

鋼材の組立に使用せる goliath は最初のもは風速 30 m/sec の突風に襲はれて倒壊した。蓋し風速 30 m/sec の如き意想外の突風に起因するものではあるが木材と鉄材との結合部の施工には不完全を免れず、一般に斯かる場合此の種の設計は避く可きを感じたと述べられて居ます。御尤もと思ひますが又一面現場の假設構造物に就て萬全を期する事は經濟上難しい事ですから止むを得ない事でありませう。然し風速 30 m/sec の如き暴風の吹く場合は豫め測候所の特報がラジオに依り豫報されるのでありますから豫報に依り出来るだけ臨機の對策を講ずる事は現場従業員の役目と思ひます。亦 truss を組立てるに鐵道省の如く他日再參利用し得る處では組立設備に莫大な費用を投じ完璧を期する事は結構であります但し組立重量少き只 1 連のみ組立するには經濟上の見地から多少の能率上の不便を忍んで簡易な工法を工夫して選ぶ事も場合に依ては好いと思ひます。

現場の状況を窮めずに論ずるのは不本意ですが架設が冬期であり河水が 12 月初旬より翌春 4 月上旬迄一帶に氷結して氷橋と稱されて居る程度の氷厚があり尙ほ水深は平時 7 m であるが冬期は湯水期であり又流速は極く僅か 1 m 程度であり河底の地質は砂及び粘土層等の状況から著者が其の架設工法に於て比較されて居る氷盤基礎上の足場式架設法に就て氷盤上に築造する足場は橋梁の高さの關係上相當の費額と時間とを要し一方工事の成否は氣温天候等の支配を受け開業其の他の關係上竣功期間を限定し度き本架設工事には不適當な工法であると述べられて居りますが、基礎を杭打として其の上に足場を立て氷に依て足場を補強する事とし尙上部の組立に就ても足場の強度を考慮して先づ flower system を組立て lower bracing を取付けて足場を落付けて上部の組立に對する安全なる方法も考へ得られます(本會誌第 21 卷第 10 號 1432 頁第 19 圖第 2 號トラス架設順序参照)。

然らば此の方法にても工事の成否が天候の支配を受くる事なく亦足場費其の他の使用器具機械材料に對する相當の損料を拂つても鉸鉸或はペンキ塗等を除き鋼材組立現場費は鋼構桁 1 適當 30 円乃至 40 円程度で納まるものではないかと見當されます。

是れを當工事の新工法の實績に對し工費と工期と確實性とを併せて比較想像するに著者は從來と異りたる本架設工法の實施に餘りに莫大な犠牲を拂はれた如く考へます。

結 論 本架設工法は現場の状態と設備の都合に依りては他の工法より或は經濟的となり或は比較的容易に利用し得る場合があります。

架設方法の選定に技術の進歩を望めるならば多少の工費の増額する工法を選ぶに吝でないが現實には一般に經濟で確實性のものを選ぶのも宜しいと思ひます。當工事施工計畫に就ては筆者の想定せる架設方法と比較して約 3~4 倍の費用を要せる點、此の工法の選定には僭越ながら賛成致し兼ねます。

擧筆するに際して此の架設工法に對する吾々に未だ氣付かない重要な眞理も或は存在して居るのではないかと思ひ新工法の完璧を期する趣旨の基に何卒著者の發見された注意事項を細大洩れなく御發表せられん事を切に希望致す次第であります。

以上新工法を有意に纏め度いと趣旨で甚だ僭越な感想と駁言を述べ冗長となり恐縮ですが討議に代へて頂きます。討議寄稿に就ては筆者一身上の都合に依り永引きました事を御詫び致します(11, 4, 10)。

