

「伊ノ浦橋に於ける長期応力の測定 について」

建設省九州地建局 村上 永一
吉 田 巖

要 旨 伊ノ浦橋の架設工事を実施するに際し架設を安全に遂行し、アーチ閉合の精度を知るため部材応力を工事期間中測定したが、測定装置、準備、経過、結果とその大要を示し長期応力測定に対する1例とした。

1. 緒 言

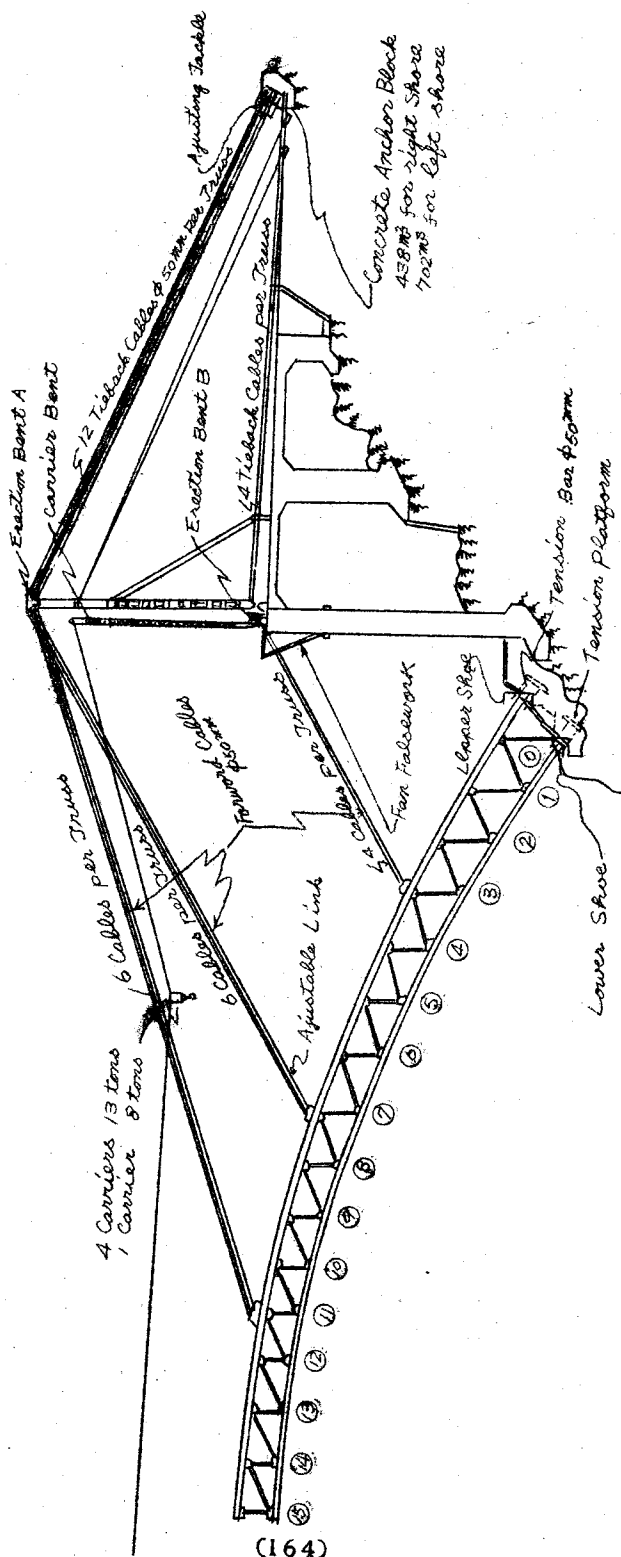
伊ノ浦橋は大村湾の入口に当る伊ノ浦瀬戸に架設された予応力添加構肋鋼固定アーチ橋 (prestressed spandrel braced rib fixed arch) であり、架設は突桁式吊出架設法 (cantilever tieback system) に依つた。

従つて張出された半アーチトラスを保持するための前方策を操作し上弦側沓と下弦側沓に設計上許容された引張力即ち沓1箇当り200tの値を超過した引張力を生起せしめない事が工事を安全に遂行するために要求された。

