

大崎火力線海上横断部長径間用電線，付属品，工法開発

Development of High-Strength Conductor, Accessories and Stringing Methods for Osaki Thermal Power Line for the Strait Crossover

神山秀樹*
Hideki Kamiyama

平塚 聡*2
Satoshi Hiratsuka

福田 望*3
Nozomu Fukuda

小島 徹*4
Toru Kojima

青谷正二*4
Shoji Aotani

朝山 修*5
Osamu Asayama

花田幸一*5
Koichi Hanada

宮下雅直*5
Masanao Miyashita

概要 瀬戸内を通過する大崎火力線は，海峡横断が2箇所ある世界最大級の架空送電線路である。海峡横断箇所では，海上高確保のため，高強度と耐腐食性を兼ね備えた中防食KTACSR/EST 690mm²を開発した。高強度と大電流容量の両者を兼ね備えた電線としては，世界最大規模のものである。また，長径間で発生する微風振動の防振装置としてクロスワイヤダンパ，高強度電線用の引留めクランプの開発を行った。工事施工管理としては，ヘリ延線監視システム，海上監視システムを開発し，工事施工の万全に努めた。また，従来の鉄製の替わりにアルミ合金とセラミックの複合材料を使用し，従来品の約40%の質量のカムアロングを開発し，施工性を向上させることができた。工事工法としては，仮緊線後の弛度測定結果を元に電線切断長を決定するセミプレハブ工法を採用した。

これらの開発された電線，付属品及び工事工法等を採用し，海峡横断部の架線工事を行い，平成9年10月に無事，工事を完了することができた。

1. はじめに

大崎火力線は，瀬戸内の長島に建設されている中国電力（株）大崎発電所から広島県黒瀬町の黒瀬変電所を結ぶ220kVの送電線である。瀬戸内海を通過するこのルートには，長島～臼島間1,603m及び臼島～本土間2,145mの海峡横断箇所が2箇所あり，世界最大級の架空送電線路である。

古河電工は，長島～臼島間1,603m用の高強度電線，付属品及び架線工事を担当し，1997年（平成9年）10月無事施工を完了した。

今回使用された電線は，弛度特性を向上させるため高強度電線が採用された。また，工事面では，安全性，作業性を考慮した新技術が導入された。

そこで，今回，本海峡横断箇所に採用された高強度電線，付属品，工事工法に関する開発内容及び架線工事について報告する。

2. 工事概要

海峡横断部は，長島から臼島を経て竹原市吉名町に至る区間であり，長島ルート（No.8-11）と吉名ルート（No.12-15）の2ルートの海峡横断部がある。

海峡横断部を図1に示す。

3. 設計

3.1 電線

本ルートでは，大型船舶が頻りに航行するため，船舶へ支障のないように電線の海上高は，「長島ルート 28.4m」「吉名ルート 44.4m」と決められた。海峡横断箇所の長径間においては，経済面及び環境面より鉄塔高をできるだけ低くすることが望ましい。

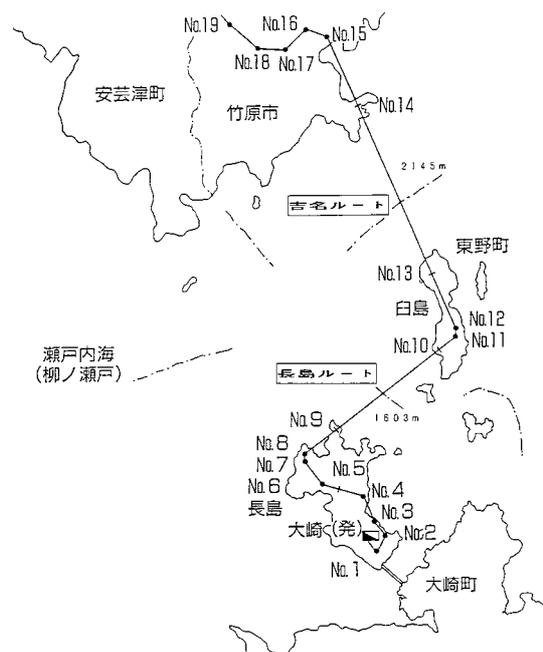


図1 海峡横断部ルート図
Route map of Osaki thermal power line for the strait crossover

* 電力事業本部 裸線事業部 技術部
*2 電力事業本部 裸線事業部 開発部 研究課
*3 電力事業本部 裸線事業部 部品部 設計課
*4 電力事業本部 送電エンジニアリング事業部
*5 中国電力株式会社

