

斜張橋の設計支援システムと施工管理システム

川田工業(株) 正会員 前田 研一

川田工業(株) 内海 靖

(株)システムエンジニアリング 正会員 ○ 齊藤 道生

1. まえがき 近年、本四連絡橋を始めとして長径間斜張橋の建設が推進されており、本格的な斜張橋時代の到来を迎えて、設計支援システムとしての設計・架設計算プログラム、および、施工管理システムの開発、整備が不可欠となってきた。斜張橋の設計・架設計算プログラムは、特有の設計条件、非線形問題に対処できることはもちろんのこと、膨大な量の入出力データを効率よく処理できることが必要である。したがって、解析理論、数値計算技法の進歩、および、大型計算機、図化機能などの周辺機器の発達に伴って、設計支援システムの内容はかなり急激に変化している。他方、施工管理システムについては、特有の施工条件、誤差調整問題に対処できることはもちろんのこと、架設現場でリアルタイムに処理できることが必要である。したがって、大型計算機とマイコンとのデータ通信、自動計測機器の発達に伴って、システムの内容は同様にかんり急激に変化している。本文は、著者らが開発した、現状では最先端のものの一つであると思われ、既に実績もある斜張橋の設計支援システムの最新バージョンとその施工管理システムへの応用について、システムの特徴と仮想適用例を中心に報告するものである。^{1)~4)}

2. 設計支援システムの概要と特色 本支援システムは、斜張橋の設計に際して図-1、2に示すようなフローにしたがって処理を行なう設計・架設計算プログラムを擁している。そして、両者のプログラムは、面内荷重解析用のKASUS/PLANEと立体骨組解析用のKASUS/SPACEとから成り、次のよ

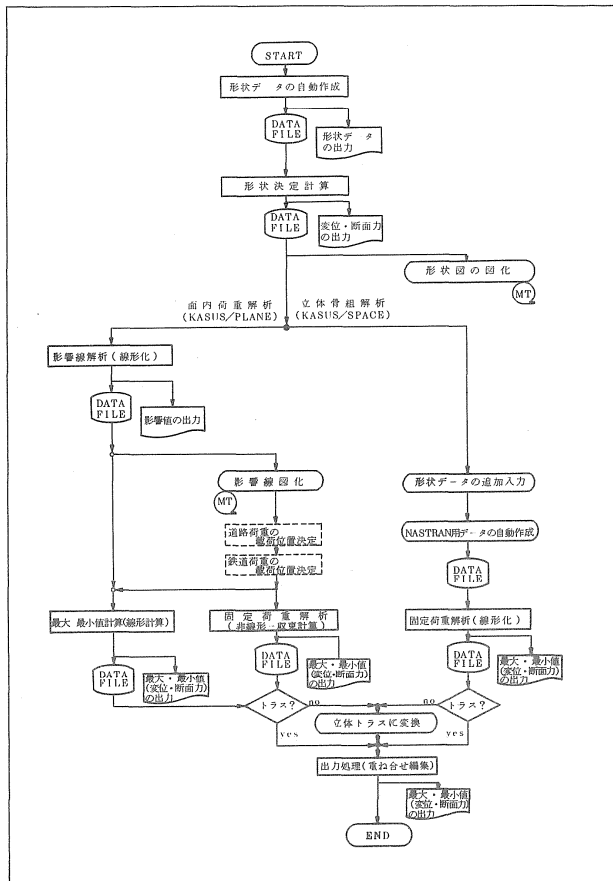


図-1 設計計算プログラムのフロー

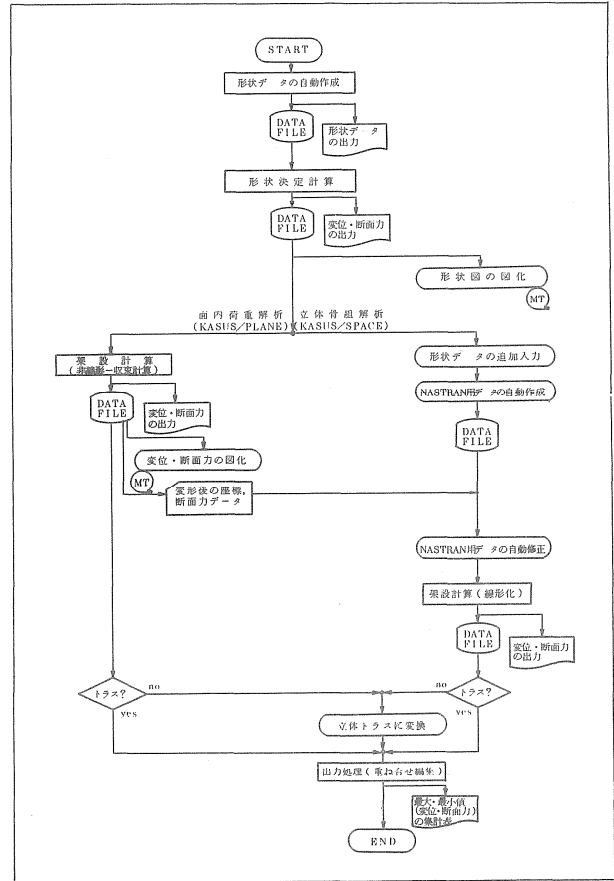


図-2 架設計算プログラムのフロー

うな特徴を有する前、後処理プログラムを含む個々のサブプログラムによって構成されている。^{5)～8)}

(1) 形状データの自動作成 リンバリング機能を応用することによって、ユーザーが任意の節点、部材番号を付けることが、梁モデル、トラスモデルを対象として可能である。また、斜張橋の構造特有の規則性を利用し、座標、部材データ等の作成の省力化を始め、種々の自動化を図っている。

(2) 形状決定計算 KASUS/PLANEを用いて、完成時の形状でケーブルが所要のプレストレスを含む完成時張力となる条件から、主桁、主塔の製作キャンパーに対応する無応力形状、および、ケーブルの製作長に対応する無応力長を自動的に決定できる。また、形状決定計算の結果は、キャンパー図を含めて形状図として図化することが可能である。さらに、求められた座標、初期軸力等は、形状データとともに、KASUS/SPACEにも自動的に受け渡される。

