

1. まえがき

トラス橋は、主構、上下横構、対傾構および床組などによつて、立体構造として組立てられている。したがつて従来より用いられてきた平面トラスの組合せと考え、偏心荷重の主構への荷重分配を、1-0の影響線と与える慣用設計法はトラスのねじり抵抗を無視することになり、主構に対しては不経済な設計法になつている。と同時に中間対傾構、横構への応力の流れおよび安全性に対する配慮が欠けている。また横荷重についても上下横構をそれぞれ独立な平面トラスとして解析しているが、立体的に上下横構に応力が分配される実際の状態に対しては危険側の設計となる可能性もある。以上のような観点から、トラス橋においては、設計の合理化のために大型計算機を利用した立体構造解析を実施する機運が現われている。立体解析によつて主構部材のみならず、従来より2次部材として取扱われていた中間対傾構、横構の設計をより合理的に行うことができる。

立体トラスの構造解析法としては、立体骨組構造物としてマトリックス構造解析による方法もあるが、構造物が大規模で複雑になると計算機の記憶容量、計算時間が膨大となる。本研究では後で述べるような理由で数多くのパラメトリックな計算を行う必要上、トラスを薄肉断面ばりに置換して曲げねじり構造解析による方法を採用して大巾な計算時間の短縮を計つた。更にトラスの立体的構造特性を表わす無次元パラメーターを見出して、これらを用いて偏心荷重、横荷重に対する立体特性を考慮に入れた簡易設計法に発展させた。

2. 断面変形を考慮した箱型トラスの曲げねじり

一般にトラス断面は重心を通る鉛直軸に関して対称だから、偏心荷重は重心を通る鉛直荷重成分とねじり荷重成分に分離して取扱うことができる。前者については通常の平面トラスの理論で解析すればよい。そこで偏心荷重による立体解析はトラスの曲げねじり理論を構成することに帰着する。中小径間のトラス橋では、斜材を有する合理的な対傾構をもつ場合でも偏心荷重や横荷重によつて、かなり大きな断面変形(対傾構の弾性変形)が含まれることが、これまでの研究によつて明らかになつている。トラスの曲げねじり理論を構成する際には、下路トラスやダブルデツキトラスの横ラーメンを含めた広義の対傾構の弾性変形を考慮する必要がある。

(1) トラス部材の連続体への換算式

本研究では離散的なトラス部材を等価換算剛性を用いて連続体に置換え、弾性方程式を誘導するので、まづこれらの換算式を示す。図1に示すようにせん断力 Q が作用するトラス構面の1パネルに着目しその間に生ずるせん断変形と等価な変形を生ずる平板

の板厚をトラス構面の換算板厚と称する。せん断力 Q によつて生ずるB点のA点に対する相対変位 η は、斜材の伸びだけを考慮すると、

$$\eta = \zeta Q, \quad \zeta = h / EA_d \sin^3 \phi_d \quad (1)$$

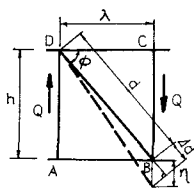


図1 構面のせん断変形

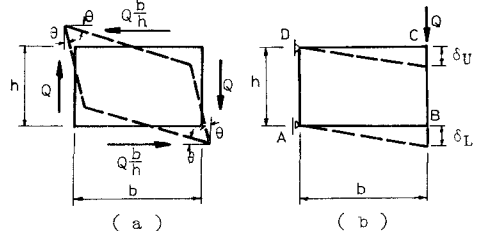


図2 対傾構のせん断変形

縦横の辺長が h, λ で厚さ t なる板のせん断力 Q による変形量 η は

$$\eta = \frac{Q\lambda}{Gth} \quad (2)$$

式 (1)(2) を等置して、換算板厚式は $t = \lambda / G\zeta h$ (3)

つぎに、図 2 に示すような、せん断力 Q の構成する断面変形に関する偶力と対傾構のせん断ひずみの半分で定義されるずれ角 θ の関係を次式で与える。

$$\Gamma \theta = 2 Q b \quad (4)$$

式 (4) の剛性 Γ をトラスの橋軸方向に分布する抵抗力とするために、格間長 λ で割つて $\gamma = \Gamma / \lambda$ (5)

