

これ等の影響の大小はセメントの種類を異にするに従つて甚しく差異あるを以て、かゝる特殊の用途に對しては、單に規格試験に合格したる事のみを以つて、その善惡を判斷する事は困難である。之等の事例に對しては別に適當の試験を行ひ、特に之を研究する事を要するもので、現今の所では、短時間間に其の適否を判別するに適當なる方法は見當らない。

中路結構橋垂直材の設計に付いて

小澤久太郎

中路結構橋とは獨逸語の Offene Brücken. 英語の Half

Through truss bridge 又は Pony truss bridge と同意語で

あつて上部對風綾構を有せざる結構橋を云ふ。

1. 緒

近來構造簡單にして重量極き爲と、上部に何等の障害無くして通行人に爽快の感を與ふる爲に短煙間の橋梁としては、上部對風綾構を有せざる所謂中路結構橋が屢々用ひられる。上弦材、下弦材、斜材、等の計算は他の一般結構橋と異なる所は無いのであるが、垂直材は設計の基礎が全然異つてゐるのである。即ち上部對風綾構を有する一般結構橋にあつては上弦各格點は上部對風綾構に依つて其の位置固定せらるゝを以て、垂直材は單に格點に懸る垂直材を受けて壓應力、又は張

應力に對して安全であれば良いのである。然るに中路結構橋にあつては上弦材は各格點に於て垂直材、横桁より成る框構に由つて彈性的に支へられたる抗壓材と考へねばならぬのである。故に垂直材は垂直荷重を受ける外に框構の一部材として轉曲應力をも受けるのであるに對して安全でなければならぬのである。此の問題を最初に取扱つたのは、エンゲ、サーで其の法は、難に近似的解法ではあるが、簡單のために世間によく用ひられてゐる。後チャンスルマン、ミユラー、プレイスロウ、ブライヒ等が此の問題を研究し、殊にブライヒは微差方程式を用ひ巧妙に解いてゐるのである。本項に於てはエンゲ、サーの解法、ブライヒの解法、並びに米獨の此に關する規定を擧げ、其等の安全度に付きて述べる事にする。

2. エンゲ、サーの解法

エンゲ、サーは次の假定

1. 上弦の壓應力一定の事。
 2. 上弦材の垂直軸を中心とする慣性能率一定の事。
 3. 垂直材、横桁より成る框構の抵抗を各格點間に等布したと考へる事。
- より出發して垂直材、横桁より成る框構の必要なる框構剛度（格點を力の方向に單位長變位さすに要する力） A' を

$$A' = \frac{\phi^2}{4EJ} \dots\dots\dots (1)$$

但し

$$\left\{ \begin{array}{l} S = \text{上弦材中に於る壓應力} \\ l = \text{格點間の距離} \end{array} \right.$$

E = 鋼材の弾性係數
 J = 上弦材の垂直軸を中心とする慣性モーメント
 ψ = 安全率

なる式にて與へてゐる。此は上弦の壓應力強度 $\frac{S}{F}$ (F は上弦の斷面積) が鋼材の弾性極限 (1.906t/cm²) 内に限り適用される式で弾性極限を越した場合には (1) 或は

$$N = \frac{\psi^2 S^2}{4EJt} \dots \dots \dots (2)$$

の如く變更されなければならぬ。 t は破折係數 (Knickzahl) で壓應力強度 $\frac{S}{F}$ に由つて決まる數で第 1 表より求められる。

第 1 表 破折係數 t の 値

壓應力強度 (kg)	t	壓應力強度 (kg)	t	壓應力強度 (kg)	t	壓應力強度 (kg)	t	壓應力強度 (kg)	t	壓應力強度 (kg)	t
1905	1.000	2110	0.749	2310	0.523	2510	0.317	2710	0.1497	2910	0.0382
1910	0.982	2120	0.738	2320	0.512	2520	0.308	2720	0.1427	2920	0.0343
1920	0.971	2130	0.726	2330	0.501	2530	0.298	2730	0.1358	2930	0.0307
1930	0.960	2140	0.714	2340	0.491	2540	0.289	2740	0.1290	2940	0.0273
1940	0.948	2150	0.703	2350	0.480	2550	0.280	2750	0.1223	2950	0.0242
1950	0.937										
1960	0.925	2160	0.692	2360	0.460	2560	0.271	2760	0.1159	2960	0.0211
1970	0.914	2170	0.681	2370	0.458	2570	0.263	2770	0.1096	2970	0.0183

