鐵筋混凝土桁橋の設計に就て〔一〕

大　野　　博

鐵筋混凝土桁橋は其の工法の進歩と共に、近來次第に長徑間に向はんとする傾向を示してゐる。獨逸に於けるこの傾向は最も著しきものの如く、1923 年架設の Donau 河 Dillingen 橋は、5徑間 Gelber 桁、最大支間 36.8m であつたが、其後の Pforzheim, Nagold 河 Hindenburg 橋は 2徑間連桁、支間 44.4m を有してゐる。最近迄世界第一の長徑間と考へられてゐた Donau 河 Grossmehring 橋は 1930 年架設 3徑間 Gelber 桁、最大支間 61.5m となつてゐる。然るに最近の ' Betonou, Eisen " 誌の報ずる處によれば、昨年10月開通の Brazil, Santa Cátharina に於て Rio do Peixe に架する 3 徑間連桁橋は、支間 23.67＋68.00＋26.76m を有し、新に世界第一位を占めることゝなつた。而も其の施工法は全く劃期的のもので鋼橋に於るが如く、Cantilever method が用ひられたと云ふことである。

我國に於ては昨年 8 月本誌上に紹介せられた、福岡縣に於る筑後川豆津橋は、橋長 350m, 15徑間 Gelber 桁で、最大支間30m となつてゐるが、目下周到なる監督の下に施工せられてゐる。

かゝる工事に於る施工の困難は甚大なるものあり、特に工事擔當者の周到細心なる注意の下に施工せらるゝことを要すること勿論であると共に、徒に徑間を長大ならしめることは戒むべきことであらう。

然しながら鐵筋混凝土桁橋の普及は今や往時の木橋の如く、各處に之を架設せられることゝなつた。今年度施工中の失業救濟國道改良工事に於ても相當鐵筋混凝土T桁橋が架設せらるゝ模樣である。筆者は先に土木試驗所報告第十八號に於てT桁橋設計に關する參考資料を載せておいたが、今茲に取捨再錄して設計工事の實際に當らるゝ諸兄の御參考に供したいと思ふのである。

1 床版の設計

鐵筋混凝土床版の計算に就ては更めて述べることを要しないと思ふが、只玆に其の許容應力を如何にとるべきかといふことが問題になる。卽ち鐵筋、混凝土、型枠其他の工費の關係により、或は混凝土の斷面積を增すとも鐵筋を節約することの經濟なる場合、又は其の反對の場合等も考へ得るのである。

今床版の單位長當りの工費を K とすれば

$$K=A_c k_c+\varepsilon A_s k_s+A_f k_f+k_c$$

A_c＝混凝土の斷面積

A_s＝主鐵筋の斷面積

A_f＝型枠面積

k_c＝混凝土單位體積の工費

k_s＝鐵筋單位體積の工費

k_f＝型枠單位面積の工費

k_o＝其他の工費

ξ ＝鐵筋の鉤，曲上，其他を考慮したる實際所要平均斷面積と A_s との比

$A_f k_f$ 及 k_o は略一定と考へられ，鐵筋の被厚も亦一定なるを以て，之等は除外して考へても差支ないものとすれば

$$K=bdk_c+\varepsilon A_s k_s \quad\cdots\cdots\cdots(1)$$

又普通の計算より

$$\left.\begin{aligned}
\xi &= \frac{x}{d} = \frac{n}{n+\frac{\sigma_s}{\sigma_c}} \\
A_s &= \frac{\xi^2}{2n(1-\xi)}bd \\
M &= \xi(3-\xi)\frac{bd^2}{6}\sigma_c = \frac{\xi^2(3-\xi)}{n(1-\xi)}\frac{bd^2}{6}\sigma_s
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(2)$$

b ＝床版の幅

d ＝有 効 高

n ＝彈性係數比 ＝15

σ_c＝混凝土許容應壓力

σ_s＝鐵筋許容應張力

M ＝床版の耐え得る彎曲率

K 最小の條件として(1)より

$$\frac{\partial k}{\partial \xi}=\frac{\partial(bdk_c)}{\partial \xi}+\frac{\partial(\varepsilon A_s k_s)}{\partial \xi}=0$$

$$\therefore\quad \frac{\partial A_s}{\partial(bd)}=-\frac{k_c}{\varepsilon k_s}\qquad\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

