

## I-42

## 鋼補剛木桁(SW桁)の耐荷力について

|              |      |       |
|--------------|------|-------|
| 北海道大学工学部     | フェロー | 渡辺 昇  |
| 北海道大学工学部     | フェロー | 佐藤 浩一 |
| 新構造          | 正 員  | 和田 隆宏 |
| 北海道土木設計      | 正 員  | 青木 雅人 |
| シビル設計コンサルタント | 正 員  | 渡辺 治  |

## 1. まえがき

材料の強さには、右の表-1 にみられるように、「比強度」という概念がある。

「比強度」とは強度(kg/cm<sup>2</sup>)を比重で割った値で、この値が大きいのは「軽くて強い材料」であり、この値が小さいのは「重くてもろい材料」である。

この右の表-1 によれば、木材は非常に「軽くて強く」、コンクリートは非常に「重くてもろい」のである。

例えば、プロ野球で使っているバットは木製でコンクリート製ではない。

重くてもろいコンクリートで橋を作る場合には、コンクリートの中に鉄筋を埋め込んで補強しなければならない。

そこで、軽くて強い木材の中に鉄筋や鋼板を埋め込んで橋を作れば、コンクリート橋よりも優れた橋が誕生するであろうと考えた。この橋を「SW橋」と命名した。SW橋は、Steel stiffened Wooden bridge (鉄筋と鋼板で補強した木橋) のことである。

今回は、次の4つの試験体を製作し、北海道大学工学部開発科学実験所の300トンの載荷装置を使って、破壊載荷実験を行ったので、その結果を報告する。

- 1) 試験体 No.1: 鋼板や鉄筋で補強しないカラマツ集成材の桁。
- 2) 試験体 No.2: カラマツ集成材の桁の上部と下部に、それぞれ、矩形鋼板ずれ止めつき鋼板(11mm厚)を接着剤で埋め込んだもの。
- 3) 試験体 No.3: カラマツ集成材の桁の上部と下部に、それぞれ、D32の異形鋼棒3本を接着剤で埋め込んだもの。
- 4) 試験体 No.4: カラマツ集成材の桁の上部に帯状鋼板ずれ止めつき鋼板(11mm厚)を、下部にD32の異形鋼棒3本を、接着剤で埋め込んだもの。

表-1

| 材 料    | 比重   | 強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 比強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|------|--------------------------|---------------------------|
| スギ     | 0.35 | 引張強度 900                 | 2570                      |
|        |      | 圧縮強度 350                 | 1000                      |
| 鋼 鉄    | 7.85 | 引張強度 5000                | 641                       |
| アルミニウム | 2.7  | 引張強度 1050                | 390                       |
| 花崗岩    | 2.7  | 引張強度 92                  | 34                        |
|        |      | 圧縮強度 1370                | 508                       |
| 大理石    | 2.2  | 引張強度 24                  | 11                        |
|        |      | 圧縮強度 563                 | 256                       |
| コンクリート | 2.4  | 引張強度 31                  | 13                        |
|        |      | 圧縮強度 400                 | 167                       |

