

# 中学校技術・家庭科における構造物に関する教材の研究

## Teaching Materials on Structure of Industrial Arts and Homemaking

今山 延洋・須見 尚文

Nobuhiro IMAYAMA and Naobumi SUMI

(昭和55年8月28日受理)

### 1. 緒 言

中学校でおこなわれている技術・家庭科の木材加工領域における代表的教材として椅子などの製作がある。この場合、教材として取扱われるときの前提として教師の側に構造についての理解が必要とされる。外力の作用による構造物の変形の学習や、製作時における接合方法の学習などとの関連において、椅子などの構造物が人間や積載物などの外力により変形する状態を知り、さらに、各部材や接合部の応力分布の状態を理解し、これらを全体として総合することは教材の内容をより一層深めるのに役立つと考えられる。

教科書や授業案の中に構造に関する学習が取り入れられている。たとえば、Fig. 1に示すような構造の比較をおこない、どのように部材を構成すればじょうぶな構造を得ることができるかを考えさせている。従って、これらを取り上げ教える教師の側にはこのような構造について基本的認識をもっていなければならない。

ところが、このような基本的構造に外力が作用したときの变形や応力の分布状態について調べ、教材の理論的裏付けをする工夫をした報告がみられないようである。

本報告では、Fig. 1に示す<sup>1)</sup>4つの構造の变形と応力分布を有限要素法による骨組構造物の応力解析の手法を用いて調べ、垂直で中央集中な荷重に対する各構造の特徴を比較し、基本的構造教材の科学的認識を深めた。具体的には、Fig. 1(A)の門型構造を基準にして垂直荷重に対して斜め部材や水平部材を補強したときの变形や応力分布の違いを比較し、補強部材による補強効果によって各構造の特徴を明らかにした。これにより各部材および接合部に作用する各種応力が明らかになり、荷重に対する各部材の役割が明確になり、また接合部における部材同志の有効な接合方法が明らかになり、今まで経験的に処理していた製作物が構造力学的裏付けをもった教材として役立つと思われる。

### 2. 門型構造の变形と応力分布

本報告では基本的構造の变形と応力分布を明らかにすることが目的であるので、Fig. 1(A)に示すように部材の長さが各々1 m、部材の断面が $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 、部材のヤング率は木材の素材の繊維方向を想定して $1.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、接地部分はピン接合、部材同志は剛接合とした。従って、この構造はラーメン構造である。荷重は水平部材中央に10kgの垂直荷重とした。ここでの解析は

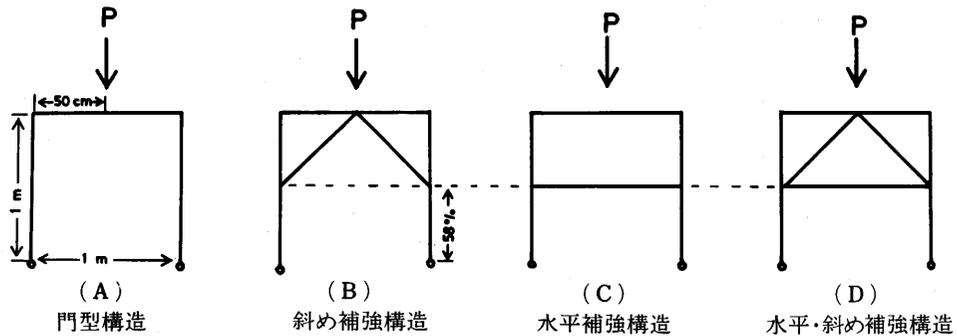


Fig. 1 各種構造

無次元化せずに次元数を用いているが、これは具体的理解を容易にするためのもので一般性をそこなうものではないと考えられる。また、Fig. 2(a)に示すように水平部材中央をa点、垂直部材の下から58%の高さの点をb点、50%の高さの点をc点、水平部材と垂直部材の接合部をd点とした。

### 2.1 たわみ変化

Fig. 1 (A)の水平部材中央に垂直荷重10kgが作用したときの構造のたわみ変化を Fig. 2(a)に示す。実線が元の位置であり、点線が変化したときの位置である。図中の数字は各点のたわみ量(mm)を表わしている。図から明らかなように、中央を境として変形は左右対称となる。このことは後述するように、Fig. 1 (B), (C), (D)の構造についても同様である。従って、水平部材のたわみ量は中央部のa点で最大となる。一方、垂直部材は部材長の約58%の高さのb点が最大となる。

