

あけぼの橋の施工とケーブル張力測定

中村 浩志¹⁾ 秋山 寿行³⁾
柴原 英正²⁾

あけぼの橋は、単径間の斜張橋形式の歩道橋である。斜張橋は、ケーブルと鋼材との複合材料の橋梁であるゆえ、その設計、製作、施工には十分な注意が必要となる。製作施工で重要な点は、出来形管理を含めたケーブル張力の管理である。その際問題となるのは、ケーブル張力の計測方法と、測定した張力と目標張力との間に相違がある場合の張力調整方法の2点である。本橋において、ケーブル張力はケーブルの強制振動による間接的方法で計測し、張力調整は、各ケーブル定着部の調整板を取換え、試行錯誤によって行った。その結果、ケーブル張力および、出来形ともほぼ良好な値を得ることができた。

まえがき

あけぼの橋は、岐阜県小坂町湯屋に架設された斜張橋形式の歩道橋である。現地にあった同規模の吊橋の架替え工事であるが、新しい橋梁の形式は、町営のサイクリングロードの一部であること、温泉街の近くであることから美観を重要視して、主桁がスレンダーで、ケーブルと塔とによって造られる優れた構造美を持つ斜張橋となった（写真-1参照）。

斜張橋は、高強度を有するケーブルの特性を十分に生かした合理的な複合材料の橋梁であるが、それだけにその設計、製作、施工には十分な注意が必要である。製作施工で重要な点の一つとして出来形管理を含めたケーブル張力の管理が挙げられる。ケーブル張力の計測方法は数多くあるが、それぞれ長短があり、従来の実施例では2、3の方法を併用して

いる場合が多い。

本文では、あけぼの橋の現場施工、ケーブル張力の管理についての概要を紹介する。

1. 工事概要

構造物は、図-1に示すような非常にスレンダーな外観の斜張橋である。以下に工事概要を示す。

形 式：単径間斜張橋
橋 格：自転車歩行者専用橋
($P_f=350\text{kg/m}^2$)
橋 長：41.400m
支 間 長：40.700m
幅 員：2.000m
斜 角：90°



(a) 旧橋 (吊橋)



(b) 新橋 (斜張橋)

写真-1

1) 設計部次長

3) 設計部大阪設計課係長

2) 駒井建設工事(株)工事課長

縦断勾配：5%放物線

(V.C.L.=42.000m)

床版：鋼床版 (t=10mm)

舗装：アスファルト舗装 (t=50mm)

主塔：19.000m

水平震度：Kh=0.2

示方書：道路橋示方書 (昭55.2)

立体横断施設技術基準 (昭54.1)

鋼材重量：	主桁	25.9ton
	塔	6.6
	小計	32.5ton
	アンカーブロック	1.3ton
	アンカーフレーム	1.2
	ソケット・サドル	1.0
	沓 (主桁、塔)	0.6
	アルミ高欄	0.8
	ケーブル	0.9
	小計	5.8ton
	総合計	38.3ton

2. 工法の選定

(1) 現場の状況

現場の状況および工法の選定にあたっての条件は以下のとおりである。

- ① 架橋地点への進入路は、右岸下流側の道路

のみである。

- ② 河床部は、流水を切廻し瀬替することにより、以下のことが可能となる。

- a) 右岸 (A₁側) から左岸 (A₂側) への移動
- b) ベント設置
- c) クレーン車による作業
- d) 左岸下流側にクレーン作業場の確保

- ③ 持込み可能なクレーン車は、ホイールクレーン 25ton 吊以下の小型車種でブーム長が短い。

(2) 橋梁構造

橋梁に関する条件は以下のとおりである。

- ① 主桁は、逆台形鋼床版 1 箱桁である。
- ② 主塔は、A 型で A₂ 橋台上に 1 基のみである。
- ③ ケーブルは、主桁支持用およびバックステイ用に各々 2 段 4 本である。
- ④ 主桁重量が軽量 (約 26ton) である為、扛上降下が容易である。
- ⑤ ケーブルのサイズが直径 32mm、さらに重量がソケット付 1 本最大 240 kg とあって、扱い易い。
- ⑥ クレーン車で扱う最大重量は、主桁の A₂ 側端ブロックの約 7 ton である。

