

【システム解説】

鋼桁引出し架設時の断面力および図化システム

Computing and Drafting Program System for Design of Steel Bridges
by Extrusion Erection Method

水口 康 仁*
Yasuhito MIZUKUCHI

渡辺 潔**
Kiyoshi WATANABE

前田 研 一***
Ken-ichi MAEDA

西 土 隆 幸****
Takayuki NISHIDO

浦井 正 勝*****
Masakatsu URAI

深尾 忠 弘*****
Tadahiro FUKAO

1. まえがき

最近、テフロン板等の滑り支承を用いた鋼桁の引出し架設が目ざましい勢いで増加している。これは地域的な制約もあるが、工期的にも安全かつ短期間で架設が行なえることが大きな特色となっているからである。この工法は桁を滑り支承の上にセットし、PC鋼棒等を桁の下フランジに取り付け水平ジャッキで桁を引出すものであり、滑り支承の摩擦係数が非常に小さいので小さな水平力で引出しが可能となる。しかし、引出し架設では構造系が連続的に変化するため完成系に基づく設計とは別に各架設ステップ毎の断面力を計算し、応力検討を行なう必要がある。そのため、従来の骨組計算プログラムを用いて計算する場合、毎回構造データを変更し、設計を繰り返すので、ばう大な計算量となる。また、応力検討を行なうために全架設ステップの断面力より計算に必要な値を拾い出さなければならない。

そこで、これらの煩雑な作業を解決するために引出し架設専用のプログラムをマイコンで作成し、先に報告した^{1),2)}。しかし、マイコンを用いることにより任意架設ステップの断面力等を連続的に簡単に計算でき、現場事務所などにも設置可能となるが、架設ステップ数が多くなるとマイコンの性能上から計算時間も長くなってしまいうという長所、短所をそれぞれ持ち合わせている。

今回は、さらにマイコンの短所を補うために大型計算機を用いて計算時間の大幅な短縮を行ない、図化機能も加えたプログラムを作成した。同時に架設時の各支点的反力、たわみ角および水平ジャッキの水平力の測定を行ない、必要があるときには調整、ストッパーの作動、検討などが行なえるようなマイコンを用いた施工管理シス

テムも開発したのでこれらを合わせて報告する。

2. 大型計算機による引出し架設プログラムの特色

(1) 断面力計算プログラム

マイコンを用いた鋼桁引出し架設時の断面力計算プログラムの特色は

- 1) 各架設系の支点的位置、取り付け部材を入力すれば桁に作用する断面力および変位を簡単に計算できる。
- 2) 各支点的位置が最初に設けた節点以外にくる場合には自動的に節点を新たに作り断面力の計算が行なえる。
- 3) 各架設ステップの各支点的反力のみの出力が可能で反力の検討が容易にできる。
- 4) 製作キャンバーを考慮できる。
- 5) 強制変位を入力できる。
- 6) ヒンジ結合が考慮できる。
- 7) 架設時の最大断面力を求められる（曲げモーメント、せん断力の場合には最小値も）。
- 8) カウンターウエイトを考慮できる。
- 9) 架設時の最大断面力の入力によって腹板の座屈の検討がDIN4114で行なえる。

であり、計算方法は変形法による骨組解析である。なお、1)では、完成系の構造データを作成しておいて架設ステップが変わる度に支点的位置と取り付け部材のデータを入力すればよくデータの省力化が図れる。4)では製作キャンバーに応じて支点的高を決定することができ、標高も求められるので5)と合わせて現場施工管理にも対応できる。

さらに今回作成した大型計算機によるものでは、

- 10) 1)では架設ステップが変わる度に支点的位置、取り付け部材のデータを入力したが、これらの全架設ス

* 川田工業(株)富山本社工務部計画課課長 ** 川田工業(株)富山本社工務部計画課 *** 川田工業(株)技術本部中央研究室室長 **** 川田工業(株)技術本部中央研究室 ***** 川田工業(株)技術本部電算センター ***** (株)システムエンジニアリング開発部開発課課長

テップのデータを1度に入力しておいて断面力を計算し、応力検討に必要な断面力を拾い出せる。

- 11) 9)では腹板の座屈検討をD I N4114のみによったが、Dat012³⁾を加えた両者で自動的に行なえる。
- 12) 腹板の座屈検討に関してさらに必要があれば、NAS-TRANを用いた座屈解析も自動的に行なえる。
- 13) 主桁が箱桁断面の場合には上下フランジの縦補剛材必要剛度の検討も自動的に行なえる。
- 14) 計算における制約条件は、現状は、
径間数 ≤ 10
架設ステップ数 ≤ 200
変断面数 ≤ 100
部材数 ≤ 300
であるが、制約はほとんどないとしてよい。

