

室蘭工業大学工学部 正員 ○中村作太郎
室蘭工業大学工学部 正員 志村 政雄

1. 緒言

本論文は弦材分配率の異なる3個の3径間連続桁式逆ローゼ橋の模型をエポキシ樹脂で製作し、上弦材中央点に集中線荷重を載荷し、光弾性実験装置により光弾性縮写真ならびに等傾線を求め、せん断応力差積分法による実験解析と連続桁式逆ローゼ橋のマトリックス法による弾性理論解析による結果を比較考察し、その応力分布と最適弦材分配率に関し吟味・追求したものである。

2. 模型

模型は光弾性材料エポキシ樹脂にて製作し、その寸法は図-1に示す通りである。特に、厳密測定した上弦材・下弦材・端柱及び直材の断面平均高さを表-1に示す。

なお、模型の平均厚さは、模型Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ共6.0mmであった。次に、エポキシ樹脂の常温における諸定数を表-2に示し、実験解析その他の用に供する。

表-1 各部材の断面平均高さ(単位: mm)

種別	上弦材	下弦材	端柱	直材
模型Ⅰ	3.65	6.99	2.4	1.7
模型Ⅱ	5.14	5.13	2.4	1.7
模型Ⅲ	6.94	3.98	2.4	1.7

表-2 エポキシ樹脂の常温における諸定数

光弾性係数	ヤング率(%)	光弾性感度(%)	フリソ定力(%)
51	302~310	0.94	1.13

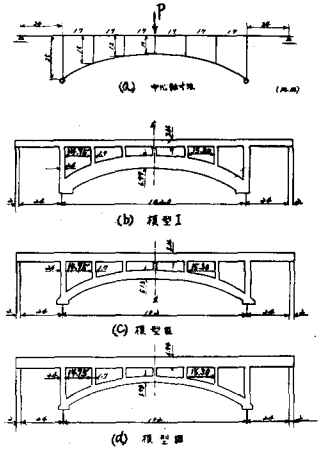


図-1 模型寸法(mm)

3. 実験方法

模型Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの3個を1個ずつ、光弾性実験装置(理研製標準型光弾性実験装置)の荷重支持台に載せ、集中線荷重Pを図-1(a)の通り上弦材中央点に載荷し、水銀燈の光源によつて光弾性縮写真を撮影し、更に荷重を適度に減らし白色燈の光源を用いてスクリーン上に張つたトレーシング・ペーパーに傾角10°の変化毎に等傾線を追跡した。なお側径間における両端の支承部には、橋台に相当するエポキシ樹脂模型を作製して単純支持状態にて取付けた。

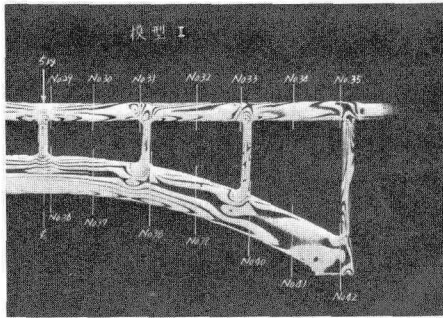
また、読取顕微鏡(島津製読取顕微鏡(A型))を使用し、支間中央点における下弦材中心軸線の直たわみを測定した。

4. 等色線縮写真及び等傾線

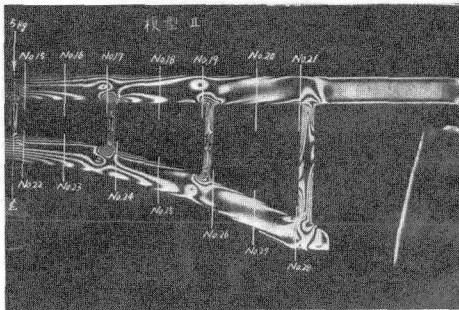
光弾性実験による等色線縮写真の撮影には、暗箱カメラを用い水銀燈光源による緑色光線(λ=5461 Å)にて、しぼり:F40~F45、露出時間:3秒を記録した。フィルムにはパシプロプロセスのギャビネ版を使用し、数回試写を行つた後成功した。

