

ニールセン橋(川津大橋)の架設時の精度管理

Quality Control in Construction of a Nielsen Bridge (Kawazu Ohashi Bridge)

能 登 宥 愿*
Hiroyoshi NOTO

山 下 久 生**
Hisao YAMASHITA

Summary

Similar to cable-stayed bridges, Nielsen bridges are structures with a high degree of freedom in which cables are used. During the design process close attention is paid to optimizing prestress for mechanical efficiency and to minimize the steel weight of girders, and the accurate achievement of designed tension and form is vital.

Unfortunately, discrepancies between design, manufacture, and construction influence form, tension, and stress. The resulting errors must be kept within the allowable tolerances. Additionally, efficiency and safety must be maintained during construction. For these purposes, we have exercised quality control over construction using a computerized system and real-time processing.

1. まえがき

川津大橋は和歌山県に境を接する奈良県の山間の十津川村に位置しており、新宮川を塞ぎ止めて作られた風屋ダムのダム湖を渡るニールセン型ローゼ橋である。

本橋は平成3年3月に竣工しているが、架設時の精度管理を鋼桁閉合時(平成2年9月)、舗装敷設時(平成3年1月)に行っている。これらについて報告するものとする。

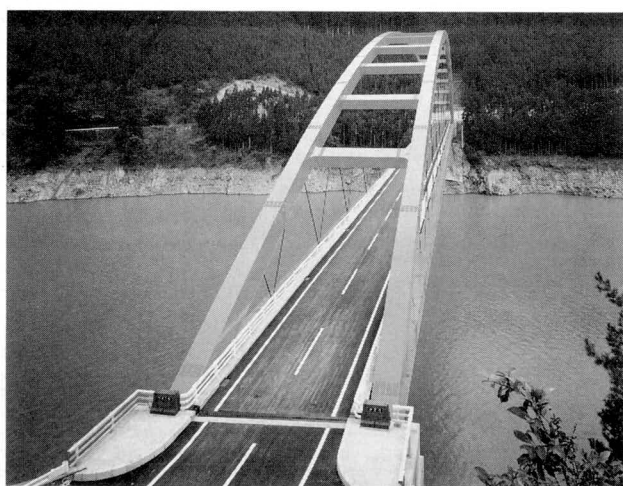


写真-1 川津大橋全景

2. 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る。設計段階で力学的合理性、鋼桁自重最小化を目指した最適プレストレスが設定されており、張力・形状ともにその再現が必要不可欠である。しかるに設計・製作・架設の各段階で生じた各種不整合が、構造物の形状・張力・応力に影響を与え誤差を生みだしている。これらを所要の範囲内でバランスよく収める必要がある。また、架設時の作業効率・安全性を最大限に図る必要がある。このためにコンピュータシステムによるリアルタイム処理の精度管理を行った。

3. 管理方針

構造特性調査から得られる各種データと現場の作業条件、施工性、安全性を考慮して管理方針を以下のように決める。

- ① 精度管理の対象とする架設段階は、鋼桁閉合時、完成時の2ステップとする。
- ② 計測当日、最終の架設時荷重を確認し、必要に応じて管理値の修正を行う。
- ③ 管理項目をケーブル張力、下弦材のキャンバーとし、上下弦材の応力を安全性の照査に用いる。
- ④ 計測の前段階として温度の経時計測を行い、上下

* 技術本部先行技術研究室課長

** 技術本部設計部設計第2課

表-1 計測項目と管理値の許容値

	計測方法	管理値の許容値
ケーブル張力	サーボ加速度計(常時微動法) 振動法の補正はジャッキ法	$\Delta T = T_a - (T_d + T_1)$ ΔT : 余裕量
下弦材形状	光波式測角測距儀による計測	$\Delta y = \pm 25 + (L-40) \times \frac{1}{2}$ $= \pm 92 \text{ mm}$
橋体温度	上弦材、下弦材、供試体ケーブルに熱電対を貼付	
外気温	上・下弦材のBox内外面に熱電対	
断面応力	軸部添付式歪ゲージ	