- 15) 漢字出力も可能である。

の機能を有しており、多数の架設ステップの引出し架設の計算の処理がトータル的に短時間に行なえる。

(2) 図化システム

全架設ステップの計算が終了したら図化が行なえるが、その機能は以下のようである。

- 1) 架設ステップ図を描くことができ、その図には各支点の反力値も示している。
- 2) 任意架設ステップの変形図が描け、たわみ図の他に、支点高、キャンバーを考慮した標高が描ける。
- 3) 任意架設ステップの断面力図(せん断力、曲げモーメント)および全架設ステップの断面力(反力、せん断力、曲げモーメント)を重ねて描くことができ、部分的に拡大もできる。
- 4) 全架設ステップの断面力(反力、せん断力、曲げモーメント)の最大あるいは最小(せん断力、曲げモーメント)の値を結んだ包絡線が描ける。

3. 計算例および図化例

(1) 計算例と出力結果

計算例に用いた橋の最終架設ステップのスケルトンを図-1に示す。また、入力データおよび出力結果を図-2、-3に示す。

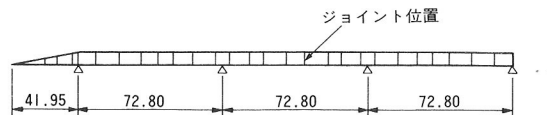


図-1 全架設ステップ終了後のスケルトン(単位m)

計算例では全架設ステップ数は14であり、各架設ステップで求めた断面力より反力では最大値、せん断力、曲げモーメントでは最小値、最大値を各節点について拾い出して、それを集計表として出力している。この値を

TEST BRIDGE

-----入力データ-----

全節点数	38
全ジョイント数	30
最大支点数	5
材料定数変換数	37
完成系スパン数	3
手延べ桁全長(m)	41.500
完成系桁張り出し長左(m)	.450
完成系桁張り出し長右(m)	.450
全ステップ数	14

スパン	スパン長(m)
1	72.800
2	72.800
3	72.800

節点番号	座標(m)	要素番号	節点番号	材料番号
1	.000	1	1	2
2	6.000	2	2	3
3	18.000	3	3	4
4	24.000	4	4	5
5	41.500	5	5	6
6	46.950	6	6	7
7	49.750	7	7	8
8	55.650	8	8	9
9	60.650	9	9	10
10	83.150	10	10	11
11	87.850	11	11	12
12	93.750	12	12	13
13	96.550	13	13	14
14	102.950	14	14	15
15	108.150	15	15	16
16	112.850	16	16	17
17	116.650	17	17	18
18	121.850	18	18	19
19	126.650	19	19	20
20	130.150	20	20	21

(抵抗モーメント、抵抗せん断力、必要剛度、検計用データ)

材料番号	Y (m)	Y I (m)	ウエブの板厚(m)	ウエブ間隔(m)	横補剛材間隔(m)	材質
1	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
2	1.550	1.450	.018	2.900	3.000	SM50Y
3	1.550	1.450	.025	3.000	3.550	SM50Y
4	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
5	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
6	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
7	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
8	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
9	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
10	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
11	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
12	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
13	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
14	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
15	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
16	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
17	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
18	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
19	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
20	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41

28	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
29	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
30	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
31	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
32	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
33	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
34	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
35	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
36	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41
37	1.550	1.450	.011	2.400	2.850	SS41

(腹板座屈用データ)

材料番号	溶接サイズ(m)	反力作用値(m)	縦リブ間隔(m)	不均等係数	Dat1の場合の 荷重位置	区画数
1	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
2	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
3	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
4	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
5	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
6	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
7	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
8	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
9	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
10	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
11	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
12	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
13	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
14	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
15	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
16	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
17	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
18	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
19	.0060	.600	1.400	1.000	II	5
20	.0060	.600	1.400	1.000	II	5

図-2 入力データ

用いて抵抗せん断力、抵抗曲げモーメント、縦補剛材必要剛度、腹板の座屈等の検討を行なっている。

なお、計算例の計算時間は当社所有のUNIVAC-1100/70を用い約30秒であった。

----- 集計表 -----

(最大反力)

