

【論文・報告】

本四斜張橋・櫃石島橋の面材架設時 施工管理システムの開発

Quality and Safety Control System during Construction
of HITSUISHIJIMA Cable-Stayed Bridge

西岡 武雄*
Takeo NISHIOKA

片山 哲夫**
Tetsuo KATAYAMA

内海 靖***
Yasushi UCHIUMI

前田 研一****
Ken-ichi MAEDA

町田 文孝*****
Fumitaka MACHIDA

越後 滋*****
Shigeru ECHIGO

1. まえがき

斜張橋は、完成時に、主桁形状および、プレストレスを含むケーブル張力が所定の設計値に対して許容誤差内でなければならない。そのためには、種々の要因（計算の仮定、製作、架設誤差など）による誤差を、実測結果に基づいてリアルタイムでデータ処理し、現場施工時に可能な限り除去しなければならない。すなわち、特に長大斜張橋の架設に際しては、施工管理システムの確立が完成品の品質はもちろんのこと、工期等を左右することも少なくない。

本文は、本州四国連絡橋・櫃石島橋（マルチファン型3径間連続・鉄道道路併用斜張橋、支間割185+420+185m、写真-1参照）^{1),2)}に採用された、大型電算機のオンライン使用およびパソコンを主体とした施工管理システムの開発結果について報告するものである。

本システムは、本州四国連絡橋公団第二建設局・児島工事事務所・旧第5工事（金澤克義・工事長）の指導の下に、架設JVである三菱重工業㈱・川田工業㈱・日本鋼管㈱・㈱宮地鐵工所・日本橋梁㈱・共同企業体の各社要員によって構成された施工管理委員会（仮称）の策定方針に従って、既に開発済みであった旧システム^{3),4)}を母体に当社が開発を担当したものである。また、本橋では、⑩および⑪主塔下の2箇所の鋼床版面上に2種のシステムが導入され、本システムは⑪側に位置するとともに、作業効率に無関係な機能の重複を避けるために表-1に示す範囲を適用範囲とした。

なお、⑪側に設置されたシステムは、その適用範囲から、本システムとは異ってミニコンを主体としたが、ここでは言及しないものとする。



写真-1 架設中の櫃石島橋（右側-⑩，左側-⑪）
（山陽映画提供）

表-1 ⑪側設置システムの適用範囲（○印部）

架設ステップ	機軸	⑪					計測
		計測	シムトライアル	管理値修正	管理値修正	シムトライアル	
MSTEP 1-2	（部材架設系統）	○	○	○	○	○	○
MSTEP 1-4		○	○	○	○	○	○
MSTEP 2-5		○	○	○	○	○	○
MSTEP 3-S		○	○	○	○	○	○
MSTEP 3-C-2		○	○	○	○	○	○
MSTEP 4-C-2	（ケーブル張力調整系統）	○	○	○	○	○	○
MSTEP 5-C-2		○	○	○	○	○	○
MSTEP 6-C-2		○	○	○	○	○	○
MSTEP 7-C-2		○	○	○	○	○	○
MSTEP 8-C-2		○	○	○	○	○	○
MSTEP 9-C-2		○	○	○	○	○	○
MSTEP 10-C-2		○	○	○	○	○	○
MSTEP 11-C-2		○	○	○	○	○	○
HEIGO (閉合後)		○	○	○	○	○	○

※架設ステップの記号の最初の番号は架設時のケーブル段数を表わしている。ただし、ステップ1-2-3-Sは各段のケーブルの部分架設状態を表わしている。また、○印は張力、応力計測を除く範囲を表わしている。

2. 櫃石島橋の管理手順

本システムが対象とした櫃石島橋においては、主塔側のケーブル定着部に挿入するシムプレート総板厚量によ

*川田工業㈱工事本部工事部長，**川田工業㈱技術本部技術部長大橋課係長，***川田工業㈱技術本部技術部長大橋課，
****川田工業㈱技術本部中央研究室室長，*****川田工業㈱技術本部中央研究室，*****㈱システムエンジニアリング開発部開発課課長

り誤差を調整し、次のような手順で、現場施工管理を実施することとされた⁵⁾。すなわち、全11段の各段の8ストランド(側, 中央径間2面, 2本/格点)の架設完了当日, 作業終了を待って管理値の再計算, 修正を行い, 夜間にケーブル張力, 桁形状, 主塔倒れ量の実測値を各部材の温度, 応力計測と並行して測定し, 温度補正後に管理値との誤差を求めて, それを基にシム調整量を算定する。さらに, 引き続き翌早朝にかけて, シム調整作業を行った後, 再度に確認計測を実施することとされた。ただし, 閉合後には, 状況に応じて任意の手順で0(無調整)~複数日の任意日数の管理を実施することとされた。

