

上路トラス橋の解析法の一提案

A PROPOSAL OF ANALYTICAL METHOD FOR DECK TRUSS BRIDGE

市川章夫*、尾下里治**

Akio ICHIKAWA and Satoji OSHITA

* ㈱横河ブリッジ 橋梁本部技術部第2課(〒592 大阪府堺市築港新町2-3)

** 工博 同 橋梁本部技術部第1課(〒273 千葉県船橋市山野町27番地)

On the occasion of a structural analysis for a deck truss bridge, next models are usually used:

- (1) -a plane model without the load distribution effect between the left and right main structure(vertical load).
- (2) -independent plane model assuming upper and lower loading ratio(lateral load).

This paper proposes out-of-plane analytical method using a lateral plane model subjected to vertical load and a main structure plane model subjected to lateral load. In this solution the three dimensional behavior can be evaluated rather exactly without three dimensional analysis and modeling is comparatively easy.

Firstly this paper shows the points of modeling considering the shear deformation and some examples of calculation results.

Secondly we describe the design method using this solution for principal loads.

Key Words: plane model, deck truss bridge, shear deformation

1. はじめに

トラス橋のような2主構橋梁の鉛直荷重に対する解析は、1主構面のみを取り出した平面トラスモデルとして解析するのが一般的である。この場合、荷重は1-0分配されているので、橋体のねじり剛性による荷重分配効果、および横構の主構作用は無視して計算している。この結果、主構部材については大部分で安全側の設計がなされていることになる。一方、横構を設計する場合は、上横構と下横構とに作用する横荷重の分担を仮定して、平面トラスで解析を行っている。しかし、対傾構を通して上下横構間で荷重伝達が行われるため、実際の荷重分担は複雑なものになっている。これらの傾向は、対傾構が比較的堅固に組まれた上路トラス橋で顕著になると考えられる。

トラス橋の立体的な挙動を正確に把握するには、立体解析を行えばよいが、中小スパンの橋梁の場合は費用の問題もあり、曲線橋などの特殊な場合を除いて上記の慣用設計で行われているのが実状である。

著者らはこれまでに、トラス橋や上路アーチ橋の面外解析を1主構面の平面格子モデルで精度良く解析する方法¹⁾を示してきた。今回は、面内解析に対してもこの手法を適用し、上路トラス橋の鉛直荷重に対する解析を横構面の平面格子モデルで解析する方法を新たに示している。この方法と文献1)に記した1主構面の面外格子解

析とを組み合わせることで平面解析にて立体解析と同等の精度で断面力が算出できる(図-1)。本文では、まず鉛直固定荷重を用いて横構面の平面格子解析精度を、立体解析結果と比較することによって検証する。次いで横構面と主構面それぞれの平面格子モデルを用いて、設計荷重による格子解析を行う。その結果から設計断面力を算出し、実際に部材計算を行うことで提案する解析法を用いた設計の実用性を確認する。

2. モデル化の概要

平面格子モデル作成の要領を、図-2のモデル化の概念図を用いて以下に記す。荷重の作用方向に対して抵抗する構面を1本の梁部材に置き換え²⁾、さらにそれらを結ぶ横構あるいは斜材を特殊な梁部材として定義することによって、立体挙動を平面格子解析で評価できる。

2.1 横構面格子モデル

(1) 上下弦材

図-2(a)に示すように、斜材が組まれた1主構面の上下弦材をせん断断面積を考慮した一本の梁部材に置き換える。

a) 断面2次モーメント I_y ,

$$I_y = \frac{A c h^2}{2} \quad (1)$$

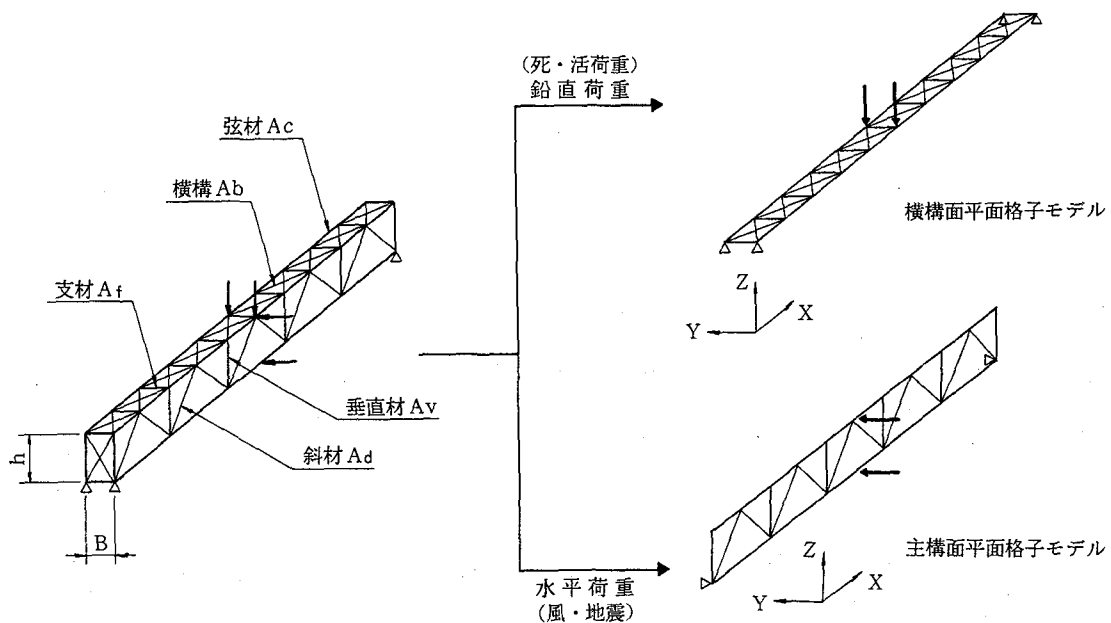


図-1 平面格子モデル

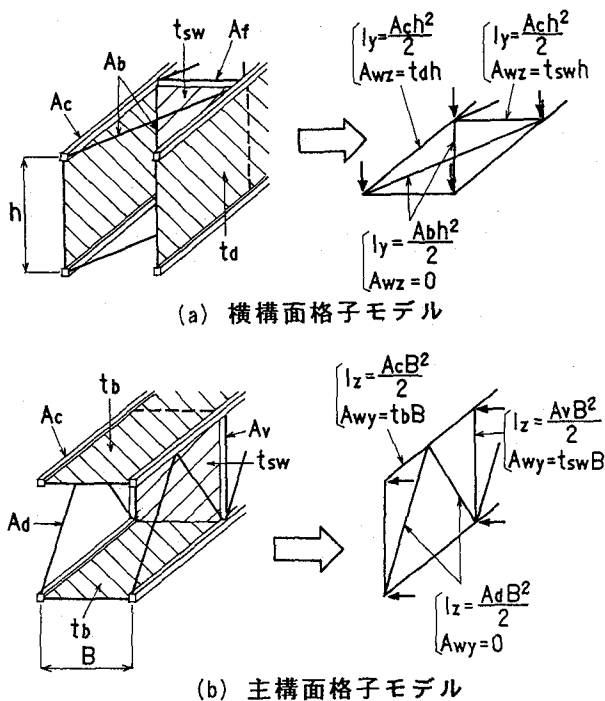


図-2 モデル化の概念図

h : 主構高

A_c : 弦材単材の断面積

b) セン断断面積 A_{wz}

主構のせん断断面積は斜材を等価なせん断剛性をもつ薄板に置き換えた場合の薄板の断面積となる。

$$A_{wz} = t_d h \quad (2)$$

t_d : トラス構造換算板厚

表-1 に代表的な構面の換算板厚式を示す。

(2) 対傾構

対傾構の取り扱い、斜材が組まれた主構弦材と同様

表-1 換算板厚式

トラス構造	換算板厚式
	$\frac{E}{G} \frac{BL}{d^3} \frac{1}{A_d}$
	$\frac{E}{G} \frac{BL}{d^3} \frac{1}{2A_d}$
	$\frac{E}{G} \frac{BL}{d^3 + \frac{B^3}{A_v}}$
	$\frac{E}{G} \frac{BL}{\frac{2d^3}{A_d} + \frac{B^3}{4A_v}}$

