

新しい青函連絡用可動橋について

正員 友 永 和 夫*

I 概 要

車輛航送は、その航送距離が或る限度以下の場合には船の運用効率が極めて良好なるため、棧橋及び岸壁(船床)の利用率もよく、一般に一航海の貨物積載量に關しては不利であるが、結局に於て大量輸送が出来る事、又石炭等の如く特殊荷役機械設備に依つて大量に能率的に積卸しの出来るもの以外の、例へば雜貨の如きものでは荷物自體の積卸しをしないで、車輛に積載のまゝ一貫輸送が出来るから荷造を簡單にしても、破損紛失事故等がなく、雨天にも濡損なく、迅速に確實に直通一貫輸送が出来る事、又埠頭設備について考へても普通貨物船による場合の様な、荷役機械、倉庫、之に伴ふ小運送勞務關係の繁雜等の缺點を一舉に解決する事が出来る事、等々の利點を有するので世界各地に施設されてゐる。

航送船に車輛を積卸しする設備としては、クレーンによるもの、エレベーターによるもの、斜路上の臺車の介在によるもの、可動橋によるもの等々があるが、可動橋によるものが力學的に考へても、一連の車輛群を連続して滑らかに斜面運動として積卸しが出来、操作が簡單で最も能率的であるので、最も廣く採用されてゐる方法である。

我が國に於ても早くから下關門司間、宇野高松間及び青森函館間にいずれも可動橋による車輛航送が行はれて來た。

この中所謂青函航路は、大正末期に函館港及び青森港に夫々2基の船車連絡可動橋が完成し、之によつて北海道と本州との間の車輛航送による鐵道輸送が擔當され之等の施設は今日に及んでゐる。然るに今次戰爭末期に於ける大量の一般貨物船の喪失に伴つて、一般

の海運輸送物資が大きく陸運に轉嫁されて來たため、上記の施設のみにては、北海道本土間の鐵道輸送の最大の隘路を形成するに至つたので、青函間の航送施設の急速増備が要請されるに至つた。

かくて昭和19年1月1日有川港(函館港は港内狹隘なるため、五稜廓操車場より分岐して有川港に増備された)に於て新しい青函船車連絡可動橋の第一基目が増設使用開始されて以來、現在までに更に同一可動橋が、青森港、小湊港、有川港に夫々施設され、岸壁(船床)未完成の小湊港を除くこれらの新可動橋は、上記舊可動橋と共に北海道と本土間の鐵道輸送の重任を果しつゝある。

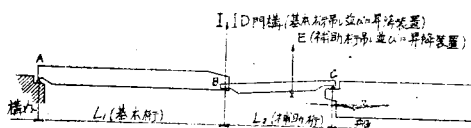
從來からこの種の可動橋は一般に貨車航送用のものが多いためか、陸と船との間の可動橋上の通車安全度に關しては、脱線等の事故件數が多いにも拘らず割合無關心に放置されてゐた。又之に對する根本的の解決策を樹立するためには、可動橋の機能、車輛の構造、航送船の機能等の極めて多岐にわたる調査研究をなし之を綜合する必要があるためか、系統的に之を理論附けたものがなく、新しい可動橋の設計に際しては問題を一つ一つ調査し研究して設計條件を決定せざるを得なかつた。以下設計上の必要から筆者のなした研究の概要を報告する。

II 可動橋設計の概念

船車連絡可動橋は、その架け渡すべき相手方が船であるため次の様な種々の條件が夫々單獨に又は同時に生じて安全に車輛積卸しの通車が出来ねばならない。即ち満船か輕船か又は満潮時か干潮時かによつて船内 R. L. (軌條面高)が異なる事、車輛積卸しに伴ひ時々刻々船内 R. L. が變化する事、船内配線が2軌道以上の場合には車輛積卸しに伴ひ船は横傾斜をするため可動橋は大きく振られる事、及び荒天時には船は如何に緊結しても相當量前後左右に動揺する事を考

* 運輸技官 運輸省鐵道技術研究所第二部第二設計課長

圖一.



