

パネルボードの含水率上昇による釘の引き抜き メカニズムに関する考察（続報）

和田 孝一

The Mechanism of Nail Extraction Caused by Increased Moisture Content in Panelboards (A Follow - up Paper)

Koichi WADA

The Report of the Hokkaido Forest Products Research Institute, No.82 reported on nail extraction in wood panelboards, and the trouble was assumed to be caused by board expansion triggered by increased moisture content. The component of nail extraction also was examined on the assumption that the shearing force on a nail was caused by the board expansion being restricted by the nail. The present paper reports studies made on the lateral embedding component on the nail. For simplification's sake, it was assumed that in a simple board the component of the nail embedding was partially freed when the nail was embedded into the wood frame. The force was calculated as the slide of nail embedding with the horizontal reaction formula of two - hinge parabolic arch. In other words, the slide of nail embedding was regarded as being equivalent to the distance over which the two hinges moved. The results of mathematical simulations by use of the formula were found to be almost the same as those of the shearing experiments reported in the previous paper. The assumption was also applied to a wall constituted of many boards : the magnitude of the force was regarded as identical to the total of forces acting on each board. Thus the wall was considered to be a continual plate, and this continual plate was simplified into a model of a continuous beam with multiple hinges, and a number of models were made. Then actual troubles with walls constituted of many boards were classified according to different fixing and terminal - limiting conditions. The results show that the classification can be of great use in knowing the mechanical structure of a wall made up of many panelboards. However, those models need further studying.

前報¹⁾で木質系パネルボードの釘引き抜き事故について検討した。この事故の原因は、含水率の上昇による板の幅伸びによるものと考えられた。前報ではこの幅伸びが拘束された結果釘にかかる剪断力のうち、釘を引き抜く方向の分力について検討した。

今回はこの分力のうち釘をめり込ませる方向の分力について検討した。簡単化のため、1枚の

板について釘がめり込むことにより力が逃げると仮定した。この力を2ヒンジ放物線アーチの支点の移動による水平反力の式によって算定した。支点の移動量を釘がめり込む量と読み替えて公式を使用した。この公式の数値シミュレーション結果と前報で行った一面剪断加力実験のデータはよく一致した。

さらにこの仮定を拡張して多枚数の板で構成した壁では、この力を板同志が互いに伝え合う力として考えた。この連続した平面板を単純化して多連節連続梁としてモデル化し、実際に起きた事故の類型化を試みた。このモデルでは、その固定条件と壁端の境界条件の相違によって類型化を行った。この結果このモデル化は、多数のパネルボードにより構成された壁面体の力学的構造を理解する上で有用であった。今後さらにこのモデルについて詳細に検討する必要があると考えられる。

1. はじめに

前報で木質系パネルボードの施工後に起こる釘の引き抜き事故について検討を加えた。この事故の原因はパネルボードの含水率上昇に起因すると考えられる。すなわち含水率の上昇による板幅方向の伸びが釘により拘束されることによって発生し、同時に釘を引き抜く力となり得る剪断力について検討した。温度上昇による熱膨張の影響を考慮した2ヒンジ放物線アーチの水平反力の式を用いて、温度上昇を含水率上昇と読み替えて剪断力を求めた。これについて一枚の板の場合に単純化して考え理論的な検討を行った。すなわち求められる剪断力は、その含水率における板の力学的状態を表していると考え、これと釘の保持力並びに板の偏心座屈による限界荷重との関係で、釘固定されている板の挙動が決定されるとして検討を加えた。しかし確認のために行った実験の結果いくつかの疑問点が残った。

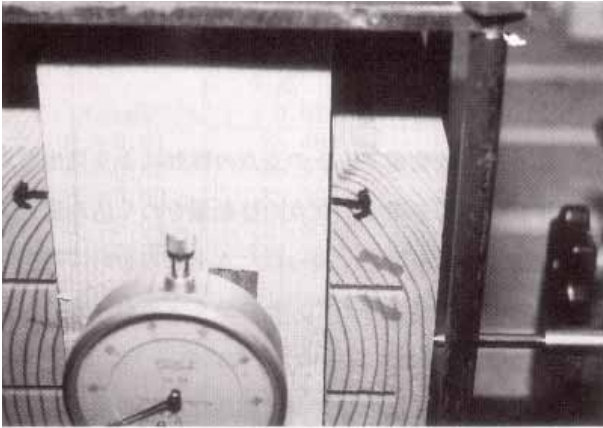
第一に前報発表後シミュレーション対象として高湿度環境に暴露した一面剪断暴露試験体を、さらに30RH30%の乾燥雰囲気中に暴露した。その結果前報で予測したとおり、前報No.1の試験体（側板の $E_L = 125 \text{ tonf/cm}^2$, $E_{RT45} = 1$, 500 kgf/cm^2 , 長さ38mmのスクリー釘で固定）の柱目面と、No.2の試験体（側板の $E_L = 140 \text{ tonf/cm}^2$, $E_{RT45} = 2$, 000 kgf/cm^2 , 長さ38mmのスクリー釘で固定）で釘が引き抜け側板が浮いた状態となった。しかし側板と角柱の隙間は1mmから1.5mmとごく小さく、前報で述べた調査事故例のように大きく板が

