

が大となるにつれ $\int_1^2 I dL$ に対して大なる誤差をもち $I_m L$ とおく方が $\int_1^2 I dL$ に近い値となる。よつて $I_m L$ を用いる方法が多くつかはれるが試算が面倒である。今 I に Manning 式を適用した場合の誤差関係を考えると、

$$\Delta I/I = 2(\Delta h/h + \Delta V/V) - \frac{4}{3} \Delta R/R \quad \text{となり、}$$

凡の選定の誤差を 5% とすれば I の誤差はすでに 10% となり凡を精密に選ばなければ $I_m L$ も大なる誤差をもつと考へうる。よつて $I < 1/500$ なる範囲で考へれば (2) の假定も精度が高いと考へうる。

よつて四解法では範囲を $I < 1/500$ におく、それで低下背水を求める場合には低下水深が限界水深よりも相当大きなときのみを利用しうる。

4). 結 び、この四解法に於ける曲線群は形がきまつているから水深を 0.5m おきぐらいに値をとればよいから画くのに面倒でない、又これらを書いてみると革流水深も曲線の交点によつておのづと求めらるるなど断面の性質もよく理解しうるなどの利点をもっているが断面が不平等である場合には簡単に用いえない欠点をもっている。

伊ノ浦橋(西海橋)のアーチ主構の閉合方式に就て

建設省伊ノ浦橋工事々務所 ○村上永一、吉田 巖

§ 1. 基本計画.

(1). 閉合作業の意義

- 架設応力を固定アーチとしての応力分布に変換する。
- 弾性重心に作用する水平力 68.20 トン及モーメント 114.579 t-m に相当する圧力をかけてアーチ部材に所要の予応力を添加し応力分布を均等化する。

(2). 架設応力の変化及予応力の添加について。

(3). 本橋に於て採用せる閉合方式

5.2. 作業実施のための事前準備

(1). 主拱の構造上、

a). ジャッキ受、 b). シム受、 c). 横方向剪力假止装置、 d). 垂直方向剪力假止装置、 e). 拱頂部の添接方式、 f). 使用ジャッキ、

(2). 作業上、

a) 架設荷重の積算

閉合作業の本質が張出し形式に於て架設中の半アーチの応力をその荷重状態に於て固定アーチに変換せしめる点にあるので作業実施時の荷重を正確に求める事は本作業の精度を向上せしめる上に於て必要不可欠なものである。荷重積算に考慮した項目は次の如し。

○主拱の永ス構造物としての鋼重 ○架設の爲に主拱に取付けられている鋼重 ○鉸鉄足場 ○安全網 ○測定用足場 ○送気管 ○鉸鉄用の炉及び予備鉄 ○主鋼索調整用金具 ○ジャッキンク作業に伴う諸金具
○ジャッキ用ポンプ及同附屬品一式 ○閉合作業従事作業員

b). 主鋼索張力の測定

閉合作業を行ふに當つて全鋼索を撤去した状態で閉合作業を行ふ事が出来るのならばジャッキの力を決定するのに鋼索張力は問題に入らないが本橋に於ては鋼索を取付けた状態で作業が実施される關係上架設荷重を適確に把握する必要と同様な重要度を持つて来る。實際の作業に於ては拱頂部間隙を理論値だけ與える作業を以てジャッキ推力を與える作業としたためにこの理論間隙決定の爲張力測定が必要となつたのである。張力の測定はアーチの全架設が終了し調整作業も完了し閉合時使用する架設荷重の分布に変動が起きない目途のついた12月21日に実施した。

c). ジャッキの陸上に於ける試験、

本工事に於て使用したジャッキは山本起重機株式会社製の300トン油圧

ジャッキ 8 台で土木研究所で基礎試験を行ひ、現場に於ては部材に取付けた状態で作業方法、手順も考慮し乍ら現場試験を実施した。

d). 架設ステージ後半の態勢

当初の閉合計画に於ては後述する各種方式の裡、直接法を予定していたのでその作業実施が容易な如き即ち極端なる上げ越しの状態で架設完了を予定していたが決定案がこれと相違したため逆に頭下りの状態で架設を完了せしめる必要が生じた。従つてステージ 7-11 の状態に於て前方索 11 を取り付けこれに張力を入れる場合次の如き考え方で張力を決定した。即ちステージ 7-11 の状態で前方索を緊張して張力を與えた後架設を進め途中調整を行はないで架設完了のステージ 7-15 に於て起拱点上弦材の引張力が 150 トンを越さない條件で緊張力を求めると 90 トンになる。従つて目標をここに置いて 12 月 2 日に針尾側、同 4 日に大串側の調整を実施した。次で架設を進行しステージ 7-13 に於て両側共に鋼索張力を測定し左右の不均衡を是正し閉合作業を種々検討した結果決定案の文番法から準直接法に変更になり頭下りの状態に無理して持つて行く必要が無くなったので架設完了時起拱点上弦材の引張力が 100 トンになる如く前方索 11 の張力を 36 トン増加せしめた。

