

鋼桁送出し架設検討用プログラムと施工管理システム

川田工業㈱ 正会員 ○西土 隆幸

川田工業㈱ 正会員 前田 研一

㈱システムエンジニアリング 深尾 忠弘

㈱システムエンジニアリング 浦井 正勝

1. まえがき

種々ある鋼桁の架設工法の中で、最近、送出し架設工法を用いるものが多く見られるようになってきた。これは河川幅の大きな場所、あるいは都市部で広い場所を占有できない場合等のように、地域的な制約を受ける架設が多くなり、その場合、他の架設工法よりも経済的かつ安全でスピーディーな架設が行えるためであり、今後もこの架設工法がますます増加するものと思われる。

送出し架設工法には現在、分散、集中の2通りの方式がある。前者は鉛直ジャッキと水平ジャッキとを組合わせた送出し装置を各仮支点（送出し架設のための支点）に設置し、各仮支点の鉛直ジャッキを同時に上昇させて桁を持上げ、水平ジャッキで前方に送出す方法である。後者は従来、PC橋梁の架設工法に適用されたものであり、ステンレス板を貼付けた各仮支点にテフロン板を次々に挿入し、添接部のボルトを利用して取付けたゲビン棒を1台のセンターホール型の水平ジャッキで引出すことにより桁を前方に送出す方法である。どちらの方法においても、この工法を用いる場合、まず、架設検討用の設計を行う必要があるが、桁が常に仮支点上を移動するため支持条件も変化する。そのため全架設ステップについて架設検討が必要となり、非常に複雑な作業を強いられる。また、架設時には常に変化する各仮支点の反力が許容値を越えないようにしなければならない等の施工管理が必要となる。

本文は集中方式であるテフロン板を用いた送出し架設工法に対して、以上述べた架設検討時、施工時についての種々の問題点を解決するために開発した大型電算機による架設検討用プログラム、および、マイコンによる施工管理システムの概要と特色、さらには、仮想適用側と図化結果について報告するものである。

2. 架設工法の原理

テフロン板による送出し架設工法の原理を図-1に示す。仮支点（滑り沓）の表面にはステンレス板を貼付け、桁と仮支点の間には緩圧材(200mm×2000mm×40mm程度)とテフロン板(400mm×400mm×20mm程度)を挿入する。添接部分のボルトを利用して取付けた反力装置ブラケットでゲビン棒を定着し、そのゲビン棒をセ

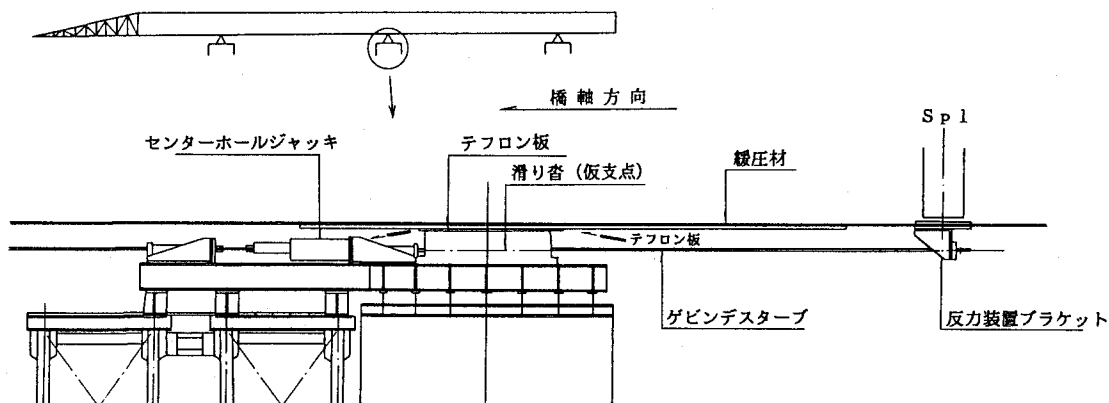


図-1 テフロン板による鋼桁送出し工法の原理（集中方式）

ンターホール型の水平ジャッキで前方に送出すことにより桁を移動させることができる(移動速度約3mm/sec)。桁の移動に伴いテフロン板も前方に移動するため次々にテフロン板を後部より挿入する。桁の送出し長に対して適宜、桁の添接を行い、以下同じ作業を繰返し、これにより架設を進める。テフロン板とステンレス板との摩擦係数は0.05~0.10と非常に小さく、そのため大きな水平ジャッキを必要としない。

