

コストと自然環境に配慮した海底ケーブル線路

Completion of Submarine Cable Routes Provided with Low Impact to Marine Environment and Low Cost

古堅 宗裕*
Munehiro Furugen

饒波 幸男*
Yukio Noha

前門 秀哉*
Hideya Maekado

横山 知弘*²
Chihiro Yokoyama

輿石 幸男*²
Yukio Koshiishi

江橋 茂*²
Shigeru Ebashi

岩崎 邦男*³
Kunio Iwasaki

木島 孝*³
Takashi Kijima

山口 卓見*⁴
Takumi Yamaguchi

海津 裕*⁴
Hiroshi Kaizu

概要 古河電工では、自然にやさしい海底線路の建設をめざして、2000年5月沖縄電力（株）殿 久松伊良部線海底ケーブル、同年6月東京電力（株）殿 新島式根島線海底ケーブルをそれぞれ設計施工した。各工事においては、建設費のコストダウンと、サンゴ礁やイセエビの育成域である岩礁を破壊しない工法が必要とされた。このため、ケーブルの製造から現地布設工事まで、一貫して実施できる古河電工の総合力を生かし、ケーブル試作・設計から工事設計にいたるトータル設計により、自然への影響を最小限とした海底線路の建設を実現した。

1. 22 kV 複合鎧装海底ケーブルの布設 （宮古島 - 伊良部島間）

1.1 はじめに

2000年5月沖縄県宮古島久松と伊良部島間に、新規に開発を行った22 kV WCLWWA 3 × 100 mm²（二重鎧装鉛被遮水層付架橋ポリエチレン絶縁海底ケーブル）複合鎧装（一重目鎧装高密度ポリエチレン被覆FRP + 二重目亜鉛メッキ鉄線）海底ケーブルの布設を行った。今回開発した複合鎧装海底ケーブルは、従来の海底ケーブルで大きな課題となっていた長期信頼性を向上させるため、電力線には鉛遮水層を設け、鎧装には電食による損傷を防止するために、非金属材料であるFRP（繊維強化プラスチック）を用いたものである。なお、本海底ケーブルは、沖縄電力（株）殿と共同開発を行ったものである。

1.2 従来ケーブルの問題点

1.2.1 既設ケーブルの調査結果

沖縄電力（株）殿が現在保有している海底ケーブルは29線路であり、延べのこう長は143.7 kmである。布設ルートは、太平洋や東シナ海の外洋であるため潮流が速く、水深30 m以下の浅層域には天然記念物であるサンゴがほぼ全域に渡り生息しており、これを保護するため、一部を除いて埋設を行うのは困難である。

このようなルートに海底ケーブルの布設を行う場合が多いため、特に鎧装鉄線の損傷が激しく、状況によって絶縁体まで損傷を受けることがあり、従来構造の海底ケーブルの平均的な寿命は20年前後が中心であった。既設ケーブルの状況例を写真1に示す。これは布設後28年経過したものであり、部分的に鎧装鉄線が断線し、海底の岩礁に乗り上げているルートでは、絶縁破壊事故が発生する危険がある。断線している鎧装鉄線の先端形状は針状にとがっているため、単純な機械的磨耗による損傷ではなく、従来から研究・報告されているように電食による損傷と考えられる。

そこで今回、海底ケーブルの長期信頼性の向上を図るため、実フィールドにおける鎧装の損傷状況の調査を行い、ケーブル構造の改良検討を進めた。



写真1 既設ケーブルの写真
Submarine cable laid 28 years ago

* 沖縄電力株式会社

*² 東京電力株式会社

*³ 電線・機器事業部 技術開発部

*⁴ 電力エンジニアリング部 海洋プロジェクトチーム

実フィールドにおける調査は、沖縄電力（株）殿が5年周期で実施している定期点検のデータを用いた。調査結果の代表例を表1に示す。

この調査結果より、布設後10年程度で防食層が損傷を受け、その後鎧装鉄線の腐食損傷が始まり、更に5年程度でその鉄線の断線が始まっていることが確認された。これは、布設後10年程度で、外傷からの保護を行っている鎧装の機能が低下しており、投錨時や台風等の波浪時には、ケーブルの絶縁体が損傷を受ける可能性があるものと考えられた。

