

##### (1) 中空パネルにおける防湿および下張り材の吸湿について

壁体内の結露を防止するためには、室内からの水蒸気を壁内に透湿させないための防湿層の施工および壁内に流入した水蒸気を壁体外へ排出するために外装下張り材や仕上げ材料の透湿性が重要となると考えられるため、壁体内の結露発生に影響を及ぼす要因の中で防湿層および外装下張り材の吸湿性の効果について、中空パネルを用いて検討した結果、壁内結露を誘発する壁内の湿度上昇を防ぐためには、防湿層を設けることまた外装下張り材料には吸湿性の高い材料を用い、さらに外装仕上げには透湿性の高い材料を用いることが有効であることが明らかとなった。

##### (2) 壁体の材料構成の違いによる結露性状

壁体の材料構成とく外装下張り材や外装仕上げ材料、防湿層など壁体構成材料の組合せの違いや断熱材の施工性の違いが壁内の結露発生に及ぼす影響を、実大の枠組壁工法による壁体を用いてモデル環境条件下で結露試験を実施し、次の点を明らかにした。

断熱材であるグラスウールを包むアルミ蒸着フィルムやクラフト紙の高温（室内）側への配置と透湿抵抗の差異が、断熱材中の結露水の発生、滞留に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。

防湿層の効果は、本実験の範囲内では必ずしも明確ではなかったが、断熱材を包むアルミ蒸着フィルムとの差異は、外装仕上げがラスモルタル塗りの場合に、防湿層が有る場合と防湿層の代わりに壁紙を用いた場合との結露発生状況から若干認められた。しかし、断熱材中で露点に達した試験体において、多量の結露水が認められなかったことや上記した中空パネルでの試験結果からもポリエチレンシートの付加は有利であることが明らかとなった。この点については、既往の文献からも認められることである。

防湿層の効果的な挿入位置については、室内側（高温側）に設けると壁内への水蒸気の遮断に効果的であることが明らかとなった。

外装仕上げ材料の影響については、外装仕上げ材料の種類と厚さおよび工法などが、壁内結露の発生に及ぼす影響の大きいことが明らかとなった。とくに、ラスモルタル塗りのような湿式工法とサイディング張りのような乾式工法における結露の発生状況の差異は明らかであり、サイディング張りのような乾式工法の場合は、湿式工法に比べ下張り材の種類に関係なく、壁内結露の発生はほとんど認められず、結露に対しては有効な工法であることが明らかとなった。

下張り材における結露の可能性については、屋外温度が10℃の場合、いずれの試験体においても下張り材中で結露を発生するような露点に達することは少なく、屋外温度が5℃以下では、外装仕上げや断熱材のない場合に下張り材中で露点温度に達する可能性が高いことが明らかとなった。また、外装仕上げがなく、断熱材が挿入されている場合は、下張り材が合板の場合には、中空部との境界に生ずる恐れのある結露水を吸着・吸水あるいは移動するのに有利であるため結露を生じにくく、シーリングボードの場合には、屋外温度5℃でシーリングボード内部で露点に達する可能性があることが明らかとなった。

外装仕上げがスタッコ仕上げで断熱材が挿入されている場合は、中空部において露点に達していることやスタッコ仕上げの透湿性が低いことから合板下張り材内部で

の結露が発生しやすいことが明らかとなった。さらに、ラスモルタル塗りで断熱材が挿入されている場合は、屋外温度5℃までは結露の可能性は少ないが、0℃ではその可能性が認められ、シーリングボードの方が合板より低い湿度で結露を生ずることが明らかとなった。

### (3) 壁体内通気による結露性状

壁体の工法によって壁内結露の発生を防止する措置として、壁体に通気孔を設けることにより、そこから外気が通気され、壁体内に侵入した水蒸気を屋外に排出する壁体内通気工法が考えられ、この工法についてモデル環境条件下での結露試験を実施した結果、壁体内に冷気流（外気）を直接通気することは、外装仕上げや断熱材が施されていない中空パネルでは効果があるが、実際の壁体の仕様に近い状態では、壁体内での湿気の滞留を防ぐ効果は認められず、逆に壁体内の結露の発生を誘発する可能性のあることが明らかとなった。

### (4) 木質構造における壁部材の長期耐力性能評価と壁内結露との関係

壁部材の壁内結露に関する試験結果から、壁体の材料構成とくに室内からの水蒸気を遮断する防湿層と外部へ水蒸気を排出するための外装下張り材や外装仕上げ材料などの透湿性や壁体の工法および通気性、施工性さらに屋外温度条件（建物の建設地域の環境条件）等の組合せが適切でない場合は壁内結露を生じ、それによって壁部材を構成している材料の含水率を増加させ、生物（的）劣化や釘接合部の耐力低減を誘発する可能性のあることが明らかとなった。したがって、壁部材の長期耐力性能を評価する際には、壁体仕様の違いによる壁内結露発生の可能性について検討する必要があるものと考えられる。なお、本研究の結果から得られた壁内結露防止策としては、①内装下張り材の裏面に防湿層（ポリエチレンシート：厚さ0.1mm）を付加する。②外装仕上げは透湿性の高い材料や工法（乾式工法：サイディング張り）を採用する。③断熱材に貼付されているアルミ蒸着フィルム面を室内側に向けてるなどを考慮することなどが考えられる。

## 第5章 木質構造における釘接合部の長期使用時の性状

木質構造における接合は、釘、金物と接着剤によるものに大別されるが、現場的な用途についてみると、釘接合は極めて簡便であり応用範囲は広く、構造耐力上重要な要素となっている。また、木質構造の長期耐力性能をみた場合、その構成材料である木材・木質材料などとともに釘接合部の長期耐力性能は主要な項目となる。

しかし現状では、釘接合部の長期耐力性能に関連した釘の腐食、釘接合部のせん断クリーブ特性や繰返し荷重下における特性に関する研究は、木質材料や釘接合の多様化に対応できるほどのデータ等の蓄積はない。したがって、釘接合部の特異性と長期耐力性能評価に関する基本的な体系も整備されていない。

そこで、本章では長期使用における釘接合部の性状を明らかにした上で、釘接合部の長期耐力性能に関する基本的な考え方について検討した。

### 第1節 釘の腐食実態

釘接合部に用いられている釘の腐食に関する既往の調査によると、釘の腐食が著しいのは、建物の各部位の中でも湿気（水蒸気・水分）が多く常時高湿度状態にある床組であり、その部位における釘は、釘頭に錆を発生しかつ釘径の減少をきたし、使用に耐えないものが多いと報告されている<sup>50)~56)</sup>。

ここでは、第2節において釘接合部に用いられている釘の腐食機構を解明するための基礎的な資料を得る目的で、在来軸組構法による住宅の床組における釘接合部に関する実態を調査することにした。

#### 1-1 建物の概要および調査方法

調査の対象とした住宅は、昭和27年に横浜の瀬谷区に建設された在来軸組構法による平家で戸建の市営住宅であり、調査時点で30年経過した建物であった。

本調査は、市営住宅の解体時に実施したものであり、調査時点では、居住者はすでに転居していた。建物は、外壁が南京下見板張りで、内壁は、セッコウボードあるいは合板に塗装仕上げ（真壁仕様）、屋根はセメント瓦葺きであった。また、建設年度が昭和27年ということから、床面積（36㎡）も小さく浴室もないことから、居住者が居室や浴

室を増築し、さらに外部開口部の建具をアルミサッシに取り替えている例がほとんどであった。なお、建物の適切な維持管理が実施されていたという形跡はあまり認められなかった。

調査方法は、図-5-1-1に示した建物A、Bの図中○印で示した位置から、床下地板と根太および釘からなる接合部を採取し、それらを持ち帰った上で、接合部のソフトX線撮影による釘の腐食状況の観察、さらに、接合部を構成している木材を分割して釘を取り出し、それらをクエン酸第2アンモニウムの5%水溶液中で30分間煮沸し、錆を落とした後、水洗、乾燥を行い釘径と重量減少量を計測した。なお調査時点に、建物Bにおける接合部採取位置の床下に、建設当時大工が置き忘れたと思われる釘箱を発見したため、それらの釘についても釘径と重量減少量を計測した。

釘径の計測方法は、釘の首部、胴部、先端部および減少部(図-5-1-2参照)を1/1000mm精度マイクロメーターで計測した。また重量は、精度1/10000gの化学天秤を用いて計測した。

## 1-2 調査結果および考察

表-5-1-1に採取した釘の種類および本数について示した。

これらの釘について、ソフトX線で観察した結果は、写真-5-1-1また図-5-1-2の模式図に示したように、錆は釘の先端および主材(根太)と側材(床下張材)の境界面において多く発生し、それらは木材の繊維方向に沿ってしみ込んでいることが認められた。また釘径の減少は、主材と側材の境界において著しく、径の細い釘(N38、

N25)では破断しているものも認められた。  
50)~56)

これらの結果は、従来の釘の腐食調査結果と一致した結果であった。このような腐食形態を示す理由として、接合部に用いられていた釘の腐食は、水分と空気(酸素)が共存することにより、通気差電池<sup>127)</sup>が形成されるために発生するものと考えられる。

すなわち、建物が使用されている間に、材料の乾燥収縮や歩行によって床下張材と根太の間に生じた隙間に、床下環境条件(高湿度状態)から供給された水分が停滞しさらに空気中の酸素が作用することにより、境界面部分の釘がカソード(正極)となり、逆に床下張材や根太に打ち込まれた部分がアノード(負極)となるため、境界面における釘の腐食が他の部位に比べ著しくなったものと考えられる。

図-5-1-3に床下地板と根太の接合部に使用されていた釘の釘径および重量の変化を示した。なお、変化を求める際には、採取した釘の健全時(初期)の釘径および重

量を知る必要があるが、本調査においては、これらが不明であるため、採取した釘と同種の JIS規格釘の釘径および重量を計測し、それらの値を初期値とした。

計測結果より釘や接合部の置かれていた環境条件が同じであっても、木材中に打ち込まれていた釘の釘径および重量の減少量は、床下に放置されていた釘の減少量より多く、木材の含水率が釘の腐食に与える影響の大きいことが明らかとなった。

なお、調査時点における床下張材（スギ板）の平均含水率は25%、根太の平均含水率は28%とかなり高い含水率状態であった。

また、図において釘径および重量の減少量が対応せず重量の減少が著しい結果となっているが、このことは釘径の計測の際に、釘の胴部に存在する微小な孔食（局所的な腐食）による穴までマイクロメーターでは計測できなかったためと考えられる。

また、当然のことながら、経過年数が短い増築部における釘の釘径および重量の減少量は、既存部分の釘よりも少ないことが認められた。

以上のように、在来軸組構法による住宅の床組における床下地板と根太との釘接合部の実態調査結果から、接合部に用いられていた釘の腐食による釘径や重量の減少量は、釘そのものが単体で釘接合部と同じ環境条件下におかれていた場合よりも著しく、被接合材料である木材等の含水率変化（床下環境条件による部材の高含水率化）が、釘の腐食に影響を与える大きな要因であることが明らかとなった。

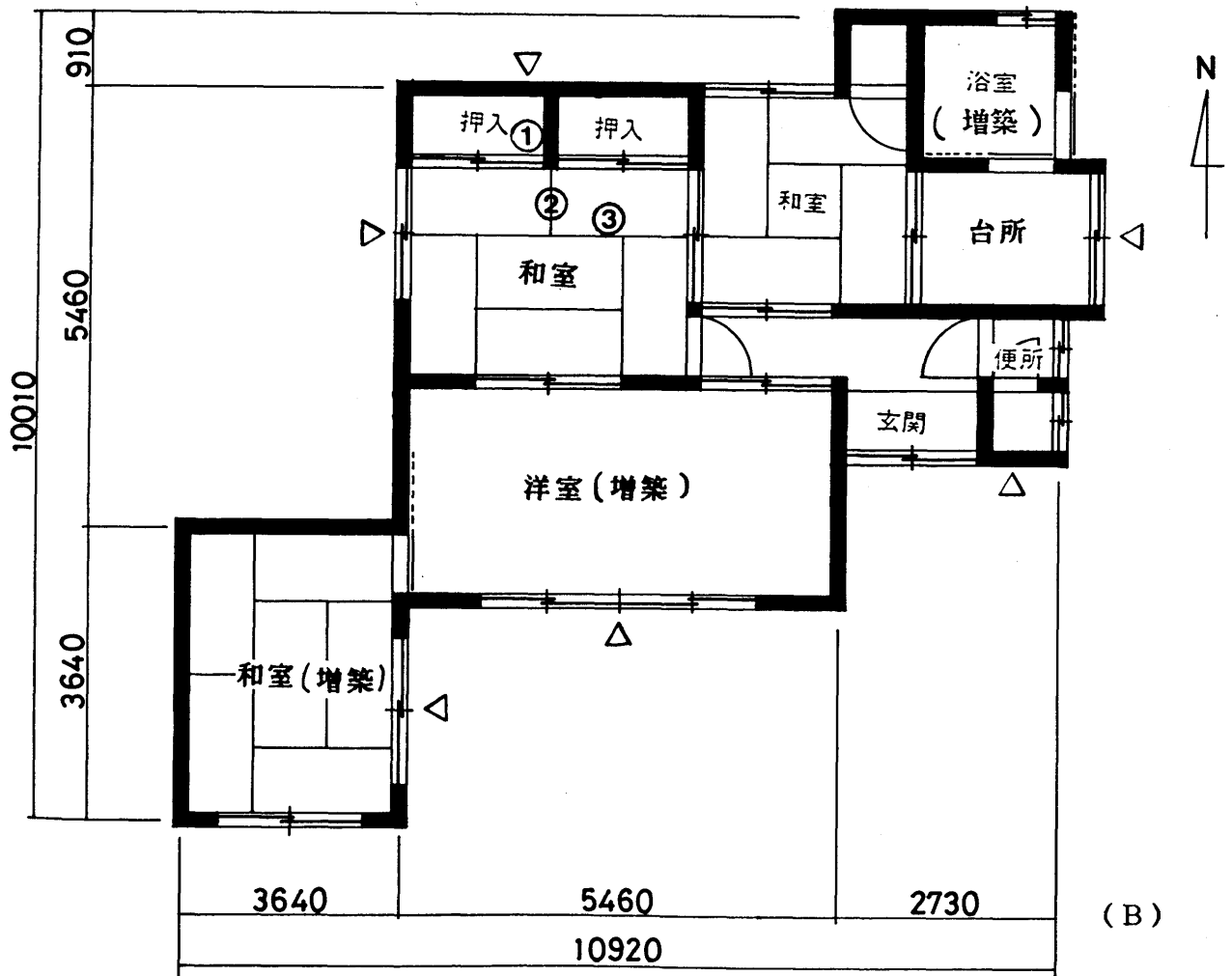
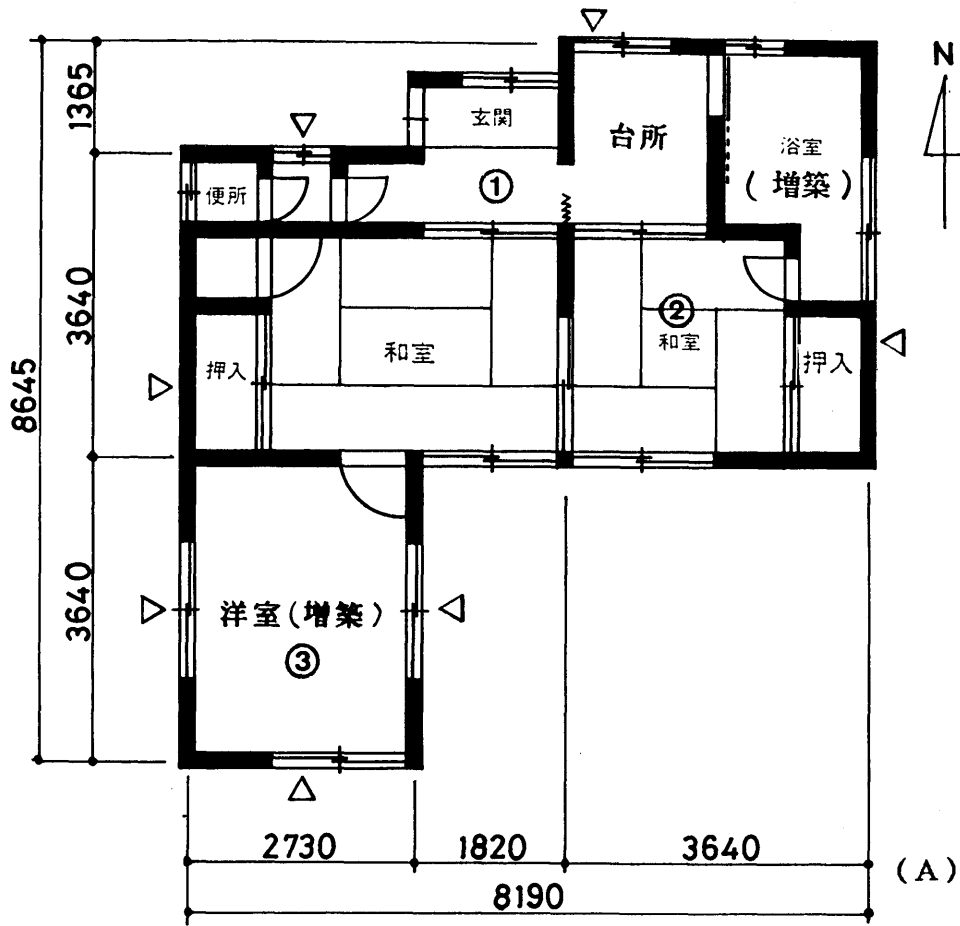


図 - 5 - 1 - 1

建物 A・B の平面図 (1階部分)

△：換気孔の位置



表-5-1-1 採取した接合部の構成および釘の種類・本数

建 物	採取位置	釘		主 材 厚	側 材 厚		
		種類	本数				
A	1	N-75	7	4.6 mm	1.6 mm		
	2	N-65		4.8 mm	1.3 mm		
	3	N-50		3.7 mm	1.5 mm		
B	1	N-25		20	4.3 mm	1.0 mm	
	2	N-38			4.6 mm	1.4 mm	
	3	N-25			9		
		N-38			17		
		N-50	17				
		N-65	3				

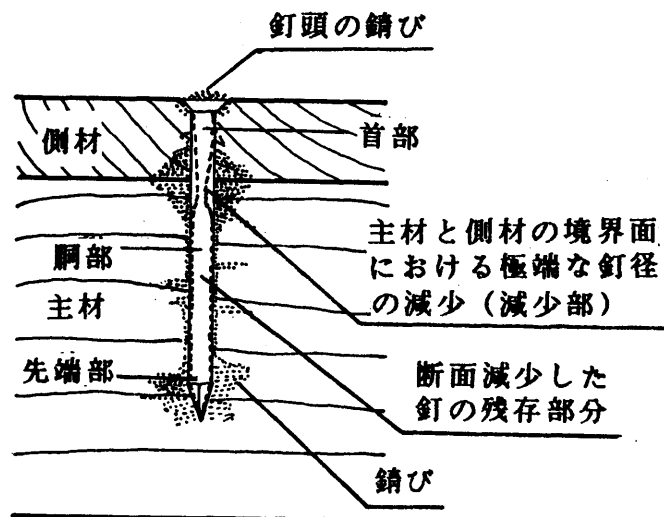
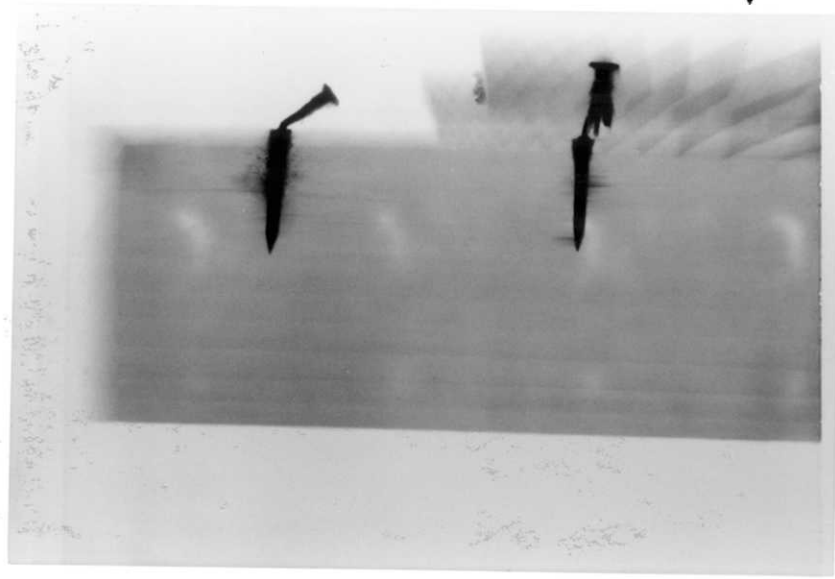
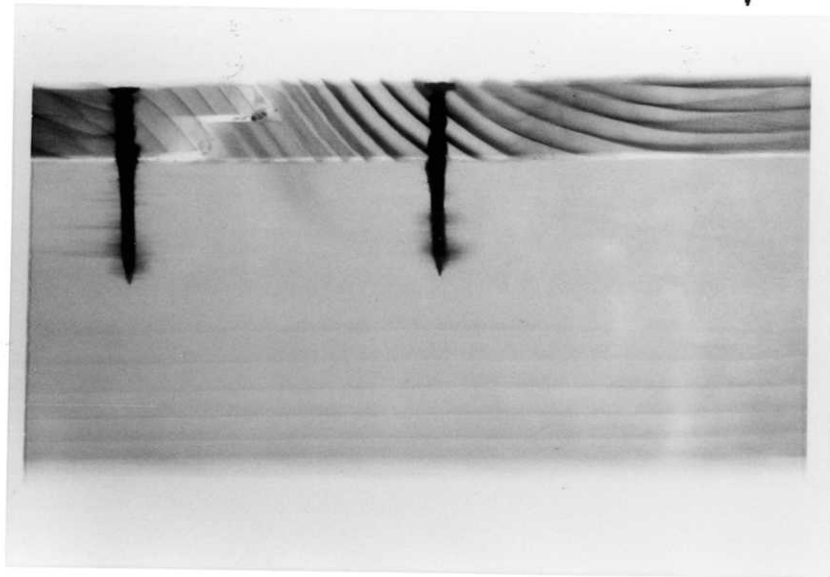


図-5-1-2 ソフトX線による釘径の観察結果



(a) 腐食による接合面での釘の折損状況



(b) 釘の腐食状況

写真-5-1-1 ソフトX線による観察 (床板と根太との接合)



## 第2節 釘接合部における釘の腐食と耐力

第1節における釘接合部の実態調査の結果、環境条件が高湿度状態である床組における床下張材と根太との接合に用いられていた釘が、床下張材と根太との接合面において、腐食による釘径の著しい減少が認められた。

そこで本節においては、釘接合部の長期耐力性能に影響を与える釘の腐食の発生機構とそれによる耐力の変化について、実験的に検討した。

### 2-1 釘径の減少

前節において、釘の腐食を誘発する要因は、釘接合部を構成している木材等の被接合材料の含水率状態であり、それには釘接合部が置かれている環境条件とくに、湿度（水分）の影響が著しいことが認められた。

ここでは、実態調査で認められたことが妥当かどうかを実験的に明らかにし、釘の錆発生機構について検討した。

#### 2-1-1 試験方法

試験体は、図-5-2-1に示したような形状寸法のものである。使用した材料は、主材に枠組壁工法用製材（呼称 204材：Hem-Fir）の気乾材および湿潤材（18ヶ月間水中養生した材含水率：145%）、側材にはスギ板（厚さ12mm）、構造用合板（厚さ12mm）、パーティクルボード（フェノール樹脂接着剤使用のPボード、厚さ12mm）を使用した。接合に使用した釘は、CN50、N50、N32の3種類であり、それらはアセトンで表面の油分等を除去した後に使用した。

試験は、恒温恒湿室（20℃、約65%RH）内に、図-5-2-2に示したような水を入れ密閉した水槽（槽内環境：20℃、約95%RH）を設置し、この中で試験体を養生した。さらに一定期間毎に、釘径の変化および主材・側材の含水率変化を計測した。

釘径の変化は、図-5-2-1に示したようにソフトX線を矢印の方向から照射して写真撮影を行い、その写真をもとに図-5-2-3に示した釘の各部位における径を計測した。なお、X線撮影に際しては、ソフトX線の2次電圧を50KVp、管球電流を3mA一定として1分間照射した。

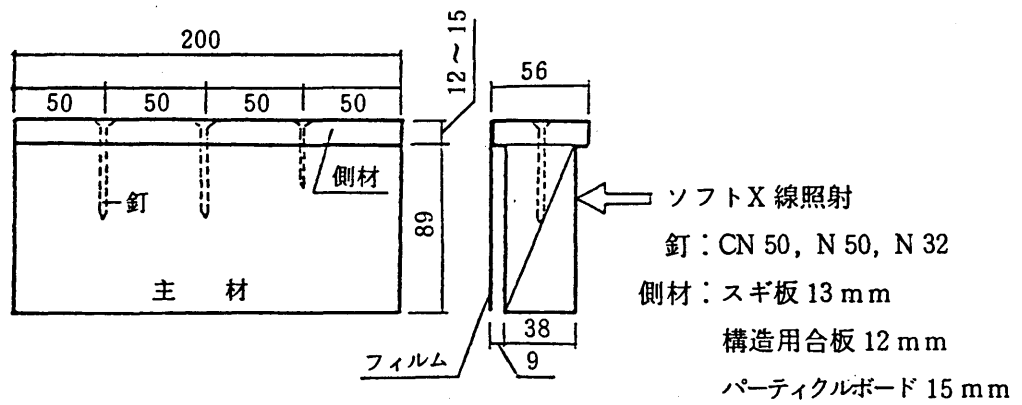


図-5-2-1 試験体

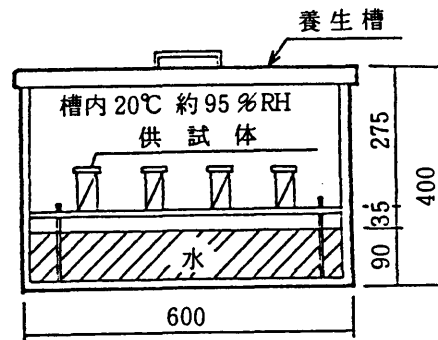


図-5-2-2 試験体の養生

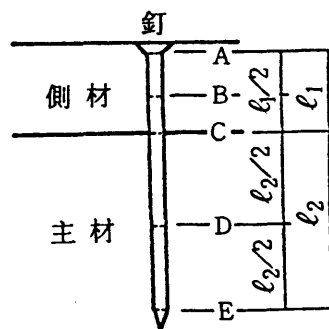


図-5-2-3 釘径測定位置

## 2-1-2 試験結果および考察

### (1) 釘接合部のソフトX線による観察

釘接合部のソフトX線による撮影結果の一例として、写真-5-2-1に主材（湿潤材）と側材（パーティクルボード）をCN50釘で接合した接合部の試験前（イニシャル）、6ヶ月および18ヶ月目における錆の発生状況を示した。

これより、釘の首部主材と側材の接合面付近および主材内において時間の経過とともに錆が発生し、その錆が、主材および側材に浸み込んでいる様子が認められた。このような釘の腐食形態は、前節における釘接合部の実態調査から得られた結果とほぼ一致していた。

また、側材が吸湿性の高いパーティクルボードの場合、養生前においては、ボードと同一面にあった釘頭が、時間の経過にともなう吸湿によってボードが厚さ方向に膨張し、釘頭がボードにめり込んでいる様子が認められた。なお、このことはスギ板、構造用合板においては認められなかった。このことは、厚さ膨張が大きいパーティクルボードを高湿度状態に成り得る部位に使用する際には、防湿処理を施さなければ長期において著しい耐力の低下をきたすことを意味しているものと言える。

### (2) 釘径の減少率と養生期間

図-5-2-4・5に、高湿度環境で養生した場合の釘の各部位における径の残存率の平均値と経過日数との関係を示した。また、図-5-2-6に、高湿度環境で養生した場合の主材、側材の含水率の変化を示した。

これより、釘径は、経過日数が進むにつれて減少し、その割合は径の細い釘ほど著しく、また側材の種類や主材の含水率の状態によっても異なることが認められた。

側材の種類による径の減少傾向の違いは、側材の含水率変化と関係があり、含水率変化の大きいパーティクルボードにおける径の減少が著しく、次いで構造用合板、スギ板の順になることが認められた。

主材の含水率の差異による径の減少は、経過日数の初期においては、湿潤材に打ち込まれた釘の径の減少が乾燥材の場合よりも著しく、さらに日数が経過するにつれ両者の差が認められないような傾向を示した。このことは、湿潤材や乾燥材の含水率が、槽内の湿度条件に平衡することにより、前者は含水率が低下し、後者は含水率が上昇するため、両者の含水率差がなくなることに起因していると考えられる。

