

神納橋(斜張橋)架設工事について

正員 札幌開発建設部 外 崎 忍

神納橋は、北海道開発局札幌開発建設部において工事中の橋梁であるが、今年度上部架設工事を終了し、明年度舗装を施工して完成の見込みである。本橋の架設計画に際しては、石狩川の急流部を横断するため、長大スパンとすることが望ましく、種々検討の結果2径間連続斜張橋を架設することに決定した。以下設計の概要および架設工事の内容を報告する。

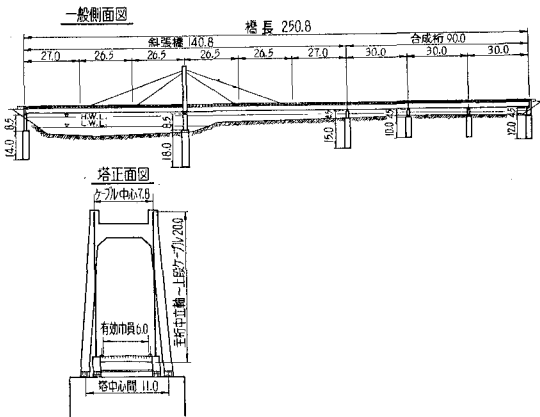


図-1

(1) 設計の概要

(i) 構造の概要

主構は2径間連続桁を2本のケーブルで吊った構造で、横断方向には、両端に箱桁を配し、これに鋼床版を張ったものである。塔は下端がヒンジ、上端は下段ケーブルに固定して、ロッキングウォーターとし、上段ケーブルは、ロッカー脊により取付けるものとする。このようにすると両ケーブルとも、左右の応力が等しくなり結局3次不静定構造となる。

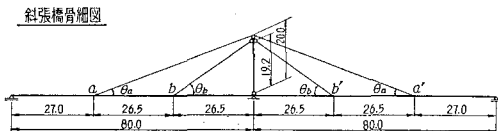


図-2

(ii) ケーブル碇着位置の決定

ケーブル碇着位置は、次の点を考慮の上決定した。すな

わち模型実験の各型式の内から撓みが少なく、また主桁応力状態の最も良いもの、応力調整効果の大きい点であること、細部設計の上に支障のないこと、美観が優れていることなどである。

(iii) 主構の解法

主構の解法は、2径間連続桁を主系とし、ケーブル応力を不静定量に選んで、弾性方程式によって行なった。

$$\begin{aligned} & \left(\int \frac{M_a^2 \sin^2 \theta_a}{EJ} ds + \int \frac{N_a^2}{E_c A_c} ds + \int \frac{N_a^2 \cos^2 \theta_a}{EA} ds \right) X_a \\ & + \left(\int \frac{M_a M_b \sin \theta_a \sin \theta_b}{EJ} ds + \int \frac{N_a N_b}{E_c A_c} ds \right. \\ & \left. + \int \frac{N_a N_b \cos \theta_a \cos \theta_b}{EA} ds \right) X_b \\ & = \left(\int \frac{M_a M_0 \sin \theta_a}{EJ} ds + \int \frac{N_a N_0}{E_c A_c} ds + \int \frac{N_a N_0 \cos \theta_a}{EA} ds \right) \\ & \left(\int \frac{M_b^2 \sin^2 \theta_b}{EJ} ds + \int \frac{N_b^2}{E_c A_c} ds + \int \frac{N_b^2 \cos^2 \theta_b}{EA} ds \right) X_b \\ & + \left(\int \frac{M_b M_a \sin \theta_b \sin \theta_a}{EJ} ds + \int \frac{N_b N_a}{E_c A_c} ds \right. \\ & \left. + \int \frac{N_b N_a \cos \theta_b \cos \theta_a}{EA} ds \right) X_a \\ & = \left(\int \frac{M_b M_0 \sin \theta_b}{EJ} ds + \int \frac{N_b N_0}{E_c A_c} ds + \int \frac{N_b N_0 \cos \theta_b}{EA} ds \right) \end{aligned}$$

$$E'_c = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{2A_c l r \sin^2 \theta}{A r l_e E}}$$

