

コンゴ民主共和国
キンシャサ・バナナ交通公団

コンゴ民主共和国
マタディ橋維持管理能力向上プロジェクト
ケーブル開放調査

報告書

平成 24 年 8 月
(2012年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
大日本コンサルタント株式会社

基盤
JR
12-176

コンゴ民主共和国
キンシャサ・バナナ交通公団

コンゴ民主共和国
マタディ橋維持管理能力向上プロジェクト
ケーブル開放調査

報 告 書

平成 24 年 8 月
(2012年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
大日本コンサルタント株式会社

目 次

調査位置図	III
マタディ橋一般図	IV
写真集	V
図表リスト	VIII
略語集	X
第 1 章 調査の概要	1-1
1.1 調査の背景・目的	1-1
1.2 調査の概要	1-2
1.2.1 既存調査の概要	1-2
1.2.2 主ケーブル開放調査の基本方針	1-2
1.2.3 調査のスケジュール	1-3
第 2 章 調査の準備	2-1
2.1 国内での準備	2-1
2.2 資機材の輸送	2-2
第 3 章 現地調査	3-1
3.1 主ケーブル開放調査の方法と手順	3-1
3.1.1 主ケーブルの構造と調査手順	3-1
3.1.2 主ケーブル外観調査	3-3
3.1.3 開放調査区間の主ケーブル塗膜外観調査	3-4
3.1.4 ラッピングワイヤーの撤去	3-4
3.1.5 開放直後のケーブル素線調査	3-6
3.1.6 ペースト除去後のケーブル素線調査	3-8
3.1.7 仮復旧	3-10
3.1.8 再ラッピング（復旧）	3-10
3.2 主ケーブル開放調査	3-15
3.3 主ケーブル開放調査結果	3-31
3.4 現地セミナー	3-38
3.5 その他	3-40
3.5.1 アンカレイジ内及び大気中の温度と湿度	3-40
3.5.2 使用した道具、工具類の引き渡し	3-42
3.5.3 マタディ橋の電気設備	3-43

第 4 章 主ケーブル維持管理手法の提案.....	4-1
4.1 送気乾燥システムの必要性	4-1
4.1.1 吊橋主ケーブル防食方法の変革	4-1
4.1.2 送気乾燥システムの必要性	4-2
4.2 送気乾燥システム等の導入に伴う作業内容.....	4-3
第 5 章 OEBK の組織、体制等について	5-1
第 6 章 提言	6-1
6.1 調査結果と提言	6-1
6.2 今後のスケジュール	6-1

【資料】

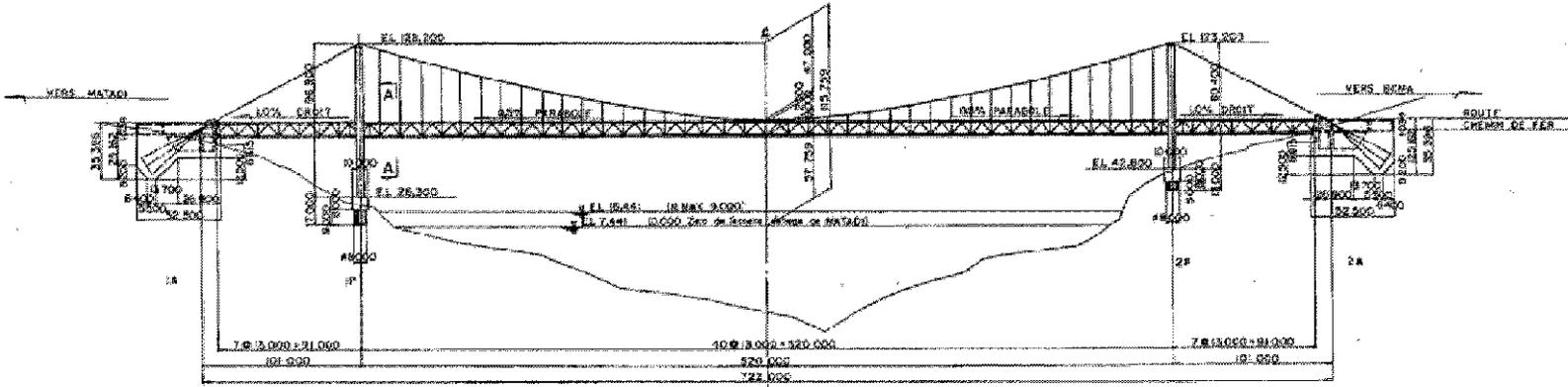
1. 討議議事録.....	A-1
2. 調査団スケジュール	A-4
3. 資機材リスト	A-5
4. 主ケーブル開放調査結果データ	A-9
5. セミナー関係資料.....	A-17
5.1 セミナー招待レター.....	A-17
5.2 セミナー出席者.....	A-18

 **コンゴ民主共和国 Democratic Republic of the Congo**

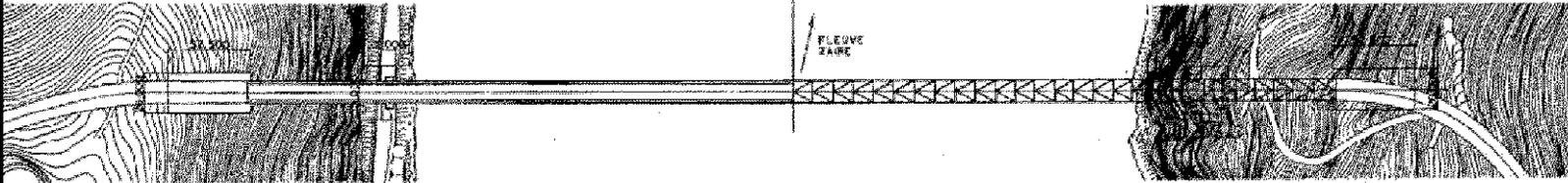


DESSIN GENERAL E=1/1500

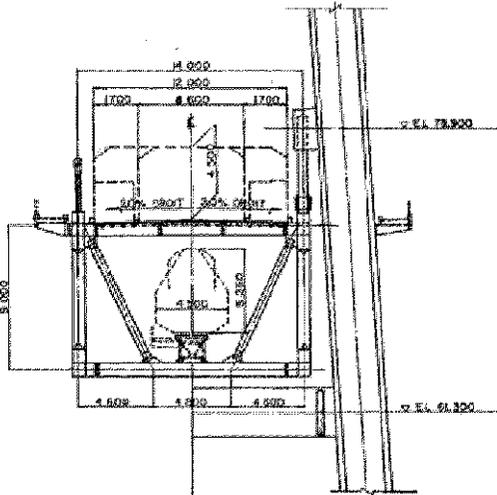
ELEVATION



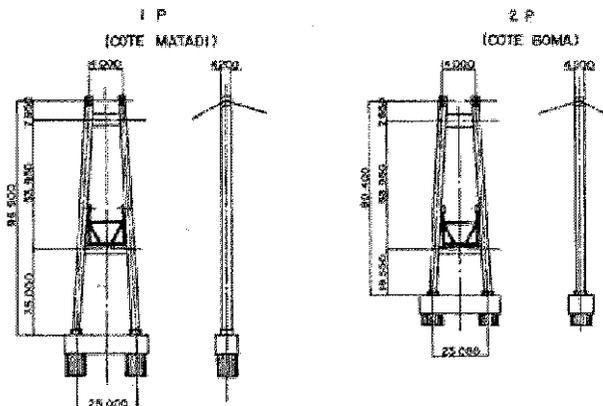
PLAN



SECTION A-A E=1/150



PYLONE E=1/1000



マタディ橋一般図

REV.	SUBSTITUTION	APPR.	DATE
APPR. GÉNÉRAL DU CADRE DÉPARTEMENT DES TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS ORGANISATION POUR L'ÉQUIPEMENT DE BAKANGA-KOMBOU DIRECTION CHARRON DE FER ET PONT CONSTRUCTION DU PONT SUR LE FLEUVE ZAIRE A MATADI			
DESSIN GENERAL			
DESSINÉ PAR	VERIFIÉ PAR	APPROUVÉ PAR	DATE
CORPORATION JAPANAISE REPRESENTÉE PAR NIPPONKAWA-KAISHA HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.			ÉCHELLE 1/500, 1/1000, 1/1500
			NO. 0001

写真集



写真-1 マタディ橋全景（ボマ側から）



写真-2 マタディ橋正面（ボマ側から）



写真-3 主ケーブル全長点検



写真-4 主ケーブル開放調査全景



写真-5 ラッピングワイヤの撤去



写真 6 上流側主ケーブル、上流側側面の状況、赤さびが発生している。



写真 7 下流側主ケーブル、上流側側面外観、上流側主ケーブルより錆が少ない。



写真 8 OEBK 所有の大型ハンマーによるくさび打ち込み作業



写真-9 主ケーブルの8方向ケーブル内部調査状況



写真 10 上流側側面の内部。赤錆びもかなり発生しており、内部も奥まで同様の状況である。

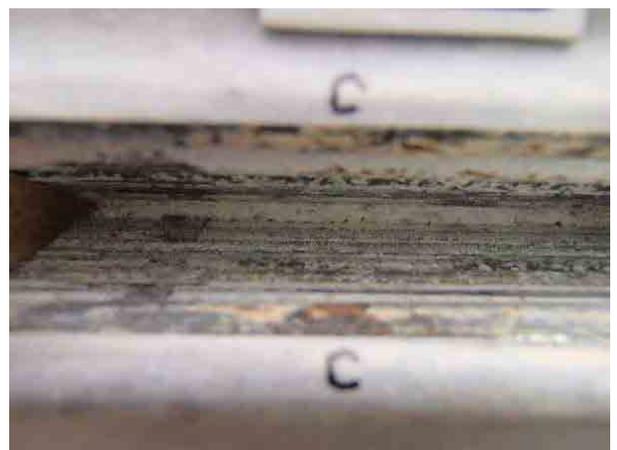


写真 11 下流側主ケーブル、上流側側面、赤さびが発生している。



写真 12 セミナー参加者への現場での説明



写真-13 ペースト除去作業



写真-14 主ケーブル表面を有機ジンクリッチ塗料で塗装



写真 15 調査団によるセミナー講演



写真 16 JICA と Kidima 総裁との
ミニッツサイン後の握手

図表リスト

■ 表リスト

表 2-1	主要資機材	2-1
表 2-2	資機材の輸送方法比較	2-2
表 3-1	主ケーブル全体の外観調査	3-3
表 3-2	ケーブル塗膜外観調査	3-4
表 3-3	調査結果（評価点）	3-6
表 3-4	表面水分量調査結果	3-6
表 3-5	pH 調査結果	3-6
表 3-6	ラッピングワイヤー亜鉛メッキ残留量測定結果	3-7
表 3-7	調査結果（評価点）	3-8
表 3-8	ケーブル素線亜鉛メッキ残留量測定結果	3-9
表 3-9	劣化ペースト評価判定写真	3-12
表 3-10	ケーブル素線劣化評価判定写真	3-13
表 3-11	内層ケーブル素線劣化評価判定写真	3-14
表 3-12	第2次現地調査(ケーブル開放調査)のスケジュール	3-16
表 4-1	作業内容	4-3
表 5-1	OEBK の主要職員(青色が技術スタッフ)	5-1

■ 図リスト

図 1-1	主ケーブル開放調査位置図	1-3
図 1-2	木製のくさびの打ち込み状況	1-3
図 3-1	マタディ橋主ケーブルの防食構造	3-1
図 3-2	主ケーブル開放調査手順	3-2
図 3-3	ケーブルバンド	3-3
図 3-4	ケーブル塗膜外観測定箇所	3-4
図 3-5	ラッピングワイヤーの溶接	3-4
図 3-6	マーキング要領	3-5
図 3-7	ラッピングワイヤーの撤去	3-5
図 3-8	ペースト表面調査位置	3-6
図 3-9	ケーブルペースト表面水分量、pH 調査位置	3-7
図 3-10	ラッピングワイヤーのメッキ厚測定位置	3-7
図 3-11	外層ケーブル表面素線の調査範囲	3-8
図 3-12	亜鉛メッキ残留量調査	3-9
図 3-13	内層ケーブル素線観察	3-10
図 3-14	再ラッピング（復旧）の概要	3-11
図 3-15	再ラッピング要領	3-11
図 3-16	主ケーブル各点の名づけ	3-20
図 3-17	手巻きによる主ケーブル・ラッピング作業	3-28
図 3-18	主ケーブル外観調査結果、上流側ケーブル	3-33

図 3-19	主ケーブル外観調査結果、下流側ケーブル	3-34
図 3-20	内層ケーブル素線外観調査結果、上流側ケーブル	3-35
図 3-21	内層ケーブル素線外観調査結果、下流側ケーブル	3-36
図 3-22	内層ケーブル素線外観調査結果（模式図）	3-37
図 3-23	1A アンカレイジ内の温度、相対湿度	3-40
図 3-24	2A アンカレイジ内の温度、相対湿度	3-40
図 3-25	中央径間中央下流側主ケーブル付近の大気中の温度と湿度	3-41
図 3-26	アンカレイジ内部の気温、湿度、中央径間中央付近での大気中の気温、湿度	3-42
図 3-27	マタディ橋関連の現在の配線図	3-46
図 4-1	マタディ橋の送気乾燥システム概念図	4-4

略語集

- OEBK: Organisation pour L'Equipement de Banana et Kinhasa

第 1 章 調査の概要

1.1 調査の背景・目的

コンゴ民主共和国（以下、「コ」国）は、長年の内戦の影響による政府機能の不全、経済活動の停滞や人口の一極集中化、失業者の増大や、道路、水道、通信等の未整備による社会の不安定化が深刻な問題となっている。このような状況に対し、「コ」国は重点 5 分野（インフラ整備、保健・教育、水・電気、住居の確保、雇用）の中で、インフラ整備を最優先課題として挙げている。

マタディ橋は、我が国の有償資金協力「バナナ-マタディ間輸送力増強事業」（1974年～1983年）によって建設された橋梁である。マタディ市は、同国最大の港湾であるマタディ港を有し、外港であるボマ・バナナと、首都をつなぐ幹線に位置する陸運の要衝である。マタディ橋はコンゴ川対岸を結ぶ唯一の架け橋として物流の活性化に寄与し、経済・社会面において重要な役割を果たしてきた。

一方、建設後 29 年経った現在、橋梁維持管理の抜本的な点検、補修計画策定が必要となってきた。マタディ橋の維持管理は、キンシャサ・バナナ交通公団(OEBK)により実施されており、マタディ橋建設時に移転された技術・マニュアルを用い、維持管理を行ってきた。しかしながら、「コ」国では吊橋が他に存在しないため、国全体として十分な技術が蓄えられておらず、また建設当時に技術を得た技術者の多くは、すでに引退等をしており、若年層の育成が急務である。このような状況に対し、我が国は 2010 年 6 月に「橋梁維持管理情報収集・確認調査」、2011 年 6 月に「マタディ橋維持管理計画策定調査」を行い、OEBK のマタディ橋に係る維持管理の現状を把握し、我が国の援助の可能性について「コ」国政府と協議を行ってきた。これらの調査を受け、上記の OEBK のマタディ橋に係る維持管理能力が強化されることを目的に JICA は「マタディ橋維持管理能力向上プロジェクト」(2012年3月～2015年3月)(以下、本プロジェクト)を実施することとした。

本業務は、主ケーブルの健全度に係るデータを収集・整理し、本プロジェクトにおける当該橋梁の維持管理方法（具体的には中期的な橋梁維持管理計画の策定と維持管理マニュアルの更新等）の検討の内、主ケーブルの維持管理方法の検討を行うためにケーブル開放調査を実施するものである。

1.2 調査の概要

1.2.1 既存調査の概要

マタディ橋は1983年に完成し、その約10年後の1996年頃に橋梁点検、ケーブルバンドボルトの再締め付けなどのために、JICAより橋梁点検員が派遣されたが内戦が発生したために目的を達成できずに帰国している。2009年8月20～25日にかけて、橋梁建設を担当したIHIが橋梁の状態をチェックするために自費で調査団を派遣し、橋梁全体及びケーブルの状況を調査している。その結果を受けて、2010年5月28日～6月5日にかけて、本四高速(株)から2名がJICA短期専門家として派遣され、マタディ橋全体の状況とケーブルの現状とを調査している。