この限界を知る事は単に工事を安全に進め得る事のみならず前方策の調整なくして架設出来る範囲を確認出来工事能率を向上出来る事になる。

現在迄の処野外に於て長期応力を測定した事例には乏しく測定装置の選択に色々問題があつたが次の2方法に拠つた。

- (I) 機械的歪計として東京大学生産技術研究所で試作したもの (以下生研式歪計という)
- (II) 電気抵抗線歪計

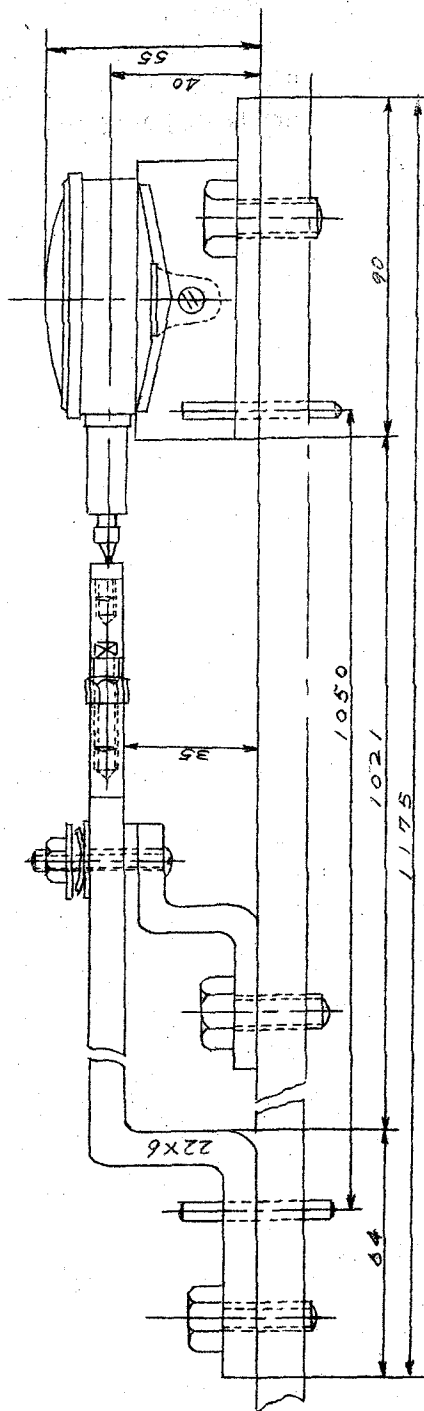
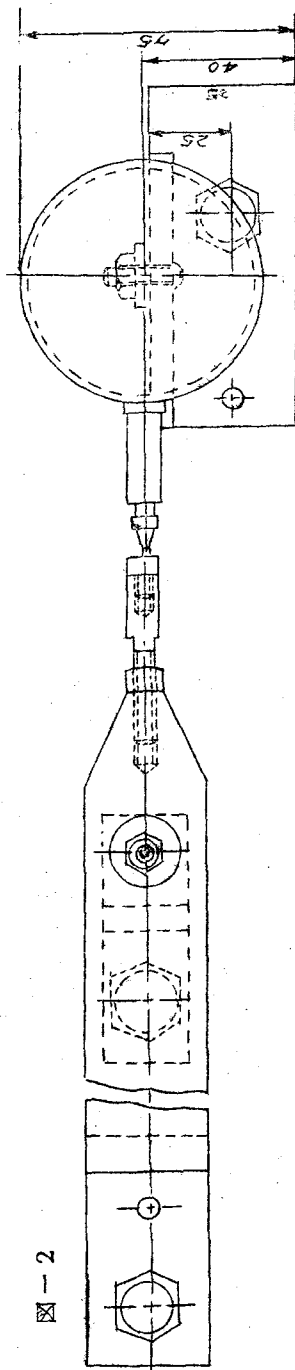


2. 測定装置

(I) 生研式歪計

昭和29年度建設省依託研究費の交付を受け東京大学生産技術研究所岡本教授の手になり標点距離は1050 mmでその精度はダイヤルゲージ直読で 2 kg/cm^2 になる。構造の大略は次掲図の如くである。

2-1-X



1. この歪計は構造物の鋼材に取付ける。
2. 1 / 1000 耗ダイヤルゲージを使用する場合ゲージの 1 目盛は 2 Kg/cm^2 の応力に相当する。

設計	岡本	組	立	図
製図		尺度	1:1	
昭和	年	月	日	図番
東京大学生産技術研究所第一部				

(I) 電気抵抗線歪計

市販品のうち共和無線研究所及新興通信工業両社製の静的歪測定器とベークライトゲージを使用した。

(1) ゲージ貼布方式

次の諸点に於て秀れていると判断したので貼り付けには非常に手数を要したが4ゲージによる外部ブリッジ方式を採用した。

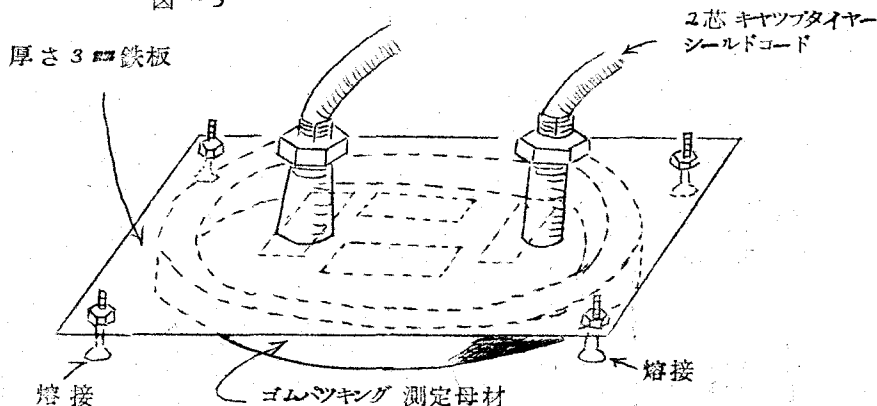
- 温度補償が完全に行われる事
- 測定感度を1ゲージの場合に比較して約2.6倍上げる事が出来る。
- 測定器との結線の際その点の接触抵抗が測定値に直接影響しないため測定器を回路から取り外す事が可能であり、長期間の測定に於て機械の保守が容易になり、リード線の短縮その他設備費を減少出来る。

(2) ゲージの保守

長期間測定を続行するためにはゲージを貼布時と同一状態に保つ必要があるがそのために次の様な点に留意した。

- ゲージはベークライト製を使用し接着剤はアミライト2号を用いた。
- ワセリンとパラフィンの混合物で表面を厚く塗布した。
- 貼布されたゲージを保護するため次の如きプロテクターを試作した。

図 - 3



- (3) ターミナルプレート測定点は次記の如く数が多く1測当りシールドコード2本、従つて結線本数は4点となり且亦正(normal)反(reverse)両方の読み取りを行う為測定点に近くベークライト板を取付けそれにターミナルを付け測定所要時間の短縮に努めた。