以上の調整完了後架設を進め 12 月 17 日全部の建込み作業を完了した。

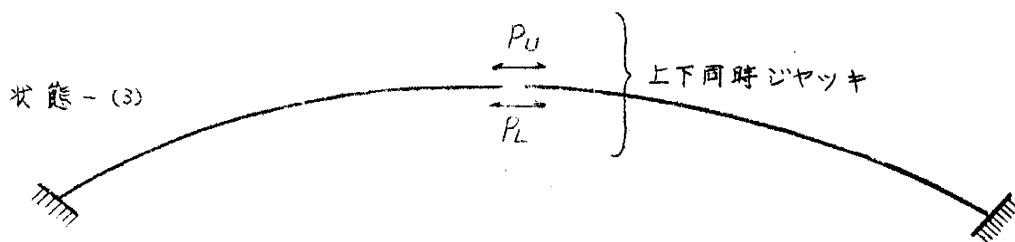
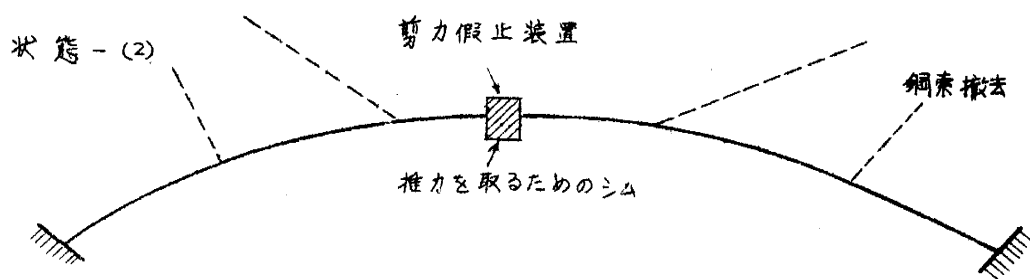
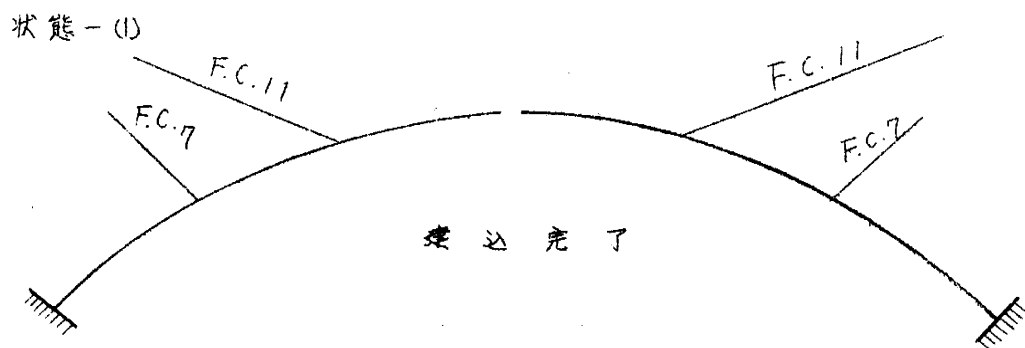
5. 3. 閉合作業実施方式の比較及作業方式決定。

閉合作業を実施するに當つて、本橋梁に如何なる方式を採るかは作業方式そのものが未知の世界であり手本とすべきものもない事として作業担当責任者が実施案に潜き着く迄の思考経過に従つて方式（当所に於て假に名付けたものであるが）別に列挙し比較すると共に決定への推移を明かにしたい。

