

## 土木學會第1回年次學術講演會講演

(橋梁及一般構造物之部 No. 11)

## 大船跳開橋の設計に就て

會員 高橋逸夫\*

1. 可動橋の採否決定 大船跳開橋は大阪市大正區南恩加島町から船町に通ずる街路に木津川運河を横切つて新設せられたもので、大阪市港灣部にて設計且つ施工し、昨年5月竣工したものである。土木學會誌本年2月號にその工事報告があるから roll bascule bridge を選定した理由及工事概要に就ては會誌を御覽願ふ事にし、本文にてその設計に就て二三の點を補足したいと思ふ。

陸上交通路が船舶航行の水路を横断し障害となる場合、可動橋を造るべきか、他に高架橋若しくは水底隧道に依るべきかは、慎重な比較研究を要する。從來船舶の航行があつた所に新たに進路或は鐵道の橋を架ける必要が屢々起つて來るが、この場合には船の航行に優先權があり、そこには是非可動橋を架けて欲しと云ふ要求から、遂に可動橋を採用する事になるのである。尤も高架橋若しくは水底隧道による事も出来るが、それには多額の工費を要する。一般に可動橋は陸路に於ける一つの平面交叉の様なもので、交通頻繁の所にては甚だ不便であり、又交通閑散の所にては動力費、人件費等が豫期以上に高價となる。故にこれを造る以上は、迅速に閉閑の出来る完全なものとし、又船舶の航行が僅かならば寧ろ補償を拂うて固定橋とした方が賢明である。夫々の理由がある事と思ふが、鴨綠江の旋開橋、神戸市の高松橋は目下運転を休止して居る有様である。

2. 基礎 可動軸を有する bascule bridge が、固定軸のものに比して劣る點は、基礎に對する圧力が軸の移動と共に常に変化することである。故にこの種可動橋を支持する橋脚は、固定軸のものに比して一層安全なことを要する。本橋の大橋脚にては、長さ 21 m, 末口 23~25 cm ある米松杭 328 本を O.P-18 m より O.P-22 m の砂、砂利層まで打込んだのである。その内 163 本は打止沈下量 0, 48 本は 0.05~0.50 cm, 58 本は 0.55~1.00 cm, 45 本は 1.00~1.50 cm, 殘 14 本がそれ以上であつた。尙之に使用した蒸氣杭打機のラムの重量は 1.814 t (4000 lbs), ストロークは 0.914 m (36 in) であつた。今 Engineering News formula を metric system にて表せば、杭本の支持力  $F$  は次式にて與へられる。

