

集成材・鋼床版ハイブリット桁リブ鋼板のせん断応力度

Shearing Stress of Longitudinal Rib Plate of Hybrid Timber Beam and Orthotropic Steel Deck

薄木征三*, 佐々木貴信**, 熱海明彦***, Mohan P. Sharma****

Seizo Usuki, Takanobu Sasaki, Akihiko Atsumi, Mohan P. Sharma

* 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)秋田県立大学助手 木材高度加工研究所(〒016-0876 能代市海詠坂 11-1)

*** 日本製鋼所室蘭製作所 橋梁 Gr. (〒051-8505 室蘭市茶津町 4 番地)

**** 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)

A new type of composite timber bridge having hybrid timber beam and orthotropic steel deck is presented. Ribbed steel plates are inserted vertically into the top and bottom surface of the beams. The top ribbed steel plates welded to the bottom surface of the steel deck plate act as shear connectors and the bottom ribbed steel plates compensate bending rigidity of the beams. The shearing stress acting on the surface of the longitudinal shear connector is obtained by considering equilibrium equations for the element of steel plates after deriving normal stress in the direction of beam depth and shearing stress due to bending and are used in design of the new type of composite timber bridges. This theory can be applied to the proto type timber bridge having two span continuous beam stiffened by truss frame.

Key Words: composite timber bridge, hybrid, orthotropic steel deck, shear connector, shearing stress

1. まえがき

近年歩道橋をはじめとして運材を目的とする林道にも集成材を主構造に採用した木橋が架設されることが珍しいことではなくなりつつある。正確な統計はないが、日常的に自動車を通すことのできる林道橋は、平成 11 年度現在で 17 橋と思われる¹⁾。これらいわゆる近代木橋と称せられる集成材を主構造とした林道橋には道路橋示方書・同解説²⁾に相当する設計基準はない。鋼材の許容応力度や荷重は同書に準じているが、集成材など木材については、農林規格を含めて日本建築学会の諸基準を適用しているのが実状である³⁾。

特に鋼橋などとの大きな違いは、言うまでもなく木材の防腐・耐腐朽設計である。これには木材に防腐薬剤を加圧注入するなどの化学的方法と、橋梁全体を屋根で覆ったりあるいは下路形式アーチ橋ではアーチリブを小屋根で覆ったりする、構造的な方法がある。これらは橋梁形式別に、樹種別に、あるいは地域別に工夫されてしかるべきであり、必ずしも統一基準を必要とするものではない。しかしながら、構造的防腐法を考えた場合、特に床版構造がその下部の主桁あるいは上路形式アーチ橋のアーチリブの屋根の機能を兼ねることから、その耐腐朽性に十分考慮する必要がある。

これまでは我が国では集成材パネルを橋軸直角方向に敷き並べる方法⁴⁾およびプレストレスト木床版を用いる方法⁵⁾が採用されている。これらはいずれもカナダやアメリカでの手法を導入したものであり、我が国の風土に適するか否かはこしばく観察しなければならない。というのもこれらの国では、集成材に仕上げた後にクレオソートあるいは PCP(ペンタ・クロロフェノール)を材に加圧注入している。前者の薬剤は環境問題から我が国では処理装置が減

少しており、後者は生産が禁止されているからである。

ここでは化学的処理を最小限に抑え、かつ耐腐朽性が高いと思われる床版として鋼床版を考え、第一段階としてその力学上の性質を明らかにする。鋼床版と集成材桁を合成桁と考えて、解析と実験を行った報告⁶⁾はあるが、本報告とは合成法が異なる。すなわち鋼床版のデッキプレート下面に、橋軸方向へ向かうリブ鋼板を垂直に溶接し、これを集成材に加工したスリット(溝)に挿入して接着接合するものである。これは鋼・コンクリート合成桁におけるずれ止めに相当する役割を担う。そして U-リブなどの縦リブで補剛された鋼床版をこれと等価なデッキプレートに換算し、せん断力による断面各部のせん断流の評価およびリブ鋼板側面に発生するせん断応力の評価を行う。

最後に現在架設工事中の二径間連続桁を基本構造とし、各径間をキングポスト・トラスで補剛した実橋を対象として本理論を適用し、注目する断面に発生するせん断力を用いて、上記のせん断流およびせん断応力の評価を行った。

2. ハイブリット合成断面のせん断流

2.1 集成材ダブル・ビームと鋼床版

図-1 に本研究で対象とする一軸対称ハイブリット合成断面(以下単に合成断面という)を示す。板厚が t の鋼床版には、上リブ鋼板 2 枚がスミ肉溶接されており、この上リブが集成材に加工されたスリット(溝)に挿入され、樹脂で接着接合される。したがって、外力に対して上リブはシェアーコネクター(ずれ止め)の役割を担うことになる。

