

F. 上路橋の横荷重設計について

成 果 報 告 書

上路橋の横荷重設計について

成果報告書

平成4年3月

鋼橋技術研究会設計部会

W/G Fグループ

目 次

1. はじめに	-----	1
2. 上路橋の横荷重設計の現状	-----	2
2-1 概 要	-----	2
2-2 現状の整理	-----	4
2-3 現状での問題点	-----	9
3. 数値計算	-----	12
3-1 計算モデル	-----	12
3-2 計算ケース	-----	12
3-3 計算手法	-----	14
3-4 計算結果	-----	18
4. まとめ	-----	21

1. はじめに

長大吊橋などを除く一般の橋梁形式では、通常主部材が風、地震などの横荷重できまることがなく、横構・対傾構などの横組部材の断面が決定される程度である。これらの横組部材は（曲線橋などの場合を除いて）二次部材として設計され、支点部を除き細長比で断面決定される場合も多い。また、RC床版をもつ橋梁形式では、橋軸直角方向の横剛性はRC床版がかなりの比重を占めているため、横荷重に対しては床版と横構の荷重分担比を1：1として慣用的に部材設計を行っている。ガーダー形式のように平面骨組構造物とみなすことができる橋梁形式では慣用的な方法は安全側と判断され問題はないものと思われる。これらの横組部材が全体の鋼重に占める割合は通常10%前後であるため、設計作業のなかでは安全側となる方法で、できるだけ簡便に取り扱うことができるのが望まれる。

ところで上路形式のアーチ橋やトラス橋では重心位置が高いために横荷重に対する安定が問題となり、横荷重に対して平面構造物とみなすことはできない。このとき、通常の橋梁設計では問題とされない床版剛性を無視することが必ずしも安全側とはならない。すなわち、床版剛性を評価すると、上路アーチ橋では補剛桁・床版の横荷重分担率が大きくなり、したがってアーチリブと補剛桁の横組部材力、反力分担も変わってくるのが容易に推察される。横荷重に対しては、床版剛性を考慮した方が構造全体の安定は図られるが、一方ではアーチリブの横構は立体構造系をつくる部材として耐荷力との関連をもって設計がなされていることを頭に入れておく必要がある。

本文では、上路橋の例として上路アーチ橋を例にとり、骨組計算を中心にして横荷重設計の現状について整理し、数値計算例も含めた検討を行うこととする。

W/Gメンバー	(株)横河ブリッジ	盛川	勉
	トピー工業(株)	土橋	健治
	松尾橋梁(株)	柴原	幸雄
	武蔵工業大学	増田	陳紀

2 横荷重設計の現状

2-1 概 要

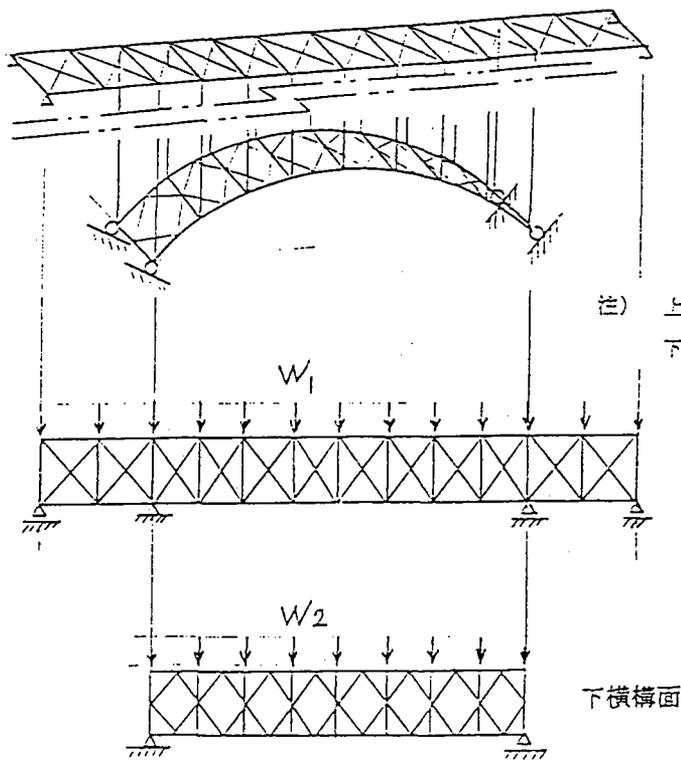
上路橋の例として、上路アーチ橋の横荷重設計の特徴ないし問題点と思われる事項を考えると、以下の3点に要約されるものと思われる。

- ① 解析モデルは、以下の3種類が用いられている。(図2-1参照)
 - (a)簡易モデル・・・補剛桁面とアーチリブ面を分離したモデル
 - (b)1主構モデル・・・2主構立体構造を、1主構の平面骨組に置き換えたモデル
 - (c)2主構立体モデル
- ② 床版剛性を考慮する場合と無視する場合がある。
- ③ 床版剛性を考慮する場合・無視する場合ともに、骨組解析の断面力を鋼部材(横構など)の設計部材力にどう取り込むのか。すなわち、上横構の部材設計のとき、上横構と床版の荷重分担をどう考えるか。

上路アーチ橋の横荷重設計の現状については、当研究会設計部会の参加会社にアンケート調査をおこない、ここ10年ぐらいの間に施工された上路アーチ橋の設計例を調べた。その結果をもとに、骨組計算を中心にして横荷重設計の現状を整理し、問題点と思われる事項について考察を加えてみる。

Type A. 簡易モデル

注) W_1, W_2 は風荷重を示す。

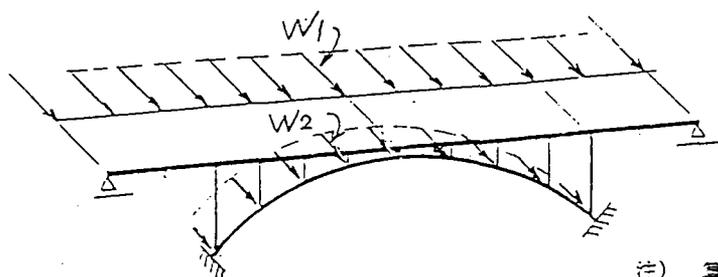


注) 上下横構面分離して、
下図の構造で部材力を計算する。

上横構面

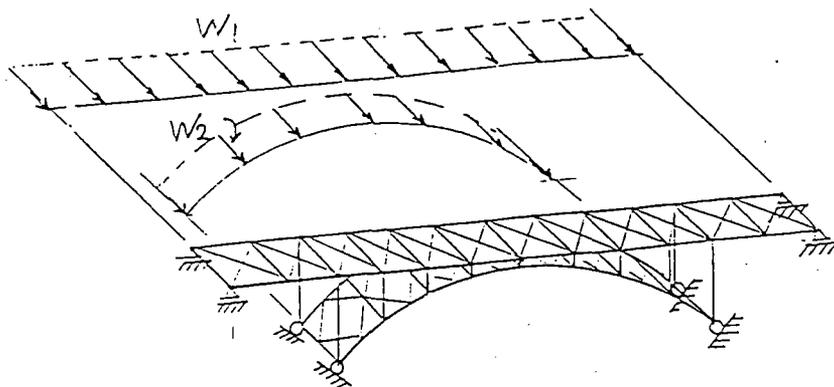
下横構面

Type B. 一主構モデル



注) 算出された棒部材の断面力を、
横構のトラス部材力に換算する。

Type C. 立体モデル



注) 立体骨組の部材力を
直接計算する。

図 2 - 1 解析モデルのタイプ
F. 3

2-2 現状の整理

1) 設計の考え方

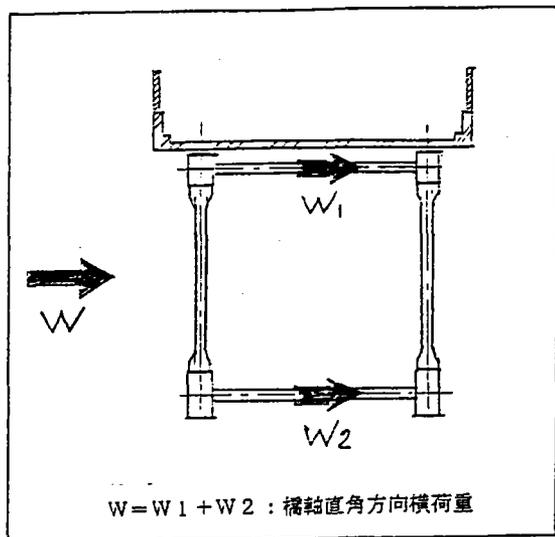


図 2-2 横荷重の伝達

上路ローゼ形式橋梁は、橋軸直角方向横荷重に対して、床版、補剛桁、上横構、アーチリブ、下横構が抵抗することができる。床版と補剛桁・上横構は一体となり主として補剛桁部に加わる横荷重に対して抵抗するものと考えられるが、それらの面外剛度がアーチリブ・下横構の面外剛度比べて大きければ、アーチリブに加わる横荷重はアーチクラウンを介して補剛桁部で負担させられることも考えられる。(図 2-2 参照)