(3) ケーブルのプレストレスの導入方法

ケーブルにプレストレスを導入する方法としては次の 3 つの方法がある。

- ① 主桁の扛上および降下による方法

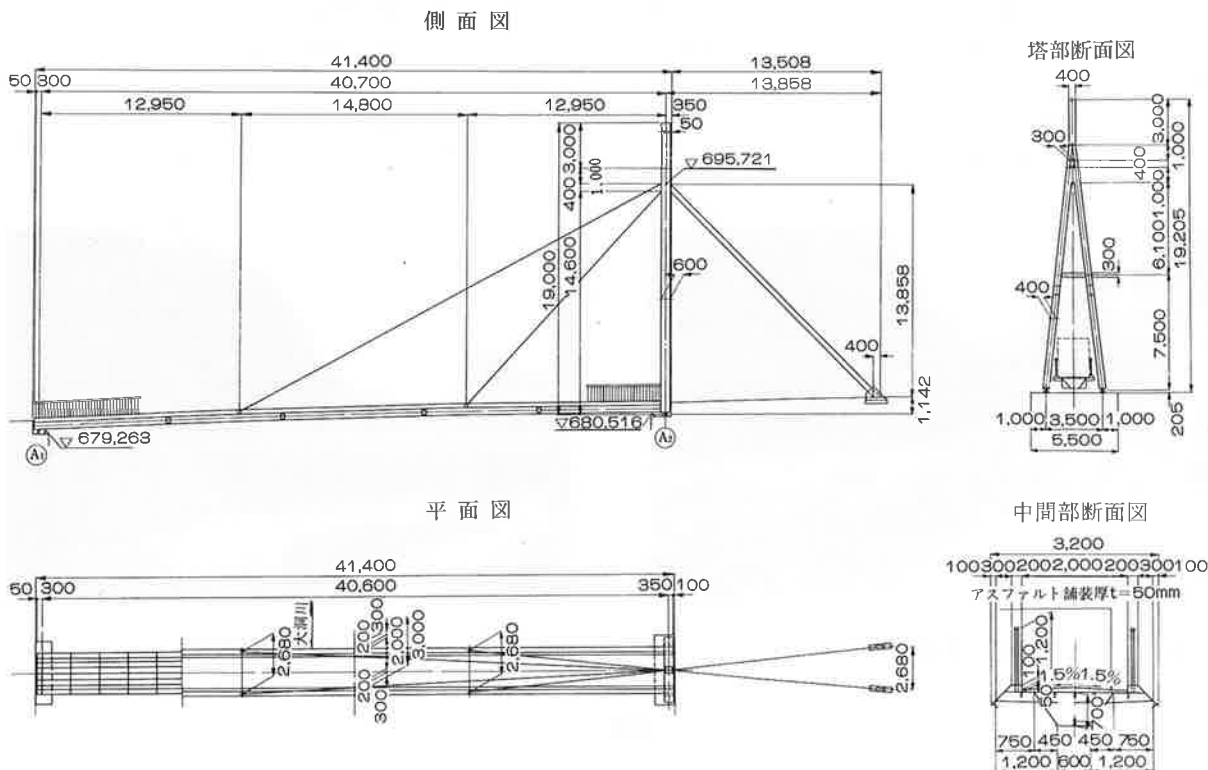


図-1 一般図

- ② 塔部アンカーブロックの打上による方法
- ③ センターホールジャッキを用いてケーブルを引き込む方法

本橋では、塔側定着部の作業空間が狭いうえに、主桁側定着部が、センターホールジャッキを使用できない構造であること、また、プレストレス導入量が小さいことから、①による方法で十分所定のプレストレスを導入できる。

