第六章　ポニイ・トラス抗壓材の挫折安全度

1. 總　論　短徑間の橋梁にはポニイ・トラスを架する方が經濟的なるのみならず、上部對風構を有せざるため通行人に爽快の感を懷かしむる。ポニイ・トラスの上弦材、下弦材及斜材の計算は他のトラスと全く同一であるが，鉛直材は全然其の趣を異にしてゐる。卽ち一般のトラスは上部對風構を有するを以て、其の上弦各格點の位置は固定せりと考ふることが出來るから、鉛直材には單に壓應力又は張應力を生ずるのみである。然るにポニイ・トラスの上部各格點には、橫壓に抵抗する部材がないので、兩トラスの相對する鉛直材を含む平面を採れば、橫桁と鉛直材とは一つの框構を形造り、鉛直材は軸應力の他に框構の一部材として彎曲應力をも受くるので、之に對しても安全でなければならない。

此の問題を最初に取扱つたのはエンゲツサー（Engesser）氏で、其の解法は近似的であるが、簡單なるため廣く用ひられてゐる。其の後チンメルマン（Zimmermann）氏、ミユラー・ブレスロウ（Müller-Breslau）氏及ブライヒ（Bleich）氏等が、此の問題を研究し其の解法を發表せり。

2. エンゲツサーの解法　エンゲツサー氏は次の假定を設けた。

（1）上弦の壓應力一定なること。

（2）鉛直軸に對する上弦の惰性率一定なること。

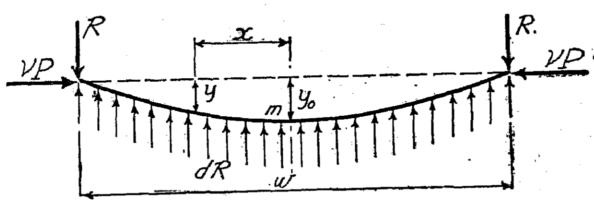
（3）各格點に作用する框構抵抗 $C = Ay$ は、各格間 l に等布すること。但し A は格點を弦の撓度の方向に單位長變位さするに要する力とする。

此の一定分布をなせる橫荷重を dR で表せば

$$dR = \frac{A}{l} y \, dx \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

となるが、A は總ての格點に於て一定なりと假定する。

不安定なる平衡狀態に於ては弦軸は餘弦曲線（Cosine curve）を描き、同一波長を有する波狀線の反曲點は、部材の軸內に在るものと假定せば、挫折狀態にある弦軸の方程式は



第　319　圖

$$y = y_0 \cos \frac{\pi x}{w} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

となる。式中 x は半波長の中央よりの横距、w は半波長、P は上弦材の壓應力、ν は上弦材の安全率とす（第 319 圖）。

$$R = \int_0^{\frac{w}{2}} dR \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

彈性線の方程式は

$$EJ\frac{d^2y}{dx^2} = -M \quad \cdots\cdots\cdots (4)$$

となるから、半波長の中央 m 點に之を應用すれば

$$\nu P y_0 - R\frac{w}{2} + \int_0^{\frac{w}{2}} x\,dR = \frac{\pi^2 EJ}{w^2} y_0$$

然るに　$R\frac{w}{2} = \frac{Aw^2}{2\pi l} y_0$　及　$\int_0^{\frac{w}{2}} x\,dR = \frac{Aw^2}{2\pi l} y_0 - \frac{Aw^2}{\pi^2 l} y_0$

なるが故に　$\nu P = \frac{\pi^2 EJ}{w^2} + \frac{Aw^2}{\pi^2 l} \quad \cdots\cdots\cdots (5)$

を得。

$$\frac{d\nu P}{dw} = 0 \quad 即ち \quad -\frac{2\pi^2 EJ}{w^3} + \frac{2Aw}{\pi^2 l} = 0$$

より半波長は　$w = \pi\sqrt[4]{\frac{EJl}{A}} \quad \cdots\cdots\cdots (6)$

となる。此の値を（5）式に挿入せば、挫折荷重は

$$\nu P = 2\sqrt{\frac{EJA}{l}} \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

