

論 說 報 告

土木學會誌 第十四卷第五號 昭和三年十月

鐵道橋による横斷の徑間割に關する考察

會員 工學士 中原 壽 一 郎

On the Economic Span Length of a Railway Bridge

By Juichiro Nakahara, C. E., Member.

内 容 梗 概

本論は鐵道省現行定規を資料とする統計の結果に基きて單線鐵道橋による横斷の經濟的徑間を論じ、更に一般橋梁横斷に對する處理方式の樹立に資せんと企てたるものなり。

Synopsis

This paper discusses the economic span length of a single track railway bridge, based on the results of comparative study of bridges built according to Imp. Gov. Rwy. Specifications. An attempt is made to formulate the method of determination of such span length in a general case.

目 次

	頁
(一) 緒 言	1
(二) 統計資料	2
(三) 橋桁の重量及橋脚の體積	3
(四) 經濟的橋脚中心間決定條件	3
(五) 應用例	6

(一) 緒 言

鐵道線路若くは道路が河川或は凹地に於て橋梁横斷を必要とする場合、該架橋地點に於ける舟運、洪水、其の他に之に類する事情に因りて橋梁の徑間割の決定せらるゝものに對しては固より論外なりとすれども、横斷をして單に經濟的たらしむるを必要とする場合、其の徑間割をして如何に處理すべきかは相當重要な問題なりと思惟す。

従來此の問題に對する通念は下に記す二項、即ち

- (1) 上部構造費と下部構造費とを等しからしむるが如き徑間を以て經濟的なりとす。
- (2) 橋脚高き場合、或は其の基礎工困難なる場合、概して長徑間横斷を有利なりとす。

にして前者は稍獨斷的假定に立脚するもの、後者は單に抽象的概念たるに止まり。

從て横斷費を左右すべき數多の因子を綜合し以て經濟的横斷を計畫せんとせば幾多設計の比較を要し、從て又之に要する勞力を豫期せざるべからざるべし。

之を要するに今日橋梁横斷の計畫に當りこれに資すべき合理的處理方式に關する研究極めて稀なるが如し。

著者は茲に橋梁横斷處理方式の樹立、從て計畫に要する勞力遞減の意味に於て、鐵道省現行定規類を資料とする統計の結果に基き單線鐵道橋による大横斷に對する經濟的徑間に關し考察を試んとす。

(二) 統計資料

攻究の基礎たるべき統計の資料を示さば次の如し。

上部構造

E33 上路鈹桁定規 (鐵道省達第五四〇號 大正 8 年 6 月)

徑間 20 呎, 25 呎, 30 呎, 40 呎, 50 呎, 60 呎, 70 呎, 80 呎

代表的下路構桁

徑間 100 呎, 150 呎, 200 呎, 300 呎,

E40 上路鈹桁定規 (鐵道省達第九四號 大正 9 年 2 月)

徑間 20 呎, 25 呎, 30 呎, 40 呎, 50 呎, 60 呎, 70 呎, 80 呎

代表的下路構桁

徑間 100 呎, 150 呎, 200 呎, 300 呎,

(但し 300 呎は山陰線保津川橋梁徑間 280 呎より推定)

下部構造

E33 上路鈹桁用橋脚定規 (鐵道省達第五四一號 大正 8 年 6 月)

下路構桁用橋脚 (徑間 100 呎, 150 呎, 200 呎,) 大正 6 年 6 月 設甲第五八號

下路構桁用橋脚 徑間 300 呎用推定

E40 上路鈹桁用橋脚定規 (鐵道省達第一七八號 大正 9 年 7 月)

下路構桁橋脚 別に定むるところなく且つ體積に於ても大差なきを以て假に E33 用を代用す。

上路鈹桁用橋脚定規には其の斷面矩形、橢圓形、圓形の 3 種あり、各用途を異にす、而して其の體積は多少相違すれども此の問題に對しては流水の影響等を無視し、最小體積を與ふるものを採りて資料と爲す。

(三) 橋桁の重量及橋脚の體積

横斷に必要な橋桁及橋脚の線路延 1 呎當り重量及體積は附表に示すが如し。

これ等を紙上に點記せば附圖第一、第二及第三に示さるゝ如く其の配列の状態甚だ規則正しきを認む。

其の配列の状態を検するに

鈹桁の 1 呎當り重量 (w) は

$$w = K_1 + K_2 l^2 \dots\dots\dots (1)$$

構桁の 1 呎當り重量 (w) は

$$w = K_1 + K_2 l \dots\dots\dots (2)$$

なる式を以て表はし得べく、橋脚にありては鈹桁用と構桁用との間に不連続點あるを以て別式にすべきは當然なれども孰れもこれ等の延 1 呎當り體積 (v) は

$$v = K_3 l^{-y} \dots\dots\dots (3)$$

なる式によりて大差なく表し得べきを認む。

注意 上 3 式中 K_1 K_2 及 K_3 は定數にして l は橋脚中心間なりとす。

今附表の資料より w , v の式を導かば下記の如し。

橋桁の線路延長 1 呎當り重量 (英噸/呎)

鈹桁(E33)	$w_{33} = 0.12 + 0.000186 l^{0.52}$
(E40)	$w_{40} = 0.14 + 0.000242 l^{0.61}$
構桁(E33)	$w_{33} = 0.293 + 0.00241 l$
(E40)	$w_{40} = 0.273 + 0.0030 l$

橋脚の線路延長 1 呎當り體積 (立坪/呎)

