

吊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) 正会員 西土 隆幸

川田工業(株) 正会員 内海 靖

(株)システムエンジニアリング 正会員 ○ 斎藤 道生

1. まえがき 現在、本州四国連絡橋Dルートの大吊橋群の建設が最盛期にあり、さらに、世界最大級の明石海峡大橋も着工されている。そして、このような本格的な長大吊橋時代の到来によって、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ている。吊橋の設計・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、精度および安全管理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な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、既に実績もある吊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。<sup>1)~3)</sup>

2. 設計支援システムの概要と特色

本支援システムは、吊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う設計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、面外、ねじり荷重解析用のKASUS/GRID、TORSION、および、立体骨組解析用のKASUS/SPACEとから成り、次のような特徴を有する前、後処理プログラムを含む個々

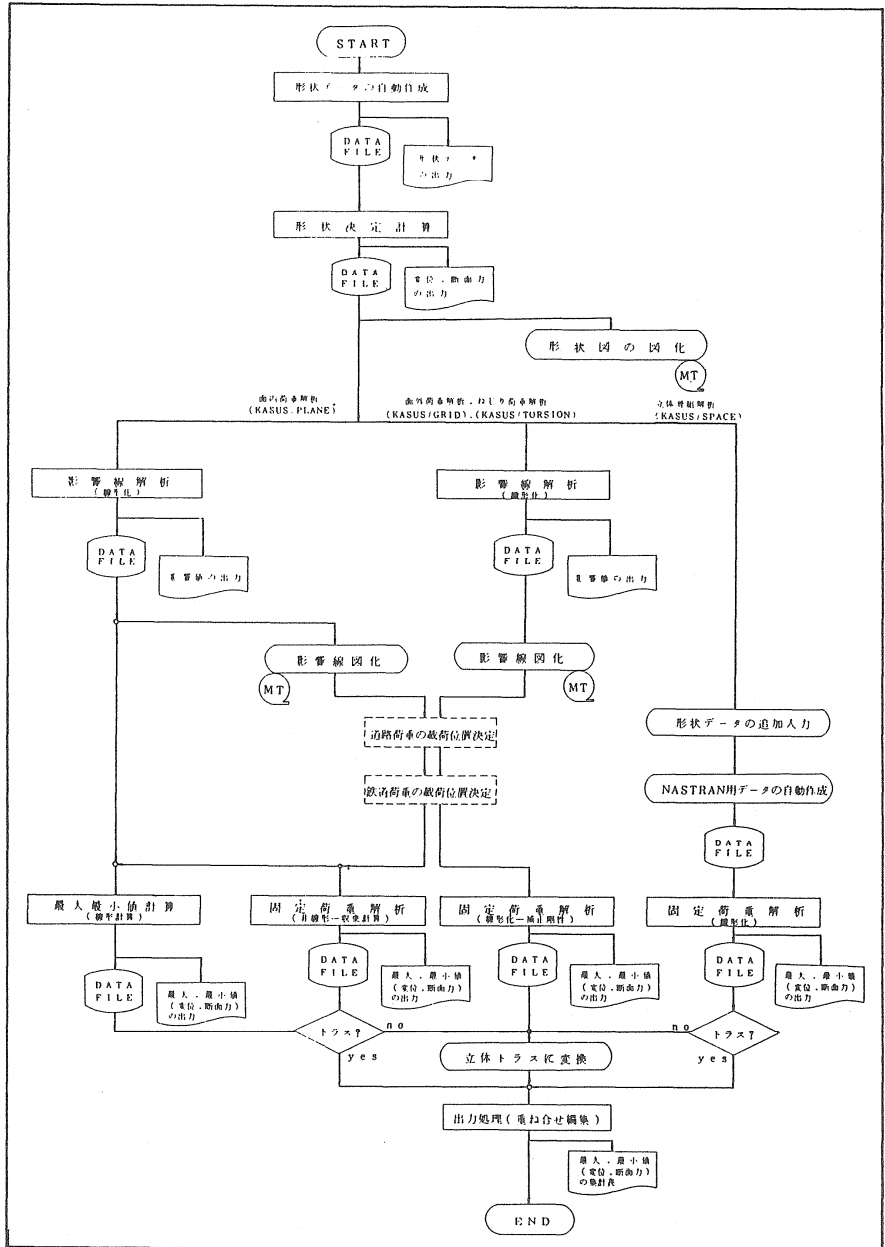


図-1 設計計算プログラムのフロー

のサブプログラムによって構成されている。4)~7)

(1) 形状データの自動作成

リナ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、吊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 形状データ

をKASUS/PLANEに適用し補剛桁、主塔の完成形状を基に、前死荷重下の補剛桁無応力状態の製作キャンパーに対応する形状、製作長に対応する無応力長、および、後死荷重下の有応力状態の形状、断面力等を自動的に決定できる。ただし、前死荷重下の形状を基準とする場合には、無応力形状、無応力長のデータは(1)で自動作成されている。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

