

論 說 報 告

土木學會誌 第十四卷第六號 昭和三年十二月

鋼索型跳上橋の一考案

會員 山本 卯太郎

Remarks on Steel-Link Bascule Bridge

By Utaro Yamamoto, Member.

内 容 梗 概

本稿は昭和3年7月香川縣坂出町に架設せし鋼索型跳上橋の設計要項及架設工事に就き其の概要を説述せるものなり。

Synopsis

This paper presents the essential points of the design and erection of the steel-link bascule bridge built at Sakaide, Kagawa Prefecture in July, 1923.

目 次

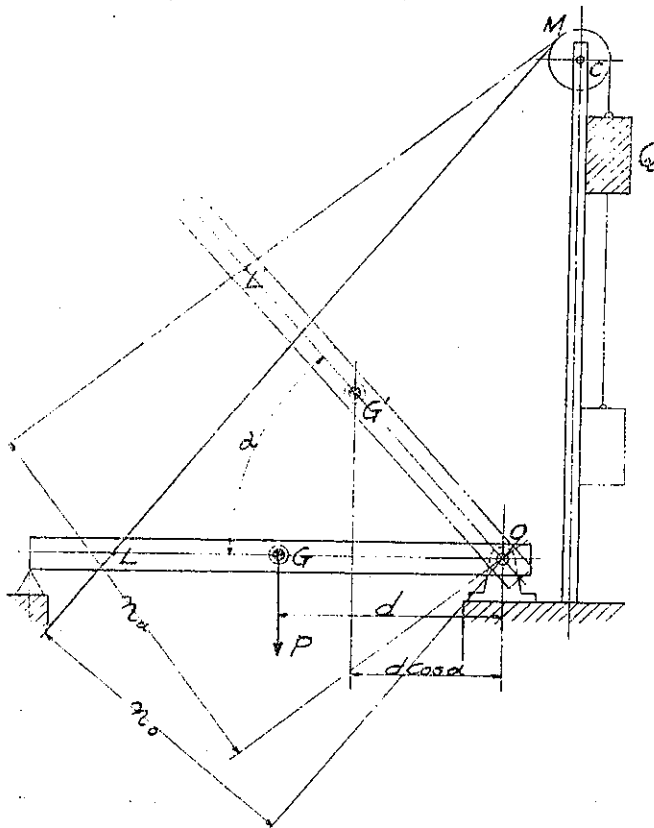
第一章 緒言	1
第二章 數學的解説	2
第三章 實地應用	8
第四章 架設工事概況	11

第一章 緒 言

余は大正4年米國に渡航して専ら可動橋、可動閘門、起重機等凡て商港の荷役に必要な工事の設計、製作並に施工法を研究して歸朝し漸次此の種の諸工事を完成した次第である。米國では既に22年前低水位河川法が制定せられ、何れの港に對しても又港に直面せる河川及運河上にも其の必要と否とを問はず、一旦緩急の場合には橋梁中の一部分を可動橋として一面陸上の交通に、一面は水上の利用に便して居る状態である。我國に於てもかかる法案の制定が促進せられ一日も早く之を實施されたいものである。然らば即ち可動橋の應用に依つて河川及運河は港の延長となり客貨の集散を便にするのみならず、從來有利に利用出来な

つた地面を變じて一大工業又は商業地域に化せしめ以て地價の暴騰を來たすなど思はざる利益を與へる如きことが益々多くなること、信じて已まない次第である。可動橋には諸種の様式があつて其の選定方針としては橋上通過荷重及度數の如何はもとより可動徑間の大小、地盤の軟弱程度、水上通航船舶の大小及數量、最高滿潮又は洪水位及架設地方風速及其の方向の如何並に都市の美觀、橋體上下の速度及度數等を熟慮しなくてはならぬ。自分の知つてゐる形式丈でも其の種類が四十有餘に達して居るが最經濟的にして多く用ひらるゝものは跳上橋と吊上橋である。しかし橋體操縱の點で安全、迅速なると帆柱の高さに制限なき點より跳上橋が最多く廣く用ひられてゐる。跳上橋は人道橋、人車併用橋並に鐵道専用橋等の各種の橋梁に用ひられ其の徑間 250 呎以下は片葉式を採用される（但し橋の幅員大なる處は 100 呎の徑間でも双葉式に依る事あり）。それ以上のものは双葉式を採用し其の徑間 400 呎まで 1 徑間を以て架設し得るものである。跳上橋にはストラウス式、シエラー式が主なるもので