	E33 鈹桁用	E40 鈹桁用	E33 及 E40 構桁用
$H=20$ 呎	$v = 0.81 l^{-0.646}$	$v = 1.62 l^{-0.762}$	$v = 0.468 l^{-0.355}$
30	$v = 1.12 l^{-0.549}$	$v = 2.79 l^{-0.725}$	$v = 1.006 l^{-0.331}$
40	$v = 1.68 l^{-0.531}$	$v = 4.03 l^{-0.697}$	$v = 1.655 l^{-0.404}$
50	$v = 2.53 l^{-0.539}$	$v = 5.28 l^{-0.669}$	$v = 2.728 l^{-0.421}$
60	$v = 3.68 l^{-0.555}$	$v = 6.56 l^{-0.647}$	$v = 3.951 l^{-0.440}$

橋脚軀體の體積を表す式 $v = K_3 l^{-y}$ 中 K_3 及 y は軌條面より橋脚軀體底面に至る高さ (H) によりて異なる定數なりとす。仍ち H を横距とし夫々 K_3 , y を縦距として上式に現れたる K_3 及 y の値を點記せば附圖第四、第五及第六を得。任意の高さを有する横斷に對し $v = K_3 l^{-y}$ なる式は上圖表を利用することにより容易に求め得べし。

(四) 經濟的橋脚中心間決定條件

經濟的橋脚中心間は

採用せらるべき構造形式並に工事方法

橋脚の高低

工用材料の價格

橋脚基礎の良否

等諸々の因子に支配せらる、從て横斷が眞に經濟的なるが爲にはこれ等諸因子による經濟關係をして完全に満足せしめざるべからず。

今統計資料に示したる構造形式即ち單線式鋼桁及構桁による横斷に就きて考ふるに、橋桁の高低及徑間の如何に關せず上部構造重量並に橋脚軀體の體積は前項記載の結果より容易に推定し得べきを以て横斷地點の情勢に即し適當に材料並に工事費の單價を見積らば横斷費中橋脚基礎工を除外せる部分に對してはこれを容易に算定するを得べし。而して橋脚基礎は主として横斷地點の地質、水深及工事遂行の緩急等に關するものにしてこれ等情勢の如何によりて著しき差異あるや明なり、即ち堅固なる岩盤に於けるが如く工費概して極めて僅少なるものより杭打基礎、井筒基礎、壓搾空氣潛函基礎等其の工法、從て又其の工費一ならず、斯の如く情勢によりて異なる基礎工費を如何に取扱ふやに相當考慮の必要ありとすれども假に橋脚軀體工費の幾倍に當るやを推定し得ば問題の處理上甚だ好都合にして、相當嚴密なる地質其他地方事情調査の結果によりて比較的正確に見積り得べきを信ず。

仍ち今

C_s ; 上部構造の單價 圓/噸(上部構造材料費、製作費、工場より現場迄の輸送費、架設費、塗料塗替資金等の合計)

C_c ; 橋脚構造用コンクリート工の單價 圓/立坪

F ; 橋脚基礎工費と橋脚軀體工費との比

とせば延 1 呎當り横斷費(G)は下式によりて表示し得べく

$$G = C_s(K_1 + K_2 l^a) + C_c K_3 l^{-y}(1 + F) \dots \dots \dots (4)$$

之が極小値を與ふる條件式は下の如し。

$$\frac{dG}{dl} = C_s K_2 a l^{a-1} - C_c K_3 (1 + F) y l^{-(y+1)} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

(5) 式は即ち最小横斷費を與ふべき横斷の橋脚中心間 l を與ふべき條件式なりとす。

次に横斷が經濟的に行はれたる場合下部構造費(U)と上部構造費(O)との割合は如何程なるやを檢せんに、此の關係を表はす式は(5)式より容易に導き得べし、即ち

$$C_s K_2 l^{a-1} a = C_c K_3 (1 + F) l^{-(y+1)} y$$

$$C_s K_2 l^x \frac{x}{y} = C_o K_3 l^{-y} (1 + F)$$

$$\left[C_s (K_1 + K_2 l^x) - C_s K_1 \right] \frac{x}{y} = C_o K_3 l^{-y} (1 + F)$$

$$\left[1 - \frac{K_1}{K_1 + K_2 l^x} \right] \frac{x}{y} = \frac{C_o K_3 l^{-y} (1 + F)}{C_s (K_1 + K_2 l^x)} = \frac{U}{O} \dots\dots\dots (6)$$

仍ち今 E33 及 E 40 の各定規桁が經濟的に使用せらるゝ場合 $\frac{U}{O}$ の値如何を(6)式によりて算出するに第一表並に附圖第七、第八に示す結果を得。

第 一 表

徑間 (呎)	H (呎)									
	20		30		40		50		60	
	E 33	E 40	E 33	E 40	E 33	E 40	E 33	E 40	E 33	E 40
20	0.564	.463	0.664	.484	0.636	.504	0.676	.525	0.656	.543
30	0.879	.715	1.035	.746	1.070	.777	1.054	.810	1.024	.838
40	1.148	.931	1.373	.971	1.397	1.011	1.376	1.054	1.336	1.090
50	1.366	1.110	1.608	1.153	1.662	1.206	1.637	1.257	1.590	1.300
60	1.546	1.256	1.819	1.310	1.881	1.364	1.853	1.422	1.800	1.470
70	1.689	1.374	1.987	1.434	2.054	1.493	2.024	1.556	1.965	1.609
80	1.809	1.475	2.123	1.539	2.200	1.602	2.163	1.670	2.105	1.727
100	1.315	1.518	1.215	1.403	1.155	1.334	1.075	1.242	1.039	1.200
150	1.590	1.786	1.470	1.651	1.397	1.569	1.300	1.461	1.257	1.412
200	1.778	1.961	1.644	1.813	1.563	1.723	1.455	1.604	1.406	1.550
300	2.024	2.180	1.872	2.016	1.779	1.916	1.656	1.733	1.601	1.724

