

# 安治川橋梁の架設と精度管理

大阪第三建設部 桜島工事事務所 中谷 忠和  
同 部 同 事 務 所 山本 憲介  
大阪第二建設部 調 査 課 古川 潔

## 要 約

高速湾岸線の安治川橋梁は、橋長 640m、2面・9段のケーブル配置を有する長大斜張橋である。本橋の中央径間および右岸側径間の主桁架設には、斜張橋の構造特性を活用してケーブルを張り渡ししながら主桁を架設する張出し工法を採用した。斜張橋の主桁張出し架設においては、桁橋に比べ誤差が生じやすいため、施工に際しては高度な精度管理が必要となる。

このため、本橋ではオンサイト・コンピューターを使用した精度管理システムを開発し、架設時の精度管理を実施した。当システムのおもな機能は次のとおりである。①解体解析により、各架設段階の計画値を算出する。②フロッピーディスクに収録した計測結果を読み込み、出来形成果を自動的に作成する。③組立計算により将来形状の予測を行う。

本稿では、安治川橋梁の主桁張出し架設とケーブル架設およびこれら施工に要する精度管理要領について報告する。

## まえがき

安治川橋梁は、高速湾岸線が安治川河口部を横断する位置に架設される、中央径間350mのマルチケーブル型式の3径間連続鋼斜張橋である。(図-1参照)昭和58年11月に上部工々事に着工以来4年余り経過した現在、主桁の閉合を終え、仮設用ベント等仮設備撤去工事ならびに橋面工等の付帯工事を残すのみとなっている。

この橋梁の主桁架設には、大ブロック工法にて架設されたものを除き、斜張橋の構造特性を活用してケーブルを張り渡しながらの主桁を張出し、架設する工法を採用した。

本文は、斜張橋の架設に特有なケーブル架設を

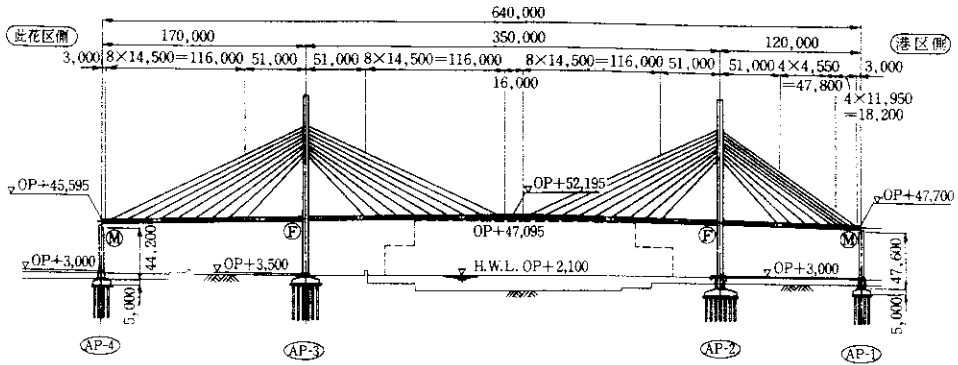
伴う主桁張出し架設工法とそれに付随する精度管理について報告するものである。

## 1. 架設概要

架設工法の選定にあたっては、現場の立地条件ならびに橋梁の構造形式に適した工法を第一義に考え検討を行った。

この橋梁は、立地条件として左岸側側径間(A P-1~AP-2間)と中央径間(AP-2~AP-3間)のほぼ全域が海上に位置しているため、現場周辺関係者の同意ならびに港湾管理者との協議

側面図



平面図

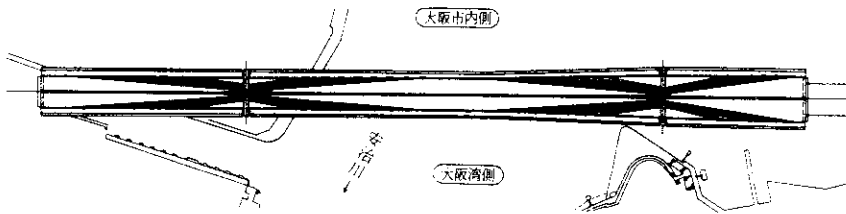


図-1 安治川橋梁一般図

が必要となるが、大型FC（フローティングクレーン）を使用した大ブロック桁の架設が可能である。また、橋梁形式が斜張橋であることから、ケーブルを張り渡しながら主桁を張出し架設する工法を採用することが構造上非常に有利になる。これらの点を考慮し、さらに安全性・経済性の面からも検討を重ね、以下に示す架設工法を採用することとした。

#### 1-1 主塔（AP-2、AP-3）の架設

塔を下部（主桁を支持する部分）と上部（ケーブルを支える部分）とに分けて施工する。すなわち、塔下部は3,000 t吊FCによる一括架設することとし、塔上部は主桁の大ブロックを架設後、桁上に搭載した650 t吊CC（クローラークレーン）により単材架設することとした。

#### 1-2 端橋脚（AP-1、AP-4）の架設

立地条件を考慮して、AP-1橋脚は1,600 t吊FCにより一括架設することとし、AP-4橋脚は180 t吊TC（トラッククレーン）により単材架設することとした。

#### 1-3 主桁の架設

主桁は、側径間側海上からの架設が可能な部分および安治川航路を外れる中央径間部分を、FCにより大ブロック架設することとし、その桁上を作業基地として残り部分の桁を単材で張出し架設することとした。すなわち、右岸側については、AP-3塔をはさむ両側にベントを2基（B-3、B-4）設置し、この間の主桁（G1桁）を3,000 t吊FCにて大ブロック架設する。また、左岸側についても、AP-2主塔をはさむ両側にベント