(3) 影響線解析 KASUS/PLANEにおいては、主構造の変位、断面力および支点反力に着目した影響線解析が可能である。解析方法は、形状決定で作成した変位、断面力状態を初期状態として線形化理論を用い主桁上に単位荷重を移動させ、着目点ごとの影響線を求めるものである。また、影響線は、着目点ごとに縦距、正・負面積、正・負区間長などがプリント出力あるいは図化される。

(4) 最大最小値計算 影響線解析で求めた縦距、面積等に活荷重値を乗じ、変位、断面力、反力を線形的に求めることができる。なお、列車荷重は等価換算等分布荷重(KS-16荷重も可)として取扱い、自動的に載荷位置を決定することができる。

(5) 固定荷重解析 影響線図等によって載荷位置を決定した各荷重ケースについて、面内、および、立体の固定荷重解析を行うことができる。面内解析は、KASUS/PLANEにおいて、一般化された有限要素法・有限変位理論に基づく骨組構造物のマトリックス解析法を適用し、増分法と反復法を組合せた混合法による収束計算により行われる。ここでは、特有の幾何学的非線形問題であるケーブルのサグを考慮した解析も可能であり、また、非抗圧部材の処理も可能である。他方、立体解析は、KASUS/SPACEにおいて、KASUS/PLANEから自動的に受け渡された面内解析用のデータに立体解析用の最少限のデータを追加することによってNASTRANのデータデッキが自動的に作成され、NASTRANを介して行われる。ここでは、立体骨組モデルとして、魚骨、トラスモデルの両者のモデルが可能である。

(6) 架設計算 解体計算によって、各架設ステップに対する面内、立体解析による架設計算を行うことができ、解析方法などは上述の固定荷重解析の場合と全く同様である。すなわち、面内解析では、KASUS/PLANEによって各架設ステップの計算が可能であり、架設系において考慮される支点、ヒンジ等の追加、除去および節点、部材の除去等が容易に行える。また、主桁、主塔の無応力形状、ケーブルの無応力長および荷重、断面諸量等のデータを直接に変化させることによって、種々の要因による誤差解析も容易に行える。さらに、各架設系の変位、断面力について、図化することが可能である。他方、立体解析では、KASUS/SPACEによって、KASUS/PLANEの架設計算結果から自動的に受け渡された各架設ステップの平衡状態での座標、ケーブル張力等のデータにより自動修正される形状データを基に架設計算を行え、支点、ヒンジの追加、除去および節点、部材の除去、断面諸量等の変更が同様に可能である。

(7) 出力処理(重ね合せ、編集) 変位、断面力および反力等の計算結果は、まず、解析モデルが梁モデルの場合には、主構トラスのパネルタイプを事前に入力しておくことによって、必要に応じて立体トラスの各部材のものに断面力が自動変換される。その後、重ね合せ、編集を経て集計され、最終的な集計表がそのまま設計計算書に組み込めるように日本語で漢字出力される。この集計表は、現状では、架設時断面力表(各着目部材の種類ごとに各架設ステップの断面力の集計と最大・最小断面力の抽出を行う)、荷重組合せ別変位、断面力、反力表(各荷重組合せ別に各着目部材の変位、断面力、反力の集計と最大・最小値の抽出を行う)、および、部材別最大・最小断面力、設計断面力表(各着目部材別に各荷重組合せの最大・最小断面力の抽出を行い、各荷重組合せに対して割増し係数を考慮することもできる)の3タイプに大別される。なお、この他、鉄道橋の設計に使用される疲労時断面力の集計表なども用意されている。

3. 施工管理システムへの応用 本現場管理システムは、図-3に示すような要領で一般に実施される斜張橋の施工管理に供せられるものであり、その構築は対象とする個々のものの規模、環境などによって左右される。したがって、ここでは、図-4に示すような一案について主要な特徴を以下に紹介するが、他の構築システムの場合にも容易に適応できる。^{9), 10)}

- ① マイコン制御による計測システムと、インテリジェント端末としてデマンド機能およびリモートパッチ機能による大型電算機のオンライン使用の解析システムとが一体化されている。
- ② 主桁、主塔形状、および、ケーブル張力の測定方法としては、それぞれ、一種のマノメータである水パイプ、レーザー式変位計、および、FFTリアルタイムアナライザによるものを想定している。また、温度の測定方法としては、熱電対によるものを想定している。
- ③ 解析システムの入力データの作成は前処理プログラムによって自動化あるいは省力化されており、ケーブルのサグを含む斜張橋特有の非線形性を考慮した架設計算を平面梁モデルあるいはトラスモデルを対象として容易に行える。
- ④ ねじれ、面外変形についても、平面モデルによる非線形性を考慮した釣合い形状および断面力状態を基にした立

