

I — 6 一般国道38号 新茂岩橋の架設について

北海道開発局 正員 少島 英 久
 〃 〃 高 木 秀 貴
 〃 〃 ○ 高 松 泰

1. 序 文

一般国道38号、豊頃町に建設中の「新茂岩橋」は、橋長984.2^m、主径間には道内では初めての橋梁型式である「ニールセン系ローゼ桁」と採用した長大橋である。本橋は、昭和50年度下部工事に着手し、昭和54年度下部工事成業、昭和55年度より上部工の架設を行っている。

本報告は、「新茂岩橋」上部工の架設について主として「バスケットハンドル型ニールセン系ローゼ桁」の架設計画、架設上の問題点についてとりまとめたものである。

2. 橋梁諸元

橋長：984.2^m

巾尺：(8.500 + 2.500) ^m、暫定2車線

<上部工>

①主径間部 バスケットハンドル型ニールセン系ローゼ桁

橋長=140^m.000, ライズ=21^m.383,

主構間隔=16^m.000.(下弦材中心間隔)

2^m.000(アーチクラウン部)

斜材=ロックドユイルロープ、D型(φ64)

②側径間部 3径間連続鋼箱桁 4連

(62^m+87^m+72^m=221^m)+(3@75^m=225^m)+

(3@65.5^m=196.5^m)+(3@65.5^m=196.5^m)

<下部工>

組杭基礎ラーメン橋台 2基

組杭基礎逆丁式橋脚 10基

鋼管矢板井筒基礎逆丁式橋脚 2基

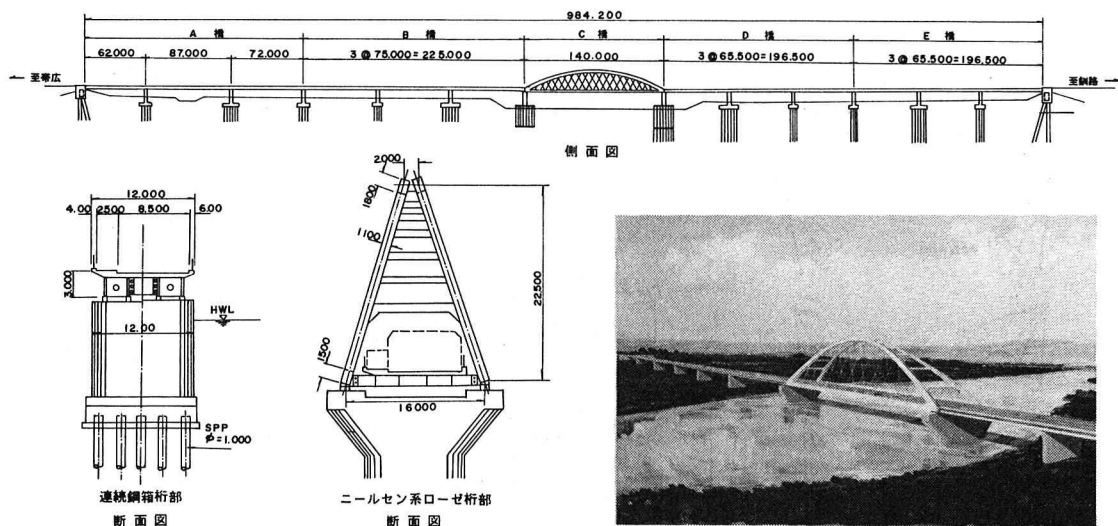


図-1 橋梁一般図

写真-1 完成予想写真

3. ニールセン系ローゼ桁の設計

本橋は片歩道で偏心荷重状態にあること、および美観を考慮して主径間部にはアーチ主構を傾斜させ、いわゆるバスケットハンドル型のニールセン系ローゼ桁を採用した。これは、構造的には平行弦型に比し、ねじり剛性が大であるため、偏心荷重、横抵抗に強くおよび、動的応答特性、アーチの全体座屈などにおいて非常に有利な型式である。設計の詳細は文献1)、2)に記述したので参照されたい。

4. ニールセン系ローゼ桁の架設計画

本橋ニールセン系ローゼ桁部は、河川(十勝川)の低水敷部に架かることから、架設作業の効率性、経済性を考慮して「ケーブルエレクション斜吊り工法」を採用することとした。架設用鉄塔の設置、ケーブルのアンカー等には、橋脚P-5, 6, 7, 8を利用することとしているが、P-6, 7橋脚基礎が鋼管矢板井筒基礎であるため、架設時の下部工の水平変位、ねじり等にも充分注意する必要がある。

