

# 木造家屋の外壁における釘の 劣化からみた木材の劣化環境

今村 浩人<sup>(1)</sup>・木口 実<sup>(2)</sup>・大黒 昭夫<sup>(3)</sup>

Hiroto IMAMURA, Makoto KIGUCHI and Akio ÔKURO : The Deteriorating  
Circumstances of Wood Viewed from the Deterioration  
of Nails in the Exterior Wall of Wooden Houses.

**要 旨**：木造家屋の外壁に使用された釘の劣化は、家屋の耐久性と密接な関係があり、釘の劣化を調査し研究することは、家屋の耐久性向上のために意義のあることである。この報告は、関東地方を中心とした数多くの木造家屋の外壁における釘とその付近の木材の劣化状況を調査し、関連の実験を行った結果をまとめたものである。釘の劣化程度は、目視による5段階法によった。この劣化度は釘のさび量およびせん断力から求めた釘の有効直径と関係づけられた。モルタル塗り外壁は木材と釘を壁内に密閉するため、耐久性がしばしば問題となる。モルタル塗り壁内部では釘の劣化度から木材の腐朽の有無を判断できる事例がみられた。釘接合部の劣化は、釘の劣化と木材の劣化によるが、材料を限れば密閉した状態で劣化させた接合部のせん断力は、釘のさび量とその接合部の変位の関数で表せる。モルタル塗り外壁における釘の劣化度は経過年数の対数と直線関係にある。この関係を利用して木材の腐朽発生の危険性を推定できる。下見板張り外壁の釘の劣化は、家屋周辺の環境の影響を受けやすい。

一般に外壁の木材と釘の耐久性を向上させるには、雨仕舞を中心とした施工面からの対策と、外壁を高含水率に保たないような周囲の環境面からの対策が必要である。このようなことから、釘の劣化を抑制する環境を保持することがそこに使われている木材の耐久性の向上にもなることを明らかにした。

## 目 次

1. ま え が き	102
2. 釘の劣化度の評価方法	102
1) 目視による劣化度の評価	102
2) 直径変化率、さび量と劣化度	103
3) 有効直径と劣化度	103
3. 釘の劣化と木材の劣化	106
1) 鉄さびによる木材の化学的劣化	106
2) 釘の劣化と木材の腐朽	107
4. 劣化した釘接合部のせん断性能	109
1) 2面せん断試験体による検討	109
2) 1面せん断試験体による検討	110
3) せん断力に及ぼす釘と木材の劣化の影響	116
5. 外壁における釘の劣化度の経年変化	117
1) モルタル塗り壁における釘の劣化度の経年変化	118
2) 下見板壁における釘の劣化度の経年変化	119

6. 外壁の施工および構造が釘の劣化に与える影響	120
1) モルタル塗り壁のクラックおよび吸水性	120
2) 下見板壁における雨どいと入隅	123
3) 金属サイディング壁の調査例	126
7. 家屋の外部環境と釘の劣化	127
1) 植込みなどの影響	127
2) 外壁の乾きやすさの測定	131
3) 臨海地帯における塩害	133
8. ま と め	137
1) 釘と木材の劣化機構	137
2) 釘による家屋の劣化診断	140
3) 木造家屋の外壁の耐久性向上技術	141
引 用 文 献	142
Summary	145

## 1. ま え が き

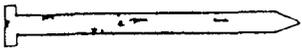
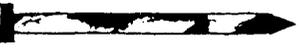
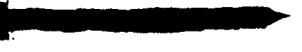
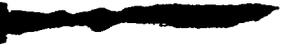
木造住宅は優れた居住性を提供するが、一方では防耐火性や耐久性の面で改良が必要とされている。木造住宅の耐久性に関しては、釘の果たす役割は重大である。釘は建物の強度的に重要な部分に使用され、その耐久性は建物の耐久性と密接な関係にある。建物の耐久性を釘の劣化から把握しようとした理由は次のとおりである。多くの鉄釘は規格品であり、劣化の程度が容易に比較できる。この釘が建物の部材に打たれた後の釘の劣化の程度は、その部材が受けたある劣化要因の強さを示すと考えられ、この意味で釘は一つの劣化センサーとなりえる。十代田らは、釘の引き抜き耐力から建物の耐久性を評価している<sup>1)2)</sup>。本研究で建物の外壁を対象とした理由は、枠組壁工法住宅をはじめ、外壁に使われている木材の耐久性が構造強度上重要な住宅が多くなっていること、および下見板壁では、釘の劣化程度から建物周辺の環境を把握できる可能性があると考えたからである。本研究の目的は、外壁の釘の劣化度から外壁に使われている木材の耐久性を評価するための資料をえること、および釘を劣化させる環境因子と木材の劣化との関係を把握することである。本論文内容の多くは木造住宅の耐久性に関する実態調査に基づいている<sup>3)~18)</sup>。したがって、すでに報告されている部分については記述を簡単にした。

## 2. 釘の劣化度の評価方法

### 1) 目視による劣化度の評価

釘の劣化の程度を決定する方法として、釘のさびを除去した後、釘の重量または直径を測定し、その減少率を用いる方法がある。この方法は基本的な値をえるには重要であり、本研究でも部分的に採用している。しかし一方では精度が必要以上に高く、手数がかかる短所がある。特に調査現場で数多くの釘を迅速に評価するには目視による方法が適当であると考えた。すなわち、釘の劣化度を、さびと損傷の程度から5段階に評価する方法である。Table 1 は評価の1例を示す。劣化度1～3は主にさびで評価し、4と5は損傷の程度から評価する。また釘を引き抜く際に切断したものは劣化度5と評価した。なお、劣化度は5段階評価であるが、多くの場合2.5、4.5のように0.5単位で評価した。この方法によれば、多くの人の個々の評価がほとんど一致するという結果をえている。

Table 1. 釘の劣化度評価基準  
Standard of the deterioration grade.

劣化度 Rating	基 準 Standard	例 Example
1	微 小 さ び Scarcely rusted	
2	表面部分的さび, 肉眼的損傷なし Partially rusted, no visible defect	
3	表面全面さび, 内部健全 Totally rusted, no defect inside	
4	部分的損傷, 原長維持 Partially defect, with original length	
5	原 形 不 明 Failure	

2) 直径変化率, さび量と劣化度

目視により決定した劣化度を他の量と関係づけておく必要がある。劣化した釘（元の長さ 50 mm, 直径 2.15 mm）の首部分, 中央部分および先端部分の直径を測定し, 劣化のないものとの差の絶対値の 3 箇所における平均値を直径変化率 (d%) とすると, 劣化度 (D) との関係は Fig. 1 のようになり,

$$d = 0.586 D^2 \quad (1 \leq D \leq 5) \quad \dots\dots\dots(1)$$

で表せる<sup>4)</sup>。

さび量と劣化度の関係を求めるため, 劣化した CN50 釘をクエン酸アンモンの 10% 水溶液で 20 分間煮沸してさびを除き, 乾燥後重量を求めた。これと元の重量の差をさび量とした。さび量 (r%) と劣化度 (D) との関係はかなりばらつきがあるが

$$r = D^2 \quad (1 \leq D \leq 4.5) \quad \dots\dots\dots(2)$$

で表せる (Fig. 2)。

3) 有効直径と劣化度<sup>5)</sup>

30 年経過した住宅の下見板から引抜いたままの N32 釘を用い, せん断試験を行った。Fig. 3 に示すように, ベイツガを主材 (70×120×26 mm) にし, 両側面に 12 mm 合板 (70×120 mm) を釘で接合し, 1 面せん断の試験体を作成した。1 個の試験体につき片面 4 本, 合計 8 本の同じ劣化度の釘を打った。釘 1 本当たりのせん断力の相対変位に対する関係を Fig. 4 に示す。

Morris<sup>11)</sup> は相対変位  $\delta$  (mm), せん断力 P (N) のとき, スリップ係数 K を

$$K = P/\delta \quad \dots\dots\dots(3)$$

とし, 釘の直径を d (mm) とすると,  $\delta = 0.6$  (mm) の場合, K/d の値は d が変化しても比較的安定した値であることを指摘している。しかし, K/d は, 厳密には d とともに増加しているため, Morris の

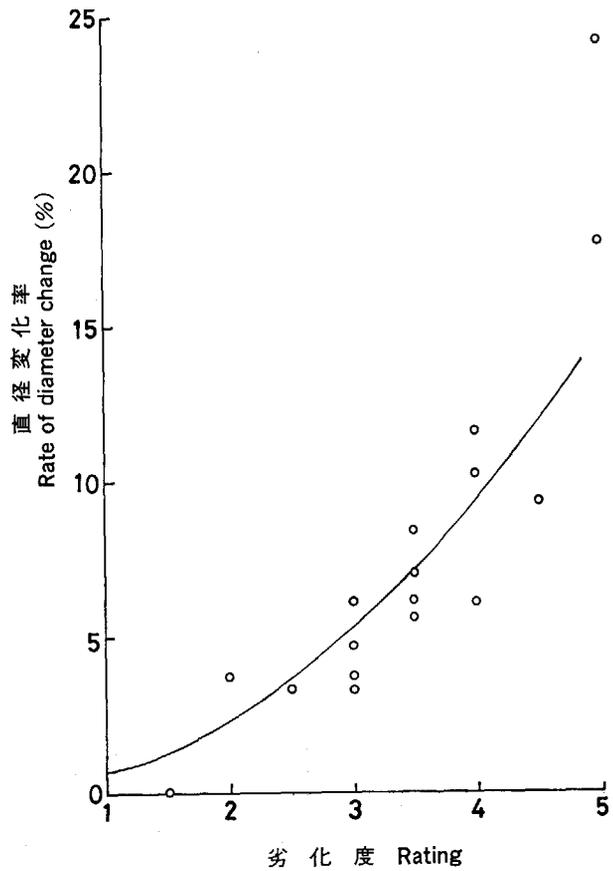


Fig. 1. 釘の直径変化率と劣化度の関係  
Relationship between the rate of diameter change and the rating of nails.

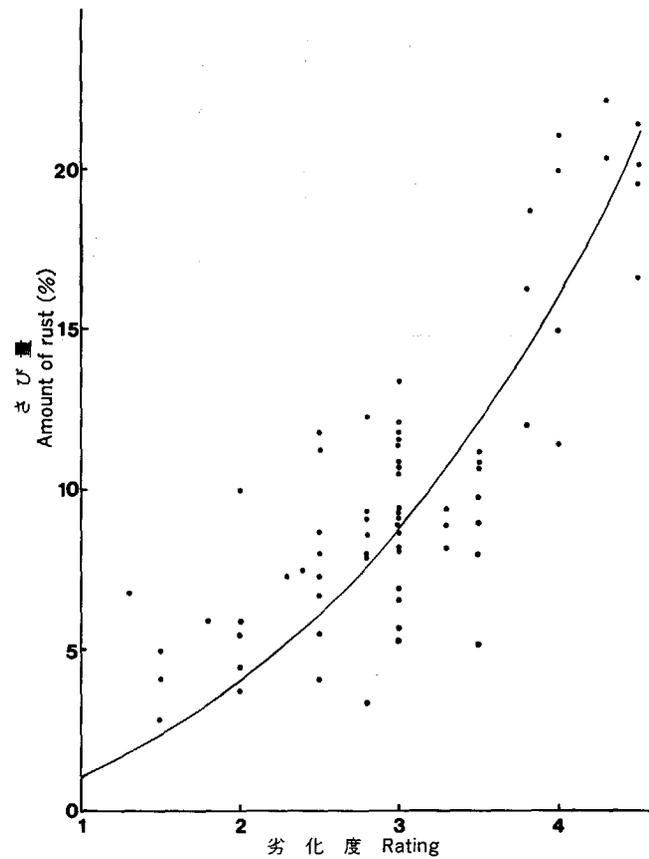


Fig. 2. さび量と劣化度  
Relationship between the amount of rust and the rating of nails.

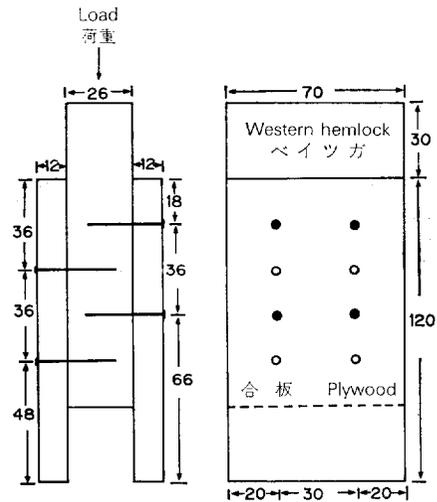


Fig. 3. 釘のせん断試験体（単位：mm）  
Shear test specimen of the nailed joint.

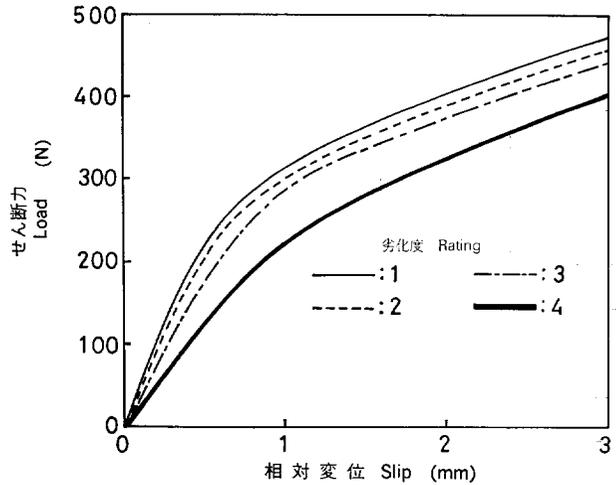


Fig. 4. 劣化した釘(N32)を用いたせん断試験体におけるせん断力  
Load of the deteriorated nail (32mm length) of the shear specimen with the sound wood.

K/d と d についてのデータを使い最小二乗法により次式をえた。

$$K = 155.96 d^{1.57} \dots\dots\dots(4)$$

この式を用い、Fig. 4 に示した曲線から  $\delta = 0.6 \text{ mm}$  における K を求め、d を算出し有効直径とした。劣化度 1 の釘は直径が 1.83 mm であるが、(4) 式で求めた d は 1.85 mm となり、よい一致を示している。このようにして劣化度 2, 3 および 4 の有効直径を求め、劣化度 1 に対する比率を残存率として示すと Fig. 5 のようになる。また同図には、せん断試験後測定した釘の重量を求め、劣化度 1 の釘の重量に対する比率を重量残存率として示した。なお、F50 (直径 2.4 mm)、CN50 (2.87 mm)、CN65 (3.33

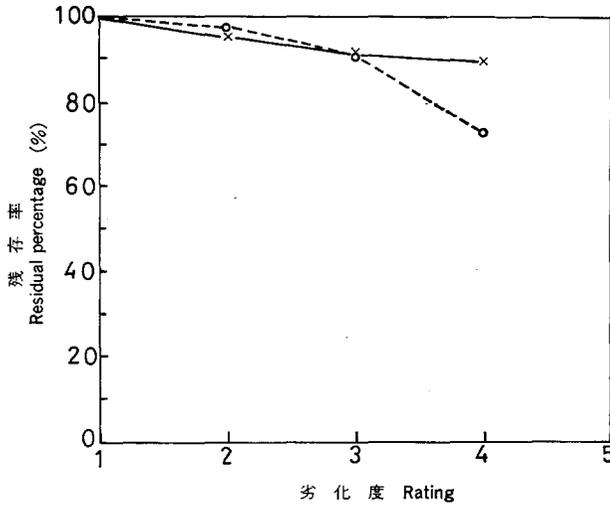


Fig. 5. 釘 (N32) の有効直径残存率 (○) と重量残存率 (×)  
Residual percentage of the effective diameter (○) and the weight (×) of the nail (32mm length).

Table 2. 釘の劣化度と有効直径残存率(%)  
Residual percentage of effective diameter of nails.

劣化度 Rating	釘の種類 Kind of nails		
	N32	F50	CN50
1	100	100	100
2	92	103	108
3	82	90	90
4	75	87	73
5	—	74	—

N32: 長さ 32mm, 直径 1.83mm  
32mm in length, 1.83mm in diameter  
F50: 長さ 50mm, 直径 2.4mm  
50mm in length, 2.4mm in diameter  
CN50: 長さ 50mm, 直径 2.87mm  
50mm in length, 2.87mm in diameter

mm) の釘を長さ 38 mm に切断し、頭部の直径も N38 と同じ約 5 mm にしたものについて実験したところ

$$K = 260.08 d^{1.82}$$

$$\dots\dots\dots(5)$$

となる。しかし、Morris による実験では釘の直径の値の幅が 2.6~5.9 mm と大きく、釘の長さも異なる点でより実用的であると考えられるため (4) 式を使用しておく。Table 2 は F50 釘と CN50 釘の劣化度と有効直径残存率を示す。

### 3. 釘の劣化と木材の劣化

釘頭の周辺の木材が褐色に変色し、薄い木材では、釘頭の周辺の木材が消滅しているのはよく見かける現象である。釘接合部の耐力は、釘

の直径と木材の比重に依存するため、釘と木材が同時に劣化することは外壁の強度的な面からみてきわめて重要である。

#### 1) 鉄さびによる木材の化学的劣化

黒黒ら<sup>12)</sup> は、住宅に使用されたベイツガその他について、釘穴周辺のさびが多量に付着している層 (A)、さびが浸透し変色している層 (B)、健全部 (C) の木材を採取し、木粉として次の条件で熱分析を

行った。

木 粉：100～150 メッシュ，10～15 mg

装 置：真空理工社製 TGD-3000

標準試料： $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

昇温速度：10°C/min

空気流量：20ml/min

ベイツガについての示差熱分析 (DTA) の結果を Fig. 6 に示す。A のカーブの鋭いピークはヘミセルロースの分解する温度域、B の発熱ピークはセルロースの分解の温度域に属している。また、健全部 C のカーブの大きな発熱ピークは、炭化物の燃焼によるものと考えられる。ここでは各ピークと木材成分の関係は明らかではないが、釘に近い木材ほど低い温度で分解が起こっていることがわかる。このように鉄の存在により木材の分解が促進される。なお、試料の鉄分の含有率は、灰分重量から求めると、A 層で 60% 程度、B 層で 5～8% 程度である。

DTA による 検討では、ベイツガ木粉 (2.0 g)、鉄粉 (4.0 g)、純水 (2.0 g) を混合し、60°C で 147 日間放置したのち、シュウ酸ナトリウムとシュウ酸の水溶液で鉄分を除去した試料についても、無処理のものに比べ DTA のピークがより低温側においてみられる結果がえられている<sup>18)</sup>。

Savard ら<sup>14)</sup> は枕木の犬釘に接触していた部分の木材は、他の部分の木材よりもアルカリ可溶分が多いことを述べている。同様の現象は Marian ら<sup>15)</sup> によっても認められている。鉄と接触することによって木材の強度的性質が低下することを、Marian<sup>16)</sup> は引張り試験によって、Farber<sup>17)</sup> は衝撃曲げ試験によって確認している。木材が鉄によって劣化を受ける機構について、Baker<sup>18)</sup> はすきま腐食の現象として、表面に露出している釘頭部分は陰極となり次の反応が進み、



胴の部分は陽極となって次の反応が進むとしている。



$\text{Fe}^{++}$  はさらに  $\text{Fe}^{+++}$  となって安定する。

Maurersberger による説明<sup>16)</sup> では、水酸化第一鉄は溶液の状態セルロースに吸着され、その後酸化によって水酸化第二鉄となる。この変化の過程で鉄が強力な触媒作用を果たし、セルロースは酸素を付与されてよりもろいオキシセルロースとなる。このことが釘の付近の木材の劣化を促進していると考えられる。

## 2) 釘の劣化と木材の腐朽

釘の劣化と木材の腐朽は、ともに温度と水により促進されるという共通な原因をもつ。ただし木材の腐

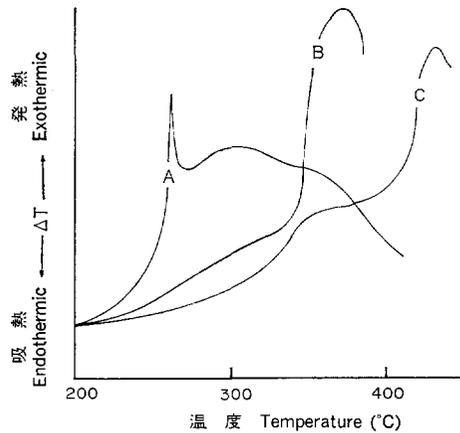


Fig. 6. 示差熱分析曲線  
Curves of differential thermal analysis.