であり、断面2次モーメントは対傾構上下支材の断面積を用いて式(1)で算出する。また、せん断断面積は対傾構斜材を式(2)により、薄板に置き換えれば良い。

なお、斜材の取り付けない対傾構位置では、次に示す横構のモデル化の手法に準ずる。

(3) 横構

上下横構の平面配置が同じ場合は、上下の横構を一本の仮想曲げ部材としてモデル化することができる。ただし、上下横構は対傾構などで連結されておらず、通常の梁部材とは異なる挙動を示すので、モデル化にあたって

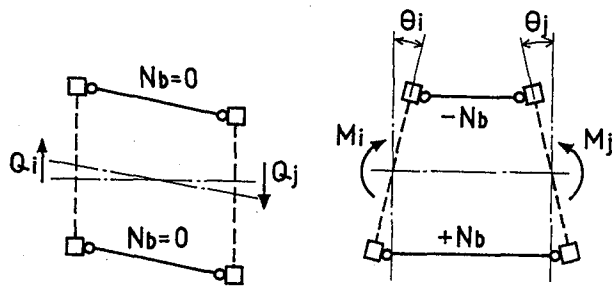


図-3 主構の変形に対する上下横構の挙動

は、部材剛性に特殊な配慮を必要とする。

横構部材が結合する主構の変形と上下横構の剛性について考えると図-3に示すように理想化できる。つまり上下横構はせん断力に対しては全く抵抗しないが、単純曲げに対しては上下の横構部材に偶力が作用して抵抗することができる。

こうした特殊な剛性は、せん断変形を考慮できるはり要素の、剛性マトリックスのせん断変形のパラメータを無限大（せん断断面積 A_{wz} を“0（ゼロ）”とする。）とすることによって結果的には次式のように単純化される。

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \end{Bmatrix} = \frac{E I_y}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_i \\ \theta_j \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここに、

$$I_y = \frac{A_b h^2}{2} \quad (4)$$

M_i, M_j : i 端 j 端の曲げモーメント

θ_i, θ_j : i 端 j 端のたわみ角

A_b : 横構単材の断面積

この仮想曲げ部材を、他の上下弦材や対傾構の『梁部材』とともに変位法で解析することによって、横構による橋体のねじり剛性や主構との共同作用を評価することができる。横構の部材軸力 N_b は、仮想曲げ部材の曲げモーメント M が解析結果として得られるので、これを次式によって軸力に変換すればよい。

$$N_b = \pm A_b \sigma_b = \pm A_b \frac{M}{I_y} h \quad (5)$$

2.2 主構面格子モデル

(1) 上下弦材

2.1の手順に従い、図-2(b)に示す横構が組まれた上下弦材をそれぞれ、1本の梁部材に置き換える。

$$I_z = \frac{A_c B^2}{2} \quad (6)$$

$$A_{wy} = t_b B \quad (7)$$

B : 主構間隔

床版の合成を考慮する場合は、コンクリートと鋼との物理定数比で補正した床版の各断面性能を式(6), (7)に付加すれば良い。

$$I_{z,c} = \frac{E_c}{E_s} \cdot \frac{t_c B_c^3}{12} \quad (8)$$

$I_{z,c}$: 床版の面外断面2次モーメント

E_s : コンクリートのヤング係数

E_s : 鋼のヤング係数

t_c : 床版厚

B_c : 床版全幅

$$A_{wc} = \frac{G_c}{G_s} \cdot t_c B_c \quad (9)$$

A_{wc} : 床版のせん断断面積

G_c : コンクリートのせん断弾性係数

G_s : 鋼のせん断弾性係数

床版剛性考慮の有無は、弦材に床版を打ちおろしているかどうかで判断すれば良いと思われる。

(2) 対傾構

断面2次モーメントは垂直材の断面積を用いて式(6)で算出する。また、せん断断面積は対傾構斜材を式(7)により、薄板に置き換えれば良い。

(3) 斜材

斜材については、2.1(3)横構と同様に左右2本の斜材を1本の仮想曲げ部材として扱うことによって、橋体のねじり剛性に寄与する効果を評価できる。部材剛性は次のようになる。

$$I_z = \frac{A_d B^2}{2} \quad (10)$$

$$A_{wy} = 0 \quad (11)$$

A_d : 斜材単材の断面積

3. 横構面平面格子モデルの解析精度

1主構面平面格子モデルによる面外解析の精度確認は文献1)で確認済みであるので、ここでは面内解析（横構面の平面格子解析）の解析精度を検証する。

3.1 解析条件

対象橋梁は、図-4に示す標準的な直線の上路トラス橋と、これと同じ断面構成を持たせた曲率半径100mの曲線トラス橋の2種類で行うこととする。

図-4に立体モデルの骨組と部材剛性を、図-5に平面格子モデルの骨組と部材剛性を主構面の格子モデルと合わせて示す。また、図-6に曲線橋の平面骨組を示す。

荷重は両主構間の荷重分配性状が適切に評価されているか確認するために、それぞれ次のように設定した。

直線橋 … 片主構の支間中央に格点集中荷重偏載

曲線橋 … 両主構の格点に集中荷重満載

なお、立体解析では、格点は全てピン結合とし、部材の断面2次モーメントは無視して計算した。支持条件は片側主構の水平方向変位を全て解放して、面内、面外共に単純支持の対称モデルとして取り扱うこととした。また、床版の影響は一切無視している。