以上の結果を受けて、マタディ橋全体の調査、ケーブル開放調査の立案を目的として2011年6月17日～7月13日に今回の業務立案のための準備調査が行われた。調査の結果、マタディ橋は建設時点からOEBKに勤務するマディアッタ氏、カロンボ氏を中心として、誠実な維持管理を行っており、橋梁全体の塗り替え工事も実施していることが判明した。また交通量が比較的に少ないこと、鉄道荷重がまだ載っていないこともあり、橋梁の状態は健全であることが確認された。一方で、ケーブルバンド付近から漏水があったり、ケーブルバンドボルトのキャップ内に水が溜まっていたりしていた。また、瀬戸大橋などの本州四国連絡橋（以下、本四連絡橋）の吊橋ケーブルの状態から考えると、主ケーブルはある程度錆びていることが予想された。それを裏付けるのがケーブルバンド付近からの漏水とその漏水が錆び色をしていることであった。また2010年の調査で、ケーブルバンド内に設置した湿度センサーの計測値が60～70%であることからケーブルが錆びやすい状態であることを示唆している。

1.2.2 主ケーブル開放調査の基本方針

主ケーブル開放調査は、本四連絡橋で実施してきた最も簡易な方法である中央径間中央付近、上流側、下流側の各主ケーブルの約2m区間で行う。まず開放区間2mの作業が可能な足場を構築し、作業の安全性を確保する。ラッピングワイヤー撤去前にワイヤ同士をスポット溶接し、ワイヤを切断しても、ラッピングワイヤーが跳ね返って作業員に当たらないようにする。ラッピングワイヤーの撤去後、木製のくさびを主ケーブル表面から8方向に打ち込んで主ケーブル表層から内部を調査、記録する。調査完了後、エポキシ樹脂系ジンクリッチペイントを塗布してラッピングワイヤーによる被覆を行い、さらに表面に特殊エポキシ樹脂アルミニウムペイントを塗装する。図 1-1 に主ケーブル開放調査位置および足場の模式図を示す。また、図 1-2 に主ケーブルに木製のくさびを打ち込む状況を示す。

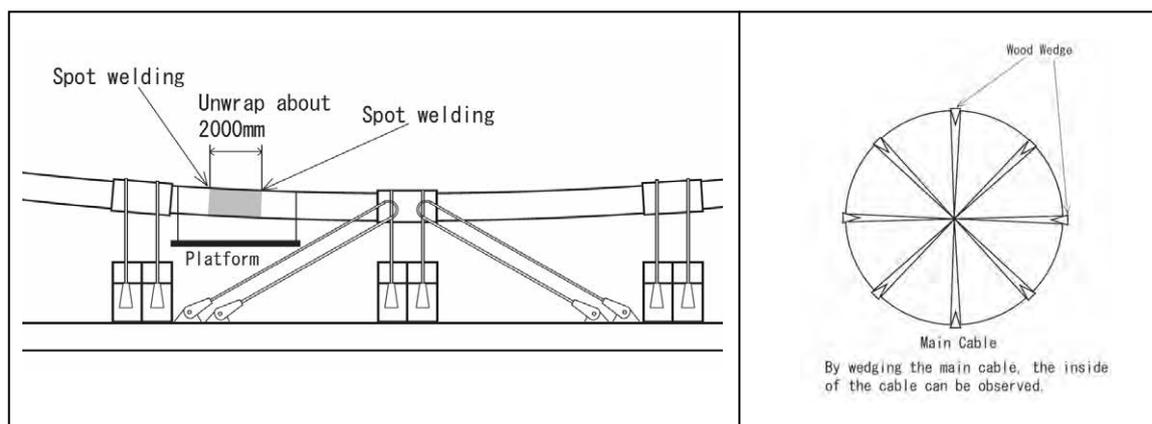


図 1-1 主ケーブル開放調査位置図

ラッピングワイヤーを除去した後
8方向から木製の楔を打ち込む。

図 1-2 木製のくさびの打ち込み状況

なお、調査後、被覆に用いるラッピングワイヤーは垂鉛めつき軟鋼線を使用する。建設時に機械締めされる垂鉛めつき鋼線は剛性が大きく人力で締め付けることは不可能なため、人力で締め付け可能な軟鋼線を使用する。本四連絡橋においても初期の調査段階では同様な手法を用いた。

1.2.3 調査のスケジュール

調査の基本方針、調査スケジュール、資機材の輸送計画などを OEBK に説明するための第1次現地調査を4月14日～28日に実施した。この調査において、OEBK と以下の事項について協議、確認を行った。

- 6月に実施する主ケーブル開放調査スケジュールの確定
- 主ケーブル開放調査のための足場構築は OEBK が実施する
- 主ケーブル開放調査のために日本から空輸する資機材の引取りは、OEBK が責任を持って行う
- 6月20日にマタディ市内のホテルで現地セミナーを開催

主ケーブル開放調査を実施する第2次現地調査を6月6日～28日に行った。6月9日にキンシャサからマタディへ移動、10日に日本から送られた資機材及び OEBK によって構築された足場の確認を行った。主ケーブル開放調査は、20日に開催したセミナーを挟み11日から23日までの間に実施した。

第 2 章 調査の準備

2.1 国内での準備

主ケーブル開放調査作業の主要なステップは、以下のとおりである。

- (1) 上下流主ケーブル開放調査のための足場の構築
- (2) 2m 区間の既設のラッピングワイヤーを切断・撤去
- (3) 主ケーブルにくさびを打ち込み、ケーブル表層、内部の調査、記録
- (4) 亜鉛めっき軟鋼線で調査区間をラッピング、併せてエポキシ樹脂系ジンクリッチペイントおよび特殊エポキシ樹脂アルミニウムペイントで塗装
- (5) 足場の撤去

足場の構築及び撤去は OEBK が対応した。日本から準備すべき資機材は、ステップ(2)、(3)、(4)が必要とされる。表 2-1 に日本から送る主要資機材の名称、仕様、及び数量を示す。

ラッピングワイヤー長は、余長を見て各主ケーブルに 800m とした。ラッピングワイヤー切断のためにワイヤカッターを使用する。溶接機は、バッテリー溶接機を選定した。日本国内ではこのようなワイヤの接続にはティカウエルド（火薬式の溶接）を使用しているが、火薬を輸送することができなかつたためにバッテリー溶接機を使用することとした。ラッピングワイヤーを締め付け後、ワイヤ間の隙間にコーキングガンを用いてコーキング材で埋める計画とした。ラッピングを行う前の主ケーブル表面に防錆のために塗布するエポキシ樹脂系ジンクリッチペイントを準備した。さらに、ラッピング後、ラッピングワイヤー表面を紫外線から防護する目的の特殊エポキシ樹脂アルミニウムペイントを 2 層分準備した。他に、錆落とし、ペーストなど付着物の清掃、ラッピングワイヤー締め付けなどに必要な細かい道具も日本で調達する計画とした。

表 2-1 主要資機材

No.	機材名	仕様	数量
1	ラッピングワイヤー	亜鉛めっき軟鋼線(φ 4mm、4 x400m、各 40kg)	4
2	締め付け道具	電設用シメール (型番 D3)	1
3	締め付け道具	クランパー (電設型)	1
4	バッテリー溶接機	1KVA (100v 10A)	1
5	溶接棒	軟鋼用 φ 2mm 500 g	1
6	溶接用キャブタイヤ	22sq 10m フォルダ、アース用	2
7	充電式グラインダー	14.4v 10000 回転/分	1
8	変圧器	220-100V 1500w	1
9	塗料	特殊エポキシ樹脂アルミニウムペイント	20kg
10	塗料	エポキシ樹脂系有機ジンクリッチペイント	20kg
11	塗料	エポキシシーラー	16kg
12	コーキングガン	標準型ハンドタイプ φ 50 330ℓ用	1
13	コーキング材	変性シリコンコーキング 330ℓ	2
14	ワイヤカッター		1

No.	機材名	仕様	数量
15	くさび	鋼製	2
16	くさび	木製	15
17	電磁式膜厚計	デジタル式 エルコメーター 0~1000 μm	1
18	温湿度計	デジタル式 SK-L200	1
19	計量天秤	デジタル電子天秤	1
20	溶接遮光メガネ		1

2.2 資機材の輸送

調査に必要な各種の資機材を現地で準備することは難しいため、表 2-1 に示す主要資機材に加え、作業に必要な工具などの資機材も日本で調達、輸送する計画とした。現地への輸送方法には、調査団の渡航時に手荷物として運ぶ方法、船便による方法、DHL などのクーリエによる方法、エアーカーゴ便による方法などがある。ラッピングワイヤー（約 160kg）と塗料は、それぞれ重量物および危険物の輸送となるため、船便あるいは航空便を含めた輸送の可能性と現実性の検討を行い、表 2-2 に輸送方法の比較を示した。調査時期および調査期間が限定されているために輸送の現実性を最優先して空輸することとした。当初、ペイント（危険物）はエアーカーゴにより、ラッピングワイヤー・溶接機などの工具類（重量物）は DHL で送付することを想定したが、DHL は独自に通関手続きを行うため、本来コンゴ側が負担すべき費用の支弁で齟齬が発生する可能性があるかと予想されたので、コンゴ・キンシャサ空港止めのエアーカーゴを使用することとした。

表 2-2 資機材の輸送方法比較

No.	輸送方法	ペイント (危険物)	ラッピングワイヤー (ネット重量; 160kg)	条 件	評 価	
					ペイント	重量物
1	調査団渡航時の手荷物	不可	手荷物寸法（総延長 158cm、重量 23kg、）	個数が多くなる場合には航空会社本社の確認を要する	不可	現実的ではない
2	船便 (SAGA Japan)	日本～アントワープ（33 日間）；定期便による輸送可能 アントワープ～マタディ(40 日間程度)；不定期便、2012 年 3 月時点、 予定を組むことは不可能			不可	
3	クーリエ (DHL)	不可	総重量 300kg、 50kg/個	現地で通関を代行する	不可	可
4	エアーカーゴ(三井倉庫エアーカーゴ)	可	可	空港着までの輸送 現地で通関代行なし	可	可

第 1 次現地調査時に、主ケーブル開放調査に必要とする資機材（添付資料-2）の引取りについて、OEBK と現地輸入通関代理店 AMICONGO (Agent Maritime CONGO、マタディ支店) と打合せを行い、現地引取りの手続きは AMICONGO が実施すること、引取りに要する一切の経費は OEBK が負担することを確認した。また、JICA「コ」国事務所へ通関、資機材引取りについて支援をお願いした。

資機材は 5 月 9 日関西空港から発送、ルクセンブルグ経由、5 月 17 日にキンシャサへ到達した。荷物の通関、引取りには、OEBK の書類作成の不手際、AMICONGO の動きの悪さなどがあったようだが JICA 事務所の支援により無事に引取りができ、調査に間に合わすことができた。

第 3 章 現地調査

3.1 主ケーブル開放調査の方法と手順

主ケーブル開放調査を以下に示す調査内容、調査結果の記録、調査結果の評価、及び復旧などの方法と手順によって実施した。

3.1.1 主ケーブルの構造と調査手順

(1) 主ケーブルの防食構造

現在のマタディ橋主ケーブルの防食構造は、ケーブル素線の表面にペーストが塗布され、その上にラッピングワイヤーを巻きつけ、さらに塗装して防食されたものである。この方法は、米国、英国、及び 1990 年頃までに建設された本四連絡橋などで使用された最も一般的な主ケーブル防食方法である。

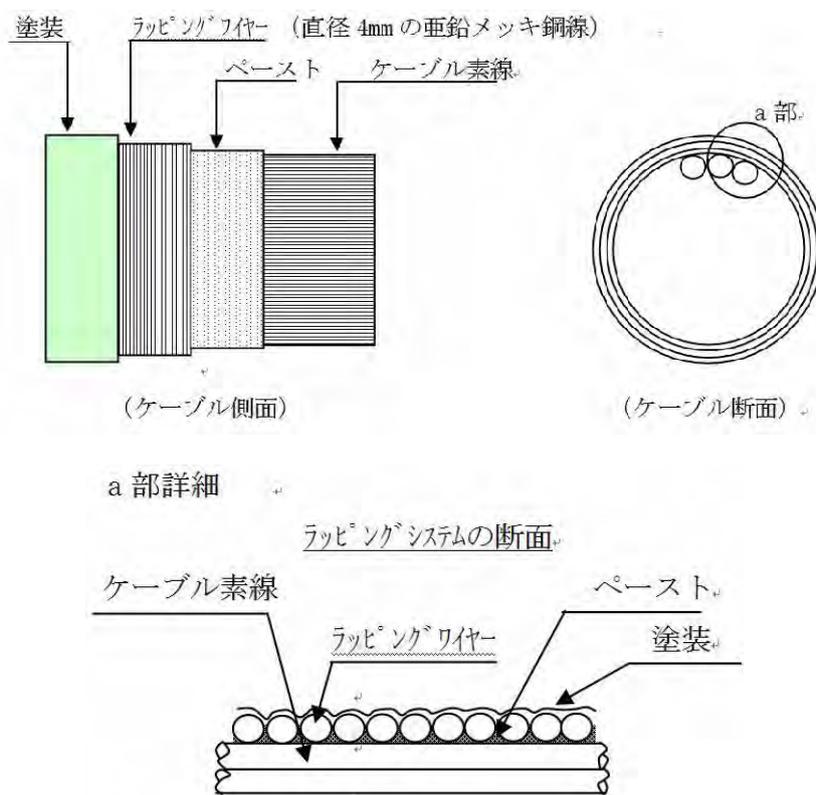


図 3-1 マタディ橋主ケーブルの防食構造

(2) 主ケーブル開放調査の手順

ケーブル開放調査の作業手順を図 3-2 に示す。

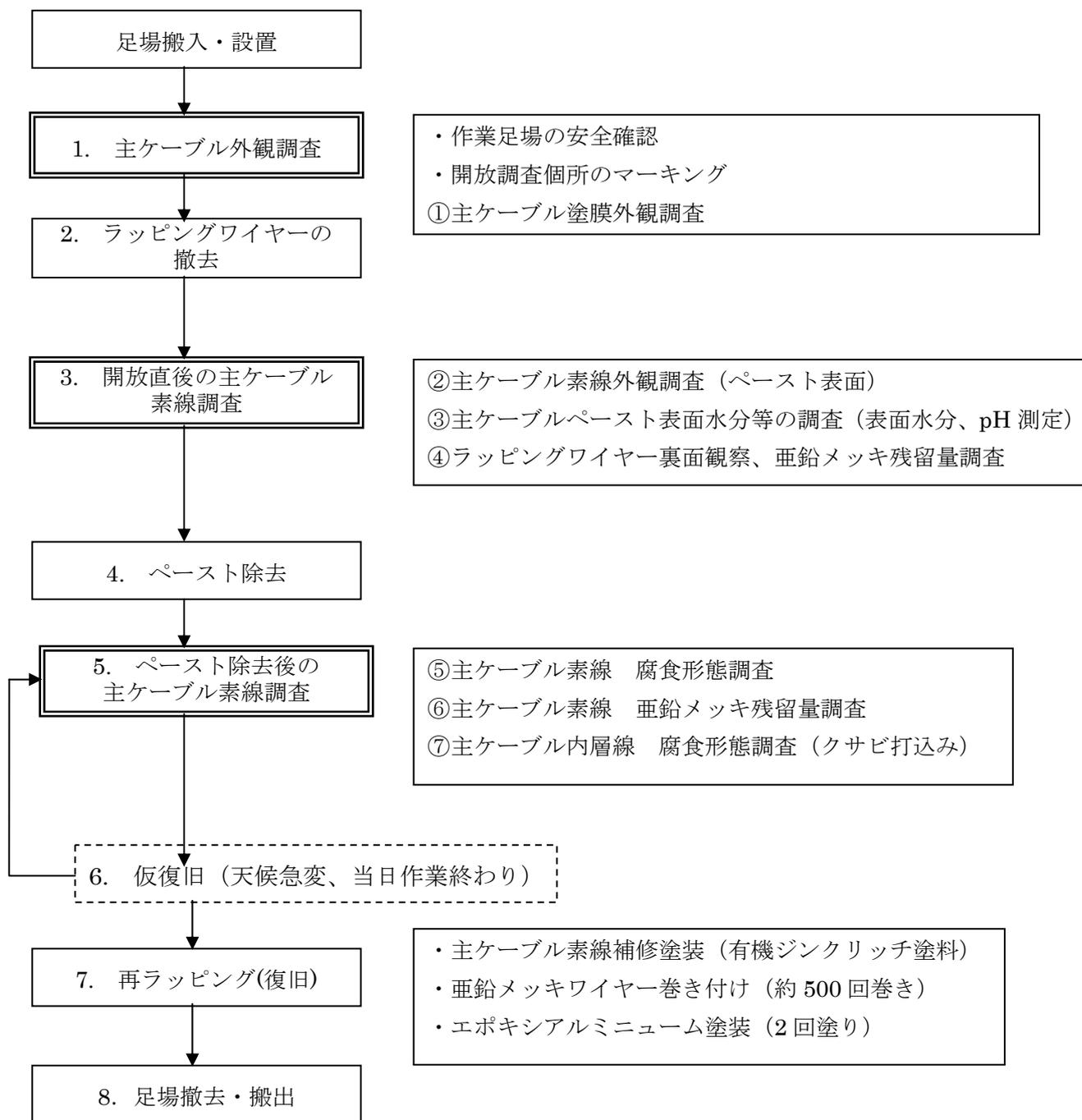


図 3-2 主ケーブル開放調査手順

3.1.2 主ケーブル外観調査

(1) 主ケーブル全体の外観調査

上流側、下流側の主ケーブル全体、全長にわたって目視観察し、ケーブル塗膜及び表面の健全度を調査する。調査の方法は、ケーブル上面を歩いて目視するとともに、ケーブル下面については橋面上から双眼鏡を使って、「割れ」、「剥がれ」、「錆び」などの塗膜変状とラッピングワイヤーの状態について観察する。このときに、はがれ、錆び、ラッピングワイヤーからの錆び、ラッピングワイヤーからの水漏れ、ラッピングワイヤーの破断などを表 3-1 の記録用紙に記録するとともに変状箇所を写真撮影する。