同様に桁下部には下リブ鋼板がスリットに挿入され、樹脂で接着

接合される。これは断面性能を高めるとともに、図心 O の位置が桁上面に近づくのを防ぎ、桁上面から下方へ移動させるためである。後節 7. ではキングポスト・トラスで補鋼した 2 径間連続桁を取り上げるが、トラスの斜材や吊材は図-1 の 2 本の集成材桁にはさまれた空間に挿入されピン結合される。この時、桁上面から $4d$ (d =ピン径) 以上の距離を確保する必要がある³⁾。この時図-1 に示すように、図心 O とピン中心線が離れると偏心による付加応力が無視できなくなるからである。

樹脂による接着作業の施工上の便から、これら集成材に刻まれるスリットの深さは、リブの高さ(板幅)に 1mm を、スリットの幅は、リブの板厚に 3mm をそれぞれ加えた値となっている。したがってスリット内面とリブ鋼板表面の間には樹脂層が存在することになる。

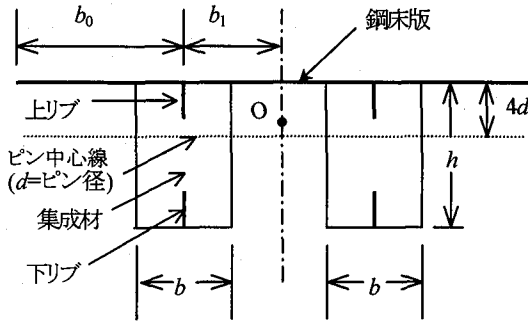


図-1 集成材・鋼一軸対称断面

しかし、樹脂そのものの強度や弾性係数は集成材と同じ程度のオーダーであることから⁹⁾、合成断面として応力解析を行うにあたっては、集成材と同等と考え、樹脂層の存在は無視する。外力に対して上下リブ鋼板と集成材は一体となって変形し、ずれは生じないものと仮定する。

なお U リブなど橋軸方向の縦リブは、後述 7.2 の方法で等価な板厚 t に換算される。図-1 のように集成材の桁を近接して配置した構造はダブル・ビームと呼ばれており、これらが幅員方向に複数配列されて、橋梁断面を構成する。

2.2 曲げに伴うせん断流

断面の一軸対称性より、図-1 の断面の 1/2 を考察する。図-2 に座標と記号を示す。鋼床版の両端に番号①と③を、上リブ鋼板の上下端に②、④を、下リブ鋼板の上下端に⑤、⑥を付す。ここで桁上面と鋼床版は接着されておらず、そのため鋼床版部分は薄肉断面を構成するものと見なす。

合成断面としての図心を座標 y, z の原点にとり、原点を通る部材軸を x 軸とする。図示のように、桁の断面寸法は $b \times h$ 、上リブと下リブの寸法はそれぞれ $t_U \times h_U$ および $t_L \times h_L$ である。

(1) 鋼床版部

鋼床版部の薄肉中心線に沿う座標を s とすると、微少要素 $ds \times dx$ の部材軸方向の釣合より、薄肉中心線に沿うせん断流は、せん断応力を τ_s 、板厚を t として周知の

$$\tau_s t = - \int_0^s \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} t ds \quad (1)$$

となる。断面に作用する曲げモーメントを M 、木換算断面二次モーメントを I (いずれも図-2 の断面に対して) とすると式右辺の曲げ

応力度 σ_x は、合成梁理論より

$$\sigma_x = \frac{nM}{I} y \quad (2)$$

ここで E_s, E_w を鋼および集成材のヤング係数として

$$n = \frac{E_s}{E_w} \quad (3)$$

はヤング係数比である。式(2)、(3)を式(1)に代入すれば

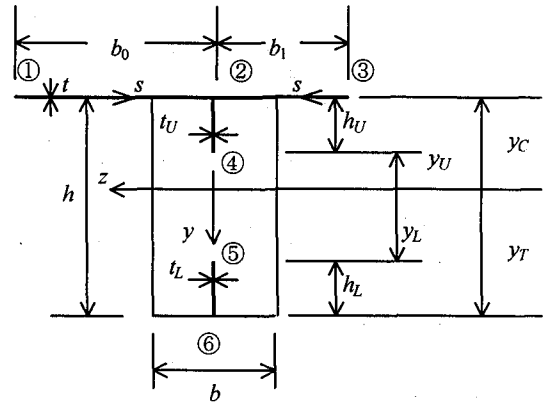


図-2 座標と記号

$$\tau_s t = - \frac{V}{I} Q \quad (4)$$

$$Q = n y_C t \times s \quad (5)$$

となる。ここで $V = dM/dx$ はせん断力、 y_C は薄肉中心線の y 座標である。 $Q(s)$ は $s=0$ (鋼床版自由縁) と任意点 s の部分の木換算一次モーメントである。

(2) 桁内部

以下同様に断面内各部のせん断流が求められる。このとき図-2 において、例えば上リブ鋼板を含む、番号②と④の z 軸に平行な中間位置では、桁幅方向にはせん断応力は一定であると仮定する。これはせん断ひずみを無視する梁理論に論拠していることに由来する限界である。