そこで、弛度特性を向上させるため、極めて高張力で使用できる高強度型の特殊電線が必要となった。一方、送電容量の面から1360A以上の大きな電流容量を必要とし、しかも過酷な塩害による腐食に耐えられなければならないことから、7種類の電線構造について検討した結果、中防食特強鋼心高力耐熱アルミ合金より線 690mm²(KTAL 58 本 /3.9mm+EST 61 本 /3.3mm)を選定した。電線諸元を表1に示す。

この電線は1,770MPa{180kgf/mm²}級の特強亜鉛めっき鋼線3.3mmを61本多層撚りしたものに、高力耐熱アルミ合金線3.9mmを58本撚り合わせたもので、Al/St比が1.33の大サイズ特殊電線で引張り荷重は979.6kN{99,680kgf}である。塩害対策として、外層素線の内側まで防食グリースを充填させた「中防食」とした。また、延線中の電線の回転を防ぐために、より方向は延線ワイヤと合わせて「Zより」とした。

過去に海峡横断部等へ採用された高強度電線の中で、高強度と大電流容量の両者を兼ね備えた電線の採用例は少なく、今回の大崎火力線に採用される電線は、世界最大規模の高強度・大電流容量電線であると言える。

3.2 防振装置

本送電線の最大使用張力は287.3kN{29,300kgf}と非常に高く、常時張力が電線抗張力の約25%とかなり高くなることから、微風振動による電線損傷には特に留意し、防振装置の設計を行う必要がある。そこで、既存の風に関するデータや過去に設計した実績のある松島火力線などの防振装置を参考としてクロスワイヤダンパ(CWD)の設計検討を行った。

CWDは所定の長さの添線を線路方向に対して45°の角度をつけて電線に取り付けることにより、電線に微風振動が発生した際に添線が共振し、添線の弾性ヒステリシス損、振動干渉及び

捻回運動によりエネルギーを消費し、電線の振動を抑止するものである。

長径間では径間への入力エネルギーが大きくなるため、CWDも大型のものとならざるを得ないが、一方において施工性・塔体への影響を考慮すると小型・軽量化を設計に反映させる必要がある。そこで、今回は施工性を考慮し、CWDの長さを2~5mの組合わせとして設計を行った。また、通常、CWDの添線には、取付け電線と同一品を使用するが、今回は、5mループ用は本線を使用した。その他のループについては、ACSR 980mm²とすることで、軽量かつ防振周波数帯域を広くする方式とした。

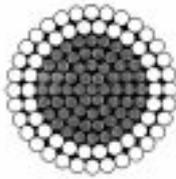
取付け形状を図2に示す。

3.3 引留めクランプ

引留めクランプは、JEC規格の(T)ACSR用と同様、鋼心を把持する鋼クランプ、アルミ線を把持するアルミクランプ本体及びジャンパ線を把持するジャンパソケットから成る圧縮型構造とした。しかし、長大な引留めクランプとなるため、通常の圧縮方法では圧縮後において電線の歪みが懸念される。そこで、クランプ本体を逆圧縮方式とするため、下記の検討を行い、クランプ構造を決定した。クランプ図面を図3に示す。

- (1) アルミ圧縮部には引抜き管を使用し、これに鋳造製のソケット取付け部を溶接した。これにより、内径寸法のばらつきを小さくでき、圧縮時の圧縮伸び量をほぼ一定に抑えることができた。
- (2) 圧縮時の伸びのばらつきを吸収するために、アルミクランプ本体と鋼クランプの間にアルミ製のリングを取り付ける方式とした。
- (3) 鋼心の引張り荷重分担比が大きいため、鋼クランプ圧縮部外径がより線外径よりも大きくなる。このため、アルミ線圧縮部にカラーが必要となるが、圧縮作業を容易とするためにカラーをクランプ本体の内面に溶接し、一体型構造とした。

