

挿入リブ鋼板で補剛した集成材の曲げ耐荷力

Bending Capacity of Glued-Laminated Timber Stiffened with Inserted Steel Plate

薄木征三*, 後藤文彦**, キッシュ ラヨシュ***

USUKI Seizo, GOTOU Humihiko and KISS Lajos

*工博, 秋田大学教授, 工学資源学部土木環境工学科(〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1)

**博(工), 秋田大学助手, 工学資源学部土木環境工学科(〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1)

***MSc, 秋田大学博士後期課程, 生産・建設工学専攻(〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1)

The bending capacity of a doubly symmetric composite timber beam is investigated. The composite beam consists of glued-laminated timber with a rectangular cross section and two ribbed steel plates inserted vertically at the top and bottom surfaces of timber, the ribbed plates and timber being joined together with epoxy resin. The yield moment, as well as the moment at which the cross sections of ribbed steel plates are wholly plastic and the moment at which the edge stress of timber reaches bending strength are presented. The deflections corresponding to these moments at mid-span of a simple beam are also presented and compared with the experimental ones.

Key Words: inserted steel plate, glulam beam, bending capacity

キーワード: 挿入鋼板, 集成材, 曲げ耐荷力

1. まえがき

集成材を歩道橋などの主要部材として用いることが近年、国のレベルでも試行されている。道路橋ではなく、林道橋では比較的早期(昭和 62 年代)から架設されてきているが、これらはデモンストレーション橋の意味合いが強い。というも集成材については、歩道橋はおろか車道橋を対象とした設計基準類や点検・補修マニュアルが完備していないからである。

したがって、材料については日本建築学会の諸規準類、構造についてはアメリカやカナダの設計基準を参考に、試行的に設計、製作され架設されてきている。また外国から輸入して架設された歩道橋も、正確な統計はないが相当数あると思われる。

構造形式から見た場合、桁形式が多用されるのは鋼橋やコンクリート橋と同様である。すなわち、湾曲材に比べて、製作が容易で低コストとなること、通直であるから集成加工した材を防腐圧力釜に搬入することは容易であり、よって防腐剤の加圧注入が可能であることなどの理由からである。難点としては輸送上の制約から、1 部材長は最大 12~15m に制約されることであるが、これは湾曲材も同様である。

一般に集成材桁の破壊時の力学的特徴は、破壊性状が脆性的であり、鋼や鉄筋コンクリート桁に比べ、いわゆるねばりや延展性に欠けており、劇的に耐力を失って崩壊することである。製材(節や繊維の傾斜がある)の試験片を用いた圧縮試験の場合、圧縮強度に達した後の応力-ひず

み関係は理想弾塑性体で近似される。引張試験の場合は、引張強度に達した瞬間に脆性破壊する。これに対して曲げ試験では、荷重-たわみ関係はほとんど直線的であり、曲げ強度に達した瞬間に、引張縁の脆性破壊によって崩壊する。つまり圧縮側はほとんど塑性化に至ることなく、劇的に崩壊する。

橋梁の主要部材としては、言うまでもなく劇的な脆性破壊は望ましくなく、崩壊まで延展性を保持することが安全上要求されよう。矩形断面の集成材桁の上下面に、面に垂直にスリット加工(溝加工)を施し、エポキシ樹脂を満した後、鋼板を挿入して接着した材は、このような要求を満たすものと考えられ、著者らの一人が実験結果および弾性理論を提示した¹⁾²⁾³⁾。文献 3)では合成桁の理論を基本として、垂直に挿入された鋼板の側面に、桁軸方向に発生するせん断応力について調べた。

本報告では、曲げ破壊に至るまでの提案桁の弾塑性解析を、合成桁理論を基本として述べる。最後に試験桁の実験を行い、たわみと断面内ひずみ分布を予想値と比較検証する。

2. 降伏、リブ全塑性および終局モーメント

図-1 に二軸対称断面提案桁の断面寸法と座標を示す。断面の上下に太線で示したものが、リブ鋼板(挿入鋼板)である。リブ鋼板とその回りの集成材は、エポキシ樹脂によって合成断面を構成しているものと見なす。