結果として、桁内部のせん断流は次式となる。

$$\tau_s b = - \frac{V}{I} Q \quad (6)$$

y 座標の領域ごとに一次モーメント Q を書くと以下のようなものである。

a. ②→④

$$Q = n A_f y_C + \int_{y_C}^y y b_U dy \quad (7)$$

ここで積分記号内の

$$b_U = b + (n-1)t_U \quad (8)$$

は木換算桁幅であり、 $A_f = (b_0 + b_1)t$ は鋼床版の断面積である。

b. ④→⑤

$$Q = Q(y_U) + \int_{y_U}^y y b dy \quad (9)$$

ここで $Q(y_U)$ は、式(7)で $y = y_U$ とおいたもの、つまり

$$Q(y_U) = n A_f y_C + \int_{y_C}^{y_U} y b_U dy \quad (10)$$

c. ⑤→⑥

$$Q = -\int_y^{y_T} y b_L dy \quad (11)$$

ここで

$$b_L = b + (n-1)t_L \quad (12)$$

は木換算桁幅である。以上において積分記号の項は、すべて座標 y の二次式である。なお式(11)より

$$Q(y_T) = 0 \quad (13)$$

という性質を持つ。つまり当然のことながら、桁下面で一次モーメントは零となる。

3. 桁高方向垂直応力

前節で求められたせん断流と曲げ応力度を用いて、微少要素の鉛直方向の釣合から、桁高さ方向に作用する垂直応力度が求められるのは、均一な材料から成る、長方形断面梁の場合と同様である⁷⁾。すなわち集成材では、繊維方向(部材軸方向)と繊維直角方向(桁高さ方向)でヤング係数が異なるのであるが、桁高さ方向のひずみは無視するのが、梁理論の仮定だからである。

例えば図-2の番号⑤と⑥の間に生じている垂直応力度 σ_y は、図-3に示す微少要素の鉛直方向(y 軸方向)の釣合より

$$\sigma_y b = \frac{dV_y}{dx} \quad (14)$$

ここで V_y は座標 y と $y=y_T$ (桁下面)に挟まれた図-3の斜線部分に作用するせん断力である。これは式(6)で与えられるせん断流を斜線部分にわたって積分することで得られる。そしてせん断力と荷重の基本関係式、 $pb = -dV/dx$ を用いると、垂直応力度 σ_y は荷重強度 p に比例する形で表される。ここで p は、死荷重や活荷重が桁上面に均等に作用するとしたときの、荷重強度である。

座標 y の領域ごとに結果のみ記すと以下のようなである。

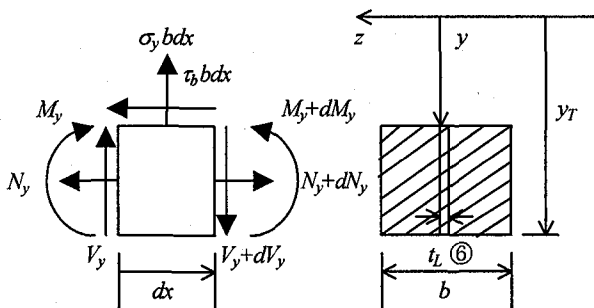


図-3 垂直方向直応力度 σ_y

a. ⑤→⑥

$$\sigma_y b = \frac{pb}{I} ([Qy]_y^{y_T} - I_z) \quad (15)$$

ここで

$$I_z = \int_y^{y_T} y^2 b_L dy \quad (16)$$

は図-3の斜線部分の木換算断面二次モーメントである。一次モーメント $Q(y)$ は式(11)であり、式(13)によって $Q(y_T) = 0$ である(桁下面で $\sigma_y = 0$)。

b. ④→⑤

式(15)は同じで、 $Q(y)$ は式(9)を使う。木換算断面二次モーメントは

$$I_z = \int_y^{y_L} y^2 b dy + \int_{y_L}^{y_T} y^2 b_L dy \quad (17)$$

c. ②→④

$$\sigma_y b = -\frac{pb}{I} ([Qy]_y^{y_c} - I_z) - pb \quad (18)$$

ここで $Q(y)$ は式(7)であり、木換算断面二次モーメントは

$$I_z = \int_{y_c}^y y^2 b_U dy \quad (19)$$

となる。当然のことであるが、桁上面($y=y_c$)で $\sigma_y = -p$ となっている。

4. リブ鋼板に作用する断面力

リブ鋼板側面に作用するせん断応力を明らかにするためには、これがリブに作用する荷重(表面力)に相当するものであるから、これら鋼板断面に生じている断面力を評価しておかなければならない。2.において合成断面に生じるせん断流が明らかになったので、これと既知の曲げ応力度を用いて、これらを断面力の定義に基づいて、リブ断面内で積分すれば所要の力学量が得られる。

4.1 鋼床版と上リブ

図-4に示すように、鋼床版と上リブを分離して、上リブ図心に関する軸力を N_U 、曲げモーメントを M_U 、せん断力を V_U とする。座標 $\bar{y}$ は上リブ図心に原点を置く。

