

主構造と鋼床板床組をトラス部材で 合成した場合の近似計算法

AN APPROXIMATE CALCULATION OF BRIDGES WITH STEEL
DECKS CONNECTED TO MAIN MEMBERS THROUGH TRUSSES

山村 信道*・多田 和夫*・横江 稔*
By Nobumichi Yamamura, Kazuo Tada and Minoru Yokoe

要 旨 橋梁の主構造（鉸桁，または，トラス桁）と鋼床板床組との間に空間を設け，これらの間を，トラス部材で結合することにより，力学的に両者を合成させた場合について，主として，曲げ変形を対象とした近似計算法を述べ，これに基づいて，若干の計算結果を示して，考察を行なったものである。

1. 緒 言

長大橋梁構造物の床組に鋼床板構造を用いた場合，主構造（鉸桁，または，トラス桁）とこの鋼床板床組との間に空間部分を設けることは，耐風性能を向上させる見地から非常に好ましいことである。

この場合，主構造と床組とをおのおの別個の構造部材として考えるのではなく，たとえば，図-1 に示すように，空間部分にトラス部材を設け，力学的に両者を合成した構造とすれば，上記の利点とあわせて経済性をはかることができる。

ところで，このような構造形式を実用化するには，両構造部材の間における鉛直せん断力，および，水平せん断力の伝達，ならびに，その解析上における取り扱い方が問題となる。鉛直せん断力については，図-2 に示すように，鋼床板の横リブから，直接，主構造に伝達される場合と，図-6 に示すように，縦桁，および，横桁を通じて主構造に伝達される場合とがあるが，いずれの場合でも，両構造部材は，主構造の支間長と比較して十分密な間隔で結合されており，空間部分を設けない，一般の場合と同様な考え方が適用できる。一方，水平せん断力の伝達は，上述したように，空間部分における結合用トラス部材によって行なわれるが，この場合，トラス部材に生ずる変形の影響によって，一般の場合よりも，主構造に対する鋼床板の協力作用が低下する。

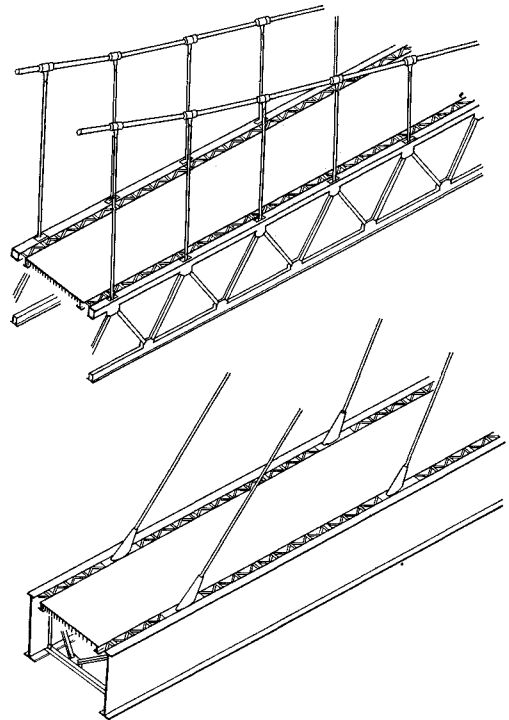


図-1 一般形状

すなわち，このような構造を解析するに当たっての考慮すべきおもな事項は，

- 1) 床組部分における水平方向の応力度分布
 - 2) 結合用トラス部材の変形
- の二つの問題に集約される。

1), 2) の両者を厳密に考慮するには，たとえば，従来のように，応力関数，または，せん断おくれの考え方を利用し，さらに，主構造と床組との結合面において，トラス部材の変形を，換算板厚，あるいは，ずれに対するばね定数などの形で導入する方法が考えられるが，実際にこれを利用する場合には，解の形が作用する荷重の様

* 正会員 日立造船（株）鉄構設計部橋設計課

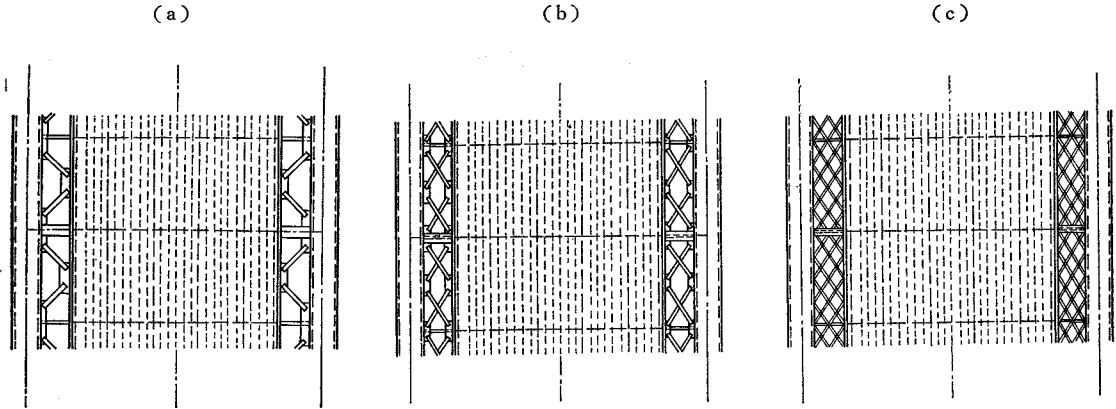


図-2 結合用トラス部材

式、または、位置によって左右されるなど、繁雑化は避けられない。

第一の解法では、これらの問題を二つの段階に分けて考え、まず、1) については、床組部分に対して、たとえば、溶示* 46 条に示す有効幅をとることとし、この有効幅の範囲内では各構造部材(主構造、および、床組)がいずれも初等曲げ理論にしたがうものと仮定する。つぎに、2) については、これらの単純化された構造部材の結合面上に、トラス部材の変形を換算したずれの定数を導入し、いわゆる不完全合成桁の曲げ理論によって取り扱うものとする。

不完全合成桁の計算法には、多くの研究が知られているが、桁に作用する荷重を Fourier 級数に展開して、級数の形で曲げ理論を扱った文献 2) の解法は、解の形が荷重の様式、または、位置などと無関係であり、断面二次モーメント増加率を定義して、初等曲げ理論と類似の形で各構造部材の断面力を求めることができる。

つぎに、第二の解法では、床組部分を等方性の板(Scheibe)と考え、Airy の応力関数を利用して、各応力度と変形との関係を取り扱い、かつ、両構造部材の結合面上に、トラス部材の変形を換算したずれの定数を導入する。ここで得られる、弾性結合された床組断面の換算有効幅は、厳密には、荷重の様式、または、位置により左右され、また、複雑な無限級数の形で示される。

この解法では、溶示 46 条〔解説〕の趣旨にしたがい、橋軸直角方向における床組の連続性、および、曲げモーメントの分布状態について簡単な仮定を設け、有効幅を求める式を簡略化した。

以下においては、まず、結合用トラス部材のずれに対するばね定数(以下、弾性結合定数と称する)を算出し、つぎに、不完全合成桁の解析に、一例として、文献 2) の解法を適用することにより、この種の構造の曲げ変形を対象とする一つの近似計算法が得られることを示

した。

ついで、応力関数を利用した計算式を導き、両解法の結果についての比較検討を行なった。また、二重床組構造の場合についても、若干の考察を行なっている。

なお、斜張橋、あるいは、下路ランガー桁の補剛桁のように、曲げ変形以外に軸方向力による変形を受ける場合が考えられるが、これらについては、厳密な理論解析を省略し、実用的な取扱いについて多少の考察を行なう程度にとどめた。

2. トラス部材の弾性結合定数

床組と主構造との結合面において、つぎの関係が成立すると考える。

$$\bar{\tau}_h = k \cdot \delta \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

$\bar{\tau}_h$: 結合面に働く橋軸方向のせん断力 (kg/cm)

k : 弾性結合定数 (kg/cm²)

δ : 結合面のずれ量 (cm)

