

## 第二章 荷重 (Load)

### 第一節 荷重の種類

荷重には、垂直荷重 (Vertical load)、水平荷重 (Horizontal load) 及水平と垂直とを兼ねた荷重がある。

垂直荷重としては、死荷重、活荷重、撃衝及雪荷重。水平荷重としては、風圧、横振動、遠心力、制動及牽引力、高欄に働く水平力。水平及垂直荷重としては温度の變化を數へることが出来る。

### 第二節 死荷重 (Dead load)

道路橋 各材料

第 1 表

一立方メートルの重量は  
第1表の如し。

橋梁の死荷重は  
構造物の各部の重量で、桁又はトラスに應力を生ずるものより成り立つてゐる。Bleich-Melan のポケットブックに依れば

材 料	重量(kg)	材 料	重量(kg)
鑄 鐵	7 250	礫 又 は 碎 石	1 700
鍊 鐵	7 800	砂	1 700
鋼	7 850	土	1 600
鑄 鋼	8 760	木 材	650
鐵 筋	2 400	石 塊 鋪 裝	2 600
コンクリート	2 200	煉 瓦 鋪 裝	2 200
セメント	1 700	瀝 青 鋪 裝	2 100
モルタル	1 700	木 塊 鋪 裝	1 000
石	2 600	マカダム鋪裝	2 100
煉 瓦	2 000		

#### 1. 鋪裝の重量 (kg/m<sup>2</sup>)

板 張 (厚  $d$  cm) .....  $9d$

木塊鋪裝 (厚  $d$  cm) .....  $11d$


平均 145

石塊舗装 (厚 10 cm の砂の褥層の上に厚 14~16 cm の舗装)...

..... 550 ~ 700

敷 礫 (Ballasting) ..... 19 *d*      平均 400


最大車輪重 *D ton*、縦桁の間隔 *C metre* なる場合の床版の重量は

 形 .....  $35 + (10 + 7.5 D) C$

凹鉄 (Buckle plate) .....  $40 + 2 DC$

鉄筋コンクリート .....  $180 \sqrt{DC}$

2. 床構の重量 (*kg/m²*)

 の床版を有する一等橋 (主桁の間隔 6~8 m) ..... 100~125

コンクリート床版を有する一等橋 (主桁の間隔 6~8 m) ..... 130~160

板張の歩道 (架出しの場合) ..... 45~65

二等橋及三等橋に対しては上記の値を 10~25 % 減ずる。

3. 横構及對風綾構 (*kg/m²*)

徑間を *l metre* とせば .....  $15 + 0.15 l$

4. 主 桁 (横構及對傾構を含む) (*kg/m²*)

板張を有する格構桁 (Lattice girder) .....  $25 + 2 l + 0.008 l^2$

重い車道を有する橋梁

(1) 歩道なき鉄桁橋 .....  $60 + 5 l$

(2) 歩道ある鉄桁橋 .....  $20 + 5 l$

(3) 主桁の内側に歩道を有する構

(a) 直弦 (*l = 1~40 m*) .....  $50 + 3.7 l$

(b) 曲弦 (*l = 15~40 m*) .....  $30 + 3.7 l$

(c) " (*l = 40~60 m*) .....  $60 + 3.7 l$  (上部對風綾構を有す)

(4) 架出しの歩道を有する構

(a) 直弦 (*l = 15~40 m*) .....  $40 + 2.8 l$

(b) 曲弦 (*l = 15~40 m*) .....  $20 + 2.8 l$

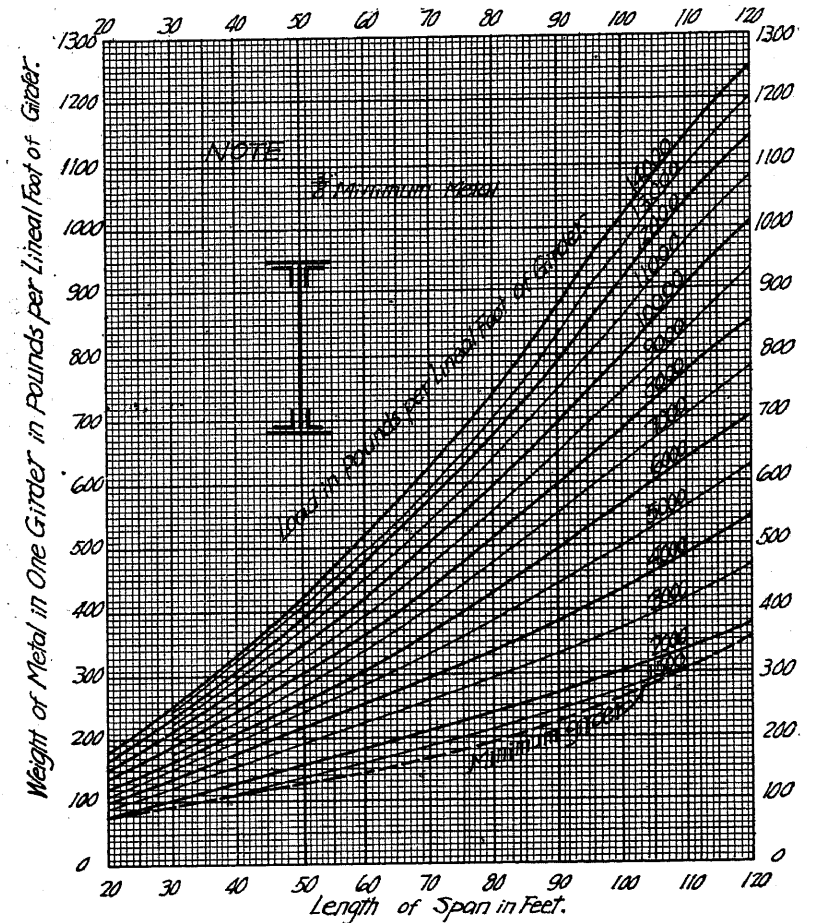
(c) " (*l = 40~200 m*) .....  $50 + 2 l + 0.01 l^2$  (上部對風綾構を有す)