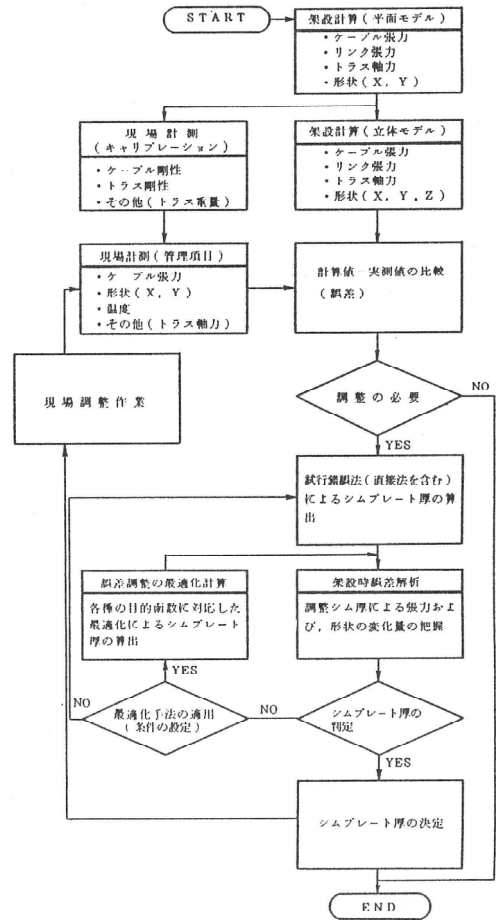


図-3 施工管理要領

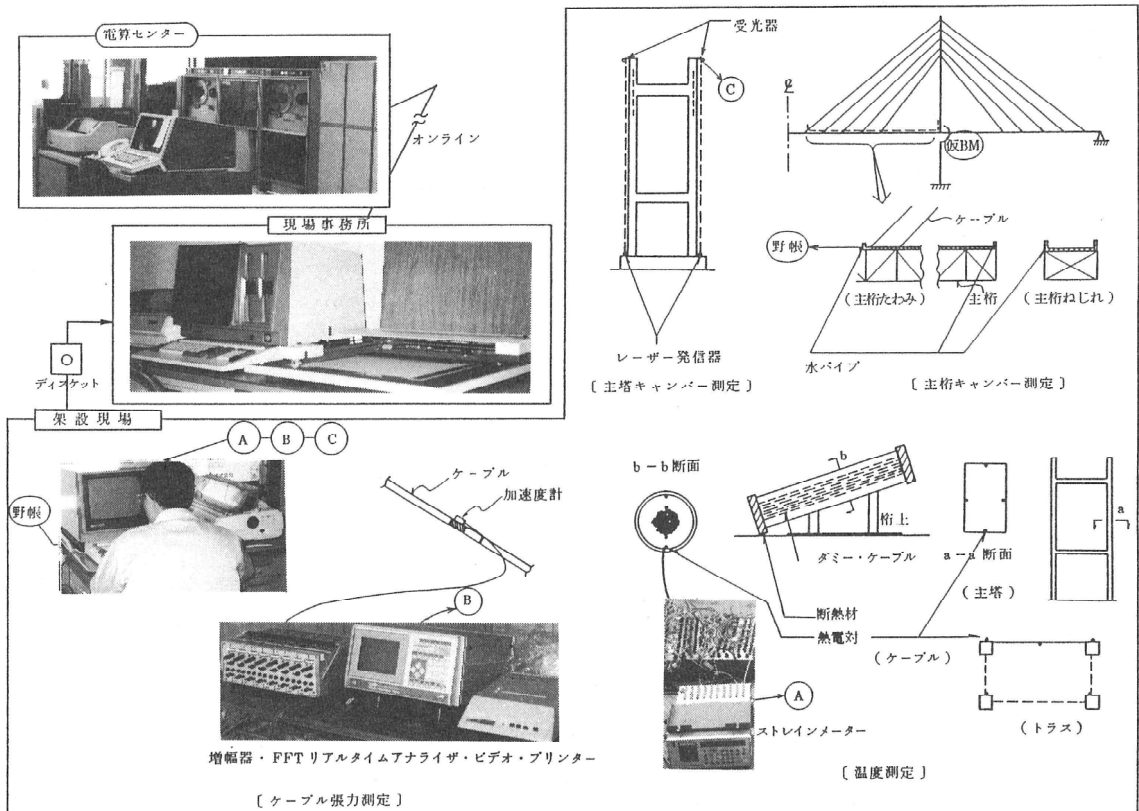


図-4 施工管理システム構築の一案

体魚骨モデルあるいはトラスモデルを対象とし、NASTRANを介した線形化計算によって実用上十分な精度で補正できる。

⑤ 現場計測は、各管理項目の単なる測定の外、随時にキャリブレーション的な測定も実施し、特に、荷重、剛性などの実際の値を可能な範囲で推定することとしている。

⑥ 主桁、主塔の製作形状に対応する無応力形状、ケーブルの製作長に対応する無応力長、および、温度、荷重、断面諸量などのデータを直接に変化させることによって、種々の要因による誤差解析を容易に行え、架設時に許容した誤差が完成時に及ぼす影響すなわち残留誤差などの把握も行える。

⑦ 誤差調整のためのシム厚の計算は、管理項目あるいは調整対象のケーブル本数が多い場合には最適化手法を適用でき、各種の目的函数（最小シム量、最小自乗法など）に対する種々の設定条件についての計算を容易に行え、より効率のよい調整データを選択することができる。

⑧ プロッター図化機能などを駆使した後処理プログラムによって、理論値と実測値との比較図、誤差調整の状況図、完成時の残留誤差図、および、閉合時における形状管理図などの竣工図書用の図表を、架設現場においてリアルタイムで作成できる。

4. システムの使用実績 本システムを振り返り述べて、母体となった面内有限変位解析プログラムがまず、3径間形式に換算して300m級の支間長に対応する当時本邦最大級の完全張り出し架設が実施された合掌大橋（写真-1参照、支間割144+46+144m、2径間非連続桁斜張橋、1979）の施工管理のための架設計算、誤差解析に使用され、解析プログラムの実用性が確認された。つぎには、シム厚の最適化計算プログラムが初めて、本邦最初の埋込み桁による吊支保工の張り出し架設が実施されたやすらぎ橋（写真-2参照、支間長63.5m、PC片斜張橋、1981）の施工管理時の誤差調整のために使用され、最適化手法の合理性が確認されている。

その後、これらのプログラムをシステム化して、設計支援システム、および、マイコン制御による計測システムと現場オンライン端末による解析システムとが既に一体化されていた施工管理システムの旧バージョンが開発され、斜張橋ではないが、因島大橋（支間割250+770+250m、3径間2ヒンジ吊橋、1983）の設計照査、および、施工管理に実際に使用された。

さらに、本システムの旧バージョンに前、後処理プログラムを追加して開発、整備し、完成を見たものが現在の最新バージョンである。そして、設計支援システムは、既に、櫃石島橋（写真-3参照、支間割185+420+185m、マルチケーブル型式3径間連続斜張橋）の実施設計に使用されたのを始め、多くの実績をあげつつある。