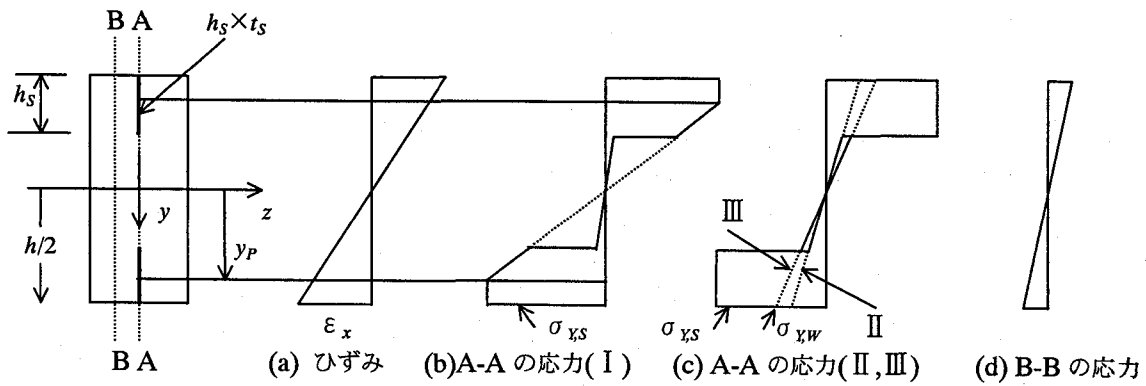


図-1 二軸対称断面のひずみと応力分布

2.1 断面内部の応力分布

合成桁の仮定より任意座標 y の線素のひずみは、たわみ曲線の曲率半径 ρ を用いて周知の関係式

$$\varepsilon_x = \frac{y}{\rho} \quad (1)$$

で与えられる。図-1(b)に示すように、リブ鋼板(寸法 $h_s \times t_s$)の弾塑性境界の座標を、下リブについて y_p とすると上式より

$$\sigma_{y,s} = E_s \frac{y_p}{\rho} \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{y,s}$ および E_s は、それぞれリブ鋼板の降伏点応力度およびヤング係数である。リブ鋼板は理想弾塑性体(バイリニア形)を仮定する。このとき図-1(d)に示すように、集成材部は弾性状態にあり、縁応力度は曲げ強度以下にあるものとする。

図-1(b)に対応する曲げモーメントは式(1),(2)より次式となる。

$$\begin{aligned} M &= \int_A \sigma_x y dA \\ &= \frac{1}{\rho} (E_w I_w + E_s I_s + E_s I_p) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで E_w は集成材のヤング係数、 I_w と I_s はそれぞれ集成材とリブ鋼板の弾性部分断面二次モーメント、 I_p は塑性部分の断面定数で、これらは次式で定義される。

$$\begin{aligned} I_w &= \frac{(b-t_s)h^3}{12} + \frac{t_s(h-2h_s)^3}{12} \\ I_s &= \frac{t_s(2y_p)^3}{12} - \frac{t_s(h-2h_s)^3}{12} \\ I_p &= 2 \int_{y_p}^{h/2} y y_p t_s dy = y_p t_s \left(\frac{h^2}{4} - y_p^2 \right) \end{aligned} \quad (4)$$

式(2)を用いて式(3)の曲率 $1/\rho$ を消去し、若干整理すると、弾塑性境界座標 y_p に関する次の三次方程式を得る。

$$ay_p^3 + by_p + c = 0 \quad (5)$$

ここで係数 a, b および c は以下のようなものである。

$$[a \ b] = \left[4t_s \quad 3 \left(\frac{4M}{\sigma_{y,s}} - h^2 t_s \right) \right] \quad (6)$$

$$c = -\frac{h^3(b-t_s)}{n} + t_s(h-2h_s)^3 \left(1 - \frac{1}{n} \right) \quad (7)$$

