

## 集成材格子桁橋の支間長と桁配置に関する検討

**Study on span length and girder position of grillage girder bridges using glued laminated timbers**

○平沢秀之\*

HIRASAWA Hideyuki

\*博(工学) 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

**ABSTRACT** Grillage girder bridges using large size glued laminated timbers are taken as an object of study. Compared with suspension bridge or arch bridge, the grillage girder bridge has simple structure and it is appropriate to short span bridge. To make its span longer, it is necessary to increase main girders or to enlarge the cross sectional area of each main girder. However, the enlargement of cross section is limited by reason of fabrication of glued laminated timber. The present study investigates the appropriate number and cross section of glued laminated girder according to span length, by designing many grillage girder bridges with the number of main girder and span length as parameters.

**Keywords :** 集成材、格子桁橋、許容応力度、骨組構造解析  
*glued laminated timber, grillage girder bridge, allowable stress, framed structure analysis*

### 1. まえがき

主桁やアーチ部材等の主構造に集成材を使用した近代木橋が、近年我が国で数多く架けられるようになっている。古典的木橋に使用される丸太や製材と比較して、集成材は多くの優れた特長を有している。すなわち、材質のばらつきが小さい、集成接着する前に十分に人工乾燥させるため割れや狂いが生じにくい、材料強度が大きい等の材料としての高い性能を有している。更に、製造技術が確立されているため、規格に適合した製品が安定的に供給されること、大断面部材や湾曲部材を製造できることも長所として挙げられる。

集成材を用いれば、材料強度が大きいことと大断面とすることができるため、古典的木橋よりも規模の大きい橋梁を建設することが可能である。集成材を使用した長スパン橋として、歩道橋では深沢橋歩道橋(単純桁橋、スパン=29.5[m]、1998年)、車道橋では金峰2000年橋(上路アーチ橋、スパン=36.9[m]、2000年)を例として挙げることができる<sup>1)</sup>。歩道橋では荷重が小さいため、桁橋でもある程度支間を長くすることができるが、車道橋の場合はアーチ橋や吊り形式橋等を採用しないと長スパン化することが難しいと考えられる。桁橋で支間長を長くするためには、主桁本数を多くするか、主桁1本当たりの断面を大きくする必要がある。しかし、断面の大型化は集成材の製作上の制約から、限界がある。

本研究は、桁橋に属する格子桁橋を対象とし、主桁本数と支間長をパラメータとして、A活荷重による試設計を行い、支間長に応じた最適な主桁本数や主桁断面を検討するものである。また、主桁の桁高を集成材製作上の制約条件に取り、格子桁橋の限界支間長を求めている。構造解析には、せん断、曲げ、純ねじりを考慮した剛性マトリックス法を適用している。

### 2. 格子桁橋の設計条件

試設計の対象とする橋梁は、図-1のような主桁n本、横桁3本(端横桁を含めると5本)から成る格子桁橋とする。主桁本数はn = 4, 5, …, 10本の7通りである。幅員は7[m]で一定とし、支間長を

