

重腐食環境用ハンガイヤーの開発

片山 信一* 白木 理倫*

Development of the Hanger-ear against Heavily Corrosive Environment

Shin-ichi KATAYAMA Tadanori USUKI

Metal fittings such as hanger-ear used in overhead contact line are damaged occasionally due to corrosion. Among these metal fittings, in order to study hanger-ear against heavily corrosive environment, aluminum bronze test pieces amounts of nickel and aluminum of which were changed, were prepared. The atmospheric exposure test of the test pieces was carried out in Gatsugi anti-salt testing station and their corrosion resistance of the test pieces was evaluated after the test. Actual hanger-ears with the same chemical components as those of the test pieces were manufactured and put to the field test in a railroad section under the influence of salt damage and in another railroad section under the influence of hot spring and salt damage. As the result, it has been found that the aluminum bronze hanger-ear which has lower aluminum content and higher nickel content among the hanger-ears manufactured has a better corrosion resistance.

キーワード：電車線材料，金具，イヤー，ハンガイヤー，銅合金，アルミニウム青銅，塩害，温泉，腐食

1. はじめに

架線・パンタグラフ系を構成するトロリ線，き電線，およびハンガイヤーを代表とする電車線路部材の金具等は，線区の状態によりさまざまな損傷を受けて，最終的には破損に至ることがある。その中でハンガイヤーのイヤーの損傷原因に着目すると，その原因の多くは腐食によるものである。そこで，重塩害環境における長寿命化を目指した耐食性材料の開発を目的とし，まずイヤー部材についてNi（ニッケル）量とAl（アルミニウム）量を変化させたアルミニウム青銅部材を試作して鉄道総研の勝木塩害実験所（以下，勝木実験所という）において暴露試験を行い，耐食性を評価した¹⁾。その後，耐食性が高いと認められた成分量を有する材質でハンガイヤーを試作して，重腐食環境（重塩害環境および塩害と温泉が重複した環境（以下，塩害温泉環境という））において現地試験を行い，耐食性を評価した。ここではその評価結果について報告する。

2. 耐食性を向上するためのアルミニウム青銅部材の検討

ハンガイヤーや曲線引金具等のイヤーの現用品の材質は，JIS H5120のCAC702（アルミニウム青銅鋳物2種／旧JIS H5114のAlBC2）やJIS H3250のC6161（アルミニウム青銅棒）によるものであり，耐食性が良好な

表1 現用品イヤー部材の組成

単位：質量%

JIS記号	材料名	Cu	Al	Ni	Fe Mn	
CAC702 (旧AlBC2)	アルミニウム青銅 鋳物2種	80.0～ 88.0	8.0～ 10.5	1.0～3.0	2.5～5.0	0.1～1.5
C6161	アルミニウム青銅 棒	83.0～ 90.0	7.0～ 10.0	0.5～2.0	2.0～4.0	0.50～2.0

め²⁾ 電車線設備以外の各分野においても用いられている。表1に現用品イヤー部材の組成を示す。過去の調査^{3) 4)} から，塩害環境においては耐食性が良いとされるこれらの材料でも腐食が進行し，特に材料中のNi量がCAC702に規定する規格値の下限側のものが，腐食が激しいことがわかっている。また，架設場所がトンネル内の出入口付近のものが，寿命が短いことも判明している。製造方法の観点から見ると，鍛造品に比べて鋳物のほうが腐食して破損しやすいが，この腐食は合金成分のうちイオン化傾向の大きいアルミニウムが選択的に腐食する損傷形態で，脱アルミニウム腐食と呼ばれる。耐食性との相関が高いと考えられるNi量の調整を行うことにより，耐食性の改善を図ることが可能と考えられる。

Ni量の多いアルミニウム青銅として，JISの規格品ではアルミニウム青銅鋳物3種があり，JIS規格外としてはアルミニウム青銅棒3種と4種がある。そこで，耐食性向上による長寿命化を目的とするイヤー用材質の候補としては，今までの実績と製造効率を踏まえて現用材質に近いものとし，アルミニウム青銅鋳物2種とNi量の多いアルミニウム青銅鋳物3種をベースとしてJIS規格の範囲内でNi量を変化させ，変化した分を腐食しやすいとき