表 1 電線諸元
Specifications of KTACSR/EST 690mm²

項目	単位	特性	
線種	-	中防食KTACSR/EST	
公称断面積	mm ²	690	
断面図			
より線	KTAL	本/mm	58/3.9
構成	EST	本/mm	61/3.3
最小引張荷重	kN {kgf}		979.6 {99,680}
外径	KTAL	mm	45.3
	EST	mm	29.7
断面積	KTAL	mm ²	693.1
	EST	mm ²	521.7
	合計	mm ²	1,215
質量	KTAL	kg/km	1,928
	EST	kg/km	4,130
	グリース	kg/km	231
	合計	kg/km	6,289
電気抵抗	/km		0.0465
弾性係数	GPa{kgf/mm ² }		124.7 {12,720}
線膨張係数	/		14.9 × 10 ⁻⁶
電流容量	連続 (150)	A	1,969
	短時間 (180)	A	2,266

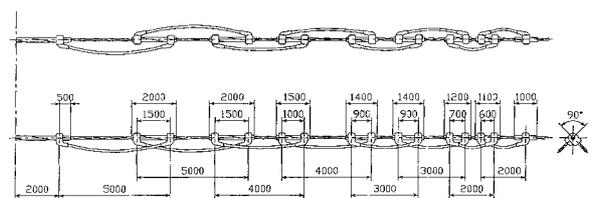


図 2 CWD8 型の形状 (No.9 ~ No.10)
Details of 8 loops type cross wire damper

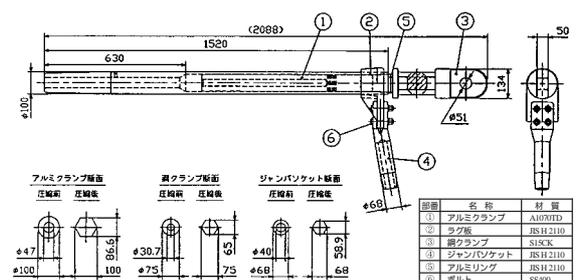


図 3 圧縮型引留めクランプ
Compression type dead end clamp for
KTACSR/EST 690mm²

3.4 軽量カムアロング

高張力電線用であるため, 従来型のカムアロングでは大型となり質量がかなり大きくなる。そこで, 軽量化を図るため本体にアルミ合金とセラミックの複合材料(メタックス), ハンガー部には, 航空機用にも使用されているAL7000系材料を使用したカムアロングを開発した。これにより, 従来品と同等の強度を有しながら質量を40%程度とすることができた。

4. 性能確認試験

電線及び付属品等に関して, 一般性能試験の他に表2に示す性能確認試験を実施し, 良好な結果が得られた。

CWDの防振性能の確認試験の結果, 電線のみでは周波数30Hz以下で電線に±110µmの歪が発生するが, 防振装置を取り付けることにより, ±30µmに低減することが確認できた。(図4)

表2 評価試験項目
Test items

対象	試験項目	内容	
より線	電流容量試験	交流抵抗	表皮効果、鉄損等を影響を確認
		温度上昇	計算値と実測結果の比較検証実施
	応力伸び	弾性係数	慣用値と実測値の比較検証実施
		アルミ分担応力	計算値と実測値の比較検証実施
	クリープ特性	常温時	張り上げ温度考慮のために試験実施
		高温時	
	振動試験		疲労限応力の確認
腐食性	塩水噴霧	耐腐食性の確認実施	
	グリース軟化特性	グリースの耐熱性の検証実施	
防振装置	吸収エネルギー特性	防振性能の検証実施	
	把持部強度	把持部金具の強度確認試験実施	
	圧縮部強度	クランプ圧縮部の強度検証試験実施	
	把持力	電線把持力検証試験実施	
	耐疲労強度	振動時の各部の緩み確認	
引留	ヒートサイクル	熱履歴時の強度検証実施	
クランプ	引張試験	破断強度の検証試験実施	
軽量カムアロング	把持力試験	実緊線張力での線条掌握力の検証試験実施	