図-5-2-4  
釘径の残存率（平均値）  
と経過日数

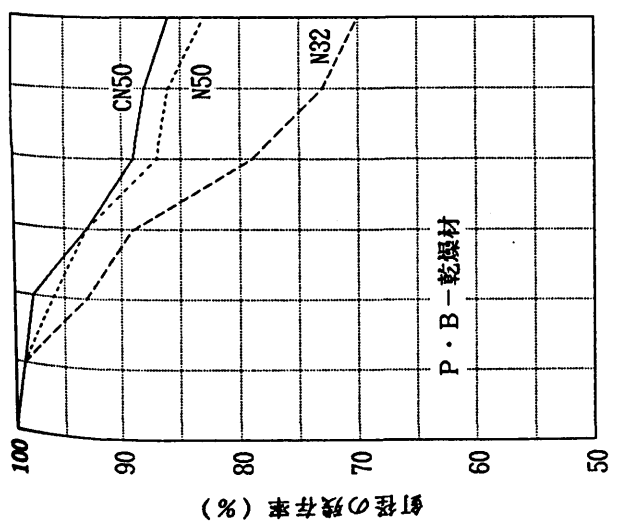
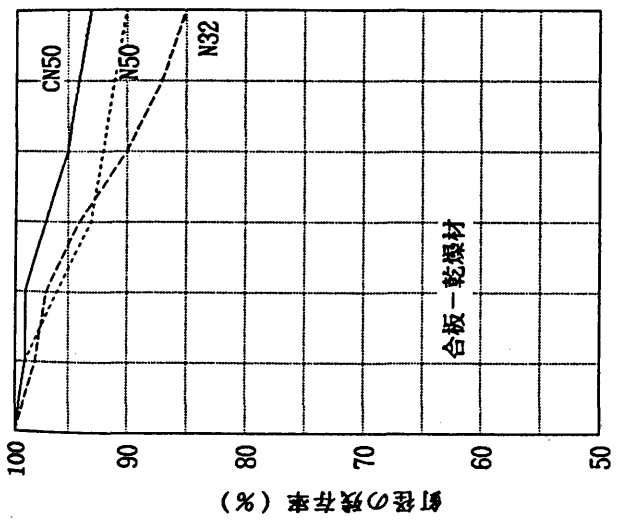
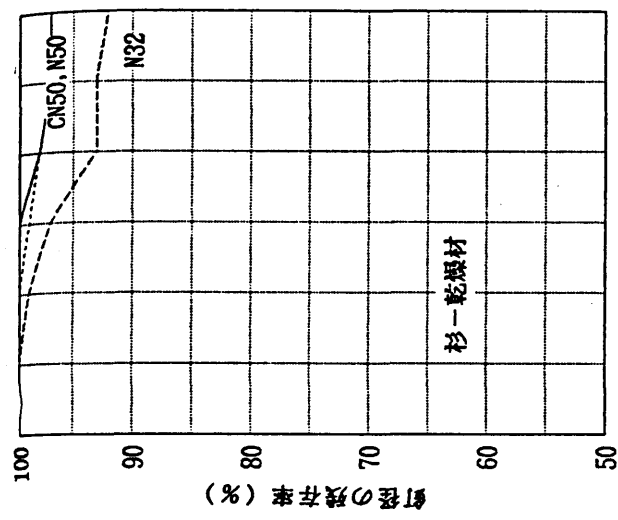
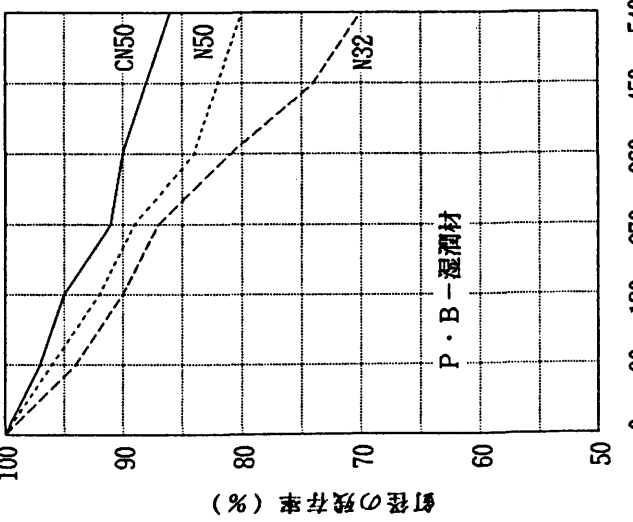
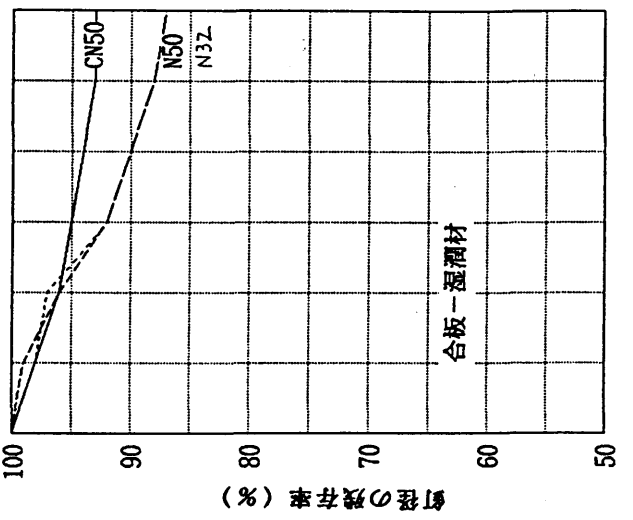
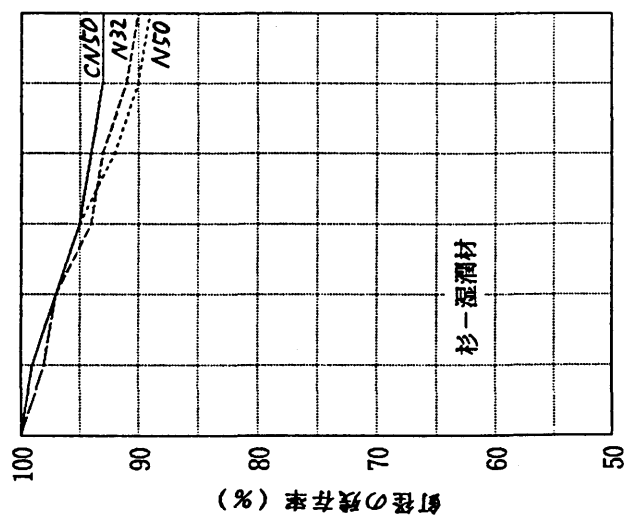


図-5-2-5  
釘径の残存率（平均値）  
と経過日数



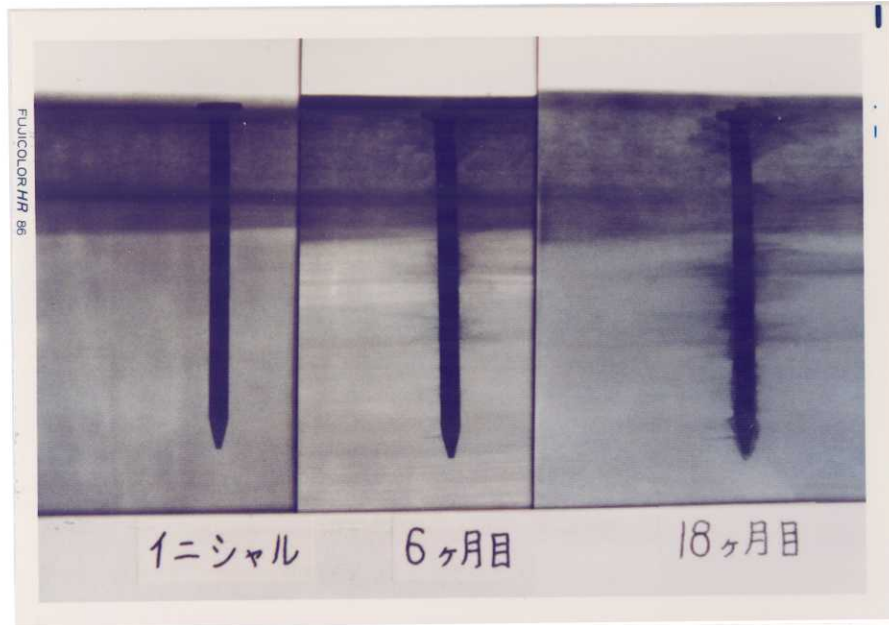


写真-5-2-1 ソフトX線による観察

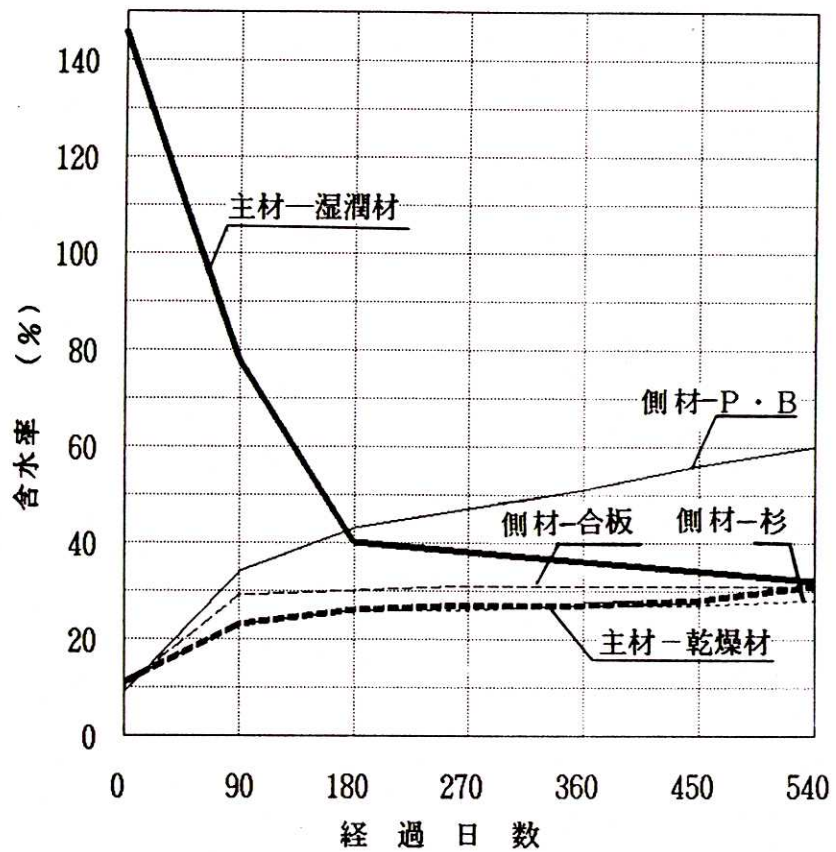


図-5-2-6 主材および側材の含水率変化



### (3) 釘径の減少率と腐食部位

図-5-2-7～12に釘の各部位における釘径の減少と経過日数との関係を示した。

主材が気乾材の場合、主材内の(部位：D、E)における径の減少は、側材内(部位：A、B)における減少より少ないことが認められた。このことは図-5-2-6に示した含水率変化からも明らかであり、主材の含水率は、側材の種類によらずほぼ一定(槽内の湿度条件に平衡)であるが、側材の含水率は種類によって異なり、それは吸湿性の高い順(パーティクルボード>構造用合板>スギ板)に含水率も高くなっている。そしてこの含水率変化の傾向と側材内での釘の減少傾向とは一致していることが認められた。

主材が湿潤材の場合、主材内における径の減少が、側材内におけるそれよりも大きく、その傾向は養生の初期から生じていることが認められた。このことは、主材が高含水率状態であるため、養生初期から主材内において釘の腐食が生じていたことによるものと考えられる。一方、側材内における釘径の減少は、主材が気乾材の場合と同様に、吸湿による厚さ膨張が大きいパーティクルボード、構造用合板、スギ板の順に釘径の減少が著しい傾向が認められた。

以上のような結果から、釘の腐食に影響を与える要因は、釘接合部を構成している被接合材料の含水率であり、その含水率の変化を生じさせる要因は釘接合部の置かれている環境条件(高湿度状態)であることが明らかとなった。また、釘を腐食させるような環境条件下において、被接合材料の含水率を増加させ径の減少を誘発する要因は、被接合材料の吸湿性や初期における含水率(生材等のような高含水率状態)であることが明らかとなった。このことは高湿度状態に成り得る部位に釘接合を行う際には、被接合材料には、気乾材を用いさらに吸湿性の高い材料を使用する場合は、防湿処理等を考慮する必要があることを示すものである。

図-5-2-7

釘径の残存率 (部位別)  
と経過日数

釘径の測定位置A~Eは、  
図-5-2-3を参照

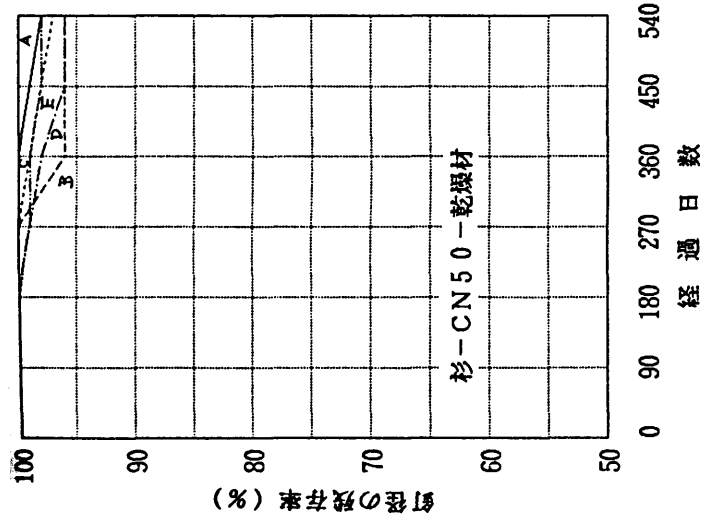
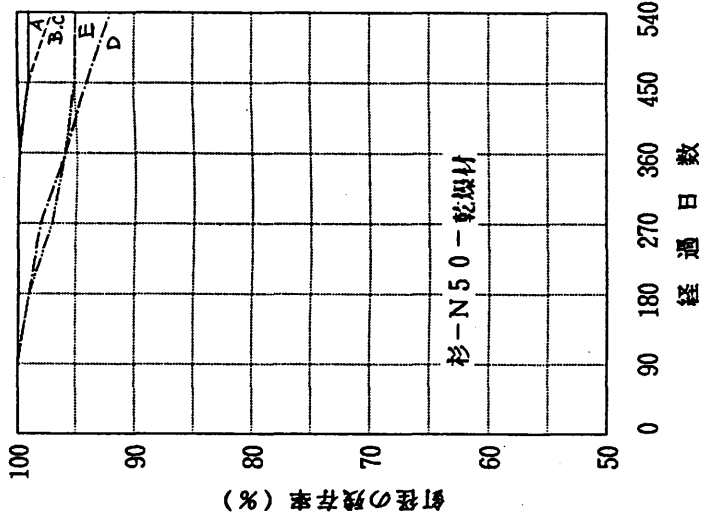
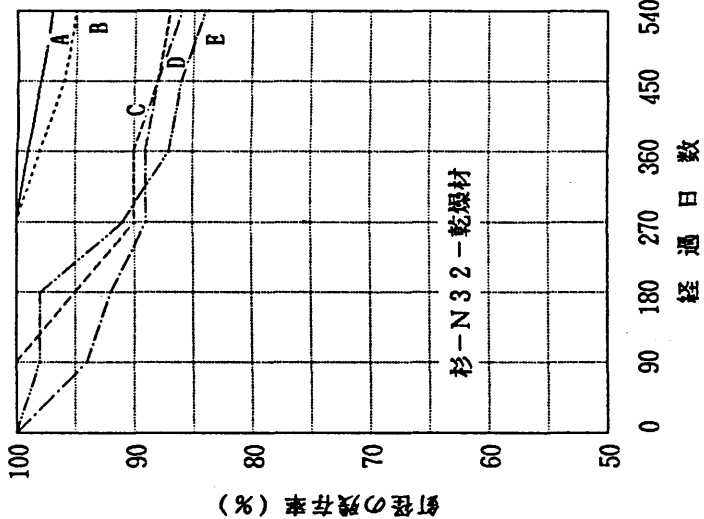


図-5-2-8

釘径の残存率 (部位別)  
と経過日数

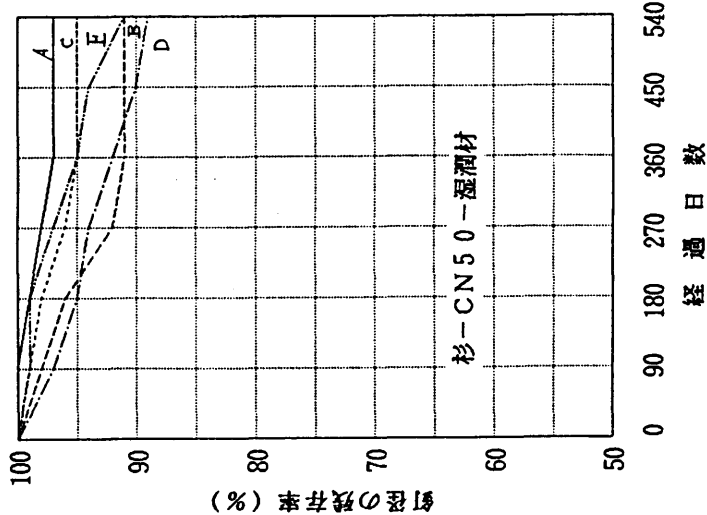
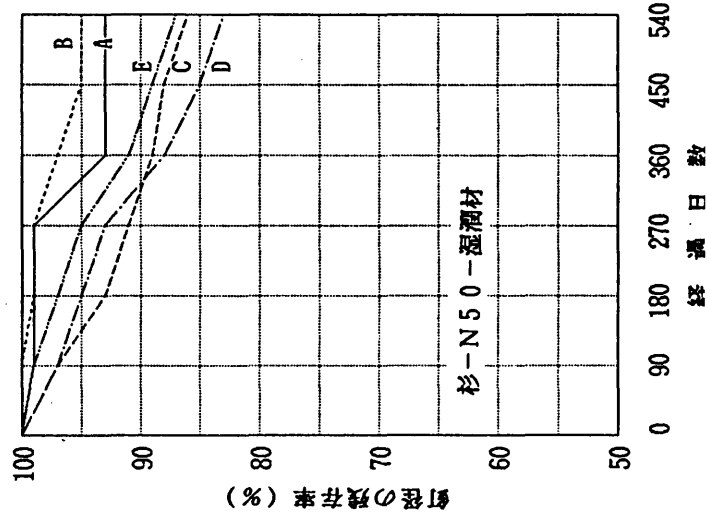
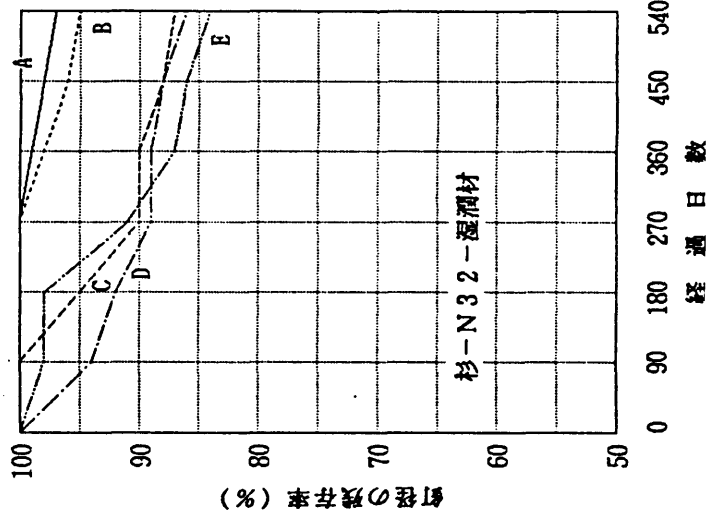


図-5-2-9

釘径の残存率（部位別）  
と経過日数

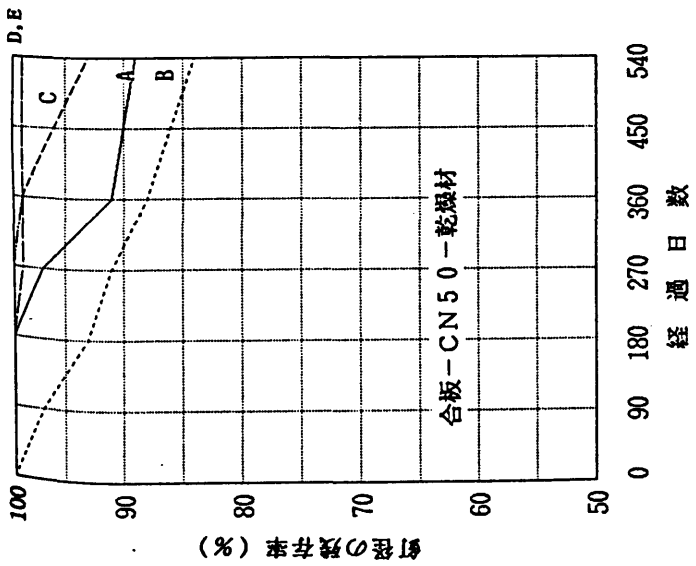
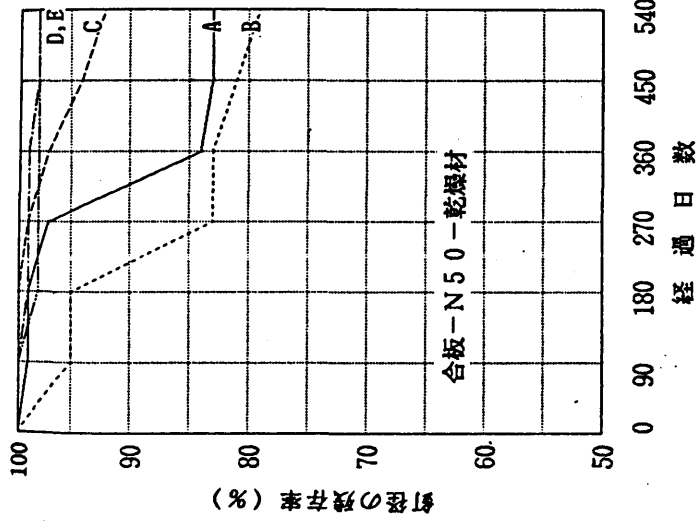
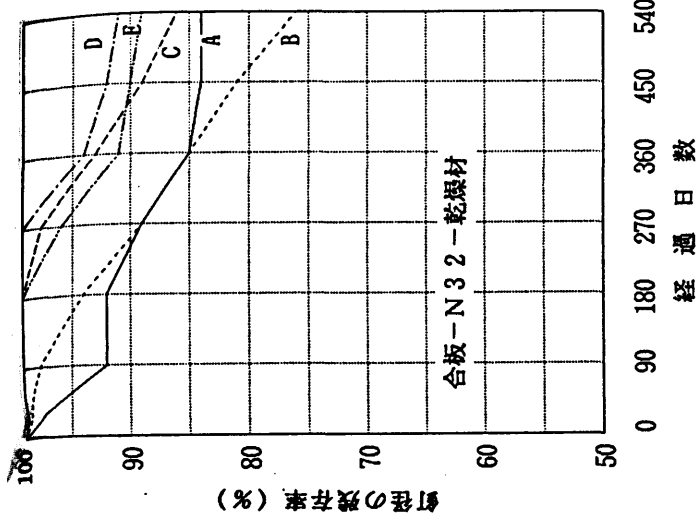


図-5-2-10

釘径の残存率（部位別）  
と経過日数

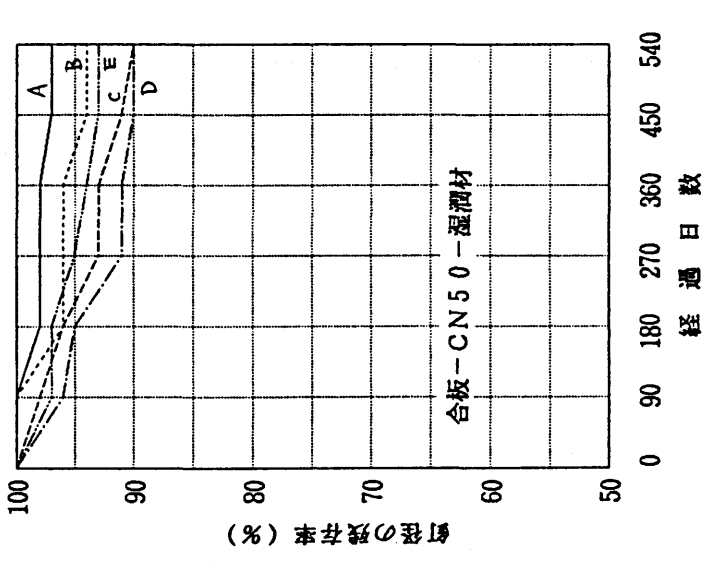
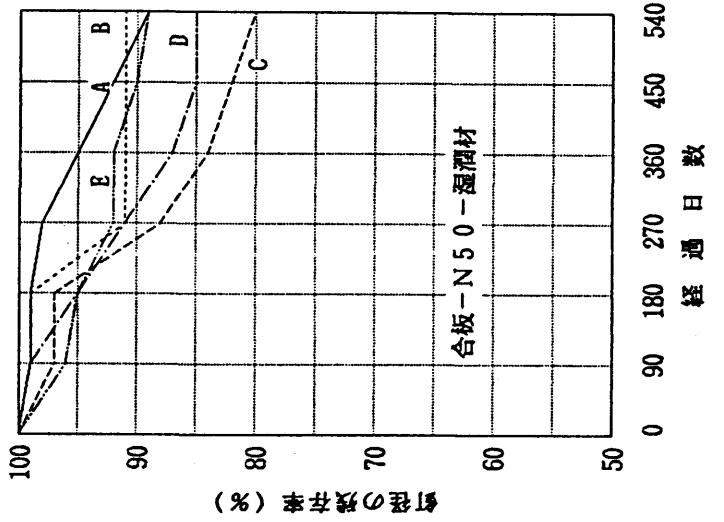
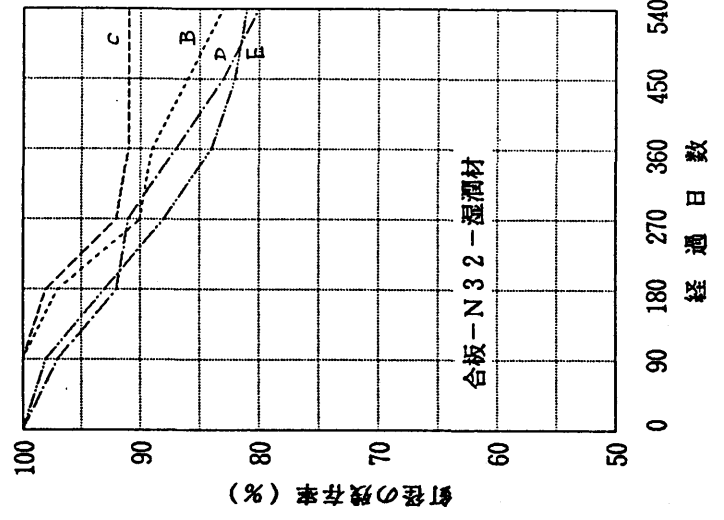