### 2.2 部材長の変化

現実の机や椅子の脚などの部材の長さや断面積の関係は太くて短いものが多い。ここでは、断面積を $2 \times 2 \text{ cm}^2$ と一定にして部材長を変化させてみた。部材長として100, 80, 50, 30cmを用いて長さの変化の影響を検討した。a点のたわみ変化と荷重の関係を Fig. 3(a)に、c点のたわみ変化と荷重の関係を Fig. 3(b)に示す。これらの図からわかるように、荷重とたわみは比例関係にあり、このことは部材の他の点でも同様であった。そこで、次にたわみ量と部材長の関係を Fig. 4に示す。縦軸は単位荷重当りのたわみ変化であり、横軸は部材長100 cmを基準にしたときの3乗値である。図のようにa点、c点ともにたわみ量は断面が同じならば部材長の3乗に比例することがわかる。

### 2.3 断面積の変化

前項と同じ目的のために、ここでは部材長を一定にして断面が $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ ,  $4 \times 4 \text{ cm}^2$ の4種類について検討した。a点とc点におけるたわみと荷重の関係を断面別に Fig. 5(a), (b)に示す。これらの図からたわみ量と荷重が比例関係にあることがわかる。単位荷重当りたわみの逆数と断面2次モーメントの関係を Fig. 6に示す。図からわかるように、たわみ変化の逆数は断面2次モーメントに比例している。つまり、たわみ変化は断面積ではなく断面2次モーメントの増減に逆比例する。だから、 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 断面の部材のたわみは $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 断面の部材の16倍になる。

### 2.4 応力の分布

門型構造 (Fig. 1 (A)) の応力分布を曲げ応力と引張・圧縮応力に分けて報告する。荷重10kgが

a 点に作用したときの応力分布を Fig. 2 (b), (c) に示す。前述したように変形は左右対称となるので、図の左半分に曲げ応力図、右半分に引張・圧縮応力図を示す。曲げ応力の正と負の記号はたわみの変化と対応すればわかるように、門型構造の内側からみて手前にたわんだときの引張側を正にとっている。更に、曲げ応力図の数値はその曲げ応力の最大値を示す。また、引張・圧縮応力図では引張応力を正、圧縮応力を負にとっている。図から明らかなように、部材にはたらく応力は曲げ応力が引張・圧縮応力に比較して非常に大きいことがわかる。この場合、曲げ応力が大きくなる部分は水平部材の中央部とその両端部分および垂直部材の上部である。したがって、水平部材と垂直部材の接合部 d 点にも大きな曲げ応力が作用していることになる。実際に各部分に生じる力は曲げ応力と引張・圧縮応力が合成されたものであり、これをひずみの形で Fig. 7 に示した。逆に、合成された実際に測定される全ひずみから曲げひずみと引張・圧縮ひずみに分解する方法も同図に示した。

