

【論文・報告】

美恵橋の設計と施工

Design and Construction Report of MIE Bridge

片岡章悟*
Shogo KATAOKA

陶器正**
Tadashi TOHKI

橋本利幸***
Toshiyuki HASHIMOTO

上田正俊****
Masatoshi UEDA

新谷順也*****
Junya ARATANI

渡辺 潔*****
Kiyoshi WATANABE

1. まえがき

木曾川は長野県南部の活火山・御岳に源を発し、岐阜県東部から濃尾平野を流れ、伊勢湾に注ぐ河川である。

木曾川沿いには数々の観光地や自然公園があり、岐阜県東部の「恵那峡」もその一つである。

恵那峡は木曾川によって浸食されたU字谷で両岸が急峻な地形となっており、河川幅は下流に大井ダムがあるため約150mと大きい。美恵橋はこの恵那峡を跨いで架橋され、その形式はこれらの地形条件及び景観等を考慮して上路式ローゼ桁が採用されている。

本橋は旧美恵橋が昭和58年9月の水害により流失したため、橋梁災害関連事業として岐阜県恵那土木事務所が工事を行なっている。

旧美恵橋は昭和36年8月に当社が施工した補剛トラスをもつ下路吊橋で上弦材にプレストレスを与えた吊橋である。現在は主構と床組が流失しケーブルのみが無残な姿で残っており、災害の凄まじさを物語っている。

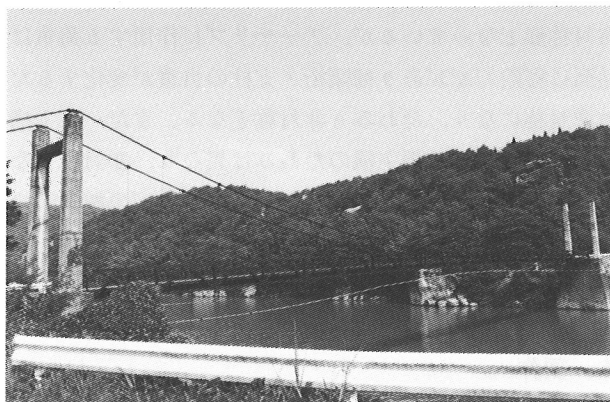


写真-1 旧美恵橋



写真-2 架設完了

2. 工事概要

本橋の全体一般図を図-1に示す。

工事名	公共橋りょう災害関連事業 (美恵橋上部工) 工事
路線名	一般県道 苗木～恵那線
工事箇所	岐阜県中津川市苗木字津戸～駒場字西山
発注者	岐阜県 恵那土木事務所
道路規格	3種4級 (V=40km/h)
型式	上路式ローゼ桁+単純合成桁
橋長	212.0m
桁長	211.75m
支間	24.4+150.0+36.6m
幅員	一次車道 6.5m 二次車道 6.5m 歩道 1.5m
橋格	一等橋 (TL-20)
震度	$K_h = 0.18$ $K_v = 0.10$
床版	大型車両 500～1000台/日 補修難易 容易
鋼重	753t

* 大阪支社設計課係長 ** 大阪支社設計課 *** 栃木工場生産技術課 **** 富山本社工事事務課係長 ***** 富山本社工事事務課
***** 富山本社工事事務課計画課