図-5-2-11

釘径の残存率(部位別)  
と経過日数

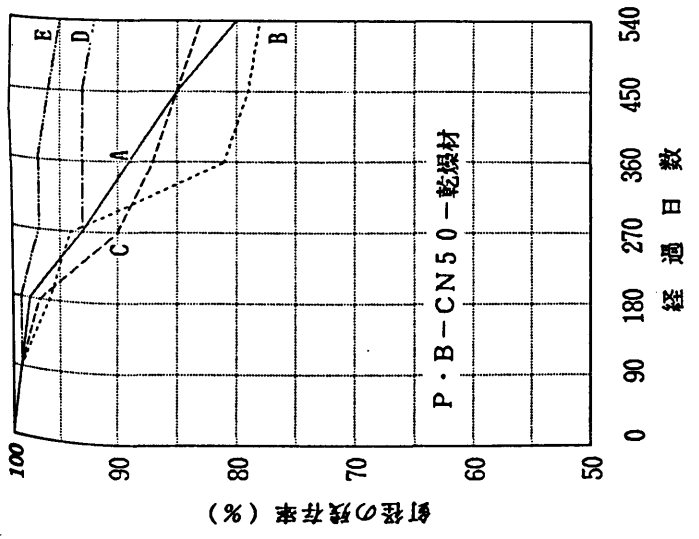
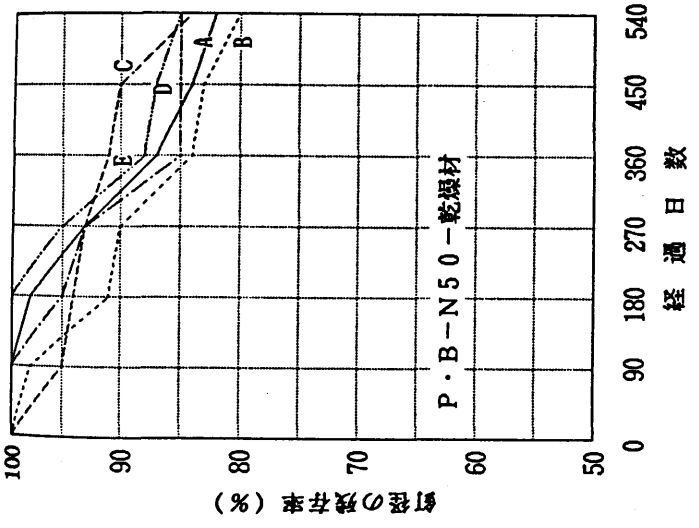
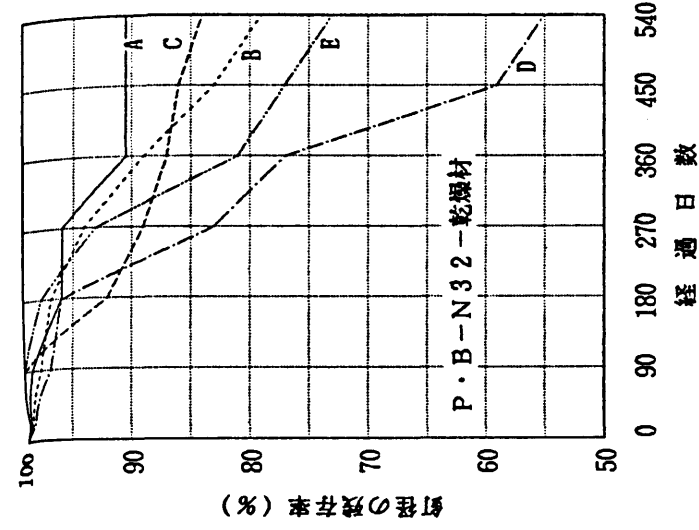
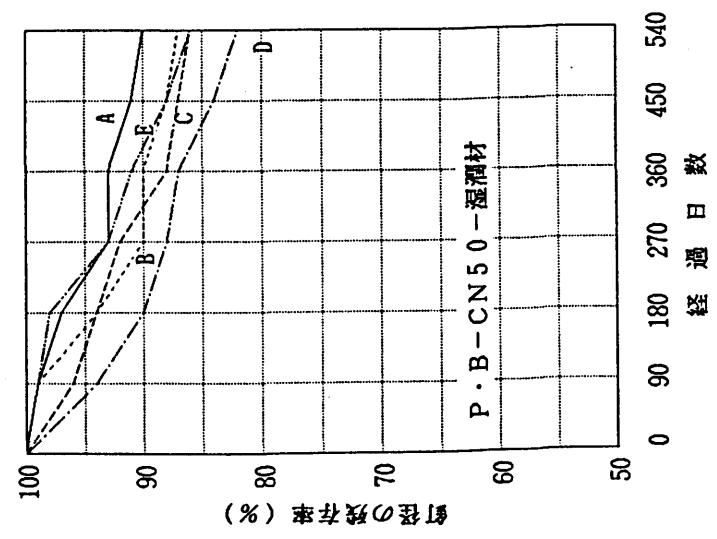
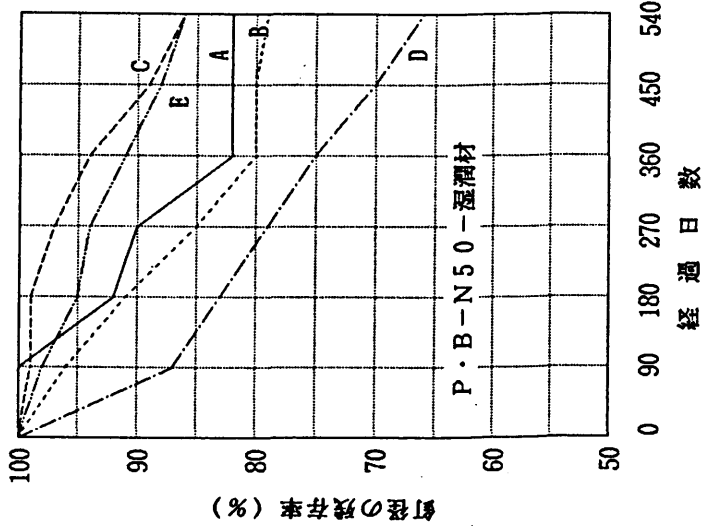
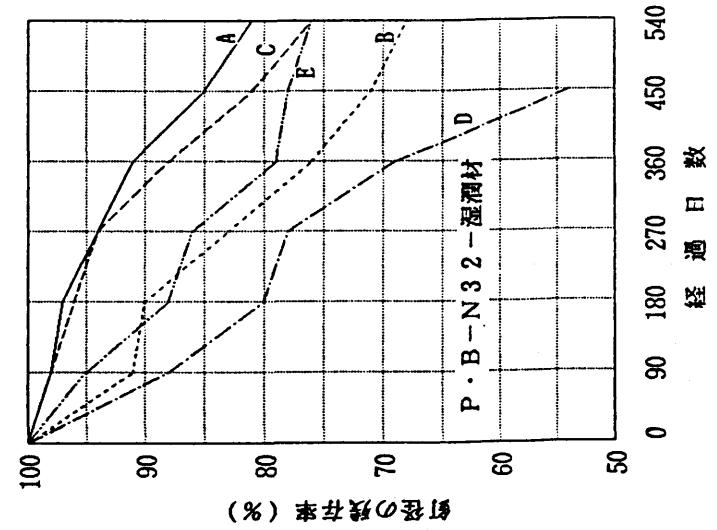


図-5-2-12

釘径の残存率(部位別)  
と経過日数



## 2-2 釘の腐食と耐力

前項においては、釘接合部における釘の腐食を誘発する要因を明らかにしたが、ここでは、高湿度環境条件下に釘接合部が置かれた場合、耐力がどのように変化するかを検討した。

### 2-2-1 試験方法

試験体は、図-5-2-13に示したような釘接合部の耐力試験に常用されている寸法・形状のものである。使用した材料は、主材に枠組壁工法用製材（204材）の気乾材、側材には、厚さ12mmの構造用合板およびパーティクルボード（200P）を使用した。接合に用いた釘はCN50であり、打ち込む前にアセトンで釘を洗浄してから使用した。

試験は、養生前における引抜きおよびせん断耐力の初期値、釘径等を測定した後、前項と同じ条件で養生を行った。そして、一定期間毎に槽内より試験体（引抜きおよびせん断試験体各々3体ずつ）を取り出し、前項と同条件でソフトX線を照射して釘の腐食状態を観察した後、図-5-2-14に示した引抜きとせん断試験を実施した。

さらに、耐力試験終了後、引抜き試験体より釘を取り出し、釘の各部位における径の減少量と被接合材料の含水率を計測した。

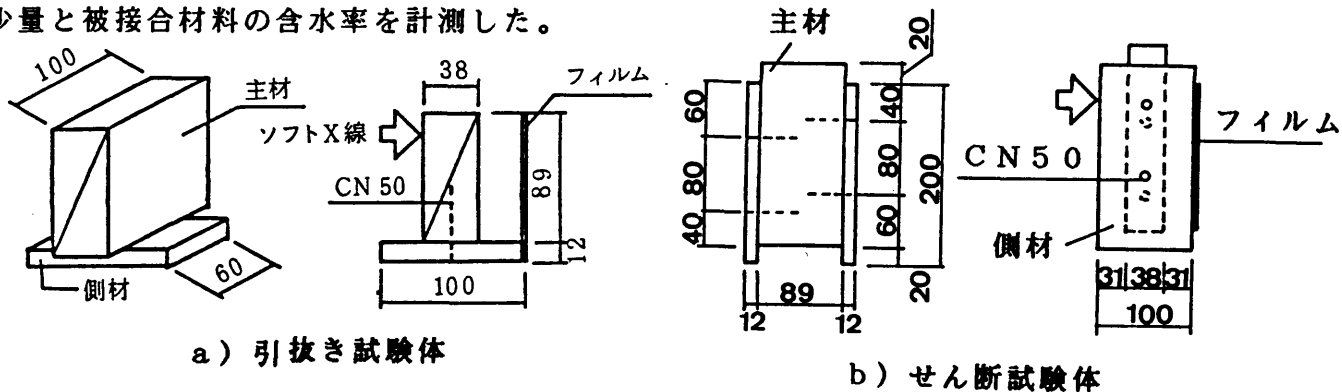


図-5-2-13 試験体の概要

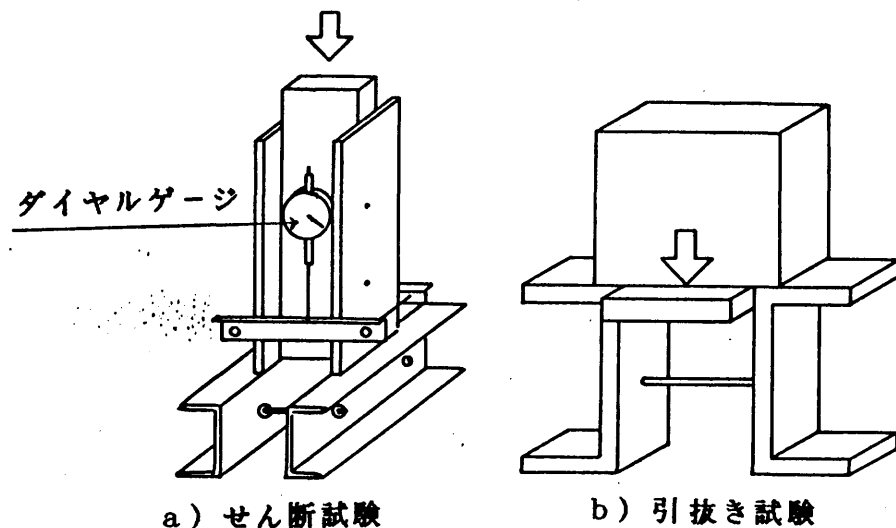


図-5-2-14 引抜きおよびせん断試験の概要

## 2-2-2 試験結果および考察

### (1) 釘径の減少

図-5-2-15に、引抜き試験体において側材が、パーティクルボードおよび構造用合板の場合の釘の各部位における径の減少傾向を示した。また図-5-2-16には、主材および側材の含水率の変化を示した。

側材がパーティクルボードの場合において、主材および側材内における釘径の減少量を比較すると、側材の含水率が主材より高いために側材内(部位:B)における径の減少が前項の結果と同様に著しい傾向が認められた。一方、構造用合板の場合も前項と同様の傾向が認められた。

### (2) 接合部の耐力

図-5-2-17、18に各々引抜きおよびせん断試験結果を示した。なお、両図において縦軸は、耐力比{各時点の引抜き・せん断耐力値(P)を初期値( $P_0$ :打ち込み直後の耐力で除した値)}で示してある。

これらの結果より次の点が認められた。

#### a) 引抜き耐力

引抜き耐力は、側材の種類によらず養生初期(100日目)において最大値を示し、日数の経過に伴い次第に低下する傾向が認められた。また、側材がパーティクルボードの場合は、構造用合板の場合と比べて耐力比が低い傾向が認められた。

養生初期において、引抜き耐力が初期値より高くなった理由としては、側材や主材の含水率の増加によって釘の表面に発生した錆により木材等との間の摩擦係数が増加したためと考えられる。

一方、側材の違いによって耐力が異なっている理由としては、釘の錆の発生状態に関係し、前項でも述べたように側材がパーティクルボードの場合は、釘の劣化が構造用合板と比べて著しく(図-5-2-15参照)、図-5-2-16に示した含水率変化をみると、主材の含水率は、側材が構造用合板の場合よりパーティクルボードの場合の方が若干高いことから、側材に吸湿性の高い材料が接合された場合、主材の含水率もそれによって高くなり、主材内における釘の錆の発生状態が異なるためと考えられる。すなわち、側材がパーティクルボードの場合は、構造用合板の場合より主材内における釘の錆の状態が進行した状態(釘の表面に膠状不溶性の水酸化鉄が形成される)になり、木材との摩擦係数が低下したため、低い値を示したものと考えられる。そこで、釘の錆の影響を調べるために、<sup>115)</sup>

釘接合部と同条件で養生されていた主材と側材に、試験に供した釘と同様の新しい釘を打ち込み引抜き試験を実施した。その結果は、図-5-2-17に示したように側材の種類に関係なく、引抜き耐力は初期値とさほど変わらない値を示し、釘に発生した錆が引抜き耐力の増加に寄与していることが認められた。

一方、釘接合部の引抜き耐力に関する設計においては、釘接合部が長期間さらされるであろう環境条件との関係から、常時湿潤状態に保たれる場合は、耐力の低減を考慮する必要がないとされている<sup>117),118)</sup>。このことは本試験程度の養生期間内では、認められることではあるが、試験結果からみて日数が経過するにつれて、釘の腐食が進行し耐力の低下がみられていることから、耐力の低減を考慮する必要があるものと考えられる。

#### b) せん断耐力

せん断耐力についてみると、主材と側材の相対変位 0.4mmおよび 1.0mm時における耐力の変化は、側材の種類に関係なく、養生初期においては初期値より低下し、養生日数が経過するにつれて増加し、さらに日数が経過すると再び低下する傾向が認められた。

最大耐力については、側材に吸湿性の高いパーティクルボードを使用した場合は、初期値を上まわることはなく、日数の経過とともに耐力が低下し、一定値に収束する傾向が認められた。一方、側材が構造用合板の場合は、初期値の近傍を推移し、耐力の低下は認められなかった。このことは、パーティクルボードの吸湿性が合板に比べて高いため、高湿度環境条件下において吸湿による材の膨張を生じ、せん断の最終的な破壊形態である側材への釘頭のめり込みや釘の側面による圧密に対する抵抗性が低下したためと考えられる。

次に、引抜き試験と同様に接合部材と同条件で養生された主材と側材に新しい釘を打ち込み、せん断耐力を調べた。その結果(図-5-2-18参照)から、同じ養生期間における釘接合部の耐力にほぼ等しい値を示すことが認められた。このことから釘の腐食による径の減少の影響もさることながら、主材や側材の材質の劣化が、釘接合部のせん断耐力に与える影響の大きいことが考えられる。

一方、釘接合部のせん断耐力に関する設計においては、釘接合部が長期間さらされるであろう環境条件や被接合材料の含水率との関係から、常時湿潤状態の場合あるいは未乾燥材を使用した場合などは、乾燥材に打ち込まれた場合の耐力より25%の低下を考慮する必要があると言われている<sup>117),118)</sup>。本試験結果からもそのこと

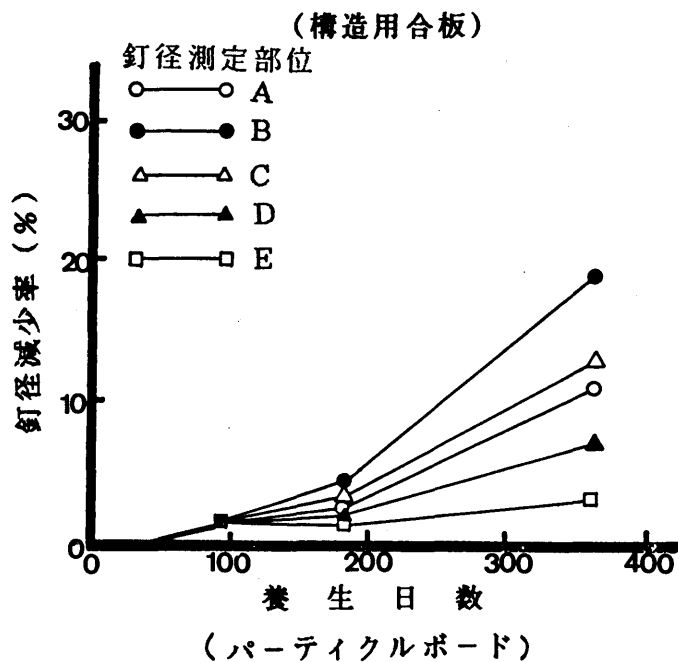
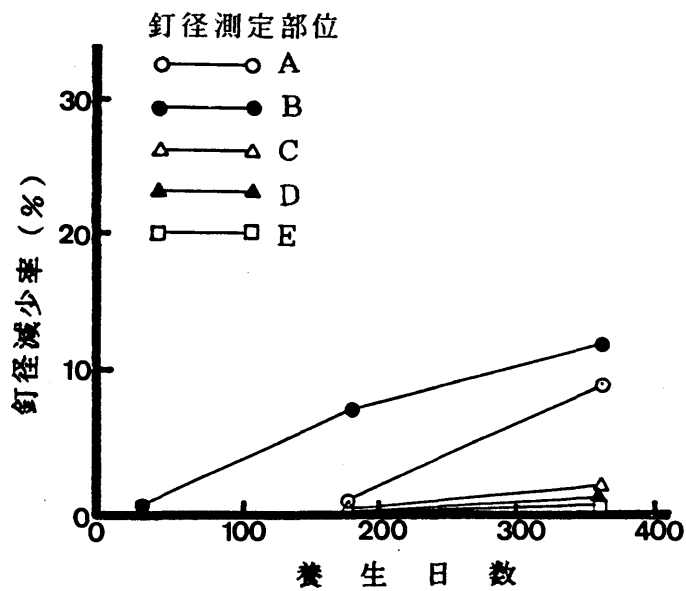


図-5-2-15 釘径減少率

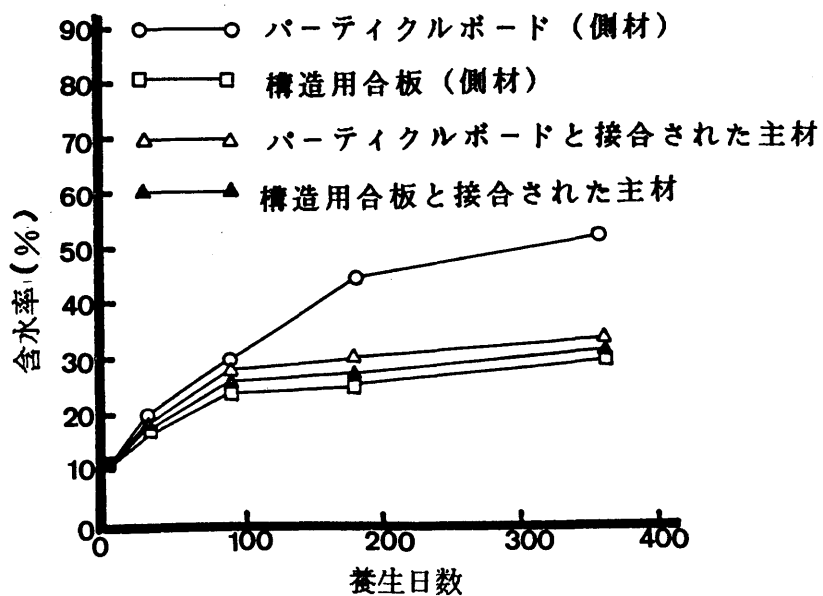


図-5-2-16 含水率変化



が認められたが、釘の腐食だけでなく被接合材料の劣化等も考慮すると、さらに詳細な低下に関する区分が必要であると考えられる。

以上のような結果から、高湿度環境条件下に釘接合部が置かれた場合の引抜きやせん断耐力は、釘の腐食や被接合材料の種類（材質の差異）およびそれらの劣化の程度によって、傾向の異なることが明らかとなった。

引抜き耐力については、釘の腐食による錆の発生によって、本試験の範囲内においては初期値より大きくなる傾向が認められた。しかしそれ以降については、さらに釘の腐食が進行すると予測されるため耐力の低下を考慮する必要のあることが明らかとなった。

せん断耐力についてみると、主材と側材の相対変位が 0.4mm や 1.0mm 時の場合は、養生の初期において耐力が増加するが、その後減少する傾向が認められた。一方、最大耐力は側材の材質の違いによって異なり、側材が吸湿性の高いパーティクルボードの場合は、初期値より低下し一定値に収束するような傾向が認められた。また、側材が構造用合板の場合は、初期値の近傍を推移するような傾向が認められた。

これらのことは、釘の腐食や被接合材料の劣化を誘発する環境条件（とくに湿度条件）が、釘接合部の長期耐力性能を評価する上において重要であることを示すものであると考えられる。

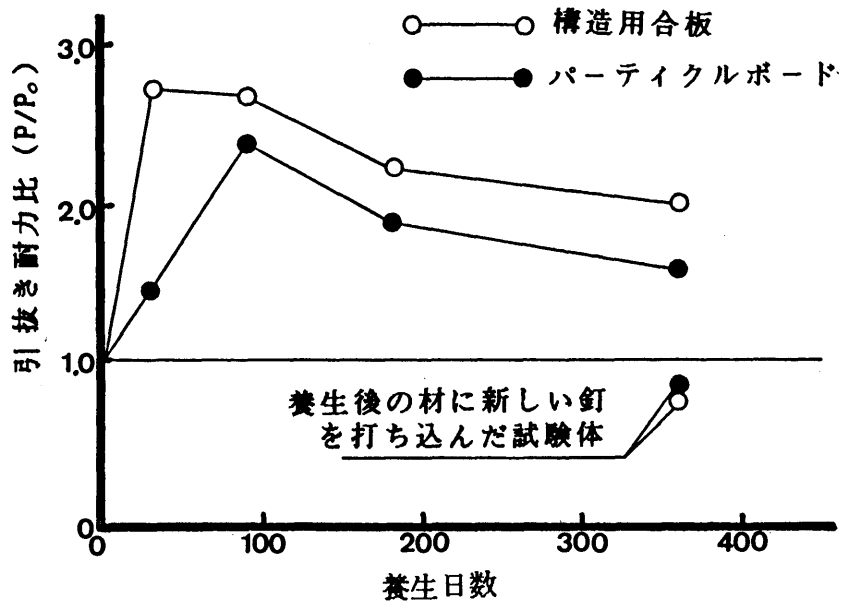


図-5-2-17 引抜き耐力の変化(構造用合板、パーティクルボード)

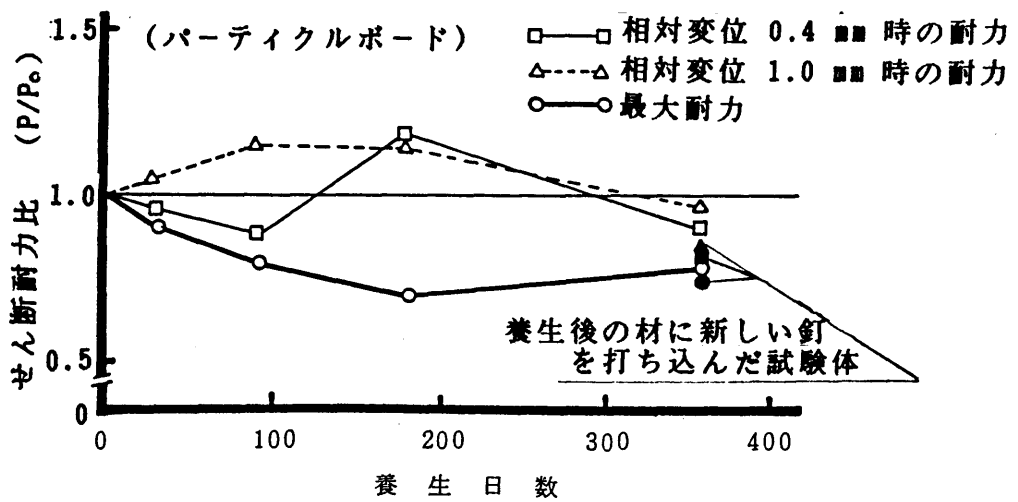
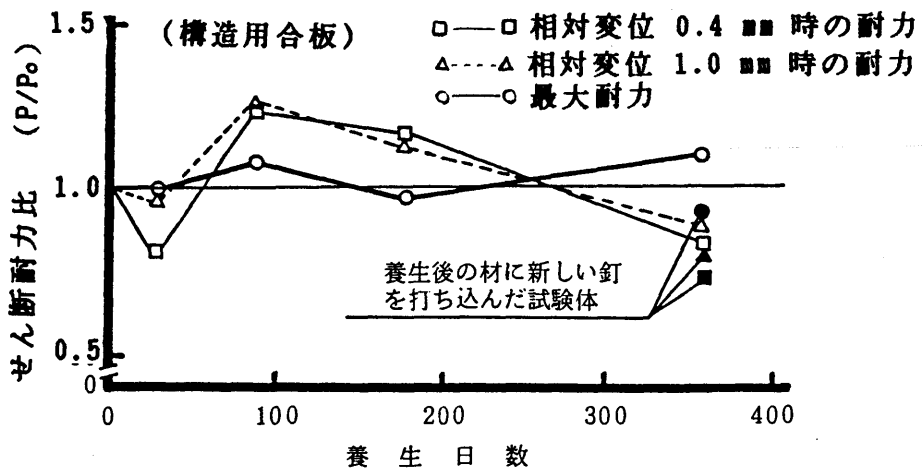


図-5-2-18 せん断耐力の変化

### 第3節 釘接合部のクリープ特性

木材および木質材料の釘接合部のクリープに関するデータの集積はきわめて乏しく、釘接合部における長期における耐力評価は、「木構造設計規準・同解説」に木材の釘接合<sup>1)</sup>の長期許容耐力値が定められてはいるが、木質材料や釘接合部の多様化に十分対応しがたい面がある。本節では、木材と木質材料の釘接合部のせん断クリープについて現象面より明らかにし、釘接合の特異性と長期耐力評価の基本的な考え方について検討をした。

#### 3-1 木質材料を側材とした釘接合部のクリープ

試験体の仕様は図-5-3-1、表-5-3-1に示したように、主材はベイツガ材（通称Hem-Fir）、側材は、構造用合板、パーティクルボード、ハードボードとし、釘はCN50とした。

本試験に用いた試験装置は片持梁形式のクリープ試験機で、環境条件は標準状態20℃、65%RHである。なお、積載した荷重は、図-5-3-2(1)~(3)に示したような荷重であり、一定期間ごとに荷重の増減を繰返した。変位は、標点にステンレスボール（標点間距離10cm）を使用し、コンタクトゲージ（1/100mm精度）にて計測した。

試験結果として図-5-3-2(1)~(3)に、積載荷重を変動させた場合の釘接合部のクリープ曲線を示した。また、図-5-3-3には、負荷後の全変形量と荷重との関係を示した。

これらの結果から定性的な傾向として次のような点が認められた。

(1) 木質材料を側材に使用し、CN50釘で接合したときには、200kg（釘1本あたり50kg）あたりから変形が急激に増加した。この傾向は、ボード厚の薄いハードボード（7mm）や合板（7.5mm）で明確にあらわれ、300kg（75kg/本）では釘頭がボードを貫通し、抵抗力が急激に弱まるものもあった。しかしながら、釘頭が貫通しないパーティクルボードのような厚いものでも変形が大きく進行することが認められた。この理由として、釘の側面による木材および木質材料への局部圧縮によって生ずる圧潰（密）、釘自身の曲げ抵抗等が複雑に寄与していると考えられる。この変形の増加が大きくなる200kgの静的なせん断による最大耐力に対する比率（強度比）は、ほぼ30~40%に相当しており、後述する繰返し加力による変位の増加傾

向とほぼ同様であることが認められた。

- (2) クリープ曲線において各種木質材料を側材とした場合のクリープ特性をみると、合板は負荷直後の変形（以下瞬間変形と呼ぶ）に対するクリープ変形の比率が他のボード類に比較してやや小さく、その傾向は負荷が大きくなるほど明確になっている。このような傾向を示す理由としては、パーティクルボードやハードボードの製造条件、例えば比重、接着剤、厚さなどにかかなり影響を受けているためと考えられる。
- (3) 負荷した荷重が大きくなると変形量も大きくなり、変形が安定するまでの時間が遅れる傾向が認められる。
- (4) 荷重の増減による変形曲線は、除荷の程度によって影響され、ある荷重を残存させて一部の荷重を除荷した場合は、回復量がきわめて少なく、荷重を完全に除荷すると回復がかなり認められた。また再負荷した場合は、前段階の曲線の延長上にくるような傾向が認められた。これらの傾向は、木材相互の釘接合などでも認められ<sup>113)</sup>、釘接合の変形機構の特異性を示すものである。したがって、このことは木質部材の釘接合部において積雪のような一時的な荷重と固定荷重との組合せが生じるような場合における許容変形等の評価に重要な意味をもつものと考えられる。
- (5) 釘接合部のクリープに及ぼす環境条件のうちもっとも影響の大きいのは湿度変動であり、いずれの場合も湿度の減少によって変形が進行し、増加によって回復が生じる。この傾向は、木材のクリープやMachano-sorptive<sup>128)</sup>変形（応力が作用しているときに水分の変動があると発生する変形で、応力を除去しても湿度が一定に保たれていると回復が極めて少ない）に類似のものであり、未乾燥材を使用する場合に重要な意味をもつ。

表-5-3-1 側材用木質材料の種類

記号	側材用木質材料	厚さ
G7.5	構造用合板	7.5 mm
KP12	パーティクルボード(フェノール樹脂接着剤)	12.0
KM12	〃 (ユリア・メラミン共縮合樹脂接着剤)	12.0
S7	ハードボード 乾式(標準品)	7.0
KT7	〃 // (油脂処理品)	7.0
TS7	〃 湿式(標準品)	7.0
TT7	〃 // (油脂処理品)	7.0