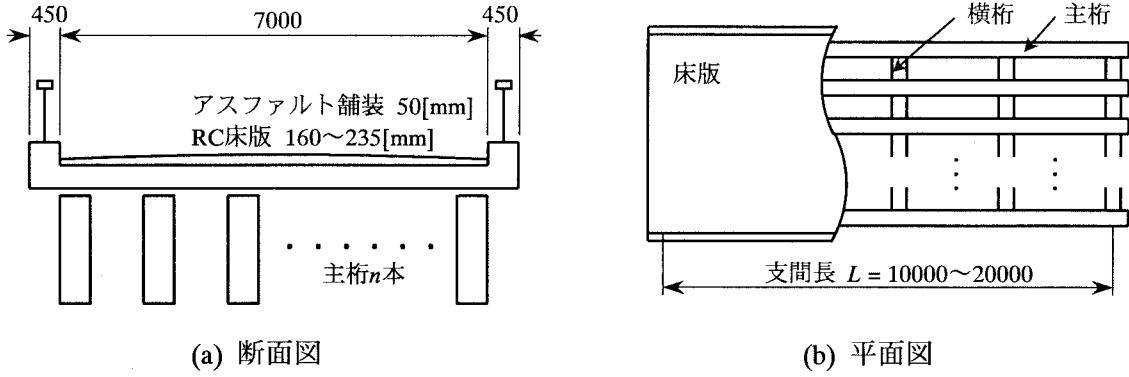


図-1 集成材格子桁橋の概略図

10[m], 12.5[m], 15[m], 17.5[m], 20[m]の5通りを設定する。従って合計35通りの設計を行う。床版はRC床版とし、主桁との合成作用は無いものと仮定する。床版厚は道路橋示方書<sup>2)</sup>の規定を採用し、床版支間に応じた値を計算して表-1の通りとなった。

主桁はn本全て同一の断面とし、支間全長に渡って断面変化しないものとする。断面形状は矩形断面とし、幅bを220[mm]と仮定した。これは集成材に一般的に用いられるラミナ幅のほぼ上限値と考えられる。材料はカラマツ集成材とし、繊維方向のヤング係数E及びせん断弾性係数Gを、それぞれ $1.0 \times 10^4$ [N/mm<sup>2</sup>],  $6.5 \times 10^2$ [N/mm<sup>2</sup>]と仮定する<sup>3)</sup>。許容応力度は曲げ応力に対して、 $\sigma_a = 14.2$  [N/mm<sup>2</sup>], せん断応力に対して、 $\tau_a = 1.0$ [N/mm<sup>2</sup>]と仮定する。横桁は主桁と同一寸法の断面とし、主桁に、曲げ及びねじりに対して剛に連結されていると仮定する。

活荷重はA活荷重を載荷させる。支間長がL = 10[m], 12.5[m]の橋梁にはT荷重を、L = 15[m], 17.5[m], 20[m]の橋梁にはL荷重を用いる<sup>4)</sup>。また、衝撃係数は、i = 0.25を用いるものとする<sup>5)</sup>。死荷重の載荷については、非合成桁であると仮定しているので、全て集成材の主桁と横桁に作用させるものとする。

### 3. 剛性マトリックス法による解析

主桁と横桁は矩形断面であるため、図-2(a)のようにそりねじりを無視した1節点3自由度のはり要素を使用する。すなわち節点にはせん断力S、曲げモーメントM、ねじりモーメントTが作用するものとし、これらに対応した変位が生じるものとする。このはり要素における力と変位の関係式は、次式で表される。

$$\begin{Bmatrix} S_i \\ M_i \\ T_i \\ S_j \\ M_j \\ T_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 \\ -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{GJ_T}{l} & 0 & 0 & -\frac{GJ_T}{l} \\ -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 \\ -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{GJ_T}{l} & 0 & 0 & \frac{GJ_T}{l} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ w_j \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $EI$  = 曲げ剛性、 $GJ_T$  = 純ねじり剛性、 $l$  = 部材長である。

表-1 床版厚

主桁本数	床版厚[mm]
4	235.0
5	190.0
6	160.0
7	160.0
8	160.0
9	160.0
10	160.0

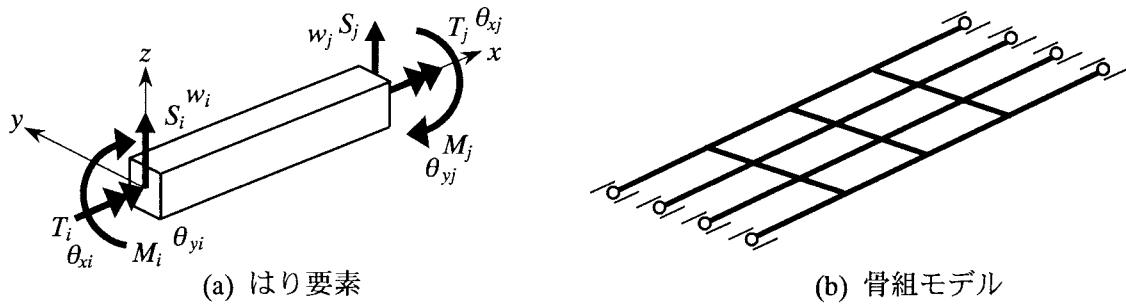


図-2 骨組構造解析

図-2(b)は図-1の格子桁橋の解析モデルである。境界条件は曲げに対して単純、ねじりに対して固定としている。このモデルにA活荷重を載荷させ、最大たわみ及び図-3のような曲げ応力とせん断応力を算定する。応力の計算は次式による。