曲げモーメント $M(x)$ を与えて式(5)を y_p について解くとリブ鋼板の塑性域を決定できる。上式で

$$n = \frac{E_s}{E_w} \quad (8)$$

は鋼と集成材のヤング係数比である。

2.2 特定モーメント

(1) 降伏モーメント M_y

図-1(b)において、

$$y_p = \frac{h}{2} \quad (9)$$

のときは、上下リブ鋼板のそれぞれ上縁および下縁が降伏点に達するモーメント、すなわち降伏モーメントが発生する。式(5)をモーメント M について解き、これを M_y と記すと

$$M_y = \frac{\sigma_{y,s}}{n} \cdot W_y \quad (10)$$

ここで W_y は弾性断面係数であり、式(4)の I_w と I_s を用いて

$$W_y = \frac{I_w + nI_s}{h/2} = \frac{I_v}{h/2} \quad (11)$$

と表される。ただし式(4)に式(9)を代入する。 I_v は集成材換算合成断面二次モーメントである。

(2) リブ全塑性モーメント M_p

降伏モーメントを越えて、さらにモーメントを増してゆくと図-1(c)のようにリブ鋼板全体が降伏する。しかし図-1(c)のIIに示すように、集成材の上下縁はその曲げ強度 $\sigma_{y,w}$ にはまだ達しないものとする。このリブ鋼板全体が降伏した状態のモーメントを仮にリブ全塑性モーメントと称することにする。この場合、図-1の左図より

$$y_p = \frac{h}{2} - h_s \quad (12)$$

となるから、式(4)の断面二次モーメント I_s 及び断面定数 I_p は次のようになる。

$$I_s = 0 \quad (13)$$

$$I_p = h_s t_s \left(\frac{h}{2} - h_s \right) (h - h_s)$$

すなわち鋼リブの弾性部分の二次モーメントは消失する。式(5)からこのときのモーメント M を求め、これを M_p (リブ全塑性モーメント) と記すと以下のようになる。

$$M_p = \frac{\sigma_{ys}}{n(h/2 - h_s)} (I_w + nI_p) \quad (14)$$

集成材の二次モーメント I_w は式(4)の第一式のままである。

(3) 終局モーメント M_u

さらにモーメントを増加させてゆくと、図-1(c)のⅢに示すように、集成材上下縁の応力は曲げ強度 $\sigma_{y,w}$ に到達し、引張り縁側が脆性破壊を起こす。鋼リブ降伏後も集成材断面内部は弾性状態にあるので、この状態のモーメントは全塑性モーメントではなく、終局モーメント M_u と称するのが妥当と思われる。鋼の降伏点応力度とたわみ曲線の曲率との関係式(2)は

$$\frac{h}{2} - h_s \leq y_p \leq \frac{h}{2} \quad (15)$$

の範囲、つまり降伏モーメント M_y (式(10)) とリブ全塑性モーメント M_p (式(14)) の中間のモーメントでしか成り立たないことに注意する必要がある。しかし集成材部は上下縁が曲げ強度 $\sigma_{y,w}$ に達するまで弾性を保持しているから(図-1(d)参照)、式(1)とフックの法則より

$$\sigma_{y,w} = E_w \varepsilon_x = E_w \frac{h/2}{\rho} \quad (16)$$

上式を用いて曲率 $1/\rho$ を消去すると、終局モーメント M_u として、次式が得られる。

$$M_u = \int_{A_w} \sigma_x y dA + \int_{A_s} \sigma_{ys} y dA \quad (17)$$

$$= 2 \left(\frac{1}{h} \sigma_{y,w} I_w + \sigma_{ys} Z_s \right)$$

ここで Z_s は下リブ鋼板の断面一次モーメントで

$$Z_s = \frac{1}{2} h_s t_s (h - h_s) \quad (18)$$

である。 A_w, A_s は集成材およびリブ鋼板の断面積である。

3. たわみ

3.1 塑性域

図-2(a)に示すような、両端単純支持で二点对称載荷荷を考える。一点当たりの荷重を $P_i/2$ とする。荷重を増加させてゆき、同図(b)に示すように、スパン中央部のモーメントが降伏モーメント M_y に達するときの全荷重を $P_i = P_y$ とする。