最近では、より安全な施工を可能とするために仮支点の構造の改良が行なわれており、図-1に示した従来タイプのものに替って、図-2に一例を示すようなものの適用が多くなってきている。すなわち、この例の場合には、上下流方向の仮支点の下には鉛直支持ジャッキを取付け、載荷面を球面にしてユニバーサルヘッドとし、仮支点上での桁の変形を吸収できるようにしている。さらに、上下流の鉛直支持ジャッキを同一の油圧系統にして連動とし、製作誤差、および、架設中でのねじれ変形などによる両仮支点の不陸にも対処できるようになっている。なお、たわみ角用ストッパー、横移動防止装置なども取付けられている。

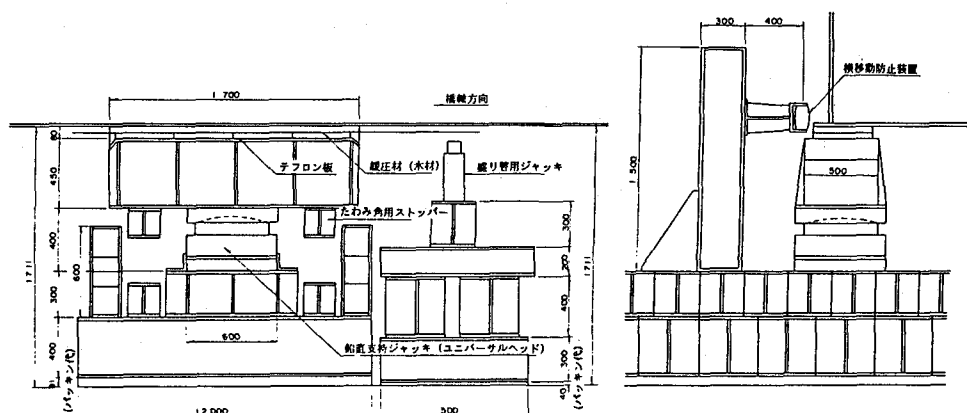


図-2 仮支点詳細図の一例

3. 架設検討用プログラムの概要と特色

送出し架設工法では前述したように、桁が常に仮支点上を移動するため支持条件も変化してしまう。そのため全架設ステップの断面力を計算する必要があるが、実際には以下の順序で計算を進めることになる。¹⁾

- ① 負反力、桁の転倒がないように全架設ステップを決定する。
- ② 全架設ステップの断面力を計算し、桁の全長に渡って最大、最小の断面力を拾出す。
- ③ 拾出された最大、最小の断面力より上下フランジの全体座屈の検討を行う。
- ④ 同様にウェブの局部座屈の検討を行う。

これらの作業を行うためには支点位置をその都度変えて(節点数もそれに伴い変化する)、全架設ステップに対して骨組計算を行い、計算された断面力より全長に渡り最大、最小の断面力を拾出して上下フランジの全体座屈、ウェブの局部座屈の検討を行わなければならない、多大な計算時間と検討時間を要し、非常に複雑な作業となる。したがって、作業の省力化を最大の目的として、大型計算機による架設検討用プログラム(マイコンによるものも開発済であるが、大量処理には不向きな場合もある)を開発した。このプログラムは、断面力計算プログラムと図化プログラムとからなっており、トータル的な架設検討を行うことができる。ここに、断面力計算プログラムは、以下のような特色を有している。

- ① 1度に桁のスケルトン、材料データ、全架設ステップの支点位置を入力するだけで全架設ステップの計算ができる。
- ② 全架設ステップについて反力のみので出力ができるので負反力の検討が簡単にできる。
- ③ 桁全長に渡り最大、最小の断面力を拾出し集計表を出力する。

④集計表の最大、最小の断面力を用いて上下フランジの全体座屈の検討ができる。

⑤同様にウェブの局部座屈の検討をDIN、Dastの両方で行える。²⁾

⑥以上の出力結果を全て漢字出力する。

他方、図化プログラムも、以下のような特色を有している。

①架設ステップ図が描け、図中に反力値を表示できる。

②任意ステップの変形図、断面力図が描け、変形図には標高も表示されるため施工管理にも使用できる。

③全架設ステップの曲げモーメント図、せん断力図を重ねて描ける。

④全架設ステップにおいて、桁に作用する最大、最小の断面力を結んだ包絡線が描ける。また、曲げモーメント、せん断力に関しては許容値も同時に描けるので断面力の検討が簡単に行える。