架設順序は、

- ①架設準備 ～ 架設用タワー・ケーブルの設置。
- ②上弦材架設 ～ 斜吊ケーブルを使用し、調整しながら上弦材を起り立て閉合する。閉合後のアーチ水平力は橋脚上に設置した水平力処理用ジャッキ

に受け持たせる。

- ③下弦材架設 ～ 仮吊索と使用しキャンバー調整を行ないながら、下弦材を無応力状態にして下弦材を閉合させる。

- ④斜材取付調整 ～ 橋体鋼桁自重状態で斜材ケーブルの取付を行ない、第1回目の斜材張力調整を行なり。

- ⑤床版打設 ～ 床版コンクリートの打設を行ない、死荷重全載の状態下斜材張力調整を行なり。

以上の工程で橋体上部工の架設を行なりわけであるが、ニールセン系ローゼ桁の場合斜材の張力調整が特に問題となるので以下これを詳述する。

5. 斜材張力調整

5-1. 張力調整の必要性

ニールセン橋の特徴は、斜材に作用する軸力をすべて引張力としワイヤーケーブルを使用できる点にある。しかし、このワイヤーケーブルは橋体の設計、製作、架設時に及ぼる誤差の影響を敏感に受ける。特に「斜吊り工法」による橋体架設を行なり場合は、ステージング工法に比べ橋体の形状管理が充分に行なえないことからケーブルの張力、調整によって橋体精度を高めていくことが重要である。

ニールセン橋の斜材張力調整を行なり場合、問題になるのは、

i) ニールセン橋は高次の内的不静定構造であることから1本のケーブルのみを調整しても、その影響が他の部材に及ぶこととなるのでケーブル調整作業を迅速、かつ正確に行なりするための高度な調整技術を要する。

ii) ケーブルの張力変動は種々の要因によって生ずるが、その誤差要因の中には本来、架設時の張力調整では調整すべきでないものも含まれている。

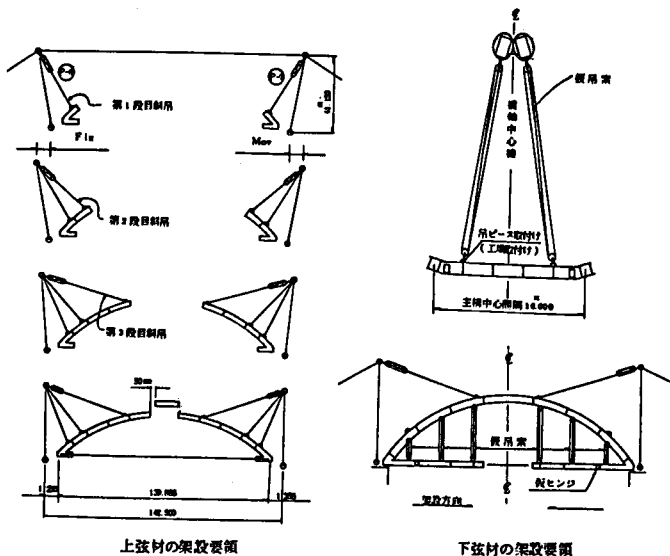


図-2 架設要領図

5-2 張力変動の誤差要因

ケーブル張力変動の誤差要因を次の8種類に分けて考える。

- ①死荷重誤差 ～ 実際の死荷重が設計死荷重と相違することによる誤差。
- ②断面剛度誤差 ～ 設計計算時に仮定した断面剛度が、実際には桁桁や橋脚等の床組構造による力の分担、そして床版の合成効果等により剛度の変動を生じその影響がケーブルにあらわれる。
- ③骨組形状誤差 ～ アーチ製作時のキヤンバーや架設時の誤差等によりアーチ放物線が変動することによる誤差。
- ④斜材格点間長誤差 ～ 骨組形状の誤差の中で特に斜材ケーブルの格点間長が変動するものを分けて特に斜材格点間長誤差とし、後述するが、③による変動量は微小であるが④による変動量は非常に大きいことがわかった。
- ⑤温度誤差 ～ 斜材張力調整時における橋体各部の温度差によって生ずる変動。
- ⑥ケーブル特性誤差 ～ ケーブル低張力時におけるサゲやケーブル曲げ剛性の影響は設計計算上は考慮されていないが、実際には多少の影響がある。
- ⑦架設誤差 ～ 架設工法によっては、橋体と完全な無応力状態では架設できず架設時の応力変動がそのまま残留する場合がある。
- ⑧張力計測誤差 ～ ケーブル張力測定時の測定誤差である。