* 電力技術研究部（集電管理）

特集：電力技術

れるAl量で調整したものとした。この材質により試験片を製造し、勝木実験所において試験片の暴露試験を行って耐食性の評価を行った¹⁾。表2にアルミニウム青銅鋳物3種の組成、表3に試作した試験片の組成を示す。試験片は平板状の単体試験および異種金属接触腐食の影響を評価するためのイヤーマテリアルとして、トロリ線材を挟み込んだ構成の小型試験用を製作した。塩害実験所における6ヶ月間の暴露試験後の観察結果では、成分を変化させたアルミニウム青銅（Cu-Al-Ni系合金材料）のうち、Alを低量化（以下、低Alという）してNiの含有量を大きくした（以下、高Niという）としたアルミニウム青銅2種類（表3のNo. IIIとNo. VI）の耐食性が良好であった。特にNo. VIが良好で。問題点として、単体試験片では試験片加工による表面状態が悪い部位において、腐食の発生が確認された。耐食性が良好なNo. IIIとNo. VIの材質を適用し、表面状態に留意しながらイヤーマテリアルの試作を行うこととした。

表2 アルミニウム青銅鋳物3種の組成

単位：質量%

JIS記号	材料名	Cu	Al	Ni	Fe	Mn
CAC703 (旧AIBC3)	アルミニウム青銅鋳物3種	78.0~85.0	8.5~10.5	3.0~6.0	3.0~6.0	0.1~1.5

表3 試作した試験片の組成

単位：質量%

No.	材料名	主要成分（質量%）				備考
		Cu	Al	Ni	その他	
I	純銅（硬銅トロリ線相当）	99.96	—	—	—	比較用基準
II	アルミニウム青銅鋳物2種（CAC702）相当	残	9.0	1.6	Fe, Mn	2種中間
III	アルミニウム青銅鋳物2種（CAC702）相当	残	8.1	2.8	Fe, Mn	2種, Ni多, Al少
IV	アルミニウム青銅鋳物3種（CAC703）相当	残	9.3	4.5	Fe, Mn	3種中間
V	アルミニウム青銅鋳物3種（CAC703）相当	残	10.4	3.1	Fe, Mn	3種Ni少, Al多
VI	アルミニウム青銅鋳物3種（CAC703）相当	残	8.6	5.9	Fe, Mn	3種, Ni多, Al少

3. ハンガイヤーの試作

試作品のイヤーマテリアルの形状は、重腐食環境の高速線区での使用を考慮して、新幹線用H型仕様とした。イヤーマテリアル部を2章で述べたNo. IIIおよびNo. VIの材質で製造し、その他の部位は従来の材質（ハンガバーはりん青銅（C5191）、袋ねじ、TT座金、および薄板ゆるみ止めナットはステンレス鋼（SUS304またはSUS XM7）でハンガイヤーを製作した。また、比較用として試験片と同様に、CAC702のNiとAl成分を中間に調整した材質（表3のNo. II）を用いたハンガイヤーも製作した。以下、No. VIの材質のハンガイヤーをそれぞれType III、Type VI、Type IIという。

3.1 所内および暴露試験用ハンガイヤー

3.1.1 外観調査

図1に所内および暴露試験用に試作したハンガイヤーの外観を示す。試験体は170 mm²トロリ線用、呼び寸法（トロリ線中心からちょう架線中心までの距離）150mmである。Type IIIとType VIは現用品と同様な金属光沢を示しており、外観は良好であった。



図1 試作したハンガイヤーの外観

3.1.2 化学成分分析

表4にイヤーマテリアル試作品の定量化学分析結果を示す。Type IIIはCAC702の低Al、高Ni、Type VIはCAC703の低Al、高Niを示しており、目標とした成分であることが確認された。

表4 イヤーマテリアル試作品の定量化学分析結果

単位：質量%

No.	材料名	主要成分（質量%）				備考
		Cu	Al	Ni	その他	
Type III	アルミニウム青銅鋳物2種（CAC702）相当	84.1	8.32	3.00	Fe, Mn	2種, Ni多, Al少
Type VI	アルミニウム青銅鋳物3種（CAC703）相当	80.7	8.93	5.84	Fe, Mn	2種, Ni多, Al少