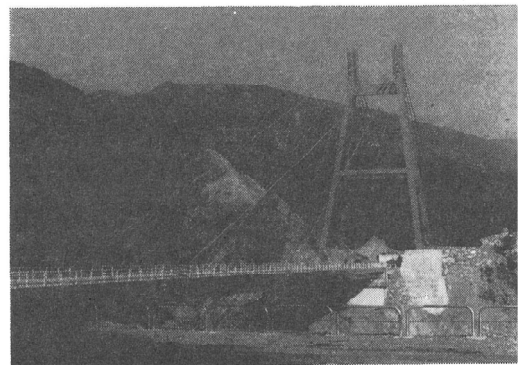


写真-1 合掌大橋

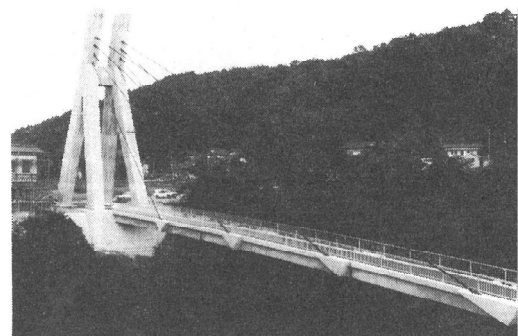


写真-2 やすらぎ橋

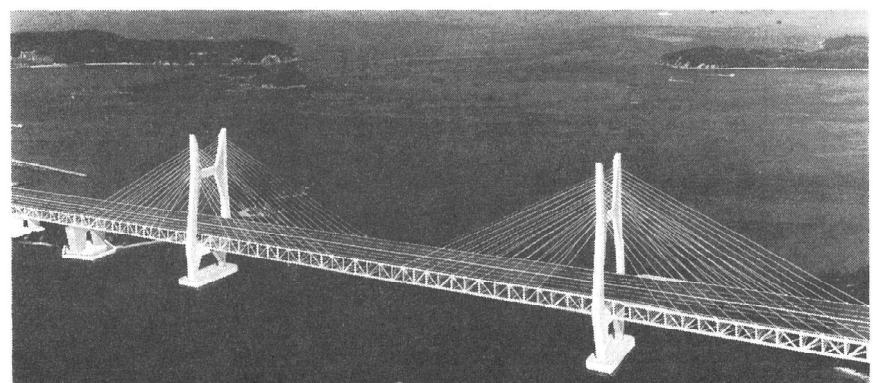


写真-3 櫃石島橋

5. 設計支援システムの仮想適用例 本設計支援システムの最新バージョンを長大斜張橋の設計計算に適用した仮想適用例として、図-5に示すような中央径間300mのマルチケーブル型式3径間連続斜張橋を対象とした図化結果の一部を図-6~13に示す。ここに図-6, 7は、ある着目部材の影響線図および最大最小値計算の集計表を示したものであり、図-8, 9は、各架設系における変位図、断面力図をそれぞれ示したものである。また、図-10, 11および12, 13は、それぞれ、架設時の断面力集計表、荷重組合せ別断面力集計表および設計断面力集計表、疲労時断面力の集計表を示したものである。

これらの仮想適用結果から、本システムを適用することによって得られた結果は、そのまま成果品として設計計算書に使用することが十分可能であることがわかると思われる。また、本システムは、入力データの作成、解析から編集まで一貫したシステム構成を取っているので、使用性および経済性の極めて高い斜張橋の設計支援システムになり得るものであることが十分に予測されるとしてもよいと思われる。

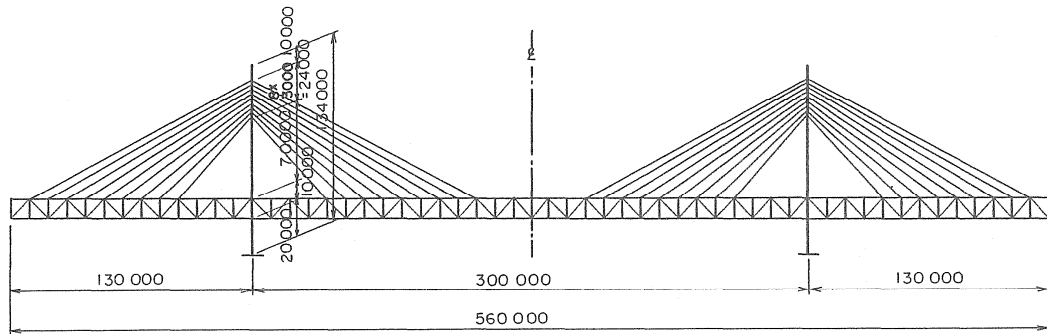


図-5 形状図

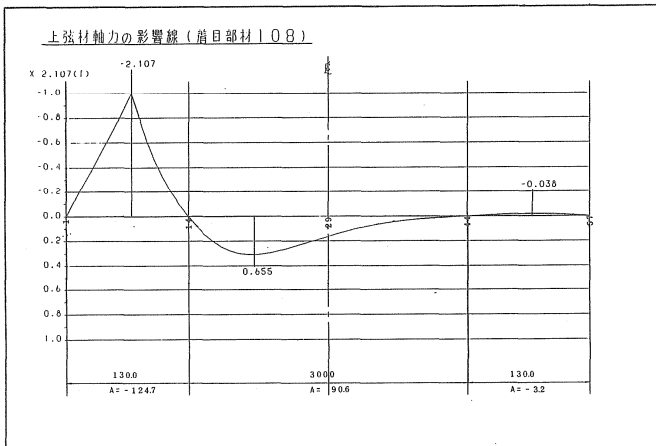


図-6 影響線図

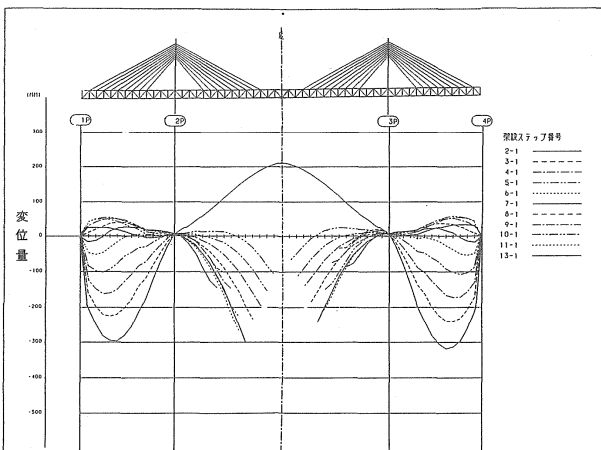
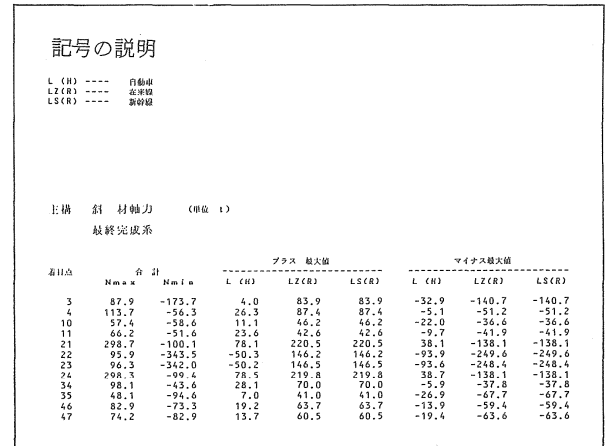