注：比強度 =  $\frac{\text{強度}}{\text{比重}}$

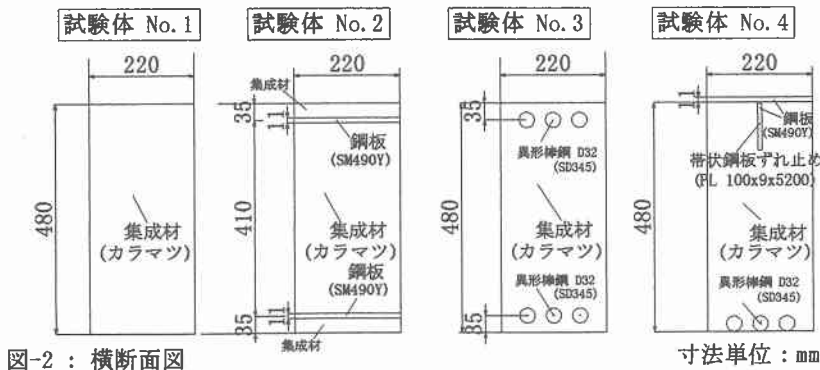
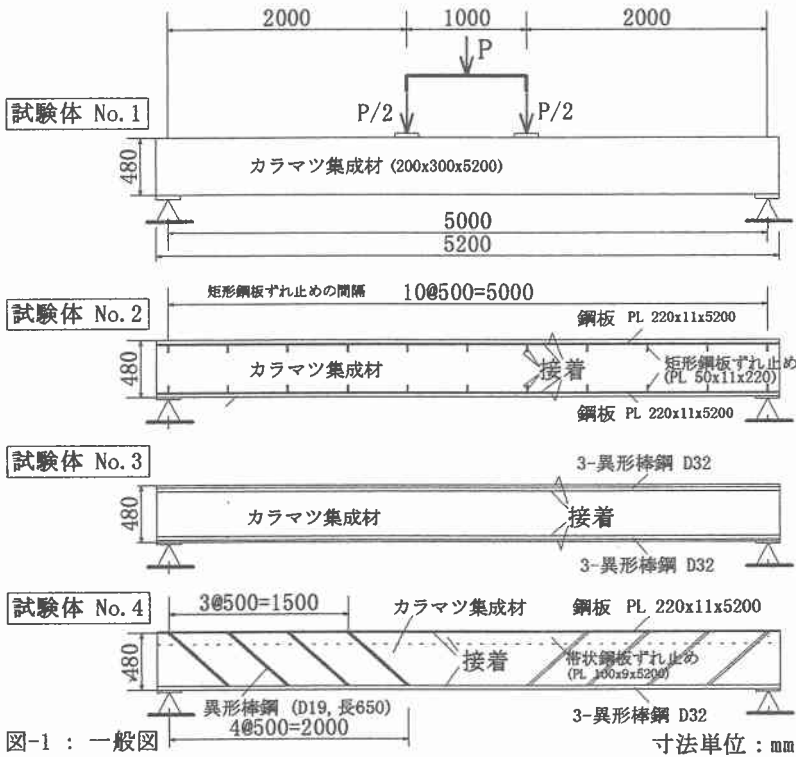
Ultimate Bending Strength Tests of Steel Stiffened Wooden Beams

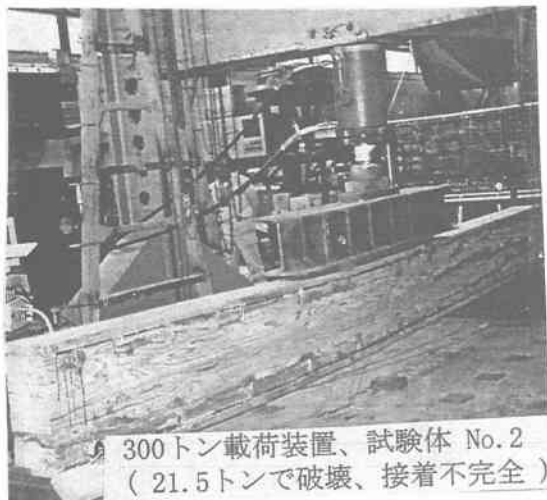
by Noboru WATANABE, Koichi SATO, Takahiro WADA, Masato AOKI and Osamu WATANABE.

# 2. 試験体と実験方法

試験体の寸法諸元は図-1、図-2 のとおりであり、荷重方法は図-1 のとおりである。

荷重にともない、支間中央の桁のたわみをダイヤルゲージで、支間中央位置の桁のフランジと腹部のひずみをストレングージで、測定した。たわみの測定にあたっては、支点の沈下の影響は差し引いた。





300トン载荷装置、試験体 No. 2  
( 21.5トンで破壊、接着不完全 )



試験体 No. 1  
( 24.0トン  
で破壊 )  
支間中央たわみ測定



試験体 No. 3  
( 51.8トン  
で破壊 )

支点沈下測定



試験体 No. 4  
( 66.2トン  
で破壊 )



試験体 No. 3  
( 51.8トンでせん断破壊 )

