

温根沼大橋の架設

野呂 徹¹⁾ 細田 直久²⁾

温根沼大橋は、“日本最東端の町”根室市と“日本有数の漁獲高を誇る町”釧路市を結ぶ国道44号の橋梁で、温根沼が根室湾に口を開けている位置に架かる、バスケットハンドル型ニールセンローゼ橋である。

現在供用している温根沼大橋は、当社が昭和35年に施工したトラス橋である。施工以来35年が経過し、厳しい気象条件と度重なる地震などにより老朽化が進み、また車両の大型化に伴い現在の幅員では円滑な交通確保が困難となった。そのため、旧橋にほぼ平行に全長456mの新橋が計画され、平成2年に第一期架設工事として起点側の側径間から施工を開始し、本工事は第三期架設工事（最終）として主径間の施工を行った。

本文は、斜材ケーブルの張力調整を中心として架設工事の概要を報告するものである。

まえがき

国道44号は別名『根釧国道』と呼ばれる延長約120kmの根室市と釧路市を結ぶ道路である。

釧路市から温根沼までは道の両側に牧草地が広がり、牛や馬が放牧され、サイロが点在し牧歌的な雰囲気が醸しだされ、異国にでも来たようである。温根沼から根室市内に向かっては、左手にオホーツク海越しに知床連山の山並みが眺望され、知床半島と根室半島間のオホーツク海を二つに分けるように国後島が存在し、国境の町という臨場感がある。

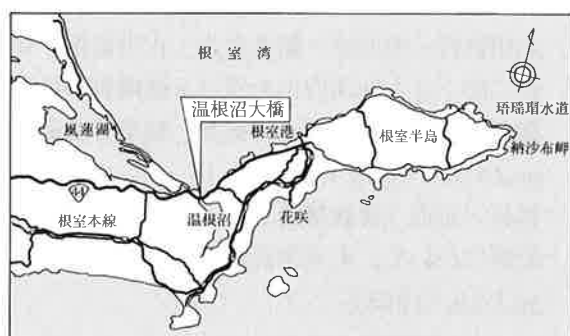


図-1 位置図

温根沼大橋は国道44号唯一の大きな橋であり、根室市内への表玄関として市民のランドマーク的な存在である。位置を図-1に示す。

1. 工事概要

本工事の概要を下記に、また一般図を図-2に示す。

工事名称	一般国道44号根室市温根沼大橋製作架設工事
発注者	北海道開発局釧路開発建設部
道路規格	3種1級B
設計速度	80km/h
橋格	1等橋 (TL-20)
支間長	140m
幅員	14.5m
設計震度	$k_h=0.22$
総鋼重	1252.2t
ケーブル	NEW-PWS $\phi 7 \times 55$ (ポリエチレン被覆+フッ素樹脂彩色被覆 $\phi 72$)
工期	平成5年6月4日～平成7年2月2日