節点番号	座標(m)	ステップ番号	反力(t)	せん断力(t)	曲げモーメント(tm)
1	0.000	1	.000	.000	.000
2	1.000	3	22.985	22.604	-1.191
3	6.000	1	.000	-2.291	-6.872
4	18.000	1	.000	-8.267	-70.218
5	20.000	9	50.884	41.370	-57.998
6	24.000	1	.000	-12.007	-131.038
7	32.000	4	77.685	56.339	-264.451
8	40.000	1	122.401	91.715	-472.584
9	41.000	5	103.318	71.463	-503.854
10	41.500	1	.000	89.964	-336.325
11	41.950	14	99.138	65.823	-534.722
12	46.950	1	.000	79.336	125.016
13	49.750	1	.000	73.876	339.513
14	55.650	1	.000	62.371	741.442
15	60.650	1	.000	52.621	1028.922
16	73.800	7	199.664	104.241	-2584.878
17	83.150	1	.000	8.746	1719.302
18	87.850	1	.000	-419	1758.870
19	92.800	9	158.559	-81.589	-1045.539
20	93.750	1	.000	-11.924	1702.459

(負の最大曲げモーメント)

節点番号	座標(m)	ステップ番号	反力(t)	せん断力(t)	曲げモーメント(tm)
1	0.000	7	.000	.000	.000
2	1.000	3	22.985	22.604	-1.191
3	6.000	1	.000	-2.291	-6.872
4	18.000	1	.000	-8.267	-70.218
5	20.000	9	50.884	41.370	-57.998
6	24.000	1	.000	-12.007	-131.038
7	32.000	4	77.685	56.339	-264.451
8	40.000	1	122.401	91.715	-472.584
9	41.000	5	103.318	71.463	-503.854
10	41.500	2	.000	-32.438	-519.927
11	41.950	14	99.138	65.823	-534.722
12	46.950	2	.000	-43.065	-725.073
13	49.750	2	.000	-48.525	-853.900
14	55.650	2	.000	-60.030	-1174.140
15	60.650	2	.000	-69.780	-1498.666
16	73.800	2	195.820	100.398	-2584.878
17	83.150	2	.000	82.165	-1731.397
18	87.850	2	.000	73.000	-1366.758
19	92.800	9	158.559	-81.589	-1045.539
20	93.750	9	.000	75.118	-973.298

(版板座屈の検討) Dast

パネル番号 70
材料番号 1
最大反力位置(m) 139.950

----- 入力データ -----

曲げモーメント(tm) -243.949
せん断力(t) 38.353
反力(t) 60.798
断面係数(上)(cm³) 51064.5
断面係数(下)(cm³) 54586.2
ウェブ厚(cm) 1.1
下フランジ厚(cm) 1.5
溶接サイズ(cm) .6
反力作用幅(cm) 60.0
縦リブ間隔(cm) 140.0
材質 SS41
荷重の種類 H
区画 高さ(cm)
1 42.000
2 66.000
3 84.000
4 66.000
5 42.000

----- 計算結果 -----

	1	2	3	4	5
σ_u (kg/cm ²)	-317.5	-114.0	144.9	348.3	477.7
σ_l (kg/cm ²)	-446.9	-317.5	-114.0	144.9	348.3
τ (kg/cm ²)	116.2	116.2	116.2	116.2	116.2
σ_r (kg/cm ²)	921.2	578.2	238.8	94.4	32.8
K b	4.640	5.756	23.900	23.900	23.900
K q	5.700	6.229	6.780	6.229	5.700
K r	1.061	1.642	2.992	2.439	1.948
R 0 (kg/cm ²)	1302.5	527.5	325.6	527.5	1302.5
σ_{br} (kg/cm ²)	6043.7	3036.4	7782.6	12606.3	31130.3
τ_{qr} (kg/cm ²)	7424.4	3285.6	2207.8	3285.6	7424.4
σ_{rr} (kg/cm ²)	1382.1	866.0	974.1	1286.7	2536.9
$\sigma_{rr'}$ (kg/cm ²)	2072.7	1064.0	656.0	896.5	1230.1
安全率	1.18	1.08	1.79	2.40	3.26