慮に入れねばならない。従つて新しい船車連絡可動橋は略圖一の様な基本構造とした。一舊青函可動橋では補助桁吊し並みに昇降装置 (E) はなく、補助桁は船と持續してゐない時には基本桁 (AB) よりの突桁の腕によつて支持される構造である。一般にこの様な基本構造の船車連絡可動橋では、基本桁 (L_1) は主として水位差による船上 R. L. の高低、及び船内の軌道敷が 2 以上の場合は一線入換完了毎に變化する船上 R. L. の高低に順應して B 點を適當の高さに調節し、車輛の通車の途中には B 點は昇降しないのを原則とする。従つて基本桁は構造も機能も比較的單純である。而るに補助桁 (L_2) の先端 (C) は前述の様に通車中にも自由に上下動、左右動、捩れ動の可能な構造としなければならぬ。従つて補助桁の構造及び機能は複雑であり順當り製作費も大であるから補助桁長 L_2 は出来るだけ短い事が望ましい。

今もし基本桁と補助桁とに分けないで一本の桁をいきなり船に架け渡すと、桁全長にわたり上下、捩れ、左右動の複雑な機能を可能とせねばならない不利と、船への桁からの反力が大となるため各船についてその船の構造強度が問題となる事、及び一線入換途中の C 點の最大折れ角度は桁の長を大にする程最初は急速に減少するが、桁の長が船の長の 0.2 倍以上になるとこの減少は顯著でなくなり、0.6~0.7 倍以上になると却つて最大折れ角度は増大する事が證明された。従つて一般には基本桁と補助桁とに分ける方が有利である事が判明した。

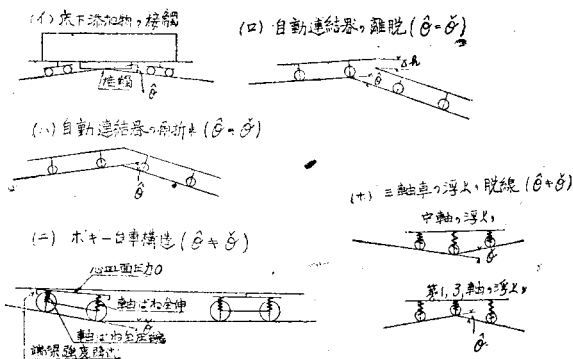
III 可動橋の基本寸法決定に必要な各種の條件の決定

船車連絡可動橋の設計には、外的條件 (水位)、車輛 (客車、貨車、機關車)、船舶等の種多な條件が根本的な影響をもつて關係して來るので、之等の條件を系統的に整理して表一の内の如き基本的條件を、理論的に又必要に應じては實測によつて決定した。以下その概要を述べる。(表一参照)

1. 山形並びに谷形の許容勾配變化角 ($\hat{\theta}$, $\check{\theta}$) の決定

圖一の A, B, C 點には一般に通車中山形又は谷形の角折れを生ずる。この角折れの大きさにより車輛通車上支障を來たすのは、圖二の如き (イ) 床下添加物の接觸、(ロ) 自動連結器の離脱、(ハ) 自動連結器の角折れ、(ニ) ボギー-臺車構造、(ホ) 三軸車の浮上り脱線、等の内最小の制限にて決まる。之等を條件

圖二.



の悪いと考へられる各種の車種につき検討した結果、床下添加物の接觸による制限を別とすれば、結局自動連結器の離脱又は角折れ限度から決まり $\hat{\theta}=\check{\theta}=45\%$ (無理をすれば 50%) と決定する事が出來た。20 m ボギー-客車の蓋車の場合床下添加物による制限は $\hat{\theta}=\check{\theta}=26\%$ となり、これでは可動橋は極めて長大なものとなる事と、かりにこの様な小さい制限で可動橋を設計したとしても實際問題として折れ角度がこの制限以下になる様に可動橋を精密に調節する事自體が困難となるので、航送用の如き特定の客車についてはこの接觸する部分 (蒸氣トラップ) を改造する方が望ましいので、この制限は一應無視した。

2. 補助桁長 1m 當り許容最大捩れ角 ($m\%$) の決定

船の横傾斜に伴ふ補助桁上の軌道の捩れが一定限度を超過すると、この上を通車する車輛は浮上り脱線をする。本邦の各種の車輛中で條件の悪い車は固定軸距の大なるもの又はばね剛度の大なる車輛で、この捩れ限度 ($m\%/m$) は理論的に次の如く決定された。即ちトキ 900 型客車に對し 7.5%/m、トラ 35000 型空車に對し 9.1%/m である。