1) 東京橋梁工事部工事課係長 2) 東京橋梁設計部設計二課

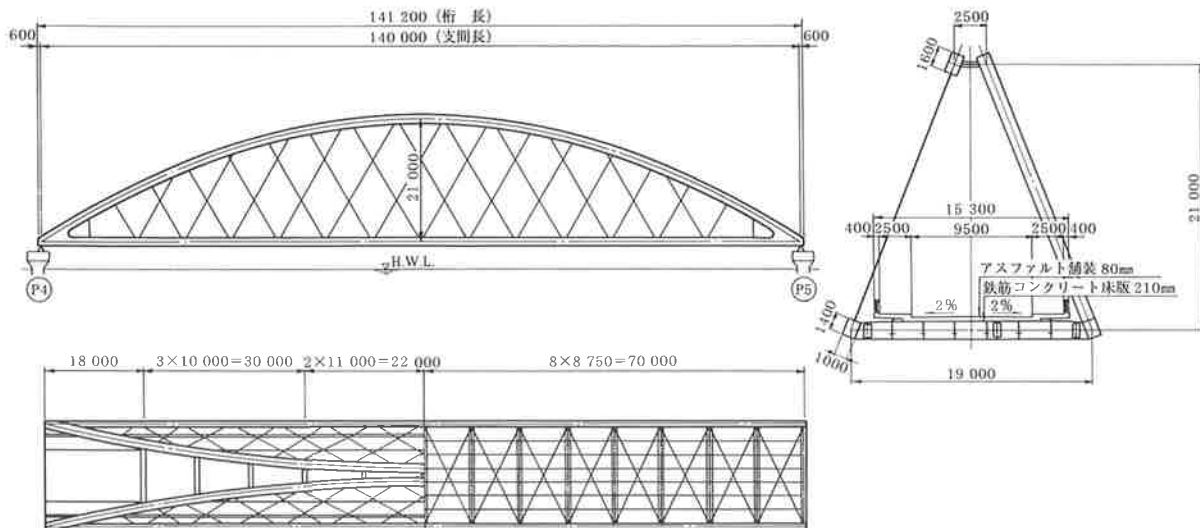


図-2 一般図

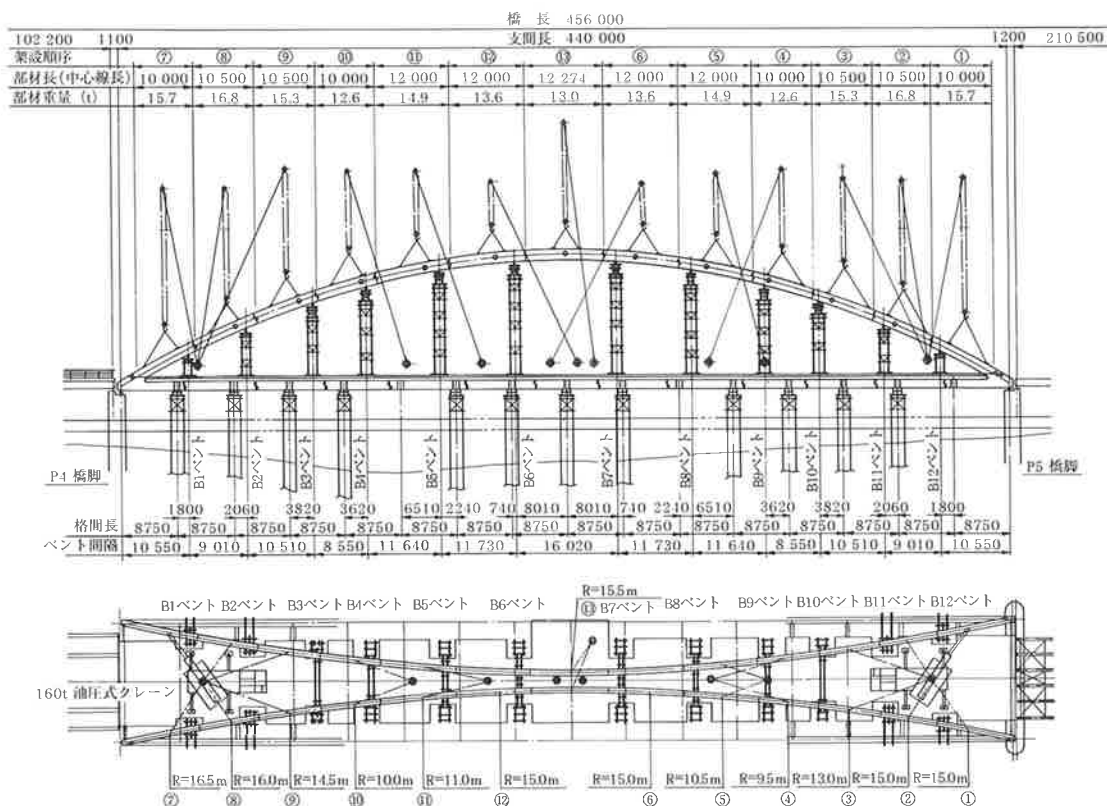


図-3 架設概要図

2. 架設工

(1) 架設工事概要

本橋の架橋場所は、北海道東部に位置する寒冷地で、日本列島を縦断した台風が最後にたどり着く地方であり、気象条件が非常に厳しい場所である。冬期間（12月中旬～3月初旬）は温根沼の湖面が凍結し、流氷がやってくる場所でもある。また、湖の奥には2級河川があり、9月初旬から鮭が遡上し11月下旬まで鮭漁が続く。

このため、基礎杭を比較的多数必要とする仮栈橋は、鮭漁に悪影響を及ぼすとして設置できない。よって本橋の架設工法は、水中ペント設置数を極力少なくして、架設した桁上を作業ヤードとするクレーンペント工法を採用した。架設概要図を図-3に、実工程表を表-1に示す。