(d) 補剛構 (Stiffening truss) を有する拱 (*l = 30~60 m*)...  $40 + 2.8 l$

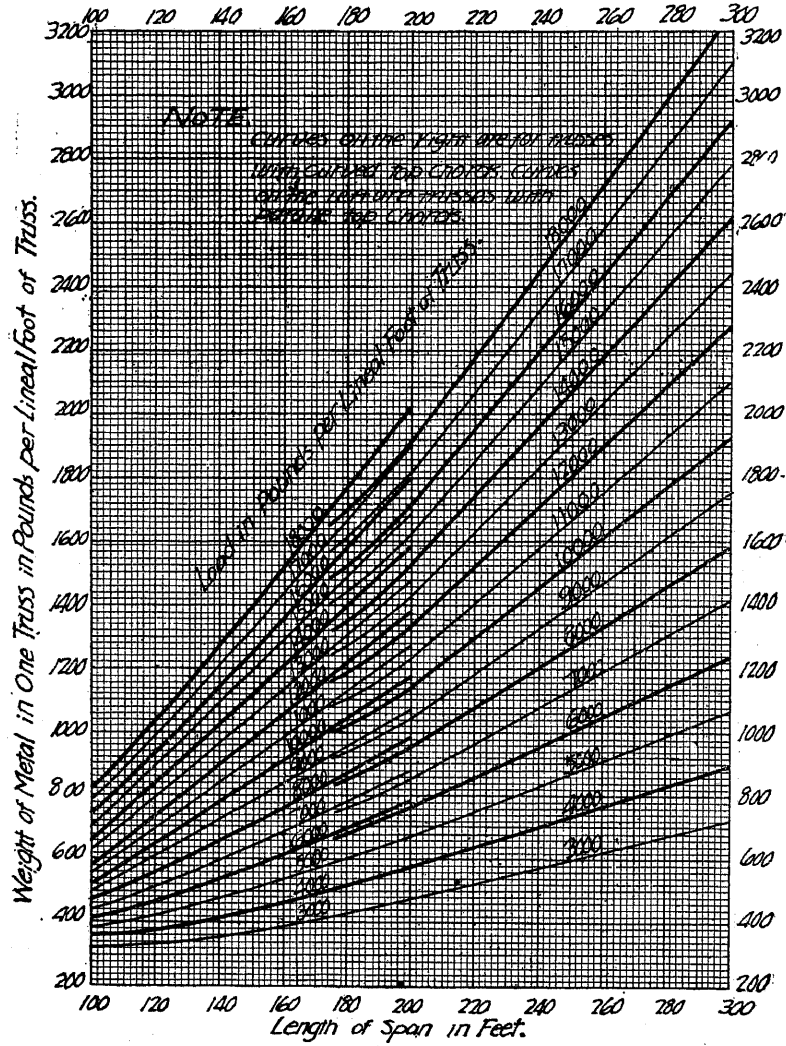
(e) 繫拱 (Tied arch) (*l = 30~200 m*) .....  $100 + 2 l + 0.01 l^2$