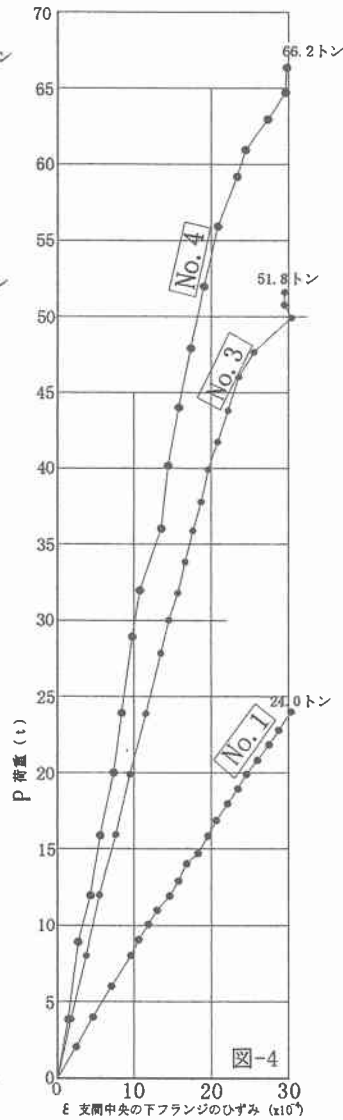
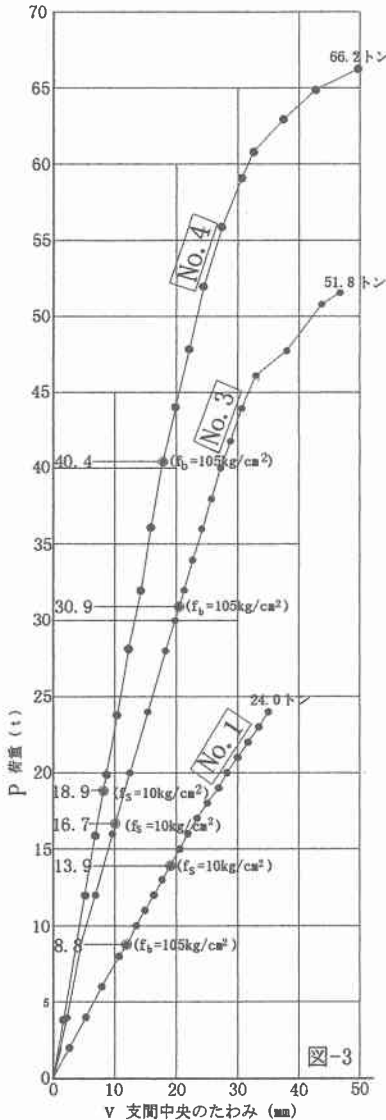
### 3. 実験値と倍率

図-3 は試験体 No. 1, No. 3, No. 4 の支間中央のたわみであり、図-4 は試験体 No. 1, No. 3, No. 4 の支間中央の下フランジのひずみである。

カラマツの曲げ許容応力度  $f_b = 105 \text{ kg/cm}^2$ 、および、せん断許容応力度  $f_s = 10 \text{ kg/cm}^2$  に達した瞬間のその試験体の理論載荷重  $P$  (トン) を併記してある。

これらの実験値に表-3 の解析値を考慮すれば、次のような倍率が得られた。

ここで、表-2 により、カラマツのヤング係数は  $E = 0.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  とした。



$$1) \frac{\text{No. 3 の破壊荷重}}{\text{No. 1 の破壊荷重}} = \frac{51.8}{24.0} = 2.2$$

$$2) \frac{\text{No. 4 の破壊荷重}}{\text{No. 1 の破壊荷重}} = \frac{66.2}{24.0} = 2.8$$

$$3) \frac{\text{No. 3 の曲げ剛性}}{\text{No. 1 の曲げ剛性}} = \frac{5.68 \times 10^{10}}{1.62 \times 10^{10}} = 3.5$$

