

合掌大橋(旧名：新滝橋)工事報告

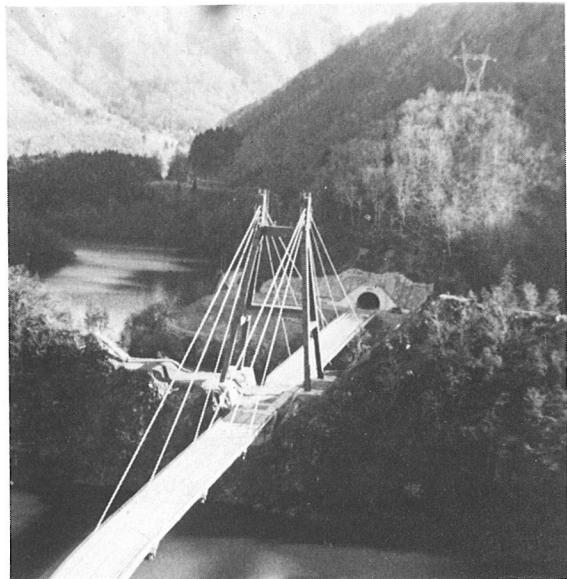
Construction Report of Gatsho Bridge

西岡武雄*
Takeo NISHIOKA
松野和夫**
Kazuo MATSUNO

松田哲二***
Tetsuji MATSUDA
前田研一****
Ken-ichi MAEDA



写真-1 合掌大橋(旧名：新滝橋)



1. まえがき

一般国道156号は、岐阜市を起点とし、高岡市に至る延長222kmの東海、北陸地方を結ぶ幹線道路である。しかしながら、同路線の五箇山地区は幅員が3.5~4.0mと狭少であり、蛇行する庄川に沿った線形も悪く、交通の難所となっている。また、地域住民にとって、平野部とを結ぶ生活道路という一種の生命線であるにもかかわらず、雨期における落石、法面崩壊および冬期における豪雪、雪崩などによる交通途絶に悩まされ続けてきた。そこで、昭和41年度から、富山県東砺波郡平村祖山~岐阜県大野郡白川村加須良間27.9kmを建設省直轄工事区間に編入して、1次改築工事が精力的に推進され、昭和54年11月、富山県の分担分12.0kmを含め、地域住民を先頭とした熱狂的なパレードによる開通式を迎えた。

本橋梁は富山、岐阜両県境に位置し、五箇山地区における1次改築工事(39.9km)のシンボルである種々の型式の橋梁群「飛越七橋」(虹に喻えて、七橋の高欄を七色に塗装。)の中でも、モニュメント的な存在とすべく

架橋された橋長440.1mのものである。そして、庄川の渓谷美と共に合掌造りの集落や民謡など有形無形の文化財の豊庫である秘境「越中五箇山」、「白川郷」の新たな観光資源とすることを考え、地域住民の希望も考慮して、合掌造りに擬せられた斜張橋を主体とする本橋梁の外観から、完成後に旧名の「新滝橋」を改め「合掌大橋」と正式に命名されたものである。昭和51年6月に下部工に着手、連続桁橋部の架設後、昭和52年10月に斜張橋部の主塔の架設、昭和53年10月に主桁およびケーブルの架設を終え、昭和54年の雪融けを待って橋面工、塗装工にとりかかり、同年10月、冬期作業不能という困難を乗り越えて工期どおりに完工した。

合掌造りに擬したA型立体ラーメン構造の主塔を有するほぼ対称の2径間斜張橋を主体とする美しい雄姿は、周囲の自然景観とも調和し、山岳部の景観には合致しくいとされていた斜張橋型式の斬新なデザインの一つとして注目に値すると思われる。しかも、庄川が蛇行し屈曲する部分に突出した半島部付根付近の鞍部を跨ぐ状態

*川田工業技術本部技術部次長 **川田建設富山支店工事部工事一課 ***川田建設富山支店工事部工事一課 ****川田工業技術本部研究室

となるなどの特異な地形および地質条件を考慮しつつ、経済性、施工性などが検討された結果、半島部の両端に水平固定点を配置したRC地中梁を介して非連続の主桁を有するという世界的にも類のない型式が採用されており、斜張橋型式の多様性を示唆するものとしても同様に注目に値すると思われる。さらに、斜張橋部の架設現場は桁下より水面まで約20m、水深30~40mでステージング架設工法の適用が困難であったことから、完全張り出し架設工法が採られたが、本邦最大級の完全張り出し架設工法による斜張橋であり、3径間型式に換算すれば中央径間300m級の架設に匹敵する特筆すべき規模である。

本文は、「合掌大橋」斜張橋部の主として主桁およびケーブルの製作、架設について報告するものである。なお、本文の内容には、既に報告されたもの^{1)~4)}も含まれている。