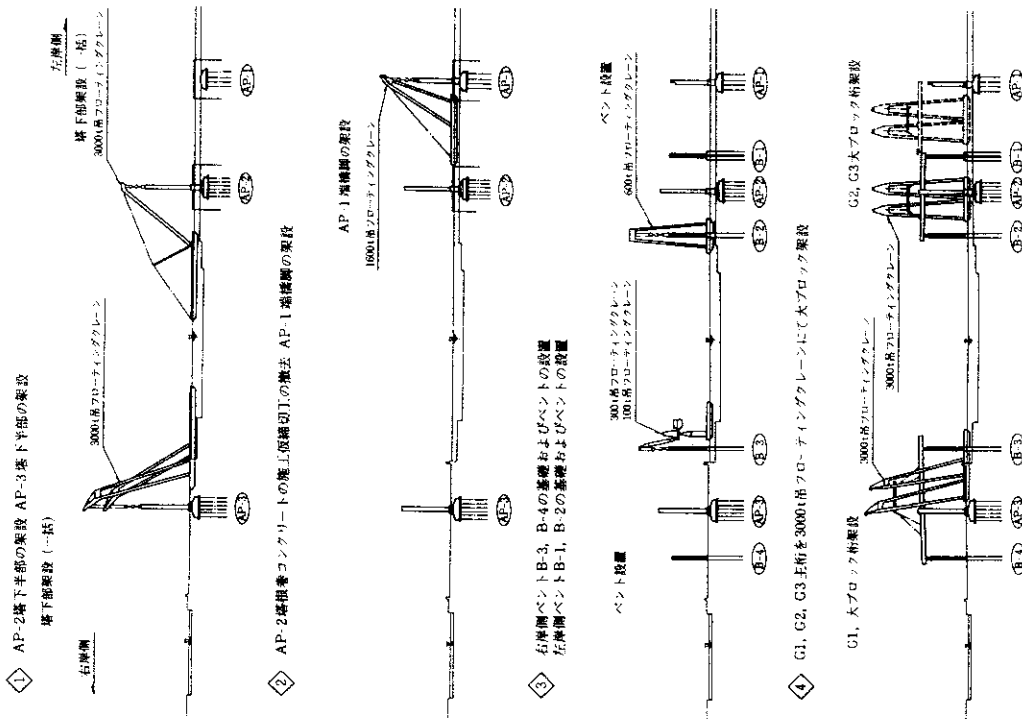
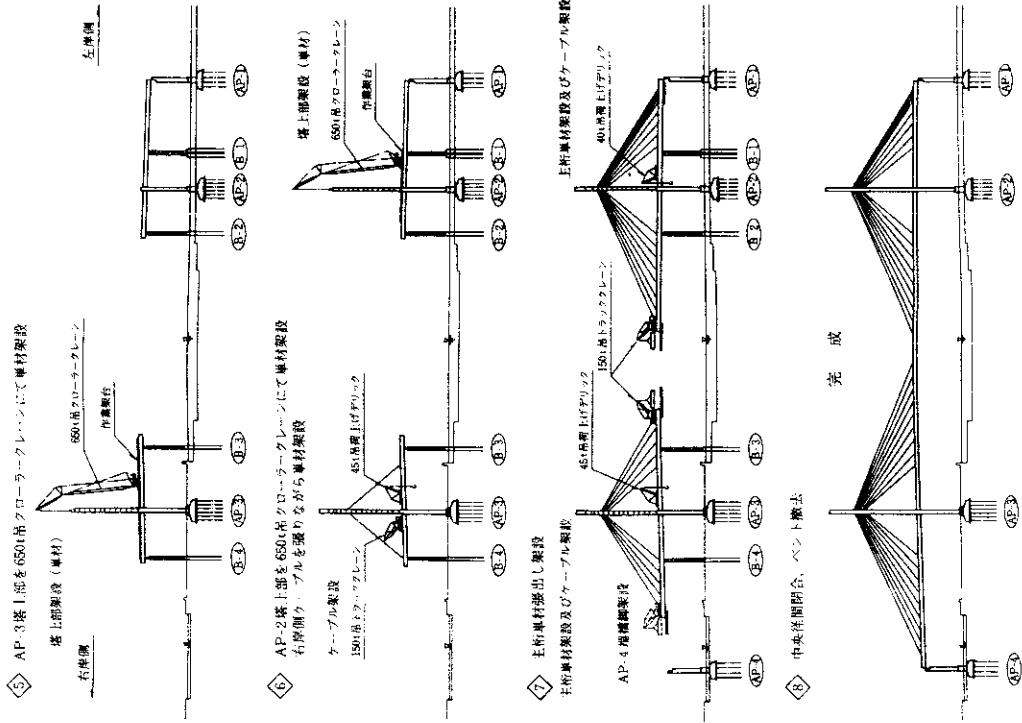


図-2 架設段階図

を2基(B-1、B-2)設置し、この間の主桁(G2桁)およびB-1~AP-1間の主桁(G3桁)を、同じく3,000t吊FCにて大ブロック架設する。

残りの主桁は桁上に搭載した150t吊TCを使用し、右岸側はAP-3主塔を中心にして両側にバランスアウト式に張出し架設し、左岸側は中央径間にむかって片押し式に張出し架設をする。

#### 1-4 ケーブル架設

ケーブル架設は、主桁張出し架設と並行して施工するため、ケーブルの吊り込みには主桁架設と同様、150t吊TCと45t吊TCの2台を使用する。ケーブル張力の導入は、600tセンターホールジャッキを使用して2面同時に行う。

この橋梁全体の架設段階手順を図-2に示す。

#### 1-5 全体工程

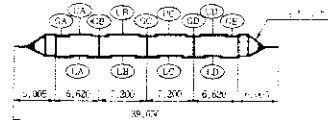
安治川橋梁架設工事の全体工程を図-3に示す。

## 2. 主桁張出し架設

主桁単材は斜張橋の構造特性を利用し、ケーブルを張り渡ししながら張出し架設する。この架設に使用する重機については、架設桁クレーン、トラベラークレーン、クローラークレーン、トラッククレーン等種々検討した結果、施工性ならびにケーブル架設への転用を考慮して150t吊TCを使用することとした。

主桁単材の架設ブロックの諸元を表-1に示す。

表-1 主桁単材ブロックの諸元



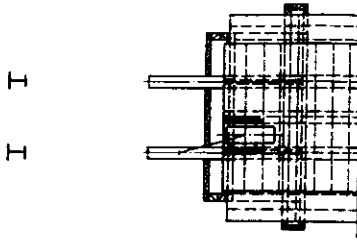
項目	GA	GB	GC	GD	GE	DA	DB	DC	DE
長さ	3,000	3,420	7,200	7,200	6,820	3,000	3,420	7,200	6,820
重量	17.1	19.3	41.8	41.8	39.8	17.1	19.3	41.8	39.8