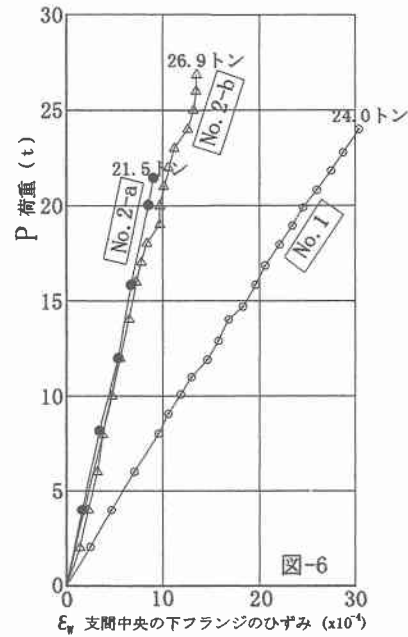
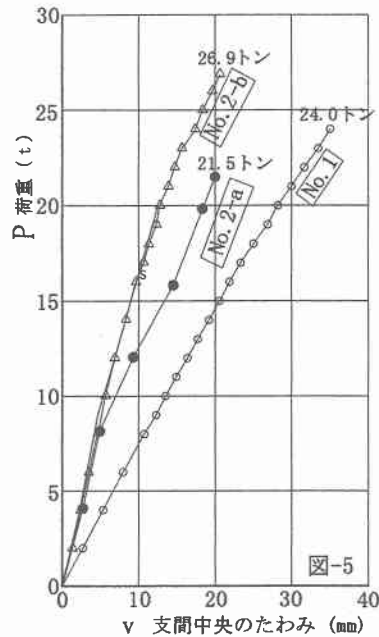
$$4) \frac{\text{No. 4 の曲げ剛性}}{\text{No. 1 の曲げ剛性}} = \frac{7.89 \times 10^{10}}{1.62 \times 10^{10}} = 4.9$$

$$5) \text{No. 1 の曲げ安全率} = \frac{24.0}{8.8} = 2.7$$

$$6) \text{No. 3 のせん断安全率} = \frac{51.8}{16.7} = 3.1$$

$$7) \text{No. 4 のせん断安全率} = \frac{66.2}{18.9} = 3.5$$

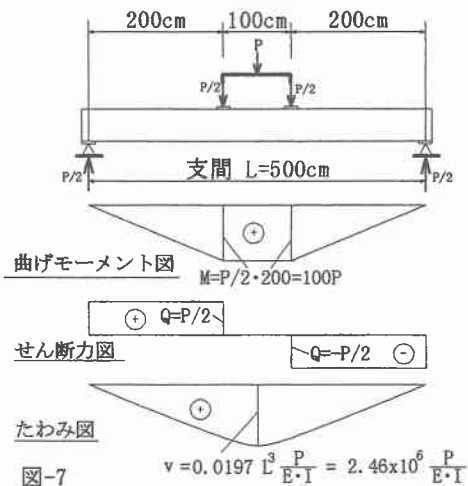
図-5 は試験体 No. 2-a, No. 2-b の支間中央のたわみであり、図-6 は試験体 No. 2-a, No. 2-b の支間中央の下フランジのひずみである。ここで、試験体 No. 2-a とは、矩形鋼板ずれ止めと集成材の溝との間の接着が不完全で隙間があいていた場合であり、試験体 No. 2-b とは、その隙間に接着剤を再注入して接着を完全にしたつもりであったがなお一部隙間があった場合である。試験体 No. 1 の実験値も併記してある。



#### 4. 理論解析

表-2のカラムツのヤング係数などを用いて各試験体のたわみやひずみなどの理論値を計算すると表-3 のとおりであり、実験値によく合致しているので、解析理論は正当であると評価できる。

| 表-2 集成材の繊維方向の許容応力度とヤング係数 |           |             |              |              |
|--------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|
| 単位 : kg/cm <sup>2</sup>  |           | A 1 類<br>特級 | B 1 類<br>2 級 | B 2 類<br>2 級 |
|                          |           | べいまつ        | からまつ<br>あかまつ | えぞまつ<br>すぎ   |
| 許容応力度                    | 純圧縮 $f_c$ | 115         | 75           | 70           |
|                          | 純引張 $f_t$ | 110         | 70           | 65           |
|                          | 曲げ $f_b$  | 165         | 105          | 95           |
|                          | せん断 $f_s$ | 12          | 10           | 9            |
| ヤング係数 $E_w$              |           | 120000      | 80000        | 70000        |