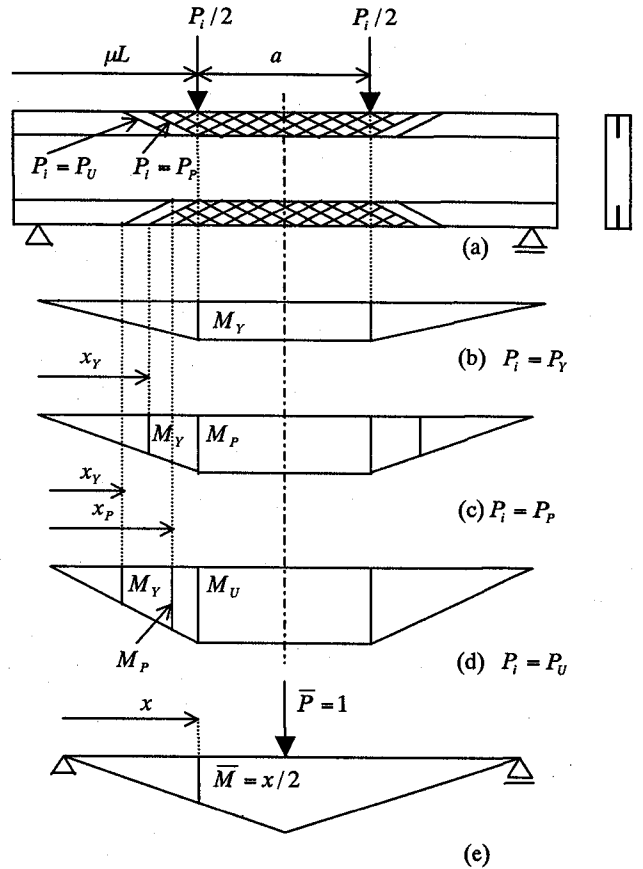


図-2 各荷重段階での塑性域および弾性仮想状態

さらに荷重を漸増させて、スパン中央部がリブ全塑性モーメント M_p に到達したときの全荷重を P_p とする(図-2(c))。図-2(a)で二重斜線の部分が塑性化した領域を表す。このとき支点と載荷点の間には、降伏モーメント M_y が生じている点 x_y が存在する。すなわちこの区間では

$$M(x) = M_p \times \frac{x}{\mu L} \quad (0 \leq x \leq \mu L) \quad (19)$$

であるから (μL は図-2(a)のように支点と載荷点との間の距離)、 $M(x_y) = M_y$ と置いて

$$x_y = \frac{M_y}{M_p} \cdot \mu L \quad (20)$$

この位置より支点側は全断面弾性である。

リブ全塑性モーメント M_p を越えて荷重を漸増させると、スパン中央部は終局モーメント M_u に到達し、引張縁から脆性破壊を起こす。この瞬間には図-2(d)に示すように、支点と載荷点の間には降伏モーメントとリブ全塑性モーメントが発生している位置がある。すなわち任意点 x のモーメントは

$$M(x) = M_u \times \frac{x}{\mu L} \quad (0 \leq x \leq \mu L) \quad (21)$$

であるから、 $M(x_y) = M_y$ および $M(x_p) = M_p$ と置いて

$$x_y = \frac{M_y}{M_u} \cdot \mu L$$

$$x_p = \frac{M_p}{M_u} \cdot \mu L \quad (22)$$

を得る。このときの全荷重を P_U と記す。図-2(a)に示すように、このときの塑性域はリブ全塑性モーメント時の全荷重 $P_i = P_p$ の場合より両支点側へ拡大している。

荷重 P_i と載荷点直下のモーメント M_i との関係は、簡単な関係式、 $M_i = P_i \cdot \mu L / 2$ で表せるから、以上で導入した荷重は

$$P_i = \frac{2M_i}{\mu L} \quad (i=Y, P, U) \quad (23)$$

と、特定モーメントで表される。

3.2 たわみ

(1)降伏モーメント M_Y 時

弾性たわみであるから、スパン中央のたわみは

$$\delta = \frac{P_Y L^3}{48 E_w I_Y} \cdot \mu (3 - 4\mu^2) + \frac{k P_Y \mu L}{2 G_w A_Y} \quad (24)$$