1980	0.902	2180	0.670	2380	0.447	2590	0.254	2780	0.1035	2960	0.0156
1990	0.890	2190	0.659	2390	0.436	2590	0.245	2790	0.0974	2990	0.0132
2000	0.879	2200	0.648	2400	0.425	2600	0.236	2800	0.0915	3000	0.0110
2010	0.867	2210	0.636	2410	0.415	2610	0.227	2810	0.0858	3010	0.0089
2020	0.855	2220	0.624	2420	0.406	2620	0.219	2820	0.0802	3020	0.0071
2030	0.843	2230	0.613	2430	0.396	2630	0.211	2830	0.0749	3030	0.0054
2040	0.831	2240	0.602	2440	0.386	2640	0.202	2840	0.0698	3040	0.0040
2050	0.819	2250	0.590	2450	0.376	2650	0.194	2850	0.0648	3050	0.0028
2060	0.808	2260	0.579	2460	0.366	2660	0.187	2860	0.0599	3060	0.0018
2070	0.796	2270	0.568	2470	0.356	2670	0.180	2870	0.0552	3070	0.0010
2080	0.784	2280	0.557	2480	0.346	2680	0.172	2880	0.0507	3080	0.0005
2090	0.772	2290	0.546	2490	0.336	2690	0.164	2890	0.0463	3090	0.0001
2100	0.760	2300	0.534	2500	0.327	2600	0.157	2900	0.0421	3100	0

(1)式(2)式中に於けるJ,S,Iは實際には一定ではないのであつて、或る格點の必要なる框體剛度を求むるには其の格點の右側のS,Iの平均値を探れば良いのである。

(1)式、(2)式中に於ける安全率は少くとも5以上に探らなければならない。夫は(1)式、(2)式は前述の如き假定の上

に立つてゐるので此の様に探らなければ危険になるのである。(計算例参照)
 上式に出つて必要なる框體剛度を求める事が出来たが次に垂直材、横材より成る框體の有する實際の框體剛度Aを求むればAは

$$A = \frac{h^3}{3EJ_v} + \frac{h^3b}{2EJ_g} \dots\dots\dots (3)$$

但し

- J_v = 框構の平面に垂直なる軸を中心とする垂直材の慣性モーメント。
- J_g = 框構の平面に垂直なる軸を中心とする横桁の慣性モーメント。
- b = 兩側垂直材中心間の距離。
- h = 垂直材の高。(第一圖参照)

なる式にて與へらる。

(1)式乃至(2)式と(3)式とを比較しAの方がA'より大でなければならぬのである。即ち垂直材と横桁より成る實際の框構剛度を必要とする框構剛度より大なれば結構は安全なのである。

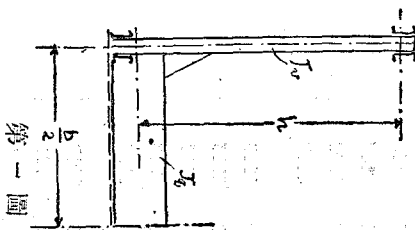
今極限の場合を考へて必要な框構剛度と實際の框構剛度とを等しいと置かば(1)式、(3)式

より

$$\frac{\psi^2 S^2 l}{4EJ} = \frac{1}{\frac{h^3}{3EJ_v} + \frac{h^3b}{2EJ_g}}$$

なる關係を得。之をψに付きて解けば

$$\psi = \frac{2E}{S} \sqrt{\frac{6EJ_v J_g}{l(21J_g^2 + 31h^2 J_v^2)}} \dots\dots\dots (4)$$



なる式を得。此は上弦材、垂直材、横桁等のデ、メソジョン、上弦材中の壓應力等が判明せる際、上弦材の側方破折に對する安全率を求むる式である。

(4)式中に於て J_v は J_g に比して極めて小なれば近似値として

$$4 = \frac{2E}{Sh} \sqrt{\frac{8IJ_r}{7h}} \dots\dots\dots (5)$$

なる式を得。

(5)式は又

$$T_v = \frac{q^2 S^2 h^2}{12 E^2 J} \dots\dots\dots (6)$$

なる形に書き改める事が出来る。此の式は垂直材の大體のデ、メソジョンを決る目安に用ひられるのである。

3. ゼライヒの解法 (Bleich; Eiserné Brücken に由る)

ゼライヒは次の假定

1. 壓應力一定。
2. 上弦材の垂直軸を中心とする慣性能率一定。
3. 格點間の距離一定。
4. 桁構剛度一定。
5. 上弦材兩端の位置固定 (但し回轉は自由とす)。

