

【報 告】

テフロン板使用の鋼桁引出し工法に 関する 2、3 の検討

Extrusion Erection Method of Steel Bridges using Sliding Plates

水 木 彰 *
Akira MIZUKI
松 野 和 夫 **
Kazuo MATSUNO
渡 辺 潔 ***
Kiyoshi WATANABE
前 田 研 一 ****
Ken-ichi MAEDA
西 土 隆 幸 *****
Takayuki NISHIDO

〔要旨〕 テフロン板を使用した引出し工法は、従来は主にPC橋梁の工法として発展して来たものであるが、その優れた経済性と安全性から、近年では鋼橋の架設工法としても注目されている。

しかしながら、鋼橋にこの工法を適用する場合に特有の問題が2、3あり、施工例が少ないこともあって、未だ完全に解決されているとはいえない。さらに、マイコンの導入による設計、および施工管理の効率化も、必要不可欠であると思われる。

本文はこれらの問題点について、実橋架設時における試験結果を参照して検討した結果を報告するものである。また、それを基により完全な工法として確立するための改善策を示し、その改善策に対応する試験結果を報告するものである。そして、これらの結果から、本工法が現状においても経済的かつ完全なものであることが確かめられる一方、より安全に、かつ工期の短縮を図るために提案された改善策が実橋において十分適用可能であることも確かめられる。

さらに、設計にはもちろん、製作、架設現場にも導入することを前提として開発したマイコンによる施工管理プログラムの概要と特色を示すものである。そして、同時に示す適用例から、本プログラムの有用性が確かめられる。

1. まえがき

近年、テフロン板を使用した鋼桁引出し工法が、その経済性、安全性から注目されている。本工法が、

- a) ステイジングは不要であり、端部に組立てヤードが確保できれば、簡単な仮設構造物でよい。
- b) 橋の自重に比較して、非常に小さい水平力で簡便に引出せる。
- c) 高価かつ複雑な特殊ジャッキなどを必要としない。
- d) 連続的な施工が可能であり、工期の短縮を図れる。

などの利点を有しているからである。

しかしながら、本工法は主にPC橋梁の工法として開発および発展してきたものであり、鋼橋の架設工法としての適用例は未だ多いとはいえない。したがって、本工法をより完全なものとし、より急速な普及を図る上で、鋼橋に適用する場合に特有の問題点が未だ残されている。主要なものを挙げれば、反力分布の偏載、摩擦係数のバラツキ、および、連結部の回避要領などの問題点である。

また、腹板補強のための座屈照査などの設計計算、および、製作キャンバーなどを考慮した架設計算を効率良く実施するためには、マイコンの導入が不可欠であると思われる。

これらの状況と観点から、本文では、次のような内容を報告する。すなわち、まず、上記の問題点について、

実橋架設時における試験結果を示し、種々の検討を加える。つぎに、それを基に、より完全な工法として確立するための改善案を策定し、その改善案に関する種々の試験結果を報告する。さらに、設計にはもちろん、製作、架設現場にも導入することを前提として開発したマイコンによる施工管理プログラムの概要と特色、および、その適用例について報告する。

2. 特有の問題点と実橋架設試験による検討¹⁾

2-1 特有の問題点

テフロン板使用の引出し工法を鋼橋に適用する場合、工事の安全性をより確実にする上で、前述したように次のような特有の問題点がある。

(1) 反力分布の問題点

鋼橋の場合、PC橋梁と比較して非常に変形しやすく、架設先端の片持部における橋軸方向の偏載、および中間部における日照などの影響による橋軸直角方向の偏載が生じる可能性がある。したがって、経済性や作業性には優れている反面、反力管理は必ずしも容易といえないことから、補強腹板の座屈安全率の問題も含めて架設時の反力分布を確認する必要がある。

(2) 摩擦係数の問題点

テフロン板と仮支点架台に敷設されるステンレス板と

* 川田工業(株)富山本社設計課課長 ** 川田工業(株)富山本社工務部工事課課長 *** 川田工業(株)富山本社工務部計画課 **** 川田工業(株)技術本部研究室室長
***** 川田工業(株)技術本部研究室

の摩擦係数は実験室段階では非常に小さいが、現場での連続使用、桁の変形、反力の大小などによる影響が予測される。したがって、引出し用のセンターホールジャッキの能力の安全率などとも関係し、架設時の摩擦係数を確認する必要がある。

(3) 連結部の回避の問題点

仮支点架台上では下フランジ連結部のスプライスプレート、HT ボルトを回避しなければならない。したがって、仮支点架台と HT ボルト頭とに空間をとるために、最適な方策を施す必要がある。

2-2 実橋架設試験による検討

ここでは、これらの問題点を検討するために、実橋の架設時において種々の試験を実施した結果、およびその考察について述べる。

今回試験を行った実橋は支間3@7 2.8 mの3径間連続2-Box桁であり、 $P_{11} \sim A_2$ 間では桁高が3.0 ~ 1.35 mに大きく変化した構造である。