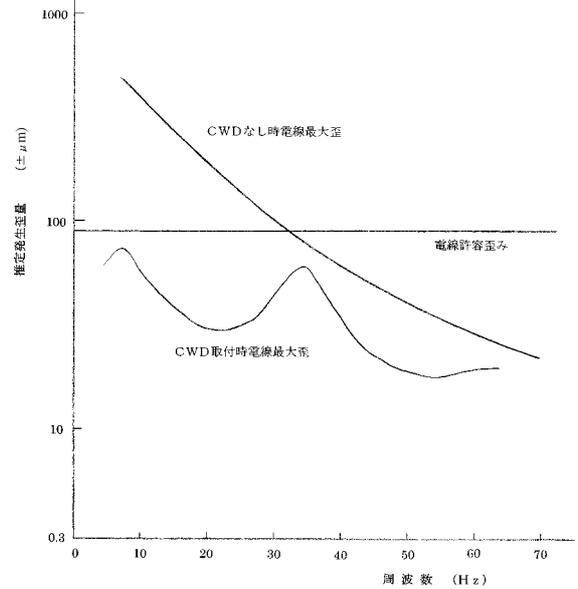


図4 CWD 8型の防振特性
Expected strain of KTACSR/EST 690mm² with and without CWD 8 damper

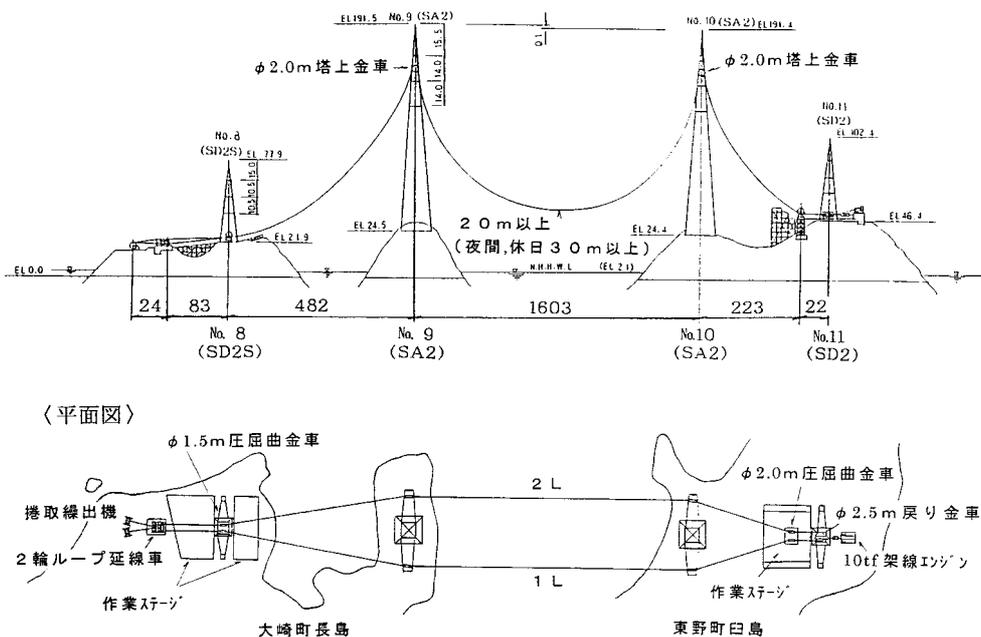


図5 主要機械工具配置
Arrangement of stringing equipment

表 3 実証試験概要
Brief explanation of verification test

試験項目	内容
ループ延線車負荷試験	連続運転における延線車主要各部の温度上昇及び歪み量の確認
延線車通過試験 (仮接続部)	仮並列作業による仮接続部の通過特性確認
連動性試験 (ループ延線車・捲取線出機・制御装置)	各設備の連動性の適否と操作方法の検証
耐張装置緊線試験	個別の評価確認した工具・工法を実耐張装置において緊線作業を実施し、工法の問題点の有無の確認
5車ブロック強度試験	緊線時に使用する5車ブロックの強度試験
宙乗機試験	ダンバ取り付け時に使用する宙乗機の適用性を実規模モデルで評価
逆T梯子試験	付属品取り付け時に使用する逆T梯子の適用性を実規模モデルで評価
ヘリ延線飛行試験	現地条件に近い状況において、ヘリ延線を行い、延線機、ヘリ状況、ヘリ延線用ロープ状態等を確認



写真 2 No.8 鉄塔ドラム場と架設ステージ
No.8 tower, drum yard and temporary stage



写真 1 軽量カムアロング把持力試験
Tension test of light type METACS
(aluminum alloy and ceramics) come-along