式(2)で与えられる曲げ応力度、式(6)で与えられるせん断流を用いれば、これら断面力は次式となる。

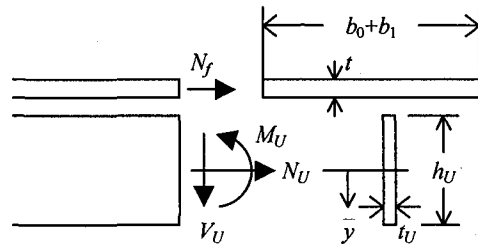


図-4 鋼床版と上リブ

$$V_U = -\frac{V}{I} \frac{t_U}{b} ([Qy]_{y_c}^{y_U} - I_U) \quad (20)$$

$$N_U = \frac{nM}{I} \frac{y_U + y_c}{2} A_U \quad (21)$$

$$M_U = nM \times \frac{I_U}{I} \quad (22)$$

以上で

$$A_U = t_U h_U \quad (23)$$

は上リブの断面積、

$$I_U = \int_{y_c}^{y_U} y^2 b_U dy \quad (24)$$

$$I_U = \frac{t_U h_U^3}{12} \quad (25)$$

は、それぞれ図-2 で番号②から④の上リブを含む部分の木換算断面二次モーメント、および上リブの上リブ図心に関する断面二次モーメントを表す。

鋼床版に生じる軸力は

$$N_f = \frac{nM}{I} \times y_c A_f \quad (26)$$

ここで A_f は鋼床版の断面積である(式(7))。この軸力による断面全体の図心に関する曲げモーメントを M_f とすると

$$M_f = N_f \times y_c \quad (27)$$

4.2 下リブ

前項の上リブの場合と同様に進行する。下リブ図心に関する軸力を N_L 、曲げモーメントを M_L 、せん断力を V_L とする。座標 $\bar{y}$ は下リブ図心に原点を置く。結果のみ記すと以下のようである。

$$V_L = -\frac{V}{I} \frac{t_L}{b} [(Qy)_L^y - I_L] \quad (28)$$

$$N_L = \frac{nM}{I} \frac{y_T + y_L}{2} A_L \quad (29)$$

$$M_L = nM \times \frac{I_L}{I} \quad (30)$$

以上で

$$A_L = t_L h_L \quad (31)$$

は下リブの断面積、

$$I_L = \int_{y_L}^{y_T} y^2 b_L dy \quad (32)$$

$$I_L = \frac{t_L h_L^3}{12} \quad (33)$$

は、それぞれ図-2 で番号⑤から⑥の下リブを含む部分の木換算断面二次モーメントおよび下リブの下リブ図心に関する断面二次モーメントを表す。

5. リブ鋼板に作用する荷重

5.1 上リブ

前節までに得られた諸応力と断面力を、上リブの微小要素 $t_U \times h_U \times dx$ に作用させたものを、図-5 に示す。ここで3.で述べたように、分布荷重 p は桁幅 b に亘って均等に分布するものと見なしている。上リブ上縁にはリブ板厚 t_U に相当する荷重分 $p \times t_U$ が作用する、としている。

これら荷重を含む諸応力と断面力だけでは、微小要素は釣り合うことはできない。これはリブ鋼板とその周辺の集成材のヤング係数が異なるため、と考えられる。そこで釣合を満たすべく微小要素の両側面に図示のように、三つの荷重を作用させてみる。

すなわち、軸方向荷重 n_x 、垂直方向荷重 n_y 、モーメント荷重 m_z である。これらはいずれも、部材軸方向単位長さ当たりの分布荷重強度を表す。微小要素の部材軸方向(x 軸方向)、垂直方向(y 軸方向)および回転(z 軸回り)の釣合条件より、次の関係が得られる。

$$n_x = -\frac{dN_U}{dx} + \{\tau_b(y_c) - \tau_b(y_U)\} t_U \quad (34)$$

$$n_y = -\frac{dV_U}{dx} - p t_U - \sigma_y(y_U) t_U \quad (35)$$

$$m_z = -\frac{dM_U}{dx} + V_U - \{\tau_b(y_U) + \tau_b(y_c)\} \frac{t_U h_U}{2} \quad (36)$$

ここで例えば $\tau_b(y_U)$ などは、せん断応力 $\tau_b(y)$ の $y=y_U$ での値を表す。せん断応力に式(6)、垂直直方向応力に式(18)を代入して整理すると、以上の3種の荷重は次のようになる。

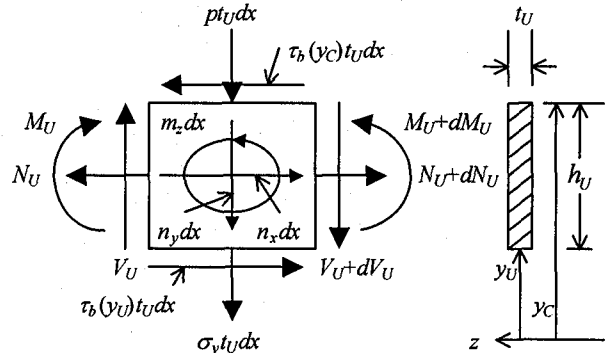


図-5 上リブ鋼板に作用する力

$$n_x = -\frac{V}{I} (n-1) \left(1 - \frac{t_U}{b}\right) \frac{y_c + y_U}{2} A_U \quad (37)$$

