

# 下津井瀬戸大橋(1A) トンネルアンカーフレームの施工

西垣 登\*

## 1. まえがき

下津井瀬戸大橋(図-1)は、本四連絡橋児島～坂出ルートのもも本州寄りに位置し、岡山県児島と香川県櫃石島を結ぶ単径間吊橋で、本橋のケーブルアンカーレイジは、児島側(1A)と櫃石島(4A)につくられた。櫃石島側は従来通りの重力式であるのに対して、児島側はトンネル型式のアンカーが採用された。このような大規模なトンネル式アンカーレイジは、日本では初めてで、世界でもアメリカに続いて二番目の工事である。

本報告は、下津井瀬戸大橋(1A)トンネル式アンカーフレーム架設工事の概要を記すもので、構造一般図を図-2に、実施工程表を表-1に、また坑口付近の様子を巻頭のグラビアに示す。

## 2. 工事概要

本工事の概要は以下のとおりである。

トンネル延長：東側アンカー 77.20m

西側アンカー 75.70m

トンネル勾配：下り38°

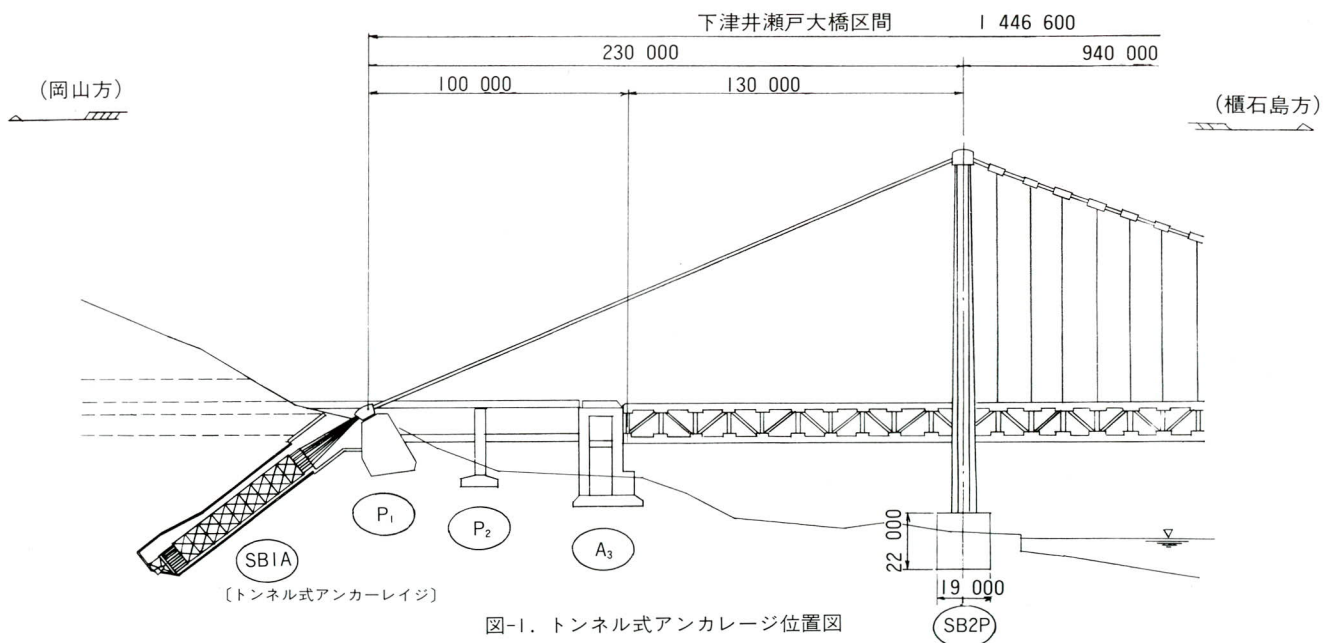
アンカーフレーム全体重量：2641.60ton(2基)