γ を平均化した対傾構のせん断剛性と呼ぶ。図 2 (b) のように対傾構の左端 2 点 A, D を単純支持し、右端 B または C 点に Q なる集中荷重を作用させたときの B 点、 C 点の鉛直たわみの平均値を δ とすると

$$\gamma = 4Qb^2 / \lambda \delta \quad (6)$$

(2) 弾性方程式の誘導

トラスは上下横構を有する 2 軸対称箱型断面とする。ねじり荷重が作用したときに、図 3 に示す 3 つの変形の自由度を与える。すなわち軸方向にはそり、断面内には z 軸まわりの回転角 (ねじれ角) と断面変形 (ずれ角) を考える。任意点の軸方向変位 $u(z, s)$ と薄肉中心線方向の変位 $v(z, s)$ を次式のように変数分離形で表わす。

$$u(z, s) = U(z) \phi(s), \quad v(z, s) = V_1(z) \psi_1(s) + V_2(z) \psi_2(s) \quad (7)$$

ここに $U(z), V_1(z), V_2(z)$ は上記 3 つの変位成分のスパン方向分布、また $\phi(s), \psi_1(s), \psi_2(s)$ はそれぞれ対応する断面内の基本モードを表わしている。任意点の応力 σ, τ と変位の関係は

$$\sigma(z, s) = E \frac{\partial}{\partial z} u(z, s) = E U_1'(z) \phi(s) \quad (8)$$

$$\tau(z, s) = G \left\{ \frac{\partial}{\partial s} u(z, s) + \frac{\partial}{\partial z} v(z, s) \right\} = G \left\{ U(z) \phi'(s) + V_1'(z) \psi_1(s) + V_2'(z) \psi_2(s) \right\}$$

薄肉要素に作用する応力間のつり合条件式は

$$\frac{\partial \sigma t}{\partial z} + \frac{\partial \tau t}{\partial s} = 0, \quad \frac{\partial \tau t}{\partial z} + q = 0 \quad (9)$$

ここに q は s 方向に作用する分布外力である。式 (9) に仮想変位の原理を適用すると、

$$\int_{F_1} \frac{\partial}{\partial z} \sigma(z, s) \phi(s) dF_1 - \int_{F_2} \tau(z, s) \phi'(s) dF_2 = 0 \quad (10)$$

$$\int_{F_2} \frac{\partial}{\partial z} \tau(z, s) \psi_j(s) dF_2 + \int_L q \psi_j(s) ds = 0 \quad (j = 1, 2)$$

ここに、積分記号 $\int_{F_1}, \int_{F_2}$ および $\int_L$ はそれぞれげん材に関する面積分、腹材に関する面積分、および箱型断面の周辺に沿う線積分を表わす。変位の基本モードは

$$\phi(s) = x(s) y(s), \quad \psi_1(s) = h(s), \quad \psi_2(s) = x'(s) y(s) + x(s) y'(s) \quad (11)$$

$x(s), y(s)$ は薄肉断面上任意点の直交座標、微分記号 ' は s による微分を表わす。

式 (8)(11) を式 (10) に代入すると、

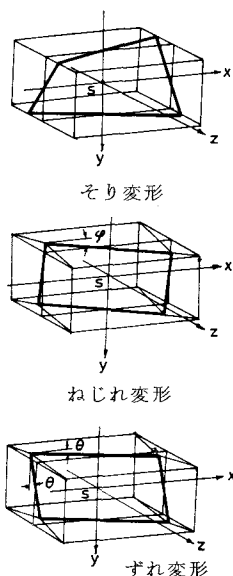


図 3 変形の基本モード

$$a U''(z) - b_1 U(z) - b_2 V_1'(z) - b_1 V_2'(z) = 0, \quad b_2 U'(z) + b_1 V_1''(z) + b_2 V_2''(z) + m_t = 0 \quad (12)$$

$$b_1 U'(z) + b_2 V_1''(z) + b_1 V_2''(z) - \gamma V_2(z) + m_\theta = 0$$

ここで、 $a = EA_c b^2 h^2 / 4$, $b_1 = G(b t_1 + h t_2) b h / 2$, $b_2 = G(b t_1 - h t_2) b h / 2$