3. 施工要領

本橋の現場施工に先だち、進入路、流水切廻し瀬替、仮橋、ペント設置場所、クレーン車作業場等に関する工事は、下部工施工時に施工した。

現場施行順序を図-2に示す。このうちペント組立・据付、主桁架設、主塔建込み、ケーブル張渡しおよびケーブル張力調整について述べる。

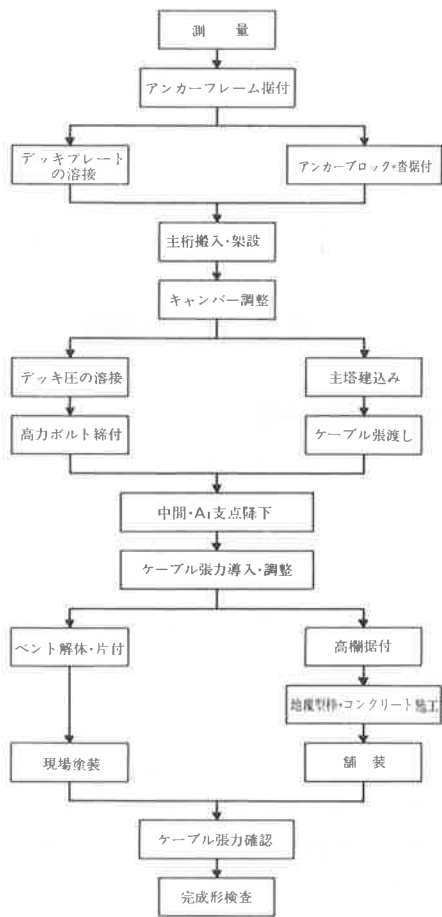


図-2 現場施工順序

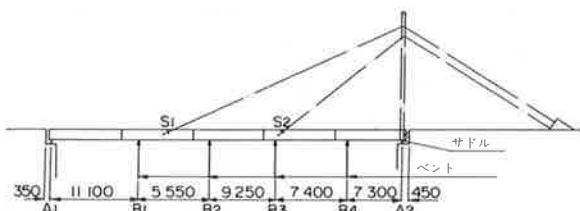


図-3 ペント組立・据付

(1) ペント組立・据付

主桁の架設は、トラッククレーンによるペント工法とし、ペントは、図-3に示すようにそれぞれのブロックを支持するようにB₁~B₄の4箇所に配置した。

(2) 主桁架設

主桁は、A₂側（塔側）の部材から順次単材で搬入し車上から直接荷取りしながら、A₁側に向かって組立てた。そして、ケーブルソケットの挿入、支圧板と調整板の設置を容易にするために、主桁はA₂側支点を最終据付高さとし、A₂側ヒンジ沓を中心にA₁橋台、B₁、B₃ペント上の打上ジャッキで主桁を打上（回転）させた。A₁支点上で最終据付高さ+300mmとなるようにした。

(3) 主塔建込み

主塔建込み順序は以下のとおりである（図-4参照）

- ① 主塔沓をあらかじめアンカーボルトのみグラウト固定しておく。
- ② 部材①、②を地上において平面組立てし、クレーンによって立てる（図-4(a)）。
- ③ 部材②の水平材から仮控索を張渡す。主桁側の仮控索は、主桁デッキプレート上の吊金具に、アンカーブロック側の仮控索は、アンカーブロック付近に連結する。この仮控索の張渡しによって主塔の安定を保つ（図-4(b)）。
- ④ 部材③（サドル部）はケーブルを取付けた状態で吊上げ、部材②の頂部に設置する。なお、サドル本体は工場にて溶接済みである（図-4(c)）。
- ⑤ 塔頂部材④は、現場溶接にて最終取付けとする（図-4(d)）。

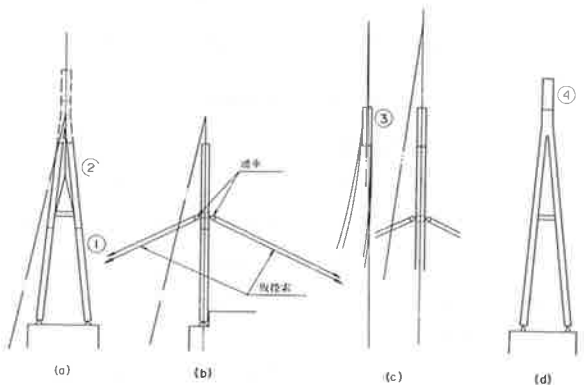


図-4 主塔建込み

(4) ケーブル張渡し

ケーブルの張渡し順序は以下のとおりである（図-5参照）

- ① 主桁架設および主塔建込み（図-5(a)）
後、主桁側の仮控索を伸ばし、主塔をアンカーブロック側に傾ける。そして、アンカーブロックに、ケーブルソケット支圧板、調整板を挿入、セットする（図-5(b)）。
- ② 主塔をおこし、主桁側のケーブルソケット、支圧板、調整板を固定する（図-5(c)）。
- ③ A₁橋台、B₁・B₃ペント上のジャッキを降下させ、主桁をA₁側支点上で最終高さにする。