2. 工事の概要

本橋梁の架設位置図および一般図を、それぞれ、図-1および図-2に示す。斜張橋部の諸元および設計荷重は、それぞれ、表-1および表-2のようである。

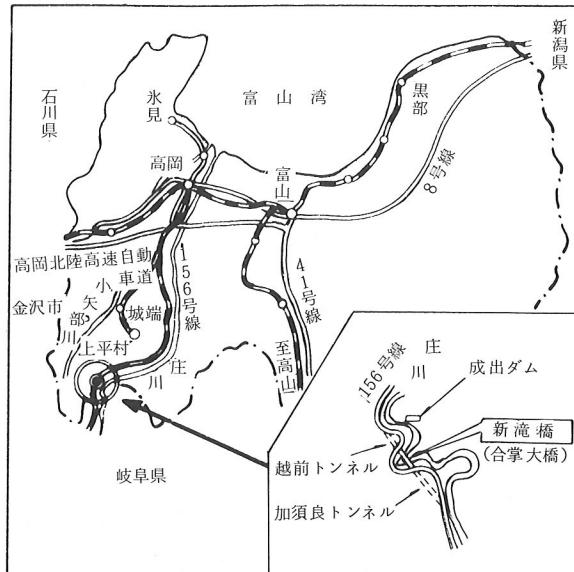


図-1 架設位置図

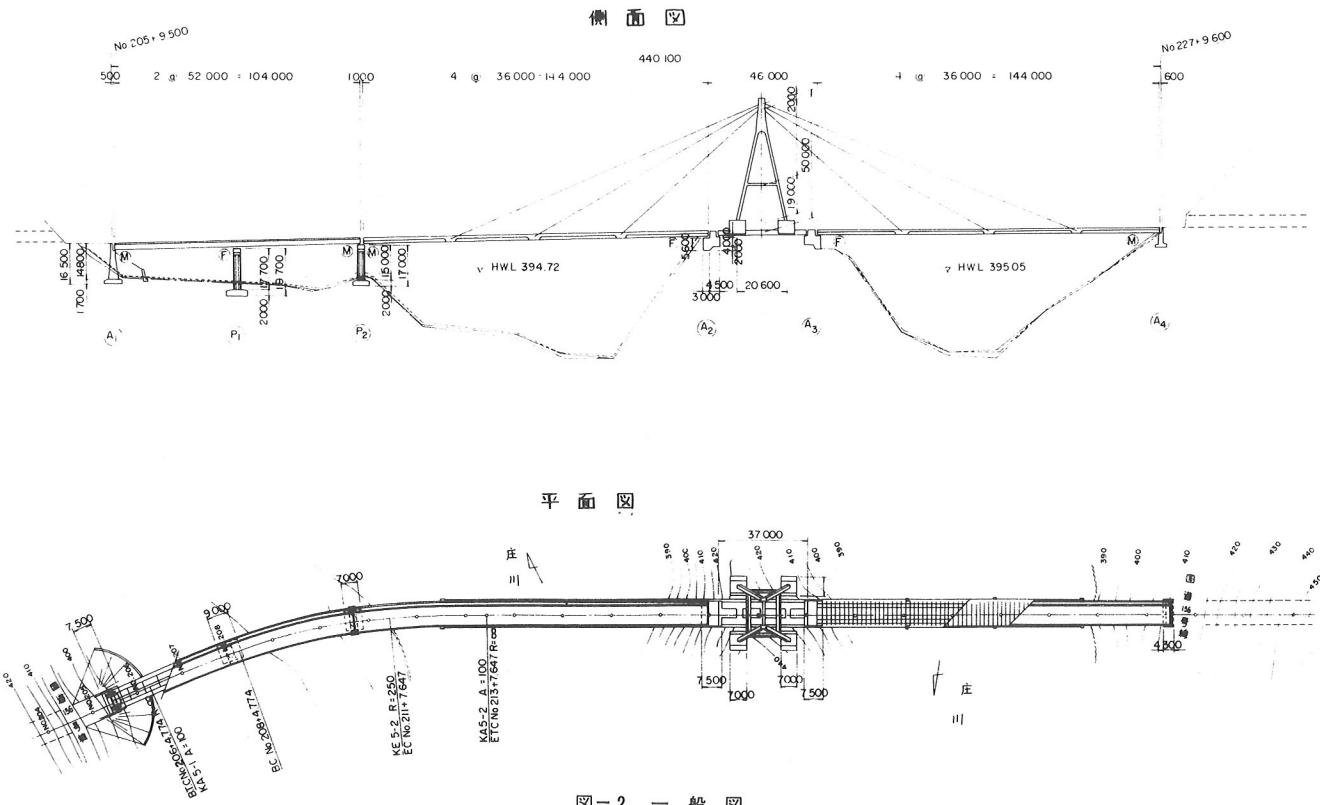


図-2 一般図

表-1 斜張橋部の諸元

名 称	合掌大橋（旧名：新造橋）
所 在 地	富山県東砺波郡上平村成出 ～岐阜県大野郡白川村小白川
路線・河川	一般国道156号・庄川
区分・橋格	第3種3級・1等橋
企 業 者	建設省北陸地方建設局富山工事事務所
設 計 者	(株)日本構造橋梁研究所
斜張橋部	P2 : 張出し式小判型直接基礎 A2, A3 : 重力式直接基礎 A4 : 逆T式直接基礎
下部型式	2径間非連続桁斜張橋
橋長・支間	335.1m = 144.0 (4@36.0) + 46.0 (RC地中梁) + 144.0
幅 員	9.5m = 8.0 (車道) + 1.5 (歩道)
主塔構成	逆V型 (橋軸方向), 門型 (橋軸直角方向)
ケーブル構成	ファン型2面3段張渡し
主桁構成	鋼床版2-Box桁, 80mm厚ガースアスファルト舗装
鋼 重	2,063ton
使用鋼重	SS41, SM41, 41A, 41B, 41C, SM50A, 50B SM50YA, 50YB, SM53B, 53C, SM58 L.C.R. - D60, 70, E80
接合方法	H.T.ボルトによる摩擦接合
架設工法	ケーブルクレーン工法による完全張出し架設工法
塗 装	ジンクリッヂ系, 塩ゴム系, タールエポキシ(下塗), 塩ゴム系(中上塗)
工 費	1,333百万円
工 期	昭和51年6月～昭和54年10月

表-2 設計荷重

荷 重	摘 要
主 荷 重	
死 荷 重	一般鋼重, ケーブル(L.C.R.) 舗装, 地覆, 高欄, 檢査路
活 荷 重	TL-20 および群象荷重
ケーブル・プレストレス	上段 380t, 中段 120t, 下段 40t
衝 撃	$i = 0.233$ (ケーブル定着点間距離 36mが有効支間)
縦 荷 重	± 35°Cの温度変化の場合 ケーブル35°C, 主桁20°Cの場合 主桁上フランジが腹板以下の部分より 15°C高い場合
地 震 荷 重	$k_H = 0.15$, 支承のみ $k_V = 0.10$
風 荷 重	$V = 55 \text{ m/sec}$
雪 荷 重	100kg/m ² および 30cm高のケーブル上積雪
特 殊 荷 重	プレストレス導入誤差 ケーブルの偏心 主塔の偏心
	完成時張力 (死+プレ) の10% 通り芯誤差 50mm 独立柱部高さの 1/500

2-1 上部構造の選定

上部構造型式の選定にあたっては、斜張橋、アーチ橋、PC橋などの種々のタイプを対象に検討が行なわれ、庄川が蛇行する屈曲部に突出した半島部には流紋岩およびフン岩の基盤岩が露頭していること、その両側には水深30～40mの水面が広がっていること、後背地が急峻な山であることなどの地形条件、並びに経済性、施工性、維持管理、走行性、景観およびシンボル性などが考慮され、2径間非連続桁斜張橋という世界的にも類をみない型式が採用された。また、主桁断面形状の決定にあたっては、地組場および工期の制約から2-Box桁が採用されたため、2箱桁を可能な限り内側あるいは外側にそれぞれ配置した2種の部分模型を用いた風洞実験によって耐風安定性が検討された結果、前者の方がフラッターベルトおよび風琴振動に対しても抑流板を必要とせずに安定であったことから、両側の箱桁を可能な限り内側に配置した形状が採られた。なお、2箱桁が一体となって挙動するように、定着部には、非常に剛な定着横桁が配されている。

図-3は、A型立体ラーメン構造の主塔および本橋特有のRC地中梁である。そして、図-4が、定着部主桁断面および同様に本橋特有の水平固定部である。すなわち、図のような特殊構造の水平固定部をA2およびA3の橋台パラペット前面に設けて、非連続の主桁の水平反力をRC地中梁に伝達している。なお、φ300mmのピンを中心とする主桁の回転を吸収するために、鉛直部には、円弧滑り面を有するベアリングプレート部が使用されている。

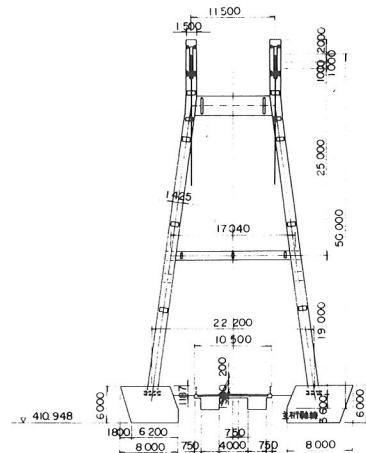


図-3 主塔およびRC地中梁

さらに、図-5は、定着部、塔上サドルおよび各段のケーブル使用断面である。図のように、本橋では、桁側および塔側の両端にソケットを鋳込まれた4本のロックドコイルロープをスプレーバンド、ケーブルバンドで束ねたものが1本のケーブルとして使用され、ファン型2面3段に張渡されている。

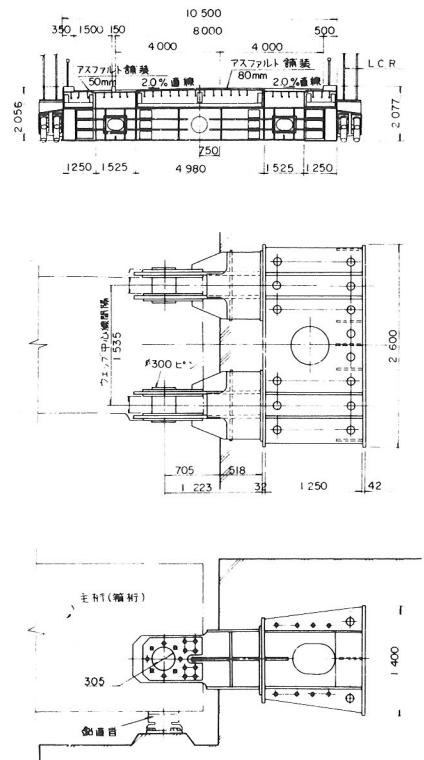


図-4 定着部主桁断面および水平固定沓

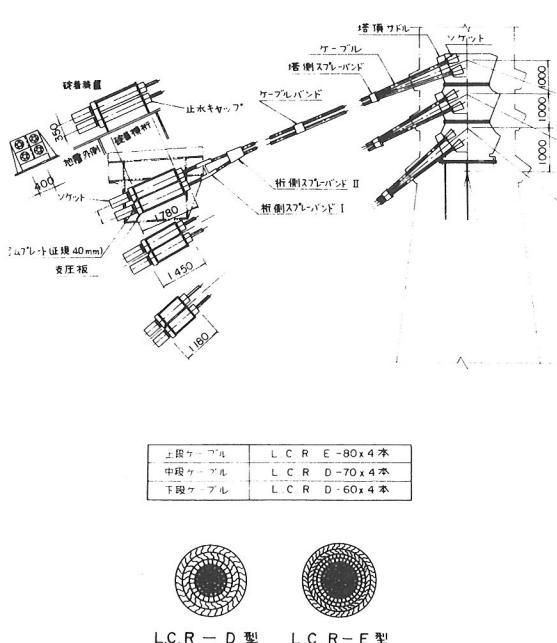


図-5 定着部、塔上サドルおよびケーブル使用断面

2 - 2 架設工法の選定

本橋の架設場所がダム上流の山間部であり、水路の利用による運搬が不可能であることから、フローティングクレーン工法は適用できなかった。また、桁下より水面まで約20m、水深30~40mであることから、ステージング架設工法の適用も困難であった。したがって、主桁ブロックの運搬、架設には、ケーブルクレーン工法および完全張出し架設工法が採用された。完全張出し架設工法による斜張橋としては本邦最大級であり、3径間型式に換算すれば中央径間300m級の規模のものである。ただし、水平固定沓がピン構造であるため、下段ケーブル張力導入までの主桁ブロックの架設には、仮斜吊りケーブルを使用することとされた。