よって補剛桁部(床版、補剛桁・上横構)とアーチリブ部(アーチリブ・下横構)の剛性評価の仕方が横荷重の上下分担の仕方、すなわち部材の設計方法にかかわってくることになる。

まず、補剛桁部とアーチリブ部の横荷重分担に着目して補剛桁部の剛性評価についての過去の設計実績をみると(表 2-1 参照)

- (a) 骨組解析で床版剛性を全く考えずに、補剛桁・上横構のみの剛性を評価する。
- (b) 骨組解析で床版剛性を考慮して、床版と補剛桁・上横構を重ね梁として評価する。

の二つの方法が行われているようである。次に、そのように剛性評価をして求めた骨組解析の横構部材力を設計部材力とするときは、次のようにしている例が多いようである。

- (a) 骨組解析で床版剛性を考えない場合 解析結果の 1/2 or 1/1
- (b) 骨組解析で床版剛性を考える場合 解析結果の 1/2

表 2-1 横荷重に対する設計法 (実績)

骨組解析での床版剛性考慮の有無	解析モデル手法	上横構設計部材力	図 示
(a) 床版剛性を考えない	<p>Type A 簡易モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 平面骨組の面内解析 上下横構面それぞれ単独の平面解析をする アーチリブと補剛桁部の荷重のやりとりは考えない 	$1/2 N d 1$ or $N d 1$	
	<p>Type C 立体モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 立体解析 	$1/2 N d 2$	
(b) 床版剛性を考える	<p>Type A 簡易モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 平面骨組の面内解析 上下横構面それぞれ単独の平面解析をする 上下の分担は2通り (a) 支柱、対傾構は1/2ずつ (b) 上下の剛比に応じて分担 	$1/2 N d 3$ or $\frac{I_g}{I_s + I_g} * N d 3$ I_g : 補剛桁部面外剛度 I_s : 床版面外剛度	
	<p>Type B 一主構モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 平面骨組の面外解析 アーチ1主構面の平面解析をする 	$1/2 N d 4$	
	<p>Type C 立体モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> 立体解析 	$1/2 N d 5$ or $\frac{I_g}{I_s + I_g} * N d 5$	

2) アンケート結果について

概要で述べたアンケート結果を図2-3～2-4に示す。データ数は21橋とあまり多くはないが、以下のような傾向が確認された。

(1) 解析モデルについて

- ・簡易モデルは7件あるが、いずれもアーチ支間は150m以下である。
- ・アーチ支間が150mを越えると、立体解析をおこなっているケースが多い。
- ・昭和60年度（竣工）以降の橋梁では、立体解析をおこなっているケースが多い。11件中6件（59年度（竣工）以前は、9件中3件）

(2) 床版剛性の考慮

- ・床版の面外剛性を考慮したケースは21件中9件である。
- ・床版剛性の考慮と支間、年度とのはっきりした相関はみられない。

近年、電算機の発達により構造解析が容易になったため、大型構造物に対してはより精密な構造解析をする場合が多くなっている。上のアンケート結果もそのことを裏付けているものと思われる。

一方、床版剛性については立体モデルの場合でも考慮しているケースは少なく、床版剛性の評価の方法が必ずしも定式化されていないことも一因ではないかと思われる。

また、1主構面モデルは面外剛性を適切に評価できれば、立体モデルに比べてはるかに取扱いが容易であり、横荷重解析の位置づけ（重要度）からもっと利用できる余地があるのではないかと思われる。設計例の中では、横荷重解析だけを立体モデルでおこなっているものも見られた。

