

I—15 下津井瀬戸大橋4Aケーブルアンカーフレームの設計と製作

函館ドック(株) 正員 井上 雅夫
 “ 武田 勇一
 “ 菊地 明彦
 “ 西湯 勝

1. まえがき

この報告書は、樺石島側アンカレイジに架設された4Aケーブルアンカーフレームの設計・製作について述べる。

下津井瀬戸大橋は本州四国連絡橋児島-坂出ルートのうち、倉敷市児島と坂出市樺石とを結ぶ中央径間長94.0mの道路鉄道併用吊橋である。主ケーブルの架設工法はエーススピニング工法を、ケーブル定着方法はロッドタイプを採用している。

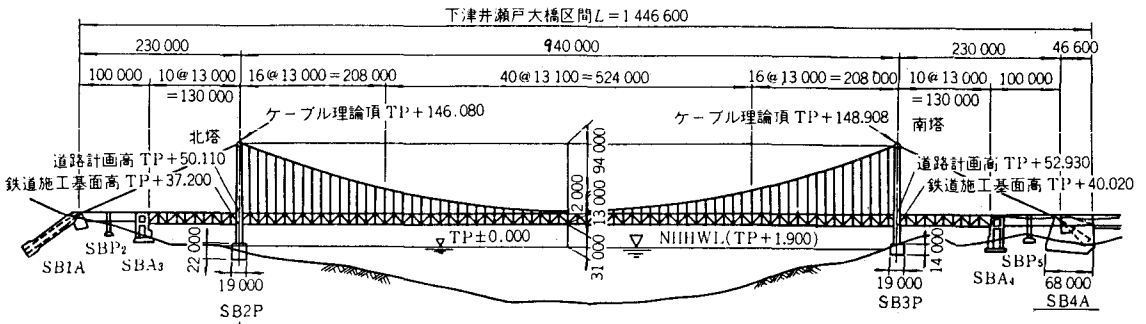


図-1 下津井瀬戸大橋の一般図

4Aケーブルアンカーフレーム「以下(アンカーフレーム)」というは張力35,000t/片側の主ケーブルを、4Aアンカレイジに定着するもので、高さ28m、幅15m、長さ29m、1基当り重量は約1,000tである。構造は引張材、アンカーガーダーからなる構造部材と、これらを支持し所定位置に保持するための支持部材(支持フレーム、アンカーガーダー架台)とに分けられる。

引張材はケーブル張力をアンカーガーダーに伝達するための部材で、先端にはストランド巻、ロッドが取り付けられる構造となっている。また、アンカーガーダーは引張材から伝達されるケーブル張力をアンカレイジに伝達させるための部材である。

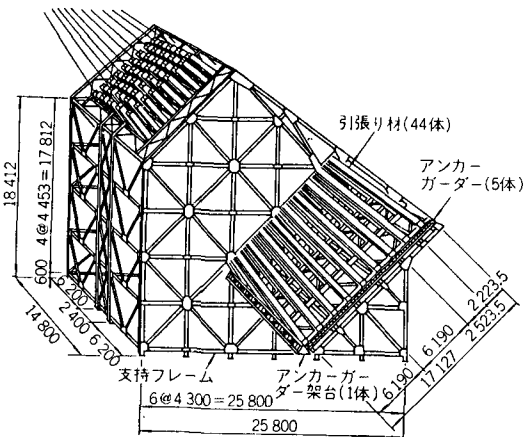


図-2 アンカーフレーム全体図

2. 設計

表-1に当アンカーフレームの設計条件を示す。なお設計に用いる張力は、ケーブル断面全線荷重とした。

2-1 引張材の設計

(1) 設計方針

引張材の配置は、①ストランド沓の大きさ、②ワイヤー架線作業性の確保、③ワイヤーあるいはストランドの交差を極力少なくする、④ストランドの形崩れ、⑤ストランド調整作業の容易さ、などを考慮して間隔を決定した。

定着部材（リブおよび支圧板）の設計荷重はケーブル張力導入誤差などを考慮して10%増とした。

先端部に対しては、引張材とストランドのズレ、アンカーフレームの挠みなどの偏心に伴い生ずる2次応力を考慮した。また、一般部は自重による曲げ応力を考慮して設計した。なお偏心量については、奥門橋、因島大橋、大鳴門橋などの実績をもとに、表-2の様に定めた。