より出發し微差方程式を用ひて巧妙にも次の如き必要なる框構剛度 A' を求めた。即ち

$$A' = \frac{2\phi S}{l} \left[3 - \left(\frac{\phi}{\pi} \right)^2 \right] \frac{1/\phi - 1/\text{Ain}\phi}{1/\phi - 1/\text{Ain}\rho} \dots\dots\dots (7)$$

但し

- ϕ = 安全率
- S = 壓應力
- l = 格點間距離
- $\phi = l \sqrt{\frac{\phi S}{EJ}}$

今

$$\left[3 - \left(\frac{\phi}{\pi} \right)^2 \right] \frac{1/\phi - 1/\text{Sin}\phi}{1/\phi - 1/\text{Sin}\phi} = \phi \text{ と置けば}$$

$$A' = \frac{2\phi S}{l} \phi \dots\dots\dots (8)$$

なる形にて表はさる。上式中の ϕ を求め此より ϕ を計算するには次の如く 3 つの場合に別けてす。

(a)

$$\sigma_R = \frac{\phi S}{F} > 1.906t/\text{cm}^2$$

$$\sigma_E = \frac{S_A}{F} > 1.906t/\text{cm}^2$$

ある場合には

$$\varphi = \left(\frac{3.1 - \delta_E}{3.1 - \delta_K} \right) \pi \dots\dots\dots (9)$$

にて表はさる。δ_Kは安全率を見込みたる上弦材中の壓應力強度、δ_Eは同じ断面、同じ長さを有する柱の破折強度であつてテトワイヤーに由れば精選用鋼材に對しては

$$\left. \begin{aligned} \frac{l}{1} < 105 \text{ に對しては } \delta_E = 3.1 - 0.0114 \frac{l}{1} \text{ t/cm}^2 \\ \frac{l}{1} > 105 \text{ に對しては } \delta_E = 21220 \left(\frac{1}{l} \right)^2 \text{ t/cm}^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

にて表はさる。lは柱の長さ、iは断面の回轉半徑である。

- (b) δ_K ≤ 1.906 t/cm²
- δ_E > 1.906 t/cm²

ある場合には

$$\varphi = \pi \frac{3.1 - \delta_E}{1.66} \sqrt{\delta_E} \dots\dots\dots (11)$$

にて表はさる。

(c)

$$\delta_K \leq 1.906 \text{ t/cm}^2$$

$$\delta_E \leq 1.906 t / \text{cm}^2$$

ある場合には

$$\phi = \pi \sqrt{\frac{\delta_K}{\delta_E}} \dots\dots\dots (12)$$

にて表はさる。

斯くして求められたるφよりφを求むるには

$$\phi = \left[3 - \left(\frac{\phi}{\pi} \right)^2 \right] \frac{1/\phi - 1/\text{Sin}\phi}{1/\phi + 1/\text{Sin}\phi}$$

より計算すれば良い譯であるが、此を表にすれば次の如し。

第 2 表 φ の 値

$\frac{\phi}{\pi}$	φ	Δ0.01	$\frac{\phi}{\pi}$	φ	Δ0.01
0.30	0.111	7.5	0.70	0.614	19.0
0.32	0.116	8.0	0.72	0.662	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	9.6	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	0.92	1.138	39.0
0.54	0.361	13.0	0.94	1.177	42.0
0.56	0.388	13.5	0.96	1.219	45.0
0.58	0.417	14.5	0.98	1.264	52.0
0.60	0.447	15.0	0.90	1.316	59.0
0.62	0.478	15.5	0.92	1.375	69.0
0.64	0.510	16.0	0.94	1.444	86.0
0.66	0.544	17.0	0.96	1.530	122.0
0.68	0.578	17.0	0.98	1.652	2.000
		18.0	1.00	2.000	348.0

斯くして(7)式乃至(8)式に由りて必要とする框構剛度 Δ を求める事が出来た。此と(3)式より求められた實際に框構の有する框構剛度 Δ とを比較し、實際の框構剛度を必要とする框構剛度より大ならしめなければならぬのである。

4. 米獨の規定

上述の如く垂直材は上枝材の断面と相關聯して中路結構橋設計の根本をなすものである。然るにエンゲツサーの式に據るもゾライエの式に據るも相當手敷を要するのである。米、獨にては此の手敷を省くために簡單なる規定を設けてゐる。今此を掲ぐれば、

a. 米國の Specifications for Steel Highway Bridges (1929) 中の規定に由れば中路結構橋にあつては垂直材、並びに垂直材と横桁との結合は

$$R=150(A+P) \dots\dots\dots(13)$$

なる横力を上弦の格點に加へし場合安全なる様設計すべし。但し

$$\left\{ \begin{array}{l} R=垂直材の頭部に加はる横力(封度) \\ A=上弦の斷面積(吋²) \\ P=格點間の距離(呎) \end{array} \right.$$