E = 桁および塔のヤング率

E_c = ケーブルのヤング率

E'_c = ケーブルの見掛けのヤング率

θ_a = 桁と上側ケーブルのなす角度

θ_b = 桁と下側ケーブルのなす角度

J = 桁の断面2次モーメント

A = 桁の断面積

A_c = ケーブルの断面積

$A r$ = 塔の断面積

X_a = ケーブル不静定力(上側)

X_b = ケーブル不静定力(下側)

(iv) 死荷重の計算および応力調整

死荷重の計算は、2径間連続桁に等布荷重とケーブル重量、碇着装置重量による集中荷重およびケーブル力が働くものと考えれば良い。このケーブル力は死荷重のみ作用す

るときは、上段 79.8 ton、下段 100.0 ton であるが応力調整を行ないそれぞれ上段 150.4 ton、下段 93.2 ton にする。この結果主桁曲げモーメントは、55% 減少させることができた(図-3)。この応力調整量は次の点を考慮の上決定した。すなわち活荷重片側スパン載荷のとき端支点に負の反力を生じないこと、撓みの制限および箱桁内部の碇着装置の関係から大体の断面の大きさは決まってくるのでこの断面を最も有効に使い得るような曲げモーメントにすること、主桁断面を急変させないよう、曲げモーメントの変化を緩かにすること、細部設計の関係からケーブルの本数は4本で径 50 mm 程度が最も扱いやすい点などからである。応力調整の方法は、架設の項で詳述するが、ジャックダウンと、BBRV センターホールジャッキによって行なう。このジャッキを使用すると合金のクリープなどでケーブル力が減少

したとき、応力の再導入ができる。またケーブル力には、初期のクリープ量を見越して若干余裕を加えた。

(2) 現場 架 設

(i) 架設計画概要

本工事における架設は次の4要素からなる。(i) 連続桁の架設法 (ii) 塔の建て込み法 (iii) ケーブルの張り渡し法 (iv) プレストレスの導入法である。(i)については、低水敷は河幅 90 m の急流であるのでケーブルエレクションによる方法以外にないが、高水敷は洪水以外は水に洗われることがないのでステーキング架設が可能であった。ケーブルエレクションにより連続桁を閉合することは、温度による桁の撓角の変化からかなり面倒であるから、本工事においては先に単桁としてケーブルエレクション側に架設し、後ステーキング側をジャッキにより各ブロックごとにカムバーを調整しながら中央支点より端支点に桁を延ばして行くように計画した。(ii)(iii)(iv)については、塔を計画高に建て込み、桁をあらかじめ高く架設して置けば、ケーブルの引き込み時の力が少なくて済み、また引き込み後設計の長さにケーブルを碇着して置けば、所定の高さに桁をジャックダウンすることによって比較的簡単にプレストレスを導入することができる。ジャックダウン後、ワイヤーロープの輸送中のゆるみ、合金のクリープなどからワイヤーロープごとに張力に誤差が出ることが予想されるので、BBRV センターホールジャッキでワイヤーロープごとに張力を調整できるように計画した。

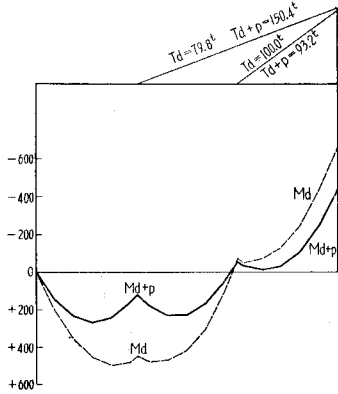


図-3 応力調整による曲げモーメント

- M_d 死荷重による主桁曲げモーメント
- M_{d+p} 応力調整後の曲げモーメント
- T_d 死荷重によるケーブル張力
- T_{d+p} 応力調整後のケーブル張力