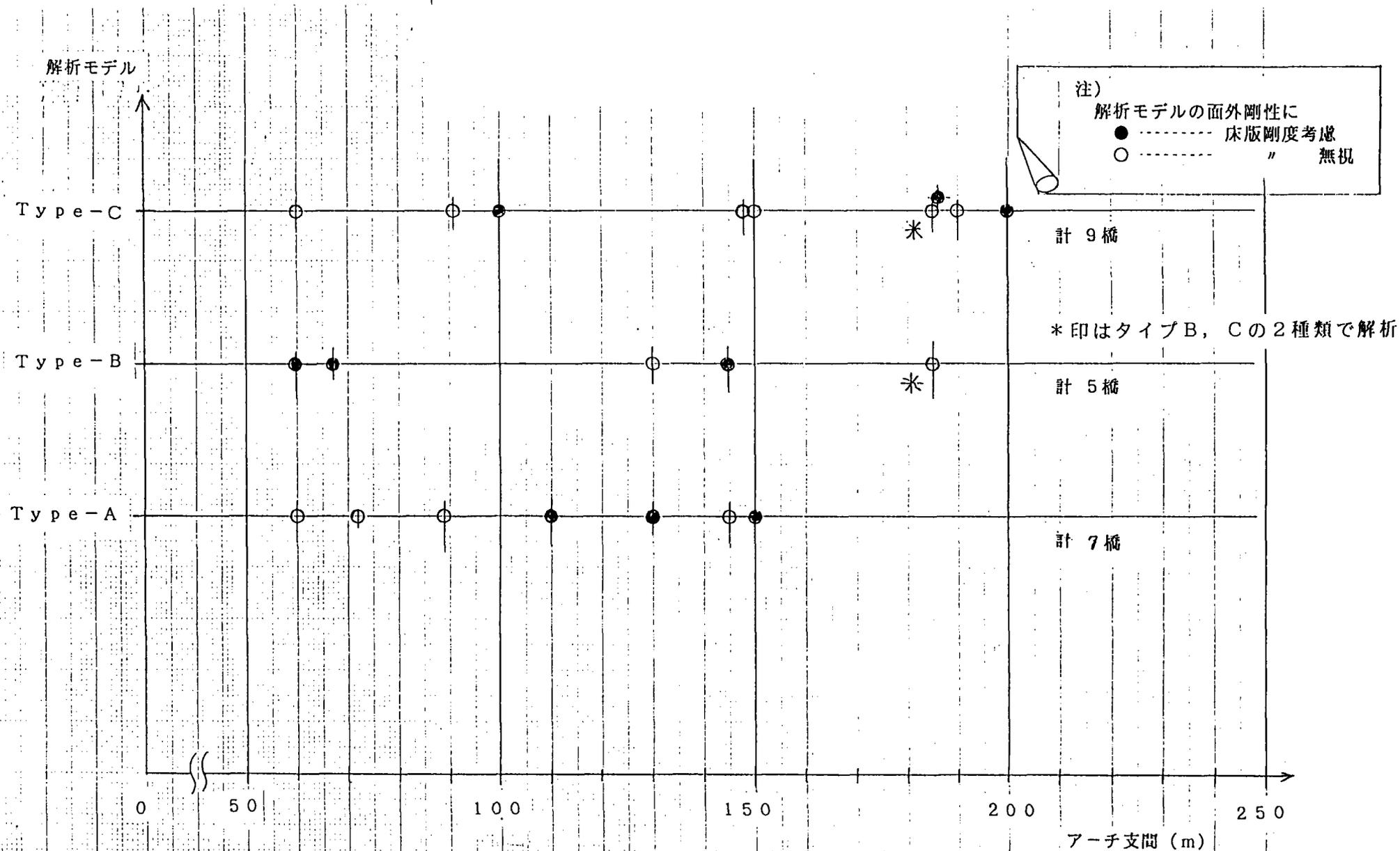
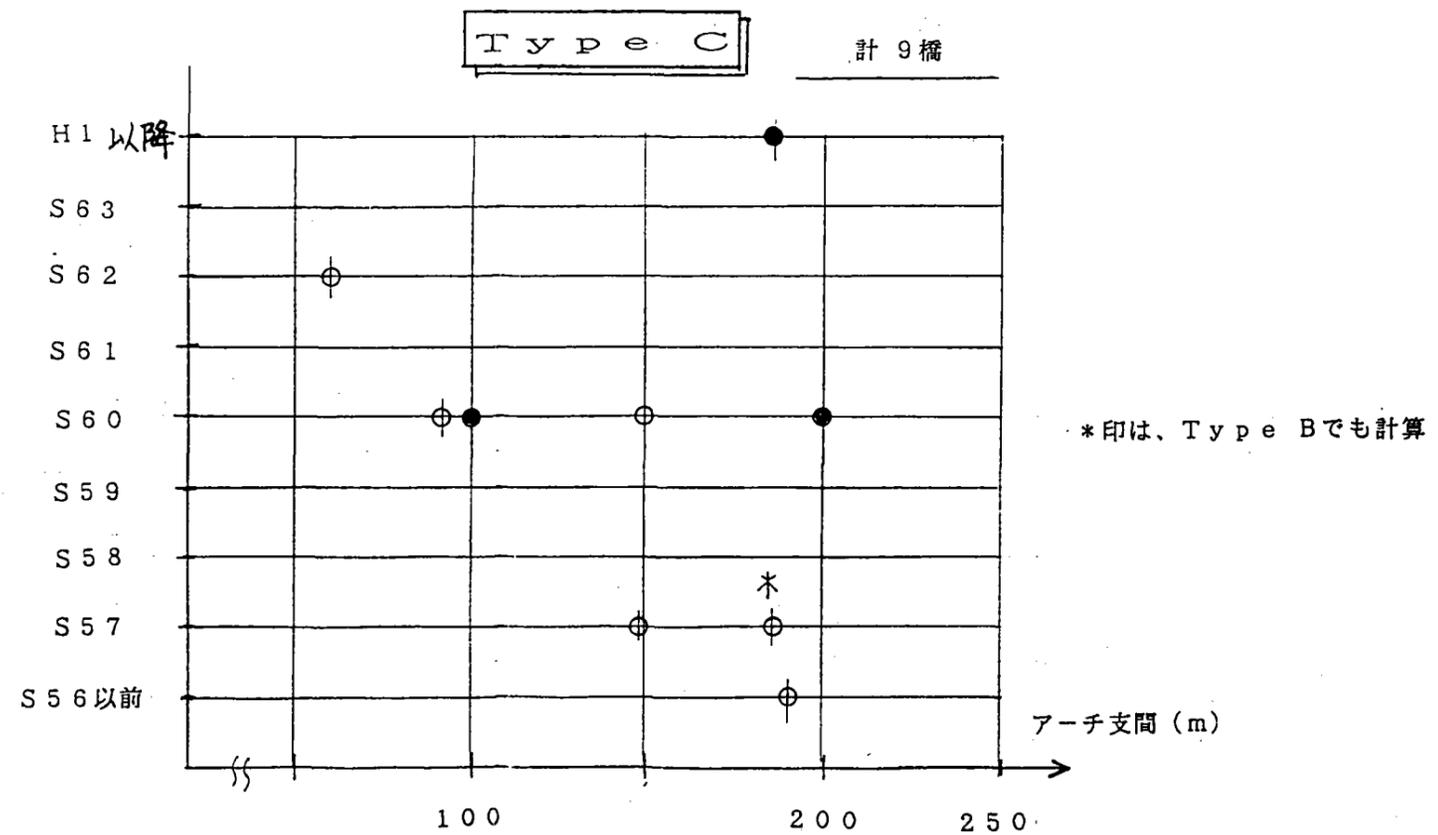
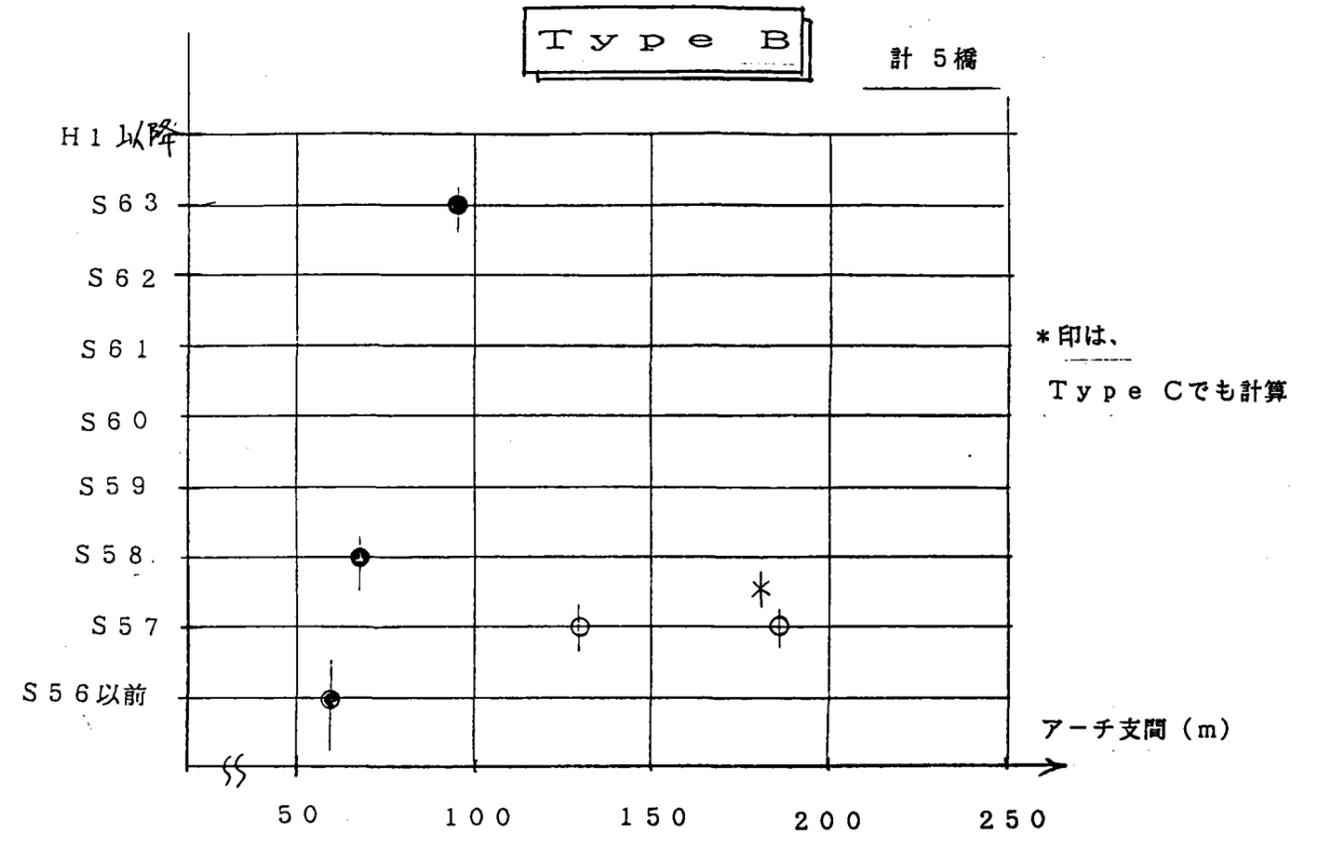
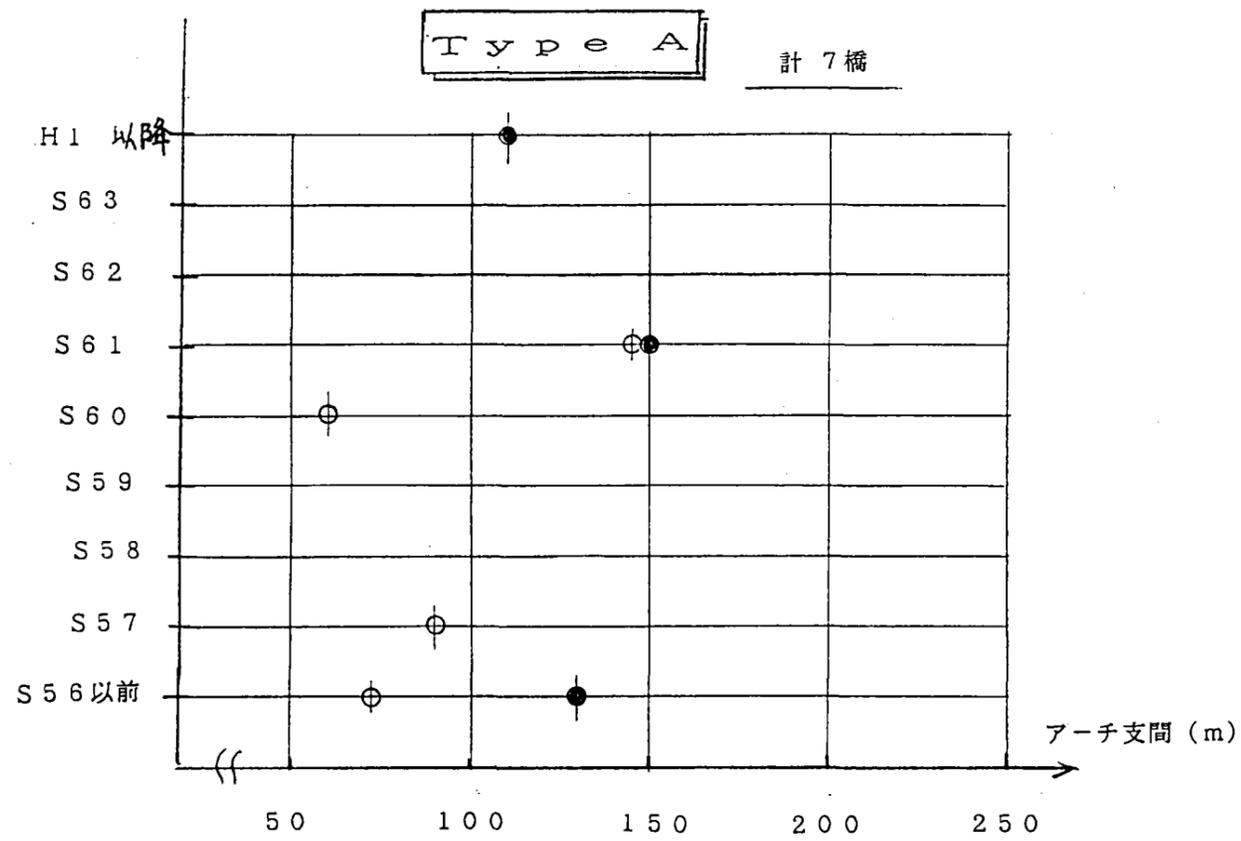