以上の結果より次記二項を斷じ得べし。

- (1) 經濟的横斷に於ける 下部構造費對上部構造費の 比は徑間長するに 從て次第に増加す。
- (2) 上部構造費と下部構造費とが同等なる場合、即ち其の比 1.0 なるが如き横斷を以て 經濟的なりとせる考へは修正せらるゝを要す。即ち經濟的徑間を採用せる場合、下部構造費對上部構造費の比 $\left(\frac{U}{O}\right)$ は常に必ず 1.0 なるに非ず、小徑間有利なる場合にありては約 0.5、大徑間 (例へば 300呎) 有利の場合にありては約 2.0 以上なることあり。

更に此の關係につきて具體的説明を試む、例へば(附圖第八参照) E 40 横斷に於て H=20 呎のとき徑間 40 呎が使用せられ横斷が眞に經濟的に遂行せられたる場合にありては U/O は 0.93 なりと斷じ得べく、H=20 呎の箇所徑間 200 呎が使用せられ眞に經濟的なる場合 U/O は 1.96 なりと斷じ得べし。更に H=20 呎の箇所に 40 呎が採用せられ U/O が 0.93 とな

り、又 200 呎を使用して U/O が 1.96 なる場合、該横斷は共に經濟的に計畫せられたりと斷じ得べし。

(五) 應 用 例

(1) 下記諸條件の下に經濟的橋脚中心間 (l) を算定し併せて經濟程度を知らんが爲、横斷費に關する運算を試む。

條件：—

荷重 $E40$

H ; 軌條面より橋脚軀體底面に至る高さ 26 呎

C_s ; 上部構部の單價 235 圓/噸

C_c ; 下部構造用混凝土工の單價 160 圓/立坪

F ; 橋脚基礎工費と軀體工費との比 3

$$E40 \text{ 鋼桁重量} \dots\dots\dots w = K_1 + K_2 l^2 \\ = 0.14 + 0.000242 l^{2.01}$$

$$\text{橋脚體積(附圖第五利用)} \dots v = K_3 l^{-y} \\ = 2.30 l^{-0.74}$$

$$C_s K_2 l^{2.01} - C_c K_3 (1 + F) y l^{-(y+1)} = 0$$

$$235 \times 0.000242 \times 1.61 l^{0.01} - 160 \times 2.30 (1 + 3) \times 0.74 l^{-1.74} = 0$$

$$0.0915607 l^{0.10} - 1089.28 l^{-1.74} = 0$$

$$\therefore l = 54$$

即ち最も經濟的なる橋脚中心間 (l) は約 54 呎なりと算定せらる。

次に $l = 54$ 呎の場合及これが前後二、三の定規桁使用の場合に要する横斷費を (4) 式により算出す。

$$G = C_s (K_1 + K_2 l^2) + C_c K_3 l^{-y} (1 + F) \\ = 235 (0.14 + 0.000242 l^{2.01}) + 160 \times 2.30 l^{-0.74} (1 + 3) \\ = 32.9 + 0.05687 l^{2.01} + 1472 l^{-0.74}$$

徑間 25 呎 ($l = 28.83$)	$G = 168.00$ 圓/呎
” 30 ($l = 34.00$)	$G = 157.82$
” 40 ($l = 44.50$)	$G = 147.27$
” $l = 54$	$G = 144.80$
” 50 ($l = 54.83$)	$G = 144.81$
” 60 ($l = 65.23$)	$G = 147.25$
” 70 ($l = 75.67$)	$G = 153.06$
” 80 ($l = 86.25$)	$G = 161.66$

これ等の値を圖示せば附圖第九の如し。

〔備考〕 算式中 F 即ち $\frac{\text{橋脚基礎工費}}{\text{橋脚軀體工費}}$ の數値は橋脚中心間の決定に重要な地位を占むるが故にこれが推定は横斷地點の情勢と對照して慎重に行はるべきものなり。これの算定には最初相當の徑間が假想せらるべきものなれども、計上せられたる經濟的橋脚中心間にして當初の假定を相去る遠き場合にありては更にこれに對して F の値を推定し、經濟的橋脚中心間に關し檢算を行ふの必要あるべし。

(2) E33 鈹桁横斷の經濟的橋脚中心間(l)を求む、但し

$C_s = 240$ 圓/噸, $C_c = 150$ 圓/立坪と假定す。運算の結果附圖第十を得。

(3) E40 鈹桁横斷の經濟的橋脚中心間(l)を求む、但し

$C_s = 240$ 圓/噸, $C_c = 150$ 圓/立坪と假定す。運算の結果附圖第十一を得。

(4) E33 構桁横斷の經濟的橋脚中心間(l)を求む、但し

$C_s = 390$ 圓/噸, $C_c = 150$ 圓/立坪と假定す。運算の結果附圖第十二を得。

(5) E40 構桁横斷の經濟的橋脚中心間(l)を求む、但し

$C_s = 390$ 圓/噸, $C_c = 150$ 圓/立坪と假定す。運算の結果附圖第十三を得。

(6) E33 鈹桁による最小横斷費を求む、但し

$C_s = 240$ 圓/噸, $C_c = 150$ 圓/立坪と假定す。運算の結果附圖第十四を得。

(7) E40 鈹桁による最小横斷費を求む、但し

$C_s = 240$ 圓/噸, $C_c = 150$ 圓/立坪と假定す、運算の結果附圖第十五を得。

(完)