t_1 : 主構面換算板厚、 t_2 : 横構面換算板厚、 γ は前項で定義した平均化した対傾構のせん断剛性である。

$$m_t = \int_L q \psi_1(s) ds \quad m_\theta = \int_L q \psi_2(s) ds$$

ここで変形を $U(z) = w$, $V_1(z) = \psi$, $V_2(z) = \theta$ と書換える。更に新しい関数 $f = \int w dz$ を導入する。式(12)より

$$w = f', \quad \theta = \frac{a}{\gamma} f + \frac{m_\theta}{\gamma}, \quad \psi = -\frac{a}{\gamma} f'' + \frac{a}{b_2} f''' - f' - \frac{b_1}{b_2 \gamma} m_\theta \quad (13)$$

式(12)のオ2式にこの関係を代入して f のみで表現すると、

$$f'''' - 2r^2 f'' + s^4 f'' - \frac{b_2 \gamma}{a(b_1^2 - b_2^2)} m_t + \frac{1}{a} m_\theta'' = 0 \quad (14)$$

$$r^2 = \frac{b_1 \gamma}{2(b_1^2 - b_2^2)}, \quad s^4 = \frac{\gamma}{a}$$

式(14)を断面変形を考慮した2軸対称箱型トラスの曲げねじりに関する基礎方程式と称する。断面力を変数 f で表わすと、

$$\begin{aligned} \text{ねじれモーメント} \quad T &= b_1 \psi' + b_2 \theta' + b_2 w = -\frac{a}{\gamma} \frac{b_1^2 - b_2^2}{b_2} f'' + a \frac{b_2}{b_1} f''' - \frac{b_1^2 - b_2^2}{b_2} f' - \frac{b_1^2 - b_2^2}{b_2 \gamma} m_\theta' \\ \text{ずれモーメント} \quad T_\theta &= b_2 \psi' + b_1 \theta' + b_1 w = a f''', \quad \text{バイモーメント} \quad M_w = -a f'' \end{aligned} \quad (15)$$

(3) 一般の単純支持トラスの解

基礎方程式(14)の一般解は r と s の大小によつて以下の3通りに分けられる。

$$\begin{aligned} r > s \quad f &= C_1 \cosh \alpha z + C_2 \sinh \alpha z + C_3 \cosh \beta z + C_4 \sinh \beta z + C_5 z + C_6 + \frac{b_2 m_t}{2(b_1^2 - b_2^2)} z^2 \\ \alpha &= \sqrt{r^2 + \sqrt{r^4 - s^4}}, \quad \beta = \sqrt{r^2 - \sqrt{r^4 - s^4}} \\ r = s = \alpha \quad f &= C_1 \cosh \alpha z + C_2 \sinh \alpha z + C_3 z \cosh \alpha z + C_4 z \sinh \alpha z + C_5 z + C_6 + \frac{b_2 m_t}{2(b_1^2 - b_2^2)} z^2 \quad (16) \\ r < s \quad f &= C_1 \cosh \alpha z \sin \beta z + C_2 \cosh \alpha z \cos \beta z + C_3 \sinh \alpha z \cos \beta z + C_4 \sinh \alpha z \sin \beta z \\ &\quad + C_5 z + C_6 + \frac{b_2 m_t}{2(b_1^2 - b_2^2)} z^2 \quad \alpha = \sqrt{(s^2 + r^2)/2}, \quad \beta = \sqrt{(s^2 - r^2)/2} \end{aligned}$$

概して対傾構のせん断剛性が大きい場合は $r = s$ となり、小さい場合は $r < s$ となる。一般のトラスがねじれ荷重、ずれ荷重あるいは横荷重を受けるとき、端断面の支持状態は下側隅角部2点で支持されており、端断面の対傾構剛性に依りて弾性的に断面変形が許容される。また固定側支点では支点は3方向の変位が拘束され、そりおよび y 軸まわりの回転が半固定状態にあり、他方の可動側支点では軸方向変位が拘束されないのが普通である。固定側支点の拘束効果によつてねじり変形と横たわみとが連成する。次の横たわみに関する4階の微分方程式(17)と式(14)の6階の微分方程式について、等分布荷重を対象としても、10個の境界条件を用い