ここに, 計測管理項目であるケーブル張力, 桁形状, 主塔倒れ量はそれぞれ各架設状態での上3段, 全格点, 塔頂とし, シム調整は架設直後の最上段ケーブルのみに対して行うものとされた。他方, 閉合後には, 全橋176ストランドのケーブル張力, 130格点の主桁形状, および, 4塔頂の主塔倒れ量が計測管理項目とされ, シム調整については, 状況に応じ最大176ストランドの任意数のケーブルに対して行うものとされた。なお, 温度計測は, 東西の主構トラス上, 下弦材の上下面, 鋼床版下面, 東主塔の中間部の南北面, および, ケーブル(HiAmケーブルでPE管に被覆されていることからダミー部材を製作)に対して行うものとされた。また, 応力計測については, ケーブル(張力測定)を除くほぼ同様の各箇所その他, 東西のエンドリンク, タワーリンクに対しても行うものとされた。

3. システムの概要と特色

前章に述べた管理手順に従って, 本システムの開発に際しては, 迅速性が最も要求され, 可能な限り作業の効率化が必要であった。そこで, 過去の種々のケーブル構造物(吊橋, 斜張橋, ニールセン系アーチおよび吊屋根建築など)の施工での実績⁶⁾を生かすとともに, 昨今の測定技術, コンピュータ技術の進歩を取入れて, 最新かつ, 使用性, 経済性の非常に高い斜張橋の施工管理システムを開発した。すなわち, 現場という特殊性から要求される操作性, 機動性, コストパフォーマンス等を考慮し, パーソナルコンピュータを中心としたシステム構成となっている。そして, 同時に大型電算機のオンライン・デマンド端末としての機能を与え, 大規模な演算にも対処できるようになっている。以下に, 本システムの概要と特色について述べる。

すなわち, まず, 管理値の再計算については, 実際の荷重状態(事前に完全に把握することは困難である)から荷重データが作成されれば, 大型電算機のオンライン使用により即時に計算できる。この計算には, ケーブルのサグの影響⁷⁾などの斜張橋特有の非線形性を考慮した

有限変位理論に基づく架設計算プログラム⁸⁾が適用される。しかも, 再計算された管理値は, ケアレスミスを避けるために, 事前に計算された基本管理値と対比させながら修正していくようになっている。

つぎに, 計測は, インターフェースを使用したパソコン制御による自動計測を原則とし, 現場でのリアルタイムの処理が可能である。特に, ケーブル張力の計測では, 常時微動の測定による振動法⁹⁾が適用され, パソコン内でA/D変換, FFTスペクトル解析を行って固有振動数を求め, 張力に換算できるようになっている。また, 温度補正は各管理項目の計測時の実温度を用いて, 上述の架設計算プログラムによる線形化計算で事前に計算されている単位温度影響値から, 全て基準温度(20℃)時の値に補正されている。

そして, これらのようにして得られた修正管理値, および, 温度補正後の実測値から求められる誤差を基に, シムの調整量を合理的に算定できる。すなわち, ここでは, シムの調整量決定のためのトライアルに際して, 最小自乗法を応用した繰返し計算を必要としない最適手法¹⁰⁾によって複数の初期値を計算できる。したがって, これらの初期値から, 上述の架設計算プログラムによる線形化計算で事前に計算されている単位シム影響値を用いて得られる応答計算結果を参照し, 最適シム調整量を選択できる。他方, 手入力による任意シム調整量に対する応答計算結果も求められ, 最適シム調整量が実用に適さない場合, あるいは, 調整対象のストランドを限定するような場合などにも対処できるようになっている。

さらに, 以上のような処理は前述したようにパソコンを主体として行われるが, メニュー方式の画面により操作が非常に容易となっている。各種計測, 計算結果の図表はリアルタイムで画面に表示されるが, 図は高速X-Yプロッター(4色)により描画(画面のハードコピーは処理時間に問題がある), および, 表は漢字プリンタによりプリント出力され, シム調整量の決定, 誤差の評価などに即時に利用できるとともに, 竣工図書用の成果品としてそのまま使用できるようになっている。また, 管理値の再計算, および, 最適化手法によるシム調整量の計算は, RS232Cオンライン機能によるパソコンのデータ通信¹¹⁾により大型電算機を利用して行われるが, オートログイン機能によって, あたかも架設現場に大型電算機が設置されているかのような状態で実施できるようになっている。なお, ここでは使用頻度から専用回線を用いているが, 公衆回線でも十分可能である。