附表

橋桁の重量及橋脚の體積

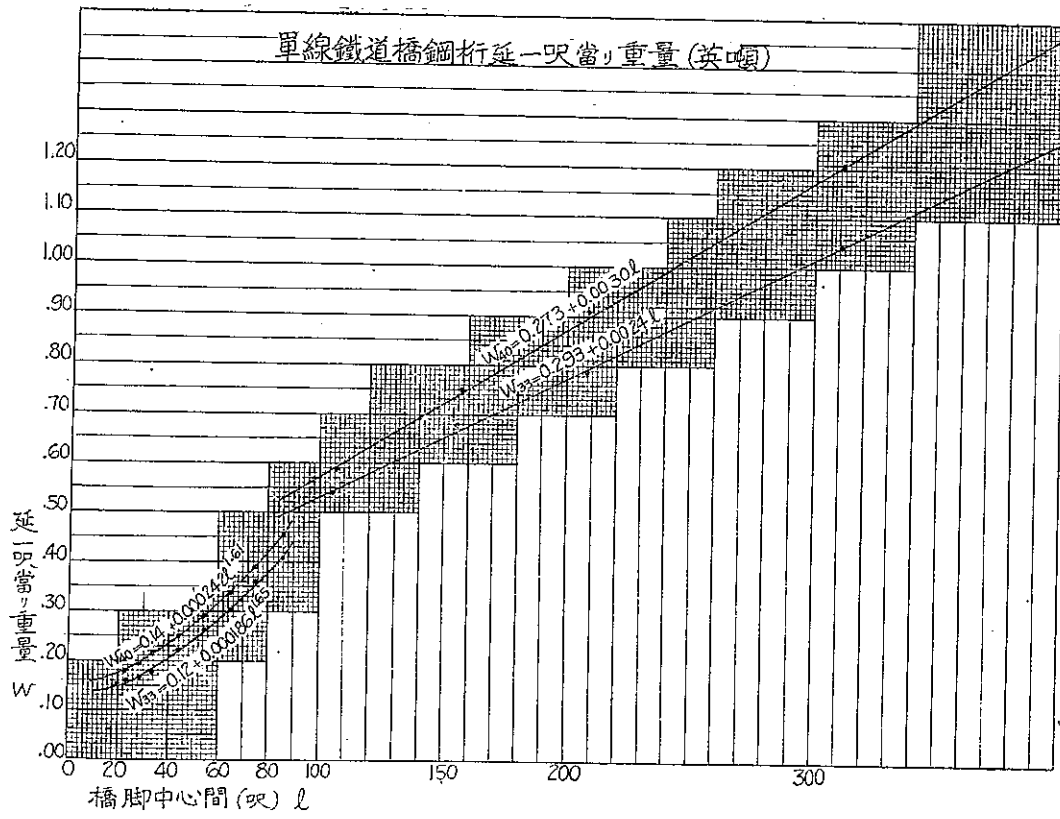
H は軌條面より橋脚底面迄(呎)

欄中上位に記すは總重量(英噸)或は總體積(立坪)

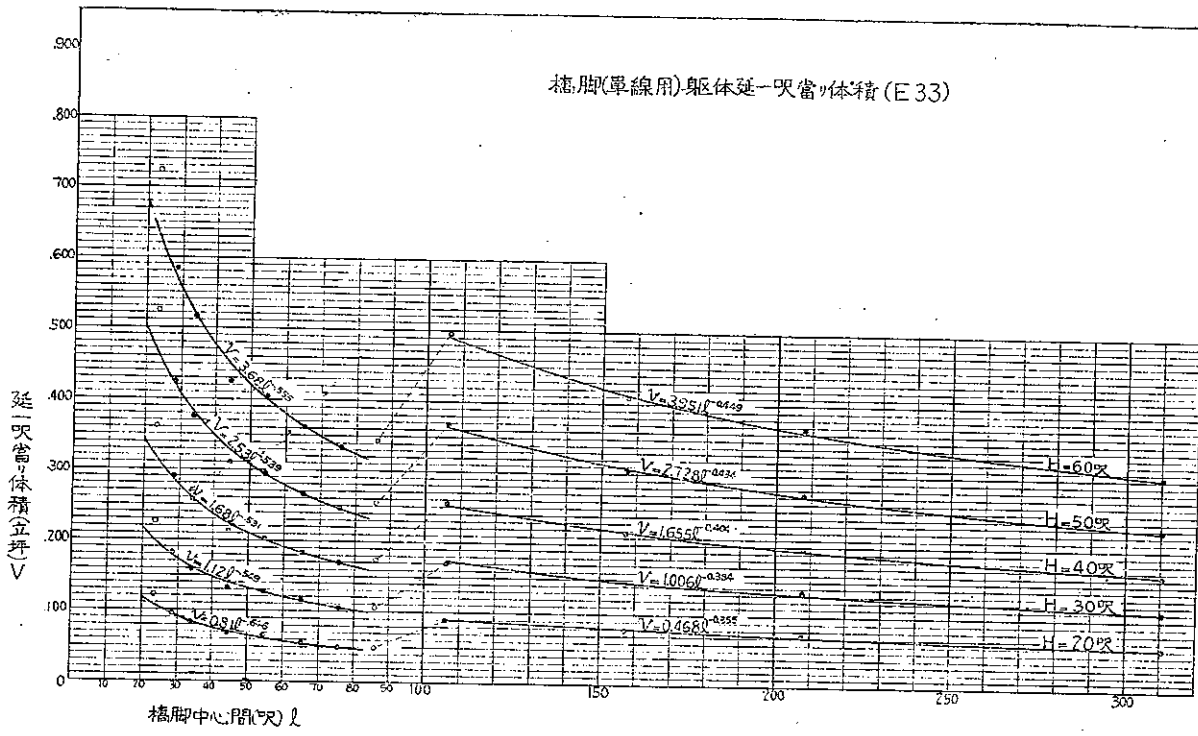
下位に記すは延1呎當り重量(英噸)或は體積(立坪)