1.2.2 鎧装鉄線の損傷について

前記のごとく、鎧装鉄線の損傷は電食によるものと考えられる。過去の文献⁹⁾などを参考にすると、電食の発生要因としては次のものが挙げられる。

- (1) 海潮流による起電力：地磁気と海潮流によって発生する起電力によるもので、流速に変化のある場所付近で鎧装鉄線に電流の出入りがある。
- (2) 濃淡電池作用：海底の地質及び温度の異なる地域をケーブルが通る場合、濃淡電池作用により、鎧装鉄線の2点間に電位差を生じ電流が流れる。
- (3) 通気差電池作用：酸素の供給不十分な部分が陽極となる作用で、鎧装鉄線の隣接接触部分が比較的腐食しやすいのはこの作用と考えられている。
- (4) 陸上直流電気鉄道軌道からの漏洩電流：電車軌道の漏洩電流が海底ケーブルの鎧装鉄線に流入する。
- (5) 地電流：迷走電流が、鎧装鉄線に流入することにより電食を起こす。

海底ケーブルの鎧装鉄線の電食現象は、この中でも特に「地磁気と海潮流によって発生する起電力である潮流による起電力」が主原因であると考えられる。なお、海底のれき石との磨耗や、波浪などによる海水中的砂れきの激しい移動による機械的な磨耗は、防食層の損傷や電食及び局部電池作用による自然腐食を局部的に発生させる要因と考えられるため、電食による損傷の必要条件となろう。

表1 既設ケーブルの鉄線損傷状況
Cable condition in Okinawa

	久松 - 伊良部 2号	備瀬崎 - 伊江 2号	石垣 - 竹富 2号
経過年数	27年	19年	16年
巨長	5.0 km	6.8 km	4.6 km
最大水深	14 m	92 m	33 m
潮流速度	1.5 knot	1.6 knot	0.6 knot
鎧装の 損傷状況	鉄線損傷多い	鉄線数本損傷	鉄線露出

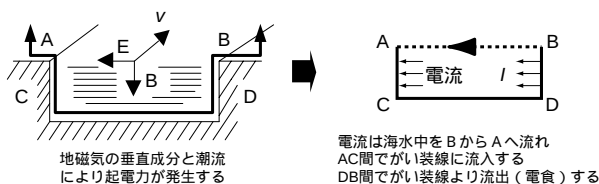


図1 海潮流起電力による電食の原理図
Outline of cable wire armor rusting

以上に述べたように調査を行った鎧装鉄線の損傷の原因は、電食、自然腐食、機械的磨耗の複合作用であると考えられた。

1.2.3 長期信頼性を考慮した海底ケーブルの設計

既設ケーブルの調査結果を踏まえ、布設環境に適した海底ケーブルの設計検討を行った。

海底ケーブルの長期信頼性を確保するための検討項目及び検討結果を以下に示す。

- (1) 電力線心（絶縁体）の検討：海底において長期性能の確保を行うため、電力線心は完全な遮水構造とすることが出来る鉛被遮水構造とした。なお、当然ではあるが、投錨などによる外傷を受け断線した場合にも、線心への海水の浸入を極力抑えるために水密構造とし、導体及び外部半導電と鉛被シース間には水密コンパウンドの充填を行うこととした。
- (2) 鎧装の検討：鎧装損傷の原因は電食によるものと断定されるため、電食が発生しない材料を鎧装に用いる必要があるが、電食を完全に発生させないためには絶縁物である非金属材料とせざるを得ない。しかし、鎧装の要求性能は高強度で、しかも長期にわたり海水による劣化が少ない材料

表2 海底ケーブルの構造
Cable construction

項目	電力線	通信線
導体断面積（mm ² ）	100（全長水密）	3P×2
導体外径（mm）	12.0	1.8
絶縁体厚さ（mm）	7.0	0.8
絶縁体外径（mm）	26.0	-
外部半導電層厚さ（約mm）	1	-
鉛被遮水層厚さ（mm）	1.6	-
シース厚さ（mm）	-	2.0
半導電性テープ巻厚さ（mm）	0.5	-
線心外径（mm）	32.3	-
より合わせ外径（mm）	70	
座床厚さ（mm）	2.0	
高密度被覆FRP線外径（mm）	6.5	
座床厚さ（mm）	2.0	
亜鉛メッキ鉄線線外径（mm）	8.0	
防食層厚さ（mm）	5	
仕上がり外径（約mm）	119	
概算質量（約kg/km）	30390	