て積分定数を決定することになる。

$$EI_y u''(z) = q_x - \frac{EI_y}{2Gt_2b} q_x'' \quad (17)$$

境界条件 1) 支点断面では橋面傾斜角は生じない。 $\psi(0) + \theta(0) = 0$, $\psi(l) + \theta(l) = 0$ 2) 可動側支点では
 曲げモーメントおよびバイモーメントが0だから $w'(l) = 0$, $u''(l) = 0$ 3) 支点断面におけるx方向たわみは
 ずれ変形による重心軸の移動だから $u(0) = -\theta(0)h$, $u(l) = -\theta(l)h$ 4) 端対傾構に作用するずれモーメント
 T_θ とずれ角の関係は

$$\Gamma_\theta \theta(0) = -\{T(0) - T_\theta(0) + Q_x(0)h\}$$

$$\Gamma_\theta \theta(l) = T(l) - T_\theta(l) + Q_x(l)h$$

5) 固定支点上では下げん材位置で橋軸方向の変位が生じない。

$$w(0) h/2 = u'(0)$$

6) 固定支点上で上げん材の軸方向反力は0となる。

$$w'(0) = \frac{EI_y h}{a} u''(0)$$

3. トラス橋の立体的力学特性を表わす

無次元パラメーター

基礎方程式(14)およびその解(16)を整理すると、断面変形を考慮した閉断面トラスのねじりに関する変形、断面力は断面のねじり剛性 GJ 、曲げねじり剛性、および中間対傾構の剛性 γ の比を表わす無次元パラメーター αl , βl または rl , sl , 上下横構と主構のせん断剛性のバランスを表わす ρ および中間対傾構と端対傾構のせん断剛性の比 $c = \Gamma_\theta/\Gamma$ の4つのパラメーターに支配されている。

r と s にはともに中間対傾構剛性 γ が含まれているので、両者から γ 値を消去した μl をねじり剛性と曲げねじり剛性の比を表わすパラメーターとして用いる。結局トラスの無次元パラメーターとしては μl : ねじり剛性と曲げねじり剛性の比とスパンに
 関係する量

rl : 対傾構剛性とねじり剛性の比とスパンに
 関係する量

ρ : 構面のせん断剛性の割合

c : 端対傾構と中間対傾構のせん断剛性の比

の4つの独立パラメーターに集約できる。図5 7に実橋のパラメーターの分布を示す。

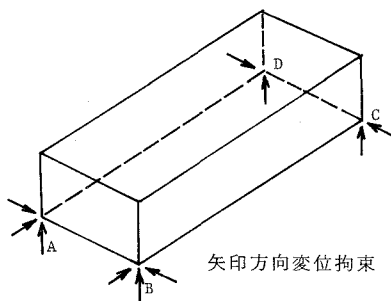


図4 トラス橋の支持状態

1 本四実橋モデル	1	7 無名
2 同	2	8 天竜川橋
3 同	3	9 鶴川大橋
4 京浜運河橋	1	10 境水道橋
5 同	2	11 上野原橋
6 中野橋		

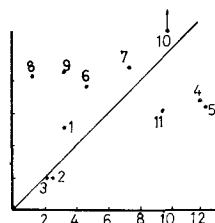


図5 実橋のパラメーター分布

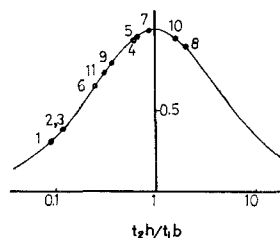


図6 腹板比とパラメーターの関係

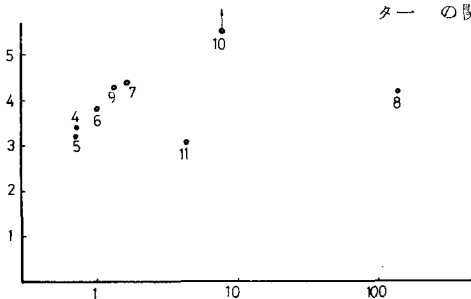


図7 実橋の無次元パラメーター分布

4. ねじり荷重による変形と応力

図8—図10に等分布ねじり荷重を受ける単純トラスの変形と断面力の分布例を示す。

(1) μl 値はねじり角の分布形に大きな影響を与える。 GJ を一定とした場合、 μl 値が小さいと相対的に曲げねじり剛性が大きくなり、当然変形は小さくなる。 ρ 値が小さくトラスが扁平である程、この影響が著しい。