図-1、写真-1~4に架設の概要図、状況写真を示す。

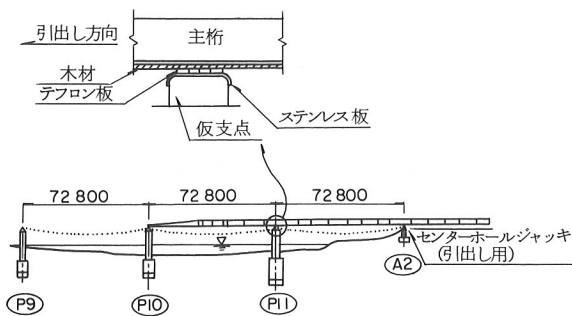


図-1 架設概要図



写真-1 架設全景

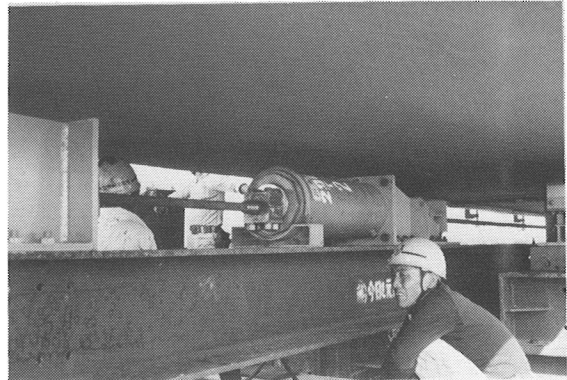


写真-2 引出し用センターホールジャッキ

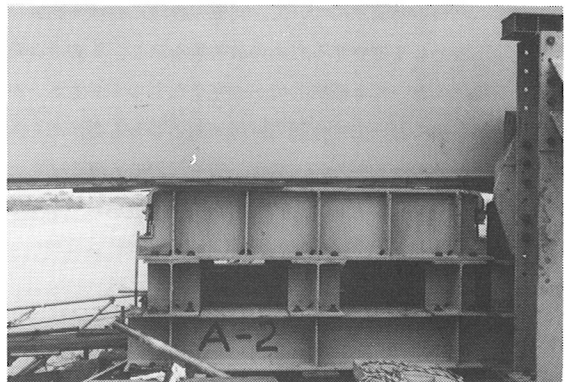


写真-3 仮支点とテフロン板



写真-4 後方架台

引出し架設は1-Box (重量427t) ずつ行い、各々の架設終了後に左右に50tセンターホールジャッキで横移動させて正規の沓にセットしたものである。先端に手延べ機 (重量約42t) を取り付け、 A_2 、 P_{11} 、 P_{10} 、 P_9 のそれぞれの橋脚上中央に表面がステンレス板 (幅1,000×長16,000mm) の仮支点を両側の腹板間隔に対

応して2箇所にて、その上で4枚のテフロン板（幅400×長400×厚20mm）を介して鋼桁を滑動させたものである。

引出し用センターホールジャッキは能力200t、ストローク500mmのものをA₂上に1台のみ設置し、架設ヤードの台車上に約1径間分組立てられた鋼桁の下部にゲビン棒を連結して端部を固定した後、架設速度約3mm/secで引出している。そして、テフロン板は各架設当日の使用開始時に全体を、および引出し中でも前方に突出して取除かれる毎に各々の表面を中性洗剤水で洗浄し拭取った後、カリ石けん（脂肪酸鹼化物で油脂状のもの）を塗布して、後方より再挿入している。但し、ステンレス板の表面は使用開始時に洗浄し拭取るのみとしている。

さらに、下フランジ連結部の回避方法としては、木材（幅200×長2,000×厚40mm）を挿入することによっている。また、引出し中の面外方向への移動抑制方法としては、写真-5に示すように、両側に多少の余裕空間をとって鋼製のガイドポストを設け面外方向50tジャッキにより必要に応じて補正することによっている。

なお、工事の安全を考え、テフロン板は作業休止時には各仮支点上の両側に2台の200t鉛直ジャッキを用いて除去している。

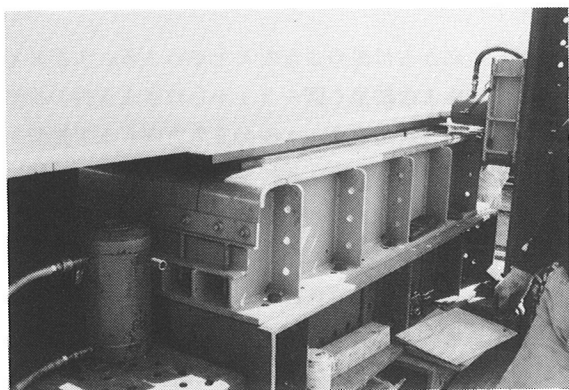


写真-5 面外および鉛直方向ジャッキ

2-2-1 試験項目と試験方法

試験項目は問題点に対応した反力分布、摩擦係数の測定、および連結部の回避状況のチェックの3項目である。

(1) 反力分布の測定要領

反力分布の測定はプレスケール（富士写真フィルム㈱製-1種の感圧発色紙、温湿度条件と測定圧到達時間などに依存するが±10%以下の誤差で測定可能）を用い、

写真-6に示すように鉛直ジャッキによって挿入、測定を行っている。なお、プレスケールは低圧用（10～100kg/cm²）を基本とし、偏載によりオーバースケールが予想される部分にのみ、中圧用（70～250kg/cm²）と低圧用を重ねて併用している。



写真-6 プレスケールによる反力分布の測定

測定箇所は図-2に示すNo.1、No.2の箇所であり、それぞれ、片持桁の傾斜による先端部での橋軸方向の偏載、および桁の形状、変形による中間部での橋軸直角方向の偏載が顕著な位置に対応している。なお、この図には参考のために、反力の理論計算も付記してある。