第一圖



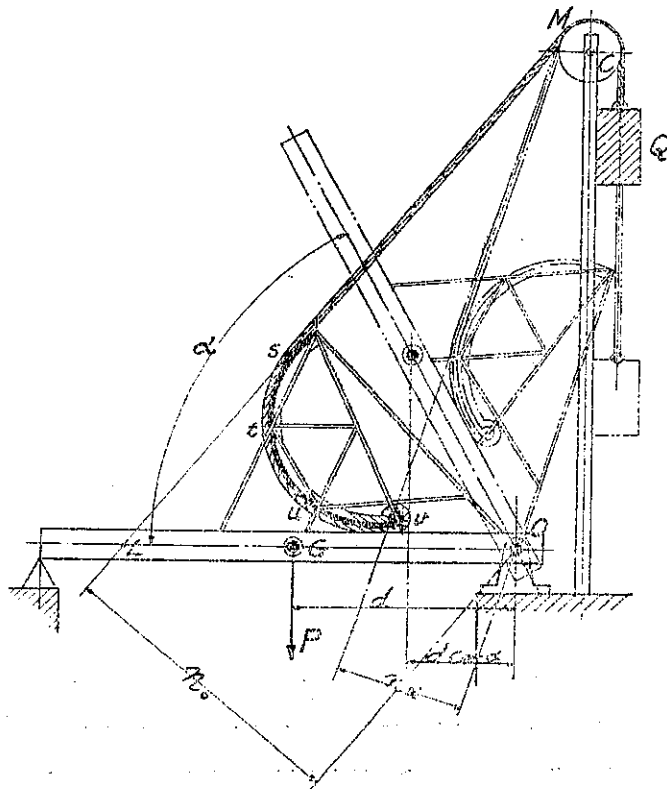
あつたが山本式跳上橋は前二者よりも橋體を操縱するモーメント・アームを 4 倍乃至 5 倍以上に増大なし得るを以て動力を輕減なし且つ装置も簡單にして經濟的に製作するを得、以下是に就て詳述する。

第二章 數學的解説

第一圖に示す如く動臂 (Buscule bridge leafs, Crane jibs) OL の一端 O を支點として之を水平の位置（支點 O 及動臂の重心 G を過ぎる直線が水平なる位置）より引揚ぐる場合に其の動力を最小ならしむる爲には、動臂の自重 P が何等かの方法によつて釣合ふことが必要である。今此の目的の

爲に第一圖に示す如く重錘 Q 及吊索 ML を装置したと考へて見る。此の場合に支點 O より自重 P の作用線及吊索 ML に至る垂直距離を夫々 d 及 n_0 としたるとき $Pd = Qn_0$ となる様 Q の値を定められたと假定する。而して動臂が α 角丈引揚げられた場合を考へて見るに支點 O より自重 P の作用線に至る垂直距離は $d \cos \alpha$ となり吊索 ML に至る垂直距離は n_α となりて $Pd \cos \alpha$ は Qn_α に決して等しくない、故に釣合はぬ。若し斯る装置に於て $n_\alpha = n_0 \cos \alpha$ となるなれば $Pd \cos \alpha = Qn_0 \cos \alpha$ 即 $Pd = Qn_0$ となりて動臂が何れの位置に引揚げらるゝも常に釣合つて居る。即ち動臂自重のモーメントは餘弦曲線で變ずる故に之と釣合ふ吊索のモーメントも亦同一の餘弦曲線で變化することが必要である。斯る考へに依つて考案を進めたものが第二圖の装置である。此の装置は圖に於て見る如く動臂上に或種