$$\sigma = \frac{Mh}{2I} \quad (2)$$

$$\tau = \tau_S + \tau_T \quad (3)$$

ここで、 $I$  = 断面2次モーメント、 $h$  = 柵高である。また、 $\tau_S$  = せん断力 $S$ によるせん断応力、 $\tau_T$  = ねじりモーメント $T$ によるせん断応力であり、次式により求められる。

$$\tau_S = \frac{3S}{2bh}, \quad \tau_T = \frac{T}{k_1 hb^2} \quad (4a,b)$$

ここで、 $b$  = 矩形断面の幅、 $k_1$  = 矩形断面のねじりによるせん断応力を求める係数<sup>6)</sup>である。式(4)はそれぞれせん断応力の最大値を求める式であり、図-3(b)の白丸の位置で最大値が生じる。

主桁の断面は許容応力度及びたわみ制限を満足するよう以下の3つの条件式に従って決定させるものとした。

$$\sigma \leq \sigma_a, \quad \tau \leq \tau_a, \quad \delta \leq \delta_a \quad (5a-c)$$

ここで、 $\delta$ は最大たわみ、 $\delta_a$ は道路橋示方書で規定されたたわみ制限値である。

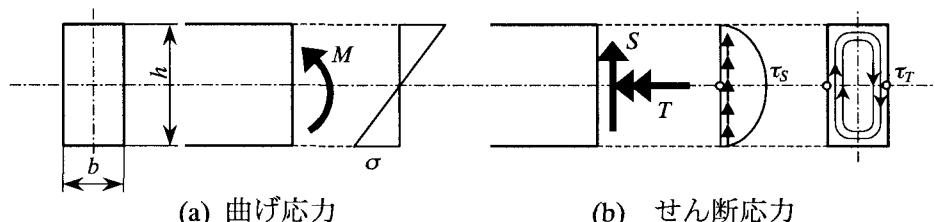


図-3 応力度の算定

#### 4. 解析結果

##### 4.1 許容応力度、たわみ制限値との比較

計35ケースの格子桁橋について、許容応力度設計法に基づき主桁断面を決定した。図-4は $L = 15$  [m]と $L = 20$  [m]の場合の、最大応力及び最大たわみと、許容応力度及びたわみ制限値との比を表したものである。 $L = 15$  [m]では、主桁本数が4本で設計した場合、せん断応力が許容応力度に近い値となり、垂直応力(曲げ応力)とたわみは許容値と比較してかなり余裕のある値となった。主桁本数が5本のときも同様にせん断応力で断面が決定していることが分かる。一方、主桁が6本以上のときは、たわみが制限値ぎりぎりの値となっており、たわみで断面が決定していることが分かる。