結合用トラスの形状には、図-2 に示すように、種々の形式が考えられるが、まず、図 (a) のシングルワレン形式について考察する。

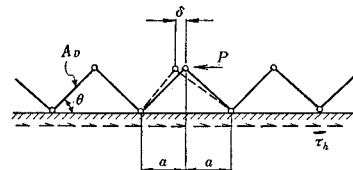


図-3 結合部材の変形

図-3 において、せん断力 $\bar{\tau}_h$ とトラス部材の軸方向力 N の関係は、つぎの式 (2) で与えられる。

$$N = \pm \frac{1}{2} \cdot P \cdot \sec \theta = \pm a \cdot \bar{\tau}_h \cdot \sec \theta \dots\dots\dots (2)$$

一方、 $\bar{P}=1$ による軸方向力 \bar{N} は

$$\bar{N} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sec \theta$$

* 溶接鋼道路橋示方書 解説 (昭 39)

となる。したがって、せん断力 $\bar{\tau}_h$ によるトラスの変形量 δ は

$$\begin{aligned} \delta &= \Sigma \int \frac{N\bar{N}}{EA_D} \cdot ds \\ &= 2 \cdot \frac{(\pm a \cdot \bar{\tau}_h \cdot \sec \theta) \cdot \left(\pm \frac{1}{2} \cdot \sec \theta\right)}{EA_D} \cdot a \cdot \sec \theta \\ &= \frac{a^2 \cdot \bar{\tau}_h \cdot \sec^3 \theta}{EA_D} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

となり、弾性結合定数は

$$k = \frac{\bar{\tau}_h}{\delta} = \frac{EA_D}{a^2 \cdot \sec^3 \theta} \dots \dots \dots (4)$$

で与えられる。

つぎに、図 (b), (c) の多重ワレン形式の場合には、これをシングルワレン形式が n 組重複したものと考えると、せん断力 $\bar{\tau}_h$ と軸方向力 N の関係は

$$N = \pm \frac{1}{n} \cdot a \cdot \bar{\tau}_h \cdot \sec \theta \dots \dots \dots (5)$$

となり、弾性結合定数は

$$k = \frac{n \cdot EA_D}{a^2 \cdot \sec^3 \theta} \dots \dots \dots (6)$$

で与えられる。

3. 不完全合成桁理論による解法

(1) 計算仮定、および、その他

先に述べたように、解析理論としては、文献2)の解法にしたがうものとし、つぎのような仮定を設ける。

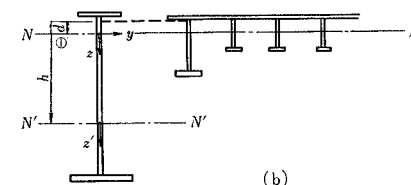
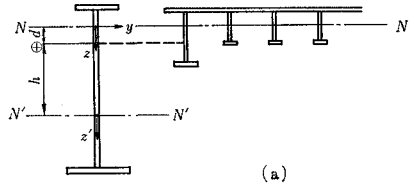
- 1) 床組、および、主構造の断面は、すべて、初等曲げ理論にしたがう。
- 2) 各断面は橋軸方向に一様であり、また、材料はフックの法則にしたがう。
- 3) 両構造部材の結合面には、式(1)に示した関係が成立する。
- 4) 床組は、横リブ、対傾構などによって十分密な間隔で主構造に定着され、したがって、両構造部材のたわみは等しいと考える。
- 5) 主構造の支持条件は、たわみ曲線の変曲点間距離を支間長にとることとし、単純支持と考える。

これらの仮定を満足するかぎり、解の形式は同一であるから、主構造の断面形状は、鉸桁、トラス桁など自由に選ぶことができる。

したがって、以下の計算式においては、一例として、図-4に示す断面について考えることとする。

(2) 床組の変形、応力式

まず、結合面に働く橋軸方向のせん断力 $\bar{\tau}_h$ 、鉛直方向のせん断力 $\bar{\tau}_v$ を、つぎのようにおく。



N-N'; 床組断面の重心軸
N'-N'; 主構造断面の重心軸
---; 結合位置

図-4 断面構成

$$\left. \begin{aligned} \bar{\tau}_h &= p \cdot \tau_{n'} \cdot \cos \xi_n \\ \bar{\tau}_v &= p \cdot \lambda_n \cdot \sin \xi_n \\ \xi_n &= \frac{n \pi}{l_x} \cdot x \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、

- l_x : たわみ曲線の変曲点間距離 (cm)
- x : 橋軸方向の距離 (cm)
- $\tau_{n'}, \lambda_n$: 未定定数
- p : 定数 (kg/cm)

つぎに、床組に作用する荷重を

$$p_0 = p \cdot e_n \cdot \sin \xi_n \dots \dots \dots (8)$$

ここに、

e_n : 荷重の形式によって定まる定数とする。

したがって、床組断面に働く軸方向力を N_f 、曲げモーメントを M_f 、せん断力を Q_f とすれば、橋軸方向の力のつり合い式は、つぎのようになる。

$$\frac{dN_f}{dx} = -p \cdot \tau_{n'} \cdot \cos \xi_n$$

これを積分して、 $x=0, l_x$ で $N_f=0$ となる条件から

$$N_f = -\frac{l_x}{n \pi} \cdot p \cdot \tau_{n'} \cdot \sin \xi_n \dots \dots \dots (9)$$

が得られる。また、モーメント、および、鉛直方向の力のつり合い式は

$$\frac{dM_f}{dx} = Q_f - d \cdot p \cdot \tau_{n'} \cdot \cos \xi_n$$

$$\frac{dQ_f}{dx} = -p \cdot (e_n + \lambda_n) \cdot \sin \xi_n$$

となる。ただし、 d の正、負は図-4(a), (b)に対応するものとする。

これより、

$$\frac{d^2 M_f}{dx^2} = -\left(e_n + \lambda_n - \frac{n\pi}{l_x} \cdot d \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(10)$$

となり、また、床組のたわみを w_f とすれば、つぎの式 (11) を得る。

$$\frac{d^2 w_f}{dx^2} = -\frac{M_f}{EJ_f} \quad \dots\dots\dots(11)$$

ここに、

J_f ：有効幅の部分における床組断面の断面二次モーメント (cm⁴)

である。

式 (10)、(11) より

$$EJ_f \cdot \frac{d^4 w_f}{dx^4} = \left(e_n + \lambda_n - \frac{n\pi}{l_x} \cdot d \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n$$

を得、これを積分して、 $x=0, l_x$ で $w_f = \frac{d^2 w_f}{dx^2} = 0$ となる条件から

$$w_f = \frac{1}{EJ_f} \cdot \left(\frac{l_x}{n\pi}\right)^4 \cdot \left(e_n + \lambda_n - \frac{n\pi}{l_x} \cdot d \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(12)$$

となり、床組の曲げモーメントは

$$M_f = \left(\frac{l_x}{n\pi}\right)^2 \cdot \left(e_n + \lambda_n - \frac{n\pi}{l_x} \cdot d \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(13)$$

となる。

したがって、結合位置における応力度は、つぎのようになる。

$$\begin{aligned} (\sigma_f|_{z=d}) &= \frac{N_f}{A_f} + \frac{M_f}{J_f} \cdot d \\ &= \left(\frac{l_x}{n\pi}\right) \cdot \left\{ -\frac{\tau_n'}{A_f} + \frac{l_x}{n\pi} \cdot \frac{d}{J_f} \right. \\ &\quad \left. \cdot \left(e_n + \lambda_n - \frac{n\pi}{l_x} \cdot d \cdot \tau_n'\right) \right\} \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

ただし、

A_f ：有効幅の部分における床組断面の断面積 (cm²) である。

(3) 主構造の変形、応力式

主構造断面に働く軸方向力を N_g 、曲げモーメントを M_g 、せん断力を Q_g とすれば、橋軸方向の力のつり合い式は

$$\frac{dN_g}{dx} = p \cdot \tau_n' \cdot \cos \xi_n$$

となる。これを積分して、 $x=0, l_x$ で $N_g=0$ となる条件から、 N_g はつぎのようになる。

$$N_g = \frac{l_x}{n\pi} \cdot p \cdot \tau_n' \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(15)$$