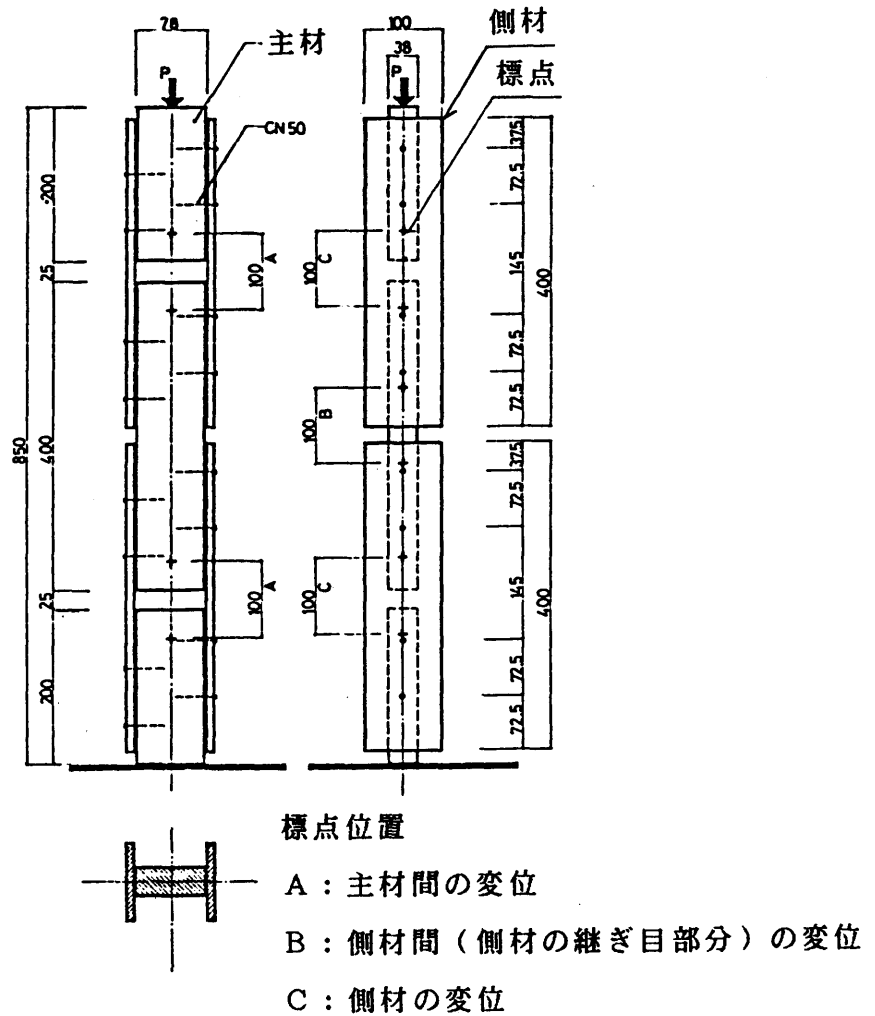


図-5-3-1 釘接合試験体

側材  
構造用合板 7.5mm + CN50

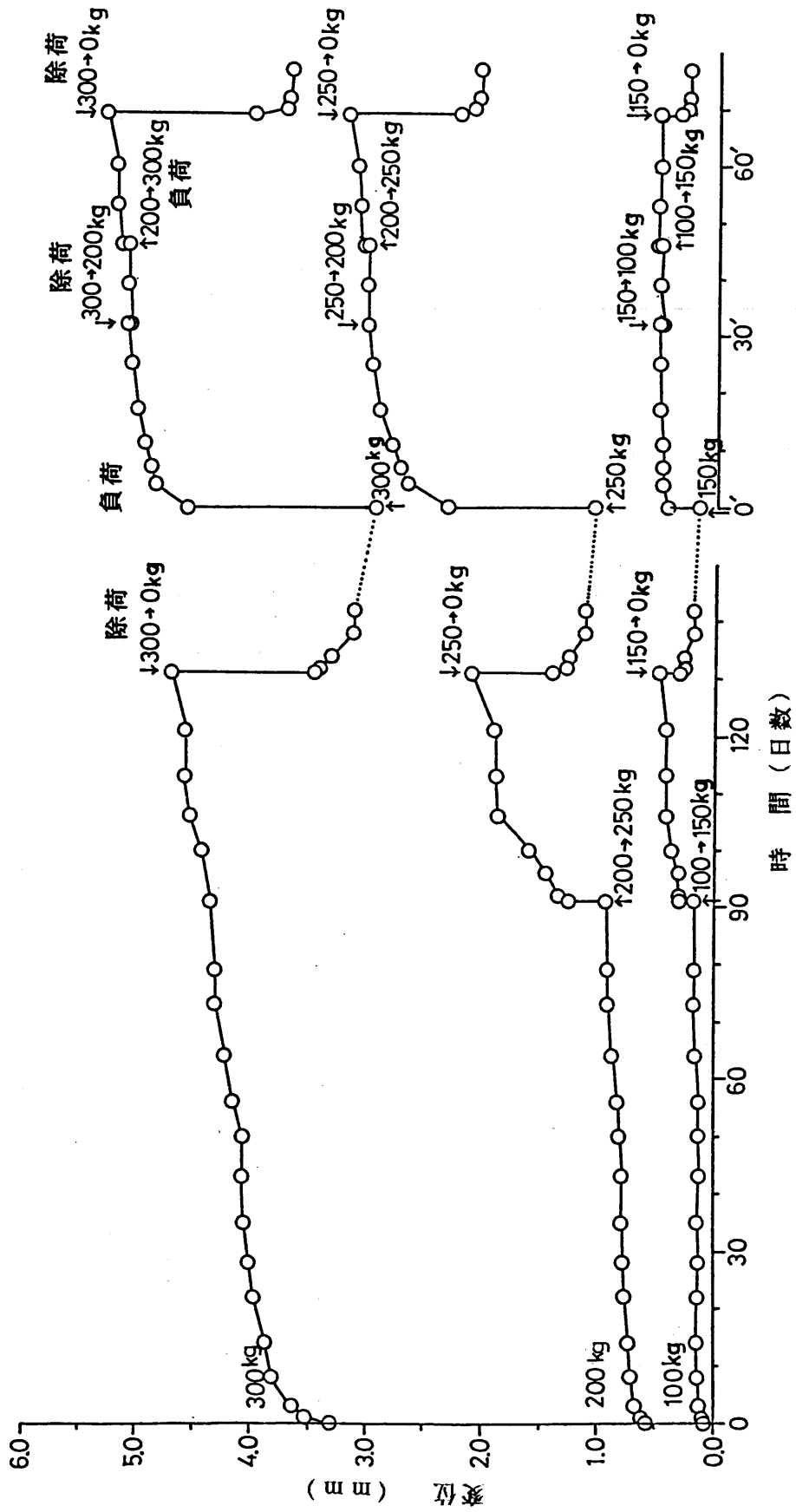


図-5-3-2 (1) 釘接合部変位・時間曲線

側材  
 パーテイクルボード { ○ KM12mm + CN50  
 ● KP12mm + CN50

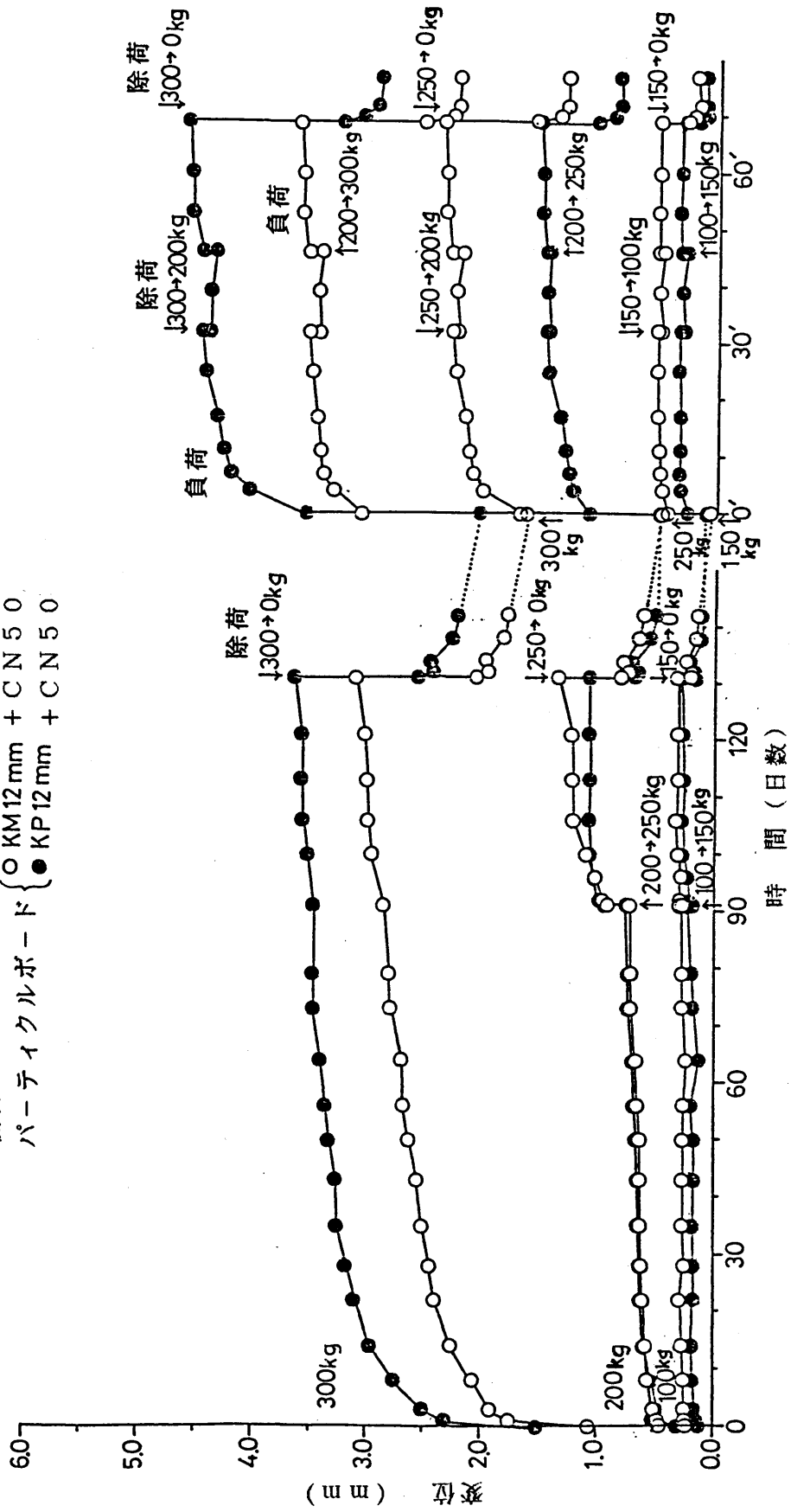


図-5-3-2 (2) 釘接合部変位・時間曲線

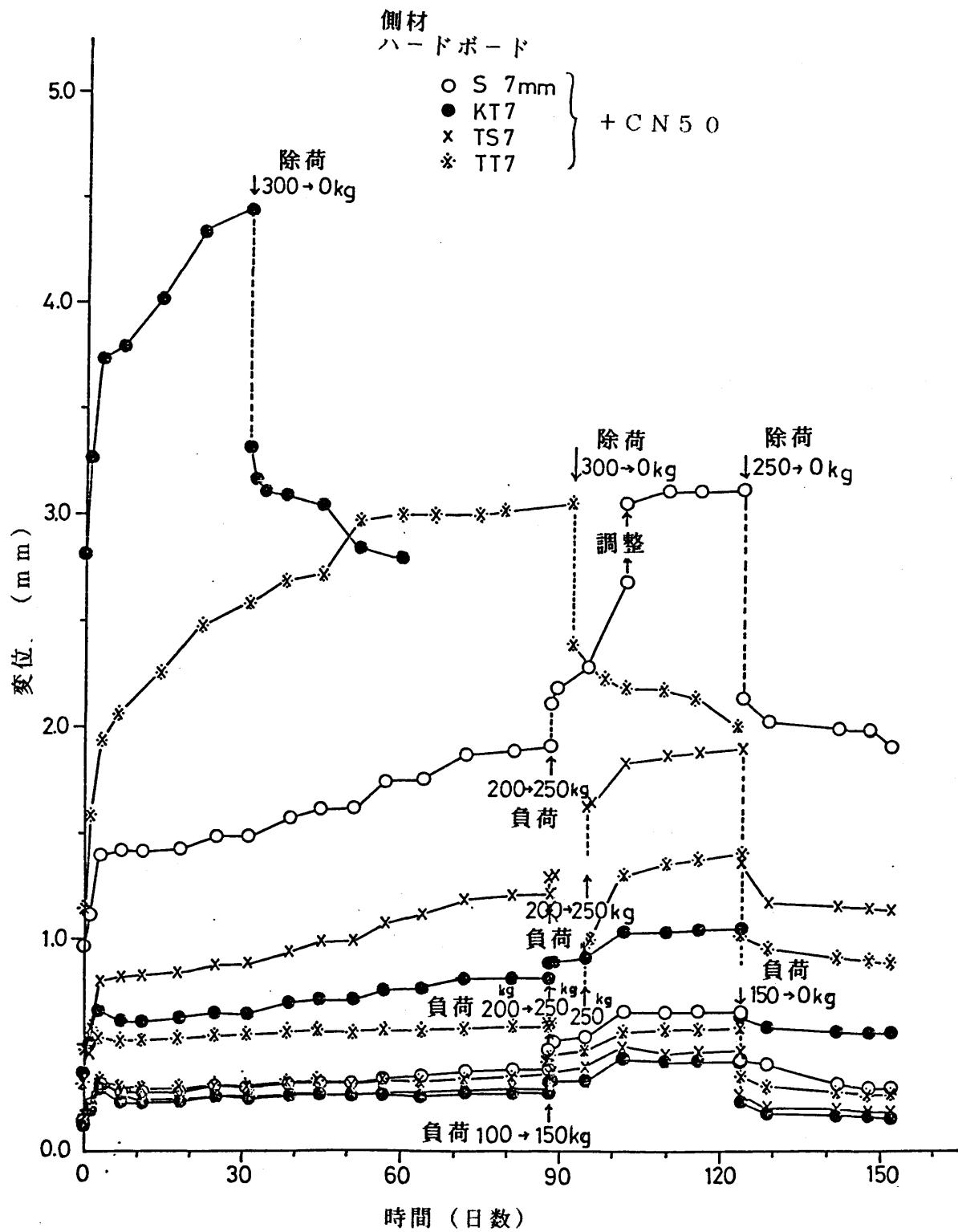


図-5-3-2 (3) 釘接合部変位・時間曲線



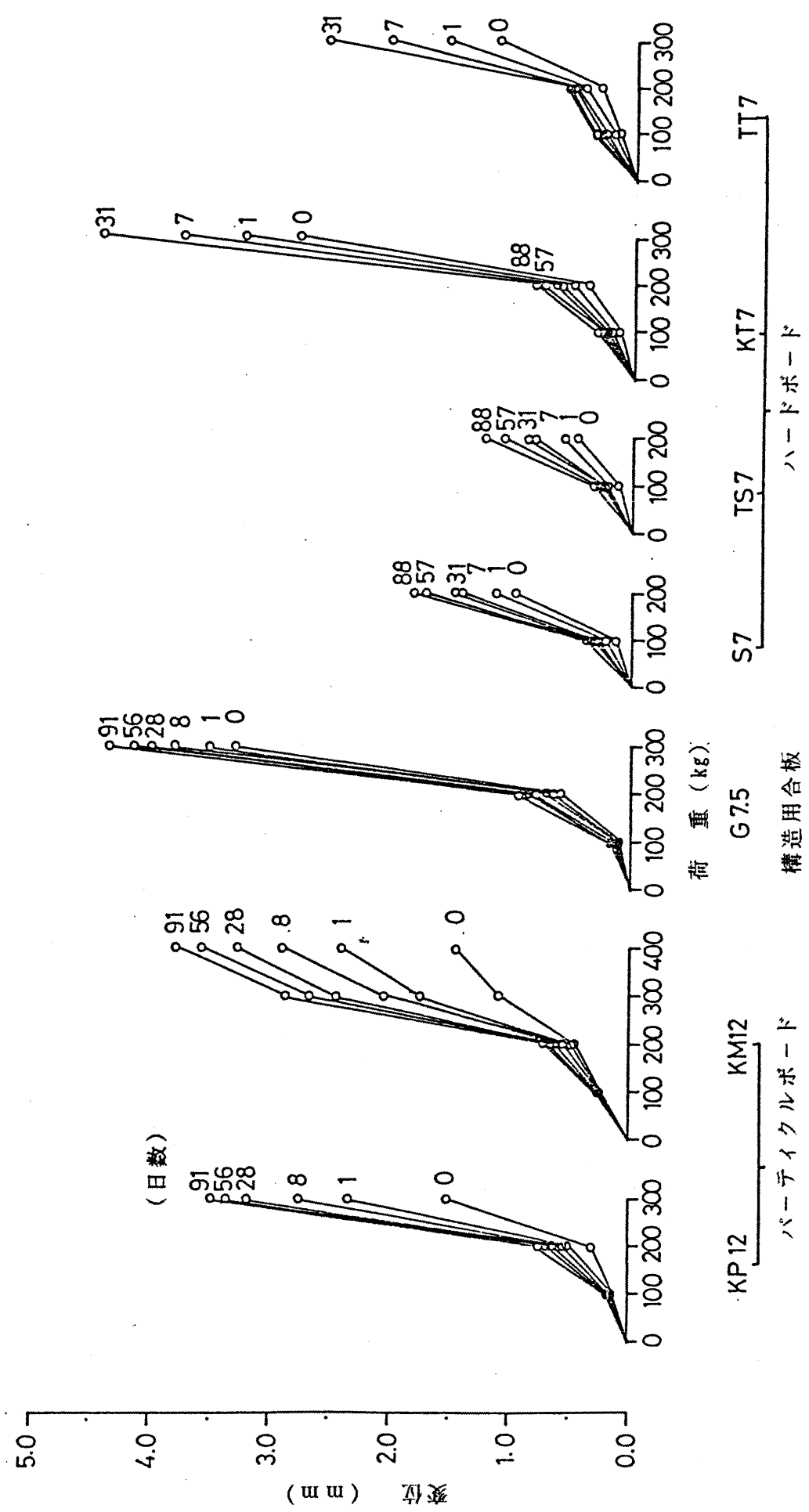


図-5-3-3 変位と荷重の関係

### 3-2 釘の種類・側材厚さの影響

パーティクルボードを側材とし、釘の種類およびボード厚さが釘接合部のクリープ特性へ与える影響について検討した。

試験体の形状は図-5-3-1と同じであり、釘の種類はN50、CN50、CN65、CN75、ボード厚さは12、15、20、25mmとし、適宜組合せた。

図-5-3-4(1)(2)は、釘をCN50、CN75にしたときボード厚さを変化させた場合のクリープ曲線である。CN50釘を使用したときは、ボード厚さが厚くなる(即ち、主材への打込み深さが浅くなる)ほど変形しやすくなっており、その影響は瞬間変形よりもクリープ変形の方が著しい。一方、CN75釘の場合は厚さの影響が少ない。このことは釘によるボードの側面抵抗値が、側材厚が厚くなるほど大きくなる事が認められているため、主たる原因は主材に打込まれた部分の挙動にあるものと考えられる。その場合、引抜き抵抗と釘側面抵抗が考えられるが、3-1項の回復挙動や変形の性状、抵抗値などから推測して釘側面抵抗すなわち釘側面の局部圧縮による主材の塑性的な圧潰、圧密に関連が深いと考えられる。

図-5-3-4(3)は釘の種類を変えたものであるが、同じ釘長であるN50とCN50では、釘径が細いN50の方が変形しやすいことが認められた。またCN50以上の釘では、さほど差異がなく側材の厚さが15mmの時には、CN50とCN65の間に境界のあることが認められた。このような傾向を示す理由としては、上述したような主材に打込まれた部分の釘と木材との挙動に関連しているものと考えられる。

図-5-3-4(4)は、各組合せによる荷重との関連をみたものであるが、明らかにCN50で側材が15mm厚さの場合は前項で述べたように荷重200kg(50kg/本)と300kg(75kg/本)とでは大きな差異がみられ、変形機構が異なっていることが認められた。しかし、CN75と側材が25mm厚さの場合では荷重200kgと300kgの間には、CN50で見られるような大きな差異はなく、荷重300kg以上の場合に変形機構が変化する点の存在することが認められる。

### 3-3 環境条件の影響

釘接合部のクリープ曲線は先に述べたように環境条件の変動の影響を敏感に受ける。とくに湿度の増減にもっとも鋭敏であり、一般には湿度低下によって変形が増加あるいは、湿度上昇によって変形が回復する傾向がみられる。ここでは、湿度の定常状態下に

おける変形量との比較を行うために、環境条件としては厳しい乾湿の繰返しの生じる屋外条件下でのクリープ試験を行った。屋外条件は建築研究所屋外ばくろ試験場内であり、試験体には降雨時に雨はかかるが、雨水が長時間にわたって停滞するようなことはない状態とした。

合板を側材とした図-5-3-5の試験体の屋外ばくろクリープ試験の結果を示したのが、図-5-3-6で、これより瞬間変形に比較して、クリープ変形量が著しく大きいことが認められた。また、恒温恒湿室で実施したクリープ試験と比較して荷重の大きさによって変形が停止するまでの時間および変形量が屋外の気象条件によって著しい影響を受けることも認められた。

図-5-3-7はパーティクルボードの種類、厚さと釘の種類などを組合せた場合の結果である。いずれの場合も前述した図-5-3-4で示した定常状態とは著しい差異を生じている。このことはボードの劣化とも関連し、ボード厚15mmのときはユリア・メラミン共縮合樹脂(U M)のボードの方がフェノール樹脂(P)ボードより変形の増加がやや大きいことが認められた。

図-5-3-8は、ハードボード(湿式、油脂処理)の場合である。ハードボードの場合も図-5-3-2(3)で示した定常状態の場合と比べ変形の増加が大きいことが認められた。

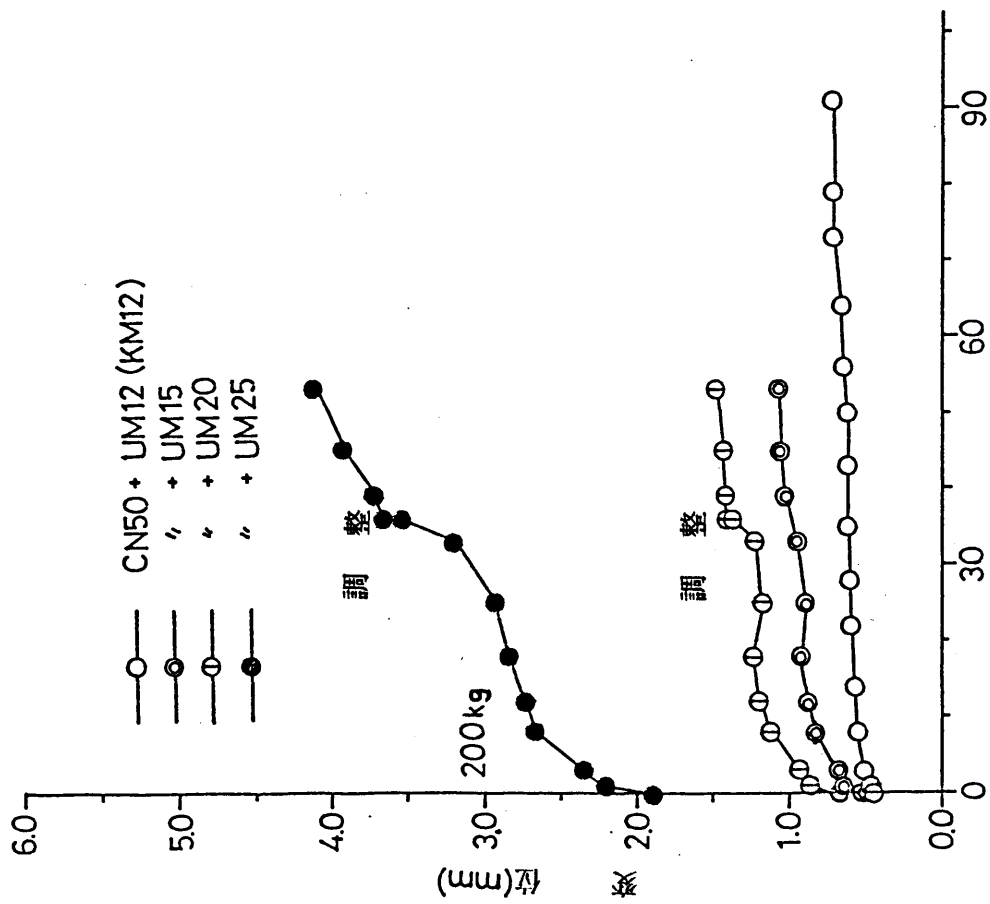
### 3-4 荷重の変動の影響

C N 50釘で接合した各ボードのクリープ曲線において荷重の増減による挙動は、前述したようにある残存荷重がある場合には、荷重を完全に除荷した場合に比較してきわめて回復量が少なく、また荷重を完全に除荷した場合についてもその回復量は、瞬間変形量に比較するとかなり小さく、釘接合部の変形は塑性的要素の強いことが認められた。

そこで、荷重の変動の影響を調べるために図-5-3-10の試験体を用いて1年以上一定荷重を与えた後に、荷重を増減させたときの変形挙動について試験を行った。図-5-3-9(1)に側材が構造用合板の場合を示した。また図-5-3-9(2)に側材が主材と同じ木材の場合を示した。これらの結果は、前述した結果とほぼ類似の傾向を示しており、残存荷重がある場合には回復は少なく、同じ荷重を再負荷したときは変形の著しい変動はなく、ほぼ前段階の曲線の延長上に来ることが認められた。

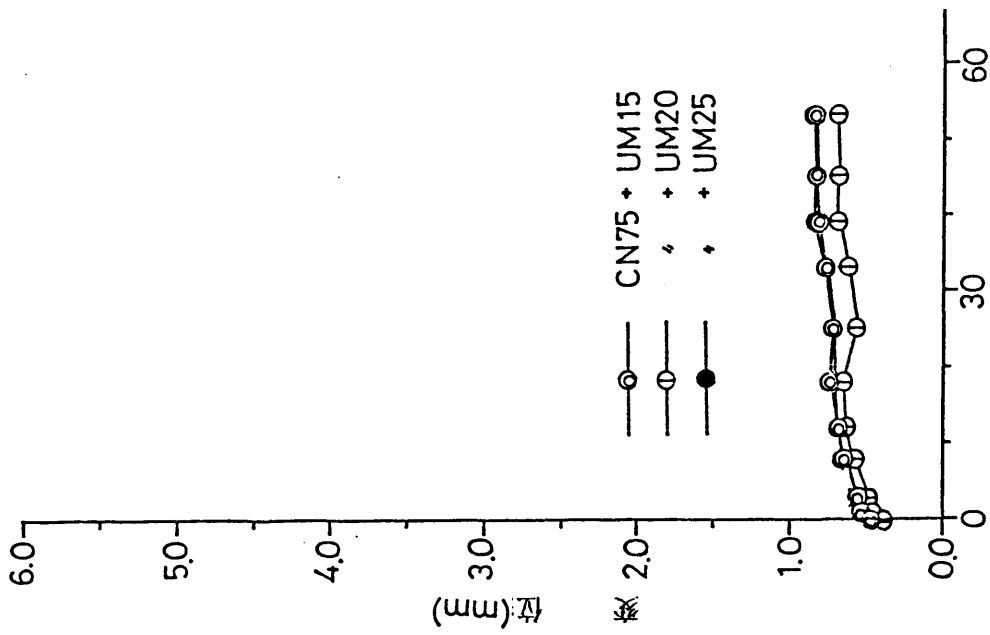
以上の結果から釘接合部のクリープ変形は、作用した最大荷重とその作用時間に依存しており、作用した荷重以下の荷重の増減はあまり大きな影響を及ぼさないことが認め

られた。すなわち、荷重の小さいときに変形する要素は、荷重の大きいときに変形する要素にほとんど含まれており、塑性要素が累加され、安定化が進む変形形態であるものと考えられる。



時間 (日数)

図-5-3-4 (1) 釘接合部変位-時間曲線  
(側材厚さの影響)



時間 (日数)

図-5-3-4 (2) 釘接合部変位-時間曲線  
(側材厚さの影響)

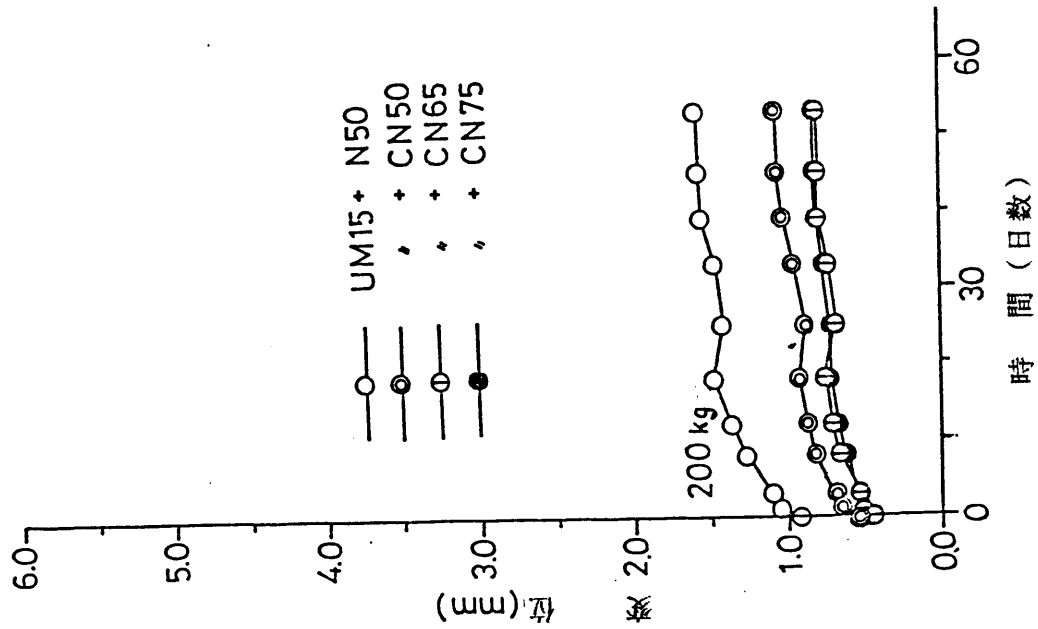
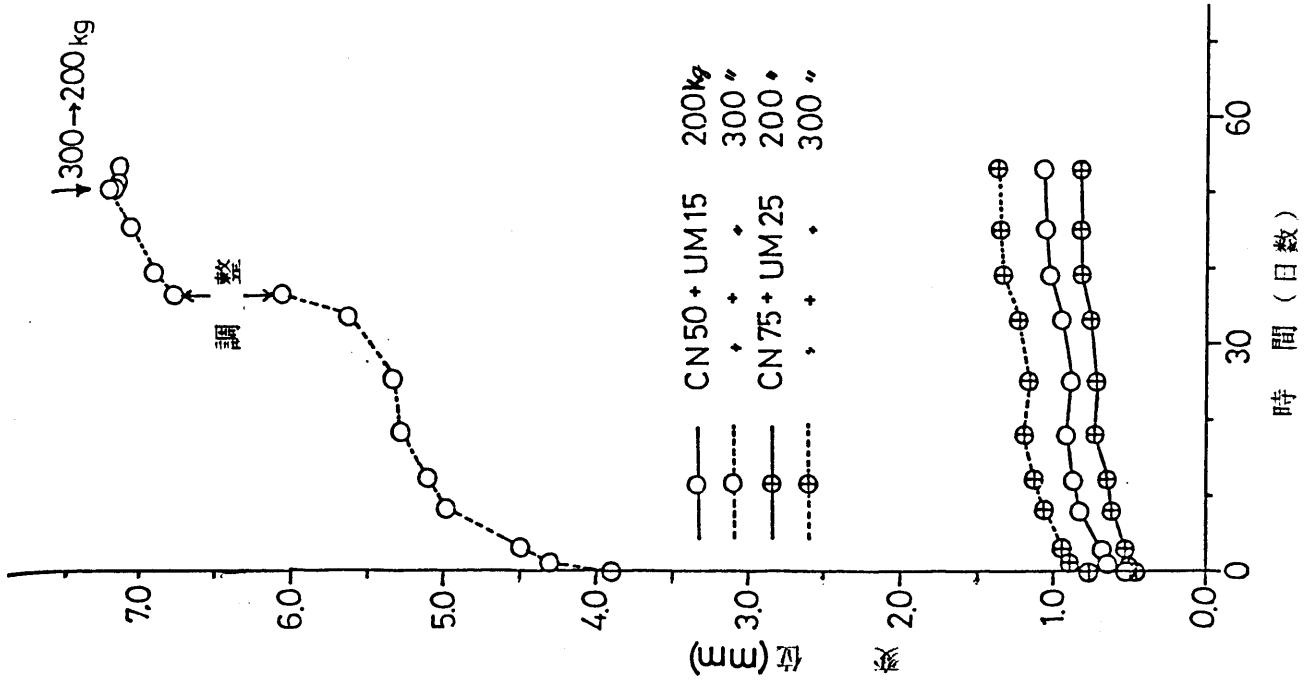