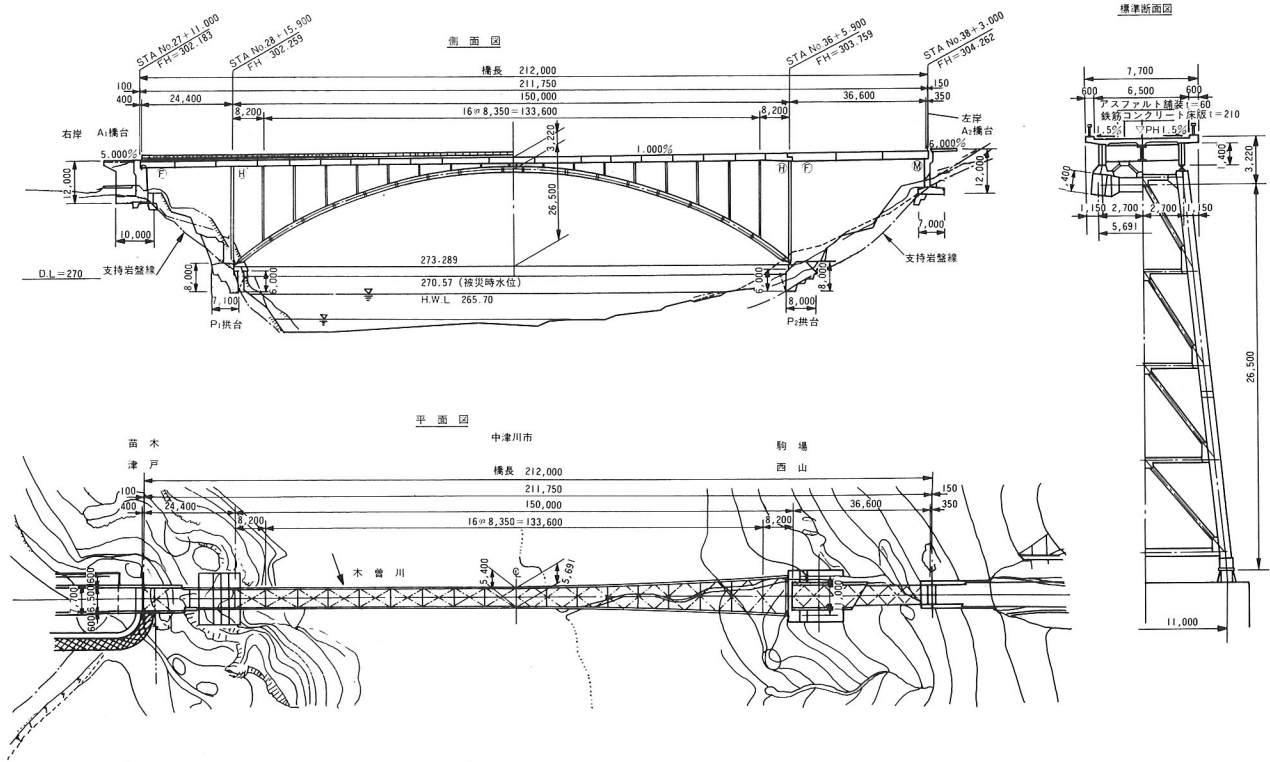


図-1 全体一般図

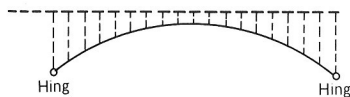
3. 設計

(1) 設計概要

- 本橋の構造特性は次の4点に要約する事ができる。
- アーチリブの形状が放物線形状をなしている。
 - 補剛桁の1端を橋軸方向に固定することによりアーチの水平変位を抑え面内剛性を高めている。
 - アーチリブをバスケットハンドル状に傾けることによってアーチ面外の剛性を高めている。
 - さらに路面縦断は1%直線勾配となっているが、アーチリブのアーチヒンジの位置は架設の施工性を考慮して水平に配置されている。

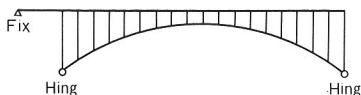
主構の設計は、架設工法を考慮し、構造系を図-2に示す2系に分けて行なった。

系1 2ヒンジアーチ系



2ヒンジアーチ系に全鋼重が作用する。

系2 逆ローゼ完成系



逆ローゼ完成系に後死荷重(歩道添加・合成桁反力含む)及び活荷重が作用する。

図-2 構造系

断面力の解析は平面骨組構造物として微小変形理論より求めたが、アーチ骨組線の変位の影響が無視できない為、有限変形理論と微小変形理論を比較して割り増し係数を求め、断面決定に支配的な曲げモーメントについて微小変形理論による断面力を約10~20%の割り増しした。また、面外解析はアーチリブはバスケットハンドル状をなしている為、風荷重・地震荷重について立体骨組構造物として解析しており、それぞれの解析結果を累加して設計断面力としている。

但し、終局耐荷力の照査は有限変形理論を用いてその安全度を確認した。

(2) 製作キャンバー

本橋のアーチリブはアーチヒンジ位置を水平にし、左右対称形となっているが、アーチリブに作用する荷重は路面に縦断勾配があり補剛桁・支柱の自重が変化するため非対称になり、たわみも非対称となる。また、両主構の剛度差により、両主構のたわみは異なり、非対称となるが、その量が僅かであったのでアーチリブの架設時の作業性及び施工精度を考慮して製作キャンバーは対称とし、かつ両主構のキャンバーを同一とした。