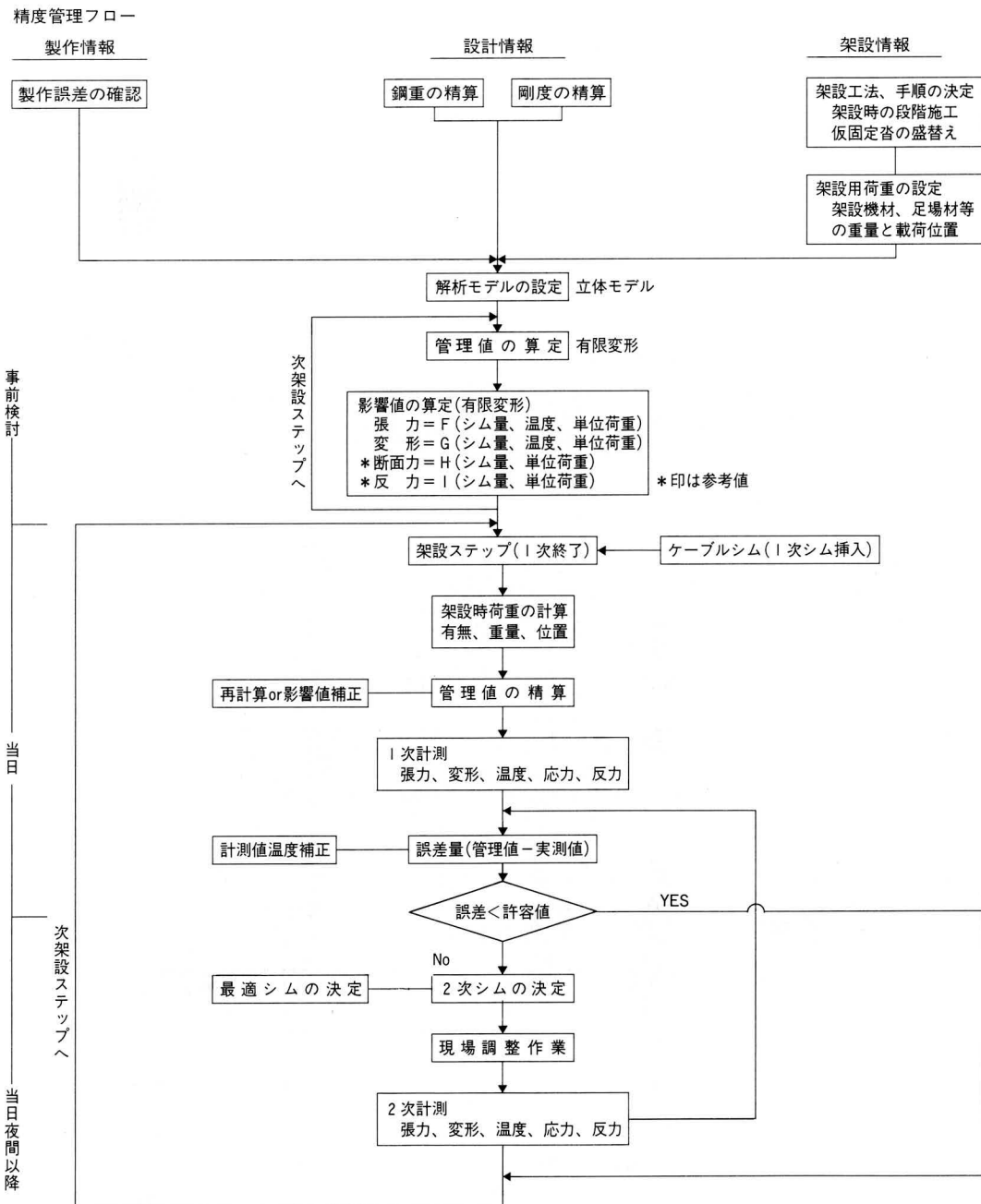


図-1 精度管理フロー

フランジの温度差の少ない最適計測時間を決定する。

- ⑤ ケーブル張力の計測は振動法とし、ケーブルの曲げ剛性、支持方法に対する補正（キャリブレーション）はジャッキ法を正解値として行う。
- ⑥ 各種不整により生ずる管理値との誤差をケーブルのシム量の変化により調整する。対象ケーブルは全ケーブル64本とする。