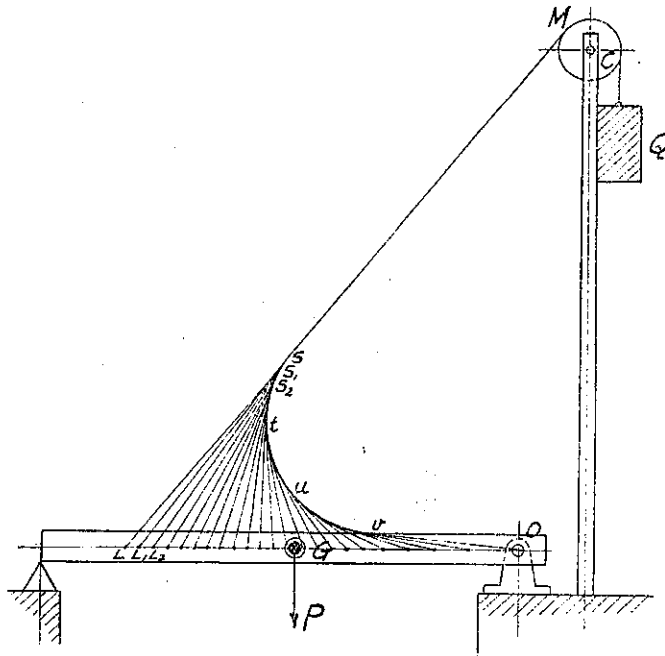
第 二 圖



の曲線 $stuv$ を有する捲胴の一部を取付けたものである、此の場合に曲線 $stuv$ が支點 O より吊索に至る垂直距離 n_α をして $n_0 \cos \alpha$ たりしむる様なものならば吊索のモーメントは所要の餘弦曲線で變化して動臂は何れの位置に於ても完全に釣合ふ。此の考案を更に進めて見

ると第三圖に示す吊索装置となる。即ち此の装置に於ては $sL_1, s_1L_1, s_2L_2, \dots$ 等の無数の吊索を重錘に至る吊索 M_s に順次に連結し、其の連結點の軌跡をして前記の特種曲線 $stuv$ を形成せしめたものである故に同じく所要の目的を達せらる。然れども第二圖及第三圖に示した處の装置は之を實際に行ふことが困難である。故に所要の目的を最も近似的に達する爲に第四圖に示す如く數個のリンクを吊索 M_s に順次に連結した装置を最後に得た。而して此の“リンク平衡装置”をなすに當つて第一に必要とするものは特種曲線 $stuv$ である。以下に此の曲線を求める方法を解析法及圖式法に依つて述べて見る。

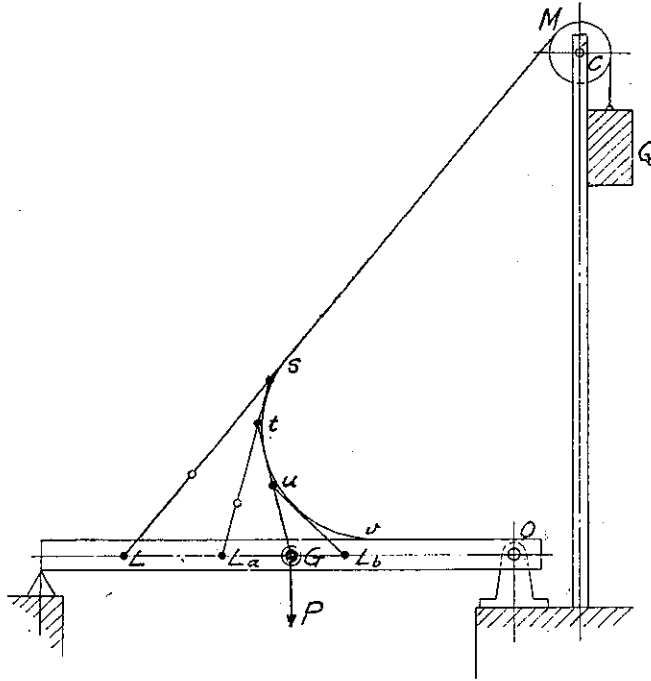
第 三 圖



(1) 解析法

前記の特種曲線 $stuv$ は 動臂が何れの位置に引揚げらるゝとも、吊索 M_s が常に此の曲線に切線にして且つ支點 O より垂直距離 n_a が動臂上昇角の餘弦曲線で變化せねばならぬ様なものである。而して此の二つの要求は吊索を掛けた溝車 C が固定して動臂が支點 O の周りに時計の針の方向に回轉する場合に就いて考へたけれども、曲線 $stuv$ を求むる爲には動臂を固定し溝車 C を支點 O の周りに時計の針と反對の方向に回轉せしむることが便利である。今第五圖に於て支點 O を原點とし支點及溝車の中心 C を過ぎる直線を y 軸と

第 四 圖



し、動臂が水平の位置より $\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$ 角丈引揚げられた場合即ち動臂が x 軸より時計の針の方向に α 角丈回轉した場合の直線 $M_\alpha S_\alpha$ の方程式は第五圖に依り、

$$\frac{\sin \varphi}{R \sin \alpha} x - \frac{\cos \varphi}{R \sin \alpha} y = 1, \quad \varphi = \alpha + \beta \text{ なる故に}$$

$$(\cos \beta + \cot \alpha \sin \beta) x + (\sin \beta - \cot \alpha \cos \beta) y = R \dots\dots\dots (I)$$