となる、或は安全率を ν と採りし場合の所要の框構剛度（A_{req}）は

$$A_{req} = \frac{\nu^2 P^2 l}{4EJ} \quad \cdots\cdots\cdots (8)$$

にて與へらるゝ。以上の式は壓應力が鋼材の彈性極限內に在るときに限り適用さるゝが、其の彈性極限を超過せし場合は、（7）及（8）式は夫々

$$\nu P = 2\sqrt{\frac{EJ\tau A}{l}} \quad \cdots\cdots\cdots (9)$$

$$A_{req} = \frac{\nu^2 P^2 l}{4EJ\tau} \quad \cdots\cdots\cdots (10)$$

となる。

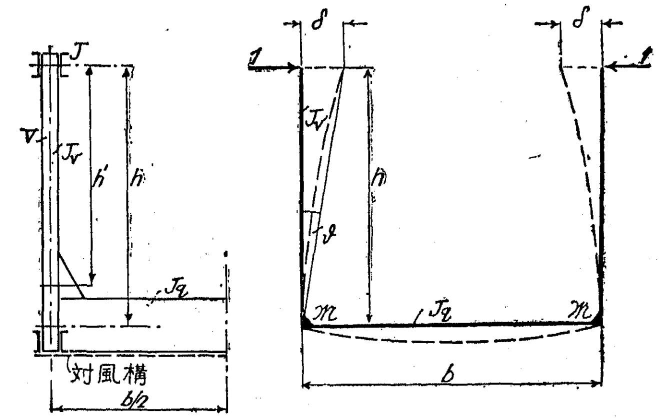
（9）及（10）式の τ は比例係數で、上巻 65 頁第 26 表より求めらるゝ。

上式中に於ける J（上弦材の其の鉛直軸に對する惰性率）及 P は、實際には一定でないから、或る格點の所要框構剛度を求むるには、其の格點の兩側の J 及 P の平均値を採ればよろしい。

（7）及（8）式の安全率 ν は、少くも 5 以上に採らなければならない。

3. 框構の有する實際の框構剛度 A の解法

（1）上開框構（第 320 圖）。單位荷重 1 が作用する點の撓度を δ とせば



（a）　　（b）

第 320 圖

$$\left.\begin{aligned} \delta &= \frac{h^3}{3EJ_v'} + \frac{h^2 b}{2EJ_q} \\ J_v' &= \frac{J_v}{3c(\varphi_v)} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots (11)$$

となる。$V = 0$ に對しては $c(\varphi_v) = \frac{1}{3}$ となるから

$$\delta = \frac{h^3}{3EJ_v} + \frac{h^2 b}{2EJ_q} \quad \cdots\cdots\cdots (12)$$

を得。

V は張力又は壓力なる故、近似的に

$$3c(\varphi_v) = \frac{\pi^2}{\pi^2 \pm \varphi^2} \quad \cdots\cdots\cdots (13)$$

と置くことが出來る。＋ は張力、－ は壓力に用ふる。

従て　$J_v' = J_v\left(1 \pm \frac{\varphi^2}{\pi^2}\right)$

となるが、　$\varphi = h\sqrt{\dfrac{\nu V}{EJ_v}}$

を挿入せば次式を得。

$$J_v' = J_v \pm \frac{\nu V h^2}{\pi^2 E} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

多くの場合に鉛直材は撓度 δ の方向には剛強に造つてあるから、(14) 式の第二項は J_v に對し極小なり、其の際は $J_v' = J_v$ と置くことを得。

(11) 式より次式を得。

$$A = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{\dfrac{h'^3}{3EJ_v'} + \dfrac{h^2 b}{2EJ_q}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

式中 J_v' は (14) 式に依り與へらるゝが、J_v は框構の平面に垂直なる軸に對する鉛直材の惰性率、J_q は框構の平面に垂直なる軸に對する横桁の惰性率、b は鉛直材心々間の距離、h は鉛直材の高、h' は鉛直材の自由高とす (第 320 圖 a)。

(7) 及 (15) 式に於て $h = h'$ とせば、最も普通に用ひらるゝ安全率 ν は次の如くなる。

$$\nu = \frac{E}{Ph}\sqrt{\frac{12JJ_v'}{lh\left(1+1.5\dfrac{b}{h}\dfrac{J_v'}{J_q}\right)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

横桁が頑丈なるときは、平方根内の第二項は 1 に對して小さいから、之を省略することを得。依つてプロイセンの規定にある最も簡單な式となる。即ち

$$\nu = \frac{E}{Ph}\sqrt{\frac{12JJ_v'}{lh}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