3. 航送船について決定すべき各種の値

船型 (長、幅、排水量、水線面積係數)、排水量等曲

線、船内配線、翼水槽重心間距離と水槽容量、翼水槽への移水用ポンプ能力、を知つて次の各値を理論計算をなして又實測により檢し之を決定した。

- (イ) 満船吃水面より艫 R. L. までの距離 (D_1)。
- (ロ) 輕船 (航海準備) 吃水面より船艫 R. L. までの距離 (D_2)。

(ハ) 入換中の船の最大横傾斜(θ)。船の横傾斜は側線に積卸しされる車輛重量によつて生ずるが、青函間の航送船には翼水槽があり、之を活用して横傾斜を輕減する方法を採用してゐるので、横傾斜は之等の差となる。即ち入換速度の遲速によつて残留横傾斜は小さくもなり大きくもなる。然し翼水槽の容量から(水槽が一杯になればも早それ以上横傾斜は輕減出来ないから)入換速度を小さくする事には一定の限度がある。之等の問題を理論的に又或る程度實測的に明らかにした。

即ち普通貨車 (3t/m) を青函丸型に 6 (KM/h) にて積む場合、ポンプ (2000 t/h) を充分作用せしめると横傾斜は約 $8^{\circ} \sim 7^{\circ}$ となる事、トキ 900 型積車の如く約 4 (t/h) の貨車を 4 (KM/h) 以下にて積めば横傾斜はやはり約 8° (水平に對し $\pm 4^{\circ}$) になしうる事を明らかにした。

(ニ) 側線積込中の艫 R. L. の最大變化量 (d)。船の側線に車輛を積込むと艫 R. L. が變化するが、この變化量 (d) の中には、船の水平沈降による量と、船の縦傾斜による量と、横傾斜による量とがあり、前 2 者は普通の入換速度では速度の大小に殆んど無關係であるが、後者は速度に大きく影響される。この d の値が青函丸では約 80~60 cm (入換速度 6~4 MK/h) となる事を理論的に明らかにし、又實測的に確認した。

(ホ) 満船に迎車進入一線引出途中の艫 R. L. の最大沈降量 (d_1)。満船にて着岸後迎車が進入すると艫 R. L. は沈降するが、更に引出しを始めると一時は船の縦傾斜による艫沈下量が水平浮上による艫浮上量より大なるため、更に艫 R. L. は一時下る。満船着岸の艫 R. L. よりこの沈降量が青函丸にては約 25 cm なる事を理論的に又實測的に確認した。

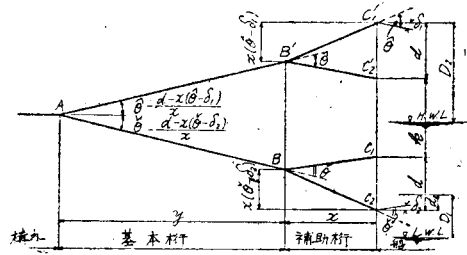
(ヘ) 輕船 (航海準備) 時の最大縦傾斜 (δ_1)、及び (ホ) の最大沈降量の生ずる時の最大縦傾斜 (δ_2)。理論と實測とから δ_1 は 3% (艫先下りに)、 δ_2 は 6% (艫先上りに) なる事を決定した。

IV 基本桁長 L_1 補助桁長 L_2 の理論的決定

III に求めた各種の條件 $D_1, D_2, d, d_1, \delta_1, \delta_2$ と

青森港及び函館港の最干、最満潮位を知ると圖-3 の C_1', C_2', C_1, C_2 の高さ決定する。

圖-3.



- 但し C_1' = 満潮時輕船艫 R. L.
- C_2' = 上記に一線積込みの中の艫最低 R. L.
- C_1 = 干潮時満船より一線引出し後の艫 R. L.
- C_2 = 干潮時満船より一線引出し途中の艫最低 R. L. である。

今基本桁と補助桁の長を夫々 y 及び x とすると、B 點の理想的調節高さは筆者により理論的に證明された事であるが圖-3 の如く、満潮時には一線入換中に B' 及び C_1' 點に生ずる山形折れ角度の最大が等しい様な B' 點に、又干潮時には C_2 及び B 點に生ずる谷形折れ角度の最大が等しい様な B 點に調節すべきである。然も之等の折れ角度の最大限度は、通車安全度上から夫々 $\hat{\theta}, \check{\theta}$ に等しかるべきである事と、C 點に於ける船の各縦傾斜 δ_1, δ_2 を考慮に入れて圖-3 の如く B', B 點更に A 點を描く事が出来る。圖-3 の A, B, B', C1', C2', C1, C2, の夫々の高さの關係から次式が得られる。

$$y \left\{ \hat{\theta} - \frac{d - x(\hat{\theta} - \delta_1)}{x} \right\} + x(\hat{\theta} - \delta_1) + y \left\{ \check{\theta} - \frac{d - x(\check{\theta} - \delta_2)}{x} \right\} + x(\check{\theta} - \delta_2) = k + 2d$$

$$\therefore y = \frac{k + 2d - x(\hat{\theta} - \delta_1) - x(\check{\theta} - \delta_2)}{\left\{ \hat{\theta} - \frac{d - x(\hat{\theta} - \delta_1)}{x} \right\} + \left\{ \check{\theta} - \frac{d - x(\check{\theta} - \delta_2)}{x} \right\}} \quad (1)$$