(2) ペント設備の設置

本橋施工場所は水深が浅く、満潮時でもその水深は1～5mである。また、干満差が大きく、干潮

表-1 実施工程表

工種	平成 6 年										
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
下弦ベント設備工		組立						解放	解体		
下弦足場防護工		ワイヤーブリッジ		組立						解体	
支承据付け工			仮据付		据付						
下弦材架設工											
橋面覆工設備工				組立						解体	
高力ボルト締付工				下弦材		上弦材					
上弦ベント設備工					組立			解体			
上弦材架設工											
上弦足場防護工					組立			解体			
上弦支材溶接工											
ケーブル架設工											
現場塗装工											
付属物・跡片付											付属物

時には流水部を除き砂州となる。干満が始まる際には、湖が急流の川へと豹変する。

このようなことから、精度を要する杭打ち作業は極力満潮時に行い、繋ぎ材や受梁取付けなどベントの組立を干潮時に行った。また、杭材およびベント材は近くの漁港を荷捌地とし、200t積台船に搭載し施工箇所へタグボートにて曳航した。

1) 下弦材ベント設備

下弦材ベントは、G1側、G2側とも桁ライン上に各12基、計24基を設置した。各ベントには、1基当り4本の鋼杭（H-400×400）を使用し、計96本の杭打込みを行った。基礎杭打込み作業は80t吊クローラバージを使用して行い、ベントの組立は30t吊クローラバージにて行った（写真-1）。

2) 上弦材ベント設備

上弦材ベントは、架設した下弦材上（補剛桁～外縦桁間）に基礎梁としてH鋼（H-300×300）を渡し、パイプベントにて組立を行った。上弦材はバスケットハンドル型であるため、弦材の

中心間隔がベント設置箇所で2.9m～14.5mと変化する。また、部材の荷取り、足場組立、架設などの作業ヤードとしてもG1～G2間に十分な空間が必要であった。そこで、端部ベント(B1, B12) 4基は高さが3m程度でG1側とG2側を工事桁で繋ぐとクレーン（160t吊油圧式）の移動ができなくなるため、単独のベントとした。中間部ベント(B2～B11)はG1桁とG2桁ベント上に工事桁を渡し、門型のベントとして10基の組立を行った（写真-2）。



写真-2 上弦材ベント設備



写真-1 下弦材ベント設備

(3) 上下弦材の架設

1) 下弦材

下弦材はP4側よりP5側へ26部材の架設を行った。架設した桁上を作業ヤードとするため、各部材ともベント位置まで架設し、縦桁上に受梁（H-300×300）を橋軸方向1m～2mピッチで取付け、その上に覆工板を敷設してクレーンを走行させ順次架設を行った。クレーンは、120t油圧式クレーンおよび160t油圧式クレーン

を使用した。

2) 上弦材

上弦材の架設は、160t 油圧式クレーンを使用し、第一段階としてP5側から12部材、第二段階としてP4側から12部材を架設し、最終段階として中央部材をG1側、G2側の順序で架設し上弦材を閉合した(写真-3)。

上弦材の荷取り、架設にあたっては、上弦材用ベントおよびその転倒防止用ワイヤーなどが桁上にあるため、クレーンの据え付け位置など架設作業の障害となったが、十分な計画そして三次元計測システムを使用して綿密な測量を繰り返しながら架設を行い、最終部材を閉合した。

(4) ケーブルの架設

ケーブルの架設は35t 油圧式クレーンを用いて次の手順で行った(写真-4)。

- ①パレット積みのかべル(1パレットあたり3~4本)を取付箇所近辺に仮置きする。
- ②可動側ソケット部より1m程度下側のケーブル部分をナイロンスリングで絞り固定し、大きく回しながら吊り上げ展開を行った。
- ③展開完了後(主巻きフックで可動ソケット側を吊り上げる)、補巻きフックで固定ソケット



写真-3 上弦材の閉合



写真-4 ケーブルの架設

ト側を補助し、固定側(補剛桁側)定着位置まで持っていき、ソケットを定着部に入れ込みナットで固定した。

- ④可動側ソケット部を所定の取付位置までクレーンで吊り上げていき、上弦材の足場上で既に上弦材内部に設置してある引込装置(チルホール)のワイヤーに盛り替え、クレーンを解放し、ケーブルを定着部へ引込み、ナットで固定した。
- ⑤ケーブル設置完了後、初期張力の導入を行った。張力の導入は、ラムチェアー(ジャッキ受台)を支圧板上に固定し、その上にセンターホールジャッキを設置し、所定のシム量までケーブルの引込みを行った。また、張力導入および調整作業は本橋構造上、上弦材内面での施工であったため、ラムチェアーを天板部と脚部に分割した形式とし、持ち運び重量の軽減と作業性の向上を図った。