工種	年月	昭和60年				昭和61年				昭和62年				昭和63年				昭和64年	
		10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4		
右岸側 (桜島側)	パント工	設置												撤去					
	塔上部					架設												足場解体	
	大ブロックG1	準備◇G1																	
	単材	切欠部架設								張出部架設								移動式防護工撤去	
	ケーブル									架設				グラウト					
	AP-4橋脚									架設									
左岸側 (天保山側)	付帯工					補修塗装				フェーリング現場継手									
	パント工	設置												撤去					
	塔上部					架設								足場解体				足場解体	
	大ブロックG2、G3	準備◇G2◇G3																	
	単材	準備 J45継手								張出架設								移動式防護工撤去	
	ケーブル									架設				グラウト					
付帯工					補修塗装				フェーリング現場継手										

図-3 架設工事工程表

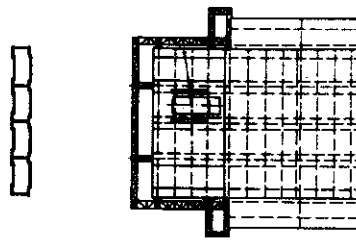
Step 1

1. 中主桁 (GB) (GD) の架設
2. H. T. ボルトの本締



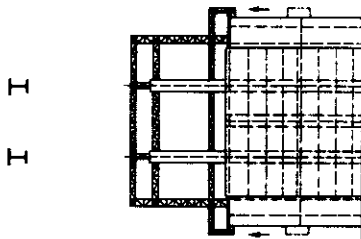
Step 4

1. 150t吊トラッククレーン移動
2. 外主桁 (GA) 下フランジ (LA) デッキ (UD) の架設
3. 外主桁 (GE) 下フランジ (LD) デッキ (UD) の架設
4. H. T. ボルトの本締



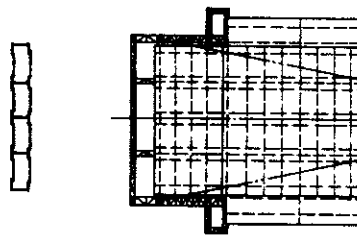
Step 2

1. 移動式防護工前進固定



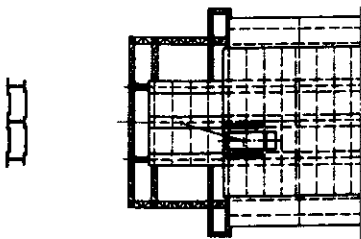
Step 5

1. ケーブル架設およびケーブル張力導入



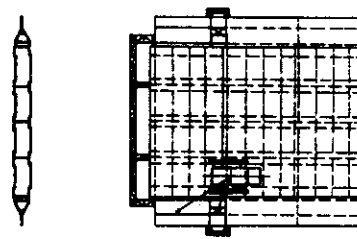
Step 3

1. 中央主桁 (CC) および下フランジ (LB) (LC) デッキ (UB) (UC) の架設
2. H. T. ボルトの本締



Step 6

1. フェアリング架設



ブロック図

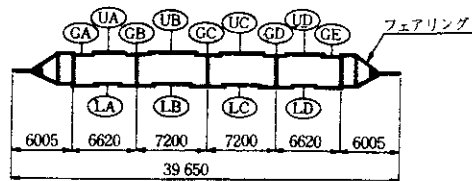


図-4 主桁単材の架設要領

主桁張出し架設はケーブルを張り渡しながらかつて、主桁単材架設とケーブル架設とは一サイクルにて交互に施工する。右岸側は中央径間と側径間をヤジロベ式に、また左岸側は中央径間のみを片押し式にてそれぞれ張出し架設する。そのサイクルは図-5のようになる。また、1パネル毎の主桁単材架設要領を図-4に示す。

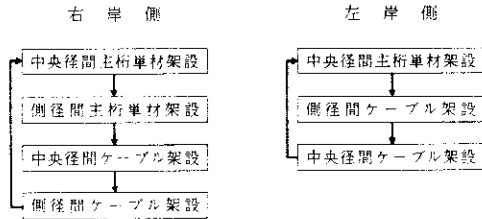


図-5 主桁とケーブルの架設サイクル

名称	構成	断面積 (mm <sup>2</sup> )	引張荷重 (ton)	降伏荷重 (ton)
HiAm 211	φ7×211本	8,119	1,339	1,181
HiAm 313	φ7×313本	12,044	1,987	1,752
HiAm 349	φ7×349本	13,430	2,216	1,954

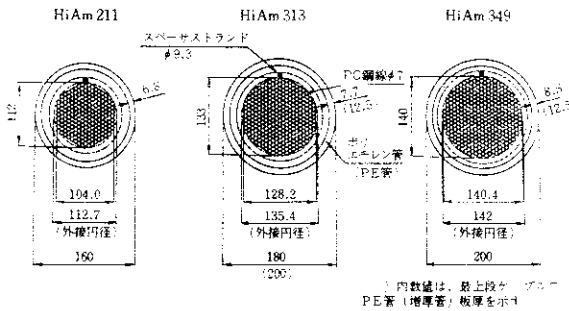
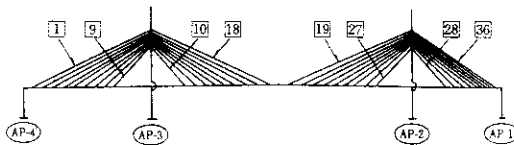


図-6 ケーブルの諸元



適用ケーブル	ケーブル No.
HiAm 349	1, 2, 33, 36
HiAm 313	17, 18, 19~21, 34
HiAm 211	3~9, 10~16, 22~27, 28~32

図-7 ケーブル配置図

### 3. ケーブル架設

この橋梁で使用しているケーブルは、HiAm211、HiAm313、HiAm349の3種類である。ケーブルの諸元および断面寸法を図-6に、またケーブルの配置を図-7に示す。