なおアンカーフレームの重量内訳を表-2に示す。

## 3. トンネル式アンカーレイジの選定理由

トンネル式アンカーレイジを採用した理由は下記の通りである。

- 1) 児島側の1Aアンカーレイジは、鷲羽山の山腹に位置するが、鷲羽山は、瀬戸内海国立公園の中



\* 宮地建設工業(株)本四プロジェクト室

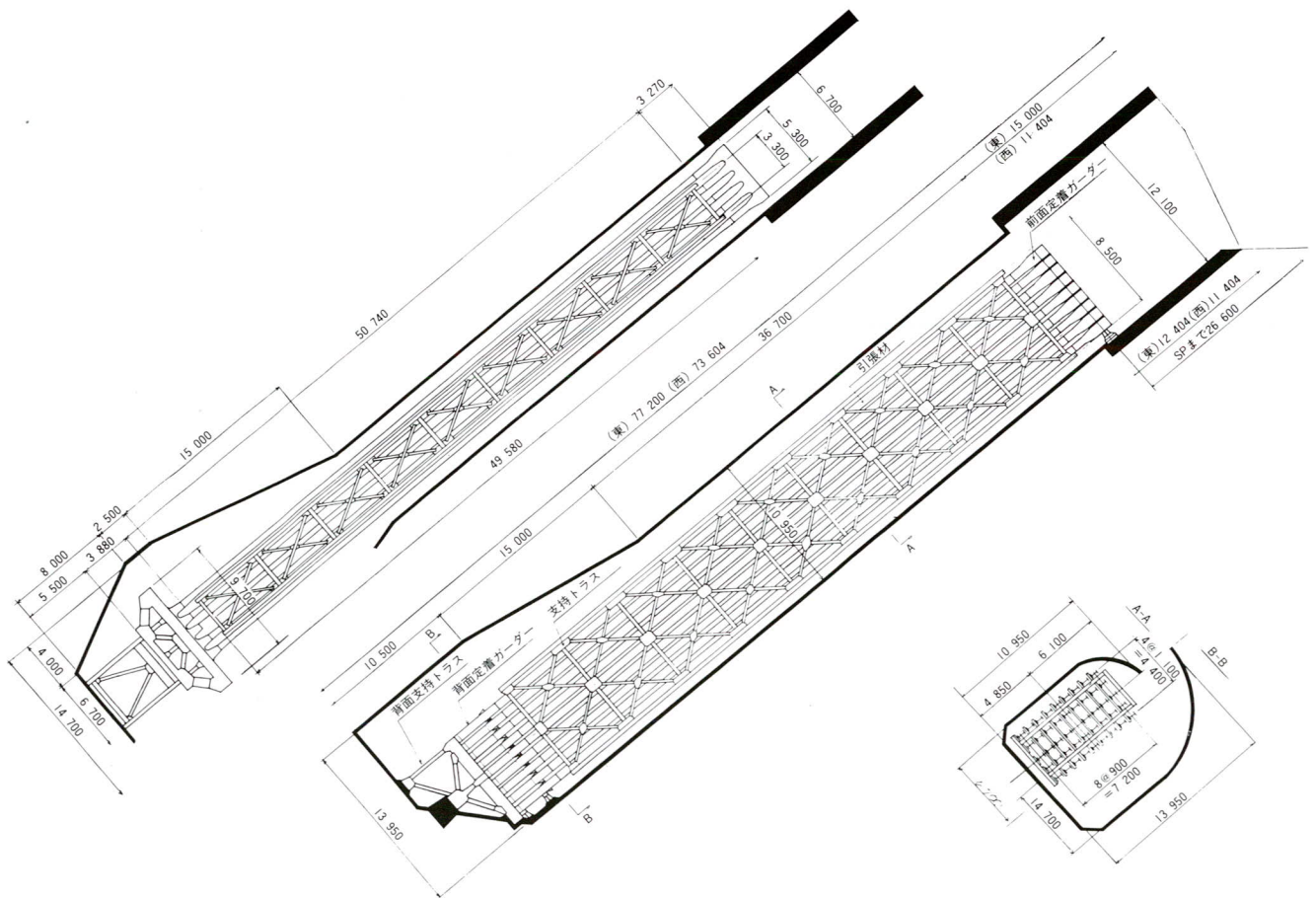


図-2. アンカーフレーム構造一般図

表-1. 実施工程表 (東側トンネル)

月日	2月			3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月
	10	20	29	10	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10
工事項目																						
準備工	測量			坑内枕木調整換付																		
				回転軸受設備			坑内台車			坑内吊上設備												
背面支持トラス										段取り			搬入、据付									
背面定着ガーダー										段取り			搬入、据付			解体						
支持トラス													段取り			搬入、据付			解体			
引張材																段取り			着とし込み			解体
前面定着ガーダー																			段取り			据付
現場塗装																			現場塗装			
引張材縁切り																						引張材縁切り

※西側トンネルは、4～5日遅れて追従施工

表-2 アンカーフレーム重量内設表

名称	重量 (kg)	高力ボルト重量(kg)	合計 (kg)
背面支持トラス	33,062	620	33,682
背面定着ガーダー	367,090	11,263	378,353
支持トラス	266,366	9,308	275,674
内部引張材	1658,624	76,291	1734,915
前面定着ガーダー	212,220	210	212,430
架台	6,544	—	6,544
合計	2543,906	97,692	2641,598

高力ボルトは全てトルクシャワー型を使用

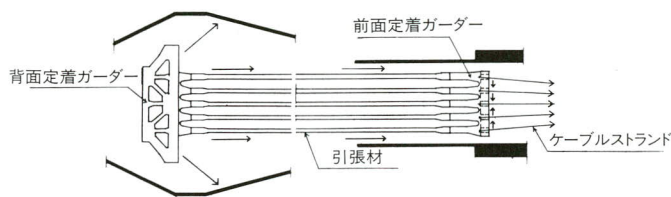


図-3 応力伝達概要図

でも、多島美を一望することができ最も景観の良いところといわれ、自然破壊を最小限に抑える型式が第一条件である。

- 2) 1Aアンカーレイジに近接して、自動車及び鉄道用トンネルが4本施工されるため、重力式のアンカーレイジを設置することは、立地条件から困難である。

#### 4. 構造の特色と働き

##### (1) トンネル式アンカーフレームの特色

重力式アンカーフレームとの相違点は次の通りである。

- 1) 引張材の本数が従来の構造と比較して非常に少ない（大鳴門橋78本、下津井瀬戸大橋44本）。
- 2) 引張材は、38°勾配で平行に設置される。
- 3) ケーブルストランド定着用の前面定着ガーダーを引張材先端部に設ける。

##### (2) 各部材の働き

主要部材に対する応力の伝達機構を図-3に示す。各部材の働きをまとめると、

- 1) 前面定着ガーダー  
ケーブルストランドの定着を容易にし、作用張力を引張材の配置方向に変換して伝える。
- 2) 引張材

前面定着ガーダーに伝えられた作用張力を、トンネル底部の背面定着ガーダーへ伝達する仲介的役割をする重要な部材である。

引張材1本に801tonもの設計張力が作用し、この時先端部に約50mmの伸びが発生する。

##### 3) 背面定着ガーダー

引張材から伝達された張力をうけとめ、中詰コンクリートを介して、周囲の岩盤へ伝える。

##### 4) 支持トラス

引張材を設計位置に仮固定する支持枠であるとともに引張材架設時点において、重要な架設設備の役割を有する。

##### 5) 背面支持トラス

最も坑奥部に設置し、1)~3)までの主要アンカー部材架設時における勾配方向分力を支持する部材である。

#### 5. 架設作業フローチャート

架設作業は、次の順序で行った。

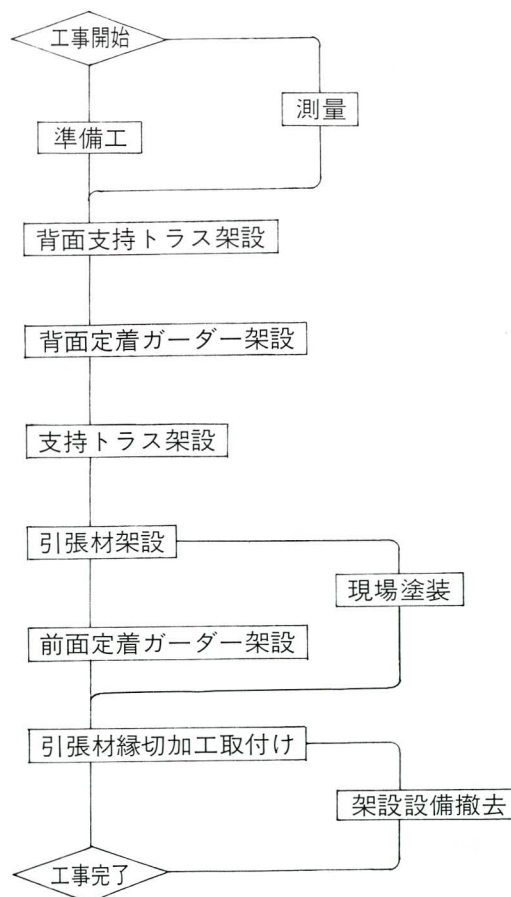


表-3 各アンカー部材の架設工法

名 称	架 設 工 法
背面支持トラス	扇形回転方式によるブロック架設
背面定着ガーダー	せり上げ装置によるブロック架設
支持トラス	回転軌条設備によるブロック架設
内部引張材	逐次連結方式による落込み架設
前面定着ガーダー	吊込み設備による相吊り架設

