

## 御影大橋の構造に就いて

金沢市土木部長

鈴木 邦彦

金沢市は幸いにも非戦後都市であるが其の反面特別都市計画が適用されていないので隣県の福井・富山市のように広路がない。広路とは道路幅員が50m~100mで最少36mである。これは交通だけでなく防火的に必要である。

金沢市に広路を設ける計画は100mの中でこの住宅不足の折家屋の取壊しもどうかと思われ、これは橋の種であった。金沢市は統計的に大火を調べると、遅くオー図「金沢市内既住大火焼計画」の概に大火延焼の方向に直角に犀川と浅野川があり、これが広路の役目に相当するものと考えられる。之を更にもう一歩進めて、左右両岸を *River side park* とする緑地と考え、戦時中の中州の汚ない煙を除去し、「かじか」啼く清流を整備すれば河を中心とした立派な広路が出来、従ってこの大橋は公園の中心に架設せらるものとなり、橋梁美もその環境に調和したものが必要となるのである。

橋は経済上、3径向とり而も各 *span* は一脈相隣連した一つの外観を呈することが好ましく *center span* の *upper chord* は *parabola* で *side span* がこれに接する直線のものが多いと信じた。この外型には單構橋が適当であり、連続構橋、ケーブル構橋より多少不経済ではあるが兩岸の地勢と *match* した *type* と思われた。

更に是れを第二図の *golden ratio* (黄金比) を応用すると中央径向中心高さを7とし、*pier* のところでは5、両端では3の *ratio* の作図によりこれを *modify* して現在の *type* を決定した。*side span* については *truss* の高さが制限されて上部梁構をつけることが困難なため、*Pony truss* とした。ドイツ語では *Offene Brücke* と云う。*Offene* とは開放的と云う意であって、*approach* は両壁だけで更に交通者の頭上に遮るものがない。

第参図一般図では建設省の鋼道路橋設計示方書により *main truss* の *deflection* は *span* の  $\frac{1}{800}$  より小でなければならぬ。

*side span* は3.5cmが2.6cm、*center span* は7.5cmが4.5cmであるから安心である。

又オ四図は *longitudinal slope of bridge surface* を示したものである。

下部では *well* が深すぎたように思う向きもあるが、これは *well* が平水値よりも上に出ると美観を害し、又洗堀されるのを避けた點と河川改修計画断面に基準しているのである。

次にオ五図 *Cromonai's Stress Diagram* について見ると、*span* の *center* より、両方が *symmetry* にすると非常に経済的で計算の半分でよいのであるが、これは全部計算しなければならないので勞力的にも不経済であるが上述の構想から橋梁美のために採用した。

橋門の *Hip vertical* は物部博士が説かれた如く例えは金沢市の犀川大橋の様に斜めのものよりも *vertical* にした方が美観上よいと言われている *Hip vertical* にすれば、オ一径向の *lower chord* は *Redundant member* となるが、美的のためには止むを得ない。

ところが良いことは二つなく鋼道路橋設計示方書に依れば *pony truss* に関係ある箇條、即ち第34

係、オ83係及びオ96係の三つがある。

そこで pony truss は upper lateral が無いから upper chord の Horizontal displacement から生ずる vertical member の水平方向の deflection が気になる。そこで pony truss に関する以上三つの条件を Engesser's formula にあてはめて出て来た deflection が allowable でなければならぬと考えた。

side span の主構は前述の通り上部縦構が無いので、横方向に対して上弦材は垂直材及び斜材の弾性抵抗により支持されているに相違ないのであり、上弦材が十分な圧屈強度を有するには垂直材の下端を固定せる cantilever (片持梁) と考えし時に先端の水平移動が一定限度を超えない様に vertical の曲げ剛さを持たせたらよいわけである。

今 upper chord の断面及び moment inertia が一定として横方向の弾性抵抗が格点でなく、全般に分布して作用して居るものと仮定すれば、この場合の圧屈荷重は次の Engesser の式より得られる。(オ六図)

Engesser's formula の(3)式中の 1.5 は鋼道橋設計方書オ96係を適用した。即ちオ96係は「上弦材・端柱等の組合せ、圧縮材の断面の垂直軸の周りの回転半径は水平軸の周りのものより大ならしむべし。ポニー構にありては此の両回転半径の比を 1.5 以上と爲すべし」とある。