$$\sin \beta = \frac{R \sin \alpha - r}{a} \dots\dots\dots (II)$$

となる。

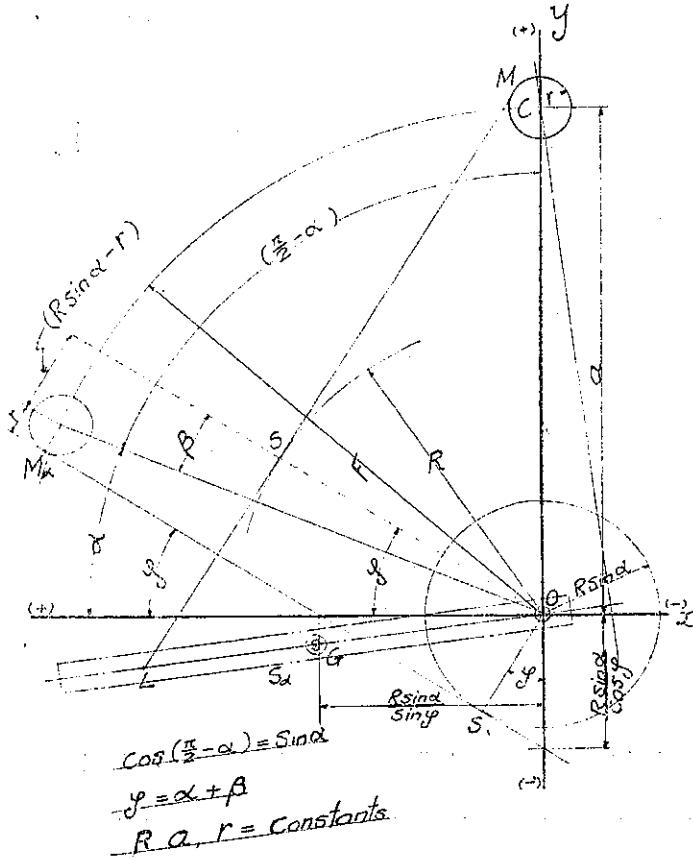
此の直線式に於て α を變通徑 (Variable parameter) として包絡線 (Envelope) を求めれば、之が即ち要求する處の特種曲線 $stuv$ である。今 (I) 式を $F(x, y, \alpha) = 0$ とせば

$$F(x, y, \alpha) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} F(x, y, \alpha) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

なる 2 式より α を消去して所要の包絡線を得。

第五圖



即 $F(x, y, \alpha) = (\cos \beta + \cot \alpha \sin \beta)x + (\sin \beta - \cot \alpha \cos \beta)y - R = 0 \dots (1)$

此處に $\sin \beta = \frac{R \sin \alpha - r}{a} \dots \dots \dots (II)$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} F(x, y, \alpha) = (-\sin \beta \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \cot \alpha \cos \beta \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} - \sin \beta \operatorname{cosec}^2 \alpha)x + (\cos \beta \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \cot \alpha \sin \beta \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \cos \beta \operatorname{cosec}^2 \alpha)y = 0$$

(II) 式より $\cos \beta \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} = \frac{R}{a} \cos \alpha$ 即 $\frac{\partial \beta}{\partial \alpha} = \frac{R \cos \alpha}{a \cos \beta}$

依つて $(-\frac{R}{a} \tan \beta \cos \alpha + \frac{R}{a} \cot \alpha \cos \alpha - \sin \beta \operatorname{cosec}^2 \alpha)x$

$$+\left(\frac{R}{a} \cos \alpha + \frac{R}{a} \cot \alpha \tan \beta \cos \alpha + \cos \beta \operatorname{cosec}^2 \alpha\right) y = 0$$

即

$$\left\{ \frac{R}{a} (\cot \alpha - \tan \beta) - \frac{\sin \beta}{\sin^2 \alpha \cos \alpha} \right\} x + \left\{ \frac{R}{a} (\cot \alpha \tan \beta + 1) + \frac{\cos \beta}{\sin^2 \alpha \cos \alpha} \right\} y = 0 \dots \dots \dots \text{(III)}$$

上記の式(I) (II) (III) より α を消去することは甚だ複雑であつて又消去し得た結果式を取扱ふことも亦不便である故に此處に求め得た三つの“通徑を含む方程式”(Parametric equation)

$$(\cos \beta + \cot \alpha \sin \beta) x + (\sin \beta - \cot \alpha \cos \beta) y = R \dots \dots \dots \text{(I)}$$

$$\sin \beta = \frac{R \sin \alpha - r}{a} \dots \dots \dots \text{(II)}$$

$$\left\{ \frac{R}{a} (\cot \alpha - \tan \beta) - \frac{\sin \beta}{\sin^2 \alpha \cos \alpha} \right\} x + \left\{ \frac{R}{a} (\cot \alpha \tan \beta + 1) + \frac{\cos \beta}{\sin^2 \alpha \cos \alpha} \right\} y = 0 \dots \dots \dots \text{(III)}$$