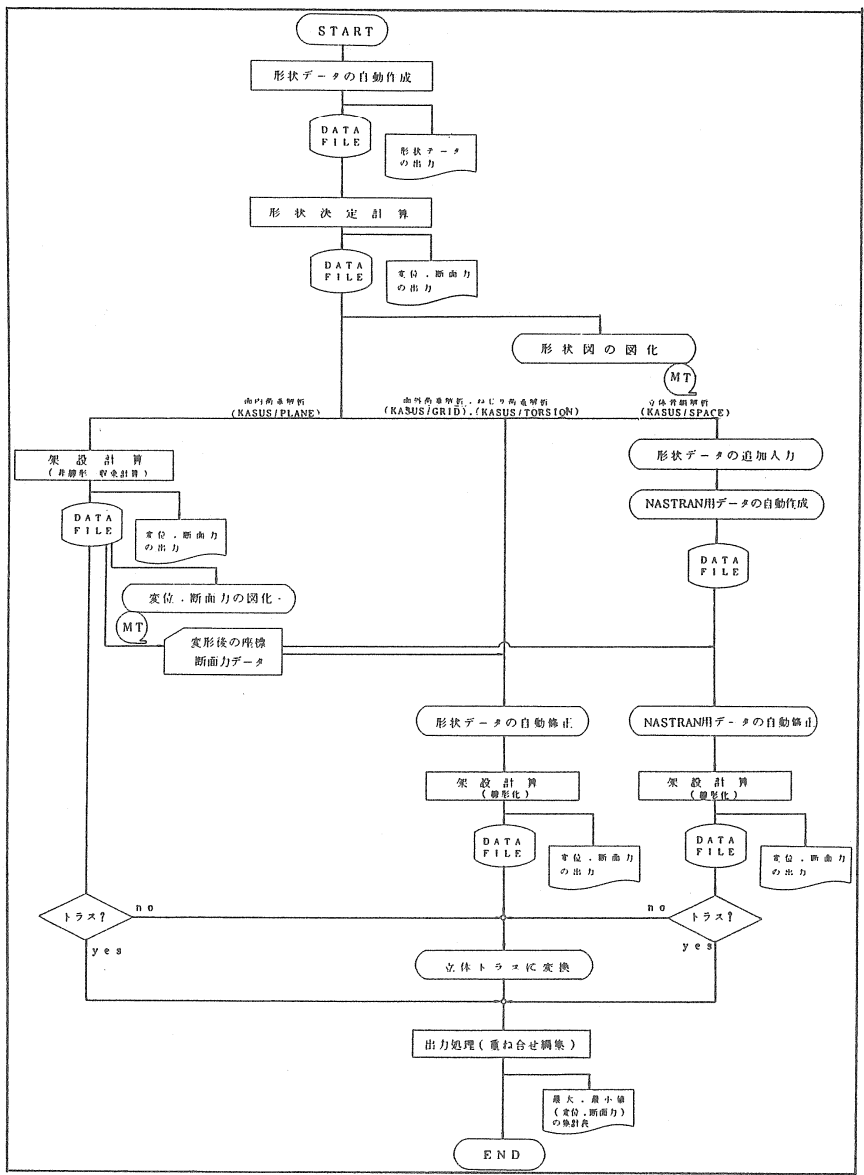


図-2 架設計算プログラムのフロー

とともに、KASUS/TORSION, GRID, および、SPACEにも自動的に受け渡される。

(3) 影響線解析

KASUS/PLANE, TORSION, GRIDにおいては、主構造(センターステイ、リンクを含む)の変位、断面力、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補剛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して最大最小値を計算できるようになっている。

(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、固定荷重解析を行うことができる。KASUS/PLANEでは、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て、増分法と反復法を合わせた混合法による収束計算により行われ、特有の幾何学的非線形問題である主ケーブルの2次応力を考慮した解析、および、非抗圧部材の処理も可能である。また、KASUS/TORSION, GRIDでは、ウラソフの薄肉理論によるものを拡張し、初期軸力を考慮したケーブル部材を導入できるようにした線形化有限変位解析法により行われ、梁のそり、ずれ変

形、ハンガー取付け点と補剛桁のせん断中心との偏心、および、主塔と補剛桁の連成挙動などを考慮した解析も可能である。さらに、KASUS/SPACEでは、PLANEにより自動的に受け渡された座標、初期軸力データに立体骨組特有のデータを追加することによって、汎用プログラムNASTRAN用のデータデックが自動的に作成され、魚骨、および、立体トラスモデルを対象に解析が可能である。

(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、KASUS/PLANEでは、各架設ステップの計算を行え、架設系において考慮される支点、ヒンジ等の追加、除去、節点、部材の除去なども容易であり、変位、断面力の計算結果を図化することが可能である。また、補剛桁、主塔の無応力形状、主ケーブル、ハンガーの無応力長、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、KASUS/TORSION, GRID、および、SPACEでは、PLANEで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、主ケーブル、ハンガー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、節点、部材の除去、および、荷重、断面諸量等の変更が同様に容易に可能である。

(7) 出力処理(重ね合せ、編集) 上述の(4)、(5)、(6)で計算された変位、断面力、および、反力等は、まず、解析モデルが梁モデルの場合には、補剛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、鉄道橋設計におけ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、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バ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たものであり、図-3に示すような要領で吊橋の施工管理を実施することを想定して開発したものである。ただし、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、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当然、容易に適応できる。

#### (1) 主ケーブル温度測定と応答解析

主ケーブルの内部平均温度の推定は、新たに開発したFEMによる非定常温度応答解析プログラムによって行われる。この解析法によれば測定は、表面温度の測定(1断面4点、48hr以上)のみでよく、熱電対およびタイマー機能付きの自動静歪計による方法を想定している。ただし、事前に複数回のキャリブレーション測定における主ケーブルのサグの変化量との相関から、断面の熱拡散率を算定しておく必要がある。