バーデンの規定では、中間鉛直材に對しては次式を用ふる。

$$\left.\begin{aligned} J_v &\geqq \frac{\nu V h^2}{6E} + \frac{\nu^2 P^2 h^3 l}{10E^2 J} \qquad \nu \geqq 4 \\ \delta &= \frac{h^3}{3EJ_v'} + \frac{h^2 b}{2EJ_q} \doteqdot \frac{h^3}{2.5EJ_v'} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

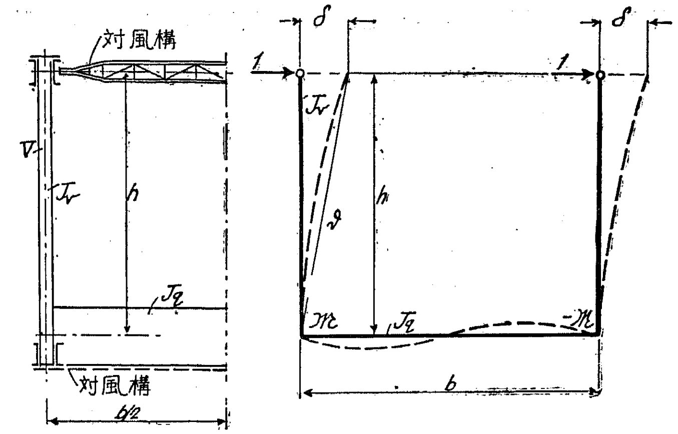
δ の最大値は (8) 式より求めらるゝ。即ち

$$\frac{2.5EJ_v'}{h^3} = \frac{\nu^2 P^2 l}{4EJ}$$

此の値を (14) 式の J_v' の値に代入して

$$J_v = \frac{\nu V h^2}{10E} + \frac{\nu^2 P^2 h^3 l}{10E^2 J} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

を得。之をバーデンの規定に依る J_v の値と比較せば、第一項の分母が異つてゐるのみである。



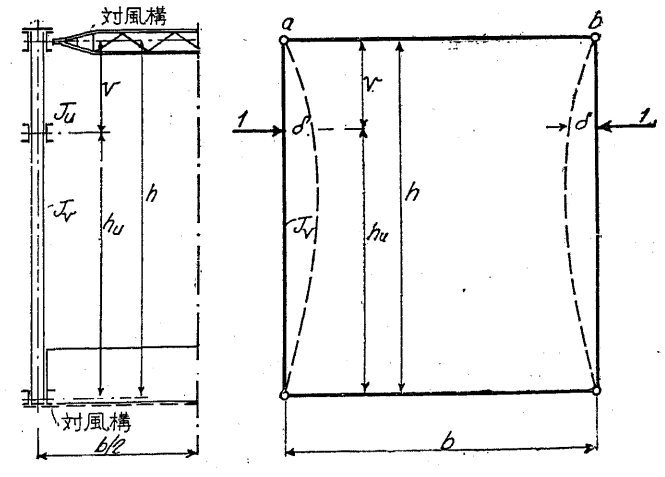
(a)　(b)

第 321 圖

(2) 横材を鉸結せる框構 (第 321 圖)。抗壓横材は兩上弦を同一方向に撓むるので、第 321 圖 (b) の如き變形を生ずる。此の場合の撓度及框構剛度は次の如し。

$$\left.\begin{aligned} \delta &= \frac{h'^3}{3EJ_v'} + \frac{h^2 b}{6EJ_q} \\ J_v' &= J_v \pm \frac{\nu V h^2}{\pi^2 E} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

$$A = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{\dfrac{h'^3}{3EJ_v'} + \dfrac{h^2 b}{6EJ_q}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$



(a)　(b)

第 322 圖

(3) 上下兩横構を有する橋。(a) 鉛直材の上下兩端を各鉸結せるとき。第322圖は繋拱にして床が自由に懸垂され、且横桁は吊材と緊結されざる場合を示してゐる。上弦は上部對風構に依り、其の側面を固定的に支承さるゝも、惰性率 J_u を有する下弦は、吊材に依り彈性的に支承さるゝのみである。框構の隅 a 及 b は變位せざるものと考ふる故、鉛直材は二支點で自由支承せられた桁と假定する。