③の時点でケーブル張力が導入されたことになる。この後、キャンバーおよびケーブル張力の測定、調整を繰り返した。

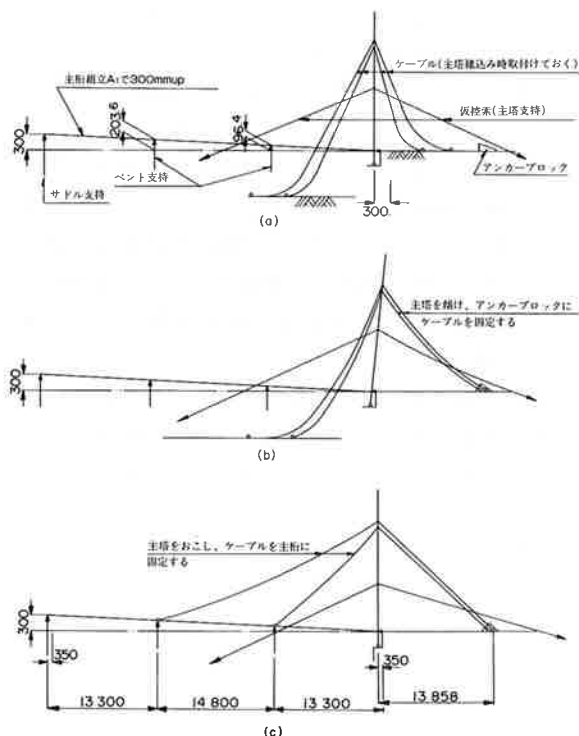


図-5 ケーブル張渡し

(5) ケーブル張力調整

ケーブル定着部を図-6に示す。ケーブル張力調整は、ケーブル定着部の調整板の板厚を変化させることによって行う。調整量は30mmとし、板厚10mmの鋼板を3枚用い、主桁およびアンカーブロックのケーブル定着部に設置した。

ケーブル張力調整時の調整板取換え方法は、主桁のケーブル定着部付近のB₁・B₃ペント上のジャッキを用いて主桁を扛上し、ケーブルを地上より引張り調整板を取換え、その後主桁を降下させた。

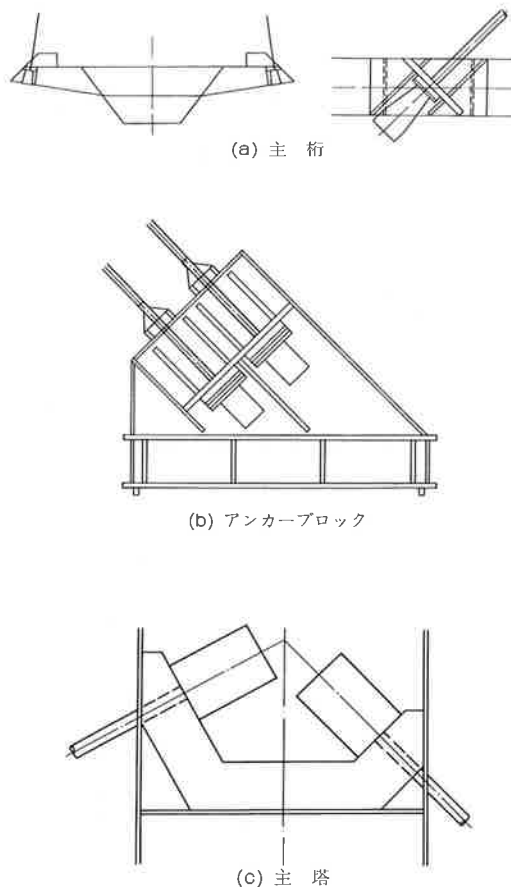


図-6 ケーブル定着部

4. ケーブル張力測定

(1) ケーブル張力測定方法の選定

ケーブル張力の測定方法には、表-1に示すとおり種々ある¹⁾。本橋の場合、ロードセルやセンターホールジャッキなどを用いる直接的測定は、ケーブル定着部の構造上、採用できなかった。ここでは強制振動による間接的測定が最も適していると考えられるので、この方法を採用した。