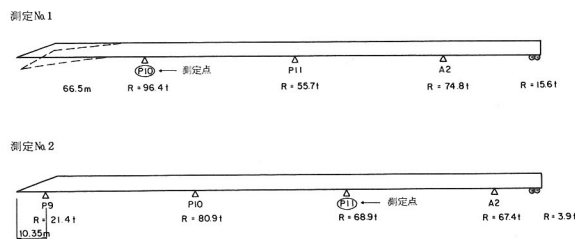


図-2 反力分布の測定箇所

(2) 摩擦係数の測定要領

テフロン板（東京ファブリック工業㈱製）とステンレス板との摩擦係数の測定は写真-7に示すように、圧縮センターホール型ロードセル、および手動式（電池使用）ストレインメータを用いて引出し中のゲビン棒の緊張力を測定し、反力の理論計算値を用いて見かけの摩擦係数を着目した区間（手延べ機先端がP₉の手前15.35mからP₉を越えて16.35mにある圧間）で連続的に算定することによっている。

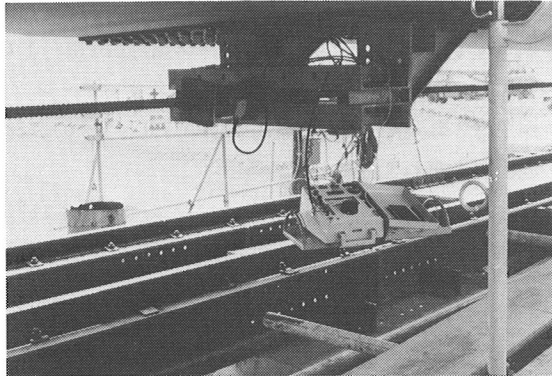


写真-7 ロードセルによる摩擦係数の測定

なお、洗浄およびカリ石けんの塗布の有無の効果を検証するために、実際問題に比してかなり小さい面圧の状態ではあるが、重りを載荷した $300 \times 100 \text{ mm}$ のテフロン板をバネバカリで引出す簡単な模型実験も事前に実施している。

(3) 連結部の回避状況のチェック要領

連結部の回避状況を写真-8に示すが、そのチェック要領は目視によるものであり、作業性、安全性などをチェックしている。

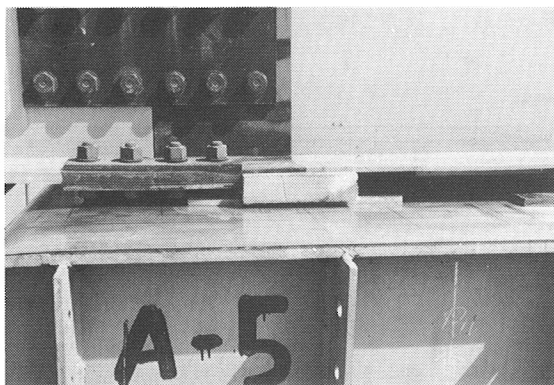


写真-8 目視による連結部の回避状況のチェック

2-2-2 試験結果とその考察

(1) 反力分布の実測結果とその考察

反力分布の実測結果の一部として、測定No.1, No.2の箇所における反力分布を図示したものを図-3, 4にそれぞれ示す。なお、これらの図には参考のために、プレススケール挿入時に使用した鉛直ジャッキの反力値も付記してある。

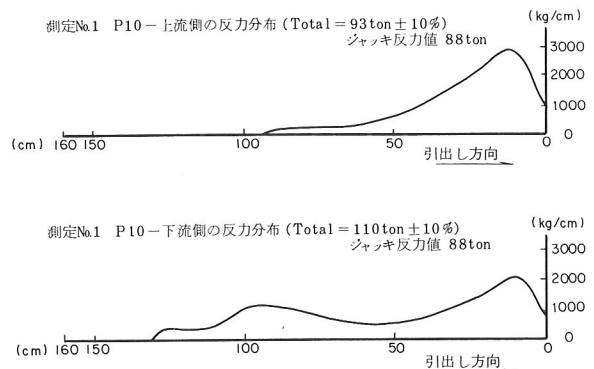


図-3 反力分布の実測値 (測定 No.1)

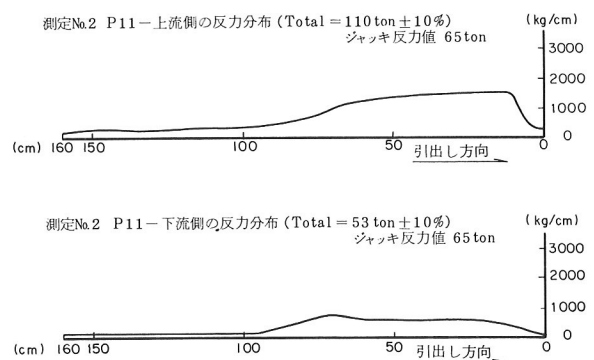


図-4 反力分布の実測値 (測定 No.2)

これらの図からは次のようなことがいえる。すなわち、まず、測定No.1の結果(図-3)からは多点支持の状態の先端部ということもあって橋軸直角方向(上下流側)の偏載は生じにくい反面、片持状態の桁の変形の影響による橋軸方向の偏載が顕著に生じていることがわかる。そして、本橋の腹板補強に用いた仮定(反力は 600 mm 幅内に等分布し、不均等係数 2.0 すなわち上下流側の片側に完全に偏載する場合を想定)によれば、片側の腹板に関して約 $3,000 \text{ kg/cm}$ の分布圧力に耐えるように設計、製作されていることから十分安全であるといえる。