ケーブル張力変動の誤差要因は、これら種々のものがありそれぞれの変動も実際には確率的な変動であるので、定量的な誤差の把握は非常に難しい問題である。

5-3 各誤差要因に対する解析

上述の誤差要因による橋体応力変動の傾向をつかむため、⑧以外の要因に対してある変動条件を与えて構造解析を行なった。

構造解析は、図-3に示すモデルにて変形法を用いて解析した。一般にアーチ橋の設計は各主橋面の構造系として(面内構造物として)設計され、桁桁等床組の影響は考慮されておらず、本橋も同様に設計計算を行っている。しかし、後述のよりにバスケットハンドル型のような床組の剛な構造では、床組の剛度の影響が

ケーブル張力に対し少なからぬ影響を与えることから、張力解析に際し立体構造物としての計算を行なった。

また、張力調整は橋体架設工程において

i) 鋼桁自重状態

ii) 死荷重全載状態

の2回である。

鋼桁自重状態では図-4に示すように張力レベルが低いのでケーブルサゲの影響についてのみ述べ、その他の要因については死荷重全載状態で最終張力調整と

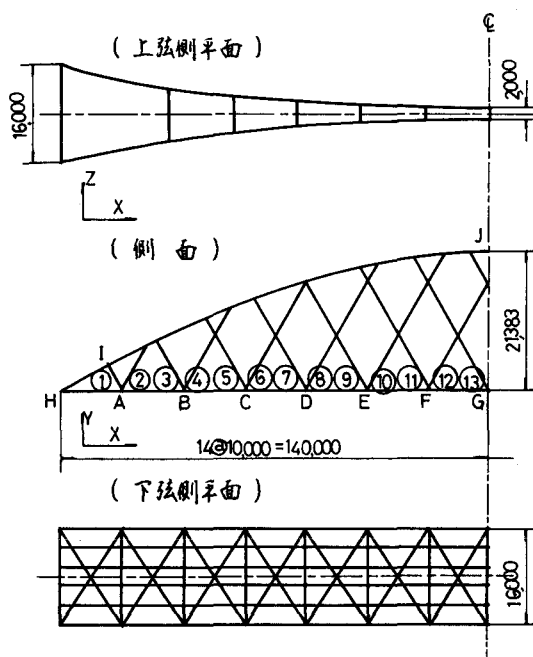


図-3 構造モデル

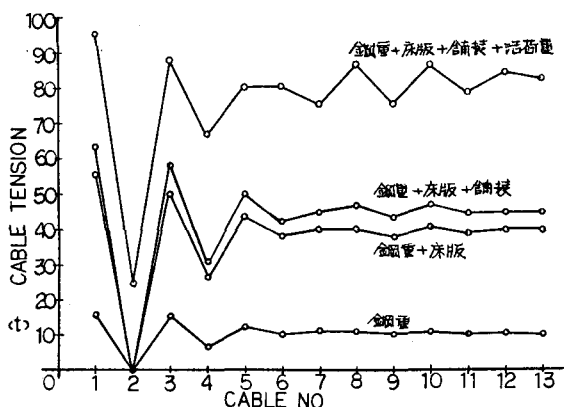


図-4 斜材ケーブルの設計張力

行なりとから、以下に原則として死荷重全載状態における張力解析について述べる。

各誤差要因による変動の特徴をまとめると

①死荷重誤差 ～ 誤差量として全死荷重の2.5%増しの荷重が作用するものと仮定した。結果は表-1～4、図-5に示すように全て2.5%増しの断面力、変形となる。

②断面剛度誤差

i) 鍍材の有無による影響

ii) 下弦材の剛度が10%up した時の影響

(床版の合成効果等によるもの)