を以て所要の包絡線を表はす直角方程式 (Rectangular equation) とする。之を極方程式 (Polar equation) で示せば次の様になる。

$$(\cos \beta + \cot \alpha \sin \beta) \cos \theta + (\sin \beta - \cot \alpha \cos \beta) \sin \theta = \frac{R}{\rho} \dots \dots \dots \text{(I)}$$

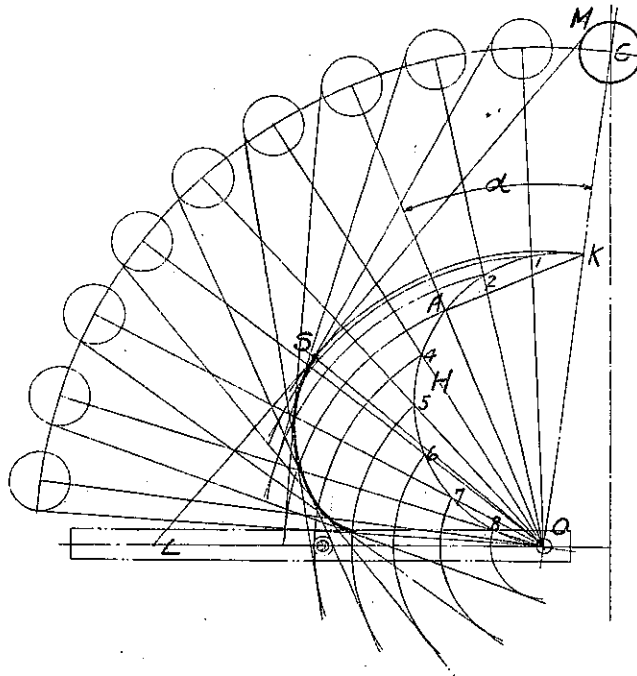
$$\sin \beta = \frac{R \sin \alpha - r}{a} \dots \dots \dots \text{(II)}$$

$$\left\{ \frac{R}{a} (\cot \alpha - \tan \beta) - \frac{\sin \beta}{\sin^2 \alpha \cos \alpha} \right\} \cos \theta + \left\{ \frac{R}{a} (\cot \alpha \tan \beta + 1) + \frac{\cos \beta}{\sin^2 \alpha \cos \alpha} \right\} \sin \theta = 0 \dots \dots \dots \text{(III)}$$

(2) 圖式法

上述の説明で示した如く動臂が水平の位置より引揚げらるゝ場合に其の回轉角の任意の位置に於て其の角の餘弦に正比例する處の圓の半徑を圖式に依つて求め得るなれば、溝車と此の圓とに切する直線(即ち吊索の位置)の群簇を畫き以て所要の包絡線を曲線定規を用ひて最も近似的に畫くことが出来る、今第六圖に於て支點 0 より吊索 MS に至る垂直距離 OS を R とし OK=OS ならしめ、OK を直徑として半圓 OHK を畫け、然らば動臂が α 角

第 六 圖



丈引揚げられた時の吊索が切すべき圓の半径は OA の長さにて表はさる。何となれば $LOAK$ は直角にして $OA = OK \cos \alpha$ なる故である。即ち支點 O より吊索に至る垂直距離は動臂の回轉角の餘弦に正比例する。

第三章 實地應用

余が最近に製作を終へ工場試運轉に於て非常の好結果を得總ての運動が設計通りに行はれた四國坂出町榮橋の“リンク平衡裝置”の包絡線を上述の圖式及方程式に依つて求めた處のものを以下に述べて見る。第七圖に於て見る如く溝車の半徑 $r = 225 \text{ mm}$ 。其の中心位置 $x_1 = 1900 \text{ mm}$ 。 $y_1 = 9600 \text{ mm}$ 。とし橋桁の構造上 E 點の位置を定めて $x_2 = 6900 \text{ mm}$ 。 $y_2 = 459 \text{ mm}$ 。となし然る後 L 點の位置及 R 、 α の値を求めた。

$$OC = a = 9786.2 \text{ mm} \quad EC = 12688.5 \text{ mm} \quad \tan \phi = 1.03875$$