今可動橋の全長を L とすると $L = x + y$ であり、之に (1) 式を代入して $\frac{dL}{dx} = 0$ より可動橋全長を最小ならしめる補助桁長 x を知り、(1) 式からその x に對する y を決定出来る。

但し、この様にして一應決定した補助桁長 x と基本桁長 y は更に下記の諸檢討を必要とする。即ち III-3-(ハ) に述べた船の最大横傾斜 θ (%) 及び III-2 に述べた最大振れ限度 m (%/m) から $\frac{\theta}{x} \leq m$ な

る条件を満足すべき事、又補助桁長が一車長より短い時は自動連結器の離脱の傾向が大となる(補助桁の前端及び後端に生ずる折れ角度の影響が自動連結器の離脱に對し悪く競合する)事に對する検討、又補助桁長は船の長の0.2倍以下が望ましい事、及びA點の高さは少なくとも満潮時にも基本桁が海水に浸されない事等の考慮を取入れて些少の補正をなし、其の最後決定をせねばならない。

この様にして新青函可動橋では基本桁は28m、補助桁は12mに決定した。舊青函可動橋では基本桁は25m、補助桁は6mであり、最干潮、最満潮時の可動橋上の角折れ及び勾配の状態を新舊可動橋につき比較すると圖-4の如くである。後掲の新舊可動橋の

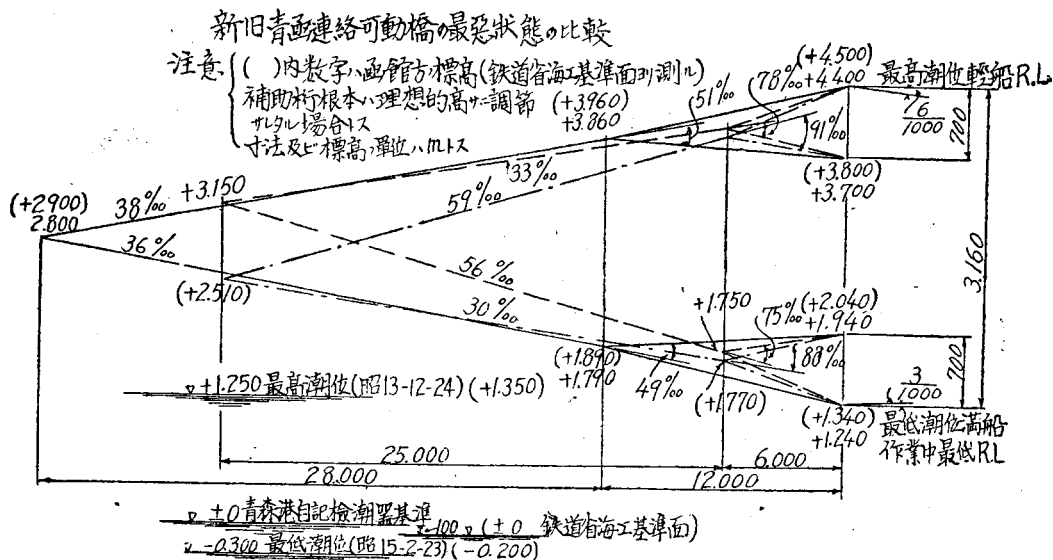
比較表にも示す様に新可動橋では舊可動橋に比し振れ及び角折れに對する通車安全度は數字的に略2倍となった。而し新可動橋のこの通車安全度も最滿、最干潮時に於ては通車し得るぎりぎりの値であり、上記の如き舊可動橋の基本寸法では各種の車種に應じ複雑なる制限を設けない限り通車の安全は保證し難い事が理論的に明白になった。

V 補助桁の機能と構造について

1. 補助桁先端の左右動について

補助桁は車輛積卸し中の艫 R. L. の上下動及び船の横傾斜に順應しなければならないので、その先端は上下し又振れ得る構造とする事は一般にこの種の可動橋

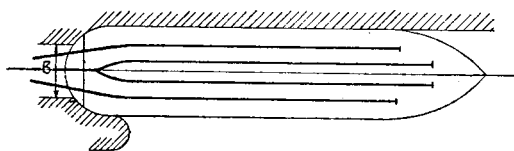
圖-4.