荷重のかゝつた點の撓度は

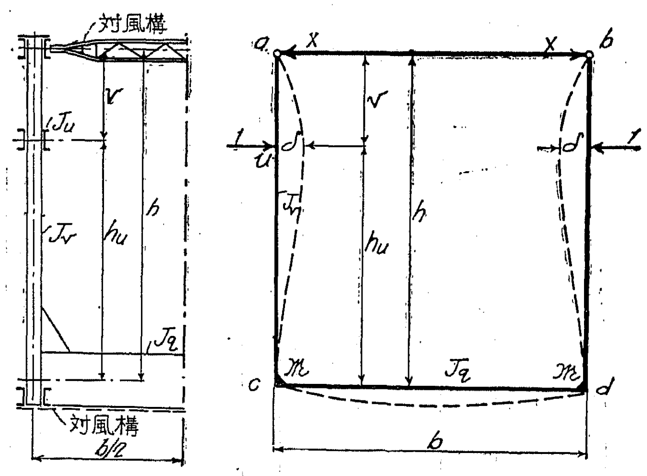
$$\delta = \frac{v^2 h_u^2}{3EJ_v h} \qquad \cdots\cdots (22)$$

となる。從て

$$A = \frac{3EJ_v h}{v^2 h_u^2} \qquad \cdots\cdots (23)$$

を得。

(b) 鉛直材が横桁に抗曲的に固定されたるとき (第323圖)。今抗壓横材の應力 $X = 0$ なる



(a)　(b)

第 323 圖

場合に、荷重 1 に依つて鉛直材の u 點に生ずる撓度を δ_1, 荷重 1 がない場合に、X に依つて u 點に生ずる撓度を δ_2 とせば、所要の撓度は

$$\delta = \delta_1 - \delta_2 \qquad \cdots\cdots (24)$$

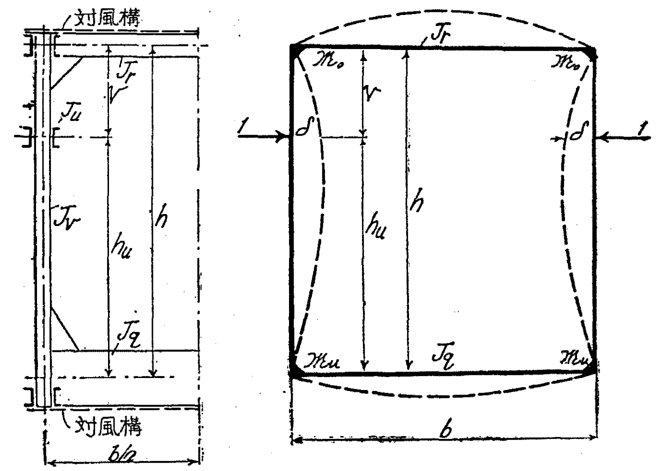
となる。

$$\left.\begin{aligned}\delta_1 &= \frac{h_u^3}{3EJ_v} + \frac{h_u^2 b}{2EJ_q} \\ \delta_2 &= X\left[\frac{h_u^2(2h_u+3v)}{6EJ_v} + \frac{h h_u b}{2EJ_q}\right]\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (25)$$

$$X = \frac{h_u}{h} - \frac{v(h^2-v^2)}{h^2\left(2h+3b\frac{J_v}{J_q}\right)} \qquad \cdots\cdots (26)$$

$$A = \frac{1}{\delta_1 - \delta_2} \qquad \cdots\cdots (27)$$

(c) 鉛直材が横桁及上横材に抗曲的に固定されたるとき (第324圖)。



(a)　(b)

第 324 圖

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \qquad \cdots\cdots (28)$$

$$\left.\begin{aligned}\delta_1 &= \frac{v^2 h_u^2}{3EJ_v h} \\ \delta_2 &= \frac{vh}{6EJ_v}\left[\mathfrak{M}_0\left\{2-3\frac{v}{h}+\left(\frac{v}{h}\right)^2\right\}+\mathfrak{M}_u\left\{1-\left(\frac{v}{h}\right)^2\right\}\right]\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (29)$$

$$\left.\begin{aligned}\mathfrak{M}_0 &= \frac{1}{3}\,\frac{v(h^2-v^2)-\frac{h_u}{h}(h^2-h_u^2)(2h+3k_2 b)}{h^2+2(k_1+k_2)hb+3k_1k_2b^2} \\ \mathfrak{M}_u &= \frac{1}{3}\,\frac{h_u(h^2-h_u^2)-\frac{v}{h}(h^2-v^2)(2h+3k_1 b)}{h^2+2(k_1+k_2)hb+3k_1k_2b^2} \\ k_1 &= \frac{J_v}{J_r}, \qquad k_2 = \frac{J_v}{J_q}\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (30)$$

$$A = \frac{1}{\delta_1+\delta_2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (31)$$