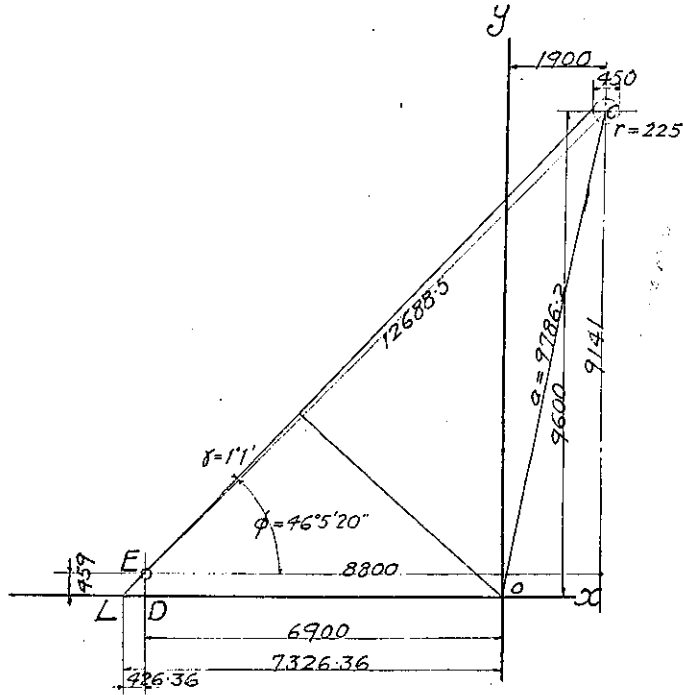
$$\sin \gamma = 0.017732 \quad \phi = 46^\circ 5' 20'' \quad \gamma = 1^\circ 1', \quad \phi + \gamma = 47^\circ 6' 20''$$

$$LD = 459 \cot 47^\circ 6' 20'' = 426.36 \text{ mm} \quad \therefore OL = 7326.36 \text{ mm}.$$

$$R = 7326.36 \sin 47^\circ 6' 20'' = 5367.3 \text{ mm}.$$

次に第八圖に於て OC を y 軸となし前記の3式に依りて所要の曲線上の點を求めて見る。

第七圖



$\alpha = 90^\circ$ なるとき (即ち橋桁が水平の位置にあるとき)

$$(I) \dots\dots x \cos \beta + y \sin \beta = R \quad (II) \dots\dots \sin \beta = \frac{R-r}{a}$$

$$(III) \dots\dots x \sin \beta - y \cos \beta = 0 \quad \text{となる}$$

夫故

$$x = \frac{R \cos \beta}{\cos^2 \beta + \sin^2 \beta} = R \cos \beta, \quad y = R \sin \beta$$

而して $\sin \beta = \frac{5367.3 - 225}{9786.2} = 0.5254645, \quad \cos \beta = 0.8508155$

故に $x = 4566.6 \text{ mm.} \quad y = 2820.4 \text{ mm.}$

$\alpha = 60^\circ$ なるとき

$$(I) \dots\dots \left(\cos \beta + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin \beta \right) x + \left(\sin \beta - \frac{1}{\sqrt{3}} \cos \beta \right) y = R$$

$$(III) \dots \dots \left\{ \frac{R}{a} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \tan \beta \right) - \frac{S}{3} \sin \beta \right\} x + \left\{ \frac{R}{a} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \tan \beta + 1 \right) + \frac{S}{3} \cos \beta \right\} y = 0$$

$$(II) \dots \dots \sin \beta = \frac{R \sqrt{3}}{2a} - \frac{r}{a} = 0.451934, \quad \beta = 26^\circ 52' 16''$$