ケーブル架設は主桁単材架設と並行して行いが、その架設工法について、① 仮ケーブルを使用する吊ケーブル方式、② ガイドケーブル方式による架設および、③ トラッククレーンによる架設等、の各工法を比較検討した結果、施工性・経済性の面で最も有利なトラッククレーン工法を採用することとした。

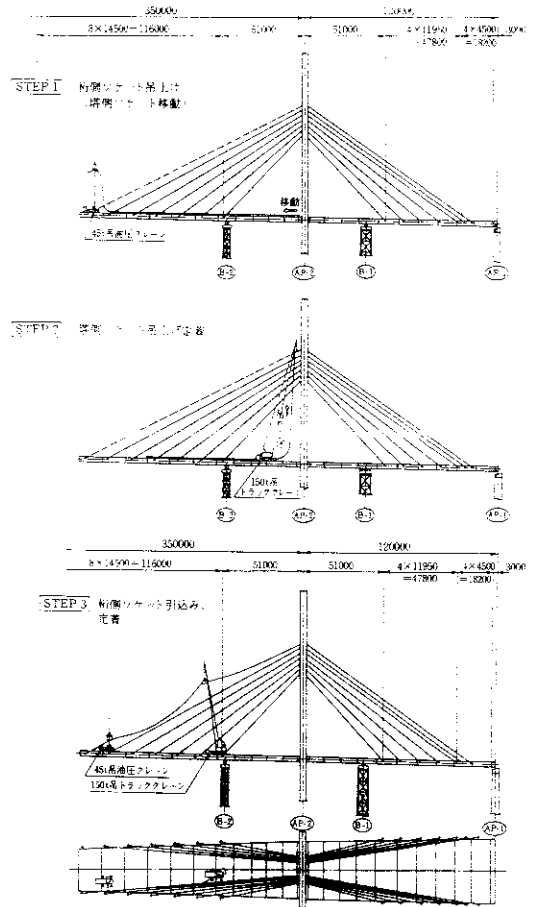


図-8 ケーブル架設手順

ケーブル架設は、主桁上に搭載した45 t吊TCと150 t吊TCの2台を使用して、図-8に示す手順で施工した。主塔側のケーブル引込要領を図-9に示す。

ケーブルの張力導入は、主桁を1パネル張出し架設する毎に所定の張力を逐次導入する。この張力導入は、600 tセンターホールジャッキを用いて上下流2本のケーブルに対して同時に行うこととした。(図-10参照)

塔側 ケーブル引込要領

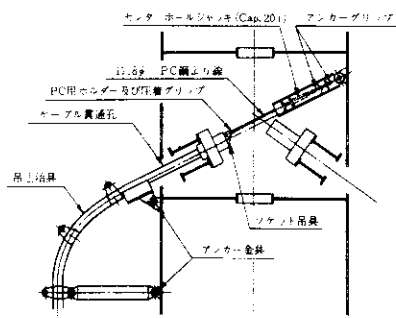


図-9 塔側ケーブル引込要領

この橋梁のようなマルチケーブルタイプの斜張橋の場合、ケーブル導入張力の良否が完成時における橋体の応力分布や形状に対して大きく影響する。このため、この橋梁の精度管理は、各種の誤差が後工程に影響をおよぼさないよう、各架設段階毎にケーブル張力を調整することになっている。

#### 4. 精度管理要領

##### 4-1 精度管理の基本方針

斜張橋の特徴は、ケーブルにプレストレスを導入することにより、主桁の曲げモーメントを均等化し応力状態を改善することである。したがって、この橋梁の施工管理において最も重要な点は、ケーブルの導入張力を適切に管理することである。また、この橋梁のようにマルチケーブルタイプの斜張橋の張出し架設においては、桁橋に比べかなり柔な構造であるため形状誤差が生じやすいと考えられる。一方では、ケーブル張力を調整することにより形状誤差を修正できるという構造的特徴を有している。このため、この橋梁では、精度管理として形状管理と張力管理とを実施することとした。

張出し架設時における精度管理は、構造解析の一手法である解体解析の結果を用いて次の要領で行う。

各架設段階における主桁・塔の形状(変位量)およびケーブル張力を解体計算により算出し、その結果を当該架設段階における管理基準値とする。各架設段階での主桁形状(キャンパーおよび通り)、塔形状(変位量)およびケーブル張力を、その系での管理基準値に合致させることにより、完成時に所定の形状および応力状態を具現化するものである。

しかし、この形状の橋梁は高次の不静定構造物であり、力学的に誤差の生じやすい構造である。したがって、各架設段階における橋体形状およびケーブル張力の出来形が、かならずしもその系での管理基準値に合致するとはかぎらない。

そこで、各架設段階における管理基準値と出来形との誤差を把握し、その誤差を消去するように

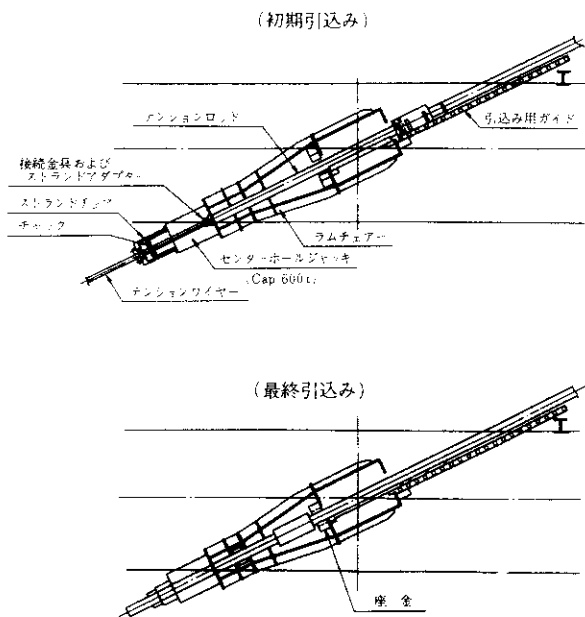


図-10 桁側ケーブル引込要領

次ステップの管理基準値を算定する。この管理基準値にて次ステップの橋体形状とケーブル張力を管理することにより誤差修正の操作を行う。このようにして、完成状態において橋体形状およびケーブル張力を計画値に一致させようとするものである。