(f) 繫材なき拱 (拱矢 *f*) .....  $(15 + 0.002 l^2) \frac{l}{f}$

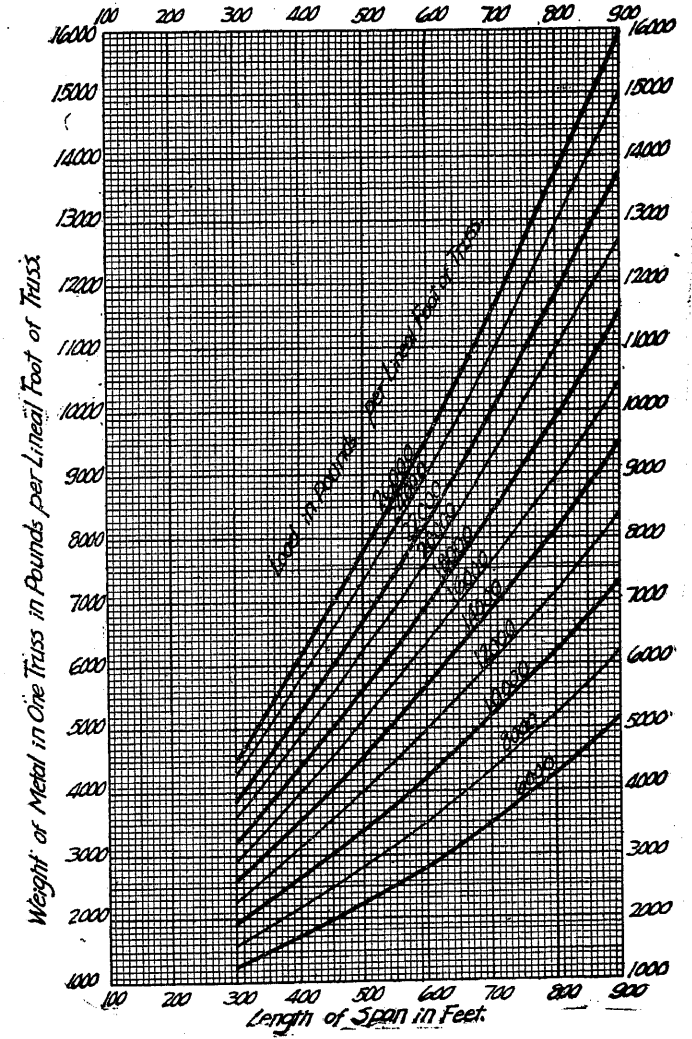
Waddell 氏は其の著書に次の値を與へたり。



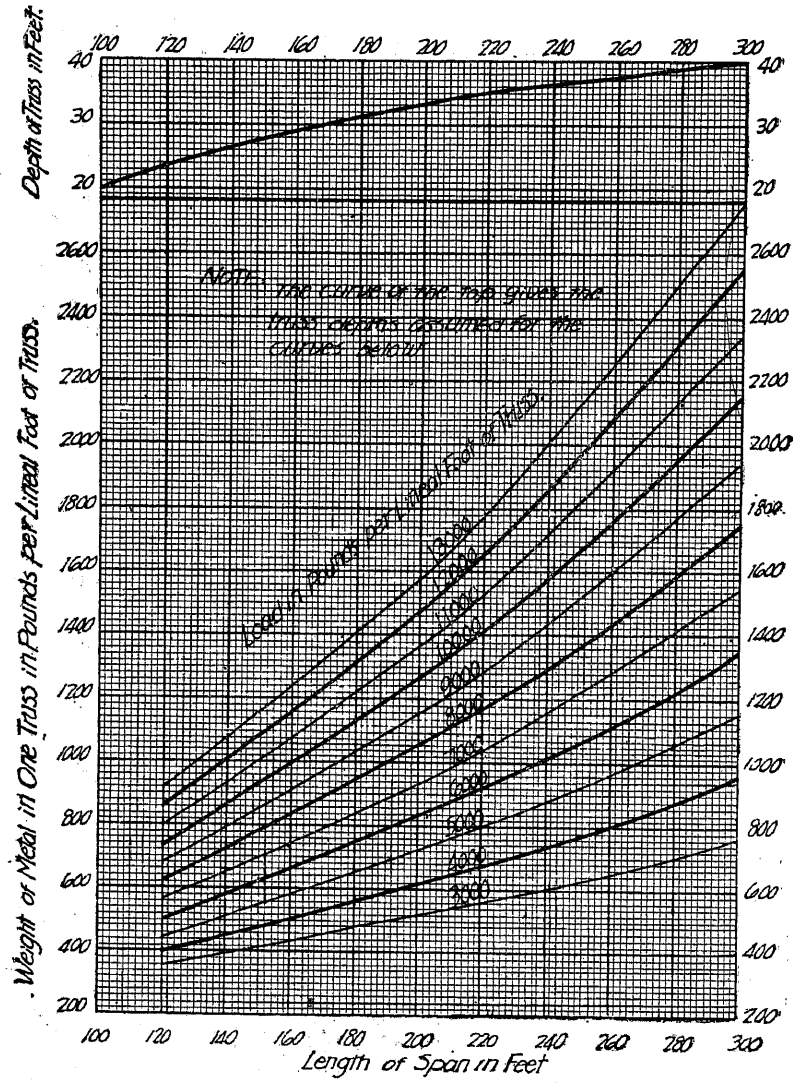
第 9 圖



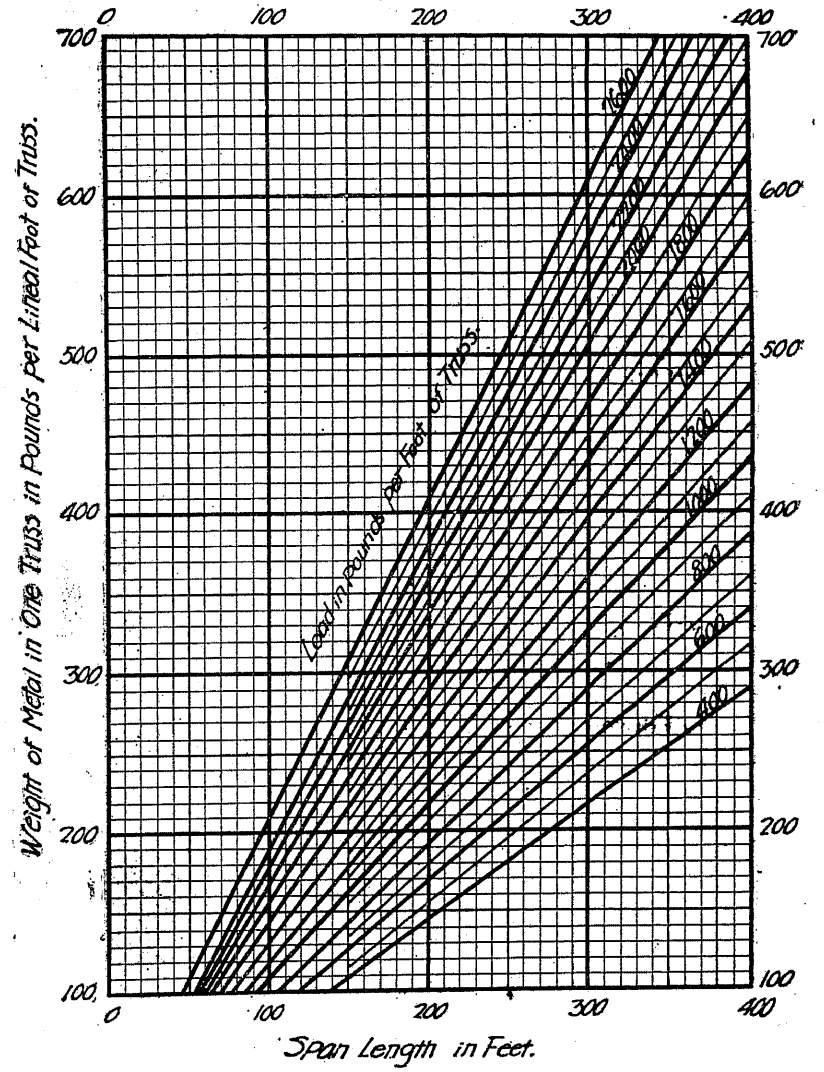
第 10 圖



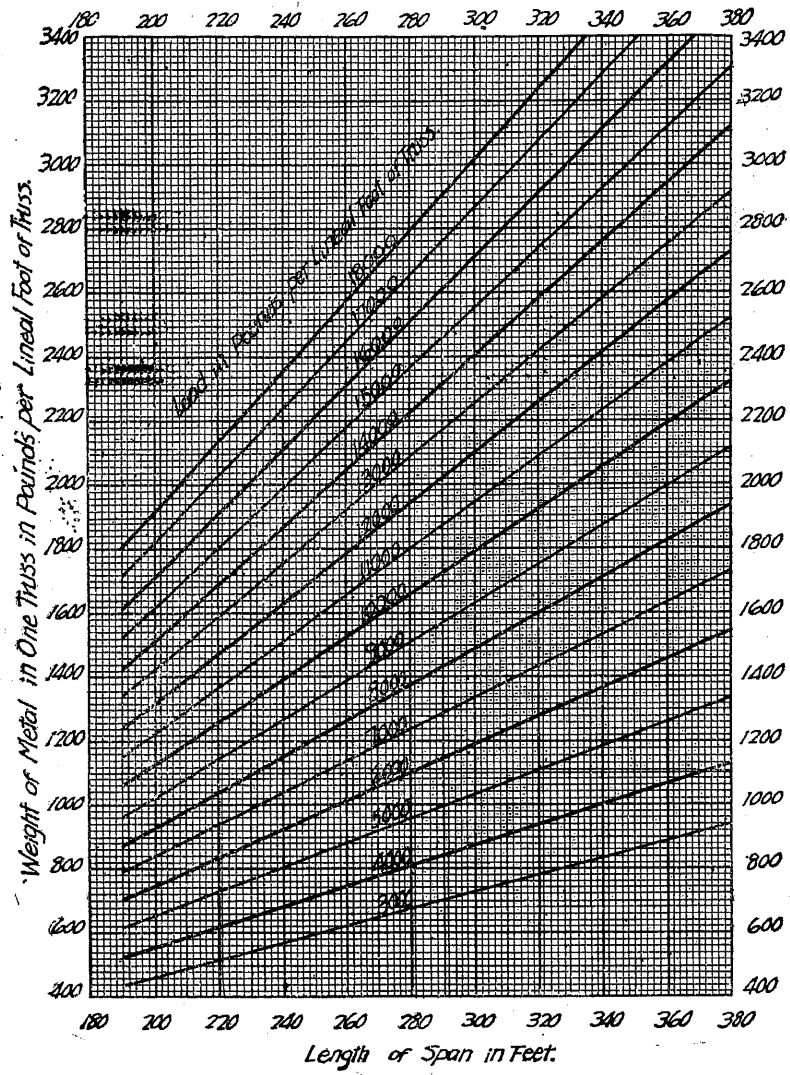
第 11 圖



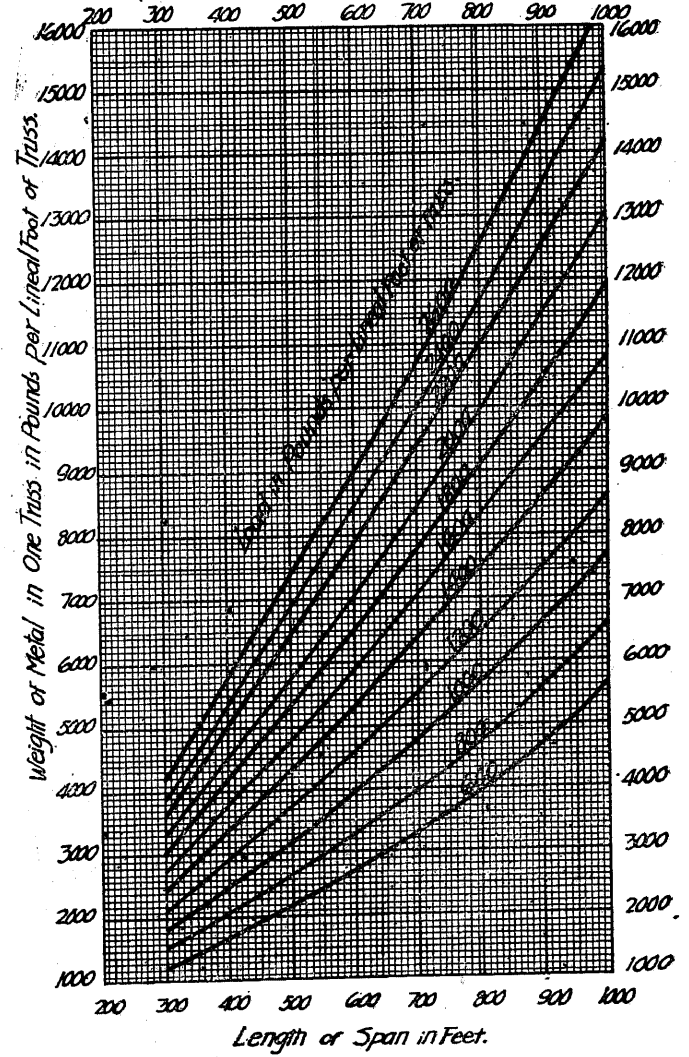
第 12 圖



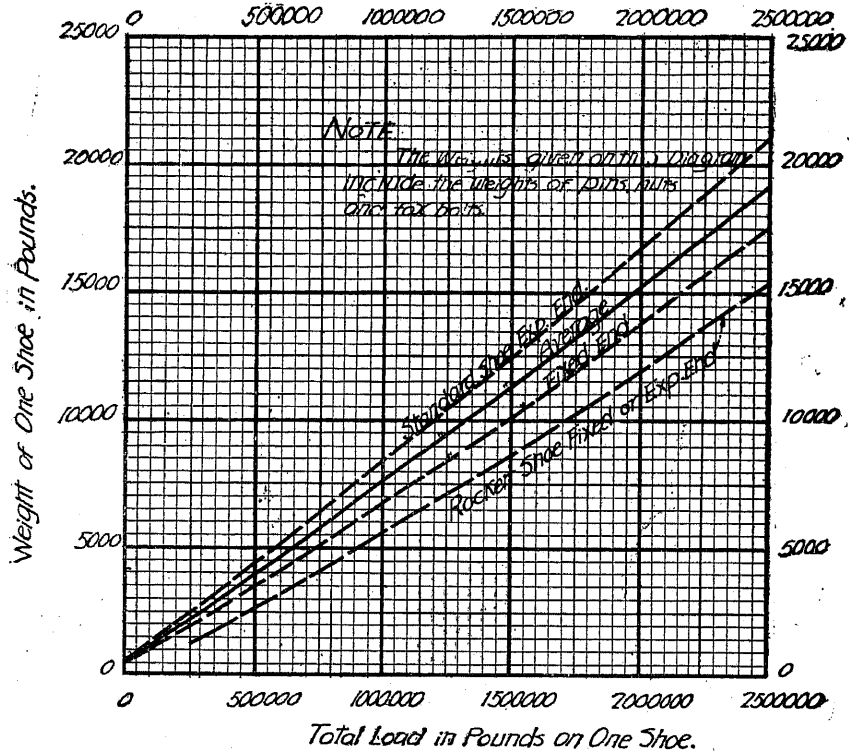
第 13 圖



第 14 圖



第 15 圖



第 16 圖

第 2 表

鐵道橋

鐵道省の示方書に依れば、使用材料一立方米の重量は第2表の如し。

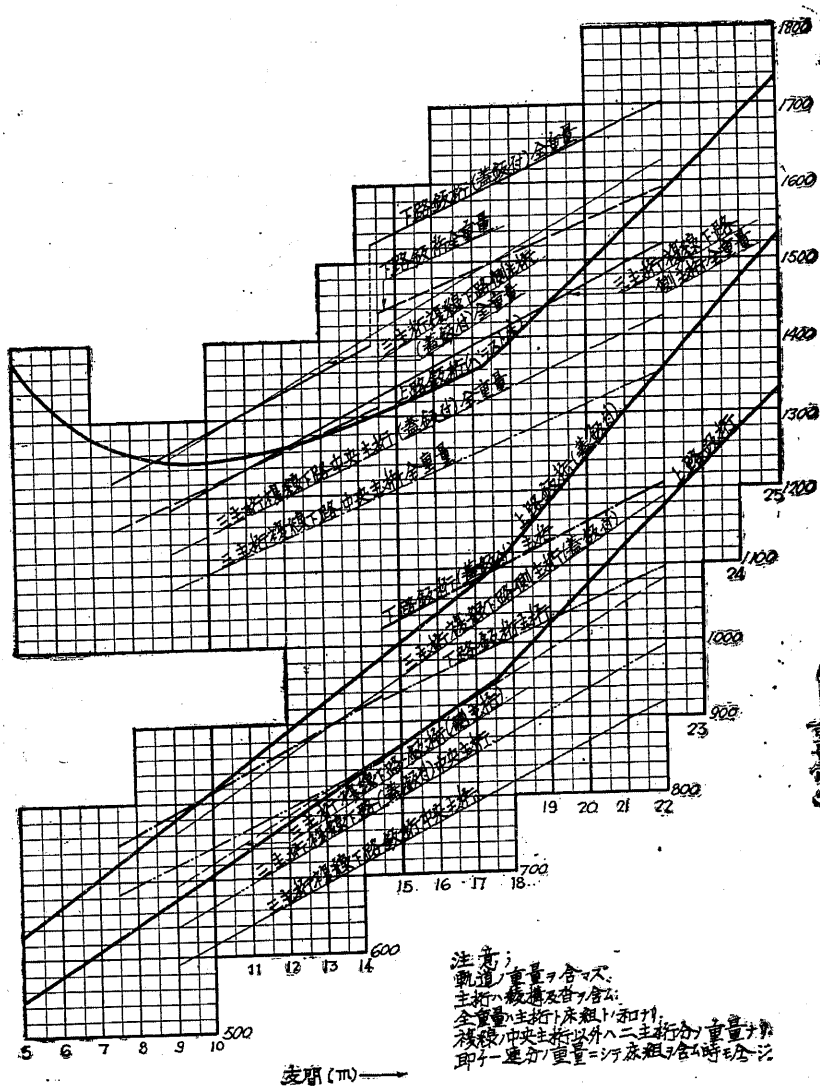
材 料	重 量 (kg)	材 料	重 量 (kg)
鋼	7850	砂利及碎石	1800
鑄 鋼	7900	コンクリート	2200
鑄 鐵	7200	石 材	2500
木 材	800	一軌道長一米に付	600(最小)

鐵道省の規定に依

る各種橋桁重量表は第3表の如し。

鐵道省規定の活荷重 K18 を用いたる場合の钣桁一米當り重量 (kg) は第17圖の如し。

钣桁一米當り重量 (kg)  
(K 18)



第 17 圖

3 表

各種橋桁重量表

橋梁種類	支間 (米) L	主桁 間隔 (米) D	橋桁一米當り重量 (kg)				全橋架設重量 (kg)			備考
			主桁 (種類や番号) A	桁間距離係数 $\frac{L}{D} - 1$	床組 B	A+B	軌道 C	橋梁架設重量 (主桁以外)	標準桁高 $\frac{L}{D} - 1$	
(1) 上路板桁	5~18 18~25	1.7 1.8	385+325L 80+50L	1-0.05(9-n) 1-0.06(10-n)		(385+325L)-0.05(9-n) (80+50L)(1-0.06(10-n))	372	A+C	9 10	桁高の 高桁に 適用 可能 (鋼桁橋77)