図 2 - 3 アーチ支間長と解析モデル



注)
 解析モデルの面外剛性に
 ● 床版剛度考慮
 ○ " 無視

図 2-4 解析モデルと竣工年度

2-3 現状での問題点

現状での問題点をあげると以下のとおりとなる。

- ①モデル化の基準がなく，設計上の統一性に欠ける。
- ②床版剛性考慮の有無で断面力がかなり異なると予想される。
- ③床版剛性の評価の方法がまちまちである。
- ④骨組解析値の設計部材力への置き換え方の指標が見当たらない。

以下に、これらの問題点に若干の考察を加える。

(1) 骨組のモデル化について

・解析モデルの形態には簡易モデル，1主構モデル，立体モデルの3種類がある。
解析モデルの設定にあたっては以下の2つの点についての注意が必要である。

(a)補剛桁面とアーチリブ面の横剛性の評価・・・横荷重の分担比

(b)骨組部材のせん断変形の評価・・・横構骨組の梁置換の妥当性

・簡易モデルでは、補剛桁面とアーチリブ面を独立させて扱うためそれぞれの横剛性の評価は荷重をどう分担させるかに帰着される。設計例によるとアーチ支間については支柱の高さの1/2で上下に振り分けるのが一般的のようであるが、この考え方の妥当性については必ずしも明かではないように思われる。

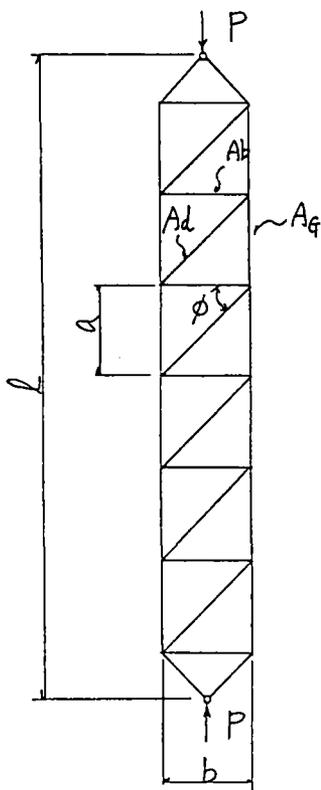
また、「面外剛度」の比に応じて横荷重を分担させるとの考え方の場合も、骨組構造のせん断変形とアーチリブの曲率を考慮した剛度評価になっているかに注意が必要である。

・1主構モデルでは2本のアーチリブをつなぐ下横構面、補剛桁面およびそれらを結ぶ支柱・対傾構のそれぞれの棒部材への置き換えが適切であればモデルとしての問題はないものと思われる。アーチリブ，補剛桁とも横構（および支材・横桁）で横組された構造であり，以下に見るように横構部材のせん断剛性により横剛性は大きく変わる。

(2) 骨組構造のせん断変形について

・骨組構造のせん断変形の一般的な性質をみるのに、欄外の文献より次式を引用する。この式は、組立柱の腹材の剛性が座屈荷重に及ぼす影響について求められたものであるが、一般の骨組構造の剛性評価についても適用可能である。

Timoshenko & Gere : Theory of Elastic Stability, pp.135~138 ,
2nd Edition , McGRAW-HILL KOGAKUSHA



$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{l^2} \left(\frac{1}{A_d E \sin \phi \cos^2 \phi} + \frac{b}{2 A_b E} \right)}$$

ここで
 l : 柱の長さ q : パネル間隔
 b : 弦材間隔 ϕ : 斜材角度
 A_g : 弦材断面積 A_b : 支材断面積
 A_d : 斜材断面積 (ダブルの場合は2本分の値とする)
 I : 一体断面としての断面2次モーメント $[= 2 \cdot A_g (b/2)^2]$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{l^2} \left(\frac{1}{A_d E \sin \phi \cos^2 \phi} + \frac{b}{2 A_b E} \right)}$$

分母()内 第2項を無視すると

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2}{2} \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^2 \cdot \frac{A_g}{A_d} \cdot \frac{1}{\sin \phi \cos^2 \phi}}$$

いま、 γ をせん断変形による曲げ剛性の低減率とすると、 γ を支配する要素は腹材の断面積比、斜材角度、パネル数である。なお、腹材のうち横桁(支材)のせん断剛性への寄与率は数%程度である。実橋レベルでの γ の値は、例えば $A_g/A_d=5$ 、 $\phi=45^\circ$ とすると、 $b/l=1/6 \sim 1/20$ では $\gamma=0.341 \sim 0.852$ となり、パネル数の影響が大きい点に注意したい。