3. ケーブルの張力管理

(1) 概要

ニールセン橋は斜張橋と同様に、ケーブルを有する自由度の高い構造物であり、最適な構造とするためには、形状およびケーブル張力を極力設計値に近づけることが必要となる。しかしながら、以下の要因により誤差が生じる可能性がある。

- ①構造解析モデル(荷重、剛度、骨組みなど)と実構造物との差によって生じる計算誤差
- ②アーチリブ、補剛桁およびケーブルの製作・架設誤差
- ③張力計測時に生じる誤差
- ④部材間温度差による誤差

これらの誤差を最小限に収めるために、以下の対策を講じた。

①に対して

- ・ 本橋はバスケットハンドル型ニールセン橋であるため、立体解析により影響値(単位調整量当りの張力変化量)を計算する。
- ・ 鋼桁架設時の荷重は完成時の半分程度であり、ケーブルは低張力域となるため、サグの影響を考慮する必要がある。よって有限変位解析により架設時張力を計算する。
- ・ 剛度は実剛度、鋼重は実鋼重を用いる。

②に対して

- ・ ケーブル架設直前に、三次元光波により定着距離の現場実測を行い、ケーブルセット位置を決定する。
 - ・ ケーブル製品検査結果に基づき、製作誤差を考慮してケーブルセット位置を決定する。
- ③に対して
- ・ 振動法による張力計測を行うにあたり、現場においてキャリブレーションを実施し、張力-振動数の相関関係を評価する。
- ④に対して
- ・ 熱電対による部材温度計測を実施し、必要に応じて温度補正を行う。
 - ・ 張力調整を行う一週間前から前段階として

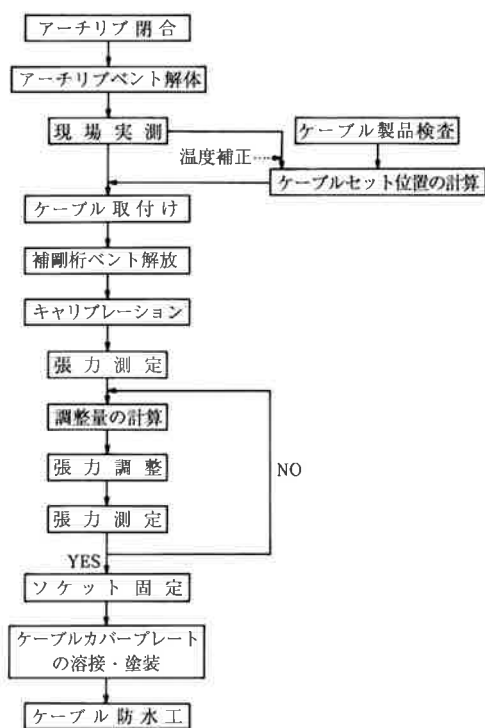


図-4 ケーブル架設フローチャート

温度の経時計測を行い、張力測定を行うための、温度差の少ない最適計測時刻帯を決定する。

ケーブル架設のフローチャートを図-4に、またタイムスケジュールを図-5に示す。

(2) 管理目標値の設定

ケーブルの張力誤差が主構造に与える影響を調べ、何%の誤差まで許容できるのかを応力度レベルで判断し、管理目標値を決定した。計算結果を表-2に示す。この表からもわかるとおり、補剛桁 Sec3 (図-6) において応力度の余裕は84kgf/cm²で、ケーブルの許容誤差12.4%に対応した。この結果と過去の実績をふまえてケーブル張力の管理目標値は10%とした。

表-2 張力誤差が主構造に与える影響

位置	断面	張力誤差1%による断面力の増加		応力度(kgf/cm ²)			張力誤差1%による応力度	許容誤差(%)
		M (tf·m)	N (tf)	設計時応力度	許容応力度	余裕の応力度		
補剛桁	Sec1	1.35	0.45	2055	2100	45	2.87	15.7
	Sec2	1.82	0.45	1972	2100	128	4.41	29.0
	Sec3	2.97	0.39	2016	2100	84	6.80	12.4
	Sec4	3.60	0.42	1921	2100	179	9.42	19.0
アーチリブ	Sec1	2.61	0.36	1647	2100	453	3.60	125.8
	Sec2	3.34	0.30	1893	2076	183	5.83	31.4
	Sec3	3.87	0.42	1766	2071	305	8.20	37.2