$$n_y = 0 \quad (38)$$

$$m_z = -\frac{V}{I} (n-1) \left(1 - \frac{t_U}{b}\right) I_U \quad (39)$$

以上より梁を構成する材料が同一のとき、すなわちヤング係数比 $n = E_s/E_w$ が

$$n=1 \quad (40)$$

のとき、すべての荷重は消失し

$$n_x = m_z = 0 \quad (41)$$

となり、同一の材料から成る梁の力学に一致する。

5.2 下リブ鋼板

上リブ鋼板と同様に進行するが、荷重 p が要素に直接作用しない点だけが異なる。せん断応力には式(6)と式(9)、垂直方向応力には式(15)を用いる。下リブ鋼板側面に作用する荷重の結果のみ記すと、以下のようになる。

$$n_x = -\frac{V}{I} (n-1) \left(1 - \frac{t_L}{b}\right) \frac{y_T + y_L}{2} A_L \quad (42)$$

$$m_z = -\frac{V}{I} (n-1) \left(1 - \frac{t_L}{b}\right) I_L \quad (43)$$

これらは、上リブ鋼板の結果と同型であり、単にサフィックスを入れ替えたものとなっている。垂直方向荷重は生ぜず式(38)は下リブに対しても成り立ち、 $n=1$ のとき式(41)が成り立つのも同様である。

6. リブ鋼板に作用するせん断応力

前節で求められた部材軸方向荷重とモーメント荷重は、リブ側面と樹脂接着層の間の、せん断応力として互いに作用しあうと考えら

れる。これを τ_r と記すと、 τ_r のリップ深さ方向への分布形を直線分布で近似してみる(図-6 参照)。

上リップについて見ると、前節までと同様にリップ図心に座標 $\bar{y}$ の原点をとって、

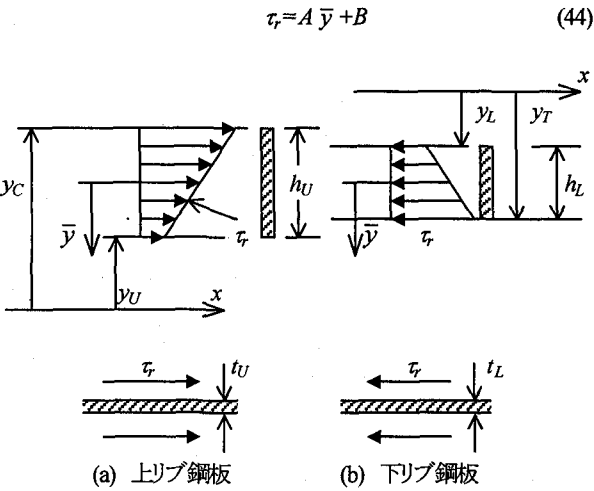


図-6 リブ鋼板側面のせん断応力分布

前節で導入した、軸方向荷重とモーメント荷重はそれぞれ

$$n_x = 2 \int_{-h_u/2}^{h_u/2} \tau_r d\bar{y} \tag{45}$$

$$m_z = 2 \int_{-h_u/2}^{h_u/2} \tau_r \bar{y} d\bar{y} \tag{46}$$

と定義される。右辺の乗数2は、2側面にせん断応力が作用することを表す。これらに式(44)を代入して

$$A = \frac{6m_z}{h_u^3} = -\frac{V}{I}(n-1)\left(1-\frac{t_u}{b}\right)\frac{t_u}{2} \tag{47}$$

$$B = \frac{n_x}{2h_u} = -\frac{V}{I}(n-1)\left(1-\frac{t_u}{b}\right)\frac{t_u(y_U+y_C)}{4} \tag{48}$$

を得る。ここで式(37)の n_x と式(39)の m_z が用いられた。

式(44)で $\tau_r=0$ と置いて、上式の関係を考慮すると

$$\bar{y} = -\frac{B}{A} = -\frac{y_U+y_C}{2} \tag{49}$$

となり、これは合成断面図心に一致する。つまり図-6(a)でせん断応

力の分布を表す直線を下へ延長すると、断面の図心 (x 軸上の点) を通過する。

図-6(b)の下リップ鋼板についても、全く同様の議論が成り立ち、

$$\tau_r = C \bar{y} + D \tag{50}$$

と近似すれば、式(42), (43)を用いて

$$C = \frac{6m_z}{h_l^3} = -\frac{V}{I}(n-1)\left(1-\frac{t_l}{b}\right)\frac{t_l}{2} \tag{51}$$

$$D = \frac{n_x}{2h_l} = -\frac{V}{I}(n-1)\left(1-\frac{t_l}{b}\right)\frac{t_l(y_L+y_T)}{4} \tag{52}$$

を得る。せん断応力が零となる点は

$$\bar{y} = -\frac{D}{C} = -\frac{y_L+y_T}{2} \tag{53}$$

これも図心の位置に一致する。

7. 実橋への適用

7.1 橋梁概要

現在架設工事の坊中橋(秋田県藤里町)は二径間連続桁の各径間をキングポスト・トラスで補剛した、我が国では珍しい橋梁形式である¹⁾。図-7(a), (b)に一般図を示す。①などは継手位置を表す。藤琴川を跨ぐ本橋は、橋長 55.0m、車道幅員 7.0m、片側歩道幅員 2.0m を有し、A 活荷重で設計されている。中間支点上で、歩道を有する側(上流側)の橋梁断面を図-8 に示す。