強制振動による間接的測定方法は、ケーブルに振動を与え、ケーブルの固有振動数を測定し、この固有振動数と張力の関係式からケーブル張力を求める方法である。振動数の測定には、写真-2に示すような振動数計測器、電磁オシログラフ器、ピックアップを用い、電磁オシログラフによって描かれるケーブルの振動波形より、固有振動数を算出した。

(2) ケーブル張力と固有振動数の関係

一般に、ケーブルの固有振動数から張力を算定する場合、ケーブルの曲げ剛性およびサグの影響を無視して、式(1)で示す1次あるいは2次の振動の弦理論により張力算定が行われることが多い。

本橋でも、ケーブルの曲げ剛性およびサグの影響を無視し、式(1)を用いてケーブルの固有振動数の実測値よりケーブル張力を算定した。

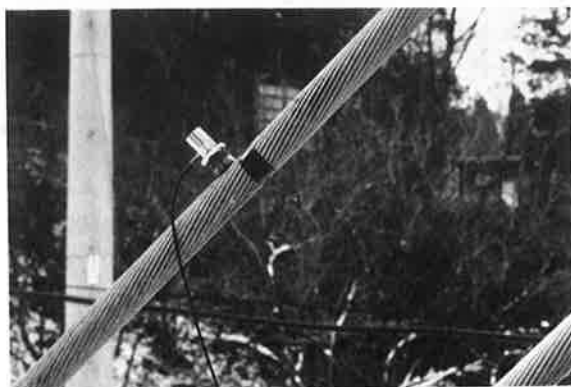
表-1 ケーブル張力測定方法

種別	項目	測定方法	特 性					実 施 例	備 考
			精度	作業性	所要スペース	経費	汎用性		
間接的測定	形状管理 (キャンパ―計測)	ケーブル張力とキャンパ―の関係式から求める	-	○	○	○	○	(全実施例に適用)	温度管理を必要とする
	ケーブルサグ	ケーブル張力とキャンパ―の関係式から求める	-	○	○	○	○	荒川大橋(首都公園) 新大橋(東京都)	1. 架設後の張力照査の1手段として用いる 2. キャットウォークを必要とする
	強制振動	起振機などで振動を与え、固有振動と張力との関係式から求める	-	-	-	-	-	かもめ大橋(大阪市) 新大橋(東京都)	1. 架設後の張力照査の1手段として用いる 2. キャットウォークを必要とする 3. モノケーブルに有利である 4. 解析に時間を要する
	自然振動 (常時振動)	起振機の代わりに風などの振動から固有振動を求める	-	-	○	-	-	新大橋(東京都)	1. 架設後の張力照査の1手段として用いる 2. キャットウォークを必要とする 3. モノケーブルに有利である 4. 解析に時間を要する 5. 高高度のヒックアップが必要である
直接的測定	ストレインゲージ	ケーブルに直接ゲージを貼付してひずみを測定する	○	○	○	○	-	かもめ大橋(大阪市) 新大橋(東京都)	1. 零点の設定に慎重を要する 2. ゲージの十分な養生を要する
	ケーブルの伸び	ケーブルに標点を設け、標点間距離の伸びから求める	-	○	○	○	○	かもめ大橋(大阪市)	1. 零点の設定に慎重を要する 2. 標点間距離が短いと精度が劣化する 3. ロックドコイルへの適用は困難である
	ロードセル	ケーブルソケット前面にロードセルを取り付ける	○	○	○	-	-	Kohlbrand Bridge(西独) 新大橋(東京都)	埋こみとすることにより、完成後の張力も測定することができる
	センターホールジャッキ 油圧ジャッキ (押形)	ケーブルを引きこみ、油圧計の読みから求める	-	-	-	○	-	Vigo Bridge(スペイン) St. Nazaire Bridge(仏) Brottonne Bridge(仏) 荒川大橋(首都公園) Norderelbe Bridge(西独) Lever Kusen Bridge(西独) 尾道大橋(日本道路公団) 水郷大橋(建設中)	1. ケーブルの引きこみに併用することができる 2. 十分な校正を必要とする 3. ケーブル1本あたりの張力が小さいと有利である

$$T = \frac{4 W l^2}{n^2 g} (f_n^s)^2 \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (1)$$