表 3-1 主ケーブル全体の外観調査

調査位置	割れ	剥がれ	錆び	水漏れ	ラッピングワイヤーの破断
上流側 格点 〇〇～格点〇〇					
下流側 格点 〇〇～格点〇〇					

(2) ケーブルバンドの滞水状況

路面高さに近い、中央径間の中央部付近のケーブルバンド部で滞水・腐食・コーキング材の損傷状況を調査する。

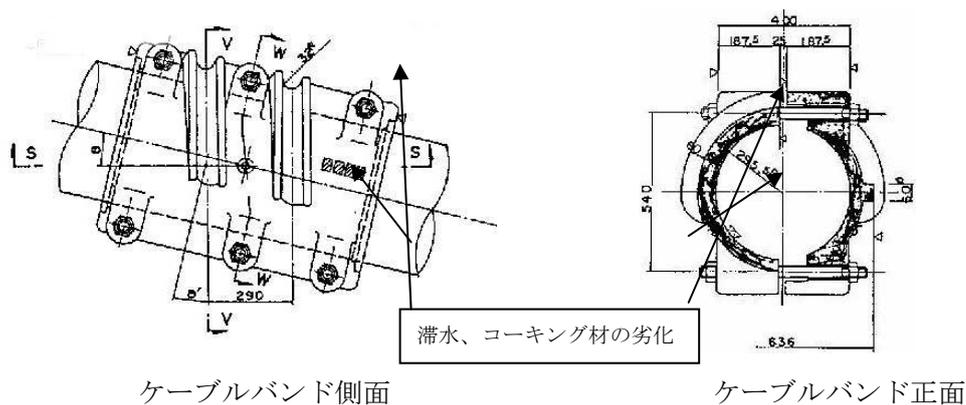


図 3-3 ケーブルバンド

3.1.3 開放調査区間の主ケーブル塗膜外観調査

主ケーブル開放調査区間の塗膜の外観を下図 3-4 に示す 4 断面について、表 3-2 に示す項目について調査する。

表 3-2 ケーブル塗膜外観調査

調査位置	ラッピングワイヤー		塗装				
	緩み	隙間	割れ	ふくれ	剥がれ	錆び	水の侵入
A							
C							
E							
G							



図 3-4 ケーブル塗膜外観測定箇所

3.1.4 ラッピングワイヤーの撤去

(1) 仮付け溶接

主ケーブル開放調査に先立ち、調査区間約 200 c m幅の外側のラッピングワイヤー間に溶接を行い、ラッピングワイヤーを撤去する際に、調査を行わない区間のラッピングワイヤーが連続してバラけるのを防止する。

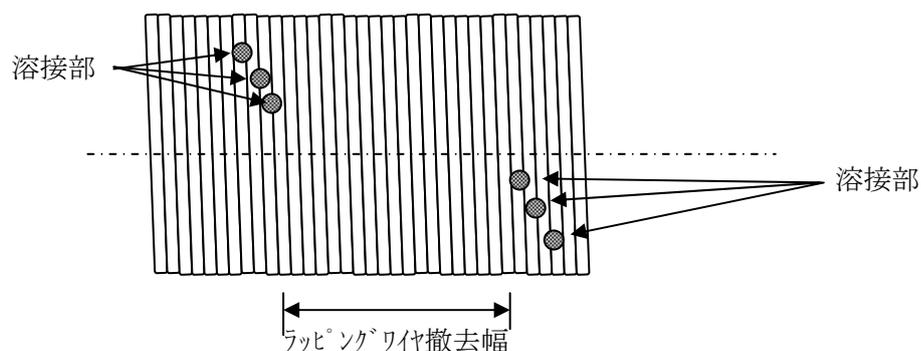


図 3-5 ラッピングワイヤーの溶接

(2) マーキング

撤去したラッピングワイヤーの方位が確認できるように、ラッピングワイヤー切断前にラッピングワイヤー外面側にマーキングする。マーキング要領は、A：赤線2本、C：赤線1本、E：黒線2本、G：黒線1本とする。

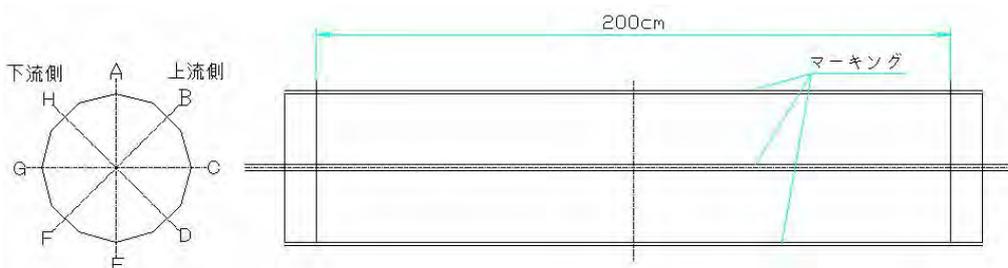


図 3-6 マーキング要領

(3) ラッピングワイヤーの撤去

溶接が完了したのち、ケーブル素線を傷つけないようにタガネによりラッピングワイヤーを切断し、ラッピングワイヤーの取り外し行う。その際、ケーブル一周毎に天端でラッピングワイヤーをワイヤカッターで切断する。取外したラッピングワイヤーについては、位置が確認できるように切断順にナンバーを施す。

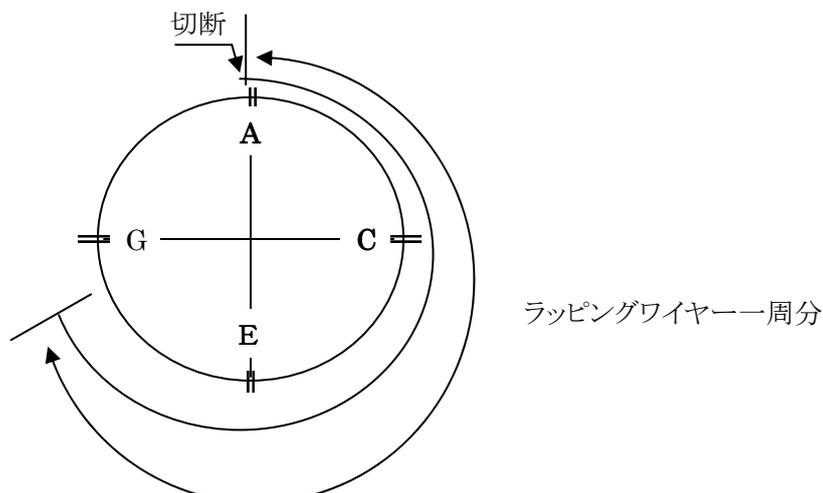


図 3-7 ラッピングワイヤーの撤去

3.1.5 開放直後のケーブル素線調査

(1) ケーブル素線外観（ペースト表面）調査

ラッピングワイヤーを撤去した直後に、全周を8分割した位置でケーブル素線のペーストの状態について外観観察を行う。ペーストの表面状態を観察し、判定写真と比較評価点を記入するとともに写真撮影する。評価基準は、表 3-9「劣化ペースト評価判定写真（瀬戸大橋ケーブル精密点検：本四公団平成4年9月）」によるものとする。

表 3-3 調査結果（評価点）

調査位置	評価点							
	A	B	C	D	E	F	G	H
ケーブル上流側								
ケーブル下流側								

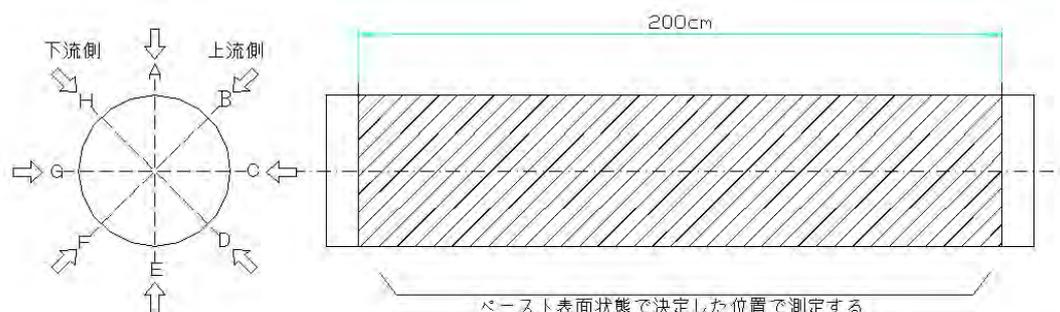


図 3-8 ペースト表面調査位置

(2) ケーブルペースト表面水分等の調査（表面水分、pH測定）

ラッピングワイヤーを撤去した後に、ペースト表面の水分量を「表面水分計」で測定する。また、ペーストの pH 値を測定しペースト劣化度判定の参考にする。

表 3-4 表面水分量調査結果

調査位置	表面水分量(%)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
ケーブル上流側								
ケーブル下流側								

表 3-5 pH 調査結果

調査位置	pH (上面部)	備考
ケーブル上流側		
ケーブル下流側		

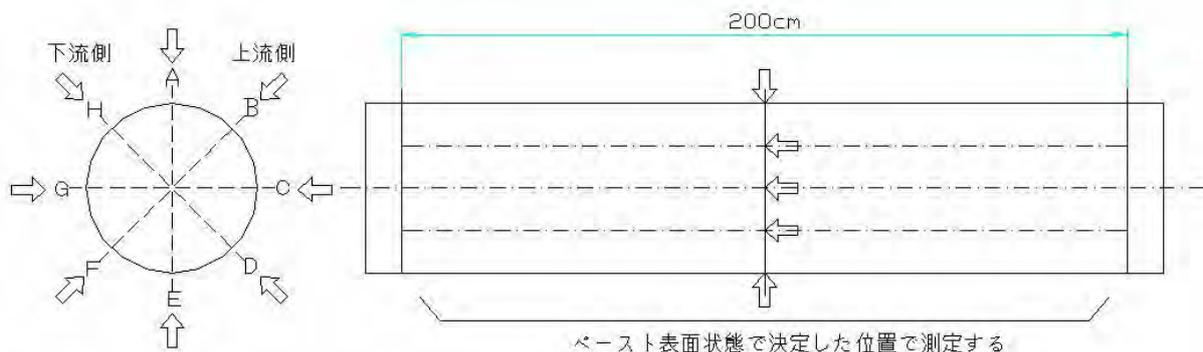


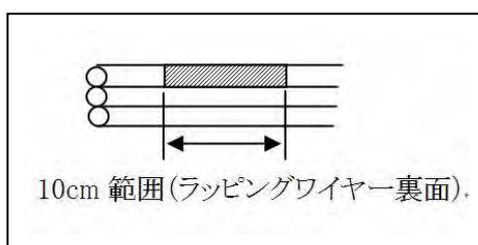
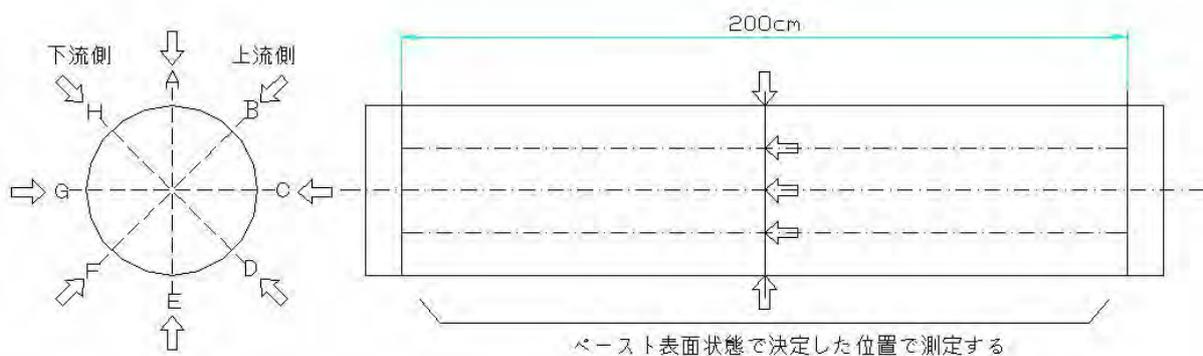
図 3-9 ケーブルペースト表面水分量、pH 調査位置

(3) ラッピングワイヤー裏面の亜鉛メッキ残留量調査

ラッピングワイヤーの裏面腐食状況を観察記録し、ラッピングワイヤー裏面のペースト除去後、A～Hの8方位について亜鉛メッキ残留量調査を行い記録する。

表 3-6 ラッピングワイヤー亜鉛メッキ残留量測定結果

調査位置	亜鉛メッキ残留量(μm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
ケーブル上流側								
ケーブル下流側								



測定箇所は8方位の各々について
1本の素線で長さ 10cm 程度を 10
点測定し平均する。

図 3-10 ラッピングワイヤーのメッキ厚測定位置

3.1.6 ペースト除去後のケーブル素線調査

(1) 外層ケーブル素線の腐食形態調査

外層ケーブル素線表面の腐食形態についてA～Hの8方位の位置で10素線程度ペーストを取り除いた後に観察する。調査位置にはマーキングし、写真撮影による記録を行なう。外層ケーブル素線表面の劣化状況の判定基準は表 3-10「劣化評価判定写真(瀬戸大橋ケーブル精密点検：本四公団平成4年9月)」による。

表 3-7 調査結果 (評価点)