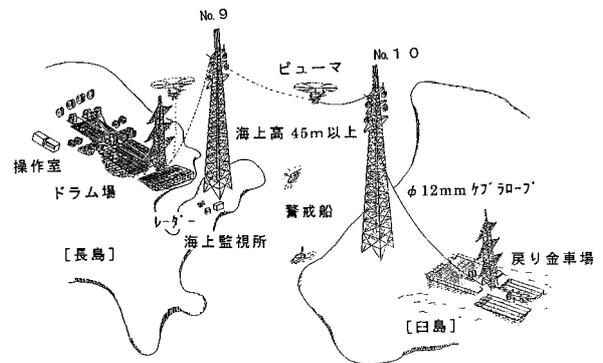
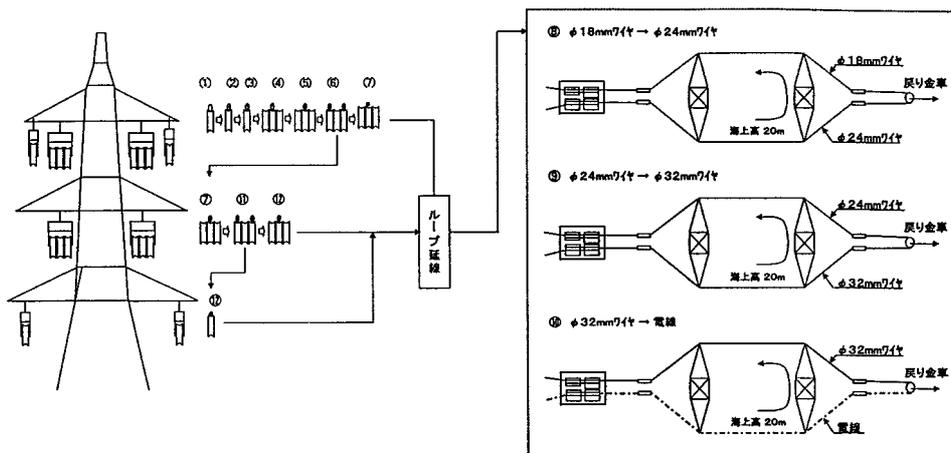


図 6 ヘリ延線工法
Stringing method by helicopter



- ① 12mmケブラロープ ヘリ延線
 - ② 12mmケブラロープ 14mmケブラロープ
 - ③ 14mmケブラロープ 14mmワイヤ
 - ④ 14mmワイヤ 輪金車より三輪金車へ配列替え
 - ⑤ 14mmワイヤ 18mmワイヤ
 - ⑥ 18mmワイヤ 18mmワイヤ2条
 - ⑦ 18mmワイヤ配列替え
 - ⑧ 18mmワイヤ 24mmワイヤ
 - ⑨ 24mmワイヤ 32mmワイヤ
 - ⑩ 32mmワイヤ 電線
 - ⑪ 18mmワイヤ 18mmワイヤ×2条
 - ⑫ 18mmワイヤ配列替え
- 以下 ⑧⑨⑩の繰り返し

図 7 ループ延線工法
Method of loop-stringing

5. 延線工法

海峡横断におけるパイロットロープ延線については、海上浮子延線、クレーン船延線及びヘリコプタ延線などがあるが、平成9年2月24日に開催された中国電力大崎火力線架設航行安全対策検討委員会(通称"海の委員会")の決定を受けて、信頼性が高いヘリ延線工法を採用した。

また、電線の延線については、海峡横断送電線の架線工事で最も信頼の高いループ延線工法を採用した。図5に主要機械工具の配置を示す。

5.1 準備

機械工具は、昭和56年6月に竣工した中国電力株南広島連絡線の架線工事に使用したものを修繕、改良したことから、作業性及び安全性を確認するため、各種実証試験を行った。実証試験の内容を表3に示す。(写真1)

また、ドラム・エンジン場(No.8)及び戻り金車場(No.11)には安全性、作業性を確保するために、大規模な傾斜ステー(鋼製、単管パイプ製)を構築した。(写真2)

5.2 ヘリ延線

長径間の海峡横断架線工事での施工実績は少なかったため、延線機の開発(高性能ブレーキの採用等)及びヘリ延線の実証試験(海峡横断部の径間長と同規模の山岳地での試験)を実施した上で工事に臨んだ。