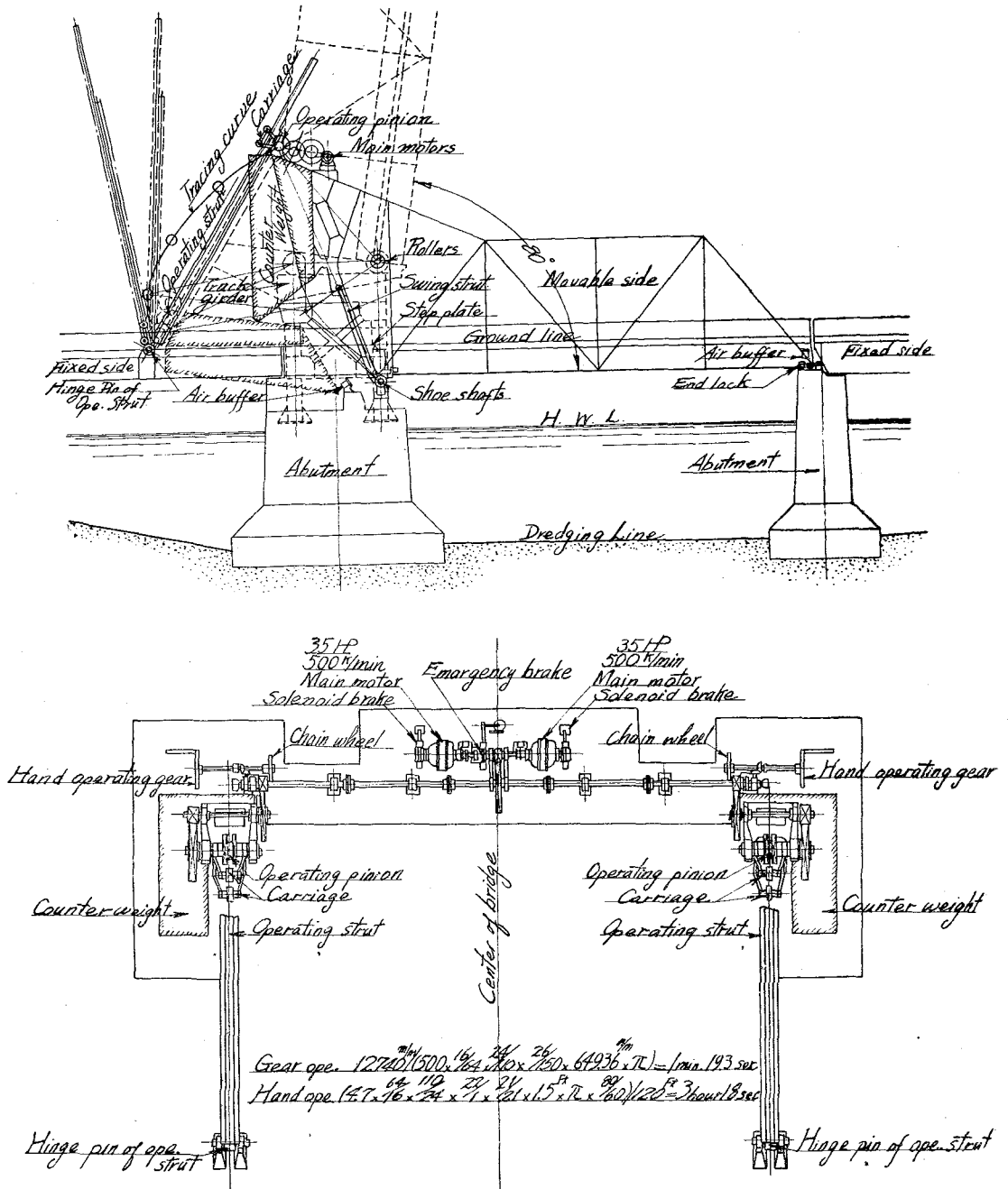
$$F = \frac{17 W \cdot h}{p + 0.25}$$

茲に  $F$ : 安全率を 6 とした場合の杭 1 本の支持力 (t),  $W$ : ラムの重量 (t),  
 $h$ : ラムのストローク (m),  $p$ : 杭の打止沈下量 (cm)

上式から支持力を計算すると、 $p=1.5$  cm の時  $F=15.9$  t,  $p=1.0$  cm の時  $F=22.3$  t,  $p=0.5$  cm の時  $F=37.1$  t となる。設計に於ける最悪の最大垂直荷重は杭 1 本に付き 25 t である。然るに上の計算では 37.1 t 以上の支持力を有するもの杭の全本數の 65% に達するから、基礎は安全と推定される。又基礎杭の水平推力に就て考へるに、可動橋 700 t, 橋脚及トラックガードその他 3600 t, 合計 4300 t にして、今この 15% の水平推力ありとすれば、杭 1 本當り 2 t の推力を受ける。然るに港灣部に於ける實驗に依るに、水平推力 5 t までは杭頭に何等の変位を認めなかつたから、この點からも安全と考へられる。

\* 京都帝國大学教授 工学士 (昭和 12 年 4 月 11 日講演)

図-1. 大船橋



3. 橋桁 ロール式跳開橋はシュルチャー式跳開橋と共に、跳開橋中最も多く用ひられる型式にして、図-1に示す様に、橋体が一つの trunnion roller の上に支へられ、前方橋体が跳上ると同時にローラーは転動して後退する、即ち可動軸の跳開橋である。この型の利益とする點を挙げると次の様である。