なお、実橋ではアーチリブは2ヒンジアーチの場合は4点ヒンジ固定、補剛桁も連続構造となるなど、単純支持の条件とならないのでモデルでの取扱いには注意を要する。

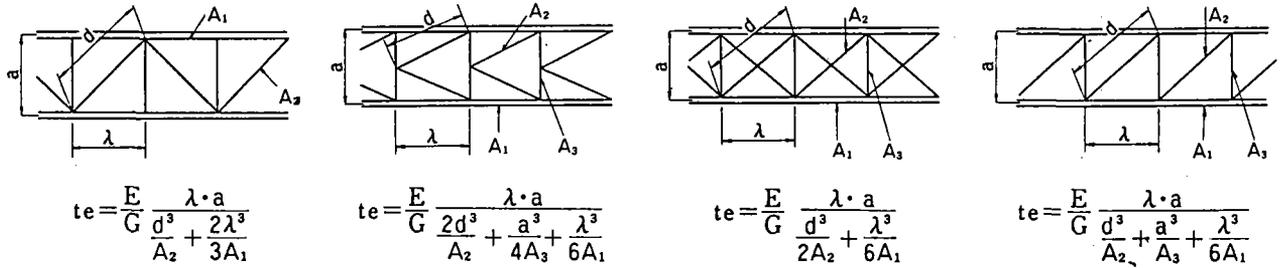
・せん断変形の大きい梁要素を骨組計算に取り込むための、剛性方程式の定式化については例えば欄外の文献1)を参照できる。なお、せん断断面積は、例えば文献2)を参照すると、表2-2のように与えられている。

なお、せん断変形の影響を考慮した梁要素をもつプログラムも普及しているので、実計算にあたってはこれらを利用することができる。

-
- 1) マーチン : マトリックス法による構造力学の解法、培風館
 - 2) 日本橋梁建設協会 : デザインデータブック

表 2-2 トラス構造換算板厚

A₁: 弦材断面積 E: 弾性係数
 A₂: 斜材断面積 G: せん断弾性係数
 A₃: 鉛直材断面積



(3) 床版剛性の影響と評価

- ・ 床版剛性は補剛桁・上横構の鋼骨組部材に比べて数倍程度の横剛性を持っており、これを考慮するか否かで、アーチリブと補剛桁部の横荷重分担にどの程度影響するかを把握する必要がある。横構部材については、部材設計の段階で床版との荷重分担を考慮することも可能ではあるが、支承反力については明らかに合理性に欠ける。
- ・ 1主構モデルでは床版剛性はそのまま曲げ剛性として加えることもできるので、問題となることが少ないものと思われる。ただし、側径間をもつ場合は、骨組構造のせん断変形の影響のほかに、床版のせん断変形の影響も無視できなくなるのではないかと考えられる。
- ・ 立体モデルでは床版剛性を骨組部材に取り込むのに、以下の2つの方法が考えられる。

- (a) せん断変形分も考慮した最大たわみ（曲げ変形＋せん断変形）が等しくなるように、一率に鋼骨組部材の断面積を太らせる。
- (b) 曲げ剛性は補剛桁の断面積として置き換え、せん断剛性はせん断断面積の比較から横構のみの断面積に置き換える。

(4) 設計部材力について

・ 設計例によると、上横構の設計部材力は骨組解析値の1/2としている場合が多い。これは、プレートガーダーの場合の慣用例にならっているものと思われるが、鋼部材に対しては安全側の配慮でもあり特に問題はないものと思われる。しかし、床版には剛度に応じた荷重分担がなされているはずであり、床版に対する補強については検討の余地があるものと思われる。

また、横荷重解析時に床版剛性を考慮しない場合は、上横構の設計部材力を骨組解析値そのものを用いている場合もある。これは、床版剛性の寄与を部材設計の段階で考慮しようとする意図と思われるが、支承反力については別途配慮が必要と思われる。