ヘリ延線は(社)瀬戸内海海上安全協会の通航船舶等の状況調査結果より平成9年6月5日9時~11時の間と決定された。

ヘリ延線は図6に示すように警戒船、海上監視所及びリーダー等を配置し、安全かつ効率的に実施できるようにした。

ヘリコプターはアエロスパシアルSA330J(ピューマ)を使用し、パイロットロープは軽量で強度の高いポリアラミド繊維ロープ12mmを使用し、ロープ海上高は45m以上を確保するようにヘリ延線が行われた。

1本のロープのヘリ延線所要時間は約30分であり、所定の時間内に2本のロープを延線することができた。

5.3 電線延線(ループ延線)

電線の延線張力が約180kN{18tf}と高いこと、延線中のワイヤ及び電線の海上高を20m以上(夜間、休日は30m以上)に安定して確保しなければならない事、大型船舶の通航時に短時間で電線の海上高を高くする必要がある事などから、架線中のワイヤ、電線の弛度を容易に調整できるループ延線工法を採用し

た。

ループ延線工法とは海を挟んでループ延線車と戻り金車を設置し、ヘリ延線で架線されたケブラーロープをもとに徐々に太いロープに引き替え 18mmワイヤになったところで、ループを構成し、18mmワイヤ 24mmワイヤ、さらに 24mmワイヤ 32mmワイヤ 電線に引き替える工法である。図7にループ延線概要を示す。

レール上に配置された戻り金車を移動させることにより、延線中のワイヤ及び電線の海上高の調整を容易に行うことができる。

また、仮接続部がループ延線車内を通過する時の張力増加、ループ延線車の溝の損傷防止する対策として、仮並列作業を実施した。

5.4 監視システム

5.4.1 ヘリ延線監視システム

ヘリコプターの機内とNo.8の操作室にそれぞれ1台のパソコンを設置し、GPS(グローバル・ポジショニング・システム)、気

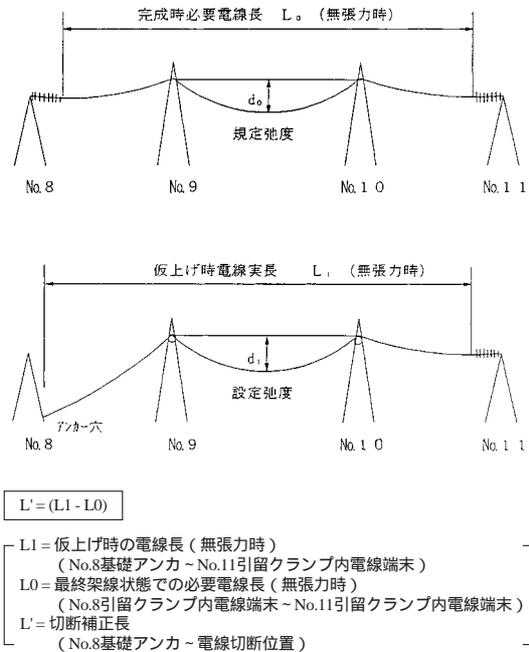


図9 セミプレハブ架線工法 Method of semi-prefabrication sagging

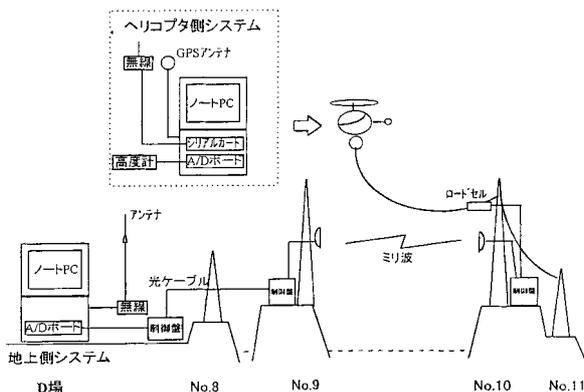


図8 ヘリ延線監視システム概要 Monitoring system for helicopter stringing



写真3 船舶監視状況 Monitoring for ship observation

圧高度計、ロードセル等から送られてくる情報に基づいて、リアルタイムで延線ロープの弛度状況をパソコン画面上で監視できるものである。これにより、安定した延線が可能となり、安全施工に大きく寄与した。(図8)