(1) a 全上板張			$\alpha A = 0.15, 0.02, 0.05$		$\alpha A$	$\alpha A$	372	$\alpha A + C$		
(1) b 全上バネ床			$\beta A \quad \beta = (1 + \frac{L}{D})$		$\beta A$	$\beta A$	2307	$\beta A + C$		
(2) 下路板桁	75~115 15~22	3.8 4.6	510+23.5L 605+22.5L	1-0.07(9-n) 1-0.08(9.5-n)	483.14L 528.45L	(510+23.5L)(1-0.07(9-n)) (605+22.5L)(1-0.08(9.5-n))	372	A+B+C	9 9.5	全橋架設地 盤に 適用 可能 (鋼桁橋77)
(2) a 全上板張			$\alpha A \quad \alpha = 1$		B	$\alpha A + B$	372	$\alpha A + B + C$		
(3) 三桁複線下路板桁		2桁主桁 (9~22) 中央主桁	424+30L $\alpha A \quad \alpha = 0.8$ $\alpha A \quad \alpha = 0.9$	1-0.07(9-n) $\alpha = 0.8$ $\alpha = 0.9$	467-L 467-L	(424+30L)(1-0.07(9-n)) $\alpha A + 467-L$	372	A+B+C	7(9-10) 7-1 7-1	
(3) a 全上板張		2桁主桁 中央主桁	$\beta A \quad \beta = 1.1$ $\gamma A \quad \gamma = 1.08$		B	$\beta A + B$ $\gamma A + B$	C	$\beta A + B + C$ $\gamma A + B + C$		