調査位置	腐食形態調査							
	A	B	C	D	E	F	G	H
ケーブル上流側								
ケーブル下流側								

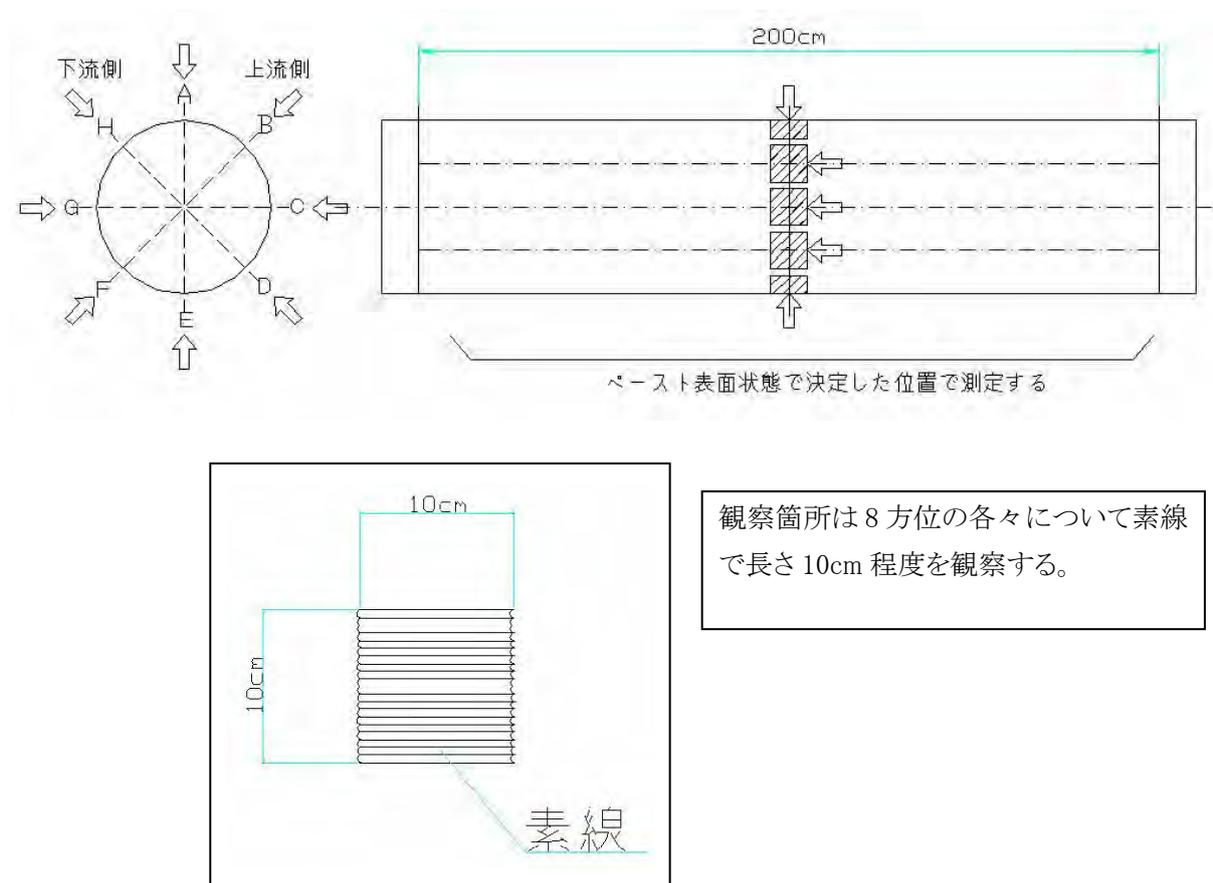


図 3-11 外層ケーブル表面素線の調査範囲

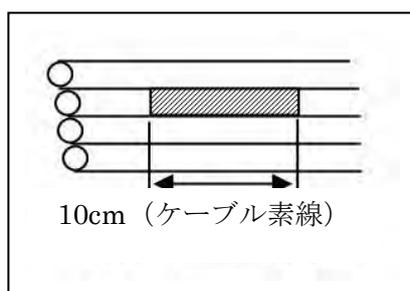
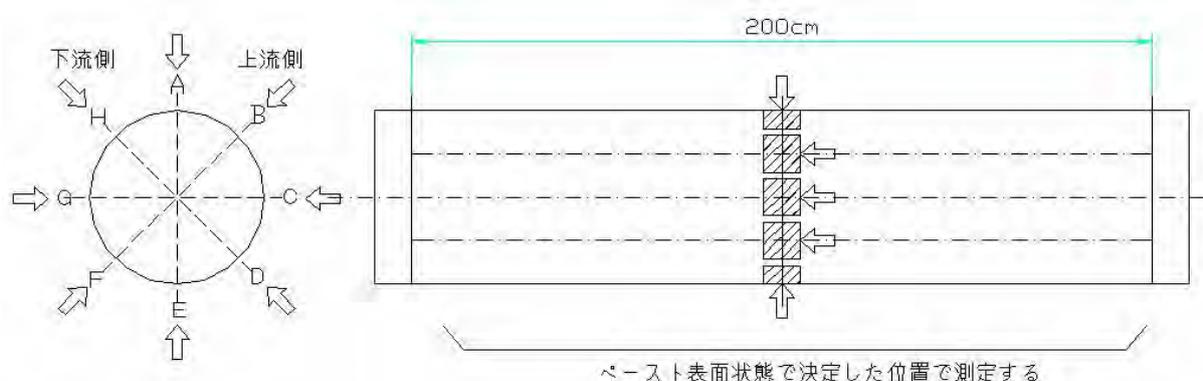
(2) ケーブル素線亜鉛メッキ残留量調査

前項の外層ケーブル素線表面の調査箇所A～Hの8方位について、亜鉛メッキ残留量を10点／位置で測定し平均を求め、記録する。

表 3-8 ケーブル素線亜鉛メッキ残留量測定結果

調査位置	亜鉛メッキ残留量(μm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
ケーブル上流側								
ケーブル下流側								

(参考；製作当初の亜鉛メッキ量は、346.9g/ m² (n=7.11) で 亜鉛メッキ厚さ 48.6μmである。)



測定箇所 8 方位の各々について1本の素線で長さ10cm程度を10点測定する。

図 3-12 亜鉛メッキ残留量調査

(3) 内層ケーブル腐食形態調査

調査対象部のケーブルの8方位 A～H にクサビを打ち込み、内部の腐食状況を目視観察と写真撮影行なう。調査方法は、位置 A から順に内側に 10 本程度の素線が観察できる深さまでクサビを打ち込み、赤錆、白錆の程度、水分の滞留などストランドの状態を観察する。内層線の状態は、表 3-11「劣化評価判定写真（瀬戸大橋精密点検：本四公団平成4年9月）」と比較し評価するとともに、それらの状態をスケッチ、写真記録する。

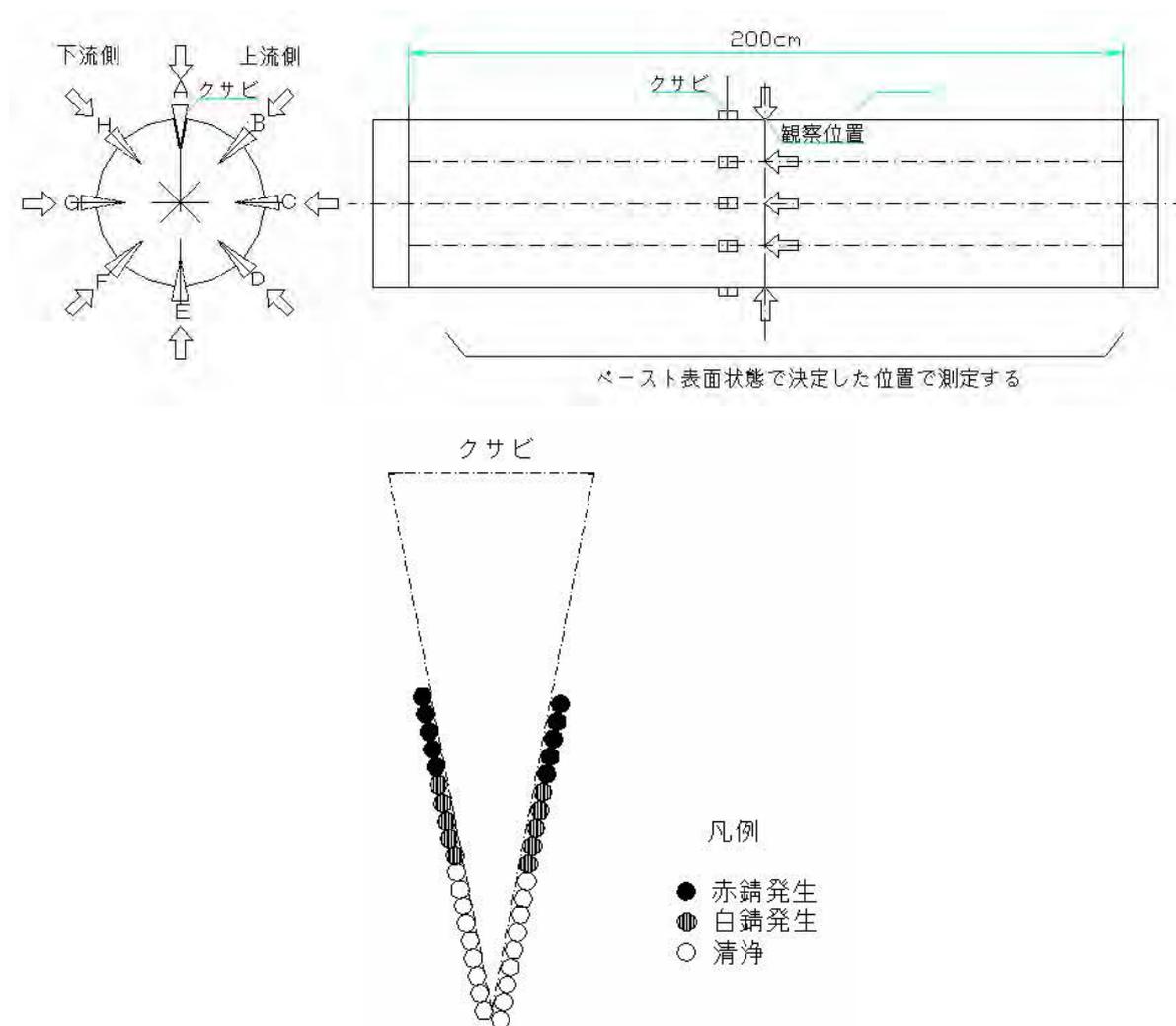


図 3-13 内層ケーブル素線観察

3.1.7 仮復旧

当日の調査が完了した後、雨水などの浸入を防ぐために開放調査部分のケーブル全周をシートで囲い養生テープでテーピングを施す。

3.1.8 再ラッピング（復旧）

主ケーブル開放調査箇所は、以下の手順で再ラッピング（復旧）をおこなう。

- (1) ケーブル開放調査区間（約 2m）のケーブル素線に付着する旧ペーストを除去する
- (2) ケーブル素線を清掃（脱脂）後、有機ジンクリッチ塗料（JIS k555 2 種）を約 30 μ m 塗装する
- (3) ラッピングワイヤー（ ϕ 4mm）を手巻きでケーブルに巻きつける（再ラッピング）
- (4) 再ラッピングするワイヤを約 10cm 毎に溶接で留める
- (5) 再ラッピングされたラッピングワイヤー表面を清掃（脱脂）する
- (6) 特殊エポキシ樹脂アルミニウム塗料（JIS k5551）を約 50 μ m、2回塗装する

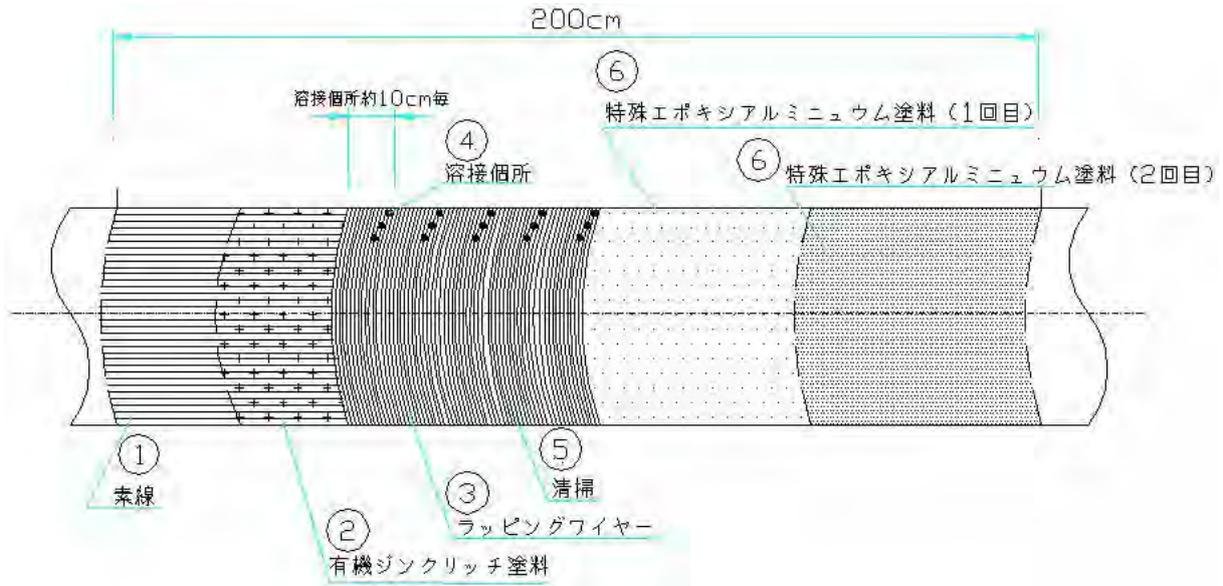


図 3-14 再ラッピング (復旧) の概要

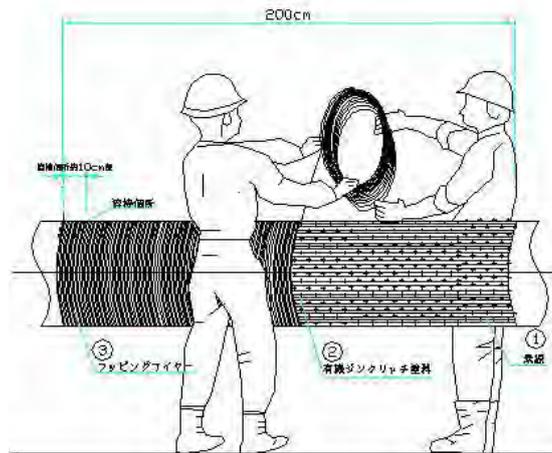


図 3-15 再ラッピング要領

表 3-9 劣化ペースト評価判定写真

劣化ペースト評価判定写真 (Cable Past)

Pictorial STD. for evaluating of deterioration of Cable Strands.

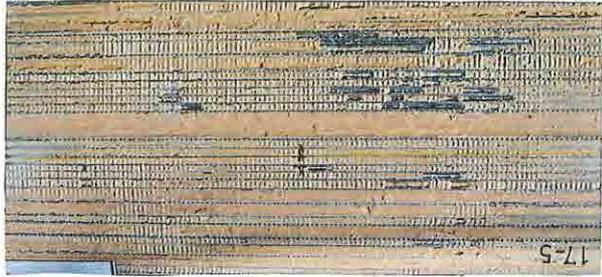
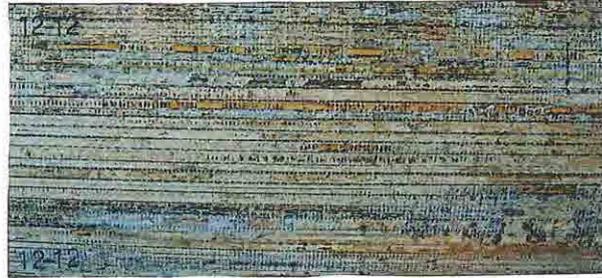
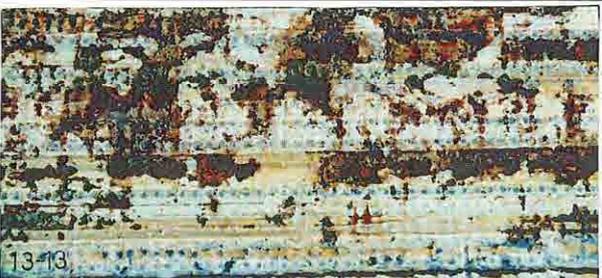
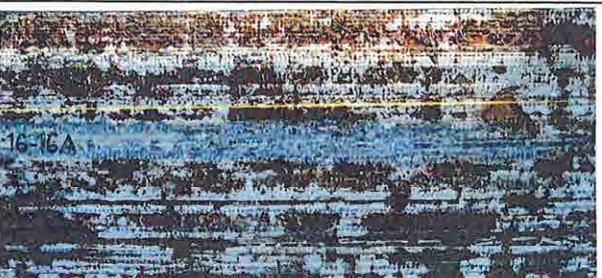
評 価 判 定 写 真 STD. Photograph	判 定 基 準 Criterion	評 価 点 Rating No.
	<p>良好な状態 <i>No deterioration.</i></p>	5
	<p>白錆が発生 <i>Zinc compounds were observed.</i></p>	4
	<p>白錆から赤錆一部 <i>Some rusts were observed.</i></p>	3
	<p>赤錆がやや多い <i>Many rusts were observed.</i></p>	2
	<p>赤錆が著しい <i>Most of area was covered heavy rusts.</i></p>	1

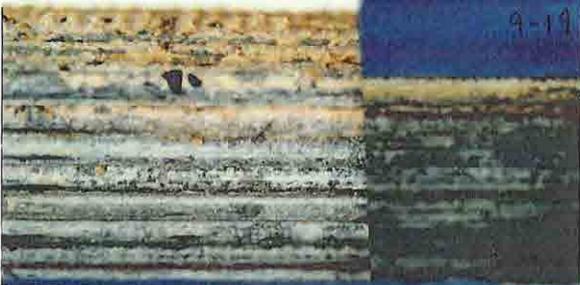
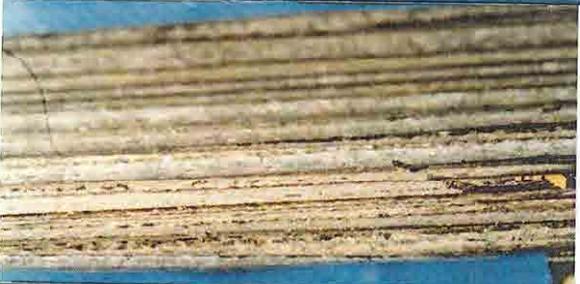
表 3-10 ケーブル素線劣化評価判定写真

ケーブル素線劣化評価判定写真
Pictorial STD. for evaluating of deterioration of Cable Strands.