3. 数値計算

上路ローゼ橋を対象とした横荷重に対する解析を行った。

解析上の問題点として、モデル化、床版剛性考慮の有無、および床版剛性の評価方法について着目し、5ケースの数値計算を行い、計算結果の比較を行った。

3-1 計算モデル

図3-1の一般図に示す橋長332.6m、ア-スパン200m、総幅員15.95mの上路ローゼ橋を計算モデルとした。

3-2 計算ケース

数値計算は下記の5ケースについておこなった。

① 床版剛性を考慮しない場合

解析モデル：立体解析

部材データ：鋼部材の剛性のみを考慮

② 床版剛性を考慮しない場合

解析モデル：平面（1主構面）解析

部材データ：鋼部材の剛性のみを考慮（補剛桁と上横構、アーチリブと横構、および支柱と対傾構を1面モデル化することが必要）

③ 床版剛性を考慮する場合

解析モデル：立体解析

部材データ：鋼部材の剛性に床版剛性を加算（床版剛性を骨組評価することが必要）

④ 床版剛性を考慮する場合

解析モデル：平面（1主構面）解析

部材データ：鋼部材の剛性に床版剛性を加算

⑤ 床版剛性を考慮する場合

解析モデル：側径間に板要素を追加した立体解析

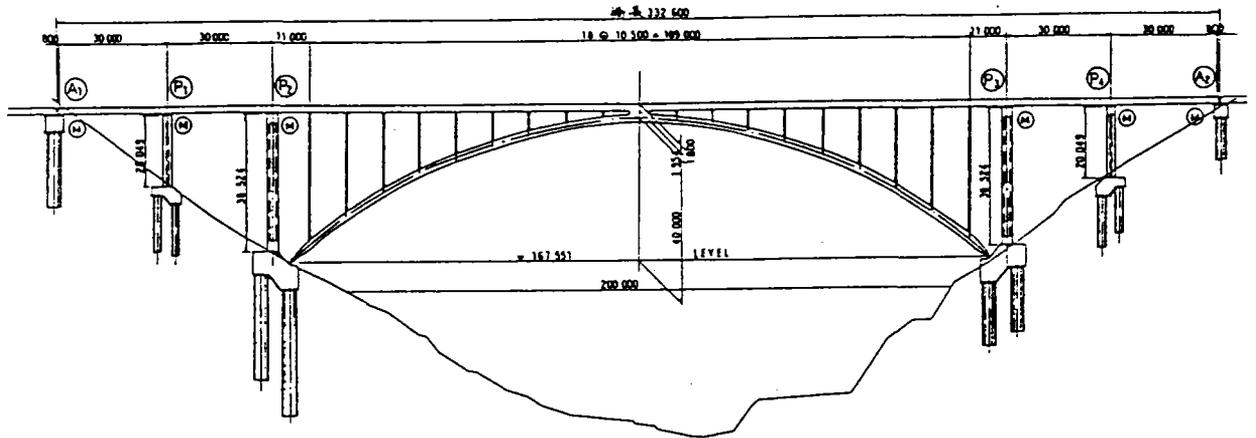
部材データ：鋼部材の剛性に床版剛性を加算

側径間：床版剛性は板要素として評価

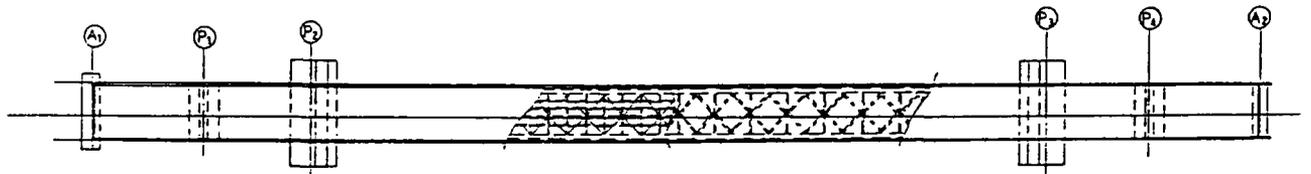
中央径間：床版剛性は骨組評価（補剛桁、横構）

全体一般図

側面図



平面図 縮尺 1:400



標準断面図

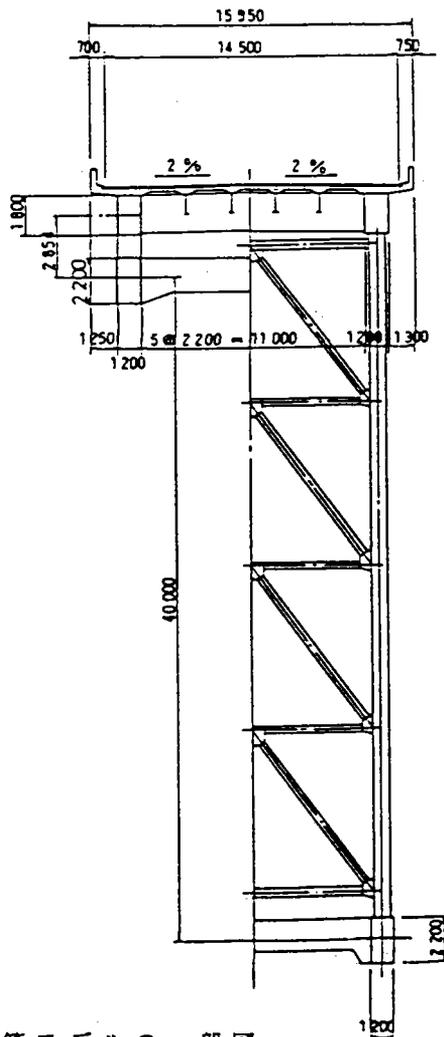


図 3 - 1 計算モデルの一般図

3-3 計算手法

(1) モデル化および部材評価

計算ケース①～⑤のモデル化および部材剛性の評価を以下に記す。

- ① 床版剛性を考慮しない場合（立体解析）
- ・モデル化——立体骨組（図3-2参照）
 - ・部材評価——鋼部材の剛性のみを取り込むこととする。
- ② 床版剛性を考慮しない場合（平面解析・・・1主構平面骨組の面外解析）
- せん断変形の影響を考慮できる解析プログラムを使用した。
- ・モデル化——1主構骨組（図3-3参照）
 - ・部材評価——鋼部材の剛性のみを取り込むこととする。

補剛桁、アーチリブ、支柱の1面モデル化は下記要領により行った。

$$\text{面外曲げ剛性: } I_{GZ} = 2 \cdot A_G \cdot (B/2)^2$$

A_G : 補剛桁、アーチリブ、支柱の断面積

B : 主構間隔

$$\text{せん断断面積: } A_{SW} = (\text{横構等の換算板厚}) \times (\text{主構間隔})$$

③ 床版剛性を考慮する場合（立体解析）

- ・モデル化——解析モデルは①と同様。
- ・部材評価——床版剛性を骨組部材（補剛桁、上横構）に取り込むこととする。

補剛桁と上横構によるトラス骨組において、曲げ変形とせん断変形（たわみ剛性の低減を考慮）による変形量の和と等価となる桁剛性（ I_G ）を算出する。この桁剛性（ I_G ）と床版剛性（ I_S ）の比率（ α ）を床版剛性による剛性の増分率とし、補剛桁および上横構の断面積（ A_G' 、 A_L' ）に付加することとした。