## 6. 架設工法の選定

架設計画の検討段階においては「天井クレーンによる単材架設及びブロック架設」、「ウィンチワークによる単材架設」など、さまざまな工法案が、考えられたが、実施架設計画の基本的な考え方として、

- 1) 坑内で使用する架設設備は、最小限に留める。
- 2) 各部材の組立及び高力ボルトの締付作業はできるだけ地上で行い、ブロック架設とし、坑内の悪条件下での作業を少なくする。
- 3) 架設設備の段取り換えを少なくする意味から、各部材の架設に汎用できる構造のものを考案する。

の3項目に着目して、検討を進めた結果、表-3に示す工法を採用した。

## 7. 設計・製作時に考慮した事項

表-3の架設工法をもとに、アンカーフレームの構造を照査した結果、次の事項が、問題となった。

- 1) 高力ボルトは、原則として機械締めできる構造とする。
- 2) 支持トラスをブロック架設するため、上下弦材の継手位置を変更する。
- 3) 引張材を落とし込み架設するため、支持トラス受柵の断面形状を変更する。

## 8. 坑内作業環境

坑内の作業環境状態を列記すると

- 1) 自然採光はできず、水銀灯により照明設備を施した。
- 2) 空気の移動は、ほとんどなく、送風機により、強制換気を行った。
- 3) 気温は20℃前後で、湿度は、85～90%であった。
- 4) 堀削面はすべて吹付けをしてあるが、上面からの雫が多い。

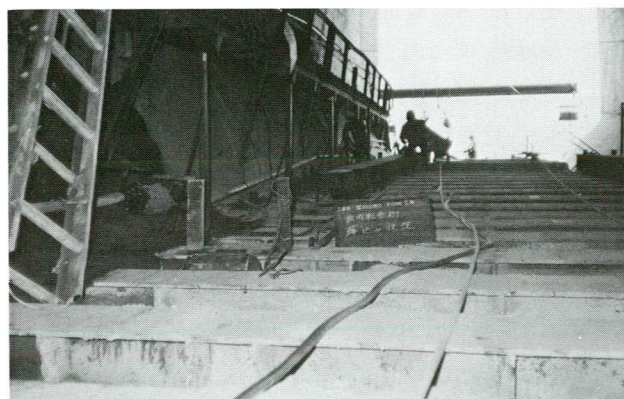


写真-1 坑内軌条梁落とし込み状況

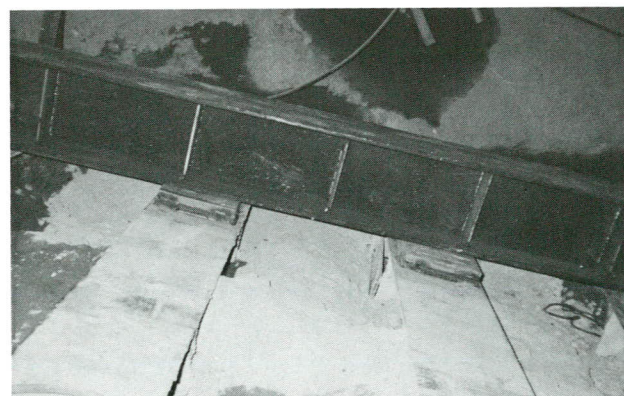


写真-2 坑内軌条梁敷設状況

- 5) 坑内奥底部 (TP -10.353m)、地下水の流出が多く、常時ポンプアップを行った。

## 9. 架設作業

架設作業を項目ごとに分けて、簡単に説明する。

### (1) 準備工

前段取りとして、坑内軌条設備、坑口部回転軌条設備、坑内台車設備、坑奥部吊上げ設備の組立を行った。

#### 1) 坑内軌条設備の組立

坑内軌条梁は、トンネル堀削時に埋設した鋼製枕木上に、H形鋼 (300×300) を使って、38°下り勾配で軌条間隔3.30mに敷設し、溶接で固定した。なお、軌条設備は台車走向用ならびに支持トラス据付け架台として用いるため、精度は軌条間隔±5mm、左右の高低差±3mm以内におさまるように、慎重にライナー調整を行った。敷設にあたって、坑内にローラーを一定間隔に5台配置し軌条梁を坑口で連結しながら落とし込んだ(写真-1)。

#### 2) 坑口部回転軌条設備の組立

坑口部分に、回転杓と押上ジャッキ（ストローク4.00m）により38°回転できる軌条桁を設置した。この設備は重要で、各アンカー部材の架設に用い、最も使用頻度の高い架設々備であった（写真-2）。

### 3) 坑内台車及び巻上設備の組立

坑内運搬台車の載荷床面は、水平な構造にし、上方、下方の移動には、巻上索と安全索を設け、各々22mmのワイヤーロープを10本掛に繰込み、大型電動ウインチを用いて操作を行った。なお、安全索は巻上索に異常が生じた時、自動的にブレーキが作動する仕組である。

### 4) 坑奥部吊上設備の組立

坑内台車上に高所作業車または小型のクレーン付きトラックを搭載して、坑奥部の吊上設備を組立てた。

吊金具取付用のロックボルトは、トンネル堀削時点に埋設したが、曲り・ズレ等が大きいため、ボルト位置をすべて実測して、金具の工場加工を行った。また、吹付けモルタル面は凹凸が激しいため、ハツリを行い、その後金具を取付け、隙間には無収縮モルタルを圧入するなど予想以上の手間が掛った（写真-3）。