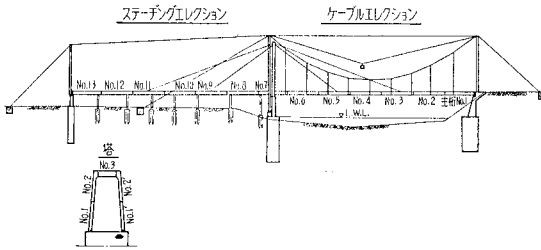


図-5 架 設 設 備 図

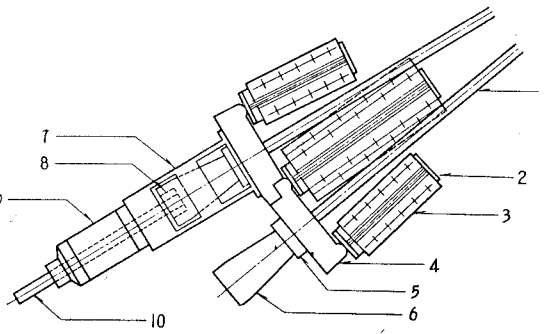
(ii) 架 設 設 備

架設設備は、高水敷は基礎杭打ステーキング、低水敷はケーブルエレクション設備を行なった。以下参考までに設備の内容を表-1に掲げる。

(iii) 架 設

(イ) ケーブルスパン

ケーブルスパンのエレクションに当たっては、ケーブル設備のバランスをとって架け中間点で容易に閉合できると、一部材最大 10.3 ton もの重量があるので、これらを能率良く架設するよう考慮した。部材の集積場所は洪水などの関係から左岸の高水敷に置かれており、これらをケー



- 1. ロックドコイルロープ
- 2. アンカーガード
- 3. 腹板取付山形鋼
- 4. アンカーバー
- 5. ライナ
- 6. ソケット
- 7. ジャッキ台
- 8. アンカーヘッド
- 9. センターホールジャッキ
- 10. テンションバー

図-4 センターホールジャッキによるケーブル力導入

表-1

種 類	構 成	最大作用力 (t)	容 量 (t)	安全率
主 索	4×44 φ (37×6)	111.9	385	3.44
吊 索	1×32 φ (37×6)	16.2	51	3.15
運 搬 索	1×44 φ (37×6)	23.2	96	4.16
鉄 塔 (22 m)	4-Ls 130×130×12 2-Pls 510×10	185.3	376	2.03
〃 (31 m)	4-Ls 150×150×15 2-Pls 550×14	186.9	493	2.64
アンカーブロック	コンクリート 133 m ³	垂 直 力 180.4 水 平 力 238.0	394 296	2.2 1.24
ステーキング基礎杭	φ 21 l=3.6 m	3.3	5.5	1.67

ブルスパンに運び出すには、中央の塔が支障となるので最初に主桁 No. 7, 8 を架け、次いでこれらに鋼床版、横構を取付け、この上にトロ線を引き主桁 No. 1~6 は、一旦トロ線の上を通過してケーブルスパンに運搬される。主桁架設は No. 7, 8, 1, 2, 4, 5, 3, 6 の順で行ない、No. 7 と 8, No. 1 と 2, No. 4 と 5 は先にボルト締めを行ない No. 3 と 6 で高さの間隔を調整し No. 3 は下縁添接のみ、No. 6 は上縁添接のみにし、横構および鋼床版を取付け全鋼重を作用せしめて後完全に閉合した。

(ロ) ステーキングスパン

ステーキング架設は、図-5 に示すように 6 カ所のベントの上に No. 9, 10, 11, 12, 13 の順で架設を行なったが、各部材ごとベントの上で所定のカムバーになるようジャッキで調整し、後のジャックダウンの余裕を保たせるためサンドバックを敷いて部材を納めた。

(ハ) 塔

塔の建て込みは、中央エレクションタワーを利用し、部材 No. 1 および No. 1' を沓の上に建て No. 2, No. 2', No. 3 は鋼床版上で組み立て、諸に No. 1, No. 1' 上に引き上げ添接した (図-5 参照)。