又(2)より

$$\frac{\partial A}{\partial \xi}=\left[\frac{\xi(2-\xi)d}{(1-\xi)^2}+\frac{\xi^2}{1-\xi}\frac{\partial d}{\partial \xi}\right]\frac{b}{2n}$$

M を最大ならしむる條件として、∂ 與へらるゝものとすれば

$$\frac{\partial M}{\partial \xi}=\left[(3-2\xi)d^2+\xi(3-\xi)2d\frac{\partial d}{\partial \xi}\right]\frac{b\sigma_c}{6}=0$$

σ_s が與へらるゝものとすれば

$$\frac{\partial M}{\partial \xi}=\left[\frac{3(1-\xi)\xi(2-\xi)+\xi^2(3-\xi)}{(1-\xi)^2}d^2+\frac{\xi^2(3-\xi)}{1-\xi}2d\frac{\partial d}{\partial \xi}\right]\frac{b\sigma_s}{6n}=0$$

$$\therefore\quad \frac{\partial(bd)}{\partial \xi}=-\frac{3-2\xi}{2\xi(3-\xi)}bd$$

又は

$$=-\frac{3-3\xi+\xi^2}{\xi(1-\xi)(3-\xi)}bd$$

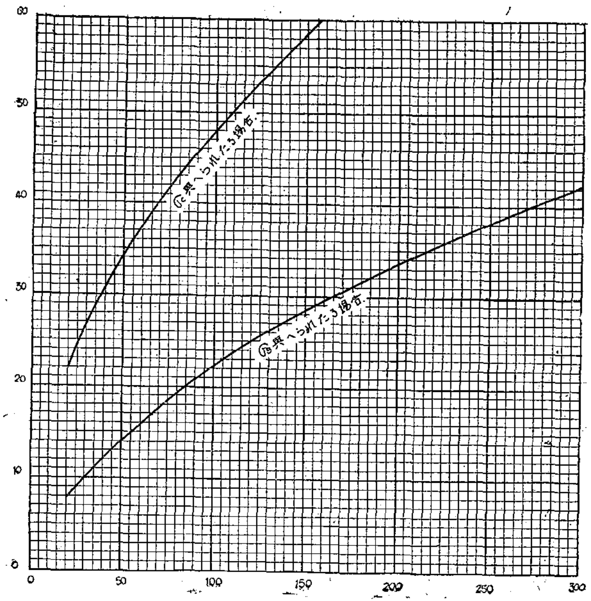
故に σ_c 與へらるゝ場合には

$$\frac{\varepsilon k_s}{k_c}=2n\frac{3-2\xi}{9-5\xi}\left(\frac{1-\xi}{\xi}\right)^2$$

又 σ_s 與へらるゝ場合には

$$\frac{\varepsilon k_s}{k_c}=2n\frac{3-3\xi+\xi^2}{3-2\xi}\cdot\frac{1-\xi}{\xi^2}\qquad\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

(4) により k_s, k_c 及 ε が與へらるゝ時は ξ を求むることが出來、從つて(2)により σ_s/σ_c を知ることが出來る。第一圖は之等の關係を示す圖表である。