- A : 釘のさびが付着している部分の木材  
The wood in contact with rusted nail.
- B : 釘のさびで変色している部分の木材  
The wood colored with nail rust.
- C : 健全部  
The wood of a sound part.

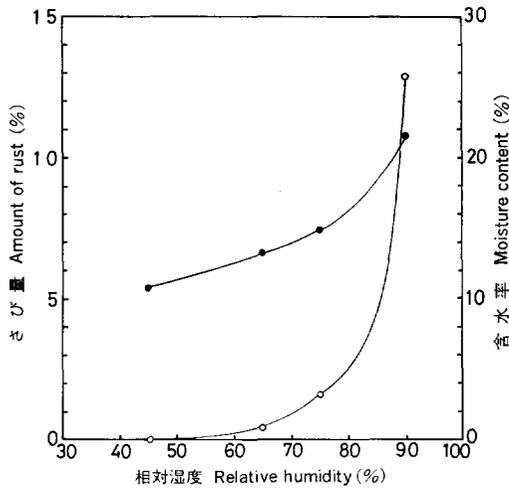


Fig. 7. 各種相対湿度 (20°C) に 4 年間放置した木材 (ベイツガ) の平衡含水率 (●) と木材中で発生した釘のさび量 (○)

The equilibrium moisture content (●) of wood (Western hemlock) and the amount of rust (○) of the nail in the wood which were equilibrated in several relative humidities at 20°C for 4 years.

朽の発生はある範囲内の温度において、木材が継続して高含水率になる必要があるのに対し、釘の劣化は短時間で少量の水でも、これに見合った劣化を発生する。金属表面の水の層の厚さが 10 nm 程度までは腐食速度はきわめて遅く、1 μm 程度で最大となるが、水が多すぎると酸素の拡散が抑制されるため遅くなる<sup>19)</sup>。

Fig. 7 はベイツガ材 (160×80×30 mm) に CN50 釘 (無塗装) を打込んだものを 20°C における各種相対湿度下に 4 年間放置し、釘のさび量を求めたものである。釘のさび量は相対湿度 45% ではほとんどみられず、70~80% 以上で急激に大きくなる。これは一般に空気における金属のさびは湿度が 70% を越えると急に増加する現象<sup>20)</sup>とほぼ一致している。このときの木材の含水率は 15% 程度であり気乾含水率に相当する。

また温度については、鉄の水中での腐食速度は酸素の含有量によって異なるが、外気温程度では高いほど大きい<sup>19)</sup>。このように釘

と木材は、共通の劣化原因をもつものの劣化条件に多少異なる点がある。外壁が下見板の場合は、日当たりや風向きによって雨によるぬれやすさや乾きやすさが異なるため、釘の劣化と木材の腐朽の関係が把握しにくい。しかし、一般には腐朽の発生している場所では釘の劣化度が 4.5~5 程度であり、釘の劣化度が 4.5~5 であれば木材の腐朽は見られない場合でも変色、風化が著しい。したがって、下見板の場合でも釘の劣化が速い場所は広い意味の木材の劣化も速い可能性が高い。これに対し、モルタル塗り壁の場合は、木材と釘がモルタルにより密閉された状態にあり、通風がないため壁内の湿度の変動が比較的小さい。したがって釘の劣化と木材の腐朽の発生は、下見板に比べ、より高い相関にあるものと考えられる。

34 年経過した旧米軍海浜住宅において、モルタル塗り壁内の木材における目視による腐朽の有無、含水率および釘 (長さ 50 mm) の劣化度を調査し、統計的方法の一つである判別関数の概念を応用し、木材含水率 (W) と釘の劣化度 (D) からその箇所の木材の腐朽 (蟻害を含む) の有無がどの程度判別できるかを試みた<sup>4)</sup>。木材の含水率と釘の劣化度の関係は Fig. 8 のようになり、図中の白丸は木材が健全、黒丸は腐朽を表す。判別関数  $Z_{WD}$  は次のようになる。

$$Z_{WD} = 0.03 W - 3.76 D + 13.63 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$Z_{WD}$  が正のとき木材は健全、負のときは腐朽を表す。この式による誤判別の確率は 10.9% である。図中の点線は  $Z_{WD}$  を表し、点線の右側では木材が腐朽していることになる。この点線を見ると、釘の劣化度の軸に垂直に近く、釘の劣化度による判別関数のみでも判別できそうである。この場合  $Z_D$  は  $D=3.75$  で

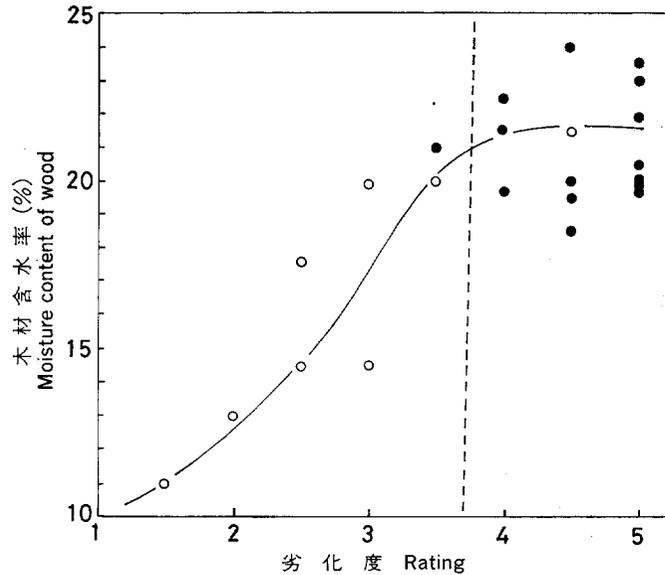


Fig. 8. 木材含水率と釘の劣化度  
Relationship between the moisture content of wood and the rating of nails.

○：木材に腐朽なし Wood without decay.  
●：木材に腐朽あり Wood with decay.

口になり、誤判別の確率は含水率を含めたときと同じ 10.9% である。これを同じ敷地内にある経過年数とタイプが同じ住宅で求めた釘の劣化度と腐朽の有無の関係について確かめてみると、全体の測定数 35 の 14.3% が誤った判定となった。この住宅のデータを用いて  $Z_0$  を求めると、釘の劣化度 3.98 が判別の基準となり、誤判別の確率は 6.7% となる。したがって劣化度 4 を基準としてよいであろう。釘の劣化度と木材の腐朽の有無の関係は、建物の経過年数にも当然依存するが、モルタル塗り壁では密接な関係にあるといえる。なお誤判別の確率は 23.6% と高くなるが、木材の含水率のみの判別関数によれば 19% が基準となり、従来から腐朽、蟻害の発生すると言われていた約 20% に近い妥当な値となっている。

#### 4. 劣化した釘接合部のせん断性能

釘と木材の劣化が、釘で接合された木材のせん断性能に及ぼす影響を明らかにすることは実際問題としてきわめて重要である。さきに釘の劣化度から有効直径を求めた。釘の直径  $d$  はせん断力に 1.8 乗<sup>21)</sup> または 1.75 乗<sup>22) 23)</sup> で寄与するとされているが、さびがつき木材も劣化した接合部では適用できるかどうか疑問である。劣化した釘接合部のせん断試験については資料が少なく<sup>24)~26)</sup> 不明な点が多い。ここで行った研究<sup>27)</sup> の目的は、大壁方式で壁内が密閉された状態を想定した場合の釘の劣化度とせん断力の関係を検討することである。

##### 1) 2面せん断試験体による検討

釘接合部を実験室的に劣化させ、釘のさび量とせん断力の関係を求めるための実験を 2面せん断試験体 (Fig. 9) で行った。実験条件は次のとおりである。

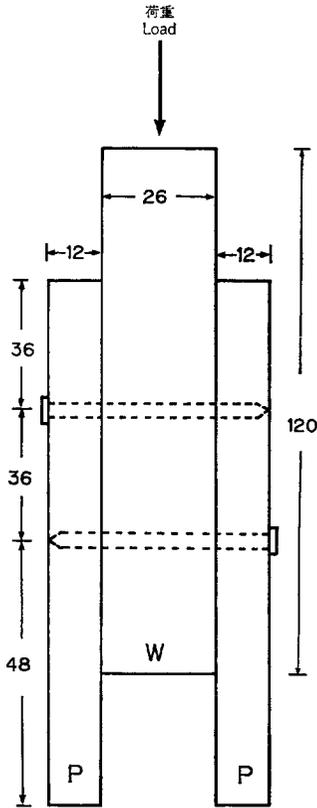


Fig. 9. 2面せん断試験体  
(単位: mm)  
Double shear specimen.  
W: ベイツガ Western hemlock.  
P: 合板 Plywood.

釘 : CN50 (塗装および無塗装)

表面材: 構造用合板 (20°C, 65%RHで調湿)

厚さ 12 mm, 70×120 mm。

主材: ベイツガ (20°C, 65%RHで調湿)

厚さ 6 mm, 70×120 mm, 平均比重 0.53。

処理条件: (a) 流しの底に 50°Cの湯を少量流し続け、

その上で水に接触しないように試験体を置き、ふたをする。期間は1年。試験時の含水率は 80~102%。

(b) 透明プラスチックデシケータを日の当たる窓際に置き、底に水を入れ、水に接触しないように試験体を置く。期間は1年間。

試験時の含水率は 21~26%。

処理条件はいずれも温度、湿度が非定常であり、また1条件でも試験体を置く位置によっても若干温湿度が異なる。このような条件を設定した理由は調整された温湿度の処理条件を用いても、この結果を実際の非定常な壁内条件に対応させるのが困難であることと、任意の条件で劣化した試験体における釘の劣化とせん断力の関係を劣化条件以外の因子で表すことを試みたためである。処理(a)では、合板表面に腐朽が起り、ベイツガの釘周辺は黒変している。処理(b)でも合板表面にかびが発生し、ベイツガの釘周辺も黒変しているものが多い。せん断試験は万能試験機を用い、試験体の両側面に変位計検出器を取り付けて、両者の変位の平均値を相対変位とした。せん断試験の後、釘を引き抜き、目視で劣化度を求めた。この釘をクエン酸アンモンの 10% 水溶液で 20 分間煮沸してさびを取り除き、乾燥して秤量し、元の重量との差をさび量とした。相対変位 0.05, 0.1, 0.3, 0.6, 1.0, 2.0 (mm) における釘 1 本当たりの

せん断力をそれぞれ釘のさび量 (%) に対し Fig. 10~Fig. 15 に示す。さび量 0 のプロットは無処理を示す。図から、せん断力は釘のさび量と密接な関係があることがわかる。図中の曲線は次の式で表される。

$$\sigma = a \delta^b \dots\dots\dots (9)$$

$$a = 185.39 - 15.39 r + 0.66 r^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$b = 0.273 - 0.005 r \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 $\sigma$  はせん断力 (kgf)、 $\delta$  は相対変位 (mm)、 $r$  はさび量 (%) である。

## 2) 1面せん断試験による検討

次に、1面せん断試験体を作成し (Fig. 16)、先と異なる条件で処理した。実験条件は次のとおりであ

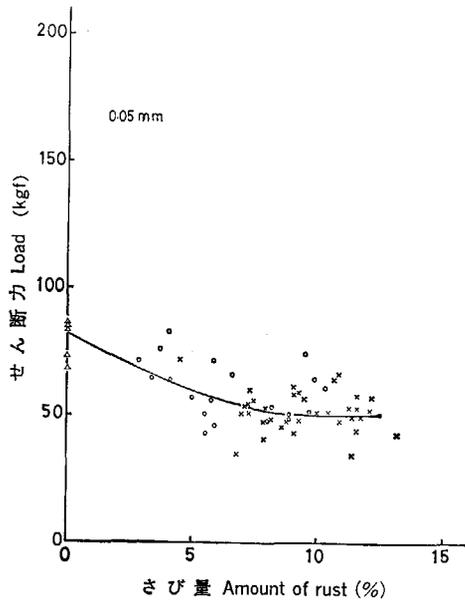


Fig. 10. せん断力とさび量の関係 (2面せん断, 相対変位 0.05mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (double shear at 0.05mm slip).

△: 無処理 Not treated.

×: 50°C の湯による蒸気の中で1年間放置 Kept for 1 year in the damp air by the hot water of 50°C.

○: 底に水を入れたデシケータを日の当たる窓ぎわに置き, その中で1年間放置 Kept for 1 year in the desiccator containing water in the bottom placed near a sunny window side.

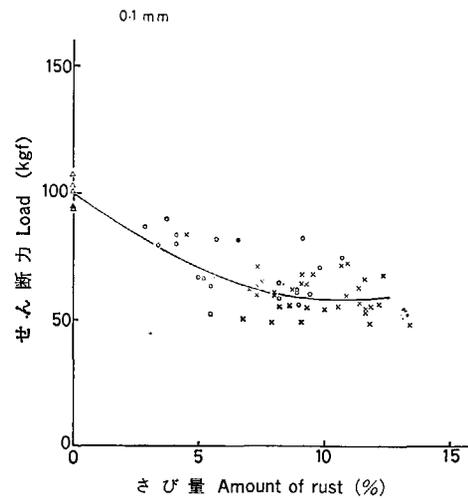


Fig. 11. せん断力とさび量の関係 (2面せん断, 相対変位 0.1mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (double shear at 0.1mm slip).

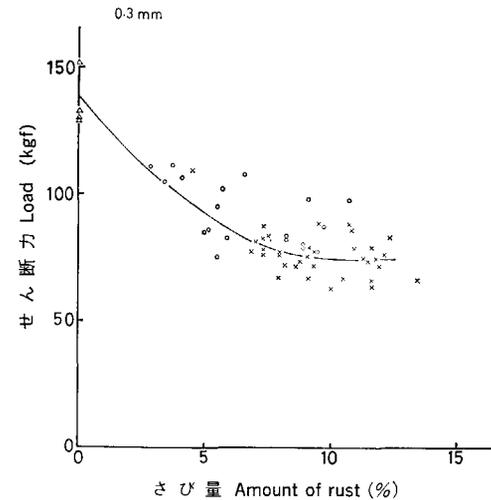


Fig. 12. せん断力とさび量の関係 (2面せん断, 相対変位 0.3mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (double shear at 0.3mm slip).

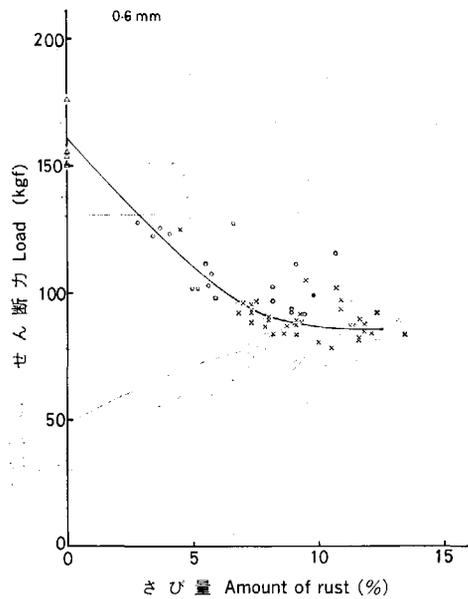


Fig. 13. せん断力とさび量の関係 (2面せん断, 相対変位 0.6mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (double shear at 0.6mm slip).

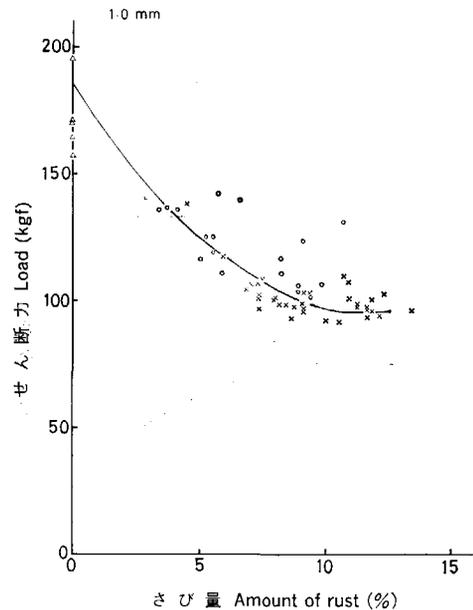


Fig. 14. せん断力とさび量の関係 (2面せん断, 相対変位 1.0mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (double shear at 1.0mm slip).