又同方書オ83係に依り上弦材の最大軸方向圧縮応力の  $1/100$  を横力  $H$  として、其の時の水平移動を  $d$  とした。オ83係「ポニー構の垂直材並に垂直材と横桁との連結は次式によりて算出せる横力に抵抗し得る設計となすべし。此の横力は構の上格梁に作用するものとする。

$$H = \frac{P}{100}$$

$$H = \text{横力 (kg)}$$

$$P = \text{上弦材の最大軸方向圧縮応力 (kg)}$$

結局  $d = 0.96 \text{ cm}$  となり  $1 \text{ mm}$  以下である。

オ七図は使用した上弦材と垂直材の性質を詳細に示記したものとする。

オ八図は垂直材の撓度を他の方面より check すると垂直材を cantilever と考えて一般式

$$d = \frac{H h^3}{3EI}$$

により計算するとオ2表のようになる。

この橋を註文するときに、横桁の  $1/1000$  を要求したが横桁支向  $10 \text{ m}$  20 であるから、 $1 \text{ cm}$  が  $1/1000$  であるからそれ以下であれば宜しい。

而して下で次の Bleich によるものと比し幾分小さめに出て来るのは Strain energy より

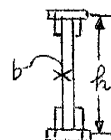
$$d = \frac{Pl^3}{3EI} + 1.2 \frac{lp}{Gb h}$$

但し  $G$  --- modulus in shear.

$bh$  --- web sect. area.

$A$  --- rigidity

の式から考えると  $1.2 \frac{lp}{Gb h}$  が効いているからではないかと思う。



*Bleich* ではかなり精密な計算式により  $V_6 = 0.95 \text{ cm}$  となる。これで見ると上述の結果よりも大きくなり  $V_6$  は  $0.68 \text{ cm}$  が  $0.95 \text{ cm}$  となるのである。

次に第9図に依り *deflection* だけでなく安全率から見るとオイラーの式はあてはまらずデトマイヤーの式があてはまり、安全率は約3倍である。*Engesser* の式から見ると上弦材が同一断面で目付応力も全じ場合

$$Pk = 2\sqrt{EI_y \frac{A}{X}}$$

$$A = 2.211 \text{ t/cm}$$

即ち *safety* = 8 となる。

第拾図により *Bleich* による必要剛度は平均と最大の二つを見た。

#### (1) 平均値の場合

実際は *rigidity* は  $2 \text{ t/cm}$  もあるのに必要な剛度は  $1.15 \text{ t/cm}$  であるから安全である。

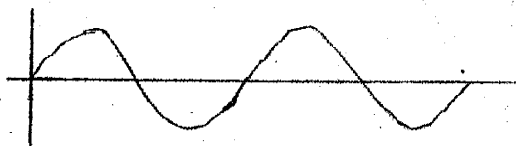
#### (2) 最大値の場合

最大部材  $03.04$  に対する値を用いれば実際は  $A = 2.08 \text{ t/cm}$  あるのに必要な剛度は  $1.79 \text{ t/cm}$  だから安全である。

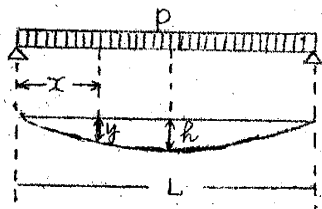
これを見ても安全であるのに何故心配するかと云うと、鋼道橋設計示方書にこの程度の制限がないからではないかと思われる。そこで結論として同示方書の第83条の横力の規定の次に「而して垂直材の *horizontal displacement*  $d$  は横桁支向の  $1/1000$  以下に在るべし」とうにせば安心して設計出来るのではないかとと思われる。

### 附記 橋梁振動

*Deflection* は *vibration* に *effect* する。而して下ら木橋製作に当り *vertical member* と *floor system* とを上下で結着して剛度を増してある。これは *vibration* を減衰させるのに役立つ。*vibration* は *sign curve* になる。