4. システムの構成と機能

(1) 構成

本システムは, 以下のようなハードウェア, ソフトウェア

ア、および、概略構成図から成るものである。

a) ハードウェア

- ・ パーソナルコンピュータ本体—PC9801/VM2
(RAM 384KB, 8087, GP-IB, タイマーモジュール, A/Dモジュール付)
- ・ カラーディスプレイ
- ・ 漢字プリンター
- ・ A 4 版高速 X-Y プロッター
(4 色, ただし, 閉合後のみ A 3 版)
- ・ デジタル自動静ひずみ計
- ・ サーボ型加速度計コンディショナー
- ・ 1200BPS 専用回線用モデム

b) ソフトウェア

- ・ OS——MS-DOS(Ver.3.1)
- ・ 使用言語——N88 BASIC(86)(MS-DOS Version)

c) 概略構成図 (図-1)

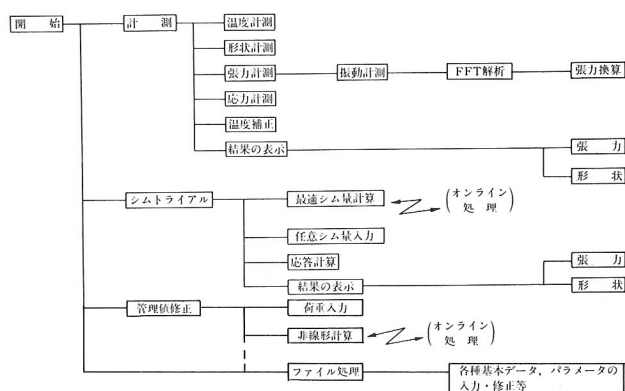


図-1 システムの概略構成図

(2) 主要機能

本システムは、図-1の概略構成図に従って、以下のような主要機能を有するものである。

a) 計測

- ① 温度計測……………設定時間間隔、または任意の時点で温度計測を熱電対により自動的に行え、結果は随時、表あるいは図に示される。
- ② 形状計測……………レーザーセオドライトと受光板を組合せたレーザー式変位計で測定される主塔の倒れ量、および、水パイプ測量により測定された主桁の標高が、キーボードから入力される。
- ③ 張力計測……………ケーブルの常時微動の加速度記録から、FFTパワースペクトル解析により固有振動数を求め、張力に換算する。この際、ケーブルの曲げ剛性やサグの影響も考慮される。
- ④ 応力計測……………任意の時点で、各部材の

静ひずみをプロテクターゲージにより自動計測し、応力に換算する。

- ⑤ 温度補正……………計測された諸データを計測時の実温度から、基準温度 (20℃) 状態の値に全て補正する。補正計算には、線形化有限変位理論により平面モデルとして事前に計算される単位温度影響値が用いられる。
- ⑥ 結果の表示……………温度補正後の形状、張力の実測値と管理値との比較表、誤差図などが示される。ただし、応力の実測値については、参考値として集計表のみが示される。

b) シムトライアル

- ① 最適シム量計算……………実測された張力、形状の誤差量から、最小自乗法を応用した手法により、最適シム調整量を算出する。ただし、塔、桁形状、張力の各々に重み係数を設定でき、複数ケースの最適値 (初期値) が求められる。
- ② 任意シム量入力……………最適シム調整量が実用に適さない場合、あるいは、調整対象のストランドを限定するような場合には、任意シム調整量も手入力できる。
- ③ 応答計算……………最適あるいは任意シム調整量の一覧表から、任意のケースを選択して応答予測値を計算でき、計算には、最適シム量計算にも用いられた、線形化有限変位理論に基づく立体骨組解析で事前に求められている単位シム影響値が用いられる。
- ④ 結果の表示……………張力、形状の応答予測値から、調整前、後の誤差の比較表、および、調整後の誤差図などが示される。

c) 管理値修正、その他

- ① 荷重入力、非線形計算……………実測開始直前の橋上の実際の状態に対応した手入力の任意荷重を標準荷重に加えて、ケーブルのサグなどの斜張橋特有の非線形性を考慮した有限変位理論に基づく非線形骨組解析 (平面トラスモデル) を行え、管理値を再計算できる。そして、事前に求められていた基本管理値のファイルを修正更新することによって、新たな管理値として採用される。
- ② ファイル処理……………その他、次のような各種基本データファイルの入力、修正等の機能がある。すなわち、管理項目については各架設ステップでの管理ケーブル本数、格点数など、温度、応力計測についてはゲージ類の初期値、校正係数、接続CH番号など、ケーブル張力測定については振動数の予測値、振動数から