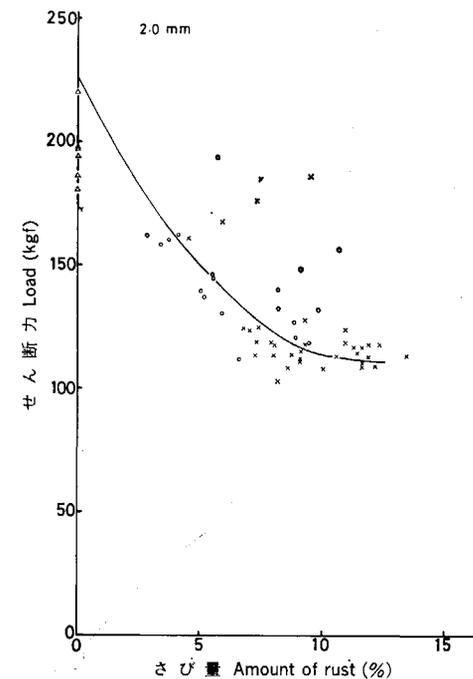


Fig. 15. せん断力とさび量の関係 (2面せん断, 相対変位 2.0mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (double shear at 2.0mm slip).

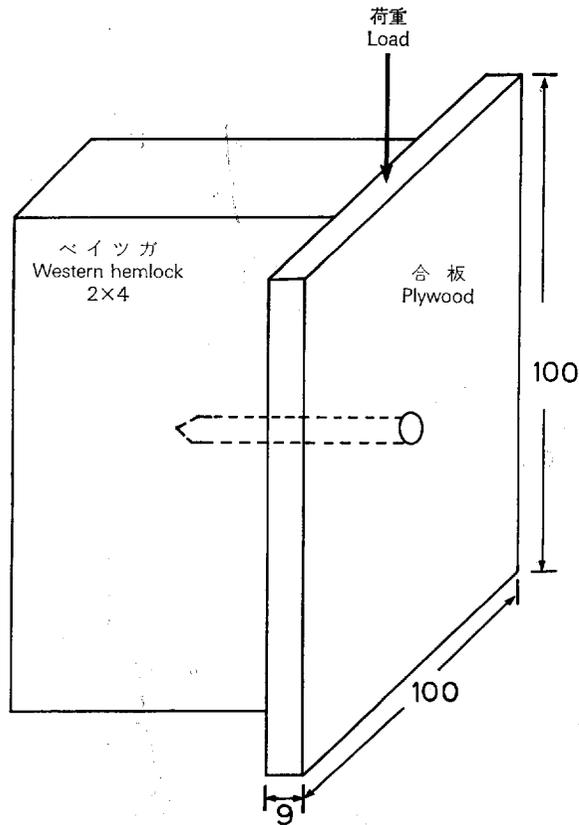


Fig. 16. 1面せん断試験体 (単位: mm)  
Single shear specimen.

る。

釘 : CN50 (塗装および無塗装)

表面材: 構造用合板 (気乾), 厚さ 9 mm, 100×900 (mm)。

主材: ベイツガ 2×4 材 (気乾), 長さ 900 mm, これに合板を釘打ちする。釘間隔は 10 cm とし, 試験前に図のように切断。

処理条件: (c) 24 時間当たり 15 分間水を噴霧する 27°C の部屋に 2 年間放置。試験時の含水率は 16%。

(d) 40°C, 90% RH の部屋に 2 年間放置。試験時の含水率は 15~16%。

この試験でえられた結果と比較するため, 展示用として 5 年半経過した枠組壁工法住宅のモルタル塗り壁の東面 (2 階), 南面 (2 階) および北面 (1 階) から合板 (9 mm 厚さ) と間柱 (2×4 材) の釘接合部を切り出し, 実験用とほぼ同じ寸法の試験体としてせん断試験に供した。なお, この試験体は取り扱いによる釘の緩みを防ぐため, 接合部を木ねじで補強し, せん断試験前に取り除いた。この釘 (CN50 の一種) のせん断力を実験室で作成した試験体のそれと比較するためには, 目視で決定した劣化度をさび量と関係づける必要がある。そこで (2) 式の関係を用い, 住宅から採取した試験体の釘のさび量を求めた。これらの結果を Fig. 17~22 に示す。住宅から採取した試験体は, 特に高い相対変位においてばらつき

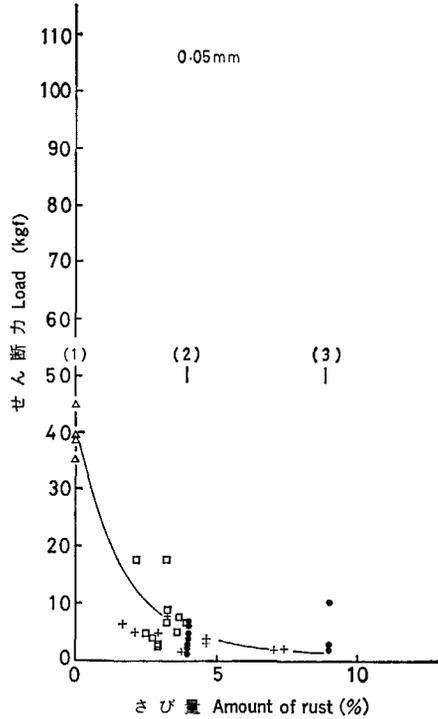


Fig. 17. せん断力とさび量の関係 (1面せん断, 相対変位 0.05mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (single shear at 0.05mm slip).

△: 無処理 Not treated.

□: 24時間当たり15分間水を噴霧する27°Cの部屋に2年間放置 Kept for 2 years at 27°C in the room equipped with water spray which works for 15 minutes at intervals of 24 hours.

+ : 40°C, 90% RH の部屋に2年間放置 Kept in the room of 40°C, 90% RH for 2 years.

●: 鉄網モルタル壁から採取 Taken from the wall covered with lath-mortar.

( ): 劣化度 Rating.

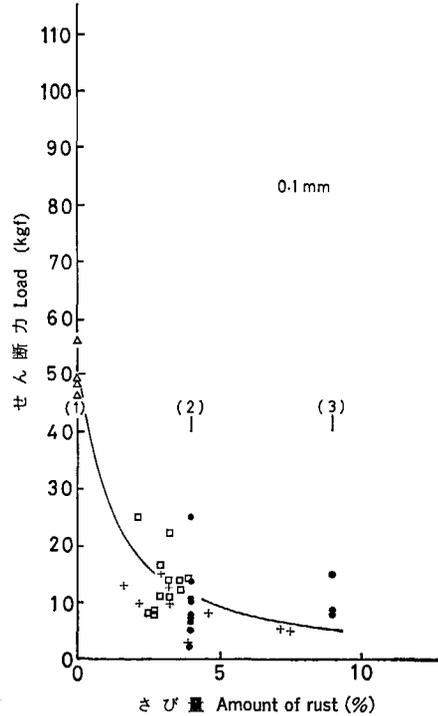


Fig. 18. せん断力とさび量の関係 (1面せん断, 相対変位 0.1mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (single shear at 0.1mm slip).

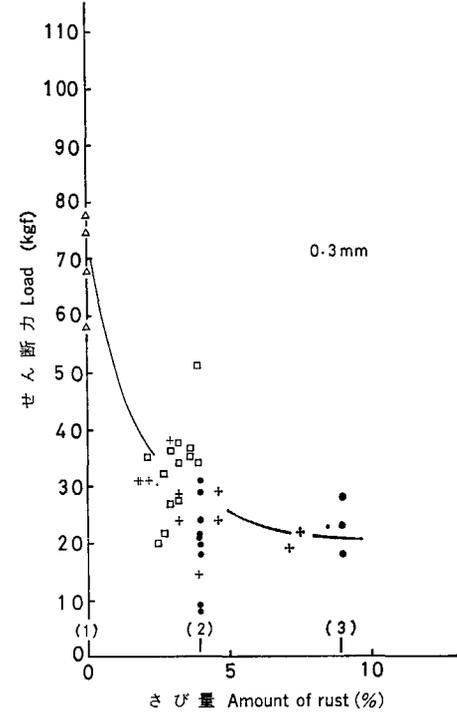


Fig. 19. せん断力とさび量の関係 (1面せん断, 相対変位 0.3mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (single shear at 0.3mm slip).

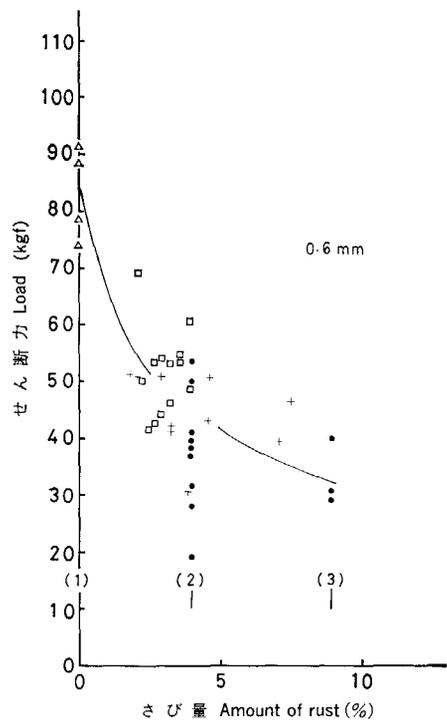


Fig. 20. せん断力とさび量の関係 (1面せん断, 相対変位 0.6mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (single shear at 0.6mm slip).

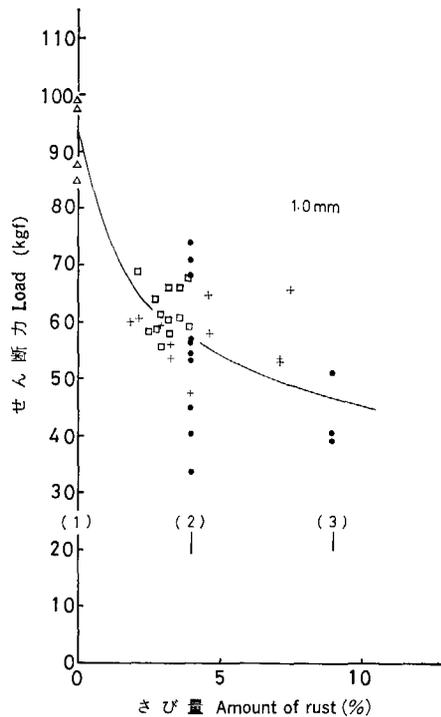


Fig. 21. せん断力とさび量の関係 (1面せん断, 相対変位 1.0mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (single shear at 1.0mm slip).

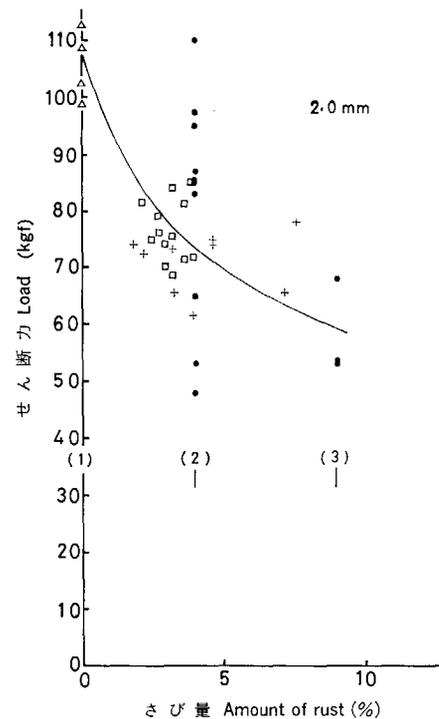


Fig. 22. せん断力とさび量の関係 (1面せん断, 相対変位 2.0mm)  
Relationship between the load and the amount of rust (single shear at 2.0mm slip).

が大きくなる。目視による劣化度をさび量に換算するという手続きを考えれば誤差が大きいのは当然であるが、釘の劣化度またはさび量がせん断力に影響を与える大きな因子であることがわかる。劣化度の2と3の差は低い相対変位ではほとんどなく、高い相対変位においてみられる傾向がある。なお、釘のせん断力には木材の比重が大きな影響を与える。2面せん断試験体では、主材のベイツガは比重のそろったものを使用した。1面せん断試験体では比重は考慮していない。高い相対変位でのせん断力のばらつきの原因の一つは、次の実験結果からわかるように、木材の比重のばらつきに由来すると考えられる。

3) せん断力に及ぼす釘と木材の劣化の影響

釘のせん断力に及ぼす因子は、釘の長さ、木材の含水率、釘頭のめり込み状態が同じであれば、(a)釘の直径、(b)釘のさび、(c)木材の比重となるであろう。ここで、(a)については有効直径の考えから求めることができる。(b)のさびは釘の引き抜き<sup>28)</sup>や回転<sup>29)</sup>の抵抗に寄与し、(c)の木材の比重がせん断力と正の相関があることも明らかである。しかし、劣化した試験体では、せん断力のさびによる増加と釘径の減少および木材の劣化による低下が考えられるため、全体としての予想が困難である。

Fig. 23 は、劣化させた2面せん断試験体のせん断力(実線)と住宅で使用されて劣化した釘を新しい合板とベイツガに打ち、作成した試験体のせん断力(点線)を示したものである(いずれもCN50釘)。1本の曲線は3個のデータの平均値から求めた。図を見ると、釘の劣化度が同じであれば、低い相対変位

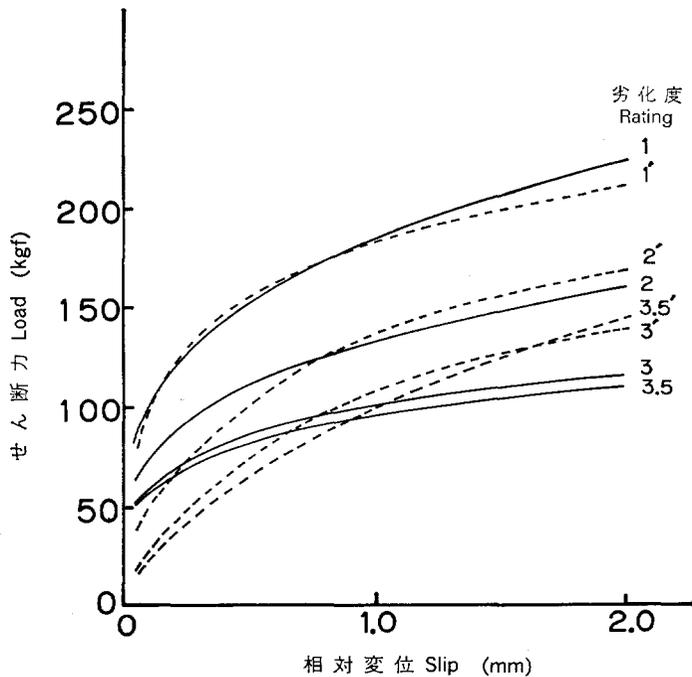


Fig. 23. 劣化した試験体(1~3.5)のせん断力と劣化した釘と健全な木材で作成した試験体(1'~3.5')のせん断力  
Load of the deteriorated sample(1~3.5) and of the sample (1'~3.5') made with the deteriorated nail and the sound wood.

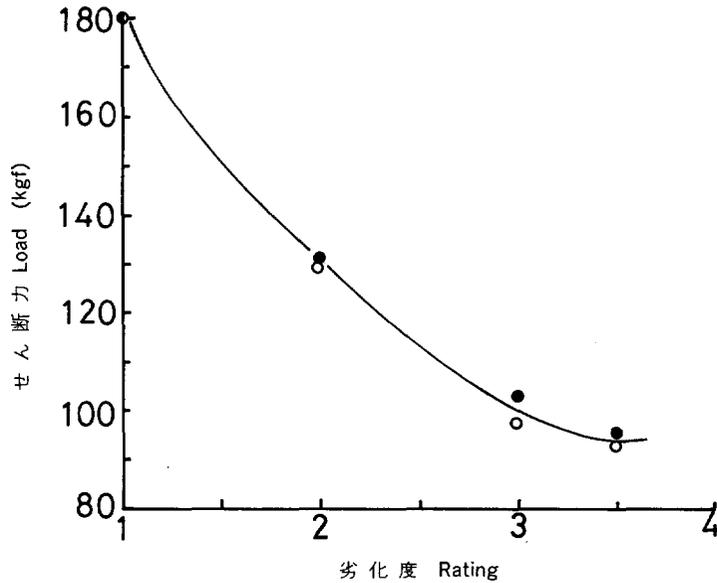


Fig. 24. 相対変位 0.9mm におけるせん断力と劣化度 (CN50, 2面せん断)

Relationship between the load at 0.9mm slip and the rating (CN50, double shear).

- : 劣化試験体 Deteriorated samples.
- : 劣化した釘と健全な木材で作成した試験体  
The samples made with deteriorated nails and sound wood.

では、劣化した試験体のほうが新しい木材の試験体よりせん断力が大であり、高い相対変位では逆の傾向がみられる。これは劣化した試験体では釘のさびが木材に浸透して硬化しているため初期のせん断力を大きくしていると考えられる。さびのないステンレス釘の初期のせん断力が低いことも事実である。これに対し、劣化した試験体のせん断力が高い相対変位で低いのは、木材の劣化による比重の低下が原因と考えられる。このように、せん断力に及ぼす比重の影響は高い相対変位でみられるため、先の1面せん断力の高い相対変位でのばらつきは木材の比重によるものと考えられる。

Fig. 23 によれば相対変位 0.9 mm 付近でのせん断力は、劣化した木材による試験体と新しい木材による試験体との差がほとんどなくなることも興味深い。Fig. 24 に Fig. 23 の相対変位 0.9 mm におけるせん断力を示す。このせん断力は劣化度をさび量に変換し (9) 式から求めた相対変位 0.9 mm におけるせん断力 (図中の曲線) とよい一致を示している。2面せん断力は健全な試験体において1面のせん断力の倍に相当するが、この関係は劣化した試験体では若干異なる。しかし、この相異は実用的には大きな問題とはならないであろう。相対変位が 0.9 mm のとき、釘のさびおよび木材の比重の影響が無視できる程度に小さくなると仮定した場合、現場におけるモルタル塗り壁内の CN50 釘の劣化度から、合板とベイツがよりなる接合部のその釘の位置の相対変位 0.9 mm におけるせん断力を推定できることになる。

## 5. 外壁における釘の劣化度の経年変化

釘の劣化度を基に外壁の耐久性を評価しようとするとき、その比較の基準をえるため、既存建物の外壁

における釘の劣化度の経年変化を明らかにする必要がある。しかしこれに関する資料は少ない<sup>80)</sup>。

1) モルタル塗り外壁における釘の劣化度の経年変化<sup>9)</sup>

釘を調査した建物の所在地および特徴はつぎのとおりである。

a. 3年経過した建物：名古屋市に建てられた枠組壁工法による2階建て住宅であり、外壁内部にグラスウールの断熱材が使用されていた。この建物の東壁、西壁のすべておよび北壁、南壁の下部を調査した。CN50の塗装釘が使用されていた。

b. 11年経過した建物：埼玉県浦和市に建てられた在来工法による2階建て住宅であり、北側には建て増し住宅がある。居室と玄関にあたる南壁と西壁の一部を調査した。釘はN32である。

c. 13年経過した建物：神奈川県伊勢原市に建られた木質パネル工法による2階建て住宅であり、外壁内部にグラスウールの断熱材が使用されていた。この建物の東壁と北壁を調査した。釘は長さが25, 50, 75, 90 (mm)であり、本数は29本である。

d. 13年経過した建物：千葉県柏市に建られた在来工法による2階建て住宅であり、居室のある南壁の一部と水まわりのある北壁を調査した。釘はN38 (20本)である。

e. 34年経過した建物：神奈川県横浜市に建てられた旧米軍海浜住宅であり98号, 104号および328号がある。前2者は同一敷地内にあり、それぞれ4世帯用の2階建て住宅で、328号は道路を隔てた丘の上にある平屋である。これらの家屋のすべての外壁の下部を調査した。釘の長さ50mm, 直径は2.15mmであり、釘の本数は、それぞれ39, 20および75本である。

Table 3. 劣化度ごとの釘の本数 (モルタル塗り壁)  
Number of nails for each rating (the exterior wall covered with lath-mortar).