例えば



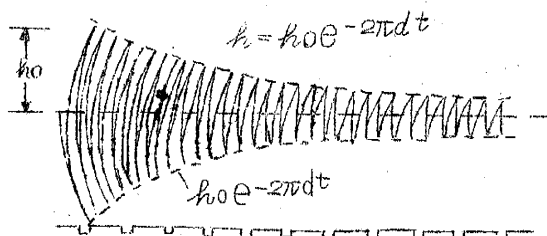
の場合  $y = k_0 \sin \frac{\pi x}{L}$

茲に  $y$  --- 支承より  $x$  の点の半振幅

$h$  --- 径向中央部  $x = \frac{L}{2}$  に及ぶ半振幅

$L$  --- 支間

ところが rigidity のため振動は減衰する。



$$h = h_0 e^{-2\pi d t} \cos w_1 t$$

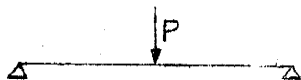
$d$  --- 減衰係数  $w_1$  --- 角振動数

係数  $e^{-2\pi d t}$  の存在により次第に減衰する。

橋梁振動は周期的に作用するときは、ある場合には応力及び変形を激激するのみならず上部構の安全性に危険を与えるような応力及び変形をさへ惹起する事がある。

故に周期、振動数及び抵抗力、或は振動減衰力の研究が必要になる。 deflection と振動とのつながりは一例として橋梁の固有振動数を  $n$  とすれば

(1) Concentrated load  $P$  の場合

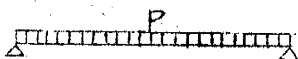


$$n = \sqrt{\frac{24.85}{h_R}}$$

$P$  が middle span に作用するものとする  $h_R$  は span の中央の deflection である。

(単位 m)

(2) Uniform load の場合



$$n = \sqrt{\frac{31.06}{h_P}}$$

Uniform に load が全 span に作用するものとする  $h_P$  が pl load による中央の deflection である。

## 結論

Pony truss は昭和の初め Tin bridge (スリキ細工の橋) として余り研究しなかった。又、Upper lateral のない橋をつくらない様に、Upper lateral のつけられる桁を橋をつくる桁に慣らされたる言々は将来共 Pony truss の研究を軽んじてはならないと思われる。



# 第貳圖

## Type の決定

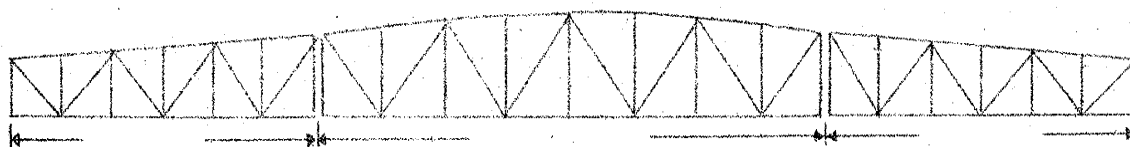
Golden Ratio による



中央径間を *Parabola* 側径間をその *Tangent* としたもの

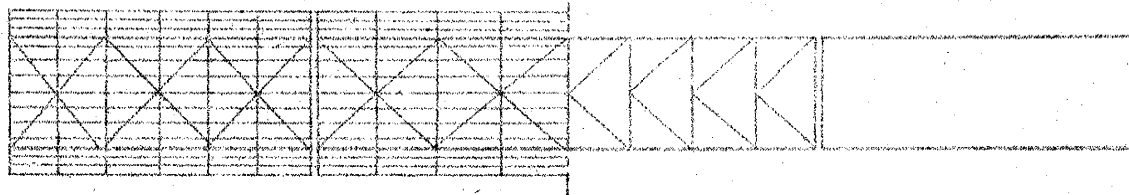
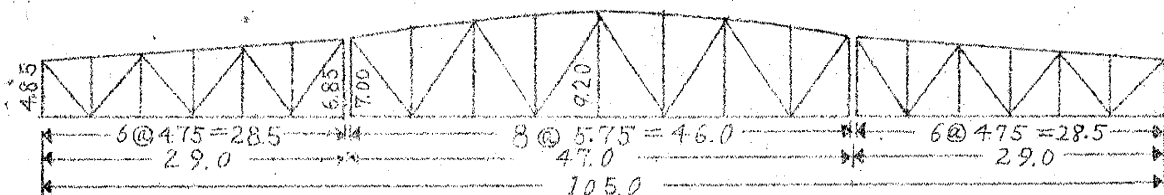