(2) 摩擦係数の実測結果とその考察

摩擦係数の実測結果の一部として、着目した区間における引出し中の摩擦係数を図示したものを図-5に示す。ここに、図中における引出長は図-6に示す状態を表わしている。また、テフロン板が静、動摩擦係数の差異の小さく、後者が大きくなる場合もあるという特殊な材質を有するものであるということも関係していると思われるが、引出し中にかなりの変動があったことから、最大

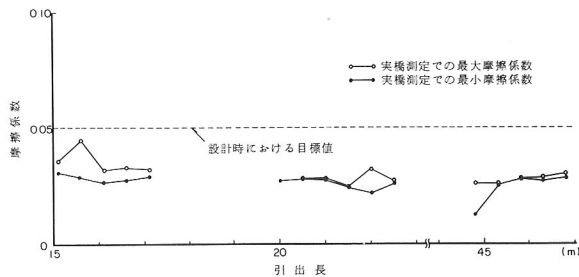


図-5 摩擦係数の実測値

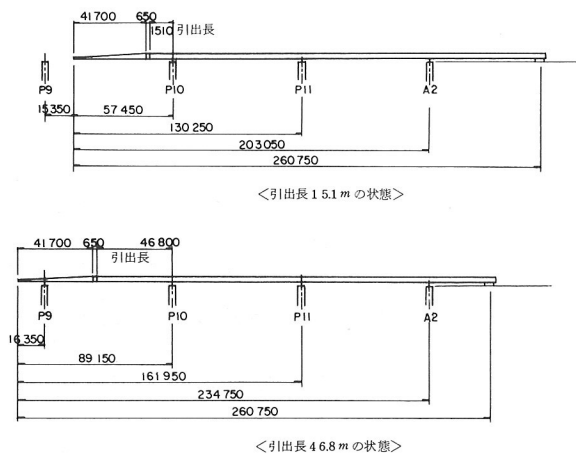


図-6 着目区間の引出長(15.1 m, 46.8 mの状態)

値, 最小値として表わしている。そして, この図には比較のために, 架設計画時における目標値(0.05—メーカーの保証値)も付記してある。

図-5から, 着目した区間における引出し中の摩擦係数が平均0.03程度であり, 架設計画時での目標値を下回って十分に安全側の結果を与えていることがわかる。

なお, ここで省略したが, 模型実験の結果からは中性洗剤水で洗浄することにより0.04程度, およびカリ石けんを塗布することによってさらに0.03~0.05程度の値がそれぞれ低減され, 非常に効果のあることが確かめられた。但し, テフロン板の摩擦係数は一般的気象条件下であれば温度にほとんど依存しないが, 支圧応力の大小, 特に低圧の状態では敏感であることから, 面圧の低い状態で測定したこれらの模型実験の結果はあくまでも参考データである。

(3) 連結部の回避状況のチェック結果とその考察

連結部の回避状況についての目視によるチェックからは木材を挿入してスプライズプレートおよびHTボルト

頭とステンレス板との空間を確保するという方法は今回の試験では問題は特に生じなかった。

3. 工法の改善策とその試験結果^{1), 2)}

3-1 工法の改善策

前述したように実橋架設時試験の結果からは, 本工法が現状においても鋼橋の経済的, かつ, 安全な工法であることを確認できたとしてもよいと思われる。そして, 指摘した問題点についてもほとんど解決されていることを十分に確かめられたといえる。

しかしながら, 本工法をより安全, かつ, 経済的なものとし, より急速に普及させるためには改善の余地がまだ残されていると思われる。ここではこれらの改善策について述べる。

(1) なじみ層と反力管理システム

反力分布に関して, 従来の設計方針が妥当であることは前述した通りであるが, 特に橋軸方向の偏載を軽減することが可能であれば非常に有効となるとと思われる。また, 架設現場において, 実際の反力分布を連続的に把握することが可能であれば同様に非常に有効であると思われる。

これらの目的に対応した改善策としては, 次のようなものが考えられる。すなわち, まず, 偏載の軽減については, なじみ層を有するテフロン板の開発が考えられる。この“なじみ層”は従来では支承における桁と沓座の不陸を吸収するものであり, 3mm厚程度の軟質ゴムであるが非常に効果的であることが報告されている。

他方, 反力分布の連続的な把握については圧力センサーの使用による管理システムが考えられる。この圧力センサーは過去においてコンクリートスラブ軌道でのレール下のゴムパッドに埋込まれて使用された例があり, 警報装置との連動, マイコンへの入力もでき応用範囲の広いものである。

(2) 試験室内での摩擦係数測定法

テフロン板の摩擦係数に関して, 従来の設計の目標値が十分に安全側であることは明らかであるが, 試験室内での立会試験における値と比較して大きい傾向がみられる。試験方法に対するJIS規格はなく, 一般に回転円盤によるものが多く, カリ石けんの塗布の有無, および砂の混入の有無なども考慮して, 異なる支圧応力の状態で測定されている。

したがって, 架設現場での再現性の高い試験室内での

測定結果を得るための改善策として、次のようなものが考えられる。すなわち、回転円盤ではなく方形の供試体を用いて直線方向に一定支圧下で引出すという試験法を採るべきである。

(3) 極厚テフロン板の開発と軽量化

木材使用による連結部の回避は簡便な方法として有効な一手法であるが、盛替え時における作業性から重量、サイズの点で、および樹液の漏出、強度の保証から材質の点で改善の余地がみられた。