(4) 單線下路構桁	L > 9	L D	358+26.5L $\alpha A \quad \alpha = 3.65 + 5.2L/D$	1-0.05(3.5-n)	124-D	(358+26.5L)(1-0.05(3.5-n)) (36.5+5.2L/D)+124-D	372	A+B+C	5.5	並行法曲 張に 適用 可能
(5) 複線下路構桁	L, D	L, D			1450	A+B	744	A+B+C	並 曲 4 5	

第三節 活 荷 重 (Live load)

道路橋

1. 群衆荷重 橋面一平方米に付 400 乃至 600 珎を普通とする。獨逸の規定では次の値を取る。

主桁	支間 (m)	一級	二級	三級	kg/m <sup>2</sup>
		0~25	500	450	
其他	25~125	525-l	475-l	425-l	"
	125~200	400	350	300	"
其他		500	450	400	"

長徑間の橋では短徑間のものに比し橋面全部に活荷重の密集する機会が少いから、徑間が長くなる程橋面一平方米當りの荷重は軽減して差支ない。内務省の規定は次の通りである。

(1) 一等橋 (街路及主要なる國道) の主桁或は主構の計算には、次式に依り算出した値を用ふる。

$$\text{車道 } w = \frac{120\,000}{170+l} \leq 600$$

$$\text{歩道 } w = \frac{100\,000}{170+l} \leq 500$$

式中 w = 群衆荷重 (kg/m<sup>2</sup>)

l = 支間 (m)

主桁或は主構以外の部材の計算には、車道には 600 kg/m<sup>2</sup>、歩道には 500 kg/m<sup>2</sup> の値を用ふる。

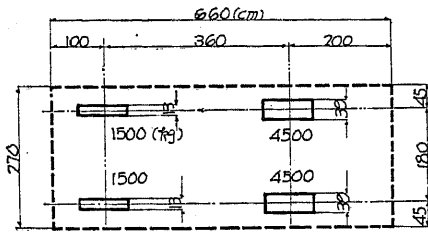
(2) 二等橋 (國道及主要なる府縣道) 又は三等橋 (府縣道) の主桁或は主構の計算には、次式に依り算出した値を用ふる。

$$\text{車道 } w = \frac{100\,000}{170+l} \leq 500$$

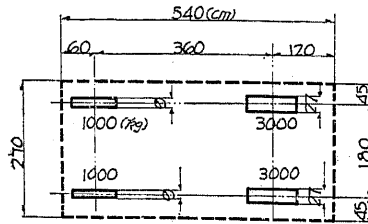
$$\text{歩道 } w = \frac{80\,000}{170+l} \leq 400$$