(1). 直接法

利点——応力状態が明白で精度が上る。

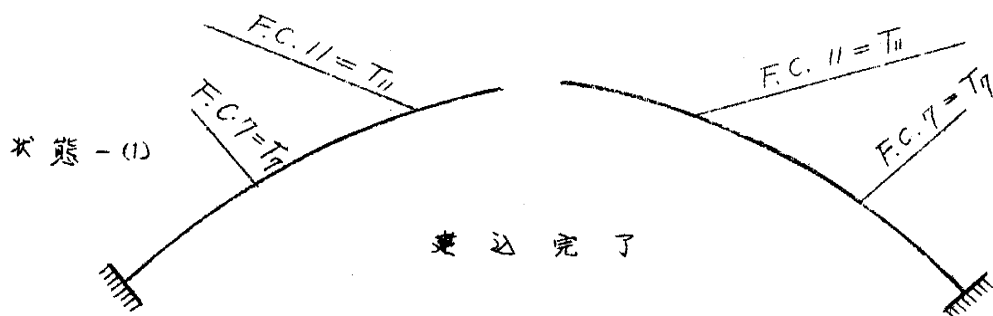
欠点——鋼索を撤去するので危険を伴ふ。

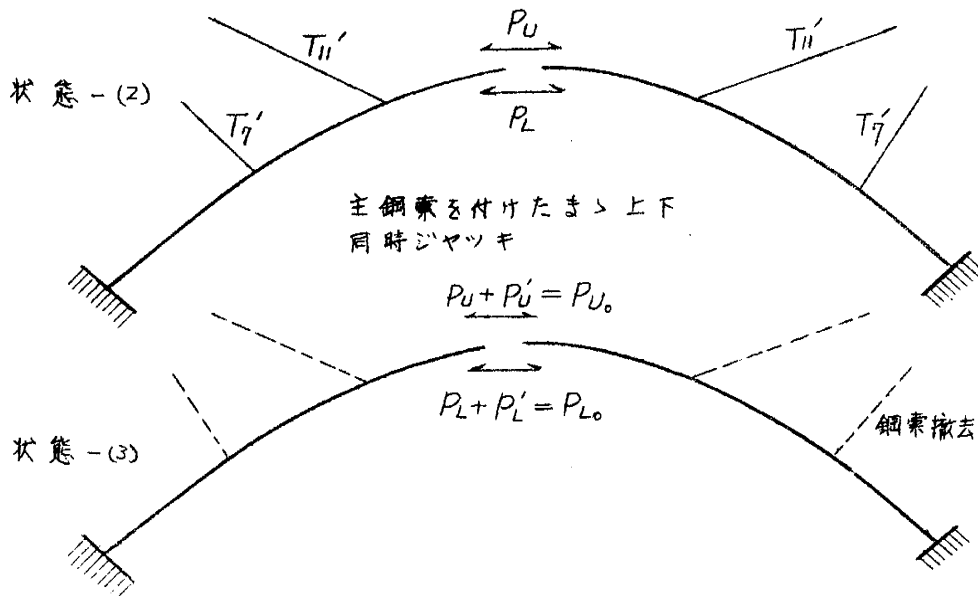


(2) 交替法

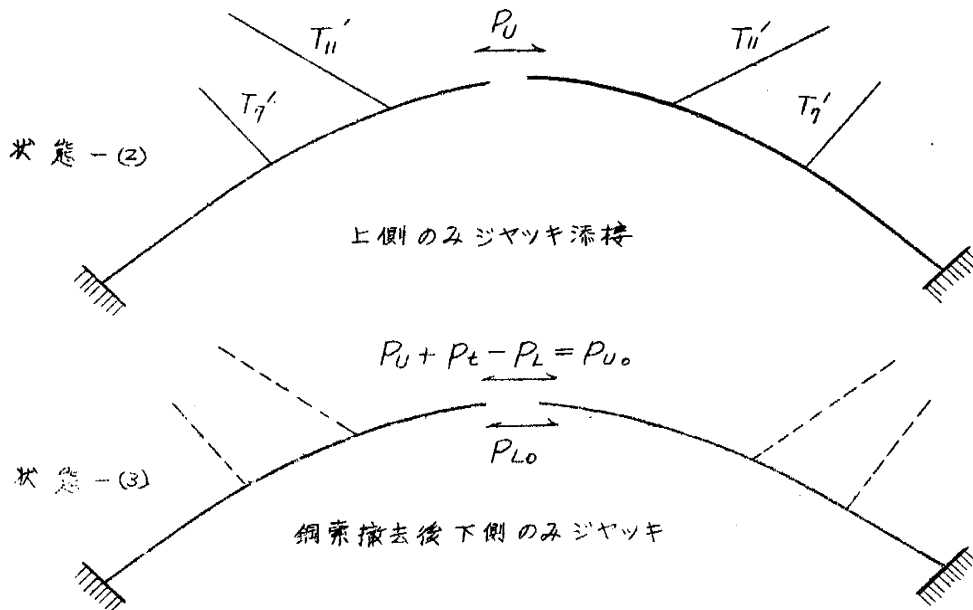
利点 — 直接法の危険は避けられる。

欠点 — 主鋼索張力測定誤差が閉合の精度低下を招来する。





(3). 準直接法



利点 — 交番法と同じ、それに加えて下側ジャッキの際補正作業が可能である。

本法に於ては先に下弦をジャッキし次で上弦をやる方法も考えらるが補正

能力に於て前者が高いので前者が採用された。

§. 4. 作業に対する計算及各種測定

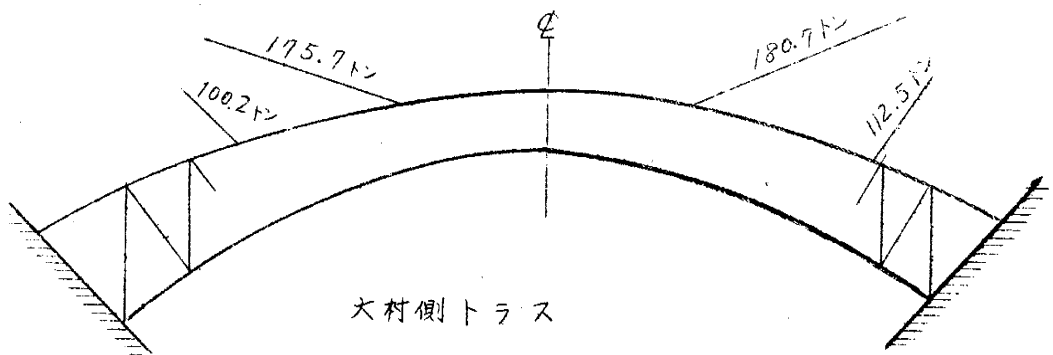
(1). 第1次理論閉合作業

閉合作業は準直接法が採用されたが作業としてはジャッキの力を以てせずに理論間隙を第1次作業では上弦格点に第2次作業では下弦格点に與える方法を採った。従つてジャッキ直前の理論間隙と直後の理論間隙の差を求めてその分だけ間隙量を増量せしめる作業を行はんとするものである。

(A). 計 算

(Q). ステージ 7₁₁ - 15 の理論間隙

張力測定値



$$\text{平均張力 } T_{11} = 178.2 \text{ t.} \quad T_7 = 106.35 \text{ t}$$

従つて半アーチで計算して間隙量は以下の値の2倍になる。

$$\begin{aligned} \delta_{15'}^h &= \delta_{15'E}^h + \delta_{15'T_7}^h \cdot T_7 + \delta_{15'T_{11}}^h \cdot T_{11} \\ &= \delta_{15'E}^h + 0.6631495 \text{ cm} \times 106.35 + 0.0971012 \text{ cm} \times 178.2 \\ &= \delta_{15'E}^h + 24.0193 \text{ cm} \end{aligned}$$

同様の手順で佐世保側トラスに対して