徑間(呎)		20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200	300	
橋脚中心間		23.67	28.83	34.00	44.50	54.83	65.33	75.67	86.25	106.38	157.50	208.17	310.75	
橋桁重量	E33用	3.721 0.1572	4.777 0.1657	6.043 0.1777	9.923 0.2230	14.463 0.2638	19.755 0.3024	27.316 0.3609	35.185 0.4079	56.481 0.5309	106.683 0.6774	164.600 0.7907	328.124 1.0559	
	E40用	4.195 0.1772	5.625 0.1951	7.322 0.2154	11.117 0.2498	16.037 0.2925	22.112 0.3386	29.538 0.3904	39.366 0.4564	61.904 0.5819	117.449 0.7457	187.881 0.9025	376.000 1.2100	
H 形状														
橋脚の體積	20	矩	3.06 0.129	3.06 0.106	3.11 0.091	3.27 0.735	3.60 0.066	3.72 0.057	3.80 0.050	4.33 0.050				
		圓	3.13 0.134	3.23 0.112	3.27 0.096	3.58 0.080	3.99 0.073	4.25 0.065	4.42 0.058	5.10 0.059	9.57 0.0899	12.34 0.0784	15.51 0.0745	18.84 0.0606
	30	矩	5.87 0.248	5.92 0.205	6.07 0.178	6.48 0.146	7.25 0.132	7.66 0.118	7.93 0.105	9.14 0.106				
		圓	5.93 0.250	6.14 0.212	6.30 0.185	6.79 0.152	7.60 0.133	8.08 0.124	8.40 0.111	9.65 0.112	17.98 0.169	22.95 0.146	28.63 0.138	34.39 0.111
	E33 40	矩	9.48 0.400	9.58 0.332	9.86 0.290	10.55 0.237	11.81 0.213	12.54 0.192	13.03 0.172	14.99 0.174				
		圓	9.44 0.398	9.82 0.340	10.10 0.297	11.19 0.250	12.73 0.232	13.93 0.214	14.74 0.195	17.31 0.201	27.31 0.257	33.92 0.215	41.36 0.199	51.35 0.165
	50	矩	14.01 0.591	14.14 0.490	14.57 0.428	15.55 0.348	17.38 0.316	18.45 0.283	19.19 0.253	21.96 0.254				
		圓	13.81 0.584	14.33 0.496	14.74 0.434	16.29 0.365	18.52 0.338	20.23 0.310	21.40 0.283	25.04 0.294	39.10 0.363	48.04 0.305	57.54 0.276	71.61 0.230
	60	矩	19.52 0.825	19.72 0.682	20.29 0.599	21.62 0.485	24.06 0.440	25.50 0.391	26.49 0.350	29.79 0.346				
		圓	18.99 0.800	19.74 0.685	20.28 0.598	22.33 0.500	25.31 0.460	27.59 0.422	29.15 0.385	33.97 0.394	52.90 0.497	64.53 0.410	77.28 0.371	95.03 0.306
	E40 20	矩	17.15 0.725	16.92 0.586	17.55 0.516	18.94 0.425	22.19 0.405	23.74 0.363	25.56 0.337					
		圓	3.91 0.165	3.92 0.136	3.95 0.116	4.13 0.0928	4.11 0.0749	4.38 0.0671	4.31 0.0569	4.82 0.0559				
	30	矩	3.73 0.157	3.77 0.131	3.83 0.113	4.17 0.0938	4.57 0.0833	5.07 0.0777	5.33 0.0704	5.88 0.0682	9.57 0.0899	12.34 0.0784	15.51 0.0745	18.84 0.0606
		圓	4.74 0.200	4.83 0.167	4.62 0.136	4.62 0.104	4.61 0.0840	4.97 0.0761	4.90 0.0648					
	E40 30	矩	7.37 0.311	7.46 0.259	7.59 0.223	8.01 0.180	8.18 0.149	8.85 0.135	8.96 0.118	10.20 0.118				
		圓	6.98 0.295	7.11 0.247	7.27 0.214	8.01 0.180	8.84 0.161	10.01 0.153	10.71 0.142	11.99 0.139	17.98 0.169	22.95 0.146	28.63 0.138	34.39 0.111
	40	矩	11.70 0.494	12.02 0.417	12.23 0.360	12.95 0.291	13.33 0.243	14.48 0.222	14.76 0.195	16.78 0.195				
		圓	11.08 0.468	11.35 0.394	11.64 0.342	12.80 0.288	14.23 0.258	16.06 0.246	17.25 0.228	19.40 0.225	27.31 0.257	33.92 0.215	41.36 0.199	51.35 0.165
	50	矩	13.01 0.550	13.41 0.465	13.14 0.387	13.32 0.299	13.61 0.248	15.07 0.231	15.32 0.202					
		圓	16.66 0.704	17.42 0.604	17.91 0.527	19.06 0.428	19.70 0.359	21.38 0.327	21.84 0.289	24.72 0.287				
	60	矩	15.72 0.664	16.25 0.564	16.98 0.500	18.65 0.419	20.57 0.375	23.31 0.357	25.05 0.331	28.08 0.326	39.10 0.368	48.04 0.305	57.54 0.276	71.61 0.230
		圓	18.28 0.772	18.85 0.654	18.56 0.546	19.05 0.428	19.43 0.354	21.52 0.329	21.93 0.290					
	E40 50	矩	22.13 0.935	23.47 0.814	24.38 0.717	26.00 0.598	27.57 0.503	29.80 0.456	30.45 0.402	34.26 0.397				
		圓	20.83 0.880	21.79 0.756	23.20 0.682	25.48 0.573	28.39 0.518	31.78 0.486	34.34 0.454	38.34 0.444	52.90 0.497	64.53 0.410	77.28 0.371	95.03 0.306
E40 60	矩	24.21 1.023	25.11 0.871	24.76 0.728	25.62 0.576	26.36 0.481	29.12 0.446	29.70 0.392						
	圓													