また、モーメント、および、鉛直方向の力のつり合い式は

$$\frac{dM_g}{dx} = Q_g - h \cdot p \cdot \tau_n' \cdot \cos \xi_n, \quad \frac{dQ_g}{dx} = p \cdot \lambda_n \cdot \sin \xi_n$$

となり、これより

$$\frac{d^2 M_g}{dx^2} = \left(\lambda_n + \frac{n\pi}{l_x} \cdot h \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(16)$$

を得る。また、主構造のたわみを w_g とすれば、つぎの式が得られる。

$$\frac{d^2 w_g}{dx^2} = -\frac{M_g}{EJ_g} \quad \dots\dots\dots(17)$$

ここに、

J_g ：主構造断面の断面二次モーメント (cm⁴)

である。

式 (16)、(17) より

$$EJ_g \cdot \frac{d^4 w_g}{dx^4} = -\left(\lambda_n + \frac{n\pi}{l_x} \cdot h \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n$$

となり、これを積分して、 $x=0, l_x$ で $w_g = \frac{d^2 w_g}{dx^2} = 0$ となる条件から

$$w_g = -\frac{1}{EJ_g} \cdot \left(\frac{l_x}{n\pi}\right)^4 \cdot \left(\lambda_n + \frac{n\pi}{l_x} \cdot h \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(18)$$

を得、また、主構造の曲げモーメントは

$$M_g = -\left(\frac{l_x}{n\pi}\right)^2 \cdot \left(\lambda_n + \frac{n\pi}{l_x} \cdot h \cdot \tau_n'\right) \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(19)$$

となる。したがって、結合位置における応力度は、つぎのようになる。

$$\begin{aligned} (\sigma_g|_{z=h}) &= \frac{N_g}{A_g} - \frac{M_g}{J_g} \cdot h \\ &= \left(\frac{l_x}{n\pi}\right) \cdot \left\{ \frac{\tau_n'}{A_g} + \frac{l_x}{n\pi} \cdot \frac{h}{J_g} \right. \\ &\quad \left. \cdot \left(\lambda_n + \frac{n\pi}{l_x} \cdot h \cdot \tau_n'\right) \right\} \cdot p \cdot \sin \xi_n \quad \dots\dots\dots(20) \end{aligned}$$

ここに、

A_g ：主構造断面の断面積 (cm²)

である。

(4) 条件方程式とその解

床組、および、主構造の橋軸方向の変位を u_f, u_g とすれば、結合面のずれ量 δ は、つぎのようになる。

$$\delta = (u_g|_{z=h}) - (u_f|_{z=d})$$

これを式 (1) に代入し、 x で微分すれば

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dx} &= k \cdot \left\{ \left(\frac{du_g}{dx}\right) \Big|_{z=h} - \left(\frac{du_f}{dx}\right) \Big|_{z=d} \right\} \\ &= \frac{k}{E} \cdot \{ (\sigma_g|_{z=h}) - (\sigma_f|_{z=d}) \} \quad \dots\dots\dots(21) \end{aligned}$$

これに、式 (7)、(14)、および、(20) を代入すると

$$-\frac{n\pi}{l_x} \cdot \tau_n' = \frac{k}{E} \cdot \left(\frac{l_x}{n\pi}\right) \cdot \left\{ \frac{\tau_n'}{A_g} + \frac{l_x}{n\pi} \cdot \frac{h}{J_g} \right.$$

$$\begin{aligned} & \cdot \left(\lambda_n + \frac{n\pi}{l_x} \cdot h \cdot \tau_n' \right) \left\{ -\frac{\tau_n'}{A_f} + \frac{l_x}{n\pi} \cdot \frac{d}{J_f} \right. \\ & \left. \cdot \left(e_n + \lambda_n - \frac{n\pi}{l_x} \cdot d \cdot \tau_n' \right) \right\} \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_n &= n\pi \cdot \tau_n', \quad k_f = \frac{k}{E}, \quad k_g = \frac{k}{E} \cdot \frac{A_f}{A_g} \\ g_f &= \frac{d \cdot l_x \cdot A_f}{J_f}, \quad g_g = \frac{h \cdot l_x \cdot A_g}{J_g}, \quad j_f = \frac{J}{J_f} \\ j_g &= \frac{J}{J_g}, \quad \mu_f = \frac{d}{l_x}, \quad \mu_g = \frac{h}{l_x}, \quad i_n = \frac{n^2 \pi^2 \cdot A_f}{l_x^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (24)$$

を得る。また、先に述べたように、 $w_f = w_g$ が成立するものとすれば、式 (12), (18) から

$$\begin{aligned} & \frac{1}{E J_f} \cdot \left(e_n + \lambda_n - \frac{n\pi}{l_x} \cdot d \cdot \tau_n' \right) \\ & = -\frac{1}{E J_g} \cdot \left(\lambda_n + \frac{n\pi}{l_x} \cdot h \cdot \tau_n' \right) \dots\dots\dots (23) \end{aligned}$$

ここに、

J : 基準となる断面二次モーメント (cm⁴)
 これによって、式 (22), (23) はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} -i_n \cdot \tau_n &= k_g \cdot \{ \tau_n + g_g \cdot (\lambda_n + \mu_g \cdot \tau_n) \} \\ & - k_f \cdot \{ -\tau_n + g_f \cdot (e_n + \lambda_n - \mu_f \tau_n) \} \\ j_f \cdot (e_n + \lambda_n - \mu_f \tau_n) &= -j_g \cdot (\lambda_n + \mu_g \tau_n) \end{aligned}$$

この二つの式を連立させて

$$\left. \begin{aligned} \tau_n &= \frac{(k_f g_f j_g + k_g g_g j_f) \cdot e_n}{(i_n + k_f + k_g) \cdot (j_f + j_g) + (\mu_f + \mu_g) \cdot (k_f g_f j_g + k_g g_g j_f)} \\ \lambda_n &= -\frac{\{ (i_n + k_f + k_g) \cdot j_f + (k_f g_f j_g + k_g g_g j_f) \cdot \mu_g \} \cdot e_n}{(i_n + k_f + k_g) \cdot (j_f + j_g) + (\mu_f + \mu_g) \cdot (k_f g_f j_g + k_g g_g j_f)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

が得られる。

(5) 断面二次モーメントの増加率

式 (18) に式 (24), (25) を代入すると

$$\begin{aligned} w &= w_g = -\frac{1}{E J_g} \cdot \left(\frac{l_x}{n\pi} \right)^4 \cdot (\lambda_n + \mu_g \tau_n) \cdot p \cdot \sin \xi_n \\ & = \frac{1}{E J_g} \cdot \left(\frac{l_x}{n\pi} \right)^4 \cdot \frac{(i_n + k_f + k_g) \cdot j_f}{(i_n + k_f + k_g) \cdot (j_f + j_g) + (\mu_f + \mu_g) \cdot (k_f g_f j_g + k_g g_g j_f)} \cdot p \cdot e_n \cdot \sin \xi_n \end{aligned}$$

となる。

ここで、

$$\psi_n = \frac{(i_n + k_f + k_g) \cdot (j_f + j_g) + (\mu_f + \mu_g) \cdot (k_f g_f j_g + k_g g_g j_f)}{(i_n + k_f + k_g) \cdot j_f} = \left(1 + \frac{j_g}{j_f} \right) + \frac{(\mu_f + \mu_g) \cdot (k_f g_f j_g + k_g g_g j_f)}{(i_n + k_f + k_g) \cdot j_f} \dots\dots\dots (26)$$

とおけば、上式はつぎのようになる。

$$w = \frac{1}{E(\psi_n J_g)} \cdot \left(\frac{l_x}{n\pi} \right)^4 \cdot p \cdot e_n \cdot \sin \xi_n \dots\dots\dots (27)$$

で与えられる。

(6) 断面力の計算式

一方、この不完全合成桁の、見掛け上の断面二次モーメントを

$$J = \psi J_g \dots\dots\dots (28)$$

とすれば、この場合のたわみは

$$w = \frac{1}{E(\psi J_g)} \cdot \left(\frac{l_x}{n\pi} \right)^4 \cdot p \cdot e_n \cdot \sin \xi_n \dots\dots\dots (29)$$