劣化度 Ratings	経 過 年 数 Years of service						
	3	11	13	13	34	34	34
1	169	0	0	0	0	0	0
1.5	19	0	1	0	0	1	0
2	21	0	4	2	1	0	0
2.5	11	7	1	3	0	1	0
3	55	18	8	7	14	5	17
3.5	3	20	2	7	4	7	8
4	6	12	2	5	7	2	15
4.5	0	0	2	5	4	1	16
5	0	0	0	0	9	3	19
合計 Sum	284	57	20	29	39	20	75
平均劣化度 Ave. ratings	1.64	3.32	3.00	3.43	3.82	3.55	4.08
標準偏差 St. dev.	0.892	0.473	0.822	0.728	0.843	0.850	0.744

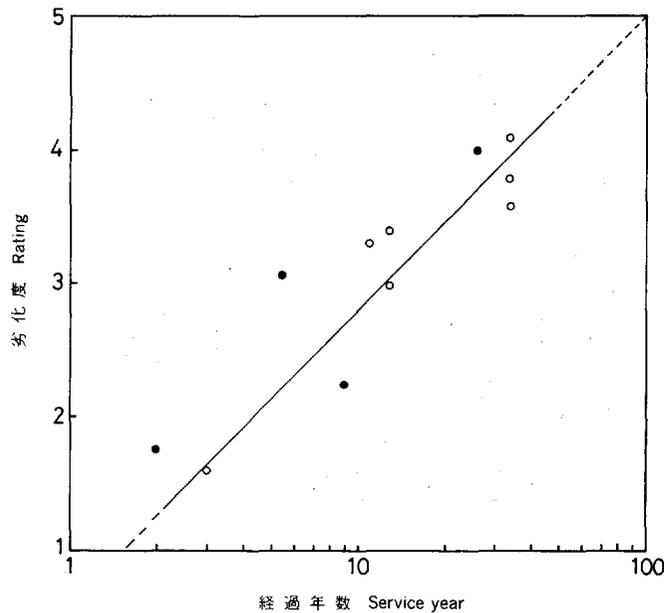


Fig. 25. モルタル塗り壁における釘の劣化度の経年変化  
Relationship between the rating of the nail in the exterior wall covered with lath-mortar and years of service.

一戸の住宅の釘の劣化度の分布は釘のサンプリングの仕方によって異なるため、釘の採取場所の決定は重要である。外壁のすべてから釘を採取することが理想であるが、諸般の事情により、これが不可能な場合がある。いずれの場合も、採取可能な範囲内において、釘の劣化度の分布に人為的な片寄りのないように努めた。

ここで劣化度を評価した釘は、すべて布基礎上端から高さ1 m以下の場所から採取したものである。Table 3 に劣化度ごとの釘の本数を各経過年数について示す。経過年数の対数値に対し劣化度の平均値をプロットすると Fig. 25 のようになる。この関係式は次のとおりである。

$$D = 2.2 \log t + 0.6 \quad \dots\dots\dots(12)$$

ここでDは釘の劣化度、tは経過年数である。相関係数は0.7である。なお Fig. 25 中の黒いプロットは、本数が少ないが参考および確認のため使用したもので、次の住宅の釘の劣化度である。

- 2年経過した展示用枠組壁工法住宅（東京都内）
- 5年半経過した展示用枠組壁工法住宅（東京都小金井市）
- 9年経過したゲストハウス（茨城県谷田部町）
- 26年経過した旧米軍宿舎（東京都立川市）

これらの釘の劣化度がほぼ Fig. 25 の直線付近の値になることから(12)式は妥当なものであるといえる。

2) 下見板壁における釘の劣化度の経年変化

近年、法的規則によって外壁への下見板の使用は非常に少なくなっているため、釘の劣化度のデータも経過年数の短いものが不足している。Table 4 は調査した住宅 および 小学校校舎における下見板の釘の

Table 4. 下見板における釘の劣化度と経過年数  
Ratings of nails in bevel siding walls.

経過年数 Service year	戸 数 Numer of house	本 数 Number of nail	種 類 Kind of nail	平均劣化度 Ave. nail rating	所 在 地 Place
21	1	102	F 50	4.4	千葉県柏市 (小学校) Chiba pref. Schoolhouse.
25	4	156	65mm	3.7	東京都府中市 Tokyo.
25	1	144	F 50	3.9	千葉県柏市 (小学校) Chiba pref. Schoolhouse.
28	1	121	F 50	3.9	千葉県柏市 (小学校) Chiba pref. Schoolhouse.
29	3	44	25mm	3.7	千葉県市川市 Chiba pref.
29	4	171	N32	3.2	茨城県石岡市 Ibaraki pref.
29	4	109	65mm	4.2	東京都府中市 Tokyo.
30	1	47	N32	4.3	神奈川県横浜市 Kanagawa pref.
32	1	144	N65	3.8	茨城県岩瀬町 (小学校) Ibaraki pref. Schoolhouse.
61	1	150	60mm	3.7	東京都八王子市 Tokyo.

劣化度を示す。このうち 25 年から 32 年までの平均値, 28.4 年および劣化度 3.8 を考えると, モルタル塗り壁の (12) 式を満足している。したがって, この年数近くでは, ほぼモルタル塗り壁における釘の劣化度と等しいと考えて良いであろう。しかし, 経過年数 21 年と 61 年の劣化度は (12) 式の関係から大きくはずれる。一般に下見板における釘の劣化は, 建物の構造や周辺の環境の影響を受けやすく, このためモルタル塗り壁と比較してばらつきが大きくなるものと考えられる。

## 6. 外壁の施工および構造が釘の劣化に及ぼす影響

釘の耐久性は, 住宅の耐久性と同じく施工や構造によって大きく変化する<sup>81)</sup>。ここでは釘の劣化に及ぼす外壁の施工や構造の影響について, 調査でえられた結果を示す。

### 1) モルタル塗り壁のクラックおよび吸水性<sup>7)82)</sup>

モルタル塗り壁内における釘および木材の劣化にもっとも著しい影響を与えるのは, モルタルのクラックである。調査の結果では, モルタルを取り除く前にすべてのクラックを記録するが, クラックはモルタルの裏面まで貫通していないものも多く, すべてが内部の劣化と関係しているとはいえない。クラックの幅が大きく, その箇所雨水が直接入り込む状態であれば, 内部の劣化が進んでいる可能性が非常に高い。Fig. 26, 27 は 3 年経過した枠組壁工法住宅の東面の立面図と東壁の南側半分における釘の劣化度 (平均値) の分布を示す。場所は名古屋市である。クラックは 1 階のひさし上端の高さで, ひさしの北側の



ルの最大含水量を上回る雨水浸透量をもたらす降雨のあるとき、モルタルが飽水状態となり水密性が保てなくなる<sup>38)</sup>。

Table 5. モルタル含水率 (%)  
Moisture content of mortar.

方 位 Aspect	含 水 率 Moisture content
NW (N)	3.88
NW (W)	1.84
NE (E)	0.08
SE (S)	0.57
バルコニー Balcony	4.05

NW(N) : 北西角の北面  
Northern aspect of the northwest corner.

5年半経過した展示ハウス(小金井市)の例で、北西角の北面、NW(N)の下部の釘の劣化度が3.9であり、西面NW(W)の下部で1.8であった。外部環境は両者に大きな差がないが、北面ではモルタル下地のルーフィングペーパーが波うち白い粉末が縞模様になり、水が浸入した形跡がみられた。この建物からモルタル片を採取し、一部は乾燥して含水率を求め(Table 5)、残りで吸水脱水試験を行った(Fig. 29)。吸水は室温で水に浸せきし、脱水は60°Cの乾燥器で乾燥させた。各値は2~5個の試片の平均値である。NW(N)の含水率が3.88%であるのに対しNW(W)は1.84%と低く、吸収率もNW(N)の方が大き

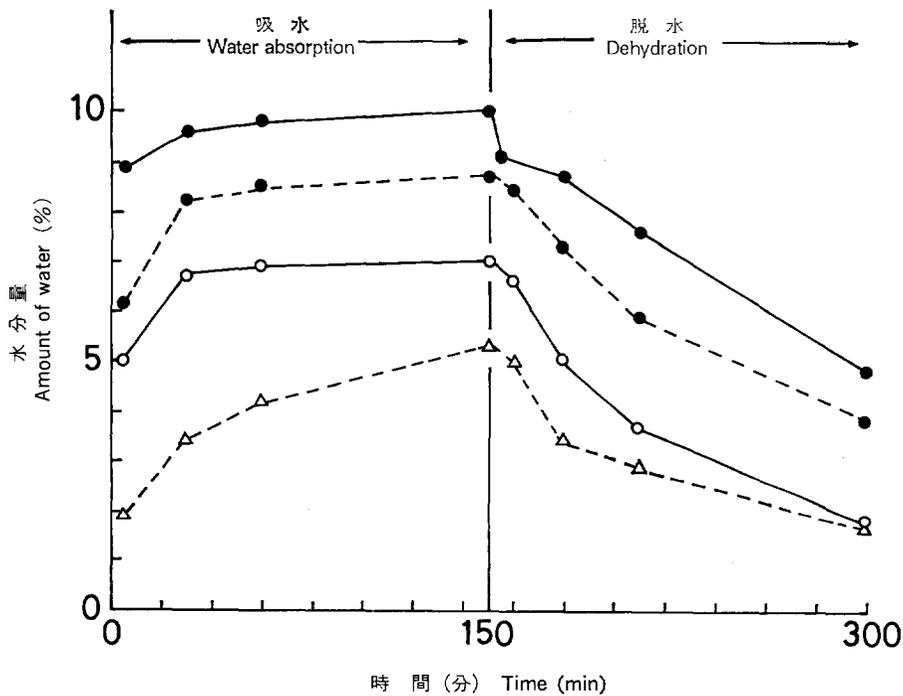


Fig. 29. モルタルの吸水—脱水試験(小金井市)  
Water absorption—dehydration test of the mortar(Koganei City).

- NE (E)
- NW (N)
- NW (W)
- △---△ バルコニー Balcony.

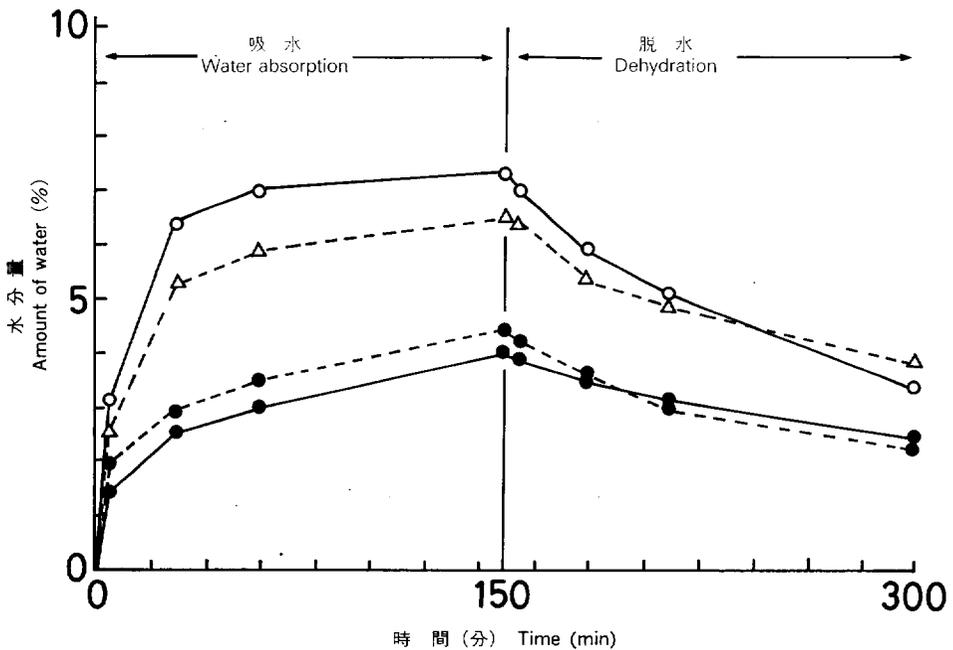


Fig. 30. モルタルの吸水—脱水試験（住宅間の比較）  
Water absorption—dehydration test of the mortar  
(Comparison of different houses).

- 柏市 Kashiwa City.
- 名古屋市 Nagoya City.
- 浦和市 Urawa City.
- △---△ 新宿 Shinjuku.

い。NW (N) の含水率が高いのは、この面に雨が当たった可能性があるが、この部分のモルタルの吸水率が大きいため、内部が乾燥しにくく、釘の劣化が進んだものと考えられる。なお、バルコニーのモルタルの吸水量は小さいが、含水率は大きい。これは雨どい下の排水口とモルタルとの取り合い部分から雨水がモルタルの裏面に浸入したためである。ここで得られたモルタル吸水率のばらつきは施工時のものか経年変化によるものかは不明である。また表面からの吸水性は塗膜の性能によっても異なってくるであろう。比較のため、他の住宅におけるモルタルの吸水率、脱水率（平均値）を Fig. 30 に示す。

## 2) 下見板壁における雨どいと入隅

一般に住宅の雨どいの部分、入隅の部分の木材が腐朽を受けやすいことは知られている<sup>31)84)</sup>。

ここでは千葉県柏市における小学校校舎の調査例<sup>9)</sup>の概略について述べる。この校舎 (Fig. 31) は経過年数が 21 年、25 年、28 年の三つの部分からなる。外壁の釘は、布基礎上端より高さ 1 m 以下の部分から採取した。釘 (長さ 50 mm, 直径 2.3 mm) はこの部分に 5~6 本打たれている。これらの劣化度の平均値を位置、経過年数ごとに示すと Table 6 のようになる。備考欄には入隅 (C), 雨どい (R) および便所 (L) の存在を記入してある。ここでの入り隅は、下見板が縦棧 (窓の縦枠の延長) や戸袋との取り合いでつくる小さな入隅であり、雨どいは測定箇所から 910 mm 以内にあることを指す。このうち便所の

Table 6. 下見板の釘の劣化度 (柏第5小)  
Rating of nails in bevel siding board (Kashiwa school).

位置 Grid		劣化度 Rating	経過年数 Service year	備考 Remark	位置 Grid		劣化度 Rating	経過年数 Service year	備考 Remark
X	Y				X	Y			
31	38	4.42	28	C	18.5	2	4.92	25	L
31	36.5	3.60	28		16.5	2	5.00	25	L
31	35	3.75	28		15	2	5.00	25	L
31	33.5	2.90	28		13.5	2	4.58	21	L
31	32	3.40	28		12	2	4.75	21	L
31	30.5	4.25	28	C, R	10	4	4.50	21	C
31	28	3.90	28	C	8.5	4	4.13	21	
31	26.5	3.20	28		7	4	4.08	21	
31	25	3.81	28		3.5	4	4.25	21	C
31	23.5	3.25	28		2	4	4.25	21	
31	22	3.50	28		0	4	4.50	21	R
31	20.5	4.75	28	C, R	0	4.5	4.50	21	
31	18	3.80	25	C	0	6	4.30	21	
31	16.5	4.00	25		0	7.5	4.17	21	
31	15	3.08	25		0	9	4.30	21	
31	13.5	3.33	25		0	10.5	4.00	21	
31	12	3.17	25		0	12	4.50	21	R
31	10.5	3.00	25	C, R	2	12	4.75	21	C
31	8	4.70	25	C	3.5	12	4.00	21	
31	6.5	3.92	25		10	12	4.58	21	C
31	5	2.83	25		22	18	4.80	21	C
31	3.5	2.83	25		22	19.5	4.13	21	R
31	2	4.50	25		22	20.5	4.50	28	R
31	0.5	3.90	25		22	22	4.33	28	C
31	0	4.20	25	C, R	22	28	4.25	28	C
31	0	4.00	25	C, R	22	29.5	4.20	28	R
29	0	3.70	25		22	30.5	3.83	28	R
27.5	0	3.42	25		22	32	4.17	28	C
26	0	3.75	25		22	38	4.17	28	C
24	0	4.00	25	C, R	22	39	3.83	28	
21.5	2	4.50	25	L	22	40	4.40	28	C, R
20	2	4.58	25	L					

C : 入隅における下見板 Sidings at interior corner.  
 R : 雨どい近辺 Close to rainwater pipe.  
 L : 便所の外壁 Wall to lavatory.

外壁の釘は劣化が異常に大きく、原因が便所の水によることが明らかであるが、経過年数、入隅、雨どいは、それぞれ単独では釘の劣化度との関係がつかめない。そこでこれら三つを要因とし、それぞれにカテゴリを定め (Table 7) 多変量解析の一つである数量化 I 類の手法により計算し、劣化要因の分析を行った。得られたカテゴリ-数量は Table 8 のようになる。表の各要因から該当するカテゴリ-変量一つずつ選び、これらを加えると劣化度の予測値がえられる。これと実際の劣化度との関係は Fig. 32 の

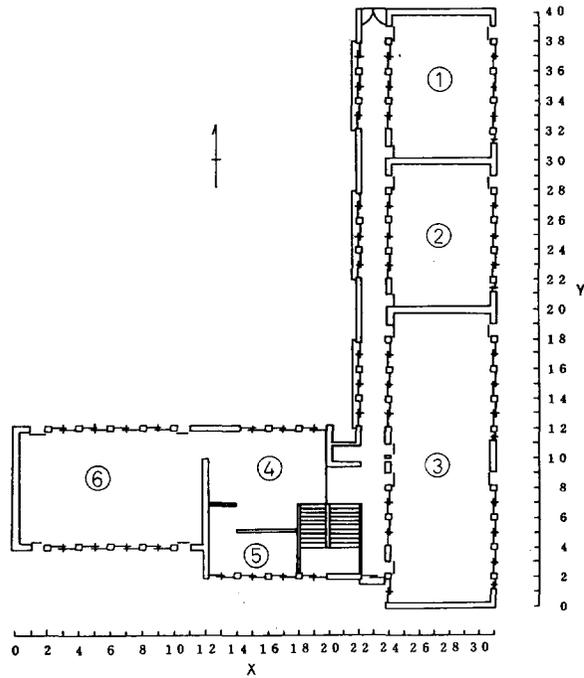


Fig. 31. 平面図 (柏第五小)

Floor plan (Kashiwa school)

- ①: 図工室 Room for drawing and handicraft.
- ②: 図工準備室 Preparation room for drawing and handicraft.
- ③: 音楽教室 Room for music.
- ④: 玄関 Entrance hall.
- ⑤: 便所 Lavatory.
- ⑥: 交通安全特別教室 Special room for traffic security.