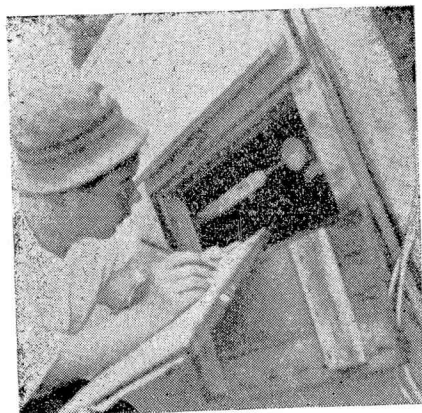
3. 側定準備

(I) 生研式歪計

歪計は生産技術研究所に於て製作され9月末現場に搬入され取付予定部材が組立られた直後据付けられた。温度補償については測定母材と歪計本体、特に距離棒が同温度に

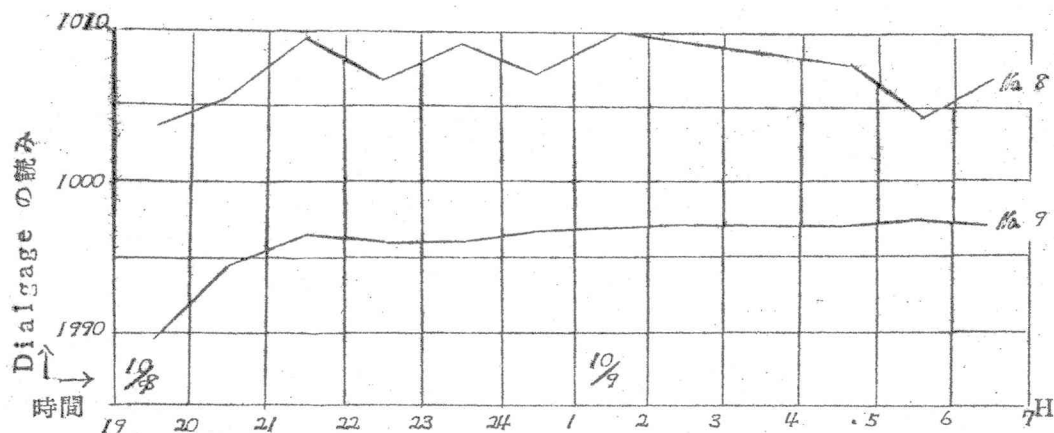
なつて初めて達せられるが現場に於てこの条件を満足せしめるのは困難であり木製トタン張の覆いで部材と計器を被覆し同一温度になる如くすると共に風雨から保護した。然し現場に於ては一昼夜測定(同一荷重にて温度のみ変化)を実施し、構造物の2次的な温度応力を含めてその影響を調べた。

歪計取付状況



昭和29年11月8日より9日にかけて終夜測定を実施し歪計の作動状況を確認すると同時にその当時の架設状態より理論値を求めゲージの読取値と実応力を結びつけ以後の測定はこの基礎資料に拠つた。夜間測定のdataを参考のため掲げる。No.8は上弦材、No.9は下弦材で上弦材は断面が小さい上にその位置から風その他気象影響に敏感である事が判る。

図 - 5

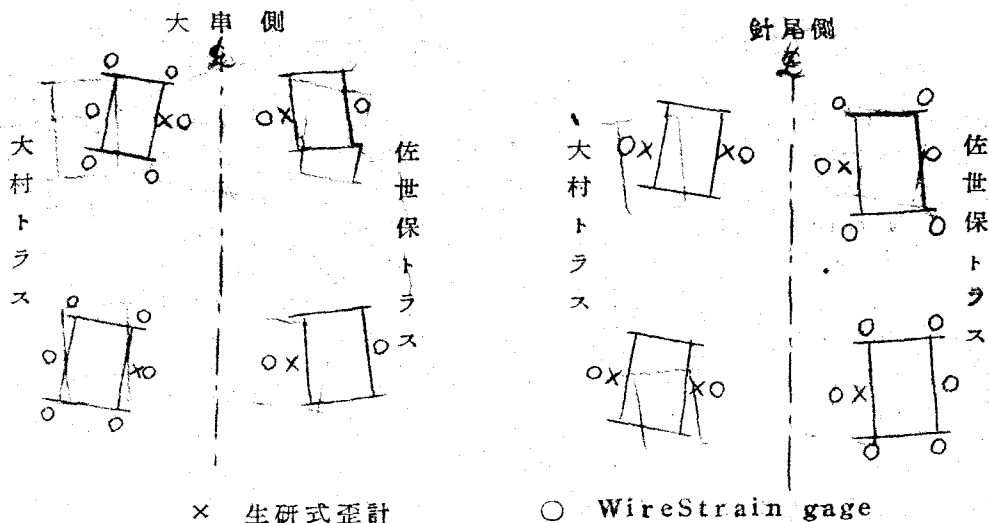


III) 電気抵抗線歪計

歪計の取付位置を示すと次の如くであるが総計で生研式は10台、電気抵抗線は32ヶ所を測点に選んだ。

図-6

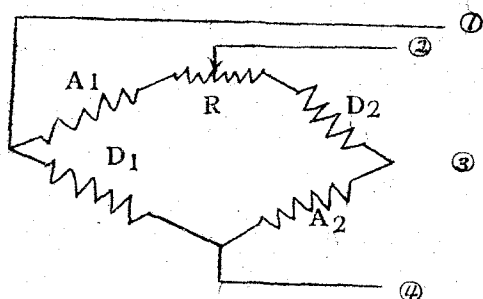
測 定 個 所 図



前述の4ゲージ法の採用決定と機械に習熟するためにテストピース10個を製作し現場で基礎実験を繰り返し、その後部材が材料置場に搬入されてから野外に於てプロテクター試作についての検討を重ねた。

共和無線研究所製静歪測定器に於て range 切換えに伴う誤差を避けるため測定開始時に於て $0 \sim 500 \times 10^{-6}$ の0点に近く平衡点を得たかつたので次の如き結線をした。

図-7



A_1, A_2 Active gage

D_1, D_2 Dummy gage

R balance reactance

: $0.16 \pm 0.02 \quad 25.3 \pm 0.4 m$

実際にはラグ板を使用し結線しプロテクターの中に封じ込んだ。

ゲージの貼布作業は部材の建込み現場に近く寝せて仮置きされた状態に於て最初行つたが架設作業に追われ結局組立後も作業を続行せざるを得ない状況にあつたので生研式歪計と同様読み取り指度と実応力の関係を作業終了後決定した。