この改善策として、極厚テフロン板（せん断変形が大きくなるので2層に分離する可能性もある）の開発が考えられる。但し、その場合には手作業での重量制限から軽量化を図る必要がある。

3-2 改善策に対応する部分試験

3-2-1 試験項目と試験方法

(1) なじみ層と圧力パッドに関する測定

反力の偏載の低減、および架設時における反力分布の連続的なリアルタイムの計測を可能にするために、図-7に示す“なじみ層”と圧力パッドによる反力管理システムを検討の対象とした。ここで圧力パッドは可動ゴム支承のパッドの内蔵鋼板にゲージをセンサーとして貼付し、圧力を鋼板の歪から換算するものである。

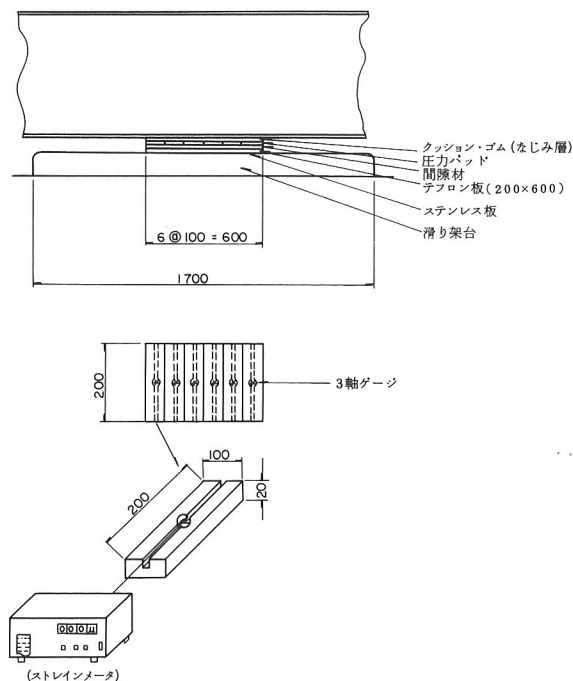


図-7 なじみ層と反力管理システム

図-8、写真-9が圧力パッドの供試体を、写真-10が試験状況をそれぞれ示すものである。ここでは偏載圧力測定への対処に加えて、なじみ層の基礎的資料を得ることを目的として、5mm厚の軟質クッションゴムの有無についても測定した。