4. 製作

(1) 原寸骨組線

製作そりのうち、アーチリブは全死荷重によるたわみを考慮し、補剛桁については後死荷重(床版・舗装・高欄重量等)によるたわみを考慮して作図した。また、中

間部支柱の長さや取角角度は、補剛桁の製作そりポイントとアーチリブの架設後の製作そりポイントを結んだものとし、端支柱は完成系とした。

(2) 製作

全体形状の決め手となるアーチリブ、鉛直材(端支柱)の現場添接面はメタルタッチを目的として、フェーシングマシンにて端面切削仕上げを行ない、部材長・端面精度の確保に努めた。

また、後述のごとく仮組立は天地逆組立にするので、仮組立順序として最終となるアーチリブ端部材は、最終微調整部材として仮組立時に図-3の位置の寸法を測定し、本体とベースプレートとのタッチ面を切削してベースプレートを取り付け、溶接による歪み取りが終ってからさらにベースプレート面をフェーシングマシンにて切削し、ヒンジ沓とメタルタッチになるようにした。

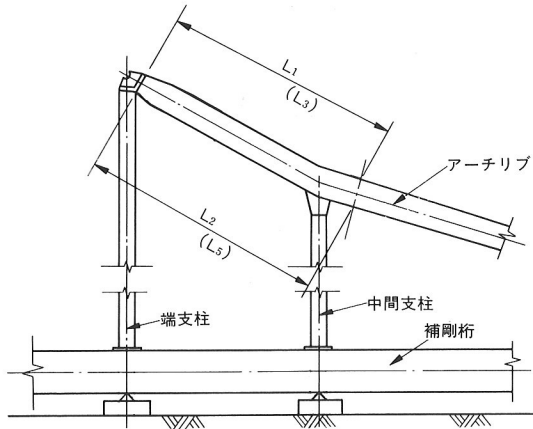


図-3

(3) 仮組立

アーチ部について、その形状より正常な立体仮組立が

困難であることから写真-3のごとく天地逆立体組立を行なった。

なお、補剛桁とアーチリブでは製作そりの系が異なりこれを一体とした全体の立体組立ができないので、アーチ中央部では事前にアーチリブと補剛桁との連結状態を完成形で照査した後、製作そり量の違いによるずれの処理として、アーチ中央部ではずれ量を考慮した組立用添接板を用い、その他支柱部についてはライナープレートをはさみ込んで立体組立をし、補剛桁・支柱・アーチリブとの取合関係の確認した。