許容誤差(%)=応力度の余裕/張力誤差1%による応力度

(3) キャリブレーション

張力の確認については、ケーブルの固有振動数を測定し、曲げ剛性を考慮した理論を用いて張力に換算する方法で行った。新家らによると、本橋のように張力が小さくサグが大きい場合、またケーブルが短い場合にはケーブル曲げ剛性の評価が重要になる。よってバント解放後、ジャッキ法

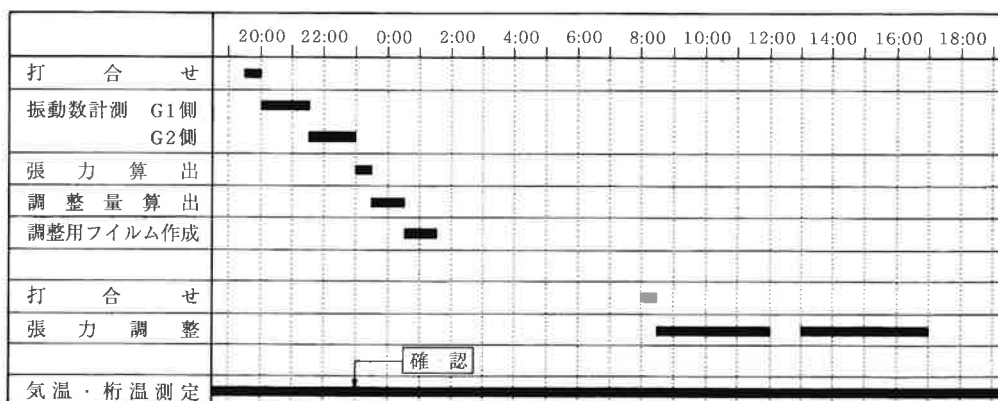


図-5 タイムスケジュール

と振動法との比較により曲げ剛性を把握した。

キャリブレーションは、長さで14種類あるケーブルのうちグルーピングを行い、7本のケーブルについて行った。

2回の調整で支間中央付近のケーブルは順調に収束したが、端部ではG1-46を除いては良い結果が得られなかった。これは、端ケーブルではケーブル長が短く、曲げ剛性の評価がケーブル張力に及ぼす影響が非常に大きいためだと考えられた。そこで、端ケーブルの曲げ剛性は4本とも異なるものと判断し、残り3本の端ケーブルおよびG2-72の合計4本のキャリブレーションを再度行った。キャリブレーション実施ケーブルを図-6に、またキャリブレーション結果を表-3に示す。

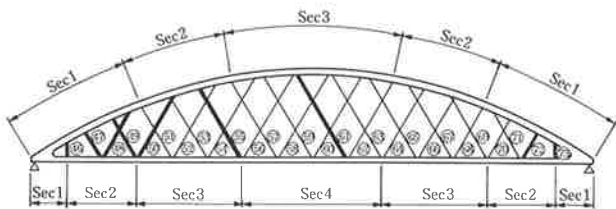


図-6 断面構成およびキャリブレーション実施ケーブル

表-3 キャリブレーション結果

ケーブル番号	ケーブル長 (m)	ジャッキ法反力 (tf)	振動数 (Hz)	振動次数	曲げ剛度 (cm ⁴)	
					計算値	使用値
G1-46	4.410	22.1	19.1563	1次	52.7	53
G1-73	4.410	21.8	20.7813	1次	71.4	71
G2-46	4.410	22.4	17.7813	1次	37.8	38
G2-73	4.410	25.2	20.4375	1次	59.6	60
G1-47	7.868	18.7	8.2813	1次	60.1	59
G2-72	7.868	24.2	9.0313	1次	57.6	59
G1-48	14.306	22.6	8.7000	2次	43.3	44
G1-49	11.740	29.7	12.2875	2次	44.9	44
G1-50	18.944	21.7	6.1750	2次	34.7	37
G1-55	20.782	13.6	4.5500	2次	39.9	37
G1-61	24.894	17.3	4.1500	2次	36.8	37