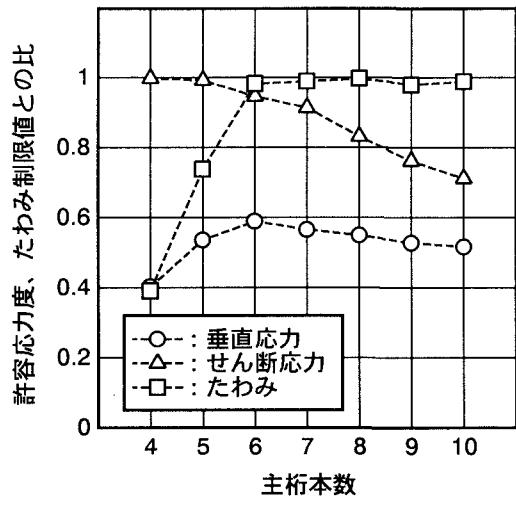
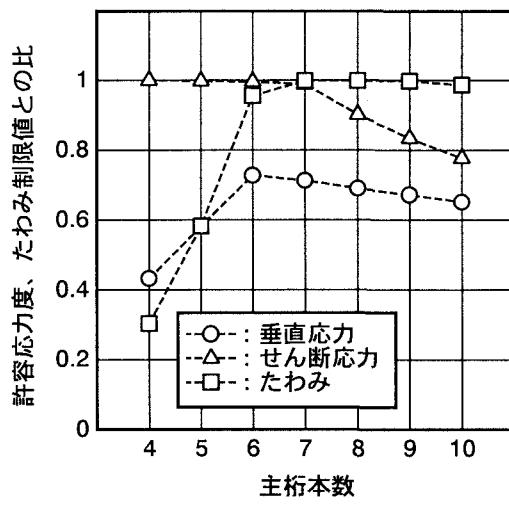
(a)  $L = 15[\text{m}]$ (b)  $L = 20[\text{m}]$ 

図-4 許容応力度・たわみ制限値との比較

垂直応力に関しては、主桁本数に関わらずかなり余裕がある。

これらの傾向は  $L = 10[\text{m}] \sim 17.5[\text{m}]$  の場合について同様な結果となっている。図-4(b)の  $L = 20[\text{m}]$  の場合は、主桁が6本以下のときはせん断応力で、7本以上のときはたわみで断面が決定していることが示されている。たわみまたはせん断応力が厳しい値となる原因は、支間長が比較的短いためたわみ制限値が小さくなること、集成材の許容せん断応力が小さいことが考えられる。

#### 4.2 主桁の高さと断面積、支間長

図-5は主桁本数と主桁の桁高及び主桁の全断面積との関係を、各支間長毎に表したものである。グラフの左の縦軸は桁高を表し、右側の縦軸は全断面積(主桁1本の断面積× $n$ 本)を表している。 $L = 10[\text{m}]$ について見ると、主桁が4本のときは桁高が  $1.71[\text{m}]$  となっている。主桁本数が増加するに従って、桁高は減少している。桁高は集成材製作時の機械の能力により制限されるが、大断面を製作できる機械で通常  $1.5 \sim 1.6[\text{m}]$  程度、より大型のもので  $2[\text{m}]$  程度が上限と考えられる。ここで、最大の桁高を  $1.5[\text{m}]$  と仮定すると、主桁本数はグラフより5本以上としなければならないことが分かる。 $L = 12.5[\text{m}]$  では、主桁を6本以上としなければならない。一方、 $L = 20[\text{m}]$  のとき、桁高が全