#### (2) 各管理項目の管理値の計算方法

各施工管理項目の管理値は大型電算機のオンライン使用によって設計支援システムにおける

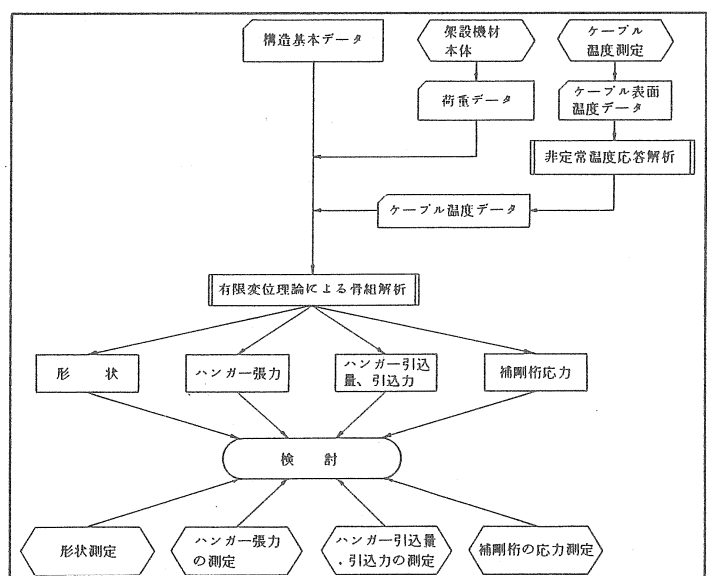


図-3 施工管理要領

架設計算プログラムを応用して計算され、各架設ステップの管理時における架設部材状況、仮設機材の位置、重量等の確定情報をリアルタイムで処理できる。すなわち、本システムでは、変更を生じたデータのみを転送すれば、あらかじめ準備された構造基本データ、荷重データが自動的に修正され、有限変位理論による非線形骨組解析を実行できるようになっている。また、求められた計算結果については、必要最小限のものがデータ転送されディスクに収納されるようになっている。なお、ハンガーの引込力、引込量の管理値の計算は、間接引込工法、および、多点同時引込みの直接引込工法のどちらの場合にも対応できる。

(3) 各管理項目の実測値の測定方法 主ケーブルのサグ、補剛桁の縦断線形、および、主塔の倒れ量などの形状測定は、レーザー式変位計（発振器、受光器）の読取り値をマイコンに手入力することを想定している。また、引込み済みの既設ハンガーの張力の測定は、加速度計の記録をAD変換ボードを介して自動入力し、マイコン内でFFT処理することにより振動法によって、および、補剛桁の応力測定は、ひずみゲージによる自動静歪計の記録をGP-IBボードを介して自動入力し、応力値に変換することによって、それぞれ行うことを想定している。そして、これらの形状、張力、および、応力の実測値は、測定時の主ケーブルの内部平均温度の算定値と各管理項目の温度に対する影響計算値から、設計標準温度状態での諸値に自動換算されるようになっている。さらに、引込み中のハンガーの引込量、および、引込力の測定は、ロータリーエンコーダの記録を専用ボードを介して、および、直接圧力変換器による自動静歪計の記録をGP-IBボードを介して、それぞれマイコンに自動入力し換算することを想定している。

(4) 主ケーブル温度、施工管理結果の図化 主ケーブル温度、施工管理結果は、X-Yプロッタ、および、マイコン画面のハードコピーによって図化され、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。すなわち、現状では、主ケーブル温度については、外気温、ケーブル表面温度、内部平均温度の時間履歴図、および、ケーブル断面の要素分割図、温度分布図などが描画できるようになっている。他方、施工管理結果については、形状、ハンガー張力、補剛桁応力の管理値と実測値との比較図表、閉合時における形状管理図、FFT処理のスペクトル図、および、ハンガー引込み終了時での引込量、引込力の同様の比較図表、引込み中におけるジャッキのオペレーション用画面（作業中は随時ディスクに収納）などが描画できるようになっている。

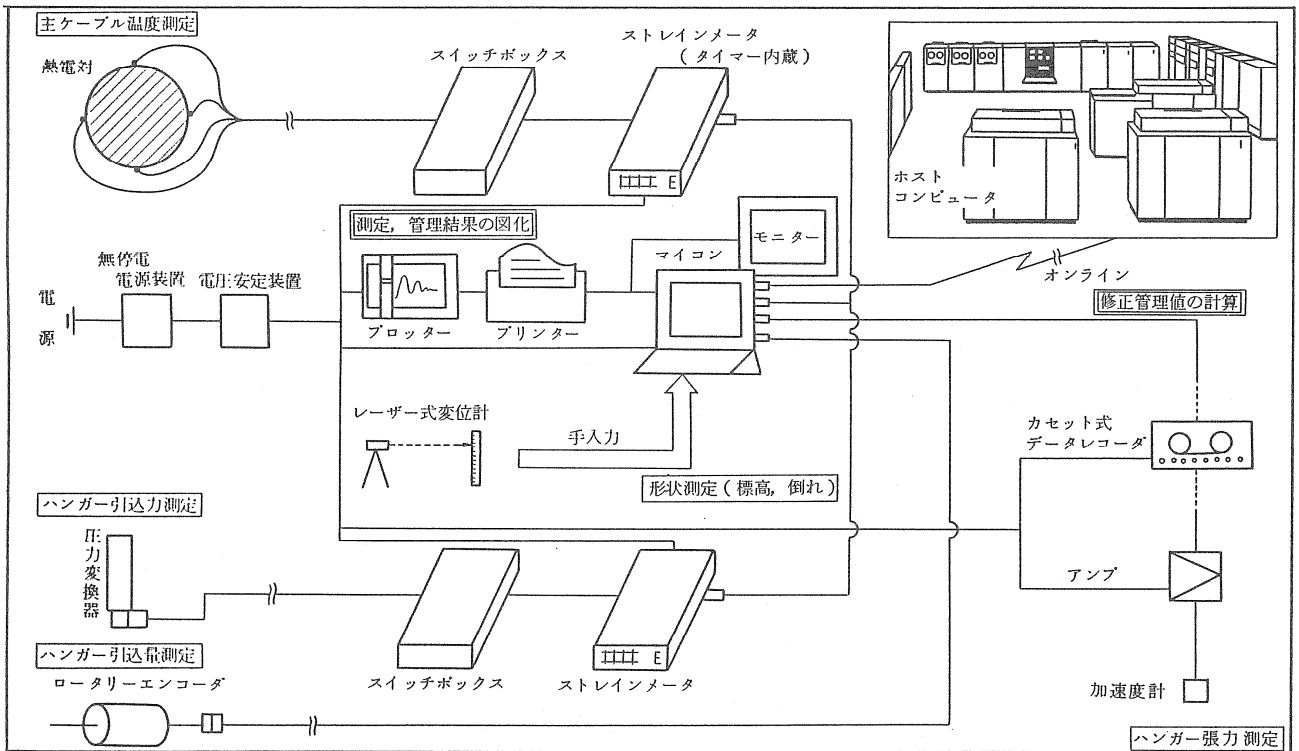


図-4 施工管理システム構築の一案

4. システムの使用実績 本システムが最初に長大吊橋に適用されたのは、本四連絡橋最初の吊橋で、完成時東洋一であった因島大橋（支間割 250+770+250 m, 3 径間 2 ヒンジ吊橋, 1983 完成）であり、構成プログラム群のシステム化がほぼ完了した直後の旧バージョンが設計照査、および、現場施工管理に使用されている。その後、本四 D ルートの 3 吊橋の建設の本格化に伴って、各共同企業体から外注の形で依頼される計算業務にも使用され、JV の御指導もあって、前、後処理プログラムがより整備されたものが現在の最新バージョンである。特に、D ルート最大スパンを誇る南備讃瀬戸大橋（支間割 264+1100+264 m, 3 径間連続道路鉄道併用吊橋, 1988 完成予定）では、さらに、現場施工管理への適用も予定されている。