図-8 架設時の変位図

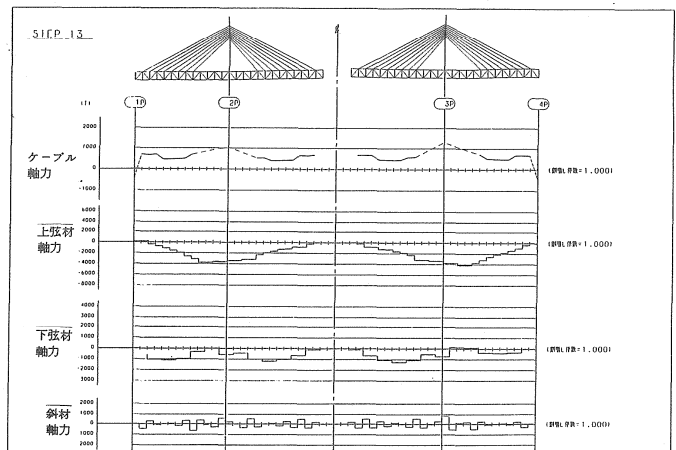


図-9 架設時の断面力図

上弦材 軸力	121	122	123	124	125	126	127
(+) 最大値	584.2	121.9	598.9	121.0	595.3	120.7	598.4
(-) 最小値	-2935.8	-2630.8	-2266.4	-2085.4	-1701.6	-1442.7	-865.5
STEP 4-3	514.6	95.2	592.3	-5.9	---	---	---
STEP 5-S-1	442.8	72.7	592.1	-6.6	---	---	---
STEP 5-S-2	388.6	57.7	591.4	-6.6	---	---	---
STEP 5-C-1	-6.3	-252.5	219.5	-6	---	---	---
STEP 5-C-2	-331.6	-496.7	-77.4	-7	---	---	---
STEP 5-3	312.7	116.9	598.9*	121.0	122.7	---	---
STEP 6-S-1	229.4	81.4	575.1	121.0*	122.9	---	---
STEP 6-S-2	164.1	55.3	556.0	120.8	122.9	---	---
STEP 6-C-1	-210.9	-291.3	161.0	-139.4	117.5	---	---
STEP 6-C-2	-524.7	-570.9	-162.7	-336.9	112.5	---	---
STEP 6-3	53.3	60.1	523.7	56.0	595.3*	-4	---
STEP 7-S-1	-81.8	-13.7	459.9	36.2	595.2	-5	---
STEP 7-S-2	-177.6	-66.3	414.1	21.8	594.6	-6	---
STEP 7-C-1	-693.1	-586.9	-167.3	-435.7	46.9	-7	---
STEP 7-C-2	-1076.7	-968.3	-595.9	-760.7	-347.8	-7	---
STEP 7-3	-625.3	-422.5	-9.2	-193.2	284.1	120.7*	122.5
STEP 8-S-1	-753.7	-508.4	-92.5	-234.5	---	---	---
STEP 8-S-2	-847.8	-571.3	-153.4	-264.7	---	---	---
STEP 8-C-1	-1217.9	-980.9	-599.9	-677.1	---	---	---
STEP 8-C-2	-1504.8	-1295.0	-944.9	-986.9	---	---	---
STEP 8-3	-1156.2	-825.1	-445.1	-422.3	---	---	---
STEP 9-S-1	-1286.6	-923.8	-544.7	-482.2	---	---	---
STEP 9-S-2	-1382.3	-996.4	-618.1	-526.5	---	---	---
STEP 9-C-1	-1683.5	-1356.4	-1003.0	-923.6	---	---	---
STEP 9-C-2	-1920.8	-1639.6	-1308.3	-1232.7	---	---	---
STEP 9-3	-1657.3	-1237.1	-883.7	-708.7	---	---	---
STEP 10-S-1	-1785.3	-1344.0	-994.0	-784.4	---	---	---
STEP 10-S-2	-1879.0	-1422.3	-1074.8	-839.8	---	---	---
STEP 10-C-1	-2126.5	-1739.7	-1408.4	-1216.6	---	---	---
STEP 10-C-2	-2317.8	-1987.8	-1671.5	-1510.8	---	---	---
STEP 10-3	-2142.1	-1668.1	-1337.6	-1055.4	---	---	---
STEP 11-S-1	-2499.5	-1818.5	-1499.5	-974.4	---	---	---
STEP 11-S-2	-2607.9	-2161.6	-1862.4	-1550.0	---	---	---
STEP 11-C-1	-2541.8	-2114.3	-1800.3	-1527.0	---	---	---
STEP 11-C-2	-2684.6	-2316.5	-2011.4	-1785.0	---	---	---
STEP 11-3	-2573.1	-2060.8	-1747.4	-1387.5	---	---	---
STEP 12	-2499.5	-1818.5	-1499.5	-974.4	---	---	---
STEP 13-1-1	-2607.9	-2161.6	-1862.4	-1550.0	---	---	---
STEP 13-1-2	-2628.4	-2162.5	-1860.0	-1545.7	---	---	---
STEP 14	-2771.7	-2382.5	-2051.6	-1791.0	---	---	---
STEP 15	-2771.7	-2382.1	-2051.2	-1790.3	---	---	---
STEP 16	-2935.8*	-2630.8*	-2266.4*	-2085.4*	---	---	---