ケーブルの張力導入にあたっては、塔側のソケットがサドル上で固定であること、およびステージングを使用できなかったことから、テンションバー、センターホールジャッキにより桁側のソケットを引込む工法が採用された。そして、キャンバー、張力および反力などの調整をシムプレート（正規40mm厚）により実行することとされた。

3. 主桁の製作

本橋のように主塔が独立した構造の斜張橋の主桁製作においては、塔側および桁側のケーブル両定着点間隔の精度を確保することが特に重要な課題である。

そこで、本橋では、まず、定着横桟を製作仕上げにおいて、切口を10~20mm余分に伸ばした状態で他の部材長の実測結果から寸法調整するとともに、定着装置の寸法および取付け角度などについても十分な注意を払った。

また、仮組み時（写真-2）には、多点支持状態での主桁製作キャンバーのみならず、写真-3に示すようにケーブル定着点位置を支点とした仮支点支持状態でのキャンバーの測量も行った。そして、仮組み時の形状を架設現場において正確に再現することを目的として、写真-4に示すように主桁ウェップの継手孔全9段のうち下3段にパイロットホールを配する一方、鋼床版の継手部両側に基準距離の標点も各々3箇所配した。なお、仮組立検査でのキャンバーの許容誤差は-3～+15mmであった。

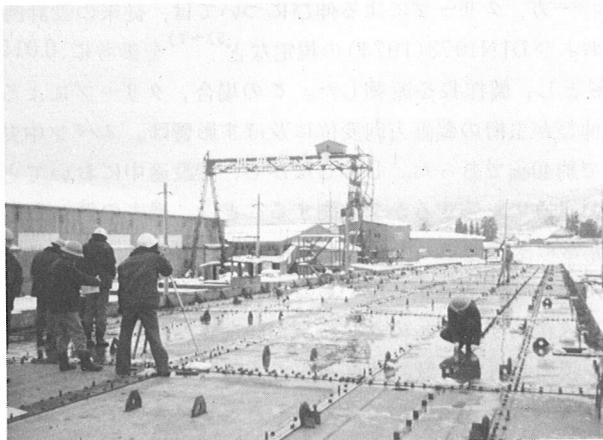


写真-2 工場仮組み

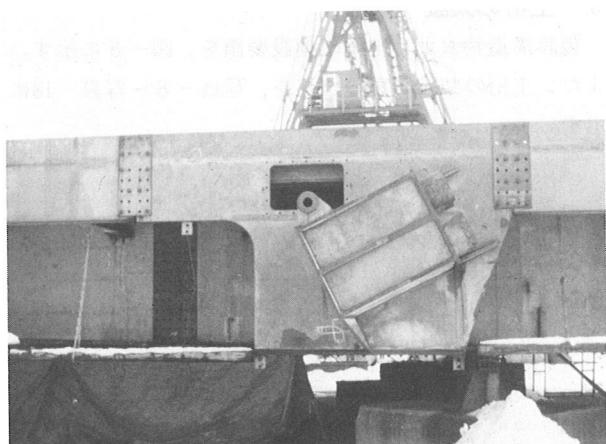


写真-3 仮支点支持

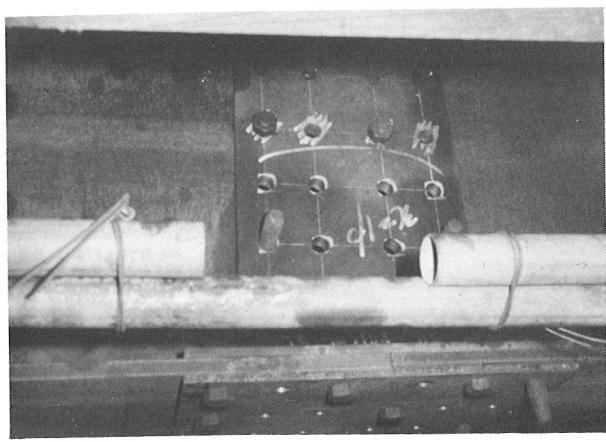


写真-4 バイロットホール

4. ケーブルの製作

斜張橋のケーブル製作においては、製作長の精度を確保すること、および正確な弾性係数を把握することが重要な課題である。また、ケーブル部材としてロックドコ

イルロープを使用する場合には、クリープによる伸びをどのように見込むべきであるかという問題もある。

そこで、本橋では、まず、写真-5に示すように1ロッド(400m)のロックドコイルロープをプレストレッシングヤードに展開し、両端の仮ソケットを500tプレテンション装置にセットして、プレストレッシング加工(設計最大張力の状態で約30分間保持、これを2回繰返す)および同時に弾性係数の測定を行った。そして、完成時設計張力の状態で、定格張力10kgのスチールテープ(主桁製作用テープとテープ合わせを行ったもの)を用いて測長し、写真-6に示すようにソケット、スプレーバンド、ケーブルバンドおよび中央点の各位置をマーキングした後に切断した。なお、完成品検査での製作長の許容誤差は、長さ100m以上に対し±20mm、長さ100m以下に対して±15mmであった。



写真-5 プレストレッシングヤード

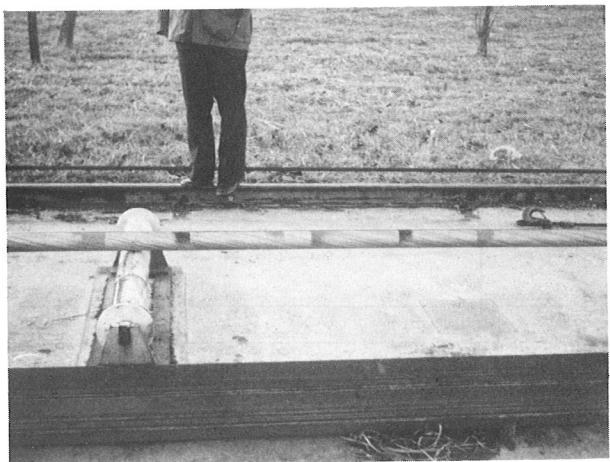


写真-6 測長およびマーキング

さらに、写真-7に示すように、長さ2mのロープ試験体を用いた1000t引張試験機による弾性係数測定、破断試験を実施した。また、ねじり試験、巻解き試験、亜鉛メッキ付着量試験および10t引張試験機による破断試験などの素線試験も実施した。

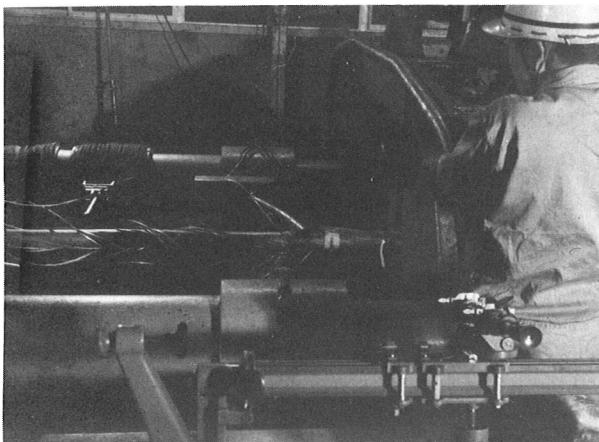


写真-7 ロープ破断試験

一方、クリープによる伸びについては、従来の設計例およびDIN1073(1974)の規定など^{5)~7)}を参考に、0.015%とし、製作長を短縮した。この場合、クリープによる伸びが主桁の鉛直方向変位に及ぼす影響は、スパン中央で約40mmであった。しかしながら、架設途中においてどのように影響するかを推測することは、過去の例からも非常に困難であった。したがって、本橋では、架設途中ではクリープは生じないと仮定して施工管理を行い、完成後にケーブルのクリープが収束した状態でのケーブル張力の誤差は設計荷重として考慮した10%のプレストレス導入誤差に含めて考えることとした。