## (2) 測 量

スチールテープ・レベル・トランシットを使って坑口部の基準点より坑奥部へ測量を行い、必要箇所に測点を設けた。特に背面支持トラスは、アンカーフレームの基部となる部材で、全体据付精度を大きく左右するので、慎重に繰返し測量を行い、両側壁に足場を組んで測定架台を取付け、正確にプロットした。

### (3) 背面支持トラスの架設

最も坑奥に据付けられた構造物で、全体ブロック重量が17.00tonのものを下記の順序で架設をした。

- 1) 部材を搬入し、地上でブロックに組み、高力ボルトの締付けを行う。
- 2) 坑口部の回転軌条を水平状態にして、運搬台車を組立てる。
- 3) ブロックに組んだ背面支持トラスを、運搬台車上に搭載し固定する（写真-4）。
- 4) 押上ジャッキで回転軌条桁を38°傾けたあと、除々に繰込みワイヤーロープを巻下げ、坑内へ搬

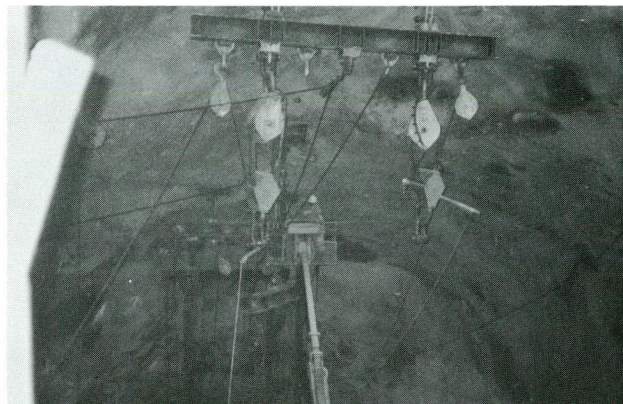


写真-3 坑奥部吊り上げ設備組立状況

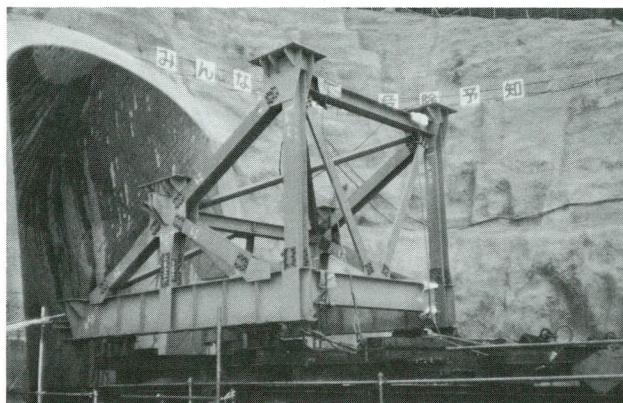


写真-4 背面支持トラス搭載

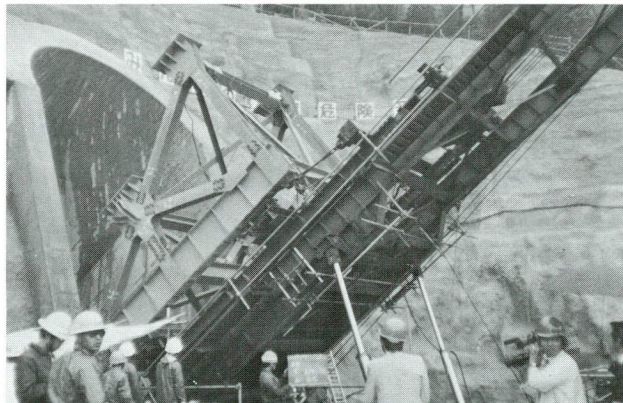


写真-5 38°回転状況



写真-6 回転杓ピン連結状況

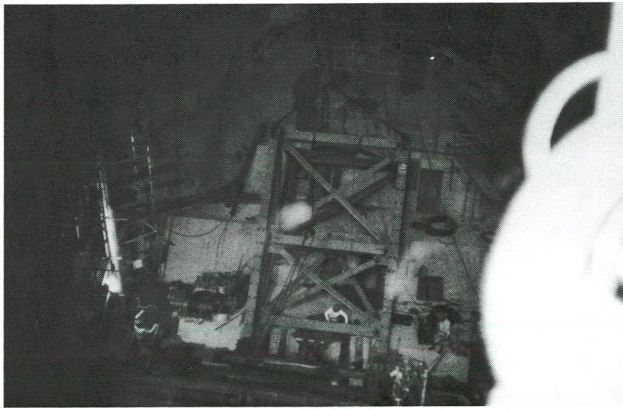


写真-7 扇形回転終了



写真-11 せり上げ装置へ搭載固定