4. 計測項目と管理値の許容値

計測項目はケーブル張力、下弦材形状、上下弦材断面の応力、上下弦材、ケーブルの温度、外気温の5項目である。各項目の計測方法は表-1に示す通りである。

管理項目となるケーブル張力、下弦材形状の許容値は表-1に示す通りである。

5. 精度管理システム

本システムは図-1の精度管理フローに示すように、構造特性計算、管理値・影響値計算の事前解析システムと、現地における計測とその処理を行う計測システムと、その計測結果と管理値を対比して、最適シム量の決定を

行う解析システムとから構成されている。本橋の事前解析の架設時解体計算では、構造モデルを立体とし、ケーブルをカタナリーとして有限変形解析を行っている（図-2）。

構造特性計算では、構造系の形状、剛性に基因するもの、荷重の大きさと同様、荷重としての自然条件の変化に対して力学諸量が求められている。

各種計測値は温度による影響を補正し、さらにケーブル張力はケーブルの曲げ剛度、ソケットの支持等の補正を行っている。

各種計測用センサーの配置、キャンバー計測位置は図-3の通りである。温度・応力はセンサーで感知され、電気信号に変換されたデータはRS422の端子を介して長い距離を伝達される。キャンバー計測は光波式測角測距儀を不動点に設置して、計測位置のプリズムを覗くことによって行われる。そして計測値は直結のフィールドコンピュータによって直ちに処理される。

最適シム量の計算方法には4種類の方法が用意されている。本橋ではケーブル張力、キャンバーの重みを工学的判断により決定し、最小二乗法を用いてシム量を求めている。この結果から作業性等を考慮して、有意なシム量を決めて、任意シム法によって応答値等を計算する。