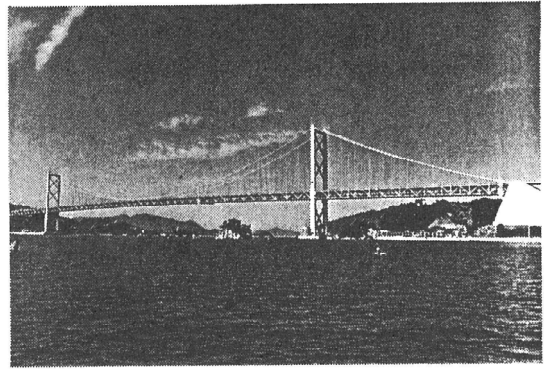


写真-1 因島大橋

#### 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吊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長 1,000 m の 3 径間連続・道路鉄道併用吊橋を対象とした図化結果の一部を図-6 ~ 15 に示す。ここに、図-6 は、形状決定結果を、一方、図-7 は、立体トラスモデルの形状図を、それぞれ示したものである。また、図-8, 9 は、ある着目部材の影響線図、最大最小値計算の集計表を示したものであり、図-9, 10 は、各架設系における補剛桁変位図、ハンガー張力図を示したものである。さらに、図-11, 12, および、図-13, 14 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、疲労時断面力集計表を示したものである。これらの図は成果品として設計計算書にそのまま使用でき、データ作成、解析から編集まで一貫処理できることなども考えれば、本システムは使用性および経済性の極めて高い吊橋の設計支援システムであるといえる。