図-10 架設時断面力集計表出力例

記号の説明
 E ; 製作及び架設誤差の影響
 TRZ ; 在来線荷重の合計 LHV ; 自動車荷重(鉛直解析)
 TRK ; KS-16荷重の合計 LHQ ; 自動車荷重(ねじり解析)
 DV ; 死荷重(鉛直解析) LRVZ ; 列車(在来線)荷重(鉛直解析)
 DTRQ ; 死荷重(ねじり解析) LRQZ ; 列車(在来線)荷重(ねじり解析)
 T ; 温度変化の影響 LRVK ; 列車(KS-16)荷重(鉛直解析)
 SD ; 支点移動の影響 LRQK ; 列車(KS-16)荷重(ねじり解析)

主構 上弦材		荷重組合せ D+L+T+SD+E													
		一次完成時 Nmax (単位 Ton)													
断面材	合計	TRZ	TRK	DV	DTRQ	T	SD	E	LHV	LHQ	LRVZ	LRQZ	LRVK	LRQK	
3002	-1269	-1796	-2353	27	-155	96	-15	261	3	528	-1	0	0	0	
3004	-1469	-2526	-3621	28	-315	192	-30	524	6	1059	-2	0	0	0	
3006	-602	-2187	-3805	15	-474	287	-45	786	11	1590	-5	0	0	0	
3008	1406	-722	-2883	-13	-633	383	-60	1049	23	2120	-8	0	0	0	
3010	4710	2334	-810	-65	-792	479	-75	1388	52	2651	-18	284	-9	0	
3012	2970	1267	-633	-25	-558	339	-53	902	23	1695	-8	0	0	0	
3014	1879	821	-384	-7	-364	221	-35	570	8	1055	-3	0	0	0	
3016	1311	599	-157	-1	-213	129	-21	387	5	710	-2	0	0	0	
3019	1181	570	9	-16	-104	63	-11	349	18	604	-7	0	0	0	
3022	1243	583	131	1	29	19	2	397	4	661	-1	0	0	0	
3025	1380	679	129	-10	69	44	6	408	13	696	-5	0	0	0	
3028	1457	742	132	3	119	75	11	399	3	716	-1	0	0	0	
3031	1468	762	132	-6	134	84	12	382	12	702	-4	0	0	0	
3034	1366	733	129	3	152	96	14	356	3	634	-1	0	0	0	
3037	1302	716	123	-3	156	98	14	310	12	581	-5	0	0	0	

図-11 荷重組合せ別断面力集計表出力例

タイトル 説明

CASE-1 D+L+T+SD+E/1.00
 CASE-2 D+W+T+SD+E/1.50
 CASE-3 D+W(L)+L(W)+T/1.35
 CASE-4 D+EQ+L(EQ)+T+SD+E/1.50

断面力集計 (単位 Ton)

主構 上弦材

断面材	設計断面力	一次完成時				最終完成時			
		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
3002	N-MAX	-1139	-1269	-1207	-1155	-1247	-1269	-1213	-1262
	N-MIN	-3827	-3704	-1861	-2497	-2017	-3827	-1863	-2043
3004	N-MAX	-1235	-1469	-1321	-1349	-1791	-1235	-1469	-1349
	N-MIN	-5767	-5745	-3368	-3961	-3131	-5767	-3368	-3961
3006	N-MAX	-202	-602	-663	-698	-1579	-202	-602	-698
	N-MIN	-6287	-6287	-4202	-4387	-3366	-6287	-4202	-4387
3008	N-MAX	2189	1406	712	816	-556	2189	1406	816
	N-MIN	-5911	-5911	-4277	-4173	-2883	-5911	-4277	-4173
3010	N-MAX	5986	4710	2676	3187	1305	5986	4710	3187
	N-MIN	-4461	-4461	-3407	-3061	-1695	-4461	-3407	-3061
3012	N-MAX	3712	2970	2526	2296	806	3712	2970	2296
	N-MIN	-3123	-2977	-3123	-2327	-1181	-3123	-2977	-2327
3014	N-MAX	2255	1879	2037	1619	531	2255	1879	1619
	N-MIN	-2387	-1765	-2387	-1527	-715	-2387	-1765	-1527
3016	N-MAX	1635	1311	1370	1202	388	1635	1311	1202
	N-MIN	-1685	-1095	-1685	-1019	-391	-1685	-1095	-1019
3019	N-MAX	1216	1181	1004	949	353	1216	1181	949
	N-MIN	-1087	-1014	-945	-799	-239	-1087	-1014	-799
3022	N-MAX	1243	1243	517	799	307	1243	1243	517
	N-MIN	-1457	-1250	-355	-758	-179	-1457	-1250	-355
3025	N-MAX	1380	1380	425	822	368	1380	1380	425
	N-MIN	-1656	-1473	-283	-849	-265	-1656	-1473	-283
3028	N-MAX	1457	1457	731	948	396	1457	1457	731
	N-MIN	-1866	-1672	-607	-1061	-358	-1866	-1672	-607
3031	N-MAX	1468	1468	965	1035	421	1468	1468	965
	N-MIN	-1888	-1691	-848	-1156	-377	-1888	-1691	-848
3034	N-MAX	1366	1366	1176	1049	397	1366	1366	1176
	N-MIN	-1809	-1620	-1071	-1198	-395	-1809	-1620	-1071
3037	N-MAX	1302	1302	1296	1057	396	1302	1302	1296
	N-MIN	-1760	-1561	-1201	-1211	-395	-1760	-1561	-1201

図-12 設計断面力集計表の出力例

記号の説明

TRZ ; 在来線荷重の合計
 TRK ; KS-16荷重の合計
 TRS ; 新幹線荷重の合計

主構 上弦材

疲労の照査 D+L(F) (単位 Ton)