#### 4-2 計測項目

精度管理を行うためには、橋体各部の出来形を計測する必要がある。出来形の計測は施工の状況にあわせて行うことになるが、この橋梁の主桁張出し架設時には、表-2に示す計測を実施することとした。

ここで、計測項目に支点反力を加えているのは、ベントおよび橋脚の支点反力は橋体形状ならびにケーブル張力の出来形に大きく影響すると判断したためである。

表-2 計測項目

計測項目	ケーブル張力		主桁形状		塔形状		支点反力	橋体温度
	ケーブル力	振動法	キルン	橋軸	橋軸	橋直		
施工段階	センサー	ロードセル	パ	通過	傾	傾		
① 主桁単材架設時		○	○	○	○	○	○	○
② 新設ケーブル張力導入時	○							
③ ケーブル架設時	○	○	○	○	○	○	○	○
④ 主桁閉合完了時	○	○	○	○	○	○	○	○

注) ①、②、③の計測は主桁張出し架設完了まで1つのサイクルとして繰り返す。

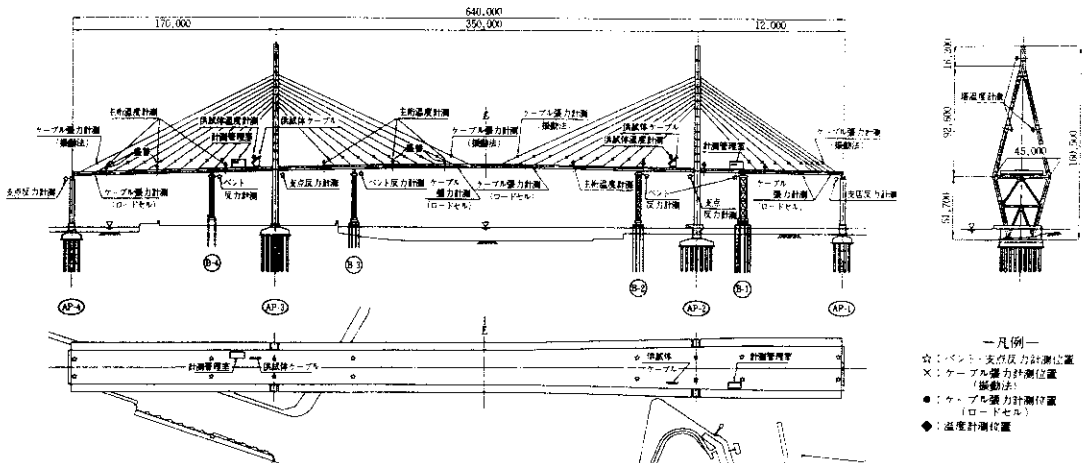
#### 4-3 計測要領

精度管理を行うために必要な各計測項目に対応する計測方法および使用機器を表-3に示す。これらの項目のうち、主桁キャンパー、通り芯、塔の倒れ量の計測には、通常の測量機器を使用している。一例として、レーザーレベルによるキャンパー計測状況を写真-1に示す。



写真-1 レーザーレベルによるキャンパー計測

図-11 自動計測システム配置図





また、ロードセルによるケーブル張力の計測、支点反力および橋体温度の計測については、桁上に設置した計測管理室で自動計測できるシステムを採用している。なお、これら出来形計測は、橋体各部の温度勾配が一定となる夜間に実施することとした。

表-3 計測方法および使用機器

計測項目	計測方法	使用機器
ケーブル張力 (張力導入時)	センターホールジャッキにより張力を導入する際、ジャッキ反力より導入張力を計測する。	○ センターホールジャッキ ○ 圧力変換器 ○ デジタル指示計
ケーブル張力 (張力導入後)	振動法により固有振動数を測定し、ケーブル張力を算出する。 ケーブルソケット前面にロードセルを設置し、ケーブル張力を計測する。	○ 加速度計 ○ ひずみ計 ○ 周波数分析器 ○ パソコンコンピュータ ○ ロードセル ○ デジタル静ひずみ計 ○ パソコンコンピュータ
主桁キャンバー	光学レベルまたはレーザレベルを用いて桁上のエレベーションを計測する。	○ 光学レベル ○ レーザレベル
主桁通り芯	トランシットを用いて、橋軸芯を視線し、主桁通り誤差を計測する。	○ セオドライトT2
塔の倒れ量 (橋軸方向)	トランシットまたはレーザレベルを用いて橋軸角を視線し、塔の橋軸方向の倒れ量を計測する。	○ セオドライトT2 ○ レーザレベル
塔の倒れ量 (橋軸角方向)	トランシットまたはレーザレベルを用いて橋軸角を視線し、塔の橋軸角方向の倒れ量を計測する。	○ セオドライトT2 ○ レーザレベル
支点反力	支点各部に貼付したひずみゲージにより支点反力を計測する。	○ ひずみゲージ ○ デジタル静ひずみ計 ○ パソコンコンピュータ
橋体温度	橋体各部に熱電対を貼り付け、橋体温度を計測する。	○ 熱電対 ○ デジタル静ひずみ計 ○ パソコンコンピュータ

ケーブルの張力管理は表-3に示すように、張力導入時と張力導入後の2通りの段階で実施することになる。各ケースでのケーブル張力の計測要領を以下に示す。

(1) ケーブル張力導入時の計測

ケーブル張力の導入は、600 t センターホールジャッキを使用するので、張力導入時の張力計測はジャッキ反力を計測することにより行う。ジャッキ反力は、ジャッキの油圧を圧力変換器により電気的な信号に変換し、静ひずみ計を使用して測定する。張力導入の際、ケーブルソケットの前面にシムプレート挿入するが、プレート挿入のための遊間によりケーブル定着後に張力が低減する。

したがって、張力導入時の張力をジャッキ反力から求めるためには、あらかじめケーブル引込量と張力との関係を巻込型変位計で実測しておき、ケーブル定着時の張力の減少に配慮して管理する。