著者 會員 工学士 藤 井 松 太 郎

本會誌第 21 卷第 10 號所載の拙論に對し、井山安藏氏の精細な御討議を煩はした事を感謝致します。大体御質問の順序に従つて筆者の意見を申述べます。

1. 解船に就て 解船式架設に於ては、解船が實に作業の生命でありまして、解船の強度及び安定に關して、充分慎重な考慮が拂はれなければならない事は論のない處であります。先づ其の強度に就て云へば橋桁を載荷した場合解船の受ける荷重を想定し、之に耐えるだけの強度を解船の各部材に持たせる事が絶対に必要であります。解船は架橋の爲に新造する場合よりも、他より一時転用する場合の方が寧ろ多いので、其の強度、就中縦の強度を充分考慮して補強其他適當の方法を講じなければならないと筆者は考へて居ます。次に解船の安定の問題ですが、解船式架設に於ては、桁重量の作用點が概して高くなる關係上、不安定な載荷状態となります。然らば如何なる方法で解船の安定を確保するかと云ふに

i) 解船の傾心を出來るだけ高くすると共に、桁重量の作用點を低くして、桁と解船の合成重心を解船の傾心以下に置く方法。

ii) 解船を橋桁に固定し兩者を一体とし、舷方向に傾き得ざる構造とする方法。

の兩者があると思はれます。i)の方法に就て考へますと、解船の傾心の浮心よりの高さ H は I_0/V に依つて與へられ、全排水量 V を一定とすれば I_0 の大なる程傾心は高くなる、換言すれば舷方向に測つた幅員の3乗に比例して傾心は高くなります。井山氏の云はれる様に、解船の舷側に副の解を取り付ける方法、又は更に積極的に2の解船を並列結合して桁を受けさす方法等の頗る有效な所以であります。解船の舷側の副の解を結合し、平衡用の荷重軌條を載せ、軟條位置を左右に動かす事に依つて、舷の傾きを調整した實例があります。然し解船は前述の様に他より一時転用する場合が多いので、解船の幅員も註文通りにはなつてゐませんし、一方解船の幅員が大となれば、流水の水圧面積を増大する爲、抗流設備の強度の大なる事を必要とし、又解船の河岸に近寄り得る限度が減少する爲、時としては河床浚渫の要を生ずる不利がある事も考へねばなりません。桁の重量の作用點をなるべく低くして、桁の重量と解船の自重とを合成した重心を解の傾心以下に置くには、桁受槽を倒三角形として、其の頂點に荷重を集中する等の方法に依つて目的は達せられますが、集中された桁の重量を解船全面に分布さすのに甚だしく困難を伴ひます。ii)の方法は解船と桁とを結合して、一体としての安定を考へるものであつて、解船個体としての安定は最早重大な意味を持たないものであります。解船と桁の結合は適當に抗張材或は抗压材を舷側と桁との間に挿入する事に依つて、容易に目的を達する事が出來ます。此の場合解船個体としての安定度が高ければ高い程、解船と桁との結合は弱くて濟むわけですから此の場合でも解船の安定度の高い事の望ましい事は勿論であります。筆者の施工した天鹽川構桁架設に於きましては、桁の一端を解船で受けた場合、解船と桁の合成重心が解船の最底部より5.95mの位置にあるのに對し、解船の傾心は4.20mの位置をとり、解船は夫自体不安定でありまして、何等かの外力の爲、一度傾きを生ずると益々之を増大せんとする傾向を持つてゐます。筆者も舷側に副の解を取付ける方法、或は又倒三角形槽で桁を受ける方法等を考へて見ましたが、河床浚渫の要を生じたり、荷重分布に困難を伴つたりしましたので、全くii)に述べた方法に依りました。此の場合解船の傾きが大となれば、解の桁との結合材は大きな力を受けますが、解船が獨立に傾き得ない構造になつてゐますから、結合材は餘り大きな力を受けるものとは考へられません。井山氏の解船の復原力の問題も、前記の如く解船夫自体がもともと不安定であるため之を桁に結合した場合には、全く當らないものと考へられます。解内に河水を注入或は之を排出する事に對し、御異論がありましたが、之も解船の復原力に依存しない筆者の方法には當らないものと考へられますが、唯解船が木船である場合には、水を注入する事に依つて、船自体の強度を害し、水を排出する事も困難であるため、寧ろ此等の點に問題がありさうに思はれます。解船の縦方向の傾きを相殺する爲、解の前部或は後部の室に水を残す方法も、筆者は井山氏の御説の如く不可であるとは考へませんし、解船に水を注入した場合直ちに解船が不安定になるとも考へられません