3.2 解析結果

主要な項目について、それぞれの解析結果を比較表にして表-2に示す。また、図-7～11に上下弦材と斜材、及び横構の軸力図を示す。

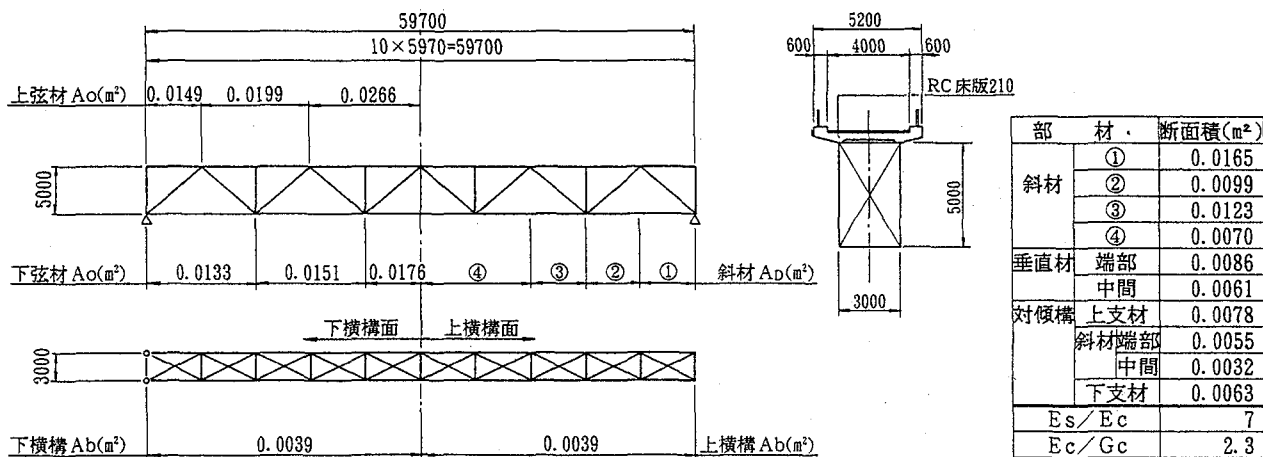


図-4 立体モデルの骨組と部材剛性

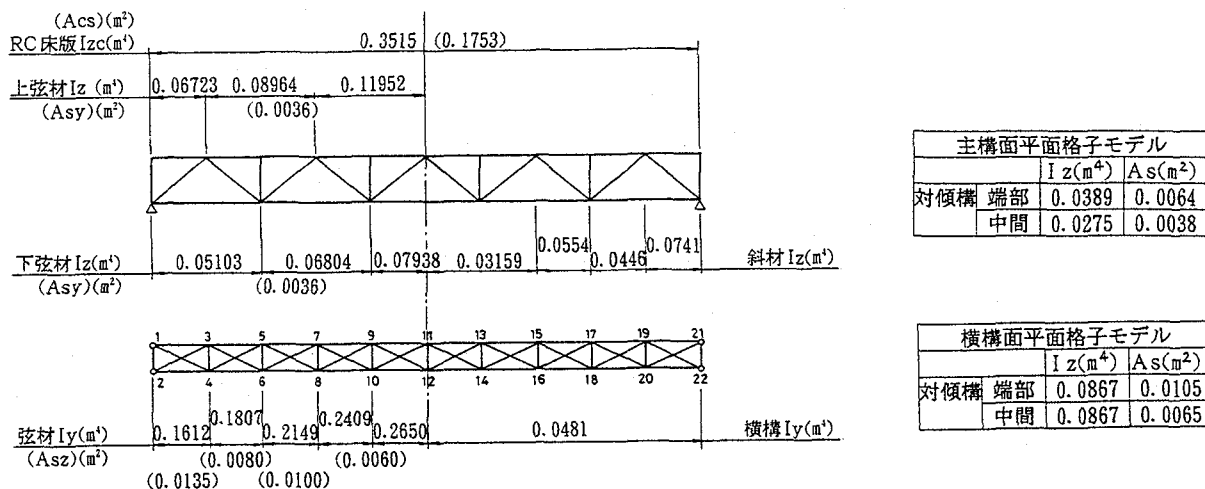


図-5 平面格子モデルの骨組と部材剛性

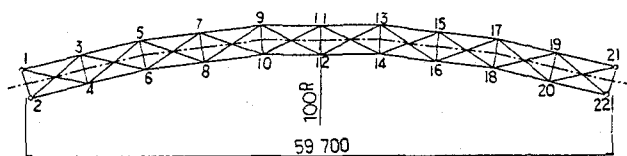


図-6 曲線橋の平面骨組

平面格子解析の横構軸力が立体モデルにおける上下横構軸力の平均値程度の値を示す傾向があるものの、直線橋と曲線橋いずれの結果も実務設計上十分な精度で立体解析結果と合っている。これらの結果から、本提案法は比較的容易に、橋体のねじり剛性による荷重分配効果や横構の主構作用等の立体挙動を適切に評価できると考えられ、実用上の問題はないと言える。

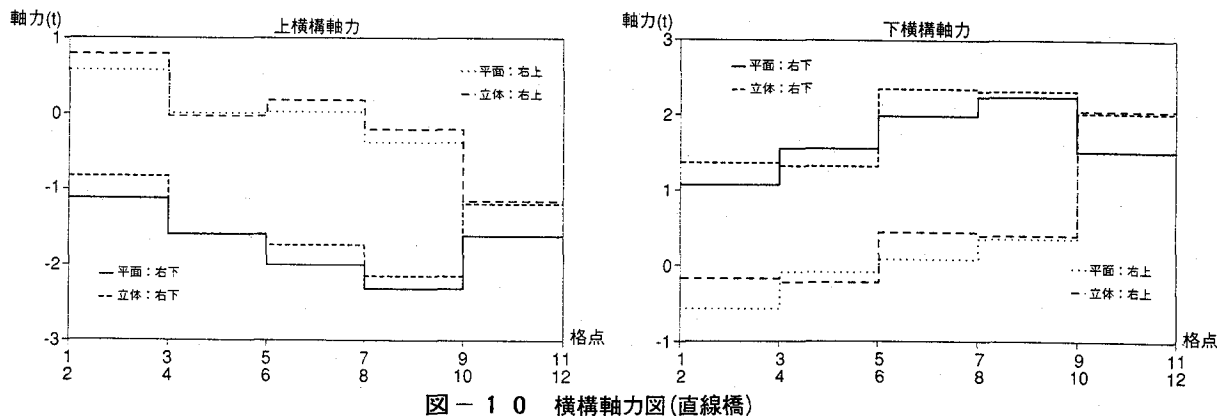
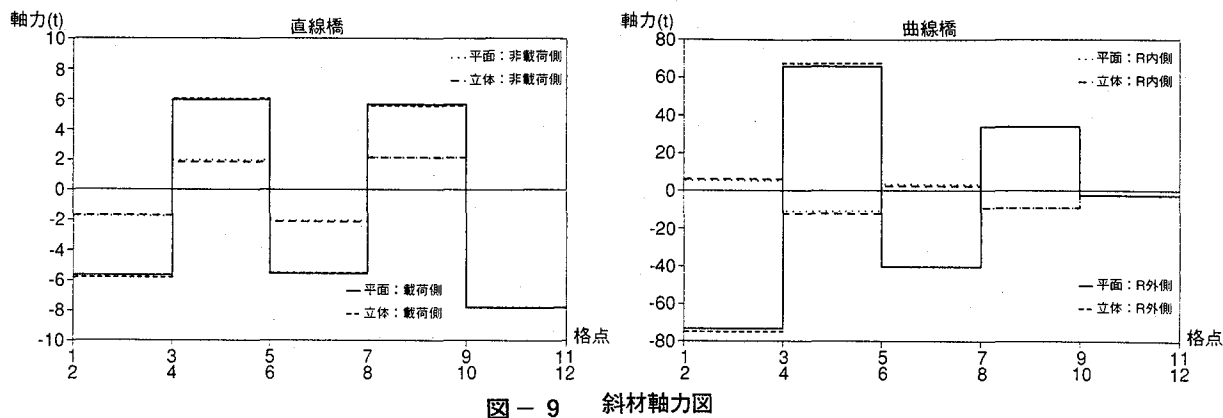
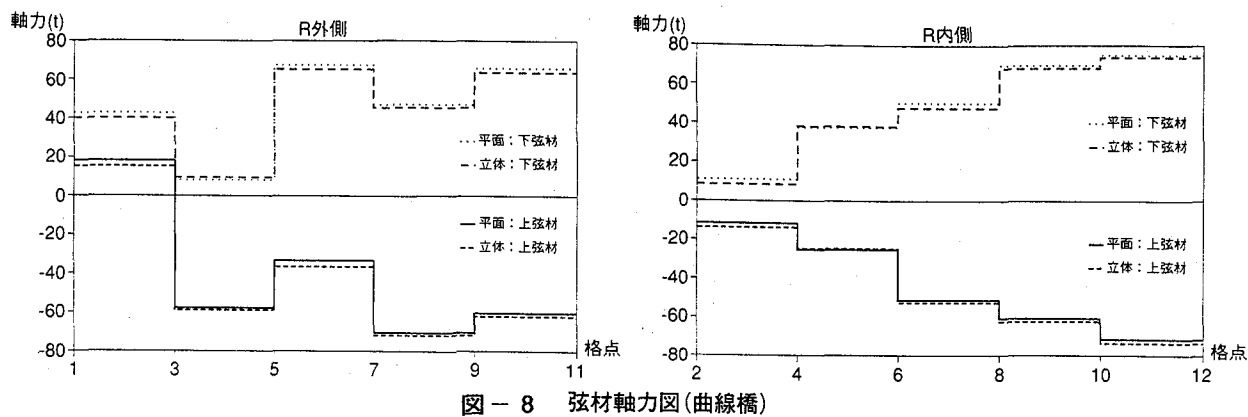
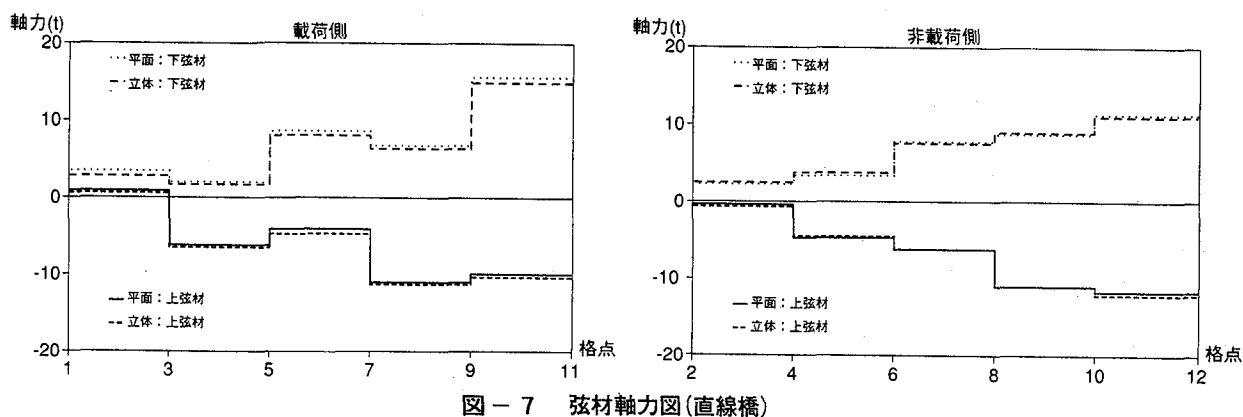
なお、平面格子解析による横構軸力が、立体解析結果と差が大きくなる原因は、直線橋を例にとると次のように考えられる。図-12に直線橋の載荷結果を鉛直荷重とねじり荷重に相当する荷重とに分割して示すが、鉛直荷重の場合に立体解析結果と差が生じていることがわかる。これは、図-13に示すように弦材軸力の算出では上下で曲げモーメントの着目位置が違うので、弦材に取り付く横構軸力は本来上下で異なるはずであるが、平面格子解析ではそのような評価が行えないためである。