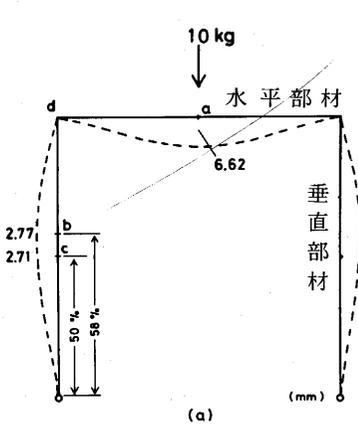


Fig. 2 (a) 門型構造のたわみ分布

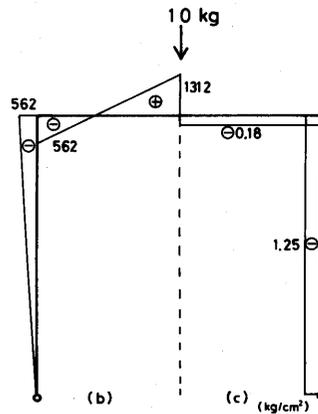


Fig. 2 (b)(c) 門型構造の(b)曲げ応力分布と(c)引張・圧縮応力分布

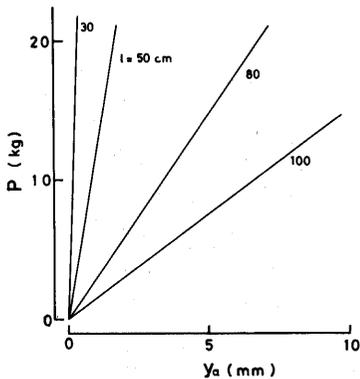


Fig. 3 (a) 部材長( $l$ )が変化したときの荷重( $P$ )と a 点のたわみ( $y_a$ )の関係

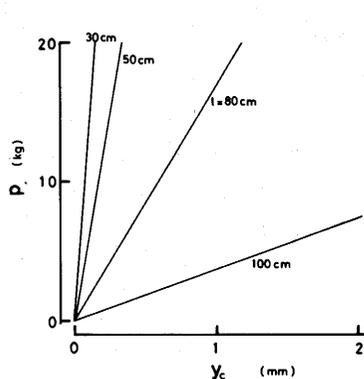


Fig. 3 (b) 部材長( $l$ )が変化したときの荷重( $P$ )と c 点のたわみ( $y_c$ )の関係

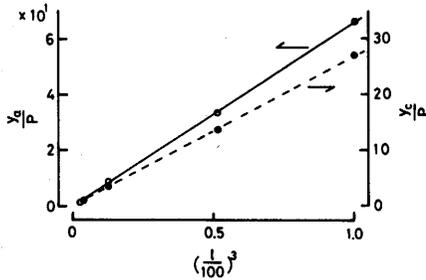


Fig. 4 単位荷重当たりたわみ( $y/P$ )と部材長比( $l/100$ )の関係

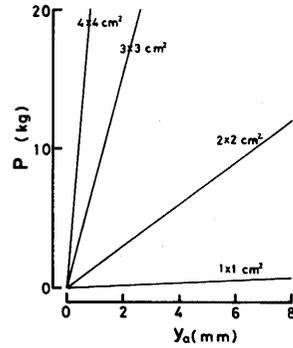


Fig. 5(a) 断面が変化したときの荷重( $P$ )と  $a$  点のたわみ( $y_a$ )の関係

### 3. 斜め補強構造

#### 3.1 たわみ変化

門型構造において垂直部材の最大たわみを示す下から58%の位置の  $b$  点と水平部材中央の  $a$  点を結ぶ部分に Fig. 1 (B) に示すように斜め補強部材をいれた場合を取扱い、門型構造において生じた大きなたわみや応力の分布と比較する。更に、斜め部材の位置による効果を考えるため Fig. 8 - 2 (a) や Fig. 8 - 3 (a) に示すように接合部分から 26.5cm および 13cm 離れた位置に斜め部材をいれた場合も考慮した。斜め部材の断面およびヤング率は門型構造と同じである。Fig. 8 - 1 (a), 2 (a), 3 (a) にたわみ変化を示した。  $a$  点のたわみ量を見ると、斜め補強がないときから斜め補強が中央にくるに従ってこのたわみ量は減少している。斜め補強をいれることで水平部材のたわみは減少し、補強部材が中央にくるほどその減少の程度は大きい。一方、垂直部材の  $b$  点のたわみ量を見ると Fig. 8 - 1 (a) は門型にくらべ減少しているが、Fig. 8 - 2 (a) や 3 (a) は逆に増加している。

#### 3.2 応力分布

これらの応力分布を Fig. 8 - 1 (b), (c), 2 (b), (c), 3 (b), (c) に示す。  $a$  点の曲げ応力は門型構造にくらべ、斜め部材が中央にくるに従って大きく減少し、水平部材の曲げ応力が緩和されている。次に、水平部材と垂直部材の接合部に作用する曲げ応力を見ると、門型構造にくらべ大きく減少し、また、斜め部材の位置による差は大きくない。引張・圧縮応力を見ると、斜め部材を含む三角形部分は水平および垂直部材の応力が非常に小さくなり、斜め部材にほとんどの力がかかっている。また、  $b$  点の垂直部材にやや大きめの曲げ応力が生じている。だから、斜め補強は水平部材のたわみ及び接合点  $d$  の応力は軽減するが、垂直部材の補強には余り役に立たないと思われる。