断面材	応力範囲最大	一次完成時			最終完成時		
		TRZ	TRK	TRS	TRZ	TRK	TRS
3002	N-MAX	-2132	-2132	-2326	-2110	-2146	-2335
	N-MIN	-2769	-2769	-2769	-2821	-2562	-2530
3004	N-MAX	-3204	-3204	-3593	-3047	-3118	-3498
	N-MIN	-4171	-3879	-4171	-4120	-3778	-4120
3006	N-MAX	-3208	-3208	-3790	-2793	-2879	-3478
	N-MIN	-4300	-4165	-4300	-4026	-3854	-4026
3008	N-MAX	-2042	-2042	-2870	-1316	-1378	-2240
	N-MIN	-3353	-3353	-3135	-2738	-2709	-2514
3010	N-MAX	329	329	-548	1455	1452	553
	N-MIN	-1445	-1445	-745	-421	-354	308
3012	N-MAX	59	59	-608	740	716	21
	N-MIN	-1005	-1005	-608	-393	-362	21
3014	N-MAX	35	35	-377	393	366	-57
	N-MIN	-560	-560	-377	-245	-238	-57
3016	N-MAX	125	125	-156	253	229	-59
	N-MIN	-276	-276	-156	-200	-187	-59
3019	N-MAX	287	287	25	264	260	-26
	N-MIN	-192	-192	25	-251	-229	-26
3022	N-MAX	400	400	132	298	272	-1
	N-MIN	-186	-186	132	-355	-328	-1
3025	N-MAX	435	435	139	340	327	15
	N-MIN	-223	-223	139	-382	-338	15
3028	N-MAX	420	420	135	343	312	21
	N-MIN	-258	-258	135	-410	-379	21
3031	N-MAX	434	434	138	355	336	24
	N-MIN	-246	-246	138	-412	-369	24
3034	N-MAX	381	381	132	303	275	20
	N-MIN	-235	-235	132	-383	-354	20
3037	N-MAX	371	371	126	295	277	16

図-13 疲労時断面力の集計表の出力例

6. 施工管理システムの仮想適用例 本現場管理システムの最新バージョンを長大斜張橋の施工管理に適用した仮想適用例として、同様に中央径間長300mのマルチケーブル型式3径間連続斜張橋を対象としたものの図化結果の一部を図-14~20に示す。ここに、図-14, 15は、想定したある架設ステップにおける計算値一実測値の比較図をケーブル張力、主桁形状および主塔倒れについて示したものであり、図-16, 17は、それぞれ、シム量と誤差調整の状況図、完成時に残留する誤差の状況図を示したものである。また、図-18, 19, および、図-20は、それぞれ、主桁閉合時における形状管理図、断面力図、および、主桁閉合後における調整シム量の一覧表を示したものである。

ただし、これらの図表は想定の場合の予想される成果品の一部を単に示したものであって具体的な施工管理方針などを表わすものではないし、一方、本システムがどのような管理方針に対しても柔軟に対処できることは明らかである。例えば、閉合後での調整シム量の一覧表である図-20は、不要の場合もあるはずである。また、図化はあくまでもソフト的に得られるものであることからユーザーの任意に変更が可能であり、立体的な表示なども容易に可能であることは言うまでもない。

これらの仮想適用結果からは、本システムを適用することによって、施工管理用データ、および、それに関する竣工図書にそのまま使用できる成果品が、施工現場でリアルタイムにプリンター出力あるいはプロッター描画され、システム操作の容易さなどを考えれば、経済性および使用性の極めて高い斜張橋の施工管理システムになり得るものであることが十分に予測されるとしてもよいと思われる。

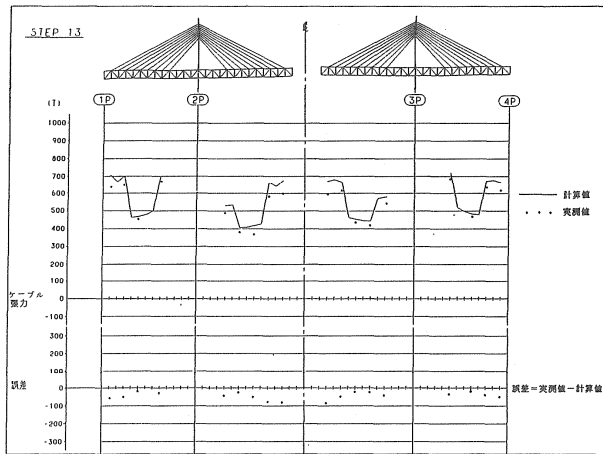


図-14 計算値一実測値の比較図(張力)

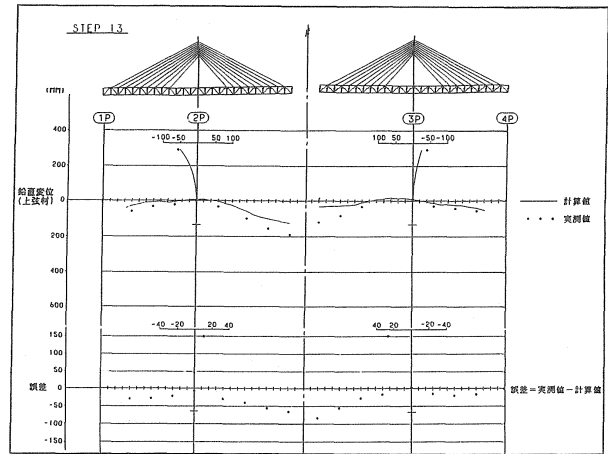


図-15 計算値一実測値の比較図(形状)