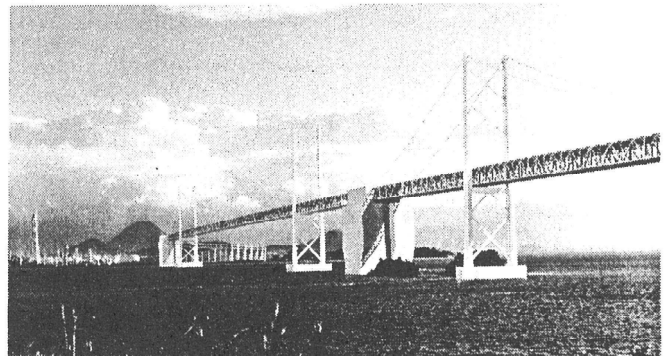


写真-2 南備讃瀬戸大橋

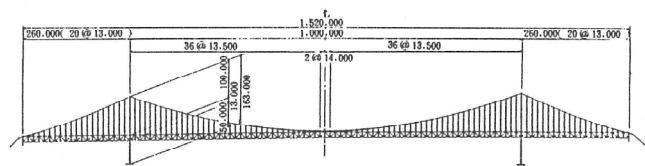


図-5 一般図

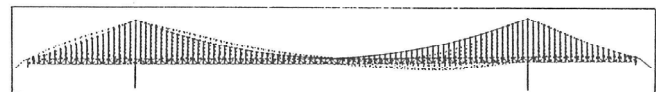


図-6 形状決定

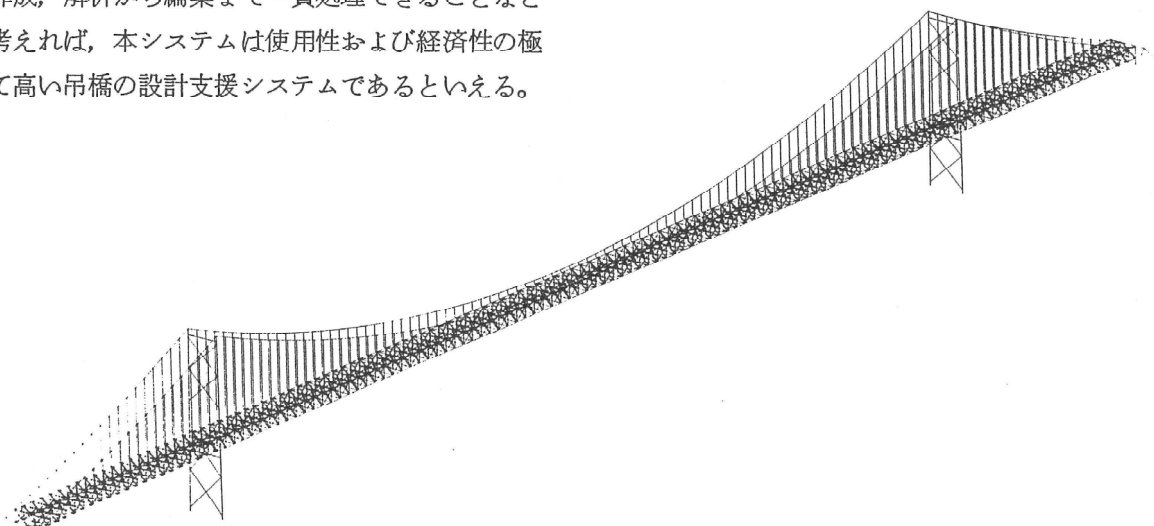


図-7 立体トラスモデルの形状図

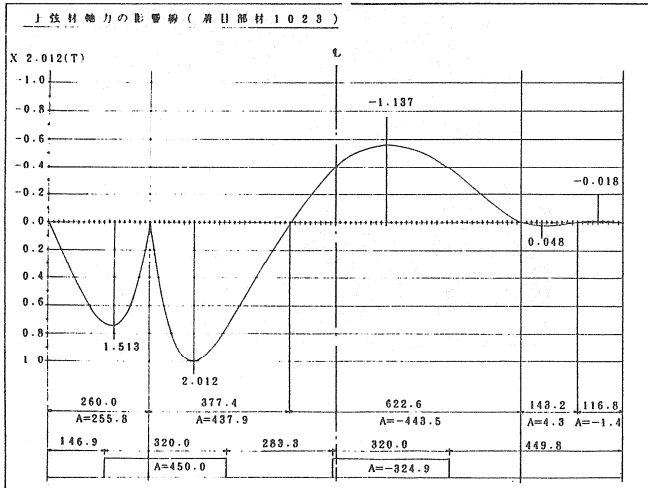


図-8 影響線図

主橋 上弦材軸力 (単位 t)

最終完成系

測点	合計		プラス 最大値			マイナス最大値		
	Hmax	Hmin	L(H)	LZ(R)	LS(R)	L(H)	LZ(R)	LS(R)
1010	1044.1	-1533.1	449.4	594.7	554.4	-529.6	-949.8	-1003.5
1014	1268.5	-1349.1	462.9	805.6	774.2	-471.8	-836.3	-877.3
1022	3389.7	-2270.7	1293.3	2096.5	1915.8	-816.7	-1454.0	-1383.1
1031	727.3	-965.6	328.5	398.8	389.6	-349.6	-582.9	-615.9
1035	895.2	-1351.4	370.8	528.4	499.8	-471.8	-832.5	-879.7
1039	993.4	-1498.7	378.0	615.5	582.6	-517.5	-929.0	-981.2
1043	982.8	-1495.5	353.8	629.0	599.6	-517.1	-928.6	-978.4
1049	864.1	-1384.5	299.7	564.4	546.9	-483.4	-852.8	-901.1
1055	703.4	-1290.3	265.2	438.2	436.0	-456.3	-789.4	-834.1
1061	540.8	-1253.3	250.5	279.9	290.3	-445.2	-764.8	-808.1
1066	704.4	-1293.2	264.6	439.8	437.5	-457.5	-791.0	-835.7
1072	858.4	-1390.1	297.3	561.1	543.7	-485.4	-856.3	-904.7
1078	966.6	-1501.8	347.9	618.7	589.8	-519.3	-932.7	-982.5
1082	971.6	-1502.2	369.8	601.8	569.6	-518.8	-931.1	-983.4
1086	879.6	-1350.4	363.3	516.3	487.6	-471.7	-831.7	-878.8
1090	724.7	-961.1	327.2	397.5	388.7	-348.6	-579.7	-612.5
1099	3412.3	-2218.2	1305.9	2106.5	1923.4	-796.0	-1422.2	-1353.7
1107	1265.9	-1353.3	461.5	804.4	773.1	-473.1	-835.1	-880.2
1111	1024.5	-1539.2	439.9	584.6	545.3	-531.3	-953.9	-1007.9