(2) 先端部

構造形式、諸寸法は、①設計上；定着リブR部の

表-1 設計条件

I. ケーブル諸元	
① 索線径	5.37mm
② 1ストランドあたり索線数	552本
③ 1ケーブルあたりストランド数	44本
④ 1ケーブルあたり索線数	24 288本
⑤ 索線の許容応力度 (σ_a)	62kg/mm ²
⑥ ケーブル最大張力	33 390t
⑦ ケーブル直径	948mm
II. 設計荷重	
① 1ストランドの設計張力	$N_T = 801t$
② ストランド定着部設計張力	$N_T = 1.1 \quad N_T = 882t$
③ 架設時風荷重（基本風速）	$V_{10} = 30.0m/sec$
（設計風速）	$V_D = 40.0m/sec$

表-2 設計偏心量

主 要 因		偏 心 量	
		鉛直方向	水平方向
設計上および構造上	引張り材とストランドのずれ、スプレーサドルの移動、他	30	102
製作上	支持フレームの製作誤差、スプレーサドルの製作誤差、他	32	32
施工上	サドル上でのストランドの形状誤差、他	192	137
合 計		222	239

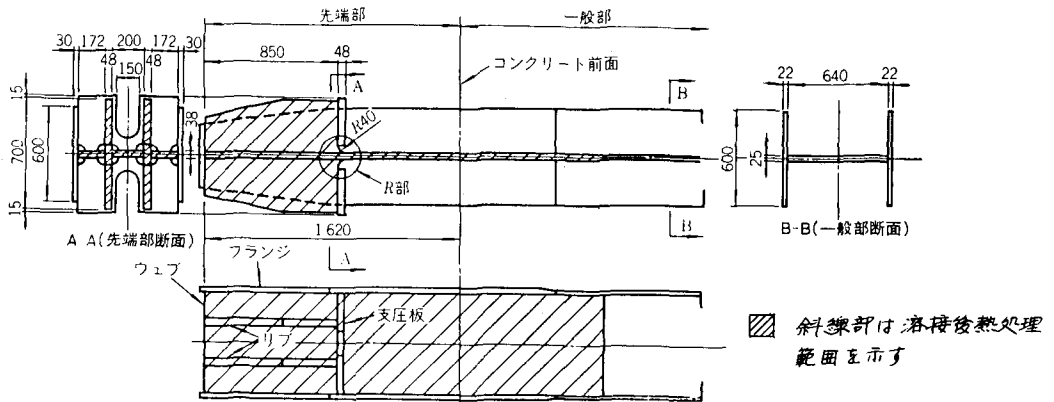


図-3 引張り材の構造

応力集中の緩和、②製作上；溶接による拘束力を小さくするための構造詳細、③溶接施工性、補修性の確保④ストランド調整作業の容易さ、などを考慮して図-3に示す形状とした。

設計上の考え方は、①支圧板付近の張力に対する部材の有効幅はFEM解析により、フランジ50%、ウェブ100%とした。②定着リブは支圧力、せん断力、曲げモーメントなどの組合せ荷重について、FEMによる弾塑性解析を行い、リブR部応力集中の状況を把握した。また、溶接施工性試験および実物大模型による耐力試験を行い、その安全性を確認した。

(3) 一般部

引張力および曲げに対して、全断面有効として部材断面を決定した。

2-2 アンカーガーダーの設計

(1) 設計方針

引張材より伝達される張力を上下フランジにて各々均等に負担するものとし、①弾性床上の梁、②連続梁、の2ケースについて最大断面力を求め、さらに3辺固定1辺自由平梁としての曲げ応力度の組合せに対し設計した。

(2) 引張材との接合部フィレット形状

接合部フィレット形状は、応力集中を緩和するため、流線プロフィールを参考として決定した。

(3) フランジとウェブの溶接

ウェブ上端には図-4のように、板厚相当のつき出しを設けた。これは板厚方向の荷重作用を受けること、およびフィレット部での開先形状の変化に伴う溶接欠陥やラメラテア発生に対処するためである。また、ウェブ下端については、ラメラテア発生抑制効果をぬう開先形状をV形とした。

2-3 支持フレームの設計

全面トラス形式を採用した理由としては、①引張材は各ストランドに対して完全対応タイプの剛構造であるため、高い据付け精度が要求される。②本形式は過去の施工実績が多く、かつ現場における施工性が良い。などである。また支持フレームは構造部材の据付け精度を確保するため、因島大橋、大鳴門橋の施工実績を参考として、風荷重による支持フレームの変位量を30mm、また各部材受桁の挠曲量を2mmとして設計した。

2-4 アンカーガーダー架台の設計

アンカーガーダーの据付け精度が、その後に架設される引張材の据付け精度を左右するため、当アンカーフレームでは、後記 図-10 の工程3に示す1本物の架台を設け、アンカーガーダー据付け定盤として精度の確保をかけた。