また、ヒンジ沓の間隔(支間長)は光波測距儀を使用して測定した。

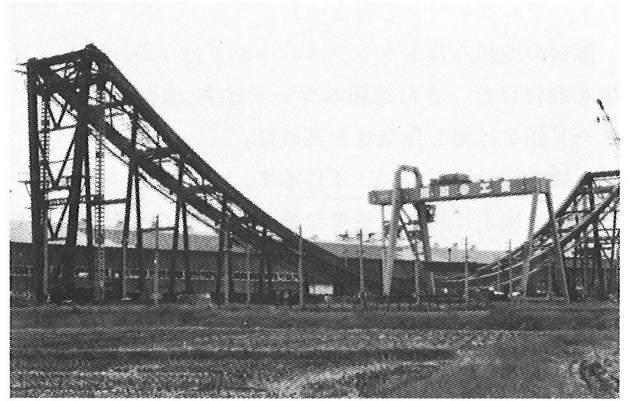


写真-3 工場仮組立

5. 架設

(1) 架設概要

架設工法は地形条件・経済性・施工性をふまえて検討

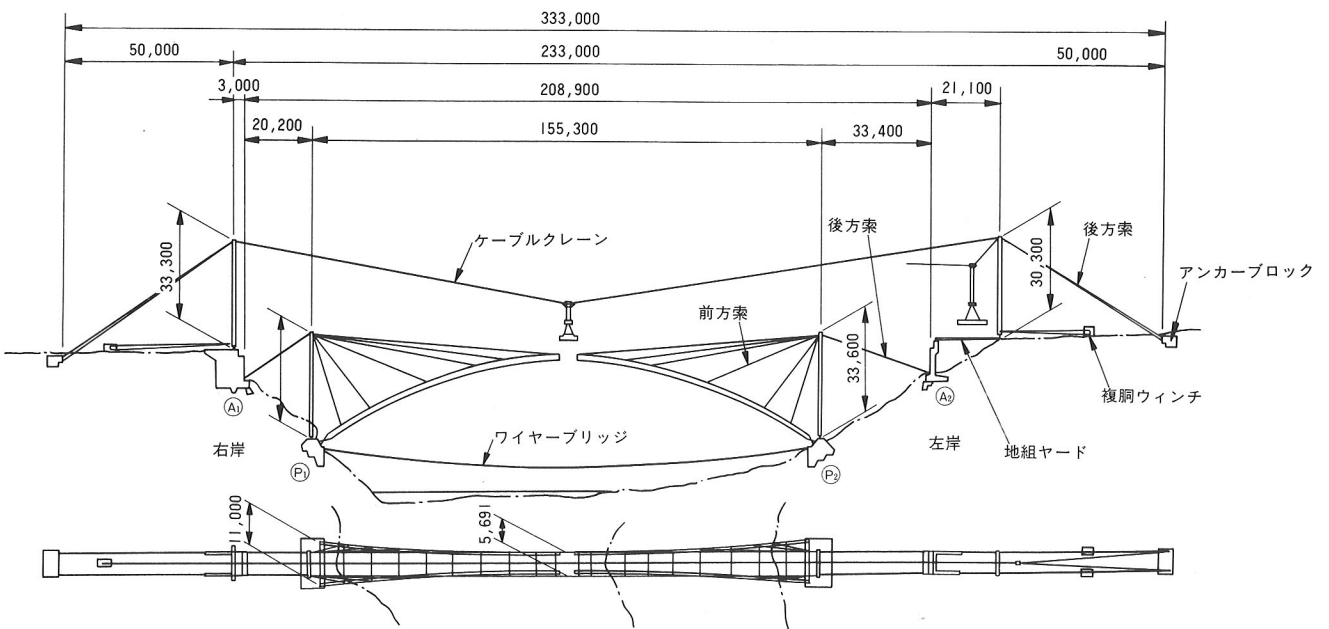


図-4 架設概要図

した結果、斜吊り索でアーチリブを多点支持し、ケーブルクレーンで架設する多点支持の斜吊り工法を採用した。

斜吊り用の鉄塔はローゼ桁の端柱を使用せず、独立柱としてアーチ橋台上に建込んだ。これはアーチリブと鉄塔の回転変位が独立な動きを示す理由からである。

斜吊り鉄塔よりフォワードケーブルで支持し、片持ち架設し、支間中央部で閉合部材を落し込んで閉合した。

斜吊り用のバックステーケーブルのアンカーは兩岸の橋台を利用した。

支柱及び補剛桁の架設は斜吊り設備解体後、支間中央より両端に向かって、対称に行なった。

部材の運搬は3系統のうちのサイド2系統で行ない。

小部材の運搬及びフォワードケーブルの取付けは中央のケーブルクレーンで行なった。

部材の地組みはトラッククレーンで行ない、同時に足場も取付けた。また地組みヤードはA₂橋台上をH鋼でヤード幅を拡幅し作業性を高めた。

本橋の架設概要を図-4に示す。

本橋の施工に於ける重要な事項であるアーチリブの架設方法は橋体自重によるケーブルの伸びやタワーの傾き及び温度変化によるアーチリブの形状変化を考慮した解体計算に基づいた各架設ステップ毎の計画値に対して、フォワードケーブル及びバックステーケーブルで調整し管理した。またケーブル張力はケーブルに取り付けた調整装置のジャッキにて計測して形状管理を行なった。

現場施工の順序を図-5のフローチャートで示す。

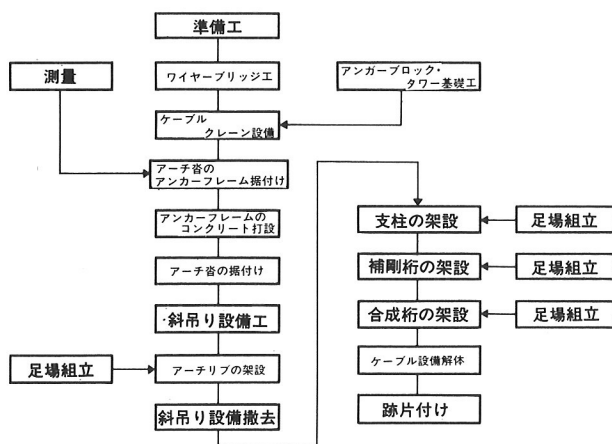


図-5 フローチャート

(2) 架設検討

架設検討は次の3項目に分けて行なった。

- 斜吊り索撤去後のアーチリブの残留たわみ
- 各架設ステップに対するアーチリブの形状及び斜吊り索の張力・無応力長の決定
- 各種誤差が架設途上の形状及び張力を与える影響