はがれる状態とはならなかった。

またNo.3の試験体（側板の $E_L = 118 \text{ tonf/cm}^2$, $E_{RT45} = 1$, 300 kgf/cm^2 , 長さ45mmのスタリング釘で固定）の場合は予測どおり板ははがれなかった。これらの状態を第1, 2, 3図に示す。したがって前報の1枚の板での検討のみではこの問題は本質的には解決していないと考えられる。

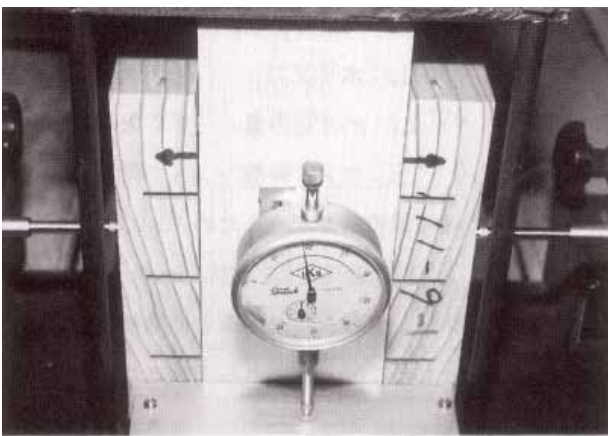
第二に前報の検討においては釘は完全に柱に固定されていると仮定した。したがってアーチ式の適用についても含水率上昇と板の表裏の含水率の差についてのみ検討した。今回は前報に引き続いてアーチ式の、前報で取り上げなかった第三の項を用い、釘のめり込みについて検討を加えてみる。釘固定は半剛節となるので、実際には釘は発生する剪断力により柱となる胴縁材料に釘の側面でめり込んでいいると考えられる。このめり込みにより、1枚の板の場合には支点がその分だけ移動することになり剪断力が「逃げる」こととなる。さらに多数の板で構成される壁面全体では、逃げた剪断力はとなり合う板同志で互いに伝え合う力となると考えられる。したがって釘の引き抜き事故の問題は、連続した壁面体という平板の問題としてとらえられねばならないと考える。

前報では確認実験として、釘斜め打ち一面剪断加力実験を行った。この結果得られた変位曲線の全体の姿は釘の引き抜き曲線に酷似していた。しかもその初期には、釘の剪断力によるめり込み効果によるものと考えられる変位が現れた点が特徴的であった。この時、



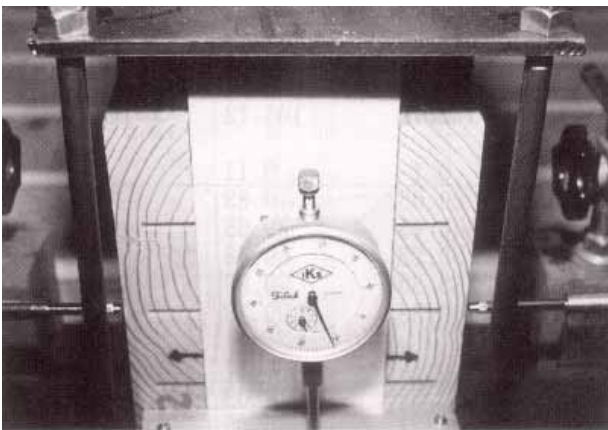
第1図 暴露試験体 No. 1

Fig. 1. Testing block No. 1 on low moisture content



第2図 暴露試験体 No. 2

Fig. 2. Testing block No. 2 on low moisture content



第3図 暴露試験体 No. 3

Fig. 3. Testing block No. 3 on low moisture content

実験後釘を引き抜いて調べたが、一般の垂直打ち込み一面剪断実験の時のような大きな釘の曲げ変形²⁾は見られなかった。したがって釘を斜め打ちした場合、釘そのものは弾性変形するものと思われる。これは一般の釘の場合、剪断耐力に対し引き抜き耐力がはるかに小

さいので、釘が変形する前に引き抜けてしまうためと考えられる。

本報では、この釘の剪断力によるめり込み変位を2ヒンジ放物線アーチ式での支点の移動量と読み替えて、前報と同一条件かつ同様の手法で高湿度環境に暴露した3体の試験体について、シミュレーション計算を行い、釘斜め打ち一面剪断加力実験で前回得たデータとの突き合わせを行った。これにより1枚の板の場合には実際に逃げる力、壁体の場合には互いに伝え合う力の算定方法について検討した。さらに多数のパネルボードで構成される壁面体として起きた事故の調査例を取り上げて、多連節連続梁のモデルで検討したので報告する。