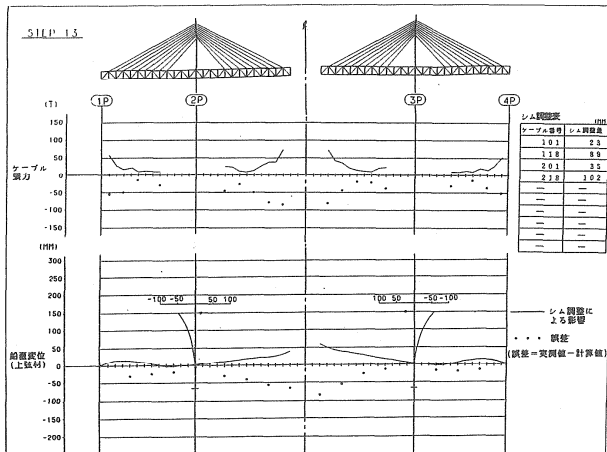


図-16 シム量と誤差調整の状況図

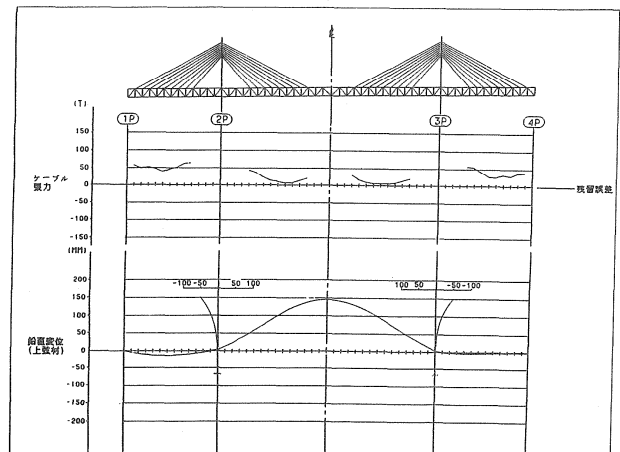


図-17 完成時に残留する誤差の状況図

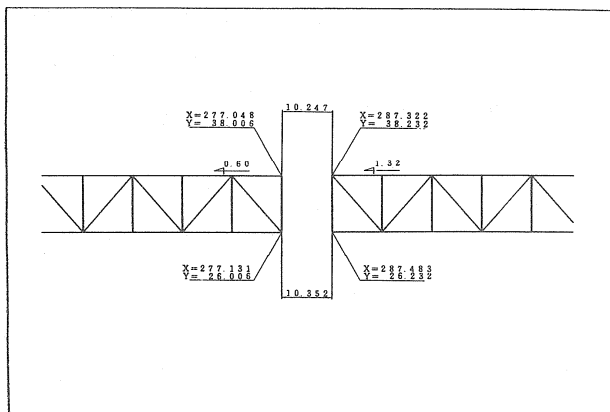


図-18 閉合時での形状管理図

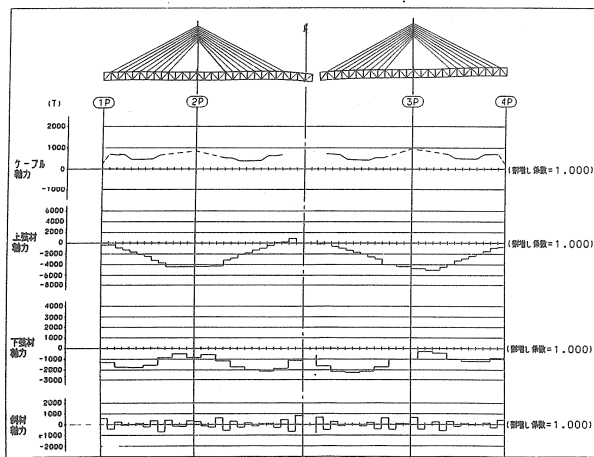


図-19 閉合時での断面力図

ケーブル 番号	張力誤差 ΔT (t)	直接法		最適化手法(1)		最適化手法(2)			
		σ 最大 ΔL (mm)	ϵ max (%)	σ 最大 ΔL (mm)	ϵ max (%)	σ 最大 ΔL (mm)	ϵ max (%)		
側	1501	135	-300	10	3.78	-55	10	0.00	-100
	1502	-140	-170	10	3.78	62	10	0.00	21
	1503	85	-252	10	3.78	-33	10	0.00	-70
	1504	70	-227	10	3.78	-80	10	0.00	65
	1505	-105	-121	10	3.78	62	10	0.00	45
後	1506	50	-214	10	3.78	-36	10	0.00	-59
	1507	35	-191	10	3.78	-39	10	0.00	-46
間	1508	50	-183	10	3.78	-47	10	0.00	-50
	1509	55	-168	10	3.78	-48	10	0.00	-48
	1510	95	-154	10	3.78	-49	10	0.00	-48
	1511	135	-141	10	3.78	-54	10	0.00	-50
中	1512	-140	184	10	3.78	62	10	0.00	14
	1513	95	50	10	3.78	-60	10	0.00	-100
先	1514	85	41	10	3.78	-60	10	0.00	-100
	1515	80	36	10	3.78	-55	10	0.00	-97
	1516	80	25	10	3.78	-57	10	0.00	-98
後	1517	-120	121	10	3.78	52	10	0.00	7
	1518	60	18	10	3.78	-30	10	0.00	-88
	1519	85	2	10	3.78	-47	10	0.00	-95
間	1520	-125	89	10	3.78	45	10	0.00	1
	1521	145	-12	10	3.78	-52	10	0.00	-92
	1522	210	-27	10	3.78	-62	10	0.00	-97

(最適化手法-シム量最小 $\alpha=200$)

図-20 閉合後での調整シム量の一覧表

7. あとがき 本文は、斜張橋の設計支援システムとその施工管理システムへの応用について、著者らが開発した最新バージョンを基に報告したものである。斜張橋は、近年では吊橋の経済区間をさらに侵しつつあり、しかも、設計の自由度は非常に高く、施工管理もより複雑である。したがって、ここに紹介したようなシステムの使用はいまや不可欠であり、これからもハイ・テク時代の進展につれて大きく変遷していくものと思われる。今後、さらに新たなバージョンを完成した際に、再度報告する機会が与えられれば幸いである。最後に、本システムの開発にあたって常に適切な御指導と御助言を頂いた、法政大学工学部・大地羊三教授に対し、ここに心より謝意を表す。

【参考文献】 1) 前田・大西：有限要素法・有限変位理論による大径間斜張橋の静的、動的解析プログラム，橋梁，Vol.13，No.1,2，1977. 2) 野村・中崎・内海・前田：ケーブル橋梁構造（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.18，No.12，1982，Vol.19，No.1，1983. 3) 野村・中崎・内海・前田：ケーブル橋梁構造（吊橋・斜張橋）の設計，架設計算プログラム，川田技報，Vol.3，1983. 4) 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回連載予定）. 5) 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. 6) 前田・林・前田：斜張橋の設計における非線形問題，第24回構造工学シンポジウム論文集，1978. 7) 前田：製作，架設を考慮した実際設計に対応する斜張橋の非線形解析法，川田技報，Vol.1，1978. 8) 前田・小神野：斜張橋の設計における非線形問題と解析法，橋梁と基礎，Vol.13，No.2，1979. 9) 前田・内海：斜張橋の施工管理システム，橋梁と基礎，（投稿中）. 10) 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（掲載予定）.