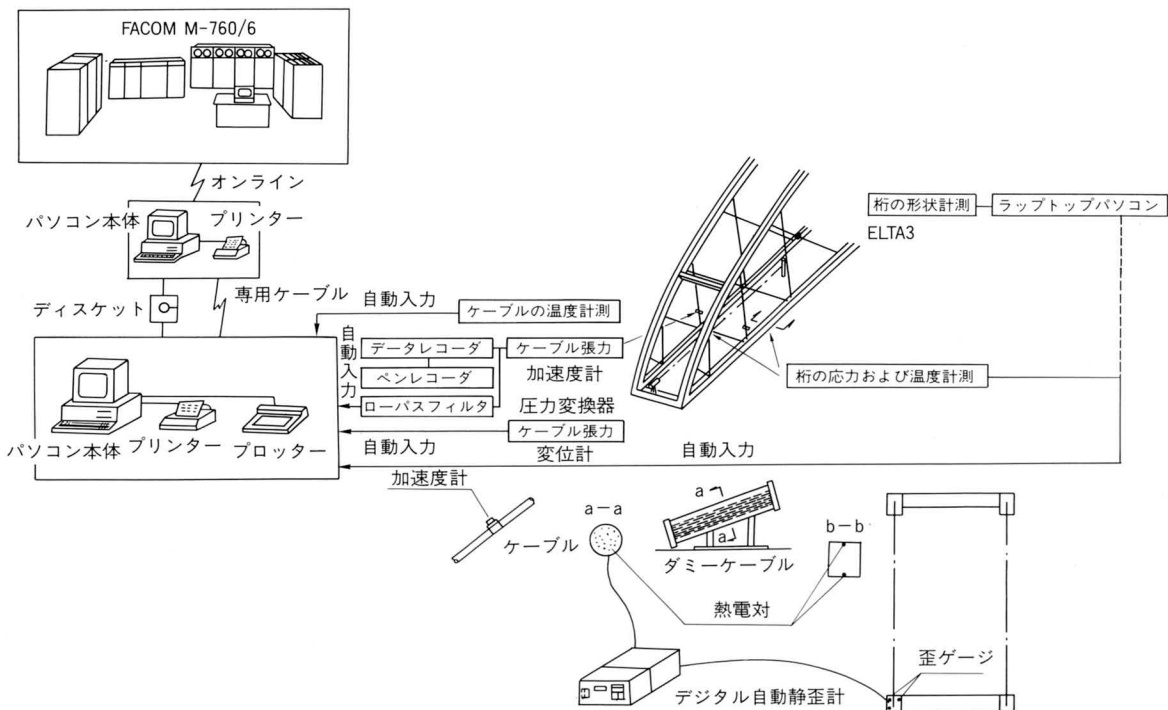


図-2 精度管理システムの概略

6. 構造特性計算

構造特性計算に用いる構造系は、閉合時、完成時と形状はほぼ同じであるが、見掛けのケーブル剛性が多少異なる。ここでは完成系の特性値について述べる。

各種の不整量として、剛性、鋼重、ケーブル長と定着間距離、弦材の角折れ、温度変化等がある。また、構造物としての余裕量をあらかじめ知っておく必要もある。

ここでは剛性、鋼重の変化についてのみ述べる

剛性（ケーブル除く）が5%低減した場合、ケーブル張力は端部数本のケーブルが1tonf前後の変化をする。下弦材形状は支間中央を最大とする放物線形状で増加する（図-4a、4b参照）。

鋼重（ケーブル除く）が5%増加した場合、殆どどのケーブルが1tonf以内の増加をし、形状は放物線形状で増加し、最大たわみ7mm位である（図-5a、5b参照）。

7. 計測結果、最適シム決定および考察

精度管理は閉合時と完成時に行われた。ここでは閉合時の第1回計測（MSTEP1-1）と完成時（MSTEP2-i）について述べるものとする。

(1) 計測結果

本計測を行う時間を設定するための温度経時計測によると、ここ山間部の湖面上で部材断面の温度勾配が零になるのは、閉合時（9月中旬頃）で20時、完成時（1月中旬頃）で15時過ぎであった（図-6a、6b参照）。

閉合時の第1回計測値（標準シム状態）には、ニールセン橋の特徴がよく現われていた。即ち上下弦材が接合する桁端の隅角部近傍は剛性が高く、かつ、ケーブル長が極端に短いので、形状の誤差がそのままケーブル張力に現われている。特に両主構面の端部ケーブル4本は、そのうち3本が張力零、1本が張力26.9tonf（管理値の約3倍）であった。また形状誤差は支間の1/6、5%点が零と