3.1.3 断面調査

図2にハンガイヤー試作品イヤーマテリアル部の断面観察結果を示す。Type III内部には大きな異常は認められなかった。しかし、細かい観察で表面に小さな歪みが認められた。この歪みは熱間鍛造時の加工の不具合と考えられる。Type VIは内部表面ともに良好な状態であった。

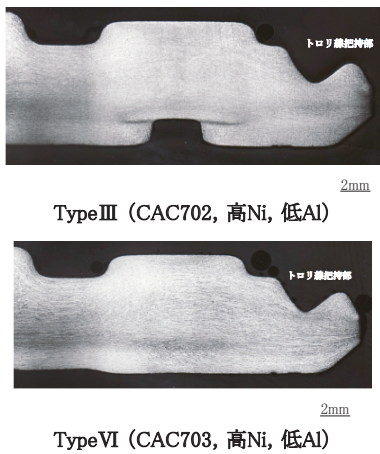


図2 ハンガイヤー試作品イヤー部の断面観察結果

3.1.4 硬さ試験

図3にハンガイヤー試作品イヤー部断面のビッカース硬さ値測定結果を示す。Type IIIの硬さ値は106～208HV、平均149HV、Type VIの硬さ値は164～219HV、平均180HVであった。現用品の硬さ値は、178～235HV、平均190HVである。この硬さ値と比較してType IIIは全体的に低く、Type VIは現用品とほぼ同等の硬さ値であった。

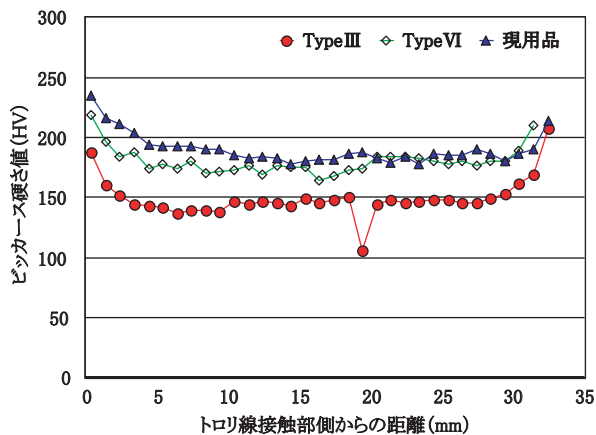


図3 ハンガイヤー試作品イヤー部断面のビッカース硬さ値測定結果

3.1.5 暴露試験

ハンガイヤー試作品の腐食耐食性を評価するため、Type III、Type VI、およびType IIを勝木実験所において暴露試験を行った。図4に勝木実験所におけるハンガイヤー試作品の暴露試験状況を示す。各材質のハンガイヤーはいずれも著しい腐食は認められなかった。これはType IIの材質がもともと、アルミニウムや鉄等の部材に比べて耐食性が良好な材料であること、さらに成分調整したため市販されている現用品に比べて耐食性が向上しているためと考えられる。

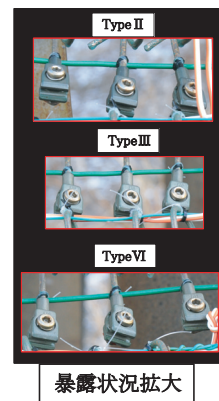


図4 勝木塩害実験所におけるハンガイヤー試作品の暴露試験状況

3.2 現地試験用ハンガイヤー

所内および暴露試験用と同じく新幹線用H型仕様とし、現地試験を行った線区の架線設備に応じて次の3種類を製作した。

- ・170mm²トロリ線用 呼び寸法150mm
- ・110mm²トロリ線用 呼び寸法150mm
- ・110mm²トロリ線用 呼び寸法2000mm

3.2.1 外観調査

図5に現地試験用ハンガイヤー(110mm²)の外観を示す。イヤーは金属光沢を示しており、外観の仕上がりは良好であった。

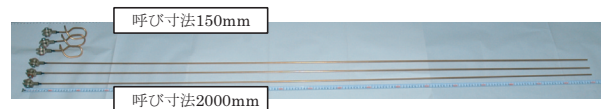


図5 現地試験用ハンガイヤー(110mm²用)の外観

3.2.2 化学成分分析

表5に現地試験用イヤーの定量化学分析結果を示す。Type IIにおいてはAlとNi、それぞれ規格範囲の中間成分量、Type IIIはCAC702の低Al、高Niを示しており目標とした成分であることが確認された。Type VIはCAC703の高Niを確認できたが低Al側がわずかに低くなった。