の2通りの計算を行なった。

鍍材の有無については、端ケーブルとたわみれ大きな影響が出ているので張力管理、たわみ管理のために鍍材も考慮し解析が必要であることがわかる。

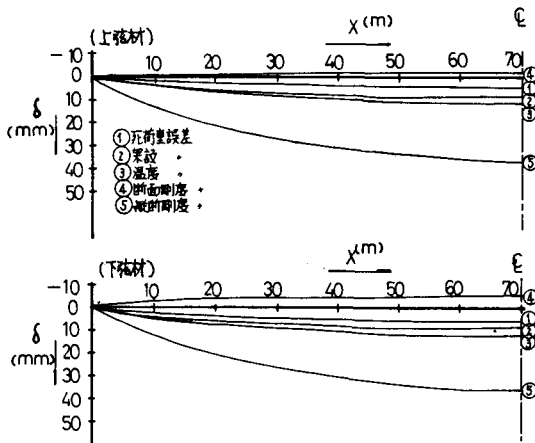


図-5 各誤差要因によるたわみの変動

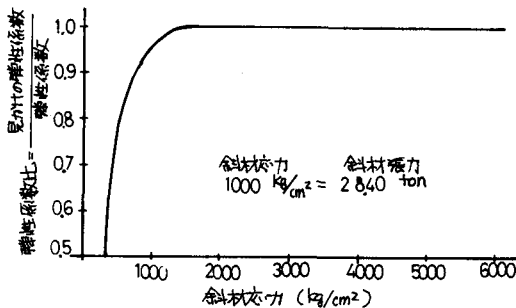


図-6 斜材②の見かけの弾性係数

表-1 各変動要因によるケーブルの張力変動

(元荷重全載状態)

ケーブル	死荷重 誤差	断面剛度 誤差	鍍材の有無	温度 誤差	
1	1.7	-0.7	6.4	0	-0.8
2	0.1	0.7	0	0	0
3	1.7	-0.5	0.9	0	-0.7
4	0.9	0.1	1.0	0	0.8
5	1.5	-0.1	-0.8	0	-0.3
6	1.3	-0.1	0.6	-0.1	0.3
7	1.4	0.1	-0.6	0	-0.2
8	1.4	0	0.1	0	0.1
9	1.3	0.1	-0.4	0	-0.1
10	1.4	0	0	0.2	0.1
11	1.3	0.1	-0.2	0.1	0
12	1.4	0	0	0.4	0
13	1.4	0.1	-0.1	0.4	0

(鋼材自重状態)

ケーブル 架設	ケーブル 特性	架設
1	-1.1	-0.7
2	0	1.3
3	-0.3	-0.5
4	-0.7	0.5
5	0.1	-0.2
6	-0.2	0.2
7	-0.2	-0.2
8	0	0.1
9	-0.1	-0.1
10	0	0
11	0.1	-0.1
12	0	0
13	0.1	0

(単位 ton)

表-2 斜材格点間長誤差によるケーブル張力の変動

ケーブル	A	B	C	D	E	F	G
1	17.9	-7.2	-1.7	1.0	0.6	0.4	0.2
2	25.8	0	0	0	0	0	0
3	-21.0	21.9	-5.9	-0.7	0.6	0.6	0.4
4	0	17.8	-4.6	-4.1	-1.8	-0.4	0
5	-4.8	-10.0	16.3	-4.0	-0.6	0.5	0.6
6	0.7	-0.5	14.5	-3.0	-3.5	-2.3	-0.8
7	-0.1	-5.3	-6.3	14.3	-3.0	-0.5	0.4
8	0.4	0.4	-0.6	12.7	-2.5	-3.0	-2.4
9	0.5	-1.6	-4.3	-4.5	12.8	-2.3	-0.3
10	0.2	0.4	0.3	-0.9	1.8	-2.3	-2.7
11	0.3	-0.1	-2.2	-3.6	-3.5	11.9	-1.8
12	0.1	0.3	0.4	0.1	-1.1	11.5	-2.5
13	0.1	0.2	-0.5	-2.4	-3.0	-2.9	11.5

(単位 ton)

※ それぞれ A～G 点を 10mm 変位 down させたときの張力変動

表-3 各変動要因による曲げモーメントの変動

(3.m)								
	点	死荷重 誤差	断面剛度 誤差	鍍材の有無	温度 誤差	ケーブル 架設	架設	
上弦材	H	-3.0	3.0	54.5	0.1	1.5	2.2	2.7
	I	-4.9	6.7	-13.6	-0.1	8.1	3.2	7.3
	J	0.4	1.2	-12.8	4.6	2.4	1.2	2.5
下弦材	H	0.3	8.3	53.0	0	-1.7	-2.1	7.6
	G	-0.1	-1.0	-6.8	-2.1	1.5	-0.1	1.1