- : ケーブル張力計測位置
- : 応力計測位置
- ◇ : 温度計測位置
- : キャンバー計測位置
- ◇ : 温度計測用供試体ケーブル

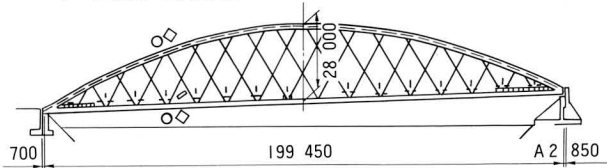


図-3 川津大橋一般図および各種計測位置

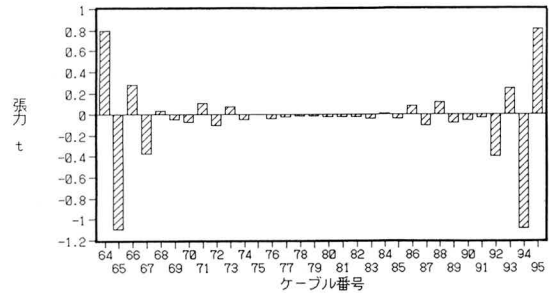


図-4a 剛度(-5%)とケーブル張力

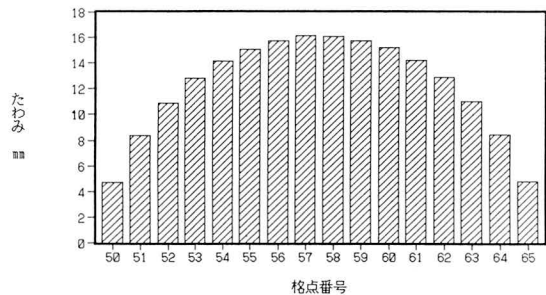


図-4b 剛度(-5%)と形状

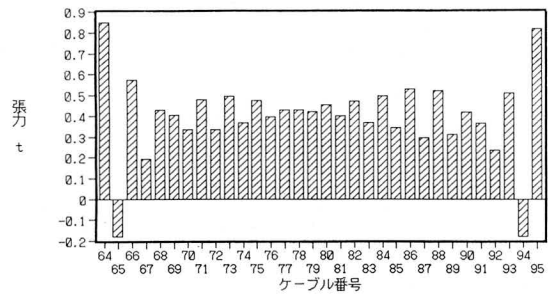


図-5a 鋼重(+5%)とケーブル張力

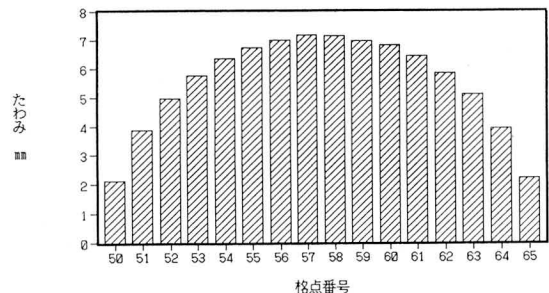


図-5b 鋼重(+5%)と形状

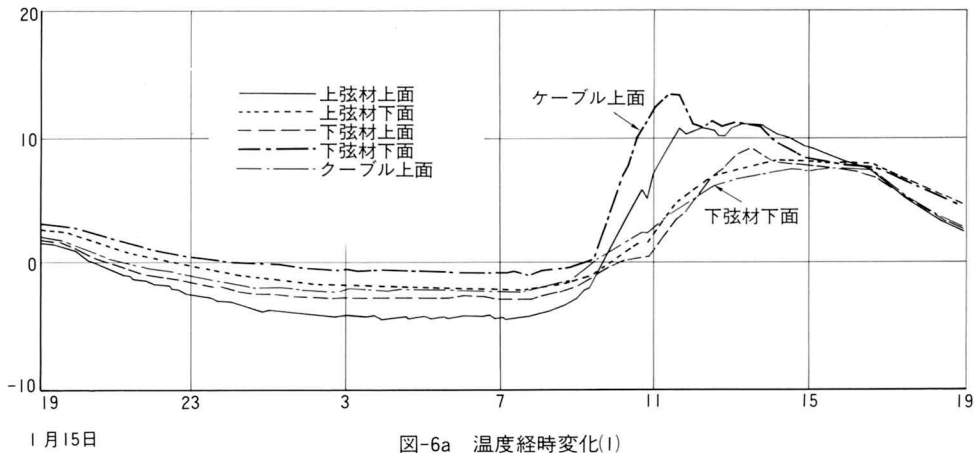


図-6a 温度経時変化(1)

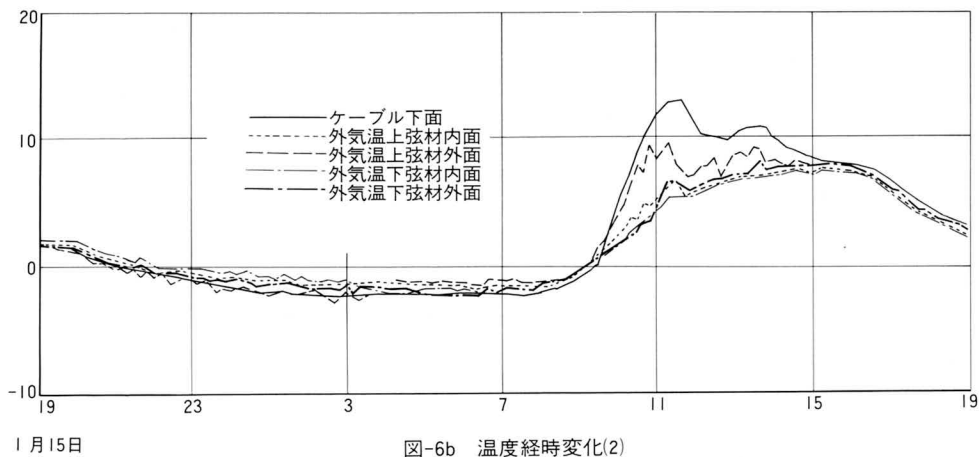


図-6b 温度経時変化(2)

なり、桁端部は下がり気味、中央は上がり気味の状態であった(図-7、図-8参照)。

上記の計測値と管理値の差を初期値にして、閉合時、完成時の各調整時点における差を表-2、表-3に示す。閉合時の管理値は鋼桁架設まで、完成時のそれは床版、舗装の打設が完了しており、荷重が3倍位に増加している。このことから調整による精度の履歴は誤差率で論ずることも考えられるが、絶対量を把握するために、誤差(=計測値-管理値)の履歴で現わしている。これらの表より、張力、形状の調整による改善の過程が良く判る。