5. 主桁の架設

仮設構造物および主桁の架設要領を、図-6に示す。また、主桁の架設写真の一部を、写真-8～写真-13に示す。

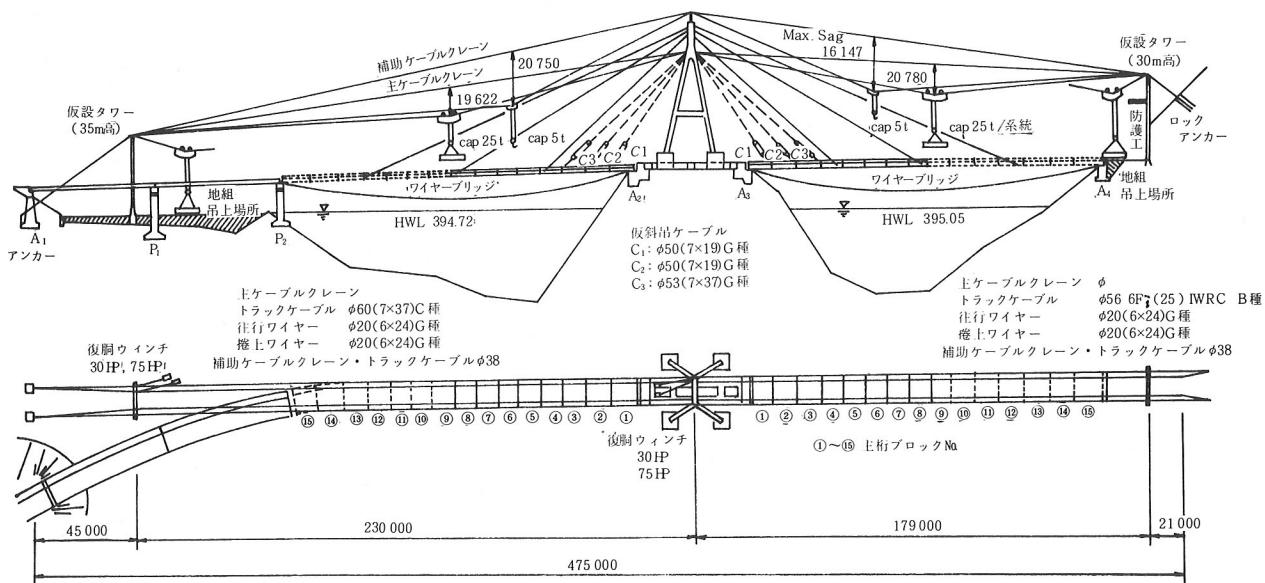


図-6 仮設構造物および主桁の架設要領

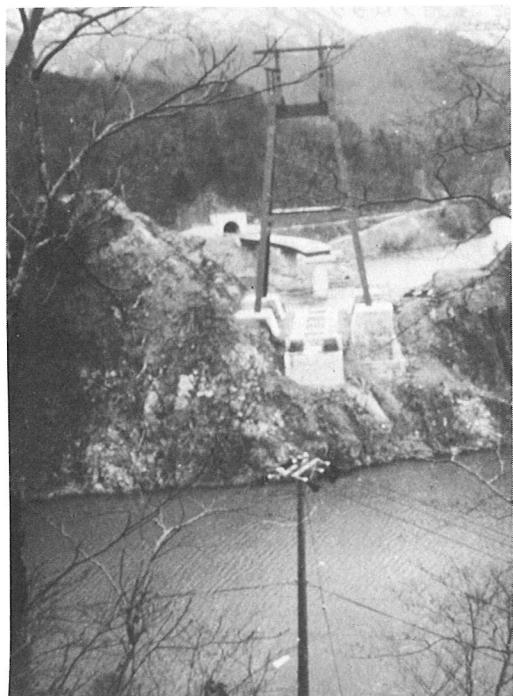


写真-8 着工直前

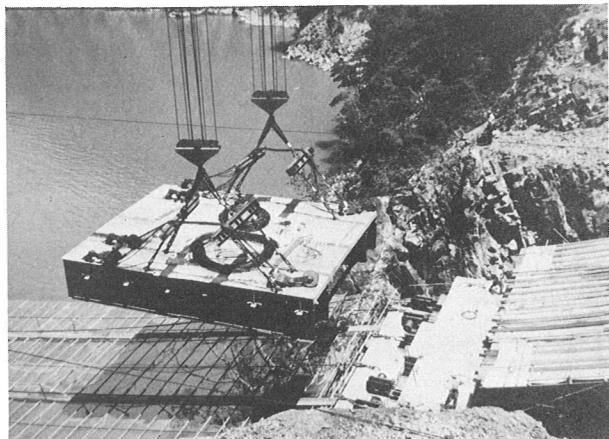


写真-11 第①ブロックの架設

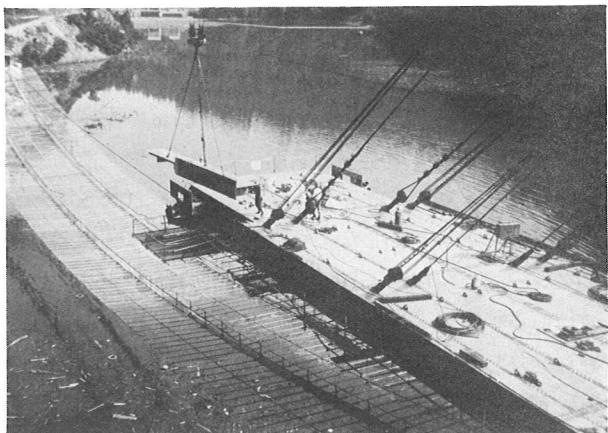


写真-12 仮斜吊りケーブル



写真-9 仮設構造物設置



写真-13 定着装置にジャッキ架台取付け

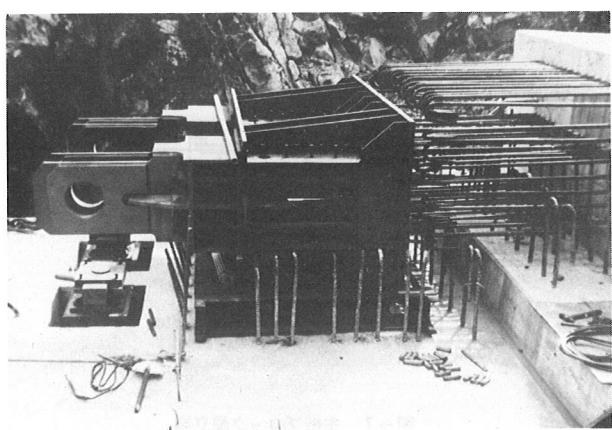


写真-10 水平固定資の据付け

5-1 仮設構造物

5-1-1 ワイヤーブリッジ、防護設備

落下災害防止などのため、最初に、安全ネットで覆った幅 13.6 m のワイヤーブリッジを桁下前面に張渡した。

また、A 4 側においては、トラックケーブルが国道上を横断するので、防護設備を仮設用タワーに取付けた。

5-1-2 地組場、作業足場

つぎに、主桁ブロックの地組み吊上げ場所を、P 2 側の築島部上および A 4 側の橋台前部上の 2 箇所に設けた。

また、架設地点での部材の組立、およびブロック間の連結のために、作業足場を各主桁ブロックの下側に吊下げた。

5-1-3 ケーブルクレーン

ケーブルクレーン設備は、上下流合わせて 4 系統とした。2 系統は 25 t 吊主ケーブルクレーン、他の 2 系統は 5 t 吊補助ケーブルクレーンであり、トラックケーブルの中心間隔をそれぞれ 7.2 m および 10.5 m とした。

トラックケーブルの P 2 側の一端を 35 m の仮設用タワーを越えてコンクリートアンカーに、A 4 側の他端を 30 m の仮設用タワーを越えてロックアンカー (PS アンカー) にそれぞれ定着した。一方、主塔上では、主ケーブルクレーンの端部を主塔横梁に、補助ケーブルクレーンの端部を仮設用タワー (塔上吊上げ設備) 上横桁にそれぞれ定着した。また、ウインチは 70 馬力および 30 馬力複胴型とし、ウインチ小屋を築島部および半島部に設けた。

5-1-4 仮斜吊りケーブル

主桁第①～③ブロックまでを支持した仮斜吊りケーブルは、一端を主塔上横梁に定着し、他端を箱桁ウェップ位置の鋼床版上の吊りピースに定着した。そして、キャンバーを容易に調整できるように、5 車 × 5 車の滑車による繰込み装置を装備した。