| 表-3        | P=10 トン                                                                     | No. 1                                            | No. 3                                           | No. 4                                             |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 断面二次モーメント  | $I_y$                                                                       | $2.03 \times 10^5 \text{ cm}^4$                  | $7.10 \times 10^5 \text{ cm}^4$                 | $9.86 \times 10^5 \text{ cm}^4$                   |
| 曲げ剛性       | $E_y I_y$ ( $E_y = 0.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )                       | $1.62 \times 10^{10} \text{ kgcm}^2$             | $5.68 \times 10^{10} \text{ kgcm}^2$            | $7.89 \times 10^{10} \text{ kgcm}^2$              |
| 支間中央のたわみ   | $v = 2.46 \times 10^6 \frac{P}{E_y I_y}$ ( $P = 1 \times 10^4 \text{ kg}$ ) | 15.2mm                                           | 4.3 mm                                          | 3.1 mm                                            |
| 下フランジひずみ   | $\varepsilon = \frac{M y}{E_y I_y}$ ( $M = 1 \times 10^6 \text{ kgcm}$ )    | $14.8 \times 10^{-4}$<br>( $y = 24 \text{ cm}$ ) | $4.2 \times 10^{-4}$<br>( $y = 24 \text{ cm}$ ) | $3.3 \times 10^{-4}$<br>( $y = 26.2 \text{ cm}$ ) |
| 下フランジ木応力度  | $\sigma_y = \varepsilon E_y$ ( $E_y = 0.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )    | 119 kg/cm <sup>2</sup>                           | 34 kg/cm <sup>2</sup>                           | 26 kg/cm <sup>2</sup>                             |
| 許容応力度設計載荷重 | $P_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_y} \times 10 \text{ トン}$                      | $\frac{105}{119} \times 10 = 8.8 \text{ トン}$     | $\frac{105}{34} \times 10 = 30.9 \text{ トン}$    | $\frac{105}{26} \times 10 = 40.4 \text{ トン}$      |
| 下フランジ鋼応力度  | $\sigma_s = \varepsilon E_s$ ( $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )    | /                                                | 882 kg/cm <sup>2</sup>                          | 693 kg/cm <sup>2</sup>                            |
| 許容応力度設計載荷重 | $P_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_s} \times 10 \text{ トン}$                      |                                                  | $\frac{1900}{882} \times 10 = 21.5 \text{ トン}$  | $\frac{1900}{693} \times 10 = 27.4 \text{ トン}$    |
| 中立軸木せん断応力度 | $\tau_i = \frac{Q S_i}{I_y b_i}$ ( $Q = 5 \times 10^3 \text{ kg}$ )         | 7.2 kg/cm <sup>2</sup>                           | 6.0 kg/cm <sup>2</sup>                          | 5.3 kg/cm <sup>2</sup>                            |
| 許容応力度設計載荷重 | $P_s = \frac{\tau_s}{\tau_i} \times 10 \text{ トン}$                          | $\frac{10}{7.2} \times 10 = 13.9 \text{ トン}$     | $\frac{10}{6.0} \times 10 = 16.7 \text{ トン}$    | $\frac{10}{5.3} \times 10 = 18.9 \text{ トン}$      |

## 5. 考察とあとがき

- 図-8 にみられるように、国産のスギやカラマツは外国産のベイマツにくらべて強度が弱いので、橋に使ってもらえなかった。しかし、スギやカラマツも鉄筋や鋼板で補強するとベイマツとの差がなくなる。すなわち、SW橋は外国産のベイマツを使わず、国産のスギやカラマツの間伐材が使えるから、地場産業に貢献する。
- 図-3、図-4 にみられるように、従来の集成材を鉄筋や鋼板で補強すると強度や曲げ剛性が抜群になるから、B活荷重の道路橋やJRの鉄道橋に十分適用できる。特に、集成材は吸音性がよいから、鉄道橋にもよい。
- 図-5、図-6 にみられるように、鋼板と集成材との接着が不完全であると耐荷力が非常に低下するから、接着作業には十分注意しなければならない。矩形鋼板ずれ止めよりは帯状鋼板ずれ止めのほうが接着効率がよく耐荷力のはるかに優れている。したがって、SW橋の実橋は、試験体 No.4 のタイプで設計することにしたい。
- コンクリート橋にくらべてSW橋は、軽くて強いので地震に有利であり、鉄と木はリサイクルが可能で、最後は自然の土にかえり、産業廃棄物にはならない。