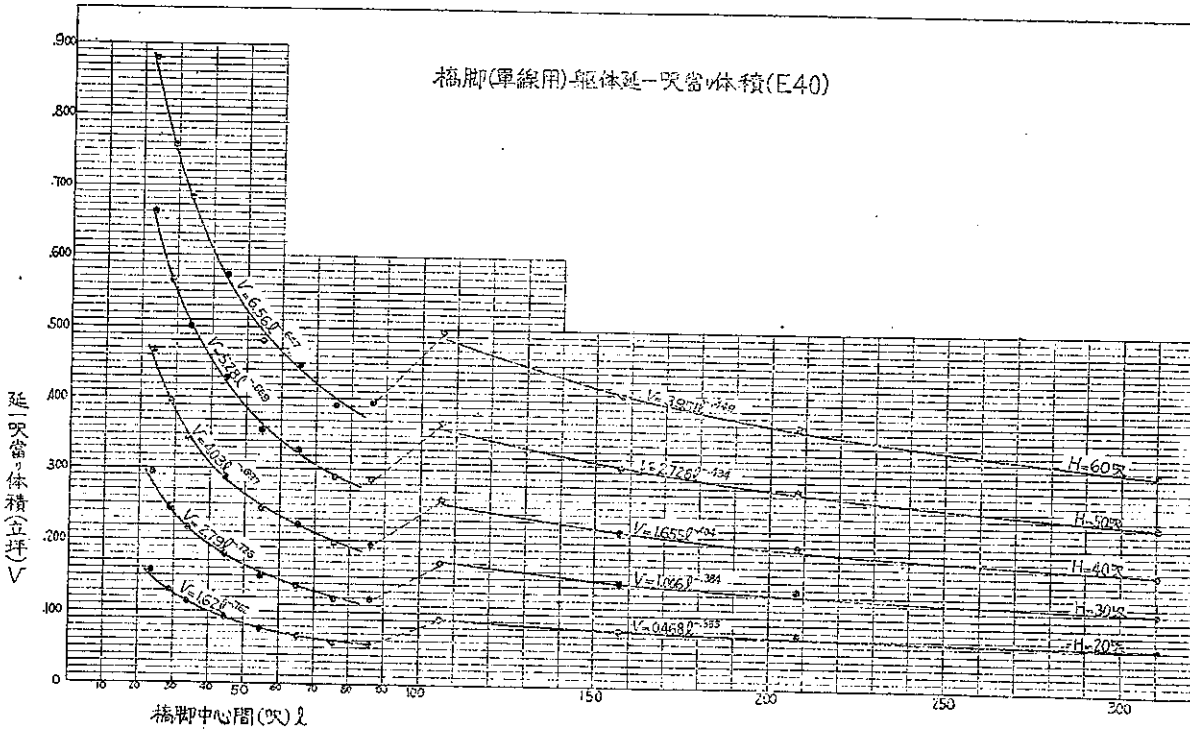
附圖第一



附圖第二

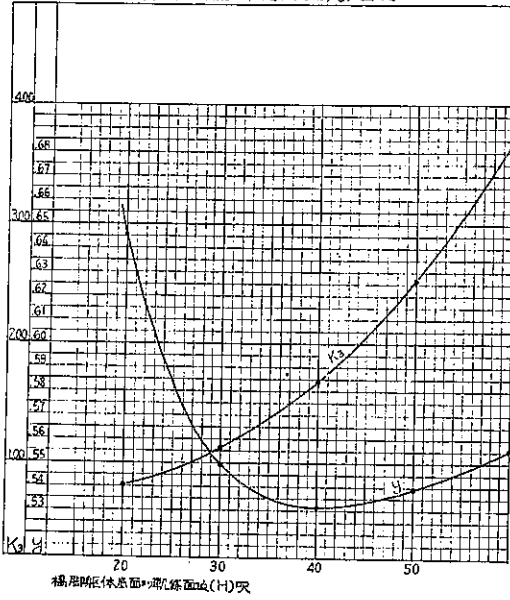


附圖第三



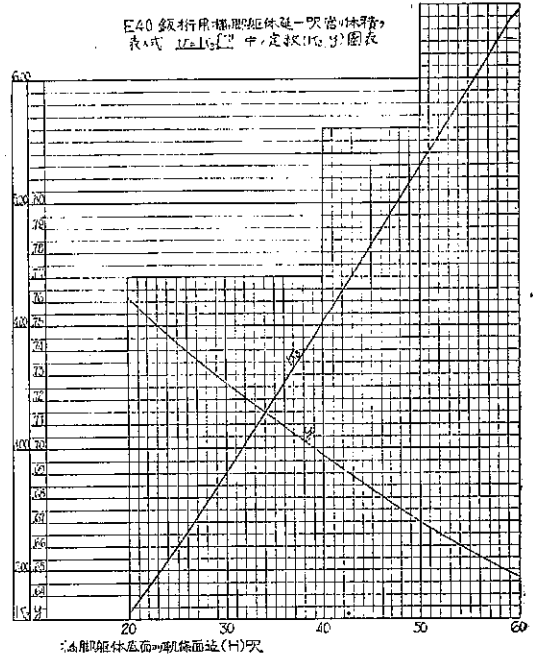
附圖第四

E33 級桁用橋脚軀體延一次當體積
表式 $V=K_1x^2$ 中定數 (K_1, y) 圖表



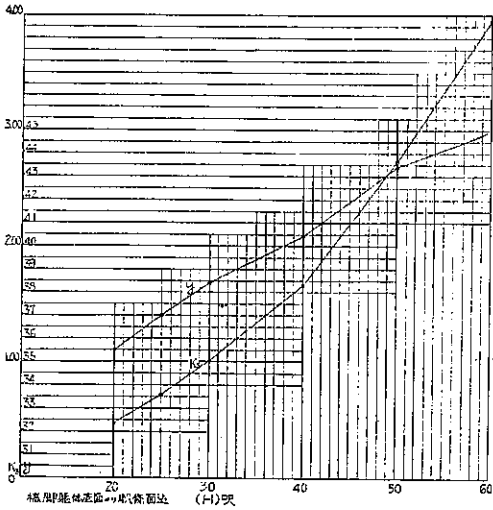