2. 仮定および解法

2.1 仮定

前報では、含水率上昇による板の幅方向の伸びに起因する剪断力の釘打ち込み方向の分力が、釘を引き抜くと仮定して検討した(前報第4図およびp35参照)。本報では、その発生する剪断力の引き抜き力に対し垂直方向の分力により、釘は固定している枠材に面圧応力を受けてめり込み、これにより板は隣の板に互いに力を伝え合うと仮定する。パネルボードで構成される壁面体は、前報でも述べたように本来多連節平面板と考えられる。今回はまず前報と同様1枚の板として単純化して検討する。

板を固定している斜め打ちした釘には、発生する剪断力の釘打ち込み方向の分力と、釘を枠材に釘の側面方向にめり込ませる分力の両方が掛かっている。前報では主に釘打ち込み方向の分力について検討した。本報では釘をめり込ませる方向の分力について検討を加える。

一定の剪断力が釘に加わっている場合、前報で報告したごとく釘の打ち込み角度が小さい場合には、より大きな引き抜き力がかかり釘は容易に引き抜かれる。この二つの分力の関係はめり込み方向の分力が小さくなると打ち込み方向の分力が大きくなる関係にある。斜め打ちされた釘は枠材にめり込むにつれてその角度

が小さくなる。

しかし一方で含水率の上昇による膨張によって剪断力は増加して行くので、打ち込み方向の分力、つまり釘の引き抜き力が次第に増加してくる関係にある。この時釘がめり込んでいる間は、釘にかかる剪断力の打ち込み方向の分力は結果として低下している。1枚の板の場合には、言い替えるとその剪断力は「逃げ」ていると考える事ができる。従って「めり込み」により、発生する剪断力を低下させる方向の力が働くと考えることができる。

2.2 解法

2ヒンジ放物線アーチの支点の移動による水平反力の項³⁾を用いて、この剪断力の逃げ量を支点の移動量=めり込み量つまり変位と読み替えて、シミュレーションを行い、かつ実験結果と突き合わせて検討する。数値シミュレーションに使用する各種定数は前報と同様とし、詳細は省略する。この項は前報の公式の二項に対して仮定により、負の項と考える。実際の場合板はすべり変位を生じた分だけ伸び、釘にかかる剪断力は

減少すると考えて解く。

3. 計算式

2ヒンジ放物線アーチの支点の移動により発生する水平反力の項を用い、支点の移動量をめり込み量(逃げ変位)と読み替え、得られた水平反力を釘に対する剪断力の逃げ量と考えて、その値を求めた。式の解については鷹部屋³⁾によった。その式を以下に示す。解法の詳細については前報付録と同様なので省略する。

$$H_d = -(15/8) \{ (\Delta l \times E) / (l \times f^2) \} \times \gamma \dots\dots (1)$$

矩形断面梁として解いた場合

$$\gamma = 1 / \{ 1 + (5/32) \times (h/f)^2 \} \dots\dots (2)$$

H_d : 水平反力 l : スパン

Δl : めり込み量 f : 矢高

E : ヤング係数 h : 梁せい

剪断力の逃げ量の値を求めるため(1)式について、めり込み量 Δl と初期矢高 f をパラメーターとした数値シミュレーションを行った。前報と同様初期矢高は測定できなかったので独立変数として扱った。結果を第

第1表 支点の移動による剪断力 (kgf)

Table 1. Shearing force derived from hinge point shift (kgf)

| | | f : 矢高 (cm) point of greatest deflection as cup | | | | | |
|--|----------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
| slide of support 支 点 の 移 動 量 | d = 0.01 | 21.35 | 21.31 | 21.24 | 21.14 | 21.02 | 20.88 |
| | d = 0.02 | 42.69 | 42.61 | 42.48 | 42.29 | 42.05 | 41.76 |
| | d = 0.03 | 64.04 | 63.92 | 63.72 | 63.43 | 63.07 | 62.64 |
| | d = 0.04 | 85.39 | 85.22 | 84.95 | 84.58 | 84.10 | 83.52 |
| | d = 0.05 | 106.74 | 106.53 | 106.19 | 105.72 | 105.12 | 104.40 |
| | | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 0.11 | 0.12 |
| | | 20.71 | 20.52 | 20.31 | 20.08 | 19.83 | 19.56 |
| | | 41.42 | 41.04 | 40.62 | 40.15 | 39.65 | 39.12 |
| | | 62.13 | 61.56 | 60.92 | 60.23 | 59.48 | 58.67 |
| | | 82.85 | 82.08 | 81.23 | 80.30 | 79.30 | 78.23 |
| | 103.56 | 102.60 | 101.54 | 100.38 | 99.13 | 97.79 | |
| | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | |
| | 19.28 | 18.98 | 18.67 | 18.35 | 18.03 | 17.69 | |
| | 38.55 | 37.96 | 37.34 | 36.71 | 36.05 | 35.38 | |
| | 57.83 | 56.94 | 56.02 | 55.06 | 54.08 | 53.08 | |
| | 77.10 | 75.92 | 74.69 | 73.41 | 72.11 | 70.77 | |
| | 96.38 | 94.90 | 93.36 | 91.77 | 90.13 | 88.46 | |
| | 0.19 | 0.2 | | | | | |
| | 17.35 | 17.01 | | | | | |
| | 34.70 | 34.01 | | | | | |
| | 52.06 | 51.02 | | | | | |
| | 69.41 | 68.03 | | | | | |
| | 86.76 | 85.03 | | | | | |