測定の時に温度補償は十分行われていると判断されたが構造物自体に於て半アーチト

ラスが張出された静定状態に於ても2次的な温度応力が生起する事が認められた。(dataは後出)

従つて生研式歪計と同様日出前測定を実施する事に決した。

4. 測定経過

測点は半数づつ兩岸に分れているため内火艇にて渡海する必要があり測定員4名にて約1時間半を要した。

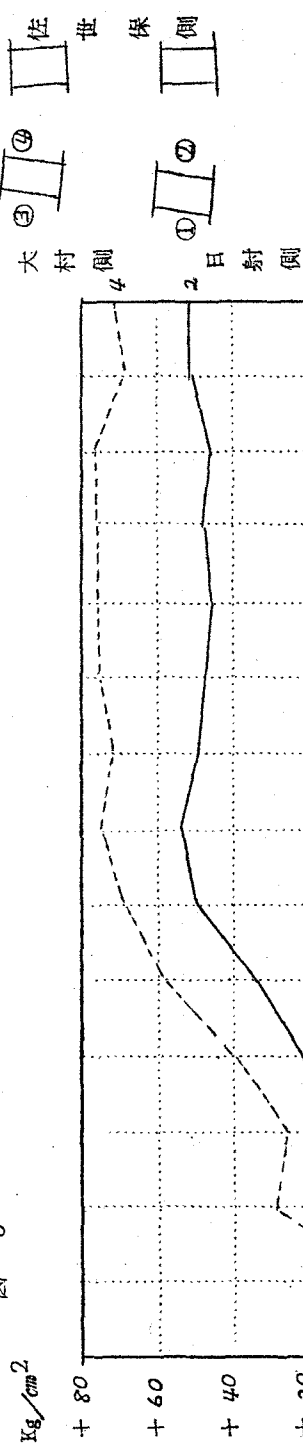
昭和29年10月18日より本格的測定に入り前方案の調整が実施され、架設が進行し、荷重条件の変化に応じて測定を行つた。

架設が順次進行し主拱部の閉合作業を行う際には特に生研式歪計の測定値を基準によりwire strain gage による断面内の応力分布を考へて部材力を算定し閉合作業の精度向上に役立てた。

5. 測定結果

(I) 10月18日日中より夜間にかけての歪計の読み。

图-8



この応力変化の原因には前出の如く 2 次的な温度応力と温度補償による誤差とが考えられるが現実これに近い応力変化を生じている訳で架設応力を知ろうとする測定を日中実施する事が無意味である事を教えている。

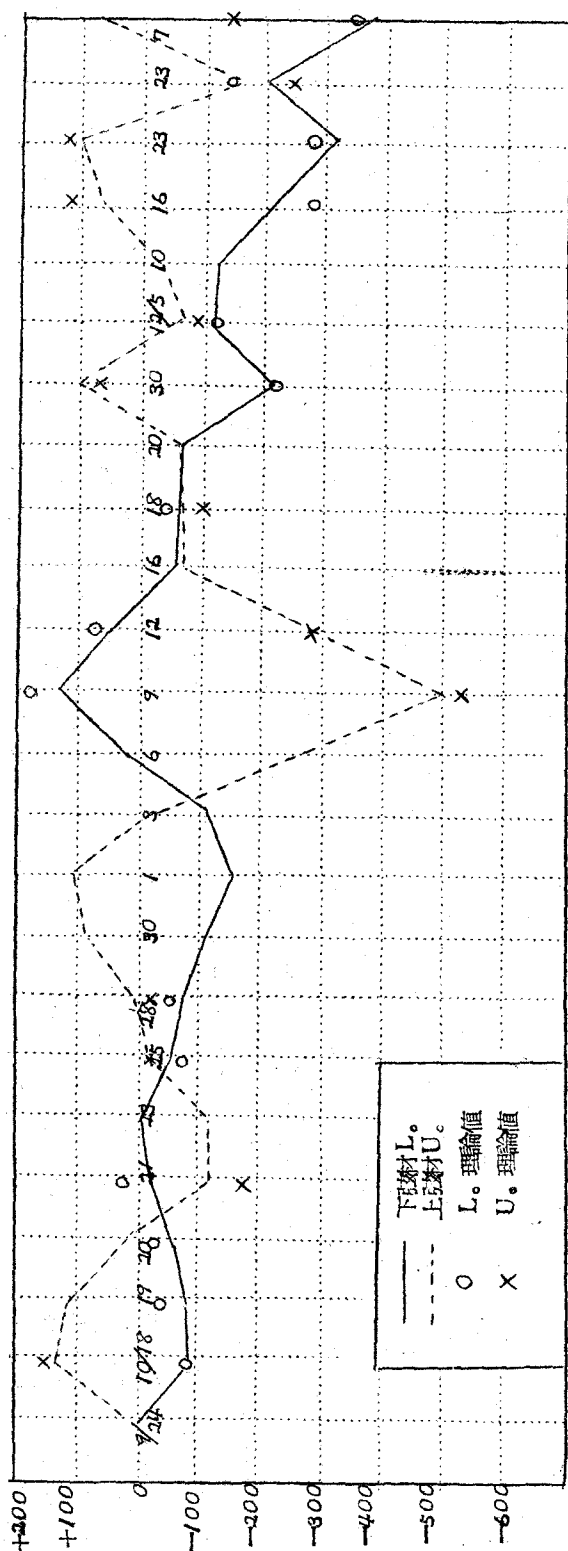
尙現在部材に 10 点以上熱電対を装置して居りそれにより温度応力を究明する事になっている。