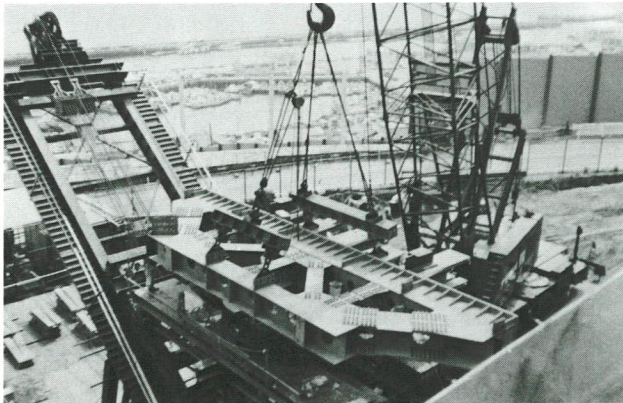


写真-8 背面定着ガーダー搭載状況



写真-12 手巻ウインチによる落込み状況

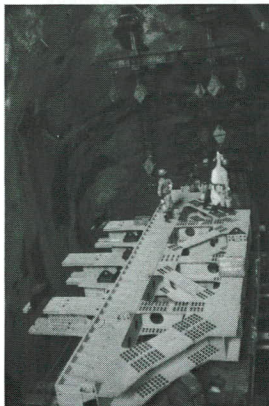


写真-9 坑内搬入状況

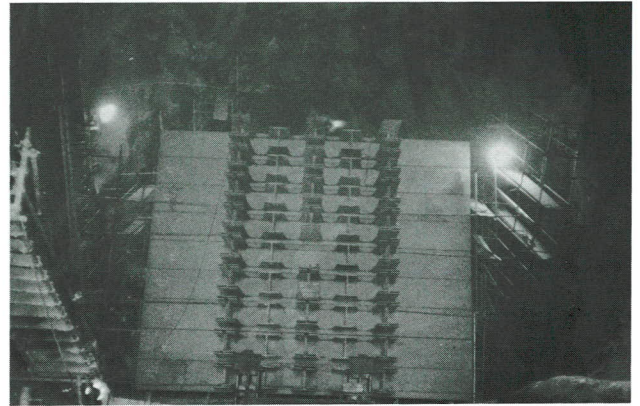


写真-13 背面ガーダー架設完了

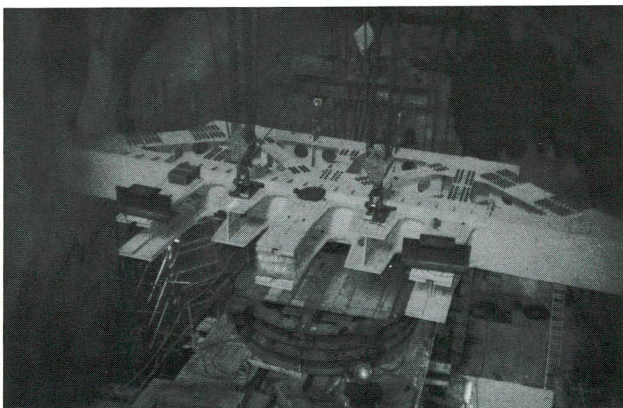


写真-10 吊り上げ状況（3点吊り）

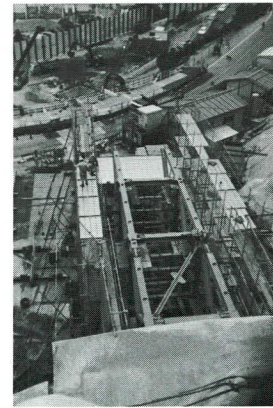


写真-14 支持トラス組立状況

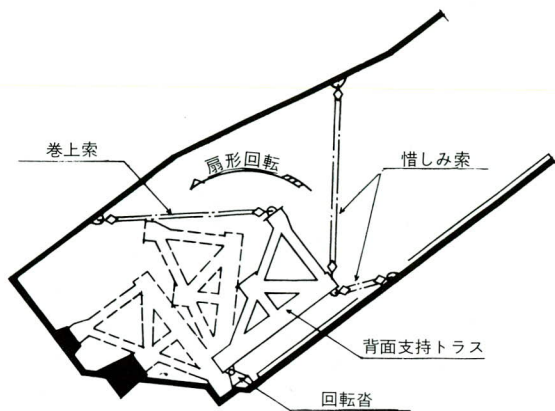


図-4 背面支持トラス架設要領図

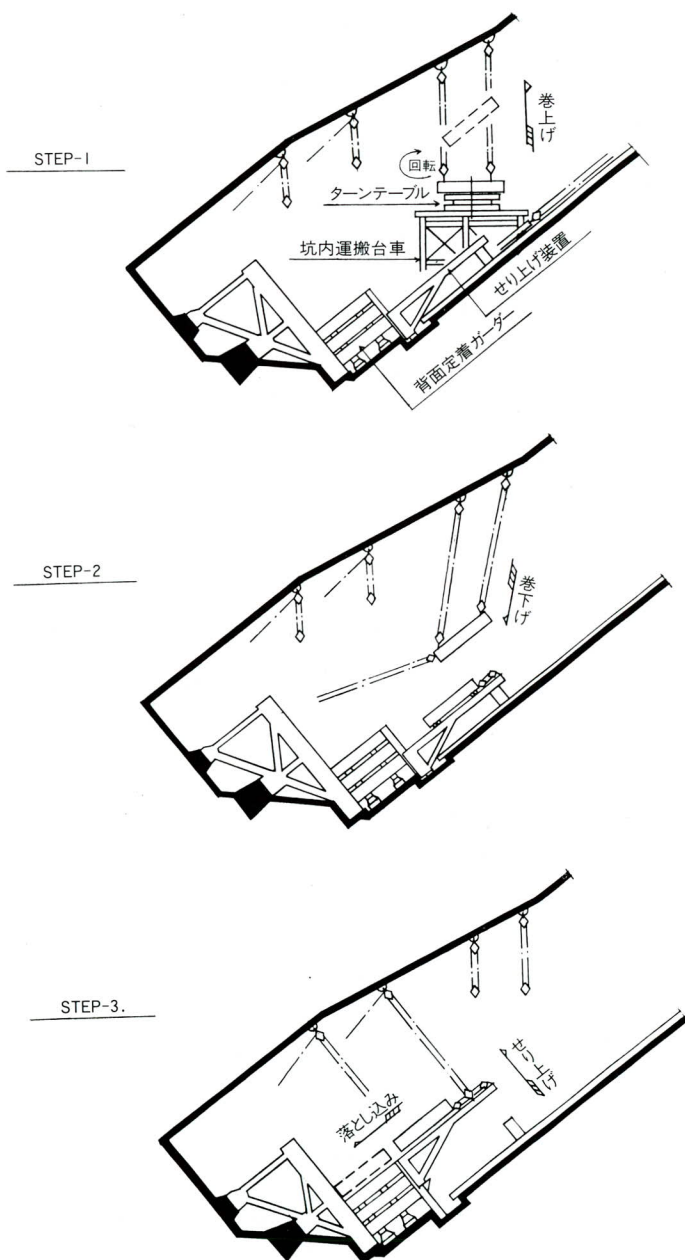


図-5 背面定着ガーダー架設要領図

入する（搬入速度 $V=4\text{m}/\text{min}$ ）（写真-5）。

- 5) 坑奥の計画位置に、前もってセットした回転上杓と背面支持トラス側に取付けた回転上杓をピンで連結する（写真-6）。
- 6) 準備工の段階で設けた、吊上設備を図-4のように取付け、電動ウインチ操作で扇形回転を行う。
- 7) 回転杓を取外し、ジャッキで微調整を行ったあと無収縮モルタルを打設し、据付けを完了した（写真-7）。