主桁或は主構以外の部材の計算には車道には 500 kg/m<sup>2</sup>、歩道には 400 kg/m<sup>2</sup> の値を用ふる。

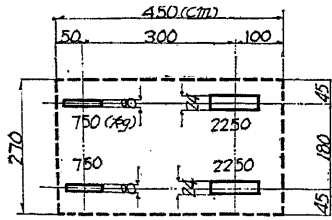
2. 車輛荷重 各國共各種の自動車荷重を用ひてゐるが、内務省の規定では一等橋には第一種 (第 18 圖)、二等橋には第二種 (第 19 圖)、三等橋には第三種 (第 20



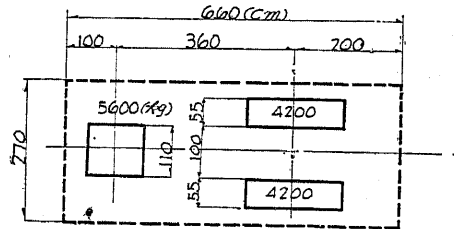
第 18 圖



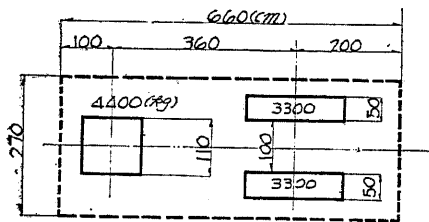
第 19 圖



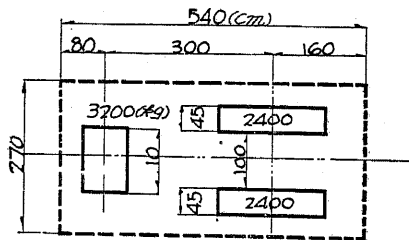
第 20 圖



第 21 圖



第 22 圖



第 23 圖

圖)を用ふる。

3. 輾壓機 (Roller) 荷重 内務省の規定では一等橋には第一種 (第 21 圖)、二等橋には第二種 (第 22 圖)、三等橋には第三種 (第 23 圖)を用ふる。

4. 軌道の車輛荷重 各都市各地方に依つて、車輛の大きさ及重量が異なつてゐるから、將來どの程度まで電車が發達するかを豫想して、其の荷重及連結輛數を決定せねばならない。車輛の占有幅は 270 cm と假定する。

鐵道橋

鐵道橋には聯行荷重 (Moving concentrated loads) 即ち一つ以上の機關車を先頭

にして其の後は等布荷重がついたものが用ひらるゝ。米國に於て廣く用ひられてゐる Cooper's Loading は、二つの機關車が前方にあつて列車が其の後についたもので (第 24 圖)、軸距は總てのクラスに同一であるが、其の輪荷重は各クラスに依り異なり、E 50 は E 40 の  $\frac{5}{4}$  となつてゐる。

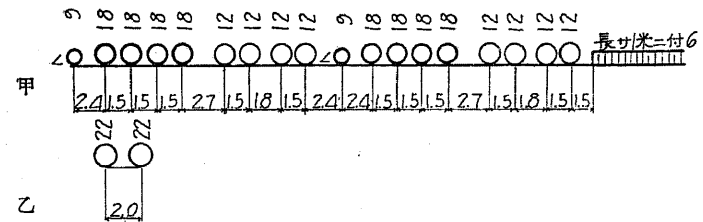
聯行荷重は計算が繁雜であるから構或は桁の四分一點 (Quarter point) に於て、車輛荷重に依る彎曲率と同一の彎曲率を生ずる等價等布荷重 (Equivalent uniform load) を用ふることがある。

鐵道省では K 18 (第 25 圖) を用ふる。

Cooper's Loadings

Uniform Load	5000 lbs Per lin.ft.	4500 lbs Per lin.ft.	4000 lbs Per lin.ft.	3000 lbs Per lin.ft.
5'	32500	29250	26000	19500
5'	32500	29250	26000	19500
6'	32500	29250	26000	19500
6'	32500	29250	26000	19500
8'	50000	45000	40000	30000
8'	50000	45000	40000	30000
8'	50000	45000	40000	30000
8'	50000	45000	40000	30000
8'	25000	22500	20000	15000
8'	32500	29250	26000	19500
8'	32500	29250	26000	19500
8'	32500	29250	26000	19500
8'	32500	29250	26000	19500
8'	50000	45000	40000	30000
8'	50000	45000	40000	30000
8'	50000	45000	40000	30000
8'	50000	45000	40000	30000
8'	25000	22500	20000	15000
Class	E 50	E 45	E 40	E 30

第 24 圖



第 25 圖

第四節 擊 衝 (Impact)

1887 年に米國の C. C. Schneider が始めて其の仕様書に、活荷重には之に依つて生ずる撃衝を加算し、活荷重と死荷重とは同一許容應力を使用して差支ない旨を記載した。Schneider の公式は



$$I = \frac{300}{L+300}$$

にして  $I$  は撃衝係数、 $L$  は所要の部材に最大応力を生ずるための活荷重の載荷長(呎)である。今  $L = 0$  とせば  $I = 1$  となる。即ち荷重を急激に加ふれば静かに加へたときの二倍の影響を與ふることを示すのである。此の公式は今日でも廣く用ひらるゝが、數多の實驗の結果に徴すれば短徑間に對しては過小、長徑間に對しては過大であるから最も理論的の公式を作らんとし各國共幾多の實驗を行つた。

車輛が橋梁上を急速に走行するときは、靜かに通過するときよりも非常に大きい影響を橋梁に與ふる。此の影響を撃衝と謂ひ、 $\frac{\text{撃衝}}{\text{活荷重}}$  を撃衝係数 (Impact coefficient) と稱する。

今各國の公式を示せば次の如し。式中  $L$  は載荷長 (m) を示す。

米國鐵道協會及カナダ土木學會.....  $I = \frac{2780}{2780+L^2}$

米國土木學會.....  $I = \frac{610-L}{488+10L}$

英國技術標準協會.....  $I = \frac{36.5}{27.4 + \frac{n+1}{2} L}$  ( $n$ は軌道數)

獨逸國有鐵道.....  $I = \begin{cases} I = 0.20 + \frac{17}{28+L} & \text{軌條を直接又は坐鐵を以て桁に取付けたるとき} \\ I = 0.11 + \frac{56}{144+L} & \text{軌道が道床を有するとき} \\ I = 0.19 + \frac{21}{46+L} & \text{枕木を有するとき} \end{cases}$  支間 50m まで に適用す