L(H) ---- 自動車  
LZ(R) ---- 夜来機  
LS(R) ---- 新幹線

図-9 最大最小値集計表

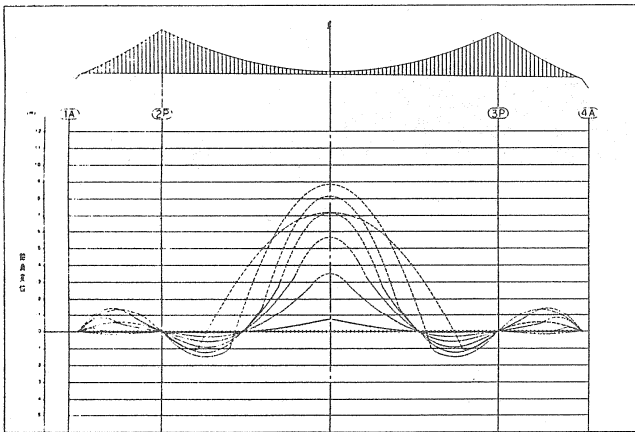


図-10 架設系の補剛桁変位図

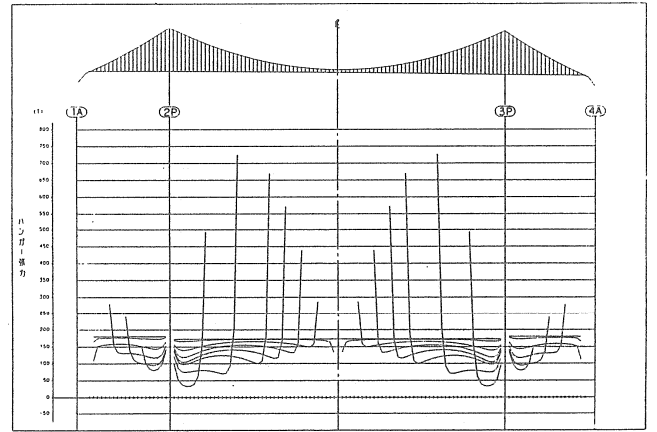


図-11 架設系のハンガー張力図

上弦材 軸力

測点番号	121	122	123	124	125	126	127	128
(+) 最大値	670.9	220.0	689.2	194.0	672.7	191.8	683.9	350.9
(-) 最大値	-2824.4	-2478.9	-2184.9	-1906.0	-1583.2	-1235.2	-746.1	-666.3
STEP1-1	---	---	---	---	---	---	---	---
STEP1-2	---	---	---	---	---	---	---	---
STEP1-3	---	---	---	---	---	---	---	---
STEP1-4	---	---	---	---	---	---	---	---
STEP2-1	202.4	---	---	---	---	---	---	---
STEP2-2	194.8	---	---	---	---	---	---	---
STEP2-3	193.6	---	---	---	---	---	---	---
STEP2-4	184.8	---	---	---	---	---	---	---
STEP2-5	183.2	---	---	---	---	---	---	---
STEP3-1-1	185.1	---	---	---	---	---	---	---
STEP3-1-2	187.0	---	---	---	---	---	---	---
STEP3-2-1	186.5	---	---	---	---	---	---	---
STEP3-3	186.0	---	---	---	---	---	---	---
STEP3-3	670.9*	-1.6	---	---	---	---	---	---
STEP3-C-1	311.5	-1.7	---	---	---	---	---	---
STEP3-C-2	44.1	-1.8	---	---	---	---	---	---
STEP4-S-1	4.6	-2.0	---	---	---	---	---	---
STEP4-S-1	594.5	195.3	198.1	---	---	---	---	---
STEP4-S-2	561.9	195.0	198.0	---	---	---	---	---
STEP4-C-1	185.1	-28.8	200.5	---	---	---	---	---
STEP4-C-2	-114.9	-202.5	194.9	---	---	---	---	---
STEP4-3	483.9	220.0*	689.2*	-1.3	---	---	---	---
STEP5-S-1	417.0	201.4	688.3	-1.4	---	---	---	---
STEP5-S-2	366.2	187.3	687.5	-1.5	---	---	---	---
STEP5-C-1	-37.6	-108.6	332.5	-1.8	---	---	---	---
STEP5-C-2	-350.7	-543.8	48.0	-1.9	---	---	---	---
STEP5-3	208.1	173.3	625.6	194.0*	196.3	---	---	---
STEP6-S-1	128.8	139.1	602.3	616.7	196.2	---	---	---
STEP6-S-2	67.5	112.7	584.3	193.5	196.1	---	---	---
STEP6-C-1	-286.3	-239.4	190.3	-51.4	199.9	---	---	---
STEP6-C-2	-595.4	-514.4	-126.6	-246.2	195.2	---	---	---
STEP6-3	99.2	-3.7	435.5	155.8	672.7*	---	---	---
STEP7-S-1	-227.0	-73.9	374.5	136.7	671.7	-1.3	---	---
STEP7-S-2	-316.9	-123.3	331.6	123.2	671.1	-1.4	---	---
STEP7-C-1	-817.7	-620.3	-226.8	-304.7	153.1	-1.7	---	---
STEP7-C-2	-1187.7	-986.8	-637.2	-616.8	-223.2	-1.9	---	---
STEP7-3	-744.9	496.7	-100.7	-147.0	317.1	191.8*	194.1	---
STEP8-S-1	-866.8	-578.2	-179.8	-186.2	287.3	191.5	194.0	---
STEP8-S-2	-955.9	-637.9	-237.6	-214.8	265.5	191.2	193.9	---
STEP8-C-1	-1301.4	-1016.7	-652.5	-590.4	-168.1	-131.1	206.8	---

図-12 架設時断面力集計表

記号の説明

102 J 自動車用吊り钩 LHV J 自動車用吊り钩(自動車)

104 J 夜来機用吊り钩 LNV J 夜来機用吊り钩(夜来機)

105 J 新幹線用吊り钩 LNV J 新幹線用吊り钩(新幹線)

106 J 吊钩(自動車) LNV J 吊钩(自動車)用吊り钩(自動車)

107 J 吊钩(夜来機) LNV J 吊钩(夜来機)用吊り钩(夜来機)

108 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

109 J 吊钩(夜来機-1) LNV J 吊钩(夜来機-1)用吊り钩(夜来機)

110 J 吊钩(夜来機-2) LNV J 吊钩(夜来機-2)用吊り钩(夜来機)

111 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

112 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

113 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

114 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

115 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

116 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

117 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

118 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

119 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

120 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

121 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

122 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

123 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

124 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

125 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

126 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

127 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

128 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

129 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

130 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

131 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

132 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

133 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

134 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

135 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

136 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

137 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

138 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

139 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

140 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

141 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

142 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

143 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

144 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

145 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

146 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

147 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

148 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

149 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

150 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

151 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

152 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

153 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

154 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

155 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

156 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

157 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

158 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

159 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

160 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

161 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

162 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

163 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

164 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

165 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

166 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

167 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

168 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

169 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

170 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

171 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

172 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

173 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

174 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

175 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

176 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

177 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

178 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

179 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

180 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

181 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

182 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

183 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

184 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

185 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

186 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

187 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

188 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

189 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

190 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

191 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

192 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

193 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

194 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

195 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

196 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

197 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

198 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

199 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

200 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

201 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

202 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

203 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

204 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

205 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

206 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

207 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

208 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

209 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

210 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

211 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

212 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

213 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

214 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

215 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

216 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

217 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

218 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

219 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

220 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

221 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

222 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

223 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

224 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

225 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

226 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

227 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

228 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

229 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

230 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

231 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

232 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

233 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

234 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

235 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

236 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

237 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

238 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

239 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

240 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

241 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

242 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

243 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

244 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

245 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

246 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

247 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

248 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

249 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

250 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

251 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

252 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

253 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

254 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

255 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

256 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

257 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

258 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

259 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

260 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

261 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

262 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

263 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

264 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

265 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

266 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

267 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

268 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

269 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

270 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

271 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

272 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

273 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

274 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

275 J 吊钩(新幹線) LNV J 吊钩(新幹線)用吊り钩(新幹線)

276 J 吊钩(新幹線)

タイトル 説明

CASE-1 D+L+1/50+E/1.00  
CASE-2 D+U+1/50+E/1.50  
CASE-3 D+U(L)+L(W)+1/1.35  
CASE-4 D+EQ+L(EQ)+1/50+E/1.50

断面力集計 (単位 Tonn)