(2) ケーブル張力導入後の計測

張力導入完了後に再度ケーブル張力の確認を行う。定着完了後のケーブル張力の計測は、振動法

とロードセル法の2通りの方法で実施する。

振動法による張力計測とは、ケーブルの1次または2次の固有振動数よりケーブル張力を算定する方法である。使用する算定式<sup>1)</sup>を表-4に示す。この方法は、簡便に測定できるため広く実用化されている方法であるが、ケーブルの曲げ剛性による影響、ケーブルの単位重量誤差等により数パーセント程度の誤差を持つと考えられている。

表-4 ケーブル張力算定式

$\Gamma$	張力算定式
$\Gamma < 3$ (サグの大きい場合)	$T = \frac{w}{g} \cdot (f_2 \cdot \rho)^2 \cdot \left( 1.02 - 5.26 \frac{S_c}{l_2} \right)$
$\Gamma \leq 3$ (サグの小さい場合)	$T = \frac{4w}{g} (f_1 \cdot \ell)^2 \cdot \left\{ 0.857 - 10.89 \left( \frac{\rho}{f_1} \right)^2 \right\}$
	$T = \frac{4w}{g} (f_1 \cdot \ell)^2 \cdot \left\{ 1 - 2.2 \frac{\rho}{f_1} - 2 \left( \frac{\rho}{f_1} \right)^2 \right\}$
$T = \frac{4w}{g} (f_1 \cdot \ell)^2$	
$f_1, f_2: \text{計測した1次・2次の固有振動数}$	
$C = \sqrt{\frac{E I g}{w \ell^3}}, \quad \epsilon = \sqrt{\frac{T}{E I}} \cdot \ell$	
$\Gamma = \sqrt{\frac{w \ell}{128 E A (\delta)^3 \cdot \cos^2 \theta}} \cdot \left( \frac{0.31 \epsilon + 0.5}{0.31 \epsilon - 0.5} \right) \quad \delta: \text{サグ比}$	

そこで、ケーブル張力の計測精度を向上させるため、ケーブルに数基のロードセルを設置し、このロードセルによる張力測定を併せて実施し、振動法による計測値を較正することとした。ロードセルの取付状況を写真-2に示す。



写真-2 ロードセル取付状況

この橋梁のケーブル張力管理に使用したシステムは、振動法によるケーブル張力の計測に関しても、周波数分析器にて求めたケーブルの固有振動数をキー入力することにより、張力の算定ならびにデータ収録できる機能を有している。

また、主桁キャンバー、通りおよび塔の倒れ量等、通常の測量機器で行う計測についても、計測

結果を座標値に換算してパソコンに入力し、データ処理を行うことにしている。

これらのデータは、現場事務所に設置しているスーパーミニコンピューターに入力してあるので、随時にその計測成果を一覧表として出力できるほか、これらのデータを用いて完成時の形状予測を行うシステムになっている。計測システムの概要を図-12に示す。

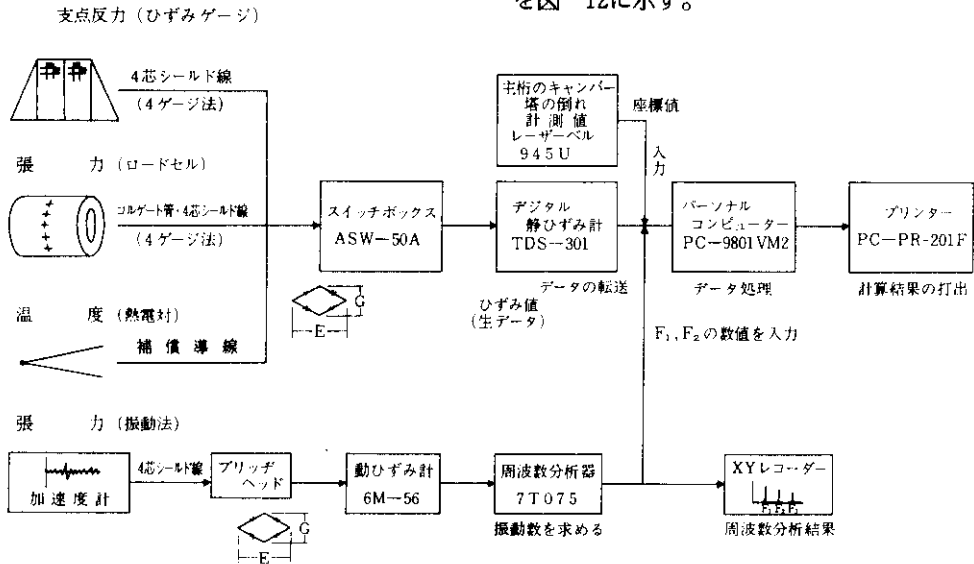


図-12 計測システム

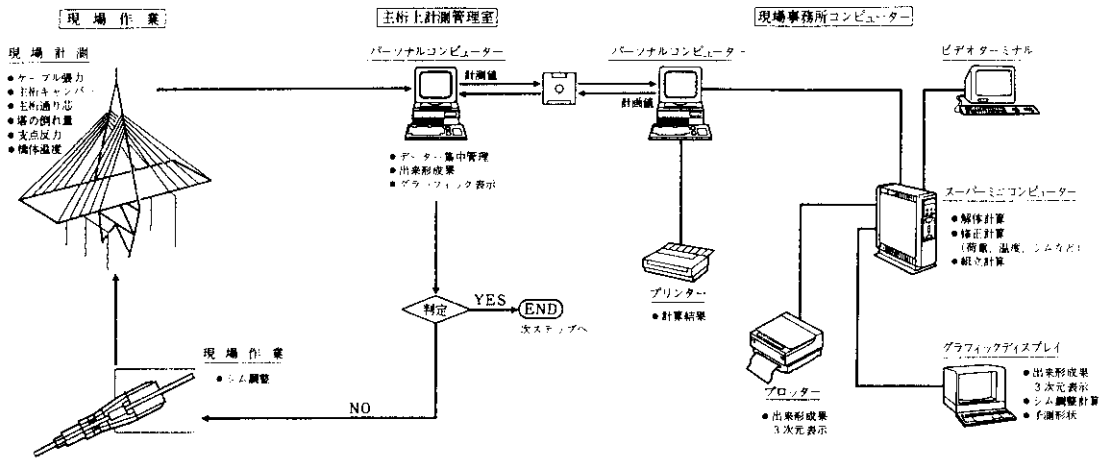


図-13 精度管理システム概要図

#### 4-4 精度管理システム

斜張橋架設時の精度管理を行う上で重要なことは、各架設段階における管理基準値を適確に算出できるシステムを構築することである。

各架設ステップの管理基準値は、完成系からの解体計算で求める。施工条件を設定したうえでの解体計算は、あらかじめ大型電算機を用いて実施しているが、実橋の施工時には、荷重条件、温度条件、仮定モデルの設定条件等の変更等、現場の施工条件に適した修正計算を行う必要が生じる。