4. 施工管理システムの概要と特色

テフロン板による送出し架設工法の施工管理項目として以下の項目が挙げられる。^{3)~5)}

①送出し中の桁の変形状態の管理

②連続的に変化する各仮支点の反力管理

③送出し中のステンレス板とテフロン板の摩擦係数の管理

④送出し中の仮支点の反力分布幅の確認

①では日照の影響による橋軸直角方向の変形から桁がまっすぐに送出せなくなり、一方、鉛直方向の変形から仮支点上の桁のたわみ角が大きくなり、仮支点到負担がかかり反力分布幅にも影響が出てくる。さらに、2方向の変形が重なり合う場合には桁がねじられることになる。②では①と同じような日照の影響で上下流あるいは各ピア間での反力の不均等が生じる可能性があり、ウェブの座屈につながる。③では送出し中にステンレス板やテフロン板の表面に砂等のゴミが付着した場合に摩擦係数が大きくなる可能性があり、ゲビン棒や水平ジャッキに負担がかかることも考えられる。④では架設検討時に反力分布幅を決定しておき、それに基づいてウェブの座屈検討を行っているが、実際にその反力作用幅が確保されているか確認する必要がある。したがって、同様に現場作業の省力化を最大の目的として、マイコンによる施工管理システムを開発した。このシステムは以下の機能と特色を有し、桁送出し中の連続的な管理にリアルタイムで対処できる。

現場施工管理システムの概要を図-3に示す。すなわち、ここでは、各上下流の仮支点到図-2に示した鉛直支持ジャッキをセットしている場合を想定し、それに圧力計を取付け反力を測定するように、および、仮支点的の前後にそれぞれ変位計を取付け、前後の変位計で仮支点上の桁のたわみ角と仮支点到高さを、上下流の変位計で桁のねじれを測定するようにした。また、反力装置ブラケットにセンターホール型のロードセル

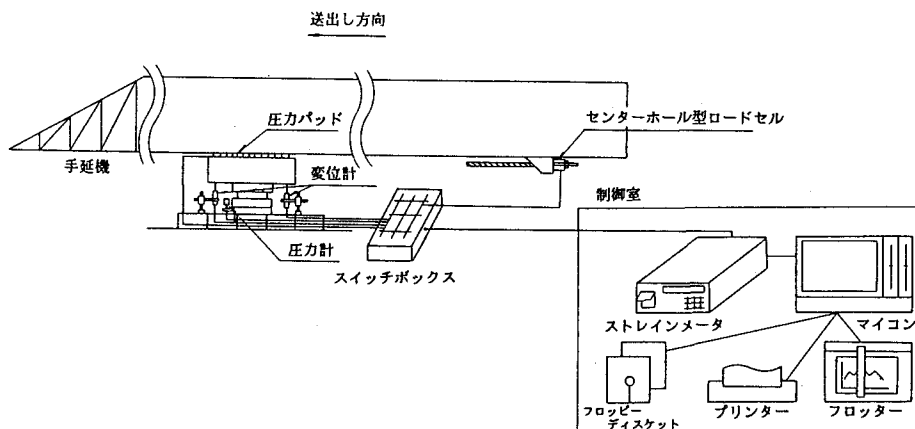


図-3 施工管理システム

を取付けゲビン棒に加わる引張力を測定し、その状態の計算で求めた鋼重で引張力を除することにより摩擦係数を求めるようにした。さらに、圧力分布幅の測定は鉛直荷重の大きさを測定できる圧力パッド（200×100×10mm厚）を開発し、それを仮支点上に並べることにより行うこととしている。

これらの測定器は各ピア上のスイッチボックスに接続され、それぞれの記録データは制御室にあるストレーンメータからGPIBボードを介してマイコンに自動入力することにより、リアルタイムで桁の状態を把握できるようになっている。また、ディスクットには事前に前述した架設検討用プログラムを用いて計算した各架設ステップの反力の影響値が記憶されており、送出し中、反力が許容値を越えた場合には（実測反力－許容値）の差分に対応して即座に各仮支点の強制変位量、すなわちジャッキのストローク調整量を求めることもできる。さらに、画面には常に反力の実測値、計算値および許容値、変位、倒れ量、ねじれ量、摩擦係数などが表示される一方、X-Yプロッターによって各架設ステップにおける反力、摩擦係数の変動状況図、および、着目したある架設ステップでの仮支点上の反力分布図なども架設現場でリアルタイムに描け、竣工図書の成果としてそのまま使用できる。

