

首都高速道路公団 佐藤 忠三
小田 植直幸
○桜井 順

1. はじめに

一般に斜張橋は高次の不静定構造で、かつ柔構造であるため、製作および架設の精度確保が極めて重要である。しかし、実際には設計時に想定したケーブル張力、主桁および塔の形状の所要値に対して誤差を持った結果が生じることは避けられない。このため、ケーブルの定着間距離を調整すること（シム調整）によって、ケーブル張力、形状を総合的に改善し、一定の管理値の中に入れるような操作が必要である。

首都高速・横浜港横断橋（図-1）は、世界最大級の斜張橋であり、誤差量を可能な限り低くおさえることによって、架設時安全性の確保と最終完成時の精度向上を計るべく、このような操作を中央径間張出架設の過程において架設精度管理の一環として行うものとした。

本稿は、1988年4月から1989年2月にかけて行われた同橋の中央径間張出架設の精度管理手法の概要について報告するものである。

2. 管理項目

張出架設時の精度管理

項目およびシム調整に

考慮する範囲を表-1に示

す。表中の計測項目のうち

主構の通りについては、

2面のケーブル張力をア

ンバランスさせることに

より若干の矯正は可能で

はあるが、主構のねじれ

を伴うため、シム調整項

目とはせず閉合時におい

てのみ考慮するものとし

た。また、橋体の

温度については計測値の

温度補正用、海中ベント

反力については、計算モ

デルの妥当性の確認のた

めの目安として扱うもの

とする。

3. 誤差量の管理値

ケーブル張力・主構キャンバー・塔倒れの誤差量は、それぞれ異なる次元の量であり、それらを総合的に管理するためには、誤差量の影響度を把握し、架設現場でのシム調整作業のための誤差量の許容レンジを設定しておく必要がある。

本橋の場合、この許容レンジとして管理限界値と管理目標値の2つの値を設定している。すなわち、管理限界値は、設計に考慮されている製作架設誤差をもってこれを越えてはならない値とし、管理目標値は、シム調整作業を進めるための判断基準値として設定した。

(1) ケーブル張力 各架設ステップにおける張力導入時の張力誤差を考え、表-2に示す荷重の組み合わせに対してケーブルの許容張力以下となるように管理する。

本橋の設計に用いた荷重の組み合わせの内、製作架設誤差の影響“E”を含み、かつケーブルに対してクリティカルとなる荷重の組み合わせを、ケーブル張力導入時の管理限界値を求めるためのものとした。しかしながら、実際にケーブルは“D+L”の荷重の組み合わせに対して許容応力度の90~95%となるよう断面決定されていることから、管理目標値を求めるために“D+L+E”で割り増し率を1.00とする荷重の組み合わせを新たに設定している。

ここで“E”は、ケーブル張力導入時の張力誤差と閉合のための主構の強制変位による張力の変動量の和で表わされ、閉合時の主構の上下方向の強制変位量としては100mmを想定している。

このような考えで設定された、各ケーブルの各架設ステップにおける張力導入時誤差の管理限界値および管理目標値を表-3に示す。下段のケーブルは架設が進むにつれ張力が変動するため、誤差が累積されることとなるが、各架設段階の誤差が偏って発生することはないと考え、二乗和平方根をもって張力変動量としている。

(2) 主構キャンバー 主構キャンバーの管理限界値および管理目標値を表-4に示す。主構キャンバーの絶対値については、橋体の応力性状に大きく影響を及ぼすものでないことから、本橋の規模・施工法等を考慮してこれを定めた。また、閉合時の本牧側・大黒側両主構の上下方向のずれについては、当初から設計に考慮されており、架設段階後半からはこれを判断基準に含めるものとする。

(3) 塔の橋軸方向の倒れ 塔の倒れは、塔頂の水平変位量で管理するものとし、表-5に示す値とする。塔については、設計上塔頂で $H/2000=86\text{mm}$ の倒れを想定しており、目標値は、塔の自立状態での架設誤差を考慮しこれを定めた。

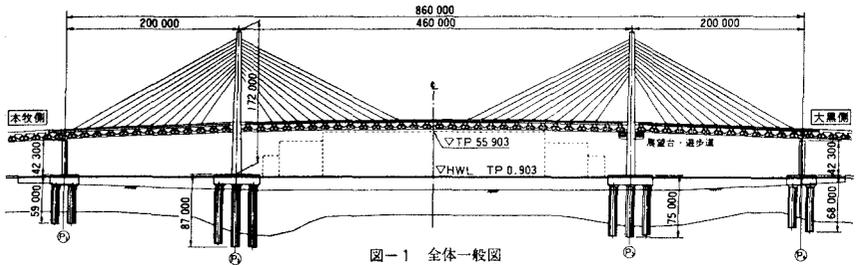


図-1 全体一般図

表-1 精度管理項目

計測項目	管理項目	シム調整対象項目	備考
ケーブル張力	○	○	
主構キャンバー	○	○	
主構の通り	○		別途トランシットにより計測
塔の倒れ	○	○	
橋体の温度			計測値の補正用
海中ベント反力	○		凡その目安として扱う

表-2 ケーブル張力管理値を求めるための荷重の組み合わせと許容応力度の割り増し率

	荷重の組み合わせ	許容応力度の割り増し率
管理限界値	D+L+T+SD+E	1.15(設計値)
管理目標値	D+L+E	1.00

D: 死荷重 SD: 支点沈下の影響
L: 活荷重 E: 製作・架設誤差の影響
T: 温度変化の影響

表-3 ケーブル張力の管理値(上段：管理目標値，下段：管理限界値，単位：t)