採用の Type



# 第参圖

## 一般圖



下部 絞 構

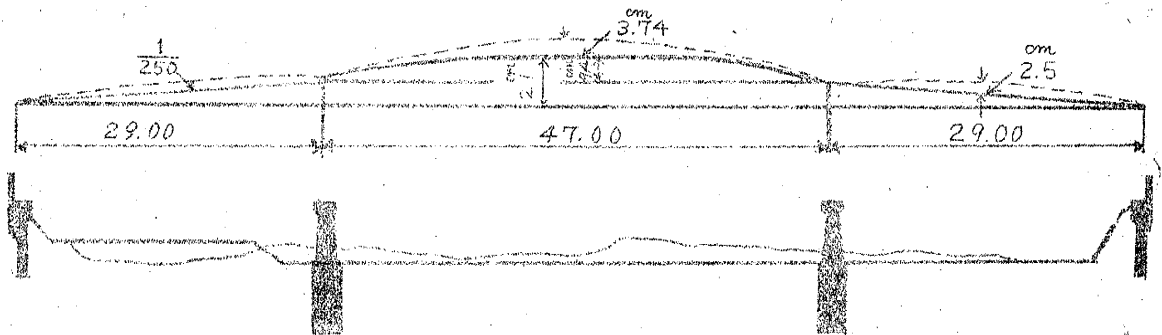
$$\text{主構の撓度} = \frac{28.5}{800} = 3.562 \text{ cm} > \delta = 2.65 \text{ cm}$$

上部 絞 構

$$\frac{47.0}{800} = 5.75 \text{ cm} > \delta = 4.50 \text{ cm}$$

第四圖

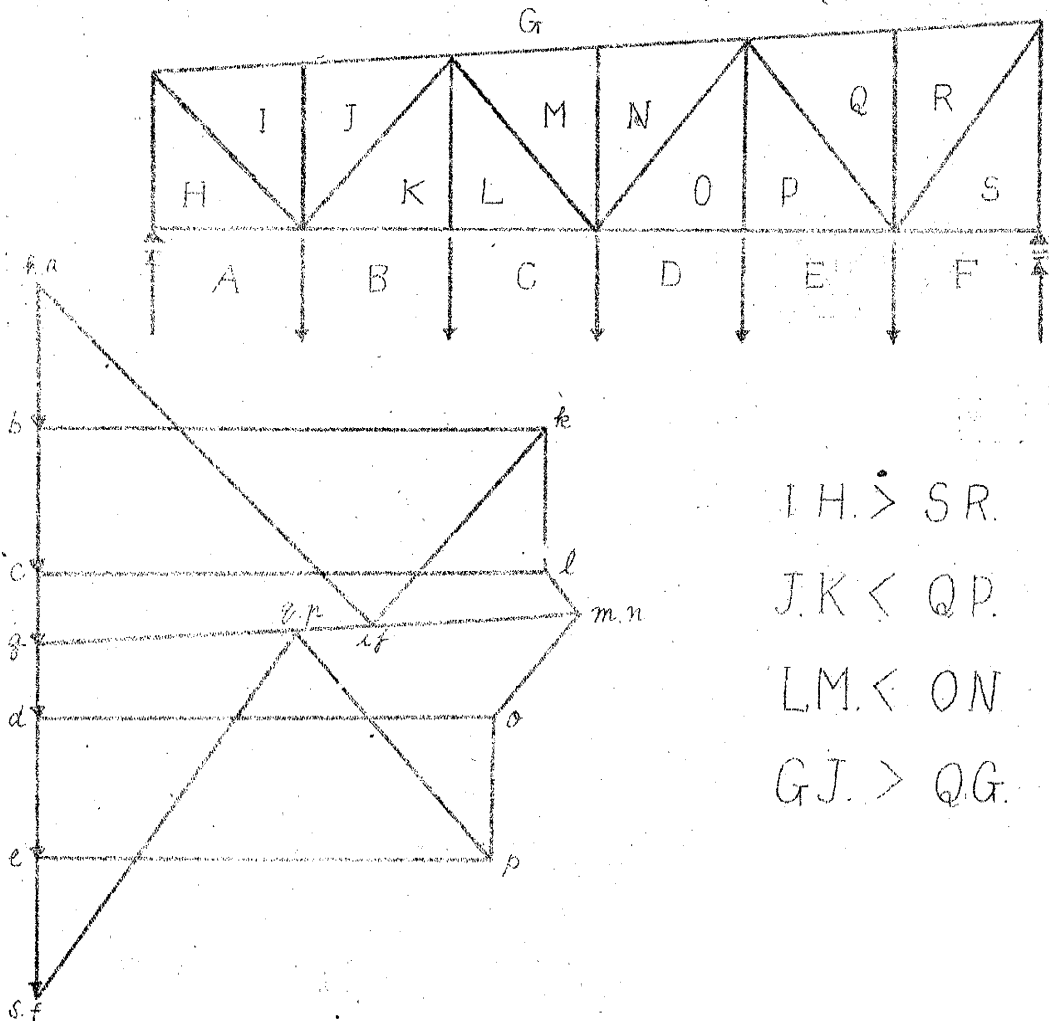
Longitudinal slope of bridge surface



等分布荷重を満載した場合の  $\delta = 2.65^{cm}$  (側径間)  $\delta = 4.50^{cm}$  (中央径間)