5. 使用実績と開発の歴史

架設検討用プログラム、および、施工管理システムの使用実績と開発の歴史を振り返り述べると、まず、大手大橋（送出し長72.80m×2径間、2-Box、新潟県、1983年完成）において、マイコンによる架設検討用プログラムが開発されるとともに、種々の施工管理計測も実施したが、システム化には至らなかった。そして、新揖斐川橋（送出し長72.50m×2径間、2-Box、中部地建、1987年完成予定）において、ここで紹介した大型電算機による架設検討プログラム、マイコンによる施工管理システムが開発され、初めて実用に供されたのである。また、ユニバーサルヘッドを有する仮支

点を使用したものも初めてであったが、共に非常に良好な結果を得ることができた。さらに、その後も、大谷大橋（送出し長74.65m×3径間、2-Box、青森県、1987年完成予定）の他、数橋において、使用中あるいは使用が予定されており、その中にはかなり多径間のものも含まれている。

このように着実に実績をあげてきたのは、工法の急速な普及、工事の特性などにもよるが、これらのプログラム、システムの使用性、および、経済性が優れていたことに負うところも大であると思われる。

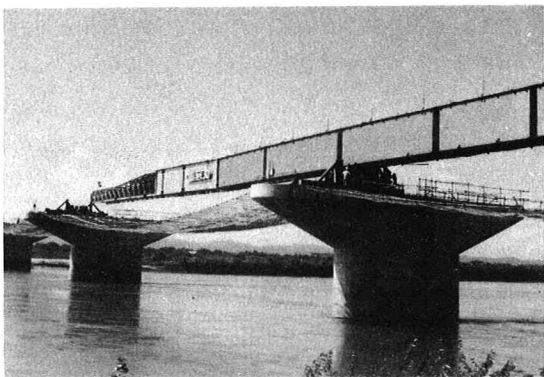


写真-1 大手大橋

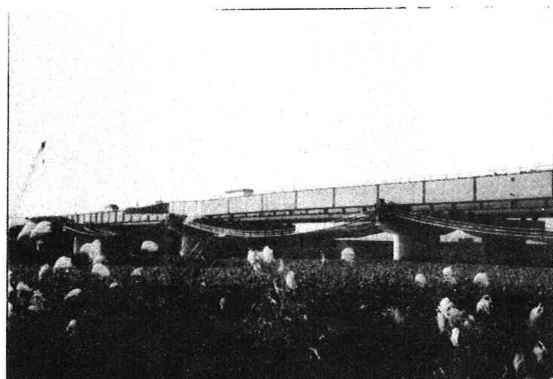


写真-2 新揖斐川橋

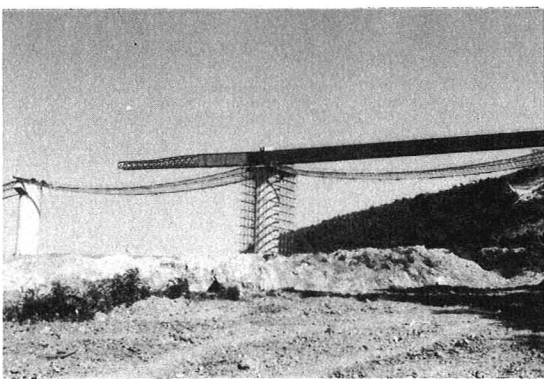


写真-3 大谷大橋

6. 仮想適用例と図化結果

6-1 架設検討結果

架設検討の一例として図-4に示すような最終架設系のスケルトンを有する橋梁を対象に計算を行った。図-5は入力データを図-6には出力結果の一部を示す。すなわち、図-6には、全架設ステップで求めた断面力より反力の最大値とその時のせん断力、曲げモーメントを集計表として出力した結果、および、これらの値を用いて上下フランジでは全体座屈、ウェブでは局部座屈の検討を行った結果を示している。なお、この計算例では節点数、架設ステップ数は70節点、41ステップであり、UNIVAC-1100/70を用いて計算時間は約1分であった。

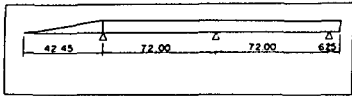


図-4 最終架設ステップのスケルトン (単位m)

(図-5入力データ、図-6出力結果、図-7出力結果、図-8出力結果)