(イ) ケーブル引き込み作業

ケーブルの引き込み力は、桁の嵩上げ量との関係から決まる。引き込み力を架設設備の作業性より定めると、逆に嵩上げ量が決まってくる。

嵩上げ量 = {(ケーブルのサグによる縮み)+(死荷重とプレストレス作用時のケーブルの弾性伸び)÷(引き込み力によるケーブルの弾性伸び)}×cosecθ_a

θ_a: 上段ケーブルと桁との角度

実作業面については桁の架設の納まりの誤差が考えられるので、ある程度の余裕を見込む必要がある。実際には、引き込み力 10.0 ton ケーブルのサグによる縮み 1.69 cm、死荷重とプレストレスのケーブルの弾性伸び 7.05 cm、引き込み力によるケーブルの弾性伸び 1.72 cm で、これに要する嵩上げ量は 19.9 cm であったが余裕を見込んで 25 cm とした。引き込み作業は、まずケーブルの中心をサドルの中心と一致せしめ、後 3 車ブロックを使用してケーブルの両端を同時に碇着装置の中に引き込んだ。碇着部はやや部材が混んでいたので作業性は悪かったが無事納めることができた。

(エ) ジャックダウン

ジャックダウンによって所定の張力をケーブルに与えるためには、桁の嵩上げた状態でケーブル長を調整しておく、ジャックダウン後の微調整量が少なく済む。このケーブル長さの決定には、死荷重とプレストレス作用時のケーブルのサグによる縮みと、同じくケーブルの弾性伸び、これに塔の垂直方向の弾性縮み、桁の水平方向の弾性縮みを考慮すればよい。これらの諸値は表-2 のようである。ジャックダウンの実際の作業面で最も注意せねばならぬことは、塔の頂上に仿く水平力は、下側サドルと下側ケーブルの摩擦力で抵抗するように設計してあるため、ケーブルにあまり力の伝わっていない嵩上げた状態では塔は不安定なものとなっている。このためジャックダウンに際しては両スパンとも同じ量だけ正確に下げる必要があった。ジャックダウンの作業図は 図-6 に示す。また作業の順序は次のよ

表-2

	サグによる縮み (cm)	死荷重+プレストレスによる弾性伸び (cm)	塔の弾性縮み (cm)	桁の弾性縮み (cm)	ケーブル力 (t)
上側 ケーブル	0.32	6.77	0.34	0.37	163.32
下側 ケーブル	0.05	3.32	0.34	0.2	107.02

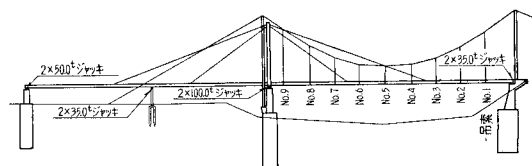


図-6 ジャックダウン作業図

うである。

(イ) ステージングスパンは中央以外の全ベントのサンドバックを切り、ステージングスパンを3点支持状態にする。中央ベントには事前にジャッキの設備を施してある。

(ロ) ケーブルスパンの吊索 No. 5 を外し、スパン中央の撓みを測定する。

(ハ) ステージングスパンの中央点をケーブルスパンの撓みに等しい量だけジャックダウンして両スパンの撓みを揃える。

(ニ) ケーブルスパンの吊索 No. 6 を外して(イ)と同様にステージングスパンをジャックダウンして撓みを揃える。

(ホ) (イ)～(ハ)で中央点の撓みが大体 5 cm に達したので主桁端支点を 5 cm ジャックダウンする。主桁の支点には架設時すでに (10 cm + 5 cm + 5 cm + 5 cm) のカムパーブロックを入れてある。

(ヘ) 主桁中央支点を 5 cm ジャックダウンする。

以下吊索を No. 4, 3, 2, 7 の順で外しながら 5 cm ごとの段階で 15 cm までダウンを行なった。ここまでくると本体ケーブルには、かなりの張力が加わってきたので吊索を全部外して、残りの 10 cm を一処に主桁の端支点、中央支点でジャックダウンせしめた。