注記: ヤング係数 $E_{RT45} = 1,500 \text{ kgf/cm}^2$, 梁せい 10mm, 板幅 22.5cm, スパン 15.8cm, $E_L = 125 \text{ tonf/cm}^2$
 Note: Young's modulus $E_{RT45} = 1,500 \text{ kgf/cm}^2$, height 10mm, breadth 22.5cm, span 15.8cm, $E_L = 125 \text{ tonf/cm}^2$

第2表 支点の移動による剪断力 (kgf)
Table 2. Shearing force derived from hinge point shift (kgf)

| slide of support 支点の移動量 (cm) | f : 矢高 (cm) point of greatest deflection as cup | | | | | |
|------------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
| d = 0.01 | 28.46 | 28.41 | 28.32 | 28.19 | 28.03 | 27.84 |
| d = 0.02 | 56.93 | 56.82 | 56.64 | 56.38 | 56.06 | 55.68 |
| d = 0.03 | 85.39 | 85.22 | 84.95 | 84.58 | 84.10 | 83.52 |
| d = 0.04 | 113.85 | 113.63 | 113.27 | 112.77 | 112.13 | 111.36 |
| d = 0.05 | 142.31 | 142.04 | 141.59 | 140.96 | 140.16 | 139.20 |
| <hr/> | | | | | | |
| | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 0.11 | 0.12 |
| | 27.62 | 27.36 | 27.08 | 26.77 | 26.43 | 26.08 |
| | 55.23 | 54.72 | 54.15 | 53.54 | 52.87 | 52.16 |
| | 82.85 | 82.08 | 81.23 | 80.30 | 79.30 | 78.23 |
| | 110.46 | 109.44 | 108.31 | 107.07 | 105.74 | 104.31 |
| | 138.08 | 136.80 | 135.39 | 133.84 | 132.17 | 130.39 |
| <hr/> | | | | | | |
| | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 |
| | 25.70 | 25.13 | 24.90 | 24.47 | 24.04 | 23.59 |
| | 51.40 | 50.61 | 49.79 | 48.94 | 48.07 | 47.18 |
| | 77.10 | 75.92 | 74.69 | 73.41 | 72.11 | 70.77 |
| | 102.80 | 101.23 | 99.58 | 97.89 | 96.14 | 94.36 |
| | 128.51 | 126.53 | 124.48 | 122.36 | 120.18 | 117.95 |
| <hr/> | | | | | | |
| | 0.19 | 0.2 | | | | |
| | 23.14 | 22.68 | | | | |
| | 46.27 | 45.35 | | | | |
| | 69.41 | 68.03 | | | | |
| | 92.54 | 90.70 | | | | |
| | 115.68 | 113.38 | | | | |

注記：ヤング係数 $E_{RT45}=2,000\text{kgf/cm}^2$ 、梁せい10mm、板幅22.5cm、スパン15.8cm、 $E_L=140\text{tonf/cm}^2$
Note:Young's modulus $E_{RT45}=2,000\text{kgf/cm}^2$, height10mm, breadth22.5cm, span15.8cm, $E_L=140\text{tonf/cm}^2$

第3表 支点の移動による剪断力 (kgf)
Table 3. Shearing force derived from hinge point shift (kgf)

| slide of support 支点の移動量 (cm) | f : 矢高 (cm) point of greatest deflection as cup | | | | | |
|------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
| d = 0.01 | 18.50 | 18.47 | 18.41 | 18.33 | 18.22 | 18.10 |
| d = 0.02 | 37.00 | 36.93 | 36.81 | 36.65 | 36.44 | 36.19 |
| d = 0.03 | 55.50 | 55.40 | 55.22 | 54.98 | 54.66 | 54.29 |
| d = 0.04 | 74.00 | 73.86 | 73.63 | 73.30 | 72.88 | 72.38 |
| d = 0.05 | 92.50 | 92.33 | 92.03 | 91.63 | 91.11 | 90.48 |
| <hr/> | | | | | | |
| | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 0.11 | 0.12 |
| | 17.95 | 17.78 | 17.60 | 17.40 | 17.18 | 16.95 |
| | 35.90 | 35.57 | 35.20 | 34.80 | 34.36 | 33.90 |
| | 53.85 | 53.35 | 52.80 | 52.20 | 51.55 | 50.85 |
| | 71.80 | 71.14 | 70.40 | 69.60 | 68.73 | 67.80 |
| | 89.75 | 88.92 | 88.00 | 87.00 | 85.91 | 84.75 |
| <hr/> | | | | | | |
| | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 |
| | 16.71 | 16.45 | 16.18 | 15.91 | 15.62 | 15.33 |
| | 33.41 | 32.90 | 32.36 | 31.81 | 31.25 | 30.67 |
| | 50.12 | 49.35 | 48.55 | 47.72 | 46.87 | 46.00 |
| | 66.82 | 65.80 | 64.73 | 63.63 | 62.49 | 61.33 |
| | 83.53 | 82.25 | 80.91 | 79.53 | 78.12 | 76.67 |
| <hr/> | | | | | | |
| | 0.19 | 0.2 | | | | |
| | 15.04 | 14.47 | | | | |
| | 30.08 | 29.48 | | | | |
| | 45.11 | 44.22 | | | | |
| | 60.15 | 58.96 | | | | |
| | 75.19 | 73.70 | | | | |