（30）式の $\mathfrak{M}_0$ 及 $\mathfrak{M}_u$ は負（－）であるから、δ_2 も負（－）となり、從て δ は δ_1 と δ_2 の差となる。

4. ブライヒの解法　ブライヒ氏はエンゲツサー氏の假定の他に、（1）框構剛度は一定なり、（2）上弦材の兩端は强固なる橋門構のために變位しない、但し廻轉は自由なりとの假定を設け、次の框構剛度を誘導せり。

$$A_{req} = \frac{2\nu P}{l}\left[3-\left(\frac{\varphi}{\pi}\right)^2\right]\frac{\sqrt{\varphi}-\sqrt{\sin\varphi}}{\sqrt{\varphi}+\sqrt{\sin\varphi}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (32)$$

式中　ν ＝ 安全率

P ＝ 上弦材の壓應力

l ＝ 格間長

$$\varphi = l\sqrt{\frac{\nu P}{EJ\tau}}$$

を表すものとする。今

$$\left[3-\left(\frac{\varphi}{\pi}\right)^2\right]\frac{\sqrt{\varphi}-\sqrt{\sin\varphi}}{\sqrt{\varphi}+\sqrt{\sin\varphi}} = \Phi$$

と置けば

$$A_{req} = \frac{2\nu P}{l}\Phi \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (33)$$

となる。Φ の値は第 9 表に與へらる。

φ を求むるには次の方法に依る。

$$P_k = \pi^2\frac{EJ\tau_E}{l^2}$$

の式に於て P_k は長 l を有する抗壓材の挫折荷重とせば

$$\varphi = \pi\sqrt{\frac{\nu P}{P_k}\cdot\frac{\tau_E}{\tau}}$$

となる。τ は挫折應力 $\sigma_k = \dfrac{\nu P}{F}$ に屬する比例係數とし、τ_E を $\sigma_E = \dfrac{P_k}{F}$ に屬する比例係數とすれば、挫折の瞬間に於て彈性限を超過したならば、τ 及 τ_E は σ_k 及 σ_E の係數となる卽ち上卷第三章第三節（13）式に依り

第 9 表　Φ の 値

$\frac{\varphi}{\pi}$	Φ	Δ0.01	$\frac{\varphi}{\pi}$	Φ	Δ0.01
0.30	0.111	7.5	0.70	0.614	19.0
0.32	0.126	8.0	0.72	0.652	20.0
0.34	0.142	9.0	0.74	0.692	21.0
0.36	0.160	9.5	0.76	0.734	21.5
0.38	0.179	9.5	0.78	0.777	22.5
0.40	0.198	10.0	0.80	0.822	24.0
0.42	0.218	10.5	0.82	0.870	25.5
0.44	0.239	11.0	0.84	0.921	27.5
0.46	0.261	12.0	0.86	0.976	30.0
0.48	0.285	12.5	0.88	1.036	33.0
0.50	0.309	13.0	0.90	1.102	36.0
0.52	0.335	13.0	0.91	1.138	39.0
0.54	0.361	13.5	0.92	1.177	42.0
0.56	0.388	14.5	0.93	1.219	45.0
0.58	0.417	15.0	0.94	1.264	52.0
0.60	0.447	15.5	0.95	1.316	59.0
0.62	0.478	16.0	0.96	1.375	69.0
0.64	0.510	17.0	0.97	1.444	86.0
0.66	0.544	17.0	0.98	1.530	122.0
0.68	0.578	18.0	0.99	1.652	348.0
0.70	0.614		1.00	2.000	

$$\tau = \frac{\sigma_k}{E}\left(\frac{3.1-\sigma_k}{0.0358}\right)^2$$

$$\tau_E = \frac{\sigma_E}{E}\left(\frac{3.1-\sigma_E}{0.0358}\right)^2$$

を得。之を φ の方程式に代入して νP 及 P_E を $\sigma_k F$ 及 $\sigma_E F$ で置き換ふれば $\sigma_k > 1.906\,t/cm^2$ 及 $\sigma_E > 1.906\,t/cm^2$ なる場合は

$$\varphi = \left(\frac{3.1-\sigma_E}{3.1-\sigma_k}\right)\pi \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (34)$$