(4) キャリブレーション結果の考察

実橋におけるケーブル曲げ剛性のデータが採取できたので、その結果について検討を加える。

一般的に、キャリブレーションは全てのケーブル張力を直接ジャッキの油圧などから計測するのが困難である。そのため、代表的なケーブルに対してある真値（ジャッキ油圧＝ケーブル張力）をもとに、ケーブルの固有振動数とジャッキ油圧の関係性を把握し、その補正值としてのケーブルの曲げ剛性を評価するために実施する。しかしながら、ケーブルの固有振動数は、端部の固定条件、キャリブレーションを行う張力、ケーブル単重誤差お

よびケーブルのねじれなどの影響を受けると考えられるため、キャリブレーションから一義的に曲げ剛性を仮定したとしても、他のケーブルに対してはばらつきを生じる可能性がある。

そこで、数値解析によりケーブルの固有値と曲げ剛性の関係性を検討する。ここでは式①に示す換算曲げ剛性比 k で整理する。

$$k = EI_c / EI_b \dots\dots\dots \text{①}$$

EI_c : ケーブルの曲げ剛性

EI_b : 素線間のすべりが無いものとして算定した曲げ剛性

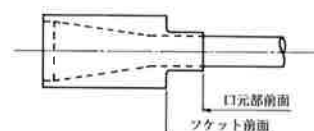
計算張力に±5%の誤差を許容すると仮定すれば、 k 値は表-4に示す範囲内であればよいことがわかる。

この表から、10mをこえるケーブルにおいて k 値の許容範囲は広がり、張力が大きくなればさらに広がる。すなわち、ある程度のデータがあれば、キャリブレーションは必要最小限行うのみでよいと考えられる。しかし、10m未満のケーブルに対しては、ジャッキ法を中心に張力調整を行うか、あるいはキャリブレーションの精度を高める必要があると考えられる。

表-4 計算張力に対する k 値の影響

ケーブル番号	ケーブル長 (m)	張力 (tf)	k 値		
			k_L	k	k_U
G1-46	4.410	20	1.28		1.39
		30	1.25	1.34	1.42
		40	1.22	(0.93)	1.45
G1-47	7.868	20	1.31		1.67
		30	1.22	1.49	1.76
		40	1.13	(1.08)	1.85
G1-49	11.740	20	0.80		1.38
		30	0.72	1.11	1.57
		40	0.66	(0.81)	1.67
G1-48	14.306	20	0.72		1.57
		30	0.63	1.11	1.71
		40	0.56	(0.81)	1.84
G1-50	18.944	20	0.46		1.56
		30	0.36	0.93	1.75
		40	0.28	(0.71)	1.92
G1-55	20.782	20	0.41		1.64
		30	0.31	0.93	1.85
		40	0.24	(0.71)	2.05
G1-61	24.894	20	0.33		1.83
		30	0.22	0.93	2.10
		40	0.14	(0.71)	2.35

ソケット前面をケーブル長とした場合の結果を示す。
() 内数値は口元部前面をケーブル長とした場合の結果である。



(5) 張力計測

張力の計測は前述のキャリブレーションを行った上で振動法により行った。振動法は短時間で計測が可能のため最も一般的に行われており、今回56本のケーブルを1パーティで計測するのに要した時間は3時間であった。なお振動数の採取はすべて常時微動で行い、新家らの実用算定式から張力を計算した。

張力の計測は、部材の温度差により張力が変動し、この変動量を定量的に把握することは困難なため、できるだけ部材温度差の少ない時間帯に行う必要がある。このために今回は、張力調整を始める一週間前から18箇所の部材温度の経時計測を実施し、最適計測時刻帯を決定した。計測結果を図-7に示す。この図からもわかるとおり、20時から明朝7時までの間は部材温度が安定しており温度差がほとんどない。よって張力計測は20時からの実施とした。

(6) 張力調整

調整量の計算は、現場での取扱いが容易なノート型パソコン2台を使用して行った。計算方法は、式②に計測張力を代入し、調整量を計算する。その結果を式③に代入し、張力変化量の確認を行い、必要に応じて調整量に補正を加えた。

$$[\delta] = [K_1] [T - T_k] \dots\dots\dots\textcircled{2}$$

$$[\Delta T] = [K_2] [\delta] \dots\dots\dots\textcircled{3}$$

T : 設計張力 (tf)

T_k : 計測張力 (tf)

δ : 調整量 (mm)

ΔT : 変化量 (tf)