図のように車道部はU-リブと横リブ(橋軸方向の間隔2.075m)で、歩道部は平鋼で補剛された鋼床版となっており、デッキプレートは 12 mm の板厚を有する。スギ集成材から成る、ダブルビーム二本が主桁を構成しており、主桁間隔に相当するダブルビームの中心間隔は、8.55m となっている。

トラス部の図は省略するが、図-8 のダブルビームと集成材ブロックに囲まれた空間に、鋼ボックスで補剛された上弦材下部が挿入され、ダブルビームを幅員方向へ貫通するピンで固定される。

図中の λ_2 , λ_3 は道路橋示方書・同解説²⁾に基づいて求められた支点上の有効幅である。せん断応力度の応力照査は、支点から橋軸方向へ桁高(1000mm)離れた位置の断面で行う³⁾ことになっている。この位置での有効幅は、結果のみ記すと、 $\lambda_2=185.5$ cm, $\lambda_3=157.1$ cm である。

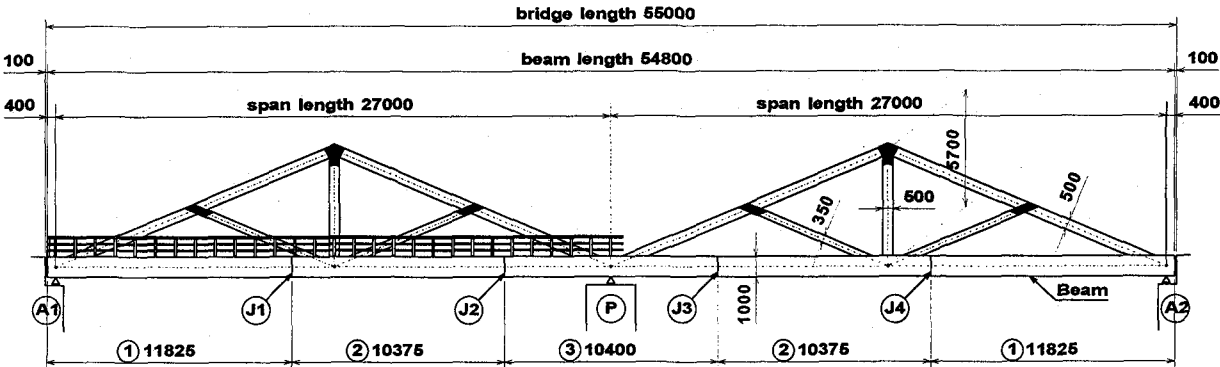


図-7(a) 側面図

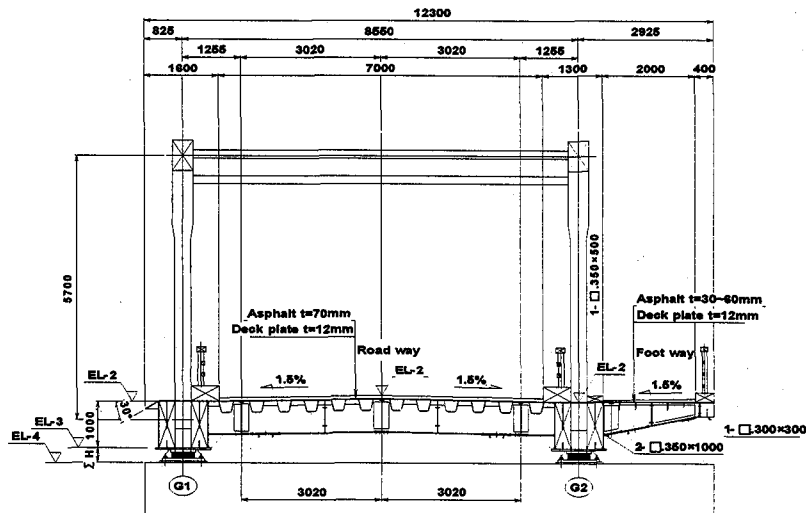


図-7(b) 横断面図

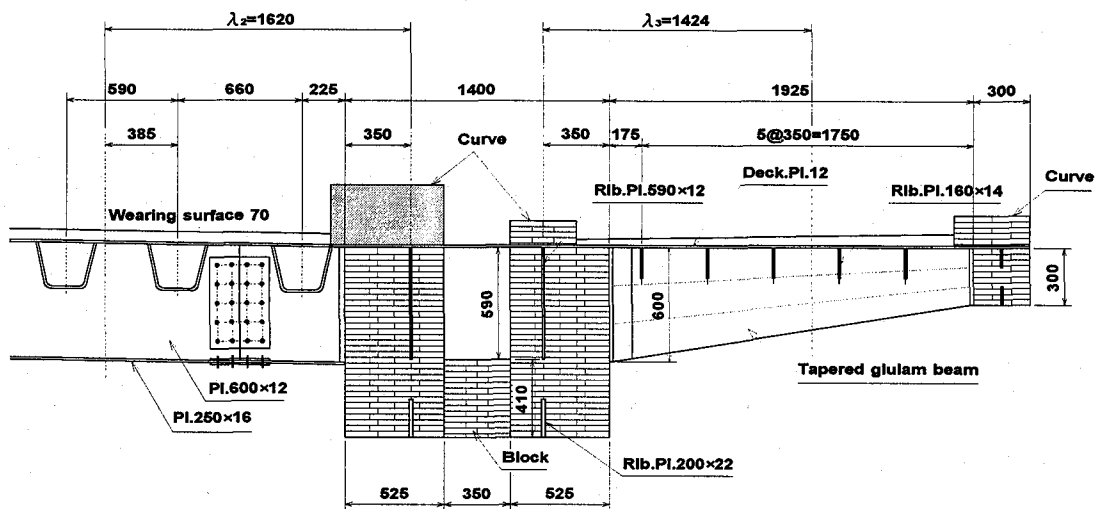


図-8 支点上断面図(歩道側)

7.2 結果

2.1 で述べたように、有効幅内にある U-リブなど縦リブは等価な断面二次モーメントをもつ、デッキプレート厚 t に換算する。そしてデッキプレートを左右に若干移動して一軸対称断面とする。このように近似するとデッキプレートを通れるせん断力は近似解となるが、せん断力 V は言うまでもなく集成材桁断面内で鉛直方向に作用するのであるから、集成材桁断面内の鉛直方向せん断流に及ぼす影響は小さいと思われる。

表-1 に断面諸定数と平面骨組み構造として得られた断面力を示す。図-8 におけるダブルビームの中間を埋める集成材ブロックは、支点反力(117tf)を分散させるために挿入されたもので、断面定数には考慮しない。また集成材のヤング係数 E_W は、スギ集成材の標準値⁸⁾を採用した。