注記：ヤング係数 $E_{RT45}=1,300\text{kgf/cm}^2$ 、梁せい10mm、板幅22.5cm、スパン15.8cm、 $E_L=118\text{tonf/cm}^2$
Note:Young's modulus $E_{RT45}=1,300\text{kgf/cm}^2$, height10mm, breadth22.5cm, span15.8cm, $E_L=118\text{tonf/cm}^2$

1, 2, 3表に示す。

4. 確認実験の結果と考察

実験方法並びに結果については前報において詳述したので、ここでは得られたデータについて検討する。結果を第4, 5図に示す。

得られた一面剪断曲線で特徴的なのは、その負荷直後のごく短時間において0.1mmから0.3mm程度の変位を生じている点である。この部分はほぼ直線と考えられる。その直線部分の最大荷重を $l=38\text{mm}$ のスクリーュー釘について読み取ると約40kgfとなる。これは前報で用いた釘の最大引き抜き耐力とほぼ同じである。

平井⁴⁾と同様に途中除荷を行っているが、再負荷直後の直線の傾きは初期傾きとほぼ同じである。平井はこの初期の部分弾性めり込み部分として取り扱っている(第4, 5図)。

この直線部分は釘が材にめり込んでいく過程と考えられる。「めり込み」によって、釘は変位を生じ、その傾斜角度が小さくなると考えられる。次に釘の最大引き抜き耐力を超えると大きな変位を生じて引き抜き

過程に移るものと考えられる。

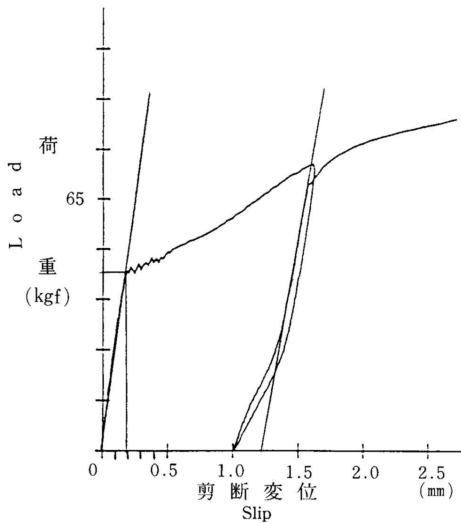
前報で行った釘斜め打ち一面剪断加力実験で得られた曲線は発生する剪断力が釘の最大引き抜き耐力に達するまでは釘のめり込み現象が起きており、その後引き抜き現象に移行する過程を表していると考えられる。

4.1 シミュレーションとの突き合わせ

支点の水平移動の項によりシミュレーション計算で求められた値は、釘斜め打ち一面剪断加力実験により得られた直線部分の最大荷重値に、その初期矢高の大小に係わらずほぼ対応するものであった。したがってめり込みによる力の「逃げ量」を推定する方法は現象的にみて有効と考えることができる。

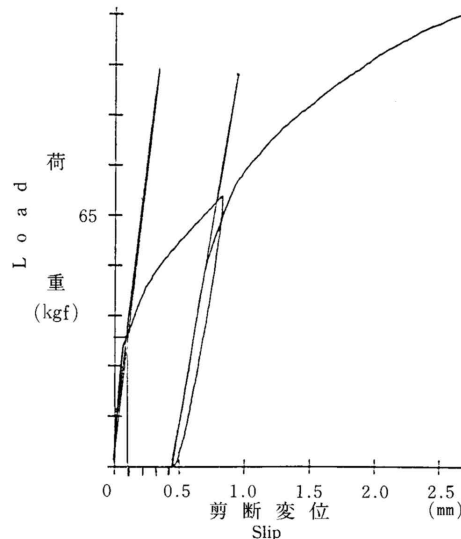
4.2 前報のシミュレーション結果との関係

前報では釘は完全に固定したのものとしてシミュレーションを行い検討を加えたが、本報では釘のめり込みにより力が逃げると仮定して、その「逃げ量」について検討した。この力は前報の含水率上昇により発生する剪断力との関係では、その値を減少させる方向に働く力と仮定した。したがって前報で行ったシミュレーションでは、その値よりこの「逃げ量」を引いた値が