第五圖

Cremona's Stress Diagram.



$$IH > SR$$

$$JK < QP$$

$$LM < ON$$

$$GJ > QG$$

## 第六圖 Engesser 挫屈荷重

$$P_{cr} = 2\sqrt{EI_y \beta} \quad \text{----- (1)}$$

茲に  $I_y =$  上弦枕の垂直軸に関する断面二次率

$E =$  弾性恒数  $2,100,000 \text{ kg/cm}^2$

$\beta =$  弾性抵抗に関する係数

$$= \frac{1}{\delta \cdot \lambda}$$

$\delta =$  上弦枕の格奥に  $1\text{ton}$  働いた場合の格奥の水平移動  
(Horizontal Displacement)

$\lambda =$  格間長

$$\beta = \frac{P_{cr}^2}{4EI_y} \quad \text{----- (2)}$$

安全率 = 5 とすれば

$$\beta = \frac{(5P)^2}{4E \cdot 1.5 I_x} = \frac{25}{6} \cdot \frac{P^2}{E I_x} \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{\lambda}{r_x} = 50 \text{ とすれば}$$

$\sigma_{ca} =$  軸方向許容圧縮力

$$= 1100 - 0.04 \left( \frac{\lambda}{r_x} \right)^2 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 1000 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 1.0 \text{ t/cm}^2$$

$$P = \sigma_{ca} \cdot A ; I_x = r_x^2 A$$

故に (3) 式より

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{25 \cdot \sigma_{ca} \cdot A}{6E r_x^2} \cdot P = \frac{25}{6E} \cdot \frac{\sigma_{ca} \lambda^2}{r_x^2} \cdot \frac{P}{\lambda^2} \\ &= \frac{25 \times 1 \times 50^2}{6 \times 2100} \cdot \frac{P}{\lambda^2} = \frac{625}{126} \cdot \frac{P}{\lambda^2} \\ &= 4.96 \frac{P}{\lambda^2} \quad \text{----- (4)} \end{aligned}$$

$$\text{故に } \beta \lambda = 4.96 \frac{P}{\lambda} \quad \text{----- (5)}$$

格奥に  $\frac{1}{100} \cdot P$  が働いた時の格奥の水平移動を  $\delta$  とすれば

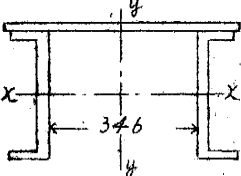
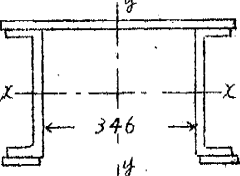
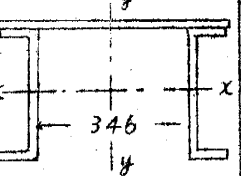
$$\delta = \frac{\frac{1}{100} \cdot P}{\beta \lambda}$$

となる、 $\beta \lambda$  を代入すると

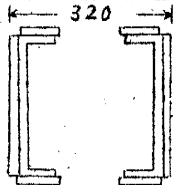
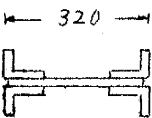
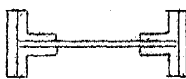
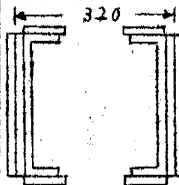
$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\frac{1}{100} \cdot P}{4.96 \frac{P}{\lambda}} = \frac{\lambda}{496} = \frac{475}{496} \\ &= 0.96 \text{ cm} \quad \text{----- (6)} \end{aligned}$$