評 価 判 定 写 真 STD. Photograph	判 定 基 準 Criterion	評 価 点 Rating No.
	良好な状態 No deterioration.	5
	白錆わずかに発生 Zinc Compounds were slightly observed.	4
	ゼットの消耗、小 Deterioration of Zinc was slightly observed.	3
	ゼットの消耗、中 Deterioration of Zinc was surely observed.	2
	ゼットの消耗、大 Deterioration of Zinc Rust were observed.	1

表 3-11 内層ケーブル素線劣化評価判定写真

内層ケーブル素線劣化評価判定写真 (Inner portion of Cble Strands.)
Pictorial STD. for evaluating of deteriorstion of Cable Strands.

評 価 判 定 写 真 STD. Photograph	判 定 基 準 Criterion	評 価 点 Rating No.
 <p>10-24</p>	<p>良好な状態 No deterioration.</p>	5
 <p>9-19</p>	<p>白錆が発生 Zinc compounds were observed.</p>	4
	<p>白錆の発生大 Zinc compounds were meny observed.</p>	3
 <p>9-22</p>	<p>白錆から点錆 Spot rusts were slightly observed.</p>	2
		1

3.2 主ケーブル開放調査

次ページに第2次現地調査の全体工程（表 3-12）を示す。予定した工程と実際に行った工程との差は、上流側ケーブルを開放調査後、そこを先に再ラッピングする予定であったが、上流側ケーブルを開いたままにして、下流側ケーブルを開放調査後、先に再ラッピングしたことである。これは下流側ケーブルの錆よりも上流側ケーブルの錆の状態が若干進行しており、この状態をセミナー出席者へも紹介できるように配慮したものである。

(1) 6月10日 日曜日

マタディ橋の現地調査、及びOEBKによって設置された足場を調査した。その結果、開放調査中に小物類が足場板の間から落下することが懸念されたために、足場板の隙間から物が落ちないように網を敷くことをOEBKへ依頼、OEBKは作業開始までに速やかに対応した。



写真 3-1 当初の足場、間が開いており、道具が落ちる可能性があった。



写真 3-2 対応後の足場、足場板の下にネットを引くとともに間にも角材を詰めて対応してくれた。

表 3-12 第2次現地調査(ケーブル開放調査)のスケジュール

6月	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
移動																							
Tokyo - Kinshasa	↔																					↔	
Kinshasa - Matadi				↔															↔				
表敬、協議(EOJ/JICA/OEBK)			↔																	↔			
足場の構築/撤去			↔																	↔			
ケーブル開放調査個所の事前調査					↔																		
上流側ケーブル																							
ラッピングワイヤの撤去						↔																	
開放されたケーブルの調査							↔																
再ラッピング											↔						↔						
再塗装												↔					↔						
下流側ケーブル																							
ラッピングワイヤの撤去									↔														
開放されたケーブルの調査									↔														
再ラッピング										↔							↔						
再塗装											↔			↔			↔						
資料整理													↔						↔				
セミナー															↔								
JICA専門家の滞在時期										↔													

↔ は実際の工程を示す。 ↔ は実際には行われなかった工程。

(2) 6月11日 月曜日 10時

OEBK の会議室で辰巳より主ケーブル開放調査の手法、手順及び全体スケジュールについて OEBK 職員に説明。



写真 3-3 調査団による主ケーブル開放調査手法の説明

この後アンカレイジに湿度計を設置する。その後ケーブル全体の調査を行うために、細川が上流側のケーブル、山本が下流側のケーブル全体を歩き目視調査を行った。約 10 年前に塗り替えたが行われたため全体的には状態がよかったが、ケーブル表面の一部に割れが観察された。また、ケーブルバンドボルトのキャップがオリジナルのものが無くなり、代わりにお椀がかぶせてあったり、無くなったところには布が巻きつけられていたりした。送気乾燥システムを設置する場合は新しいボルトキャップに交換してエアタイトにする必要がある。



写真 3-4 ケーブル全体目視調査(1)



写真 3-5 ケーブル全体目視調査(2)

このあと上流側ケーブルから開放調査を行うために中央径間中央の足場をチェックする。日よけのためにブルーシートがかけてあったが、ケーブルの状態を調査するための写真の色に影響してしまうので持参した白色のシートに交換することとする。

以下に、上流側主ケーブル開放調査について調査手順に則って記述する。

(3) 6月12日火曜日

上流側主ケーブルからケーブル開放調査を開始した。表面観察の結果、若干の塗装の割れを確認した。その後塗料の付着テストを行ったが、非常に良い付着性を確保していた。これは再塗装時に丁寧にケレンしたために再塗装した塗料が良好に付着していることを示している。しかしながら、OEBK から入手した資料によると、ケーブル再塗装に使用した塗料は柔軟型ではないために塗装表面に割れが生じているものと考えられる。本四連絡橋では柔軟型のポリウレタン塗料、若しくはフッ素樹脂塗料が使用されており、空気が漏れにくい構造となっている。マタディ橋に送気乾燥システムを設置するには、ケーブルを柔軟型塗料で再塗装する必要がある。主ケーブルについてはOEBKが2003年10月から2004年7月にかけて再塗装している。柔軟型塗料で再塗装するためには、既存の塗料を全て除去する必要がある、大掛かりな作業となるが、再塗装後10年が経過しているので、次の塗り替え作業と考えることができ、前回の再塗装が無駄であったというわけではない。ケーブルバンドは塗り替える必要がないので、主ケーブルのみの塗装面積は約1000m²である。(別添資料参照)

塗装の付着テスト





写真 3-10 テープの引きはがし(下流側主ケーブルの写真)



写真 3-11 はがしたテープの記録(下流側主ケーブルの写真)



写真 3-12 塗料付着テスト

塗装面にカッターで十字の傷をつけ、そこにセロハンテープを張って勢いよくはがし、塗料が付着してくるかを調査する。ほとんどテープへの付着はなかった。

その後、アンラッピング（ラッピングワイヤーの撤去）作業に移った。まずケーブルにマーキングを行い、除去した後のラッピングワイヤーがどこの位置にあったかを後からもわかるようにして、アンラッピングを開始した。ラッピングワイヤーをタガネで切り、二本を一まとめとして一周ずつ除去していった。ラッピングワイヤーを除去する始点は工事中にラッピングワイヤーの予期しない緩みの発生を防止するために施工してある溶接点を使った。アンラッピング最終端には適当な位置に工事中に施工した溶接点が存在しなかったため、最終点に新たにスポット溶接を行ってアンラッピングされない部分のラッピングワイヤーの緩みを防止した。アンラッピング区間は約 1.8m 区間となった。



写真 3-13 タガネによるラッピングワイヤーの切断



写真 3-14 最終点のスポット溶接による留め



写真 3-15 ラッピングワイヤーの切断撤去



写真 3-16 ペーストの水分量測定



写真 3-17 ペーストのPH 測定



写真 3-18 撤去されたラッピングワイヤー



写真 3-19 観測位置と対応するラッピングワイヤー内側の状況、ABC 等については下図参照



写真 3-20 A 位置のラッピングワイヤーとペーストの状況

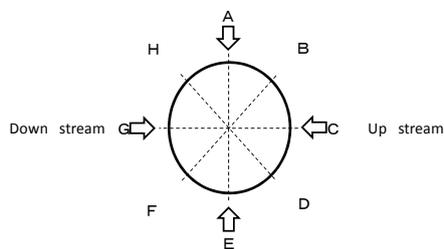


図 3-16 主ケーブル各点の名づけ

上流側主ケーブル ABC の位置、下流側も同様



写真 3-21 主ケーブル上側のペーストの状況



写真 3-22 主ケーブル下側のペーストの状況、赤錆が見えるがペースト除去後も同じ位置に錆がある。ペーストの状況はほぼ素線の状況と対応しているようである。



写真 3-23 下流側(道路側)のペースト状況



写真 3-24 上流側のペースト状況



写真 3-25 G位置でペースト除去後の様子、更に詳しくは添付レポート参照。



写真 3-26 亜鉛メッキ厚の測定、更に詳しくは添付レポート参照。

亜鉛メッキの厚さは、 $100\mu\text{m}$ 程度が多かった。製造時の素線メッキ厚は $48.6\mu\text{m}$ に指定されており、それ以上の値があれば製品検査を通過する。しかし、一般的に製造業者は安全を見込んで $100\mu\text{m}$ 程度のメッキ厚を確保して製造しているために今回も $48.6\mu\text{m}$ を上回る値がほとんどであった。



写真 3-27 ラッピングペーストの除去、ドライバー等を使いペーストをこそげ落とす。大変な労力のいる作業であった。



写真 3-28 作業後にケーブルに雨がつかないようにビニールでラッピング。13日の朝に、内部が結露していなかった。日本では結露することが多い。

12日の作業を終えるときに主ケーブルをビニールでラッピングしたが、翌朝、ビニール内部は結露していなかった。日本で作業を行う場合は、翌朝に側面などがよく結露しているようで、日本との状況の違いが明らかとなった。一日の温度差が小さいことが原因であるらしい。

(4) 6月13日水曜日

前日にペーストをほぼ落としたが、再び残りのペーストを落とし、OEBK 所有のブロワーで埃を掃除した。この方法は効率が良かった。その後、ペーストを落とした表面状況の調査を行った。上側の表面は、白錆は発生しているが、赤錆(鉄の錆)は発生しておらず健全な状況であった。一方側面はかなり赤錆びも発生しており、少し悪い状況であった。



写真 3-29 OEBK 所有のブロワー



写真 3-30 ブロワーによる細かいペースト片の除去



写真 3-31 ペーストを落とした後の
ケーブル表面上側の状況



写真 3-32 ケーブル下面



写真 3-33 下流側ケーブル側面の状況



写真 3-34 上流側ケーブル側面の状況
更に詳しくは添付の報告書を参照。

また下面側にも赤さびが発生しているが側面ほどは錆びていなかった。錆の傾向としては本四高速でのアンラッピング調査とほぼ同様の傾向であるが、表面の錆は因島大橋、北備讃瀬戸大橋よりは少なく、より良い状態であるように見受けられた。

その後くさびを打ち込んでケーブル内部の錆の状況を調査した。くさびを打ち込むのは金属製の持参したくさびとハンマーとで打ち込んだが、打ち込み力が足りない時には OEBK 所有の大きいハンマーを使用した。当初、プラスチックのくさびをハンマーで開けた間に間隔保持材として用いたが、剛性が足りなかったために急遽、OEBK に木製のくさびを作成してもらい、使用した。



写真 3-35 ハンマーによるくさびの主ケーブル内への打ち込み



写真 3-36 OEBK 所有の大型ハンマーによるくさび打ち込み作業



写真 3-37 OEBK に急遽作成してもらった木製のくさび。以後はこれを使用した。



写真 3-38 八方向からのくさびをほぼ打ち込み終わった状況



写真 3-39 主ケーブル上面の内部状況。白錆が発生しているのみで状態は良い。しかし内部の奥まで白錆は発生している。



写真 3-40 上流側側面の内部。赤錆びもかなり発生しており、内部も奥まで同様の状況である。



写真 3-41 主ケーブル下側の内部。側面よりは少ないが赤さびが奥まで発生している。



写真 3-42 下流側側面位置での内部。赤さびが内部まで発生している。(G点)



写真 3-43 内部調査を終えて、帰宅前にケーブルをビニールで覆い、保護。

(5) 6月20日水曜日

セミナー終了後、上流側主ケーブル開放調査現場で調査方法、調査手順、ケーブルの錆びの状況、日本を含めたケーブルの状況との比較などを、現地でセミナー出席者へ説明した。

以下に、上記説明状況、再ラッピング、再塗装など調査後の復旧状況を示す。



写真 3-44 セミナー参加者への現場の説明



写真 3-45 くさびの撤去



写真 3-46 主ケーブル開放調査後、再ラッピングする前にケーブル素線に有機ジンクリッチペイントを塗装するので、その前にワイヤブラシ、電動ワイヤブラシ等で錆を落とした。(この写真は下流側主ケーブルの作業状況で代用)



写真 3-47 建設時のケーブル整形に使用したカケヤ(30年前のもの)を使用してケーブル内のラッピングペーストの埃を落とした。



写真 3-48 有機ジンクリッチペイントを施工

この状態で一晩おいて翌朝 21 日朝からラッピング作業を行った。



写真 3-49 既存のワイヤとこれから巻くワイヤとの溶接による接続。(下流側主ケーブルでの作業写真で代用)



写真 3-50 手でワイヤを主ケーブルに巻きつけていく。



写真 3-51 ワイヤを手で待ち巻きつけていくので作業性の関係で 25cm 程度を一回に巻くことができる。その終点を溶接で止めているところ。



写真 3-52 ラッピング最終点を溶接で止めているところ。既存のラッピングワイヤーとも溶接で接続する。



写真 3-53 隙間の開いているところをコーキング材で(下流側主ケーブルでの作業の写真で代用)



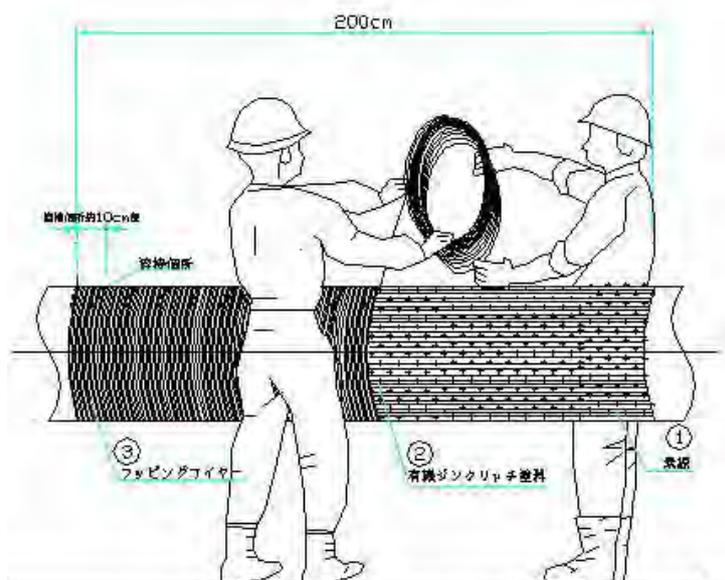
写真 3-54 ラッピング後、表面処理(サンドペーパーによる目荒らし)を行っているところ。ラッピングワイヤーの溶接部分が見える。



写真 3-55 アルミニウムペイント一層目を 21 日に施工



写真 3-56 22 日午前中に二層目の塗装を行い、すべての作業を終了することができた。



ワイヤ、ラッピング作業

図 3-17 手巻きによる主ケーブル・ラッピング作業

今回の溶接作業のために、蓄電池式の溶接機を日本から輸送した。これは日本では火薬式の溶接機を使用しているが、火薬式の溶接機は輸送ができなかったためである。また蓄電式の電動ワイヤブラシを輸送し現場で使用した。当初は充電するための電気設備が橋上にはないと思われたため、蓄電式のものを輸送した。しかしながら、実際には橋上の照明柱から電源を取ることが可能で、蓄電式の溶接機も充電しながら使用することができた。また電動ワイヤブラシも同様である。電動ワイヤブラシについては、電源があるのならば充電式である必要性はなかった。延長コードを使用すれば長時間使用することが可能であった。今後、主ケーブルの塗装を除去して柔軟性塗料を塗る必要があるが、電動ワイヤブラシを使用することができれば塗料除去作業も比較的容易である。