第　一　圖

經濟的許容應力の比を見出す圖表

今第一圖により σ_s/σ_c を求めて見る。

$k_c=1{,}180$圓/m^3(150圓/ton) $k_c=25$圓/m^3 とすれば $k_s/k_c=47.2$

$k_s=746$圓/m^3(95圓/ton) $k_c=16.5$圓/m^3 と　れば $k_s/k_c=45.2$

ε は單桁として 1,3 連桁として 1,7 位に採つてよい。

故に $k_s/k_c=47{,}2$ の場合を取れば

$\sigma_c=45\text{kg/cm}^2$ を與へる時

$\varepsilon=1.3$　　$\sigma_s=1.700\text{kg/cm}^2$

$\varepsilon=1.7$　　$\sigma_s=1.350\text{kg/cm}^2$

$\sigma_s=1{,}200\text{kg/cm}^2$ を與へる時

$\varepsilon=1.3$　　$\sigma_c=74\text{kg/cm}^2$

$\varepsilon=1.7$　　$\sigma_c=60\text{kg/cm}^2$

$k_s/k_c=45.2$ の場合としても略同樣な値を得る、卽この場合は σ_s σ_c の中何れか一方を「道路構造に關する細則」中所定の値に採れば、之に應ずる他の經濟的許容應力は、細則所定の値よりも大となることゝなる。故に普通の場合

$\sigma_s = 1200\mathrm{kg/cm^2}$　　　$\sigma_c = 45\mathrm{kg/cm^2}$

を用ふるの他なし。

2 主桁の設計

丁桁の計算に當り常に問題となるのは腹部の幅 b_o 及其の高さ $(h_o - t)$ である。桁下端高に制限ある場合は別として、普通一般の場合には其の經濟的寸法に就ての研究を必要とする。之等に關する研究も亦尠くはないが、何れの場合にも b を如何なる式で表はすか、と云ふことに就て苦心の跡が見える。其の中好都合なるものとして次の二つをあげることが出來る。

$$b_o = b_1 + \beta_1 A_s \quad \cdots\cdots (5)$$

$$b_o = \alpha \sqrt{A_s} \quad \cdots\cdots (6)$$

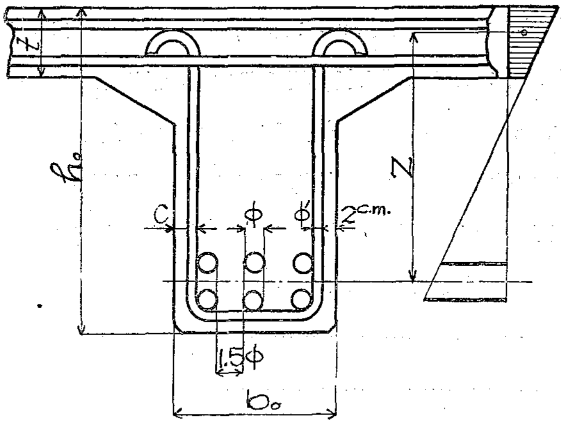
(5) は Max Mayer 氏により用ひられた式であるが、b_1, β_1 は鐵筋間隔、混凝土被厚等に關する係數である。今被厚を 3cm, 鐵筋純間隔を鐵筋直徑 ϕ の 1.5 倍或は 3cm 以上として計算して見ると次の様な式になる。

鐵筋を 1 段に並べる場合　　$b_o = 0.44A_s + 20.4(\mathrm{cm})$ (5a)

鐵筋を 2 段に並べる場合　　$b_o = 0.23A_s + 23.2(\mathrm{cm})$ (5b)

但し b_1 は鐵筋の數により相當異る値をとることになる。

(6) は Leopold Berger 氏により用ひられ、b_o 及 $(h_o - t)$ に對する近似式が導かれたものであるが、今被厚 c を 1.5ϕ と



第　二　圖

し其他は前同樣として α を計算すれば次の式を得る。

鐵筋を1段に並べる場合　$b_o = 6.76\sqrt{A_s}$ ……(σa)

鐵筋を2段に並べる場合　$b_o = 5.16\sqrt{A_s}$ ……(σb)

次に丁桁の工費を考へるのであるが、突緣の厚さ t は既に床版としての寸法を以て定められてゐるのであるから、殘る腹部に就て考へれば十分である。今丁桁の總高を h_o とし、丁桁の抵抗力率の臂長を Z とすれば、普通の丁桁に於ては近似的に次の假定が成立つ。