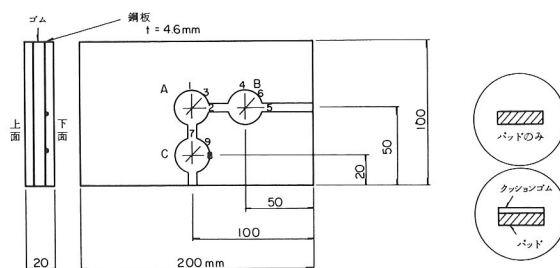


図-8 圧力パッドの供試体

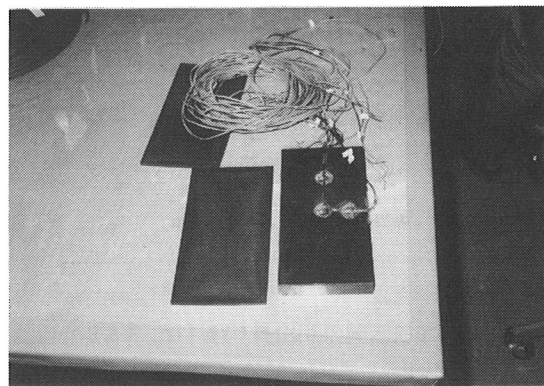


写真-9 圧力パッドとクッションゴム

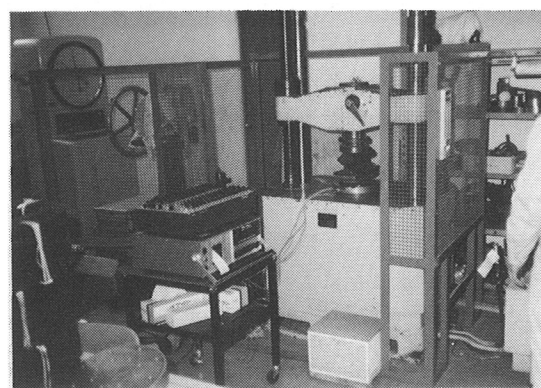


写真-10 反力の測定状況

(2) 試験室内での摩擦係数の測定とその方法

架設工法に即した試験室での試験方法として、図-9に示す試験装置を用いて、写真-11のように摩擦係数を測定した。

これによれば方形の供試体を用いて直線方向に一定面圧

下で引出すことができる。

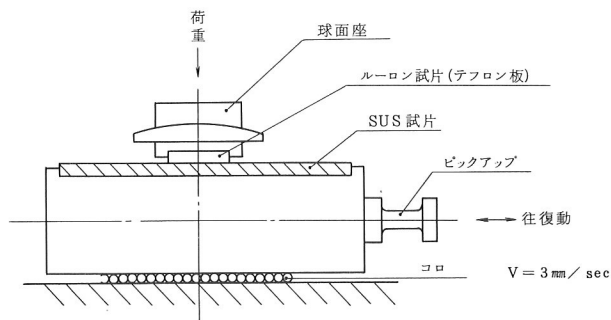


図-9 摩擦係数の試験装置

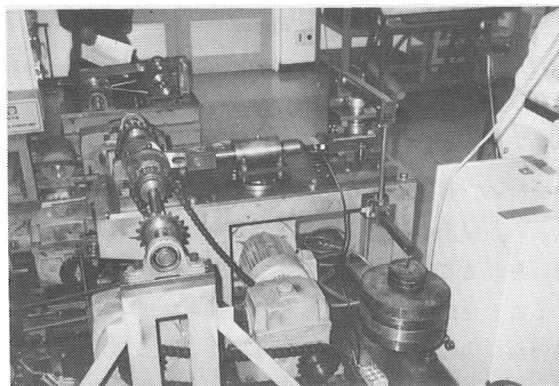


写真-11 摩擦係数の測定状況

(3) 間隙材のせん断変形量の測定とその方法

前述したように連結部回避のための間隙材として極厚テフロン板の開発が考えられたが、一枚物のテフロン板ではせん断変形と重量の点で問題があるため鋼板内蔵のネオプラス板を従来のテフロン板に重ねることとし、そのときのネオプラス板のせん断変形量を図-10に示す試験装置を用いて写真-12のように測定した。

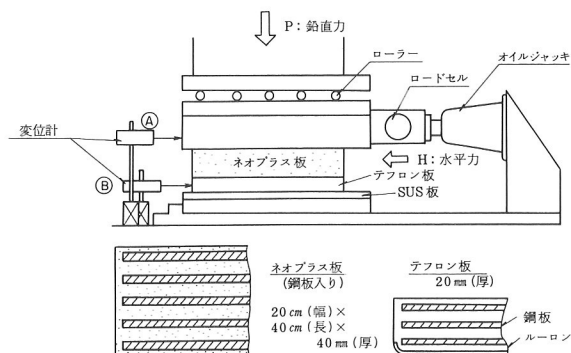


図-10 せん断変形の試験装置



写真-12 せん断変形の測定状況

3-2-2 試験結果とその考察

(1) なじみ層、圧力パッドに関する測定結果と考察

圧力パッドに荷重を30t（平均面圧150kg/cm²）まで载荷したときのゲージA, B, Cの最大主応力の履歴を図-11に示す。

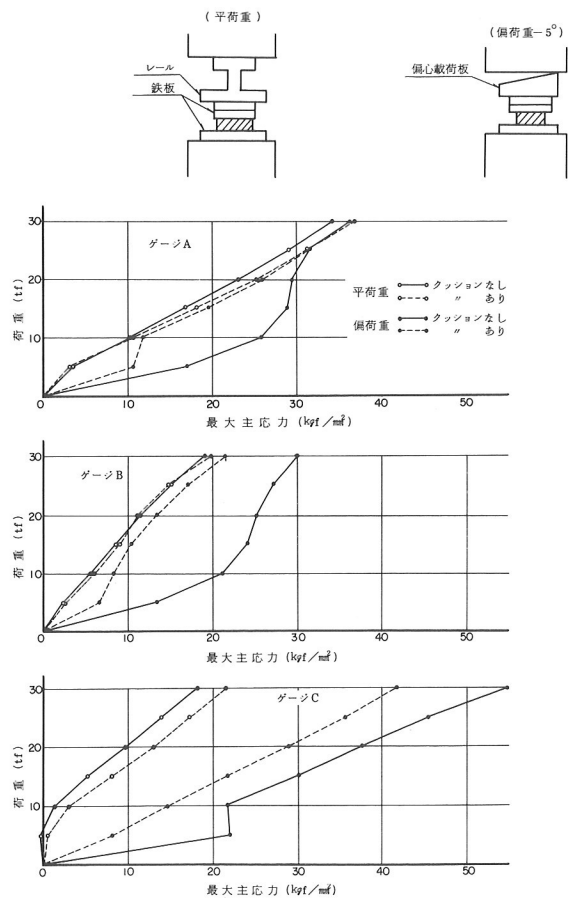


図-11 ゲージA, B, Cの最大主応力の測定結果

この試験の結果より、ゲージAでは5度の偏荷重の場合でも、軟質クッションゴムを添付しロゼット解析による最大主応力を用いれば線形性が確保でき、マイコンへの入力も可能となることから架設時の反力分布状態を連続的に即座に把握できるといえる。また、なじみ層についても十分有効であることが確かめられた。

(2) 試験室内での摩擦係数の測定結果と考察

供試体に $60 \sim 150 \text{ kg/cm}^2$ まで変化する面圧下でカリ石けんの塗布、および砂の混入の有無などの試験条件で得られた摩擦係数の測定結果を図-12に示す。

この試験の結果からは、カリ石けんを塗布しても砂が混入した場合には、10回反復した後も設計目標値である0.05の摩擦係数に近い値が測定されていることがわかる。なお、カリ石けんを塗布して砂を混入しない場合の摩擦係数の値は図-5に示した実橋の摩擦係数に近い値となっており、この試験方法は実橋の状態に即したものであるといえる。

(3) 間隙材のせん断変形量の測定結果と考察

一定面圧の大きさを 120 kg/cm^2 としてカリ石けんの塗布の有無の場合のネオプラス板のせん断変形量を示したものが図-13である。

この結果からカリ石けん塗布すれば水平荷重は1.5 t以上とならず、ネオプラス板のせん断変形量は1 mm前後と小さく実用上問題はないといえる。したがって、軽量化の余地は未だ残されているものの、実現性の高いものであると思われる。