写真 3-57 照明柱から電源をとる準備をするニミ氏



写真 3-58 照明柱からの電源に蓄電池式溶接機の蓄電池をつないだ状態。この状態で溶接を行ったため、電池がなくなる心配はなかった。

より状態の良かった下流側主ケーブルのペースト除去後の外観、主ケーブル内部の様子を以下に示す。



写真 3-59 ペーストを落とした後の主ケーブル上面外観、赤錆びは無い。



写真 3-60 主ケーブル下面外観、上流側主ケーブルより少し状態は良い。



写真 3-61 上流側側面外観、上流側主ケーブルより錆が少ない。



写真 3-62 下流側側面外観、こちらも上流側主ケーブルより錆が少ない。

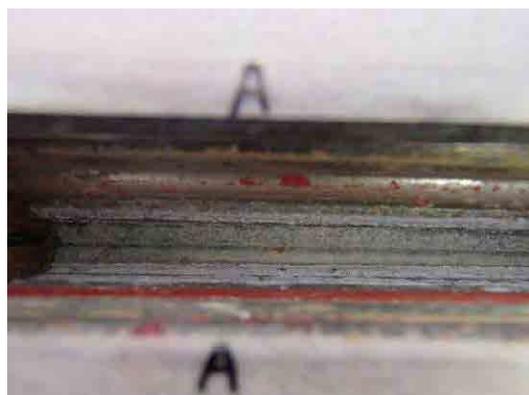


写真 3-63 主ケーブル上面の内部状況。白錆が発生しているのみで状態は良い。しかし内部の奥まで白錆は発生している。

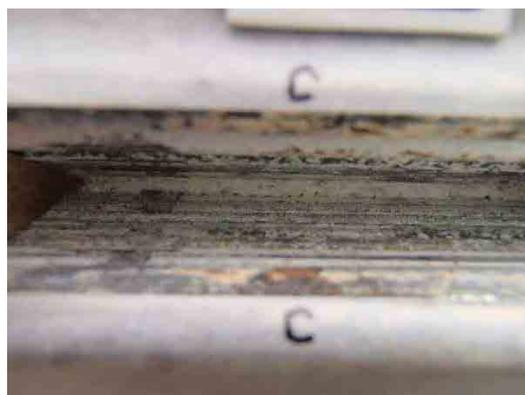


写真 3-64 主ケーブル上流側側面、赤錆びが発生している。

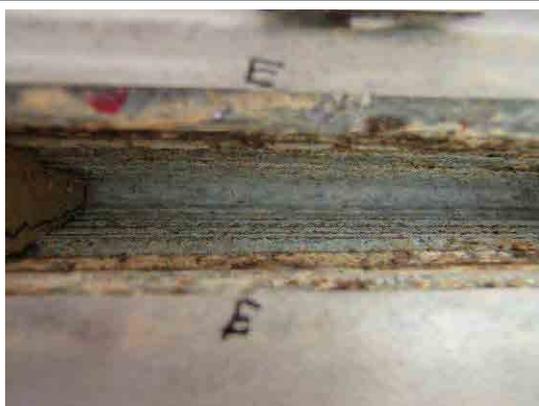


写真 3-65 主ケーブル下面、赤さびが発生している。

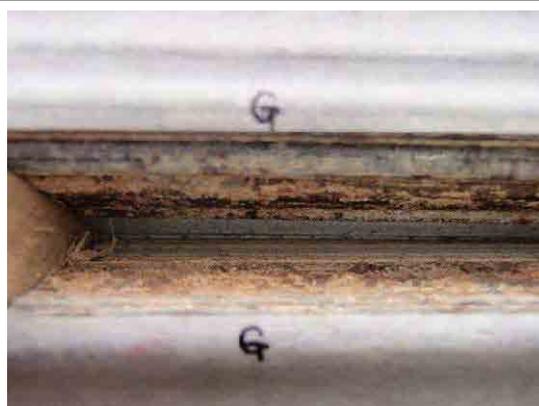


写真 3-66 主ケーブル下流側側面、赤さびの発生が上流側側面(C点)より多い。

3.3 主ケーブル開放調査結果

主ケーブル外観調査結果、内層ケーブル素線外観調査結果を図 3.3.1～図 3.3.5 に示す。これらは別添、ケーブル開放調査結果データから抜粋したものである。これらの状態を考察すると、本四高速の吊橋と同様の錆の傾向を示していることが分かる。つまり、主ケーブル上面はそれほど錆びていないが、主ケーブル側面がより錆が多く発生している。

マタディ橋は完成後約 30 年が経過するが、主ケーブルの外観は、本四高速の因島大橋、北備讃瀬戸大橋などよりも錆が少ないように見える。因島大橋は供用開始後 7 年目に開放調査が行われたが、側面などの赤錆びは、マタディ橋よりもひどかったように見える。

ケーブルバンド内部の錆の写真

 <p>写真 3-67 上流側センターステイバンドからボマ側(写真左側)へ五番目のバンド(二本目の照明柱のすぐ左)が滞水の確認されていたバンド</p>	 <p>写真 3-68 素線の錆とバンド内部の爪の錆、上流側バンド</p>
 <p>写真 3-69 滞水が確認されている下流側バンド(中央径間中央からマタディ側へ4本目のハンガー位置)</p>	 <p>写真 3-70 錆びた素線とバンド内部の爪、下流側バンド</p>

しかしながら、内部素線に関しては、マタディ橋の方が内部まで錆が進んでいるようである。因島大橋の内部素線調査では、内層の6～7層目ではまだ亜鉛メッキの輝きが残っていたが、マタディ橋では内部まで白錆が入り込んでおり、亜鉛メッキの輝きは見られなかった。また表面に赤錆が発生している部分では、内部素線の奥まで素線に赤錆が見られた。全体的に、因島大橋の内部素線はマタディ橋の内部素線よりも状況が良かったと思われる。これが供用開始後 7

年目と、供用開始後 30 年目との差かもしれない。

しかしながら、マタディ橋は普段の点検、塗り替え塗装作業などのおかげもあり、素線の断線などは観察されていない。また錆の進行が遅いと思われるのは、温度差の少ない現地環境も影響しているものと考えられる。

今回調査したところとは別にケーブルバンド部の二か所のみ滞水が OEBK により確認されている。この内の上流側主ケーブルのバンド内部の素線が最もひどく錆びていることが確認されている。つまり、今回の開放調査箇所よりもケーブル素線の赤錆の状況はひどいと推測される。

これらを総合的に判断すると、なるべく早い段階でマタディ橋に主ケーブル送気装置を設置することが推薦される。今のうちに設置しておけばケーブル素線の錆の進行を止めることができるため、これ以上の主ケーブルの劣化を防ぐことができる。

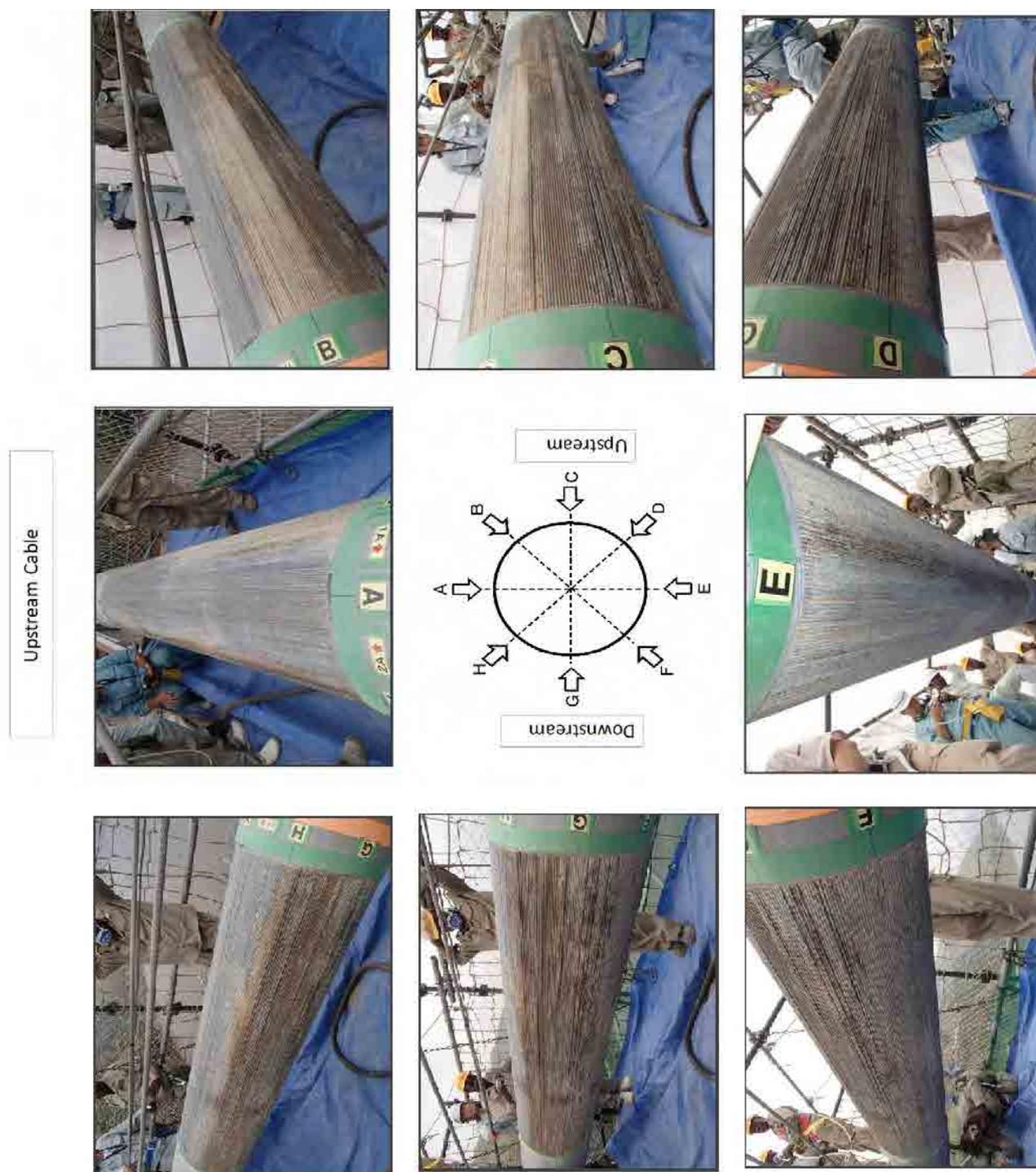


図 3-18 主ケーブル外観調査結果、上流側ケーブル

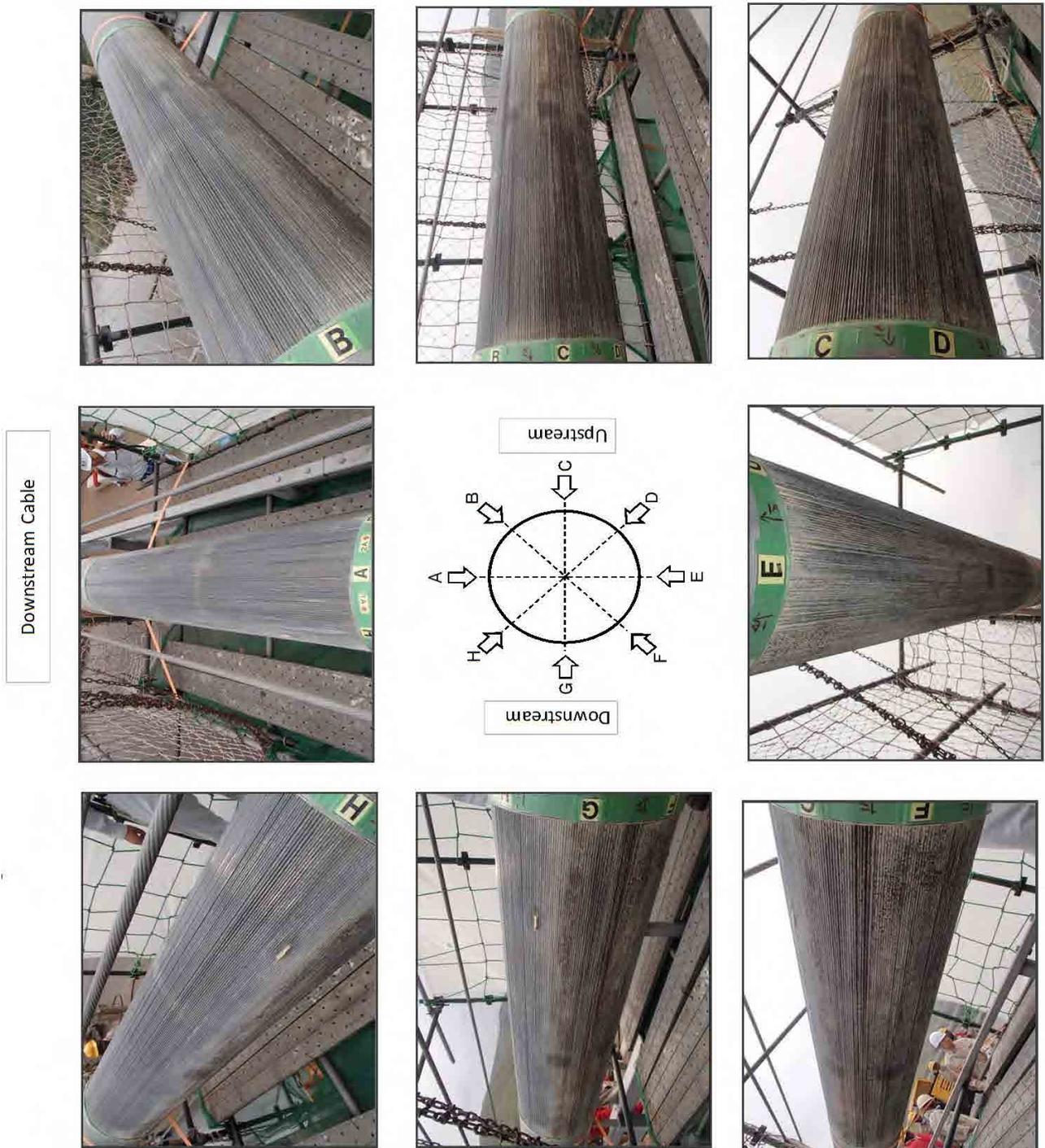


図 3-19 主ケーブル外観調査結果、下流側ケーブル

Position of Investigation:	Evaluation							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Upstream Cable	4	3	2	2	2	2	2	2

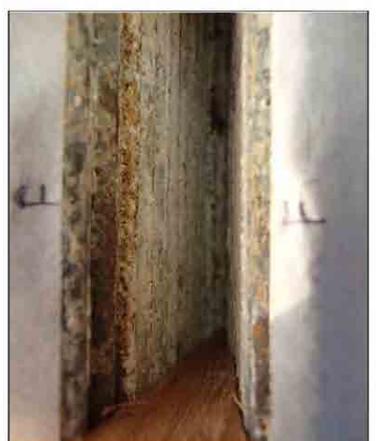
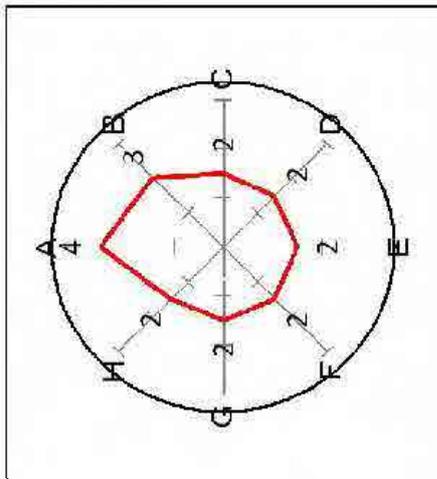


図 3-20 内層ケーブル素線外観調査結果、上流側ケーブル

Position of Investigation	Evaluation							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Downstream Cable	4	4	4	3	3	3	2	4