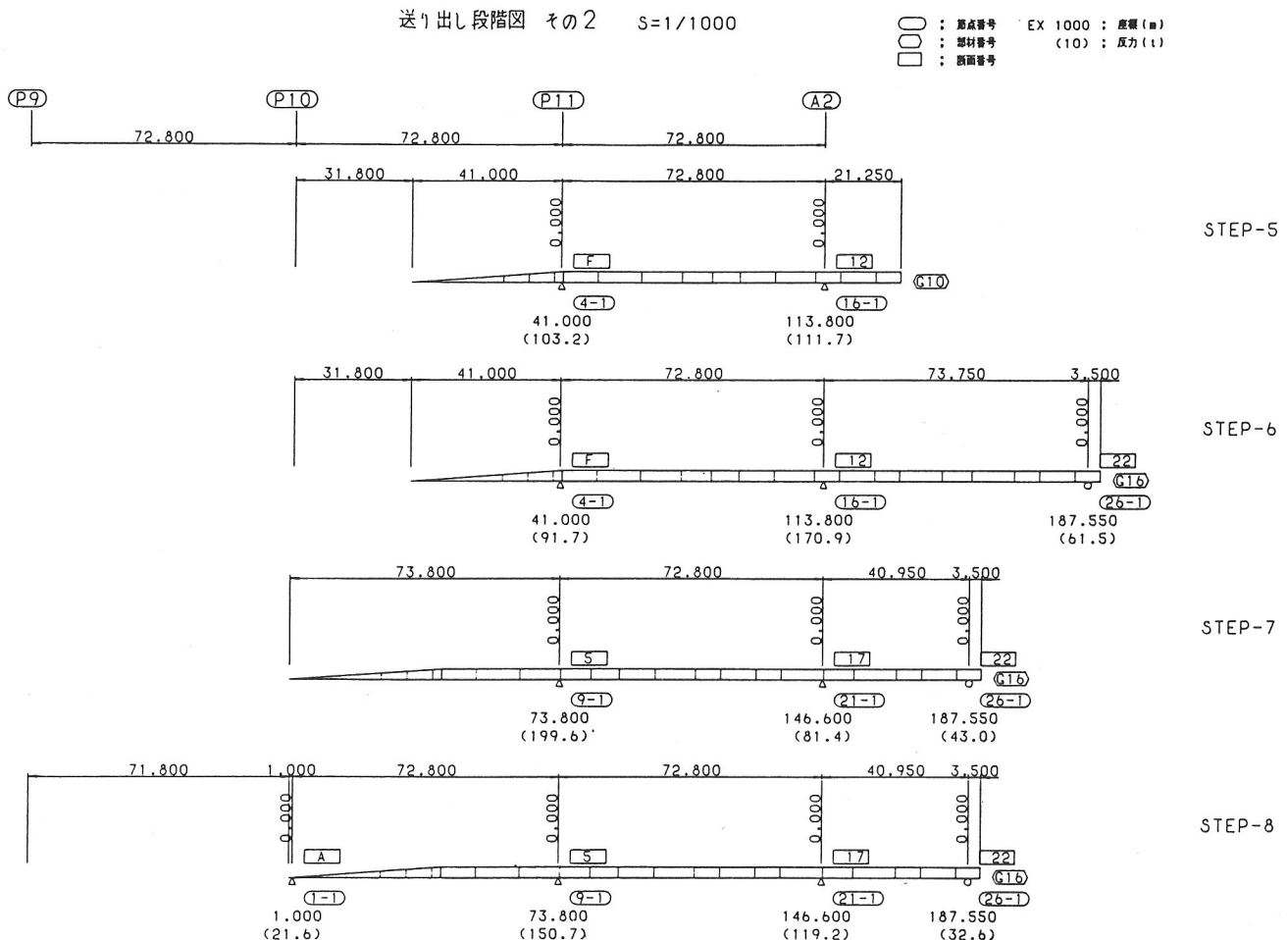
図-3 出力結果

(2) 出力結果の図化例

図-4~9に図化例を示す。