3 引張試験

引張材先端部はストランド張力を直接受ける最重要部であり、構造が複雑であるため、①設計荷重強度の確認、②応力分布の確認、③定着部降伏状況の確認、④支圧板の溶接による耐力への寄与、⑤溶接施工性など、製作の妥当性の確認、などを目的として、実物大先端部試験体による耐力確認試験を行った。

なお試験に先立ち、引張材先端部および定着リブについて、引張荷重載荷時の応力分布、変形状態、および応力集中部の塑性域の進展状態を弾塑性解析により把握した。

3-1 試験

試験は8000t引張試験機を所有する新日本製鉄(株)が担当した。

3-2 試験体

試験体は図-5に示す様に、支圧板をリブ、ウェブに溶接するタイプ1と、溶接しないタイプ2の2体とし、応力分散の効果を検討するものとした。

3-3 試験方法

載荷は600t、900t、1400t、および1600tと上限を変えながら行った。測定項目は、①試験体各部の歪、②ロッドの歪、③リブとフランジの変位などである。定着リブR部は設計荷重以上で応力集中による塑性域の拡大が考えられるので、900t以上に対しては発生応力、およびリブの変形状況を確認しながら載荷した。

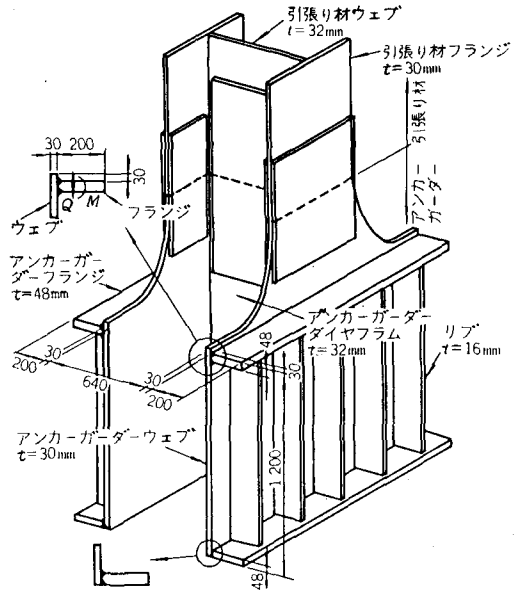


図-4 アンカーガーダー構造概要および開先形状

3-4 試験結果

①設計荷重の約2倍である1600tまで載荷した結果、R部近傍の塑性歪が局部的に増大することはなく、周囲の弾性部分に荷重が無理なく伝達されていると考えられ、十分に安全であることが確認された。

②タイプ1の方がR部応力集中緩和に、より効果がある。

③リブの最大せん断応力は、図-7に示すようにほぼ三角形分布である。

④試験終了後に実施した非破壊検査の結果、異常は認められなかった。

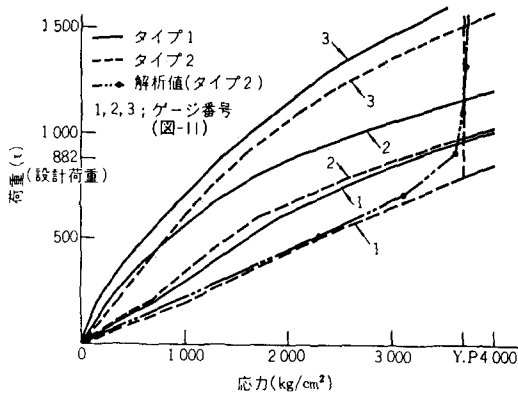
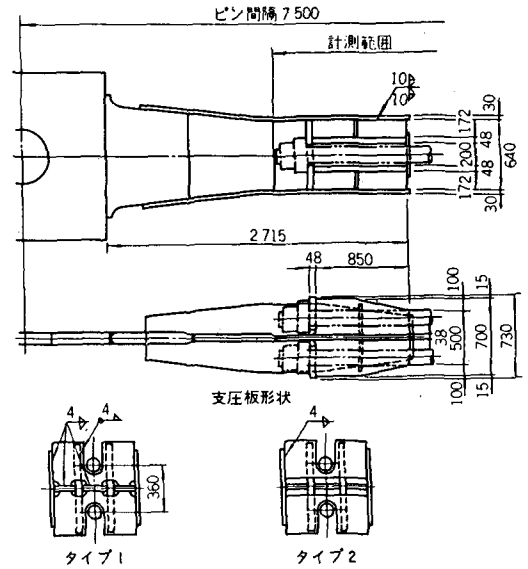