節点番号	Y (m)	X (m)	ウェブの厚み (mm)	ウェブの幅 (mm)	フランジの幅 (mm)	フランジの厚み (mm)
1	7.75	7.75	0.009	2.000	1.800	8.811
2	8.25	8.25	0.009	2.000	1.800	8.811
3	8.75	8.75	0.009	2.000	1.800	8.811
4	1.075	1.075	0.009	2.000	1.800	8.811
5	1.325	1.325	0.009	2.000	1.800	8.811
6	1.575	1.575	0.011	2.000	1.800	8.811
7	1.825	1.825	0.011	2.000	1.800	8.811
8	1.113	1.581	0.011	2.000	2.450	8.811
9	1.197	1.532	0.011	2.000	2.450	8.811
10	1.183	1.558	0.011	2.000	2.450	8.811

節点番号	Y (m)	X (m)	節点番号	Y (m)	X (m)
1	0.000	0.000	11	41.886	11.12
2	5.400	2.2	12	46.010	12.14
3	10.800	4.4	13	47.131	13.11
4	16.200	6.6	14	48.450	14.15
5	21.600	8.8	15	49.558	15.16
6	25.200	11.0	16	49.983	16.17
7	29.200	13.2	17	51.108	17.18
8	32.450	15.4	18	52.118	18.19
9	32.850	17.6	19	52.833	19.20
10	33.762	19.8	20	51.258	20.21
21	55.350	21.22	22	55.681	22.22
22	55.681	23.23	23	57.108	23.23
23	57.108	25.25	24	58.533	25.25
24	58.533	27.27	25	60.433	27.27
25	60.433	29.29	26	62.333	29.29
26	62.333	31.31	27	63.350	31.31
27	63.350	33.33	28	64.233	33.33
28	64.233	35.35	29	65.108	35.35
29	65.108	37.37	30	66.133	37.37

図-5 入力データ

(図-6出力結果)

節点番号	Y (m)	X (m)	反力 (t)	せん断力 (t)	曲げモーメント (t-m)
1	0.000	0.000	25.000	25.000	0.000
2	5.400	2.2	11.259	27.808	9.156
3	10.800	4.4	11.025	30.113	18.203
4	16.200	6.6	10.131	31.960	26.214
5	21.600	8.8	11.100	36.290	32.777
6	25.200	11.0	89.511	89.511	89.511
7	29.200	13.2	55.081	12.731	100.178
8	32.450	15.4	61.205	15.112	114.460
9	32.850	17.6	66.515	19.339	131.181
10	33.762	19.8	0.000	19.210	128.101
11	25.600	31	68.989	59.212	215.908
12	28.500	33	78.350	54.681	298.904
13	29.000	35	75.503	51.223	310.906
14	33.200	37	83.966	61.290	321.970
15	34.200	39	92.716	61.198	355.617
16	39.200	41	96.872	68.811	428.981
17	39.900	43	108.800	69.718	455.992
18	42.450	45	101.609	61.111	460.972
19	42.850	47	117.260	71.136	478.196
20	43.762	49	0.000	58.621	471.176

(図-6出力結果の集計表)

上フランジ

材料番号	材料	厚さ	高さ	断面積	必要断面積	断面二次モーメント	必要断面二次モーメント	判定
1	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	2707.9110	OUT
2	S450Y	1.6	16.0	25.60	4.80	2181.5333	1126.5867	OUT
3	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	5156.8667	OUT
4	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	5156.8667	OUT
5	S450Y	1.6	16.0	25.60	4.80	2181.5333	1126.5867	OUT
6	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	2707.9110	OUT
7	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
8	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
9	S450Y	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
10	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
11	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
12	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
13	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
14	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
15	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
16	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
17	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.

(図-6出力結果の集計表) DIN

材料番号	材料	厚さ	高さ	断面積	必要断面積	断面二次モーメント	必要断面二次モーメント	判定
1	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	2707.9110	OUT
2	S450Y	1.6	16.0	25.60	4.80	2181.5333	1126.5867	OUT
3	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	5156.8667	OUT
4	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	5156.8667	OUT
5	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	2707.9110	OUT
6	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
7	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
8	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
9	S450Y	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
10	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
11	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
12	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
13	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
14	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
15	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
16	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
17	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.

(図-6出力結果の集計表) DIN

材料番号	材料	厚さ	高さ	断面積	必要断面積	断面二次モーメント	必要断面二次モーメント	判定
1	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	2707.9110	OUT
2	S450Y	1.6	16.0	25.60	4.80	2181.5333	1126.5867	OUT
3	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	5156.8667	OUT
4	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	5156.8667	OUT
5	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	2707.9110	OUT
6	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
7	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
8	S411	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
9	S450Y	1.6	16.0	25.60	1.80	2181.5333	1611.6736	O.K.
10	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
11	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
12	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
13	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
14	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
15	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
16	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.
17	S450Y	1.9	18.0	31.20	5.70	3693.5999	2812.3913	O.K.