$$\cos \beta = 0.8920256, \quad \tan \beta = 0.5066957$$

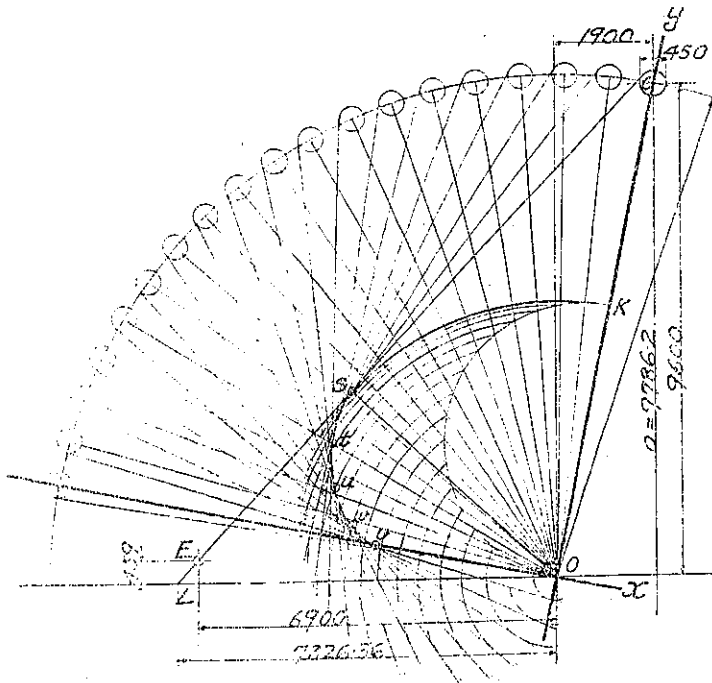
更に数値を入れて計算すれば

$$(I) \dots \dots x - 0.0546653 y = 4655.16$$

$$(II) \dots \dots x - 2.64683 y = 0$$

依つて $x = 4753.3 \text{ mm.}$ $y = 1795.9 \text{ mm.}$

第 八 圖



以下同様の計算に依つて α が $45^\circ, 30^\circ, 10^\circ$ 等の場合に就きて x, y の値を求め、此れ等の點を夫々 s, t, u, w, v とせば其の座標は次表で示すものである。

α	x	y	
$s \dots 90^\circ$	+ 566.6	2 820.4	次に圖式に依る作圖は第八圖に示してある如く $OK=5\ 367.3$ mm. に取り溝車 C を 5 度宛回轉し溝車圓及回轉角の餘弦で變ずる處の中心圓に接する共通切線を畫くことに依つて曲線 $stuv$ を得らる。而して上記の計算より得た 5 個の點 s, t, u, v, w は正確に圖式に依りて求めた曲線上にあることを見る。
$t \dots 65^\circ$	+ 753.3	1 795.9	
$u \dots 45^\circ$	+ 550.3	935.4	
$w \dots 30^\circ$	+ 104.7	275.03	
$v \dots 10^\circ$	3 549.3	-66.8	

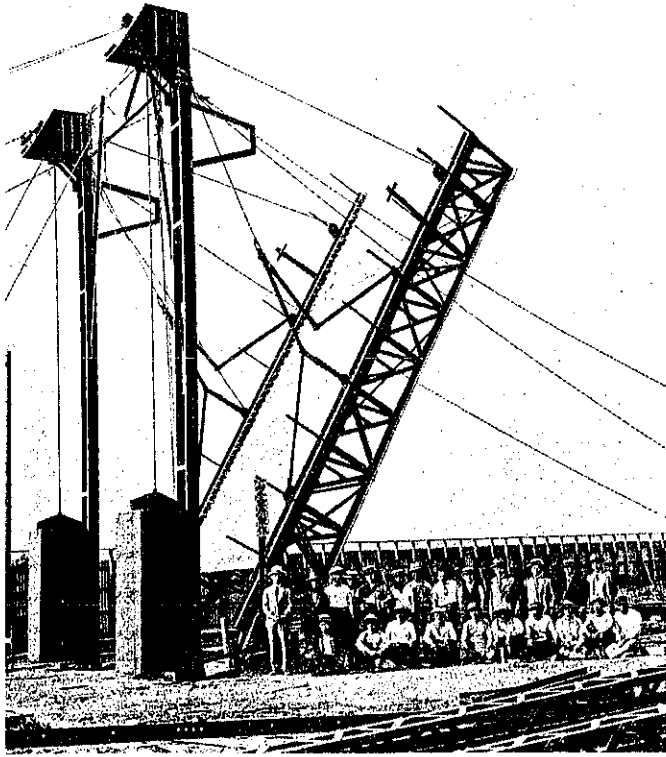
第四章 架設工事概況

本橋の架設は他に其の類例なきを以て先づ第九圖に示す如き構造となして各部を入念に製作し、且つ寫眞第一に示す通り工場内に於て出荷前に試運轉を行ひ設計通りにリンク、メンバーが動作を成すや否やの試験をなせしに電壓 250 ボルトに於て僅に 12 アンペヤーを以て終始運轉する事を得た。阪出現場に於ては可動主桁を組立て後舟に乗せ満潮時を應用して水流の位置より 90 度廻轉し一時に架設を終了した。寫眞第二は其の架設後の光景である。

本橋は支間 32 呎にして幅員 12 呎である。

上部構造は橋體及橋體運轉機械にして價格は 15 000 圓、下部構造は兩橋臺にして 10 000 圓、合計 85 000 圓なり。以て在來の可動橋に比して如何に安直なるかを知る。