これらに対処するためには、システムとして次の2つの方法が考えられる。

- ① 現場事務所にスーパーミニコンピューターを設置し、すべての計算を現場内で処理する方法（ローカル処理）。
- ② 電算センターと専用回線（NTT）で結び、大型電算機を使用して処理する方法（オンライン処理）。

上記2つの処理方法を比較検討した結果、現場計測を夜間に行うため、②の方法ではセンター就業時間や処理順番の制約を受けることになり、運

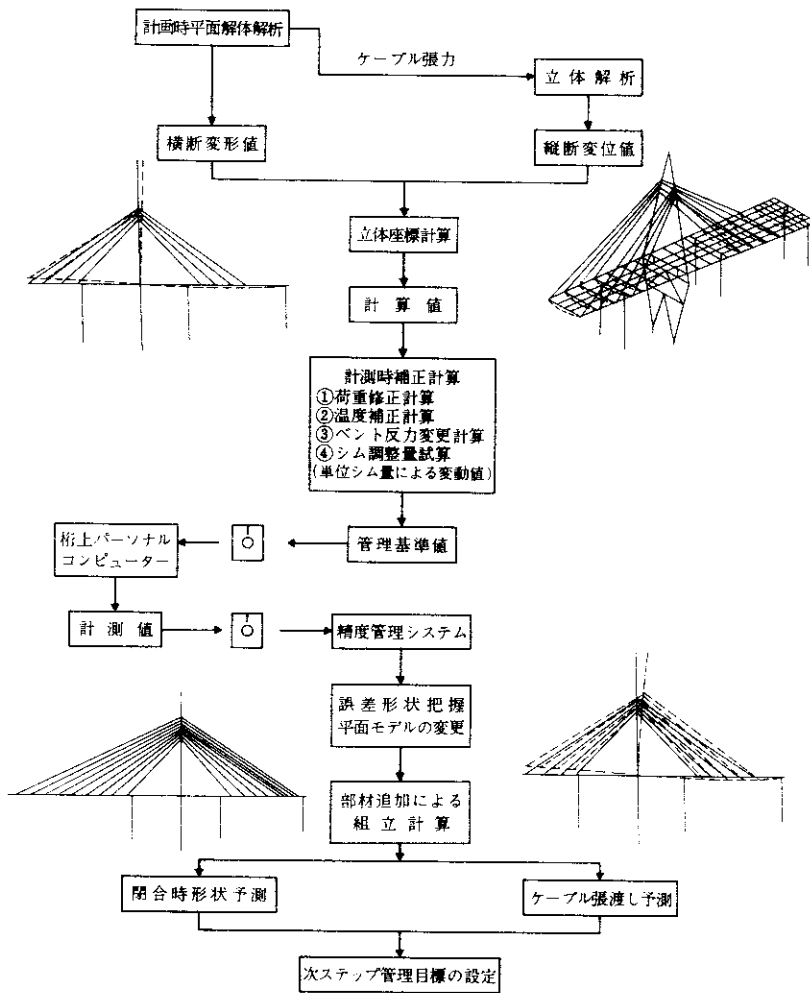


図-14 オンサイト・コンピューター計算フロー

安治川上部工(その3)架設工事 架設 STEP-27 左岸側 1987年8月3日23時~2時

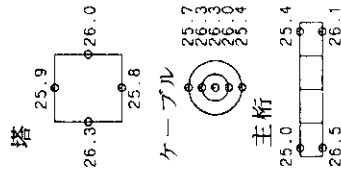
中央径間側ケーブル張力 (ton)

No	上流側		下流側	
	計画値	計測値	計画値	差
19				
20				
21				
22				
23	322.9	348.3	25.4	348.3
24	296.0	287.8	- 8.2	287.8
25	259.2	231.6	-27.6	231.6
26	219.1	203.8	-15.2	196.0
27	190.2	204.2	13.9	204.2

(計測値および差はすべて温度補正後の値を示す)

温度分布 (°C)

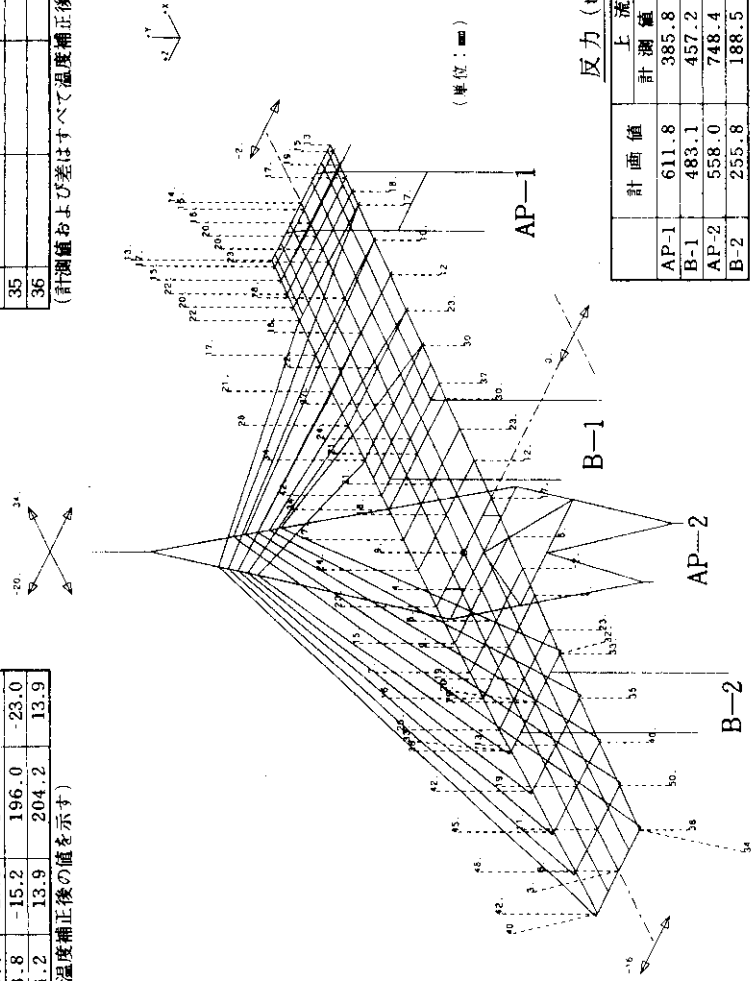
上流側 下流側



側径間側ケーブル張力 (ton)