となる。

$\tau = 1$ の場合には

$$\varphi = \pi\frac{3.1-\sigma_E}{1.66}\sqrt{\sigma_k} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (35)$$

となり　$\sigma_E > 1.906\,t/cm^2$,　$\sigma_k \geqq 1.906\,t/cm^2$　の場合に適用さるゝ。

$\tau = \tau_E = 1$　の場合には

$$\varphi = \pi\sqrt{\frac{\nu P}{P_k}} = \pi\sqrt{\frac{\sigma_k}{\sigma_E}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (36)$$

となり　$\sigma_E \fallingdotseq \sigma_k \leqq 1.906\,t/cm^2$　の場合卽ち　σ_E　及　σ_k　が彈性限以下にある場合に適用さるゝ。

オースタリーでは

$$\nu = \frac{3.800}{\sigma_a}$$

とせし故（σ_a は許容應力）

$$A_{req} = \frac{7.6\,P}{l\,\sigma_a}\Phi \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (37)$$

となる。應力は t，長は cm で表はすものとす。

（8），（10）及（33）式より求めた A_{req} は（15）式より求めた A より大きくなければならない。

5. 米獨の規定

（1）米國の Specifications for steel highway bridges（1929）に依れば、中路構橋に在りては、鉛直材並に之と横桁との連結は

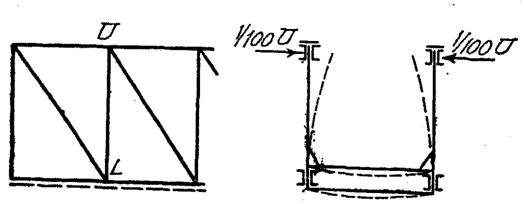
$$R = 150(F+p) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (38)$$

なる横力を上弦の格點に作用せし場合、安全なる樣設計すべしとある。但し

R = 鉛直材の頭部に加はる横力（封度）

F = 上弦の斷面積（吋²）

p = 格間長（呎）



第　325　圖

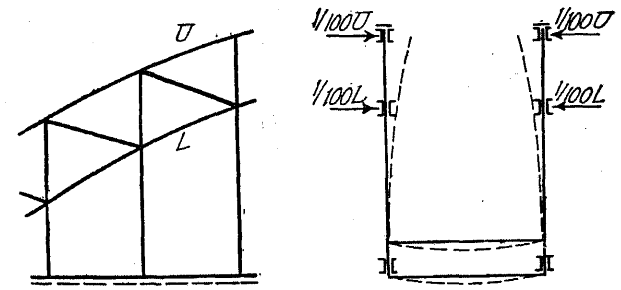
とす。之をメートル式に換算すれば

$$R = 10\,F+220\,p \qquad \cdots\cdots (39)$$

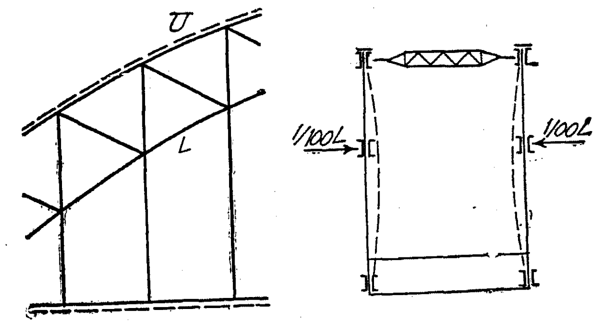
となる。R は kg, F は cm^2, p は m にて表はす。

（2）獨逸の標準規格中、鋼道路橋

計算基礎編に掲げられし規定に依れば、上部對風構を有せざるトラスに於ては、上弦材の側方挫折に對する安全度を考慮せねばならない。此の際詳細の計算をやらない場合は、概算的に相隣接せる兩弦材中の最大壓應力の $\frac{1}{100}$ が、トラスの面と直角に內又は外から格點に作用するものとし、之に對して安全なる樣鉛直材、横桁（第 325 圖、第 326 圖）及框構（第 327 圖）の寸法を決定する。