$$\delta_{15'}^h = \delta_{15'E}^h + 23.5708 \text{ cm}$$

(b). ジャッキ後の理論間隙

如何なる方式を採用しようとも閉合完了時の理論間隙は同一の筈であり、

計算上直接法でのジャッキ 推力を求めそれによる理論間隙を出す、それには
架設荷重予応力、温度補正を考慮しなければならない。

(i). 架設荷重による不静定力

$$H_E = 474.803 \text{ t} \quad M_E = 3,257.654 \text{ t-m}$$

(ii). 予応力によるもの

$$H_p = 68.210 \text{ t}, \quad M_p = 114.579 \text{ t-m}$$

(iii). 温度補正によるもの

温度 1°C 上昇によつて生起する H_t, M_t は

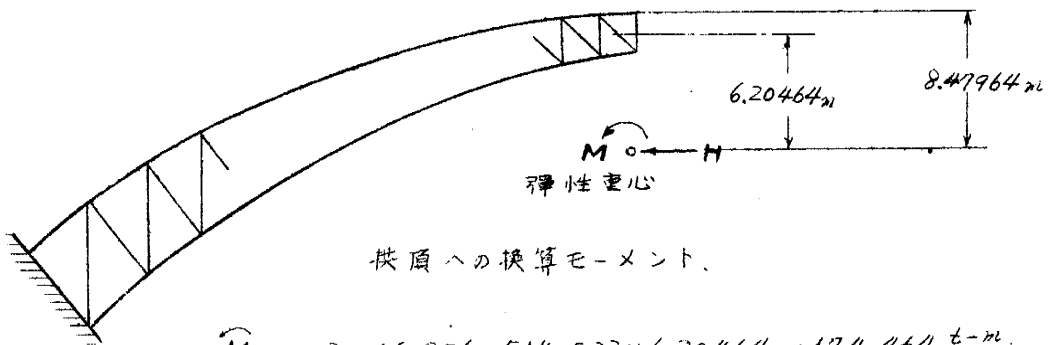
$$H_t = 4.06858 \text{ t} \quad M_t = 0.7539 \text{ t-m}$$

(iv) 上弦及下弦の理論推力

スパン $7-15$ の状態で夜間及早朝に拱頂部の間隙を測定したのでその時の
の温度に対応するものとして計算する、測定気温 8°C

$$\bar{H} = H_E + H_p + H_t = 474.803 + 68.21 - 4.06858 \times 7 = 514.533 \text{ t}$$

$$\bar{M} = M_E + M_p + M_t = 3,257.654 + 114.579 - 0.7539 \times 7 = 3,366.956 \text{ t-m}$$



$$\bar{M}_{o.c} = 3,366.956 - 514.533 \times 6.20464 = 174.464 \text{ t-m.}$$

$$\text{上弦理論推力 } P_{Uo} = \frac{514.533}{2} + \frac{174.464}{4.55} = 295.611 \text{ t}$$

$$\text{下弦理論推力 } P_{Lo} = \frac{514.533}{2} - \frac{174.464}{4.55} = 218.923 \text{ t}$$