第4図 一面剪断曲線
Fig. 4. Load - slip curves

$E_t = 125\text{tf/cm}^2$ 釘 $l = 38\text{mm}$ スクリュー釘 打込量16.82mm, 18.58mm
Nail: $l = 38\text{mm}$, helically threaded nail
length of nail driving 16.82mm, 18.58mm



第5図 一面剪断曲線
Fig. 5. Load - slip curves

$E_t = 112\text{tf/cm}^2$ 釘 $l = 45\text{mm}$ スクリング釘 打込量21.71mm, 25.73mm
Nail: $l = 45\text{mm}$, ring - helically threaded nail
length of nail driving 21.71mm, 25.73mm

実際の剪断力値ということになる。

この「逃げ量」の効果は含水率上昇の面からは、前報第5表を例に取ると試験体No.3 ($E_{RT45} = 1,300\text{kgf/cm}^2$ 、梁せい10mm、スパン15.8cm、幅22.5cm)の場合釘の引き抜きに関する含水率の許容上限値を約0.6%上昇させる。例をとると初期欠高0.01cmで含水率上昇 $\Delta u = 0.7\%$ のときの剪断力の値は、約40kgf「逃げた」こととなるので6.40kgfとなる。したがって限界荷重を超える含水率上昇 $\Delta u = 1.0\%$ となり、同じく釘保持力を超えない剪断力に対しては $\Delta u = 1.6\%$ となる。

第4表の例では試験体No.2 ($E_{RT45} = 2,000\text{kgf/cm}^2$ 、梁せい10mm、スパン15.8cm、幅22.5cm)の場合限界荷重を超える含水率は $\Delta u = 0.8\%$ となり、釘保持力を超えない剪断力に対しても同じく $\Delta u = 0.8\%$ となる。重なり合う部分を表上で持たなくなるので、前報で検討した釘の引き抜き条件にさらによく一致する（めり込みによる「逃げ量」は40kgfとする）。

したがってこのアーチ式の第3項を加える事により、板の含水率上昇により発生する釘の引き抜き条件は、一層明確になったと考えられる。実証例として美深林務署公宅外壁、21世紀の森展示館外壁（所在地旭川市）にこの1枚の板の解析を取り入れてパネルボード（カラマツ材、有効幅それぞれ10cm、12cm）を施工した（1991年）。現在までのところ釘の引き抜き事故は起きていない。

5. 壁面体への展開（多連節連続梁モデルの検討）

本報では釘の剪断力によるめり込みを考慮して、これによる力の「逃げ量」についての検討を行った。この結果、シミュレーションにより得られた板の状態の限界条件と実験により得られた結果とはほぼ一致した。その「逃げ量」の大きさはほぼ釘の最大引き抜き耐力以内であることが解ってきた。また前報で行ったシミュレーションとの関連では、前報で立てた仮定をよく満足するものであり、前報を補強する結果となった。さらにここではこの力の「逃げ量」が、互いに伝え合う力と考えられる実際の壁面体モデルとしての多連節平面板について、多連節連続梁モデルに単純化して検

討する。

この際調査した事故例を多連節連続梁による力学的モデルとして検討する。

5.1 事故例の類型化

これまで外壁用またはRC建築の内装材、並びに高湿度環境に暴露されたドアの例など一連のパネルボードの事故調査を行ってきた。その結果、含水率上昇に伴う板幅方向の伸びに起因していると考えられる事故が大部分を占めていることが解った。

これらの事故はその固定条件と壁面体端部の境界条件の違いにより類型化が可能と考えられる。以下その力学的モデルと実際の事故写真を示し、整理検討する（第6図）。

5.1.1 木製枠にはめ込まれた場合

これは調査した事例のうち、林産試験場のシイタケほだ木養生小屋の木製ドアで発生した例の場合に想定される。このドアは木製枠と合板製の裏板を用い、パネルボードは固定せず、はめ込んだだけで組立てられている。

このパネルボードはトドマツ材で無塗装の林産試験場試作品である。事故は小屋完成後本格的に散水し、暖房を始めてすぐに発生した。合板裏板（室内側）側からの吸湿が原因と考えられる。当時小屋内の関係湿度は100%を超えていたと考えられる（第7、8図）。