道路橋.....  $I = 0.41 - 0.0016 L$

佛 國.....  $I = \frac{0.4}{1+0.2L} + \frac{0.6}{1+4\frac{P}{S}}$   $S$ は活荷重  $P$ は死荷重

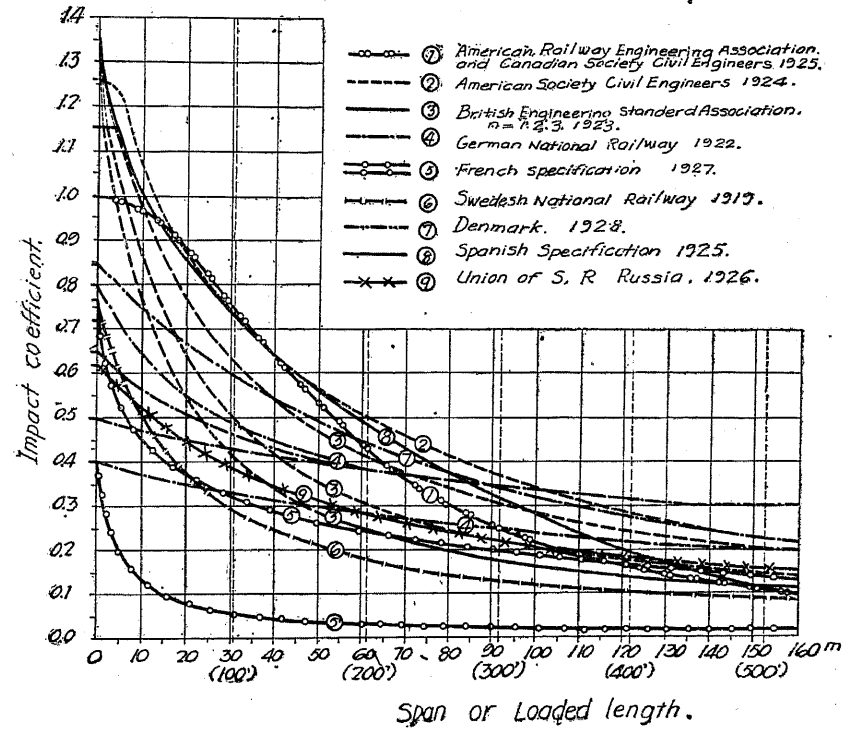
丁 抹.....  $I = \frac{1}{1 + \frac{(n+1)L}{220}} \times \frac{SP}{S_p + S_g}$

瑞 典.....  $I = \frac{1}{18+0.7L}$

西班牙.....  $I = 1.40 - 0.56\sqrt{500L-L^2}$

匈牙利.....  $\begin{cases} I = 0.24 + \frac{9}{16+L} \dots\dots \text{鐵道橋} \\ I = 0.20 + \frac{10}{30+L} \dots\dots \text{道路橋} \end{cases}$

露西亞.....  $I = \frac{0.625}{1+0.02L}$



第 26 圖

内務省規定 道路橋に對しては次の如し。

(1) 自動車荷重又は軌道の車輛荷重は撃衝を生ずるものとし、其の撃衝係数は

$$I = \frac{20}{60+L} \cong 0.3$$

に依つて表はす。

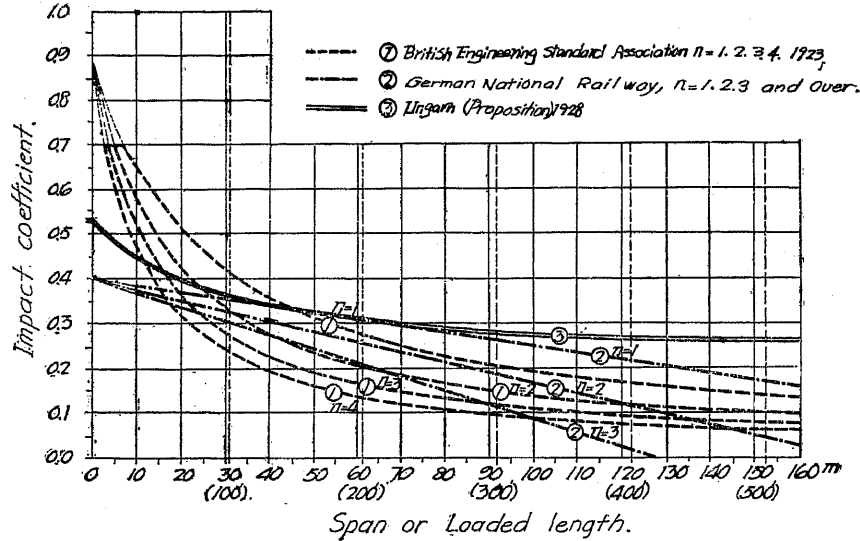
式中  $L$  は最大応力を生ずる集中荷重及群集荷重の長 (m)。

(2) 群衆荷重又は輾壓機荷重は撃衝を生ぜざるものとする。

鐵道省規定 鐵道橋に對しては活荷重より生ずる應力に次式に依り算出したる撃衝應力を加算する。

$$I = S \frac{45}{45+nL}$$

式中  $I$  は撃衝應力、 $S$  は最大活荷重應力、 $L$  は部材に最大活荷重應力を生ぜしむべき活荷重の長 ( $m$ 、 $n$  は最大活荷重應力に關係すべき軌道數とす。



第 27 圖

### 第五節 風 荷 重 (Wind load)

或る面積に作用する風速及風壓に關しては今日まだ結論に達しないが、橋梁設計に當つては風壓は風速の自乗に比例するものと假定する。風壓が一定の大きさと外形を有する平面に如何に分布するかも判明しないが、橋梁に於ては風の方向と直角の面に等布するものと考え、其の風壓は次式に依つて表はさる。

$$W_0 = \zeta F m \frac{V^2}{2} \quad (kg)$$

式中  $m$  は零度で氣壓  $760 \text{ mm}$  に於ける空氣一立方分の質量、 $F$  は面積、 $V$

は風速、 $\zeta$  は係數とす。  $m = \frac{\gamma}{g} = \frac{1.293 \text{ kg/m}^3}{9.81 \text{ m/sec}^2}$ 、 $\zeta = 1.86$  とせば  $W_0 = 0.1225 F V^2 \doteq \frac{1}{8} F V^2$