K_1 : 調整量マトリックス (mm/tf)

K_2 : 影響値マトリックス (tf/mm)

本橋のケーブル定着部はナット形式であり、調整作業はアーチリブ側定着部のナットを回転することにより行った。1回転で6mmの調整量であるので、6°で0.1mmとなる。調整量を決定した後に、調整用の角度目盛りフィルムにより回転量の指示および管理を行った。

ソケットの解放は35tfセンターホールジャッキを使用した(図-8)。調整時に35tfでソケットが

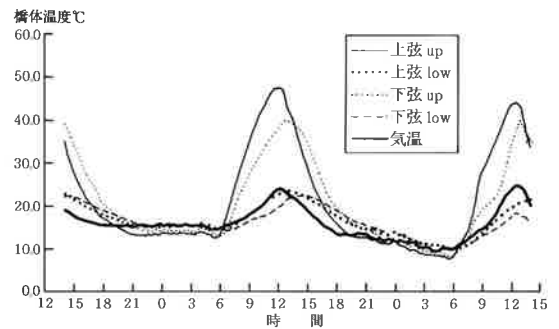
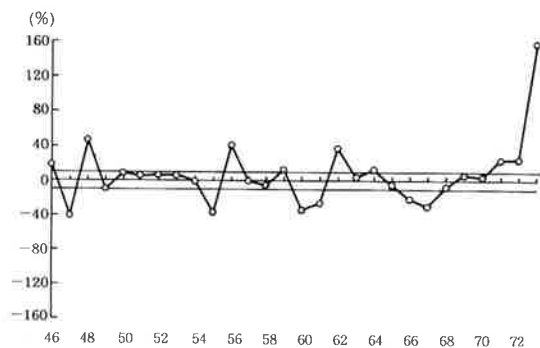
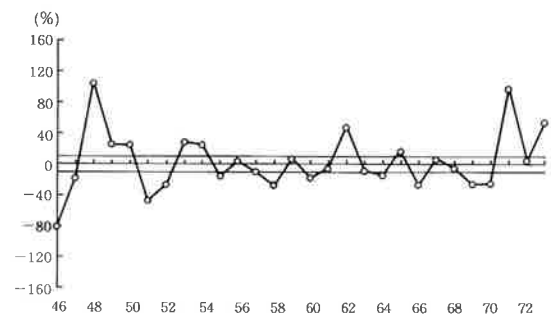


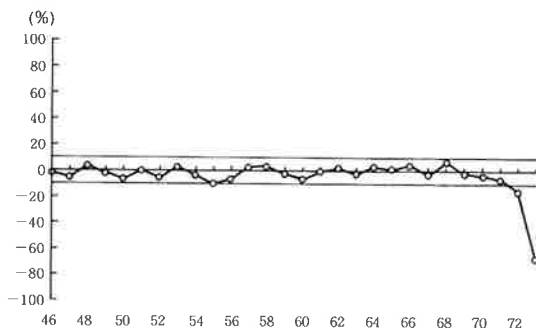
図-7 温度計測結果



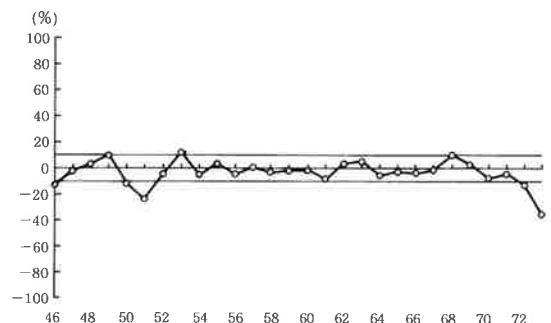
(a) 調整前張力誤差 G1側



(b) 調整前張力誤差 G2側



(c) 第1回調整後張力誤差 G1側



(d) 第1回調整後張力誤差 G2側

図-9(1) 誤差履歴図 (その1)