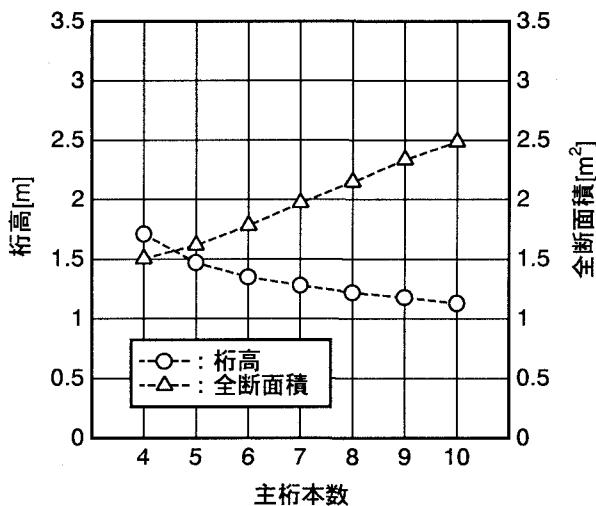
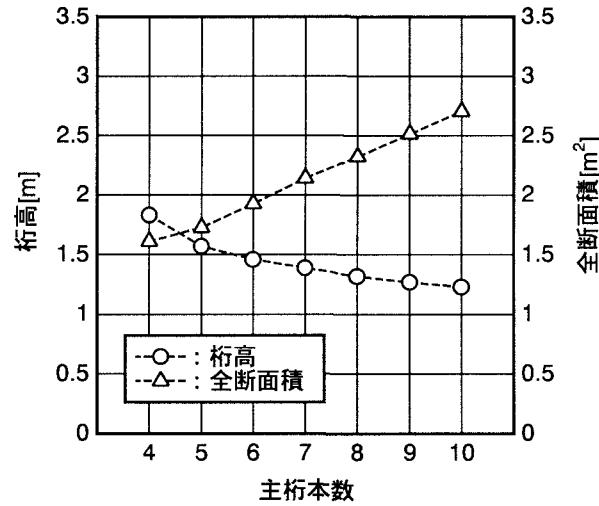
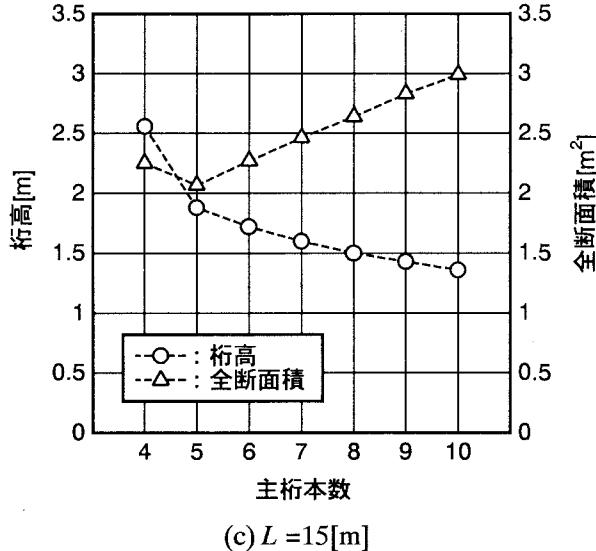
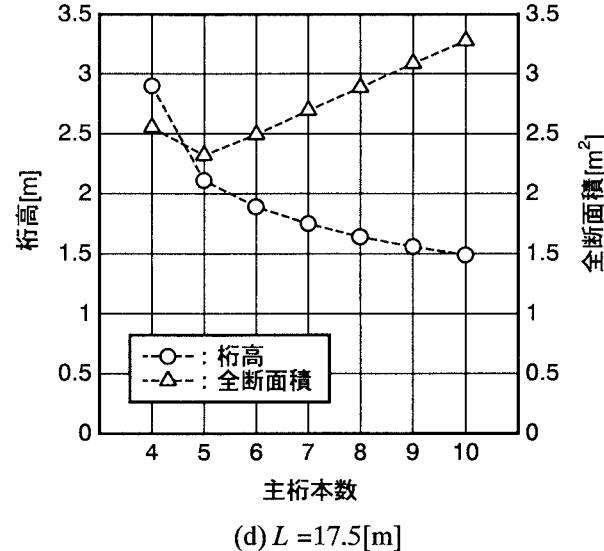
(a)  $L = 10[\text{m}]$ (b)  $L = 12.5[\text{m}]$ 

図-5 主桁の高さと断面積



(c)  $L = 15[\text{m}]$



(d)  $L = 17.5[\text{m}]$

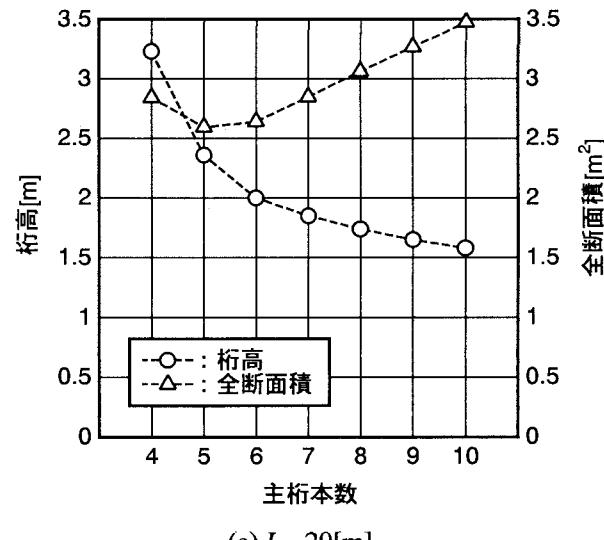
て1.5[m]以上となってしまうが、最大値を2[m]と仮定すれば、主桁本数が6本以上で設計可能である。