前節までの結果から、上下リブ側面に生ずるせん断応力度はせん断力 V に比例する。それ故表-1 にはせん断力最大時の断面力を掲げた。せん断力以外の、断面力は参考のために載せたもので、本項のせん断応力の計算には無関係である。

せん断流(Q-図)とリブ側面に発生するせん断応力度の計算結

果を図-9 に示す。左図(a)において、せん断流の最大値は図心で生じ、これは上リブ鋼板を含む領域にあり、式(7)が適用される。せん断応力の値は、表-1 の結果と桁幅 $b=52.5\text{cm}$ を用いて

表-1 断面諸定数と断面力

ヤング係数比	$n=E_S/E_W=2.1 \times 10^6/7.5 \times 10^4=28$
有効幅	$\lambda_2=185.5\text{cm}, \lambda_3=157.1\text{cm}$
b_0+b_1	$=(\lambda_2+\lambda_3+c)/2=(185.5+157.1+70.0)/2=206.3\text{cm}$ (c =上リブ間隔, $b_0=35.0\text{cm}, b_1=171.3\text{cm}$)
上リブ	$h_U=33.0\text{cm}, t_U=1.2\text{cm}$
下リブ	$h_L=20.0\text{cm}, t_L=2.2\text{cm}$
U-リブ	$I_U=2460\text{cm}^4, A_U=40.3\text{cm}^2$
I	$1.77 \times 10^7\text{cm}^4$ (木換算)
t	1.34cm (換算板厚)
図心	$e=-24.6\text{cm}$ (桁高中心からの座標)
座標	上リブ: $y_C=-25.4\text{cm}, y_U=7.6\text{cm}$ 下リブ: $y_L=54.6\text{cm}, y_T=74.6\text{cm}$
断面力 (せん断力最大時)	$V=35.5\text{tf}$ $M=-70.1\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=51.5\text{tf}$