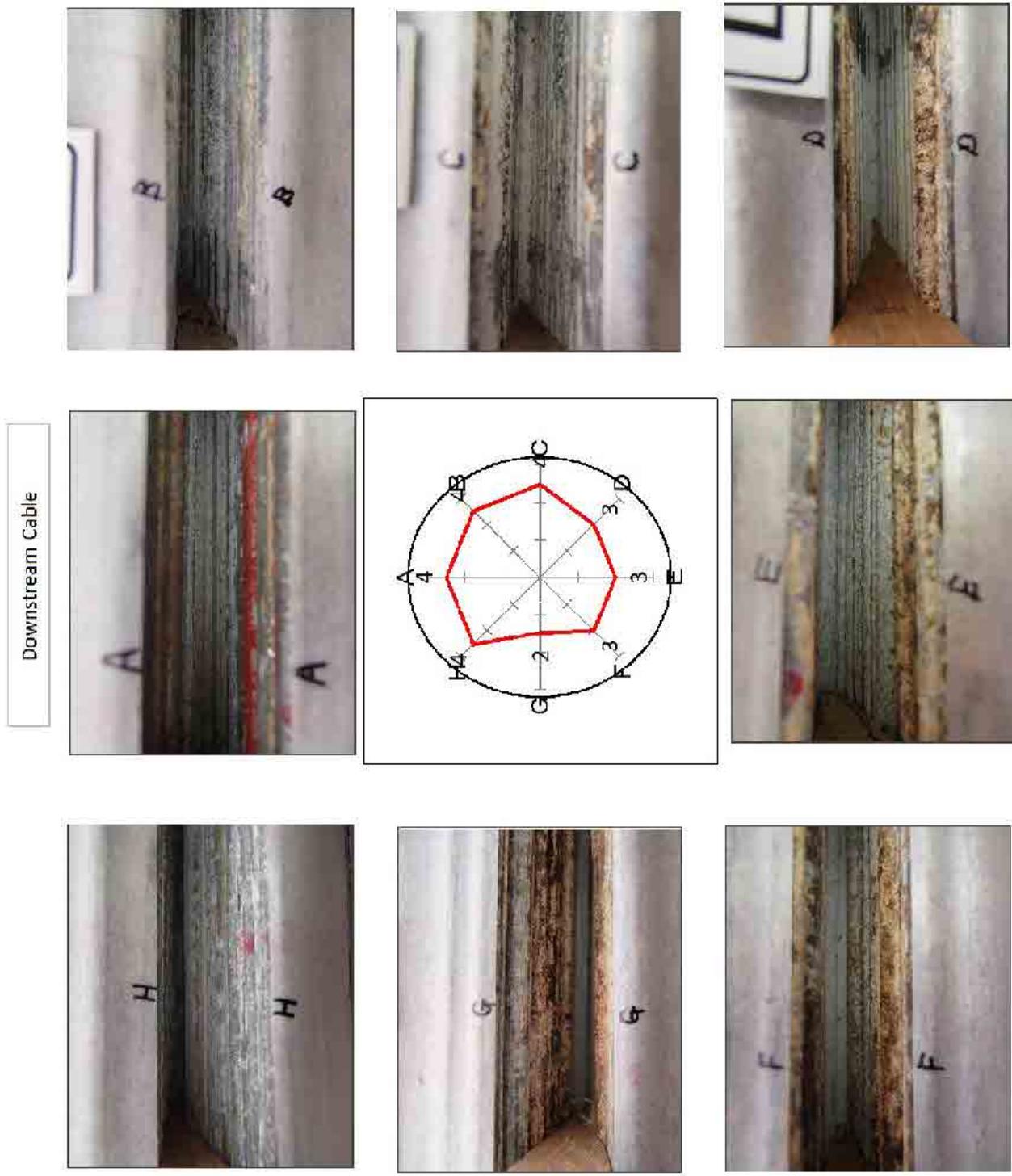


図 3-21 内層ケーブル素線外観調査結果、下流側ケーブル

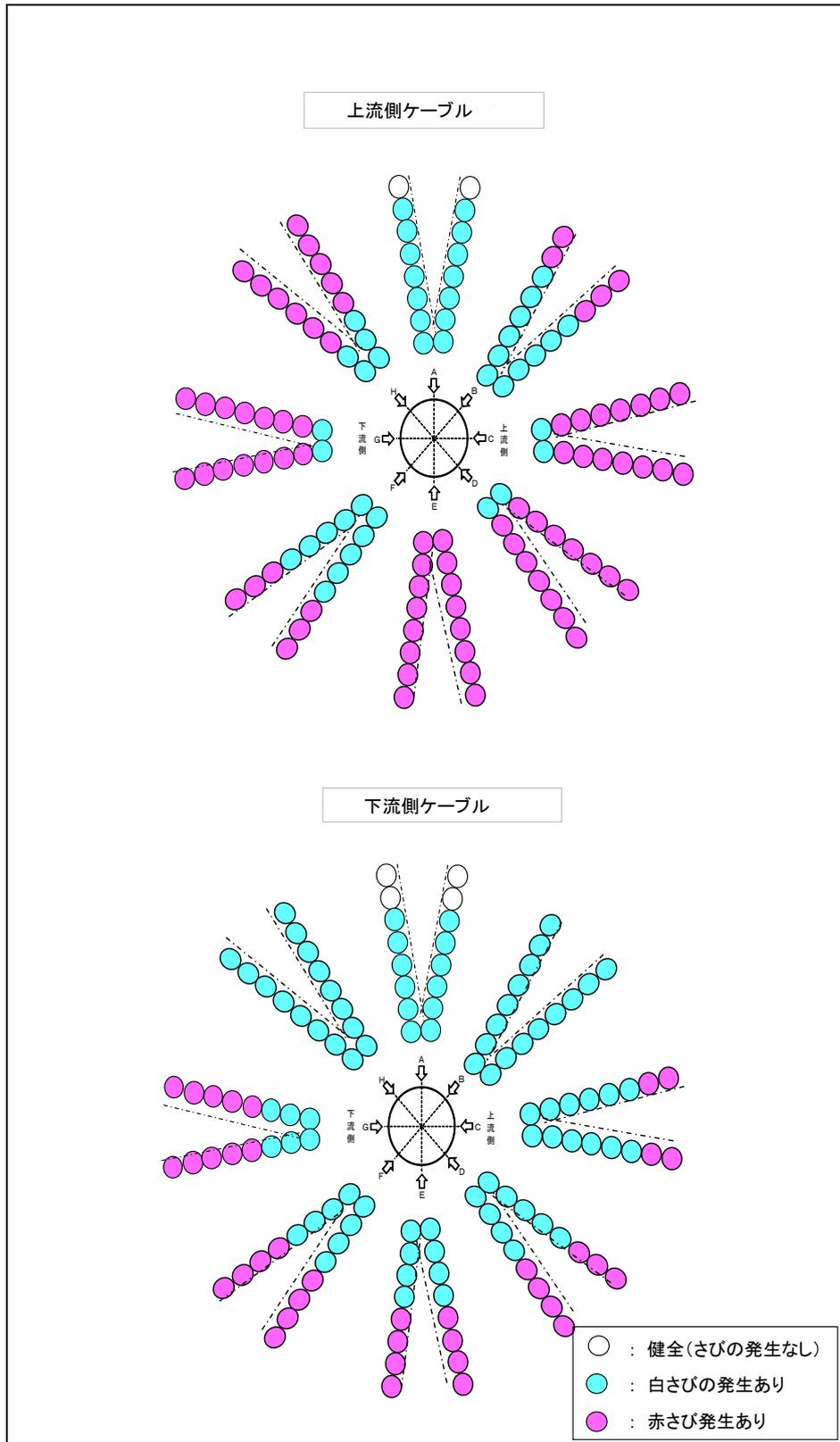


図 3-22 内層ケーブル素線外観調査結果 (模式図)

3.4 現地セミナー

6月20日水曜日9時半ごろからフラットホテルレディヤにおいて、セミナーを開催した。バコンゴ州の内務省からの出席者、OEBK 総裁、JICA からの挨拶の後、セミナーを開始した。出席者は大使館、JICA 関係者、調査団の日本人関係者 15 名、及びメディアも加え、約 70 名（添付資料 4.2 を参照）であった。

辰巳から、日本の橋梁について紹介を行った。東京、名古屋、大阪圏の長大橋や歴史的な変遷を経てきた橋梁についての説明、及び本四連絡橋の紹介を行った。

次に JICA 専門家の荻原氏から、本四連絡橋の吊橋送気乾燥システムの経緯や現状の紹介があった。その中で明石海峡橋の供用開始 10 年後の主ケーブル開放調査結果報告があった。明石海峡大橋には当初から送気乾燥システムが設置されている。10 年後の開放調査でも主ケーブルには全く、錆が発生していないことが紹介された。

三番目に松本から、今回のマタディ橋の主ケーブル開放調査の方法、結果について説明した。また、送気乾燥システムの仕組みとマタディ橋に設置した場合、工事費は約六億円（約 7.5million US\$）であるということを発表した。これは OEBK マディアッタ氏より維持管理にはお金がかかることを運輸省、州政府、市役所等にアピールする目的もあり、概算工事金額をセミナーで発表するように要請されて説明したものである。その後フランス、イギリス、日本での吊橋ケーブルの錆の実例を紹介した。



写真 3-71 辰巳団長の講演



写真 3-72 荻原専門家による講演



写真 3-73 松本の講演

幾つかの質疑応答が終了した後で、JICA と OEBK 総裁 Kidima 氏とがミニッツにサインし、セミナーは終了した。

昼食後、主ケーブル開放調査現場でセミナー参加者にマタディ橋の主ケーブルの状況を辰巳から説明した。



写真 3-74 JICA と Kidima OEBK 総裁とのミニッツサイン後の握手

3.5 その他

3.5.1 アンカレイジ内及び大気中の温度と湿度

1 A 及び 2 A アンカレイジ内と中央径間中央付近の下流側主ケーブルに設置した計測器によって、アンカレイジ内と大気中の温度と湿度を計測した。それらを下記に示す。

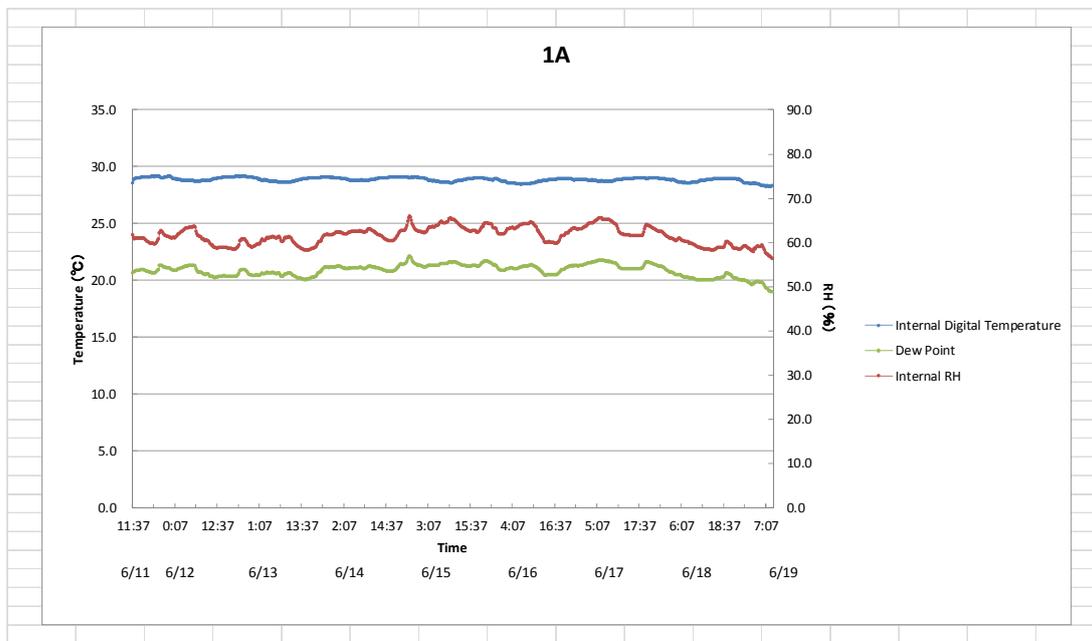


図 3-23 1A アンカレイジ内の温度、相対湿度

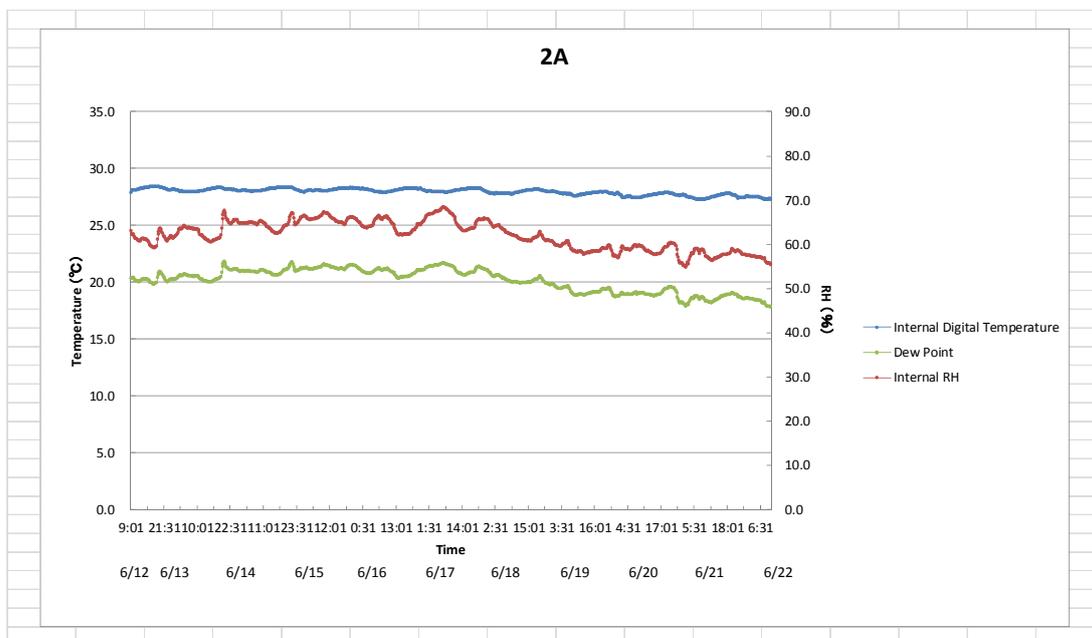


図 3-24 2A アンカレイジ内の温度、相対湿度

1A、2A アンカレイジとも内部の温度は一日中安定してほぼ 28℃程度である。乾季のためとも思われるが、相対湿度は 60%前後と高くはなかった。第 1 次現地調査（4 月）時も、雨季の末期であったが、体感ではアンカレイジ内の湿度がそれほど高いとは感じなかった。現時点、アンカレイジ内のケーブルストランドの状況は健全である。この状態も本四高速の吊橋とほぼ同様である。ただ、60%を超える湿度も観測されているためアンカレイジ内に除湿器を設置するかどうかは、今後、検討する必要がある。

1A アンカレイジ内の湿度計を取り外して、中央径間中央下流側主ケーブルに設置し、大気中の湿度を測定した。その結果を以下に示す。目的は、主ケーブル開放調査でラッピングワイヤー撤去後ビニールシートで覆った翌朝、結露が観測されなかったために外気の温度、湿度の変化を把握することも必要であると考えたためである。一日の気温の変化が 20℃～30℃で、相対湿度は、50%～80%である。最低気温時でも Dew Point（露点）が気温よりも 5℃程度低いことが結露を発生させない理由と考えられる。

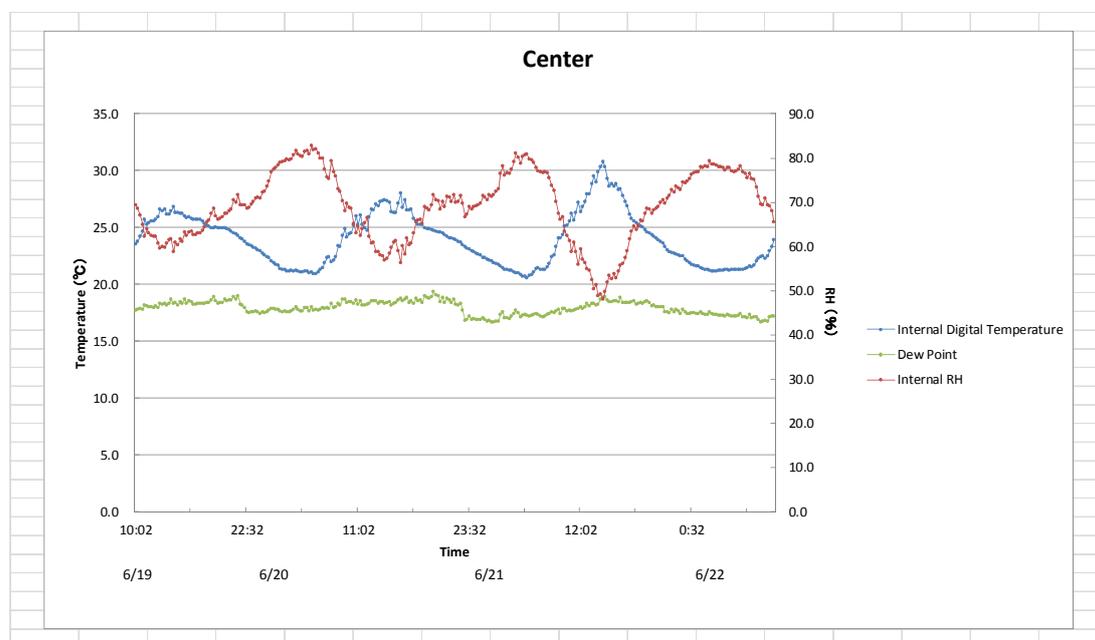


図 3-25 中央径間中央下流側主ケーブル付近の大気中の温度と湿度

上に示した三つのグラフを一つにまとめて、時系列的に示したグラフを図 3-5-1-4 に示す。これよりアンカレイジ内部の気温、湿度が外気に比べて安定していることがわかる。外気の気温は夜間から早朝にかけて下がり、それに対応して湿度が高くなっている。アンカレイジ内部の気温は安定しているため、湿度の変化が少ない。