特集：電力技術

表5 現地試験用イヤーの定量化学分析結果

No.	材料名 トロリ線断面積	主要成分 (質量%)			
		Cu	Al	Ni	その他
Type II	CAC702 中間成分 110 m ²	84.7	9.38	1.25	Fe, Mn
Type II	CAC702 中間成分 170 m ²	84.7	9.48	1.22	Fe, Mn
Type III	CAC702 高Ni, 低Al 110 m ²	85.3	7.49	2.91	Fe, Mn
Type III	CAC702 高Ni, 低Al 170 m ²	84.5	7.52	2.91	Fe, Mn
Type VI	CAC703 高Ni, 低Al 110 m ²	81.4	8.13	5.76	Fe, Mn
Type VI	CAC703 高Ni, 低Al 170 m ²	81.6	8.10	5.76	Fe, Mn

4. 現地試験

現地試験は重塩害環境と塩害温泉環境の2箇所で行った。また各箇所では、それぞれ本線近傍での暴露試験と本線架設試験を行った。暴露試験は Type III と Type VI、および Type II について行った。Type III の本線架設試験は行わなかった。これは、Type III は現用品に比べて硬さ値が低かったためである。

4.1 重塩害環境における現地試験

4.1.1 試験場所

重塩害環境の現地試験は海における橋上線区において行った。本線架設試験に先立ち、まず本線近傍に暴露架台を設置して暴露試験を行い、環境が及ぼす影響を確認した後本線架設試験を行った。図6にハンガイヤーの設置配置図、図7に同じく試験状況を示す。暴露試験後(7ヶ

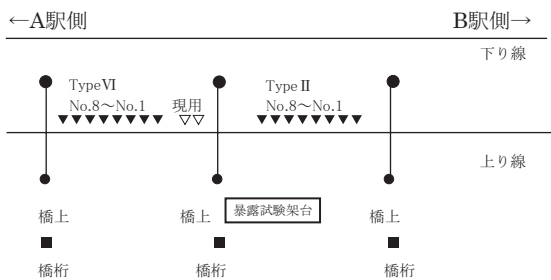


図6 ハンガイヤーの試験配置図

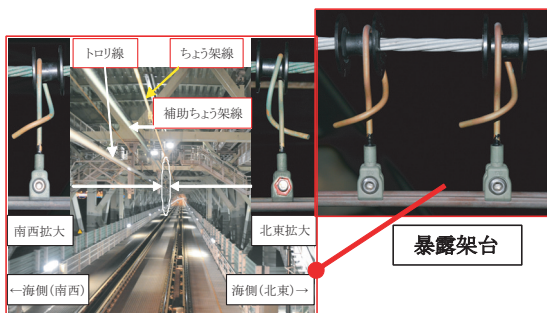


図7 ハンガイヤーの本線試験状況

月)においてハンガイヤーは著しい腐食は認められず良好な状態であった。

4.1.2 耐食性評価

本線架設試験を行ったハンガイヤーを9ヶ月で一部撤去して材料調査を行い、耐食性を評価した。

(1) 外観調査

図8に本線架設試験後撤去したType IIの外観、図9に同じくType VIの外観を示す。イヤーは全体に青緑色の腐食が認められた。Type IIは全体にわり腐食しているのに対しType VIのイヤーは全体が薄い青緑色のまだら状の腐食が認められた。ともにき裂等の大きな異常は認められなかった。