(1) 必要な航行幅に對する橋の支間が固定軸のものに比して短く、可動橋にて少しにても支間を小にすることは可動橋の全設計を容易ならしめるものである。一般に橋桁の自重は少くも支間の 2 乗に比例するから、支間を小さくすれば、橋桁自重の數倍に當る對重の重さを著しく減ずる事になり、以て運転動力を減じ且つ下部構造を容易ならしむる等、全体の工費及運転費を非常に節約するわけである。

(2) Swing strut が橋体と橋脚とを連結して常に運動を導き、且つローラーの滑動を防ぐ。この點半ば固定軸の跳開橋の作用をなす事になり、運動が確實となる。

(3) ローラーは閉橋時には軌條面から 5 mm あがつてゐるから、運転作業上重要である trunnion axis に活荷重よりの衝撃を傳へない。尙之を取換へ又は修繕する場合にローラーを取出し易い。

大船橋は純径間 23 m、支間 25.4 m を有し、幅員はトラス心々 14.0 m、有效幅員 12.10 m (車道 9.0 m、兩側歩道 1.55 m)、トラスは高さ 7.5 m のワーレン型である。閉橋時には、死荷重は對重と平衡を保ち主として活荷重の作用のみに支配されるから、部材応力は閉橋時の自重に依るものより小である。尙この部材応力は開橋運動中の位置により刻々変化するから開橋角度を異にして応力を計算し、その最大のものを求める事が必要である。ローラー軸を支持する軸受桁は閉橋運動中全重量を支ふべきにより充分強く設計しなければならない。

床版の構造は、跳開橋の自重を減ずるため大に考慮すべきものであり、軽合金の鋳を用ひた例があるがその成績は不明である。又鉄筋コンクリート床版は重く、前方橋体の重量を著しく増大するから、本橋にては結局木板を用ひることとした。即ち縦桁の間隔を狭くして厚さ 9 cm の檜板を敷き、その上に鉄網を並べて厚さ 5 cm (但し歩道は 3 cm) のシートアスファルトを填充した。その結果は非常に良成績とは云へなかつたが、單なる板張りに比して遙かに耐久である。この際良質のアスファルトを用ひ、完全に施工する事が必要なるは云ふ迄もない。

對重として punch scrap concrete (1:2:4) を鋼鋳製箱内に填充し、且つ調節用として鉛塊を用ひた。片側の重量は約 200 t である。對重の重心はトラスの軸より外側にあるため、對重の連結桁が彎曲し築造中機械の軸受臺の高さを調節したことあり、竣工後にもピニオンとピンラックとの咬合に多少の狂を生じ、ピニオンの臺をライナーにて 2~4 mm 調節した。之等は將來この種の設計に注意すべき點である。

Swing strut は本型式の重要な役目をなすものにして、シュルチャー式のツーズドラックと同様にローラーのスリップを防ぐ他、橋体の運動中張力或は圧力を受けてローラーの反力と共に橋の重量を支へるものである。尙之は左右軸受桁の兩側に 1 本づゝあり、合計 4 本を以て橋桁の振れを防ぐ效用がある。

Operating strut は、その下面にピンラックを有し、對重の上に取付けられたメインピニオンに咬合ひ、その下端は鉸を以て一つの鋼鋳桁に連結される。ピニオンが電動機により廻転すれば、ピンラックに咬合つて橋を跳上げる譯である。ツーズドラックの代りにピンラックを用ひたのは、製作が容易であるからである。ピンの直径を小にする爲 1 本のピンを 2 分し 3 點にて支へる様にした。

又 operating strut を必要以上に長くすることは、運動中振動を與へて害がある。本設計にてはピニオンと operating strut 間の連結をなす carriage の構造上、operating strut 間の連結綾構を strut の先端に取付けたため、稍長きに失した。