表-2 平面格子解析の解析精度

直線橋				
	着目項目	格点	立体解析	平面格子解析
載荷側	上弦材変位(mm)	11	-5.9	-5.8 (0.98)
	下弦材変位(mm)	11	-5.2	-5.8 (1.11)
	上弦材軸力(t)	9-11	-10.2	-10.8 (1.06)
	下弦材軸力(t)	9-11	15.1	15.8 (1.04)
	斜材軸力(t)	7-9	5.6	5.6 (1.01)
非載荷側	上弦材変位(mm)	12	-4.3	-4.3 (1.00)
	下弦材変位(mm)	12	-4.3	-4.3 (0.99)
	上弦材軸力(t)	10-12	-11.6	-11.3 (0.97)
	下弦材軸力(t)	10-12	11.0	11.3 (1.02)
	斜材軸力(t)	8-10	2.2	2.2 (0.98)
	上横構軸力(t)	7-10	-2.1	-2.3 (1.07)
	下横構軸力(t)	7-10	2.3	2.3 (0.98)
	対傾構軸力(t)	9-10	-0.9	-0.8 (0.95)

曲線橋				
	着目項目	格点	立体解析	平面格子解析
R外側	上弦材変位(mm)	11	-61.3	-59.0 (0.96)
	下弦材変位(mm)	11	-61.2	-59.0 (0.96)
	上弦材軸力(t)	9-11	-64.3	-63.2 (0.98)
	下弦材軸力(t)	9-11	64.2	66.2 (1.03)
	斜材軸力(t)	7-9	33.8	33.5 (0.99)
R内側	上弦材変位(mm)	12	-45.6	-44.2 (0.97)
	下弦材変位(mm)	12	-45.0	-44.2 (0.98)
	上弦材軸力(t)	10-12	-73.8	-71.7 (0.97)
	下弦材軸力(t)	10-12	73.5	74.7 (1.02)
	斜材軸力(t)	8-10	-9.8	-10.2 (1.04)
	上横構軸力(t)	7-10	-18.8	-20.5 (1.09)
	下横構軸力(t)	7-10	21.9	20.5 (0.93)
	対傾構軸力(t)	9-10	-9.6	-8.2 (0.85)

()内数値は立体解析値に対する平面格子解析値の比率



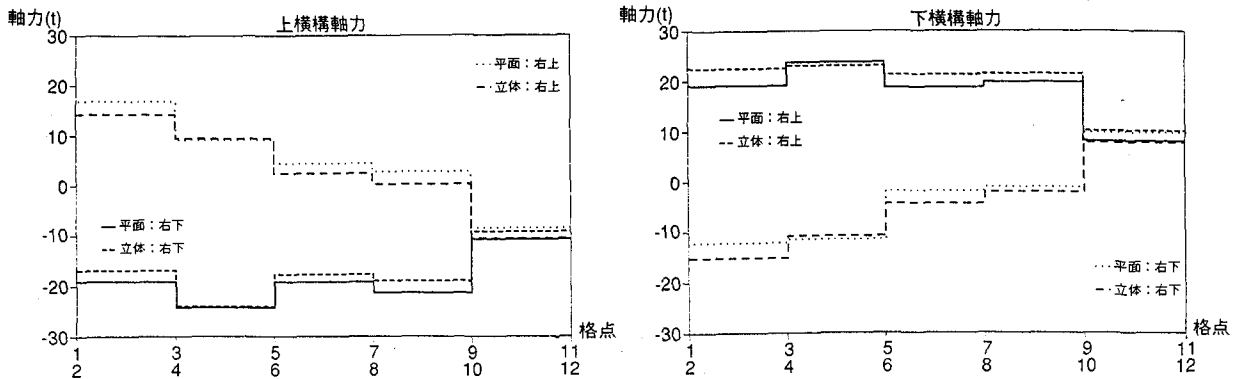


図-11 横構軸力図(曲線橋)