### 4. 水平補強構造

#### 4.1 たわみ変化

門型構造の垂直部材のたわみが最大になる下から58%のb点を結ぶ位置に水平補強部材を入れる。水平補強部材の断面およびヤング率は門型構造と同じである。たわみ変化をFig.9(a)に示す。a点のたわみ量は門型構造にくらべ減少しているが、斜め補強部材が中央に来たときにくらべ約2倍のたわみを示している。次に、b点のたわみ量は水平補強部材を入れることでほとんど零である。従って、横方向の変形を防ぐ補強効果は十分である。また、垂直部材のたわみの形は図に示すように複雑な形を示す。さらに、水平補強部材は上に凸の曲げを示す。

4.2 応力分布

応力分布をFig.9(b), (c)に示す。a点の曲げ応力は門型構造に比較してやや低下するが、その程度は斜め補強構造ほど著しくない。d点の接合部には門型構造のそれよりも大きな曲げ応力が生じている。b点の垂直部材には大きな曲げ応力は生じていない。水平補強部材には均一曲げ応力と引張応力が作用している。従って、一般に貫と呼ばれるこの水平補強部材には曲げ

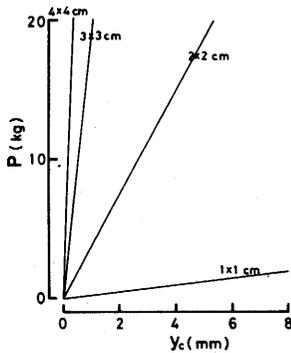


Fig. 5 (b) 断面が変化したときの荷重(P)とc点のたわみ(y<sub>c</sub>)の関係

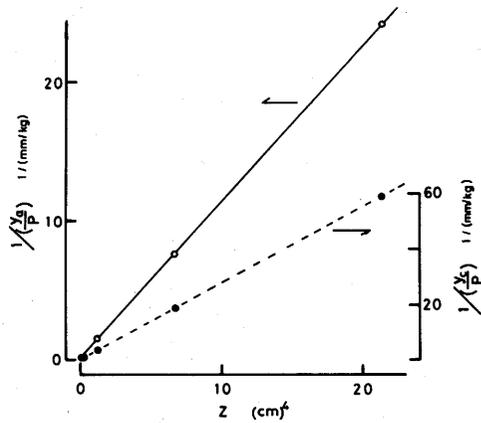


Fig. 6 単位荷重当たりたわみ変化(y/P)と断面2次モーメント(Z)の関係

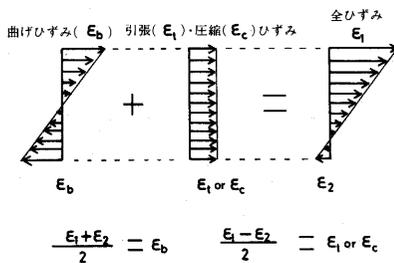


Fig. 7 部材にはたらく全ひずみ(ε<sub>1</sub>, ε<sub>2</sub>)と曲げひずみ(ε<sub>b</sub>)および引張(ε<sub>t</sub>)・圧縮(ε<sub>c</sub>)ひずみ