ローラーは、長さ 5 m だけ track girder の上を転動する。ローラーの直径を計算するに、Hertz 公式に依つたが、實驗の結果同公式中の許容応力が過大なる事を知つた。何んとならば、ローラーとレールとの強さ關係は、單に材料の引張強さ及圧縮強さによるよりは、寧ろ硬度に支配される。鑄鋼は強さ大なるも、鑄鉄より硬度小にしてローラー、レールとしては適當でない。故に實驗の結果高炭素焼入鋼を用ひることとした。

4. 機械部分 本設計には動力として 35 HP 電動機 2 臺を設備した。水陸交通に不便を與へざるためには、橋を確實且つ迅速に開閉せしめる必要があり、交通頻繁の場所にては信號も含んで 1 分以内全操作をなすべきものとせられてゐるが、本箇所は非常に重要交通路と云ふ程でもないから全操作が 2 分以内で出来る様に設計した。

所要動力量として、(1) 廻転惰性、(2) 摩擦、(3) 風圧等の 3 項に付いて計算した。運転後の所要動力を調査するに、設計に比して稍多く要する様である。こゝに所要動力を検算すると次の如し。

ローラーの中心を水平に曳くに要する力  $W$  は、摩擦にうちかつべきものであるから、

$$W = \frac{G}{R}(\mu r + f) + \frac{G_1}{R}f \dots\dots\dots(1)$$

茲に  $G$ : 軸に働く力 = 330 t、之は精算の結果得た値であり、當初設計では 350 t と見積つた。

$G_1$ : ローラーの重量 = 5 t、 $R$ : ローラーの半径 = 0.65 m、 $r$ : 軸の半径 = 0.25 m、

$\mu$ : 鋼と青銅との摩擦係数 = 0.12、 $f$ : ローラーの転動摩擦係数 = 0.01。

$$\therefore W = \frac{330}{0.65}(0.12 \times 0.25 + 0.01) + \frac{5}{0.65} \times 0.01 = 20.4 \text{ t.}$$

次に風速 8m/sec までは運河内にて船の航行可能なるも、10 m/sec 以上となると船の操縦が困難となる。故に動力量計算には風速 10 m、即ち風圧 12.5 kg/m<sup>2</sup> を取る事にするが、當初の設計には之より少し大きくとつた。又機械の他の部分の強度設計にはこの 2 倍以上の強度となる様に設計して置いた。

開橋時風圧の最も大なる位置を示すと、図-2 の様であり、各記號の意味を列挙すると、

$D$ : 風圧、 $W$ : ローラーの摩擦に對する牽引力、

$G+G_1$ : 可動部分の重量、 $S$ : swing strut に生ずる力、

$Z$ : ピンラック に於ける作用力

今水平分力の和を零と置くと、

$$S \cos \alpha - D - W = 0, \therefore S = \frac{D+W}{\cos \alpha} \dots\dots\dots(2)$$

又軸 A の周りのモーメントを取つて、

$$D \frac{l}{2} + S \cos \alpha \cdot h - \sin \alpha \cdot b - Z \cdot c = 0.$$

$$\therefore Z = \{ D \cdot l + 2(D+W)(h - b \tan \alpha) \} / 2c \dots\dots\dots(2)$$

然るに本橋の場合は

$$D = (12.5 \times 26 \times 15) / 2 = 2438 \text{ kg} = 2.5 \text{ t}, \quad l = 25 \text{ m}, \quad h = 7.2 \text{ m},$$

$$c = 8.4 \text{ m}, \quad b = 5.0 \text{ m}, \quad \alpha = 43^\circ, \quad \cos \alpha = 0.731, \quad \tan \alpha = 0.933,$$