主桁の全断面積についてみると、 $L = 10[\text{m}]$ では、主桁本数が増加するにつれて1本当たりの断面積は減少するが、全断面積は一様に増加している。 $L = 12.5[\text{m}]$ の場合も同様の傾向であるが、 $L = 15[\text{m}]$ 以上になると最小値となる点が存在する。このとき主桁本数は5本であり、集成材の総体積が最小となる。しかしながら主桁を5本とすると、桁高は1.5[m]を大きく超えてしまう。これらのことから、主桁の桁高は製作可能な範囲でできるだけ大きくし、主桁本数を減らした方が集成材の総体積を少なくすることができます。

図-6は横軸に支間長を取り、縦軸に桁高を取って描いたグラフである。桁高の製作上の限界値を1.5[m]と仮定すると、主桁本数が10本の場合は、支間長の限界値は17.7[m]となる。同様にして主桁が5本のときは、支間長は10.5[m]が限界となる。一方主桁が4本のときは、支間長を10[m]以上にすることはできない。

## 5. あとがき

主構造に集成材を使用した、RC床版非合成格子桁橋を対象として、支間長及び主桁本数を種々変化させながら試設計を行なった。断面決定に当たっては、垂直応力、せん断応力及びたわみに関して許容値を満たすよう解析を行なった。その結果、たわみまたはせん断応力が決定要因となった。



(e)  $L = 20[\text{m}]$

図-5(続き) 主桁の高さと断面積

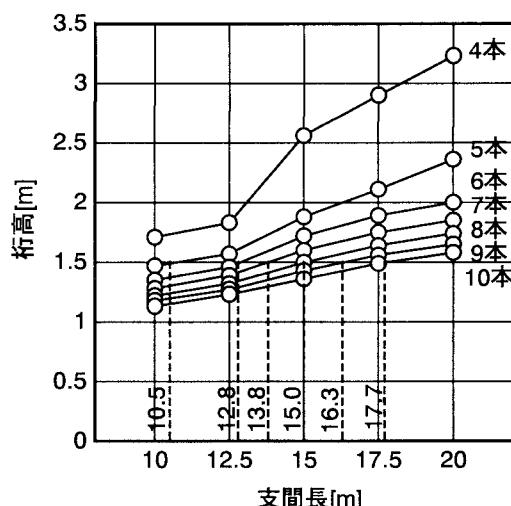


図-6 支間長の限界値

主桁本数と桁高の関係では、本数を多くするほど桁高を減少させることができる。桁高の上限値を集成材製作上の制約から決まる値として1.5[m]を仮定することにより、必要な主桁本数を得ることができた。主桁の全断面積を求めるとき、支間長15[m]以上の範囲で主桁が5本のときに最小値を取ることが判明した。また、桁高と支間長の関係から各主桁本数毎に、支間長の限界値を求めることができた。

本研究では、幅員が一定の条件の下で解析を行なったが、今後は幅員の大きさもパラメータに入れて検討を加える予定である。また、床版に鋼床版や木床版を使用してより軽量化を図った場合や、集成材に異種材料を用いてハイブリッド構造とし、主桁の剛性を高めた場合についても検討していく予定である。

## 参考文献

- 1) (社)土木学会鋼構造委員会木橋技術小委員会：木橋技術に関する講習会テキスト・シンポジウム論文報告集, 2001.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編(平成14年3月), 丸善(株), 2002.
- 3) (社)日本建築学会：木質構造設計規準・同解説, 丸善(株), 1995.
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編(平成14年3月), 丸善(株), 2002.
- 5) (財)日本住宅・木材技術センター：木橋設計施工の手引き・木橋づくり新時代, (株)ぎょうせい, 1995.
- 6) 小松定夫：薄肉構造物の理論と計算I, 山海堂, 1969.