	ケーブル No.																						備考
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	
架 設 シ ス テ ム	ST05											32 65	44 98										初段ケーブル
	ST06									24 59	35 74	49 106	26 67										
	ST07									25 65	26 65	37 78	50 109	29 74	24 59								
	ST08									27 67	27 68	28 68		30 76	24 63	23 55							
	ST09									28 66	28 70	28 71			25 66	24 68	22 52						
	ST10									32 77	29 69	29 73				25 62	23 57	18 62					
	ST11					18 62	32 80	30 71									23 58	19 65	17 57				
	ST12				19 63	19 66	33 82											20 68	18 61	17 59			
	ST13			19 67	20 68	20 68													18 63	18 63	18 62		
	ST14		20 69	21 71	21 70															19 65	19 67	15 70	
	ST15	18 61	21 73	21 73																	19 69	15 73	8 63
	ST16	28 71	29 81	27 79	25 75	24 73	35 86	32 74	31 76	30 74	30 72	39 82	52 112	32 79	26 65	26 64	24 61	22 71	21 67	23 70	25 75	21 82	19 74
	T/Ta	0.94 0.98	0.95 1.01	0.96 1.03	0.97 1.05	0.98 1.06	1.00 1.09	1.00 1.10	1.00 1.10	0.99 1.10	1.00 1.12	1.00 1.13	0.99 1.14	0.99 1.11	0.98 1.07	1.00 1.07	1.00 1.06	1.00 1.05	0.99 1.04	0.94 1.00	0.93 1.00	0.99 1.07	0.98 1.09
																							T_D+L+e/T_a
																							$T_D+L+T+SD+e/T_a$

4. 管理システムおよび管理フロー

図-2に管理システム図を示す。計測およびシム調整作業は夜間作業となり、精度管理を迅速かつ合理的に行なうために、本橋ではコンピューター制御によるシステムを導入している。

シム調整の事前準備として、各種誤差および架設工法を考慮して計算モデルを決定し、解体計算により管理値およびシム量・温度の張力・変形に対する影響値が算出されている。この計算は大型コンピューターによりなされる。

シム調整当日には、架設荷重（主として橋面上）の調査を行い、荷重データを大型コンピューターとリンクされた現場の精度管理用パーソナルコンピューターに入力し、管理値の精算を行う。

夜間、橋体各部の温度状況が安定していることを確認した後、1次計測を行う。ケーブルに取付けられた加速度計によりケーブルの振動数を、自動液レベル計（連通管）により主構キャンパーを、レーザー投光器により塔倒れを、熱電対により部材温度を測定する。これらの測定作業は、現場のパーソナルコンピューター（計測用）により制御する集中管理方式となっている。

ケーブル振動数の張力への変換、温度補正計算をコンピューター内で行い、計測データは精度管理用パーソナルコンピューターに伝送される。精度管理用パーソナルコンピューターでは、管理値および計測データに基づき、シム調整量の最小二乗法による最適解や任意のシムを施工した場合の予測値等が計算され、これらの情報を参考にして施工シムを決定する。

シムの施工後、2次計測を行い、前述の管理値と計測結果とを比較し、良好な結果と判断されれば、当日の一連の作業は完了し、翌日より次の架設ステップに移ることになる。

5. おわりに

1981年11月下旬工事に着手した横浜港横断橋も、本年2月には中央径間の閉合を完了し、今秋の供用を目指して急ピッチで残る橋面工事を施工中である。

中央径間の架設については、ケーブル張力主構キャンパー・塔倒れとも全て管理限界値内で施工することが出来た。特に、閉合時の両主構のずれについては30mmという非常に良い架設精度であった。現在、この架設誤差の橋体の応力性状に及ぼす影響について解析を行っており、施工結果の詳細についても機会があれば報告したいと考えている。

表-4 主構キャンパーの管理値

	絶対値	閉合時両主構のずれ
管理限界値	$\delta a = \pm a [25 + (L-40)]$	100mm (設計値)
管理目標値	上記の1/2	同上

δa : 管理限界値 (mm)
 L : 支間長 (m)

--- : 管理限界値
 : 管理目標値

表-5 塔の倒れの管理値

	塔頂の水平変位 (mm)
管理限界値	$H/2000 = 86$ (設計値)
管理目標値	$H/5000 = 34$

H : 塔高 (m)

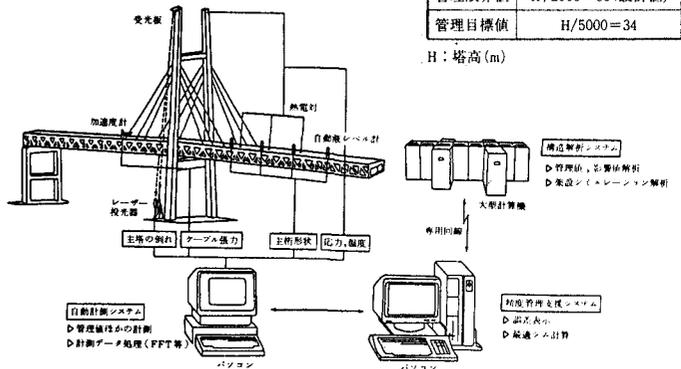


図-2 管理システム図