$$h_o - t \fallingdotseq Z$$

故に腹部の死荷重以外の總荷重による彎曲率を M_r とすれば、總彎曲率 M は次の通りである。

$$M = M_r + b_o \gamma Z \theta L^2$$

γ＝腹部單位體積の重量

L＝丁桁支間

θ＝桁の支承狀態による係數、單桁ならば $^1/_8$

故に腹部の單位長當りの工費を K とすれば

$$K = b_o 2zk_c + \varepsilon k_s A_s + 2zkf + b_o k_f$$

$b_o k_\ell$ の項は突緣の型枠と合せ考へれば常に一定であるから除外して差支ない。又

$$A_s = \frac{M}{Z\sigma_s} \qquad \cdots\cdots (7)$$

なる故に

$$K = b_o Z k_c + \varepsilon k_s \left(\frac{M_r}{\sigma_s Z} + \frac{b_o \gamma \theta L^2}{\sigma_s} \right) + 2Z k$$

又 $$b_o = b_1 + \beta_1 A_s = b_1 + \beta_1 \left(\frac{M_r}{\sigma_s Z} + \frac{b_o \gamma \theta L^2}{\sigma_s} \right)$$

$$\therefore \quad b_o = \frac{\dfrac{\beta_1 M_r}{\sigma_s Z} + b_1}{1 - \dfrac{\beta_1 \gamma \theta L_2}{\sigma_s}} \qquad \cdots\cdots (8)$$

$$\therefore \quad K = \frac{\dfrac{\beta_1 M_r}{\sigma_s Z} + b_1}{1 - \dfrac{\beta_1 \gamma \theta L^2}{\sigma}} Z k_c + \varepsilon k_s \left\{ \frac{M_r}{\sigma_s Z} + \frac{\dfrac{\beta_1 M_r}{\sigma_s Z} + b_1}{1 - \dfrac{\beta \gamma \theta L^2}{\sigma_s}} \gamma \frac{\theta L^2}{\sigma_s} \right\} + 2Z k_\ell$$

故に $\dfrac{dK}{dZ} = 0$ より

$$Z = \sqrt{\frac{\varepsilon M_r}{\sigma_s}} \sqrt{\frac{k_s}{b_1 k_c + 2m k_\ell}} \qquad \cdots\cdots (9)$$

$$m = 1 - \frac{\beta_1 \gamma \theta L^2}{\sigma_s}$$

上の式に於て β_1 及 b_1 には推定によつて適當な値を與へなければならないのであるから幾分不便を感じる。この爲には Berger 氏の近似式を用ひるのが便利である。卽

$$b_o = \alpha\sqrt{A_s} = \alpha\sqrt{\frac{M}{\sigma_s Z}}$$

$$\therefore\quad K = \alpha\sqrt{\frac{M}{\sigma_s Z}}Zk + \frac{\varepsilon M}{\sigma_s Z}k + 2Zk_f$$

$\dfrac{dK}{dZ} = 0$ より

$$Z = \sqrt{\frac{M}{\sigma_s}}\sqrt{\frac{\varepsilon k}{\frac{b_o}{2}k_c + 2k_f}} = \mu\sqrt{\frac{\varepsilon M}{\sigma_s}} \quad \cdots\cdots\cdots(10)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{\frac{b_o}{2}\frac{k_c}{k_s} + 2\frac{k_f}{k_s}}}$$

$$\therefore\quad b_o = \alpha\sqrt{\frac{M}{\sigma_s \mu\sqrt{\frac{\varepsilon M}{\sigma_s}}}} = \alpha\sqrt{\frac{\sqrt{\frac{M}{\sigma_s}}}{\mu\sqrt{\varepsilon}}}$$

卽
$$b_o = \frac{\alpha}{\sqrt{\mu}\sqrt[4]{\varepsilon}}\sqrt[4]{\frac{M}{\sigma_s}} \quad \cdots\cdots\cdots(11)$$