図-6 定着リブR部の荷重-応力図



（支圧板とウェブ、リブは溶接する）（支圧板とリブ、ウェブは溶接しない）

図-5 試験体の構造

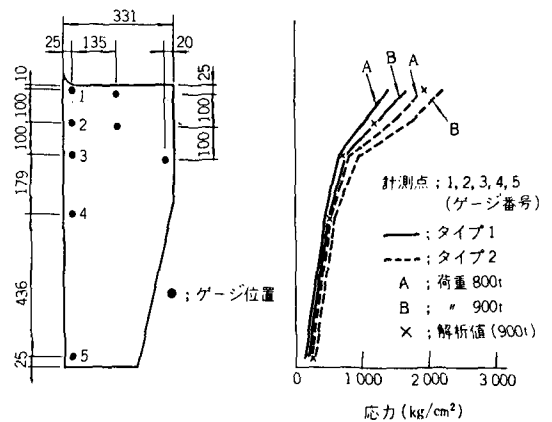


図-7 定着リブ応力分布（最大せん断応力）

4. 製作

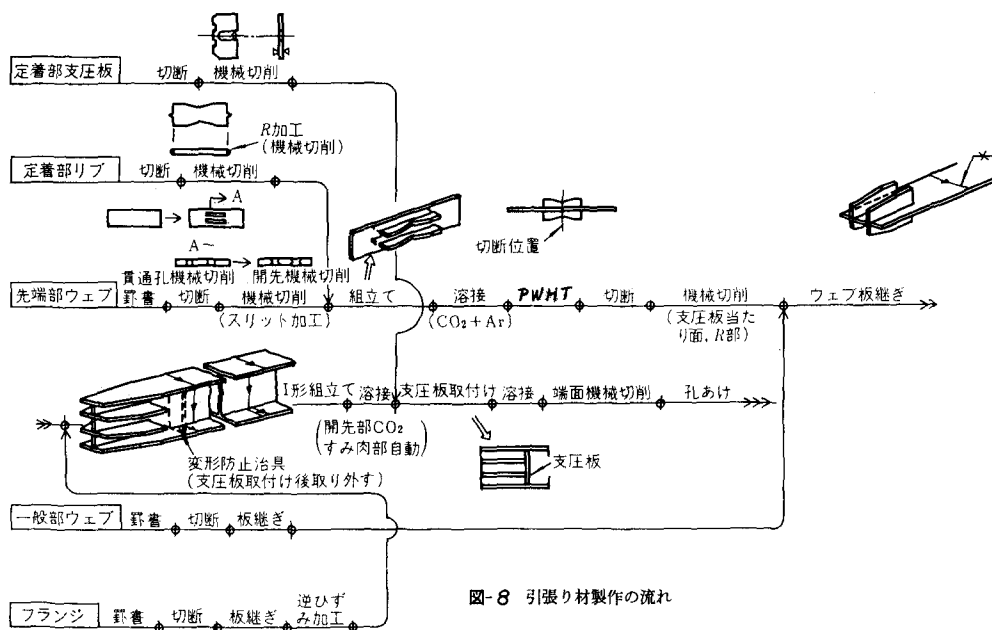
4-1 鋼材

引張材先端部のウェブとリブは、ウェブのスリットにリブを差し込む構造であり、リブに対しては板厚方向の拘束力が働くことなどから、ラメラテア発生の危険性があるので、耐ラメラテア鋼板（本四公団仕様区-25）をリブに使用した。

4-2 製作一般

当アンカーフレームは高所での複雑な部材の組立作業であり、高い最終仕上り精度が要求される。よって単部材時点から部材精度を確保し、平面仮組立にて全体の寸法精度を確認したうえで立体仮組立に進み、最終精度を再度確認することにした。また部材精度を確保するため、引張材先端支圧板表面とリブの支圧板とのメタルタッチ部、引張材・アンカーガード部材端面をはじめ、各部に機械切削を取り入れた。

図-8に引張材製作の流れを示す。



4-3 溶接施工法

引張材先端部リブとウェブの溶接は、次の点に特に留意して施工した。

- ①予熱温度は、文献(1)により割れ指数、感受性を考慮して130℃とした。
- ②カウジングは、陶管形状の確保、浸炭層の確保を除去、および作業省力化をはかるため、欠部を除く可能な範囲で、機械切削により行った。
- ③非破壊検査は、裏はつり後に浸炭探傷、磁粉探傷を、オオ溶接終了後には超音波探傷を行ったが、リブには溶接によるラメラテアの発生は認められなかった。
- ④溶接による内部応力の除去を目的とし、JIS Z 3700に従い溶接後熱処理(PWHT)を行った。