第　326　圖



第　327　圖

6. 計算例

（1）上弦材の壓應力 $P = 1\,665\,t$ なるとき、其の挫折に對する安全率を少くも 3 となすには、鉛直材の斷面を如何にすべきか。

第 328 圖に於て上弦材の

斷面積　$F = 1\,816.6\,cm^2$

惰性率　$J_y = 1\,914\,600\,cm^4$

環動半徑　$i_y = 32.48\,cm$

格間長　$l = 805\,cm$

とせば

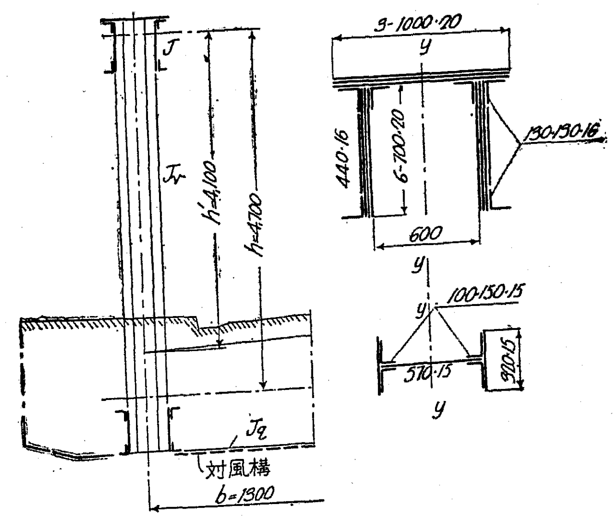
$$\frac{l}{i_y} = \frac{805}{32.48} = 24.8$$

なる故上卷第三章（8）式に依り

$$\sigma_E = 3.1-0.0114\times 24.8 = 2.817\,t/cm^2$$

を得。故に安全率は次の如し。

$$\frac{\sigma_E F}{P} = \frac{2.817\times 1\,816.6}{1\,665} = 3.07$$



第　328　圖

今　　$\sigma_k = \dfrac{3\times 1\,665}{1\,816.6} = 2.748\ t/cm^2$

なる故（34）式より

$$\varphi = \frac{3.100-2.817}{3.100-2.748}\pi = 0.804\pi$$

を得。依て第 9 表より $\Phi = 0.832$ となる。之を（33）式に代入せば

$$A_{req} = \frac{2\times 3\times 1\,665}{805}\times 0.832 = 10.30\ t/cm$$

となる。

第328圖より鉛直材の惰性率は $J_v = 196\,130\ cm^4$, 對風構の惰性率は平均 $J_q = 1\,828\,000\ cm^4$ なるを以て、（15）式に於て $J'_v = J_v$ と置けば

$$A = \frac{2\,150}{\dfrac{410^3}{3\times 196\,130}+\dfrac{470^2\times 1\,300}{2\times 1\,828\,000}}$$

$$= 10.99\ t/cm$$

となるから、假定せし鉛直材斷面は、上弦材に對し 3 の安全率を與ふるに充分である。

$A = 10.99\ t/cm$ の値をエンゲッサー氏の（7）式に代入せば

$$\nu = \frac{2}{1\,665}\sqrt{\frac{2\,150\times 1\,914\,600\times 10.99}{805}} = 9$$

となり、實際よりも尚三倍の安全率を有することゝなる。

（39）式に依り

$$R = 10\times 1\,816.6+220\times 8.05$$

$$= 19\,936\ kg$$

鉛直材の基部に於ける力率は

$$M = 19\,936\times 410 = 8\,173\,760\ kg\ cm$$

纎維應力は　　$\sigma = \dfrac{M}{J_v}y = \dfrac{8\,173\,760}{196\,130}\times 28.5 \fallingdotseq 1\,200\ kg/cm^2$

獨逸の規定に依れば

$$R = \frac{1\,665}{100}\times 16.65\ t$$

$$M = 16.65\times 410 = 6\,830\,000\ kg\ cm$$

$$\sigma = \frac{M}{J_v}y = \frac{6\,830\,000}{196\,130}\times 28.5 = 990\ kg/m^2$$

何れも許容纎維應力以内に在るから安全である。

（2）構拱に於て下弦材の最大壓應力を $560\,t$ とする、上部對風構は上弦面内にあるから、下弦材は單に吊材に依つて、彈性的に支へられてゐるのみである。下弦材に少くも 3.5 の挫折に對する安全率を保持せしむるためには、吊材の斷面を如何にすべきか。