図-4は架設ステップ図であり、各架設ステップの各

支点反力を同時に示してある。図-5は任意ステップの変形図である。この例では省略したが、製作キャンバーを考慮した場合の標高も描け、施工管理にも利用できる



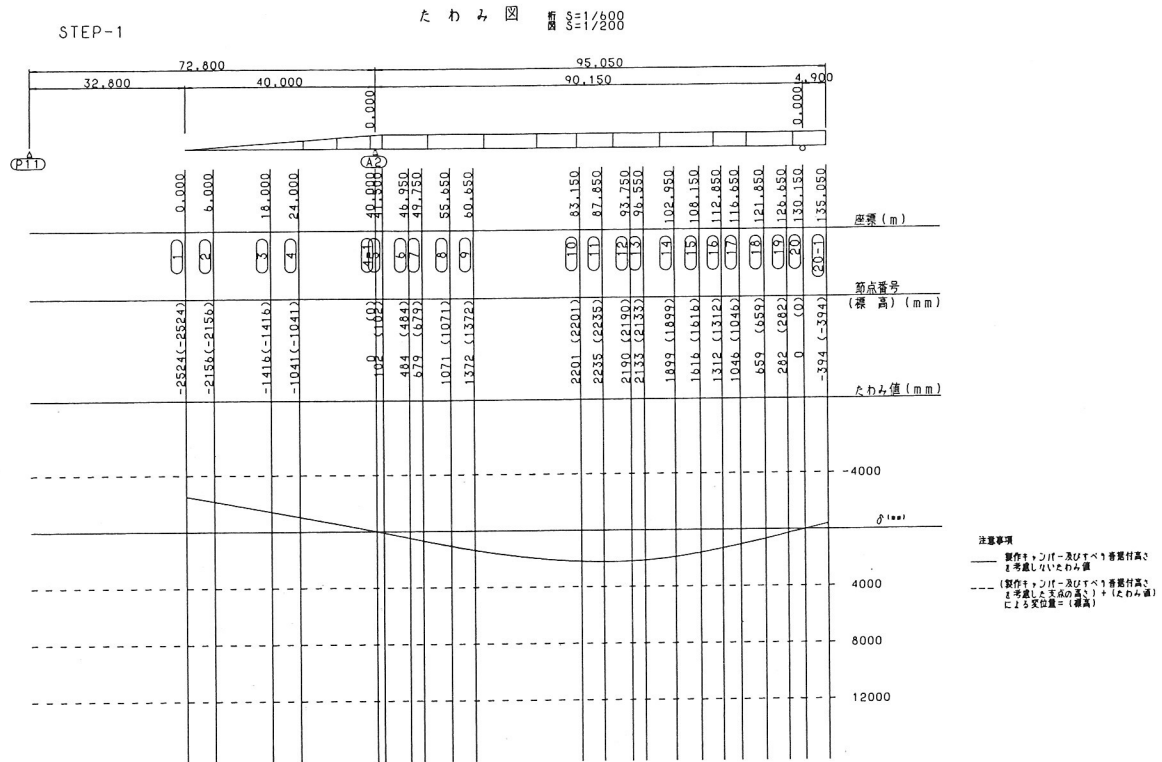


図-5 変形図

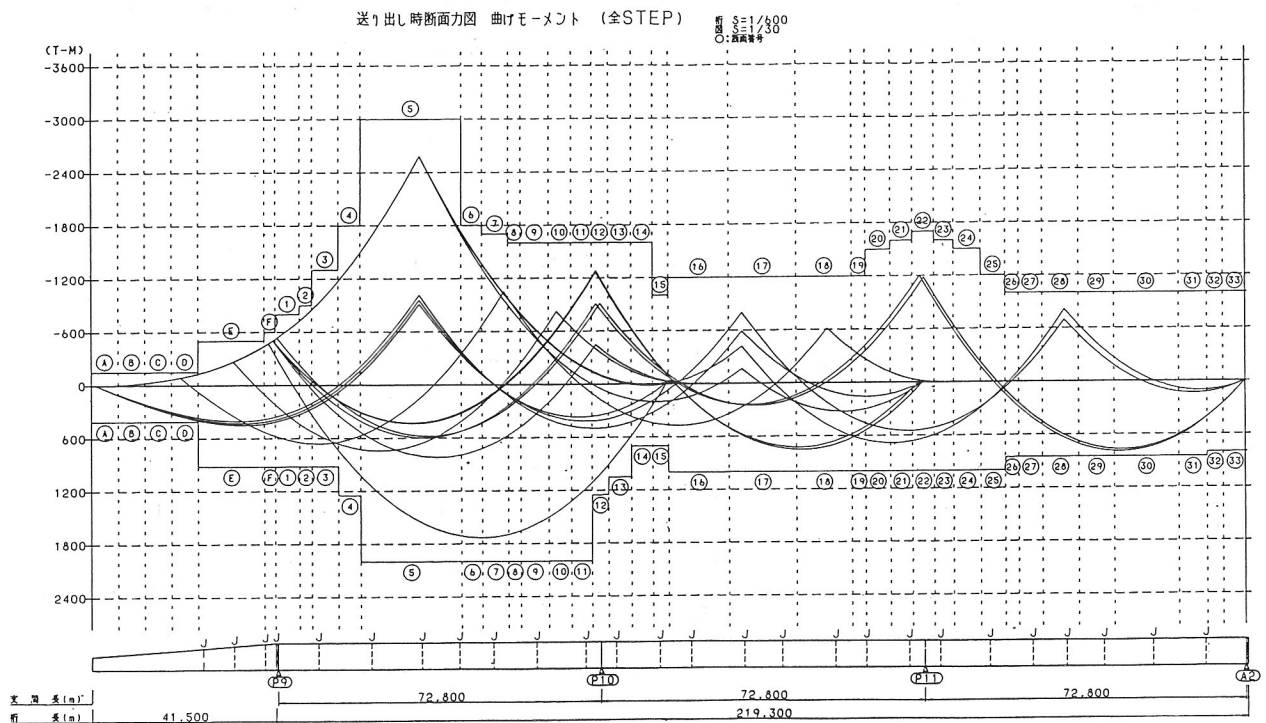