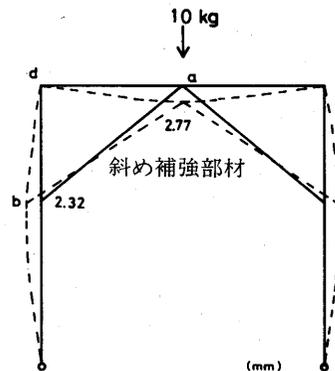


Fig. 8 - 1 (a) 斜め補強構造のたわみ分布

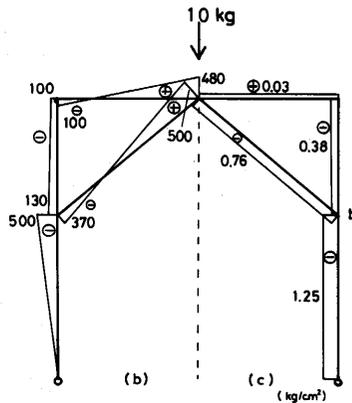


Fig. 8-1 (b)(c) 斜め補強構造の(b)曲げ応力分布と(c)引張・圧縮応力分布

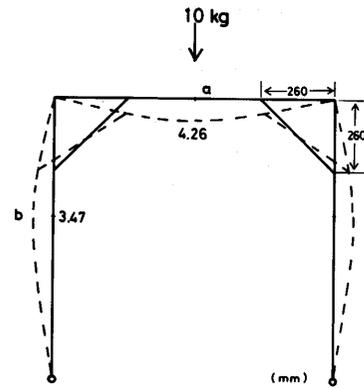


Fig. 8-2 (a) 端から26.5cmに補強した斜め補強構造のたわみ分布

応力と引張応力が同時に作用していることになる。

## 5. 水平, 斜め補強構造

### 5.1 たわみ変化

以上のように、斜め補強構造や水平補強構造においてはたわみ量などが一部分に限られている。ここでは、Fig.1(D)に示すように水平補強部材と斜め補強部材を同時にもつ補強構造を考える。斜め補強部材の位置はa点とb点を結ぶ部分、水平補強部材はb-bである。また、水平補強部材の位置はそのまま、斜め補強部材が端から26.5cm離れた位置にくる場合も考えた。たわみ変化の結果をFig.10-1(a)と2(a)にそれぞれ示す。a点のたわみ量は非常に小さく、特にFig.10-1(a)ではほとんどたわんでいない。斜め補強構造にくらべてもその程度は著しい。これは、斜め補強部材のみではこのようにならず、水平補強部材との同時使用によると思われる。垂直部材のたわみはb点において水平補強構造のときにほとんど零であったが、その構造にさらに斜め補強部材がいると垂直部材のb点以外の点も変化が少くなり、特にFig.10-1(a)ではほとんど零である。

### 5.2 応力分布

応力分布をFig.10-1(b)(c)、2(b)(c)に示す。a点についてみると、Fig.10-2(b)の曲げ応力はFig.8-2(b)の半分の曲げ応力であるが、Fig.8-1(b)とくらべると同程度である。しかし、斜め補強部材が中央にきたFig.10-1(b)ではほとんど零である。同様に、斜め補強部材が中央にくると他の位置の曲げ応力も著しく減少する。次に、引張・圧縮応力についてみると、斜め補強構造や水平補強構造にくらべ、斜め補強部材の圧縮応力および水平補強部材の引張応力が増加している。従って、特に斜め補強部材が中央にきた場合は、荷重は斜め補強部材と水平補強部材の三角形部分の圧縮力と引張応力によってほとんど支えられ、これらの応力はb点から垂直部材の下半分に伝達されている。

## 6. 構造比較

以上の4つの構造を全体的に比較するために表1を示す。門型構造のa点は大きくたわみ不

安定である。そこで、a 点に斜め補強部材をいれて a 点のたわみを小さくしようとしたが、b 点が横方向へ移動するために、補強効果を十分に上げられない。そこで、b 点のたわみを防ぐために水平補強部材を入れると垂直部材のたわみはほとんどなくなり、b 点の横方向への移動は防げられた。しかし、この水平補強構造では a 点のたわみが大きい。そこで、この水平補強部材と斜め補強部材を合わせることで、a 点のたわみを防ぐことができる。

a 点の曲げ応力の大きさをみると、a 点のたわみの減少程度に応じて曲げ応力が減少している。また、d 点の曲げ応力は水平補強構造では大きくなり、斜め補強構造では非常に小さくなる。b 点では斜め補強構造のときが大きな曲げ応力が生ずる。

### 7. 製作との関連

部材に作用する曲げ応力および引張・圧縮応力が明確となり部材の強さや断面形状について決めることができる。また、接合部分には曲げ応力と引張・圧縮応力が同時に作用している。ここでは述べなかったがせん断力も考慮しなければならない。特に曲げ応力および引張応力と接合方法について注意を払う必要がある。