図-6 出力結果

図-7~9には架設検討結果に基づいて描いた図化例を示す。図-7は、架設ステップ図であり、各支点位置には反力値も示している。図-8は全架設ステップの曲げモーメントを重ねて描いた図であり、抵抗曲げモーメント値も同時に描かれている。図-9は集計表の各節点の最大反力を結んで得られた包絡線である。

送り出し段階図 その7 S=1/1000

○ : 橋脚番号 EX 1000 : 縦断(%)
□ : 橋桁番号 (10) : 横断(%)
△ : 附属番号

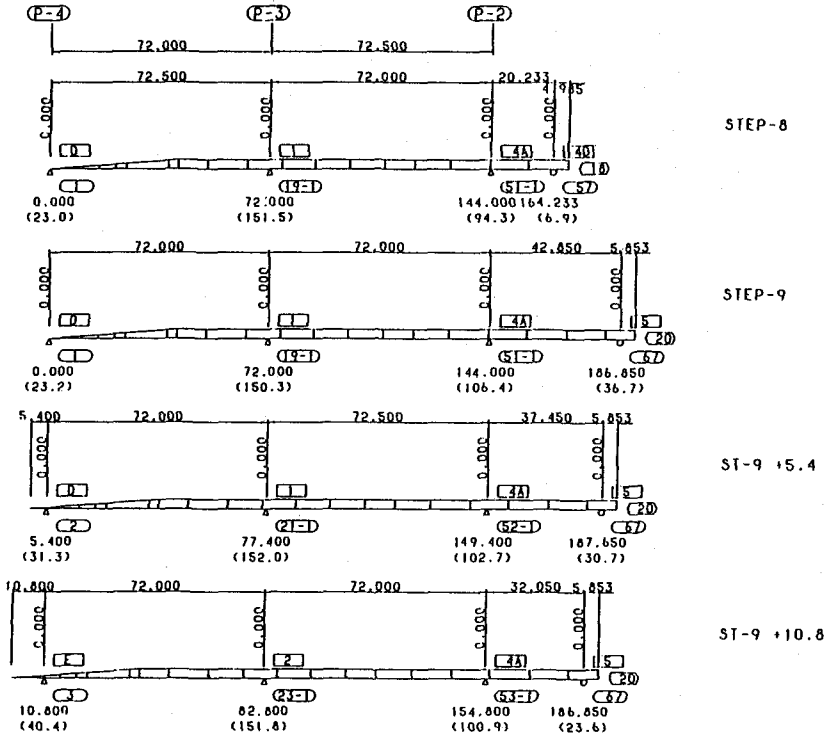


図-7 架設ステップ図

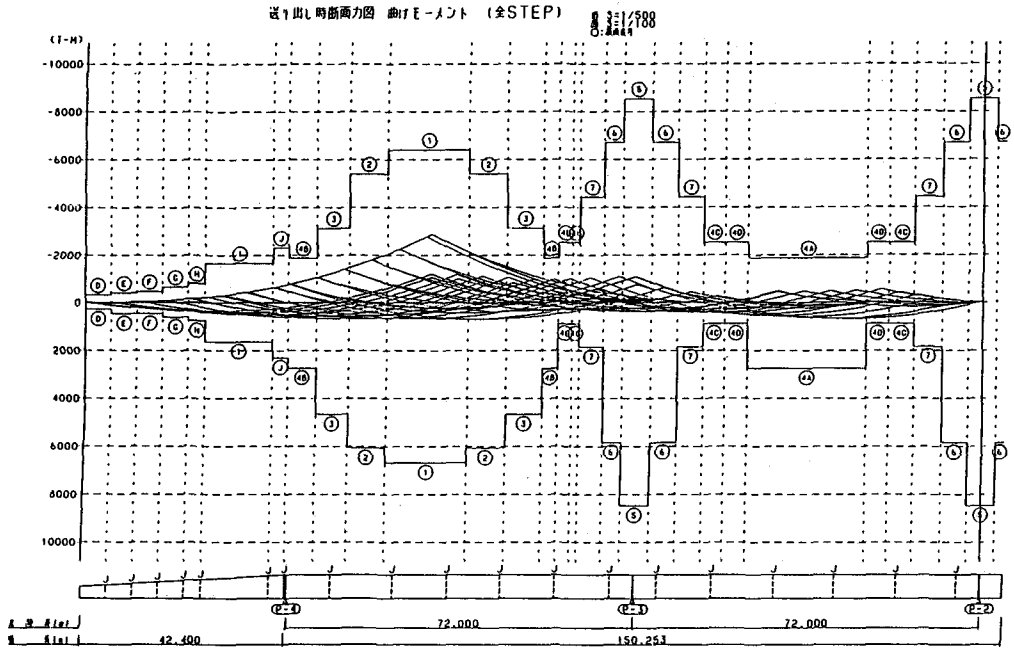


図-8 全架設ステップの曲げモーメント図