張力換算する際に必要な各種パラメータなど、および、管理値再計算については変動する可能性の少ない標準的な荷重などである。

(3) 制限事項

本システムで管理可能な架設ステップ数は現状20ステップであり、各ステップで、同様に図-1の概略構成図に従って、以下のような制限事項を有している。

a) 計測

・温度計測用熱電対の最大CH数	70CH
・温度計測の最大回数	500回
・インターバル計測時の最大回数	210回
・経時変化の作図の際の最長設定時間	40hr
・形状計測の最大回数	10回
・張力計測の最大回数	10回
・同時に計測可能な最大ケーブル本数	4本
・設定可能なA/D変換CH番号の種類	0～3CH
・応力計測用ゲージの最大CH数	40CH
・応力計測の最大回数	100回

b) シムトライアル

・シムトライアル総ケースの最大数	80ケース
・最適シム量計算の最大ケース数	40ケース/回
・任意シム量入力の最大ケース数	35ケース/回

c) 管理値修正, その他

・任意荷重の最大個数	66個
・任意荷重の強度	0.001～999ton, t/m

5. 現場システム設置状況

本システムの現場設置状況を写真-2に示す。また、各種計測のセンサー、および、測定状況を写真-3～写真-7に示す。

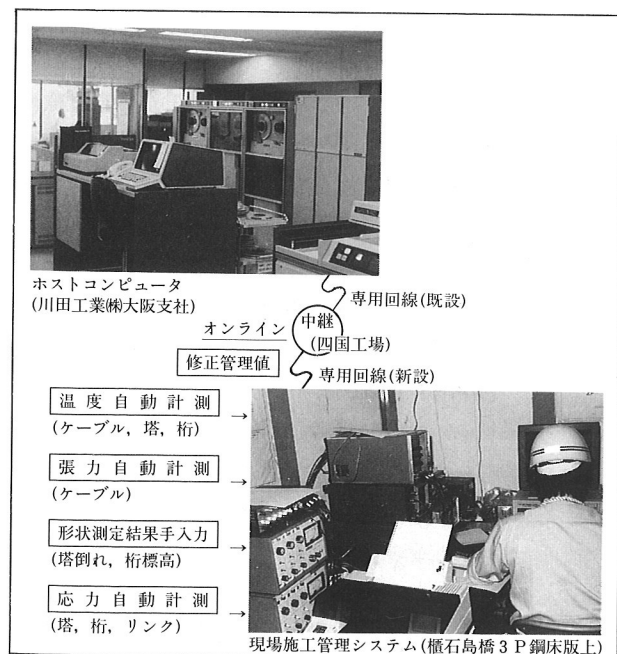


写真-2 現場設置状況

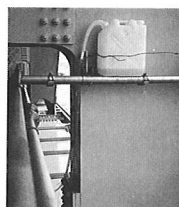


写真-3 主桁の標高の測定

—水パイプ測量用タンクとスケール

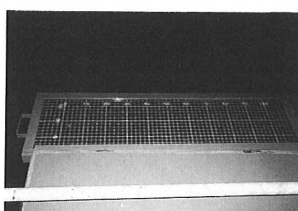
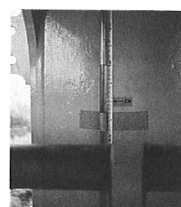


写真-4 主塔の倒れ量の測定

—受光板とレーザーセオドライト

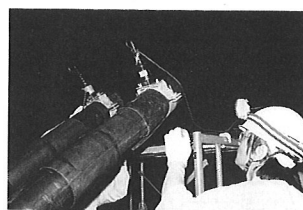


写真-5 ケーブル張力の測定

—加速度計とパソコン内でのスペクトル解析

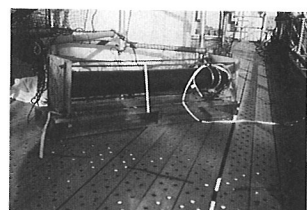
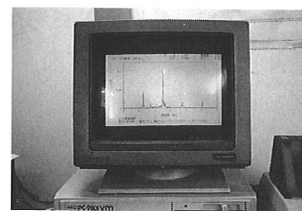