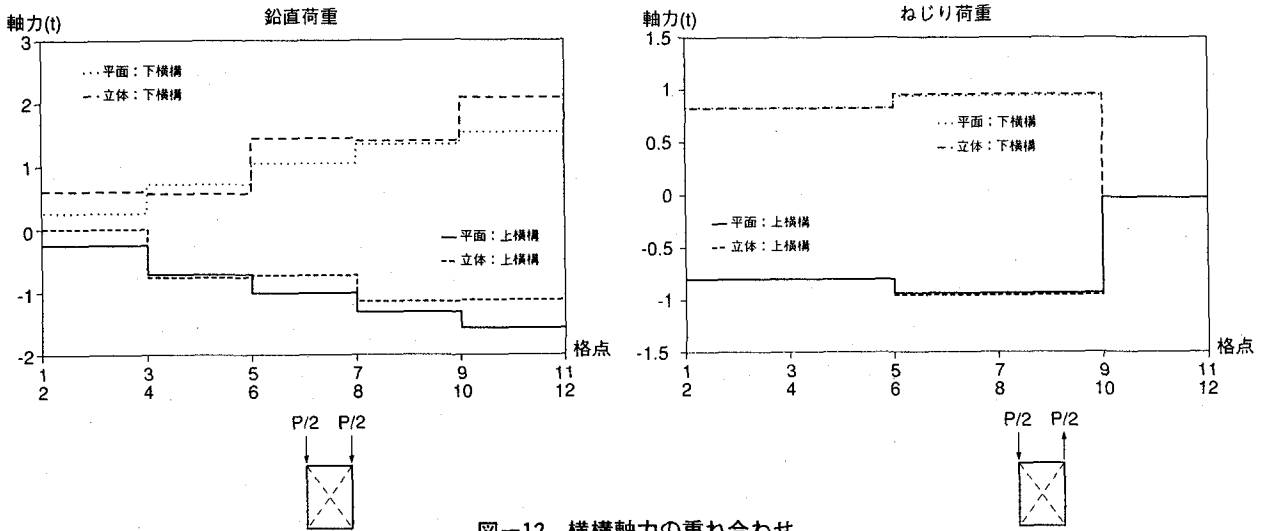


図-12 横構軸力の重ね合わせ

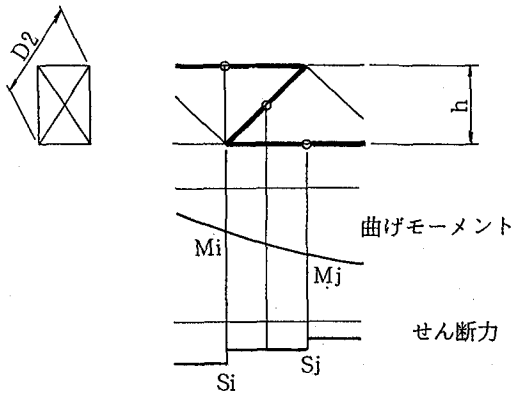


図-13 部材軸力と断面力

4、平面格子解析による試設計

中小スパンの上路トラスでは、設計費用の問題もあって、全体モデルの立体解析は行われていない。しかし、本提案法によれば通常の慣用設計法と同程度の労力で、立体解析と同等の結果が得られるので利用価値は高いと思われる。そこで、本章では実際に提案法により設計断面力を算出し、部材計算を行う。せん断断面積を考慮できる荷重計算プログラムは一般的に普及している。ここでは、慣用設計法(面内解析:1-0分配法、面外解析:平面トラス解析)によっても同様の作業を行うことで、本提案法を用いた設計法が妥当かどうかについても簡単に検証を行う。

4.1 設計条件

対象橋梁は、図-4に示した直線上路トラス橋とする。設計条件は設計当時に準じ、以下のように設定した。

床版厚: 210mm ($w=2.50\text{tf/m}^3$)

舗装厚: 60mm ($w=2.30\text{tf/m}^3$)

高欄: $w=0.05\text{tf/m}$

鋼重: $w=0.300\text{tf/m}^2$

活荷重: TL-14

風荷重: 道路橋示方書

設計水平震度: $k_h=0.12$

面外格子解析では、床版と鋼部材とは完全合成しているものとして、床版剛性を考慮に入れて解析を行った。支持条件は3.1と同様とした。実橋状態に近い片側固定の境界条件は考慮できるが³⁾、ここでは省略した。

横荷重強度は、地震荷重は上弦側0.696tf/m、下弦側0.055tf/mを、風荷重は上弦側0.810tf/m、下弦側0.300tf/mとした。なお、風荷重は1パネルずつずらして載荷させることで影響線載荷とした。

4.2 解析結果の整理

(1) 変位

図-14にそれぞれの解法で得られた面内荷重(死荷重+活荷重)による上弦材位置の変位図を示す。

(2) 断面力

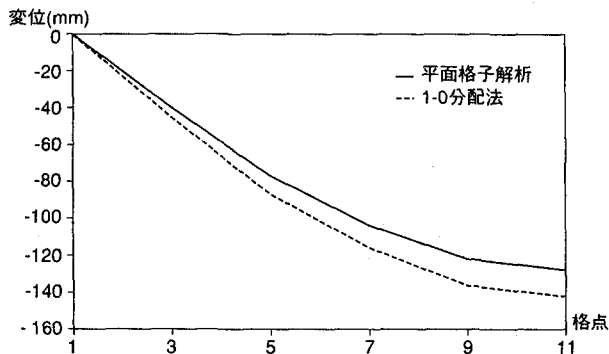


図-14 鉛直変位図

表-3、図-15~16に上下弦材、および斜材の軸力と軸力図とを示す。

また、表-4~5に横構および対傾構の軸力を示す。なお、上横構軸力は慣用設計法では床版との分担を1/2として算出し、面外格子解析では床版と鋼部材とのせん断断面積の比に応じて算出している。

(3) 部材設計

表-3~5に示した断面力を用いて上下弦材と上下横構、および対傾構斜材について実際に断面決定を行った。平面格子モデルによる部材設計がどの程度の経済効果を与えるのか検討するため断面積比較も行っている。ただし、斜材については慣用設計法と軸力にほとんど差がないこと、対傾構上下支材および鉛直材は現橋断面に応力