図-5-3-4 (3) 釘接合部変位-時間曲線  
(釘の種類の影響)

図-5-3-4 (4) 釘接合部変位-時間曲線  
(ボード厚さの影響)

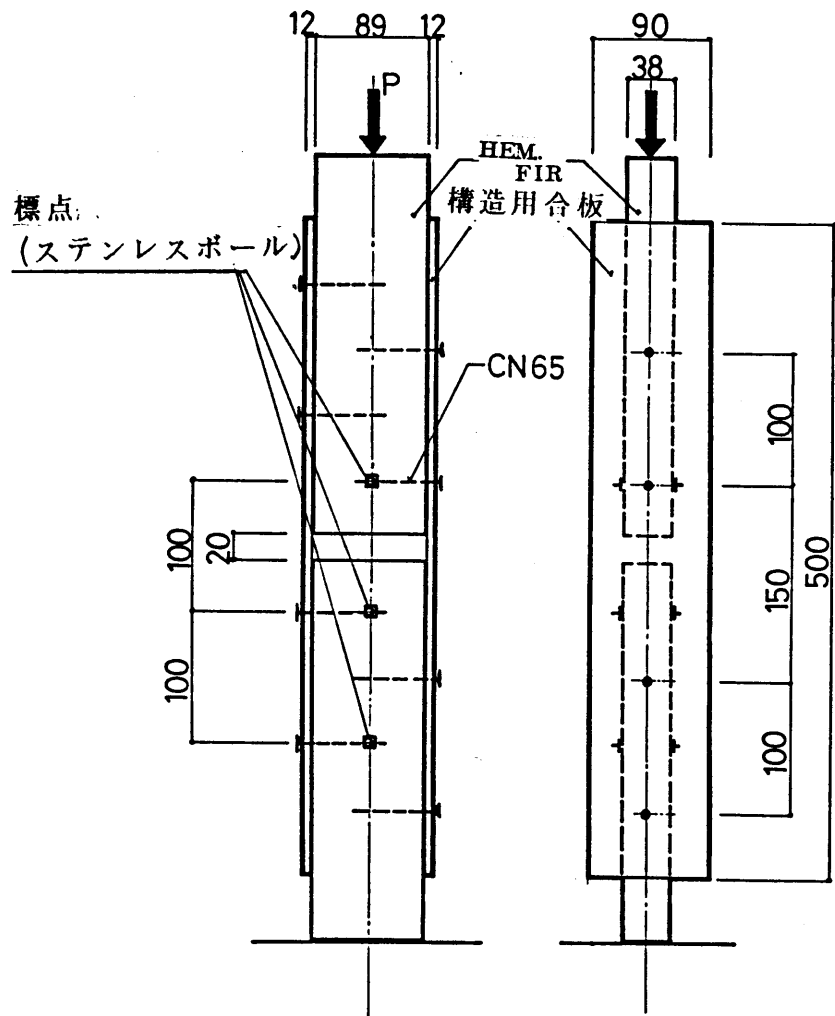


図-5-3-5 釘接合部クリープ試験体（屋外ばくろ用）

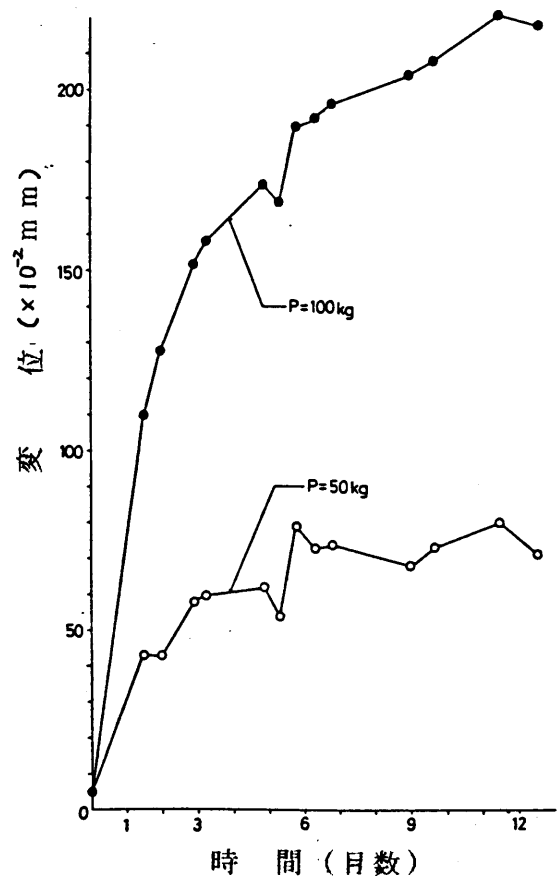
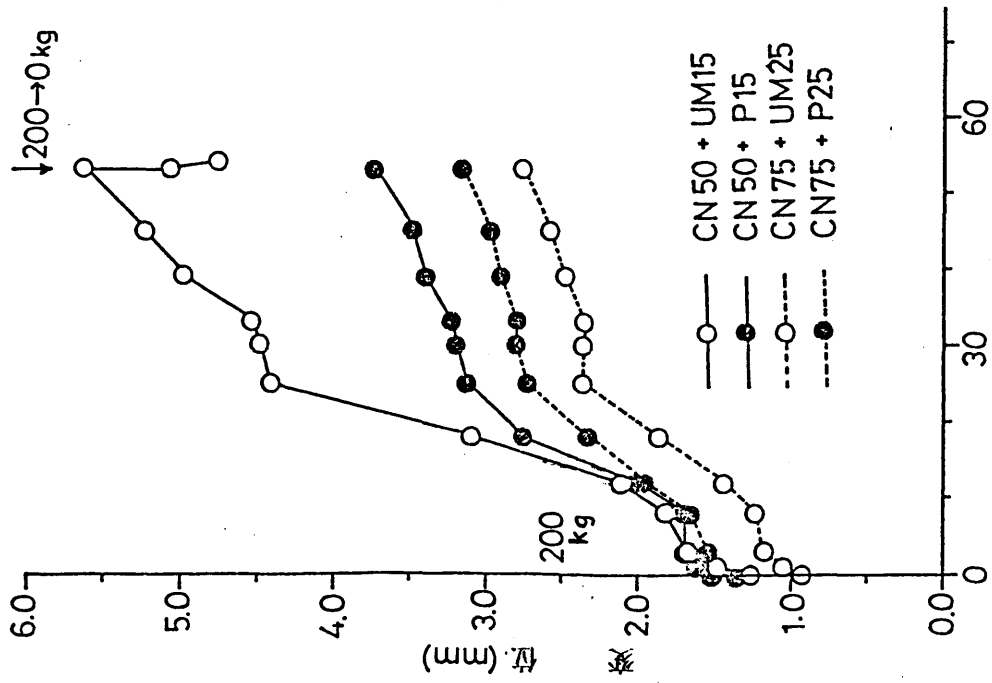


図-5-3-6 釘接合部の屋外条件下の変形-時間曲線



時間 (日数)

図-5-3-7 釘接合部変位-時間曲線 (屋外ばくろ)

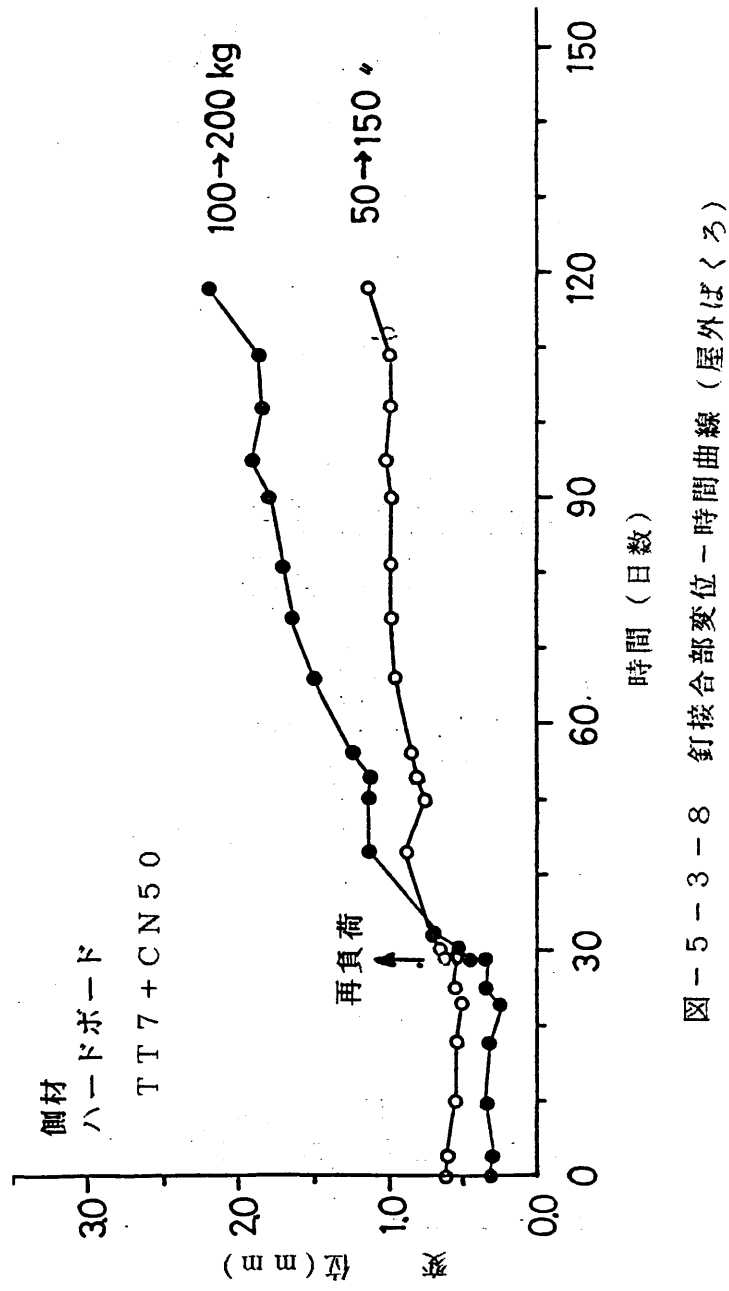


図-5-3-8 釘接合部変位-時間曲線 (屋外ばくろ)



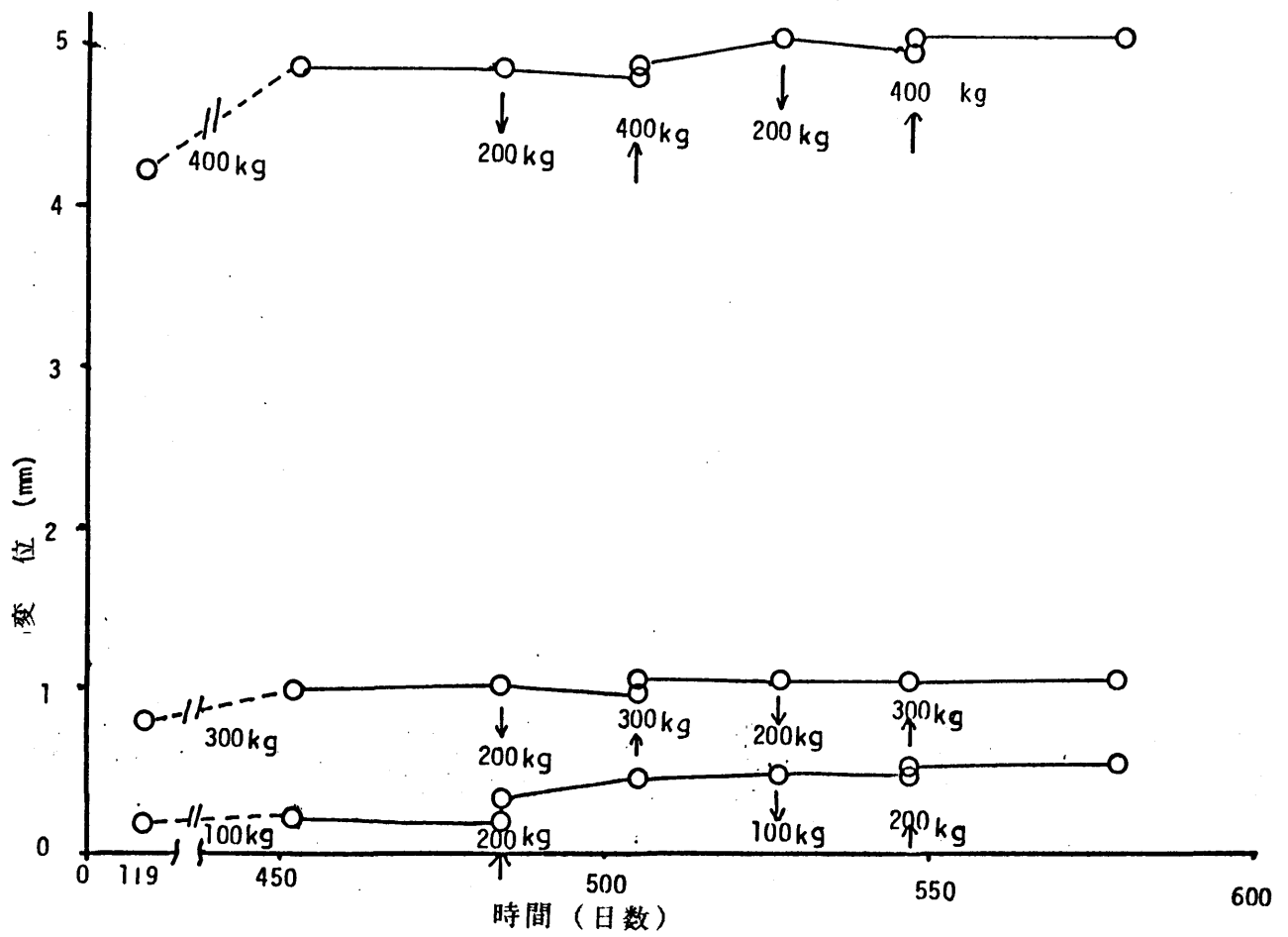


図-5-3-9 (1) 変位-時間曲線 (構造用合板12mm、CN 65)

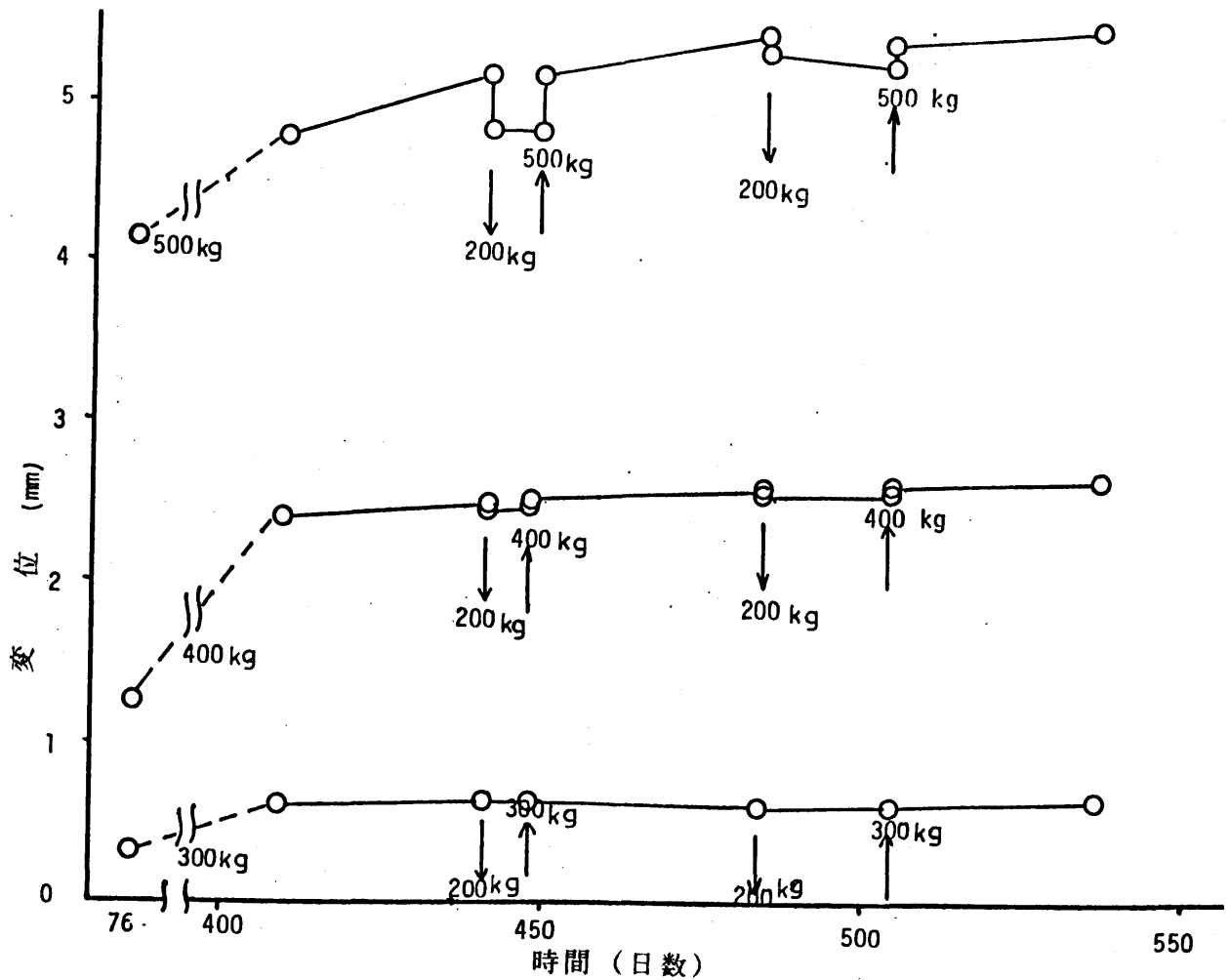


図-5-3-9 (2) 変位-時間曲線 (木材、CN 90)

表-5-3-2 釘接合部クリープの実験定数及び相対クリープ

釘接合試験体	荷重 (kg)	$\delta_0$	$\delta_{max}$	$\frac{\delta_0 + \delta_{max}}{\delta_0}$	備考	
UM15-N50	200	0.93	0.70	2.32	パーティクルボード 釘の種類 ボード厚さの影響	
UM15-CN50	200	0.54	0.54	2.02		
UM15-CN65	200	0.45	0.36	1.80		
UM15-CN75	200	0.48	0.38	1.81		
UM20-CN50	200	0.67	0.86	2.29		
UM20-CN75	200	0.38	0.29	1.76		
UM25-CN50	200	1.90	1.92	2.01		
UM25-CN75	200	0.47	0.37	1.79		
UM15-CN50	300	3.90	2.80	1.71		
UM25-CN75	300	0.78	0.61	1.78		
KP12-CN50	100	0.13	0.04	1.33	パーティクルボード 荷重の影響	
KP12	200	0.32	0.40	2.25		
KP12	300	1.51	2.04	2.35		
KM12	100	0.24	0.028	1.11		
KM12	200	0.46	0.22	1.47		
KM12	300	1.08	1.80	2.66		
KM12	400	1.45	2.37	2.63		
G7.5-CN50	100	0.09	0.064	1.68		合板 荷重の影響
G7.5	200	0.58	0.28	1.48		
G7.5	300	3.31	1.02	1.31		
S-7-CN50	100	0.15	0.22	2.55	ハードボード 荷重の影響	
S-7	200	0.97	0.80	1.82		
TS-7	100	0.13	0.17	2.34		
TS-7	200	0.48	0.62	2.29		
KT-7	100	0.13	0.15	2.18		
KT-7	200	0.39	0.38	1.97		
TT-7	100	0.14	0.20	2.49		
TT-7	200	0.32	0.27	1.87		
TT-7	300	1.15	1.87	2.63		
UM15-CN50	200	1.27	4.39	3.64		パーティクルボード 屋外ばくろ条件下
P15-CN50	200	1.54	2.21	2.43		
UM25-CN75	200	0.92	1.19	3.07		
P25-CN75	200	1.37	1.85	2.53		

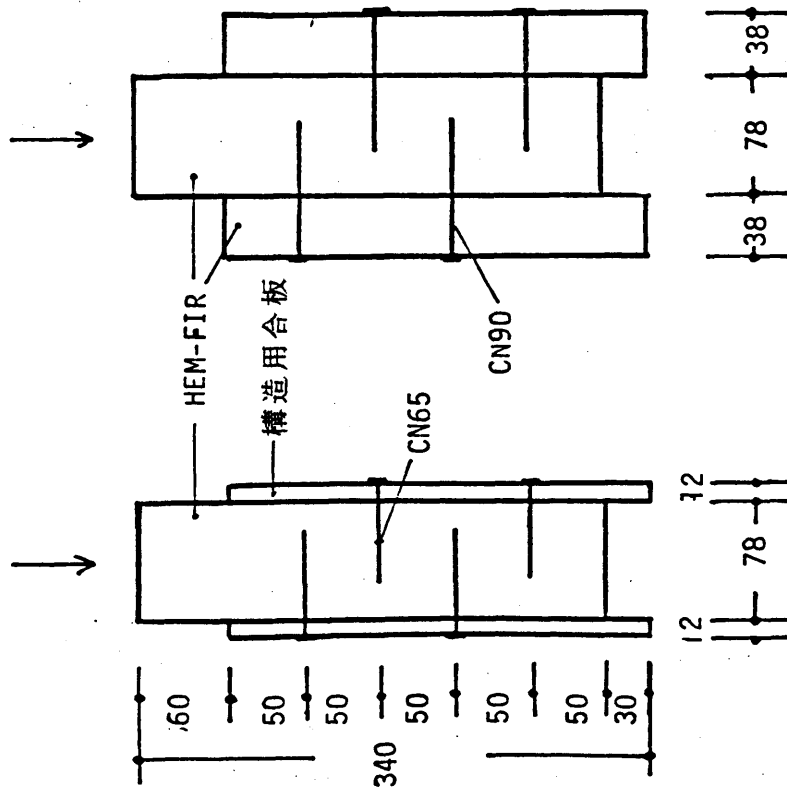


図-5-3-10 釘接合試験体

### 3-5 釘接合部のクリープ曲線と変形機構

3-1~4で、釘接合部のクリープを現象的に明らかにしたが、その変形は塑性的要素が累加され安定化が進むような変形形態であることが認められた。そこで前述したクリープの傾向を数値的に評価するために、次のようなモデルを考えることにした。

今、時間に依存する要素のうち、荷重負荷後、時間 $t$ までの変形量を $N(t)$ とし、次の関係を仮定する。<sup>129)</sup>

$$N(t + \Delta t) - N(t) = \lambda \Delta t (N_{\max} - N(t)) \dots\dots\dots (5.3.1)$$

すなわち、時間 $\Delta t$ 経過したときの新たに変形する量は、経過時間 $\Delta t$ と、残っている変形量 ( $N_{\max}$  は最終的に安定する変形量) に比例する。

$\Delta t \rightarrow 0$ ,  $N(0) = 0$  として解けば、

$$N(t) = N_{\max} (1 - e^{-\lambda t}) \dots\dots\dots (5.3.2)$$

次に、クリープ変形量 $\delta(t)$ は、 $N(t)$ に比例すると考え、被接合材や木材組織などの多種性を考慮して $N_{\max}$ や $\lambda$ の異なる要素の総和と考えると、次のように一般化される。

$$\delta(t) = \sum_{i=1}^n \delta_{\max i} (1 - e^{-\lambda_i t}) \dots\dots\dots (5.3.3)$$

本研究では要素を簡略化して、釘接合部のクリープ曲線に次式をあてはめてみる。

$$\delta(t) = \delta_0 + \delta_{\max} (1 - e^{-\lambda t}) \dots\dots\dots (5.3.4)$$

$\delta(t)$  : 全変形量,  $\delta_0$  : 負荷直後の変形量 (瞬間変形; (5.3.3) 式の特異形を考えると $\lambda_i$ が極めて大きい場合 $e^{-\lambda_i t} \cong 0$ )

$\delta_{\max}$  : 平衡時の変形量 ( $t \rightarrow \infty$ の時のクリープ量),  $\lambda$  : 定数

クリープ曲線への適合性からみると、いくつかの要素を考えた方がよいが、長時間側を重視し、1つの要素で考えてみることにする。前述したクリープ曲線の傾向から、 $\lambda = 0.05$ が一般的に適合性がよかったのでそれを与え、 $\delta_{\max}$ を求めると表-5-3-2のようになり実測値と計算値を比較した例は、当然のことながら図-5-3-11に示したように適合性がよい。しかし、ここでは、実測値と計算値との適合性を問題としているのではなく、クリープ現象を数式化することにより釘接合部のクリープに影響を与える要因をより明確化するためである。

表-5-3-2中の $(\delta_0 + \delta_{\max}) / \delta_0$ は、最終平衡時の相対クリープを示しており、屋外ばくろと恒温恒湿状態とでは相対クリープに大きな差異がみられる。また、図-5-3-12(1)~(3)、図-5-3-13、14、15は、これらの係数の関係を示したもので、木質材料によって差異がみられるが一定の傾向は、認められない。しかし、3-1~4項で述べた定性的な傾向が定量的に明確になっている。

以上の結果から釘接合のクリープたわみの評価上重要な点をまとめると次のようになる。

- (1) 合板は他の木質材料と比較して相対クリープ ( $(\delta_0 + \delta_{max}) / \delta_0$ ) の占める率が低く、荷重の増加に伴ってその比率が低くなり、パーティクルボードなどとは逆の傾向になる。
- (2) 相対クリープは木質材料の種類、釘の径、荷重の大きさに依存し、側材厚さの影響が少ない。
- (3) 相対クリープは、その環境条件、とくに湿度条件に大きく依存し、ばくろ、定常状態とではかなり大きな差異があり、評価上湿度条件による区分を考慮する必要があることが認められた。このことは、側材である木質材料の種類によっても影響を受ける。

以上のような釘接合部のせん断クリープ特性の結果をもとに長期耐力性能の評価について主要な点をまとめると次のようになる。

- (1) ボード類の釘接合部のせん断変形を考えた場合、部材の接合部としての挙動は許容耐力よりも許容変位を基本とした耐力評価にした方がよい。その場合、許容変位の時間的な評価には荷重作用時間との対応を基本にするのが合理的である。ただし、変位が重要ではなく、長時間経ても著しい破損に到らない耐力として許容耐力を定めるとすると  $\delta_0$ 、 $\delta_{max}$  が急激に増加しはじめる点（最大耐力の30～40%）を目安と考えてよい。その場合長期時間経過後の変位は初期変位の2～3倍程度である。
- (2) 釘接合部が、それを構成している材料の水分変動が著しくなるような環境にある場合には、相対クリープが大きくなることを考慮する必要がある。
- (3) 釘接合部のクリープ変形は釘の種類と側材の種類、厚さ等に影響を受けるが、本研究の範囲からは側材の厚さの2.5倍以上の釘長さの組合せにすると、安定した挙動を示し、かつ釘径の太い釘ほど安定性は高い。