#### (4) 背面定着ガーダーの架設

背面定着ガーダーの架設は、当工事の中で最も複雑で困難な作業であった。1ブロックの重量は約22tonで9ブロックに分けて下段より順次据付けを行った。

施工方法を整理すると、

- 1) 回転軌条設備を $38^\circ$ に傾けたのち、運搬台車を組み、その上面にターンテーブルを固定する。
  - 2) 背面定着ガーダーの部材を搬入し、各ブロック毎に組立て、高力ボルトの締付けを行う。
  - 3) 大型トラッククレーン（150ton吊）で吊上げ、運搬台車上に搭載するが、トンネルの標準断面幅より背面定着ガーダーの据付け幅が広い為、 $90^\circ$ 振りまわした状態で、ターンテーブルに仮固定する（写真-8）。
  - 4) 坑奥拡幅部の定位置まで搬入し、ターンテーブルを使って据付け状態に戻す（図-9、10）
  - 5) トンネル上面にあらかじめ段取りした吊上設備（3点吊）で、鉛直に吊込み運搬台車を搬出する。
  - 6) 吊込みワイヤーロープを除々に下げ、前もって段取ったせり上げ装置の上に降ろし、移動台車に仮固定するとともに、上端を手巻ウインチで引込み、吊上設備を解放する（写真-11）。
  - 7) せり上げ装置を据付け位置まで差上げたのち、手巻ウインチにて、ゆっくりと落とし込み、ジャッキダウンを行う。次に微調整を慎重に行い、背面支持トラス及び背面定着ガーダー下段との連絡部分を固定する（写真-12、13）。
- 1)~7)までの作業を繰返して、9ブロックの据付けを完了したあと、坑奥部に設けた架設設備をすべて搬出した。なお、架設概要は図-5に示す。

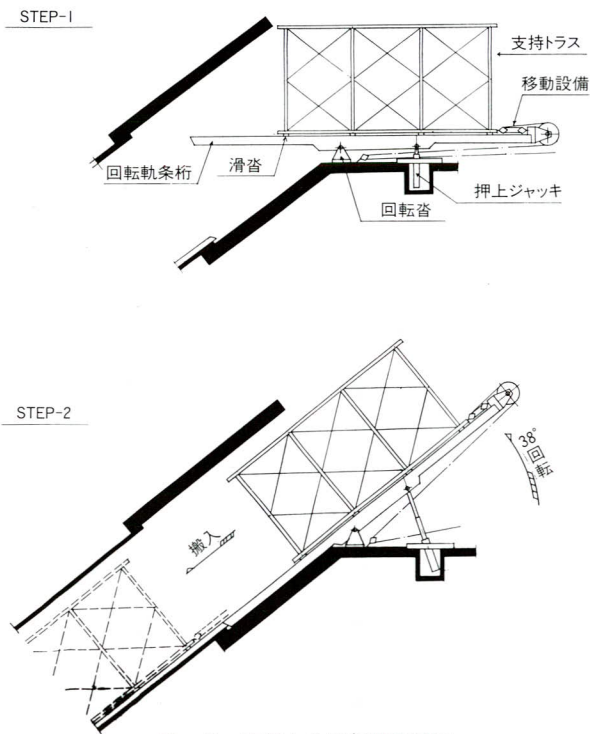


図-6 支持トラス架設要領図

#### (5) 支持トラスの架設

全長49.580mの支持トラスを、図-6のように3ブロックに分割して組立て、坑内へ据付けた。

このときの1ブロック重量が53tonで、アンカーフレームの中で、最大重量であった。架設手順を簡単に説明すると、

- 1) 回転軌条設備を水平に固定し、支持トラスを地組するための周辺足場を設ける。
- 2) 部材を運搬し、支柱及び受柵を面組する。その他の部材は単材で、回転軌条桁の上に組立てるが、その前に搬入作業を容易にするための、乾式被膜潤滑材を軌条桁の上フランジ面に塗布し、滑沓を支柱位置に配置する（写真-14）。
- 3) 高力ボルトの締付けまで完了したら、坑内台車の移動設備を、支持トラスの端部に取付け、回転軌条桁を38°傾け、4m/minの速度で、坑内へゆっくりと搬入する（写真-15、16）。
- 4) 定位置まで到達したら、方向・高さの調整を行う。高さの微調整は、滑沓と坑内軌条梁の間にテーパプレートを入行い、調整後、テーパプレートの上下面を溶接して固定した。

以上の要領で3ブロックの据付けを行い、トンネル側壁より移動防止用のロッドを取付けて完了した。

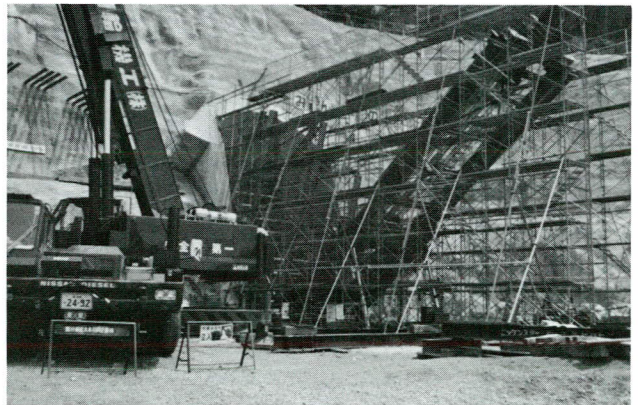


写真-15 38°回転完了

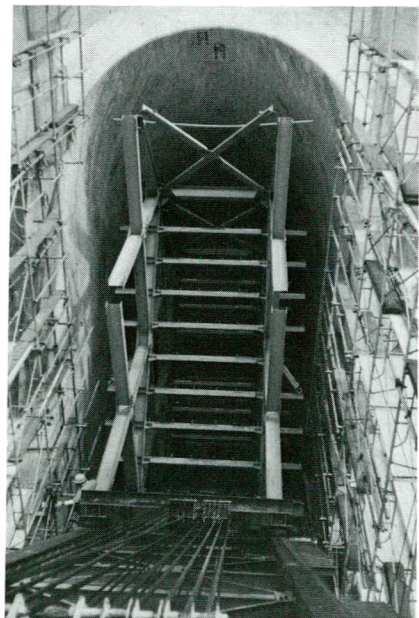


写真-16 坑内搬入状況

#### (6) 引張材の架設

2-トンネルあたりの引張材重量は、1658.624tonでアンカーフレーム全体重量の約65%を占める。又、高力ボルトの締付け本数は113,500本で、全ボルト本数の78%をも占め非常に工事量は多いが、全体工程、及び他の近接工事との関連で、この架設を30日間で終わらさなければならぬ厳しい前提条件があった。とにかく、初めての工事であるので、架設設備のトラブル、斜坑内作業による能率低下等を考慮して「弋工、鍛冶工の大幅増員（40～45名）」、「昼夜間2交代体制」、「架設設備の増加」などの対策を講じた。