表-4 斜材格点間長誤差による曲げモーメントの変動

	点	A	B	C	D	E	F	G
上弦材	H	-61.9	44.5	-10.5	0.4	-1.6	-0.4	-0.4
	I	-106.3	29.1	13.1	3.0	-0.3	-0.7	-0.4
	J	0.4	0	3.0	6.8	-1.9	-11.5	10.5
下弦材	H	62.6	-46.4	9.9	-1.4	0.9	-0.2	0
	G	0	-1.0	-2.4	9.5	-39.0	145.0	-226.0

※ それぞれ A～G 点を 10mm 変位 down させたときの変動

ii) の場合は、ケーブル軸力にはほとんど影響しない。ただし、上、下弦材の曲げモーメント分担率が多少変化する。

③骨組形状誤差 ～ 上、下弦材とも50mm上げ越しした状態で解析したが、変動は微小である。

④斜材格点間長誤差 ～ 橋体無応力状態から何らかの原因によって強制的に格点間長が変動した場合の解析を行なった。計算は、下弦材A-G点の各変位がそれぞれ10mm変位downした時の変動量について行なった。結果を表-2、表-4に示す。実際の変動量はこれらの結果をたし合わせることで影響値がわかる。

計算結果を考察して言えることは、この誤差要因によるケーブル張力の変動はかなり大きいことがわかる。従ってこの要因による誤差は調整しておく必要がある。

⑤温度誤差 ～ 上弦材に5℃の温度上昇があった場合の解析を行なったが、変動は微小であることがわかった。

⑥ケーブル特性誤差 ～ 橋体の鋼桁自重状態においてケーブルサゲの影響を考慮し、Ernstの式による見かけの弾性係数を用いて解析した。

ケーブル張力に対する影響は1ton以内である。

⑦架設誤差 ～ ニールセンの下弦材閉合直前の状態を想定し、ジャッキによってアーチに水平力をかけた状態における橋体変動を解析した。

計算の結果ケーブル張力に対する変動は微小であることがわかった。弦材には多少の応力を残留すると見られる。

5-5 張力計測誤差

ケーブル張力の計測方法としては、

i) ジャッキゲージ読取り法

ii) ケーブル振動法

の2種類を用いる。両計測法とも測定器具の計測誤差があるが、その他に次のような問題点がある。

ジャッキゲージの読み取りを行なう場合の問題点は図-7にケーブル差着構造を示したが、ケーブル張力導入時にケーブルをセンターホールジャッキで引張り人力でナットを回してケーブルを固定するわけであるが、この時ナット締付けが不完全ならばジャッキで導入した張力がケーブル固定後張力低下を起こすおそれがあることである。

$$(\text{有効張力率}) = \frac{\text{実張力}}{(\text{ジャッキゲージ計測張力})}$$

とすると、(有効張力率)は(ケーブル張力)と(ナット締付けトルク)の関数になる。これらの関係については今後室内実験により、(有効張力率)を割り出す予定であるが、現在までPC鋼橋で行なう予備実験では通常の作業状態で3%程度の張力のロスが生ずることを確認している。