ここで、 I_Y は式(11)で定義した集成材換算断面二次モーメント、 G_w は集成材のせん断弾性係数、 A_Y は集成材換算断面積で

$$A_Y = A_w + n A_s \quad (25)$$

である。さらに A_w および A_s は、集成材部分およびリブ鋼板2枚の断面積である。式(24)の右辺第二項はせん断変形によるたわみであり、 k はせん断補正係数である。リブ鋼板部はせん断応力もひずみも小さく無視できるので、今の場合

$$\begin{aligned} k &= \frac{A_Y}{b^2 I_Y^2} \int_{-h/2}^0 Q^2 dA \\ &= \frac{2A_Y}{b^2 I_Y^2} \left\{ \int_{-h/2}^0 Q^2 (b - t_s) dy + \int_{-h/2}^0 Q^2 b dy \right\} \end{aligned} \quad (26)$$

となる。ここで y_U は、上リブ鋼板下縁の y 座標であり

$$y_U = h_s - \frac{h}{2} \quad (27)$$

である。 $Q(y)$ は一次モーメントで、一軸対称断面を対象とした文献 3) の結果の特別な場合である。結果のみを記すと、図-1の断面図を参照して次のようになる。

上リブ鋼板のある部分に対して

$$\begin{aligned} Q &= \frac{b_U}{2} \left(y^2 - \frac{h^2}{4} \right) \\ b_U &= b + (n-1)t_s \end{aligned} \quad (28)$$

上リブ下端から下リブ上端までは

$$Q = \frac{b_U}{2} \left(y_U^2 - \frac{h^2}{4} \right) + \frac{b}{2} (y^2 - y_U^2) \quad (29)$$

そして $Q(y)$ は図心に関して上下対称である。

(2) リブ全塑性モーメント M_p 時

仮想状態の図-2(e)と実状態の同図(c)との間に仮想仕事の原理を適用する。仮想状態は弾性である。図-2(c)においては、前述のように $x_Y \leq x \leq \mu L$ の領域では、鋼リブ断面内に塑性域と弾性域が混在している。すなわちこの領域では

$$M_Y \leq M(x) \leq M_p \quad (30)$$

となっている。領域 $x_Y \leq x \leq \mu L$ を適当に分割し、各点 x

においてモーメント $M(x)$ を数値で与え、式(6),(7)の係数 a, b および c を求め、式(5)より弾塑性境界座標 y_p を解く。この領域では式(1)と(3)より断面内の曲げひずみは

$$\varepsilon_x = \frac{M}{E_w I_{Y,P}} \cdot y \quad (31)$$

である。ここで

$$I_{Y,P}(x) = I_w + n(I_s + I_p) \quad (32)$$

は弾塑性断面二次モーメントであり、右辺の各項は式(4)で定義されているものであり、 I_s と I_p は弾塑性境界座標 y_p の関数となっている。支点側の領域 $0 \leq x \leq x_Y$ では図-2(c)からも分かるように $M(x) \leq M_Y$ で弾性状態にある。ひずみは式(31)で与え、 $I_{Y,P}$ を単に弾性断面二次モーメント I_Y (式(11))に置き換えればよい。スパン中央部の領域 $\mu L \leq x \leq L/2$ ではモーメントはリブ全塑性モーメント M_p で一定である。弾塑性境界座標 y_p は式(12)の一定値であり、二次モーメントについて式(13)が成り立つ。この領域の二次モーメントを

$$I_{Y,F} = I_w + n I_p \quad (33)$$

と記す。図-2(e)の仮想状態は前述のように弾性桁なので断面内の応力は周知の

$$\bar{\sigma} = n \frac{\bar{M}}{I_Y} y \quad (\text{鋼リブ}), \quad \bar{\sigma} = \frac{\bar{M}}{I_Y} y \quad (\text{集成材}) \quad (34)$$

で与えられる。せん断ひずみは弾性桁と同様に、集成材部分のみを考慮すれば、せん断変形によるたわみは、式(24)右辺の第二項と同じである。

以上よりスパン中央のたわみ式の結果のみ記すと以下のようにになる。

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{M_p}{E_w} \left\{ \frac{x_Y^3}{3 I_Y \mu L} + \frac{1}{\mu L} \int_{x_Y}^{\mu L} \frac{x^2}{I_{Y,P}} dx + \frac{L^2}{2 I_{Y,F}} \left(\frac{1}{4} - \mu^2 \right) \right\} \\ &\quad + \frac{k P_Y \cdot \mu L}{2 G_w A_w} \end{aligned} \quad (35)$$