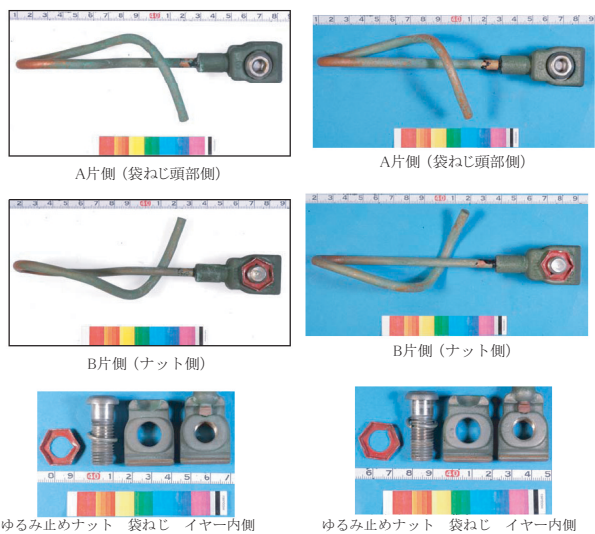


図8 本線架設試験後撤去したType IIの外観
図9 本線架設試験後撤去したType VIの外観

(2) 浸透探傷試験

本線架設試験後撤去したイヤーの溶剤除去性染色浸透探傷試験を行った。Type IIおよびType VIのイヤーにおいてき裂等の異常は認められなかった。またハンガバーにおいても大きな異常は認められなかった。

(3) 電気抵抗測定

低電圧と高電圧を用いた腐食状態測定⁵⁾および散水による劣化状態測定⁶⁾により、イヤー表面の電気抵抗を測定した。表6にハンガイヤー撤去品(重塩害環境)イヤー部表面の電気抵抗測定結果(テスタ×1Ωレンジ)を示す。

表6 ハンガイヤー撤去品(重塩害環境)イヤー部表面の電気抵抗測定結果(テスタ×1Ωレンジ)

試料	散水なし (Ω)				散水有り (Ω)			
	表面		内側		表面		内側	
	A片	B片	A片	B片	A片	B片	A片	B片
Type II	∞	∞	7	6	10	40	0	0
Type VI	腐食 ∞ 光沢 ∞	腐食 ∞ 光沢 ∞	0	0	0	0	0	0

す。テストでの測定において Type VI の表面は Type II に比べて抵抗が小さく、絶縁抵抗計での測定においてはいずれも $0M\Omega$ であった。腐食の被膜が薄いものは散水すると導電性が良くなる。したがって、Type VI は全面に腐食がまだ広がっていないことから緩やかに腐食が推移していることを示しており、腐食の被膜が薄いと考えられる。

(4) 断面調査
図10に本線架設試験後の Type VI と Type II の断面観察結果を示す。Type II は表面全体が厚く腐食していたのに対し Type VI は部分的に腐食が認められた。

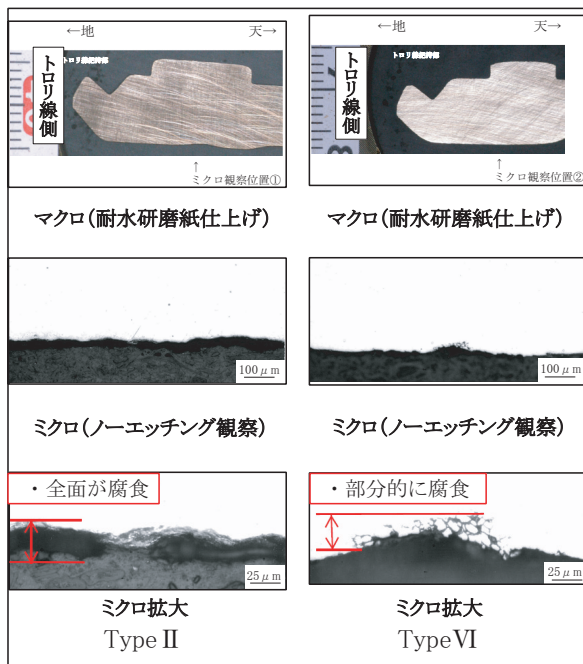


図10 本線架設試験後の Type II と Type VI の断面観察結果

4.2 塩害温泉環境における現地試験

4.2.1 試験場所

塩害温泉環境の現地試験は温泉環境の海岸より 300m 内陸の線区の駅構内において行った。本線架設試験に先立ち、まず本線近傍に暴露架台を設置して暴露試験を行い、環境が及ぼす影響を確認した後本線架設試験を行った。図11にハンガイヤーの設置配置図、図12に試験状況を示す。暴露試験後(6ヶ月)においてイヤーは著しい腐食は認められず良好な状態であった。