5-2 架設要領

5-2-1 A 2, A 3 上固定沓

主桁ブロックの架設に先立って、水平沓および鉛直沓のアンカーフレームの据付け、コンクリート打設を行った。そして、主桁架設終了後に、水平沓前部にコンクリート、および鉛直沓下部にモルタル (タスコン) をそれぞれ打設し完全に固定した。さらに、水平沓については、その後、路面、地覆に対応する上部のコンクリートを打設した。

5-2-2 主桁ブロック

主桁は、中央部 (A 2, A 3 上) より端部 (P 2, A 4 上) へ向けて片押しで、両径間対称に第①～⑯ブロックまでを HT ボルトで連結しながら架設した。なお、仮斜吊りケーブルは、下段ケーブル張力導入後に直ちに撤去した。また、HT ボルトの仮締め、本締めにはインパクトレンチ、ナットランナーを使用し、トルクレンチおよびキャリブレーション用軸力計による数値管理を行った。

各主桁ブロックは、トラックにより部材を地組み吊上げ場所に搬入し、図-7 に示すように組立てを行って、主、補助ケーブルクレーンにより架設地点に運搬した。ただし、A 4 側の最終第⑯ブロックは組立後に第⑭ブロック上に仮置され、地組場解体後に架設された。

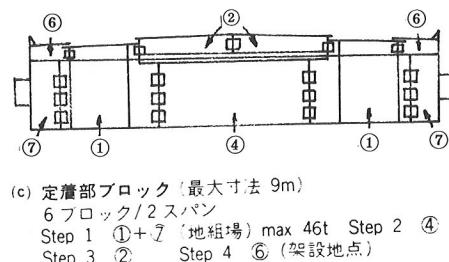
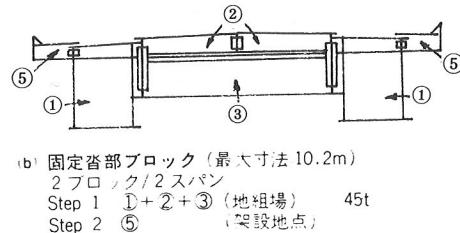
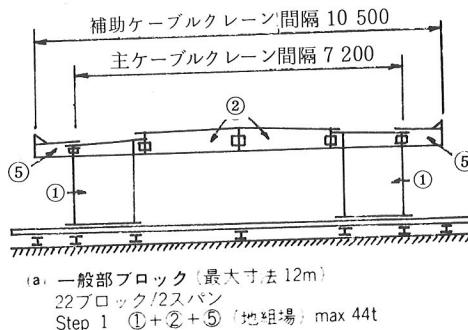


図-7 主桁ブロック組立図

5-2-3 P2, A4上可動沓

主桁架設終了時に可動沓には正の鉛直反力が働くことから、沓を据付けた状態では最終第⑯ブロックを連結できなかった。しかし、最終第⑯ブロック架設直前で第⑭ブロック桁下面と沓据付け面とには適度の空間があったことから、次のようにして鉛直沓を据付けた。

まず、沓およびアンカーボルトを所定の位置に仮置し、ボルト穴（正規の穴より 100 mm 深くあけておいた）および高さの確認を行った。つぎに、沓を取り外し、アンカーボルトを低くした状態で最終第⑯ブロックを架設、第⑭ブロックとの連結を終え、閉合した後に、主桁をジャッキアップして沓を収めたのである。さらに、モルタル（タスコン）を注入して、可動沓の据付けを完了した。

5-2-4 伸縮継手、地覆、高欄

最終第⑯ブロックの連結を終え、閉合した後、伸縮継手の取付けおよび地覆、高欄の建方を行った。

6. ケーブルの架設

仮設構造物およびケーブル架設要領を、図-8に示す。また、ケーブル架設写真の一部を、写真-14～写真-19に示す。

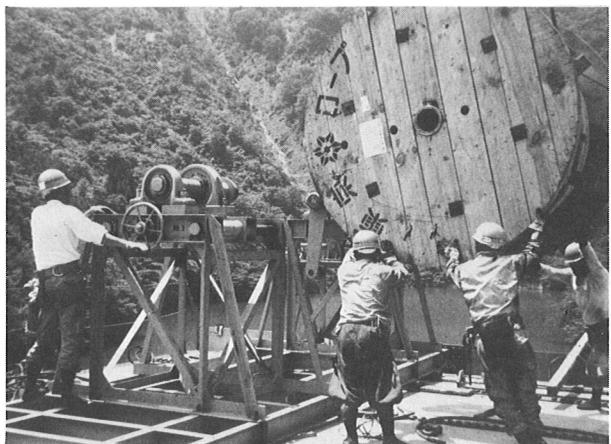


写真-14 アンリーラーに木製ドラムをセット

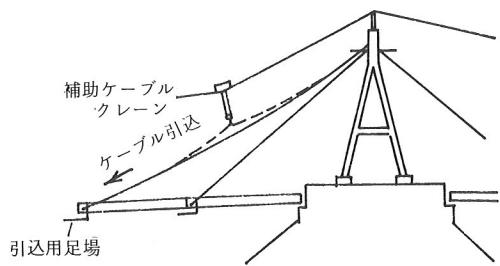
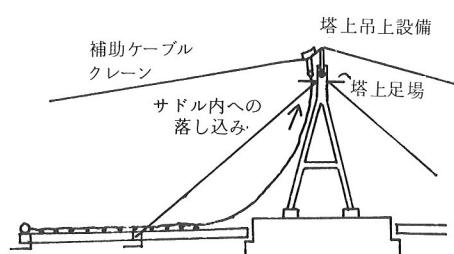
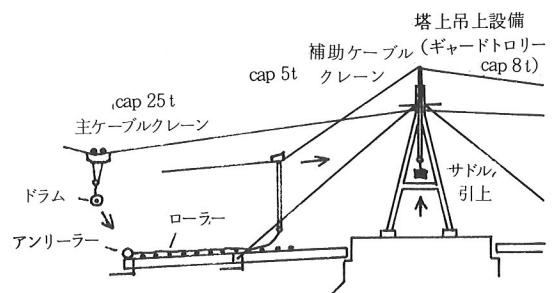