右辺の中カッコ内の第二項は、前述のように区間 $x_Y \leq x \leq \mu L$ を適当に等分割して数値積分で求める。

(3)終局モーメント M_U 時

図-2(d)の実状態と(e)の仮想状態との間に仮想仕事の原理を適用する。領域 $x_Y \leq x \leq x_p$ において、鋼リブ断面内に塑性域と弾性域が混在している。すなわちこの区間では式(30)から式(32)が成り立つ。この区間の右側、 $x_p \leq x \leq L/2$ では

$$M_p \leq M(x) \leq M_U \quad (36)$$

となっており、リブ鋼板は全塑性状態にある。したがってこの区間では断面二次モーメントとして式(33)を用いる。せん断については全断面弾性であり、前項と同じである。スパン中央点のたわみ式として次式を得る

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{M_U}{E_w} \left\{ \frac{x_Y^3}{3 I_Y \mu L} + \frac{1}{\mu L} \int_{x_Y}^{x_p} \frac{x^2}{I_{Y,P}} dx + \frac{\mu^3 L^3 - x_p^3}{3 I_{Y,F} \mu L} \right. \\ &\quad \left. + \frac{L^2}{2 I_{Y,F}} \left(\frac{1}{4} - \mu^2 \right) \right\} + \frac{k P_U \cdot \mu L}{2 G_w A_w} \end{aligned} \quad (37)$$

4.実験

4.1 実験桁

図-3(a)に実験桁断面を示す。同図(b)に示すように桁長は4.2mでスパンは $L=4.0$ mとした。載荷点の位置は

$$\begin{aligned} a &= 88.0 \text{ cm} \\ \mu L &= 156 \text{ cm} \\ \mu &= 0.390 \end{aligned}$$

となっている。

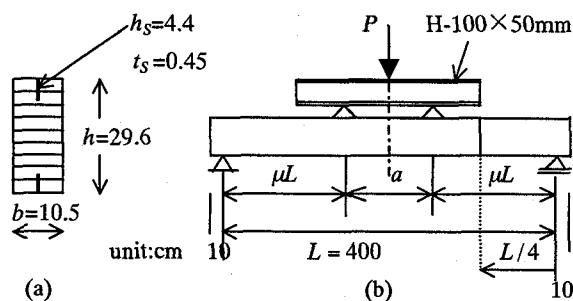


図-3 実験桁

集成材は9枚のラミナ(ひき板)から成っており、構造用接着剤レゾルシノールを用い、約24時間0.98MPaの機械的圧力によって圧縮して製作された。材料はベイマツである。実験に先立って、集成材の材料試験を行って物性値を調べた。すなわち上図と同一断面寸法を持った、リブ鋼板の無い(スリットも)桁3本の曲げ試験を、アメリカ材料試験協会の基準(ASTM D198)に準拠して行い⁴⁾、ヤング係数とせん断弾性係数について、表-1の結果を得た。

表-1 弾性係数

試験桁	E_w (MPa)	G_w (MPa)
1	14.97×10^3	425
2	13.99×10^3	365
3	15.06×10^3	306
平均	14.7×10^3	366

平均値は有効数字3桁とした。これよりヤング係数比(式(8))は次式となる。

$$n = \frac{E_s}{E_w} = \frac{2.06 \times 10^5}{14.7 \times 10^3} = 14$$

集成材の曲げ強度は特に試験を行わず、ヤング係数から推定した。すなわち強度等級E150-F435⁵⁾を採用した。リブ鋼板の降伏点は引張試験(1本)を行って求めた。これらを本論文の記法を用い、まとめて記すと

$$\sigma_{yw} = 43 \text{ MPa (集成材)}$$

$$\sigma_{ys} = 353 \text{ MPa (リブ鋼板)}$$

となる。

4.2 特定モーメント

前項の諸物性値を用いて特定モーメントとそのときの

荷重を式(23)より求めると表-2のようになる。

表-2 特定モーメントと荷重

モーメント	M_i と P_i	値	P_i/P_A
許容	M_A	30.8 kN·m	1.0
	P_A	39.5 kN	
降伏	M_Y	52.7 kN·m	1.7
	P_Y	67.5 kN	
リブ全塑性	M_P	71.1 kN·m	2.3
	P_P	91.2 kN	
終局	M_U	81.2 kN·m	2.6
	P_U	104.0 kN	