(13)式をメートル式單位に書換れば

$$R=10R'+220e \dots\dots\dots(14)$$

R' = 垂直材の頭部に加はる横力(kg)

A' = 上弦の斷面積(cm²)

e = 格點間の距離(m)

b. 獨逸の Baumnormung (標準規格) 中、鋼道梁橋計算基礎篇に掲げられし規定に由れば

上部對風後構の無き結構橋の場合には上弦材の側方彎折を考へなければならぬ。此がためには或上弦格點の兩材中の最大壓應力の1/100を採りて此を其の格點に横に内から外、又は外から内に働かして其に對して安全なる様垂直材、横桁のサイズを定めなくてはならない。

米國と獨逸の規定を比較するに、獨逸の規定

$$R = \frac{G}{100} \dots\dots\dots (15)$$

G = 上弦材中の最大壓應力(kg)

中に於て

$$G_{ky} \approx 800 \cdot F_{kg}$$

(F = 上弦材の斷面積(cm²))

と置けば格點に働く横力は

$$R = \frac{800}{100} \cdot F = 8F \dots\dots\dots (16)$$

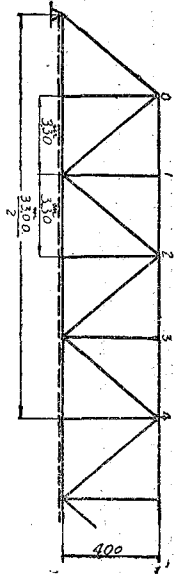
と變更する事が出来る。(16)式と(14)式とを比較すれば米國の規定に由る横力の方が常に大であると云ふ事が判る。此は結局安全率の問題に歸着するのであつて、兩者の何れを選ぶかは設計者の自由である。

斯くして求められたる横力を上弦材の格點に加へ、此の横力のために垂直材、横桁中に生ずる彎曲力率に對して垂直材並びに横桁が安全でなければならぬのである。

(5) 計算例

前項まで中路結構橋上弦材の側方破折並びに垂直材、横桁より成る框構剛度に関する種々の近似的式を掲げた。此等の式を實際の例に適用し計算法、並びに各々の式の有する特性を示して行かう。

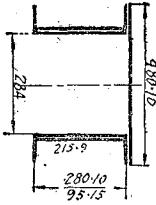
今第2圖の如きデイメンション、壓應力を有する場合に付いて計算す。



上弦材

垂直材

横桁



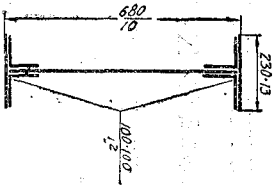
$$J = 49314 \text{ cm}^4$$

$$F = 197.3 \text{ cm}^2$$

$$i = 15.85 \text{ cm}^2$$



$$J_v = 4820 \text{ cm}^4$$



$$J_q = 185003 \text{ cm}^4$$

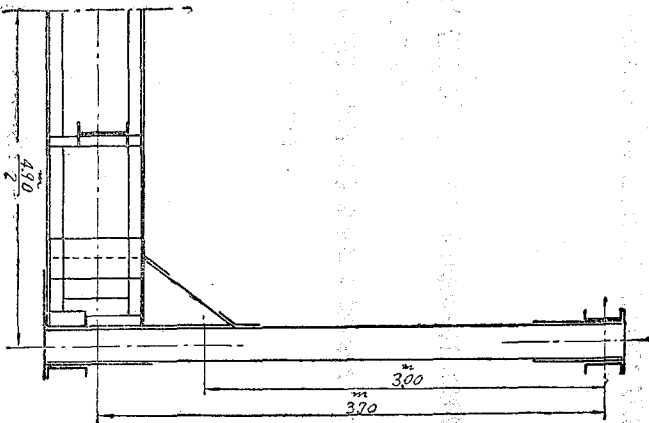
$$S_{2,4} = 105t$$

$$L = 830 \text{ m}$$

$$h = 370 \text{ m}$$

$$b = 490 \text{ m}$$

第 2 圖



(a) エンゲツカーの式に據りて計算す。

(1) 式中に於て $\psi=5$ とすれば

$$A' = \frac{\psi^2 S l}{4 E J} \\ = \frac{5^2 \cdot 1652 \cdot 330}{4 \cdot 2100 \cdot 49314} \\ = 0.545 \text{ t/cm}$$