Table 7. 要因とカテゴリー  
Items and Categories.

要因 Items		カテゴリー Categories	
1	経過年数 Sevice years	1	21
		2	25
		3	28
2	入隅部 Interior corner	1	有 Yes
		2	無 No
3	雨どい Close to rainwater pipe	1	有 Yes
		2	無 No

Table 8. 数量化Ⅰ類によるカテゴリー数量  
Category scores obtained by  
Quantification I.

要因 Items	カテゴリー Categories	カテゴリー数量 Category scores
1	1	4.862
	2	4.243
	3	4.369
2	1	0.000
	2	-0.465
3	1	0.000
	2	-0.250

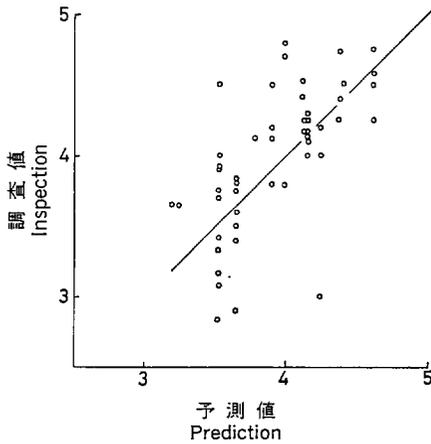


Fig. 32. 調査による劣化度と予測による劣化度の関係 (柏第五小)  
Relationship between the rating by the inspection and by the prediction (Kashiwa school).

ようになり、重相関係数 ( $r$ ) は 0.672 である。寄与率 ( $r^2$ ) は 0.452 となり、Table 6 の劣化度の分散の 45.2% がこれら三つの要因によることになる。ただし、ここでの経過年数の要因は壁の方位や壁以外の環境の要因と独立ではなく、これらの総合されたものとなる。要因のうち経過年数がもっとも重要であり、21 年経過した壁における釘がもっとも劣化度が大きい。入隅部以外の箇所では入隅部の箇所より劣化度が 0.465 小さく、雨どいがない場合は、ある場合より 0.250 小さいことになる。以上の結果は、入隅は 2 面からの雨水を集めやすく、また多くは日蔭となり木材が乾燥しにくいこと。また、雨どいは破損がなくても雨水を集めやすいことを裏付けている。

### 3) 金属サイディング壁の調査例

本論文では外壁としてモルタル塗り壁と下見板壁を対象としているが、最近乾式の外壁材料も普及しつつある。しかし、これに関する耐久性の資料はきわめて不足している。乾式の外壁の一つである金属サイディング壁の調査例は 1 件のみであるが、外壁の施工および構造の面から結果を述べておく<sup>5)</sup>。

この住宅 (2 階建て) は茨城県谷田部町に建てられ、6 年半経過したものである。外壁材料は角波型カラー鉄板と呼ばれ、裏面に 10 mm 厚きのインシュレーションボードが接着されているたて羽目板である。構造的な特徴としては、壁内部にグラスウール等の断熱材がないこと、および浴室部を除いて、内壁において床下地と土台上面の間に根太が置かれ、これにより出来たすき間を通じて床下 (防湿層はない) から壁内への通気が可能なことである。平面図は Fig. 33 に示すとおりである。北側は高さ 140 cm のブロック塀が外壁から 60~90 cm 離れて立っている。サイディングの下部で土台側面とのすき間をふせぐため、木ずり (スギ) が土台 (CCA 防腐処理されたベイツガ) の側面に平行に打たれている。この釘 (F50) の劣化度の平均値は次のようである。

北 壁	便 所	}	4.7
	浴 室		
北 壁	台 所		2.8
東 壁	台 所		3.0
東 壁	全 体		2.3
西 壁	全 体		4.2

便所および浴室の北側の外壁において釘の劣化が進んでいるのは、常時水を使用する場所に見られる一般的な現象であると考えられる。北側の台所は流しに接していないことが釘の劣化度が低い原因であろう。東壁の台所は流しに接するため平均より若干高い劣化度になっている。西壁は東壁より高い劣化度を示しているが、室内側は床の間や押し入れであり、水の供給は考えられない。他と異なる点は西壁には

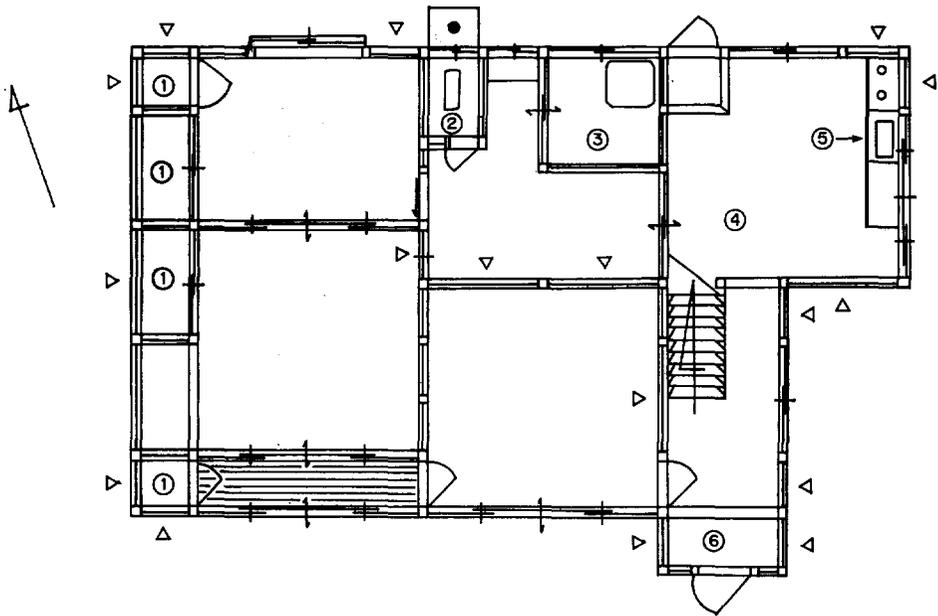


Fig. 33. 平面図（谷田部町）  
Floor plan (Yatabe).

- ①：押入れ Closet, ②：便所 Lavatory, ③：浴室 Bath room,  
④：台所 Kitchen, ⑤：流し Sink, ⑥：玄関 Entrance,  
△：換気孔 Ventilator.

窓、ひさしがなく、また軒の出も小さいため、壁のほとんど全面に雨が直接かかることである。さらに、東側は壁に沿って犬ばしりがあるが、西側はこれがなく、布基礎に沿って土が高くもり上がっているのがみられ、雨のはね返りがサイディングと土台の間にある木ずりに当たりやすいものと考えられる。

以上は外壁の最下部のもっとも釘の劣化の著しい箇所であるが、これより上部の木ずり一柱、間柱の釘では高さによる劣化度の傾斜もみられず、北壁の便所と洗面所の境、東壁の流しの部分の柱での 2.0~3.0 がやや大きい程度で、他は 1.5~2.0 と低い。

この住宅の施工、構造上の特徴を釘の劣化の面からみると次のようである。金属サイディング壁の内部の釘の劣化度は、土台部を除き、高さでの傾斜は見られない。これは下見板とは異なった傾向であり、モルタル塗り壁に類似する。犬ばしりの効果は大きい<sup>91)</sup>。壁内の通気構造は興味深いが、経過年数が少ないため特に効果は明らかでない。釘の平均劣化度は同年数経過したモルタル塗り壁と比較して大きくない。

## 7. 家屋の外部環境と釘の劣化

家屋の外部環境は、耐久性の上から重要であるが、要因がきわめて多いため把握が困難であり報告も少ない。外部環境は、特に下見板の釘において顕著にみられる。また、これを利用して外部環境を評価することもできる。

### 1) 植込みなどの影響

東京都府中市にある 8 棟の家屋の下見板壁の釘の劣化度を調査し、経過年数および風の通りやすさから見た植込みなどの関係を検討した<sup>10)</sup>。家屋の配置図は Fig. 34 のようになり、No.3~6 は 25 年、No.8

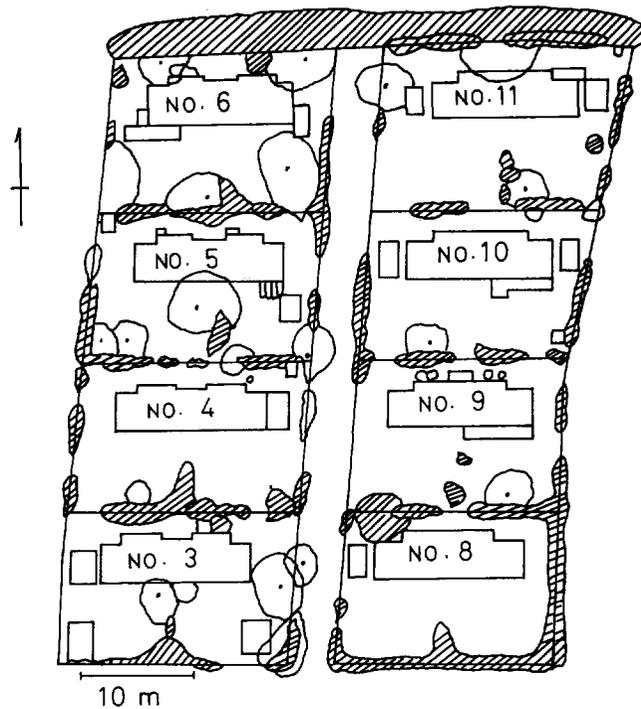


Fig. 34. 家屋の配置図(府中市)  
Site plans (Fuchu City).

Table 9. 調査した家屋の釘の平均劣化度  
Average ratings of nails in walls of houses inspected.

戸番 House No.	3	4	5	6	8	9	10	11	
壁の方位 Aspects of walls	北 North	4.03	4.24	3.76	4.50	4.06	4.38	4.32	4.22
	東 East	3.25	—	3.17	3.50	4.78	4.00	4.17	4.10
	西 West	3.50	4.38	3.94	3.83	4.50	3.70	3.57	4.83
	南 South	3.31	3.50	3.14	3.11	—	—	—	—
平均 Averaged for all aspects	3.59	4.03	3.51	3.94	4.36	4.15	4.08	4.29	

～11は29年経過している。いずれも2世帯用家屋である。調査した釘は押縁一下見板一柱(間柱)を接合しており長さは65mmである。釘は布基礎の上端から高さ1m以下の部分から採取した。家屋の外壁からはほぼ3m以内にある樹木を次のように類型化した。

種類：落葉樹，常緑樹

樹高：1m以下，2～3m，3m以上

葉の繁り：地表から2～3mまで繁る。地表から1m以下に葉がない。

Table 9に、それぞれの家屋について、方位別の外壁における釘(10～20本)の劣化度の平均値を示

した。25年経過した家屋（No.3～6）では平均3.72であり、29年経過した家屋（No.8～11）では4.22である。後者は、すでに調査を行った29年経過した4戸の家屋の南京下見板<sup>4)</sup>についての平均値4.05と近似している。

Table 9 からわかるように、方位別に分けたそれぞれの壁における釘の劣化度の平均値の間にはかなりのばらつきがある。この主な原因として、経過年数、部屋の用途のほか周辺の環境の差異があげられるであろう。この場合の環境因子として、風通しや日当たりの良さがあるが、これらの要因は把握しがたいため、整理に工夫を要する。

風通しの要因については、外壁からほぼ3m以内にある生垣などの植込みをとりあげた。先に述べたように、地表から2～3mの高さまでが繋がっている樹木が密に並んでいれば、地表付近の風の流通は阻止され、樹木間にすき間があれば、局所的に風が通るものと仮定した。小屋（最近の取り壊し跡も含む）

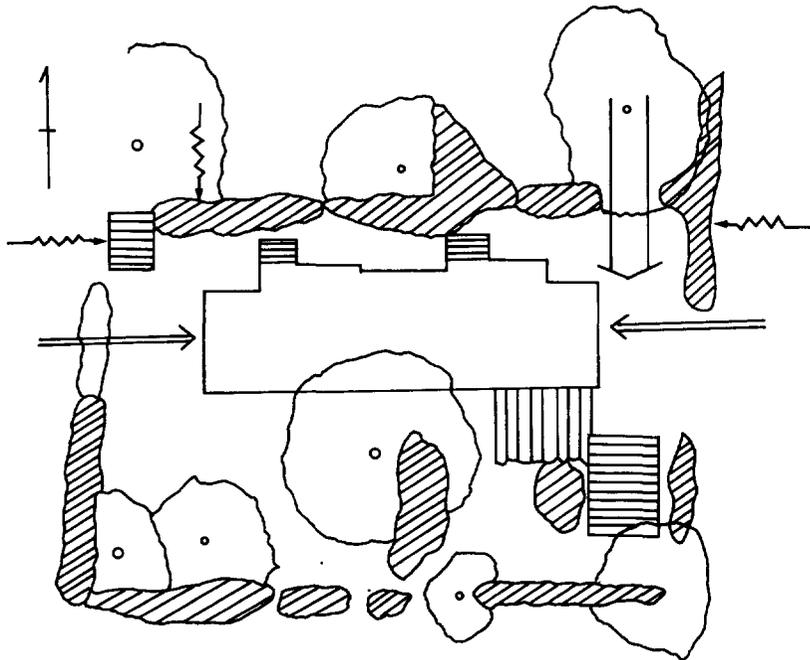


Fig. 35. 植込みと風通しの例 (No.5)

An example of garden trees and the ventilation (No.5).

-  : 地上1m以上に葉が繁る Tree with dense foliage above 1m the ground.
-  : 地上から2～3mまで葉が繁る Tree with dense foliage from ground to 2～3m above the ground.
-  : 小屋 Shed.
-  : さしかけ屋根 Awning.
-  : 風が完全に通過 Wind is fully passable.
-  : 風が部分的に通過 Wind is partially passable.
-  : 風が通過しない Wind is not passable.

Table 10. 要因とカテゴリー  
Items and categories for the analysis by  
Quantification I.

要 因 Items		カテゴリー Categories	
1	北 風 Northerly wind	1	完 全 通 過 Fully passable
		2	部 分 通 過 Partially passable
		3	不 通 Not passable
2	東 風 Easterly and 西 風 westerly winds	1	完 全 通 過 Fully passable
		2	部 分 通 過 Partially passable
		3	不 通 Not passable
3	壁 の 方 位 Aspect of walls	1	北 North
		2	東 East
		3	西 West
4	経 過 年 数 Service years	1	25 年 25 years
		2	29 年 29 years

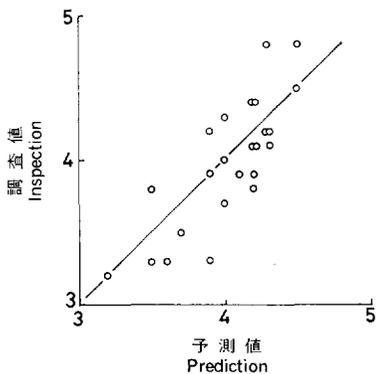


Fig. 36. 調査による劣化度と予測による劣化度の関係(府中市)  
Relationship between the rating by the inspection and by the prediction (Fuchu City).

も風を阻止するものとした。したがって、北壁については、これの北側にある植込みが北風の流れを阻止し、壁に沿った所に位置する植込みや小屋が東西方向の風に影響することになる。東壁または西壁については、それぞれの北側および東側または西側の植込みなどが問題となる。Fig. 35 に No.5 の家屋の周辺の状況を表したものを一例として示す。

日当たりに関係があると考えられる要因としては壁の向きのみを考えた。家屋の南面についてはすべて風通し、日当たりがよく、釘の劣化度も低いが、釘を採取できない家屋が多いため対象外とした。

以上の要因を整理すると Table 10 のようになる。壁ごとの釘の劣化度の平均値を目的変数とし、これらの要因との関係を数量化 I 類の手法で分析を試みた。入力するデータを Table 11 に示す。No.3 の家屋の北壁については、西側と東側とでは植込みなどの状況がかなり異なるため 2 分した。計算でえられたカテゴリー-数量を Table 12 に示す。釘の劣化度の予測値は、それぞれの要因につき一つずつ該当するカテゴリー-数量を加えた値となる。例えば 25 年経過した北壁で、東西方向が開放されている場合、北側が解放されていると、劣化度の予測値は 3.499、遮へいされていると 4.059 となる。調査によると釘の劣化度と予測によるそれとの関係は Fig. 36 のようになり、北風が釘の劣化を抑制すると考えてよいであろう。これに対し、東西方向の風の影響はきわめて小さい。壁の方位で

も風を阻止するものとした。したがって、北壁については、これの北側にある植込みが北風の流れを阻止し、壁に沿った所に位置する植込みや小屋が東西方向の風に影響することになる。東壁または西壁については、それぞれの北側および東側または西側の植込みなどが問題となる。Fig. 35 に No.5 の家屋の周辺の状況を表したものを一例として示す。

Table 11. 数量化 I 類のための変数  
Data for Quantification I.

要因 Items	1			2			3			4		目的変数 Criterion variables	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
戸番と壁の方位 House No. and aspects of walls	3N-E	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	4.09
	3N-W	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	3.93
	3E	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	3.25
	3W	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3.50
	4N	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	4.24
	4W	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	4.38
	5N	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	3.76
	5E	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3.17
	5W	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	3.94
	6N	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	4.50
	6E	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	3.50
	6W	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	3.83
	8N	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	4.06
	8E	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	4.78
	8W	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	4.50
	9N	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	4.38
	9E	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	4.00
	9W	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	3.70
	10N	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	4.32
	10E	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	4.17
10W	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3.57	
11N	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	4.22	
11E	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	4.10	
11W	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	4.83	

要因とカテゴリは Table 10 を参照  
See Table 10 for designations of items and categories.