図-6に架設ステップを示す。

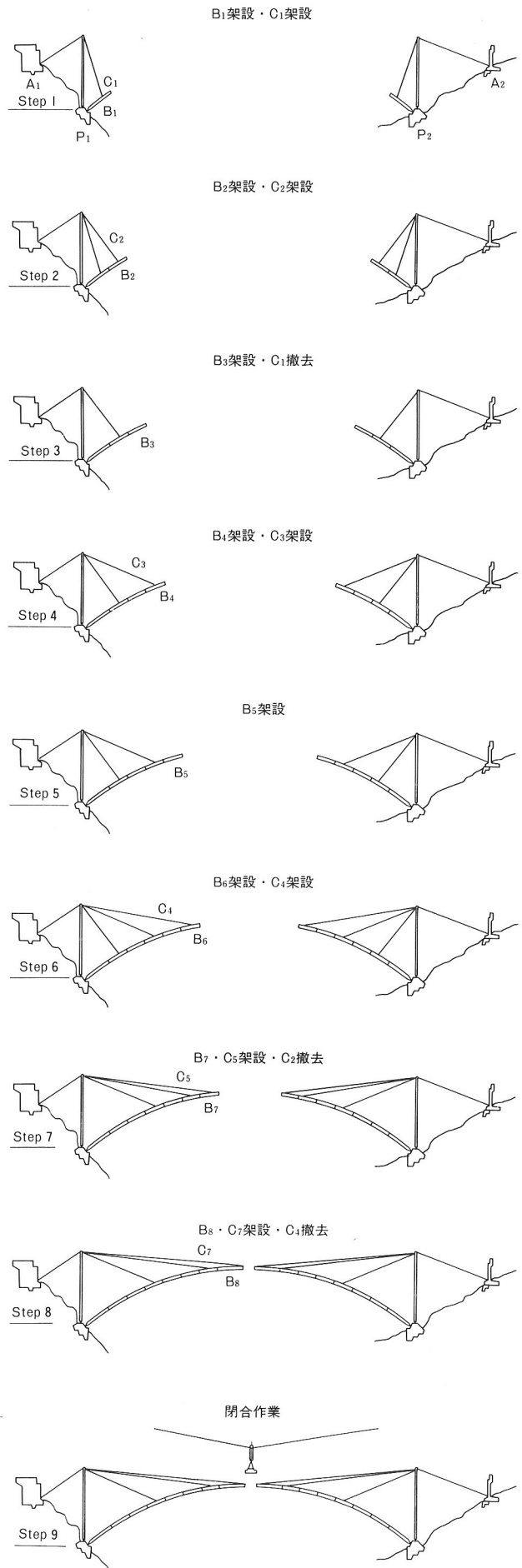


図-6 架設ステップ図

アーチリブをケーブルにて多点支持する斜吊り工法ではアーチリブの変形及びケーブル張力の影響により、アーチリブを工場仮組み寸法通りの無応力形状で架設することができない。

しかしアーチリブの閉合直前の形状を斜吊り索の張力を操作することにより無応力状態に近づけることは可能である。

閉合直前のアーチリブの形状誤差は完成形状に大きな影響を与える。この閉合直前状態を予想することが斜吊り架設計算の重要なポイントである。

解体計算により、各ステップの形状及び斜吊り張力・無応力張を決定し、現場架設の省力化、架設精度の向上を期待した。

閉合直前状態の構造解析は図-7に示す様にアーチリブ・後方索・塔・前方索からなる、平面骨組構造物としてアーチリブ完成系の骨組を用いて微小変形理論で解析を行なった。

仮定条件は次の様に設定した。

ケーブルはサグの影響を考慮しない公称断面定数を用いる。また塔は曲げ剛性を考慮した断面定数を用いる。

閉合部の仕口は鉛直・水平変位及び回転変位が0となり、各斜吊り点では鉛直変位が0となる様に設定した。

これはアーチリブの形状が近似的に無応力の形状になったと見なせる事を意味し、閉合作業時には後方索のジャッキシステムを用いて主構をセットバックさせて、落とし込みの為の際間を確保する方法を用いるためである。

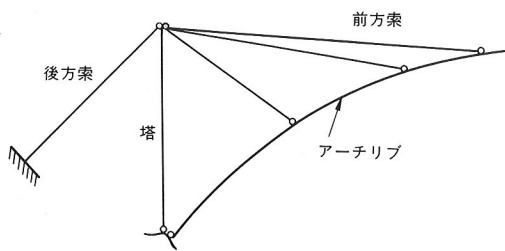


図-7 構造解析モデル

アーチリブによるたわみは2ヒンジアーチに自重が作用した場合のたわみと若干の相異がある。

これは3点支持の斜吊り工法であるため、アーチリブ閉合時に完全な無応力形状の再現が不可能であるため生じるものである。

設計値は2ヒンジアーチにアーチリブの自重が作用した時のたわみとなる。(図-8)