(a) 振動数計測器(左)および電磁オシログラフ器(右)



(b) ヒックアップ

写真-2

ここに、

T : ケーブル張力

l : ケーブル弦長

W : 単位重量

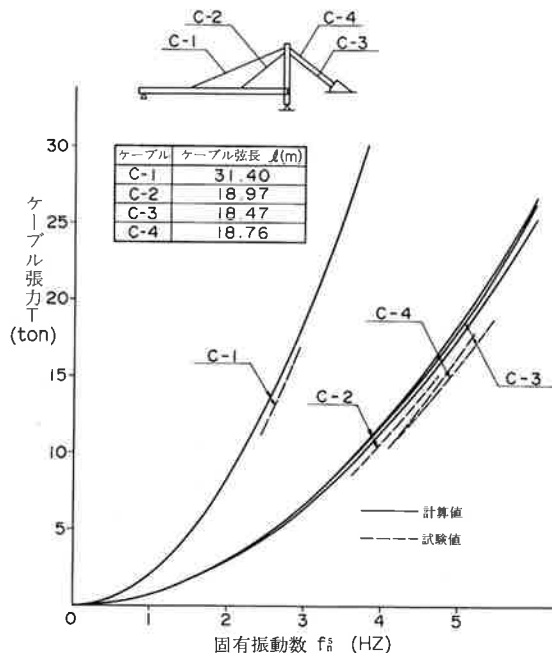
g : 重力加速度 (9.8m/sec²)

f_n^s : n 次の固有振動数

弦理論による計算値と実験値とを比較するためにあらかじめ工場にて、所定のケーブル支持長で所定の張力を作用させた時の一次固有振動数の測定実験を行った。この実験結果と計算値を図-7に示す。なお、ケーブルはスパイラルロープ(1×61)を使用し、断面諸元は表-2のとおりである。また、ケーブルメーカー工場において、ケーブルの均一性と安定性を確保するために、プレテンション加工、ソケット仕込後プレロード加工を行っている。

表-2 ケーブルの断面諸元

ロープ径	32mm
素線径	3.60mm(最外層)
断面積	621mm ²
切断荷重	90.3ton(A級2種)
単位重量	5.08kg/m
素線強度	165kg/mm ²
弾性係数	1.6×10 ⁶ kg/cm ²



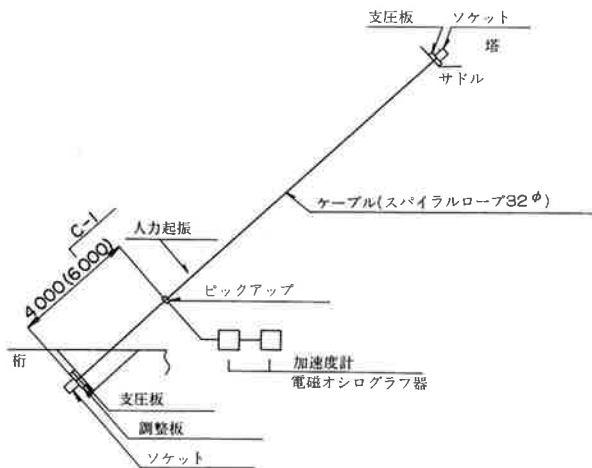
図一七 ケーブル張力と固有振動数との関係

図一七の結果より、実験値と計算値に差が表われているが、ケーブルの曲げ剛性およびサグの影響がこの差となっていると言える。ケーブル張力に対する固有振動数の実験値と計算値との比率 K は、張力が $10 \sim 18 \text{ ton}$ に対して $1.03 \sim 1.09$ となっている。図一七の結果から得られるこの比率を用いて、ケーブル張力を算出した。

(3) 現場測定

ケーブルの固有振動数測定は以下のような方法で、主桁架設後と完成後の2回行なった。

- ① ケーブルを人力により対称一次モードで振動させる。



図一八 ケーブルの固有振動数測定要領

- ② 振動数は、前述の計測器によって描かれる振動波形より算出する。
- ③ 測定は全ケーブルについて行い、それぞれ3回ずつとする。
- ④ ピックアップの設置位置および人力起振の位置は工場測定の場合と同じとする。