では考へられて來た。然し補助桁の先端が構造的に左右にも動き得る構造としたものはない様である。

航送船はその片舷は岸壁に密着し、艫はその型の岸壁にはまり込む様になつてゐるから(圖-5)、艫の左

圖-5.



右動はない様に考へられ勝ちであるが、實際問題とし

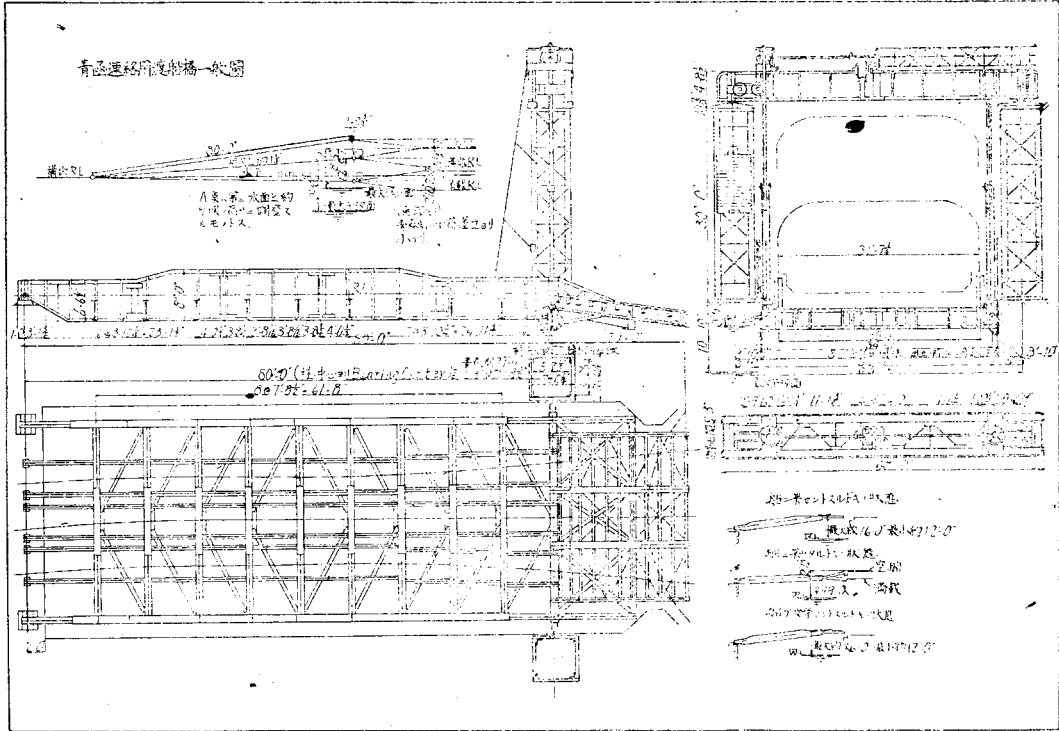
ては防舷材の磨耗及び破損等のため艫は相當大きく左右に動揺する。この動揺は風浪による船體動揺によるもの他に、平穩な日であつても車輛積卸しにより船が横傾斜する場合に艫は略その重心を通る軸の回りに回轉するため、艫に於ける補助桁の支承點及び艫 R. L. に於ける船上軌道の中心線は可動橋の樞軸に對し相當大きく(船の重心軸からのこれらの諸點までの距離と横傾斜角を乗じた値だけ)左右に偏倚する。舊青函可動橋の補助桁ではその先端の左右動は構造的に不可能であるため軌道の通り狂ひが補助桁先端部の局所に生じ危険である。

2. 補助桁の振れについて

船の横傾斜につれて補助桁は樂に振れる事を要するが、舊青函可動橋の補助桁では四主桁の中路式の鉸桁

型式をとり、數多くの横桁を設け縦桁はなく、横桁と主桁とはピン連結としてゐる。この上に船に向ひ末廣がりに三軌道が敷設されてゐる。(圖-6)

圖-6.