等傾線をとるには、白色灯を用いスクリーンにトレーシング・ペーパーを貼り、投影レンズにて図を

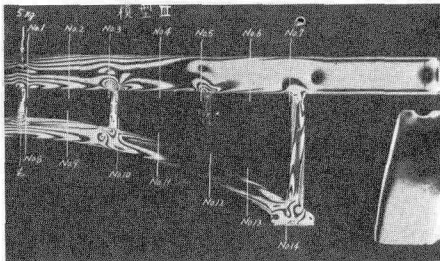
拡大してトレースする方法を用いた。



(a) 模型Iの等色線縞模様

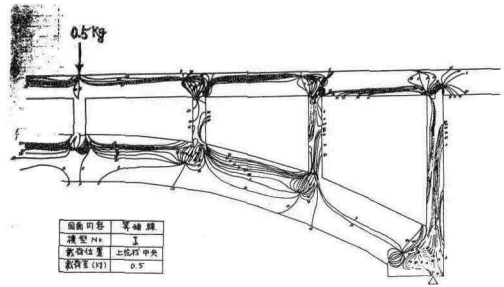


(b) 模型IIの等色線縞模様

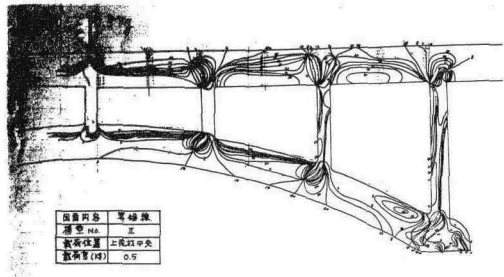


(c) 模型IIIの等色線縞模様

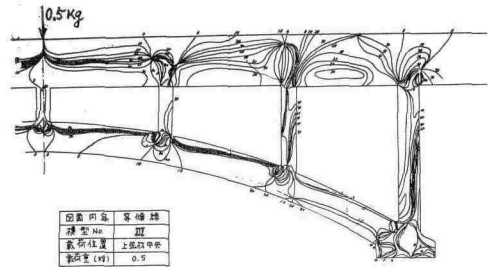
図-2 模型I, II, IIIの等色線縞模様
(P=5 kg)



(a) 模型Iの等傾線



(b) 模型IIの等傾線



(c) 模型IIIの等傾線

図-3 模型I, II, IIIの等傾線
(P=0.5 kg)

5. 応力解式

(1) セン断応力差積分法による実験応力解式

上述の等色線縞写真と等傾線を用いて、セン断応力差積分法による応力解析の原理に従って、次式より τ_{yx} , $\bar{\sigma}_y$, $\bar{\sigma}_x$ などの分布を求めることが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{yx} &= (\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\theta / 2 \\ \bar{\sigma}_y &= (\sigma_y)_0 - \sum \Delta \tau_{yx} \\ \bar{\sigma}_x &= \bar{\sigma}_y - (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

ここに、 $\sigma_1 - \sigma_2$: 主応力差 = $(S/d)n$ (kg/mm^2), S : フリンジ応力 (kg/mm), n : 縞次数,
 d : 板厚 (mm), $(\sigma_y)_0$: $y=0$ の時すなわち上縁の σ_y , θ : 荷重線と主応力軸のな

す角, ΔT_{yx} : 間隔 Δx はなれた断面の T_{yx} の差

(2) 理論計算解式

(a) 中央径間格梁モーメント $M_{\kappa,i}^o, M_{\kappa,i}^u$

$$M_{\kappa,i}^o = t_{\kappa}(m_{\kappa,i} - h_{\kappa} H_i) + b_{\kappa,0}^o M_{0,i}^o + b_{\kappa,n+1}^o M_{n+1,i}^o, \quad M_{\kappa,i}^u = (1-t_{\kappa})(m_{\kappa,i} - h_{\kappa} H_i) + b_{\kappa,0}^u M_{0,i}^u + b_{\kappa,n+1}^u M_{n+1,i}^u$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに, } b_{\kappa,0}^o &= t_{\kappa}(n+1-\kappa)/(n+1) - 2a_{\kappa,1} O'_1 / (l'_{\kappa} + l'_{\kappa+1}), & b_{\kappa,n+1}^o &= t_{\kappa} \kappa / (n+1) - 2a_{\kappa,n} O'_n / (l'_{\kappa} + l'_{\kappa+1}), \\ b_{\kappa,0}^u &= (1-t_{\kappa})(n+1-\kappa)/(n+1) + 2a_{\kappa,1} O'_1 / (l'_{\kappa} + l'_{\kappa+1}), & b_{\kappa,n+1}^u &= (1-t_{\kappa}) \kappa / (n+1) + 2a_{\kappa,n} O'_n / (l'_{\kappa} + l'_{\kappa+1}), \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\kappa = 1, 2, \dots, n$$