従つて上弦格点の水平方向の変位は

$$\delta_{15'}^h = \delta_{15'E}^h + \delta_{15'P_U}^h P_U + \delta_{15'P_L}^h P_L$$

$$\begin{aligned}
 &= \delta_{15'E}^h + 0.0624717 \text{ cm} \times 295.611 + 0.0472567 \text{ cm} \times 218.923 \\
 &= \delta_{15'E}^h + 28.8129 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

(C). ジャッキングにより増加する拱頂間隙量

上弦格点における値

佐世保側トラス

$$C = 2(28.8129 - 23.5708) = 10.4842 \text{ cm}$$

大村側トラス

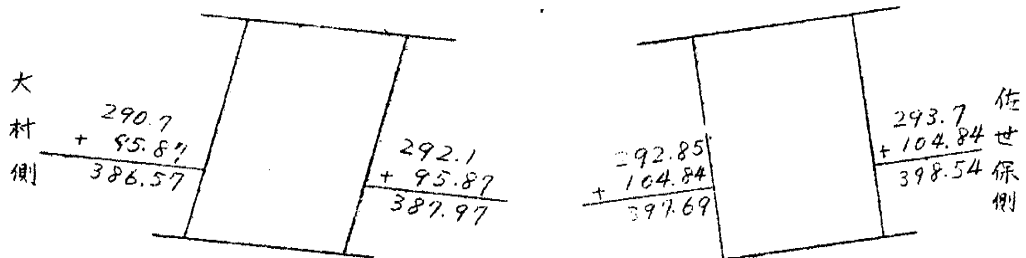
$$C = 2(28.8129 - 24.0193) = 9.5872 \text{ cm}$$

(B) 測定

(a). 拱頂部間隙量の測定

ノギスを使用して測定し第1回測定は12月21日22.30~23.30 気温8.4℃
第2回測定は22日5.00~6.00 気温7.75℃であつた。測定は各部位について互に斜角線上にある突縁の蓋板面に於て4ヶ所測定しそれ等を整理、平均して中立軸上での測定間隙とした。閉合後の理論間隙は次の如し(第1行は測定値、第2行は増加間隙量)

単位 mm



(b). 応力測定

長期応力の測定は生研式歪計と電気抵抗線歪計とを使用した。

(c). 第1次理論閉合作業後の鋼索張力の測定

鋼索撤去後拱頂部に生起する推力を知るためには第1次作業によつて鋼索張力が低下し残留した張力を測定、その撤去によつて拱頂部上弦格点に

される推力を求め、実際ジャッキによつて與えた推力との和が理論値になるや否やを検する必要がある。そのためジャッキ 後 12月23日 午前より午後にかけて主鋼索の張力を測定した。

(d). 閉合作業時に於ける各種測定

油圧ゲージの読み取り、突縁相互間の開き、アーチ部材温度の測定等があるが部材温度の測定には各種の困難が伴ひ、当所に於ては銅—コンスタンタンを使用した熱電対を用いた。

(2). 第1次補正閉合作業

[A] 計 算

(a). 第1次理論閉合作業の結果の判定

実際に油圧ゲージの読み取りよりする推力は

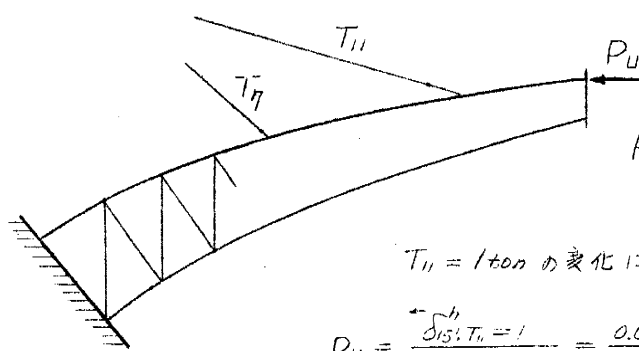
大村側トラース $P_{U.a} = 166.049t$

佐世保側トラース $P_{U.o} = 178.126t$

ジャッキング完了時の部材温度 $6.1^{\circ}C$

(i). 主鋼索を弛めた時必然的に拱頂部と弦格点に生ずる推力

$T_7 = 1ton$ の変化により



生起する推力

$$P_U = \frac{\int_{15}^h T_7 = 1}{\int_{15}^h P_U = 1} = \frac{0.0631495}{0.0624717} = 1.01085t$$

$T_{11} = 1ton$ の変化により生起する推力

$$P_U = \frac{\int_{15}^h T_{11} = 1}{\int_{15}^h P_U = 1} = \frac{0.0971072}{0.0624717} = 1.55432t$$