上欄 下張材

断面番号	断面形状	二次完成時				最終完成時				
		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	
4001	H-MAX	2132	2021	937	1346	1105	2132	949	1428	1135
	H-MIN	757	843	803	758	757	814	819	759	767
4005	H-MAX	4963	4866	2807	3381	2657	4963	2787	3453	2663
	H-MIN	1266	1571	1283	1355	1648	1500	1266	1302	1621
4005	H-MAX	6126	6126	3863	4263	3336	6048	3737	4205	3234
	H-MIN	973	1239	1149	1170	1807	973	1025	973	1664
4007	H-MAX	6153	6153	4212	4288	3166	5705	3909	3956	2865
	H-MIN	-777	-183	257	138	1196	-777	-49	-302	872
4009	H-MAX	5205	5205	3984	3679	2352	4346	3419	3042	1792
	H-MIN	-3790	-2796	-1548	-1052	-231	-3790	-2099	-2588	-810
4011	H-MAX	3724	3724	3583	2803	1453	2868	3017	2169	890
	H-MIN	-4800	-3812	-2817	-2821	-1028	-4800	-3369	-3553	-1607
4013	H-MAX	2679	2335	2679	1878	951	1864	2363	1530	636
	H-MIN	-2965	-2419	-2149	-1913	-661	-2965	-2459	-2316	-981
4015	H-MAX	1963	1315	1963	1165	530	1120	1828	1021	397
	H-MIN	-1837	-1593	-1704	-1385	-461	-1834	-1837	-1564	-599
4017	H-MAX	1357	1030	1357	910	311	1062	1363	936	503
	H-MIN	-1332	-1232	-1319	-1089	-365	-1274	-1332	-1120	-382
4020	H-MAX	1145	1029	497	734	197	1145	750	820	252
	H-MIN	-1199	-1199	-803	-889	-345	-1187	-741	-880	-297
4023	H-MAX	1511	1313	227	745	210	1511	308	892	296
	H-MIN	-1286	-1286	-383	-767	-315	-1180	-301	-689	-239
4027	H-MAX	1770	1577	493	979	323	1770	567	1121	403
	H-MIN	-1422	-1422	-631	-906	-371	-1324	-557	-833	-303
4030	H-MAX	1787	1595	773	1103	349	1787	844	1245	433
	H-MIN	-1453	-1453	-908	-1016	-401	-1397	-833	-974	-336
4034	H-MAX	1793	1594	1057	1189	376	1793	1129	1336	459
	H-MIN	-1391	-1391	-1183	-1078	-399	-1337	-1110	-1038	-336

図-14 設計断面力集計表

記号の説明

TRZ : 上張材の断面力  
TRK : KS-16鋼索の断面力  
TRS : 鋼材組立部の断面力

上欄 下張材

疲労力の照査 D+L(E) (単位 Tonn)

一次完成時

最終完成時

断面番号	断面形状	一次完成時			最終完成時		
		TRZ	TRK	TRS	TRZ	TRK	TRS
4001	H-MAX	1570	1630	1370	1626	1684	1436
	H-MIN	1210	1210	1339	1216	1236	1354
4005	H-MAX	3626	3349	3626	3648	3340	3648
	H-MIN	2807	2807	3146	2738	2788	3115
4005	H-MAX	4388	4144	4388	4243	3953	4243
	H-MIN	3349	3349	3070	3084	3172	3081
4007	H-MAX	3874	3874	3819	3450	3422	3393
	H-MIN	2776	2776	3484	2221	2298	3030
4009	H-MAX	2530	2530	2114	1735	1679	1269
	H-MIN	1030	1030	2029	119	137	1181
4011	H-MAX	1242	1242	783	439	391	-66
	H-MIN	-155	-155	783	-1046	-1028	-66
4013	H-MAX	783	783	326	329	311	33
	H-MIN	-37	-37	326	-548	-520	53
4015	H-MAX	374	374	269	179	174	67
	H-MIN	-79	-79	269	-314	-287	67

図-15 疲労断面力集計表

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吊橋の施工管理に適用した仮想適用例として、同様に図化結果の一部を図-16~22に示す。ここに、図-16, 17は、想定したある架設ステップにおける主ケーブルの内部平均温度の推定に関するFEM要素分割図、温度分布図(等温線図)を示したものであり、図-18, 19は、補剛桁形状の管理値と実測値の比較図、閉合時での形状管理図を、それぞれ示したものである。また、図-20, および、図-21, 22は、それぞれ、ハンガー張力測定でのFFT処理のスペクトル図、および、ハンガー引込中、ジャッキ盛替中でのオペレーション用画面を示したものである。したがって、これらの図からは、本システムの適用によって、精度および安全管理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得られることがわかり、システム操作の容易さなども考えれば、使用性および経済性の極めて高い吊橋の施工管理システムになり得るものであるといえる。