図-8 仮設構造物およびケーブル架設要領



写真-15 LCRの引出し, 展開

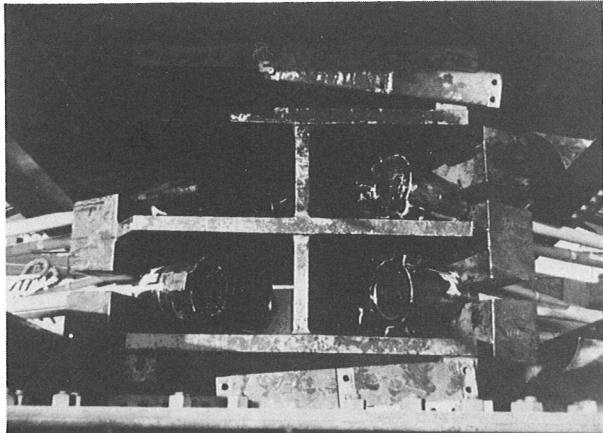


写真-16 塔上サドル内でのソケット定着

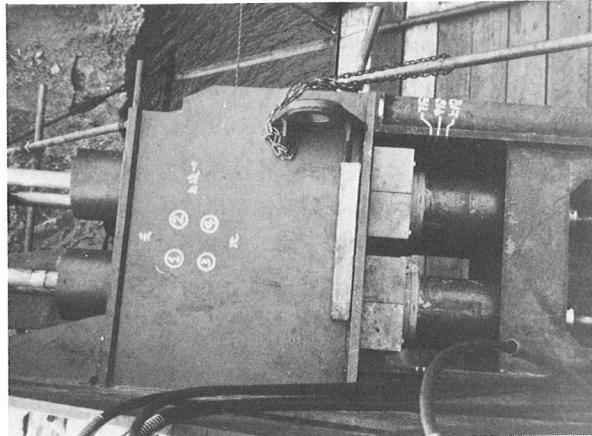


写真-18 支圧板およびシムプレート

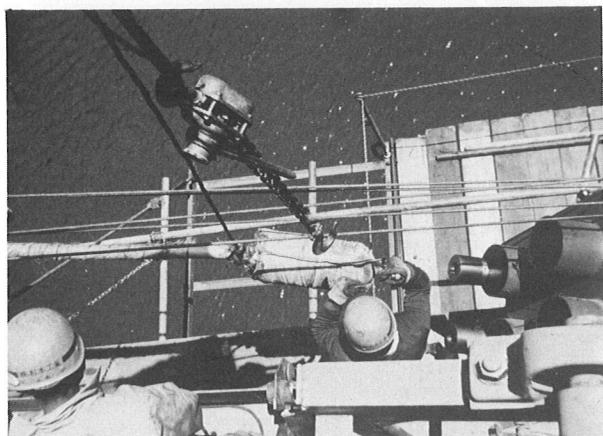


写真-17 桁側のソケットの引込み

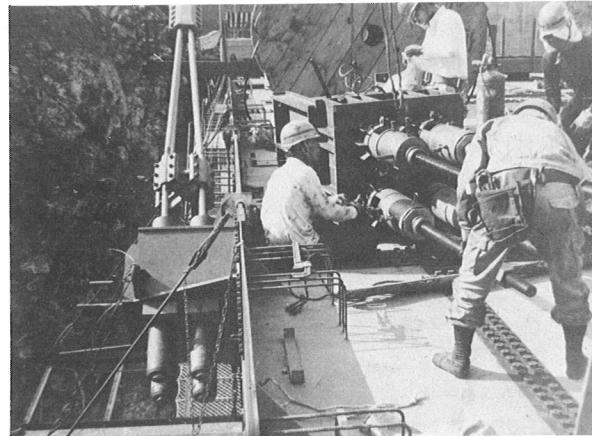


写真-19 架台および120t ジャッキの取外し

6-1 仮設構造物

主桁の架設に用いた主、補助ケーブルクレーンの他に、主塔上の仮設タワー上横桁に設置したCap. 8tのギャードトロリーによる塔上吊上げ設備を使用した。なお、塔上吊上げ設備は、主塔架設完了時に、主塔ブロックの吊上げに使用した70t トラッククレーン（分解してケーブルクレーンにより半島部に運搬された）によって事前に設置された。

6-2 架設要領

ケーブルの架設は、次のような順序で行った。特に、桁側ソケットの引込みは、図-9に示す順序で行った。

- (1) 塔上吊上げ設備のギャードトロリーにより、塔上サドルを吊上げ、据付け。
- (2) 木製ドラムに巻かれたロックドコイルロープをトラックにより現場に搬入し、主ケーブルクレーンで

架設地点へ運搬、主桁ブロック上の定着部付近に設置されたアンリーラーにセット。

- (3) 塔側のソケットを補助ケーブルクレーンにて吊上げ、鋼床版上に約5mの間隔で配置したローラ上を引出し、展開。
- (4) 主塔上において、塔側のソケットを補助ケーブルクレーンからギャードトロリーに盛替え、塔上サドル内へ落し込んで定着。
- (5) 補助ケーブルクレーン、および、引込用クランプと定着装置上の吊りピースに取付けた2台のヒッパラー（レバーブロック）によって桁側のソケットを引込み（ただし、上段ケーブルを引込む際には、引込み長さを短縮するために、補助ケーブルクレーンで中央点を吊ってサグを減少させた）。
- (6) 10t程度で引込んだ後、テンションバーに仮固定し、ヒッパラーを解放。

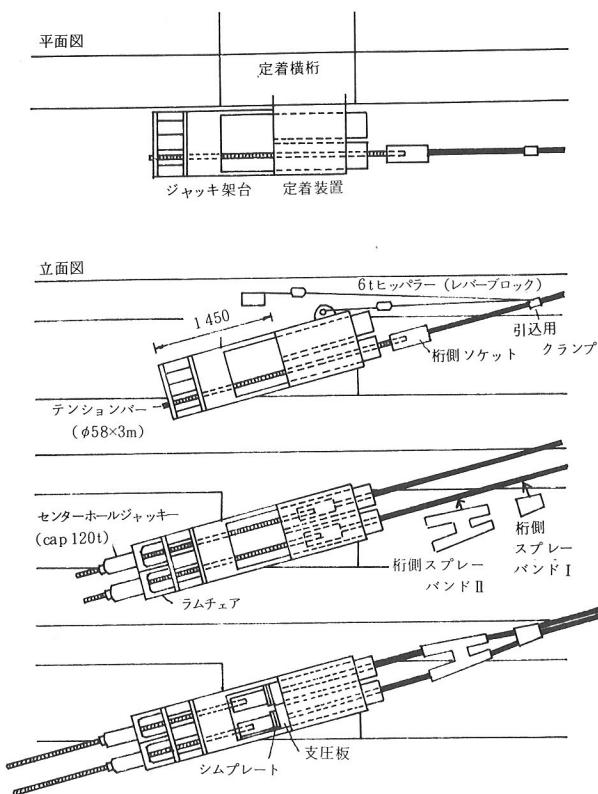


図-9 ケーブル引込図

- (7) センターホールジャッキ4台にて4本のロックドコイルロープのマーキング位置をそろえた後、スプレーバンドおよびケーブルバンドを取り付け、HTボルトを仮締め。
- (8) 120tセンターホールジャッキ16台とテンションバーにより、両径間上下流側の4箇所の引込みを同時にを行い、支圧板をロックドコイルロープの両側からはさみ込んで取付け、桁側のソケットを定着装置に定着。
- (9) 主桁キャンバーを測量して算定した所要厚のシムプレート（正規は40mmである）を挿入し、ケーブル張力を導入、管理。
- (10) スプレーバンドおよびケーブルバンドのHTボルトの本締め。
- (11) 以上の架設順序を反復して全段のケーブル架設を終了し、さらに主桁架設を終了した状態でシムプレート厚を再調整して、最終キャンバー、張力の管理。
- (12) ケーブルカバー、止水キャップを取付けた後、定着部およびバンド部をコーティング。

7. 施工管理

斜張橋独特の合理的架設工法であるにもかかわらず、完全張り出し架設工法の実施例が我が国において過去多くなかったのは、張り出し架設を必要とするような現場が少なかったこともあるが、施工管理上のデータを実用上十分な精度で得るための計算が複雑であり、かつ、施工管理も複雑となることが大きな理由であったと思われる。しかしながら、有限変位理論に基く骨組構造物の非線形解析法が確立された今日、斜張橋特有の非線形性を考慮した斜張橋の解析プログラムが既に開発^{8)~10)}されており、本橋の施工計画においてもフルに活用して、管理方針、要領の決定および種々のデータの算定を行った。

7-1 解析プログラム

適用した解析プログラムは、製作、架設を考慮した斜張橋の実際設計に対応して、次のような非線形問題に対処できるものである。

- (i) サグの影響を考慮して、ケーブルが完成形状に対応した所定の位置に定着された状態で、プレストレスを含む所定の完成時張力を有する条件を満足するケーブルの製作長の計算。
- (ii) 初期ひずみ、形状変化の影響を考慮して、主桁、主塔がケーブルの完成時張力に対応する外荷重を載荷された状態で、所定の完成形状となる条件を満足する主桁、主塔の製作キャンバーの計算。
- (iii) 従来の線形問題としての架設計算におけるような非合理的な逆算なしに、断面諸量、支持条件を調整することのみによる架設工法に対応した架設順序どおりの連続的な架設計算。
- (iv) 製作誤差に対応する架設誤差およびケーブルのクリープの影響の計算、さらに、そのような誤差および影響を除去するために一般に使用されるシムプレートの最適所要厚さの計算。
- (v) サグ、初期ひずみ、形状変化の影響を考慮した各製作、架設段階および完成時の解析計算。

7-2 予備検討

本橋の施工計画では、管理方針、要領を決定する際の参考および管理データの分析資料の収集などを目的とし、図-10に示すような簡略モデルを対象として予備検討を実施した。

まず、各ケーブルの製作長に対応する所要無応力長を

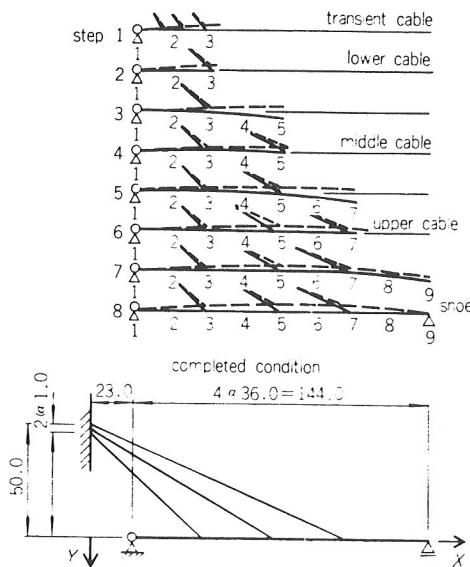


図-10 予備検討用モデル

直線ケーブルとした場合と放物線ケーブルとした場合について表-3のように計算し、両者を比較することによってサグの影響を検討した。なお、この表には参考のためにケーブルの塔側、桁側の両定着点での引張応力も記しておいたが、放物線ケーブルの場合に両者の値が異なっているのは張力の水平成分は等しくても自重の分布を考慮したことにより鉛直成分が異ったからである。