次に $P_U = 1ton$ による前方索の張力 T_7, T_{11} の変化を求める。

後方索の影響、トラースの動き、前方索の伸び等を考え格点 7 及 11 に於て平

衡式を立て、求めるが、こゝでは煩雑になるので結果のみを書く。

$$\Delta T_{11} = -0.234423 \text{ t}$$

$$\Delta T_7 = -0.124021 \text{ t}$$

前方索を全部撤去した状態で最終的に生ずる理論推力を P_{U_0}, P_{L_0} とするとき次の式が成立つ。

$$\begin{aligned} P_{U_0} &= P_U + 1.55432(T_{11} - 0.234423 P_U) + 1.01085(T_7 - 0.124021 P_U) - 0.756450 P_L \\ &= 0.510265 P_U - 0.756450 P_L + 1.55432 T_{11} + 1.01085 T_7 \end{aligned}$$

(ii). 温度 1°C 変化による補正の拱頂推力 (温度上昇)

$$P_{U.t} = -3.3482 \text{ t} \quad P_{L.t} = 7.4167 \text{ t}$$

(iii). 温度 6.1°C に於ける第1次閉合作業での上弦理論推力。

架設荷重及予応力による理論推力

$$P_{U_0} = 272.173 \text{ t} \quad P_{L_0} = 270.840 \text{ t}$$

一方作業完了後測定された前方索の張力は

大村側 トラス

$$T_{11} = 178.2 \text{ t} \quad T_7 = 106.35 \text{ t}$$

(i) の式に代入して

$$P_U = 181.407 \text{ t}$$

佐世保側 トラス

$$T_{11} = 173.45 \text{ t} \quad T_7 = 106.55 \text{ t}$$

$$P_U = 195.481 \text{ t}$$

一方温度 1°C 上昇した時の補正推力は

$$P_U = +4.4334 \text{ t}$$

次に同様に温度 7°C 上昇した時、鋼索張力が変化するのでそれからの補正分として $P_U = +0.99 \text{ t}$

次上の結果を総合して

大村側 トラス

$$P_U = 181.407 - 4.4334(15-6.1)$$

$$- 0.99(8-6.1) = 140.069 \text{ t}$$

$$P_{U_0} = 166.049 \text{ t}$$

佐世保側 トラス

$$P_U = 195.481 - 4.4334(15-6.1)$$

$$- 0.99(8-6.1) = 154.143 \text{ t}$$

$$P_{U_0} = 178.126 \text{ t}$$

(53)

この結果のみから判断すると非常に大きい誤差を生じた様に思えるがその原因が鋼索張力の理論通りの減量を示さなかつた事を表はすのに外ならず今度は測定される残留張力を鋼索を撤去する事によつて開放した場合上弦格点推力がどの様な値になるか計算してみる。先づ閉合作業完了時の部材温度に対する理論推力を求めると、

$$P_{U0} = 272.173^t + 3.3482(15-6.1) = 301.972^t$$

$$P_{L0} = 270.840^t - 7.4167(15-6.1) = 204.831^t$$

一方測定張力は6.1℃に換算して

大 村 側 ト ラ ス		佐 世 保 側 ト ラ ス			
	T_7	T_{11}			
大 串	79.3	134.0	大 串	77.3	126.0
針 尾	<u>85.0</u>	<u>136.9</u>	針 尾	<u>85.0</u>	<u>134.2</u>
平 均	82.15 ^t	135.45 ^t		81.15 ^t	130.1 ^t

実際與えたジャッキ推力は前出の如く夫々、

$$P_{Ua} = 166.049^t$$

$$\begin{aligned} P_U &= 166.049 + 1.01085 \times 82.15 + 1.55432 \\ &\times 135.45 - 0.75645 \times 204.831 \\ &= 304.741^t \end{aligned}$$

$$P_{La} = 178.126^t$$

$$\begin{aligned} P_L &= 178.126 + 1.01085 \times 81.15 + 1.55432 \\ &\times 130.1 - 0.75645 \times 204.831 \\ &= 307.585^t \end{aligned}$$

架設荷重が閉合作業の際積算値より作業員に於て超過していたのでその分補正して、

$$P_U = 304.741 - 0.97 = 303.771^t$$

$$P_L = 307.585 - 0.97 = 306.615^t$$

以上の計算結果から次の事が言える、上弦格点に作用せしめるジャッキの力が理論値と大きな隔りがあつた事は鋼索張力が理論通りの減量を示さなかつた事に外ならなうが、これを撤去後に換算する時には2%ばかりの誤差になつたのは作業を力で行はず間隙量で行つた事自体結果的に見て成功だつた