表-3 上下弦材と斜材の軸力

	格点	基本ケース								組合せケース							
		慣用設計(1-0分配)		平面格子解析						慣用設計		平面格子解析					
		死荷重 D	活荷重 L	死荷重 D	活荷重 L	風荷重 W(載荷時)	風荷重 W(無載荷)	地震荷重 EQ	D+L	D+L	D+W/1.25	D+L+W/1.25	D+EQ/1.5				
上弦材	1-3	0.0	0.0	-7.5	-3.2	-3.7	-2.9	-2.9	0.0	-10.7	()	-11.2	()	-10.9	()	-6.9	()
	3-5	-167.4	-49.9	-148.0	-43.3	-14.4	-11.8	-9.3	-217.3	-191.3	(0.88)	-162.4	(0.75)	-162.5	(0.75)	-104.9	(0.48)
	5-7	-167.4	-49.9	-142.9	-42.1	-26.0	-20.9	-17.7	-217.3	-185.0	(0.85)	-168.9	(0.78)	-164.7	(0.76)	-107.1	(0.49)
	7-9	-251.1	-74.8	-224.1	-65.5	-32.6	-26.4	-21.9	-325.9	-289.6	(0.89)	-256.7	(0.79)	-252.8	(0.78)	-164.0	(0.50)
下弦材	9-11	-251.1	-74.8	-224.2	-65.7	-35.3	-28.5	-24.0	-325.9	-289.9	(0.89)	-259.5	(0.80)	-254.7	(0.78)	-165.5	(0.51)
	1-3	94.2	28.0	86.6	25.3	6.6	6.1	3.9	122.2	111.9	(0.92)	93.2	(0.76)	94.4	(0.77)	60.3	(0.49)
	3-5	94.2	28.0	74.8	22.4	14.9	12.8	8.2	122.2	97.2	(0.80)	89.7	(0.73)	88.0	(0.72)	55.3	(0.45)
	5-7	219.8	65.4	195.1	57.1	17.7	14.0	12.6	285.2	252.2	(0.88)	212.8	(0.75)	213.0	(0.75)	138.5	(0.49)
斜材	7-9	219.8	65.4	192.7	56.6	22.5	18.7	13.9	285.2	249.3	(0.87)	215.2	(0.75)	214.4	(0.75)	137.7	(0.48)
	9-11	261.6	77.9	234.6	68.7	22.6	18.6	14.6	339.5	303.3	(0.89)	257.2	(0.76)	257.5	(0.76)	166.1	(0.49)
	3-1	-122.8	-37.5	-122.8	-36.8	-4.1	-5.1	-2.2	-160.3	-159.6	(1.00)	-126.9	(0.79)	-131.8	(0.82)	-83.3	(0.52)
	3-5	95.6	30.8	95.4	30.8	4.1	5.1	2.2	126.4	126.2	(1.00)	99.5	(0.79)	105.0	(0.83)	65.0	(0.51)
	7-5	-68.3	-25.2	-68.2	-25.2	-3.2	-3.3	0.0	-93.5	-93.4	(1.00)	-71.4	(0.76)	-77.4	(0.83)	-45.5	(0.49)
	7-9	41.0	20.0	40.9	20.0	3.2	3.3	0.0	61.0	60.9	(1.00)	44.1	(0.72)	51.4	(0.84)	27.3	(0.45)
	9-11	-13.7	-15.8	-13.6	-15.8	-0.4	-0.7	0.0	-29.5	-29.4	(1.00)	-14.0	(0.47)	-24.1	(0.82)	-9.1	(0.31)

()内数値は慣用設計法に対する平面格子解析値の比率

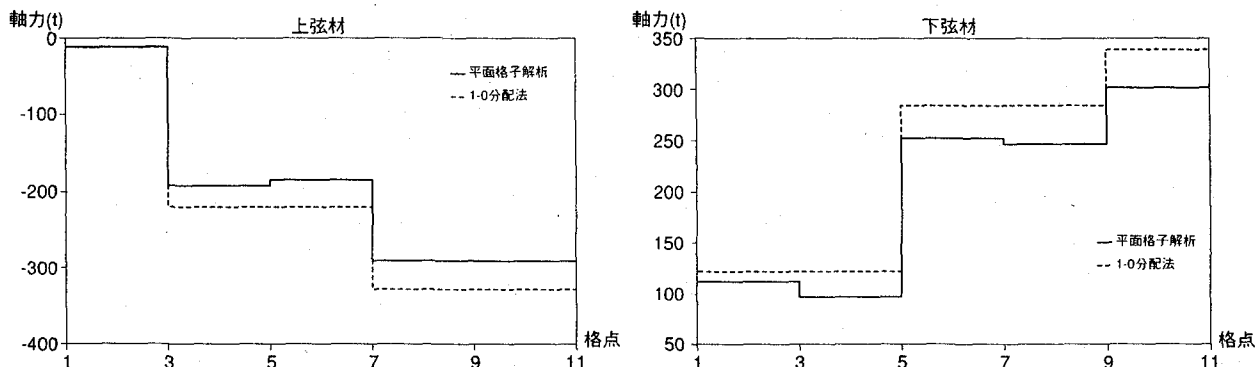


図-15 弦材軸力図

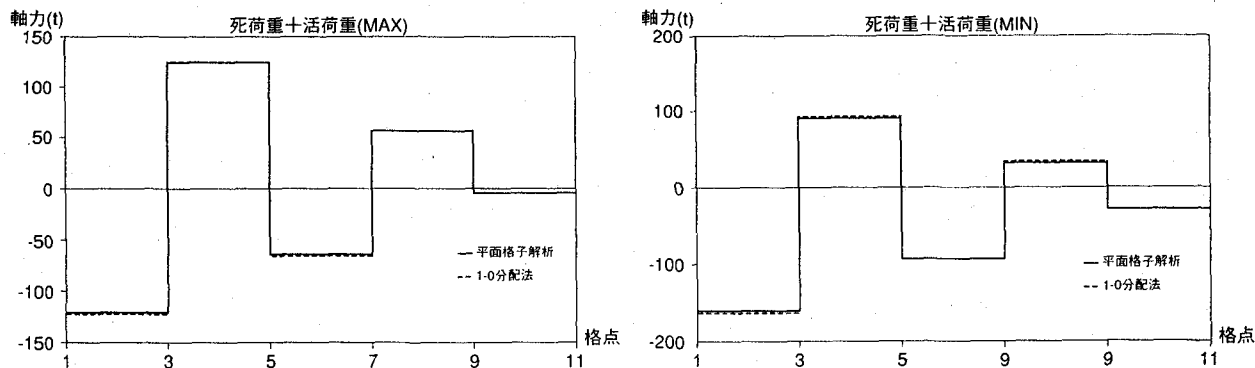


図-16 斜材軸力図

表-4 横構軸力

		慣用設計法		平面格子解析(t)						設計断面力(常時換算値)(t)						
		風荷重強度(t/m)		死荷重	活荷重	風荷重		地震荷重	慣用設計法 W/1.2	平面格子解析						
		pw1 (無載時)	pw2 (載荷時)			A	N(D)			N(L)	風荷重		D+L	D+W/1.25	D+L+W/1.25	D+EQ/1.50
											(無載時) N(W)	(載荷時) N(W)				
上 横 構	L0	0.405	0.300	59.83	-8.5	-3.6	± 0.5	± 0.4	± 0.4	± 10.1	-12.1 (1.20)	-7.2 (0.71)	-10.0 (0.99)	-5.9 (0.59)		
	L1	0.405	0.300	47.27	-21.7	-6.5	± 0.4	± 0.3	± 0.3	± 8.0	-28.2 (3.54)	-17.7 (2.22)	-22.8 (2.86)	-14.7 (1.84)		
	L2	0.405	0.300	36.19	-27.5	-7.9	± 0.3	± 0.3	± 0.2	± 6.1	-35.4 (5.80)	-22.3 (3.65)	-28.6 (4.68)	-18.5 (3.03)		
	L3	0.405	0.300	26.59	-30.3	-8.7	± 0.2	± 0.2	± 0.1	± 4.5	-39.0 (8.69)	-24.4 (5.43)	-31.3 (6.99)	-20.3 (4.51)		
	L4	0.405	0.300	18.47	-30.2	-8.6	± 0.2	± 0.1	± 0.1	± 3.1	-38.8 (12.45)	-24.3 (7.81)	-31.1 (9.99)	-20.2 (6.48)		
下 横 構	L0	0.300	0.300	59.83	8.5	3.6	± 7.4	± 6.9	± 2.6	± 7.5	12.1 (1.62)	12.7 (1.70)	15.2 (2.03)	7.4 (0.99)		
	L1	0.300	0.300	47.27	21.7	6.5	± 5.5	± 5.1	± 2.2	± 5.9	28.2 (4.78)	21.8 (3.69)	26.7 (4.51)	16.0 (2.70)		
	L2	0.300	0.300	36.19	27.5	7.9	± 4.1	± 4.0	± 0.9	± 4.5	35.4 (7.83)	25.3 (5.59)	31.6 (6.97)	19.0 (4.19)		
	L3	0.300	0.300	26.59	30.3	8.7	± 2.8	± 2.7	± 0.6	± 3.3	39.0 (11.73)	26.5 (7.96)	33.3 (10.03)	20.6 (6.19)		
	L4	0.300	0.300	18.47	30.2	8.6	± 2.3	± 2.3	± 0.2	± 2.3	38.8 (16.81)	26.0 (11.27)	32.9 (14.25)	20.3 (8.78)		