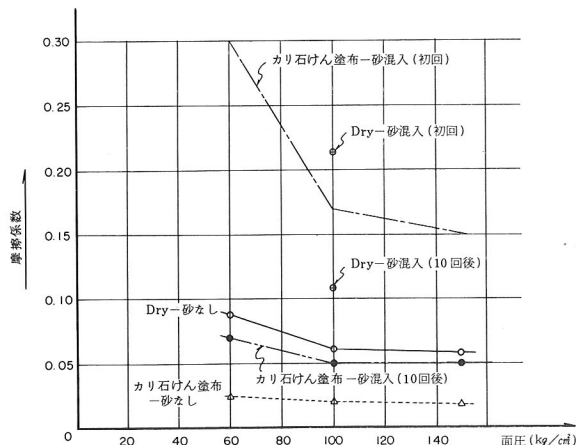


図-12 摩擦係数の測定結果

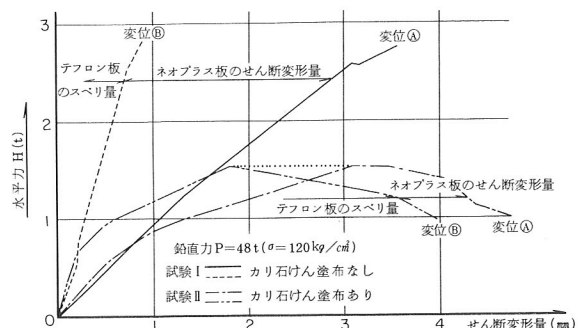


図-13 ネオプラス板のせん断変形量の測定結果

4. マイコンによる施工管理プログラム¹⁾

4-1 プログラムの概要と特色

引出し架設中には完成系とは異なる断面力が桁に連続的に作用するため各架設系の断面力を算出し検討する必要がある。さらに得られた断面力を用いて腹板の座屈検討を行い、必要があれば腹板に補剛材を入れなければならない。以上の一連の作業を行うためには膨大な計算を強いられることになる。そこで、製作、架設現場に導入することを前提とし、これらの計算をマイコンによって簡便かつ迅速に処理することを目的として開発したのが本プログラムである。本プログラムの特色、フローチャートを以下に示す。

4-1-1 プログラムの特色

(1) 断面力、変位計算プログラム

- i) 各架設系の支点の位置、取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。
- ii) キャンバーを考慮できる。
- iii) 強制変位を入力できる。
- iv) ヒンジ結合が考慮できる。
- v) 架設中の最大断面力を求められる(曲げモーメントの場合には最小値も求められる)。
- vi) カウンターウェイトを考慮できる。

構造計算は変形法に基づくものであり、バンド処理を行っており、プログラムの作成に当っては、文献3)を主に参照した。また、ii)に関しては実際の桁には製作キャンバーが付いているため、その桁を引出す場合、一種の不等沈下を生じる可能性があり、真直な梁として計算した断面力と異なる結果となる。このときの計算方法としては文献4)を応用して行った。v)に関しては桁の全長にわたり引出し架設の開始から終了まで各節点

に生じる最大断面力を求めることができ、この断面力を座屈検討用プログラムに適用すればよい。なお、ii)の機能は標高も求めることができるので桁の形状を把握して施工管理に適用する場合に特に有用である。

(2) 腹板座屈検討用プログラム

各架設状態では桁は常に支承の上を連続して滑ることになるので反力、曲げモーメント、せん断力の3力を考慮した座屈検討を行う必要がある。この座屈検討のための照査式などについては、文献5)に詳細に述べられているので、ここでは省略する。

4-1-2 フローチャート

断面力、変位計算プログラムのフローチャートを図-14に示す。なお、座屈検討用プログラムのものについては省略する。

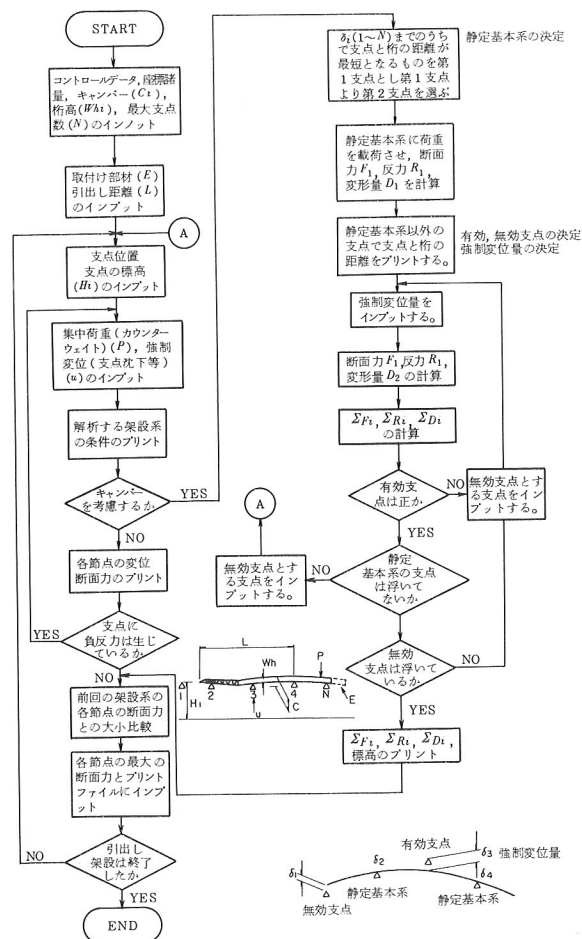
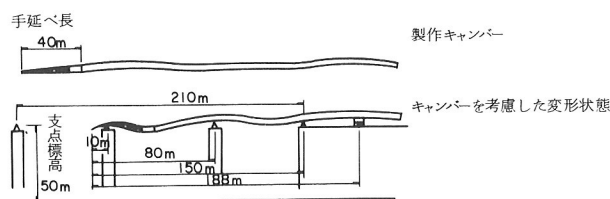