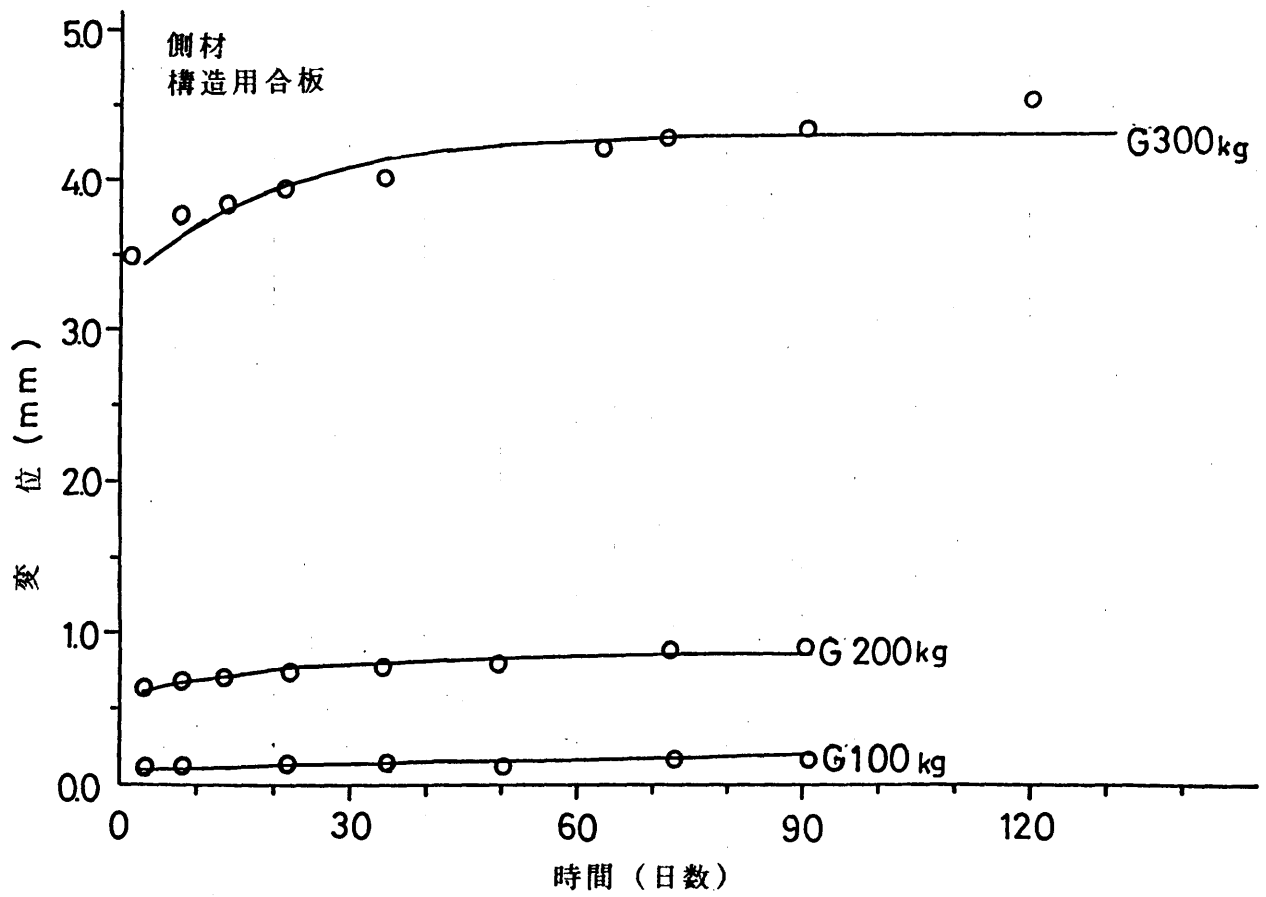


図-5-3-11(1) 変位-時間曲線  
(計算値と実測値の比較)

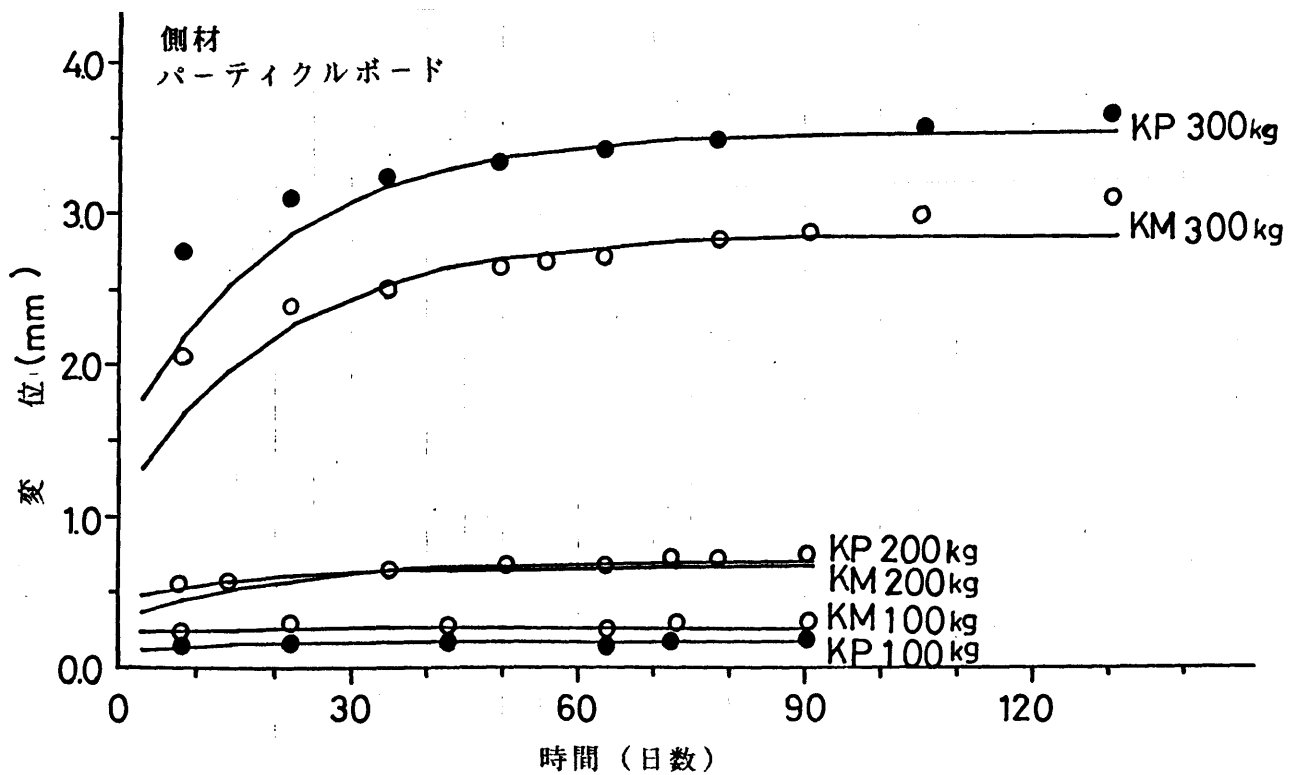


図-5-3-11(2) 変位-時間曲線  
(計算値と実測値の比較)

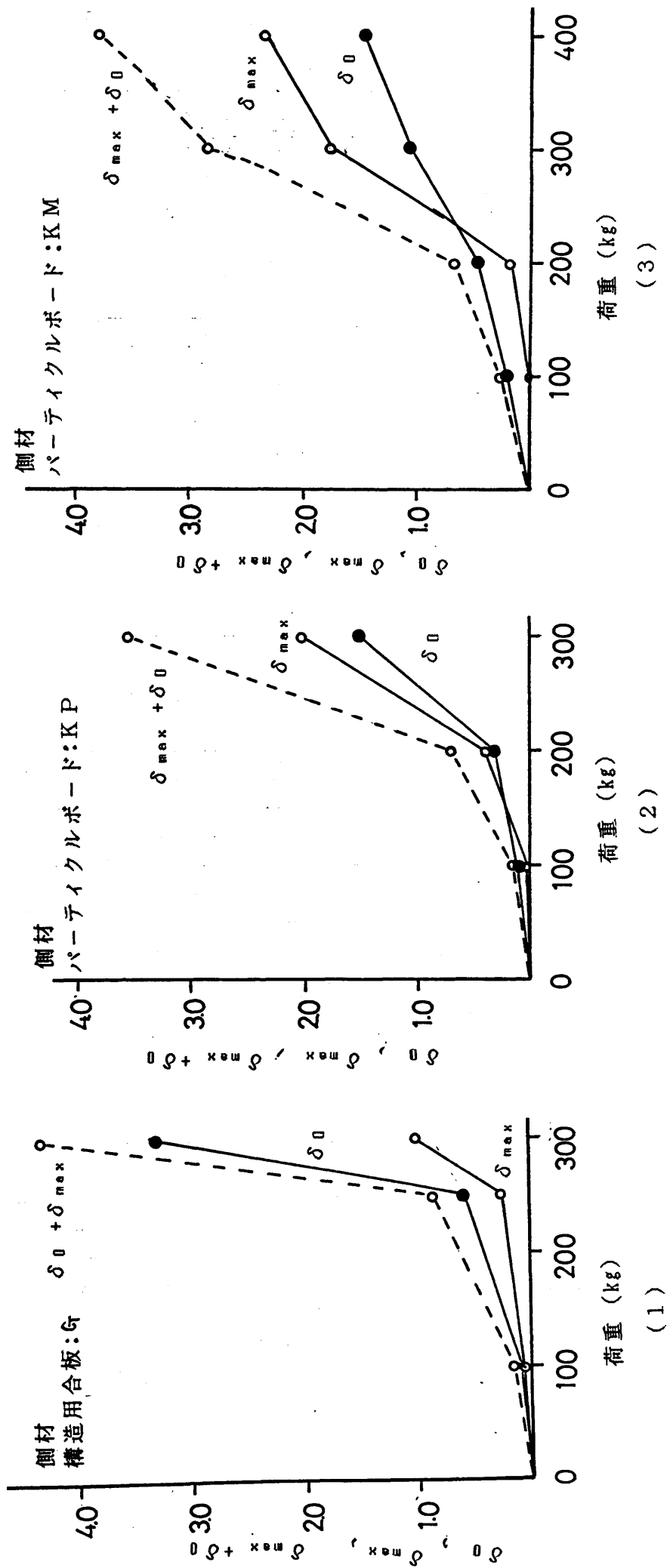


図-5-3-12 荷重と実験定数との関係

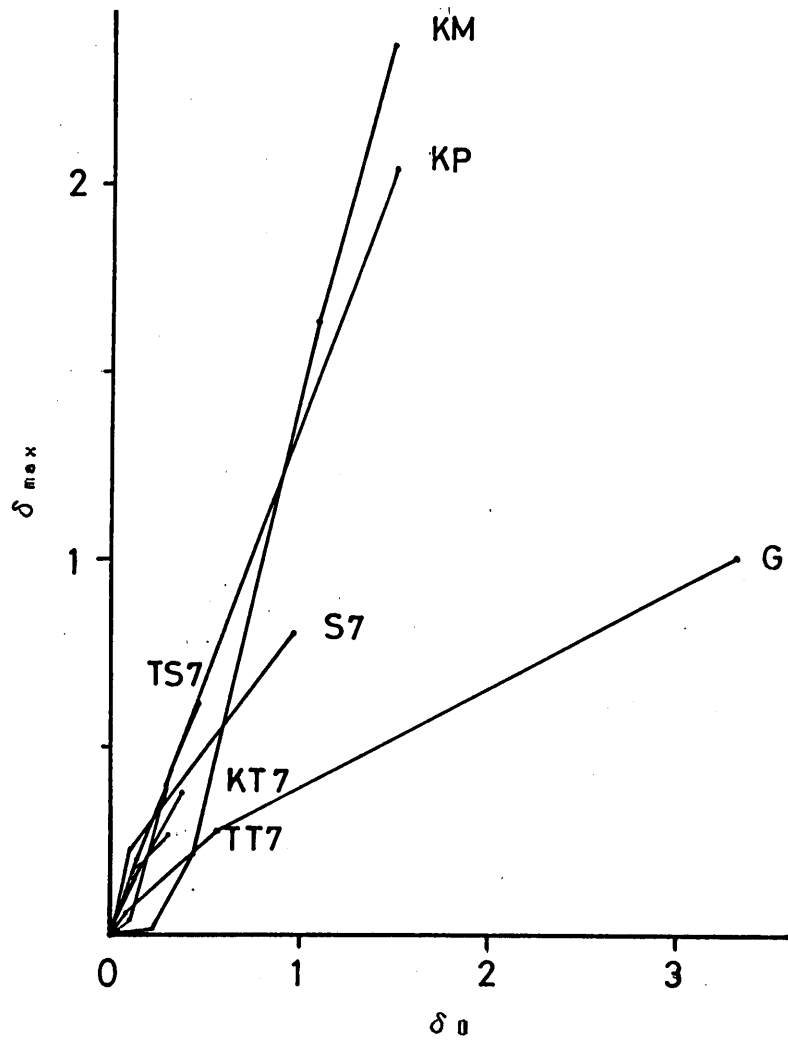


図-5-3-13  $\delta_0$  と  $\delta_{max}$  の関係

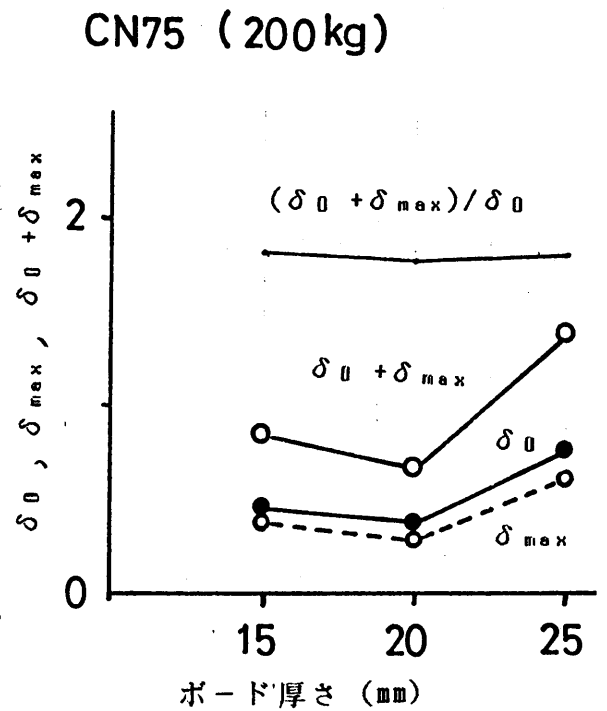
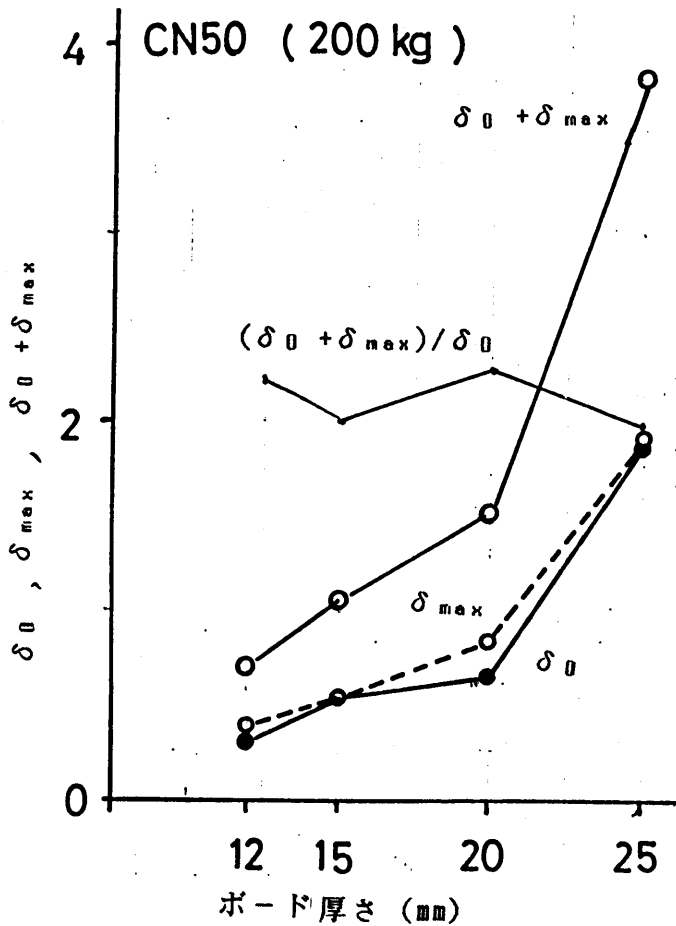


図-5-3-14 ボード厚さと  $\delta_0$  と  $\delta_{max}$  との関係  
(パーティクルボード: UM)

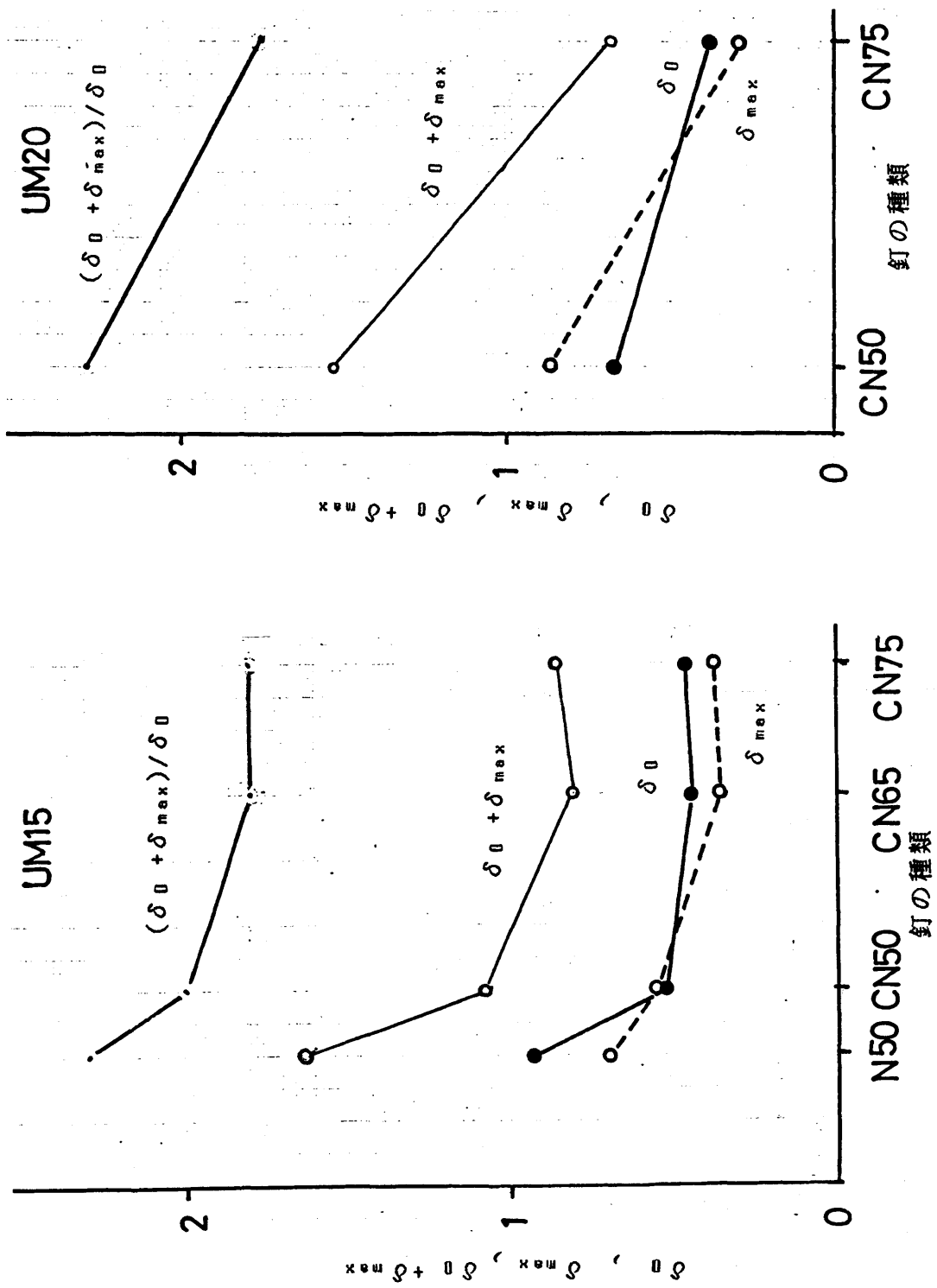


図-5-3-15 釘の種類と $\delta_0$ ,  $\delta_{max}$ との関係 (パーティクルボード)



## 第4節 釘接合部の繰返し荷重下の特性

前節までに、釘接合部の長期耐力性能の評価上重要である釘の腐食およびそれにとともなう耐力の変動、さらにせん断クリープ特性等について現象面より明らかにし、釘接合部の特異性と長期耐力性能の評価に関する基本的な考え方を示した。

本節では、釘接合部の長期耐力性能評価を行う上で、とくにデータの蓄積が少なく、被接合材料の多様化に伴い重要な項目である繰返し荷重下における釘接合部の特異性について検討した。

### 4-1 各種木質材料を側材とした釘接合部の繰返し荷重下における変形

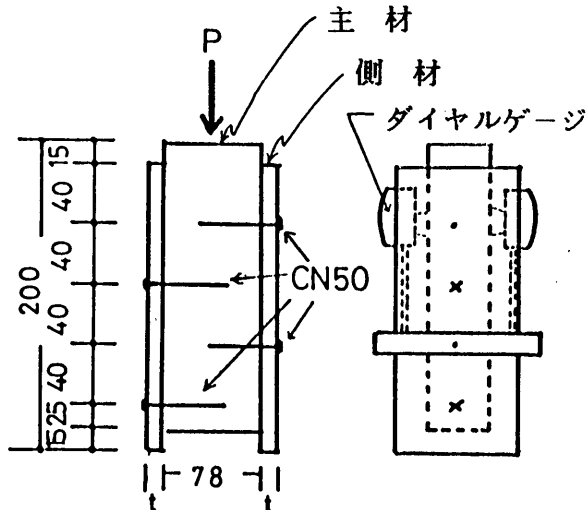
釘接合部は、被接合材料の多様化に伴い、従来のように木材相互の釘接合だけではなく面材料として使用されている合板やパーティクルボードなどとの接合が増えつつあり、その傾向は著しい。ここでは、これらの材料が釘接合部に用いられた場合の繰返し荷重下における変形の特異性について検討した。

#### 4-1-1 試験方法

試験体は、図-5-4-1に示した釘接合部に常用されている形状のものであり、使用した木材は枠組壁工法用製材（呼称204材：Hem-Fir）の気乾材である。側材は、構造用合板（厚さ7.5、9.0、12.0mm）、パーティクルボード厚さ12mm（メラミン・ユリア、フェノール樹脂接着剤使用のM、Pボード）、ハードボード（厚さ5.0、7.0mm）である。釘は、CN50釘を用いた。

繰返し荷重は、図-5-4-2に示した装置を用いて加力した。この装置は、片持梁形式でカムの運動によって支持台が上下運動を行ない、図-5-4-3に示したような繰返し荷重を釘接合部に与えることができる。なお本装置の場合、釘接合部の変形の進行とともに片持梁が下降し、一定の荷重を負荷することができなくなるため、一定時間毎に梁の水平度を調節した。繰返し周期は17回/分（1000回/時間）である。

試験は、表-5-4-1に示した各々の試験体の静的加力試験から求まる最大荷重に基づいて、3種類の荷重レベル（荷重比：10、30、50%）を決め、表-5-4-2に示した載荷様式で行なった。主材と側材の相対変位は、電気式ダイヤルゲージにて経時的に計測した。試験環境は、20℃、65%RH一定とした。



- ① 主材: HEM-FIR
- ② 側材: 構造用合板, パーティクルボード,
- ③ ダイヤルゲージ                      ハードボード
- t: 側材の厚さ

図-5-4-1 接合試験体

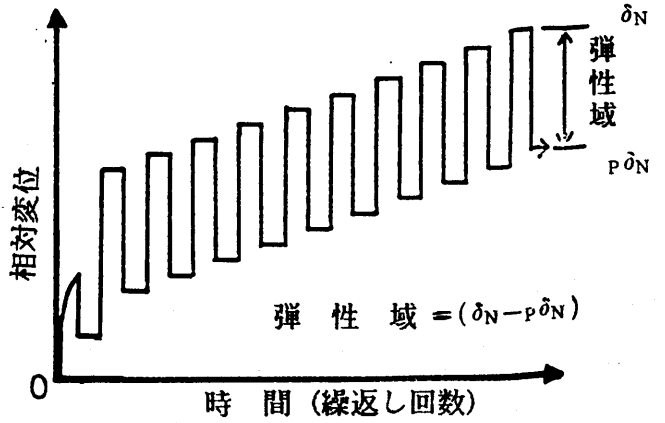
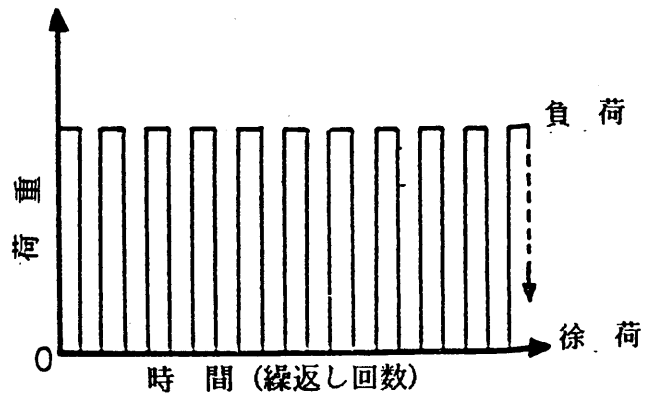


図-5-4-3 繰返し荷重と接合部の変位

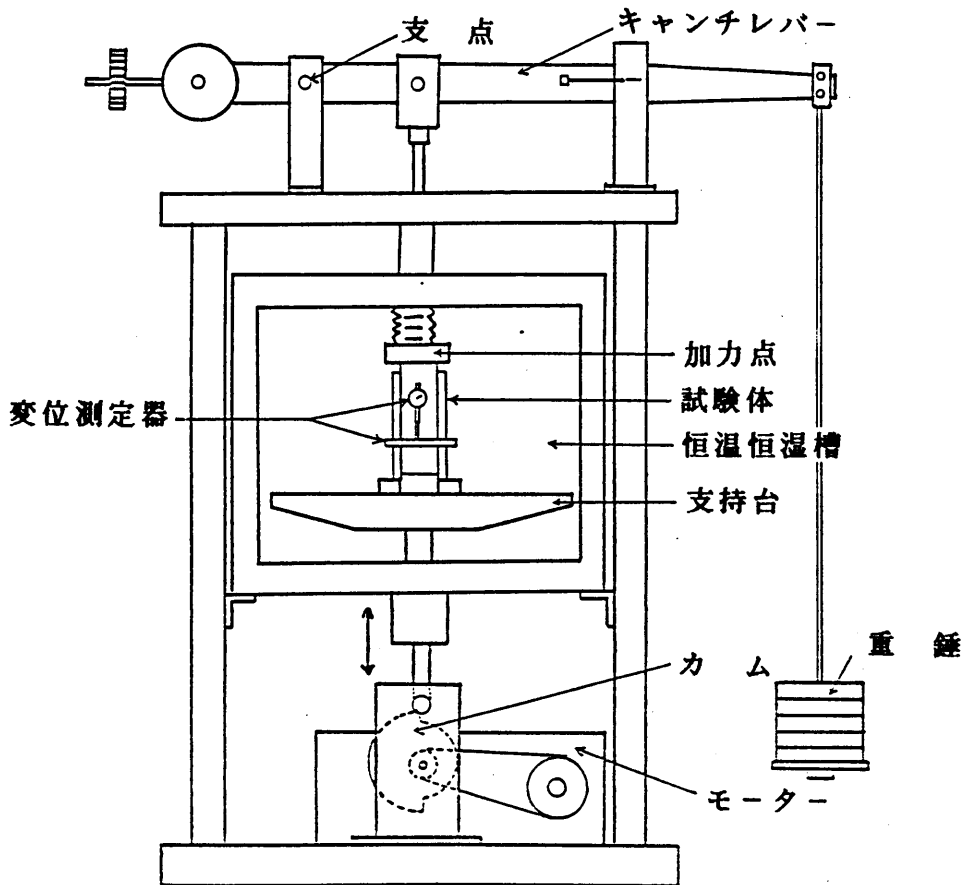


図-5-4-2 繰返し試験装置

表-5-4-1 繰返し荷重

側材の種類	側材の厚さ(mm)	静的試験における最大荷重	繰返し荷重(kg)		
			荷重比(%)		
			10	30	50
構造用合板	7.5	530	55	160	270
	9.0	708	70	210	350
	12.0	546	55	165	270
パーティクルボード	M 1)	12.0	75	220	370
	P 2)				
ハードボード	5.0	632	65	190	315
	7.0	644	65	195	320

1) M;メラミン・ユリヤ樹脂使用  
2) P;フェノール樹脂使用

表-5-4-2 載荷様式

実験条件	載荷様式 (荷重比%)		
	繰返し回数1000回		
I	10%	30%	50%
II	10%	→ 30%	→ 50%
III	30%	→ 10%	→ 30%
IV	50%	→ 10%	→ 50%