式 (30) は、荷重の様式、または、位置などと無関係であり、不完全合成桁の断面形状、および、床組と主構造の間の弾性結合定数によって定まる定数である。

したがって、先に述べたいろいろの仮定が成立するかぎり、不完全合成桁においても、見掛け上の断面二次モーメントを ψJ_g とする弾性曲線の微分方程式が成立する。

となる。

式 (27), (29) において、近似的に初項のみをとることとして、これらの両者のたわみを等しいとおけば、

$$\psi_1 = \psi$$

を得る。

すなわち、式 (11), (17) より

$$\begin{aligned} -\frac{d^2 w}{dx^2} &= \frac{M_f}{E J_f} = \frac{M_g}{E J_g} = \frac{M - N_g \cdot (h + d)}{\sum E J} \\ &= \frac{M}{E(\psi J_g)} \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

したがって、主構造の断面二次モーメントを基準とした不完全合成桁の断面二次モーメントの増加率は

$$\psi = \left(1 + \frac{j_g}{j_f} \right) + \frac{(\mu_f + \mu_g) \cdot (k_f g_f j_g + k_g g_g j_f)}{(i_n + k_f + k_g) \cdot j_f} \dots\dots\dots (30)$$

これより、各断面力は

$$M_f = \frac{1}{\psi} \cdot \frac{J_f}{J_g} \cdot M \quad \left| \right.$$

$$\left. \begin{aligned} M_g &= \frac{1}{\psi} \cdot M \\ N_g &= \frac{M}{h+d} \cdot \left(1 - \frac{1}{\psi} \cdot \frac{\sum J}{J_g}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(32)$$

で与えられ、また、結合面のせん断力は

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_h &= \frac{dN_g}{dx} = \frac{1}{h+d} \cdot \left(1 - \frac{1}{\psi} \cdot \frac{\sum J}{J_g}\right) \cdot \frac{dM}{dx} \\ &= \frac{Q}{h+d} \cdot \left(1 - \frac{1}{\psi} \cdot \frac{\sum J}{J_g}\right) \dots\dots\dots(33) \end{aligned}$$

となる。

4. 応力関数を用いた解法

(1) 計算仮定、および、その他

先に述べたように、第二の解法としては、Airy の応力関数を利用し、結合面において、境界条件に、トラス部材の弾性結合定数を導入して、弾性結合された床組断面の換算有効幅を求める。

まず、つぎのような仮定を設ける。

- 1) 床組は、曲げ剛性を無視し、等方性の板 (Scheibe) と考える。
- 2) 両構造部材の結合面には、式 (1) に示した関係が成立し、また、結合位置は床組断面の重心軸に一致する。
- 3) 支点上、および、主構造の位置では、床組の橋軸直角方向の変形が拘束されている。
- 4) 床組は、十分密な間隔で主構造に定着されており、両構造部材のたわみ曲線は等しい。
- 5) 主構造の支持条件は、たわみ曲線の変曲点間距離を支間長にとり、単純支持とする。

これらの仮定を満足するかぎり、主構造の断面形状は、鋸桁、トラス桁など自由であり、以下の計算式では、一例として、図-5 に示す断面について考えることとする。

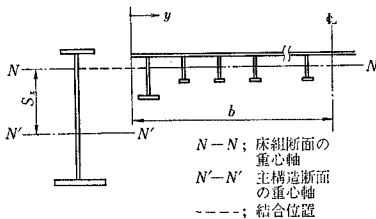


図-5 断面構成

(2) 応力関数

等方性の板 (Scheibe) に対する微分方程式

$$\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0 \dots\dots\dots(34)$$

を満足する応力関数の形は、一般につぎの式で示され

る。

$$\begin{aligned} F(x, y) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\alpha^2} \cdot (e^{-\alpha y} + B_n \cdot e^{\alpha y} \\ &\quad + C_n \cdot \alpha y \cdot e^{-\alpha y} + D_n \cdot \alpha y \cdot e^{\alpha y}) \cdot \sin \alpha x \end{aligned} \dots\dots\dots(35)$$

ここに、

$$\alpha = \frac{n\pi}{l_x}$$

A_n, B_n, C_n, D_n : 積分定数

l_x : たわみ曲線の変曲点間距離 (cm)

x, y : 橋軸、および、橋軸直角方向の距離 (cm)

である。

また、この応力関数と各応力度の関係式は

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \sum A_n \cdot \{e^{-\alpha y} + B_n \cdot e^{\alpha y} \\ &\quad + C_n \cdot (-2 + \alpha y) \cdot e^{-\alpha y} \\ &\quad + D_n \cdot (2 + \alpha y) \cdot e^{\alpha y}\} \cdot \sin \alpha x \\ \sigma_y &= \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = -\sum A_n \cdot \{e^{-\alpha y} + B_n \cdot e^{\alpha y} \\ &\quad + C_n \cdot \alpha y \cdot e^{-\alpha y} + D_n \cdot \alpha y \cdot e^{\alpha y}\} \\ &\quad \cdot \sin \alpha x \\ \tau_{xy} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = -\sum A_n \cdot \{-e^{-\alpha y} + B_n \cdot e^{\alpha y} \\ &\quad + C_n \cdot (1 - \alpha y) \cdot e^{-\alpha y} \\ &\quad + D_n \cdot (1 + \alpha y) \cdot e^{\alpha y}\} \cdot \cos \alpha x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(36)$$

である。

ひずみは、つぎのように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_x - \nu \cdot \sigma_y) \\ \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_y - \nu \cdot \sigma_x) \\ \phi_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\tau_{xy}}{G} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(37)$$

ここに、

E : 縦弾性係数 (kg/cm²)

G : せん断弾性係数 (kg/cm²)

ν : ポアソン比

u, v : 床組上の任意点の、橋軸、および、橋軸直角方向の変位 (cm)

である。

したがって、結合面における、床組の橋軸方向のひずみは

$$\begin{aligned} (\epsilon_x)_{y=0} &= \frac{1}{E} \cdot \sum A_n \cdot \{(1 + \nu) \cdot (B_n + 1) \\ &\quad + 2(D_n - C_n)\} \cdot \sin \alpha x \dots\dots\dots(38) \end{aligned}$$

また、床組の橋軸直角方向の変位は

$$v = \frac{1}{E} \cdot \int (\sigma_y - \nu \cdot \sigma_x) \cdot dy$$

$$= \frac{1}{E} \cdot \left\{ \sigma_y \cdot dy - \nu \cdot \frac{\partial F}{\partial y} + \psi(x) \right\} \dots \dots \dots (39)$$

となる。

(3) 積分定数 B_n, C_n, D_n

仮定条件から

$$(\sigma_x)_{x=0} = (\sigma_x)_{x=l_x} = 0, (\nu)_{x=0} = (\nu)_{x=l_x} = 0$$

となる。

これより、式 (35), (36), (39) から

$$\psi(x) = 0$$

を得る。

したがって、床組の橋軸直角方向の変位は

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{E} \cdot \left\{ \sigma_y \cdot dy - \nu \cdot \frac{\partial F}{\partial y} \right\} \\ &= \sum A_n \cdot \frac{1+\nu}{\alpha} \cdot \left\{ e^{-\alpha y} - B_n \cdot e^{\alpha y} \right. \\ &\quad + C_n \cdot \left(\frac{1-\nu}{1+\nu} + \alpha y \right) \cdot e^{-\alpha y} \\ &\quad \left. + D_n \cdot \left(\frac{1-\nu}{1+\nu} - \alpha y \right) \cdot e^{\alpha y} \right\} \cdot \sin \alpha x \dots \dots \dots (40) \end{aligned}$$

となる。

つぎに、仮定条件から、 $y=0$ において

$$(\nu)_{y=0} = 0$$

とおき、また、 $y=b$ においては、溶示 46 条〔解説〕の趣旨にしたがい、横方向の連続性を無視するものとして、

$$(\sigma_y)_{y=b} = 0, (\tau_{xy})_{y=b} = 0$$

とおく。

これより、 B_n, C_n, D_n は

$$(\epsilon_x')_{y=0} = \sum A_n \cdot \left[\frac{1}{E} \cdot \{ (1+\nu) \cdot (B_n + 1) + 2(D_n - C_n) \} - \frac{d}{k} \cdot \alpha \cdot \{ -1 + B_n + C_n + D_n \} \right] \cdot \sin \alpha x \dots \dots \dots (44)$$