上の表で許容モーメント M_A とは、上下リブ鋼板のそれぞれの上縁および下縁の応力度が、許容応力度 $\sigma_{A,s} = 206 \text{ MPa}$ に達するときの弾性モーメントである。なお集成材の許容応力度は材料強度の1/3即ち $\sigma_{A,w} = \sigma_{yw}/3 = 14 \text{ MPa}$ であり、本実験桁の場合、リブ鋼板が先に許容応力度に到達する。

なおリブ全塑性モーメント M_P のとき、集成材の縁応力度は $\sigma_s \approx 36 \text{ MPa}$ であり、曲げ強度以下となっている。

また終局モーメントまたは終局荷重は、許容のそれらの値の2.6倍となった。この値が、本実験桁の安全性上妥当な値か否かは論議を要する。鋼材の安全率は1.7であるに対して、上述のように集成材の見掛けの安全率は3である。このような複合桁ではしたがって、 $P_U/P_A \leq 3$ となる。

4.3 たわみ

式(26)で定義されたせん断補正係数は、計算結果のみを示すと、 $k = 1.35$ が得られた。リブ鋼板が無い矩形断面では $k = 1.2$ であるから12.5%大きい。ただし集成材換算断面積 A_v や断面二次モーメント I_v もリブ鋼板の有無で変化するから、せん断変形によるたわみが12.5%大きくなるということではない。なお、これらの値および式(33)で導入した二次モーメントは次のようである。

$$A_v = 362 \text{ cm}^2$$

$$I_v = 3.09 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$I_{v,F} = 2.93 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$I_{v,F}$ はリブ鋼板が全塑性になった断面の二次モーメントである。

式(20)と式(22)で示した支点から降伏モーメント発生位置 x_Y およびリブ全塑性モーメント発生位置 x_P は表-2の値を用いて次のように得られる。

表-3 特定モーメント発生位置

荷重	x_Y	x_P
$P_i = P_P$	115.5 cm	—
$P_i = P_U$	101.2 cm	136.6 cm

すなわち当然であるが、終局モーメント時にはリブ鋼板の塑性域は支点方向へ広がり、桁全長の1/2ほどのリブ鋼板

が弾塑性状態にある($L-2x_y=1.98\text{ m}$)。

3.2の(2)で述べたようにリブ全塑性モーメント発生時には、弾塑性領域 $x_y \leq x \leq \mu L$ を適当に分割(今の場合10等分割)して、これら各点で式(5)を解いて、断面内の弾塑性境界の座標 y_p を求める。終局モーメント時には同様に、弾塑性領域 $x_y \leq x \leq x_p$ を分割して座標 y_p を数値的に求める。しかる後、これらの領域での弾塑性断面二次モーメント $I_{v,p}(x)$ を式(32)より求め、リブ全塑性モーメント発生時のたわみは式(35)より、終局モーメント時のそれは式(37)より得られる。結果のみを表-4に示す。

表-4 特定モーメント時のたわみ(cm)

モーメント	δ_M	δ_v	$\delta = \delta_M + \delta_v$	$\delta_v / \delta (\%)$
降伏	1.85	0.54	2.39	22.6
リブ全塑性	2.58	0.72	3.30	22.0
終局	2.96	0.83	3.79	21.8

この表で δ_M と δ_v はそれぞれ、曲げ変形とせん断変形によるたわみを表す。全たわみ δ に占める δ_v の比率は右欄に示すように、終局モーメントに近づくにつれて、若干低下している。これはリブ鋼板の塑性域が支点方向へ広がってゆくことに起因している。

4.4 実験結果

スパン中央点のたわみと、図-3に示したスパン中央断面、および支点から $L/4$ にある断面のひずみを測定した。集成材には桁の片側側面にひずみゲージを添付した。さらにこれら二断面のリブ鋼板にも、予めリブ縁から桁深さ方向へ10mmのところにはひずみゲージを添付した。