ので、此等の問題に答へる爲、船内に水を注入した場合の解船の安定を考へて見ます。

内部に水を注入せる 図-1 の如き解船が、何等かの外力の作用下に角 θ だけ傾ける場合の解船の安定を考ふるに

- V : 全排水量
- I_x : O に於ける水平断面積の OX 軸に關する二次率
- V' : 解船内に注入せる水の容積
- I_x' : O' に於ける解船内水面積の $O'X$ 軸に關する二次率
- W : 解船の重量
- w : 水の單位重量
- C : 浮心
- G_1 : 解船の重心
- G_2 : 解船内水の重心

とし、解船の傾角 θ を小なりと假定すれば、図-2 の關係に於て、

$$S = \theta I_x / V \quad \therefore \quad H = I_x / V \dots\dots\dots (1)$$

$$g = \theta I_x' / V' \quad \therefore \quad h = 1/\theta (g + a\theta) w V' / (w V' + W) \\ = (I_x' / V' + a) w V' / (w V' + W) \dots\dots\dots (2)$$

(1) 式に依つて與へられる M と、(2) 式に依る M' の相對的位置に關し、

- M が M' の上位にある場合……………解船安定
- M と M' が一致する場合……………解船中立
- M が M' の下位にある場合……………解船不安定

である。

之を要するに解船内部に注入された流体は、解の傾いた方向に移行する一方、(1) 式に依る傾心の高さを低くし、全体として復原力を減少しますが、解船全体としての安定度が那邊にありやは、前記の諸關係を明かにした後初めて決定される問題であり、液体注入に依る解船安定度の低下も、注入した水の重量と解船の自重との相對關係を考へる事に依つて、初めて意味を持つものと考へられます。筆者が構桁架設に先だつて豫行演習を行つた際は、解船上に桁受櫓其他の諸設備を裝備し、船内に桁の荷重と同量の水を注入したものでありますが、此の場合は左右兩舷何れの方にも容易に 7° 程度の傾きを示し、復原力を持たなかつたのであります。之は前述の中立平衡の條件に合致した爲であります。實は其の前年、桁受櫓其他を解船に載せてない時、水のみを注入して解船の吃水を桁載荷時と同一にして見ましたが、此の時は舷の傾斜を示さなかつたのであります。つまり此の場合辛うじて安定の條件を満足してゐたものが、櫓其他の設備を解上に裝備する事に依り全体の合成重心が上昇して中立平衡の状態になつたものであります。此の關係は前記の (1)、(2) 式に依りまして容易に説明されます。解船上に櫓を載せれば全体の重心は上昇して、解船の安定度は低下すると云ふ事は自明の事ですが、其の程度如何は計算でもして見なければわからない事で、オーダーを見誤る事が、天鹽川架設の豫行演習に於ける様な事態を招來する所以であります。井山氏の云はれる様に總べての事象に充分慎重でなければならぬ事を痛感した次第であります。

次に解船の強度試験ですが、河水の如きものでなく荷重軌條の如きものを桁載荷時よりも、惡條件に載せるを可とするとの御意見は同感でありまして、筆者も桁架設に先だち荷重軌條を載せて強度試験を行ひました。但し桁受

図-1

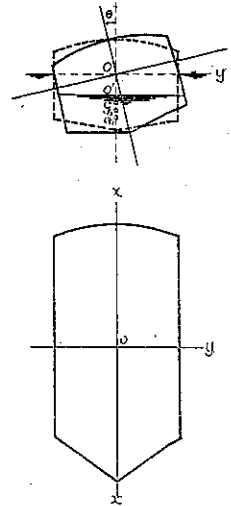
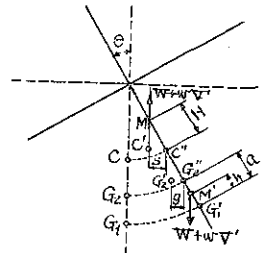


図-2



槽の設計の確定以前に行つたもので、桁載荷時よりも寧ろ好條件に試験を行つた感があります。筆者の行つた架設方法は桁が未だ安全な陸上足場にある時舢船に之が負擔すべき全荷重を載荷するものでありますから、井山氏の鼎岩橋架設方法に於ける程、舢船の強度試験が重要な意味を持ちません。