振動法による張力の計測を行なう場合には、ケーブルサゲや曲げ剛性の影響が固有振動数に現れるのでこれらを考慮した方法で張力を求めることが必要となる。³⁾

5-6 斜材張力変動と橋体の安全性

調整すべきでない誤差(死荷重誤差、断面剛度誤差、骨組形状誤差、温度誤差、ケーブル特性誤差)について、以上の解析結果における変動量の最大値を表-5に示した。

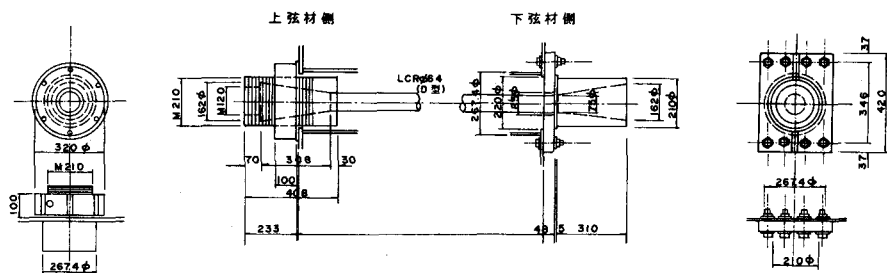


図-7 斜材の差着構造

実際に生ずる斜材張力の変動は確率的な変動であるため橋体の応力変動が実際にどうなっているかは不明である。しかし、本解析の変動条件は、不確実性を考慮し安全側の仮定で行なっている。これらの変動量に対し計測誤差等を考慮して本文で検討した最大変動量の総和の2倍の変動が生じたとときの断面応力をチェックすると、

上弦材、(POINT J)

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力度} & 6 = 769 \text{ kg/cm}^2 < 2600 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{軸応力度} & 6 = 1286 \text{ kg/cm}^2 < 1842 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{合成応力度} & \frac{766}{2.600} + \frac{1286}{1.842} = 1.0 \leq 1.0 \end{aligned}$$

下弦材 (POINT H)

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力度} & 6 = 820 \text{ kg/cm}^2 < 2600 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{軸応力度} & 6 = 1833 \text{ kg/cm}^2 < 2600 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{合計応力度} & 6 = 2653 \text{ kg/cm}^2 > 2600 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

従って斜材張力変動10%程度(表-5の2倍の変動)を想定しても下弦材に53 kg/cm²程度のストレスオーバーとなるぐらいであり、橋体の安全性については大きな問題はないと考えられる。

表-5 斜材軸力誤差の累計

ケーブル NO	設計軸力	最大誤差	%
1	522 ⁺	4.3 ⁺	8.2
2	0	—	—
3	477	3.2	6.7
4	250	2.5	10.0
5	405	2.0	4.9
6	33.9	2.0	5.9
7	37.2	1.9	5.1
8	38.3	1.5	3.9
9	35.5	1.6	4.5
10	38.5	1.7	4.4
11	36.1	1.6	4.4
12	38.0	1.8	4.7
13	37.1	2.0	5.4

あとがき

以上主としてニールセン系ローゼットの斜材張力調整について述べてきた。以下、主要な点について総括する。

①斜材張力を調整する要因としないう要因

各変動要因の中でケーブル張力に影響が大きいものは、斜材格点間長誤差であり、この要因は橋体架設時にあって、ケーブルの取付け前に極力除去して

おくことが必要である。

また、縦桁の下弦材剛度への寄与についても影響が大きいので、導入張力算定の段階でこれを考慮すべきである。死荷重誤差、断面剛度誤差(下弦材剛度10% up)、骨組形状誤差、温度誤差、ケーブル特性誤差等による変動量についてはそれほど影響が小さくなく、かつその誤差もプラス、マイナス不確実性を生ずるものであるため、導入張力の補正要素としては考慮しなくても良いものである。

②形状管理と張力管理

斜材格点間長誤差の検討に見られるように、ケーブル取付け後、橋体弦材のキャンバーをケーブルによって調整しようとしたらケーブル張力は大きく変動する。従って必要な形状管理は、斜材取付け作業前に行なうべきである。

また、縦桁を介して縦桁と同様の影響を与えると考えられるものに床版の剛性がある。従って、ケーブル張力調整は、コンクリート硬化前、出来るだけ早い時期に済ませるべきである。

③張力調整精度

検討結果を総括すると、張力調整精度は±10%程度の変動は橋体の安全性から言っても、許容されるものと考えられる。

以上の検討結果をふまえて、ニールセン系ローゼットを昭和56年度架設する予定である。現在、側径間連続鋼箱桁2連の架設はすでに終了しているが、主径間架設後、残りの連続鋼箱桁2連を昭和57年度に架設し、その後取付け道路、舗装を含め昭和58年度工の予定である。

(参考文献)

- 1)清崎、高木、高松;「新茂岩橋上部工の設計」
橋梁と基礎、1980年9月
- 2)能町、清崎、金沢;「新茂岩橋の全体座屈解析」
土木学会北海道支部論文集、昭和56年2月
- 3)新家、広中、坂井、西村;「振動法によるケーブル張力の実用算定式について」
土木学会論文集、1980年2月
- 4)新家、広中、坂井、湊;「ニールセン橋の斜材張力調整に関する一手法」
神戸製鋼技法、1977年1月