注) 実験時の温湿度条件は20℃, 65%RH一定とした。

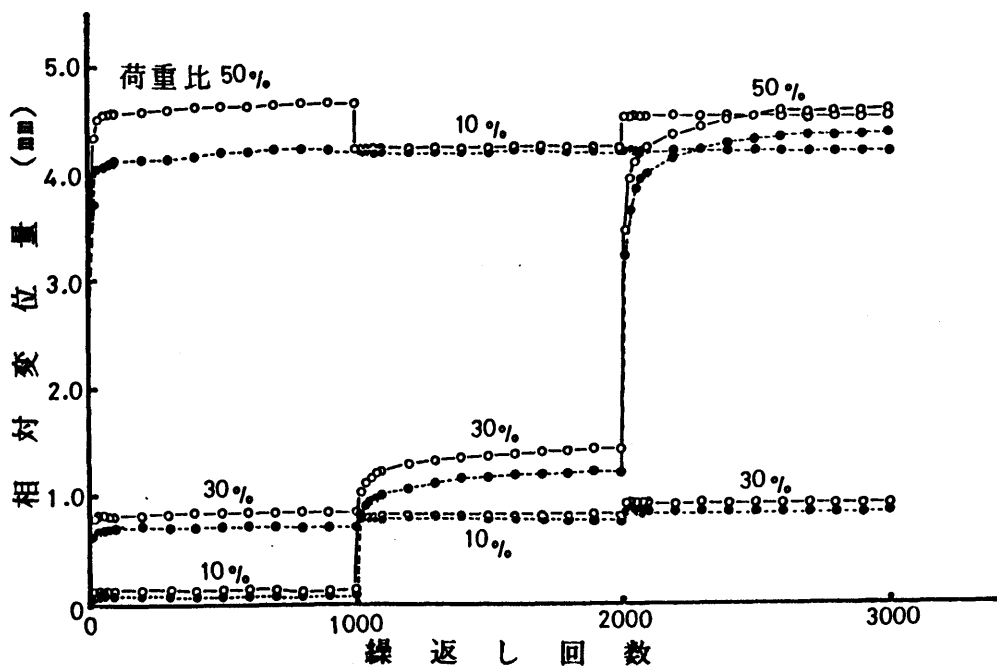


図-5-4-4 変形曲線(構造用合板9.0mm)

#### 4-1-2 試験結果および考察

##### (1) 相対変位量と繰返し回数および荷重比との関係

図-5-4-4~6に試験条件Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ(表-5-4-2参照)における相対変位量、繰返し回数および荷重との関係を示した。なお、試験条件Ⅰは各々の試験条件に含まれている。

これらの結果から、繰返し荷重下における変位量と回数との関係は、クリープ曲線に類似し、荷重比が増加すれば変位量も増加することが認められた。

その増加量は、荷重比10%ではさほど差は認められなかったが、荷重比30%以上では、構造用合板およびハードボードの場合は、板厚が厚くなれば変位量が少なくなり、パーティクルボードの場合は、使用されている接着剤の種類によって差のあることが認められた。また、荷重比50%の場合は、荷重比10%、30%に比べ変位量が著しく増加することが認められた。

試験条件ⅢおよびⅣでは、荷重比が変わっても残留変位量は、変化せず変位量も変化しない傾向が認められた。このことは、釘接合の特異性を示すもので、一度大きな変形を受けると、それ以後は、初めに作用した荷重よりも小さな荷重が作用しても変形が回復しないことを意味している。したがって釘接合部は、それに作用している荷重の中で最大の荷重に変形が大きく支配されることが考えられる。

図-5-4-7~9に、試験条件Ⅱにおける各荷重比と繰返し回数および変位量との関係を示した。これより繰返し回数100回までの変位は、それ以後の変位量に比べ大きいですが、100回以降は変位量の増加は極めて少なく一定値に安定する傾向が認められた。この場合の「安定する」とはある平衡値に達することを意味し、本試験回数内での見掛け上の安定を指しており、必ずしも将来ともに変形が進行しないということではない。また、安定化するということは、接合部がせん断力を受けた場合に、木質部において釘の局部圧縮による圧密化が進み、それによって木質部のせん断力に対する抵抗性を増すことによるものと考えられる。

一方、変位量と荷重比との関係においては、荷重比30%付近で変位が急増する傾向が認められた。このことは、前節における釘接合部のクリープ変形においても認められたことである。

##### (2) 変位量と残留変位量との関係

図-5-4-10に、試験条件Ⅲにおける弾性域量(変位量と残留変位量との差:図-5-4-3参照)と荷重比との関係を示した。

全般的な傾向として、荷重比が30%までは、弾性域量が増加しているがそれ以降

は、あまり増加が認められない。このことは、前述したように荷重比が増加するにつれて、釘が側材にめり込み、それによる局部圧縮に側材が抵抗するためであり、繰返し荷重の作用条件下では、荷重比の増加に伴い塑性的な変形要素の方が強くなっているためと考えられる。

### (3) 荷重比と繰返し回数との関係

図-5-4-11~17に各種木質材料を側材とした場合、変形量( $\delta$ )が一定という条件下における荷重比と繰返し回数との関係を示した。これらの図により、荷重比と繰返し回数との関係を表わす実験式として次式が考えられる。

$$LR = a \delta^b - C \log N \dots \dots (5 \cdot 4 \cdot 1)$$

ここに、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ ：実験定数、 $\delta$ ：変位量、 $N$ ：繰返し回数

LR：荷重比

上式を用いることにより、外力条件である荷重の大きさと繰返し回数（作用回数・頻度）が定めれば、釘接合部に生じる変位量は予想できる。

### (4) 静的試験と繰返し試験との関係

図-5-4-18に、側材が12mmのパーティクルボード(M)における繰返し1回目に変位0.5、1、2、3mmを生じせしめる荷重と、静的な試験から求まる各変位に対する荷重との関係を示した。

この図より、繰返し試験から求まる荷重は、静的試験の荷重の約7割程度であり、繰返し試験が静的試験より釘接合部にとって厳しいことが認められた。

### (5) 残存耐力

表-5-4-3に1000回の繰返し試験後、静的な試験を行ない、釘接合部の残存耐力を調べた結果を示した。

この結果より、繰返し試験後の残存耐力は、繰返しを受けていない場合とほとんど変わらず、本試験程度の繰返し回数では、耐力低減のないことが認められた。なお、この結果は木材相互の釘接合部に関する結果と一致していた。<sup>114)</sup>

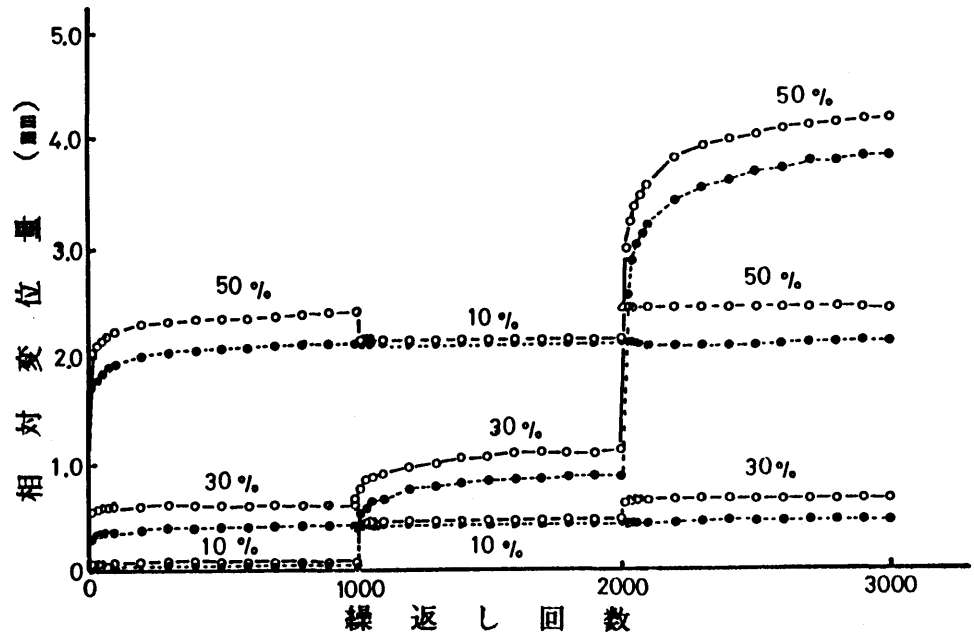


図-5-4-5 変形曲線 (パーティクルボード:P)

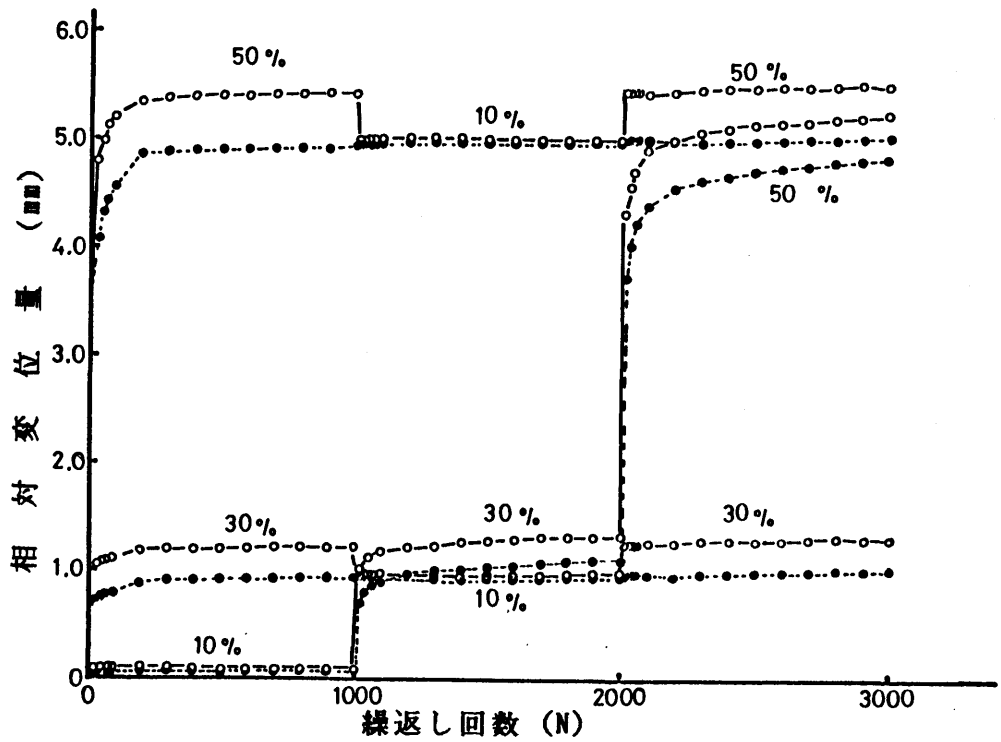


図-5-4-6 変形曲線 (ハードボード 5mm)

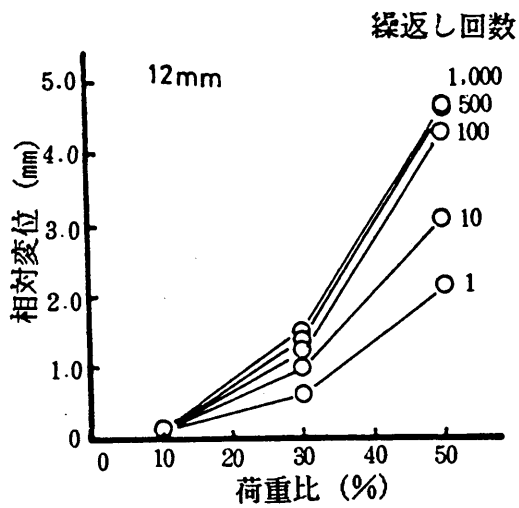
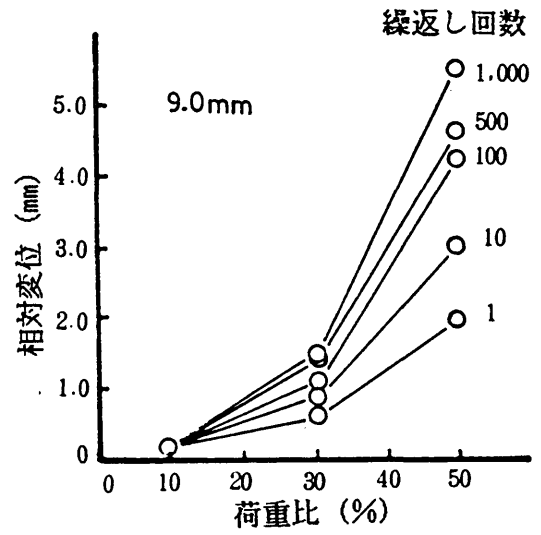
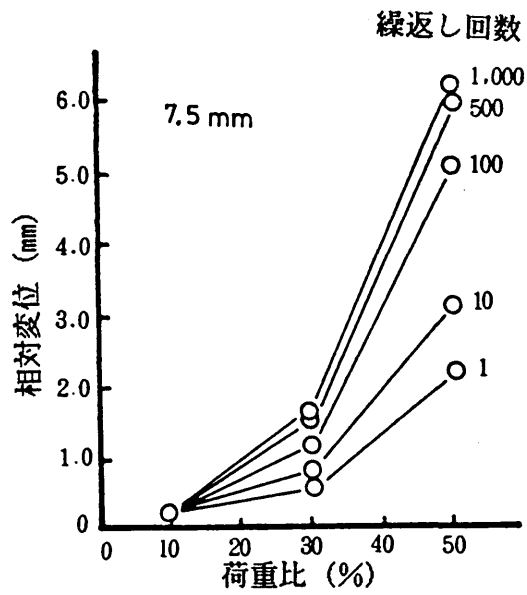


図 - 5 - 4 - 7

荷重比と変位量との関係  
(構造用合板)

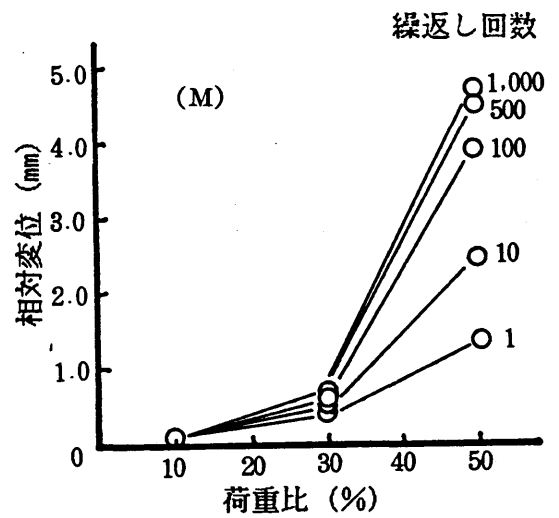
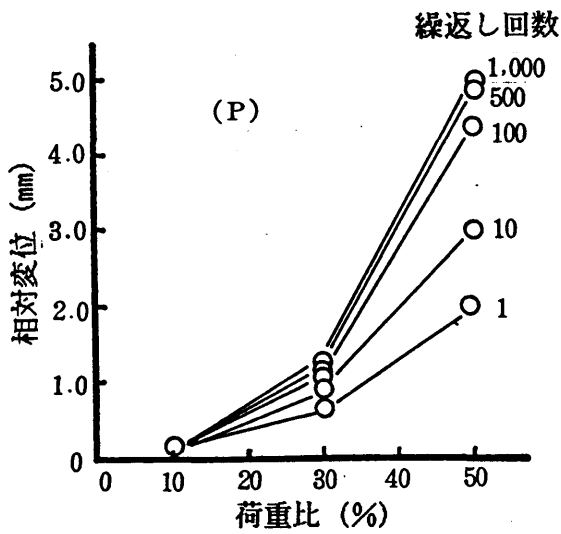


図 - 5 - 4 - 8 荷重比と変位量との関係 (パーティクルボード)

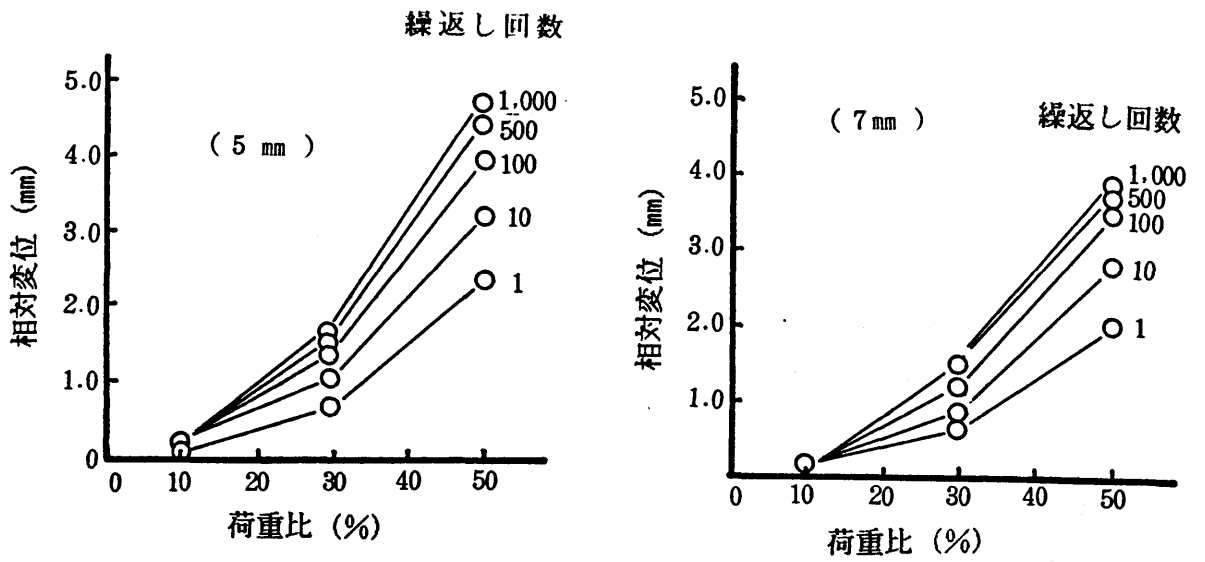


図 - 5 - 4 - 9 荷重比と変位量との関係 (ハードボード)

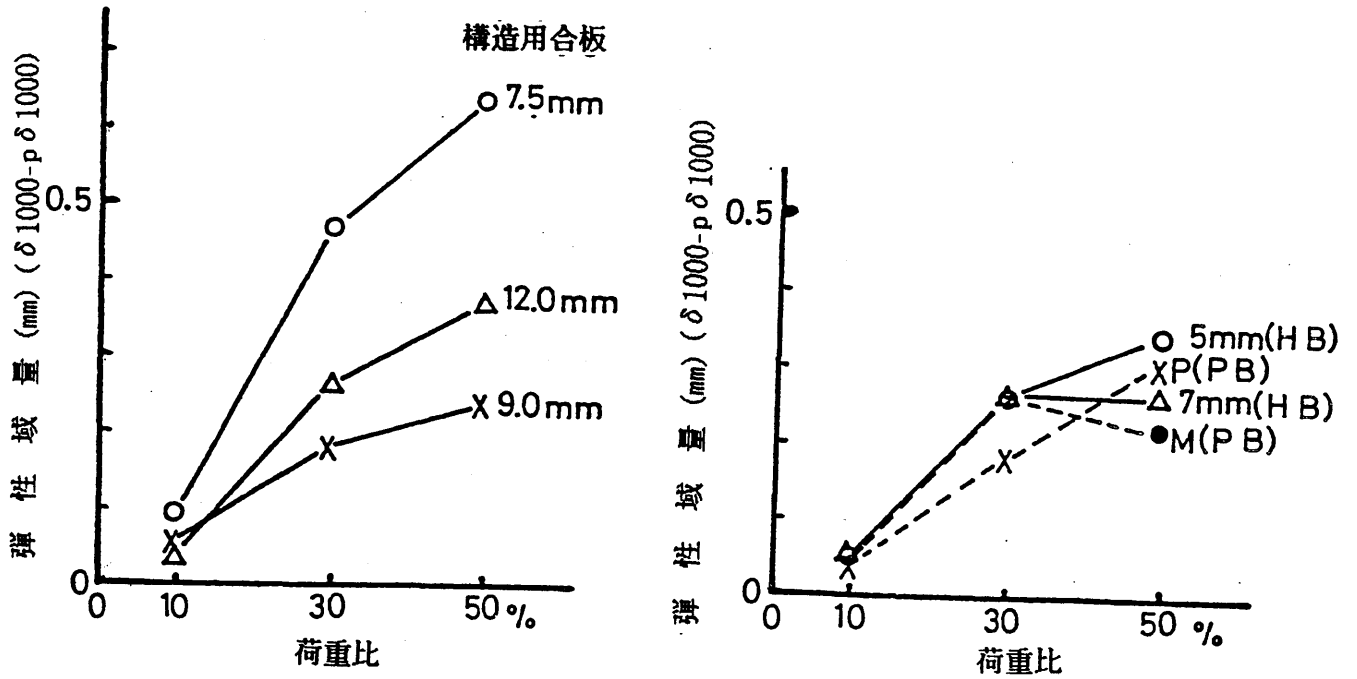


図 - 5 - 4 - 10 弾性域量と荷重比との関係



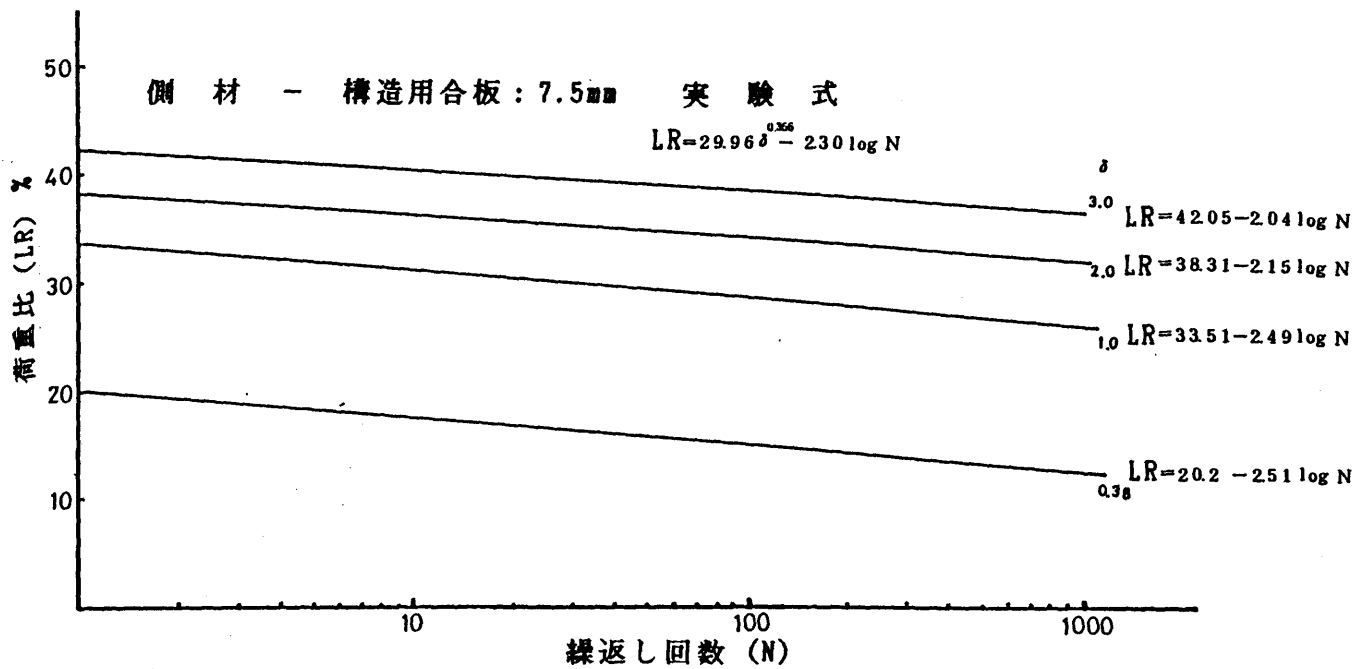


図 - 5 - 4 - 1 1 繰返し回数と荷重比との関係 (構造用合板 7.5 mm)

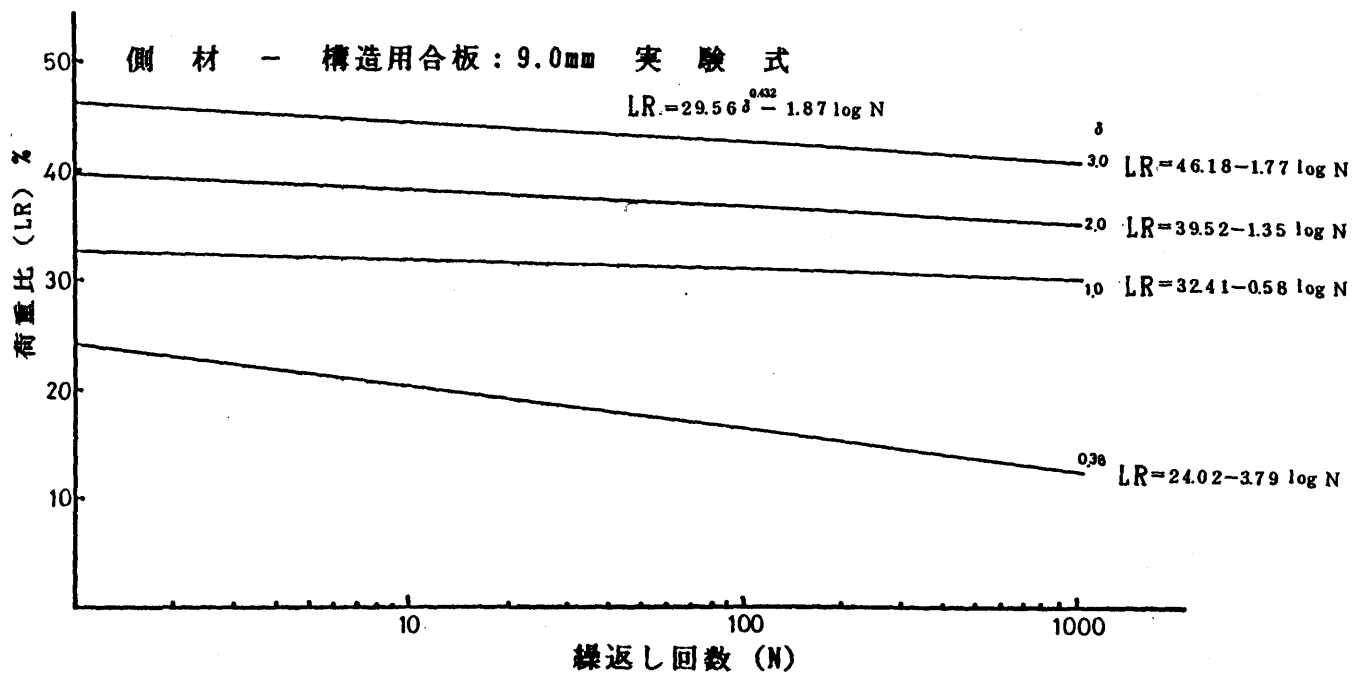


図 - 5 - 4 - 1 2 繰返し回数と荷重比との関係 (構造用合板 9.0 mm)

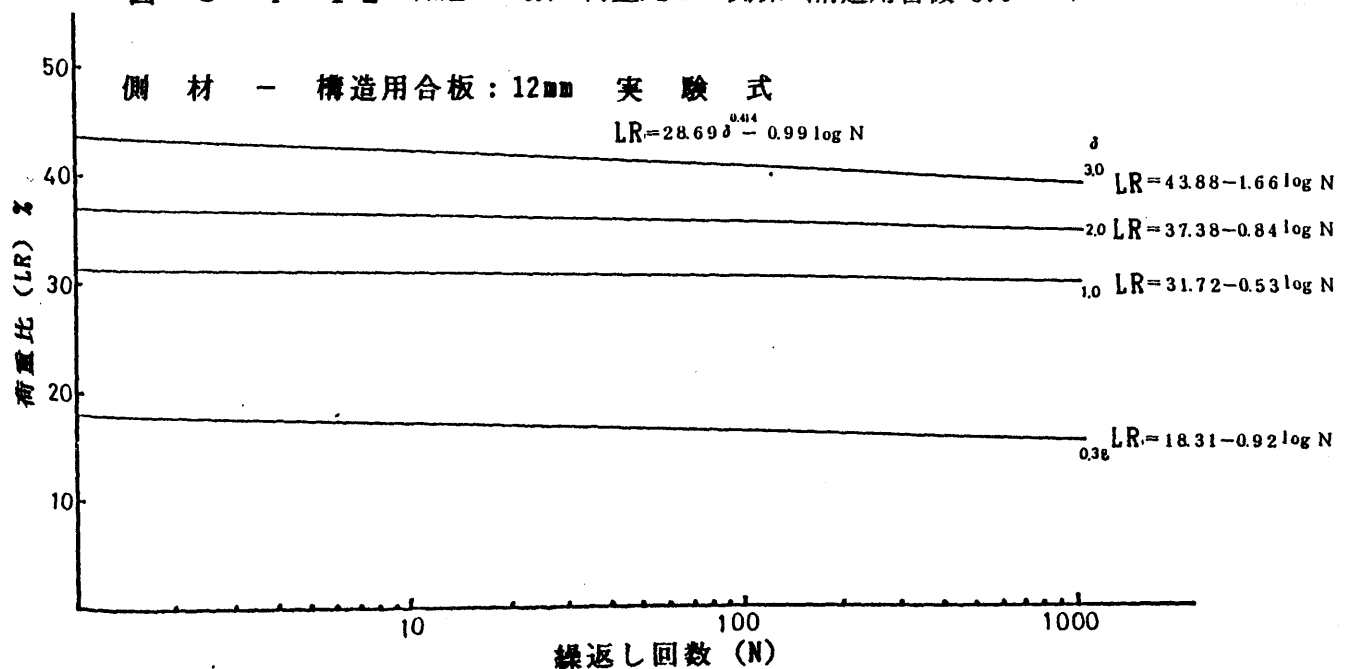


図 - 5 - 4 - 1 3 繰返し回数と荷重比との関係 (構造用合板 12 mm)