()内数値は慣用設計時断面力に対する平面格子解析値の比率
慣用設計法の上横構風荷重強度は床版との分担を1/2として算出

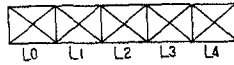


表-5 対傾構軸力

		慣用設計(t)		平面格子解析(t)						設計断面力(常時換算値)比較(t)				
		風荷重 (無載荷時)		死荷重	活荷重	風荷重		地震荷重	慣用 設計法 W/L.2	平面格子解析				
						無載荷 N(W)	載荷時 N(W)			D+L	D+W/L.25	D+L+W/L.25	D+EQ/L.5	
														N(D)
S0	上支材	-24.2		3.8	1.6	-2.4	-1.8	-2.1	20.2	5.4 (0.27)	1.1 (0.05)	2.9 (0.14)	1.1 (0.06)	
	斜 材	-24.2 ± 23.5		± 2.0	± 25.0	± 19.3	± 19.4	± 19.6	± 2.0 (0.10)	± 20.0 (1.02)	± 17.0 (0.87)	± 12.9 (0.66)		
	下支材	-9.0		-3.8	-1.6	-16.1	-13.0	-11.1	-7.5	-5.4 (0.72)	-15.9 (2.13)	-14.7 (1.97)	-9.9 (1.33)	
S1	上支材			13.5	3.9	-4.8	-3.6	-4.2	17.4 ()	7.0 ()	11.0 ()	6.2 ()		
	斜 材													
	下支材			-13.5	-3.9	-1.8	-1.8	-0.3	-17.4 ()	-12.3 ()	-15.4 ()	-9.2 ()		
S2	上支材	-9.7		22.1	6.2	-5.2	-4.3	-3.3	-8.1	28.3 (3.52)	13.5 (1.68)	19.2 (2.39)	12.5 (1.56)	
	斜 材	-9.7 ± 9.4		± 1.5	± 0.5	± 0.8	± 0.8	± 0.8	± 7.3 ()	± 1.5 (0.19)	± 0.4 (0.05)	± 1.8 (0.23)	± 0.5 (0.07)	
	下支材	-3.6		-22.1	-6.2	-1.5	-1.2	-1.2	-3.0	-28.3 (9.50)	-18.9 (6.33)	-23.6 (7.92)	-15.5 (5.21)	
S3	上支材			25.9	7.3	-4.8	-3.6	-4.2	33.3 ()	16.9 ()	23.7 ()	14.5 ()		
	斜 材													
	下支材			-25.9	-7.3	-1.8	-1.8	-0.3	-33.3 ()	-22.2 ()	-28.1 ()	-17.5 ()		
S4	上支材	-9.7		27.2	7.7	-6.0	-4.8	-4.2	-8.1	34.9 (4.33)	16.9 (2.10)	24.1 (2.99)	15.3 (1.90)	
	斜 材	-9.7 ± 9.4		± 1.6	± 1.1	± 1.2	± 0.0	± 0.0	± 7.3 ()	± 1.6 (0.20)	± 0.9 (0.11)	± 2.2 (0.28)	± 0.0 (0.00)	
	下支材	-3.6		-27.2	-7.7	-1.1	-1.0	-0.3	-3.0	-34.9 (11.69)	-22.6 (7.58)	-28.7 (9.62)	-18.3 (6.13)	
S5	上支材			27.1	7.7	-4.8	-3.6	-4.2	34.9 ()	17.9 ()	25.0 ()	15.3 ()		
	斜 材													
	下支材			-27.1	-7.7	-1.8	-1.8	-0.3	-34.9 ()	-23.1 ()	-29.3 ()	-18.3 ()		

()内数値は慣用設計時断面力に対する平面格子解析値の比率

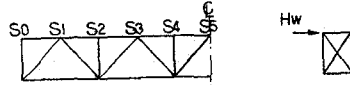


表-6 弦材断面の比較

		慣用設計法					平面格子解析					A(平)		
		断面構成	(m ²)	(t)	作用応力度(kg/cm ²)			断面構成	(m ²)	(t)	作用応力度(kg/cm ²)			A(慣)
					軸力	曲げ	合計				軸力	曲げ	合計	
上弦材	U0	1 -TOP. PL 360 × 9	149.4	0.0	0	-1281	-1281	1 -TOP. PL 360 × 9	149.4	-10.7	-72	-1281	-1353	1.00
		2 -WEB. PL 500 × 9						2 -WEB. PL 500 × 9						
		1 -BOT. PL 300 × 9						1 -BOT. PL 300 × 9						
	U1	1 -TOP. PL 360 × 12	199.2	-217.3	-1091	-857	-1948	1 -TOP. PL 360 × 11	182.6	-191.3	-1047	-937	-1984	0.92
		2 -WEB. PL 500 × 12						2 -WEB. PL 500 × 11						
		1 -BOT. PL 300 × 12						1 -BOT. PL 300 × 11						
	U3	1 -TOP. PL 360 × 16	265.6	-325.9	-1227	-647	-1874	1 -TOP. PL 360 × 15	249.0	-289.9	-1163	-691	-1854	0.94
		2 -WEB. PL 500 × 16						2 -WEB. PL 500 × 15						
		1 -BOT. PL 300 × 16						1 -BOT. PL 300 × 15						
	Σ =		614.2					Σ =		581.0				0.95
下弦材	L1	1 -TOP. PL 300 × 9	113.4	122.22	1078		1078	1 -TOP. PL 300 × 9	113.4	111.9	986		986	1.00
		2 -WEB. PL 300 × 9						2 -WEB. PL 300 × 9						
		1 -BOT. PL 360 × 9						1 -BOT. PL 360 × 9						
	L2	1 -TOP. PL 300 × 12	151.2	285.18	1886		1886	1 -TOP. PL 300 × 11	138.6	252.2	1820		1820	0.92
		2 -WEB. PL 300 × 12						2 -WEB. PL 300 × 11						
		1 -BOT. PL 360 × 12						1 -BOT. PL 360 × 11						
	L3	1 -TOP. PL 300 × 14	176.4	339.49	1925		1925	1 -TOP. PL 300 × 13	163.8	303.3	1851		1851	0.93
		2 -WEB. PL 300 × 14						2 -WEB. PL 300 × 13						
		1 -BOT. PL 360 × 14						1 -BOT. PL 360 × 13						
	Σ =		441.0					Σ =		415.8				0.94

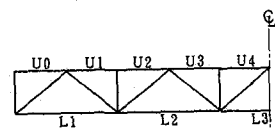
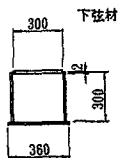
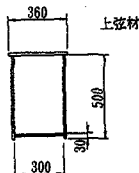