寫 眞 第 一

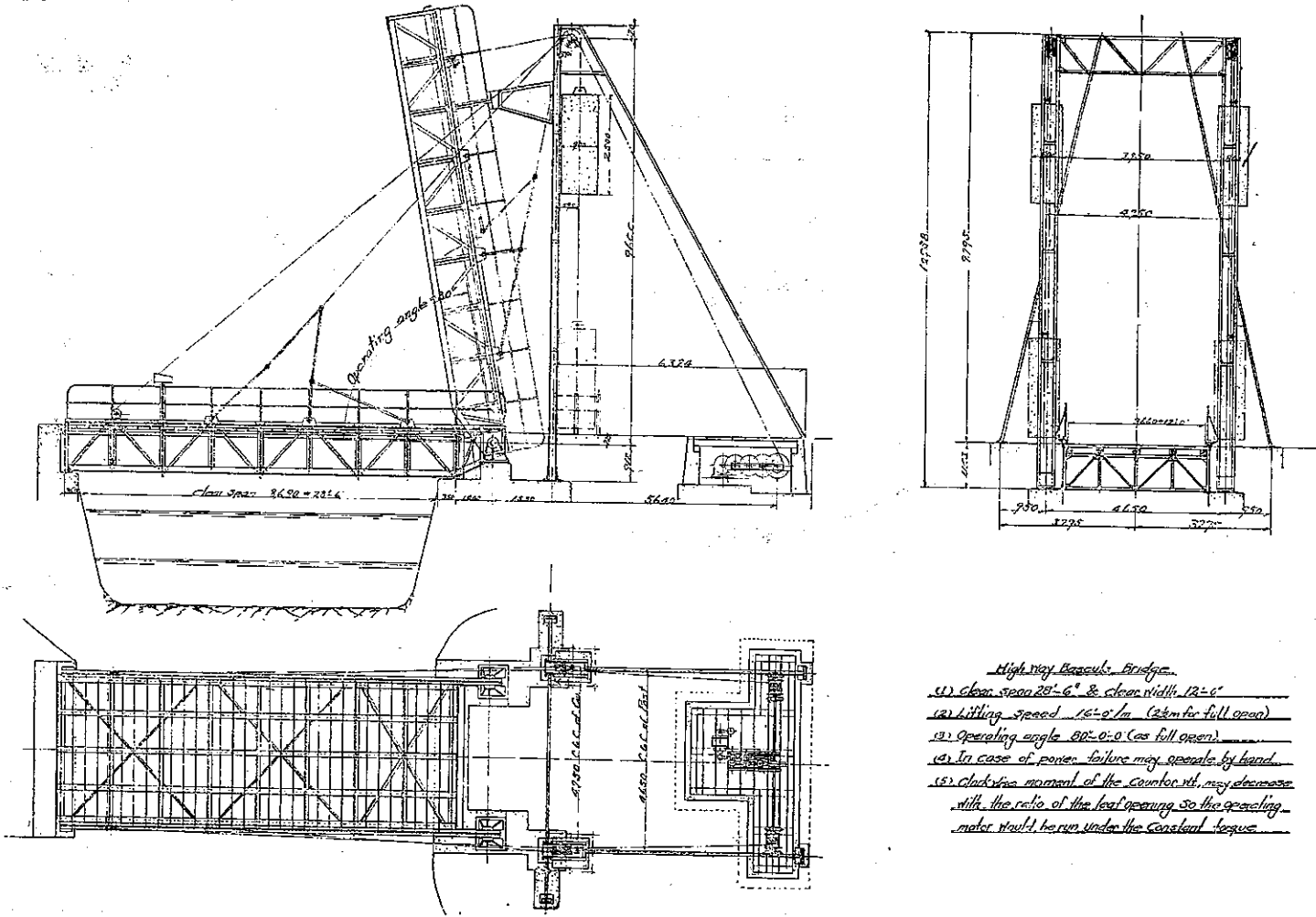


寫 眞 第 二



(土木學會誌第十四卷第六號寫此)

第九圖



- High Way Bascule Bridge.*
- (1) clear span 28'-6" & clear width 12'-6"
 - (2) lifting speed 16" per min (24m for full open)
 - (3) operating angle 80°-0'-0" (as full open)
 - (4) in case of power failure may operate by hand
 - (5) clocking moment of the counter wt. may decrease with the rate of the load opening so the operating motor should be run under the constant torque