実際のたわみは閉合直前の斜吊り系にアーチリブの自重によるたわみと閉合後の2ヒンジアーチ系に閉合部材自重と斜吊り索解放の反力によるたわみを重ね合わせたたわみとなる。(図-9)

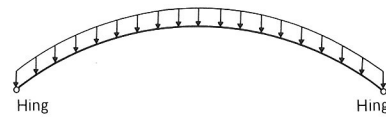
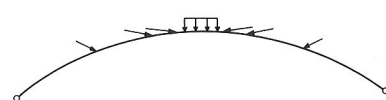


図-8

設計値
2ヒンジアーチ系のアーチ自重によるたわみ



系-1
斜吊り系のアーチ自重によるたわみ



系-2
閉合部材の自重と斜吊り索解放時反力によるたわみ

実際のたわみ (系1+系2)

図-9

本橋の場合のこのたわみ差は図-10に示す様に最大11mmであり、現場作業にて十分対応できる量であった。

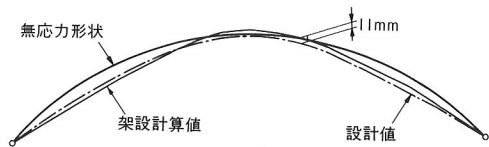


図-10

各ステップに対する検討は閉合計算で算出したアーチリブの形状及び断面力が無応力状態に近いことを確認した上で、現場架設とは逆手順に部材・荷重を除去する解体計算を行ない、各ステップのアーチリブの形状と斜吊り索の張力及び無応力長を算出した。

図-11に各ステップ解析結果を示す。図中の引き込み量は各ケーブルのプレストレス量を示し、無応力長は格点間距離から引き込み量分だけ短くなることを意味する。

(3) 仮設備

a) 防護設備

架設に先立ち、工事中の転落災害、飛来落下防止及び対岸への通路として、拱台をアンカーにワイヤブリッジを張り渡した。また、橋下を通過する定期観光船への防災に充分配慮した。