表-7 横構断面の比較

		慣用設計法								平面格子解析								A(平) A(1-0)
		断面構成	(m ²) 断面積	(t) 設計軸力	L/R _x	L/R _y	(kg/cm ²) 作用応力度	(kg/cm ²) 許容応力度	断面構成	(m ²) 断面積	(t) 設計軸力	L/R _x	L/R _y	(kg/cm ²) 作用応力度	(kg/cm ²) 許容応力度			
上 横 構	L0	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 10.1	148.5	71.1	-263	-271	1 -PL 200 × 9 1 -PL 122 × 9 1 -PL 200 × 9	47.0	-12.1	111.5	66.0	-257	-627	1.22		
	L1	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 8.0	148.5	71.1	-208	-271	1 -PL 200 × 9 1 -PL 122 × 9 1 -PL 200 × 9	47.0	-28.2	111.5	66.0	-600	-627	1.22		
	L2	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 6.1	148.5	71.1	-159	-271	1 -PL 260 × 10 1 -PL 120 × 9 1 -PL 260 × 10	62.8	-35.4	109.7	48.9	-564	-640	1.63		
	L3	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 4.5	148.5	71.1	-117	-271	1 -PL 260 × 10 1 -PL 120 × 9 1 -PL 260 × 10	62.8	-39.0	109.7	48.9	-621	-640	1.63		
	L4	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 3.1	148.5	71.1	-81	-271	1 -PL 260 × 10 1 -PL 120 × 9 1 -PL 260 × 10	62.8	-38.8	109.7	48.9	-613	-640	1.63		
		Σ =	192.5						Σ =	282.4						1.47		
下 横 構	L0	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 7.5	148.5	71.1	-195	-271	1 -CT 118 × 176	24.0	15.2	195.4	85.7	633	1400	0.62		
	L1	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 5.9	148.5	71.1	-153	-271	1 -CT 118 × 176	24.0	28.2	195.4	85.7	1175	1400	0.62		
	L2	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 4.5	148.5	71.1	-117	-271	1 -CT 144 × 204	37.9	35.4	153.6	77.2	934	1400	0.98		
	L3	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 3.3	148.5	71.1	-86	-271	1 -CT 144 × 204	37.9	39.0	153.6	77.2	1029	1400	0.98		
	L4	1 -PL 140 × 11 1 -PL 210 × 11	38.5	± 2.3	148.5	71.1	-60	-271	1 -CT 144 × 204	37.9	38.8	153.6	77.2	1024	1400	0.98		
		Σ =	192.5						Σ =	161.7						0.84		
合 計			385.0							444.1						1.15		

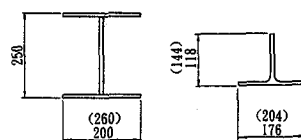
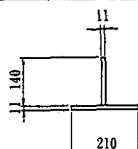
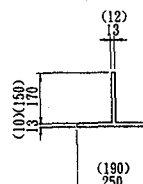
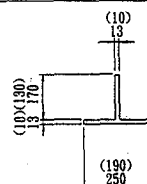


表-8 対傾構斜材断面の比較

		慣用設計法								平面格子解析								A(平)
		断面構成		(m ²) 断面積	(t) 設計軸力	L/R _x	L/R _y	(kg/cm ²) 作用応力度	(kg/cm ²) 許容応力度	断面構成		(m ²) 断面積	(t) 設計軸力	L/R _x	L/R _y	(kg/cm ²) 作用応力度	(kg/cm ²) 許容応力度	
対傾構斜材	S0	1 -PL 170 × 13	54.6	± 19.6	106.6	52.3	-359	-403	1 -PL 170 × 13	54.6	± 20.0	106.6	52.3	-366	-403	1.00		
		1 -PL 250 × 13							1 -PL 250 × 13									
	S2	1 -PL 130 × 10	32.0	± 7.8	139.2	68.9	-245	-294	1 -PL 150 × 12	37.0	± 1.8	116.4	74.0	-49	-365	1.16		
		1 -PL 190 × 10							1 -PL 190 × 10									
	S4	1 -PL 130 × 10	32.0	± 7.8	139.2	68.9	-245	-294	1 -PL 150 × 12	37.0	± 2.2	116.4	74.0	-59	-365	1.16		
		1 -PL 190 × 10							1 -PL 190 × 10									
		Σ =	118.6						Σ =	128.6						1.08		



度の余裕が相当量あり、断面積比較が困難であったこともありここでは省略した。

設計結果を比較表にして表-6～8に示す。断面決定は、現橋断面（慣用設計法）と応力度が同程度になるように、または主要部材としての細長比を満足するよう決定した。

(4) 考察

(1)～(3)の結果をもとに、平面格子モデルによる設計に関する若干の考察を行う。

主構面の鉛直変位量と上下弦材の断面力は、両主構への荷重分配の影響で、慣用設計法の約80～90%となっており、概ね予想できる解析結果となっている。また、斜材については両者はほとんど一致している。

一方、横構や対傾構といった通常2次的に取り扱われている部材の断面力は、対傾構の斜材を除いて大幅に増加している。全部材を解析モデルに取り入れることで、大半の部材が主構作用によって決定することになった。

次に、本提案法による部材断面の設計結果については弦材は軸力の減少に伴って、慣用設計法と比べて、断面積を約5%少なくできる結果となっている。その反面、横構や対傾構は軸力が増加しており、かつ1次部材として設計する必要があるためこれらに関しては鋼重増となる。全体鋼重については、慣用設計法と平面格子解析とはほとんど差がない結果となるが、実際応力状態を反映したバランスの良い設計が可能となった。

5. おわりに

上路トラス橋の構造解析を、平面格子モデルで行う場合の概要と解析精度について検討した。また、この平面格子モデルを用いて実際に試設計を行って実用性を確認した。

この方法は、通常の慣用設計法と同程度の労力で立体解析と同等の解析結果が得られるので、2主構橋梁の設計における実用性は高いと考えている。

得られた結果から、平面格子モデルを用いた設計方法には次のようなメリットがあると考えている。

- 1) 1-0分配ではなく、橋体のねじり剛性による荷重分配が考慮できる。
- 2) 横構の主構作用による横構軸力と弦材軸力とが直接に算出できる。
- 3) 対傾構のせん断剛性を考慮しており、橋体の断面変形の影響を評価できる。
- 4) 曲線橋や折れ線橋など、立体解析によらなければならない形式でも平面格子解析で立体挙動を解析できる。
- 5) せん断断面積を考慮できるプログラムであれば、通常の格子解析プログラムで荷重載荷計算が簡単に行える。
- 6) 上下横構の荷重分担比率が明確である。また、床版剛性の影響も容易に評価できる。
- 7) 全ての部材において荷重分担を考慮に入れた設計が効率良く行える。

参考文献

- 1) 熱田憲司・市川章夫・尾下里治：鋼上路橋の面外格子モデルについての検討、構造工学論文集Vol. 41A、pp 25～33、1995年3月
- 2) 小松定夫・西村宣男：薄肉弾性ばり理論によるトラスの立体解析、土木学会論文報告集第238号、pp 1～16 1975年6月
- 3) 市川章夫・尾下里治：上路トラス橋における上下横構の荷重分担について、横河ブリッジ技報No. 24、pp28～33、1995年1月

(1995年9月18日受付)