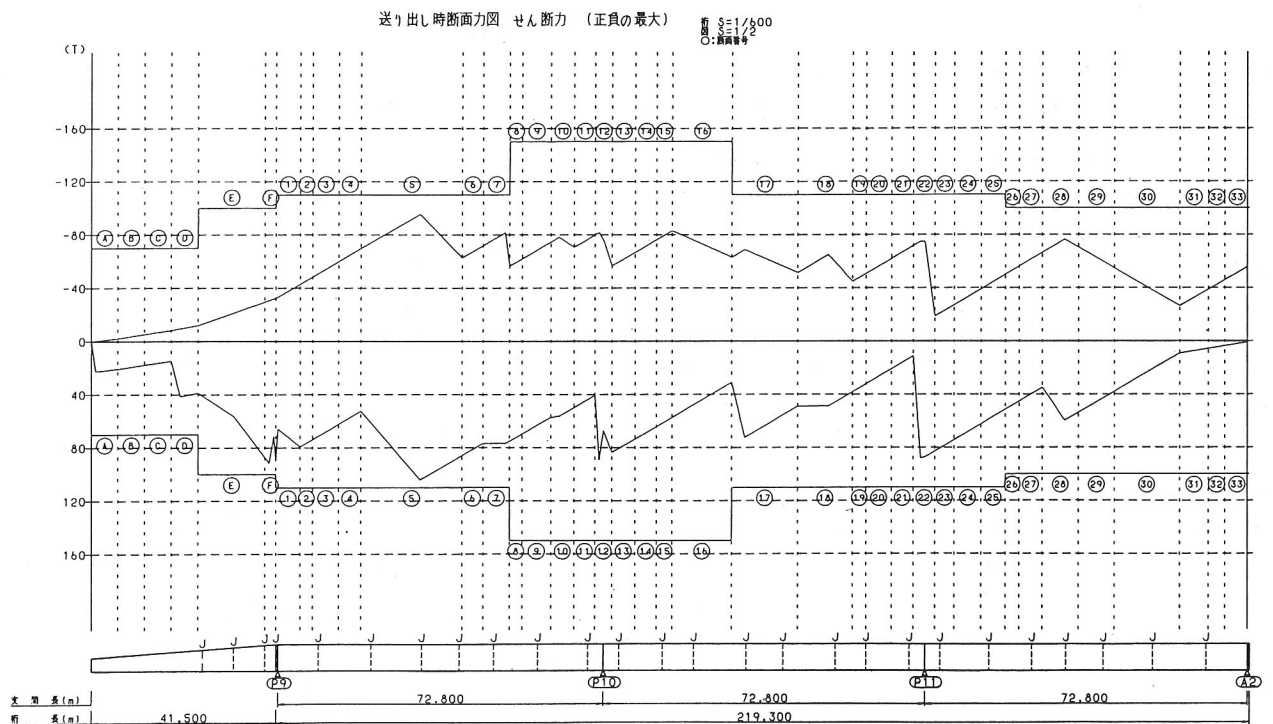
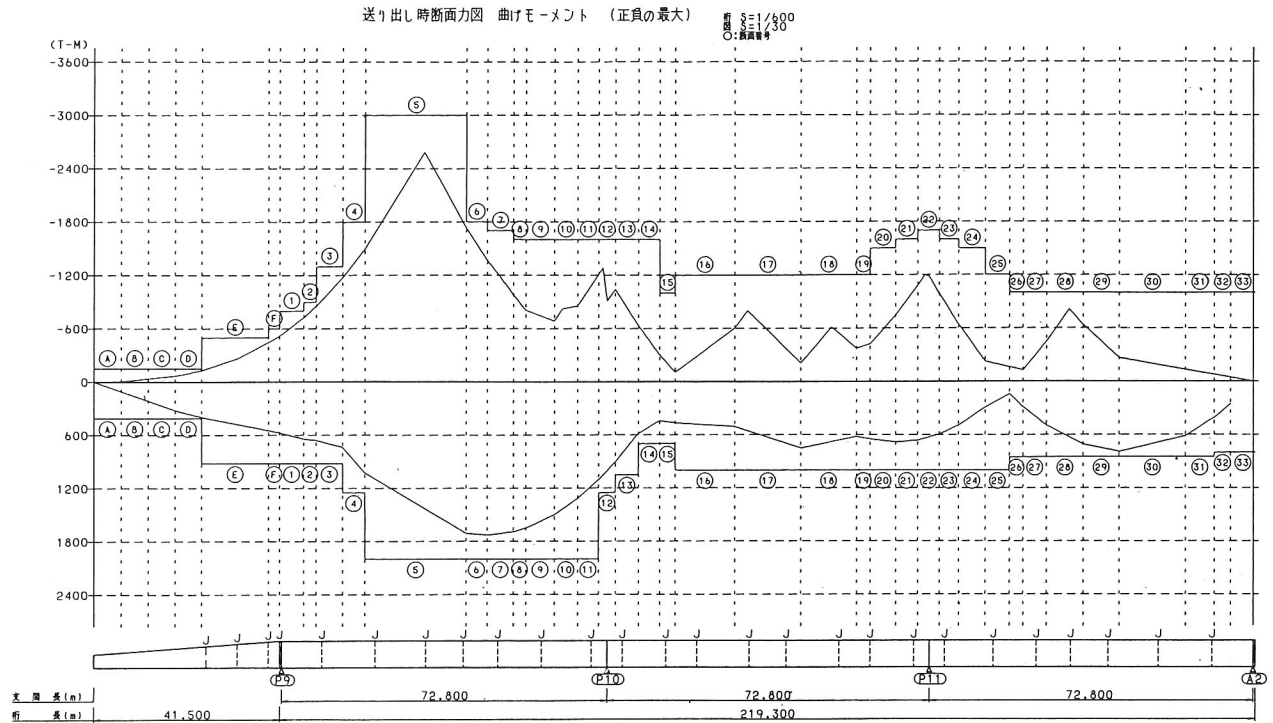