図-4に荷重とたわみの関係を、表-4の計算結果とともに示す。曲げ破壊荷重の実験値は $P_{U,EXP}=124\text{ kN}$ であり、予想値 $P_U=104\text{ kN}$ を19%上回っている。 $P=105\text{ kN}$ におけるたわみの実験値は $\delta=3.85\text{ cm}$ であり、表-4の $\delta=3.79\text{ cm}$ に非常に近い。しかし実験値も予想値もその非線形性は小さい。なおせん断変形によるたわみを無視(表-4の δ_M)した予想値は当然実験値より20%以上小さい。

最大荷重に達した後のたわみ挙動は複雑であるが、 $P-\delta$ 曲線で囲まれた面積は、リブ鋼板のない単なる集成材のそれより広いと定性的には言える。すなわちねばりは増したと言える。

図-5に $P=105\text{ kN}$ 時のスパン中央におけるひずみ分布を示す。図中には理論値($P_U=104\text{ kN}$)も記入してある。鋼リブと集成材のひずみは、荷重が大になるにつれてかい離しており、合成桁の仮定は検討を要する。

5. あとがき

矩形断面集成材の上下面に垂直にリブ鋼板を挿入して、

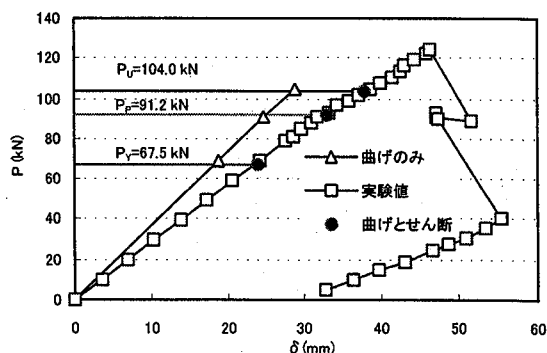


図-4 荷重—たわみ関係

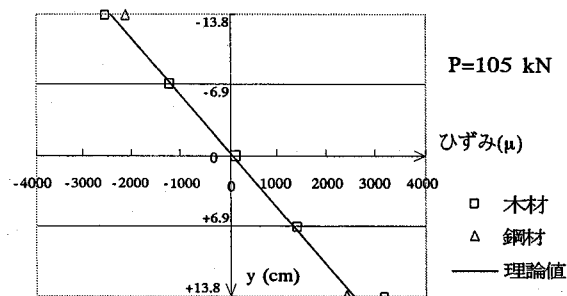


図-5 ひずみ分布

エポキシ樹脂で接着した桁を合成桁と見なして弾塑性解析を行った。始めにリブ鋼板縁が降伏点に達する降伏モーメント、次にリブ鋼板全体が塑性化するリブ全塑性モーメント、最後に集成材が曲げ強度に達し、引張り縁から脆性破壊を起こす終局モーメントを材料の断面定数と物性値で与えた。

次に二点对称荷重にある単純桁を対象として、リブ鋼板内部の弾塑性境界位置を決めるための三次方程式を示し、この部分の二次モーメントを提示した。この二次モーメントを用い、仮想仕事の原理から降伏モーメント、リブ全塑性モーメントおよび終局モーメント時のスパン中央点のたわみを求める手法を示し、実験桁に対してその値を求めた。たわみとひずみについて実験値と計算予想値は良い一致を見たが、終局荷重近傍では合成理論の仮定からかい離する傾向が見られた。今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 坪野貴志, 虹川友貴, 松沢強, 薄木征三: SW 桁の曲げ耐荷力に関する基礎的研究, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp.56-57, 1998.
- 2) 薄木征三, Sharma, M., 飯島泰男, 佐々木貴信, 長谷部薫: 鋼・集成材複合柱の座屈耐荷力, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.217-228, 2000.
- 3) 薄木征三, 佐々木貴信, 熱海明彦, Sharma, M.: 集成材・鋼床版ハイブリット桁リブ鋼板のせん断応力度, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.1221-1227, 2001.
- 4) 長谷部薫, 薄木征三: 集成材はりの横座屈解析と実験, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.963-970, 1992.
- 5) 木造建築研究フォーラム: 集成材建築の新たな展開, pp.213, 1996.

(2002年9月13日受付)