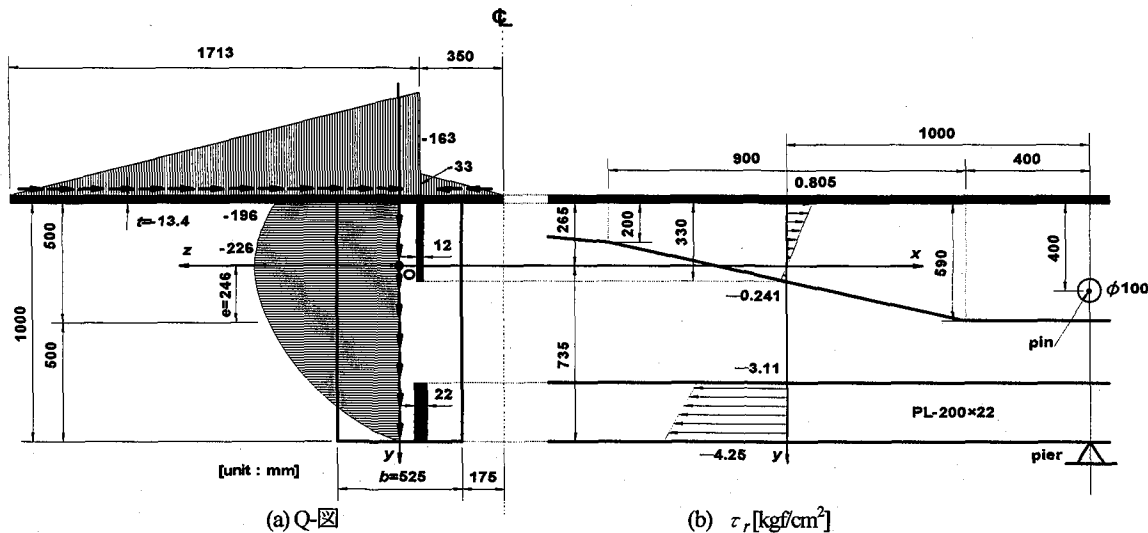


図-9 せん断流(左)とせん断応力(右)分布

$$\tau_b b = -\frac{V}{I} \times Q = \frac{35.5 \times 10^3 \times 226 \times 10^3}{1.77 \times 10^7} = 452 \text{ [kgf/cm]}$$

$$\therefore \tau_b = \frac{452}{52.5} = 8.6 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

となる。この値はスギの許容せん断応力度 $f_a = 9 \text{ kgf/cm}^2$ より、4.4% 小さい。

図-9(b)は、上リブに対して式(44)より、下リブに対して式(50)より求められたものである。せん断応力の最大値は下リブ下端で発生し、図のように $\tau_r \approx 4.3 \text{ kgf/cm}^2$ は、上述のスギの許容せん断応力度 $f_a = 9 \text{ kgf/cm}^2$ の 48% に収まっている。ここで従前の実験結果⁹⁾より、鋼板とスギ集成材の空隙を埋める樹脂層(約 1.5mm 厚)のせん断強度は、スギ集成材そのもののせん断強度より大きく、許容せん断応力としてスギ集成材のそれを採用できる、としたものである。

なお上リブ鋼板の高さ(記号 h_0)は、図(b)のように中間支点近傍で最大高さ 590mm となっており、径間中央部へ向かって漸減している。これは 7.1 で述べたようにトラス上弦材下部を上リブと共にピン結合し、構造の一体化を計ったためである。

8. あとがき

集成材を主桁とする木橋の耐腐朽性を構造的に向上させると共に、軽量化を計ることによって桁高を抑えることを主な目的として、床構造に鋼床版を採用した橋梁形式を取り上げた。

鋼床版下側に垂直に溶接された、上リブを介して鋼床版と集成材主桁は合成断面を構成するものと考え、既往の合成桁の理論を適用し、鋼床版をある板厚を持った薄肉要素に換算したときの、せん断応力を評価した。得られた結果をまとめると以下のようになる。

(1) 集成材の桁はダブルビームとし、鋼床版と共に一軸対称断面を構成するものとし、鋼床版および桁部分のせん断流を明らかに

した。

(2) 桁内部に発生する垂直方向直応力を、せん断力の釣合から、この種の断面に対して初めて明らかにした。

(3) 上リブおよび下リブ断面に作用する、各々の断面力は釣合を満たすことはできない。このためリブ側面には荷重が作用しなければならず、リブ微小要素の釣合からこれらを求めた。

(4) これら各リブに作用する部材軸方向およびモーメント荷重は、断面に作用するせん断力と $(n-1)$ に比例する。ここで n は鋼と集成材のヤング係数比である。よって均一な一つの材料から成る場合は当然消失する。

(5) 実橋に適用して、 $n=28$ の場合の断面内のせん断流およびリブ側面に発生するせん断応力を具体的に示した。

参考文献

- 1) Usuki, S., Atsumi, A., Sudo, S. and Iijima, Y.: A new timber beam bridge with an orthotropic steel deck, Proc. of World Conference on Timber Engineering 2000, Whistler, BC, Canada, 8.3.3-1-8.3.3-7, 2000.
- 2) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編 II 鋼橋編, 1996.
- 3) (財)日本住宅・木材技術センター編著: 木橋づくり新時代、ぎょうせい、1995.
- 4) 薄木征三、長谷部薫: 集成材を主構造とした坊川林道橋の防腐処理と架設、土木学会論文集、第 403 号/VI-10, pp.249-255, 1989.
- 5) 佐々木貴信、薄木征三、長谷部薫、飯島泰男: 湿度変動下におけるプレストレス LVL 床版のクリープ挙動に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.45A, pp.1335-1342, 1999.
- 6) Watanabe, N., Usuki, S. and Watanabe, O.: On experimental study of steel stiffened wooden beams, Proc. of the Sixth East-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, pp.2111-2116, Taipei, Taiwan, 1998.
- 7) Oden, J.T. and Ripperger, E.A.: Mechanics of elastic structures, Hemisphere Pub. Corp., 1980.
- 8) 青山政和: 木材利用ハンドブック、(財)秋田県木材高度加工推進機構、1998.
- 9) 薄木征三、佐々木貴信、長谷部薫、大原真也: 鋼板、樹脂およびピンによる集成材主桁の接合、構造工学論文集、Vol.44A, pp.1241-1250, 1998.

(2000 年 9 月 14 日 受付)