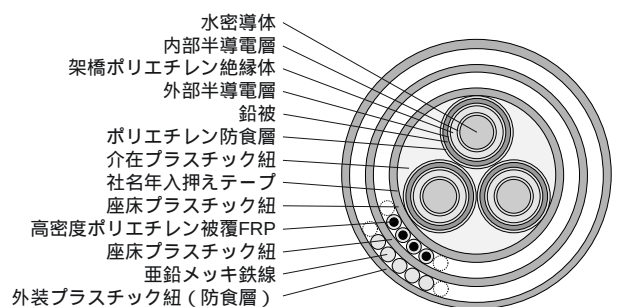


図2 ケーブル断面図
Cross section of the cable

とする必要があり、また実フィールドで長期間の使用実績を有することを考慮すると必然的に絞られてくる。

検討の結果、海水中における長期使用実績がある材料としてはFRPがあげられた。FRPは、これらの条件を満足する材料であり、古河電工の海底ケーブルの鎧装材料²⁾として約18年間の使用実績がある。ただしFRPはガラス強化繊維プラスチックであるため構成部材も幅広く、性能もさまざまであるため、十分な特性評価の確認を行わなければ用いることができないことは言うまでもない。

1.3 新規開発海底ケーブルの製造、試験結果

今回製造を行った電力保安通信線複合 22 kV WCLWWA (一重目FRP、二重目鉄線鎧装) $3 \times 100 \text{ mm}^2$ の構造を表2に示す。

ケーブルの製造工程においてFRP線を用いることは特に問題なく、従来の製造実績からも鉄線と同様に扱えることは確認出来ている。ただし、FRP線の場合には接続技術がポイントとなり、接続部の構成によってはFRP線の引張強度を必要以上に低下させてしまうことがある。今回適用した接続工法は金属スリーブを圧着する方法であり、ステンレス製の金属スリーブを用い作業性に優れる構造を開発しこれを採用した。



写真2 布設の写真
Cable landing on Miyako-shima

1.4 環境に配慮した布設工事

今回開発を行ったケーブルを宮古島久松 - 伊良部島間約 6,500 m に布設を行った。今回の布設工事の特徴は、布設ルート全長に生息しているサンゴ礁に可能な限り損傷等を与えないように、環境に配慮した布設工法と防護工法の適用を行った。

布設工事は最初に宮古島久松側に陸揚げを行い、次いで伊良部島に向かって行われた。本ケーブルの久松側の陸揚げ点は電柱立上げであり、伊良部島側はケーブルハウスである。布設工法は、布設船の微妙な操船が可能であるアンカリング工法を採用した。アンカリング工法は、図3に示したとおり、事前に配置したアンカーワイヤーを布設船上のウインチで巻き取ることで布設船を前進させ、予定ルートに正確に布設を行う工法である。

今回のルートは比較的水深が浅いため、台風などの接近時には波浪の影響でケーブルが海底で移動することが懸念された。この場合には、ケーブルの損傷だけでなく周囲のサンゴ礁にも損傷を与えてしまう可能性があるため、布設時に海底面の高低差(凹凸)により発生してしまうケーブルのブリッジ(宙吊り部)