5.4.2 海上監視システム

延線区間の海域にマスト高が20m以上の大型船舶が通過する可能性があるため、通常の監視員・警戒船による監視と併せて、レーダーによる船舶の監視として、海上監視システムを導入し、船舶航行の安全確保に努めた。これは、多数の通過船舶のうち延線中のワイヤ、電線に接触する危険性のあるものを早期に判定するシステムである。現場から半径6kmの範囲をレーダーを利用して船舶の位置をとらえ、対象となる船舶のマスト頂部をトランシットにて照準する事により、マスト高、船舶の針路、速度等をパソコンにて計算し、ITVで船舶を監視する事が可能となった。これにより、大型船舶の通過情報を早期に把握することができた。(写真3)

6. 緊線工法

6.1 セミプレハブ工法

緊線張力が高い(約20tf/条)こと、塔上での引留めクランプの圧縮が困難であること及び作業性向上のためセミプレハブ工法を採用した。この工法は図9に示すように仮緊線状態の電線実長から完成時の電線実長を差し引いて、地上で電線を切断、圧縮し緊線する工法である。

- (1) 各鉄塔支持点間及びNo.8アンカ部～No.9支持点間を光波により精密測量を行った結果をもとに大型計算機により弛度張力計算を実施し、完成時必要電線実長を求める。
- (2) No.11を緊線した後、No.8側を塔下アンカー部に引留め、設定弛度(規定弛度の約80%)に張り上げ、仮上げ時電線実長を求める。
- (3) 鋼クランプ長、クランプ圧縮伸び、耐張碍子連伸び、鉄塔たわみ等の各補正項目を考慮し、補正量を決定し、完成時電線実長及び仮上げ時電線実長の補正を行う。

上記の計算結果と仮上げ時の電線温度から、切断補正長を決定した。

6.2 緊線

ループ延線で電線の延線が完了すると、戻り金車場では5車、4車ブロックセミを使用して、電線のループや圧屈曲金車を解いて、No.11鉄塔脚部の25tfアンカーに移動し、所定の位置で電線を切断し引留めクランプを圧縮する。

圧縮完了後、塔上、地上の4車セミブロックをセットし、引留めクランプを利用したセミブロック方式カマレス工法で耐張装置に取り付けた。

No.11鉄塔の取付け完了後、No.8鉄塔ではセミプレハブ工法で地上で仮緊線し、引留めクランプを圧縮し、ワイヤ方式カマレス工法で耐張装置に取り付け緊線作業を終了した。尚、緊線及び引留め作業は、鉄塔の捻れ防止のため1L、2L同時に行った。(写真4)

架線完了時における弛度誤差は50cm以内であり、両回線での差もほとんどなく、良好な結果であった。

防振装置のクロスワイヤダンパは、耐張鉄塔では緊線時に地上で取付けを行った。懸垂鉄塔では塔上デリックを使用して、所定の位置に手順通りに取り付けた。(写真5)



写真4 No.8 緊線状況
Sagging of No.8 tower



写真5 No.10 クロスワイヤダンパ取り付け状況
Installation of cross wire damper for No.10 tower

7. まとめ

今世紀最後、そして世界最大規模の海峡横断である大崎火力線の架線工事を工期内に無事完了することができた。これは、電力会社と電線メーカー及び工事部門が一体となって、種々の検討を進めてきた結果であると言える。また、この工事に関する電線・付属品等の基本設計は、昭和55年頃から開始されたものであり、本工事が無事完了できたのは、今回、製造、開発、工事に携わった方々のみならず、当初の設計開発等に携わった諸先輩方の功績があったからこそ、成し遂げられたものであると言える。

最後ではあるが、関連された全ての方々に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 市村, 盛岡:大崎火力線海峡横断部の設計について, 送電線建設資料, 第26集(1981)
- 2) 寺本, 山本:南広島連絡線海上横断部の架線設計ならびに施工について, 送電線建設資料, 第26集(1981)
- 3) 朝山, 花田, 村上:大崎火力線海峡横断架線工法, 中電工務情報(1997)
- 4) 寺本, 山本, 岩原, 池田他:南広島連絡線海上横断部要電線・付属品及び架線工事について, 古河電工時報, 第73号(1981)