4.2.2 耐食性評価

本線架設試験を行ったハンガイヤーを6ヶ月後に撤去して材料調査を行い、耐食性を評価した。

(1) 外観調査

図13に本線架設試験後の Type II の外観、図14に同じく Type VI を示す。Type II は全体に薄い黒色がかった腐食の推移が認められ、部分的に青緑色の腐食が認められた。Type VI のイヤーは Type II と同様に全体に薄い黒色がかった腐食が認められた。なお、ともにき裂等の大き

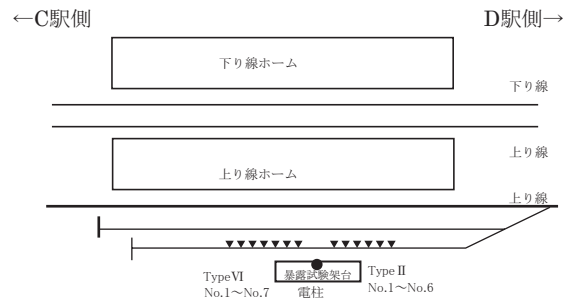


図11 ハンガイヤーの試験配置図

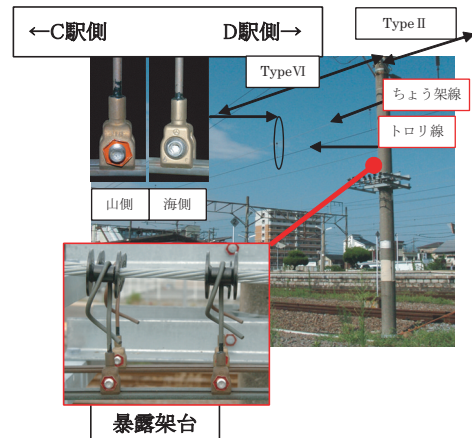


図12 ハンガイヤーの試験状況

な異常は認められなかった。

(2) 浸透探傷試験

本線架設試験後撤去したイヤーの溶剤除去性染色浸透探傷試験を行った。Type II および Type VI のイヤーにおいてき裂等の異常は認められなかった。またハンガバーにおいても大きな異常は認められなかった。

(3) 電気抵抗測定

表7にハンガイヤー撤去品(塩害温泉環境)イヤー部表面の電気抵抗測定結果(テスト×1Ωレンジ)を示す。テストでの測定において Type VI の表面は Type II に比べて抵抗が小さく、絶縁抵抗計での測定においてはいずれも $0M\Omega$ であった。緩やかに腐食が推移しており Type VI は腐食の被膜が薄いと考えられる。

表7 ハンガイヤー撤去品(塩害温泉環境)イヤー部表面の電気抵抗測定結果(テスト×1Ωレンジ)

試料	散水なし(Ω)				散水有り(Ω)			
	表面		内側		表面		内側	
	B片	A片	B片	A片	B片	A片	B片	A片
Type II	16	32	0	0	0	0	0	0
Type VI	12	20	0	0	0	0	0	0

(4) 断面調査

図15に本線架設試験後の Type VI と Type II の断面観察結果を示す。Type II は表面全体が厚く腐食していた。また、Type VI は部分的に腐食が認められた。

特集：電力技術

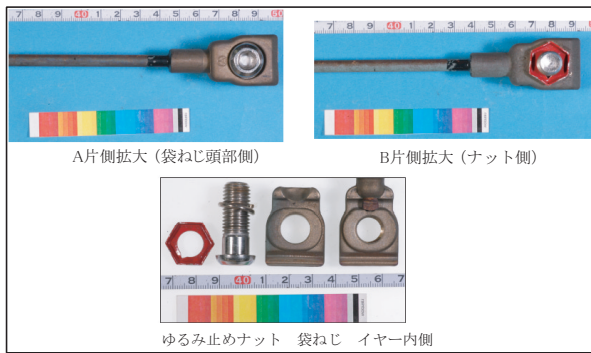


図 13 本線架設試験後の Type II の外観

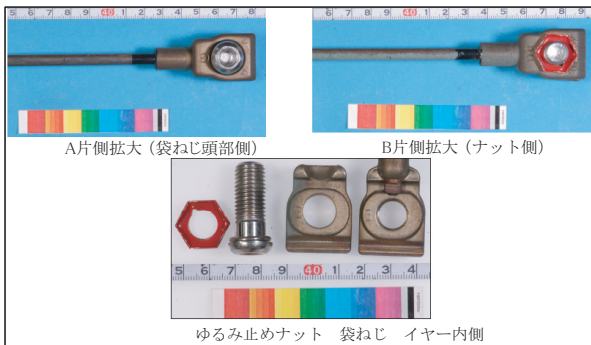


図 14 本線架設試験後の Type VI の外観

5. まとめ

重腐食環境（重塩害環境および塩害温泉環境）用のハンガイヤーを開発するため材質の検討および検討結果に基づくハンガイヤーを試作し評価した。その結果をまとめると以下のようなものである。