No	上流側		下流側	
	計画値	計測値	計画値	差
28	257.7	246.0	-11.8	246.0
29	282.0	265.0	-16.9	265.0
30	297.6	283.7	-13.9	273.3
31	296.7	304.0	7.3	304.6
32	274.8	302.4	27.6	302.4
33				
34				
35				
36				

(計測値および差はすべて温度補正後の値を示す)



反力 (ton)

	上流側		下流側	
	計画値	計測値	計画値	差
AP-1	611.8	385.8	-226.0	415.7
B-1	483.1	457.2	- 25.9	609.1
AP-2	558.0	748.4	190.4	705.0
B-2	255.8	188.5	- 67.3	229.2

(計測値および差はすべて温度補正後の値を示す)

図-15 出来形成果図 (プロッターによる出力結果)

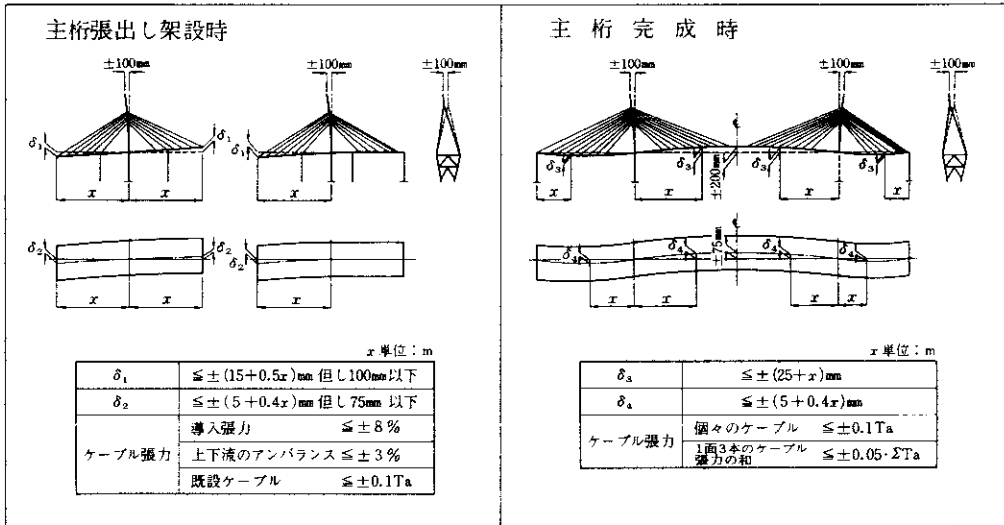


図-16 精度基準

用上問題が起こることが予想されたため、①の方法を採用することとした。これにより、現場作業に即応しうる機動性のある精度管理システムを構築することができた。システムの概要を図-13に示す。

このシステムの運用の概要を以下に示す。

- (1) 精度管理の対象となる架設ステップまでの解体計算、およびその系における荷重条件等の修正計算をスーパーミニコンピュータで行い、その系の管理基準値（計画値）を算出する。
- (2) 管理基準値をスーパーミニコンピュータのターミナルとしているパソコンを用いてFDに収録する。
- (3) 現場の計測管理室に設置したパソコンで計測値と計画値をデータ処理し、出来形成果のプリントアウトおよびグラフィック表示を行う。
- (4) これで③の結果より、ケーブルのシム調整の必要性の有無を検討する。
- (5) シム調整の終了後、その系での最終出来形計測値を現場でパソコンに入力、FDに収録する。
- (6) 上記の出来形計測値をスーパーミニコンピュータに入力し、その系での最終出来形成果をプリンター、プロッターおよびグラフィックディスプ

レーに出力する。

- (7) さらに、その出来形計測値を使用し、次ステップの計画値の検討ならびに閉合時の形状予測を行う。

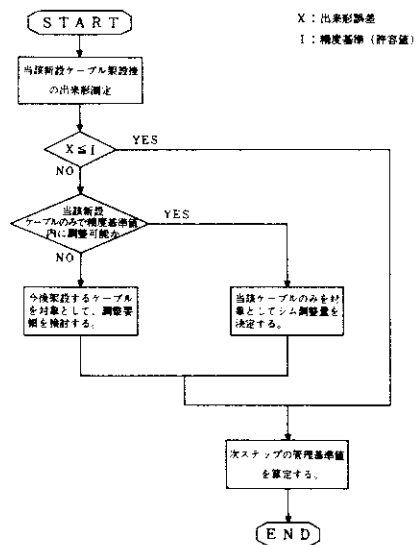


図-17 ケーブル張力調整判定フロー

上記オンサイトコンピューターによる計算フローを図-14に、またプロッターによる出来形成果の出力例を図-15に示す。

#### 4-5 精度基準

各架設段階における橋体形状とケーブル張力は、解体計算により算出した値をその系での管理基準値としている。したがって、各架設系における精度管理は、この管理基準値と計測値との差を誤差とし、この誤差が許容値以内となるよう管理を行う。

主桁張出し架設時ならびに完成時の精度基準(許容値)は図-16に示すとおりである。設計上は施工誤差として、塔頂での倒れ量 $\pm 100\text{mm}$ 、主桁先端で閉合直前でのずれ量を $\pm 100\text{mm}$ 見込んでいる。この精度基準に基づくケーブル張力調整に関する判定フローを図-17に示す。

#### 参考文献

- 1) 新家他：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第294号、1980年2月