表-3 両定着点での引張応力と所要無応力度

cable	stress (t/m²)		non-stress L.(m)	
	(straight c.)	(parabolic c.)	(str. c.)	(par. c.)
lower	19 853	19 853	20 196	19 559
middle	19 245	19 245	19 424	18 993
upper	25 698	25 698	25 950	25 475
			75.9649	75.9667
			106.7637	106.7710
			139.9930	140.0038

一方、主桁の製作キャンバーに対応する所要無応力度形状を、線形問題とした場合と非線形問題とした場合について表-4のように計算し、両者を比較することによって初期ひずみ、形状変化の影響を検討した。ただし、ケーブルの完成時張力に対応する外荷重は等しくなるので、サグの影響とは無関係であることは言うまでもない。

つぎに、各架設段階および完成時における主桁の最大(最小)鉛直方向変位ならびにケーブルの塔側および桁

表-4 完成形状と所要無応力度形状(単位:m)

NODE	completed shape		non-stressed shape			
			linear analysis		non-linear anal.	
	X̄	Ȳ	X₀	Y₀	X₀	Y₀
1	23.0	0.0	23.0	0.0	23.0	0.0
3	59.0	0.0	59.0070	-0.0453	59.0070	-0.0455
5	95.0	0.0	95.0133	-0.0413	95.0133	-0.0417
7	131.0	0.0	131.0173	-0.0015	131.0173	-0.0018
9	167.0	0.0	167.0173	0.0	167.0173	0.0

表-5 最大鉛直方向変位および両定着点での張力

STEP	linear analysis				non-linear analysis			
	v. displ. (m)		c. tension (t)		(axial member)		(parabolic cable)	
	v. displ. (m)	c. tension (t)	v. displ. (m)	c. tension (t)	v. displ. (m)	c. tension (t)	v. displ. (m)	c. tension (t)
1, 2	-0.065	l. 150 150	-0.066	l. 150 150	-0.123	l. 157 144		
3	0.862	l. 556 556	0.698	l. 514 514	0.695	l. 520 507		
4	-0.163	l. 245 245 m. 214 214	-0.164	l. 245 245 m. 214 214	-0.261	l. 235 222 m. 232 219		
5	1.161	l. 139 139 m. 771 771	0.854	l. 159 159 m. 683 683	0.892	l. 187 175 m. 675 662		
6	-0.455	l. 273 273 m. 277 277 u. 344 344	-0.453	l. 274 274 m. 280 280 u. 340 340	-0.655	l. 277 264 m. 269 257 u. 364 348		
7	0.423	l. 205 205 m. 257 257 u. 842 842	0.424	l. 203 203 m. 253 253 u. 846 846	0.443	l. 202 187 m. 282 269 u. 840 824		
8	-0.159	l. 226 226 m. 278 278 u. 709 709	-0.159	l. 225 225 m. 277 277 u. 709 709	-0.194	l. 224 212 m. 298 285 u. 714 697		
Compl.	0.058	l. 405 405 m. 535 535 u. 920 920	0.058	l. 405 405 m. 535 535 u. 920 920	0.058	l. 412 399 m. 540 528 u. 929 912		

側の両定着点での張力に及ぼすサグ、初期ひずみ、形状変化の影響を検討するために、線形問題およびケーブルを軸力部材あるいは放物線ケーブル部材とした非線形問題として計算を行い、表-5に示す結果を得た。

さらに、ケーブル製作長の許容誤差が主桁の完成形状およびケーブルの完成時張力に及ぼす影響を検討するために、ケーブルを放物線ケーブルとして求めた所要無応力長よりも20mm長い場合について計算を行い、鉛直方向変位および張力の誤差を算出し、表-6に示す結果を得た。

表-6 完成時における鉛直方向変位、張力の誤差

Shortening Cable	v. displacement (m)			c. tension (t)		
	NODE 3	NODE 5	NODE 7	lower c.	middle c.	upper c.
lower cable	0.017	0.007	-0.001	-14	13	1
middle cable	0.007	0.026	0.015	18	-31	19
upper cable	0.000	0.011	0.025	0	20	-40

そして、これらの計算結果および検討から、次のようなことがいえた。

- ① 鉛直方向変位および張力に及ぼすサグの影響は顕著であり、本橋クラスの径間長でもケーブルの引張応力が大きくなれば架設途中では無視できない。
- ② 鉛直方向変位および張力に及ぼす初期ひずみ、形状変化の影響は変形量の大きい各段のケーブル張力導入直前の主桁を張り出した状態で顕著であり、考慮を要する。
- ③ ケーブル製作長の許容誤差の影響は管理上重大なものであり、塔側および桁側の両定着点間隔の誤差による影響も考え合わせれば、シムプレートによる調整が不可欠である。
- ④ シムプレートによるケーブル長の調整に対応して生ずる鉛直方向変位および張力は、調整量がよほど大きくない限りほぼ完全に線形的な重ね合わせが可能であり、シムプレートの最適所要厚さを合理的に算定できる。

7-3 管理データおよび管理要領

実際の管理データは、全橋骨組モデルを対象として斜張橋特有の非線形性を考慮した解析を行い、図-11および図-13を得た。そして、この管理データと施工現場における測量、測定結果とを比較、検討して、シムプレート厚の調整を各段のケーブル張力導入時に、および、最終調整を可動

沓挿入時に行った。その要領を図示すれば、図-14に示すようであった。なお、最適な調整厚さを算定するためには、表-7に示すシムプレートの+50mm調整に対応する鉛直方向変位のデータを線形的に重ね合わせたものを適用した。

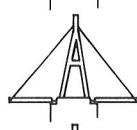
[01] 多点支持仮組立時



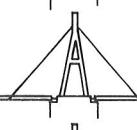
[02] 仮支点支持仮組立時

[1] 下段C引込直前
(仮斜吊り時)

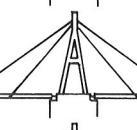
[2] 同・張力導入時



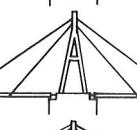
[3] 中段C引込直前



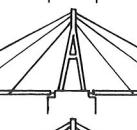
[4] 同・張力導入時



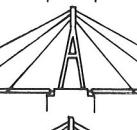
[5] 上段C引込直前



[6] 同・張力導入時



[7] 可動沓挿入直前



[8] 同・挿入時

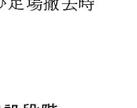
[9] 地覆、高欄、付属物、舗装完了および足場撤去時
(ケーブルのクリープ発生開始時)[10] 完成時
(ケーブルのクリープ発生収束時)

図-11 製作、架設段階

施工現場における測量、測定は外気温、表面温度の安定した深夜あるいは早朝に、次のような要領で実施した。まず、主桁のキャンバー測量（写真-20）については、スタッフをレベルで視準することによった。なお、架設