(1) 架設進行に伴う架設応力と理論値の比較 (生研式歪計)

21

針尾側大村トラス(内)

生研式歪計測定結果

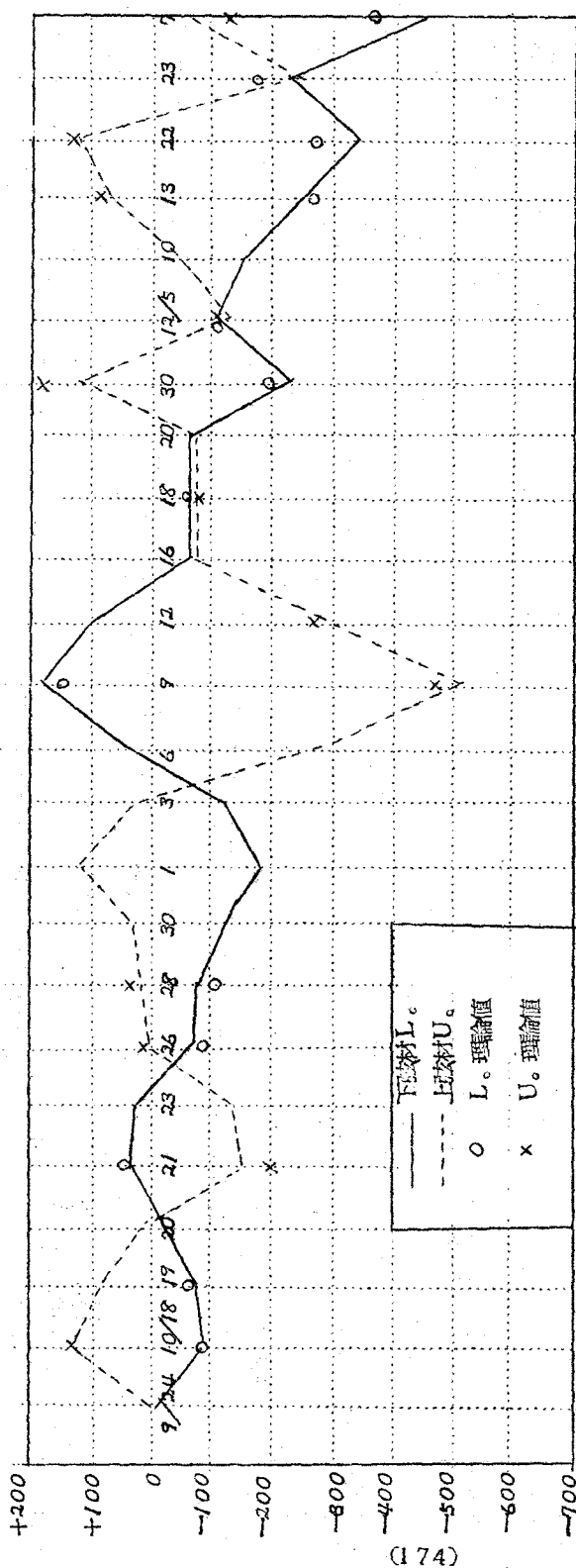


(173)

U ₀	受振能力係 用受振値	L ₀	受振能力係 用受振値
+124.2	- 82.6	- 52.7	- 82.6
+ 55.0	- 52.7	- 30.5	- 52.7
- 12.7	+ 32.7	- 7.4	+ 32.7
- 12.1	- 7.4	- 6.5	- 7.4
- 32.0	- 6.5	- 18.2	- 6.5
- 530.0	+18.2	+ 68.9	+18.2
- 298.1	+ 68.9	- 66.1	+ 68.9
- 104.1	- 66.1	- 213.2	- 66.1
+ 78.0	- 213.2	- 112.8	- 213.2
- 101.2	- 112.8	- 285.8	- 112.8
+112.4	- 285.8	- 290.7	- 285.8
- 12.0	- 290.7	- 181.3	- 290.7
- 806.0	- 181.3	- 64.1	- 181.3
- 164.1	- 64.1		