この構造は一見船の横傾斜に自由に順應出来そうであるが、前記の如く先端の左右動が出来ない缺陷の他に振れのみについて考へても、船が横傾斜をした場合補助桁の横桁の上面は拗面となり、横桁と斜方向に敷設された軌條方向には直線素はないため、軌條と横桁との取付けは相當の無理を受ける事を理論的に明らかにし得たし、又上記の横桁と主桁との取付けはピンでなく球面支承としない限り横桁は強力に振られると云ふ無理を生ずる。現に舊青函可動橋のこのピンの磨耗は極めて顯著であり年々多くのピンは取り換へを要してゐる實狀である。

3. 新可動橋の補助桁 (圖-7 10 頁)

新可動橋の補助桁は三軌道を夫々三つの上路鉸桁上に直接に取付けた。各上路鉸桁には對傾構はなく横構のみをピンにて主桁に取付け振れを自由とした。又前記の先端の左右動に對しては各上路鉸桁の陸側端を寫

真-1 の如く構造して P_2 のピンのまわりに自由に回転し従つて先端の左右動が自由に出来る様にした。先端の上下動は P_1 のピンにより可能である。このため船と可動橋との接續が極めて容易となり(些少船と可動橋の中心軸が狂つても誘導金物により船と可動橋との接續が可能となつた)、且つ前述の船上軌道と橋梁上軌道との通り狂ひは補助桁の全長によつて緩和される事となつた。

VI 新舊青函連絡可動橋の主要點の比較

新舊可動橋を比較して、その基本寸法の異なる事、補助桁の構造及び機能の異なる事は上述の如くであり之が最も根本的な改良であるが、更に構造上の細部にわたり各種の改良を行つた。之等の説明は省略するが圖-6 及び 圖-7 を對照の上表-1 (11 頁)を参照され度い。

写真-1.

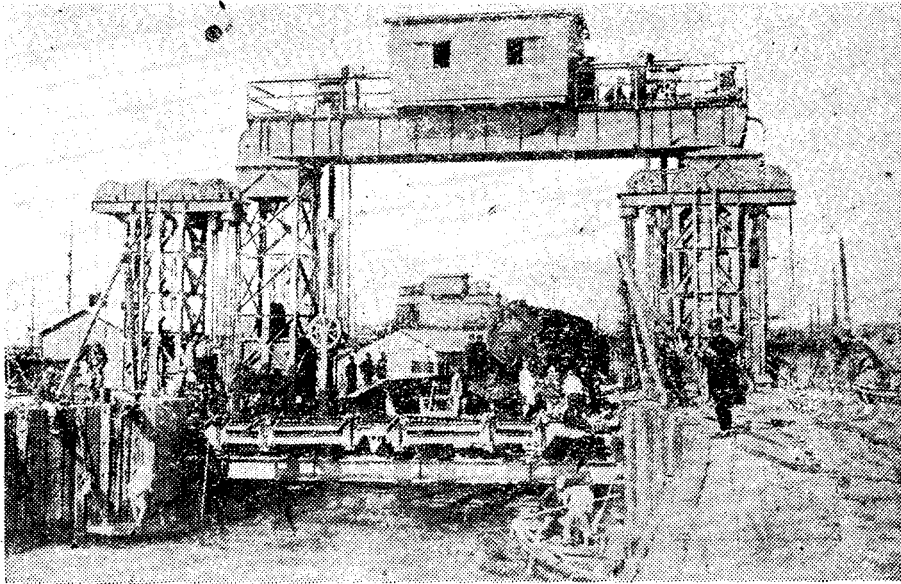


表-2.