図-6 全架設ステップの曲げモーメント図

ようになっている。図-6は全架設ステップの曲げモーメントを重ね合わせた図であり、断面力図には断面変化位置が分るように縦方向に点線が入れている。この図の各位置での最大値、最小値を結んで得られたものが、図-7である。同様にせん断力に対するものが図-8である。図-7、-8には抵抗曲げモーメント、抵抗せん断力が描

かれており、全架設ステップでのチェックが容易にできる。図-9は図-3で得られた集計表の最大反力値を結んだものであり、このときのせん断力、曲げモーメントの値を用いて腹板の検討を自動的に行なえるようにしている。



4. 施工管理システムへの応用

引出し架設時の施工管理項目として

- ① 連続的に変化する各支点の反力値の管理
- ② 各支点のたわみ角の管理
- ③ 引出し中の水平力の管理

等が挙げられる。①では引出し中の支点の扱え付け誤差、

日照等により各支点の反力値が変化する場合があり、その反力値が計算値から求めた許容値を越えてしまうと腹板が座屈を起こす恐れがある。その時には一旦作業を中止し、各支点を上げ下げして標高を考慮しながら各支点の反力調整を行なわなければならない。

②では実測値の各支点のたわみ角が計算値から求めた許

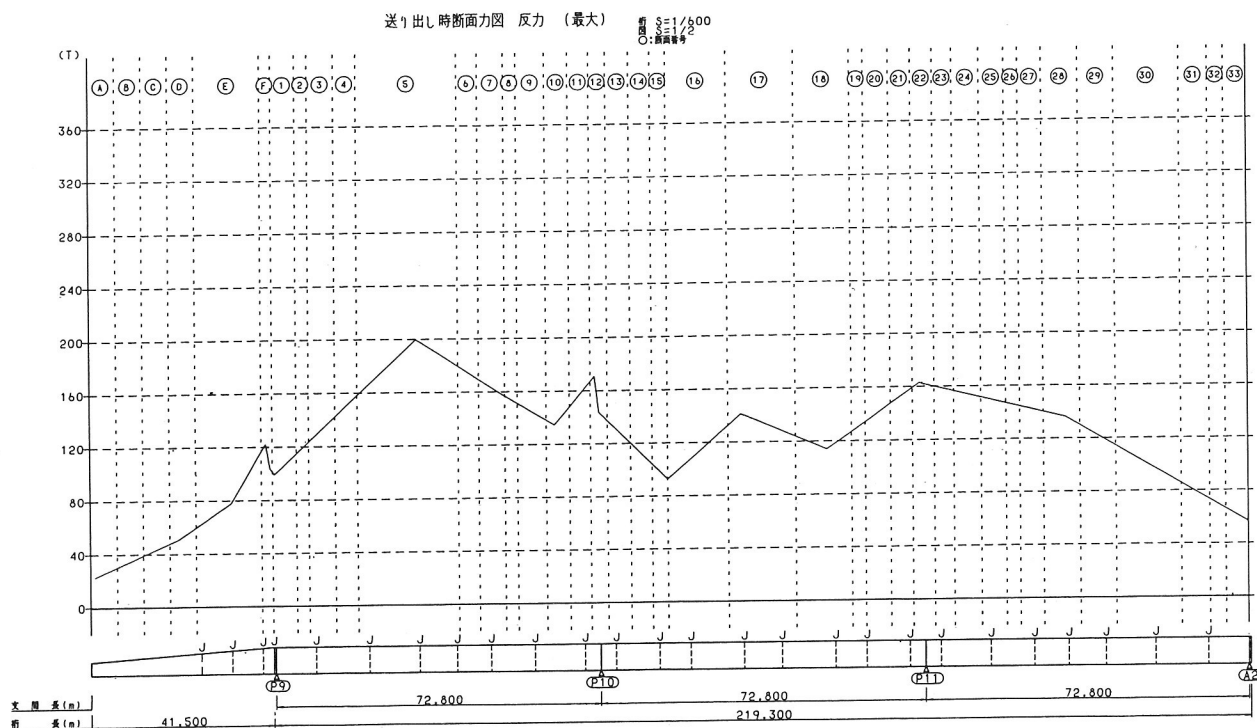


図-9 全架設ステップの反力の最大値

容値を越えてしまうと支点到大きな負担がかかり、場合によれば支点を損傷することもある。③では設計時に採用した各支点の摩擦係数より引出し時に使用する水平ジャッキを決めているため架設時の摩擦係数が設計値から求めた許容値よりも大きくなると水平ジャッキに負担がかかり、桁が引き出せない恐れもある。

そこで、反力値に対しては事前に各架設ステップでの各支点の反力値および実測の反力値が許容値を越えた場合の各支点の強制変位量を計算しておき、マイコン用のディスクにそれぞれの値を転送し、その場で即座に調整可能なようにする。たわみ角は各支点に取り付けた2個の変位計より実測値が得られ、その値が許容値を越えると回転を制御するストッパーが作動するようにする。引出し時の水平力は、PC鋼棒の反力点でセンターホール型のロードセルにより測定し、その値が許容値を越える場合には即座に作業を中止できるようにする。などの機能を有する現場施工管理システムを先に述べたプログラム作成と同時に開発した。図-10にはそのシステムの概略を示しており、近く実際にこのシステムを使用する予定である。

5. あとがき

以上、大型計算機を用いた鋼桁引出し架設のプログラムおよびマイコン制御による施工管理システムへの応用に関する報告を行なったが、使用目的に応じて、マイコ

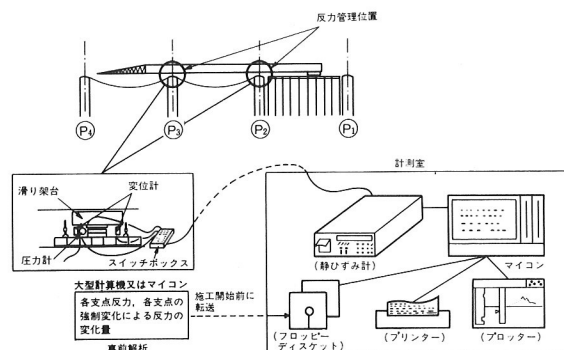


図-10 施工管理システム図

ン、大型機の両者を使い分けければ、さらに能率的に設計、施工作業を進められると思われる。

最後に、今後の課題としては、直線桁と同様の手順で曲線桁の引出し架設時の断面力およびそれによる応力、座屈照査ができるプログラムの開発が残されている。

参考文献

- 1) 永井・生原・前田・西土・松野：テフロン板使用の鋼桁引出し工法における問題点とマイコンによる施工管理プログラム，橋梁，Vol.20，No.2，1984。
- 2) 水木・松野・渡辺・前田・西土：テフロン板使用の鋼桁引出し工法に関する2，3の検討，川田技報，Vol.4，1985。
- 3) 伊藤：鉛直局部荷重を受けるプレートガーダー腹板のDast指針012による座屈照査例，橋梁と基礎，Vol.19，No.3，1985