図 10 $K_{\phi\phi}^2$

針尾側左世保トラス(内) 生研式歪計測定結果

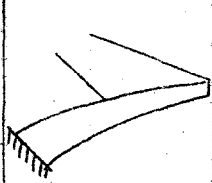


理論値の計算のために次の荷重を使用した。

従つて理論値ながら架設荷重の積算及張力測定に伴う誤差を包含している。

試みに12月5日の理論値の計算を示すと次の如くなる。

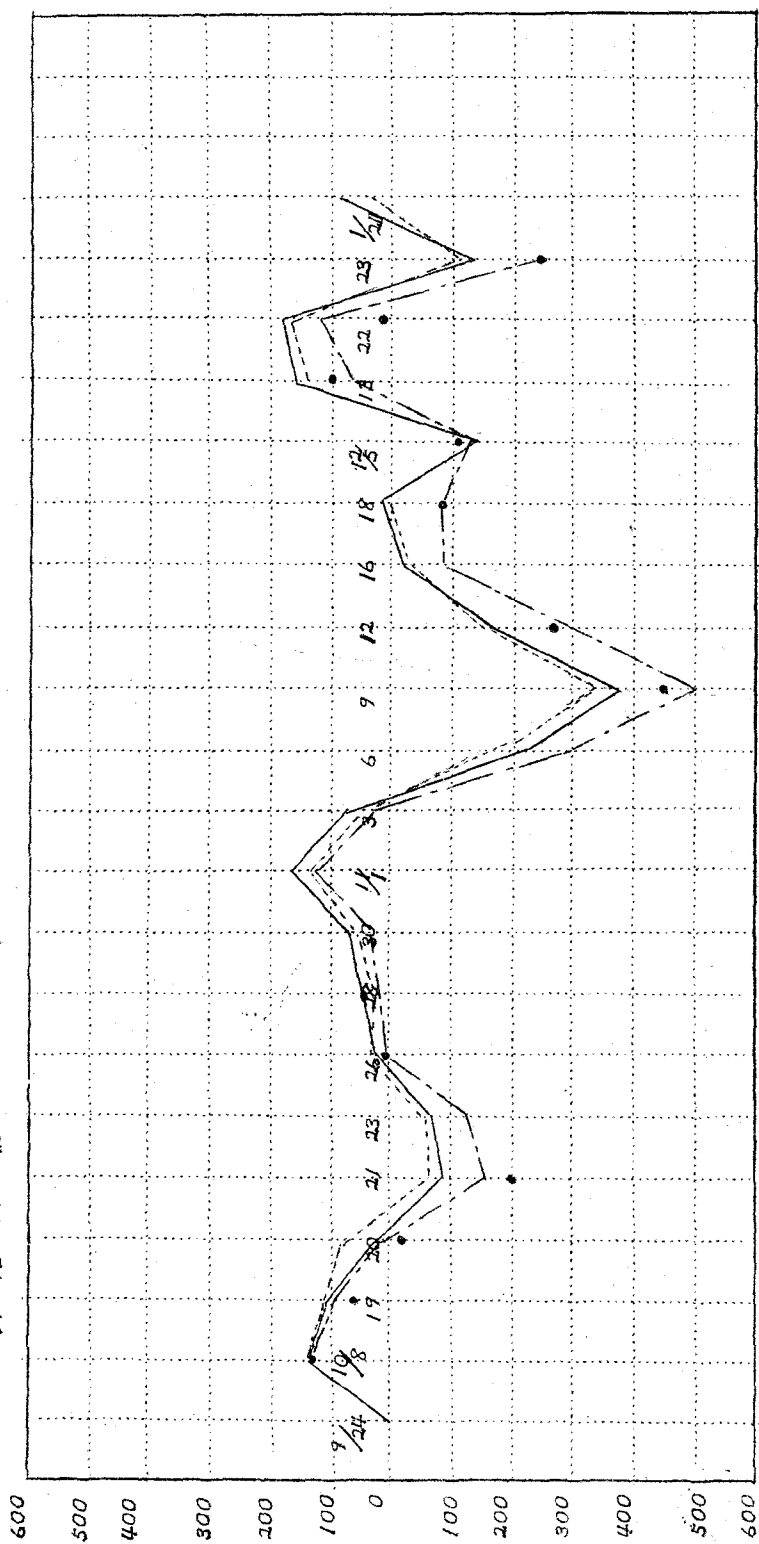
図-11

月 日	架 設 状 態	大 村 ト ラ ス			佐 世 保 ト ラ ス		
		荷 重 項	上弦材U。	下弦材L。	荷 重 項	上弦材U。	下弦材L。
12/ 15		架設荷重	+ 955.789	- 996.705	架設荷重	+ 955.789	- 996.705
		$T_7=92.0$	- 460.343	+ 386.075	$T_7=90.9$	- 454.839	+ 381.459
		$T_{71}=97.7$	- 568.855	+ 484.248	$T_{71}=100.5$	- 585.158	+ 498.126
		部 材 力	- 73.409	- 126.382	部 材 力	- 84.208	- 117.120
		部材応力	- 101.181	- 112.849	部材応力	- 116.066	- 104.579