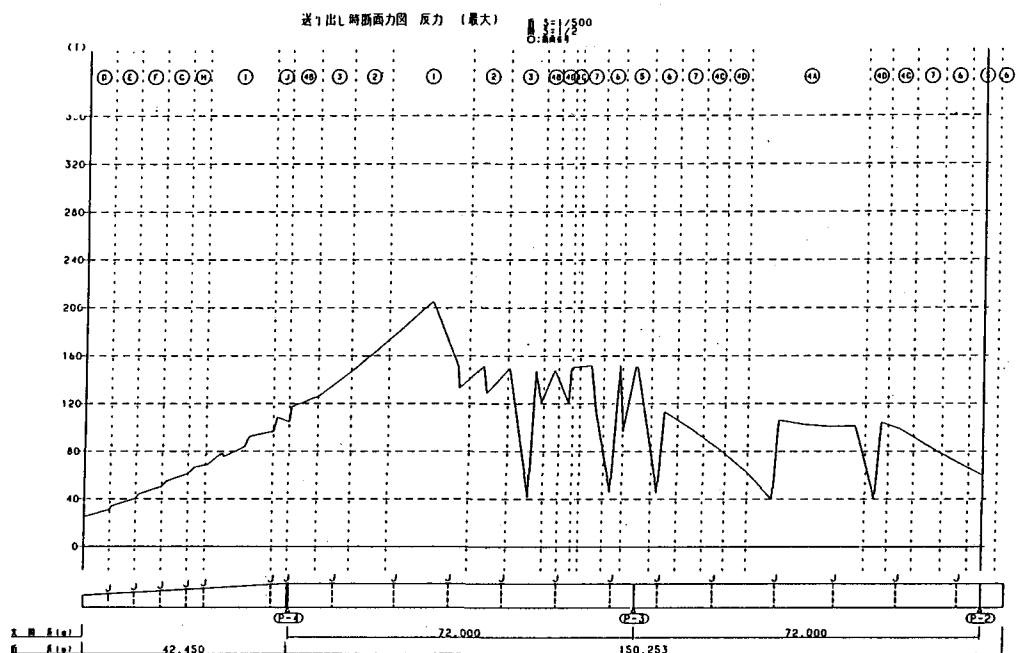


図-9 全架設ステップの反力の最大値

6-2 施工管理結果

施工管理結果の一例として、同様の橋梁を対象としたものを図-10～14に示す。

図-10は制御室のマイコンにリアルタイムで送られる仮支点の状態を画面表示したものであり、棒グラフ、表の2通りの表示を選択できる。図-11は反力管理が終了した後、プリンターで管理結果の一覧表を出力した結果である。また図-12は反力管理が終了した後、各架設ステップと任意の支点における反力の設計値、許容値、および測定値の関係をプロッターで描いた図であり、図-13は同様に各架設ステップと摩擦係数の関係をプロッターで描いた図である。さらに図-14は前述した圧力パッドを用いて反力の分布幅の状態を測定した結果をプロッターを用いてリアルタイムで描いた図である。