(b) 支点 B, C の支点モーメント $M_{0,i}^o, M_{n+1,i}^o$

$$M_{0,i}^o = \{-C_1(C_{0,i} + N_{B,i}) + C_2(C_{n+1,i} + N_{C,i})\} / (C_1^2 - C_2^2), \quad M_{n+1,i}^o = \{-C_1(C_{n+1,i} + N_{C,i}) + C_2(C_{0,i} + N_{B,i})\} / (C_1^2 - C_2^2) \quad \text{--- (3)}$$

(c) 支点モーメント $M_{0,i}^o$ による水平反力 ΔH

$$\Delta H = \left\{ \sum_{\kappa=1}^{n+1} \{O_{\kappa}^o b_{\kappa,0}^o t_{\kappa} h_{\kappa} + U_{\kappa}^u b_{\kappa,0}^u (1-t_{\kappa}) h_{\kappa}\} - O_1^o \{(2/3)b_{0,0}^o - 1\} t_1 h_1 \right\} / \left\{ \sum_{\kappa=1}^{n+1} \{O_{\kappa}^u t_{\kappa}^2 h_{\kappa}^2 + U_{\kappa}^o (1-t_{\kappa})^2 h_{\kappa}^2\} - (2/3) O_1^u t_1^2 h_1^2 \right\} + \sum_{\kappa=1}^{n+1} (U_{\kappa} I_{\kappa} / F_{\kappa}^u) \sec^2 \beta \quad \text{--- (4)}$$

(d) 水平反力 H_i^H

$$H_i^H = H_i^o + \Delta H (M_{0,i}^o + M_{n+1,i}^o) \quad \text{--- (5)}$$

(e) セン断力 $V_{\kappa,i}$

$$\text{上弦材: } V_{\kappa,i}^o = (M_{\kappa+1,i}^o - M_{\kappa,i}^o) / \lambda, \quad \text{下弦材: } V_{\kappa,i}^u = (M_{\kappa+1,i}^u - M_{\kappa,i}^u) / \lambda + H_i^H \tan \beta_{\kappa+1} \quad \text{--- (6)}$$

(f) 支柱軸力 $Z_{\kappa,i}$

$$\left. \begin{aligned} \text{中間支柱: } Z_{\kappa,i} &= V_{\kappa,i}^o - V_{\kappa+1,i}^o + d_{\kappa,i}, & \text{端支柱: } Z_{1,i} &= V_{1,i}^o - V_{0,i}^o + \rho \\ \text{ここに, } d_{\kappa,i} &: \text{Kronecker の記号 } (\kappa = i, d_{\kappa,i} = 1; \kappa \neq i, d_{\kappa,i} = 0) \\ \rho &: \text{側径間を単純桁と考えた時の反力} \end{aligned} \right\} \text{--- (7)}$$

(2)~(7)式において, l_1 : 左側径間の支間, l_2 : 中央径間の支間, l_3 : 右側径間の支間, λ : 格間長, $(n+1)$: 格間数, O_{κ} : 中央径間の格梁における上弦材の長さ, O_{κ}^o : 中央径間上弦材の換算長 $= O_{\kappa}(I_c / I_{\kappa}^o)$, U_{κ} : 中央径間の格梁における下弦材の長さ, U_{κ}^o : 中央径間下弦材の換算長 $= U_{\kappa}(I_c / I_{\kappa}^u)$, F_{κ}^o : 中央径間の格梁における上弦材の断面積, F_{κ}^u : 中央径間の格梁における下弦材の断面積, I_{κ}^o : 同上の上弦材の慣性モーメント, I_{κ}^u : 同上の下弦材の慣性モーメント, $l'_{\kappa} = O_{\kappa} + U_{\kappa}$, I_c : 標準慣性モーメント, I_s : 側径間の慣性モーメント, $t_{\kappa} = (U_{\kappa} + U_{\kappa+1}) / (l'_{\kappa} + l'_{\kappa+1})$, $1-t_{\kappa} = (O_{\kappa} + O_{\kappa+1}) / (l'_{\kappa} + l'_{\kappa+1})$, $m_{\kappa,i}$: 格梁における単純桁としての曲げモーメント, H_i^H : 側径間を考えない場合の水平反力。その他, 記号については, 中村作太郎: 連続桁式逆ローゼ桁橋の解析について, 土木学会北海道支部研究発表論文集 No.26 (1970.2), 平井敦他4名: 鋼橋(III) (技報堂, 1969) 参照。