(vi) ケーブル張力微調整

ジャックダウン前のケーブル長調整について 100% プレストレスを導入する予定であったが、ソケットメタルのなじみやクリープによる影響などからケーブルの伸びが予定より大きくプレストレスが、表-3 に示すように不足であった。このプレストレスの不足量は、桁のジャックダウン完了後の撓みおよび BBRV センターホールジャッキのゲージで計ったものである。プレストレスの不足量の導入はワイヤーロープを 1 本ごとに左右から BBRV センターホールジャッキで引き、ソケットとアンカーバーの間にライナ

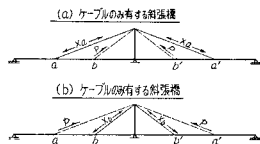


図-7

ーを入れる。このライナーの厚さの計算は、ケーブル張力と桁の撓みから計算できる。

a 点のライナーの厚さ

$$t_a = \frac{P_a l_a}{E_c A_c} + P_a (\delta_{aa} - X_b \delta_{ab}) + P_b (\delta_{ab} - X_a \delta_{aa})$$

b 点のライナーの厚さ

$$t_b = \frac{P_b l_b}{E_c A_c} + P_b (\delta_{bb} - X_a \delta_{ba}) + P_a (\delta_{ba} - X_b \delta_{bb})$$

P_a = a 点に追加すべき張力

P_b = b 点に追加すべき張力

l = ケーブルの長さ

E_c = ケーブルヤング率

A_c = ケーブル断面積

δ_{aa} = 連続桁の aa' 点に $P=1$ を加えたときの aa' ケーブル方向の撓み

δ_{bb} = 連続桁の bb' 点に $P=1$ を加えたときの bb' ケーブル方向の撓み

δ_{ab} = 連続桁の bb' 点に $P=1$ を加えたときの aa' ケーブル方向の撓み

δ_{ba} = 連続桁の aa' 点に $P=1$ を加えたときの bb' ケーブル方向の撓み

X_a = a ケーブルのみ有する斜張橋のケーブル不静定力

X_b = b ケーブルのみ有する斜張橋のケーブル不静定力

微調整の作業の内容は、表-3 に示してあるが、この内合金のクリープ補正量は大体 10 mm 程度のクリープによるソケットからの抜け出し量を考慮した。また桁の反りは左右スパンの平均値を示す。

(vii) 工 期

架設工事の工程は表-4 に示す。8 月初旬の大洪水によって、架設器材の一部が流失し、20 日間の延期を見た (表-4)。

表-3

	設計張力 (鈎装を含まず) (t)	合金のクリープ補正量 (t)	微調整量 (t)	ライナー厚 (mm)	桁の反り		
					微調整前	微調整後	左の計算値
上流 a ケーブル	126.1	17.9	38.0	23.1	26	43	44
" b ケーブル	62.7	30.8	5.0	5.5	21	29	27
下流 a ケーブル	126.1	17.9	28.0	20.7	20	45	44
" b ケーブル	62.7	30.8	25.0	14.1	10	29	27

(viii) 載荷試験

載荷試験は、7 ton 積ダンブトラック2台に砂利を満載し、最大撓みを生ずる点に配置して行なった。測定結果は図-8に示す。

表-4

工種	5月	6月	7月	8月	9月	10月
アンカーブロック						
諸機設置						
架設鉄塔建方						
架設ケーブル設備						
ステーディング杭打						
ステーディング建方						
橋体架設設置						
ケーブル張り渡し						
ジャックダウン						
ケーブル力調整						
架設設備解体撤去						

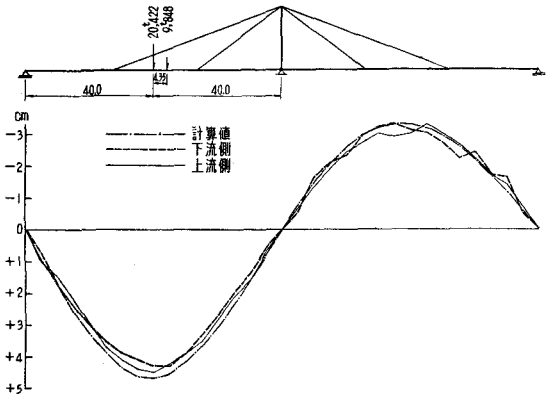


図-8 載荷試験撓み図