のではないが、逆に言ふと架設完了時の張力測定が精度を大きく支配しその測定が相当正確だったとも言える。亦気温と部材温度の関係を考えるに深夜から早朝にかけて気温の安定した状態に於ては部材温度が $1.5 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 低い事が判った。閉合時使用した理論間隙量は測定時の気温 8°C と部材が同一であるとして結果を整理し決定したのでその間に誤差が存在する。以下 2°C の開きがあつたとして補正してみると。

$$\text{大村側トラス} \quad P_U = 299.085 \text{ t}$$

$$\text{佐世保側トラス} \quad P_U = 301.836 \text{ t}$$

$$\text{これに対し理論値は} \quad P_{U0} = 301.972 \text{ t}$$

(C) 補正量の決定

2°C 分だけ間隙量を減量せしめる。

$$\Delta C = 2 \left(\int_{15'P_U}^h P_{U,t} + \int_{15'P_L}^h P_{L,t} \right) = 2 (0.0624717 \times 6.6964 - 0.0472561 \times 14.8334) = 0.5653 \text{ cm}$$

一方佐世保側トラスについて考えると理論値 301.972 t に対し 306.615 t であり大村側トラスとの比高を求めるに 15 mm はかり高いので両者を差して次の量余分に減量する。

$$\Delta C = 104.842 \text{ mm} \times \left(1 - \frac{301.972}{306.615} \right) = 1.59 \text{ mm}$$

以上綜合して實際採用せし補正量は

$$\text{大村側トラス} \quad 5.6 \text{ mm} \quad \text{佐世保側トラス} \quad 7.2 \text{ mm}$$

だけ間隙量を減少する。

[B] 測定

補正作業後応力及張力測定は実施せず、それ以外の記述は省略。

(3). 第2次理論閉合作業

(A) 計算

(a). 架設荷重の積算

第1次閉合作業に於ける荷重状態と異なっているのは拱頂部上弦材の添接が完了している事、前方索撤去のため死荷重反力が異なり拱頂部の閉合作業のための假設備が変更した事等であり、それに基づき積算し直した。

(b)、第2次理論閉合作業に於ける下弦格点推力の理論値

大村側トラス $P_L = 135.732 \text{ t}$ $P_{L.0} = 120.8 \text{ t}$

佐世保側トラス $P_L = 136.490 \text{ t}$ $P_{L.0} = 120.8 \text{ t}$

(c)、閉合作業完了時に於ける起拱点の上下弦材の応力

荷重	上 弦 材				下 弦 材			
	針 尾 側		大 串 側		針 尾 側		大 串 側	
	佐世保	大 村	佐世保	大 村	佐世保	大 村	佐世保	大 村
架設荷重	-83.234	-83.234	-84.147	-84.147	-437.999	-437.999	-436.996	-436.996
予 応 力	-212.001	-212.001	-212.001	-212.001	+140.657	+140.657	+140.657	+140.657
温度変化	+180.994	+180.994	+180.994	+180.994	-116.791	-116.791	-116.791	-116.791
鋼索張力	-4.423	-5.454	-2.113	-1.700	+7.445	+8.572	+5.852	+5.986
鋼索死荷重反力	+0.623	+0.623	+0.623	+0.623	-4.133	-4.133	-4.133	-4.133
小 計	-118.041	-119.072	-116.644	-116.231	-410.821	-409.694	-411.411	-411.277

以上は部材温度 0°C に対応するため温度変化 $\pm 1^\circ\text{C}$ で $U_0 = \mp 12.066 \text{ t}$
 $L_0 = \pm 7.786 \text{ t}$ 変化。

[B] 測定

(a)、前方索張力の測定 (F.C. 7、1本だけ残置)

事務所側のトランシットを使用しての直接視準法が実施出来なかつたのでテンションメーターで測定。

(b)、起拱点応力の測定

(4) 第2次補正閉合作業

[A] 計算

(a)、補正作業に対する考え方及単位間隙量変化による起拱点部材応力の変化

(3) [A] (C) の起拱点部材応力に対し測定された実応力との差を以て閉合の精度を判定しそれを補正する方向に下弦格点に於ける補正作業を行った。

今 1mm 間隙を増した時の部材応力の変化は

$$L_0 = -5.398 \text{ t}$$

$$L_0 = +2.409 \text{ t}$$

(b). 補正量決定のための方針

(i) (3) [A] (b) に示した結果を見るに明かな如く下弦推力が小さくて消んだ事は上弦推力の過大を意味し起拱点で上弦材の圧縮力が大きくなっているのをこれを下弦材に移行する。

(ii) 大串側と針尾側の起拱点応力を比較する時針尾側上弦材応力は理論値に近く、これを一部下弦材に移す時には圧縮力減少し予応力添加の方針に反する事になる。従つて全死荷重及大串側の半アーチに活荷重が載荷し温度が低下した際背に生起する引張力を最小にする。

(iii) 必然的に生起する拱央部上弦材の圧縮力の増加によつて上弦材の許容応力を超過しない様に補正量を定める。

勿論本補正作業の性質上、上下弦材応力の配分を変更し理論値に両者を近づける事は出来るが針尾側乃至大串側の応力分布を変更せしめる事は出来ない。これは閉合時のアーチの形状その他に起因するもので問題は全然別である。