である。したがって、結合面における主構造の応力度は

$$\begin{aligned} (\sigma_x')_{y=0} &= \sum A_n \cdot \left[\{ 1 + B_n + 2(D_n - C_n) \} - \frac{d \cdot E}{k} \cdot \alpha \cdot \{ -1 + B_n + C_n + D_n \} \right] \cdot \sin \alpha x \\ &= \sum A_n \cdot \{ 1 + B_n + 2(D_n - C_n) \} \cdot (1 + \tau_n) \cdot \sin \alpha x \\ r_n &= - \frac{\frac{d \cdot E}{k} \cdot \alpha \cdot \{ -1 + B_n + C_n + D_n \}}{1 + B_n + 2(D_n - C_n)} \end{aligned} \dots \dots \dots (45)$$

となる。

つぎに、この構造物に作用する曲げモーメントの分布状態を Fourier 級数に展開して

$$M_x = \sum M_n \cdot \sin \alpha x \dots \dots \dots (46)$$

とすれば、結合面における主構造の橋軸方向のひずみは、つぎのようになる。

$$\begin{aligned} (\epsilon_x')_{y=0} &= - \frac{1}{E J_g} \cdot \{ M_x \cdot S_x - (S_x^2 + i_g^2) \cdot N_x \} \\ N_x &= \int_0^x \bar{\tau}_h \cdot dx \end{aligned} \dots \dots \dots (47)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} B_n &= \frac{\lambda \cdot (e^{-2ab} - 1) + 2 \alpha b \cdot (\alpha b - \lambda)}{\lambda \cdot (e^{2ab} - 1) + 2 \alpha b \cdot (\alpha b + \lambda)} \\ C_n &= - \frac{(e^{2ab} + 1) + 2(\alpha b + \lambda)}{\lambda \cdot (e^{2ab} - 1) + 2 \alpha b \cdot (\alpha b + \lambda)} \\ D_n &= \frac{(e^{-2ab} + 1) - 2(\alpha b - \lambda)}{\lambda \cdot (e^{2ab} - 1) + 2 \alpha b \cdot (\alpha b + \lambda)} \\ \lambda &= \frac{1-\nu}{1+\nu} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (41)$$

となる。

(4) 弾性結合の条件方程式

先に述べたように、両構造部材の結合面において、式 (1) の関係が成立するものとすれば、つぎのようになる。

$$\frac{d \bar{\tau}_h}{dx} = k \cdot \{ (\epsilon_x')_{y=0} - (\epsilon_x)_{y=0} \} \dots \dots \dots (42)$$

ここに、

$(\epsilon_x')_{y=0}$: 結合面における、主構造の橋軸方向のひずみ

である。また、結合面に働く橋軸方向のせん断力と、床組断面のせん断応力度のつり合い式は、つぎのようになる。

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_h &= -d \cdot (\tau_{xy})_{y=0} = d \cdot \sum A_n \\ &\quad \cdot (-1 + B_n + C_n + D_n) \cdot \cos \alpha x \dots \dots \dots (43) \end{aligned}$$

ここに、

d : 床組断面の換算厚さ (cm)

である。

式 (38), (42), (43) から、結合面における、主構造の橋軸方向のひずみは

J_g : 主構造断面の断面二次モーメント (cm⁴)

S_x : 床組断面と主構造断面の重心軸間距離 (cm)

i_g : 主構造断面の回転半径 (cm)

したがって、式 (38), (42), (43), (47) より、積分定数 A_n は

$$A_n = \phi(M_n) \dots \dots \dots (48)$$

の形で求められる。

(5) 有効幅、および、その他

x 点における、床組の橋軸方向のつり合い条件から

$$\int_0^x \bar{\tau}_h \cdot dx = -d \cdot \int_0^b \sigma_x \cdot dy$$

となる。したがって、式 (43) より

$$\int_0^b \sigma_x \cdot dy = -\frac{1}{d} \cdot \int_0^x \bar{\tau}_h \cdot dx = -\Sigma \frac{A_n}{\alpha} \cdot \{-1+B_n+C_n+D_n\} \cdot \sin \alpha x \dots\dots\dots (49)$$

となり、弾性結合された床組断面の換算有効幅 b_m は

$$b_m = \frac{\int_0^b \sigma_x \cdot dy}{(\sigma_x')_{y=0}} = \frac{-\Sigma \frac{A_n}{\alpha} \cdot \{-1+B_n+C_n+D_n\} \cdot \sin \alpha x}{\Sigma A_n \cdot \{1+B_n+2(D_n-C_n)\} \cdot (1+r_n) \cdot \sin \alpha x} \dots\dots\dots (50)$$

で与えられる。

ここで、溶示 46 条〔解説〕にしたがい、この構造物に作用する曲げモーメントの分布状態を

$$M_x = M_n \cdot \sin \alpha x \dots\dots\dots (51)$$

の形で示すこととすれば、仮定条件から $n=1$ として

$$\alpha = \frac{\pi}{l_x}$$

となり、式 (48), (50) より

$$\left. \begin{aligned} \frac{b_m}{b} &= -\frac{1}{\alpha b} \cdot \frac{-1+B_1+C_1+D_1}{1+B_1+2(D_1-C_1)} \cdot \frac{1}{1+r_1} = \frac{2}{\pi \beta} \cdot \frac{\sinh 2\pi\beta + 2\pi\beta}{(3+\nu) \cdot \cosh 2\pi\beta + 2(1+\nu) \cdot (\pi\beta)^2 + 5-\nu} \cdot \frac{1}{1+r_1} \\ r_1 &= \frac{2}{\pi\beta} \cdot \frac{\sinh 2\pi\beta + 2\pi\beta}{(3+\nu) \cdot \cosh 2\pi\beta + 2(1+\nu) \cdot (\pi\beta)^2 + 5-\nu} \cdot \frac{\pi^2 \cdot b \cdot d}{l_x^2} \cdot \frac{E}{k} \\ \beta &= \frac{b}{l_x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (52)$$

が得られる。

ここで、同じ条件のもとで完全合成された床組断面の有効幅を $(b_m)_0$ とすれば、式 (52) において $k=\infty$ として

$$\frac{(b_m)_0}{b} = \frac{2}{\pi\beta} \cdot \frac{\sinh 2\pi\beta + 2\pi\beta}{(3+\nu) \cdot \cosh 2\pi\beta + 2(1+\nu) \cdot (\pi\beta)^2 + 5-\nu} \dots\dots\dots (53)$$

となる。

これは、溶示 46 条〔解説〕に示された、床組の横方向の連続性を無視する場合の有効幅の式において、主構造の支持条件を単純支持 ($n=2$) としたものであり、同条の表-5 にその数値が示されている。

したがって、式 (52), (53) から、弾性結合された床組断面の換算有効幅は、つぎの式で与えられる。

$$b_m = (b_m)_0 \cdot \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{(A_{fm})_0}{l_x^2} \cdot \frac{E}{k}} \dots\dots\dots (54)$$

ここに、

$(A_{fm})_0$: 溶示 46 条表-5 より求めた有効幅の部分における、床組断面の断面積 (cm^2)

である。

また、断面応力度の計算は、この換算有効幅を用いて、完全合成断面としての計算を行ない、床組部分の応力度については、係数

$$\mu = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{(A_{fm})_0}{l_x^2} \cdot \frac{E}{k}} \dots\dots\dots (55)$$

を乗じたものとして求められる。

さらに、結合面に働くせん断力はつぎのようになる。

$$\bar{\tau}_h = \frac{Q_x \cdot G_{fm}}{I} \dots\dots\dots (56)$$

ここに、

Q_x : 断面に作用するせん断力 (kg)

G_{fm} : 換算有効幅の部分における床組断面の、合成断面の重心軸に関する一次モーメント (cm^3)

I : 換算有効幅を用いた合成断面の断面二次モーメント (cm^4)