(2) 実橋では下路形式で γ 値が小さいと、橋門構のせん断剛性が相対的に大きいので、 c 値が大となる。 上路形式では γ 値が大きく、 c 値は1に近い。 どちらの形式でも端断面の変形はあまり大きくならない。 ところで、ダブルデツキ構造では、 γ 値がそれ程大きくなく、また c 値も大きくとれない。 図8(b) のように端部の変形は無視できない。

(3) 断面が剛でねじり剛性のみ有効とした場合 $\psi_{\max} GJ/m_t l^2$ は0.125となる。 μl 値が大きく、 ρ が1に近いと $\psi_{\max} GJ/m_t l^2$ は0.125に漸近する。

(4) rl 値が大きくなると当然ずれ角は小さくなる。 $rl = 5$ ではずれ角はねじれ角の10—20%、 $rl = 10$ では5%以下である。 rl 値が小さい領域ではねじれ角とずれ角は同程度に生ずる。

(5) 主構面および横構面のせん断力はそれぞれ $\bar{s}_d = s_d 2b/m_t l$, $\bar{s}_b = s_b 2h/m_t l$ と無次元表示される。 主構面、横構面に等分にせん断流が分配される場合は $\bar{s}_d = \bar{s}_b$ となり、端部ではこの値がほぼ0.5となる。 逆に主構のみに負担される場合、端部では $\bar{s}_d = 1$ となる。

(6) rl 値が小さいとねじり荷重はほとんど主構が分担し横構の応力は小さい。 いわゆる1—0法の該当する応力分布状態である。

(7) μl ; rl 値がともに大きいと、スパン中間部ではほぼ $\bar{s}_d = \bar{s}_b$ の状態になるが、端部パネル付近では $\bar{s}_d > \bar{s}_b$ となる。

5. 横荷重による変形と応力

才2節の式(14)で $m_t = m_g = 0$ 、式(17)の横荷重 q_x のみを外力とすると、上下横構に等しい横荷重を受ける場合の解が与えられる。 上下横構に作用するせん断力の合力を横方向せん断力 Q_x と称する。 対傾構剛性が小さく、且つ c 値も小さい場合、横荷重はほとんど下横構を通して支점에伝達される。 この場合、 Q_x の