次に(3)式によつて框剛制度を求むれば

$$A = \frac{1}{\frac{h^3}{3 E J_y} + \frac{h^2 b}{2 E J_d}} \\ = \frac{1}{\frac{370^3}{3 \cdot 2100 \cdot 4830} + \frac{1}{2 \cdot 2100 \cdot 186903}} \\ = 0.57 \text{ t/cm}$$

此の兩者を比較すればエンゲツカーの式によれば與へられたるダイムンション、壓徳力にては5倍の安全率にて猶ほ餘りある事か判る。

猶ほ(5)式を用ひて安全率を計算すれば

$$\psi = \frac{2 E}{S l} \sqrt{\frac{3 J_y}{I h}}$$

$$= \frac{2 \cdot 2100}{165 \cdot 370} \sqrt{\frac{3 \cdot 49814 \cdot 4820}{370 \cdot 330}}$$

$$= 5.27$$

(b) フライヒの式に由りて計算す。

安全率 $\psi=8$ とすれば

$$\hat{\sigma}_k = \frac{\psi \cdot S}{F} = \frac{3 \cdot 165}{197.3} = 2.51 \text{ t/cm}^2 > 1.906 \text{ t/cm}^2$$

又

$$\frac{1}{i} = \frac{330}{15.85} = 20.8 \text{ ならば (10) 式に由り}$$

$$\hat{\sigma}_r = 3.1 - 0.0114 \cdot \frac{1}{i} = 2.86 \text{ t/cm}^2 > 1.906 \text{ t/cm}^2$$

故に ϕ を求むるには (9) 式が適用さるべきで

$$\phi = \left(\frac{3.1 - 2.86}{3.1 - 2.51} \right) \pi = 0.407\pi$$

此の ϕ に對する Φ の値は第 2 表より $\Phi=0.205$ を得。

従つて必要とする框構剛度 A' は (8) 式に由りて

$$A' = \frac{2\psi S}{1 - \Phi}$$

$$= \frac{2 \cdot 3.165}{33.3} \cdot 0.205$$

$$= 0.615 \text{ t/cm}$$

此はエンゲツサラーの式を用ひ安全率を5と採りて計算せる必要なる框構剛度よりも大になるのである。フライエヒの式の方がエンゲツサラー式よりも正確なればエンゲツサラーの式は高き安全率を興へ過ぎる憾がある事が判るのである。

(c)

米國の規定に由れば(14)式に由りて

$$\begin{aligned} R &= 10R_1 + 2:0S \\ &= 10 \cdot 197.3 + 220 \cdot 3.3 \\ &= 2699 \text{kg} \end{aligned}$$

垂直材の基部に於けるモーメントMは

$$M = 2699 \cdot 300 = 809700 \text{kg}\cdot\text{cm}$$

故に纖維強度 δ は

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{M}{J_v} \cdot y = \frac{809700}{4820} \cdot 13 \\ &= 2180 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

此は許容纖維強度を遙かに越すものであつて、垂直材の過小を示すものである。エンゲツサラーの式に由れば5倍の安全率、フライエヒの式に由れば3倍の安全率があるものに對して、米國の規定に由りて斷面の不足を示すは結局安全率の問題であつて、米國の規定に由りて設計すれば非常に安全になる譯である。

(d)

獨逸の規定に由れば(15)式に由りて

$$R = \frac{G}{100} = \frac{165}{100} = 1.65\%$$

$$M = 1650 \cdot 300 = 495000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$\delta = \frac{M}{J_y} = \frac{495000}{4820} \cdot 18$$

$$= 1.330 \text{ kg/cm}^2$$

なる繊維強度を得、此は稍々許容繊維強度に近きものであるが矢張り垂直材断面の不足を示してゐるのである。故に此の規定に従つて垂直材を設計しても相當の安全率にはなるのである。吾國に於いて中路結構橋設計する場合にはエンゲツサー、ゾライヒに由るも可なりと雖も計算に相當の手續を要し、且つ中路結構橋垂直材は相當重大なる役割を演ずるものなるを以て充分の安全率を見込み米國の規格乃至獨逸の規格に由るを可とす。

設計資料

道路改良會技術部

中津橋設計圖に就いて

本橋は國道第十四號線中長野縣北佐久郡中津村地内千曲川に架設するため設計せられたるものであつて、橋長131.4m有效幅5.5mの突桁式鋼橋である。

本橋の設計は同縣土木課鈴木邦彦氏指導の計に楠仙之助氏の手依り成り、本形式の採用に當りては各種形式の橋梁に就いて、經濟的共他を比較研究の上から決定せられたるものである。

従つて之等の圖書材料に就いては、本橋竣工の曉に於いて施工の記録と共に本誌上に發表せられん事を望む次第である。(道第二報)