#### 7.1 引張応力と接合方法

例えば釘を用いる場合に引張応力の方向に使用して釘が引抜けを起こさないように注意する必要がある。釘にせん断抵抗が生じるように引張応力の方向と直角方向に使用する。

また、枅の場合は引張に対する抵抗は枅穴からの枅の引抜けであるから、枅穴と枅の接触面積が広いものほど有効である。そのために加工精度を上げたり、接着剤やくさびの使用は有効である。

#### 7.2 曲げ応力と接合方法

釘使用の場合は曲げの性質からいって曲げ応力が最大になる場所に、応力の方向と直交させて釘のせん断抵抗を利用して使用すべきである。

相欠接合にすることで部材の回転を防ぐことができる。特に、Fig.11(a)に示す e, f, g, h の点によって、回転に対し抵抗していると考えられる。

枅接合の曲げに対する抵抗は相欠と同じ原理であろうが、さらに Fig.11(b)のように胴付き枅

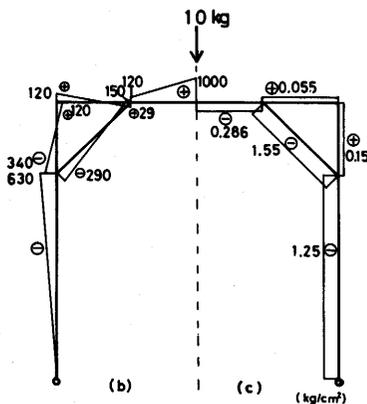


Fig. 8 - 2 (b)(c) 端から26.5cmに補強した斜め補強構造の(b)曲げ応力分布と(c)引張・圧縮応力分布

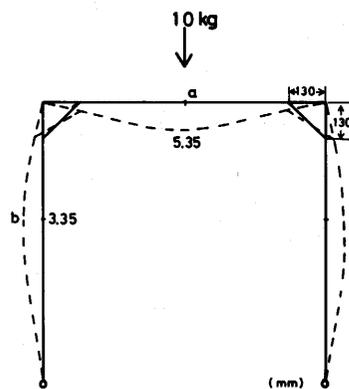


Fig. 8 - 3 (a) 端から13cmに補強した斜め補強構造のたわみ分布

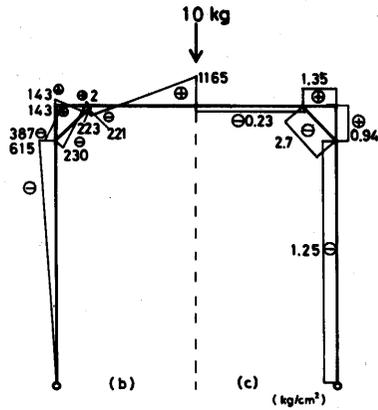


Fig. 8-3 (b)(c) 端から13cmに補強した斜め補強構造の(b)曲げ応力分布と(c)引張(+・圧縮-)応力分布

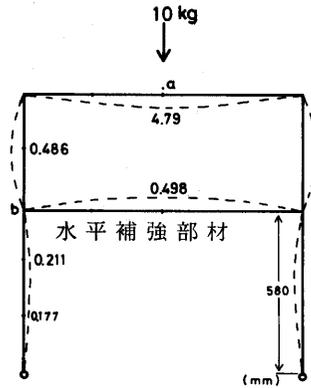


Fig. 9(a) 水平補強構造のたわみ分布

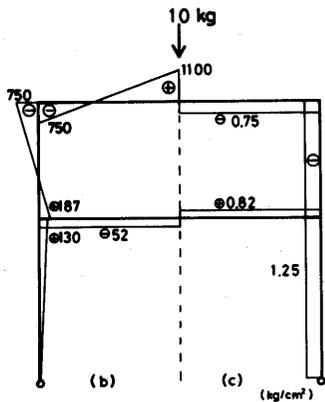


Fig. 9(b)(c) 水平補強構造の(b)曲げ応力分布と(c)引張(+・圧縮-)応力分布

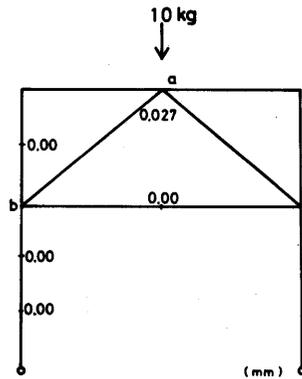


Fig. 10-1(a) 水平, 斜め補強構造のたわみ分布

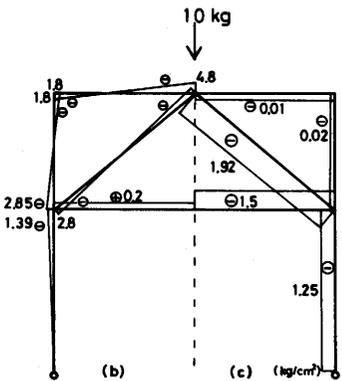


Fig. 10-1 (b)(c) 水平, 斜め補強構造の(b)曲げ応力分布と(c)引張(+・圧縮-)応力分布