写真-6 各部材の温度の測定

—ケーブル温度測定用ダミーとスイッチボックス

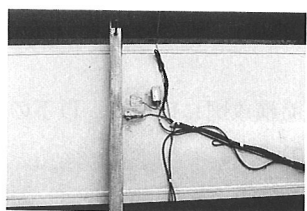
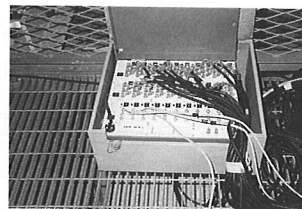


写真-7 各部材の応力の測定

—プロテクターゲージと自動静ひずみ計

6. 現場管理への適用結果

本システムは既に稼動を開始し、7月末日現在順調にその役割を果たしつつある。そして、その機能を十分に発揮して、各架設ステップの現場管理完了直後に提出する速報、および、本橋完成後の竣工図書の一部としての最終成果報告書にそのまま使用できる多くの図表が得られている。これらによる施工管理結果そのものの評価については今後の工事報告等に委ねるとして、ここでは、本システムの機能を明示するために、着目したMSTEP5-C-2の現場管理において実際に得られた代表的なものを単に示せば、図-2～5、表-2～6が与えられる。

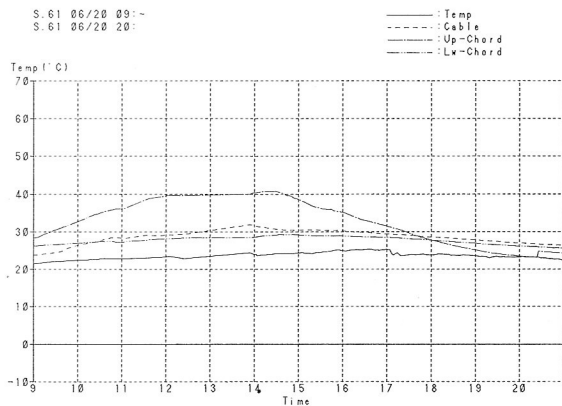


図-2 部材温度の経時変化の図化(4種選択)

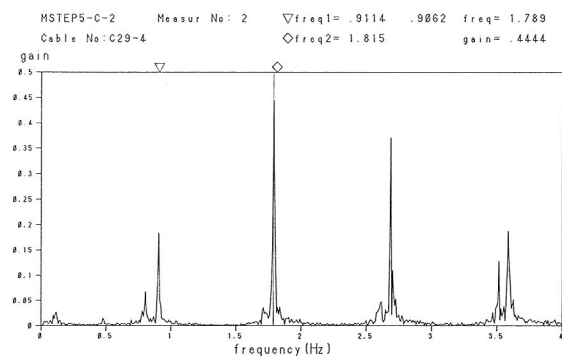


図-3 FFT解析のスペクトルの図化(ケーブルC30-2)

表-4 応力計測結果の集計表
の出力(タワーリンク)

* 応力計測結果
第1回目 応力計測 昭和 61年

位置	測定値
3Pタワーリンク 東塔 北	804
3Pタワーリンク 東塔 南	1066
3Pタワーリンク 西塔 北	608
3Pタワーリンク 西塔 南	721
3Pタワーリンク 東塔 北	1079
3Pタワーリンク 東塔 南	960
3Pタワーリンク 西塔 北	695
3Pタワーリンク 西塔 南	697

表-5 調整シム量の一覧表の
出力(CASE1-8)

ケーブルNo	基本シム	CASE 1-8 手入力
C 38-1	58	-41
C 38-2	50	-41
C 38-3	50	-18
C 38-4	58	-18
C 29-1	50	0
C 29-2	50	0
C 29-3	44	-24
C 29-4	44	-18
重み係数	張力 塔 桁 シム	0 0 0 0

表-6 シム調整による形状および張力の応答予測結果の比較表の出力(CASE1-8)

* 形状応答予測結果

測定番号: 1 計算番号: 1-8 昭和 61年
計算方法: 任意シム (主桁)

格点名	調整前	調整後	調整前	調整後
65	-0	-0	1	1
64	-6	-6	-14	-14
63	-7	-7	-14	-13
62	-13	-13	-20	-20
61	-16	-15	-16	-15
60	-25	-24	-32	-31
59	-25	-24	-30	-29
58	-21	-20	-27	-25
57	-15	-13	-23	-21
56	-11	-9	-18	-16
55	-8	-5	-21	-19
54	-7	-5	-4	-2
53	-1	1	-2	-0
52	-0	1	-2	-1
51	2	3	3	4