附圖第五

E40 級桁用橋脚軀體延一次當體積
表式 $V=K_1x^2$ 中定數 (K_1, y) 圖表



附圖第六

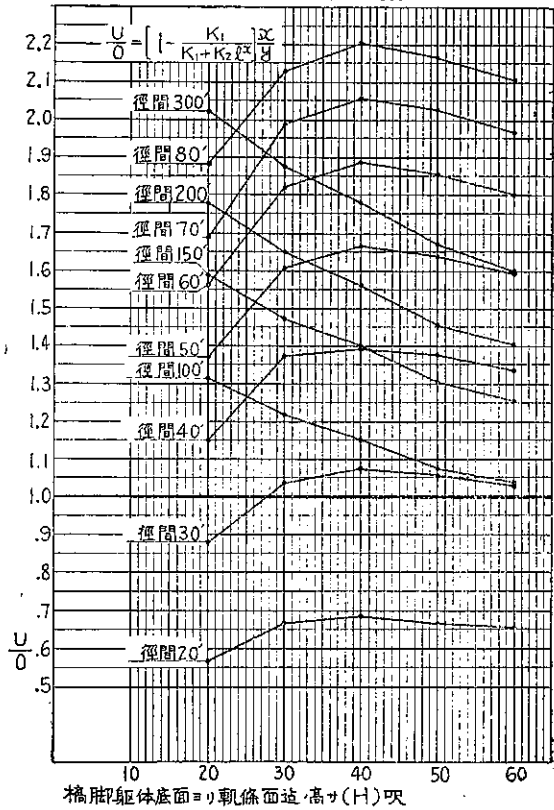
橋脚用橋脚(單線用)軀體延一次當體積
表式 $V=K_1x^2$ 中定數 (K_1, y) 圖表



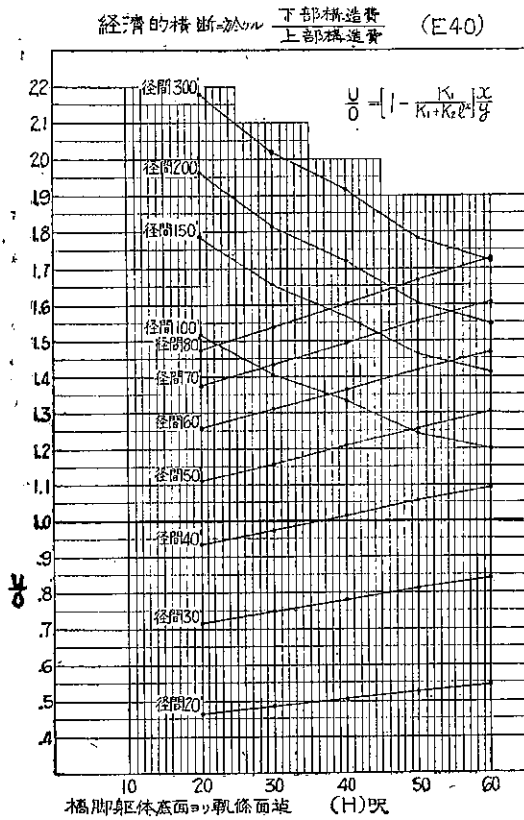
(土木學會誌第十四卷第五圖附圖)