は、東、西、北の順に劣化度が大きくなるが、その差は小さい。経過年数では当然ながら 29 年の方が劣化度が大きくなる。重相関係数 (r) から寄与率 (r<sup>2</sup>) を求めると 0.659 となり、外壁間の釘の劣化度の分散のうち 65.6% がこれらの要因によることになる。

下見板張りの外壁の釘の劣化度について調査を行い、家屋周辺の植込みなどについての簡単な類型化と仮定から、植込みなどと釘の劣化度の関係はかなり明確に把握することができた。釘の劣化を外壁の劣化の一部と考えると、北風の日が多い東京では、家屋の北側に地表付近の風の流れを遮るような密な植込みを設けることは外壁の劣化を早めることになる。家屋の北側に近接したブロック塀なども耐久性上好ましくないであろう。また、このことは、鉄鋼モルタル塗り壁についてもあてはまるであろう。

## 2) 外壁の乾きやすさの測定

下見板の含水率と釘の劣化度の間には直線関係が見られることが多い。茨城県石岡市における 29 年経過した 4 戸の家屋 (No. 1, 2, 5, 15) において、最下部の下見板の釘 (N32) の劣化度と含水率を全方位で求めた。各北壁の垂直方向についても釘の劣化度と含水率を求めた。釘の劣化度 (D) と下見板の含水

率 (W) の関係を次式のように 1 次式で表わした。

$$W = a_1 D + a_0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

えられた式の係数を Table 13, 14 に示す。2 組ずつの式の回帰係数  $a_1$  の差の有意性を, t 検定によって同じ式とみなせるかどうかを検討した結果, 各家屋の下部と北壁とでは同じ式とみなして差し支えないが, 一戸の家屋 (No. 15) は他と異なる式となった。回帰係数は, 含水率—劣化度プロットの勾配であり, 劣化度を 1 だけ増すのに必要な含水率を表す。これらの家屋の材料, 構造および経過年数が同じであることから, 劣化度と含水率の関係には, 日当たり, 通風等による壁の乾きやすさの環境因子が作用していると考えられた<sup>6)</sup>。下見板に限らず外壁が乾きやすい環境にあることは耐久性を確保する上で重要なことである。

ところが, 外壁表面の湿りやすさ, 乾きやすさは, 日当たり (温度) と通風の二つの局所的な気象因子の相互関係によるため, 評価方法が定めにくい。そこで一つの試みとして, 中央上方に小孔をあけた合板 (12×150×300 mm) を吸水させ, 外壁の下見板に釘を打ってつるし, 時間を追って秤量 (精度 1 g) して乾燥量を求めた。この方法によって, 外壁がほぼ均等に湿った場合のある短い期間における乾きやすさの目安をえることができる。

Fig. 37 は茨城県岩瀬町にある岩瀬小学校の小塩分校であり, 25 年経過している。この外壁に合板のプレートを取り付け測定を行った。測定日は昭和 60 年 7 月 10 日~12 日である。天気は 10 日の夜半から 11 日の昼まで小雨が降り, あとは曇りまたは晴れである。プレートの初期含水率 (24 % 前後) からの重量減少率の経時変化を Fig. 38

Table 12. カテゴリー数量  
Category scores obtained by  
Quantification I.

要因 Items	カテゴリー Categories	カテゴリー数量 Category scores
1	1	3.499
	2	3.757
	3	4.059
2	1	0.000
	2	-0.116
	3	0.186
3	1	0.000
	2	-0.201
	3	-0.014
4	1	0.000
	2	0.265

Table 13. 壁の下部の含水率と劣化度の式における係数  
Coefficients for the equation relating to the moisture content  
and the rating of the nail at the foot of the wall.

No.	n	$\bar{W}$	$\bar{D}$	$\sigma_W$	$\sigma_D$	$a_1$	$a_0$	r
1	43	17.10	4.28	3.22	0.86	1.64	10.05	0.44
2	47	15.52	4.03	2.90	0.87	1.56	9.23	0.47
5	34	13.81	3.72	4.13	1.20	1.92	6.67	0.56
15	44	20.00	4.10	4.55	0.80	3.91	3.94	0.69

n : 試料数  
Numbers of the samples.  
 $\bar{W}$  : 含水率の平均  
Average values of the moisture content.  
 $\bar{D}$  : 劣化度の平均  
Average values of the rating.  
 $\sigma_W$  : 含水率の標準偏差  
Standard deviation of the moisture content.  
 $\sigma_D$  : 劣化度の標準偏差  
Standard deviation of the rating.  
 $a_1$  : 回帰係数  
Regression coefficient.  
 $a_0$  : 回帰定数  
Intercept of regression line.  
r : 相関係数  
Correlation coefficient.

Table 14. 北壁での含水率と劣化度の式における係数  
Coefficients for the equation relating to the moisture content  
and the rating of the nail in the northern wall.

No.	$n$	$\bar{W}$	$\bar{D}$	$\sigma_W$	$\sigma_D$	$a_1$	$a_0$	$r$
1	35	19.91	4.17	3.85	0.77	1.00	15.73	0.20
2	34	18.44	3.65	3.53	0.98	1.84	11.73	0.51
5	27	16.32	3.46	2.58	0.84	1.52	11.05	0.49
15	35	22.66	3.93	4.84	0.79	3.55	8.70	0.58

~40に示す。この変化をみると、初期に急激に減少し、その後プレートの位置により異なった経過を示す。20枚のプレートにつき設定位置の高さを $x(1)$ 、含水率変化の特徴を表すものとして、重量減少-時間の初期勾配を $x(2)$ 、最終の重量減少率を $x(3)$ とすると、釘の劣化度との単相関係数は、それぞれ-0.55, -0.27, -0.20となる。劣化度と $x(1)$ ,  $x(2)$ ,  $x(3)$ の重相関係数は0.58となり、 $x(1)$ との単相関よりやや高い程度である。このように高さを考慮してもプレートの含水率変化だけで釘の劣化度を十分に予測することは無理であるが、この方法はある時点での乾きやすさを表す指標として簡便な方法である。同じ岩瀬町にある南飯田小学校の門毛分校 (Fig. 41) において、上と同じ日に測定を行った。この校舎の壁は、建物の蔭になる部分やげけ下にある所があり、釘と木材の劣化が進んでいる。Table 15はプレートの含水率の減少率を示す。これをみれば、北壁での乾きが遅いことがわかる。南壁の高さ50cmの所では、初期の乾燥は速いが11日朝の雨がかりり湿りやすい。西壁の乾燥の速いのは、日当たりが良いことによるものと思われる。

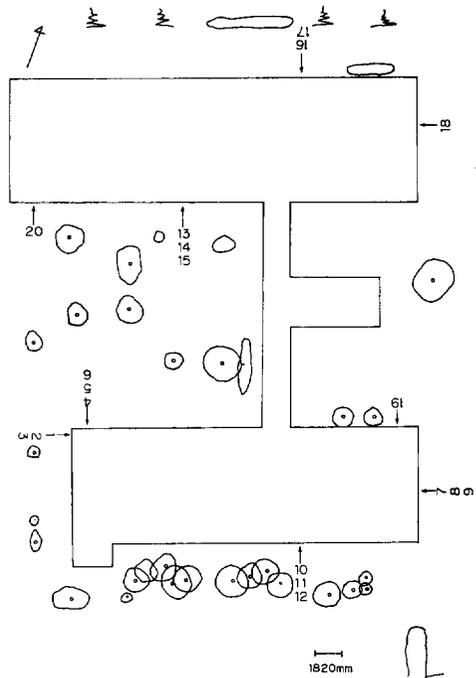


Fig. 37. 小塩分校  
Koshio branch school.

### 3) 臨海地帯における塩害

大気中に塩化物が存在すれば、鉄の腐食が著しく大きくなることは周知のとおりであり、臨海地帯では海塩粒子により釘の劣化が速いことが予想される。一般に海岸から0.5~1kmまでは大気中の塩化物含有量が特に多いとされているが<sup>35)</sup>、海岸から約7km離れた家屋の下見板の表面からも塩素イオンが検出されている<sup>36)</sup>。

Fig. 42は茨城県高萩市にある高浜第2住宅の配置図であり、この東方約100mの距離に海岸がある。この家屋の外壁の下見板(スギ、厚さ8mm~10mm、オイルステイン塗装)に打たれた釘(N38)の劣

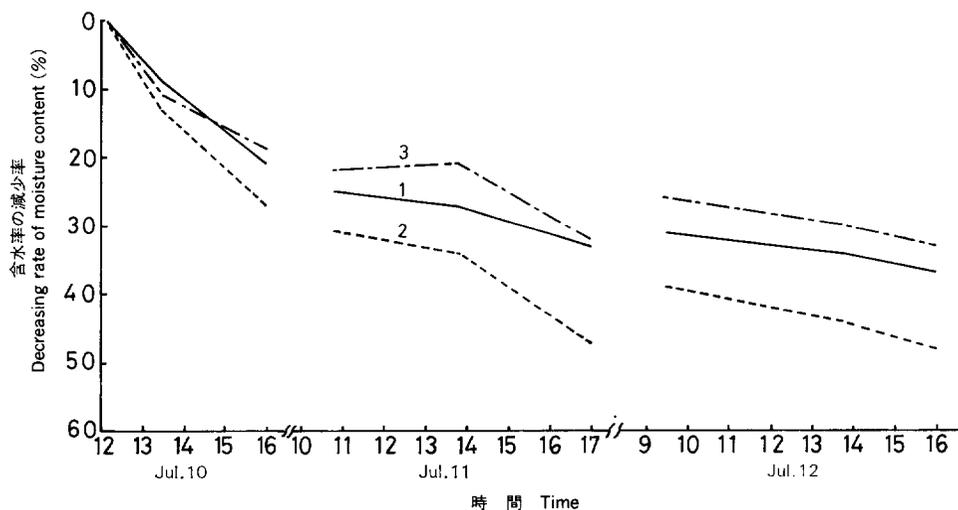


Fig. 38. 合板プレート (No.1, 2, 3) の含水率の減少率 (小塩分校)  
 Decreasing rate of moisture content of the plywood plates (No.1, 2, 3. Koshio branch school).

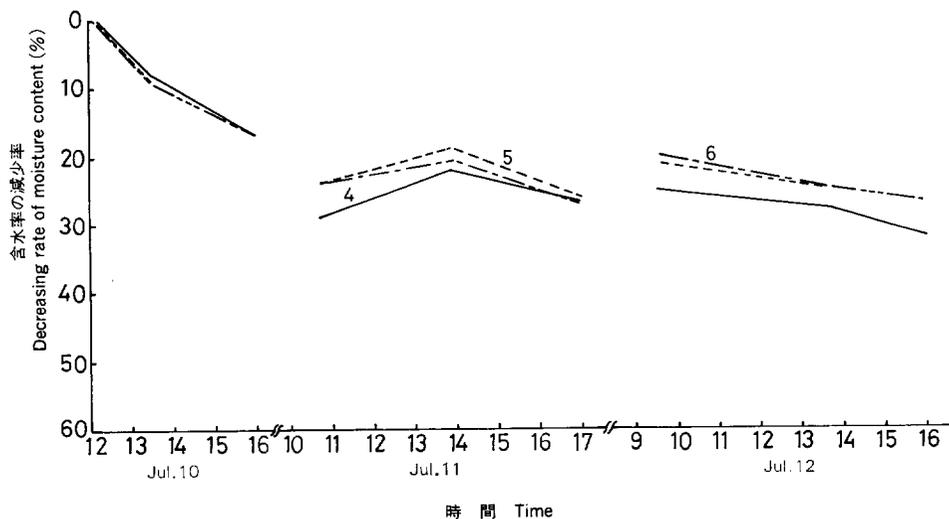


Fig. 39. 合板プレート (No.4, 5, 6) の含水率の減少率 (小塩分校)  
 Decreasing rate of moisture content of the plywood plate (No. 4, 5, 6. Koshio branch school).

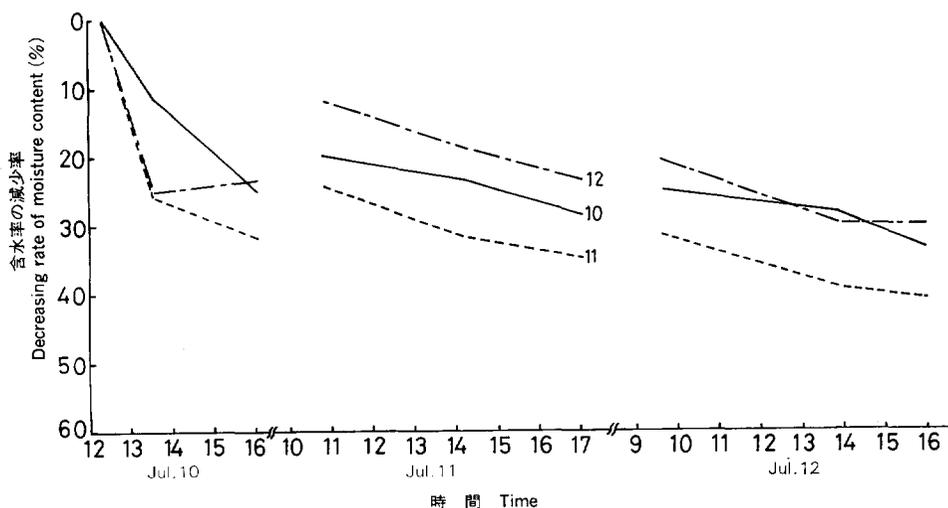


Fig. 40. 合板プレート (No. 10, 11, 12) の含水率の減少率 (小塩分校)

Decreasing rate of moisture content of the plywood plate (No. 10, 11, 12. Koshio branch school).

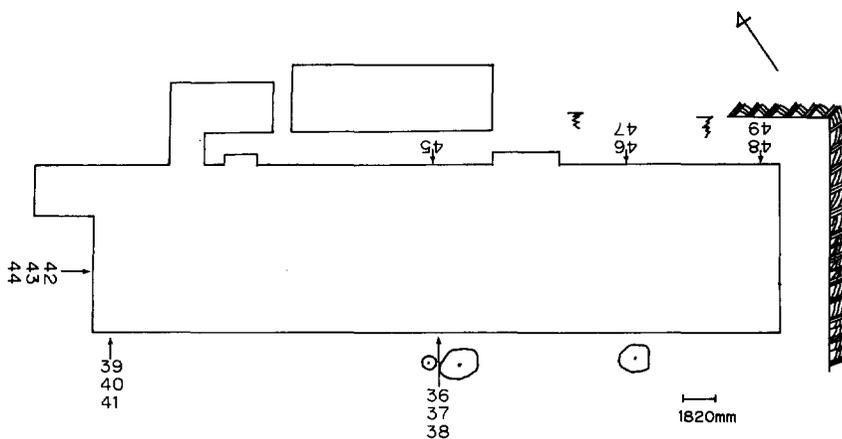


Fig. 41. 門毛分校  
Kadoke branch school.

化度を Table 16 に示す。これを見れば、高さ 1 m 以下の劣化度は 4~5 であり、他の地帯の家屋 (Table 4) と比較して明らかに劣化度が大きい。また、外壁の上部の釘の劣化度も大きい傾向がある。上部では釘の長さ方向の頭側の半分が劣化し、先端の方は劣化が進んでいないものが多い。この下見板の塩化物含有量を求めた。食塩含有量の定量は、採取したままの下見板から木粉をつくり、45 メッシュを通過したもの 2g に純水 100 ml を加えて常温で 24 時間放置し、ろ過した液に硝酸銀水溶液を加え、塩化銀として沈殿させチオシアン酸カリウム溶液で滴定する方法によった。なお、塩化物はすべて NaCl とみなした。一つの塩化物含有量の値は 3 回の測定の前平均値から求めた。外壁の高さ方向における塩化物含有量および釘の劣化度の分布を Fig. 43 と Fig. 44 に示す。塩化物含有量の分布は、東面 (E) では北面 (N) お

Table 15. 合板プレートの含水率の減少率 (%)  
Decreasing rate of moisture content of the plywood plates.

Kadoke

No.	高さ (cm) Height	方位 Aspect	10. Jul.	11. Jul.		12. Jul.	
			16 : 50	11 : 45	16 : 25	10 : 30	15 : 30
42	270	W	18.0	28.6	49.4	40.4	49.4
36		S	18.0	24.7	29.6	29.6	40.1
39			18.2	27.3	34.8	34.8	43.9
45	200	N	6.5	22.8	25.5	27.0	35.0
46			9.2	25.7	31.7	31.7	39.8
48			7.9	23.6	28.4	29.5	35.3
43		W	15.3	26.6	42.3	38.3	46.0
37		S	20.7	23.8	29.5	29.5	41.4
40			14.6	29.3	37.9	38.9	47.5
47		50	N	18.0	12.6	20.7	23.8
49	12.5			23.1	25.0	20.4	28.2
44	W		15.2	28.3	39.9	36.6	46.0
38	S		25.9	8.6	17.3	15.7	27.9
41			18.0	14.6	27.2	24.3	34.0

測定開始は 15 : 20, 10. Jul.  
Started at 15 : 20, 10. Jul.

Table 16. 海岸近くの家屋の下見板における釘の劣化度 (高萩市)  
Rating of the nail in the bevel siding wall of the house near  
the seashore (Takahagi City).

経過年数 Service year	28			27			27			27				
家屋番号 House No.	9			12			14			17				
方位 Aspects	NE (N)	NE (E)	SE (E)	NE (N)	NE (E)	SE (E)	NW (W)	SE (E)	SW (W)	SW (S)	NE (N)	NE (E)	SE (E)	
高さ (m) Height	2~3.4	3.7	3.7	3.6	3.5	4.2	3.4	3.7	3.8	3.0	2.8	3.3	3.4	3.4
1~2	4.2	4.3	4.6	4.7	4.7	4.2	4.3	3.7	3.7	3.7	3.8	4.1	3.8	
0~1	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0	4.7	4.9	4.3	4.3	4.1	4.5	4.6	4.1	

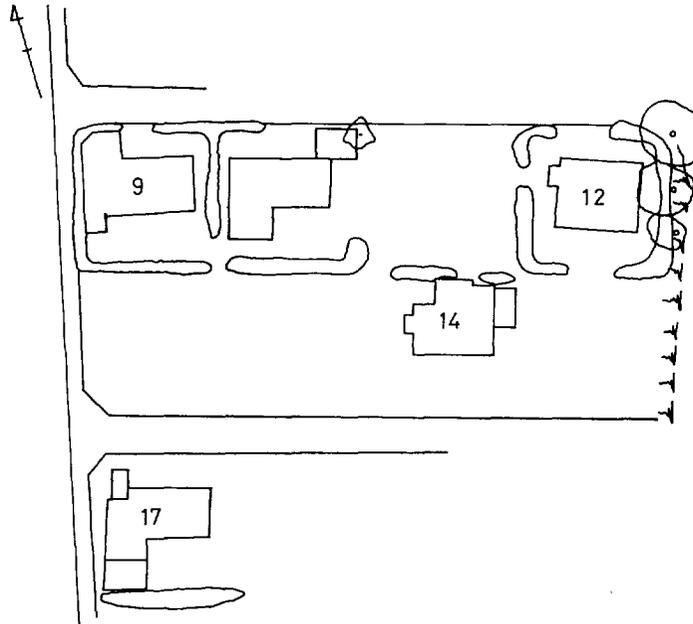


Fig. 42. 臨海地帯に建てられた住宅の配置図（高萩市）  
Site plans of the houses in the coastal region (Takahagi City).