以下に測定結果を述べる。

a) 主桁架設後

主桁を架設し、高欄を設置した状態の計測値である。ケーブルに作用する荷重は、桁自重、高欄およびプレストレスである。調整板の板厚は、すべて、 30 mm である。測定結果を表一三(a)に示す。この結果、ケーブル張力が下流側と上流側とで差が見られる。理由としては、主桁のねじれが考えられる。すなわち、主桁の下流側が上流側に比べて下がっていたということである。

b) ケーブル張力調整後(その1)

ケーブルC-1～3の下流側について調整板の板厚を 26 mm とし、その他は 30 mm のままとする。測定結果を表一三(b)に示す。

c) ケーブル張力調整後(その2)

前記b)以後に足場工を設け、さらに調整板の板厚を修正した。この時の調整板の板厚および測定結果を表一三(c)に示す。この結果より、ケーブル張力は全体的にほぼバランスよく導入されたと思われる。

d) 完成時

完成時の測定結果を表一三(d)に示す。この結果より、ケーブルC-4を除くケーブルの張力はほぼバランスよく導入されたと思われる。ケーブルC-4については、アンカブロック側のケーブル定着部の空間が狭く、調整板の取換えが困難であったため、他のケーブル張力とのバランスをとることができなかった。しかし、このことは、主桁に対しては問題にならない。

5. キャンパー

完成時の道路中心における路面高さの測量結果を表一四に示す。この結果より、ケーブル張力とのバランスを考えると、路面高さはほぼ妥当な値であるといつてよいと思われる。

6. まとめ

今回のケーブル張力測定は、弦理論式による張力算定を行った。この理論式は、ケーブルの曲げ剛性およびサグの影響を無視したものである。しかし、工場においてキャリブレーションを行うことによって、これらの影響の程度を知ることができた。このキャリブレーションの結果を用いて、ケーブル張力を算定した結果、次のようになった。

表-3 ケーブルの1次固有振動およびケーブル張力

(a)主桁架設後

ケーブル		振動数 (Hz)		K	ケーブル張力の導入率 (%)	ケーブル張力 (ton)		調整板の板厚 (mm)	
		現場 ①	計算値 ②			現場	設計値		
主桁側	C-1	上流側	2.491	2.585	1.045	93.1	11.65	12.51	30
		下流側	2.681	2.585	1.045	107.9	13.50	12.51	30
	C-2	上流側	3.210	3.726	1.060	74.5	6.87	9.22	30
		下流側	3.929	3.726	1.060	111.6	10.29	9.22	30
アンカーブロック側	C-3	上流側	4.193	4.453	1.069	88.3	10.84	12.28	30
		下流側	4.608	4.453	1.069	106.8	13.12	12.28	30
	C-4	上流側	3.876	4.428	1.079	76.7	9.43	12.29	30
		下流側	3.992	4.428	1.079	81.8	10.05	12.29	30

(b)ケーブル張力調整後(その1)

ケーブル		振動数 (Hz)		K	ケーブル張力の導入率 (%)	ケーブル張力 (ton)		調整板の板厚 (mm)	
		現場 ①	計算値 ②			現場	設計値		
主桁側	C-1	上流側	2.437	2.585	1.045	88.9	11.12	12.51	30
		下流側	2.437	2.585	1.045	88.9	11.12	12.51	26
	C-2	上流側	3.373	3.726	1.060	82.0	7.56	9.22	30
		下流側	3.722	3.726	1.060	99.8	9.20	9.22	26
アンカーブロック側	C-3	上流側	4.321	4.453	1.069	94.1	11.56	12.28	30
		下流側	4.352	4.453	1.069	95.5	11.73	12.28	26
	C-4	上流側	4.014	4.428	1.079	82.2	10.10	12.29	30
		下流側	4.127	4.428	1.079	86.9	10.68	12.29	30

(c)ケーブル張力調整後(その2)