- (1) イヤー部材の基礎試験の結果を基に、アルミニウム青銅（Cu-Al-Ni 系合金材料）のうち、Al を低量化して高 Ni 含有としたアルミニウム青銅 2 種類を適用したハンガイヤー試作品を新幹線用 H 型仕様で製作した。
- (2) ハンガイヤー試作品の所内試験の結果、断面観察より、CAC703 ベース（低 Al, 高 Ni）のアルミニウム青銅は内部表面ともに良好な状態であり、硬さ試験において現用品とほぼ同等の硬さ値であった。
- (3) 勝木実験所における暴露試験の結果、各材質のイヤーはいずれも著しい腐食は認められなかった。また現用品の Al と Ni, それぞれ規格範囲の中間分量のものは市販されている現用品に比べて耐食性の向上が認められた。
- (4) 重塩害環境における暴露試験および本線試験ではイヤー全体が青緑色の腐食の推移が認められた。塩害温泉環境における暴露試験および本線試験ではイヤー全体が、黒色がかかった腐食の推移が認められた。

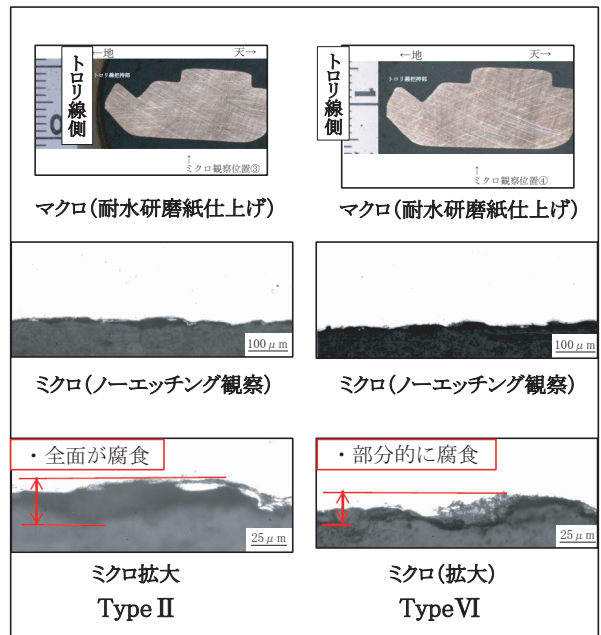


図 15 本線架設試験撤去後の断面観察結果

重塩害環境および塩害温泉環境ともにCAC703ベース（低Al, 高Ni）のアルミニウム青銅は現用品の中間分量に比べて腐食が少なく良好な耐食性を示した。

- (5) 以上のことから、CAC703 ベース（低 Al, 高 Ni）のアルミニウム青銅で製造したイヤーは良好な耐食性を示し、実用化が期待できると考える。

6. おわりに

現地試験にご協力いただいた西日本旅客鉄道株式会社ならびに九州旅客鉄道株式会社の皆様に感謝いたします。

文 献

- 1) 片山信一, 白木理倫: イヤー用新材料の塩害耐食性評価, 鉄道総研報告, pp23-28, 2007
- 2) 椋山正孝: 非鉄金属材料, コロナ社, pp.89-90, 1979
- 3) (社) 日本鉄道電気技術協会: 架線金具脱アルミニウム腐食調査検討委員会報告書, 2002
- 4) 藤井保和, 片山信一, 石井順, 竹内一男, 山本大弘: アルミニウム青銅鋳物製曲引金具の脱アルミニウム腐食の検討, 電気学会産業応用部門大会, 2002
- 5) 特許第4450384号: 腐食状態測定装置及びトロリ線の腐食状態測定装置
- 6) 特開2008-232637: 劣化状態測定装置及び劣化状態測定方法