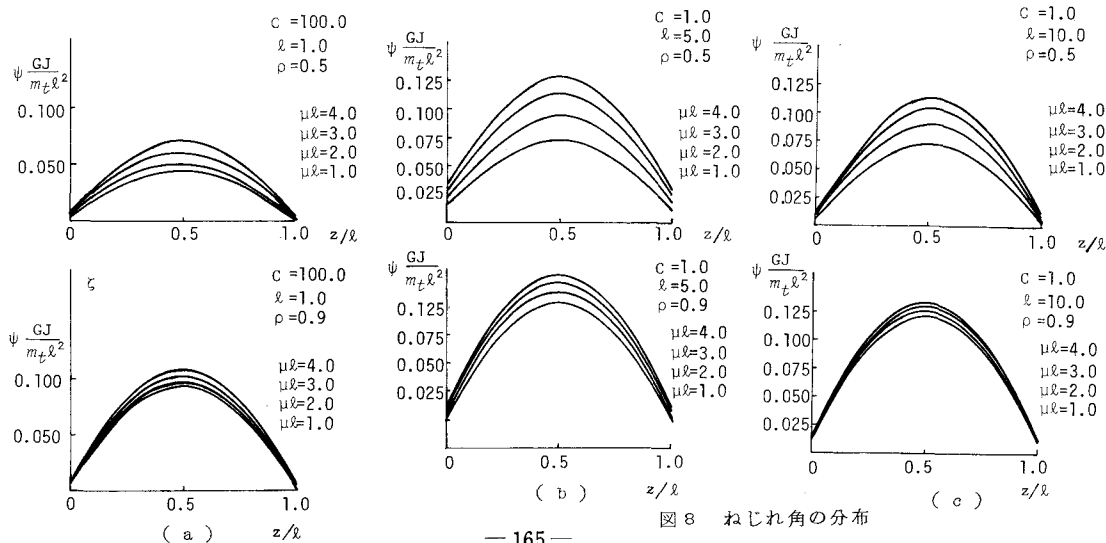


図8 ねじれ角の分布

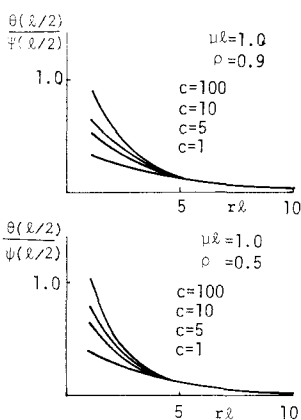
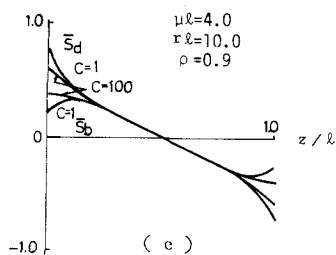
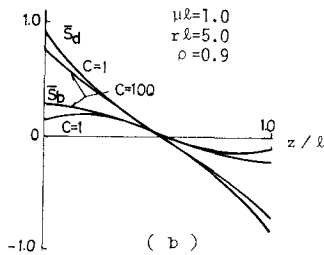
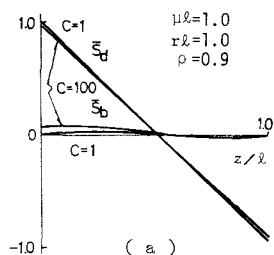
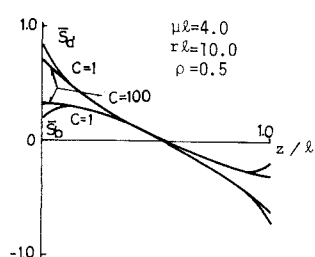
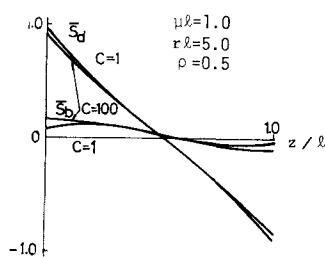
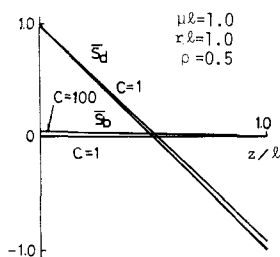


図9 構面せん断力の分布

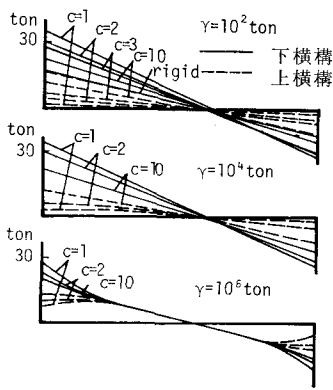
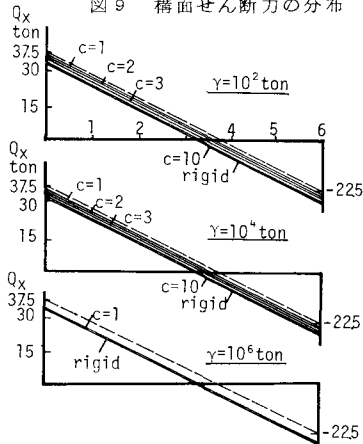


図10 ずれ角混合率

図11 横方向せん断力

図12 横構せん断力

分布は1端固定、他端単純支持ばりの状態に近い。 γ 値が小さくても、 c 値が大きいと、上横構に作用した横荷重は上横構を通して端対傾構より支点に伝わる。この場合上横構は両端単純支持に近いので、全体の横方向せん断力は1端固定他端単純支持ばりと両端単純支持ばりのほぼ中間状態にある。 γ 値が大きいと c 値による差は少ない。(以上図11)

次に上下横構面に作用するせん断力の分布を図12に示す。中間対傾構 γ 値が小さい場合、 c 値も小さいと上横構に作用した荷重は中間対傾構を通して下横構に流れ、下横構面のせん断力は非常に大きくなる。 γ 値が小さくても、 c 値が大きいと上下横構せん断力の差が縮まるが、 $c = 10^2$ 程度でも無視できない差が残る。 γ 値が大きくても端部数パネルでは、下横構せん断力が急増する。