架設は、下段より行い、横列5本（中段のみ4本）の落とし込みを終えたら、落とし込み設備を1段ずつ盛り替えて行った。以下に、その作業手順と内容を記す。

架設概要を図-7に示す。



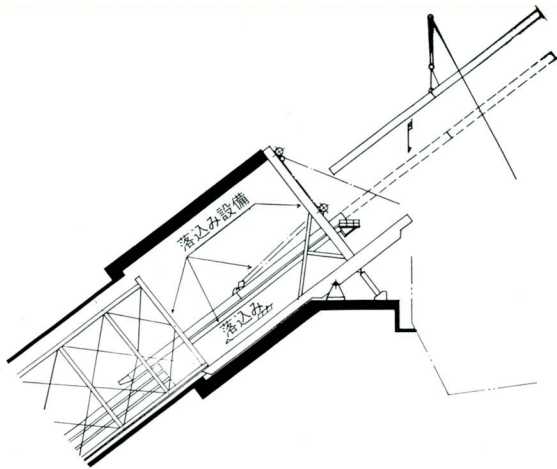


図-7 引張材架設要領図

- 1) 回転軌条桁を38°に固定し、その上に、引張材の落とし込み設備を組立てる（押上ジャッキ使用不可）。
- 2) 全長50.740mの引張材は、5分割にして現場へ搬入され、それを3ブロックに、地組みして、高力ボルトの締付けを行う。引張材には、中詰コンクリートとの付着切りを目的とした工場塗装が施工されているため、滑動面となる下フランジ下面にはガイドレールを全長にわたって取付け、継手ボルト部には、テーパープレートを敷く。更に、支持トラスの受棚上面には、テフロン板貼付ならびに乾式潤滑材塗布をし、引張材の落とし込みを容易にする（写真-17）。



写真-17 受棚テフロン板施工

- 3) 各ブロック毎に、大型トラッククレーン（80ton吊）で落とし込み設備上まで吊上げ、繰込みワイヤーロープで惜しみ、逐次連結しながら、3ブロック（1セット）を落とし込む。
  - 4) 背面定着ガーダーとの取合位置まで、引張材が到達したら、一旦停止して、ガイド材及び、テーパープレートを取外し、そのあと、背面定着ガーダーに連結する。
  - 5) 繰込みワイヤーロープを解放し、左右に盛替え次の引張材を落とし込む、なお、1-トンネル4組の繰込み設備を設けて行った。
- 1)~5)までの作業を、繰返して行い、88本の引張材の架設を完了した（写真-18、19、20）。

工事は天候に恵まれ、また、大きなトラブルもなく順調に進み、実施工程表の如く、所定の期間内で終わることができた。

#### (7) 前面定着ガーダーの架設

引張材の先端に取付き、ケーブルストランドを定着する主要部材で、9枚の単材からなり、1枚の重量は支圧板を含めて約17.50tonである。架設は相吊り工法で、下段より順に、積み重ねて施工した。

施工要領は図-8に示す。

なお、架設方法を簡単に説明すると

- 1) 回転軌条桁を水平にし、坑内側の先端部分にサポート材を取付けて安定な状態に固定した後、運搬台車を組立てる。
- 2) 坑口のアーチ部分に、吊込み設備を3箇所取付けたのち、部材（支圧板は仮置場でセット済み）を搬入し、大型トラッククレーン（150ton吊）を使って運搬台車上に搭載する。
- 3) 坑内へ運搬台車を引込み、3箇所の吊込み設備で相吊りし、ウインチ操作で、定位置に据付け、引張材と連結する（写真-21、22）、以上の順序で前面定着ガーダーを取付け、アンカーフレームの架設を完了した。

#### (8) 現場塗装

現場塗装は、引張材の添接部で、表-4の仕様に従って行った。坑内は、上面からの雫が多く、湿度が高いため、塗装には最悪の条件であったが、防護シート等を施して慎重に行った。また、シンナーによる事故防止対策として、送風機により、十分換気を行った。

表-4 現場塗装仕様

仕様	素地調整	第1層	塗装間隔	第2層
引張材添接部	パワーツール処理	HBS K 5609 ターレエポキシ(110μ)	1°~10°	同左

(工事特記仕様書より)