5. 役組立

仮組立は特に据付け精度の確認、架設上の問題点の抽出、対策を目的とし、平面仮組立および立体仮組立を行った。なお、立体仮組立に際して、支保フレーム柱およびアンカーガーダー支保点に鋼管杭を打設した強固なコンクリート定盤を設け不等沈下に対処した。なにより仕上げ、全点の水平精度を確保した。

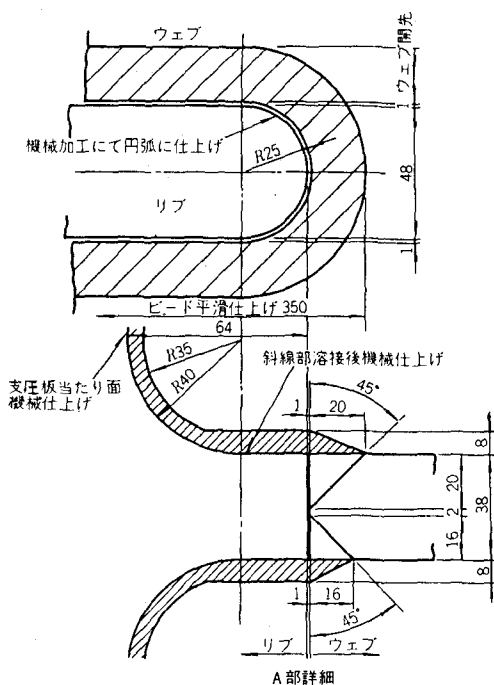


図-9 引張り材定着リブR部の仕上げ方法

工程	組立て形状	計測検査	備考
1. 仮組立て定盤整備			1. 鋼管杭打込み 2. コンクリート打設 3. 枕頭ベースプレート表面切削調整
2. 地墨線		検査	1. 構造物地墨線記入 2. 計測用地墨線記入
3. アンカー据付け		検査	1. 据付け基準線と地墨線との照合 2. 基準面の高低差調整 3. 位置固定
4. アンカーガーダー搭載		計測 地墨線と支持フレーム柱位置との照合、検査 アンカーガーダーの高さ、水平距離、回転角	支持フレーム下段側組立て後 1. アンカーガーダー搭載 2. 計測用ピアノ線設置 3. アンカーガーダーセット用ライナー調整
5. 上段側フレーム組立て		計測 柱鉛直度 ベース沈下量	1. 上段側主構面部材組立て 2. 各ラチス組立て 3. n 面間梁およびラチス組立て 4. 引張り材受け桁第1段目組立て
6. 引張り材搭載		計測 引張り材先端 x, y, z 座標 支持フレームのベース沈下 支持フレームの沈下量、柱鉛直度 完成検査	1. 引張り材1段目搭載 2. 引張り材ライナー調整後、引張り材および受け桁を順次搭載 3. 社内検査 4. 立会い検査

図-10 立体仮組立て順序

(参考文献)

- (1) JSSC 溶接割れ研究班：鋼構造物における溶接割れ防止のための予熱条件の選定について、JSSC, Vol. 8, No. 80 (昭47)

5-1 平面仮組立

平面仮組立は

①引張材とアンカーガーダーの一括組立

②支持フレーム各面の平面組立

についで行い、組立長さ、平面度、曲りなどを計測し、所定の寸法、形状となる様調整した後、すべてのボルト孔の整孔を行った。

5-2 立体仮組立

立体仮組立順序を図-10に示す。

支持フレーム下層部は大パネル、上層部は小パネルに地組みした後、組立てた。また、アンカーガーダー、引張材は現地架設を配慮し、各々単材架設とした。計測は最終段階のほか、組立途中にも行い精度の確保に努めた。

引張材の最終組立精度は、支持フレームやアンカーガーダーの据付け精度等に大きく左右されるが、途中段階、最終段階でも微調整は可能な状態でなければならぬ。よって当アンカーフレームでは、支持フレームに取付けた各種調整治具を用いて、必要精度を確保できる様にした。なお、現地架設は工場仮組立を再現することにより、所定の位置を確保できるという理念から、各種調整治具は組立精度確認後、溶接または固定した。

この結果、引張材先端精度は仮組立許容値±15mmに対して、-5~-8mmの誤差であった。

6. おとがき

以上、設計・製作について概要を報告したが、当アンカーフレームは昨春秋、現地共同企業体により無事架設され、コンクリート打設も進められていることと思われる。なお当工事に関して、多くの貴重な資料を参考とさせていただいたことを報告して、本文を終了する。