数値は管理値からの偏差 単位:mm

* ケーブル張力応答予測結果

測定番号: 1 計算番号: 1-8 昭和 61年
計算方法: 任意シム (タワー)

ケーブル名	調整前	調整後
C 36-1	-13	-5
C 36-4	-17	-14
C 31-1	-20	-21
C 31-4	-29	-26
C 37-1	-12	-4
C 37-4	-17	-14
C 30-1	7	5
C 30-4	11	15
C 38-1	-6	-37
C 38-2	-7	-38
C 38-3	-11	-25
C 38-4	-11	-25
C 29-1	3	2
C 29-2	7	6
C 29-3	16	-5
C 29-4	12	-3

数値は管理値からの偏差 単位:ton

表-2 形状計測結果の比較表の出力(主桁側径間西側)

* 形状計測結果

第1回目 形状計測 (側径間西側) 昭和 61年

測定点	測定値	温度補正	管理値	誤差	測定日時
65	41.367	41.367	41.366	1	06/20 20:50
64	41.192	41.193	41.207	-14	06/20 20:51
63	41.027	41.029	41.043	-14	06/20 20:51
62	40.858	40.861	40.881	-20	06/20 20:52
61	40.716	40.719	40.735	-16	06/20 20:52
60	40.560	40.563	40.596	-32	06/20 20:53
59	40.438	40.442	40.472	-30	06/20 20:53
58	40.322	40.325	40.352	-27	06/20 20:54
57	40.215	40.218	40.241	-23	06/20 20:54
56	40.107	40.110	40.128	-18	06/20 20:55
55	39.997	39.999	40.019	-21	06/20 20:55
54	39.904	39.905	39.909	-4	06/20 20:56
53	39.811	39.811	39.813	-2	06/20 20:56
52	39.715	39.714	39.716	-2	06/20 20:57
51	39.630	39.628	39.625	3	06/20 20:57

T P 値: 単位[m] 誤差: 単位[mm]

表-3 振動法によるケーブル張力測定結果の比較表の出力

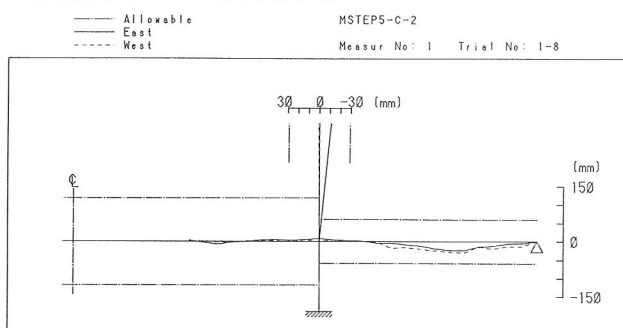
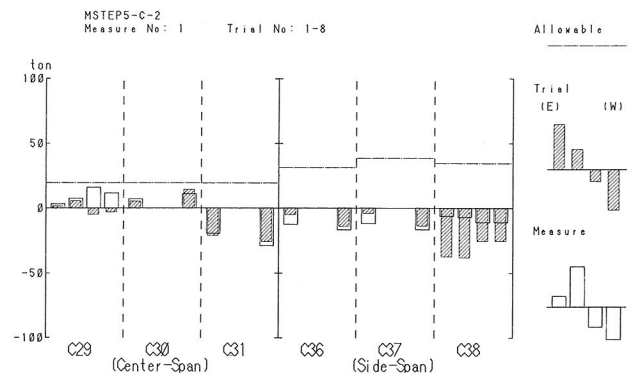
* 振動法によるケーブル張力測定結果

第1回目 張力計測 昭和 61年

ケーブル	測定張力	剛度補正	温度補正	管理値	誤差	測定日時
C 36-1	291	284	286	299	-13	06月20日21時15分
C 36-4	287	280	282	299	-17	06月20日21時15分
C 31-1	218	212	214	233	-20	06月20日21時26分
C 31-4	208	203	205	233	-29	06月20日21時26分
C 37-1	272	265	267	279	-12	06月20日21時15分
C 37-4	267	260	262	279	-17	06月20日21時15分
C 30-1	247	241	243	236	7	06月20日21時26分
C 30-4	252	245	247	236	11	06月20日20時51分
C 38-1	264	258	260	266	-6	06月20日20時51分
C 38-2	263	257	259	266	-7	06月20日20時51分
C 38-3	259	253	255	266	-11	06月20日20時51分
C 38-4	259	253	255	266	-11	06月20日20時51分
C 29-1	248	242	245	242	3	06月20日21時03分
C 29-2	253	246	249	242	7	06月20日21時03分
C 29-3	261	255	258	242	16	06月20日21時03分
C 29-4	257	251	253	242	12	06月20日21時03分