第七圖

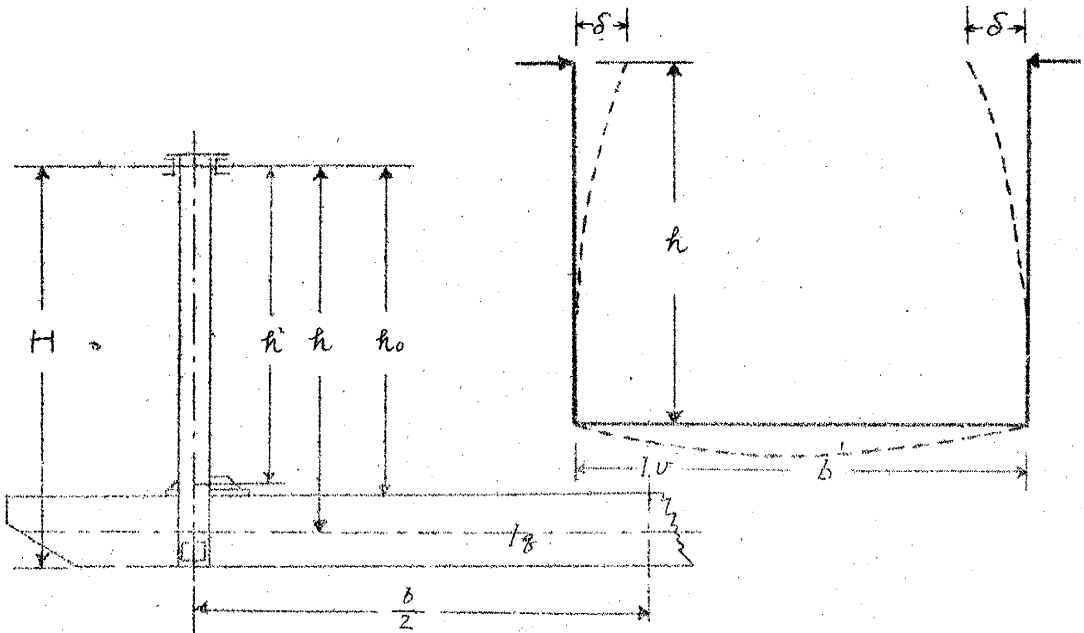
| 上 弦 枕                            |                                                                                                        |       |                                                                                                                                             | 第 1 表 |                                                                                                        |       |                  |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------|
| 部 枕                              | $O_1$                                                                                                  | $O_2$ | $O_3$                                                                                                                                       | $O_4$ | $O_5$                                                                                                  | $O_6$ | 平均値              |
| 最大能力 $P_t$                       | 115.2                                                                                                  |       | 179.5                                                                                                                                       |       | 89.7                                                                                                   |       | 128.1            |
| 断 面                              |                       |       |                                                            |       |                      |       |                  |
| 断 面 積<br>$A_{cm}^2$              | $2 \sim [300 \times 90 \times 9] = 97.14$<br>$1 \sim P1.530 \times 11 = 58.30$<br>$\underline{155.44}$ |       | $2 \sim [300 \times 90 \times 10] = 111.48$<br>$1 \sim P1.530 \times 11 = 58.30$<br>$2 \sim P1.85 \times 8 = 13.60$<br>$\underline{183.38}$ |       | $2 \sim [300 \times 90 \times 9] = 97.14$<br>$1 \sim P1.530 \times 11 = 58.30$<br>$\underline{155.44}$ |       | 164.75           |
| 断面二次矩<br>$I_x, I_y \text{ cm}^4$ | $I_x = 21.685$<br>$I_y = 56.047$                                                                       |       | $I_x = 29.540$<br>$I_y = 63.015$                                                                                                            |       | $I_x = 21.685$<br>$I_y = 56.047$                                                                       |       | 24.300<br>58.358 |
| 環動半径<br>$r_x, r_y \text{ cm}$    | $r_x = 11.8$<br>$r_y = 19.0$                                                                           |       | $r_x = 12.6$<br>$r_y = 18.5$                                                                                                                |       | $r_x = 11.8$<br>$r_y = 19.0$                                                                           |       | 12.<br>18.83     |
| $r_x/r_y$                        | 15.2                                                                                                   |       | 14.8                                                                                                                                        |       | 15.2                                                                                                   |       | 15.0             |
| 実能力 $\sigma_c \text{ kg/cm}^2$   | 741                                                                                                    |       | 980                                                                                                                                         |       | 577                                                                                                    |       |                  |
| 許容能力 $\sigma_{ca}$               | 1035                                                                                                   |       | 1043                                                                                                                                        |       | 1035                                                                                                   |       |                  |