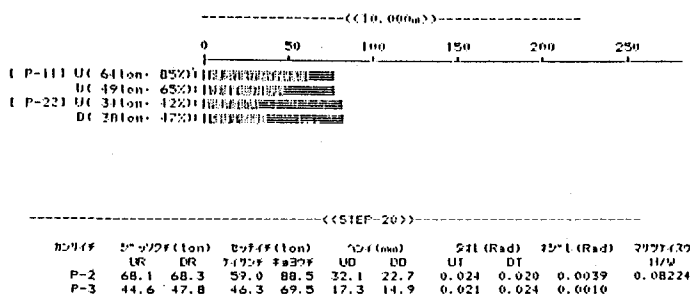


図-10 マイコン画面表示

<<11/9>>

No.	カブリステップ	カブリ	シマツツフ (ton)	セツツフ (ton)	シマツツフ (mm)	セツツフ (mm)	シマツツフ (mm)	セツツフ (mm)	シマツツフ (mm)	セツツフ (mm)	シマツツフ (mm)	セツツフ (mm)
17	STEP-17	P-2	61.8	73.4	63.9	95.9	1.3	12.8	-5.3	-4.0	0.01908	
		P-3	0.7	0.2	28.6	42.9	-0.1	-0.1	2.5	3.2		
17	STEP-17	P-2	60.8	63.6	63.9	95.9	8.2	6.1	1.7	3.8	0.04941	
		P-3	0.5	0.2	28.6	42.9	-0.2	-0.4	2.9	2.7		
18	STEP-18	P-2	50.4	51.7	62.3	93.5	6.7	5.5	1.4	2.6	0.05770	
		P-3	1.0	0.5	33.8	50.7	-0.5	-0.4	3.1	2.9		
19	STEP-19	P-2	38.2	38.2	61.9	92.9	10.3	2.5	1.9	1.7	0.05676	
		P-3	0.7	0.2	40.2	60.3	-0.8	-0.6	2.7	2.1		
19	STEP-19	P-2	29.9	30.8	61.9	92.9	6.3	6.8	1.7	2.4	0.05113	
		P-3	0.5	0.5	40.2	60.3	-1.0	-0.6	2.6	2.6		
20	STEP-20	P-2	18.0	18.4	58.2	87.3	7.1	6.7	1.7	0.5	0.05191	
		P-3	0.7	0.2	47.7	71.6	-1.2	-0.7	2.9	2.7		
21	STEP-21	P-2	-0.7	0.2	49.2	73.8	12.9	6.6	4.1	2.5	0.02345	
		P-3	0.7	0.5	56.7	85.1	-1.1	-0.7	3.6	4.6		

図-11 反力管理出力結果

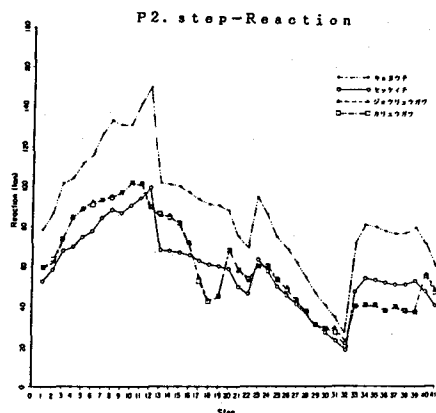


図-12 反力-架設ステップ関係図

7. あとがき

本文は、テフロン板による鋼桁送り出し架設工法に関して、既に多くの実績がある大型電算機による架設検討用プログラム、および、マイコンによる施工管理システムの概要と特色について報告したものである。同時に示した仮想適用例と図化結果からもわかるように、これらによれば、トータル的な架設検討が短時間でできるとともに、より安全でスピー

ディな現場架設も行うことができ、非常に有効であると思われる。最初にも述べたように、本工法を適用する機会が増加してきており、本文が本工法の確立に対する一助となれば幸いである。

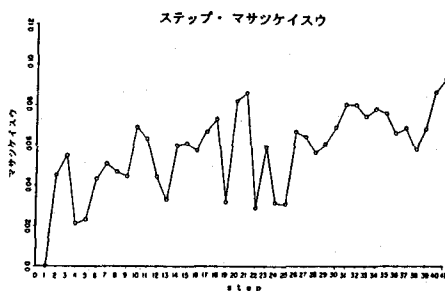


図-13 摩擦係数-架設ステップ関係図

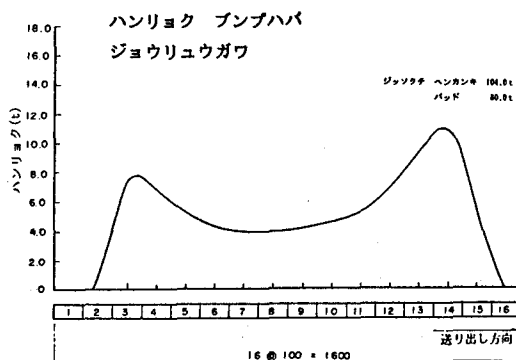


圖-14 反力分布狀況圖

(参考文献)

- 1)水口・渡辺・前田・西土・浦井・深尾:鋼桁引出し架設時の断面力および固化工システム、川田技報、Vol 5、1986。2)伊藤:鉛直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。3)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。4)西土・渡辺・前田:テフロン板使用の鋼桁引出し工法に関する2, 3の試験結果について、第39回土木学会年次講演概要集、1984。5)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。