(g) 上下弦材の軸方向断面応力度 σ_x

$$\left. \begin{aligned} \text{上弦材: } \sigma_x &= \pm (M / I^o) y, & \text{下弦材: } \sigma_x &= N / F^u \pm (M / I^u) y \\ \text{ここに, } M &: \text{曲げモーメント, } I^o, I^u &: \text{上弦材及び下弦材の慣性モーメント, } N &: \text{軸力,} \\ y &: \text{中立軸よりの垂直距離, } F^u &: \text{下弦材の断面積} \end{aligned} \right\} \text{--- (8)}$$

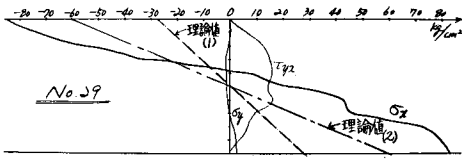
(h) たわみ

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \int M (M / EI) ds + \int N (N / EA) ds + \int Q (Q / GA) ds \\ \text{ここに, } M, N, Q &: \text{実際荷重による部材の曲げモーメント, 軸力, セン断力} \end{aligned} \right\} \text{--- (9)}$$

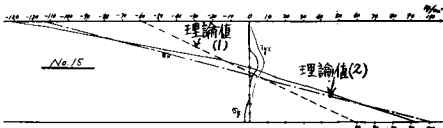
\bar{M} , \bar{N} , \bar{Q} : 単位荷重 $P=1$ が載った場合の部材の曲げモーメント, 軸力, セン断力

6 実験解析及び理論計算結果の比較

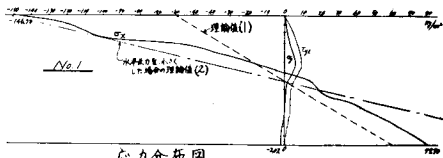
(1) 支間中央部の断面応力度分布



(a) 模型 I (P=5kg)

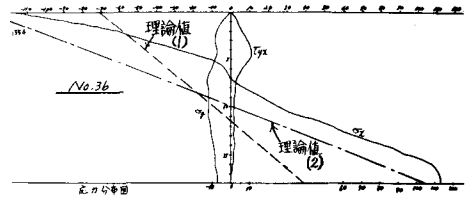


(b) 模型 II (P=5kg)

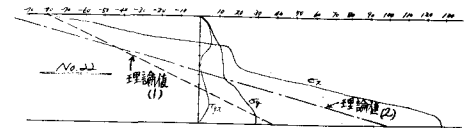


(c) 模型 III (P=5kg)

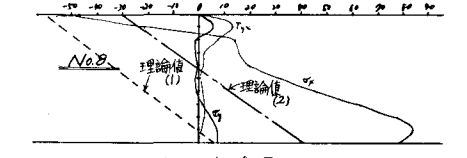
図-4 上弦材中央部の断面応力度分布



(a) 模型 I (P=5kg)



(b) 模型 II (P=5kg)



(c) 模型 III (P=5kg)

図-5 下弦材中央部の断面応力度分布

(2) 支間中央点における下弦材のたわみ

表-3 支間中央点における下弦材のたわみ (mm)

種別	理論たわみ (1)		理論たわみ (2)		実験たわみ	
	模型断面	換算断面	模型断面	換算断面	模型断面	換算断面
模型 I	0.26	0.24	0.36	0.34	0.73	0.65
模型 II	0.39	0.30	0.55	0.42	0.94	0.72
模型 III	0.52	0.52	0.73	0.73	0.82	0.82

(注) 模型断面: 模型通りの断面, 換算断面: 上下弦材の合計断面を模型 III に合せたもの

7 結言

断面応力度分布においては, 各模型共実験値の方が幾分大きくなっているが, これは中間支桌が理論の仮定通り固定ヒンジになっていないためと考えられる。このことは, また実験たわみが理論たわみよりもかなり大きくなっている事実からも確認出来るであろう。

模型 I, II, III の比較においては, 支桌モーメント・たわみなどよりみて, アーチ断面部 (下弦材) の大きな模型 I が最も有利と考えられ, 最適弦材分配率は上弦材よりも下弦材 (アーチ部) の太い場合に生ずることが明かとなった。このことは, すでに発表した著者の論文 (中村作太郎: 3 径間連続桁式逆ローゼ橋の最適弦材分配率について, 土木学会第 25 回年次学術講演会講演集 I-71, 1970) においても考察されたところであり, 同一傾向の得られたことをここに更めて発表する次第である。

紙面の関係で等色線縮写真・断面応力度分布などその一部だけ載せたが, 他は当日発表の予定。