6. 立体的力学特性を考慮した実用設計法

実際にトラス橋を設計する際に、基本設計の段階から三次元構造解析を用いた厳密な計算を行なうことは実用的でない。また、前節までの立体トラスの力学的特性を総合的に判断すると、4つのパラメータの組合せに

よつては、従来より用いられてきた荷重を両主構面に1-0分配する方法（慣用設計法）では不十分な場合が多いと考えられる。特に上路トラスのように、中程度の rl 値で c 値が小さい形式では特に不適当である。したがってトラスの立体的力学特性を十分に考慮に入れた実用設計法の確立が望まれる。そこで以下に述べるような慣用設計法を少し改良した実用設計法を提案したい。この方法の特長はトラスの解析を従来どおり平面トラスとして行なうが、個々の構面に分配される荷重を、オ3節で与えた4つの無次元パラメーターによつて分類された分配係数を用いて算定するように配慮した点にある。

(1) 鉛直偏心荷重の分配係数

図13(a)におけるねじり荷重 pe によるげん材と斜材の部材力を算定するために用いる荷重分配係数は常に相異なる。その程度は特にパラメーター $\mu l, \rho$ によつて著しく影響される。また荷重も分布荷重と集中荷重とでそれぞれ分配係数を与えた。例えば単純トラスにおいて満載等分布荷重 p を対象として、ねじり荷重 $m_t = pe$ によるげん材力は

$$\frac{8 M_w}{m_t l^2} = N_{c,t} \frac{8bh}{m_t l^2} = N_{c,t} \frac{8bh}{pe l^2}$$

また鉛直荷重成分によるげん材力は $N_{c,b} \frac{8h}{p l^2} = 0.5$

両者を合計して、荷重の形式で表わすと図13(a)の右側主構、左側主構に対してそれぞれ

$$P_R = p \left(0.5 + k_1 \frac{e}{b} \right), \quad P_L = p \left(0.5 - k_1 \frac{e}{b} \right) \quad (18)$$

こゝに分配係数 $k_1 = N_{c,t} \frac{8h}{p l^2}$ であり、立体解析の結果を用いて与えられる。他の荷重状態についても、すべて式(18)の形で表わすことができる。主構斜材についても式(18)と同様に表わされ、分配係数を k_2 とする。また横構は $P_b = k_3 p \frac{e}{b}$ なる分配を受けるものとする。

対傾構は床組としての応力のほかにトラス全体としての立体的な変形の影響を受ける。そこで図13(c)のように対傾構の左端2点を単純支持し外力 p のほかに $R = k_4 p$ なる力を右端に受けるものとして輪荷重と局部的変形に伴う断面力を算定する。

(2) 横荷重の分配係数

図13(b)に示すように横荷重の上下横構への分配を実線のような影響線を用いて

$$\text{上横構} \quad P_u = (1 - k_5) \frac{e}{h} p$$

$$\text{下横構} \quad P_d = \left\{ 1 - (1 - k_5) \frac{e}{h} p \right\}$$

と与える。上横構に作用した荷重のうち $k_5 p$ が下横構に分担される。以上の各種の荷重分配係数をまとめて表1に示す。

表1 荷重分配係数の記号

荷重	偏心鉛直荷重		横荷重
	分布荷重	集中荷重	分布荷重
げん材	k_1	k_1	k_5
主構斜材	k_2	k_2	k_6
横構	k_3	k_3	k_7
対傾構	k_4	k_4	k_8