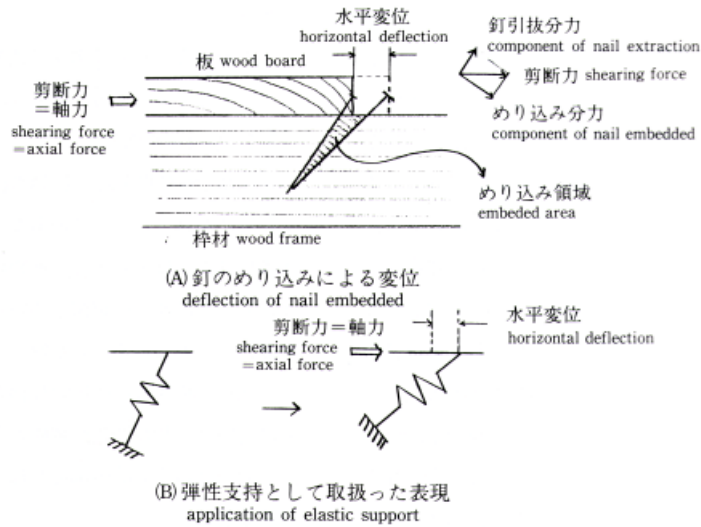
事故の状況は個々のパネルボードが凸にふくれ、かつ隣同志の2枚の板が山形にせり上がり、木製の枠すらも破壊してしまったものである。個々のパネルボードに発生する板幅方向の膨張の力はこの場合拘束が無いので加算的に働くと考えられる。

力学的モデルとその事故状況モデルを第9図に示す。

5.1.2 斜め打ちした釘で固定した場合

この場合斜め打ちした釘固定を第6図のように弾性支持の一種と考える。第10、11図にそのモデルを示す。

このケースは最も一般的な胴縁壁下地に、釘で斜めサネ打ちして構成した壁の場合と考えられる。前報で取り上げた1枚の板のケースはモデルAで、壁端部を釘で斜めサネ打ちして処理した場合にあたる。AとBとの相違点は壁端部の境界条件にあり、Aのケースは



第6図 釘固定を弾性支持として扱った場合の表現

Fig. 6. Application of elastic support for nailing

注 A図の場合釘は枠材にめり込んで水平変位を生ずる。ここではB図に示すように弾性支持条件として扱う。

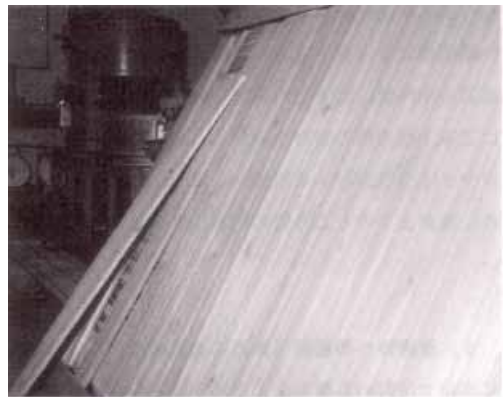
Note : For the case of Fig(A), a nail is embedded into a wood frame , consequently horizontal deflection is arised .

The elastic support condition is employed for this case of Fig(B).



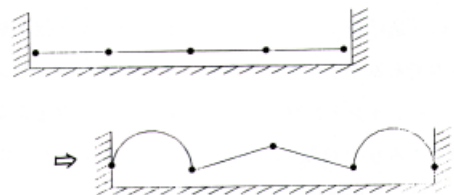
第7図 事故の写真 (type 1)

Fig. 7. Picture of trouble (typel)



第8図 事故の写真 (type 1)

Fig. 8. Picture of trouble (type 1)

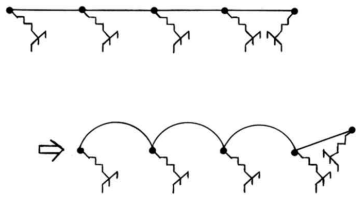


第9図 連続梁の概念図 (type 1)

Fig. 9. Conceptional figure of the continuous

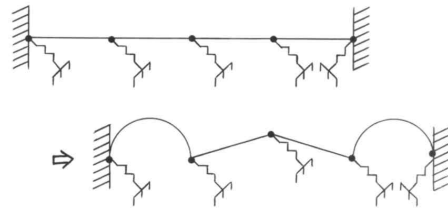
beam (type 1)

壁端部に起こる事故で ,Bのケースは多枚数のパネルボードで構成された壁の中央部で起きる事故のモデルと考えられる(第12図) ,モデルBについては壁端部の



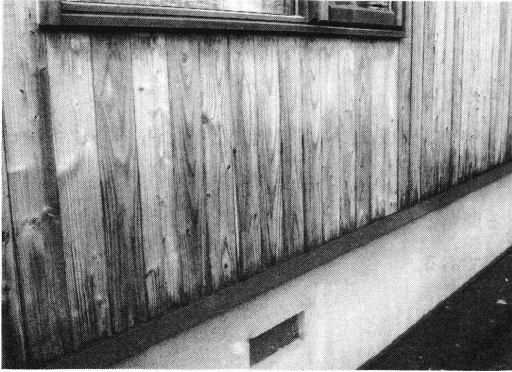
第10図 連続梁の概念図(type 2,A)

Fig. 10. Conceptual figure of the continuous beam(type 2,A)