| 垂 直 枕                                             |                                                                                                            |                                                                                     |                                                                                                                               |                                                                                       |        |       |                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 格 奥                                               | 0                                                                                                          | 1                                                                                   | 2                                                                                                                             | 3                                                                                     | 4      | 5     | 6                                                                                                                                      |
| 部 枕                                               | $V_0$                                                                                                      | $V_1$                                                                               | $V_2$                                                                                                                         | $V_3$                                                                                 | $V_4$  | $V_5$ | $V_6$                                                                                                                                  |
| H cm                                              | 485                                                                                                        | 518                                                                                 | 552                                                                                                                           | 585                                                                                   | 618    | 652   | 685                                                                                                                                    |
| $R$ cm                                            | 458                                                                                                        | 481                                                                                 | 515                                                                                                                           | 548                                                                                   | 581    | 615   | 648                                                                                                                                    |
| $R_0$ cm                                          | 396                                                                                                        | 429                                                                                 | 463                                                                                                                           | 496                                                                                   | 529    | 563   | 596                                                                                                                                    |
| 横力七 $1/100$                                       | 1.152                                                                                                      | 1.152                                                                               | 1.795                                                                                                                         | 1.795                                                                                 | 1.795  | 0.897 | 0.897                                                                                                                                  |
| 断面二次矩<br>M 元, cm                                  | 456                                                                                                        | 495                                                                                 | 831                                                                                                                           | 890                                                                                   | 950    | 505   | 534                                                                                                                                    |
| 軸能力 $V_t$                                         | -130.90                                                                                                    | -8.95                                                                               | +50.11                                                                                                                        | -8.95                                                                                 | +50.11 | -8.95 | -130.90                                                                                                                                |
| 断 面                                               |                         |  |                                            |  |        |       |                                                                                                                                        |
| 断 面 積<br>$A_g \text{ cm}^2$<br>$A_n \text{ cm}^2$ | $2 \sim [300 \times 90 \times 9]$<br>$2 \sim P1.280 \times 8$<br>$4 \sim P1.80 \times 8$<br>$A_g = 167.54$ | $4 \sim L 100 \times 75 \times 10$<br>$1 \sim P1.310 \times 9$<br>$A_g = 939$       | $4 \sim L 100 \times 75 \times 10$<br>$2 \sim P1.220 \times 13$<br>$1 \sim P1.310 \times 9$<br>$A_g = 151.1$<br>$A_n = 113.6$ |                                                                                       |        |       | $2 \sim [300 \times 90 \times 9]$<br>$2 \sim P1.280 \times 8$<br>$2 \sim P1.280 \times 9$<br>$4 \sim P1.80 \times 8$<br>$A_g = 217.94$ |
| $I \text{ cm}^4$                                  | $I = 30720$                                                                                                | $I = 15590$                                                                         | $I = 31450$                                                                                                                   |                                                                                       |        |       | $I = 44340$                                                                                                                            |
| 実能力 $\text{kg/cm}^2$                              | -1058                                                                                                      | -639                                                                                | +1063                                                                                                                         | -564                                                                                  | +1151  | -354  | -904                                                                                                                                   |
| 許容能力 $\text{kg/cm}^2$                             | -1063                                                                                                      | -920                                                                                | +1300                                                                                                                         | -896                                                                                  | +1300  | -812  | -950                                                                                                                                   |

第八圖

垂直材の撓度



桁の撓みの式

$$\delta = \frac{Hh^3\alpha}{3EI}$$

第2表

垂直材の撓度 < 0.9cm

| 格点 | $V_0$ | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $V_4$ | $V_5$ | $V_6$ |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 撓度 | 0.25  | 0.35  | 0.60  | 0.74  | 0.90  | 0.54  | 0.68  |

垂直材の撓度表

上弦材格点に単位荷重1tが水平方向に働き各点が水平に $\delta$ cm移動するとすれば  $A = 1/\delta$  (t/cm) は Bleich に示す次式により与えられる

$$A = \frac{I}{\frac{h^3}{3EI_v} + \frac{h^2b}{2EI_g}}$$

$$I_v = I_v + \frac{4Vh^2}{\pi^2 E}$$

各点につきAを計算した結果は次表の通りである

第3表

| 格点                    | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $V$ t                 | -152.5 | -9.0   | +50.0  | -9.0   | +50.0  | -9.0   | -152.5 |
| $h$ cm                | 458    | 481    | 515    | 548    | 581    | 615    | 648    |
| $h'$ cm               | 370    | 412    | 446    | 479    | 512    | 546    | 568    |
| $I_v$ cm <sup>4</sup> | 38,964 | 46,480 | 49,058 | 46,376 | 49,667 | 46,256 | 33,576 |
| $A$ t/cm              | 3.57   | 3.03   | 2.56   | 2.08   | 1.85   | 1.45   | 0.94   |