よび南面（S）に比べ変化が少ない。No. 12 S E（E）の塩化物含有量が No. 14 S E（E）より少ないのは、No. 12 の家屋の東側には高い植込みがあるのに対し、No. 14 では東風を遮へいするものがないためと考えられる。南面と北面の壁の上部は東面の上部より塩化物含有量が多い。この理由として東面は妻側で軒の出が小さいため、下見板の最上部（その上はシックイ壁）に直接雨がかかり、外壁表面に付着した海塩粒子が雨水で流し落とされることが考えられる<sup>86)</sup>。南面と北面は軒の出が大きい（48 cm）。このため、上部の下見板は雨がかからず、微細な砂ぼこりが付着し、海塩粒子もこれに含まれているものと思われる。塩化物含有量と、釘の劣化度の関係が比例的でない理由として、下見板のある箇所における塩化物の付着量または浸透量は、他の劣化因子である雨水のかかる頻度と比例関係にないこと、および1枚の下見板でも木粉の採取場所により塩化物含有量に若干のばらつきがあることが考えられる。下見板の心材部と辺材部でも塩化物含有量が異なる。No. 12 の家屋のNE（E）の高さ3 mにおける下見板の辺材部で0.25%、心材部で0.50%である。また塩化物含有量は下見板の厚さ方向でも異なった値を示した。同じ場所の心材部の表半分は0.54%、裏半分で0.45%である。最上部の下見板の心材部で、表半分0.42%、裏半分で0.33%であり、いずれも表側の方が高い値を示す。

## 8. ま と め

### 1) 釘と木材の劣化機構

一般の鉄釘は炭素含有量が0.25%以下の軟鉄である（JIS G 3505）。その劣化機構は基本的に鉄の劣化機構<sup>87)</sup>と同じであり、主な劣化因子は、熱、水分、腐食性物質である。特殊な状態でなければ、外壁の釘

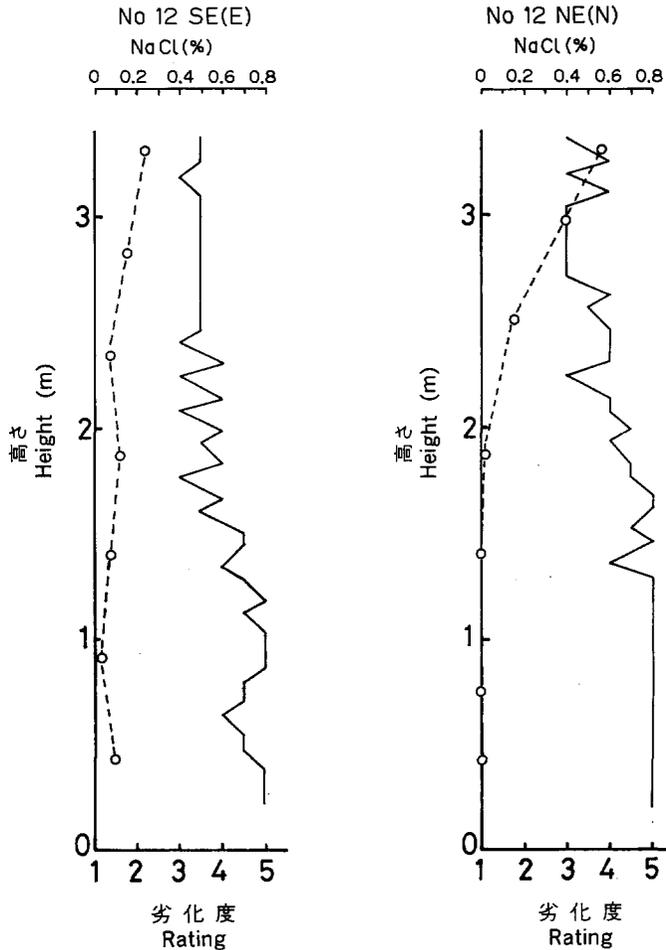


Fig. 43. 臨海地帯に建てられた住宅 (No. 12) の下見板の食塩含有率 (点線) と釘の劣化度 (実線)

The rating of the nail (solid lines) and the salt content (dotted lines) of the bevel siding board of the house (No. 12) in the coastal region.

は適量の水分と温度があるときに劣化の進行が大きくなる。下見板の場合、南壁は日当たりがよく温度が上昇し、一方これによって木材は乾燥し腐朽は少ない。北壁は日当たりが悪いため、通風の程度が木材の乾燥を支配する。多くは壁の北側に植込みや塀があるため風通しが悪く、水分が停滞するため、南壁より温度は低い、結果的には釘は速く劣化し木材も腐朽する場合が多い。また、北壁は窓が少なく、2階建ての場合は、上部にかかった雨が壁に沿って下部に流れるため、土台付近の釘および木材の劣化が進むものと考えられる。この雨水の壁における高さ方向の分布は、降水量のほか、壁材料の吸湿性や表面状態によっても異なるとされている<sup>88)</sup>。このように、釘と木材の最大の劣化因子はある限度内の水である。釘の劣化には極く少量の水でも有効であるが、木材を劣化するにはかなりの量の水が長く滞在する必要がある。下見板の場合、雨がかかりやすく、乾きやすい場所では釘が劣化し、木材が劣化することは少ない。

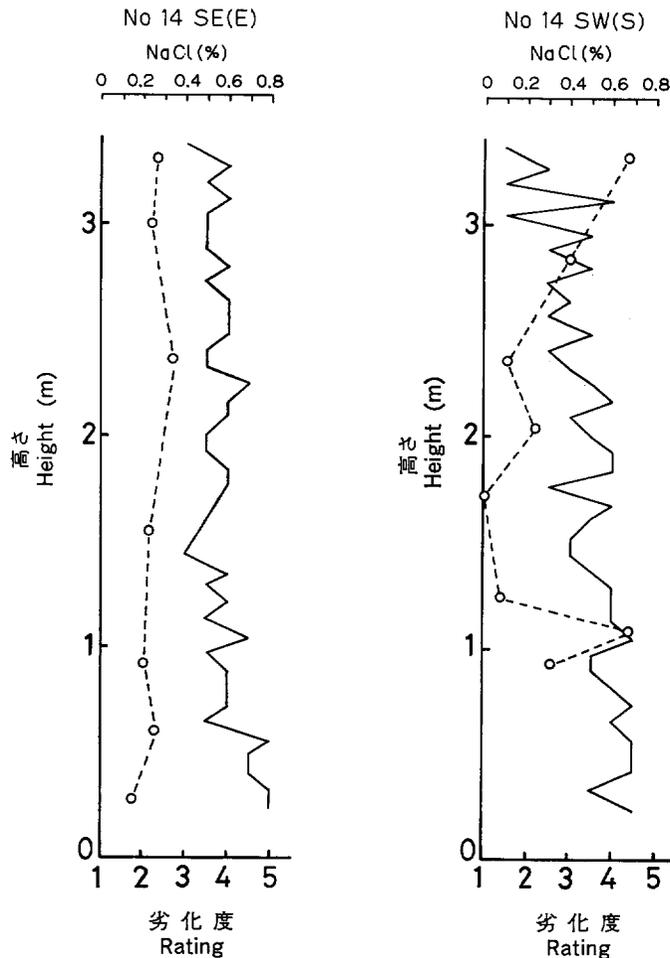


Fig. 44. 臨海地帯に建てられた住宅 (No. 14) の下見板の食塩含有率 (点線) と釘の劣化度 (実線)

The rating of the nail (solid lines) and the salt content (dotted lines) of the bevel siding board of the house (No. 14) in the coastal region.

また、雨じまいの不備などで多量の雨がかかる場所では、釘の劣化も進むが、木材の腐朽の方が著しい場合が多い。

モルタル塗り壁の場合は、壁内への水の供給は、外部からモルタルを通しての雨水の浸入、浴室、台所などの内部から内装材を通しての水蒸気の浸入、および床下からの水蒸気の浸入によるといわれている。壁内の温度が露点温度より低下する場合に結露が発生する。浴室、台所は北側にあることが多いが、壁内は適度の温度もあり釘の劣化だけでなく木材の腐朽がみられることが多い。南壁は日中の温度は高くなるが、モルタルの乾燥も速く、特にクラックからの雨水の浸入がない場合は釘の劣化も比較的小さい。東壁では、壁内温度が低い朝、吸水したモルタルに日が当たり、いわゆるむし返し<sup>89)</sup>によって水分が壁内に浸入すると釘頭に結露を生じることも考えられる。

釘が存在することによって釘頭部に結露を招き、釘をさびさせる一方、周囲の木材の含水率が上昇し腐朽につながる恐れがある。合板で作成した箱の面に釘を打ち、これを冷却した後、高温多湿の所に置くと箱全体の重量は結露水のために増加し、重量増加量と釘の本数の間には比例関係がみられた<sup>40)</sup>。湿度が高い場合、鉄の存在によって、木材の含水率の上昇は速められるものの、最終的には鉄のない場合とほぼ同じ含水率となるという報告があるが<sup>41)</sup>、露点温度の変化の仕方によっては木材が長期間高い含水率になる可能性がある。

木材に打たれた釘の頭と胴の部分では、供給される酸素の濃度が異なるため、酸素濃淡電池が形成されると考えられる。酸素の多い頭部分は陰極となり、酸素の少ない木材中の胴部分が陽極となって鉄がイオン化する。この現象はすき腐食として知られ、すでに述べた(6)式(7)式のとおり反応が起こり、木材の劣化につながる。ただし、下見板あるいは合板を柱などに打った場合の釘では、両者の木材表面が接する強度上もっとも重要な部分が特に腐食していることが多い。これは経過年数の多い壁によく見られることから、両者の間に乾燥によるすき間が生じ、水分が停滞しやすくなった結果と考えられる。

大気中に含まれる腐食性物質のうち硫化物、銅粉などの釘に対する異種金属の影響については、これまでの調査では問題となっていない。塩化物の釘への影響はすでに述べたとおりであるが、この場合の下見板の腐朽は特に記すべきものがない。

鉄の劣化の原因の一つとして、木材の pH が低いことが挙げられることがある。しかしながら、いまのところ木材の pH と鉄あるいは他の金属の腐食との間には明確な関係が発見されていない<sup>42)~45)</sup>。これは鉄の腐食には木材の pH の他にも原因があることを意味している。

## 2) 釘による家屋の劣化診断

家屋の耐用年数の定義は、目的により一定していないが、構造上の安全性はもっとも重要であろう。既存家屋の劣化程度を評価する方法には先に述べた十代田らの釘の引き抜きによる方法<sup>12)</sup>のほか、主に土台付近の木材の腐朽を調査する方法<sup>46)</sup>、木材の含水率を測定し腐朽とつながる高含水率の部位を見出す方法<sup>47)</sup>、家屋に振動を与え共振周波数から保有耐力を推定する方法<sup>48)</sup>、この方法に本研究による釘の劣化度を加えた方法<sup>49)</sup>、モルタル塗り壁の外部からの打音により内部の劣化を測る方法<sup>50)</sup>などがある。一方では、家屋内外の損耗状態から総合的に劣化程度を評価する試みがある<sup>51)</sup>。

ここで釘の劣化度のみから家屋の耐用年数を決定することは困難であるが、モルタル塗り壁内の釘の平均的な劣化度の経年変化は明らかになっているため (Fig. 25)、これをよりどころとし、ある年数の外壁の釘の劣化がこれより進んでいるかどうかを知ることができる。外壁が耐力壁である場合はこれだけでかなり有益な情報となるであろう。

モルタル塗り壁では、壁内の温湿度の変動が比較的少なく、釘の劣化と木材の劣化の相関性が高い。釘接合部の劣化が釘の劣化と木材の劣化によるとすると、このせん断力は釘の劣化度から推定できることになる。実験によれば相対変位が 0.9 mm という比較的大きな変形であれば、枠組壁工法の外壁における CN50 釘のせん断力は Fig. 24 から知ることができる。この場合劣化度が 3 であれば、初期耐力の 55% 程度であることになる。

34 年経過したモルタル塗り壁内の釘周辺部の木材の腐朽に関する調査でも、木材の含水率が 20% になれば腐朽の可能性が高くなるという従来からの通説と一致する結果が得られた。また、釘の劣化度は約 4 で木材が腐朽していることがわかった。一方、4 年間 20°C の恒温恒湿状態に保った釘接合部では、含水

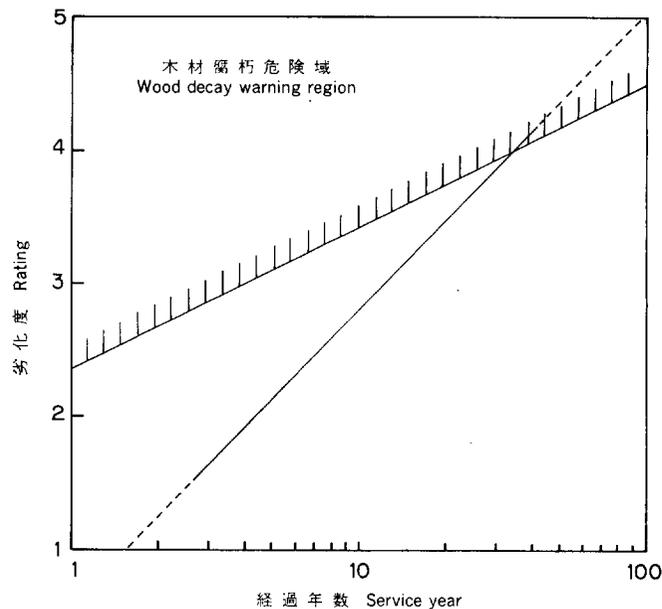


Fig. 45. モルタル塗り壁における釘の劣化度と木材腐朽の関係  
Relationship between the rating of the nail and decay of the wood in the exterior wall covered with lath-mortar.

率 20% は釘のさび量約 10%, すなわち劣化度約 3 に対応する。いま, モルタル塗り壁内の温湿度が比較的安定したものと仮定すると, Fig. 25 の釘の劣化度の経年変化曲線において, 4年で劣化度 3, 34年で劣化度 4 を結ぶ線が腐朽の危険を示す限界と考えてよいであろう (Fig. 45)。これによれば, 経過年 4年で釘の劣化度が 3 以上であれば, 木材に腐朽が発生する危険があり, 34年以上ではほとんどの木材が腐朽することになる。ただし, 釘の劣化度の経年変化曲線は統計処理により求めたものであり, その予測値の 95% 信頼域の幅はかなり広い。したがって, Fig. 45 は釘の劣化度から木材の腐朽を推定する一つの目安と考えればよいであろう。

### 3) 木造家屋の外壁の耐久性向上技術

外壁の耐久性を向上させる方法は, 基本的には釘と木材の耐久性向上策と同じであり, 最大の劣化要因である水への対策を図ることである。雨じまいの完備, ひさしや軒の出の確保, 犬ばりりの設置, 日当たり, 通風の確保などの必要性は周知のとおりである。外壁の耐久性向上策は, 火災の安全性および断熱性能の向上策と, 壁内通風の点で一致していないことが問題となる。しかしながら, 現在のモルタル塗り壁の内部の釘および木材の劣化に対しては適切な防止策が必要である。これには乾燥したサイデングに転換することのほか, すでに検討された壁内のように通風を図る工法が有益であろう。外壁の床下部分から乾燥した空気を取り入れるには, 床下の土をコンクリートなどで覆う必要がある。土台および壁の下部に防腐剤を注入あるいは塗布することは不可欠であるが, 新しい薬剤を使用する場合は, 釘あるいは木材への長期にわたる影響を考える必要がある。さらに積極的に釘の劣化を遅らせるための木材への薬剤処理も検討する必要がある。現在, CN釘は塗装されており, さびはある程度減少する。4の1) で述べた処理条件 (a) では, CN50釘各 18本のさび量の平均値は, 無塗装釘で 10.8%, 塗装釘で 8.2%であった。しか

し一方では、釘のさびの効果も無視できない。さびは初期変形のせん断力を高める作用がある。さびの発生しない金属の釘（らせんでない丸釘）では、木材の乾燥、膨潤に伴なって頭が飛出すことがあり<sup>52)</sup>、外壁に用いたステンレス釘でこの現象を観察している。したがって、さびの効果と直径減少との兼ねいで最適な条件が存在することになる。

外壁の補修などの機会に、数本の釘を引き抜いて劣化度を求め、Table 4 あるいは Fig. 24, 45 を参考にして、その経過年数の平均的な劣化度と比較することにより、外壁の劣化程度を評価できる。これにしたがい、その後の対策をよりの確なものとすることによって外壁の耐久性を向上させることができるであろう。

## 謝 辞

本報告は昭和 55 年から 61 年の間に行った木造家屋の耐久性調査を主体とし、実験を加えて作成したものである。家屋調査は多くの官公庁、教育機関、民間企業および家屋の所有者の方々のご厚意で成立したものである。とりまとめに際し林業試験場木材利用部雨宮昭二郎長、高木純科長のご指導をいただいた。また、釘のせん断試験には平嶋義彦室長、神谷文夫技官にご教示をいただいた。下見板の塩化物含有量の測定は川元スミレ技官に担当していただいた。ここに厚く感謝の意を表わすものである。