完成時の第3回計測値(最終計測の結果)を図-9、図-10に示す。ケーブル張力の誤差は端部の2本が-4tonf、他のケーブルは殆んど±2tonf以下になった。また、振動数の採取は、閉合時には一部のケーブルを加振していたが、完成時には加振することなくすべて常時微動によりできた。

形状の誤差は管理値より高い側へ最大12mm、低い側へは7mmであった。

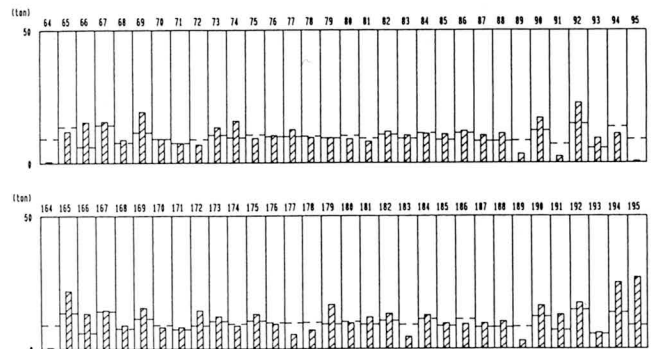


図-7 張力計測図MSTEPI-1

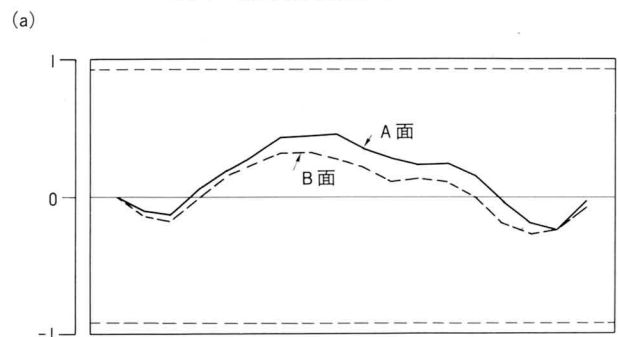


図-8 形状側面誤差図 MSTEPI-1

表-2 張力誤差の履歴 (単位: tonf)