ケーブル		振動数 (Hz)		K	ケーブル張力の導入率 (%)	ケーブル張力 (ton)		調整板の板厚 (mm)	
		現場 ①	計算値 ②			現場	設計値		
主桁側	C-1	上流側	2.513	2.601	1.045	93.4	11.83	12.67	32
		下流側	2.562	2.601	1.045	96.9	12.28	12.67	28
	C-2	上流側	3.746	3.807	1.060	96.8	9.32	9.63	34
		下流側	3.751	3.807	1.060	97.1	9.35	9.63	26
アンカーブロック側	C-3	上流側	4.465	4.506	1.069	98.2	12.35	12.57	30
		下流側	4.497	4.506	1.069	99.6	12.52	12.57	26
	C-4	上流側	4.168	4.476	1.078	86.6	10.90	12.58	30
		下流側	4.246	4.476	1.078	90.0	11.32	12.58	30

(d)完成時

ケーブル		振動数 (Hz)		K	ケーブル張力の導入率 (%)	ケーブル張力 (ton)		調整板の板厚 (mm)	
		現場 ①	計算値 ②			現場	設計値		
主桁側	C-1	上流側	2.669	2.787	1.036	91.7	13.63	14.86	32
		下流側	2.681	2.787	1.036	92.5	13.75	14.86	28
	C-2	上流側	4.405	4.565	1.053	93.1	14.31	15.37	34
		下流側	4.413	4.565	1.053	93.5	14.37	15.37	26
アンカーブロック側	C-3	上流側	4.831	5.073	1.060	90.7	15.11	16.66	30
		下流側	4.868	5.073	1.060	92.1	15.34	16.66	26
	C-4	上流側	4.546	4.961	1.059	84.0	13.99	16.65	30
		下流側	4.612	4.961	1.059	86.4	14.39	16.65	30

注) K: ケーブルの曲げ剛性およびサグの影響を考慮する比率
 ケーブル張力の導入率は (①/②)×100によって算出する。

表-4 完成時の路面高さ(道路中心位置)

位 値	計 画 (m)	実 測 (m)	差 (mm)
A 1	680.315	680.316	+ 1
1	680.332	680.340	+ 7
4	680.594	680.600	+ 6
8	680.903	680.908	+ 5
12	681.166	681.165	- 1
16	681.384	681.380	- 4
20	681.556	681.557	+ 1
23	681.655	681.65 ^c	+ 3
A 2	681.660	681.662	+ 2

注) 位置は図-9を参照のこと

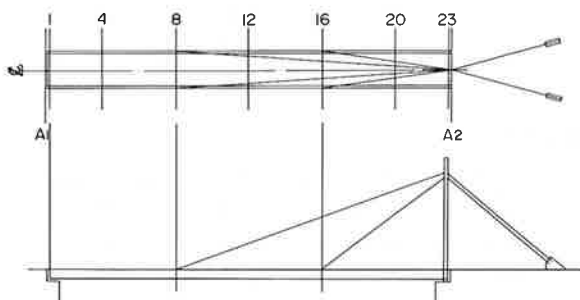


図-9 路面高さ測定位置

- ① 主桁架設直後(ただし、ケーブル張力調整前)において、下流側は設計張力の107～112%、上流側は75～95%となった。
- ② ケーブル張力調整完了時において、ケーブルC-1～3については設計張力の93～100%、ケーブルC-4については87ないし90%となった。
- ③ 完成時において、ケーブルC-1～3については設計張力の91～94%、ケーブルC-4については85%前後となった。
- ④ 出来形については、完成時の道路中心における路面の計画高との差が-4～+7mmであった。

おわりに

あけぼの橋の施工およびケーブル張力測定について述べた。本橋は、自転車歩行者専用橋であり、規模も大きくないので、ケーブル張力調整も少ない回数で済み、特別な検討を必要とする事項は少なかった。しかし、規模が小さいために生じた問題点があった。たとえば、主塔のケーブル定着部においては上下2段のサドルや、補剛材などが多く、この部分

の組立て順序と、それに伴う溶接方法について検討を要した。また、アンカーブロックのケーブル定着部の空間が狭かったために、調整板の取換えが困難であったことである。

今後、同形式の歩道橋の建設が多くなることが予想されるが、本文がその参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 松沢、金谷：新大橋のケーブル張力測定 石川島播磨技報(昭53.1)
- 2) 新家、広中、頭井、西村：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(1980.2)
- 3) 松村、新家、頭井、寺西：斜張橋のケーブル張力計測と張力調整 橋梁と基礎(1979.8)
- 4) 加藤、日種、松村、黒山、寺西：川崎橋の設計と施工(上)(下) 橋梁と基礎(1978.11～12)