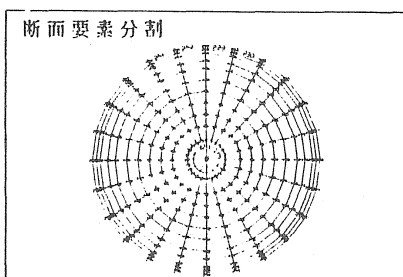


図-16 主ケーブル要素分割図

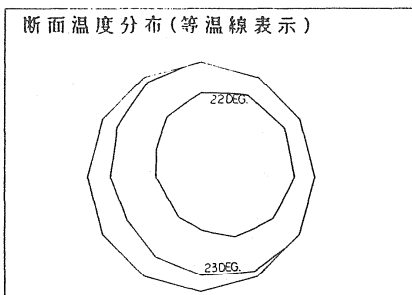


図-17 主ケーブル温度分布図

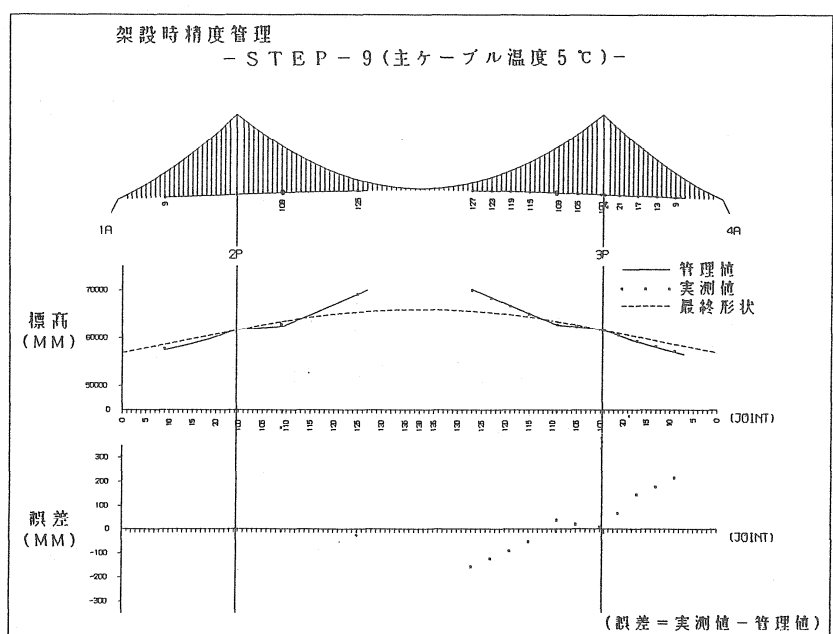


図-18 補剛桁形状の管理値と実測値の比較図

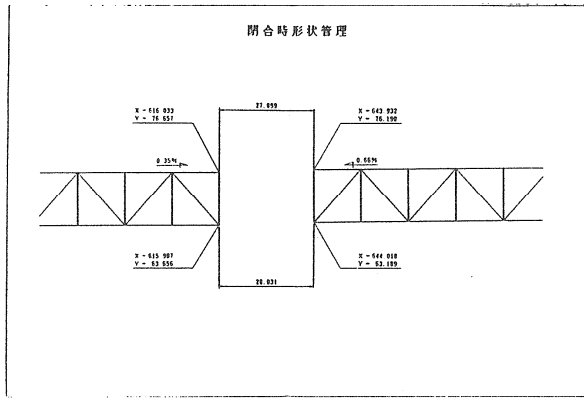


図-19 閉合時の形状管理図

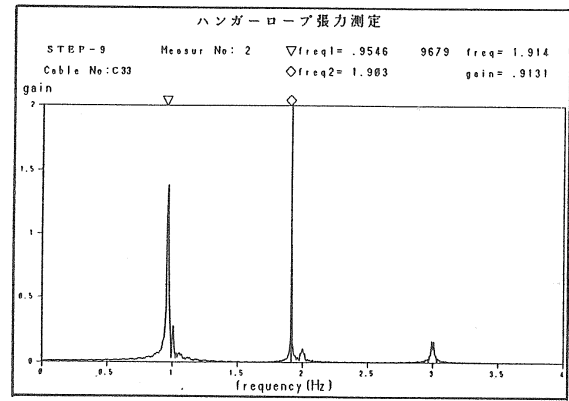


図-20 ハンガー張力測定のスペクトル図

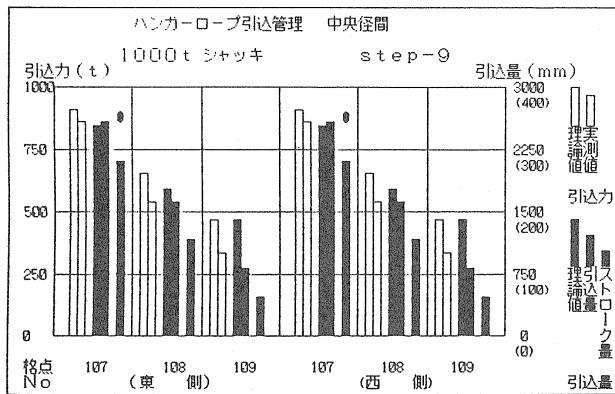


図-21 引込中のハンガー引込管理図

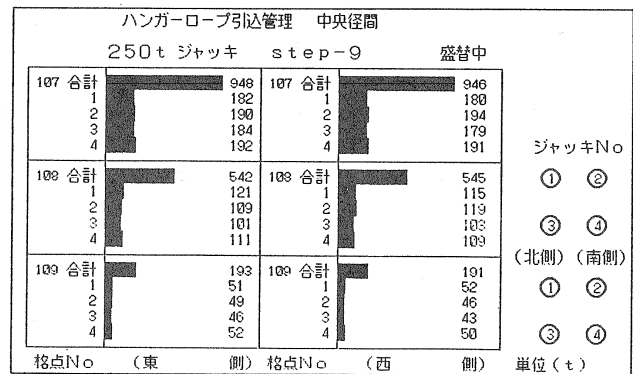


図-22 盛替中のハンガー引込管理図

## 7. あとがき

以上、現状での最新バージョンについて報告した。このようなシステムは、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、例えば、施工管理システムにおける形状測定の自動化などは既に実用段階にあり各所で導入が検討されている。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る。

【参考文献】 1)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“KASUS”，橋梁，vol.18，№12，1982，vol.19，№1，1983． 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，川田技報，vol.3，1983． 3)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，№5，1985～（9回連載）． 4)前田・林・前田：主ケーブルの2次応力を考慮した吊橋の有限変位解析，土木学会論文報告集，№315，1981． 5)三品・野村・中崎・前田：主ケーブルの2次応力による長大吊橋の架設誤差問題と解析法，橋梁と基礎，vol.15，№11，1981． 6)三品・野村・中崎・前田：吊橋主ケーブルの2次応力による補剛桁架設誤差問題と解析法，川田技報，vol.3，1983． 7)野村・中崎・内海・木村：塔の3連成ばねを考慮した吊橋面外解析，川田技報，vol.4，1985． 8)大地・前田・藤井：有限要素法による吊橋主ケーブル温度応答解析法，第13回JSSCマトリクス解析法研究発表論文集，1979． 9)三品・中崎・前田・藤井：主ケーブル温度推定誤差による長大吊橋の架設誤差問題と解析法，橋梁と基礎，vol.13，№9，1979． 10)三品・中崎・前田：吊橋の主ケーブル温度推定誤差による補剛桁架設誤差問題と解析法，川田技報，vol.2，1981． 11)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．