	閉 合 時		完 成 時		
	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3
A					
面 (上流側)					
64	-8.66	5.03	-1.69	1.35	1.11
65	-1.87	-5.62	-0.46	1.40	0.65
66	6.33	5.52	5.51	0.21	0.50
67	1.39	-1.47	0.71	0.66	-0.17
68	0.16	0.94	0.95	3.61	3.66
69	7.90	-2.15	2.43	0.79	0.91
70	-1.84	1.54	3.35	1.14	2.56
71	-0.71	2.81	4.36	1.81	1.81
72	-2.01	-0.25	2.03	4.45	1.92
73	2.31	0.60	0.76	2.00	1.98
74	4.86	2.06	2.64	2.72	3.61
75	-1.74	2.35	3.37	2.69	2.20
76	-0.61	0.55	1.81	1.82	2.25
77	2.02	0.61	-0.77	-1.97	-0.80
78	-0.96	-0.34	-0.80	1.48	0.35
79	-0.45	1.19	0.33	1.71	0.42
80	-1.32	-2.19	-1.30	-0.74	-1.31
81	-1.60	0.56	-0.31	0.43	-0.34
82	0.54	-1.16	-0.56	-1.92	-1.79
83	0.17	0.17	1.87	1.83	2.46
84	-0.86	-1.52	1.40	0.35	-0.49
85	1.00	1.00	0.98	1.05	1.13
86	0.18	-1.11	0.86	1.61	0.82
87	0.18	1.64	3.25	2.59	1.52
88	1.82	2.09	3.71	0.63	0.58
89	-5.06	0.72	-1.80	0.22	1.64
90	1.40	-3.14	-0.27	2.13	1.32
91	-4.65	2.02	3.39	-1.51	0.66
92	7.88	-3.40	1.97	2.35	1.79
93	1.83	1.99	1.32	3.62	2.31
94	-2.72	-5.56	-0.49	-1.91	-0.64
95	-8.35	1.06	-4.59	-4.15	-4.10
B					
面 (下流側)					
164	-8.67	-2.76	-10.00	8.84	1.32
165	3.94	-4.13	6.48	-1.70	0.42
166	4.73	5.92	4.46	-2.16	-0.06
167	-1.10	-5.04	-3.17	1.39	0.30
168	0.48	2.37	1.54	2.91	3.08
169	1.07	-2.55	1.61	1.61	0.79
170	-2.45	2.30	4.80	3.34	3.99
171	-0.02	2.26	5.06	1.98	1.50
172	2.79	0.63	2.87	4.45	1.92
173	1.27	1.61	1.89	4.33	1.98
174	-1.53	-1.01	-1.12	0.63	2.65
175	1.98	0.90	2.16	3.44	3.44
176	-1.44	1.14	1.75	0.68	0.69
177	-4.66	-0.07	-1.34	0.93	1.05
178	-3.23	-0.65	-0.83	-0.81	-0.81
179	6.49	3.33	6.29	1.56	2.12
180	-0.96	-0.96	-0.12	-1.28	-1.16
181	2.11	0.17	0.94	1.72	1.95
182	2.00	-0.83	0.63	-0.64	-0.75
183	-4.47	-1.94	-2.21	0.88	0.86
184	0.89	-0.17	1.40	1.43	1.54
185	-0.01	0.23	1.91	0.04	0.12
186	-2.33	-1.42	-0.84	0.81	1.41
187	-0.42	0.36	2.43	4.93	2.87
188	1.14	3.53	5.83	0.55	0.60
189	-5.36	-2.90	-3.07	2.32	3.01
190	0.90	-3.64	-1.10	-0.44	-0.37
191	4.57	9.75	11.45	-1.97	0.96
192	0.94	-6.74	-4.79	-2.14	0.27
193	-0.74	1.47	-0.12	3.38	1.26
194	11.38	-0.04	3.59	8.53	-1.92
195	18.05	-6.31	-10.54	3.09	-4.57

表-3 形状誤差の履歴 単位 (mm)

	閉 合 時		完 成 時		
	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3
A					
面 (上流側)					
66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	-10.0	-1.5	-6.7	-7.1	-7.7
51	-12.8	2.7	-9.7	-6.5	-8.5
52	4.8	16.3	0.5	4.1	2.7
53	18.9	21.4	0.2	4.2	3.5
54	29.8	24.3	-3.4	-4.3	-2.1
55	43.3	32.8	1.9	2.2	-0.8
56	44.8	30.3	-1.4	1.0	-6.0
57	45.6	31.6	2.0	4.4	-0.6
58	34.9	21.4	-8.7	-4.4	-6.4
59	28.1	-9.4	-10.7	-2.5	-4.5
60	23.2	15.7	-12.0	-5.8	-3.8
61	24.4	18.9	-2.8	7.1	0.4
62	15.3	21.8	0.5	10.3	6.6
63	-3.9	9.6	-4.1	5.4	2.0
64	-19.3	2.2	-9.8	-3.6	-4.7
65	-23.9	-8.4	-16.9	-14.3	-11.9
97	-3.0	-3.0	-7.0	-7.0	-7.0
B					
面 (下流側)					
166	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	-13.5	-2.5	-9.6	-7.9	-6.5
151	-16.8	-1.3	-12.5	-9.3	-10.4
152	-1.2	12.3	-2.5	1.1	0.7
153	15.4	21.4	2.2	7.2	6.5
154	24.8	25.3	0.6	0.7	3.9
155	32.3	25.8	-1.1	1.2	-1.8
156	32.8	25.3	-1.4	2.0	-3.0
157	28.1	21.6	-4.1	2.2	-1.8
158	21.9	-4.1	-7.7	0.6	-1.4
159	11.1	8.6	-16.7	-5.5	-8.5
160	13.2	11.7	-13.0	-4.8	-2.8
161	10.9	14.9	-7.8	4.1	-3.6
162	0.3	10.8	-5.5	7.3	4.6
163	-18.9	-2.4	-13.1	-0.6	-4.0
164	-26.8	-1.8	-13.8	-6.6	-5.7
165	-23.4	-5.4	-13.9	-10.3	-6.9
197	-7.0	-7.0	-7.0	-7.0	-7.0