である。

5. 両解法の比較、および、その他

先に述べたように、弾性結合部材を設けたことによる合成効果の評価は、不完全合成桁理論による解法においては、式 (30) で示される断面二次モーメントの増加率 ψ により、また、応力関数を用いた解法では、式 (54) で示される床組断面の換算有効幅 b_m によって与えられる。

ここで、両解法から得られる、弾性合成断面の見掛け上の断面二次モーメントを比較すると、つぎのようになる。

すなわち、簡単のために、結合面の位置が床組断面の重心軸と一致する場合を考えると、まず、不完全合成桁理論による解法では、式 (24), (30) から、つぎのようになる。

$$\begin{aligned} J &= \psi \cdot J_g = J_g + (J_{fm})_0 \\ &+ \frac{(A_{fm})_0 \cdot S_x^2}{1 + \pi^2 \cdot \frac{(A_{fm})_0}{l_x^2} \cdot \frac{E}{k} + \frac{(A_{fm})_0}{A_g}} \end{aligned}$$

ここに、

$(J_{fm})_0$: 溶示 46 条表—5 より求めた有効幅の部分における、床組断面の断面二次モーメント (cm^4)

$(A_{fm})_0$: 同上の断面積 (cm^2)

S_x : 床組断面と主構造断面の重心軸間距離 (cm)

である。

また、応力関数を用いた解法では、式 (54) から、つぎのようになる。

$$J = J_g + J_{fm} + \frac{(A_{fm})_0 \cdot S_x^2}{1 + \pi^2 \cdot \frac{(A_{fm})_0}{I_x^2} \cdot \frac{E}{k} + \frac{(A_{fm})_0}{A_g}}$$

ここに、

J_{fm} : 式 (54) より求めた換算有効幅の部分における、床組断面の断面二次モーメント (cm^4)

である。

したがって、両者は、第 2 項におけるわずかな誤差を除いて一致することとなる。

ついでながら、弾性結合部材を有する合成断面において、床組部分のみを単独に考えた有効幅を $b_{m'}$ として

$$b_{m'} = \frac{\int_0^b \sigma_x \cdot dy}{(\sigma_x)_{y=0}} \dots\dots\dots (57)$$

と定義すれば、先に述べた諸式により

$$\begin{aligned} \frac{b_{m'}}{b} &= \frac{1}{\alpha b} \cdot \frac{-1 + B_1 + C_1 + D_1}{1 + B_1 + 2(D_1 - C_1)} \\ &= \frac{2}{\pi\beta} \cdot \frac{\sinh 2\pi\beta + 2\pi\beta}{(3 + \nu) \cdot \cosh 2\pi\beta + 2(1 + \nu) \cdot (\pi\beta)^2 + 5 - \nu} \dots\dots\dots (58) \end{aligned}$$

となり、完全合成された床組断面の有効幅を求める場合と一致する。

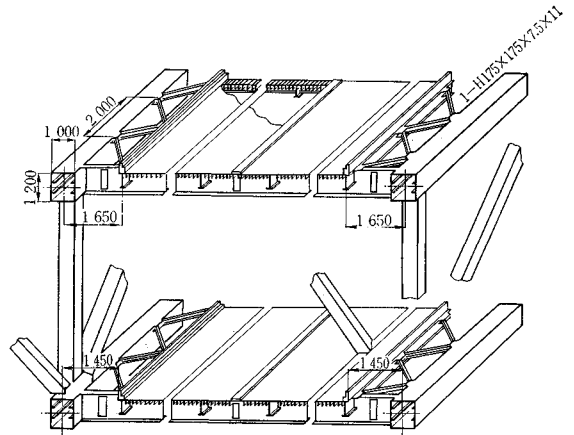
このことは、不完全合成桁理論による解法において、床組断面の有効部分を、溶示 46 条などに示される、完全合成断面の有効幅によって求めたことの正当性を示している。

つぎに、不完全合成桁理論による解法では、結合面の位置と床組断面の重心軸の偏心量 d を考慮できるのが特徴であるが、一般には、この偏心量、および、その影響はわずかなものであり、特殊な断面形状の場合を除いて無視してよいと考えられる。

この場合には、不完全合成桁理論による解法で、 $d=0$ とし、 h のかわりに構造部材の重心軸間距離 S_x を使用することとすれば、応力関数を用いた解法と一致した結果が得られることは、前述したとおりである。

また、長大橋梁構造物においては、図—6 に一例を示すように、二重の床組を有する構造も考えられる。

このような構造では、不完全合成桁理論による解法によれば、上、下の床組について、各 2 個の未定定数 τ_n' 、 λ_n が導入されるから、合計四元の連立方程式を解くこ



図—6 二重床組構造

ととなり、不便な点を免れない。

したがって、このような場合には、一重の床組を有する構造に対して、応力関数を用いて求められた換算有効幅を、各上、下の床組に適用して計算する方法などが考えられる。

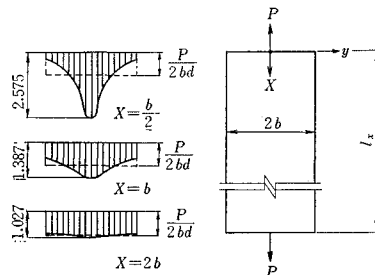
6. 軸方向力を受ける場合の考察

これまでの研究では、この構造が、主として曲げ変形を受ける場合について考察したが、実際の橋梁構造物においては、斜張橋、下路ランガー桁などの補剛桁のように、大きな軸方向力が局部的に集中して導入される場合が考えられる。

このような場合、従来の完全合成された構造物においては、慣用的に、曲げ変形に対する溶示 46 条の有効幅をそのまま準用し、一方、軸方向力の導入される点の近傍では、二次元応力問題の解、または、有限要素法などによって、応力集中度を計算している例が多い。

一例として、文献 5) によれば、図—7 に示すような、集中荷重を受ける長方形板の応力度分布は、荷重の作用点から x 方向に板幅 $2b$ 程度離れた断面では、すでに十分均等化されていることが示される。

ここで、弾性結合された構造物において、応力関数、または、せん断おくれの考え方を利用し、結合面の弾性



図—7 板の応力集中

結合定数を考慮に入れて、厳密な解析を行なうことが考えられるが、この場合には、作用する軸方向力と内部応力の偏心により、追加の曲げモーメントが発生するなど、複雑な計算となることを避けられない。しかし、一般には、後述する計算例で示されるように、弾性結合部材による合成効果は非常に大きいものであり、したがって、このような構造物においても、完全合成された構造物に準ずる取扱いが可能であると考えられる。

すなわち、まず、応力関数を用いた解法から曲げ変形に対する換算有効幅を求めて、軸方向力、および、曲げモーメントを受ける完全合成断面としての計算を行ない、軸方向力の導入される点から床組の幅程度の範囲内において、応力集中の照査を行なうことで十分と思われる。

ただし、この場合、軸方向力が、たとえば、主構造に導入されるものとすれば、結合面に働くせん断力 $\bar{\tau}_h$ は、曲げせん断によって生ずるもの他に、この軸方向力の一部を、床組に分配する作用に対しても計算しなければならぬ。このような分配作用は、先に述べた図-7における応力の流れ、あるいは、文献 3) に示された、不完全合成桁の正解などを参照すれば、軸方向力の導入される点の近傍において集中的に行なわれることが予想される。

したがって、厳密な計算を省略する場合には、たとえば、この点で導入される軸方向力を、主構造断面と、換算有効幅の部分における床組断面の断面積比程度で分配し、この点の近傍における数組の結合部材のみによって、これを床組に伝達させるなどの、十分な配慮を行なう必要がある。

7. 数値計算例、および、その考察

つぎに、このような弾性合成構造の実験的な効果を検討する意味で、実橋大の諸元により、非合成構造の場合と、多少の比較計算を行なったので、ここで、その結果の一部を示すこととする。

第一の計算例の対象は、図-8に示す斜張橋の鋼床板である。実橋においては、鋼床板床組と主構造の補剛桁は、完全合成された構造となっている。この計算例では、本橋の諸元を借用して、補剛桁と床組との間に、図