b) ケーブルクレーン設備

ケーブルクレーン設備は両サイドを20t吊り、中央を12t吊りの3系統を設置した。

タワーは部材搬入路の関係上、左岸側(A₂)を荷取り場とし、橋台より20m後方に、右岸側(A₁)は橋台上

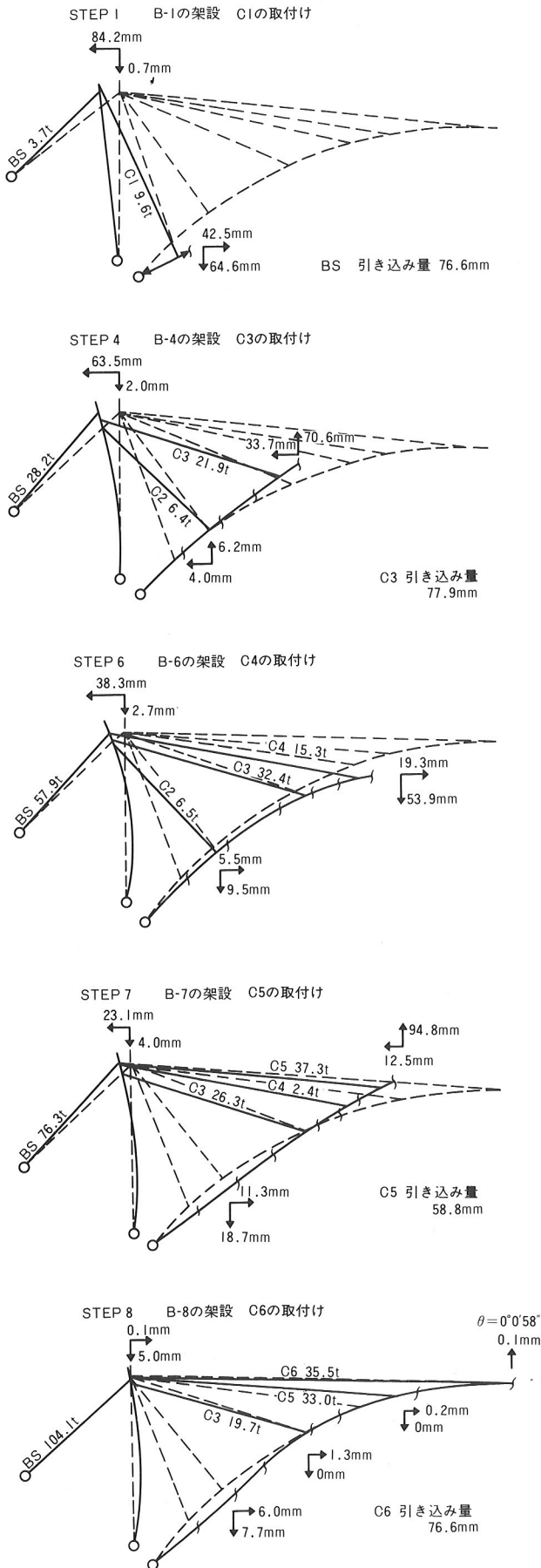


図-11 各ステップ解析結果

にトラッククレーン（45t）で建込んだ。

アンカーブロックはそれぞれ後方50mの道路に設置した。

c) 斜吊り設備

タワーは拱台上にそれぞれケーブルクレーンで建込んだ。

フォワードケーブルは片側6本とし架設の進行に伴い塔頂に取り付けた。ケーブル調整装置はアーチ1/4点と先端に配備した。

バックステーは橋台をアンカーとし、定着部には調整装置を設置した。また、フォワードケーブルの引き込み用ウインチを両岸に据え付けた。

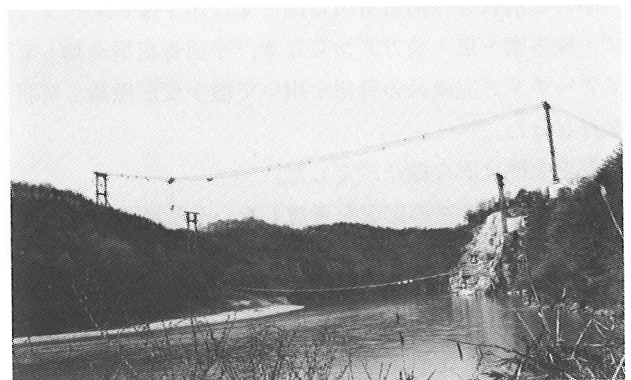


写真-4 仮設備状況

(4) 架設工事

a) アンカーフレーム・アーチ沓の据え付け

アーチ橋の架設精度はアンカーフレーム・アーチ沓の据え付け精度に大きく影響される為、工場仮組立ての計測値を考慮して据え付けた。アーチ沓はアーチリブの第一ブロック架設後に固定した。