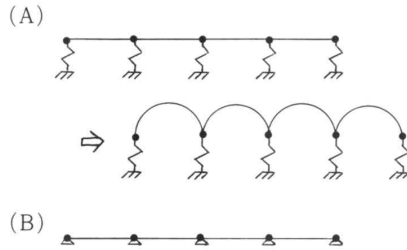
第11図 連続梁の概念図(type 2,B)

Fig. 11. Conceptual figure of the continuous beam(type 2,B)



第12図 事故の写真(type2)

Fig. 12. Picture of trouble (type 2)



第13図 連続梁の概念図(type 3)

Fig. 13. Conceptual figure of the continuous beam(type 3)



第14図 事故の写真(type 3)

Fig. 14. Picture of trouble (type 3)

縁切りが十分に取られていない場合や、連続して多数のパネルボードを貼った大面積の壁の中央部に起こる事故が考えられる。

このケースの場合釘のめり込みによりパネルボードは互いに力を伝え合う。そのため連続板の性質として力は平均化し、かつ加算されると考えられる。この時個々の釘には平均化した力が加わり、これが最大引き抜き耐力を超えなければ、板は保持されていると考えられる。しかし、現実には釘の引き抜き耐力にはバラツキがある。一たん、耐力の低い釘が抜け始めると壁全体に発生した応力が集中して、釘の引き抜きは加速されると考えられる。

5.1.3 垂直に打ち込んだ釘や接着剤を併用して固定した場合

垂直に釘を打ち込んだ場合、前報で取り上げた剪断力に対し主に釘の剪断耐力で持たせる事となるので、一般的な垂直の弾性支持または固定支持と考えられる。したがって釘の引き抜き事故は最も起こりにくい場合と考えられる(第13図)。釘を垂直に打った場合(第14

図)、発生する剪断力により釘がめり込む点は5.1.2のケースと基本的に同じと考えられる。しかし釘打ち込み方向が垂直なので、剪断力はその当初から釘引き抜き方向の大きな分力を持たない点異なる。

5.2 前報、本報のシミュレーションとの関係

前報においてパネルボードの含水率上昇により発生した剪断力の分力が、釘を引き抜く力と考えられる点について検討した。また本報において、それと釣り合う他方の分力が釘をめり込ませることによって、力が「逃げる」点について検討を行い、仮定と現象がよく

一致する結果を得た。

この釘が側面方向にめり込むことによって、1枚の板の場合には力が「逃がず」、多枚数の板で構成される壁の場合には互いに力を伝え合うと考えられる点は、5.1.2と5.1.3の(A)の場合基本的に同じと考えられる。また壁端部の境界条件を考慮すれば、5.1.1の場合が最も基本的な型と考えられる。

したがって本報で求めた力の値は、基本的に壁体を構成するパネルボード同志で互いに伝え合う力を求めたものと考えられる。

一般に多数のパネルボードで構成された壁を多連節平板としてモデル化することは有効と考えられる。言い替えると、壁は多数の板が互いに内部で発生した力を伝え合う中で、力学的にバランスしている構造と考えられる。

この力学的バランスの崩れた状態の時事故が起こると考えられる。前報、本報の解法で求めた値は含水率上昇の面からいえば常に発生する力の最大値を取り扱うこととなるので安全側の値となった。また1枚の板の条件で事故が起きるとして取り扱うことは、連続板としてその性質を考慮するとより厳しい条件となり、やはり安全側と考えられる。すなわち釘が1枚の板の条件で抜けてしまえばそれ以上力は伝わらないと考えられ、なおかつこのことから伝え合う力は釘の最大耐力の範囲内であると考えられるからである。これらによりパネルボードを力学的に当初設計する場合、また施工方法を検討する上で2ヒンジ放物線アーチの式は有効な解法と考える。

6. まとめ

前報、本報によりパネルボードにより構成される壁を多連節連続梁として単純化しそのモデルについて検討を加えた。さらに事故の類型化を試みた。その結果先に求めた解法は含水率上昇に関して安全側の値となり、有用なものと考えられる。今後このモデルについて、平板の問題として力学的に壁の構造を検討していく必要がある。

また、より多くの実験により今回検討した理論とこれらのモデルについて確認を行っていく必要があると考えている。

今回は壁板についての検討だったが、同様の事故が床でも起きており、基本的には床板の構造とも共通する問題と考えられる。今後この点について検討する予定である。

文 献

- 1) 和田孝一：パネルボードの含水率上昇による釘の引き抜きメカニズムに関する考察，林産試験場研究報告，82 (1992)
- 2) 松尾博，沢田稔：木材と木質平面材料の釘接合における剪断耐力 (第3報)，北海道大学農学部演習林研究報告，38，2 (1981)
- 3) 鷹部屋福平：構造力学，彰国社 (1962)
- 4) 平井卓朗：木材接合部の基礎性能-2. 木材のボルト面圧性能 - ，北海道大学農学部演習林研究報告，46，4 (1989)

- 技術部 加工科 -
(原稿受理 H4.9.30)