舢船の抗流設備に就きまして筆者の天鹽川構橋架設に於けるものは、必要な最少限度のものであつて、何とか考慮の餘地があるとの御意見ですが、筆者は寧ろ抗流設備は必要な最小限度に止めて、個々のものを強化する事に依り安全度を高める事が策の得たものであると考へてゐます。即ち作業を簡易化する事に依つて、其の確實性を増大するものであり、強度其物から云つても抵抗力は1箇所に集中される結果、所謂各個撃破を受ける危懼がありません。天鹽川構橋架設に於きまして、當初は井山氏の説の如く舢船を上下流左右兩岸の4個所のウインチに繋ぐ計畫でしたが、此の4個のウインチを協調して作用せしめる事が至難である爲、第21卷第10號で述べた方法に改めたものでありまして、架設作業の實績より見て好成績をおさめたものであります。

舢船の進行中に起る上下流への偏移調整は、橋軸線と舢船の舳部とに設けた2本の見通し線と、抗流設備の作用とに依りました。鼎岩橋架設の場合の如く、橋桁の左右兩側に橋軸線に平行して、ワイヤーを張り渡すのも一方法かも知れませんが、其の效果に就ては多少疑問の餘地があります。天鹽川の場合の如く、陸上足場上を移動するトロリーが1箇所のみである場合は、舢船の多少の偏移は大した不都合を生じません。

桁の重量を舢船に移す方法に就て、鼎岩橋に試みられた方法を述べられました。此の方法は舢船の進行中に於て漸次桁重量を舢船に移して行くものであつて、陸上足場の強度を低下し得る利點があり、誠に結構な考案であると思はれますが、尙次の様な諸點に難點がある様に思はれます。陸上足場上の車輪が外れる毎に桁の重量は舢に移つて、其の吃水を増加するものであるが此の際井山氏の方法を以てしても舢に撃面を與へはしないか。一車輪が外れて舢船の吃水が増す毎に桁の縦方向の傾きが変化する爲、桁を受けてゐる車輪並びに舢に、設計者の意図する様な荷重を負擔さす事は至難である。殊に井山氏の方法の如く、静力学的不定の状態を以て桁を受けてゐる場合此の感を深くする。舢船が全荷重を受けるのは、全く桁が全危険面に曝された後である爲、萬一舢船に不測の弱點を發見した場合、策の施し様がない。勿論井山氏の云はれる様に、舢船は架設實施に先だち、最悪の載荷状態で試験済のものであるから、此の如き事はなかるべしとは考へられるが、天鹽川架設に於ける如く桁が安全な陸上足場に載つてゐる間に於て、舢船に全荷重を移すものに比し、其の安全度に於て遜色を認めざるを得ないと考へられます。之を要するに、井山氏の方法は舢船の強度及び安定度に充分餘裕のある場合採るべき方法であつて、筆者の場合に於ては、之に依る事は全くの暴擧と考へられます。

天鹽川で行ひました、桁の先端据付は、ジャッキに依らず舢船に水を注入する事で一度に据付けるべきであるとの御意見は誠に御尤もで、天鹽川に於ても當初は其の計畫でしたが、水面と甲板面との餘裕が51cmで桁の上げ越が約35cm程度であるため、舢を抜き取る場合の餘裕が少なく舢船を殆ど沈没せしめなければ抜き取れないので、ジャッキに依る事にしました。

2. 軌道及び車輪 陸上足場上で組立てた桁の送出用の軌道に1/100程度の下勾配をつけて牽引力を軽減する御意見は、普通一般の方法で、確かに有効でせうか、牽引力に餘裕のある場合は、おしみ其他の制動装置の點から必ずしも推奨され得ないのではないかと考へられます。軌條と車輪に油を塗る事は恐らく何かの御考違で、效果のあるものとは考へられません。所要牽引力を小さくする爲には、車軸には必ずオイルキャップを付けて、軸承部の潤滑を可良ならしめると共に、車軸と車輪の直径の比を事情の許す限り大きくとる事に依て抵抗力を軽減する事が出来ます。筆者が天鹽川で使用したトロリーは図-3の如きもので、トロリー自体の安定度が低い事並に、桁の後端は

2組のトロリーを前後にならべて受けしめる爲、荷重が1組のトロリーに集中されはしないかと云ふ事に懸念がありました。實績に依ると荷重に依つて軌條が沈下し、前後する2組のトロリーは同量の荷重を受けてゐたかに見え、不都合な結果を見なかつたのですが、トロリーは出来得べくんばボギーの如きものにするに