第329圖に於て下弦材の

$$F = 706.4\ cm^2$$

$$J_y = 331\,600\ cm^4$$

$$i_y = 21.67\ cm$$

$$l = 520\ cm$$

とせば　$\dfrac{l}{i_y} = \dfrac{520}{21.67} = 24$

$$\sigma_E = 3.1-0.0114\times 24 = 2.826\ t/cm^2$$

$$\nu = \frac{706.4\times 2.826}{560} = 3.57$$

となる。故に

$$\sigma_k = \frac{3.5\times 560}{706.4} = 2.773\ t/cm^2$$

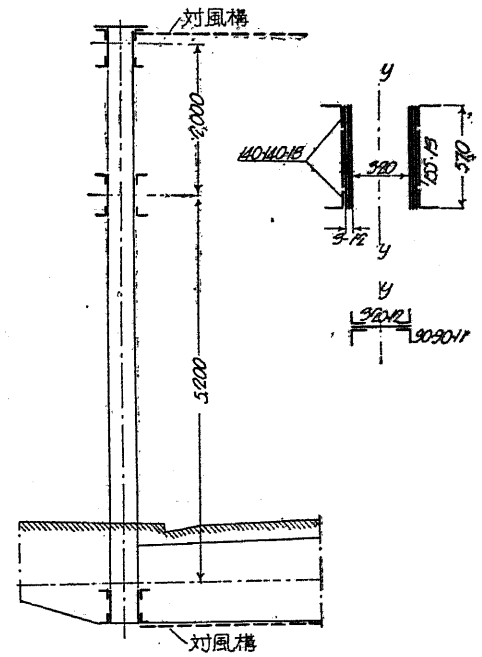
$$\varphi = \frac{3.1-2.826}{3.1-2.773}\pi = 0.838\pi$$

第 9 表より

$\Phi = 0.916$　を得。

$$A_{req} = \frac{2\times 3.5\times 560}{520}\times 0.916$$

$$= 6.91\ t/cm$$



第　329　圖

吊材の惰性率は $J_v = 17\,210\ cm^4$,　$J_q = 960\,000\ cm^4$

$b = 8\,m$ なる故（26）式より

$$X = \frac{5.20}{7.20}-\frac{2.0\times(7.2^2-2.0^2)}{7.2^2\times\left(2\times 7.2+3\times 8\times\dfrac{17\,210}{960\,000}\right)}$$

$$= 0.722-0.125 = 0.597\ t$$

（25）式より

$$\delta_1 = \frac{520^2}{2\,150}\left(\frac{520}{3\times 17\,210}+\frac{800}{2\times 960\,000}\right) = 1.320$$

$$\delta_2 = \frac{0.597\times 520}{2\,150}\left[\frac{(2\times 520+3\times 200)\times 520}{6\times 17\,210}+\frac{720\times 800}{2\times 960\,000}\right] = 1.236$$

$$\therefore\ A = \frac{1}{\delta_1-\delta_2} = 11.90\ t/cm$$

之は $A_{req} = 6.91\ t/cm$ を超過せる故安全である。

エンゲッサー氏に從へば、5 の安全率を採り（8）式より

$$A_{req} = \frac{5^2\times 560^2\times 520}{4\times 2\,150\times 331\,600} = 1.43\ t/cm$$

逆に、$A_{req} = 1.43\ t/cm$ を（33）式に挿入せば、$\nu = 1.95$ となる。即ち安全率は 5 の代りに 2 となる。

（3）平行弦のトラスに於て、一定の斷面を有する上弦の最大壓應力を $62\,t$ とす。今上弦の

$$l = 4.0\,m$$
$$F = 117.6\,cm^2$$
$$J_y = 2\,600\,cm^4$$
$$i_y = 4.70\,cm$$

とせば、4 の安全率を保つために必要なる A_{req} の値は

$$\frac{l}{i_y} = \frac{400}{4.70} = 85$$
$$\sigma_E = 3.100-0.0114\times 85 = 2.131\,t/cm^2$$
$$\nu = \frac{117.6\times 2.131}{62.0} = 4.04$$
$$\sigma_k = \frac{4\times 62.0}{117.6} = 2.109\,t/cm^2$$
$$\varphi = \frac{3.1-2.131}{3.1-2.109}\pi = 0.978\,\pi$$

第 9 表より　　$\Phi = 1.513$

$$\therefore\ A_{req} = \frac{2\times 4\times 62}{400}\times 1.513 = 1.876\,t/cm$$

となる。

エンゲッサー氏に従ひ 5 の安全率を採れば、次の如き値を得。

$$A_{req} = \frac{5^2\times 62^2\times 400}{4\times 2\,150\times 2\,600} = 1.718\,t/cm$$