附圖第七

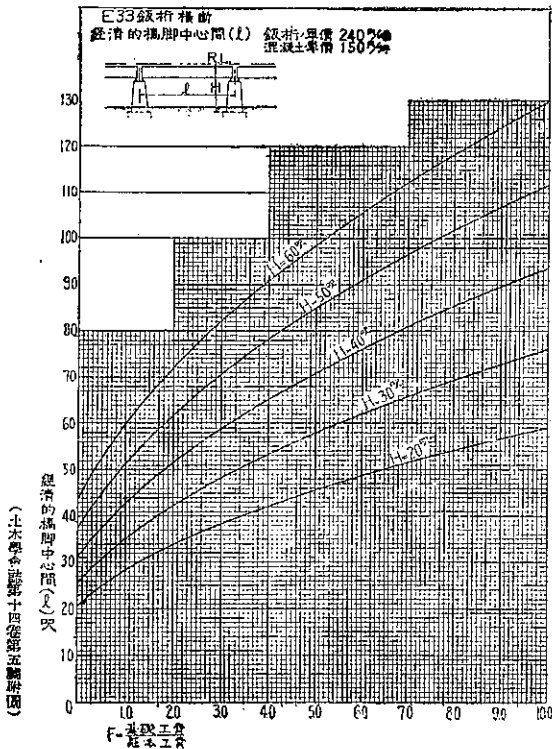
經濟的橋斷於 $\frac{U}{O}$ 下部構造費 (E33)
上部構造費



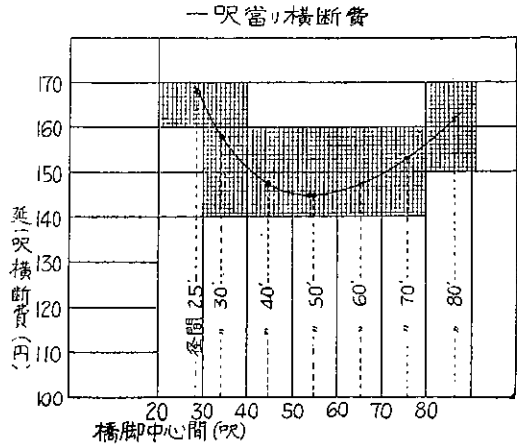
附圖第八



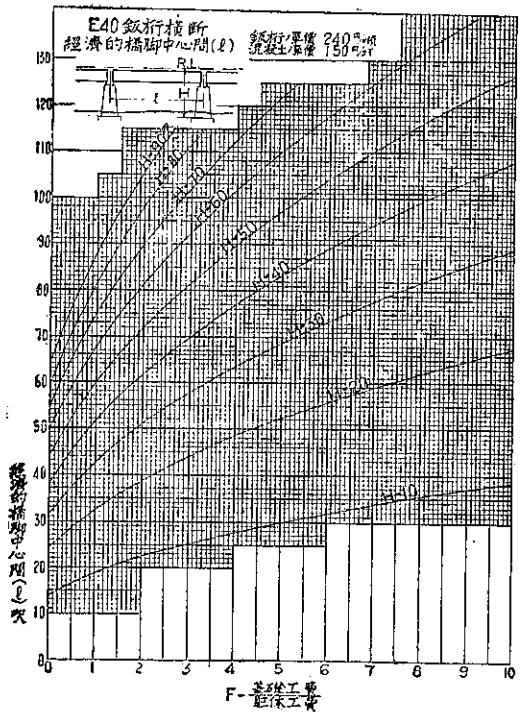
附圖第十



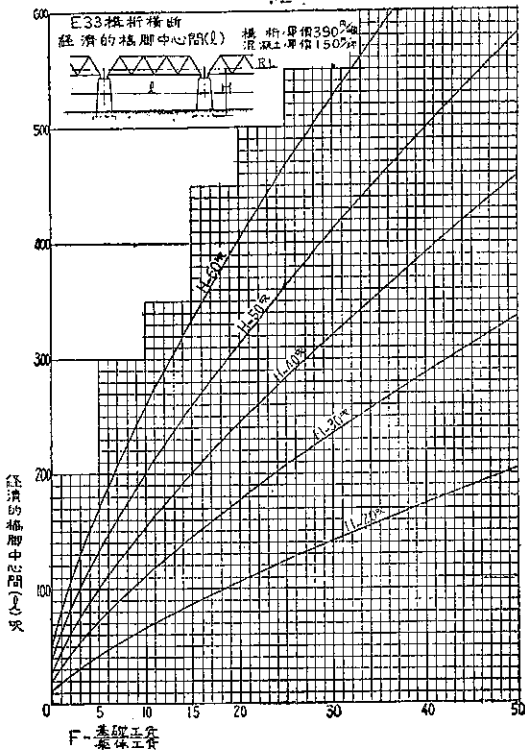
附圖第九



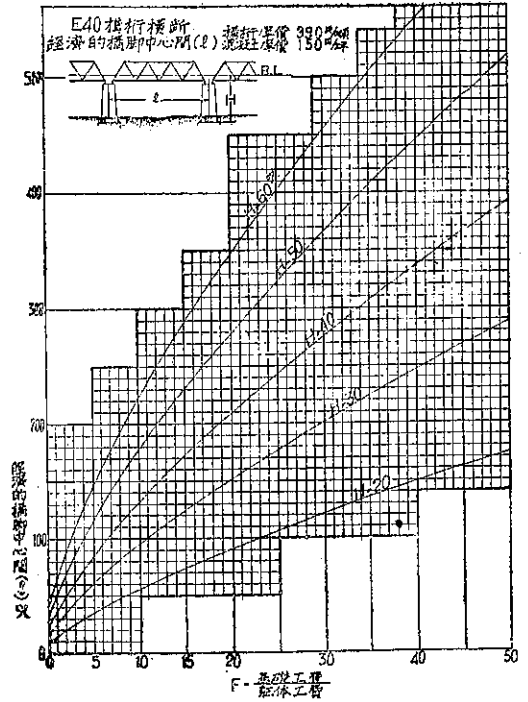
附圖第十一



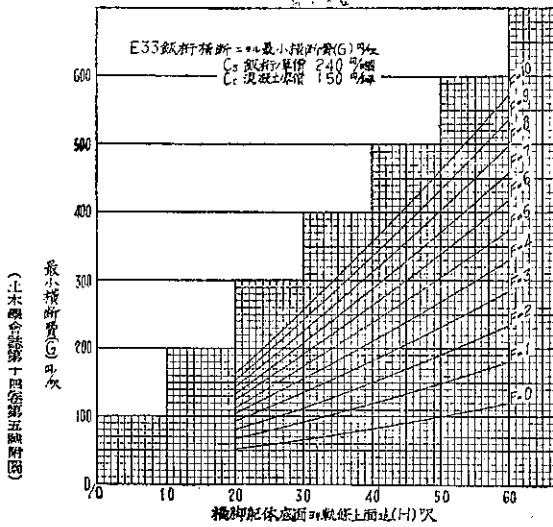
附圖第十二



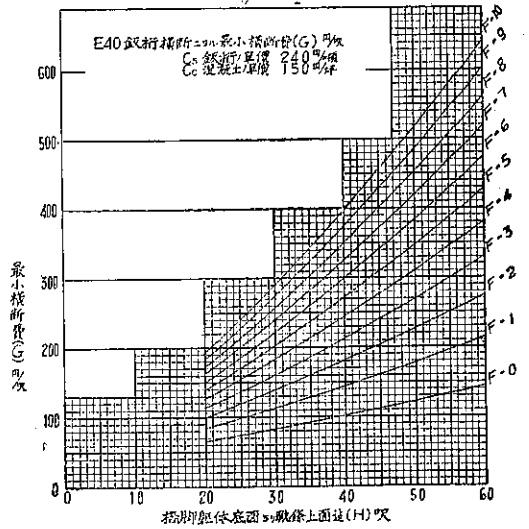
附圖第十三



附圖第十四



附圖第十五



(日本學會誌第四卷第五附圖)