図-14 断面力と変形計算のフローチャート

4-2 プログラムの適用例

4-2-1 製作キャンバーを考慮した断面力と変位計算の適用例

断面力、変位計算プログラムを適用して、製作キャンバーを考慮した架設時の施工管理データを計算した一例を図-15に示す。



***** ニュウリョクデータ ***** (抜粋)

POINT	X	ザビョウ (m)	キャンバー (m)	ゲタダカ (m)
1	0.00	0.00	-2.500	0.500
2	6.00	6.00	-1.880	0.620
3	18.00	18.00	-0.630	1.870
4	24.00	24.00	0.000	3.000
5	40.00	40.00	0.000	3.000
6	45.00	45.00	0.058	3.000
7	50.00	50.00	0.110	3.000
8	55.00	55.00	0.153	3.000
9	60.00	60.00	0.184	3.000
10	65.00	65.00	0.203	3.000

***** EXAMPLE STEP ***** (抜粋)

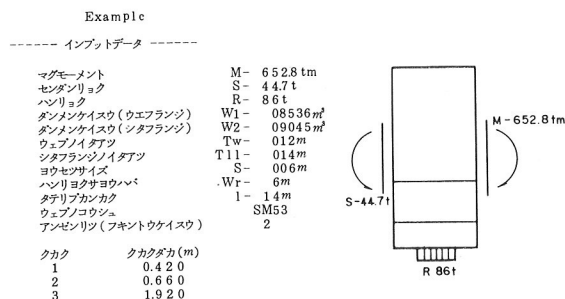
セッテンバシゴウ	ザビョウ (m)	ヒョウコウ (m)	センダンリョク (t)	モーメント (tm)
1	0.00	50.076	-0.000	0.000
2	6.00	50.650	-2.400	-7.200
3	10.00	51.037	-4.400	-20.800
4	18.00	51.810	19.326	149.807
5	24.00	52.406	15.726	254.962
6	40.00	52.379	2.926	404.176
7	45.00	52.459	-6.074	396.305
8	50.00	52.553	-15.074	343.430
9	55.00	52.653	-24.074	245.560
10	60.00	52.751	-33.074	102.690

セッテンバシゴウ	センダンリョク (t)	モーメント (tm)
1	0.000	-20.800
2	8.000	-918.790
3	15.000	-56.889
4	18.800	-260.100

図-15 断面力、変位 (標高) 計算の適用例

4-2-2 腹板座屈照査の適用例

断面力、変位計算プログラムによって得られた最大断面力を用いて、腹板座屈検討用プログラムを適用し、座屈照査を実施した一例を図-16に示す。



----- アウトプットデータ -----			
クカク	1.	2	3
σu (kg/cm ²)	-513.6	186.6	764.8
σl (kg/cm ²)	-721.7	513.6	-186.6
σb (kg/cm ²)	-104.1	-163.5	475.7
σc (kg/cm ²)	-617.7	350.1	289.1
τq (kg/cm ²)	124.2	124.2	124.2
σr (kg/cm ²)	1075.8	521.3	254.9
Kb	23.90	23.90	23.90
Kc	4.00	4.00	4.41
Kq	5.70	6.23	14.04
Kr	1.90	2.75	12.16
RO (kg/cm ²)	1550.1	627.7	74.2
σbr (kg/cm ²)	3544.0	3461.8	1772.8
σcr (kg/cm ²)	3265.6	2510.9	327.3
τqr (kg/cm ²)	2000.2	1901.7	1041.7
σrr (kg/cm ²)	2895.8	1728.6	901.8
アンゼンリッ	1.17	1.44	2.77

図-16 座屈照査の適用例

5. あとがき

以上、テフロン板使用の鋼桁引出し工法における問題点とその改善方法、およびマイコンによる施工管理プログラムについて述べた。現状においても、本工法が経済的かつ安全なものであることは明らかであるが、さらに、ここで挙げた改善方法を適用すれば、一層、安全かつ工期の短縮が図れると思われる。また、マイコンによる施工管理プログラムが非常に有用なものであることも明らかであろう。なお、ここで述べた改善方法の一部を実橋の架設に適用することが予定されており、その結果も別の機会に報告する予定である。本文が本工法のより急速な普及の一助となれば幸である。

最後に、実橋架設試験の実施、および、本稿の掲載を心良く御許可された新潟県土木部の方々に、心より謝意を表します。また、改善策に関する一連の試験の実施に御協力頂いた東京ファブリック工業㈱、洋ベアルーロン工業㈱、㈱東京測器研究所の関係者の方々にも感謝の意を表したい。

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) 西土・渡辺・前田：テフロン板使用の鋼桁引き出し工法に関する2, 3の試験結果について、第39回土木学会年次講演会講演概要集, 1984.
- 3) 戸川：マイコンによる有限要素解析, 培風館, 1982.
- 4) 酒井：送り出し架設の断面力計算方法について、技術報No. 14, ㈱東京鉄骨橋梁製作所, 1982.
- 5) 荒井：送り出し装置上の腹板の座屈について(続), 横河橋梁技報第3号, 1973.