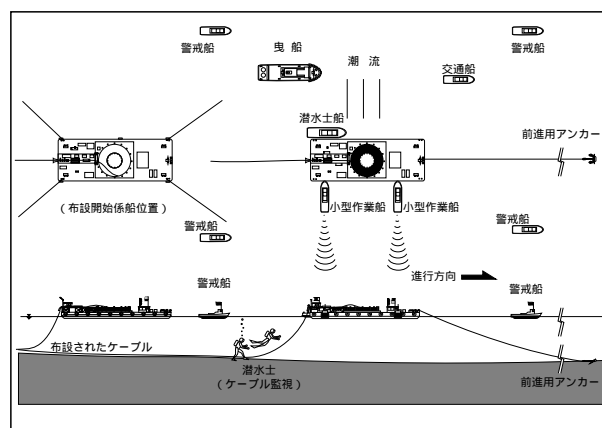


図3 アンカリング、ダイバー誘導の図
Outline of cable laying with diver support

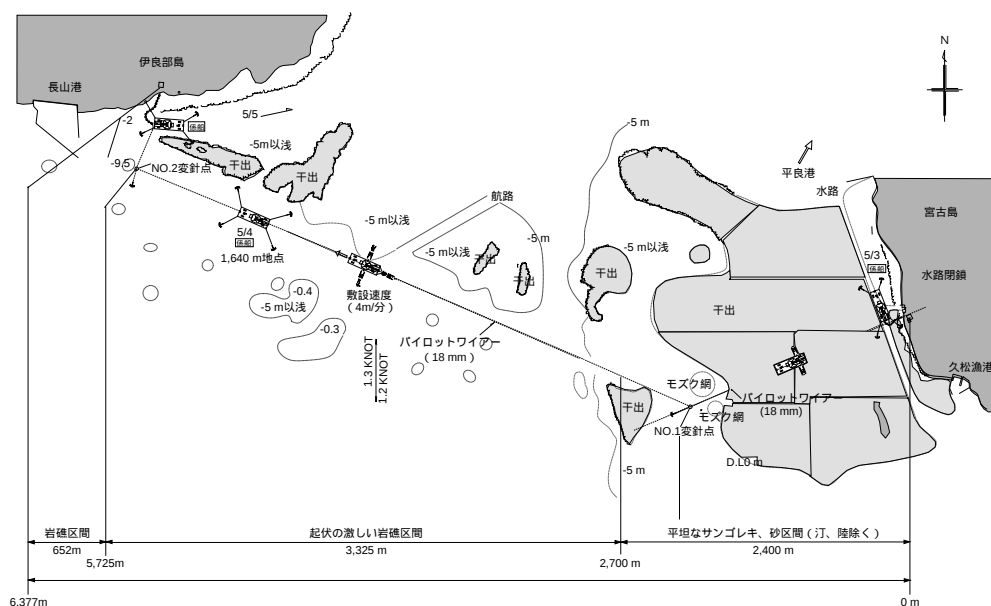


図4 宮古島久松～伊良部 海底ケーブルルート
Outline of cable route

を避け可能な限り海底に着底させる必要があった。

布設は、ルート全長にわたってダイバー（潜水士）により誘導を行い、サンゴ礁の間の自然の溝の隙間に正確に布設を行いブリッジが発生しないように実施した。これは国内・外でも例を見ない正確な布設であり、ケーブルのブリッジを無くしたことは、ケーブルの長寿命化を図る有効な手段となるものと考えられる。また、ケーブルに複合鎧装を採用し、従来ケーブルより剛性を小さくしたことが、ケーブルの着底作業を有利にさせた。

1.5 まとめ

今回、ケーブルの長寿命化を目的に22 kV複合鎧装（一重目鎧装高密度ポリエチレン被覆FRP＋亜鉛メッキ鉄線）海底ケーブルの開発を行い、環境に配慮した工法により布設を行った。

海底ケーブルの大きな課題とされていた電食対策として、鎧装の一部に非金属であるFRP線を採用し、ケーブルの長期信頼性の向上を行うことが出来た。また、鎧装の構造を鉄線との複合構造としているため海中での質量が大きく、非埋設ルートにおいても波浪等によりケーブルが移動して周囲のサンゴ礁に対して機械的な損傷が与えられることが避けられ、合わせてケーブルの損傷も避けることが可能となった。

ケーブルの布設は、全長ダイバー誘導によるアンカリング工法を採用し、前記の環境に対し最大限の配慮を行うなど、環境にやさしい布設工法を採用した。

2. 6.6 kV海底ケーブルの布設 （新島 - 式根島間）

2.1 はじめに

2000年6月に、東京都新島と式根島間に6.6 kV WCLWA 3 × 60 mm²（一重鎧装鉛被遮水層付架橋ポリエチレン絶縁海底ケーブル）鉄線鎧装海底ケーブルの布設を行った。本工事は、式根島での電力需要の増加に伴い、海底ケーブルを増設するものである。古河電工は既設ケーブルの調査結果をもとに、ケーブル構造、布設ルート、布設工事及び、防護工事について必要機能等を明確にし、トータルでのコストダウン提案を行い、総建設費の低減を実現させた。

2.2 工事概要

本工事は、新島 - 式根島間約4,242 mに海底ケーブルを布設する工事である。布設ルートの海底は海峡中央部には砂の堆積があるものの、両岸に近い区域では岩礁が点在しており、海底