地方に依り、又風の種類に依つて速度も著しく變化する。例へばウインでは  $36 \text{ m}$ 、ハンブルグでは  $42 \text{ m}$  を取つてゐるが、之は  $\gamma:g=0.125$  に對して一平方米の風壓  $162 \text{ kg}$  及  $220 \text{ kg}$  に相當する。スコットランドの Tay Bridge が墜落せし際 (1879年) の風壓は Glasgow にて  $20 \pm \text{ kg}$  を示した。風が強い地方では  $290$  乃至  $340 \text{ kg/m}^2$  を取らねばならぬ場合もあるが、歐洲では普通

載荷橋	100 乃至 150 $\text{kg/m}^2$
無載荷橋	150 乃至 300 $\text{kg/m}^2$

を取れり。獨逸國有鐵道の規定では

載荷橋	150 $\text{kg/m}^2$
無載荷橋	250 $\text{kg/m}^2$

列車は軌條面上  $3.5 \text{ m}$  の高を有するものとする。

A. R. E. A. の規定では

載荷橋	$298 \text{ kg/m}$ に一軌道上の列車荷重の一割を加ふ
無載荷橋	$298 \text{ kg/m}$

何れも動荷重として取扱ふのである。

内務省規定 道路橋に於ける風荷重は次の通りである。

- (1) 徑間  $50 \text{ m}$  未滿なるときは載荷弦の長  $1 \text{ m}$  に付  $400$  珎の動荷重、無載荷弦の長  $1 \text{ m}$  に付  $200$  珎の動荷重。
- (2) 徑間  $50 \text{ m}$  以上なるときは徑間  $10 \text{ m}$  を増す毎に、(1) に規定する荷重に弦の長  $1 \text{ m}$  に付  $15$  珎を増加す。

前項の荷重は橋梁の豎面に對し直角に働くものとする。

鐵道省規定 横荷重に對しては次の二つの場合を考慮する。

- (1) 列車の通過せざる場合は構造物の垂直投射面  $1 \text{ m}^2$  に付  $300$  珎。

(2) 列車の通過する場合は構造物の垂直投影面1平方米に付 200 疋とし、列車に於ける横荷重は  $600 \text{ kg/m}$  とし、軌條面上 1.8 米の高さに作用するものとする。此の場合の活荷重は第 25 圖に示せるもの又は  $1900 \text{ kg/m}$  の空車が通過するものとする。但し橋桁に於ける最小横荷重は軌道を支持せざる弦材側に於ては其の量  $300 \text{ kg/m}$ 、軌道を支持する弦材側に於ては  $300 \text{ kg/m}$  に第 25 圖甲に示せる等布荷重の 1 割を加へたるものとする。横荷重は總て移動するものとする。

### 第六節 遠心荷重及縦荷重

1. 遠心荷重 軌道が曲線上にあるときは遠心力に依つて生ずる影響を考へねばならぬ、遠心力は次式に依つて計算する。

$$F = \frac{GV^2}{gr}$$

式中  $F$  は遠心力、 $G$  は荷重、 $V$  は列車の速度、 $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$ 、 $r$  は曲線半径とす。

鐵道省規定 橋梁上に於て軌道が曲線なる場合に生ずる遠心荷重は、半径 1000 米より小なる場合は第 25 圖に示せる活荷重の 1 割、其の他の場合は七分とし、軌條面上 1.8 米の高に作用するものとする。

2. 縦荷重 汽車又は電車が出發停止の際車輪と軌條面間に起る縦力で、停止するときの力は出發するときの力よりも遙に大きい。普通の鐵道に於ては制動力は機關車の働輪 (Driver) に來る荷重の 20%、滿載炭水車 (Tender) の重量の 10%、貨物車の重量の 17%、列車の重量の 20% 位である。

内務省規定 制動荷重は電車荷重の十分一とし、軌條面に於て軌條の方向に作用するものとする。

鐵道省規定 縦荷重は第 25 圖に示せる活荷重の二割とし、軌條面上 1.8 米の高さに作用するものとする。

縦荷重の影響を受ける構の部分は、床構 (Floor system)、路面下の横構 (Lateral system) 及床に接近せる弦である。縦荷重は縦桁より直接横構に、横構より構に傳はるが、其の弦に對する影響は未知である。鐵道構脚 (Railway trestle) に於ては、塔の縦綾構及長柱断面を決定する上に多大の影響を有するのである。

### 第七節 温度の變化及高欄に作用する推力

#### 1. 温度の變化

内務省規定 温度の變化は鋼橋に在りては  $\pm 30^\circ\text{C}$ 、鐵筋コンクリート橋に在りては  $\pm 15^\circ\text{C}$  とす。彈性恒数は鋼に在りては  $2100000 \text{ kg/cm}^2$ 、コンクリートに在りては  $140000 \text{ kg/cm}^2$  とす。温度の變化に對する伸縮係数は攝氏一度に付 0.000012 とす。

鐵道省規定 温度の變化は  $80^\circ\text{C}$ 、鋼の膨張係数は攝氏一度に付 0.000012、鋼の彈性恒数は  $2100000 \text{ kg/cm}^2$  とす。

#### 2. 高欄に作用する推力

内務省規定 (1) 一等橋に在りては、高欄長 1 米に付 70 疋。

(2) 二等橋又は三等橋に在りては、高欄長 1 米に付 50 疋。

前項の推力は高欄の頂上に於て、高欄の豎面に直角に働くものとす。

### 第八節 地震荷重

地震の際に生ずる主要動の振幅  $A$  と周期  $T$  とが判れば、其の加速度は

$$\alpha = \pm \frac{A}{2} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$$

に依つて表はさるゝ。此の  $\alpha$  を重力の加速度  $g = 9800 \text{ mm/sec}^2$  で除したものの即ち

$$k = \frac{\alpha}{g}$$

を震度と謂ふ。地震力を  $P$  とし  $W$  を物體の重量とせば  $P = kW$  となる。

地震の水平動と上下動との合成作用を表はす合震度を  $K$  とし、最大水平震度を  $k_1$ 、最大鉛直震度を  $k_2$  とせば

$$K = \frac{k_1 g}{g - k_2 g} = \frac{k_1 W}{W - k_2 W} = \frac{k_1}{1 - k_2}$$

となる。

$K$  の値は大體次の通りに定むる。

	泥砂層	砂礫其の他の良好なる地盤
古來屢々大地震に遭遇せし地域	0.40	0.20
古來大地震に遭遇せし地域	0.30	0.15
其の他の地域	0.20	0.10

合震度と物體の重量との相乗積  $KW$  が地震力として常に物體の重心に水平の方向に作用するものとする。 $K$  の値は各地方に依り異なるので規定では之を一定せず、架橋地點附近の記録を参考として其の最強地震力を推定する。上部構及下部構は總て其の重量を算出して地震力を見出し、各部の最大應力を計算しなければならぬ。