b) アーチリブの架設

アーチリブは片面17ブロックからなっており、地組ヤードで面組みし、作業性・安全の面から足場も取付けこれを架設ブロックとした。

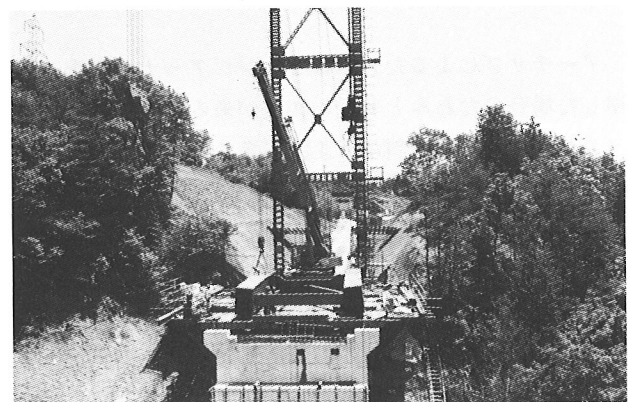


写真-5 地組み状況



写真-6 アーチリブ架設状況

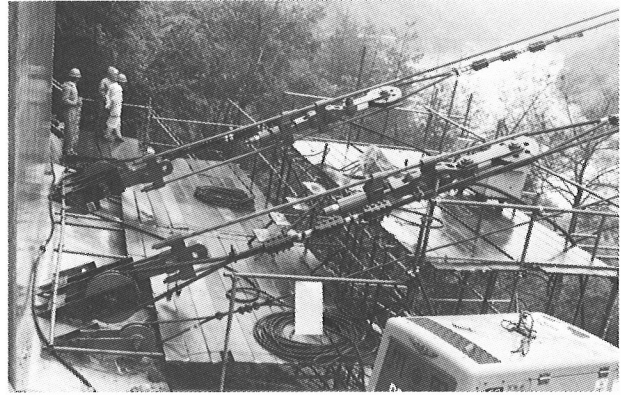


写真-10 バックステーの状況

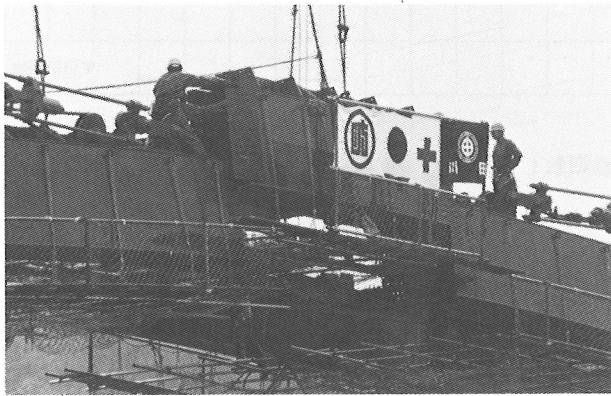


写真-7 アーチリブ閉合作業

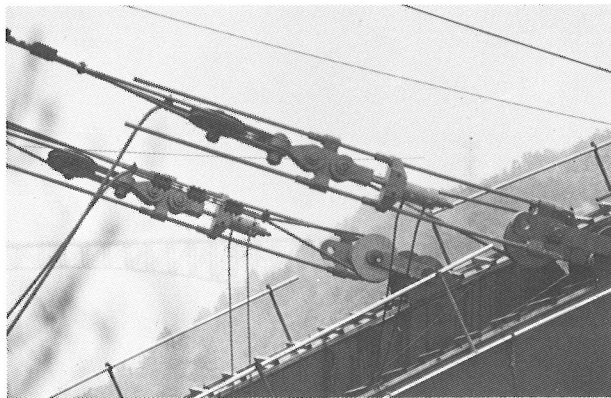


写真-8 ケーブル調整装置

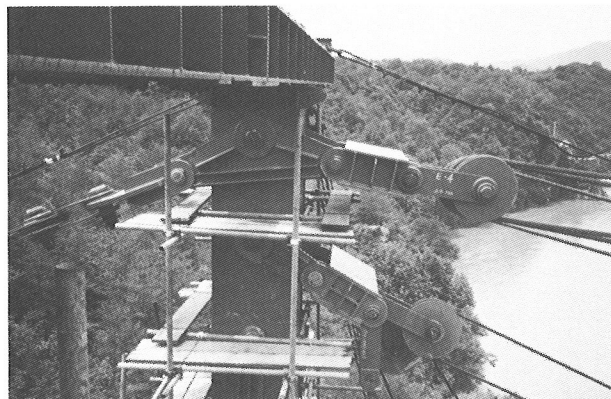


写真-9 塔頂の状況

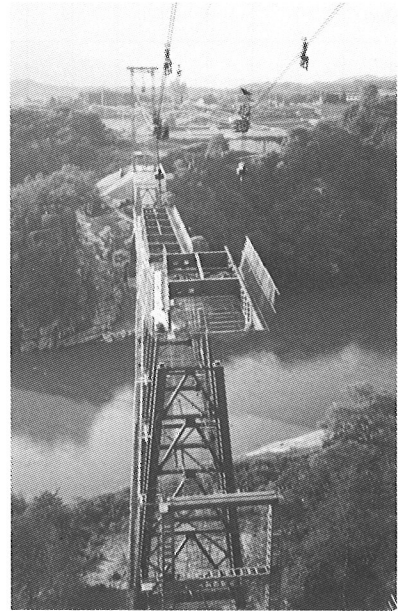


写真-11 補剛桁の架設状況

架設は両岸より中央に向って、対称に行ない、各ブロック架設毎にアーチリブの形状を測定した。

閉合ブロックの架設に先立って、アーチリブの形状を測定し油圧ジャッキにより調整した。その時の張力は計画値と20%程度の違いがあったが、これはケーブルに調整装置があるために、ケーブルが折れていたたり、ケーブルサグによる影響を正確に把握することができないからである。しかし形状は、ほぼ満足の得る結果となり、落し込み間隔は計画値に対して10mm狭まっていたが、両岸のバックステーケーブルの調整を行なうことによりワーキングスペースとして50mmを確保した。

閉合作業の当日は朝からあいにくの雨であったが、日照の影響が少ない事を考え、作業を行なった。

閉合作業は最初に右岸側を添接し、その後に両岸のバックステーの調整装置を操作して、左岸側を添接した。添接箇所のボルト孔・部材のタッチ面もほぼ満足なものとなり、閉合作業は予想以上に円滑に完了することができた。