$$\text{桁剛性 } I_G = 2 \cdot A_G \cdot (B/2)^2 \cdot \gamma$$

（ γ : せん断変形による曲げ剛性の低減率）

$$\text{床版剛性 } I_S = 1/12 \cdot d \cdot B^3 \cdot E_C / E_S$$

d : 床版厚

E_C : コンクリートのヤング係数

E_S : 鋼のヤング係数

$$\text{比率 } \alpha = I_S / I_G$$

$$\therefore A_G' = (1 + \alpha) \cdot A_G$$

$$A_L' = (1 + \alpha) \cdot A_L$$

計算モデルでの α は以下の通りである。

$$\text{中央径間 } \alpha_C = 2.23$$

$$\text{側径間 } \alpha_S = 16.78$$

立体骨組図

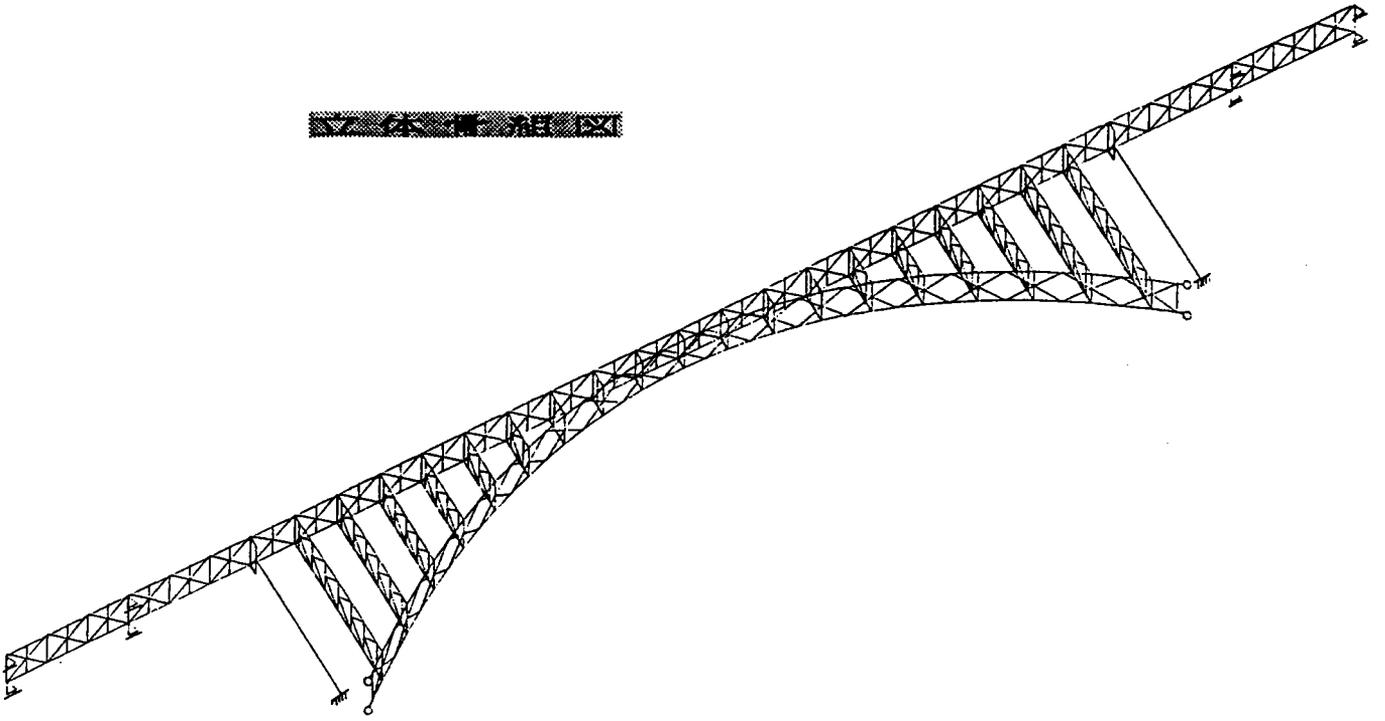


図 3 - 2 立体骨組モデル

平面骨組図

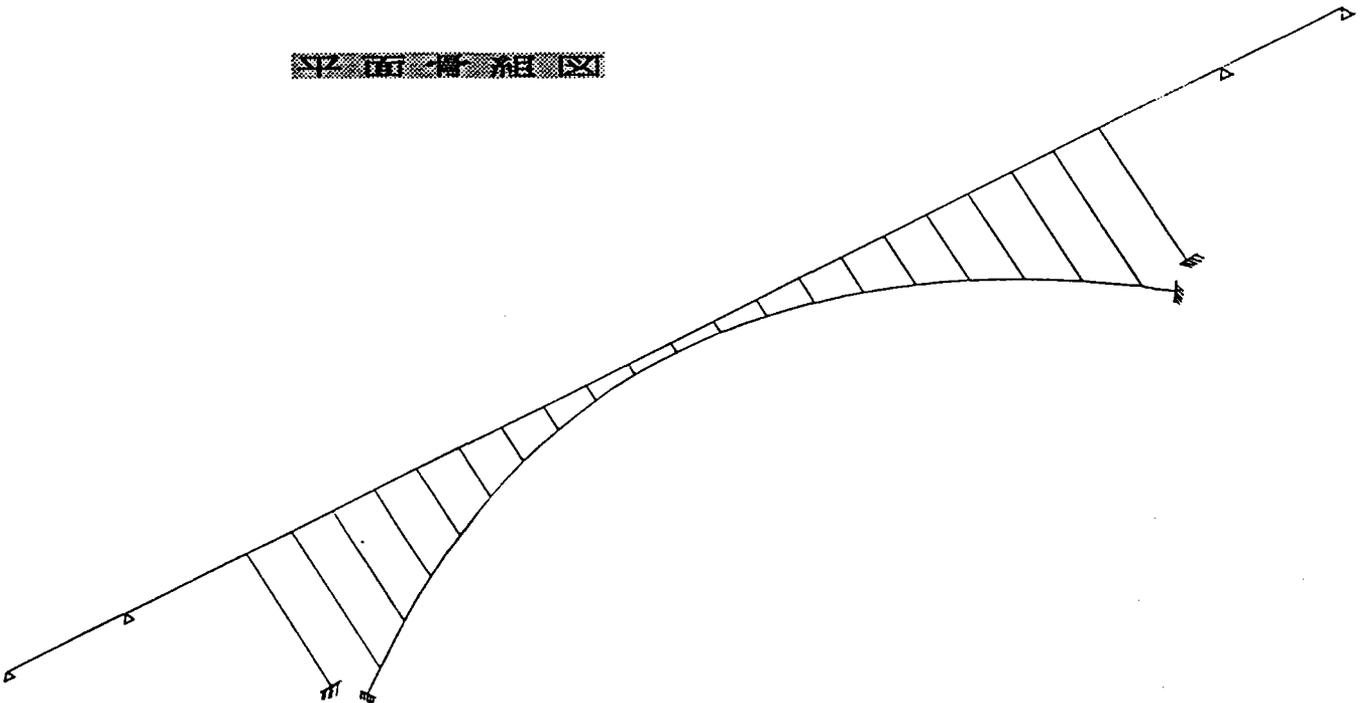


図 3 - 3 1 主構モデル

- ④ 床版剛性を考慮する場合（平面解析・・・主構平面骨組の面外解析）せん断変形の影響を考慮できる解析プログラムを使用した。
- ・モデル化――解析モデルは②と同様。
 - ・部材評価――床版剛性を骨組部材（補剛桁）に取り込むこととする。曲げ剛性は、②で算出した一面モデルでの桁剛性に床版剛性を加算した。また、せん断断面積としては②で算出した上横構による換算面積（ A_{SW} ）に床版の断面積（ A_{SL} ）を加算した。

$$\begin{aligned} \text{面外曲げ剛性: } I_{GZ}' &= \underbrace{2 \cdot A_G \cdot (B/2)^2}_{\text{(鋼部材)}} + \underbrace{1/12 \cdot d \cdot B^3 \cdot E_c / E_s}_{\text{(床版)}} \\ \text{(補剛桁)} & \\ \text{せん断断面積: } A_S' &= \underbrace{A_{SW}}_{\text{(鋼部材)}} + \underbrace{B \cdot d \cdot G_c / G_s}_{\text{(床版 } A_{SL})} \\ & \quad G_c: \text{コンクリートのせん断弾性係数} \\ & \quad G_s: \text{鋼のせん断弾性係数} \end{aligned}$$

計算モデルでの値は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{中央径間 } I_{GZ}' &= 15.463 \text{ m}^4 & A_S' &= 0.550 \text{ m}^2 \\ \text{側径間 } I_{GZ}' &= 16.431 \text{ m}^4 & A_S' &= 0.550 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- ⑤ 床版剛性を考慮する場合（側径間に板要素を追加した立体解析）床版剛性をケース③の手法により考慮した場合に、側径間の反力性状が平面解析と大きく違うことが判明した。したがって、側径間の床版剛性を板要素として評価することによって床版剛性の評価方法の妥当性を検討することとした。
- ・モデル化――立体骨組（図3-4参照）
 - ・部材評価――床版剛性を側径間については、板要素として評価した。中央径間については、骨組評価（補剛桁、横構）した。

(2) 荷重

荷重としては、風荷重を格点荷重として載荷した。

風荷重の単位荷重強度（活荷重無載荷時）は、

$$\text{風上側: } 300 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{風下側: } 150 \text{ kg/m}^2 \quad \text{を考えた。}$$

支柱部載荷荷重は補剛桁とアーチリブに1/2ずつ分担させた。

$$\begin{aligned} \text{補剛桁載荷荷重} &: \underbrace{\text{補剛桁分}}_{(1.402\text{t/m})} + \underbrace{\text{支柱分の1/2}}_{0.239\text{t/m}} = 1.641 \text{ t/m} \end{aligned}$$

（なお、補剛桁荷重は第1、3、5径間に載荷した。）

$$\begin{aligned} \text{アーチリブ載荷荷重} &: \underbrace{\text{アーチリブ分}}_{(0.990\text{t/m})} + \underbrace{\text{支柱分の1/2}}_{0.239\text{t/m}} = 1.229 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{コンクリート脚載荷荷重: } &\underbrace{\text{コンクリート脚分}}_{(0.900\text{t/m})} \end{aligned}$$

アーチリブに載荷した全風荷重は以下の通りとなる。

$$W = 1.229 \times 200 = 245.8 \text{ ton/全橋}$$

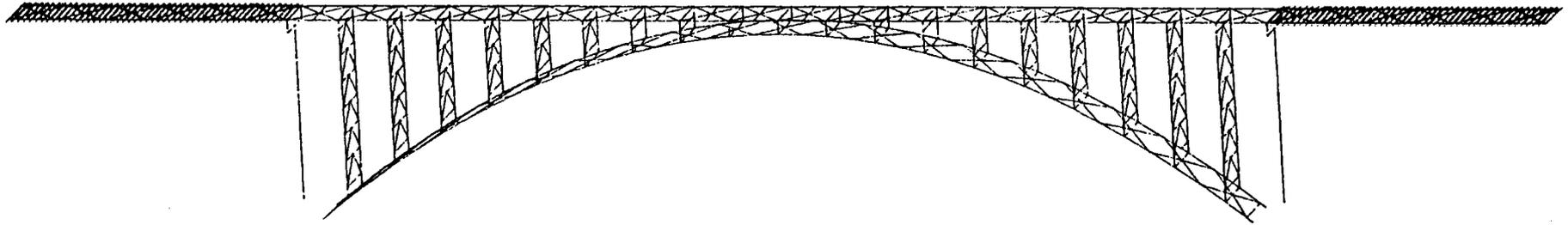


図 3 - 4 側径間床版を板要素とした立体モデル

3 - 4 計算結果

ケース①～⑤の計算結果の主な値を表3-1に示す。

表3-1 立体・平面解析の比較表

			床版剛性・無		床版剛性・有		
			① 立体 モデル	② 1主構 モデル	③ 立体 モデル	④ 1主構 モデル	⑤ 立体モデル 側径間板
変位	補剛桁 支間中央部	(mm) 比	-121.5 -----	-113.9 ----- 94%	-59.4 -----	-56.9 ----- 96%	-----
	補剛桁 支間中央部	(t) 比	-196.76 -----	-201.11 ----- 102%	-331.11 -----	-388.32 ----- 117%	-374.10 -----
軸	アーチ 支点部	(t) 比	813.38 -----	872.92 ----- 107%	433.15 -----	391.40 ----- 90%	468.70 -----
	アーチ 支間中央部	(t) 比	-80.11 -----	-65.59 ----- 82%	-49.77 -----	-63.06 ----- 127%	-48.14 -----
	上横構P2部 側径間側	(t) 比	15.02 -----	24.73 ----- 165%	23.17 -----	77.17 ----- 333%	21.58 -----
	上横構P2部 中央径間側	(t) 比	52.92 -----	61.35 ----- 116%	103.67 -----	118.16 ----- 114%	94.93 -----
力	下横構 アーチ端部	(t) 比	145.87 -----	131.02 ----- 90%	90.68 -----	74.34 ----- 82%	95.41 -----
	下横構 アーチ端隣	(t) 比	-116.71 -----	-129.66 ----- 111%	-75.44 -----	-72.86 ----- 97%	-79.04 -----
	端支柱	(t) 比	28.92 -----	37.51 ----- 130%	18.43 -----	16.49 ----- 89%	21.31 -----
	端対傾構	(t) 比	13.03 -----	8.16 ----- 63%	6.75 -----	3.55 ----- 53%	6.85 -----
反力	A 1	(t)	-3.55	-2.22	-129.49	-29.07	-38.14
	P 1	(t)	-0.43	6.26	127.51	-48.01	-39.56
	P 2	(t)	149.98	133.25	220.06	298.74	274.56
	アーチ	(t)	190.42	199.15	121.22	114.77	128.35