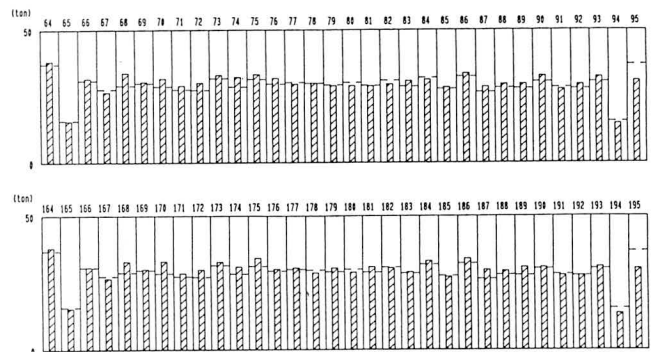


図-9 張力計測図MSTEP2-3

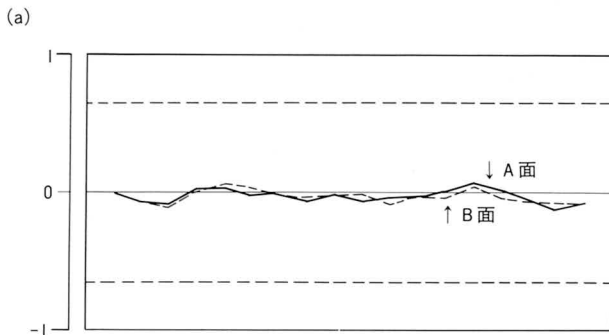


図-10 形状側面誤差図 MSTEP2-3

部材の応力は解析値より多少低めであったが、ケーブル引込み時の構造物の安全性の確認の参考になった(図-11参照)。

(2) 最適シム決定

シム調整は閉合時に1回、完成時に2回行っている。完成時の第1回目のシム量の決定では、張力、形状の重み係数の組み合わせを4種類計算し、最適値を探索した。このシム調整後の第2回計測で、端部ケーブルに8 tonf位の誤差が生じており、さらに第2回目のシム量の決定を行った。ここでは調整ケーブル数が少なくなることも目的に入れた。この結果は前述した通りであり、全体として良い精度の管理が行えたと思われる。

8. まとめ

架設時の精度管理は、当然のことながら製作時の精度が基準になる。ニールセン橋では、上下弦材の接合部である端部の隅角部は剛性も高く、形状誤差が生じると調整しにくく、さらに支間中央へと波及していく。

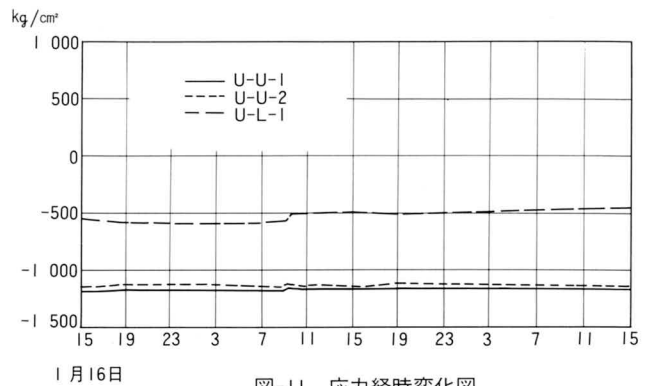


図-11 応力経時変化図

本橋ではシム調整回数を閉合時1回、完成時2回行っており、そのかなりの部分が端部付近のケーブル張力の調整に意を注いでいた。このことは隅角部の形状に関係していたものと思われる。

また、閉合時と完成時の境界で誤差量が変わったのは、床版打設による下弦材側の剛性増加と見かけのケーブル剛性の変化に一因があるものと思われる。

9. あとがき

本稿を執筆するにあたって、奈良県五條土木事務所の皆様に御協力戴いたことを紙上を借りて感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 能登; 斜張橋架設時の精度管理システムの開発、宮地技報7号、1991年2月
- 2) 藤沢; 斜張橋架設時のシム量決定方法、橋梁と基礎18巻9、10号、昭和59年9月・10月

1991.12.10受付