単位 [ton]

HITSUISHI-BRIDGE(3P)

図-4 シム調整による形状応答予測結果の図化
(CASE1-8)図-5 シム調整による張力応答予測結果の図化
(CASE1-8)

ここに、まず、図-2は部材温度の経時変化の図化例であり、任意に選択した4種の部材について示している。表-2は形状計測結果の比較表の出力例であり、主桁中央径間東、西側、側径間東、西側、および、タワー東、西側の別で、手入力（連続測定 of 始終時刻のみによって自動補間される）による測定日時刻とともに示している。図-3は、振動法によるケーブル張力測定におけるFFT解析のスペクトルの図化例であり、画面上で1次、2次の予測振動数の位置（▽、◇印）に自動的にセットされたカーソルにより拡大図も用いて同調させた結果を、実測振動数とともに示したものである。そして、表-3が最上段のみ4ストランド、他は2ストランドの計3段分16本のケーブル張力測定結果の比較表の出力例であり、自動処理による測定日時刻とともに示している。また、表-4は、応力計測結果の集計表の出力例として、その一部（タワーリンク）を示したものである。

一方、表-5は、以上の実測結果を基にしたシムトライアルによって得られる調整シム量の一覧表の出力例として、その一部を示したもので

あり、ケース番号(CASE1-8)および最適シム、任意シム（手入力）の別も示している。そして、表-6が表-5に示したケースのシム調整による形状および張力の応答予測結果の比較表の出力例であり、調整効果を判断できるように、表-2、表-3に示した調整前のものととともに調整後の誤差を示している。また、図-4、図-5は表-6と同様の場合の形状、張力の応答予測結果の図化例であり、許容値とともに、図-5では調整前の誤差も同時に示している。

7. 閉合後管理の試用結果

前述したように、本橋の閉合後には、状況に応じて任意の手順で0（無調整）～複数日の任意日数の管理を実施することとされており、無調整を目標としているものの現状では具体的な予測は困難である。そこで、ここでは、本システムの最大機能を単に確認することのみを考え、調整対象のケーブルを最大数の176ストランドとした場合のシムトライアルの試用ケース(CASE-15)において