如くはありません。又車軸は、車輪の廻轉速度の小なる事、之に耐久力を要求しない事等を考へて、出来得る限り細くすべきだと考へてゐます。

陸上足場を送出す場合のトロリーの配置に就て御異論がりましたが、御説の如くトロリーを配置し、4個の支點反力を近似的に解いて見ますと、図-4の結果が得られ、遙かに筆者の場合より悪い分布を示します。之はつまり静力学的不定の問題を、宛も靜定構造の如く簡單に考へた爲に生じた過誤ではないかと存じます。若し單にトロリー上の反力を小さくする爲ならば、桁最後部のトロリーを取去つて、他のトロリーを御説の位置に入れれば、多少効果がありますがL₁とL₂とは全く對稱である爲、兩者とも其の上に立つ構桁の垂直材を圧力に對して補強する要を生じます。

3. 送設備 桁送出しの方法に就き、機關車牽引から

カグラサンに段取換をせず、一方法のみで送り出す事は御説の様に望ましい事でありませう。之には適當な工形桁か鈹桁があれば、之を構桁の後端に連結し其の最後端に桁送出しの移動滑車を取付ければ容易に目的を達します。天鹽川に於きましても種々之等のものを研究して見ましたが、適當なものが得られない爲、送出しの最後だけはカグラサンに依りました。實績より見ますと、豫め桁に臺附を付けて置いた爲、段取換に時間を要せず、カグラサンに依る桁送速度の遅い事が、桁を所定の位置におさめるのに却つて役立つ様に考へられます。桁送速度の決定は單に桁が動くこと云ふ事ではなく、桁を危険な状態に置く時間を短縮する意味では、成る可く速度の大なる事を要し、解船に撃面を與へない爲には、成る可く速度の小なる事が望まれます。筆者は實績から見て、毎分1~2mを適當と考へてゐます。御参考迄に申しますが、天鹽川の場合、解船に桁を載荷してより所定の位置に到達するには、カグラサン2臺を16人で捲くものとすれば、約2時間を要する事となり、時間を短縮する意味で機關車牽引に改めました。

桁送出しには制動装置の必要な事は勿論で、筆者の場合は、陸上足場上の軌道の前端に車止装置を施すと共に、桁のおしみを蒸氣捲上機2基に取つてゐます。

図-3. 曳出用鉄製トロリー

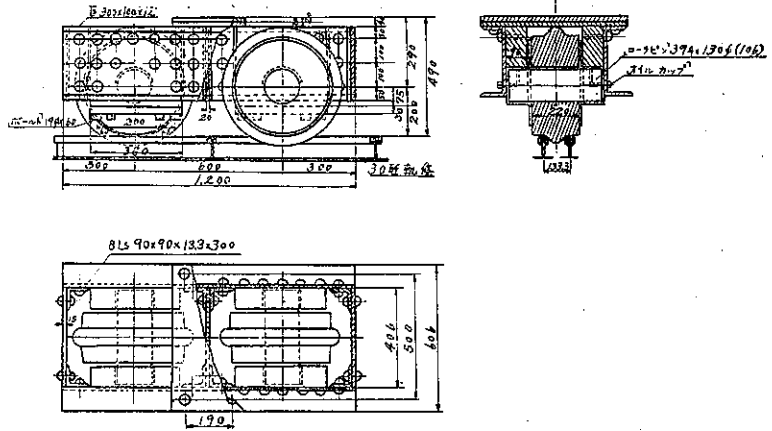
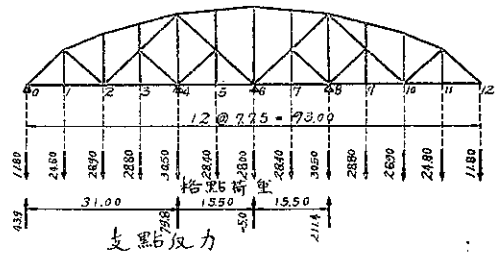