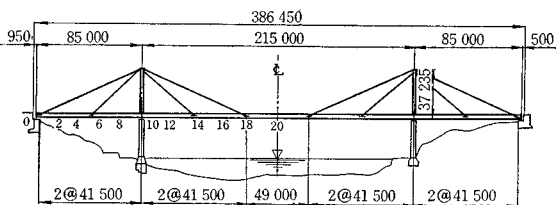


図-8 A-橋 一般図

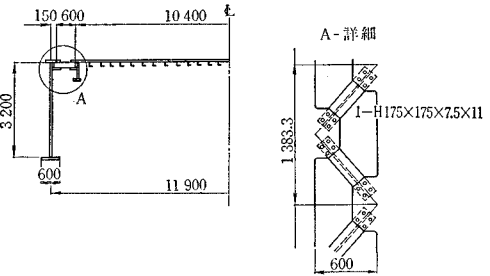


図-9 A-橋 断面図、および、弾性結合部材

—9のような空間部分を設け、ここに、弾性結合部材をシングルワレン形式に配置した場合と、非合成構造とした場合についての比較検討を行なった。

中央支間について、まず、弾性合成された場合の、床組の換算有効幅 b_m を、完全合成された場合の有効幅 (b_m)₀ と比較すると表-1 のようになり、ほとんど完全合成に近い合成効果が認められる。また、この換算有効幅を用いて、非合成構造、および、弾性合成構造の両者についての、中央支間における断面構成、応力度、概算重量などを比較した結果が表-2, 3 である。

表-1 A-橋 換算有効幅

結合部材	有効支間長 (cm)	k (kg/cm ²)	$b_m/(b_m)_0$	b_m (cm)
1-H 175×175×7.5×11	10 750.0	9.4143×10 ⁸	0.9833	490.7

これによると、弾性合成構造とした場合には、上フランジの応力度にかなりの余裕があり、鋼床板床組と補剛桁を合計した鋼材重量では、非合成構造の場合と比較して約3%減程度である。

しかし、この計算例では、弾性合成とした場合の活荷重たわみは、中央支間長の約1/500であり、非合成構造の場合には、補剛桁の断面二次モーメントがさらに約40%程度低下しているので、実際設計において、構造物の剛性を考慮に入れて補剛桁の断面を決定した場合には、重量差はこれよりもかなり大きくなると思われる。

つぎに、第二の計算例の対象は、図-10に示すようなトラス桁である。これは長大支間長を有するゲルバートラス橋の吊支間部を想定したものであって、このような長大橋梁では、耐風性能を向上させるために、鋼床板床組と主構造のトラス桁との間に空間部分を設けるものとし、この場合について、非合成構造、および、弾性合成構造とした場合の比較検討を行なった。

ここで、床組断面の構成は、アメリカの長大吊橋など

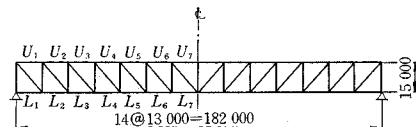


図-10 B-橋 計算上の骨組図

表-2 A-橋 断面構成, 応力度

断面	非合成構造		弾性合成構造		
	補剛桁断面	材質, 応力度 (kg/cm ²)	補剛桁断面	材質, 応力度 (kg/cm ²)	
				補剛桁	結合部材
Pt. 10	1-P L 600×32 1-P L 3200×14 1-P L 600×38	SM50 Y 2575 SM50 Y -2370	1-P L 300×12 1-P L 3200×14 1-P L 600×29	SS41 856 SM50 Y -2378	SS41 972*
Pt. 10 +3.0 m	1-P L 600×28 1-P L 3200×12 1-P L 600×34	SM50 Y 2621 SM50 Y -2391	1-P L 300×12 1-P L 3200×12 1-P L 600×26	SS41 779 SM50 Y -2393	---
Pt. 14 -3.5 m	1-P L 600×28 1-P L 3200×12 1-P L 600×44	SM50 Y 2518 SM50 Y -2348	1-P L 300×12 1-P L 3200×12 1-P L 600×34	SS41 749 SM50 Y -2407	---
Pt. 14	1-P L 600×28 1-P L 3200×16 1-P L 600×46	SM50 Y 2567 SM50 Y -2371	1-P L 300×12 1-P L 3200×16 1-P L 600×34	SS41 843 SM50 Y -2403	---
Pt. 14 +4.4 m	1-P L 600×27 1-P L 3200×12 1-P L 600×32	SM50 Y 2578 SM50 Y -2384	1-P L 300×12 1-P L 3200×12 1-P L 600×25	SS41 748 SM50 Y -2337	---
Pt. 18	1-P L 600×25 1-P L 3200×14 1-P L 600×25	SM41 -1112 * SM41 -1150	1-P L 300×12 1-P L 3200×14 1-P L 600×25	SS41 153 * SM41 -1009	---
Pt. 20	1-P L 600×35 1-P L 3200×12 1-P L 600×31	SM50 Y -1934 * SM50 Y 2054	1-P L 300×12 1-P L 3200×12 1-P L 600×25	SS41 -636 * SM50 Y 1979	---

備考; 1) * 欄は常時応力度, その他は架設時応力度を示す。

2) ケーブル取付点 (Pt. 14, Pt. 18) の近傍では, 軸方向力に対する床組の有効幅を0とした。

表-3 A-橋 主構造, 床組の鋼材重量 (kg)

部材	非合成構造			弾性合成構造		
	SS41, SM41	SM50 Y	計	SS41, SM41	SM50 Y	計
鋼床板	230921	186070	416991	230921	186070	416991
補剛桁	157020	196778	353798	162354	140722	303076
結合部材				28058		28058
合計	387941	382848	770789	421333	326792	748125

備考; 鋼材重量は, 中央支間合計 (二主桁分) を示す。

で見られるように, 主構トラスの上, 下弦材の位置に, それぞれ床組を有する, 二重の床組構造であると仮定し, 下側の床組は, 架設順序として, 最後に施工されるものとした。したがって, 上弦材は, すべての荷重に対して合成断面として働き, 下弦材は, 下側の床組が完成した後の荷重についてのみ, 合成されるものと考えた。計算に用いた断面は図-6 のようであるが, 寸法の詳細は省略する。

まず, 弾性合成された場合の, 床組の換算有効幅 b_m を, 完全合成された場合の有効幅 (b_m)₀ と比較すると表-4 のようになり, 第一の計算例と同じく, 大きな合成

表-4 B-橋 換算有効幅

部材	材	結合部材	k (kg/cm ²)	$b_m/(b_m)_0$	b_m (cm)
上弦材	U ₁ ~U ₄	2-H 175×175×7.5×11	8.833×10 ³	0.9872	898.8
	U ₅ ~U ₇	1-H 175×175×7.5×11	4.416×10 ³	0.9747	887.4
下弦材	1-H	175×175×7.5×11	4.416×10 ³	0.9747	887.4

効果が認められる。

つぎに, この換算有効幅を用いて, 非合成構造, および, 弾性合成構造の両者についての, 断面構成, 応力度, 概算重量などを比較した結果が, 図-11, 表-5, 6