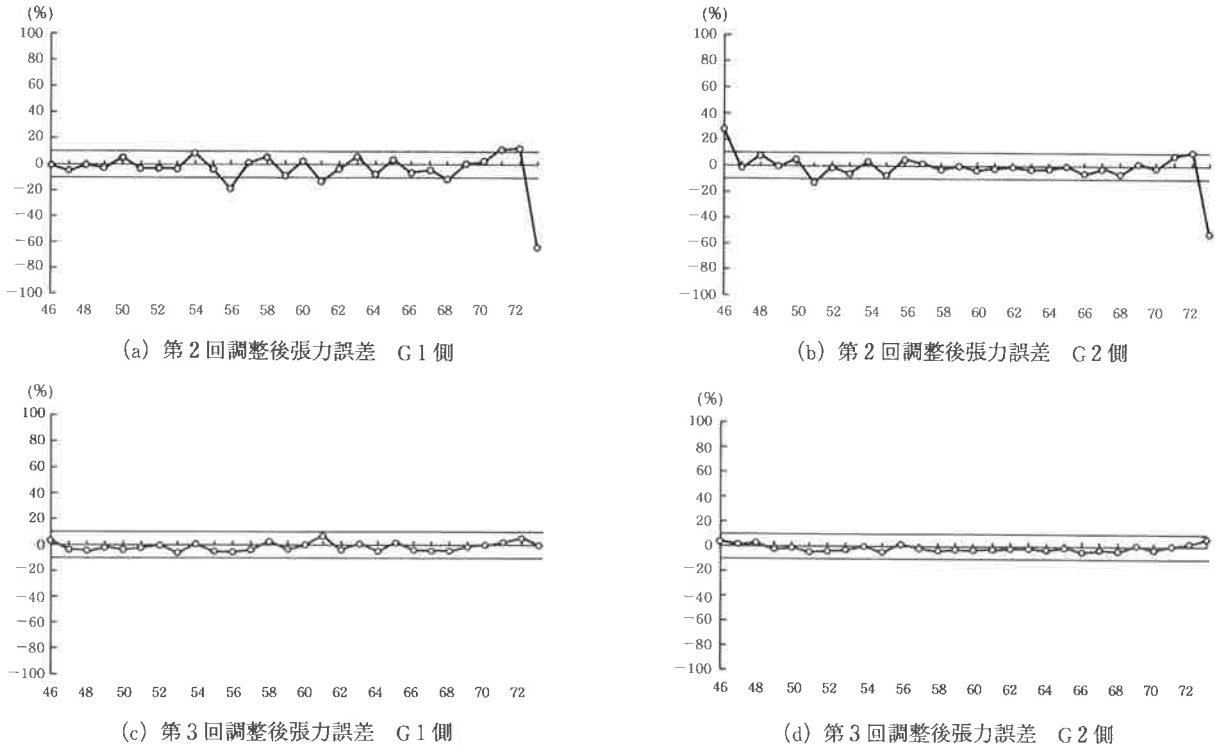


図-9(2) 誤差履歴図 (その2)

解放できない場合は、補剛桁をジャッキで突き上げ、張力を低減させてから調整を行った。

合計3回の調整作業で、すべてのケーブルを管理目標値である10%の誤差内に収めることができた。また、キャンバー誤差は最大で+24mmであった。誤差の履歴を図-9(1)、(2)に示す。

あとがき

本橋の施工方法は、各工種ともこれといって特殊なものではなかったが、全ての工種が架設した桁上を作業ヤードとしなければならなかったために、安全面、施工面においても難度の高いものであった。また、上弦材のベントを解体した後、ケーブル架設直前に瞬間最大風速31.5m/sec(根室測候所観測)の台風24号が襲来し、さらにケーブルの架設が完了し、下弦材のベントを解放してケーブル張力を調整している時にマグニチュード8.1

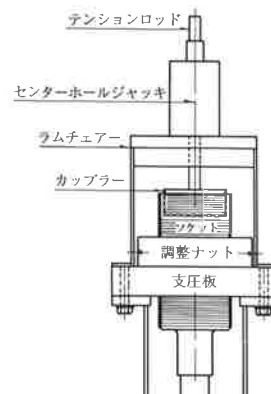


図-8 調整時可動側定着部

の北海道東方沖地震の発生など数々の天災に見舞われた。しかし、数々の困難がありながらも本工事は、下弦材のキャンバー誤差が±25mm以内、張力導入誤差が7%以内という高い精度で、かつ、無事故で完了した(写真-5)。

最後に、本橋の施工にあたってご尽力頂いた北海道開発局釧路開発建設部の方々、そして関係者各位に紙面を借りて感謝の意を表します。



写真-5 完成写真

参考文献

- 1) 新家 徹・広中邦汎・頭井 洋・西村春久：振動法によるケーブル張力の实用算定式について、土木学会論文報告集, No.294, pp.25-32, 1980.2.