新橋設計上の諸要素 相互関係圖表

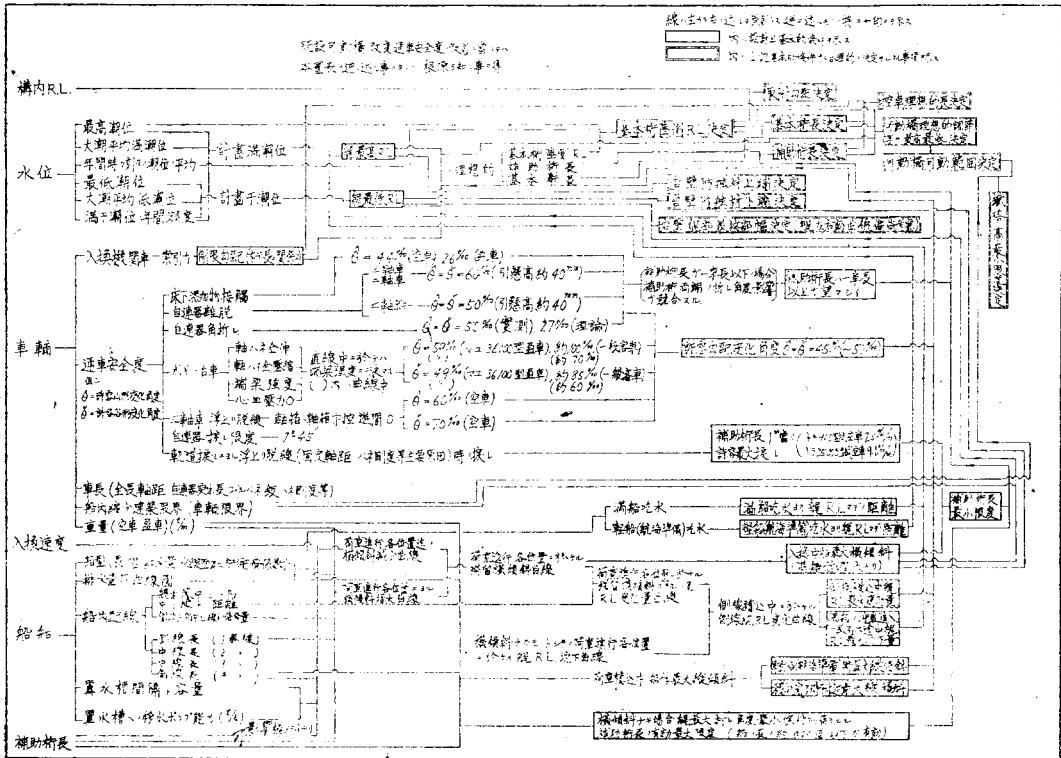
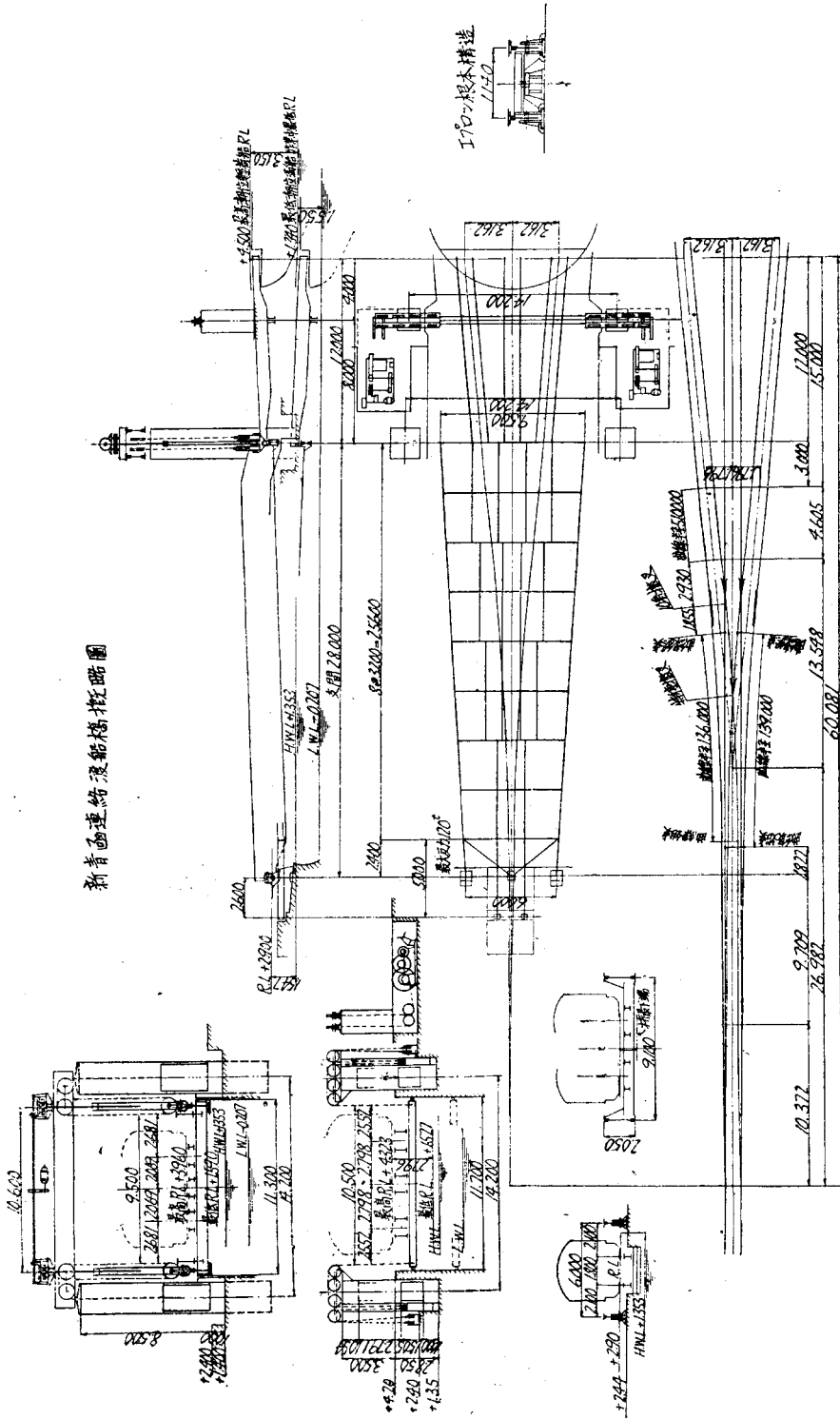


圖-7.