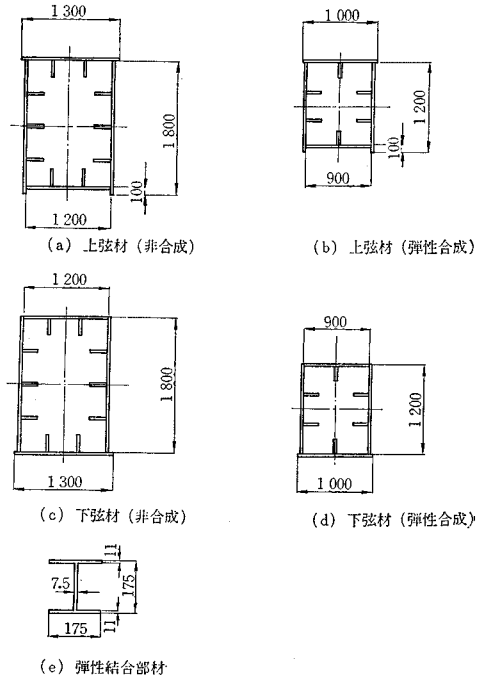


図-11 B-橋 主構弦材, 弾性結合部材断面図

表-5 B-橋 断面構成, 応力度

部 材	非 合 成 構 造					弾 性 合 成 構 造					
	弦 材 断 面		材 質, 応 力 度 (kg/cm ²)			弦 材 断 面		材 質, 応 力 度 (kg/cm ²)			結 合 部 材
			弦 材	デ ッ キ プ レ ー ト	縦 リ プ			弦 材	デ ッ キ プ レ ー ト	縦 リ プ	
上 弦 材	U ₁	1-P.L 1300×12	SS41 -1201	SS41 -460	SM50 -733	1-P.L 1000×12	SS41 -556	SS41 -1009	SM50 -1282	SS41 1344	
		2-P.L 1800×12				2-P.L 1200×12					
		1-P.L 1200×12				1-P.L 900×12					
	U ₂	1-P.L 1300×17	SM50 -1756	"	"	"	SS41 -1026	SS41 -1473	SM50 -1746	—	
		2-P.L 1800×17									
		1-P.L 1200×17									
	U ₃	1-P.L 1300×18	SM58 -2318	"	"	1-P.L 1000×13	SM50 -1399	SS41 -1824	SM50 -2097	—	
2-P.L 1800×18											
1-P.L 1200×18											
U ₄	1-P.L 1300×24	SM58 -2266	"	"	"	SM50 -1696	SM50 -2113	SM50 -2386	—		
	2-P.L 1800×24										
	1-P.L 1200×24										
U ₅	1-P.L 1300×27	SM58 -2324	"	"	1-P.L 1000×20	SM50 -1705	SM50 -2122	SM50 -2395	SS41 1086		
	2-P.L 1800×27				2-P.L 1200×20						
	1-P.L 1200×27				1-P.L 900×20						
U ₆	1-P.L 1300×30	SM58 -2278	"	"	1-P.L 1000×24	SM50 -1714	SM50 -2171	SM50 -2404	—		
	2-P.L 1800×30				2-P.L 1200×24						
	1-P.L 1200×30				1-P.L 900×24						
U ₇	"	SM58 -2326	"	"	1-P.L 1000×26	SM50 -1701	SM50 -2118	SM50 -2391	—		
下 弦 材	L ₂	1-P.L 1200×12	SS41 1201	SS41 198	SM50 1657	1-P.L 900×15	SS41 1365	SS41 343	SM50 1802	SS41 715	
		2-P.L 1800×12				2-P.L 1200×15					
		1-P.L 1300×12				1-P.L 1000×15					
	L ₃	1-P.L 1200×16	SM50 1832	"	"	1-P.L 900×22	SM50 1892	SS41 439	SM50 1898	—	
		2-P.L 1800×16				2-P.L 1200×22					
		1-P.L 1300×16				1-P.L 1000×22					
	L ₄	"	SM58 2519	"	"	1-P.L 900×23	SM58 2513	SS41 523	SM50 1983	—	
"		2-P.L 1200×23									
"		1-P.L 1000×23									
L ₅	1-P.L 1200×21	SM58 2508	"	"	1-P.L 900×29	SM58 2536	SS41 562	SM50 2021	—		
	2-P.L 1800×21				2-P.L 1200×29						
	1-P.L 1300×21				1-P.L 1000×29						
L ₆	1-P.L 1200×24	SM58 2549	"	"	1-P.L 900×33	SM58 2570	SS41 586	SM50 2045	—		
	2-P.L 1800×24				2-P.L 1200×33						
	1-P.L 1300×24				1-P.L 1000×33						
L ₇	1-P.L 1200×26	SM58 2554	"	"	1-P.L 900×36	SM58 2553	SS41 597	SM50 2056	—		
	2-P.L 1800×26				2-P.L 1200×36						
	1-P.L 1300×26				1-P.L 1000×36						

備考; 1) 鋼床板(デッキプレート, 縦リブ)の応力度は, 主構造断面, および, 床組断面としての応力度を合計したものである。

2) 応力度は, すべて主荷重によるものを示す。

である。

弾性合成とした場合には, 一部で, 上弦材の材質が低下し, 鋼床板の材質が高くなった部分があるが, 重量的には, 非合成構造の場合と比較して, 主構造と床組の合計につき, 約 10.4% 減となり, 相当な経済的効果が認められる。

ついでながら, これらの計算例では, 主構造, および, 床組の部分についてのみ, このような合成構造の効果を検討したが, 実際には, 結合用のトラス部材と鋼床板床組とが, 橋梁の横構としても作用することになり,

非合成構造の場合と比較して, 横構, 対傾構などについても, かなりの経済性が期待できると思う。

このほか, このような構造を実際に利用する場合に, 検討を要する事項は非常に多いことと思われるが, これらについては, いずれ詳細な設計例を作成した上で, 機会があれば追加発表したい所存である。

8. 結 語

著者らは, 本文において, 主構造(飯桁, または, ト

表-6 B-橋 主構造, 床組の鋼材重量 (kg)

部	材	非 合 成 構 造				弾 性 合 成 構 造			
		SS41	SM50	SM58	計	SS41	SM50	SM58	計
上 弦 材	鋼 床 板	350 775	358 694		709 469	168 554	540 915		709 469
	弦 材	94 662	74 726	510 581	679 969	90 498	256 554		347 052
	結 合 部 材					37 564			37 564
	計	445 437	433 420	510 581	1 389 438	296 616	797 469		1 094 085
下 弦 材	鋼 床 板	350 775	358 694		709 469	350 775	358 694		709 469
	弦 材	94 662	71 614	358 043	524 319	67 354	57 454	302 221	427 029
	結 合 部 材					26 920			26 920
	計	445 437	430 308	358 043	1 233 788	445 049	416 148	302 221	1 163 418
腹 材	垂 直 材	141 177	256 167		397 344	141 177	256 167		397 344
	斜 材	160 128	338 953		499 081	160 128	338 953		499 081
	計	301 305	595 120		896 425	301 305	595 120		896 425
合 計		1 192 179	1 458 848	868 624	3 519 651	1 042 970	1 808 737	302 221	3 153 928

備考；鋼材重量はこの支間の合計（二主構造）を示す。

ラス桁）と鋼床板床組とをトラス形式の結合部材によって合成させた橋梁構造について述べ、主として、曲げ変形を受ける場合についての簡便な計算法を示した。

これらの方法は、慣用的な考え方にしたがって、かつ、局部的な応力集中に適切な配慮を行なうならば、軸方向力による大きな変形をともなった場合にも、準用できるものと考えられる。

また、計算例によって示されたように、このような弾性結合部材を設けたことによる合成効果は、非合成構造と比較して著しいものがあり、今後の長大橋梁を計画するにあたっては、このような構造にも十分注目すべきであると思う。

本文で述べた解法は、いずれも、実用性を主体として考え、添示 46 条の有効幅の考え方に準ずる精度を目標とした一種の近似計算法であって、各計算式の誘導においては、多くの簡便な仮定を設けているが、これらについては、さらに模型実験などにより、その妥当性を十分検討したい所存である。

以上は、まことに雑駁な報文であるが、このような構造形式についての文献が少ない現在、参考になる点が多いと考えて、あえて発表した次第であり、各位からご批判を頂ければ非常に幸いと考えている。

参 考 文 献

- 1) Newmark, N.M., Siess, C.P. and Viest I.M.: "Test and Analysis of Composite Beams with Incomplete Interaction", Proc. S.E.S.A., 9.1 (1951), pp. 75~92
- 2) 山本 稔: 不完全合成桁の曲げ理論, 土木学会論文集, 68 (1960. 3), pp. 1~10
- 3) 橘 善雄・小松定夫 (共訳): 鋼橋の理論と計算, 山海堂, 1960.
- 4) 倉西正嗣: 応用弾性学, 共立出版, 1953.
- 5) Timoshenko, S. and Goodier, J.N.: Theory of Elasticity, McGRAW-HILL, New York, 1951.
- 6) 鈴木俊男: 2-主桁並列型式の鋼床板桁橋の設計計算について, 土木学会論文集, 51 (1957. 12), pp. 41~50
- 7) 近藤和夫・小松定夫・中井 博: 鋼床板桁橋の有効幅に関する研究, 土木学会論文集, 86(1962. 10), pp. 1~17

(1970. 3. 9・受付)