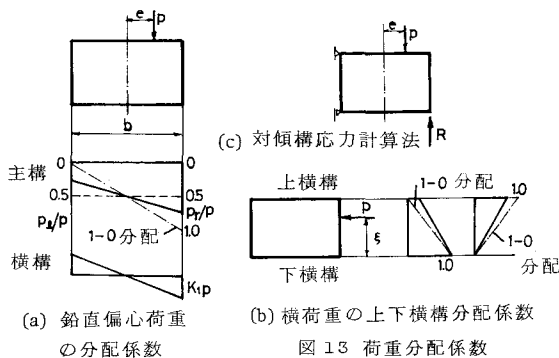


図13 荷重分配係数

これらの分配係数の計算は4つの無次元パラメーター μ, r, ρ, c の約4000個の組合せと、15種類の荷重状態について大型計算機によつて行なつた。その結果の一例として鉛直偏心荷重の分配係数 k_1, k_2 を表2、表3に示す。げん材の分配係数 k_1 は μ 値が大きい場合、著じるしく減少する。これに対して主構斜材の分配係数はそれ程変化しない。ねじり荷重成分が大きい場合はパラメーターによつては、1-0法に較べてげん材断面積の節約が可能である。

表2 分配係数 k_1

$\frac{y}{r}$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
1.0	0.979	0.964	0.943	0.916	0.885	0.850	0.772	0.691
2.0	0.929	0.884	0.823	0.754	0.682	0.611	0.481	0.374
3.0	0.873	0.801	0.710	0.617	0.528	0.449	0.321	0.231
4.0	0.825	0.733	0.627	0.524	0.432	0.355	0.241	0.167
5.0	0.788	0.684	0.569	0.463	0.374	0.301	0.198	0.135
6.0	0.760	0.649	0.530	0.424	0.337	0.268	0.174	0.119
7.0	0.739	0.623	0.502	0.397	0.313	0.248	0.160	0.109
8.0	0.723	0.604	0.483	0.379	0.297	0.234	0.151	0.103
9.0	0.711	0.590	0.468	0.365	0.285	0.224	0.144	0.099
10.0	0.702	0.579	0.457	0.355	0.277	0.217	0.140	0.096

表3 分配係数 k_2

$\frac{y}{r}$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
1.0	1.000	1.005	1.009	1.011	1.011	1.010	1.006	1.000
2.0	0.999	1.009	1.016	1.016	1.012	1.006	0.990	0.974
3.0	0.994	1.006	1.010	1.006	0.997	0.986	0.964	0.944
4.0	0.987	0.998	0.999	0.991	0.979	0.965	0.940	0.919
5.0	0.980	0.989	0.987	0.976	0.962	0.947	0.921	0.900
6.0	0.974	0.981	0.976	0.963	0.947	0.931	0.904	0.883
7.0	0.968	0.972	0.965	0.951	0.934	0.918	0.890	0.868
8.0	0.962	0.965	0.956	0.940	0.923	0.906	0.878	0.856
9.0	0.957	0.958	0.947	0.931	0.913	0.896	0.868	0.846
10.0	0.952	0.952	0.940	0.922	0.904	0.887	0.858	0.836

7. あとがき

分配係数を用いて平面トラスとして計算した部材力と、立体解析によつて厳密解析した部材力の比較計算例、および本実用計算法の精度については紙面の都合上省略するが、ほとゝ妥当な値となつている。本研究の遂行にあたり、多くの資料を提出いただいた本州四国連絡橋公団の各位に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1 Vlasov, V.Z.: 奥村敏恵ほか訳: 薄肉弾性ばりの理論、技報堂、1967
- 2 小松定夫: 薄肉構造物の理論と計算 I、山海堂、1969
- 3 Bencsoter, S.U.: A theory of torsion bending for multicell beams, J.A.M. Vol.21, 1954
- 4 Bleich, F. et al: The mathematical theory of vibration in suspension bridges, Bureau of Public Roads, 1950
- 5 Nan sze Sih: Torsion analysis for suspension bridges, ASCE ST6, Vol.83, 1957
- 6 奥村敏恵、渡辺啓行: トラス橋のねじれに関する研究、土木学会論文集、121号、1965
- 7 会田忠義: トラスげたの自由振動の立体解析、土木学会論文報告集、163号、1969
- 8 小松定夫、相良正次、西村宣男: 長大つり橋補剛トラスのねじりに関する静力学的研究、土木学会関西支部年次学術講演会概要集、I-46、1969
- 9 小松定夫、西村宣男、西井良一: 連続体に換算した箱型トラスのねじり剛性について、土木学会関西支部年次学術講演会概要集、I-5、1971
- 10 小松定夫、西村宣男、平山健一: 対傾構の変形を考慮した箱型トラスの立体解析、才27回土木学会年次学術講演会概要集、I-31、1972