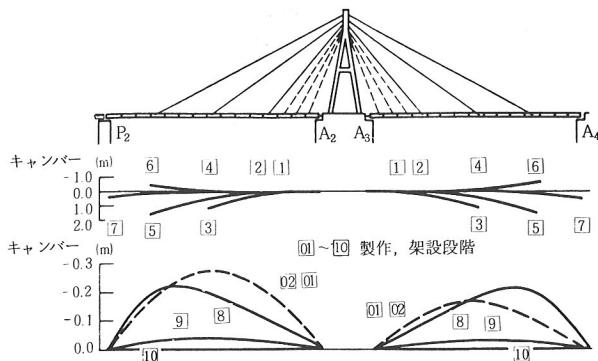


図-12 キャンバーの管理データ

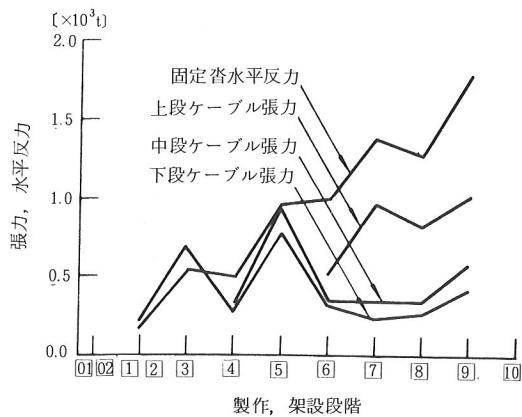


図-13 張力および水平反力の管理データ

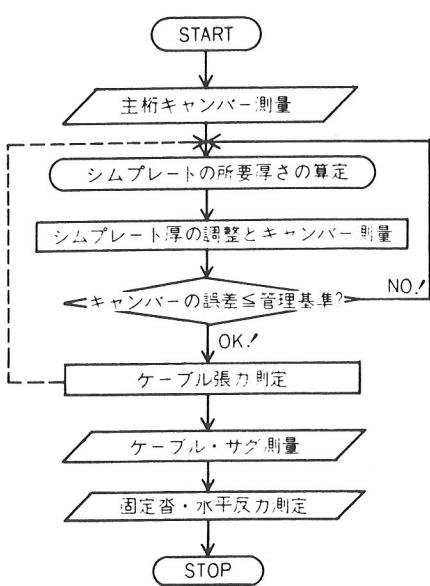


図-14 管理要領

表-7 シムプレートの+50mm調整による鉛直方向変位(単位:m)

架設段階	調整ケーブル	着目位置		
		下段ケーブル 定着位置	中段ケーブル 定着位置	上段ケーブル 定着位置
②	下段ケーブル	-0.080		
④	下段ケーブル	-0.060	-0.022	
	中段ケーブル	-0.012	-0.092	
⑥	下段ケーブル	-0.060	-0.031	0.012
	中段ケーブル	-0.017	-0.059	-0.038
	上段ケーブル	0.003	-0.025	-0.115
⑧ ~ ⑩	下段ケーブル	-0.057	-0.022	0.003
	中段ケーブル	-0.018	-0.065	-0.038
	上段ケーブル	-0.001	-0.028	-0.063

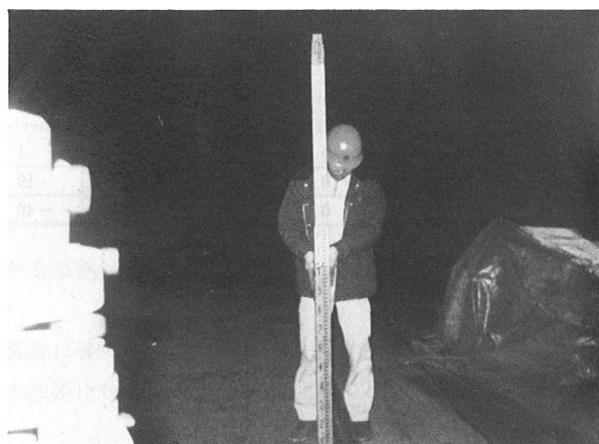


写真-20 キャンバー測量

現場では、P2, A2, A3, A4 上に設けた仮 BM を基準とした。

一方、各段のケーブルの張力測定（写真-21）は、ダイヤルゲージで遊間を計測しながら、120tセンターホールジャッキの圧力計を16台ほど同時に読み取ることによった。なお、張力測定をより完全にするために、ケーブル中央点に取付けたクランプから定格20kgで吊下げられたスチールテープをレベルで規準するサグ測量（写真-22）も行った。



写真-21 張力測定

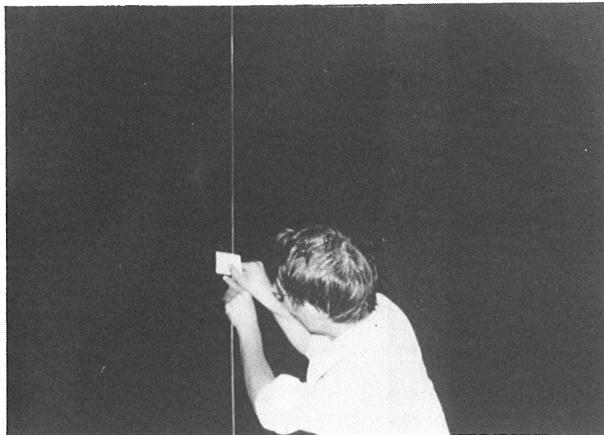


写真-22 サグ測量

さらに、固定沓の水平反力測定（写真-23）は、アイバー部の上下線32箇所に標点を設けて、コンタクトゲージ（マイクロストレインゲージ）によりひずみ測定を行い、その結果から推定することとした。



写真-23 水平反力測定

8. 施工完了時の出来形および実橋試験

施工完了時の主桁キャンバーは規格値を十分に満足し、本工事の施工管理の妥当性を証明することができた。シムプレートの最適調整厚の算定法が、正確かつ合理的であることも検証できた。また、ケーブルに導入したプレストレスを含むケーブル張力の誤差は設計荷重に見込んだ10%をはるかに下回り、その精度を確認できた。さらに、本橋梁に特有の水平固定沓の反力については、反力値を推定することは困難であったが、2箱桁にほぼ均等に生じていることを充分に確認できた。

ゆえに、世界的にも類をみない2径間非連続桁斜張橋である本橋が、本邦最大級の完全張り出し架設工法によ

っても施工上特に問題点を生じずに、ほぼ設計通りの完成系を得ることができたと判断してもよいと思われた。ただし、主桁架設を終了した状態での最終キャンバー、張力の管理において、ある程度のシムプレート厚の再調整を必要とした一因は、架設途中において生じたケーブルのクリープによるものと思われ、ロックドコイルロープを斜張橋のケーブルとして使用する場合には、注意を要すると思われた。

なお、施工完了から約1年後の昭和54年10月、舗装および塗装を完了した状態（ケーブルのクリープもほぼ収束していると思われた）で、静的載荷試験および振動試験による実橋試験を実施して設計、施工の妥当性、完成橋梁の安全性などを再確認したが、詳細については、本技報の「合掌大橋（旧名：新滝橋）載荷試験報告」の項に譲ることにする。

9. 実施工工程

斜張橋部の主桁およびケーブルの施工の実施工工程は、表-8に示すとおりであった。積雪のために冬期間作業中止という困難を乗り越え、昭和53年10月、工期どおりに無事故で完工した。

表-8 実施工工程

内 容	昭和52年						昭和53年								
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
計 画															
主 桁 の 製 作															
ケーブル鍛鋼品の製作															
完成主塔その他測量															
アンカー、塔上設備 その他準備工														(冬期間作業中止)	
ワイヤブリッジ 防護設備工															
ケーブルクレーン設置															
固 定 滑 据 付															
主 桁 ブロッ ク 架 設															
仮斜吊ケーブル 設置から撤去															
上中下段ケーブル引 込 バンド取付															
可動沓 仮置、 固定															
最終ケーブル調整(最終 キャンバー、 張力)															
地 覆、 高 檻 建 方															
付 屬 物 取 付 ヨーキング止水															
仮設構造物解体 跡片付															

10. あとがき

本文は、「合掌大橋（旧名：新滝橋）」斜張橋部について、主として主桁、ケーブルの製作、架設に関する報告を行ったものである。本文では、特に施工管理に関して詳細に述べたが、各位の御批判、御教示をいただければ幸いである。

最後に、本工事を実施する機会を与えて下さり、さらに、本技報に掲載することを心良く御承諾下さった建設省北陸地方建設局富山工事事務所の方々に対して、心より御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 鋼構造進歩調査委員会：我国における鋼構造物の構造形の発達，木土学会誌，Vol. 64, No. 2, 1979.
- 2) 千葉・丸山：ファン型斜張橋「新滝橋」，橋梁，Vol. 13, No. 6, 1977.
- 3) 倉島・松橋：新滝橋（合掌大橋）の設計，施工，橋梁，Vol. 15, No. 1, 1979.
- 4) 倉島・松橋・荒谷・西岡：新滝橋（合掌大橋）の施工，橋梁と基礎，Vol. 13, No. 6, 1979.
- 5) 日本鋼構造協会編：吊構造，コロナ社，1975.
- 6) 小西一郎編：鋼橋—設計編II—，丸善，1975.
- 7) 土木学会編：斜張橋資料集成，1975.
- 8) 前田・林・前田：斜張橋の設計における非線形問題，構造工学シンポジウム，1978.
- 9) 前田：製作、架設を考慮した家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.
- 10) 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.