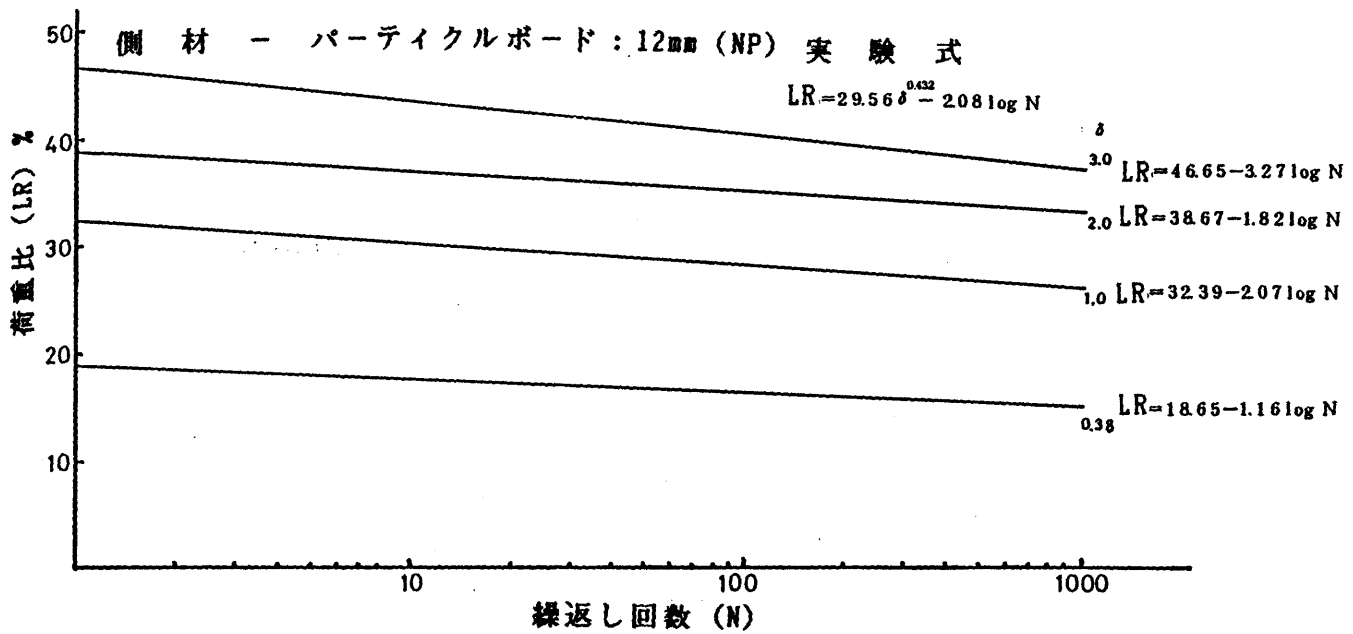


図 - 5 - 4 - 14 繰返し回数と荷重比との関係 (パーティクルボード ; NP 12 mm)

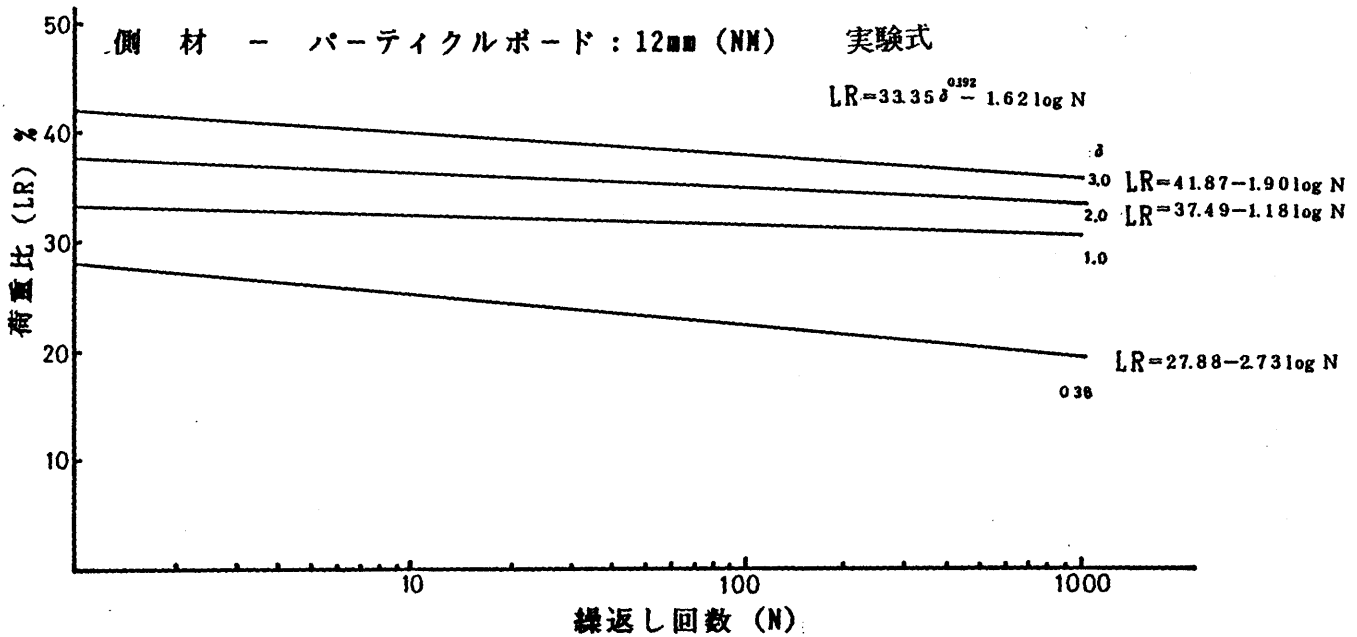


図 - 5 - 4 - 15 繰返し回数と荷重比との関係 (パーティクルボード ; NM 12 mm)

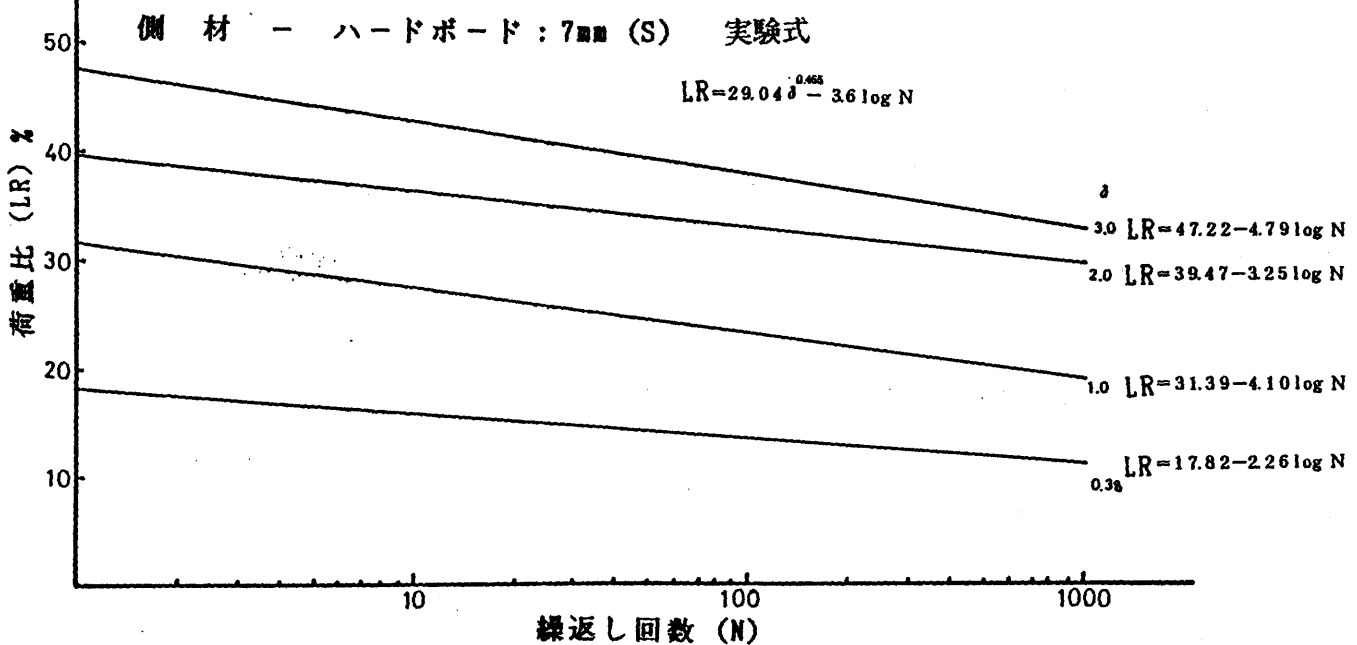


図 - 5 - 4 - 16 繰返し回数と荷重比との関係 (ハードボード ; S 7 mm)

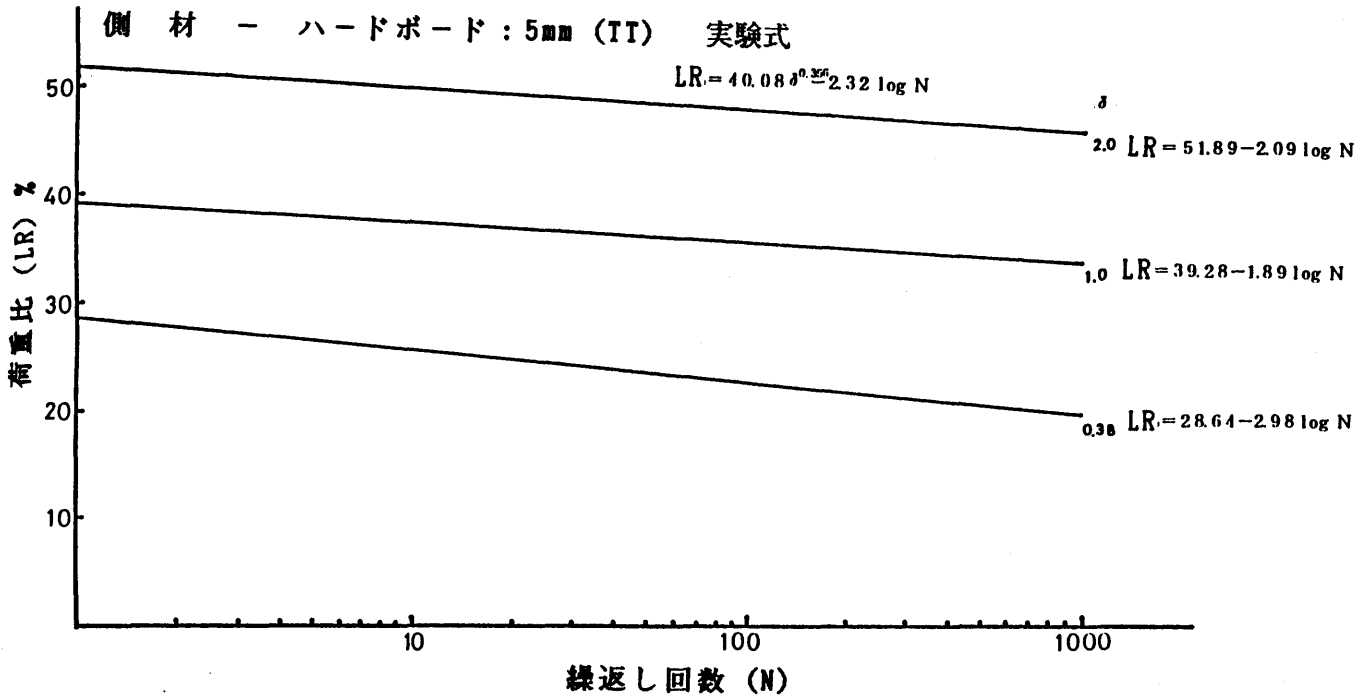


図-5-4-17 繰返し回数と荷重比との関係 (ハードボード ; TT 5 mm)

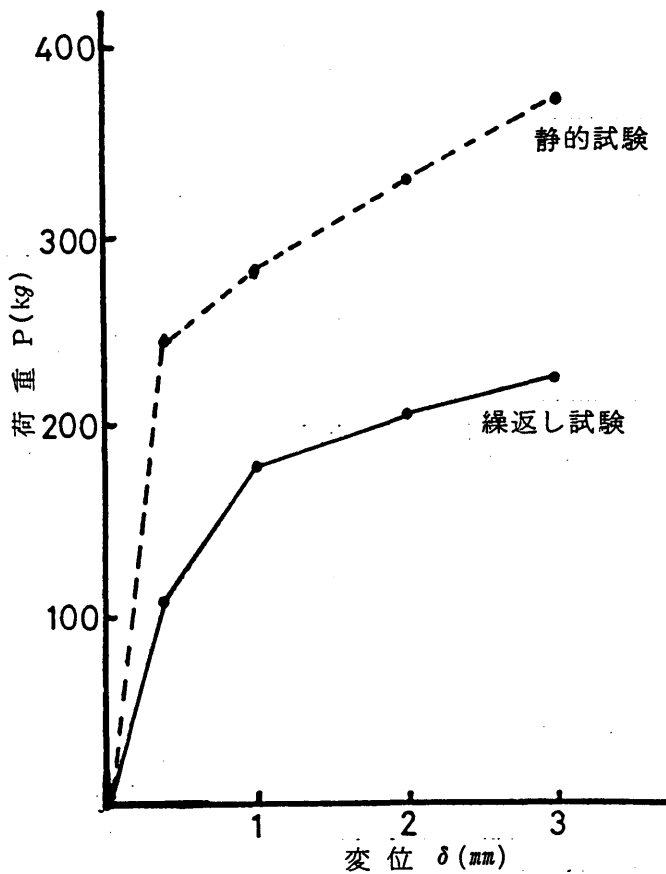


表-5-4-3 繰返し試験後の耐力と繰返しを行っていない試験体との耐力の比較

試験体		繰返しの荷重比 (%)*			
		10	30	50	10→30→50
合板	75mm	1.06	1.17	0.99	1.01
	9.0mm	0.96	1.04	0.95	0.93
	12.0mm	1.07	1.01	1.08	1.12
ボーター ティ クル ドル	メラミン・ エリア	1.05	1.08	0.96	1.12
	フェノール	1.00	0.96	0.99	1.02
ボハ ード ド	5.0mm	1.03	0.95	1.11	1.03
	7.0mm	1.13	1.17	1.13	1.11

\*)  
 • 10, 30, 50% 繰返し1000回  
 • 10→30→50% 各%毎に繰返し1000回

図-5-4-18 静的試験および繰返し試験の変位と荷重との関係

## 4-2 釘の種類・側材厚さの影響

前項では、木質材料を側材とした釘接合部の全般的な傾向について検討したが、ここでは、繰返し変形に影響を及ぼす釘の種類・側材厚さなどについて検討することにした。

### 4-2-1 試験方法

試験体の寸法・形状および主材については4-1の試験と同じである。側材は、パーティクルボード(Mボード：厚さ15、20、25mm)の3種類とした。釘は、径および長さが異なる4種類(N50、CN50、CN65、CN75)を用いた。また試験装置、繰返し周期、回数、環境条件等は4-1と同条件である。なお、荷重の載荷様式は、200kg→300kg→200kgとした。

### 4-2-2 試験結果および考察

#### (1) 釘の種類・側材厚さとの関係

図-5-4-19に、荷重が200kgの場合において、釘の種類と側材厚さの違いによる繰返し荷重下における変形性状の違いを示した。この図において横軸は、主材への釘の打ち込み部分で釘が木材から側材を受ける面積(S)を縦軸は相対繰返し変位比(繰返し回数1000回目における変位( $\delta_{1000}$ )と初期の変位( $\delta_0$ )との比： $\delta_{1000}/\delta_0$ )を示す。

この結果から、同じ種類の釘においては、主材への釘の打ち込み深さ、すなわち、側材の厚さの違いによって繰返しによる変形性状が異なり、側材が厚くなれば変形量が小さくなる傾向を示した。

一方、釘の種類によっても変形性状は異なり、釘径が小さいほど変位量は、大きくなる傾向が認められた。例えばN50釘では、初期変形に対して約3.2倍、CN50釘では約2.3倍、CN65釘では約1.3倍変形が進行するが、CN75釘では、ほとんど変形していないことが認められた。このことは、釘径が大きいほど(釘が受ける木材の横圧縮に対する抵抗力が大きいほど)小さな変形を示すものと考えられる。

#### (2) 繰返し荷重による変形の傾向とクリープによる変形の傾向との関係

繰返し荷重による変形の傾向がクリープ変形の傾向に類似していることが認められたが、ここでは、両者を比較することにした。なお、クリープ変形に関するデータは前節3-2の結果を用いた。

表-5-4-4に比較した結果を示した。この結果より、釘が大きくなるにつれ、またボードが厚くなるにつれて相対クリープ ( $\delta_{max}/\delta_0$ ) や相対繰返し変位比 ( $\delta'_{1000}/\delta'_0$ ) が小さくなりクリープ変形と繰返しによる変形の傾向は、類似していることが認められた。しかし、繰返しのような荷重が作用する場合とクリープのように荷重が継続して作用する場合とでは、木質材料の抵抗性に差異のあることが考えられることから、クリープと繰返し荷重下の挙動とは分けて考えた方がよいように考えられる。

釘接合部が繰返し荷重を受けた場合の変形特性について実験的に検討した結果、次のような結果を得た。

- (1) 相対変位と繰返し回数および荷重比との関係は、荷重比が大きくなれば変位も大きくなり、荷重比30%付近で変位が急増する傾向が認められた。また、釘接合部は、一度大きな変形を受けると、それ以後小さな荷重が作用しても、変形は回復しない傾向が認められた。さらに繰返し荷重および回数との関係は、(5・4・1)式で表わすことができる。
- (2) 変位量と残留変位量との差である弾性域量と荷重比との関係は、荷重比が30%までは、弾性域量も増えるが、荷重比30%以降では、塑性的変形要素が加わってくるため、弾性域量の著しい増加は認められない。
- (3) 繰返し試験後の残存耐力は、繰返し荷重を受ける前の静的な試験の耐力とほとんど変わらず、本試験程度の繰返し回数では、耐力低下のないことが認められた。
- (4) 釘の種類と側材の厚さとの関係は、釘径が大きいほど、また側材の厚さが厚くなるほど変位量は、小さくなる傾向が認められた。
- (5) 繰返し荷重下での変形の傾向は、クリープ変形の傾向と類似していることが認められたが、側材の材質の違いによって変形性状が異なることが考えられることからクリープとは分けた方がよいものと考えられる。

以上のようなことより、釘接合部の長期耐力性能評価を行う際の応力(荷重)条件として繰返し荷重を考慮し、その条件下での評価を行う必要があることが認められた。なお、その際の繰返し回数は、想定される外力の作用時間・頻度などから決定されるものであると考えられる。

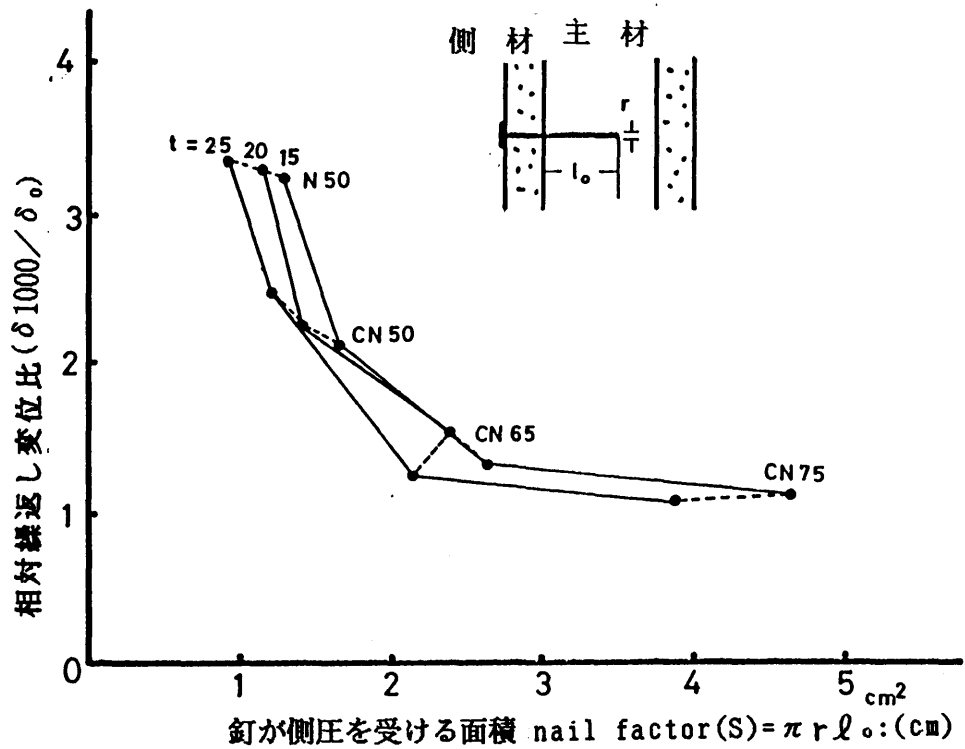


図-5-4-19 釘が側圧を受ける面積と相対繰返し変位比との関係

表-5-4-4 クリープ変形と繰返しによる変形との関係

釘の種類 ボードの 厚さ	相対クリープ	N50	CN50	CN65	CN75
15	$\delta_{1\text{day}}/\delta_0$ *1	1.15	1.21	1.16	1.11
	$\delta_{\text{max}}/\delta_0$ *2	2.33	2.02	1.81	1.82
	$\delta'_{1000}/\delta'_0$ *3	3.22	2.11	1.29	1.09
20	$\delta_{1\text{day}}/\delta_0$ *1	—	1.32	—	1.20
	$\delta_{\text{max}}/\delta_0$ *2	—	2.29	—	1.76
	$\delta_{1000}/\delta_0$ *3	—	2.24	—	—
25	$\delta_{1\text{day}}/\delta_0$ *1	—	1.16	—	1.12
	$\delta_{\text{max}}/\delta_0$ *2	—	2.01	—	1.80
	$\delta'_{1000}/\delta'_0$ *3	—	2.47	—	1.05

- 注) \*1 クリープ変形における1日後の相対クリープ ( $\delta_{1\text{day}}/\delta_0$ )  
 \*2 クリープ変形における終極時の相対クリープ ( $\delta_{\text{max}}/\delta_0$ )  
 \*3 繰返し変形における1000回目の相対繰返し変位 ( $\delta'_{1000}/\delta'_0$ )

## 第5節 本章のまとめ

木質構造による建物の長期耐力性能をみた場合、その構成材料である木材・木質材料などと共に釘接合部の長期耐力性能は主要な項目となる。しかし、釘接合部の長期耐力性能に関連した釘の腐食、釘接合部のせん断クリープ特性や繰返し荷重下における特性に関する研究は、木質材料や釘接合の多様化に対応できるほどのデータ等の蓄積はない。したがって、釘接合部の特異性と長期耐力性能評価に関する基本的な体系も整備されていない。

そこで、本章では長期使用における釘接合部の性状を明らかにした上で、釘接合部の長期耐力性能に関する基本的な考え方について検討した。

本章で得られた結果を要約すると次のようになる。

### (1) 釘の腐食の実態

在来軸組構法による住宅の床組において、床下地板と根太との釘接合部の実態を調査結果から、接合部に用いられていた釘の腐食による釘径や重量の減少量は、釘そのものが単体で釘接合部と同一環境条件下におかれていた場合よりも著しく、被接合材料である木材等の含水率変化（床下環境条件による部材の高含水率化）が、釘の腐食に影響を与える大きな要因であることが明らかとなった。

### (2) 釘接合部における釘の腐食と耐力

釘接合部の長期耐力性能に影響を与える釘の腐食の発生機構とそれによる耐力の変化について検討した結果、釘の腐食に影響を与える要因は、釘接合部を構成している被接合材料の含水率であり、その含水率の変化を生じさせる要因は釘接合部の置かれている環境条件（高湿度状態）であることが明らかとなった。また、釘を腐食させるような環境条件下において、被接合材料の含水率を増加させ、径の減少を誘発する要因は、被接合材料の吸湿性や初期における含水率（生材等のような高含水率状態）であることが明らかとなった。このことは高湿度状態に成り得る部位に釘接合を行う際には、被接合材料には気乾材を用い、さらに吸湿性の高い材料を使用する場合は、防湿処理等を考慮する必要があることを示すものである。

釘接合部が高湿度環境条件下に置かれた場合の引抜きやせん断耐力は、釘の腐食や被接合材料の種類（材質の差異）およびそれらの劣化の程度によって、傾向の異なることが明らかとなった。

引抜き耐力については、釘の腐食によって本試験の範囲内においては初期値より大きくなる傾向が認められた。しかしそれ以降については、さらに釘の腐食が進行

すると予測されるため耐力の低減を考慮する必要のあることが明らかとなった。

せん断耐力についてみると、主材と側材の相対変位が 0.4mm や 1.0mm 時の場合は、養生の初期において耐力が増加するが、その後減少する傾向が認められた。

一方、最大耐力は側材の材質の違いによって異なり、側材が吸湿性の高いパーティクルボードの場合は、初期値より低下し一定値に収束するような傾向が認められた。また、側材が構造用合板の場合は、初期値の近傍を推移するような傾向が認められた。

このことは、釘の腐食や被接合材料の劣化を誘発する環境条件（とくに湿度条件）が、釘接合部の長期耐力性能を評価する上において重要であることを示すものである

### （3）釘接合部のクリープ特性

釘接合部のクリープ特性について検討した結果、釘接合部のクリープ変形の量は、釘や被接合材料の種類および荷重の大きさに依存するが、とくに荷重の大きさとの関係は直線関係ではなく最大耐力に対する比率が 30～40% で急激に変形が進行することが明らかとなった。

変形の時間的経緯をみると、負荷直後に瞬間変形に相当する変形が生じ、以後時間の経過とともにクリープが進行するが、その割合は荷重の大きいほど平衡値に達する時間が長い。また、クリープ変形後荷重を除荷した場合は、その除荷した荷重が 0 に近いと、かなりの量が回復するが、残存荷重がある場合には回復が少ない。さらに再負荷した場合は、その変形曲線は前に負荷した荷重による曲線をほぼ外挿した位置にくることが明らかとなった。

クリープ変形は環境条件のうち、とくに湿度の影響を受けやすく乾燥時（湿度低下時）には変形が進行し、吸湿時には変形が停止もしくは回復を生じる。その吸脱湿による変動幅はその時の湿度変動幅に依存し、荷重による変動よりも大きいこともある。したがって、被接合材料の含水率状態は極めて影響が大きく、生材と気乾材とではクリープ変形に大きな差異があることが明らかとなった。

### （4）釘接合部の繰返し荷重下の特性

釘接合部が繰返し荷重を受けた場合の変形特性について検討した結果、相対変位と繰返し回数および荷重比との関係は、荷重比が大きくなれば変位も大きくなり、クリープ変形と同様に荷重比 30% 付近で変位が急増する。また、釘接合部は、一度大きな変形を受けると、それ以後小さな荷重が作用しても、変形は回復しないことが明らかとなった。



変位量と残留変位量との差である弾性域量と荷重比との関係は、荷重比が増加するにつれて、弾性域量も増えるが、荷重比30%以降では、塑性的変形要素が加わっているため弾性域量の著しい増加は認められなかった。

繰返し試験後の残存耐力は、繰返し荷重を受ける前の静的な試験の耐力とほとんど変わらず、本試験程度の繰返し回数では、耐力低下のないことが明らかとなった。

釘の種類と側材の厚さとの関係は、釘径が大きいほど、また側材の厚さが厚くなるほど変位量は、小さくなる傾向を示すことが明らかとなった。

繰返し荷重下での変形の傾向は、クリープ変形の傾向と類似しているが、側材の材質の違いによって変形状が異なっていることから、クリープ変形とは分けて考えた方がよい。したがって、釘接合部の長期耐力性能評価を行う際の応力（荷重）条件として繰返し荷重を考慮し評価を行う必要のあることが明らかとなった。また、その際の繰返し回数は、想定される外力の作用時間・頻度などから決定されるものであると考えられる。

#### (5) 釘接合部の長期耐力性能評価に関する基本的な考え方

釘接合部の長期耐力性能評価に関連した釘の腐食、釘接合部のせん断クリープ特性や繰返し荷重下における特性に関する研究結果をもとに、長期耐力性能評価に関する基本的な考え方をまとめると次のようになる。

a) ボード類の釘接合部のせん断変形を考えた場合、接合部としての挙動は許容耐力よりも許容変位を基本とした耐力評価にした方がよく、その場合許容変位の時間的な評価には、荷重作用時間との対応を基本にするのが合理的である。

ただし、変位が重要ではなく、長時間経ても著しい破損に到らない耐力として許容耐力を定めるとすると $\delta_0$ 、 $\delta_{max}$ が急激に増加しはじめる点（最大耐力の30～40%）を一様を目安と考えてよく、その場合長期間経過した後の変位は初期変位の約2～3倍となる。

b) 釘接合部が、それを構成している材料の水分変動（含水率）が著しくなるような環境条件（例えば、高湿度環境）にある場合には、釘の腐食やそれによる耐力の低減、さらに相対クリープの増加等を考慮する必要がある。

c) 釘接合部のクリープ変形は釘の種類と側材の種類、厚さ等の影響を受けるが、本研究の範囲からは側材の厚さの2.5倍以上の釘長さの組合せにすると、安定した挙動を示し、その傾向は釘径が太い釘ほど安定性が高くなる。

d) 釘接合部に繰返し荷重が作用する時は、その作用した最大荷重とその作用時間（回数・頻度）が変形を左右するため適正な外力設定が必要となる。