新青函連絡船橋概略圖



VII 船車連絡可動橋設計上の基本的諸要素の相互関係圖表(表-2)について

本表は筆者が最も合理的に新しい青函可動橋を設計せんとして理論的に又は實測的に實際に述べた経路を示すものである。

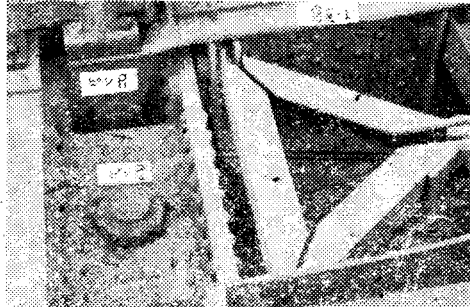
船車連絡可動橋を合理的に設計するためには、本表の左方に列記せる諸周圍條件から先ず基本的條件、即ち□内記入の諸條件を決定し、この□の諸條件を組合せて初めて最も合理的な可動橋の基本事項即ち□内の諸事項が決定される。筆者は理論と實測から之等の諸數値を次々に決定する理論的方法を夫々確立した。

VIII 結 び

新青函連絡可動橋は昭和 19 年 1 月 1 日使用開始して以來好調の様である(寫眞-2)。舊青函可動橋は VI に於て比較表示した様に通車安全度上及び構造機能上から見て當然架換へか改良工事を行はねばならぬと思ふ。さもなければこれの現行の取扱規程を全面的に改定して、複雑ではあるが各種の制限を設けなければならぬ。舊青函可動橋の改良策としては目下検討中であるが、基本桁及び主塔は在來のものを活用し、補

助桁のみを 12 m 以上出來得れば 14 m の長のもので新可動橋の補助桁の様な構造のものを用ふれば、略新可動橋と同等の通車安全度が得られる。

寫眞-2.



要するに新青函可動橋の設計と之に伴ふ研究の結果、車輛航送用の可動橋に關する基本的問題、即ち可動橋の具備すべき機能と機構、その上の通車安全度、及び航送船の動搖に關する根本問題が或る程度明瞭にされ、船車連絡可動橋の實態とその設計上の體系が或る程度確立されたものと信ずる次第である。たゞ本稿にはその概要を述べたのみであり本研究の詳細については出来るだけ早期に發表して諸賢の御教示を得たいと願つてゐる次第である。完(昭 23. 1. 13)

研究發表會記錄

第 3 回研究發表會

昭和 23 年 2 月 7 日 東京大學第一工學部にて

- 1 土の繰返し壓縮試験 正員 八十島義之助
- 2 利根川に於ける昭和 22 年 9 月洪水調査報告
正員 竹内 俊雄 准員 吉川 秀夫
- 3 調製水槽始動安定の條件

- 正員 本間 仁 准員 林 泰造
- 4 セントラル・コンクリート・ミクシング・プラントに就て 正員 森 茂
- 5 利根川栗橋決潰口應急修復工事報告 正員 高橋嘉一郎
- 6 吊橋補剛桁の安定性その他 正員 田 中 豊

32 卷 2 號 會 誌 正 誤

17 頁左欄 11 行目『著者の方』を『著者の考へ方』に、18 頁左欄 18 行目『記號で示す。』を『記號で示す。』に、19 頁右欄 17 行目『832 頁は』を『832 頁に』に、21 頁右欄 8 行目 $y < 0.001 \text{ cm}$ 』を『 $y > 0.001 \text{ cm}$ 』に、23 頁左欄 3 行目及び 25 行目『稼採炭量』を『可採炭量』に、同右欄 3 行目『坑より

昭和 25 年以降』を『坑も主として昭和 26 年以降』に、同欄 17 行目『2 億餘圓』を『3 億餘圓』に、32 頁右欄最下行『Charasteristics』を『Characteristics』に、又 33 頁右欄 18 行目『Concrete』を『Concrete』に訂正する。