## 引用文献

- 1) 十代田三郎：木材腐朽と防霉について，日本建築学会論文集，41 号，1～26，(1950)。
- 2) 十代田三郎，神山幸弘：木造建造物の老朽度測定と耐用年限判定法，早稲田大学理工学研究所報告第 4 輯，53～63，(1956)。
- 3) 今村浩人，金谷紀行，高木 純，大黒昭夫，唐沢仁志，千葉保人：30 年経過した木造住宅における鉄釘の劣化調査，林試研報，322，95～104，(1983)。
- 4) 今村浩人，大黒昭夫，唐沢仁志，高木 純：34 年経過した鉄網モルタル壁における鉄釘の劣化調査，林試研報，322，105～117，(1983)。
- 5) 今村浩人，大黒昭夫：木造家屋における鉄釘の劣化調査，第 3 報，6 年半経過した金属サイディング壁，林試研報，26，189～196，(1984)。
- 6) 今村浩人，大黒昭夫，金谷紀行：木造家屋における鉄釘の劣化調査，第 4 報，29 年経過した南京下見壁，林試研報，329，167～176，(1984)。
- 7) 今村浩人：木造家屋における鉄釘の劣化調査，第 5 報，3 年経過した枠組壁工法住宅，林試研報，330，255～264，(1984)。釘の劣化状態，東海ツーパイフォー，日本ツーパイフォー建築協会東海支部，21～26，(1983)。
- 8) 今村浩人，木口 実，大黒昭夫：木造家屋における鉄釘の劣化調査，第 6 報，柏市立第五小学校校舎，林試研報，335，131～140，(1986)。
- 9) 今村浩人：鉄網モルタル壁における釘の劣化度の経年変化—6 件の木造家屋調査のまとめ，木材誌 30(8)，693～696，(1984)。
- 10) 今村浩人，大黒昭夫，木口 実，高木 純：下見板張り外壁の釘の劣化と周辺の植込みなどの関係，木材誌，31(1)，47～51，(1985)。
- 11) MORRIS, E. N : The application of the slip modulus in the design of nailed joint, J. Inst. Wood Sci. 6(2), 17～21, (1973)。
- 12) 大黒昭夫，今村浩人：住宅に使用された木材の劣化，(II) 釘周辺の木材の熱分析，33 回木材学会大会要旨，238，(1988)。

- 13) 今村浩人・大黒昭夫：鉄による木材の劣化. 30回木材学会大会要旨, 231, (1980)
- 14) SAVARD, J. and L. CAUMARTIN : Étude de la dégradation d'une traverse. Bois et Forêts des Tropiques 127, 61~66, (1969)
- 15) MARIAN, J. E. and A. WISSING : The chemical and mechanical deterioration of wood in contact with iron, Part 2, Chemical decomposition, Svensk Papperstidning 63, 98~106, (1960)
- 16) MARAIN, J. E. and A. WISSING : The chemical and mechanical deterioration of wood in contact with iron, Part 1, Mechanical deterioration, Svensk Papperstidning, 63, 47~57, (1960)
- 17) FARBER, E. : Chemical deterioration of wood in the presence of iron, Ind. Eng. Chem, 46, 1968~1972, (1954)
- 18) BAKER, A. J. : Degradation of wood by products of metal corrosion, U. S. D. A. Forest Service Research Paper, FPL 229, (1974)
- 19) 岡本 剛・井上勝也：腐食と防食. 大日本図書, 82~88, (1977)
- 20) 神山恵三：腐食性因子と腐食との関係. 金属材料, 14(7), 21~26, (1974)
- 21) 釘マニュアル作成委員会：釘設計施工マニュアル. 線材製品協会, 51, (1979)
- 22) MORRIS, E. N. and S. GAJJAR : Load-displacement relationship for nailed joints with solid timber and plywood members, J. Inst. Wood Sci. 9(2), 62~64, (1981)
- 23) MACK, J. J. : The load-displacement curve for nailed joints, J. Inst. Wood Sci. 7(6), 34~36, (1977)
- 24) 佐藤雅俊・宮村雅司：高湿度環境下における釘接合部の耐力変化. 日本建築学会大会学術講演梗概集, (東北), 2705, (1984)
- 25) 神山幸弘・肱黒弘三・安 祥司：釘接合の耐久性に関する研究. 2, 既存建物より採取した試験体による釘一面せん断試験, 日本建築学会関東支部研究報告集, 221, (1979)
- 26) 神谷文夫・平嶋義彦・畑山蟻男：乾燥を伴う時間経過が接合部の剪断性能に与える影響. 木材誌, 29(12), 925~929, (1983)
- 27) 今村浩人：劣化した釘接合部のせん断試験. 36回木材学会大会要旨, 89, (1986)
- 28) 徳田迪夫：釘接合の研究 (第2報), 各種含水率条件下における釘の引き抜き抵抗力—特にサビの影響について. 木材誌, 24(10), 705~713, (1978)
- 29) 今村浩人：散水—乾燥処理が釘およびその周辺の木材の劣化に及ぼす影響. 林試研報, 329, 107~119, (1984)
- 30) 平川真人：木造住宅の耐久性研究, その1, 釘の腐食と耐力. 東京住宅技術研究所年報, 第5号, 76~81, (1982)
- 31) 日本住宅・木材技術センター編：木造住宅 3 耐久性向上の手引き. 丸善, 79~110, (1982)
- 32) 今村浩人・木口 実：地下室付枠組壁工法住宅の耐久性調査報告. 木材利用部資料 60-3, 41~48, (1985)
- 33) 石川広三：モルタル・コンクリート外壁の水密性の評価方法. 日本建築学会論文報告集, 237, 1~11, (1975)
- 34) 肱黒弘三・小野 泰：木造住宅構造部材の耐久性に関する研究 (その8). 日本建築学会 関東支部研究報告集, 構造系, 337~340, (1982)
- 35) 檉野紀元：建物等への海塩影響調査. 建築研究成果撰 あらか第3集, 165~181, (1985)
- 36) 本橋健司：既存住宅への海塩粒子付着状況. 日本建築学会関東支部研究報告集, 構造系, 413~416, (1983)
- 37) 井上勝也：さびの科学. 三省堂, 23~156, (1979)
- 38) 高橋信男：外壁防水について. 建築と工作, 226, 12~21, (1982)

- 39) 山田雅士：建築の結露. 井上書院, 227, (1980)
- 40) 今村浩人：木材の表面の結露に及ぼす釘の影響. 33 回木材学会大会要旨, 233, (1983)
- 41) KRAUSE, R. L. : Iron stain from metal fastenings may accelerate decay in some woods, J, FPRS, April, 103~111, (1954)
- 42) BARTEL-KORNACKA, E. T. : Corrosion of iron by Ghana timbers, Wood, 32 (7), 39~42, (1967)
- 43) FARMER, R. H. : Corrosion of metals in association with wood, Part 1, Corrosion by acidic vapors from wood, Wood, 27 (8), 326~328, (1962)
- 44) FARMER, R. H. : Corrosion of metals in association with wood, Part 2, Corrosion of metals in contact with wood, Wood, 27 (11), 443~446, (1962)
- 45) 今村浩人・木口 実：木材に取り付けられたアルミニウム合金の腐食. 林試研報, 340, 107~120, (1986)
- 46) 鈴木憲太郎・田中俊成：建築後約 30 年経過した在来工法南京下見板張り 木造公営住宅の実態調査からみた床下部材の劣化傾向. 建築学会大会梗概集 (関東), 2709~2710, (1984)
- 47) 田中俊成：実態調査に基づいた木造住宅各部の部材含水率分布の事例. 木材工業, 39, 604~609, (1984)
- 48) 平嶋義彦ほか 4 名：木造住宅の振動実験Ⅱ—耐久性の見地からの検討. 33 回木材学会大会要旨集, 98, (1983)
- 49) 平嶋義彦・神谷文夫：構造耐力の劣化診断, 木造建物の耐久性向上技術. 国土開発技術センター, 技報堂出版, 12~16, (1986)
- 50) 有馬孝礼：外壁の劣化診断, 木造建物の耐久性向上技術. 国土開発技術センター, 技報堂出版, 23~26, (1986)
- 51) 木口 実・今村浩人：木造住宅の損耗度調査. 35 回木材学会大会要旨, 177, (1985)
- 52) 高木 純：木材に打込まれた釘の浮き上がり. 35 回木材学会大会, 340, (1985)

**The Deteriorating Circumstances of Wood Viewed from the  
Deterioration of Nails in the Exterior Wall of Wooden Houses.**

HIROTO IMAMURA<sup>(1)</sup>, MAKOTO KIGUCHI<sup>(2)</sup> and AKIO ÔKURO<sup>(3)</sup>

Summary

Since the durability of a wooden house depends largely on that of the nail in the joint, the durability of the nail is important especially for the bearing walls. Recently, the exterior wall covered with lath-mortar has taken the place of the wooden bevel siding wall in Japan. In this report, the deterioration of the nailed joint was investigated mainly for the mortar-walls, and the environmental corrosive factors were investigated from the deterioration of the nail in the bevel siding walls. The estimation of wood decay from the deterioration of the nail is one of the main aims of the investigation.

**Rating of deterioration of the nail**

A five-rank numerical-rating scale for the grade of deterioration was established (Table 1). The relationship was found between the change in diameter,  $d$  (%), and the rating of the nail (D), as shown in eq. (1) and Fig. 1. The length of nails was 50 mm. The change in diameter was the average of the changes at the neck part, middle part and near the point part. The relationship between the amount of rust,  $r$  (%), and the rating of CN 50 nails (D) was obtained (eq.(2) and Fig. 2). The size of CN 50 nail is 50.8 mm in length and 2.87 mm in diameter.

The relationship between the effective diameter for the lateral nail resistance and the rating was obtained; Fig. 4 shows the load-slip curve of the nail (32 mm length). The effective diameter ( $d$ ) was calculated from the eq. (4) which was obtained by using Morris's data.  $K$  in eq. (4) is the load at 0.6 mm slip. Fig. 5 shows the residual percentage of the effective diameter and the weight of the nail with the rating of 2, 3 and 4.

**Deterioration of nail and deterioration of wood**

Fig. 6 shows the differential thermal analysis curve of the wood powder (Western hemlock). The samples were taken from the part adjacent to the nail (A), the part where the rust penetrated (B) and the sound part (C). Fig. 6 shows that the main peaks of the curves are different in temperature, and the closer to the rusted nail, the earlier the thermal degradation of the wood occurs. This phenomenon suggests that wood in contact with the rust has deteriorated.

**Deterioration of nail and decay in wood**

Fig. 7 shows the amount of rust of the nail (CN 50) in the Western hemlock (160×80×30 mm) conditioned in several humidity levels at 20°C for 4 years. The amount of rust

increases rapidly from the relative humidity of 70~80%, where the moisture content of wood is about 15%. Since the deterioration of the nail and wood is accelerated by water and temperature, there may be some connection between the degree of deterioration of the nail and that of the wood. Fig. 8 shows the moisture content of the wood and the rating of the nail in the mortar-wall of 34-year-old house. The white circles show that the wood near the nail is without decay; and the black circles show the wood with decay. By using a statistical method, the discriminant function  $Z_{WD}$  is expressed as eq. (8), where  $W$  (%) is the moisture content of the wood and  $D$  is the rating. Eq. (8) shows that the wood is sound when  $Z_{WD}$  is positive, and it is in decay when negative. In Fig. 8, the right side of the dotted line which expresses  $Z_{WD}$  is decay area. The possibility of misdiscrimination is 10.9%. The possibility of misdiscrimination is also 10.9%, when the discrimination depends upon the rating only. In this case, the discrimination function becomes zero when the rating is 3.75. The discrimination function by moisture content becomes zero, when the moisture content is 19% with the possibility of misdiscrimination of 23.6%. This moisture content is close in value to 20% which is said to be the critical value of wood decay.

#### Shearing properties of the deteriorated joint

The double shear specimens were made by using the CN 50 nails, plywood (70×120×12 mm) and Western hemlock (70×120×26 mm, average specific gravity : 0.53). The conditions for the deterioration are (a)-the specimens were kept in a sink for 1 year where hot water (50°C) flows beneath the specimens; and (b)-the specimens were kept in a transparent plastic desiccator for 1 year which was placed near a sunny window side, with water beneath the specimens. The moisture content at the test was 80~102% for (a) and 21~26% for (b). After the shear test, the amount of rust was obtained as the weight loss of the nail treated with ferric ammonium citrate. Fig. 10-15 show the load-slip curves for the double shear specimens. The load ( $\sigma$ ) is expressed as a function of the slip and the amount of rust (%) (eq. (9)-(11)).

Single shear tests were carried out. Fig. 16 shows the specimen made of plywood (12 mm thick), Western hemlock and CN 50 nail. The conditions for the deterioration are (c)-the specimens were kept in a room for 2 years, which is equipped with water spray working for 15 minutes at intervals of 24 hours; and (d)-the specimens were kept in a room at 40°C and 90% RH for 2 years. Besides these specimens, the samples were taken from the mortar-wall of 5.5 year-old wood-frame construction house. The samples were made of plywood (9 mm thickness), 2×4 studs and CN 50 nails. The amount of the rust of the nails from the house was estimated from the ratings by using eq.(2). Fig. 17-22 show the results for the shear tests. The samples from the house show a wide spread in the load especially at the higher slip. The estimation procedure of the amount of rust from the rating for the nails from the house and the variety of specific gravities are likely to be the reasons for the spread in the load. For the single shear specimens, the specific gravities of the Western hemlock and the studs were arbitrary.

Fig. 23 shows the load of the deteriorated double shear specimens (solid line) and the specimens made of the sound plywood, Western hemlock and the deteriorated nail (dotted line). Each curve is the average of three specimens. The curves show that the load of the deteriorated specimens is higher than the specimens with sound wood in the lower slip region, and vice versa in the higher slip region. The iron rust makes the connection tight

between the nail and wood mainly effective in the lower slip region, and the deteriorated wood decreases the load in the higher slip region. Fig. 24 shows the relationship between the load and the rating at the slip of 0.9 mm. The load of the deteriorated specimen and that of the specimen with sound wood agree with each other at the slip of 0.9 mm where the effect of the rust and the wood on the load becomes minimum. The curve in Fig. 24 is introduced from the eq. (2), (9), (10) and (11). Therefore, the possibility of the estimation of the load at the slip of 0.9 mm from the rating of the nail seems likely to be high, regardless of difference in the specific gravity of the wood.

#### **Deterioration curve of the nail**

The change in the rating of the nail as the service time elapses is fundamentally important for the evaluation of nails of a house. Fig. 25 shows the deterioration curve for the mortar-walls. Each plot is the average rating of the nails for one house (Table 3). Eq. (12) shows the relationship between the rating ( $D$ ) and the service year ( $t$ ). The black circles in Fig. 25 are the average rating of the nails with limited numbers and are not used in obtaining the equation.

Table 3 shows the average rating of the nails in the bevel siding walls. The average rating for the service years of 25~32,  $D=3.8$  and  $t=28.4$ , satisfies eq. (12). The ratings for 21 years and 61 years, however, deviate from the eq. (12). Generally, the deterioration of the nails in the bevel siding walls is directly affected by environmental circumstances.

#### **Effect of the design and detail of the wall**

One of the most influential factors for the durability of the mortar-wall is a crack in the mortar. The rainwater penetrates through the crack into the inside the wall and deteriorates the nail and wood. Fig. 26 shows a crack in the mortar-wall of a house. The rainwater penetrated through the crack and increased the average rating of the nails which is seen on the right side of the first floor in Fig. 27.

The rainwater penetrates the mortar when it is saturated with water. The trace of the penetration was found inside the mortar-wall of the northern aspect of the northwest corner, NW(N), but not in the western aspect of the corner, NW(W), of a house inspected. The moisture content of the mortar of NW(N) was higher than NW(W) as shown in Table 5. Fig. 29 shows the water absorption and dehydration (60°C) test of the mortar. The differences in the amount of absorption were seen between areas of different mortar in the house.

The influence of the interior corner and the rainwater pipe on the deterioration of the nail was investigated in the bevel siding wall of a schoolhouse (Fig. 31). Table 6 shows the ratings averaged on 5 to 6 nails at a height within one m from the top of the foundation. The averaged ratings were 4.38, 3.94 and 3.93 for the service years of 21, 25 and 28 years respectively, indicating that the factor of the environmental circumstances is more influential than the service year. The deterioration factors which are common to all walls are: the interior corner of the siding board batten and a pillar; and the existence of a rainwater pipe within a distance of 910 mm. In order to analyze the deterioration factors, a statistical method, "Quantification I", was applied to the ratings in Table 6. The category scores calculated were listed in Table 8. A rating is predicted by adding three category scores which belong to different items. The multiple correlation coefficient ( $r$ ) between

the ratings predicted and inspected is 0.672 (Fig. 32). The category score for 21 years is the biggest among item 1, suggesting that the factors of the service year and the environmental circumstances are not independent.

#### **Effect of the environmental circumstances**

The influence of garden trees on the deterioration of the nail in the bevel siding wall of 8 houses in Fuchu City, Tokyo (Fig. 34) was investigated. The nails were extracted from the wall at a height within one m from the top of the foundation. From the view point of the lower current of winds blowing, the garden trees and the shed within 3 m from the walls are classified as shown in Fig. 35. Table 9 shows the average ratings of the houses. "Quantification I" was also adopted to analyze the ratings by items and categories (Table 10, 11). The computed results (Table 12) show that the northerly wind which prevails throughout the year in Tokyo is the most important factor for the drying of the wall. The ratings predicted by adding the four category scores applicable to a wall are shown against those by the inspection (Fig. 36).

#### **Rate of drying**

The relationship between the moisture content of the bevel siding board ( $W$ ) and the rating of the nail ( $D$ ) can be expressed as eq. (13). The nails of four 29-year-old houses were inspected. The coefficients of eq. (13) for the nails at the foot of the walls and for the nails in the northern walls were listed in Table 13 and 14 respectively. According to the statistical analysis on the regression coefficient  $a_1$ , the equation for a house (No. 15) was found to be different from the others. The reason for this was attributed to the difference in rate of drying of the walls.

The rate of drying of the wall depends upon sun and winds. In an attempt to evaluate the rate of drying, the weight of the moistened plywood plates ( $150 \times 300 \times 12$  mm) attached to the wall was measured (Fig. 38~40). As shown in Fig. 41 and Table 15, the northern wall of a schoolhouse was slow in drying. This method provides us with useful information to understand the environmental circumstances. Another important factor is the frequency of wetting in predicting the durability of the nails.

#### **Salt damage at the seashore**

The nails in the bevel siding wall of the houses at about 100 m distance from the seashore were inspected (Fig. 42). The ratings of the nails are apparently high for their service years (Table 16). The amount of NaCl in the bevel siding board was obtained by the precipitating method with aqueous solution of silver nitrate (Fig. 43, 44). The high percentage of the NaCl was found in the bevel siding board which lies under the shadow of the eaves and is free from wash out by the rain. Tall hedges are effective in preventing sea breeze.

#### **Predicting wood decay from the nail**

Proper maintenance of the exterior wall will be conducted by checking the deterioration of the nails. From the inspection of the nail and the wood in the mortar-wall of 34-year old houses, the wood decay was found to be prevailing at the rating of the nail of above 4 and the moisture content of above 20%. According to the test (Fig. 7), the rating of the nail

is about 3 in the wood kept in 20% moisture content for 4 years. Pairing together the rating and the service years provide us with a wood decay warning region in the rating-service year curve (Fig. 45). Deteriorating circumstances of the mortar-wall can be evaluated by inspecting the nails and applying Fig. 45.