図-4. 支點反力



桁送出用の牽引鋼索を構桁の左右主桁にとり、兩者の捲方を加減する事に依つて、桁の上下流への偏移を調節しやうとの御説は効果のあるものとは考へられません。筆者は逆に兩牽引索を結合し、之に單滑車を通して牽引力を加へ左右の力の不平均を防ぎました。

天鹽川構桁架設に際し、架渡しの際桁のストリンガーを抜いた事は、解船の能力が充分でない爲、工費の多少嵩む事を犠牲にした窮策であります。但しストリンガーを抜く事で構桁自体の剛性を低下するものとは考へられません。

解船式架設は作業員のチームワークに依るものでありますから、指揮者は作業員のチームワークを訓練し、實施に當つて、之を完全に統制しなければならないのは全く御説の通りであります。天鹽川に於きましては、各要所に責任者を配置し、陸上足場、解船各部の異状等を紅、青、白の信號旗で對岸橋脚上の指揮者に報告し、指揮者は之に依つて桁の停止、又は徐行、解船の偏移調整等の對策を施しました。

4. 工事費、架設計畫其の他 構桁架設を解船に依らず、冬季結氷期を利用し、河面に杭打基礎を施して足場を築造し、之に依つて構桁の組立架設を行へば、架設費を $1/3 \sim 1/4$ 程度に減少せしめ得るとの御意見は筆者の邊かに同意し得ない處であります。架橋位置に於て、天鹽川の冬季の水深は約 7m 程度で、構桁の下弦の位置は水面上約 9m であります。井山氏の方法に依れば 10m 程度の杭を一面に打ち、此を基礎として其の上に高さ 9m の足場を築造する事となり、足場費のみで桁の重量 1t 當り少なくとも 40 円程度を要する事と考へられます。此の工法に依れば河面一帯に氷の張りつめた 1 月初旬から 8 月下旬迄の嚴冬期を利用するのですが、此の時期は -28°C 程度の嚴寒も珍しくなく、烈風吹き荒む吹雪の日が多いのであります。嚴寒と日の短い事に依つて、1 日の作業能率は、半分以下に低下し、且つ吹雪の爲に作業し得る日數が半減される事を考へますと、此の工法の成否は天候其他の不可抗力に支配されるものと云はざるを得ず、1 月初旬から 8 月下旬迄に、工事を竣功さす事に對し、甚しい危懼の念を抱かざるを得ないのであります。建設線に於ける鉄道橋の架設工事に於ては、其の工事の遅延は直ちに全建設費の死蔵を意味するものであつて、假に天鹽川架橋を 1 年間遅延したものとすれば、直ちに 100 萬円程度の建設費が、1 年間死蔵される結果となります。故に工事計畫に當つては、經濟的觀點から見ても、單に工事費の大小のみに止らず、其の確實性をも合はせ考へなければならぬと思はれます。橋梁架設に於て、其の設備費は全工費を支配する大きな要素であるが、此の設備費は橋梁の形狀、大きさ、連數、位置、地形等に依り甚しく変化するのみならず、設備の償却を幾何にとるかに依つて、亦変化し得るものであります。故に一橋梁の架設費の數字を以て、他を推す事は甚しく困難な事に屬してゐます。天鹽川構桁架設に於て天候其他に恵まれ、井山氏の方法が可能と致しましても、桁の重量 1t 當り、足場築造費 40 円、組立費 50 円、鉸鉸塗工費 15 円程度と考へますと、既にこれのみで、100 円以上となります。天鹽川構桁の架設計畫の當初、氷上架設は確實性の少ない點で之を除外し、ケーブル式架設と解船式架設とを比較研究し、經濟上解船式を有利と認めて、計畫を進めたのですが、工事の途中に起つたゴライアス倒壊事故並に解船の航送修繕に多額の費用を要した事等に依つて、架設費は相當高いものとなり、經濟的に成功したとは云ひ難い結果となりました。然し乍らケーブル式架設に依つても、筆者の要した架設費を半減する様な事は到底考へ得ない處であります。要するに解船式架設はケーブル式の如く一般性を持ち得ず、設備の流用を考へ難い爲、特殊の場合を除き一般には經濟上有利ではないと考へられます。

以上大体御質問の順序に従つて筆者の意見を申述べました。多少獨斷的な處もあるとは存じますが、何等かの御参考になれば幸甚とする處でございます。