(四) 生研式歪計、電気抵抗線型静歪測定器（共和無線製、新興通信工業製）の測定結果及理論値との比較

針尾側 No. 11 Upper Cnords

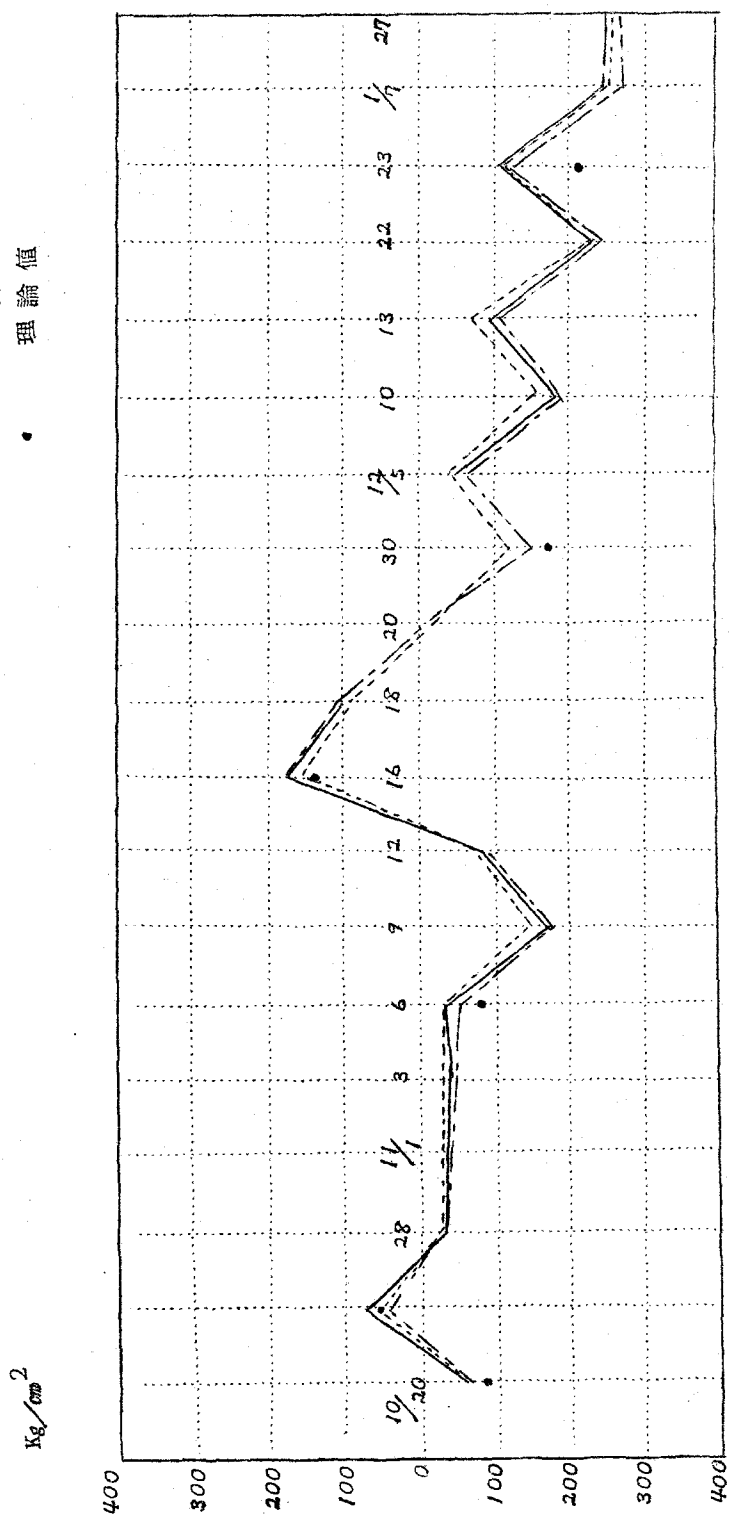
Kg/cm²



SM-4J (針尾側)
 PS-7L (針尾側)
 生理值
 理論值

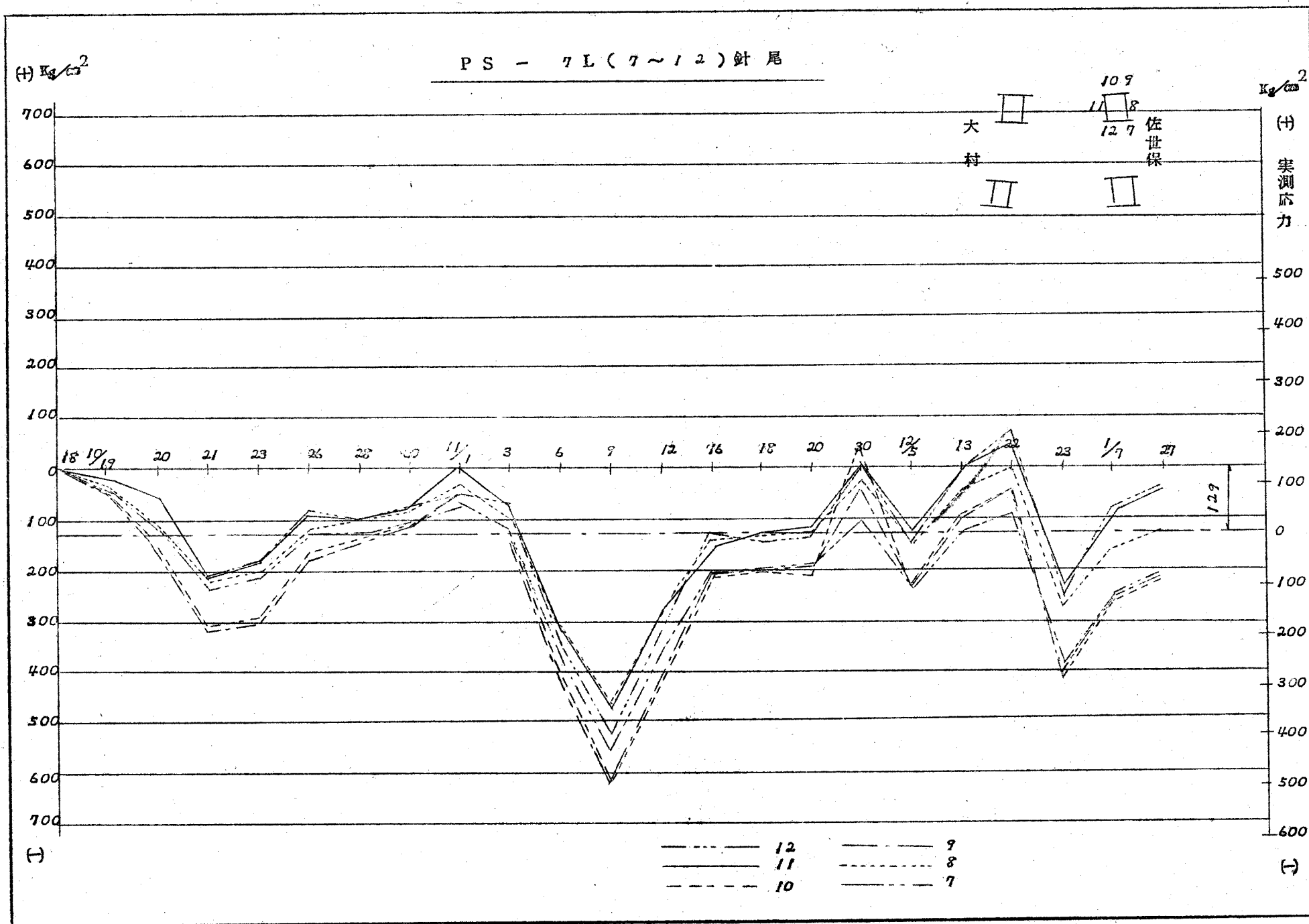
大串側 No.5 Lower Chords

- SM-4J (共和無線機)
 - - - PS-7L (新興通信工業製)
 - - - 生研式
 • 理論値



(IV) 同一断面内に於ける応力分布

1 部材の同一断面に於ては上下突縁及腹縁に計6ヶ所4ゲージを貼り付け断面内応力分布を求めたが6ヶ所共完全な状態でゲージを保守出来たか否かは疑問であり亦2次的な応力を受ける要素例えば温度応力、撓みによる撓れ (Torsion) — これは脊のピンの方向が撓み方向に直角でないために起因する — 等々あり、この結果のみにて云々出来ないが断面内に於ける応力偏差がこの程度以内であろうと言う事は言える。