上弦格点には  $H = \frac{P}{100}$  の水平推力が働く場合の格点の水平移動は下表の通りである

第4表

| 格点          | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 推力 $t$      | 1.15 | 1.15 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 0.9  | 0.9  |
| $\delta$ cm | 0.32 | 0.37 | 0.70 | 0.86 | 0.97 | 0.62 | 0.95 |

## 第9圖

## 上弦材の安全率

トマイヤーの挫屈荷重に依る

$$\sigma_k = 3.100 - 11.4 \frac{l}{r}$$

第5表

| 部     | 材          | $0_1$  | $0_2$ | $0_3$  | $0_4$ | $0_5$  | $0_6$ | 平均値    |
|-------|------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 応力    | $P_t$      | 115.18 |       | 179.50 |       | 89.67  |       | 128.12 |
| 断面積   | $F_{cm^2}$ | 115.44 |       | 183.38 |       | 155.44 |       | 164.75 |
| 断面二次率 | $I_y cm^4$ | 56.047 |       | 63.015 |       | 56.047 |       | 58.370 |
| 環動半径  | $r_y cm$   | 19.0   |       | 18.5   |       | 19.0   |       | 18.83  |
| 挫屈荷重  | $P_k t$    | 437.56 |       | 514.75 |       | 437.56 |       | 463.29 |
| 安全率   | $\psi$     | 3.79   |       | 2.87   |       | 3.79   |       | 3.48   |

## Engesser 挫屈強度による安全率

上弦材が全一断面で且つ応力も全じ場合  
部材の全長に全一の弾性支持を受けるものと仮定すれば

$$P_k = 2\sqrt{EI_y} A/\lambda$$

$$I_y, A \text{ の平均値を取れば } I_y = 58.370 cm^4 \quad A = 2.211 t/cm$$

$$\lambda = 475 cm \quad P_k = 1.510 t \quad \psi = \frac{P_k}{P} = 8.4$$

## 第拾圖

## Bleich による必要剛度

Bleich によれば両端が固定され途中の格点も全じ弾性支承なる時  
所定の挫屈荷重に対し必要なる支承の弾性抵抗は次式により与えられる

$$A_{erf} = \frac{2\psi P}{l} \Phi$$

$$\Phi \text{ は } \psi = \left( \frac{3.1 - \sigma_k}{3.1 - \sigma_k} \right) \pi \text{ の函数である}$$

1). 平均値を用ふれば

$$P = 128.12 t$$

$$F = 164.75 cm^2$$

$$r_y = 18.83 cm$$

$$l = \lambda = 475 cm$$

$$\frac{l}{r_y} = 25$$

$$\sigma_k A = \frac{P_k}{F} = 2.812 t/cm^2$$

$$\psi = 3.48 \text{ とすれば } \sigma_k = \frac{\psi P}{F} = 2.706 t/cm^2$$

$$\psi = 0.7 \pi \quad \Phi \text{ の函数表より } \Phi = 0.614$$

$$\text{依って } A_{erf} = \frac{2 \times 3.48 \times 128.12 \times 0.614}{475} = 1.15 t/cm < A = 2.19 t/cm$$

ロ). 最大部材力  $Q_3, Q_4$  に対する値を用ふれば

$$P = 179.5 \text{ t} \quad F = 183.38 \text{ cm}^2 \quad r_y = 18.5 \text{ cm}$$

$$L = 475 \text{ cm} \quad \frac{L}{r_y} = 25.7 \quad \sigma_{CA} = \frac{P_K}{F} = 2.807 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{安全率 } \psi = \frac{F \sigma_E}{P} = 2.8 \quad \sigma_E = \frac{\psi P}{F} = 2.741 \text{ t/cm}^2$$

$$\varphi = 0.816 \pi \quad \Phi \text{ の函数表より } \Phi = 0.846$$

$$\text{依つて } A_{erf} = \frac{2 \times 2.8 \times 179.5 \times 0.846}{475} = 1.79 \text{ t/cm} < A = 2.08 \text{ t/cm}$$