今鐵筋1段を用ふる如き比較的小なる桁及2段鐵筋を用ふる如き比較的大なる桁に分ち，工費を

混凝土	鐵　筋	型　枠
25圓/m^3	150圓/ton	1.5圓/m^2
16圓/m^3	95圓/ton	0.95圓/m^2

の割合とし、なほ小なる桁に對し $M=1.1M$ 大なる桁に對し $M=1.5M_r$ として計算すれば次の樣になる。

		$\varepsilon=1.3$	$\varepsilon=1.7$
小なる桁	$\sigma_s=1{,}200\,kg/cm^2$	$b_o=0.170\sqrt[4]{M_r}$	$0.1600\sqrt[4]{M_r}$
	1,000 〃	0.1874 〃	0.1675 〃
	800 〃	0.1885 〃	0.1727 〃
大なる桁	$\sigma_s=1{,}200\,kg/cm^2$	$b_o=0.1608\sqrt[4]{M_r}$	$0.15\sqrt[4]{M_r}$
	1,000 〃	0.1679 〃	0.1575 〃
	800 〃	0.1774 〃	0. 665 〃

$$
\text{平均}\quad
\left.
\begin{array}{ll}
\sigma_s=1{,}200\,kg/cm^2 & b_o=0.16\sqrt[4]{M_r} \\
1{,}000\ 〃 & b_o=0.17\ 〃 \\
800\ 〃 & b_o=0.18\ 〃
\end{array}
\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(12)
$$

(單位 b □□ m, M ton m)

(12)は b の近似式であるが、(9) と(10)とを比較して見れば、$b_1 \doteqdot \frac{1}{2} b_o$ として差支ない。故に之から b_1 を求め、(5a)(5b)の β_1 を用ひて、(8)、(9)式より b_o 及 Z を計算することが出來る。

次に Z に對しても亦(9)式を計算し、單桁として $\varepsilon=1.3$ と假定したる結果次の近似式を得る。

$$Z=\lambda\sqrt{M_r}\qquad \lambda=0.12\sim0.14\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

(未完)

最近各國自動車統計

米國商務省調査

(1931. 1. 1. 現在)

順位	國名	自動車數	面積一平方哩當り自動車數	人口千人に對ずる自動車數
1	米國	26,697,398	8.8	217.5
2	英本國	1,529,272	16.2	33.4
3	フランス	1,459,650	6.9	35.8
4	カナダ	1,224,038	0.3	123.2
5	ドイツ	679,300	3.7	10.8
6	オーストラリア	537,020	0.2	8.8
7	アルゼンチン	366,324	0.3	33.6
8	イタリー	293,215	2.4	7.1
9	ブラヂル	199,570	0.1	4.9
10	スペイン	189,650	1.0	8.3
11	ニユージランド	189,615	1.8	13.5
12	インド	174,450	0.1	0.6
13	南亞共和國	159,400	0.3	23.0
14	ベルギー	158,986	13.5	19.9
15	スヱーデン	145,273	0.8	23.7
16	オランダ	188,735	9.0	16.0
17	デンマーク	110,324	6.5	32.1
18	日本	95,719	0.4	1.1

19	蘭領東印度	74,783	0.1	1.7
20	スイス	81,045	5.1	20,2
21	メキシコ	80,801	0.1	4.9
22	チェッコスラバキア	79,006	1.5	5.4
23	アルゼリア	50,250	0.2	8.4
24	愛蘭自由國	48,400	1.8	16.3
25	ハワイ	47,846	7.5	13.0
26	ウルグワイ	47,430	0.7	25.6
27	ノールエー	46,463	0.4	17.5
28	英領馬來	41,652	1.5	29.7
29	ポーランド	41,260	0.3	1.4
30	キューバ	41,222	0.9	11.4
31	オーストリー	39,209	1.2	5.9
32	ヒリッピン	37,049	0.3	2.9
33	ルーマニア	37,000	0.3	2.1
34	智利	36,245	0.1	8.3
35	フインランド	36,234	0.2	10.1
36	支那	35,489	0.01	0.05
37	エジプト	32,627	0.1	2.3
38	ロシヤ	30,910	0.004	0.2
39	ホルトガル	30,557	0.9	5.4
40	セイロン	20,727	0.8	3.8
41	英領東アフリカ	19,453	0.02	1.7
42	ハンガリー	19,333	0.5	2.2
43	ギリシヤ	19,250	0.4	3.1
44	佛領東印度支那	18,595	0.07	0.9
45	ベネズエラ	18,000	0.1	5.9