(M) 閉合作業進行に伴うスプリングの部材応力の変化

閉合作業はクラウンに於ける上弦圧力添加を第1次作業、下弦側圧力添加を第2次作業とする2回作業(夫々29年12月23日及30年1月7日)に分れ各々は補正作業を伴った。

第2次作業に於ける補正作業の内容は下弦側間隙を大村側トラスで4.4mm 佐世保側トラスで4.0mm 狭められたがそれにより

上弦材は

$$\begin{aligned} U_o &= 5.3984 \text{ t} \times 4.4 = 23.75 \text{ t} \\ U_o &= 5.3984 \text{ t} \times 4.0 = 21.59 \text{ t} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{圧縮力減}$$

下弦材は

$$\begin{aligned} L_o &= 2.4088 \text{ t} \times 4.4 = 10.60 \text{ t} \\ L_o &= 2.4088 \text{ t} \times 4.0 = 9.64 \text{ t} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{圧縮力増}$$

が計算上求められていた。

Fig 15

① ② ③ ④ ⑤ ⑥

部材	岸	トラス	測定位置	第2次理論 閉合作業後	第2次補正 閉合作業後	実測応力 変化量	理論応力 変化量	閉合後 実測補正值	閉合直後 理論応力
上弦材 U _o	針	大村	内	-48.4	-38.2	△ -10.2	△ -23.75	-72.15 (-103.0)	-119.1
			外	-125.1	-106.1	△ -19.0	△ -23.75		
	尾	佐世保	※ 内	-120.9	-72.7	△ -48.2	△ -21.59	-83.6 (-114.4)	-118.0
	大串	大村	内	-176.6	-171.8	△ -4.8	△ -23.75	-101.1 (-143.3)	-116.2
			内	-186.8	-168.8	△ -17.0	△ -21.59	-111.8 (-111.8)	-116.6
下弦材 L _o	針	大村	内	-400.7	-407.7	-7.0	-10.60	-432.5 (-400.2)	-407.7
			外	-449.1	-457.2	-8.1	-10.60		
	尾	佐世保	内	-449.7	-460.3	-10.6	-9.64	-460.3 (-460.3)	-410.8
	大串	大村	内	-312.5	-317.0	-4.5	-10.60	-342.2 (-374.4)	-411.3
			内	-340.5	-345.2	-4.8	-9.64	-376.0 (-408.2)	-411.4

上記の表に於て※印の項は以後の測定結果から考うるに、他の測定値に比較して大きな誤差を含んでいる様である。

③④を比較する時理論値との差が大きい様にも思えるが

(a) ③④の間には時間的に早瀬日出前とは言え時間差が2時間ばかりあり、然もアーチは内部的に閉合された状態なので温度に対して敏感であつた。試みに温度1℃の低下は上弦材に12.066tの引張力、下弦材に7.786tの圧縮力を生ぜしめる。気温の変化は0.5℃以下であつたけれども、風その他気象条件によりトラスが同一温度分布になつてゐるか否やは確かめられなかつたのでそれだけの外界状況を考慮する必要がある。

(b) 歪計自体の精度から言つても、 $10 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ の応力範囲は限界に近かつた。

以上の事を考える時、この程度に於て一応測定に成功したと言えると思つた。

6 検討並びに考察

(1) 測定装置

(a) 生研式歪計

拡大装置を使用せず gage length 1050 部を使用し dial gage 直読の方式を採用したのは故障の原因を作らず成功であつた。然し温度補償については些か難があり測定時機の選択を要する。

亦半年以上野外で dial gage を使用するには gage の金属材料の吟味が必要であり今後の改良を要する。

(b) 電気抵抗線歪計

4-gage による外部 bridge を組み本実測に使用せる如き protector を使用する時には十分長期間の使用に耐える事が実証されたが bakelite gage を使用するための貼布に手数と熟練を要する。ターミナルの金属の撰択電池電源の確保には問題があり gage の flow については尙今後の研究が必要であり、本実測に於て確認する事は出来なかつた。

(2) 架設中の測定部材の応力はトラスを吊り出している前方案の張力測定値を基として理論的に決定する事が出来たので、常にこれとの比較検討を行つた。

この事は逆に架設中の張力測定の信頼度を check する結果ともなつた。

(3) 本橋の如く batter を有する固定アーチでは架設中日射による不均等の温度上昇、前方案による頭下り亦は頭上り（基準骨組に対し）によつて断面に於ける応力分布が変化する。この事は部材力を求める上に於て非常に不便を感じる。

従つて測定は早朝日の出前に行はれたが測定個所が多いのは誤差導入の因子ともなり、亦測定が容易且続き取り易い事が要求された。

この事から生研式が非常に活用された。

(4) アーチ閉合後は（引き続いて現在に於ても測定しているが）温度の影響が大きく、部材の温度測定も併せ実施している。架設中の半アーチに於ては等温度上昇では温度応力を生じないので測定は容易になり、応力測定結果の信頼度を高めた。

(5) アーチ閉合に当つてはこの応力測定の結果によりアーチ閉合の精度を確かめこれ等のデータによりアーチ閉合の補正作業を行つた。かくの如く応力測定が実作業を control しその精度の向上に役立つた例は憂聞にしてその例を余り聞かない。

7. 結 語

以上を要するに十分当初の目的を達し得たものと思つているが今後共温度応力、全死荷重応力の測定を続けたいと考えている。

本実測を行うに当り東京大学岡本、平井両教授、奥村助教授に終始御指導を仰ぎ有益な御助言を載いた事に厚く感謝する次第である。