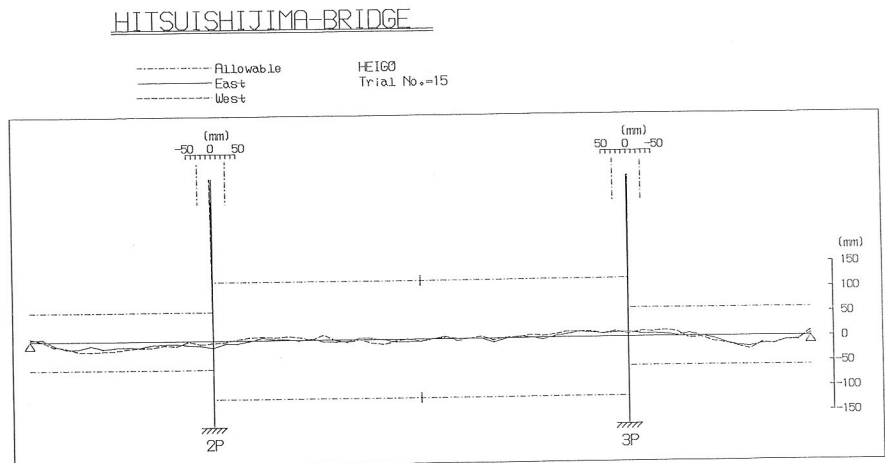


図-6 閉合後のシム調整による全橋についての形状応答予測結果の図化

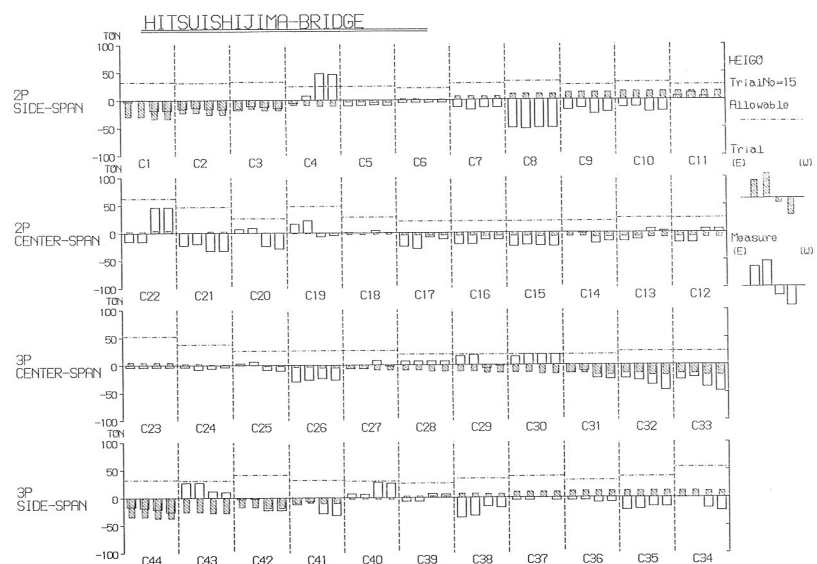


図-7 閉合後のシム調整による全橋についての張力応答予測結果の図化

得られる代表的な図表を単に示せば、図-6、図-7が与えられる。

ここに、図-6、図-7は、閉合後の全橋に関する形状、張力の応答予測結果の図化例を示したものである。

8. あとがき

櫃島橋は、7月末日現在ケーブルの架設が全11段のうち8段を終え、MSTEP8-C-2の現場管理が終了した状態であり、主桁閉合へ向けて鋭意着実に工事が進められている。雄姿を表わし始めた本橋は周辺の景観にも合致して、既に周辺住民、観光客らの注目の的の一つとなっており、本橋の完成、さらには、Dルート（児島一坂出）の全通が多くの人々によって待たれている。

これまでの全架設ステップでの適用実績からは、本システムの使用性（操作性）および経済性が高いことを十分に確認できた。特に、夏季に入ってから温度状態が安定せず、管理時間がかかなり制限されたが、全く支障なく管理手順通りに実施することができた。また、シム調

整後の確認計測の結果からは、応答予測結果と比較して絶対誤差が多少含まれるものの調整量に比例した相対誤差はほとんどない結果が得られることがわかり、本システムに導入した解析理論、解析モデル、および、計算プログラム等についても実用上十分妥当なものであることを検証できた。なお、本橋の面材架設を中心とした工事報告については、次回に報告する予定である。

最後に、本システムの開発に当り常に適切な御指導を賜った本州四国連絡橋公団第二建設局・児島工事事務所・旧第5工事、現第3工事の方々、並びに、常に有益な御助言をいただいた共同企業体のメンバーである三菱重工業㈱、日本鋼管㈱、㈱宮地鐵工所、日本橋梁㈱の関係各位に心より感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団編：櫃石島橋詳細設計概要書，1985.
- 2) 西岡・片山・小泉：本州四国連絡橋・櫃石島橋の製作設計，川田技報，Vol.5，1986.
- 3) 前田・内海・斉藤：斜張橋の設計支援システムと施工管理システム，土木学会第10回電算機利用に関するシンポジウム論文集，1985.
- 4) 前田・内海：斜張橋の施工管理システム，橋梁と基礎，Vol.20，No.1，1986.
- 5) 三菱・川田・鋼管・宮地・日橋・共同企業体：櫃石島橋上部工架設工事・中央径間面材架設・架設精度管理要領書，1986.
- 6) 前田・作田・西土・町田・富沢・内海：ケーブル構造物の施工管理システム，川田技報，Vol.5，1986.
- 7) 前田・林・前田：サグを考慮したケーブル部材の計算式，土木学会論文報告集，No.257，1977.
- 8) 野村・中崎・内海・前田・斉藤：吊橋・斜張橋の設計，架設計算プログラムシステム-KASUS-，橋梁，Vol.21，No.5，1985～9回連載.
- 9) 新家・広中・頭井・西村：振動法によるケーブル張力の実用算定式について，土木学会論文報告集，No.294，1980.
- 10) 藤沢：斜張橋架設時のシム量決定方法，橋梁と基礎，Vol.18，No.9，10，1984.
- 11) 越後：パソコンによるデータ通信について-RS232Cオンライン機能とその応用，土木とコンピュータ，No.6，1985.