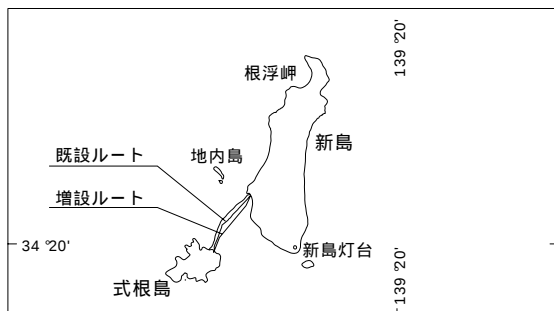


図5 新島—式根島海底ケーブルルート
Outline of the cable route

ケーブルを布設する条件としては、好ましい環境ではない。このため、既設ケーブルにおいては海底ケーブルの鎧装には二重鉄線鎧装を採用し、更に防護管による防護を行っている³⁾。

2.3 布設工事設計

今回の増設工事では以下の条件が求められた。

- (1) 建設コストの削減
- (2) 線路の高信頼性
- (3) 海洋環境に与える影響を最小限とすること

特に(3)については立上り渚近くの岩礁区域がイセエビの育成場となっており、地元漁業関係者からの強い要望があったものである。

岩礁部に布設されるケーブルは、一般的に既設ケーブルでも採用された二重鉄線鎧装仕様が用いられる。また、転石等による外傷の危険がある場合には铸铁製の防護管により防護したり、岩礁を破碎・除去してケーブルの安全性を確保する場合が多い。

しかし、今回は従来の経験的な安全サイドの設計にとらわれず、既設ケーブルの調査結果を基に、外装鉄線の強度向上を行った一重鉄線鎧装ケーブルの選定を行った。

また、事前調査を十分に実施し、海流の動きに伴う砂の移動によりケーブルが自然に埋設されるルートを極力選定するた

表3 海底ケーブルの構造
Cable construction

項目	電力線
導体断面積 (mm ²)	60
導体外径 (mm)	9.3
絶縁体厚さ (mm)	5.0
絶縁体外径 (mm)	19.3
外部半導電層厚さ (約mm)	0.6
鉛被遮水層厚さ (mm)	1.5
シース厚さ (mm)	-
半導電性テープ巻厚さ (mm)	0.25
線心外径 (mm)	-
より合わせ外径 (mm)	58
座床厚さ (mm)	2.0
亜鉛メッキ鉄線線外径 (mm)	8.0
防食層厚さ (mm)	3.5
仕上がり外径 (約mm)	81
概算質量 (約kg/km)	17590

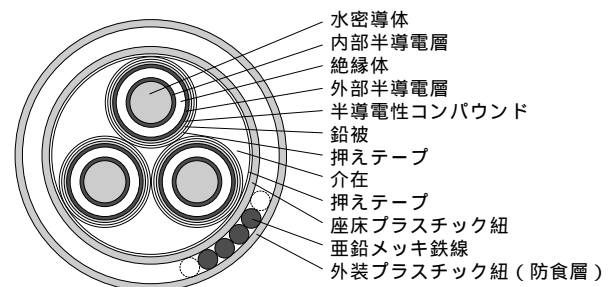


図6 海底ケーブル構造図
Cross section of the cable



写真3 新島側陸揚げ状況図
Cable landing on Niiijima

め、海底の岩礁を避けて曲がりくねったルートとし、防護数量を抑えることとした。

更に、この予定ルートに正確にケーブルを布設するため、宮古島 - 伊良部島での布設方式と同様にアンカリング工法をとり布設中にはダイバーによるルート誘導を行った。このルート誘導においても、ケーブルの鎧装構造の見直しを行い一重鉄線外装とすることで、ケーブルの剛性を小さくしたことが、非常に有効に働いた。

以上の結果、防護管による防護、岩盤部の破碎・掘削を必要最低限とすることができ、総建設費で約5%の低減を実現した。また、岩盤部の破碎を少なくすることが可能となり海生生物への影響も必要最小限とすることができた。

2.4 まとめ

今回の布設工事では、既設ケーブルでの実績から、ケーブルの最適設計をおこない、布設工事設計により信頼性を確保した。今後は、過去150万km以上の布設実績と今回の実績に基づいて、他の様々な海底線路においても、ケーブル設計から施工までのトータル設計を行うことのできる古河電工の利点を十分に生かした、コスト低減や自然にやさしい工法の提案を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 江副等「海底ケーブルの電食障害について」電気学会雑誌（昭和31年6月）
- 2) 安里等「FRP二重交互巻が装海底ケーブルの開発」古河電工時報第75号（昭和60年3月）
- 3) 西村等「電力・光複合海底ケーブルの開発」古河電工時報第79号（昭和61年12月）