$$\therefore S = (2.5 + 20.4) / 0.731 = 31.3 \text{ t}$$

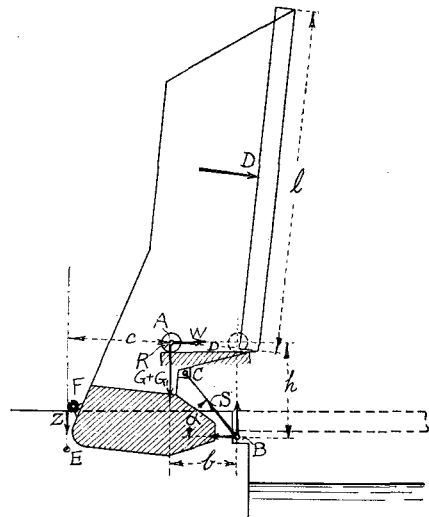
となり、之を swing strut 2 本で受持つわけである。

又ピンラックに生ずる作用力として、

$$Z = \{ 2.5 \times 25.0 + 2(2.5 + 20.4)(7.2 - 5.0 \times 0.933) \} / (2 \times 8.4) = 10.63 \text{ t,}$$

この他、廻転慣性に對する力  $E_1 = 2.0 \text{ t}$ 、自重の不均による力  $E_2 = 2.0 \text{ t}$ 、swing strut の兩端にある鉸に生ずる

図-2.



摩擦による力  $E_3=1.0t$  を考へると、合計  $15.63t$  の力がピンラックに作用する。

今 80 秒間に角  $80^\circ$  だけ開閉するものとすれば、ピンラックとピニオンとの咬合平均速度は  $0.12\text{ m/sec}$  となるから、所要馬力数は  $H=15630 \times 0.12/75=25.0\text{ HP}$  である。

4 段の傳動装置に對する全能率を  $(0.92)^4=0.72$  とすれば、結局所要動力は  $34.9\text{ HP}$  となるから、 $220\text{ volt}$ ,  $60\text{ cycle}$ ,  $35\text{ HP}$  電動機 2 臺を設備したわけである。

次に無風状態に於ける所要動力を求めるには、式 (3) にて  $D=0$  と置けばよいから、 $Z=6.16t$  となり、之に慣性その他の力を合せて  $11.16t$  となる。従つて所要馬力  $16.52\text{ HP}$ 、之に能率を考へて所要實馬力は  $22.9\text{ HP}$  となる。

竣工後、無風時に角  $70^\circ$  迄開閉した場合、電圧  $220\text{ volt}$  電動機 1 個に對し、各開閉角度に於ける電流は次の様であつた (昭和 12 年 2 月 13 日午後 4 時開閉の記録)。

角 度	開 橋							閉 橋					
	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$60^\circ$	$50^\circ$	$40^\circ$	$30^\circ$	$20^\circ$	$10^\circ$
電 流 (Amp)	86	74	65	61	57	56	0	94	80	72	67	66	63

今電流 94 Amp 及 63 Amp に就て實馬力を求めると

$$220.94/735.46=28\text{ HP}, \quad 220.63/735.46=19\text{ HP}.$$

となる。故に電流から求めた實馬力は設計のもの  $22.9\text{ HP}$  に比して大であるから、上の計算中の係數、能率等に多少の修正を要する様に思はれる。

次に運轉費月額を計算すると、

人 件 費	(技術員 外 3 名)	260.00 <sup>円</sup>
電 力 料 金	77 HP に對する準備料	77.00
	毎日 3 回開閉使用料	3.60
電 燈 料		70.00
計		410.00

電力料金としては、準備料 1 HP 1 円の割で 77 円を要するに對し、使用料 3.60 円は極めて僅少である。その他、消耗品、賞與等を合して、月額 500 円で充分である。

左右兩側にピニオン及びラックがあると、兩方が一樣に力を受け持つ事が必要である。若しピッチが異なり、一方のみで力を受け持つ事になると、齒を破壊し又橋が撓れる惧がある。故に軸の中央に differential gear を設備することが完全なるも、本設計にては工作に充分注意せる他、軸の中央にある齒車に一度力を傳へこれを左右に導く所の軸を長くし、その撓れを利用して左右のラックに力が等分に働くこととした。

尙本設計にては、air buffer 並に joint plate の揚げ下しに 2 atm. 又 end locking 及 emergency brake に 6 atm. の圧搾空氣を用ひたが、かくの如く end locking 及 joint plate の操縦に電動機の代りに圧搾空氣を用ひて良結果を得たことは本設計の一特長である。