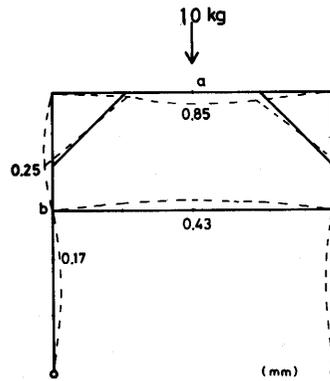


Fig. 10-2(a) 端から26.5cmに斜め補強をもつ水平, 斜め補強構造のたわみ分布

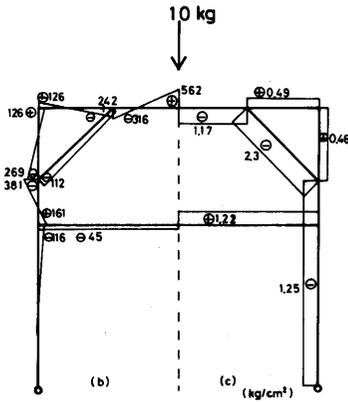


Fig.10-2 (b)(c) 端から26.5cmに斜め補強をもつ水平、斜め補強構造の(b)曲げ応力分布と(c)引張(+・圧縮-)応力分布

表1 a点とb点の構造比較

| a点のたわみ (mm)                   | 6.62 | 2.77 | 4.79 | 0.03 |
|-------------------------------|------|------|------|------|
| b点のたわみ (mm)                   | 2.77 | 2.32 | 0    | 0    |
| a点の曲げ応力 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1312 | 480  | 1100 | 5    |
| d点の "                         | 562  | 100  | 750  | 1.2  |
| b点の "                         | 325  | 500  | 187  | 2.85 |

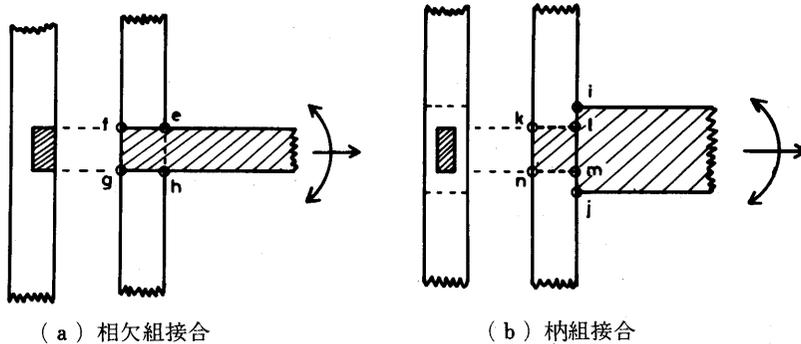


Fig.11 接合方法

にして i, j 点をつけると, k, l, m, n 点と互いに共同して曲げに対し効果を上げると思われる。このように, 柄組接合においては曲げに対する抵抗と引張に対する抵抗が考えられる。

### 7.3 部材断面積の減少

相欠接合や柄組接合により垂直部材などの接合部に断面積や断面係数の減少が生じると, その減少の程度に応じて逆に応力は増大し, さらに断面欠損部分の応力集中効果により, 実際に作用する応力はかなり大きな値となると考えられる。

## 8. 文 献

- 1) 樋口博章：“技術・家庭科, 主体的学習の実践”, 明治図書, 128 (1971)
- 2) 三本木茂夫, 吉村信敏：“有限要素法による構造解析プログラム”, 培風館 (1970)