(C). 補正量の決定-----下弦格点間隙量で。

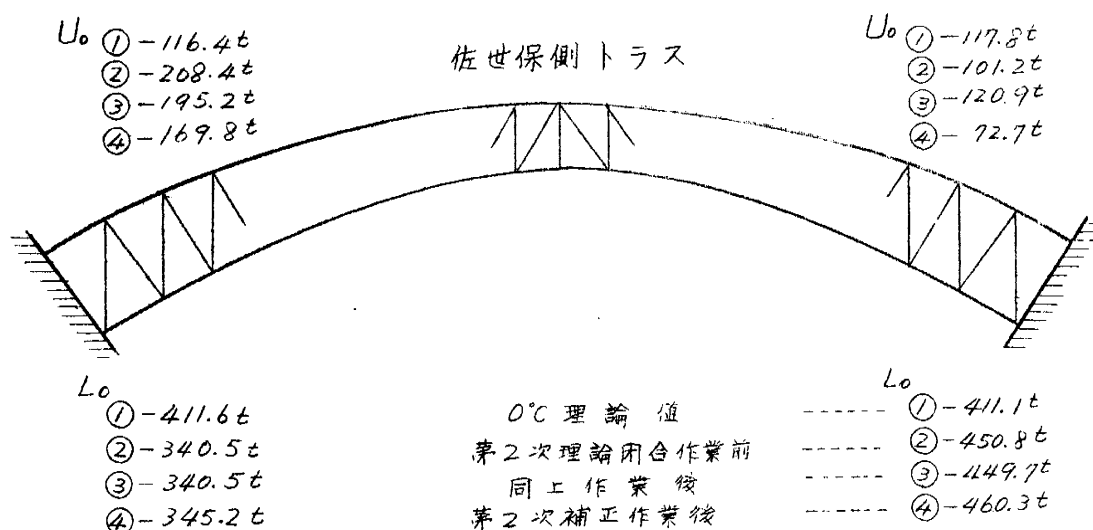
佐世保側トラス-----4.0mm. 大村側トラス-----4.4mm

間隙量を減少して上弦圧縮力を下弦材に移す。

[B] 測定

(a). 応力測定

主研式歪計による結果を一部記してみる。



§. 5. 作業經過大要

1954年12月

- 17日 アーチ主構架設完了
- 18日 拱頂調整作業
- 19日 ジャッキング準備、張力測定
- 22日 拱頂向隙測定
- 23日 第1次理論及閉合作業
- 24日 上弦材添接作業、パイロットピン除去
- 27日 楔のガス切断を含む、同鉄鉋作業
- 28日 下弦材 L_{15} の喰違ひ量の修正
- 29~31日 前方索11の弛緩並に撤去作業
- 3~5日 前方索7の弛緩並に撤去作業、後方索弛緩及撤去作業
- 6日 残留張力測定。ジャッキング準備
- 7日 第2次理論及閉合作業
- 8~14日 拱中央垂直材 V_{15} の取付作業を含む。

§. 6 結 論

閉合作業が鉸鉸完了即ちアーチの形状が定つた状態で行はれたために左右アーチに対称の力を加える事は不可能である。(喰違ひ量補正に伴ひ応力が導入されるため)、然し乍ら本閉合作業の例で言へば設計応力に対し変位の大きかつた大串側上弦材に対しても或程度下弦材に応力を移行する事により、応力状態を改善する事が出来たのは成功であつたと信ずる。

水で飽和した土の振動圧力

九大 松尾春雄 ○大原資生

過去に行つた、地震時土圧の実験を継続発展して、岸壁裏込めが水で飽和されてゐる場合について行つた最近の実験について述べる。初め、高、中、長、 $40 \times 50 \times 50 \text{ cm}$ の小容量の鋼鉄製振動箱を使用して一応その結果を出したが、高に比し中、長、が小なるため、測定値に側壁及奥行の影響があると考えられたので、更に高、中、長、 $40 \times 90 \times 100 \text{ cm}$ の鋼鉄製振動箱で実験を行つた。

この実験の第一の目的は、裏込め向隙水により地震時動水圧が生ずるか、否かを知るため、この事に関しては過去に安藏教授の理論式がある。

実験では、震度 0.2, 0.3, 0.4 にをける水圧と水圧及土圧の合成された圧力とを荒砂及玉砂利の場合について測定した。その結果

- 1). 裏込めが水で飽和されてゐる場合には、振動土圧の他に向隙水による動水圧が存在し、その値はほぼ *Westergaard* の近似値に一致する。
- 2). 1) に述べた動水圧の他に、振動初期に裏込め決定に際して生ずる向隙水圧の異常上昇がある。

と云うことがわかつた。