注 1) 反力は1 Bridge当りの数値を示す。

2) 欄内下段の数値は平面解析/立体解析の比を示す。

(1) 解析モデルの選定について

(a) 床版剛性無の場合

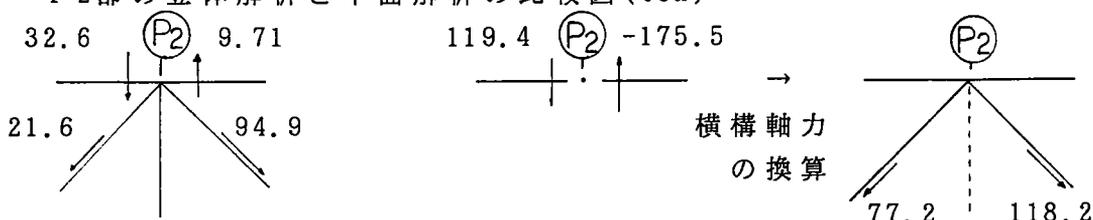
平面解析で、せん断変形を考慮した解析（せん断断面積のパラメータを追加したもの）を行った結果、立体解析とは部材力、反力ともになり近い結果が得られた。

(e x	補剛桁	+ 2 %
	アーチ	+ 7 %
	反力	5 ~ 10 %)

・ 横構部材力について

立体解析では、補剛桁、アーチリブ、支柱のそれら自身が受けもつせん断力が生じるが、平面解析では全せん断力に対する分力として横構部材力を考えているため違いが生じる。ただし、この違いは横構の設計については安全側の差である。

P2部の立体解析と平面解析の比較図 (ton)



立体解析 (側径間板要素)

平面解析

(b) 床版剛性有の場合

床版剛性の評価方法として、たわみ（曲げ変形+せん断変形）を等価とする手法（ケース③）を用いたが、たわみ形状やアーチと補剛桁の反力分担はほぼ合うが、補剛桁の反力および横構軸力に大きな差があらわれる。

側径間部での横構軸力と反力の違いは、側径間の短いパネル数によるせん断変形の影響であると推測される。

側径間の影響を検証するため、側径間の床版を板要素とした立体解析（ケース⑤）を行った結果は、平面解析と近い値となっている。

以上より下記のことがいえる。

- (イ) 床版剛性の有無にかかわらず、平面解析（パラメータとしてせん断断面積を考慮できるもの）でも若干の違いは生じるがかなり有効利用できると思われる。
- (ロ) 立体骨組解析での床版剛性の評価方法としては、曲げ剛性は補剛桁の断面積とし、せん断剛性は換算板厚が等価となる横構断面積とした手法を用いれば近似値が得られると推測される。

(2) 床版剛性の考慮の有無について

- ・床版剛性の考慮の有無により、補剛桁側とアーチリブ側で風荷重の分担率が大きく変動する。

床版剛性の有無による比較を立体モデルについて行うと以下の通りである。

(床版剛性考慮の場合は側径間を板要素としたケース⑤とする。)

e x ・補剛桁側横構軸力(中央径間側)

床版剛性無の場合	52.9 ton
” 有の場合	94.9 ton (+79%)

・アーチリブ側横構軸力

床版剛性無の場合	145.9 ton
” 有の場合	95.4 ton (-35%)

・補剛桁側反力

床版剛性無の場合	146.0 ton
” 有の場合	196.9 ton (+35%)

・アーチリブ側反力

床版剛性無の場合	190.4 ton
” 有の場合	128.4 ton (-33%)

このモデルでの計算結果では、床版剛性を考慮した場合、補剛桁とアーチリブ反力は支柱高さの1/2で風荷重を分担させた場合にほぼ一致している。比較表では省略しているが、床版剛性を考慮した場合は、補剛桁載荷分の風荷重がアーチリブへ流れることとなり、ほとんどはアーチクラウンを通過して伝達される。

(イ) 上下横構について

床版剛性を考慮すれば、考慮しない場合と比べて部材力は上横構側で大きく(約8割増)、下横構側で小さく(約4割減)なる。

従って、下横構の設計においては、耐荷力からの制約と細長比の制限はあるが床版剛性を考慮すると経済設計の可能性も考えられる。

また、上横構の設計においては、部材力を面外剛性に依じて上横構と床版とに分担させる方法も考えられるが、分担率については従来の設計との整合性も必要と思われ検討の余地があるものと思われる。

(ロ) 支承反力について

反力の性状は床版剛性の有無により大きく変動するため、実挙動にそった設計を行うには床版剛性を考慮するほうが妥当と考えられる。

4 まとめ

上路橋の例として、上路アーチ橋を対象に横荷重設計の現状をみて若干の考察を加えた。続いて、各モデルの妥当性を定量的に見るために、ケーススタディとして数値計算をおこなった。

以下に、検討結果の要点を記す。

(1) 簡易モデルでは、補剛桁面、アーチリブ面の横剛性を簡易にかつ適切に評価できるかに問題が帰着される。この点については、詳細な検討が行われているのか不明であるが、数値計算例では、床版剛性を考慮した場合のアーチリブの受け持つ全荷重が、支柱高さの1/2で風荷重を分担させた場合にほぼ一致している。

(2) 1主構モデルでは、横組構造のせん断変形の影響を評価すればモデル化の問題点はないものと思われる。ただし、補剛桁およびアーチリブ自身の受け持つせん断力があるため、横構は若干安全側の設計となる。

なお、せん断変形の影響については、これを考慮したプログラムも普及しているので、実務上での扱いも可能である。

(3) 床版剛性を考慮した場合のアーチリブの横荷重分担は、床版剛性を無視した場合に比べて、3～4割程度減少している。

(4) 1主構モデルで、横組構造をせん断変形の影響も含めて等価なたわみ剛性の梁に置き換えた場合、最大たわみ、アーチリブと補剛桁の荷重分担はほぼ近似する。しかし、補剛桁が連続構造の場合は、側径間の短い支間のせん断変形の影響が大きくなり、補剛桁の反力、上横構軸力に大きな誤差が生じる。この影響は床版剛性を考慮した場合に大きく現れる。

(5) 立体モデルで床版剛性を考慮する方法としては、曲げ剛性は補剛桁の断面積として、せん断剛性は換算板厚が等価な横構断面積として評価すればよいものと考えられる。

床版剛性を考慮すべきか否かについては、実際の構造剛性に即せば床版剛性を考慮すべきであると思われる。その際、計算結果からもみられるようにアーチリブの荷重分担が大きくに減少し、アーチ横構の断面がこれまでの設計例に比べてかなりスレンダーになる可能性も考えられる。アーチの端パネル横構に対しては、面内荷重に対する耐荷力を保持する上から細長比を制限すべきとの提案もされている。

上路橋の他の形式、方杖ラーメン橋やトラス橋などの骨組構造でも同様の設計上の問題が生じる場合があると思われる。本文が、設計実務のうえで少しでも参考になれば幸いである。