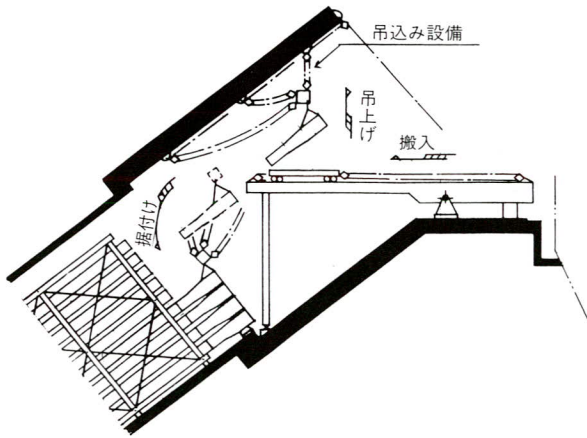


図-8 前面定着ガーダー架設要領図

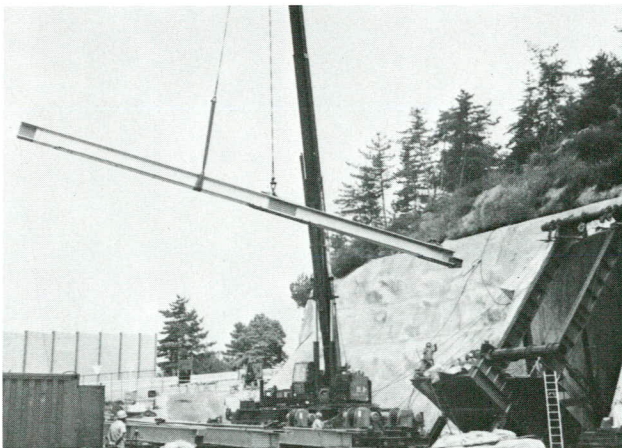


写真-18 引張材第1ブロック吊り上げ状況

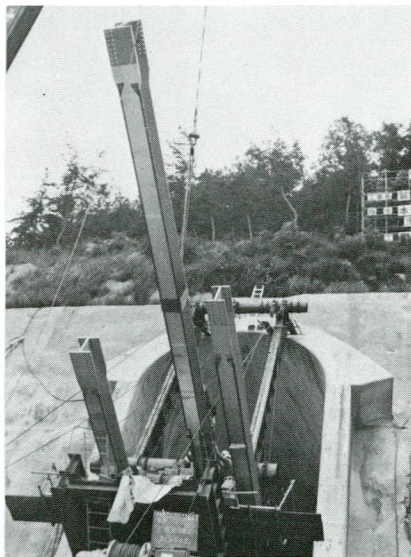


写真-19 連結状況

表-5 アンカーフレーム出来形成果表

測定項目	測点	最上段①	中段⑤	最下段⑨	備考
		橋軸方向	東側A.F	+13mm	
X	西側A.F	+12	+11	+12	山側-
	橋軸直角方向	東側A.F	-7	-3	+4
Y	西側A.F	+6	+2	+7	西側-
	鉛直方向	東側A.F	+10	0	-1
Z	西側A.F	-3	-10	-5	下側-

(9) 引張材縁切り加工、取付け

アンカーフレームの架設完了後、中詰コンクリートを打設して、アンカーレイジとするが、ケーブルストランド張力が作用した時、引張材先端で約50mmの伸びが発生する。その伸びを、引張材添接部分で、拘束することのないように、発砲スチロール板を、工場で加工し、塗装の終わったところから順に、接着剤で貼り付けた(写真-23)。

10. 据付け精度

前面定着ガーダーの架設完了後、客先立会で据付け確認検査を行った。許容誤差は、特記仕様書により定着材端面で、鉛直方向・水平方向とも、±15mmで指示された。変断面斜坑の中での測量精度、および、製作誤差等を考慮した場合、非常に厳しい許容範囲であったが、出来形成果表(表-5)のとおり、東・西のアンカーフレームとも、許容誤差内におさまり、据付けは、正確であったことを確認出来た。

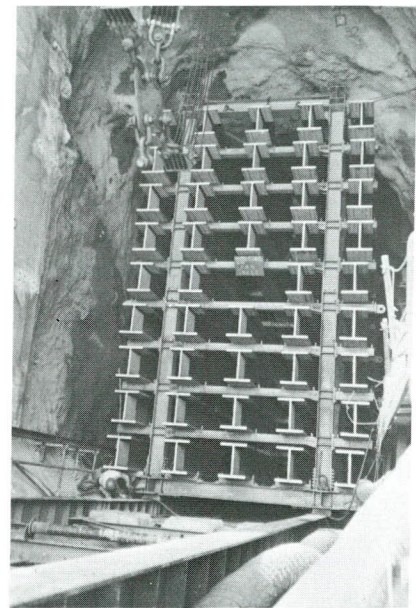


写真-20 引張材架設完了

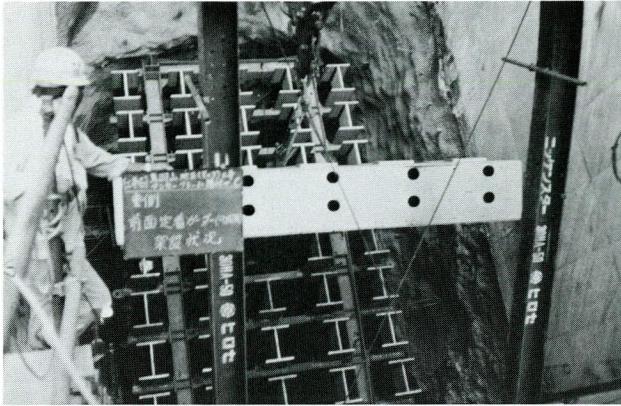


写真-21 前面定着ガーダー架設状況

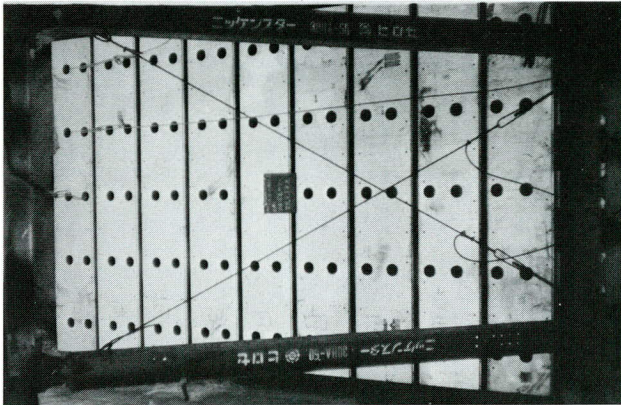


写真-22 前面定着ガーダー架設完了

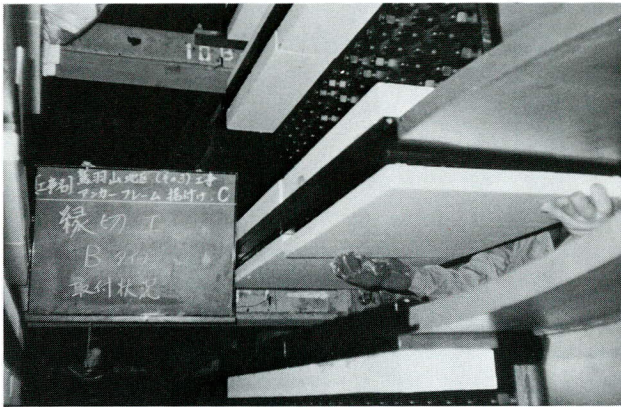


写真-23 縁切り用発泡スチロール取付状況

## 11. あとがき

以上、本報告は、橋梁架設工事では前例のない特殊な工事で、独自の架設技術と、弐職人の高度な作業技術により、厳しい工期および作業条件の中で、計画どおり無事に施工を完了する事ができた。これも、ひとえに、本四公団、奥村・鉄建・大本共同企業体ならびに工事関係者の協力のたまものであり、深謝の意を表す次第である。

## <参考文献>

加島 聡・田中美字：

下津井瀬戸大橋ケーブル定着部構造検討、本四技報  
Vol.6 No.20 '82.4