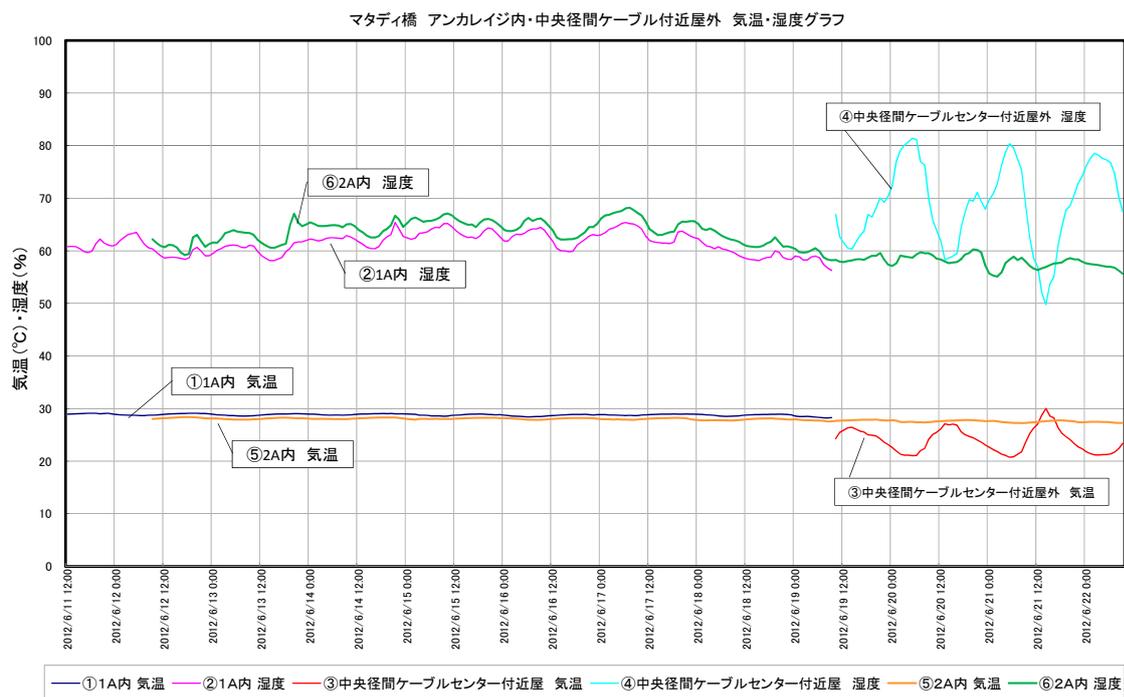


図 3-26 アンカレイジ内部の気温、湿度、中央径間中央付近での大気中の気温、湿度

3.5.2 使用した道具、工具類の引き渡し

主ケーブル開放調査の携行機材（バッテリー溶接機と膜厚計）と、消耗品として日本から送った道具類で残った資機材を、写真付きリストを付して OEBK へ引き渡した。



写真 3-75 OEBK へ引き渡した資機材類

3.5.3 マタディ橋の電気設備

OEBK 施設への電気は、OEBK 職員用宿舍用地内の受電盤(マタディ橋建設当時は IHI が所有、現在は電力会社 SNEL 所属、設備名称サブステーション 2、設備は日本製。)に 15,000V で供給される。ここで 15,000V から 6600V へ、更に 380V/220V へと変電している。ここから、OEBK 事務所、マタディ橋、及び住宅関連の受電盤へ電力が送られている。



写真 3-76 受電設備(サブステーション 2)



写真 3-77 受電設備外観-1



写真 3-78 受電設備外観-2



写真 3-79 受電設備外観-3



写真 3-80 設備機能の表示



写真 3-81 内部

電力は、先ずサブステーション 2 から、電圧 380V で OEBK 車庫横の受電盤 (サブステーション 3) に送られ、次にサブステーション 3 で 380V から 220V に変電し、マタディ橋の分電盤(1A アンカレイジ、マタディ橋設備関係の分電盤は 1A にある。)へと送っている。

サブステーション3(この設備もマタディ橋建設時に設置された)はかなり老朽化しており、危険な状態にある。送気乾燥システムを設置する場合は、ここを経由して電力を供給する必要があるのでステーション3の受電設備の更新も必要である可能性が高い。



写真 3-82 サブステーション3



写真 3-83 内部は老朽化している。



写真 3-84 外観



写真 3-85 ステーション2から
ステーション3へ引かれているケーブル。

サブステーション3からの電力線は、地中に埋設されたパイプを経由して、1A アンカレイジ下流側アンカレイジ内に設置された分電盤まで導かれている。地中パイプには二か所にマンホールがある。アンカレイジ内に導かれた電力線は、分電盤からアンカレイジ内鉄道空間、補剛桁に設けられたラックを経由して、街路灯、各主塔(航空障害灯も含む)、2A アンカレイジまで供給されている。



写真 3-86 ステーション3から二つ目のマンホール



写真 3-87 中央に同じマンホールが見える。



写真 3-88 橋梁用非常時発電機



写真 3-89 この石の下に電力ケーブルがある。



写真 3-90 アンカレイジ内分電盤



写真 3-91 アンカレイジ内分電盤



写真 3-92 アンカレイジ内鉄道空間への電力ケーブル配置



写真 3-93 アンカレイジ内鉄道空間側の電力ケーブル



写真 3-94 アンカレイジ内鉄道空間から補剛桁内のラックへの電力ケーブル

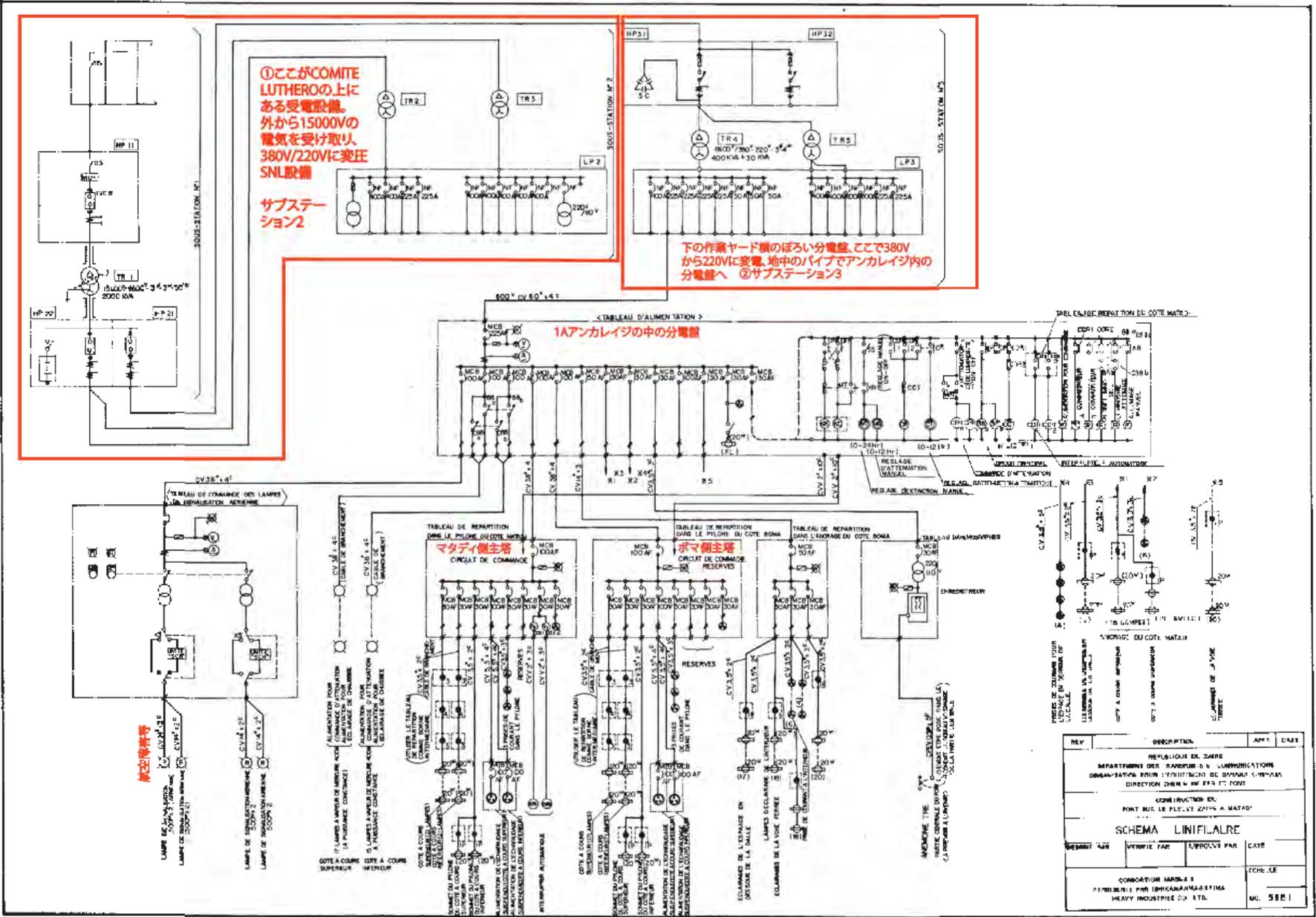


図 3-27 マタディ橋関連の現在の配線図

第 4 章 主ケーブル維持管理手法の提案

4.1 送気乾燥システムの必要性

4.1.1 吊橋主ケーブル防食方法の変革

(1) マタディ橋に採用した主ケーブル防食方法（従来の防食方法）

マタディ橋に採用した主ケーブル防食方法は、以下の手順で実施された。

- (1) 主ケーブル素線の上にペーストを塗布
- (2) その後、径 4mm の亜鉛めっき鋼線（ラッピングワイヤー）を巻きつける
- (3) その上に塗装を行う

この方法は、世界最長の吊橋である明石海峡大橋（1998 年完成、中央支間長 1991m）において送気乾燥システムが導入されるまで、主ケーブル防食方法として最善で、且つ世界の常識であると考えられていた。

(2) 送気乾燥システムによる主ケーブル防食方法

本四連絡橋において完成後 20 年にも満たない吊橋の主ケーブル開放調査を実施した結果、予期しないケーブル腐食状態が確認された。その後の同公団による種々の調査、検討などの結果、従来の防食方法では主ケーブルの腐食を防ぐには不十分であり、主ケーブルに送気乾燥システムを導入することが必要であると判断された。

国内においては明石海峡大橋以降に完成したすべての長大吊橋には送気乾燥システムが導入されている。またそれ以前に建設されていた長大吊橋へも順次同システムが導入されてきた。

吊橋の歴史からいえば、本四連絡橋ができるまでは、米国、英国が吊橋技術をリードしてきた。その英国には著名な吊橋が 3 つありそれらすべてに既に送気乾燥システムが導入されている。そのうちの 2 橋のフォース道路橋（1964 年完成、1006m）とセバーン橋（1966 年完成、988m）については、同システムの導入時点までに既にケーブル腐食が著しく進んでおり架け替えが検討される状況となっている。残りの一橋であるマタディ橋とほぼ同時期に完成した完成時世界最長のハンバー橋（1981 年完成、1410m、現在世界第 5 位）ではすでに素線の一部に破断が見られ、新たな破断を常時検出するモニタリング装置とともに同システムが導入されている。

デンマークの Great Belt Bridge（1998 年完成、1624m、世界第 3 位）にも同システムを導入することが決定されている。

米国では、ニューヨーク市管轄の吊橋で同システム導入のための調査、研究が行われているが、多くの吊橋で主ケーブルの素線の破断が進んでおり、同システム導入の意味についても吟味が必要である。

また、中国の潤楊大橋（2005 年完成、1490m、世界第 4 位）にも同システムが設置されている。

以上から現時点においては、送気乾燥システムにより主ケーブルの防食を行うことが世界的にも最善の方法であるという共通認識となった。

主ケーブルの腐食が進行し素線の破断が始まってからの導入では、新たな破断の常時検出のためのモニタリング（設備の設置・維持・更新）や残存強度、余寿命の算定などを継続してゆか

ねばならず、導入時期として遅すぎると判断される。

4.1.2 送気乾燥システムの必要性

- (1) 鋼構造物は錆びさせない限り半永久的に耐久性が確保される。吊橋の主ケーブルを含む鋼構造体は錆びさせない前提の設計がなされている。マタディ橋においては、主ケーブル内部を除く主ケーブル表面、補剛桁、主塔の塗装は OEBK によって良好に維持管理されている。
- (2) マタディ橋主ケーブル調査区間の腐食形態は日本での調査事例とほぼ同様と言える。ただ、ケーブルバンド部端部から錆び汁が出ていた下流側格点番号 24 と上流側格点番号 33 のバンド内部あるいはその近傍の主ケーブルの腐食が局所的に進んでいるかもしれない。（ケーブルバンド部の開放調査には、ハンガーロープの撤去のために、仮ハンガーロープの設置を必要とする。そのためには、大掛かりな仮設備と時間、そして多額の費用を必要とする。）
- (3) 調査区間の腐食の進行程度は日本に比較すると少し遅いようには観察される。その理由は明確ではないが、以下のようなことが考えられる。
 - 海塩粒子、及び工場から排出される有害なガスがなく、日本に比較して腐食にとっては良好な環境にある。
 - 主ケーブル内の水分の存在は、主ケーブル表面からの雨水の直接的浸入によるものと、表面の塗膜の微細な割れ目、あるいは塗膜自体を透過する空気が夜間の温度の低下によって内部で結露し蓄積される水分によるものと推察される。キンシャサ（マタディのデータが入手出来ないため代用）では年間を通しての最高温度（31℃）と最低温度（17℃）の温度差が小さいため、結露による水分の蓄積が少ないのではないかと推測する。
- (4) 少なくとも今回調査した区間のケーブル表面の素線の腐食の進行は、日本や英国などと比較すると遅いようであるが、内部の素線にも腐食は観察されており今後とも腐食は確実に進行するものと思われる。腐食が進行すれば、いずれ断線に至り、その時には多くの素線が似かよった状態に陥っていると考えられるべきであろう。断線した素線の復旧は不可能であるし、その後連鎖的に断線が発生することが予想される。
- (5) 道路・鉄道併用橋として計画されたマタディ橋は、鉄道が敷設されていない現状では設計に対して安全率に余裕があることは事実である。しかし、何十年後かの周辺地域の発展の可能性に対してどの程度の安全率を保持すればよいか、その安全率を計算するために十分な精度で腐食の進行を推測することが出来るかということ、それは不可能というべきであろう。現時点に想定される送気乾燥システム導入に要する金額は決して大きなものでない。今後とも、補剛桁、主塔とともに、主ケーブルにも本来の健全性を保持させることは、マタディ橋全体を管理する立場からの全うな姿勢と考える。

4.2 送気乾燥システム等の導入に伴う作業内容

現地詳細調査の結果、主ケーブル塗装表面に微細なクラックが観察されたために送気された乾燥空気の漏洩を防ぐために柔軟型塗料（例えばポリウレタン塗料）による再塗装を行う必要がある。日本側からは塗料の支給を行い、現場作業は OEBK が担う。

同じく、送気された乾燥空気の漏洩を防ぐために、ハンガーロープ鞍掛け部も含めケーブルバンド部コーキングの再施工及び追加施工が必要である。日本からコーキング材料の支給を行い、現場作業は OEBK が担う。

また、送気乾燥システムの導入に先立ちケーブルバンドボルトの再締め付けを実施する。日本側から必要資機材と技術指導を支援、現地作業は OEBK が担う。

マタディ橋に導入が想定される送気乾燥システムを図 4.1 に示した。送気乾燥装置を両主塔の下部水平材（補剛トラス下）に取付け、装置から各塔柱の中に塔頂までパイプを通し、さらに中央径間側の 1/4 点、側径間側の 1/2 点までパイプを導きそれぞれの箇所にて設けられた送気カバーから主ケーブル内へ乾燥空気を送り込む。送り込まれた乾燥空気は、

中央径間中央点の排気カバー（今回の開放調査箇所を想定）、塔頂サドル部、及びスプレーサドル部より排気される。

表 4-1 にこれらの作業内容の概要を示した。

表 4-1 作業内容

内 容
1. 送気乾燥システム関連
調査、設計、仕様書作成、積算、契約、施工監理
製作、輸送、現地据付・調整（技術指導）、運用指導
主ケーブル表面の補修用塗料
ケーブルバンド部のコーキング材料
2. ケーブルバンドボルトの再締め付け
調査、設計、仕様書作成、積算、契約、施工監理
資機材調達、輸送、現地技術指導

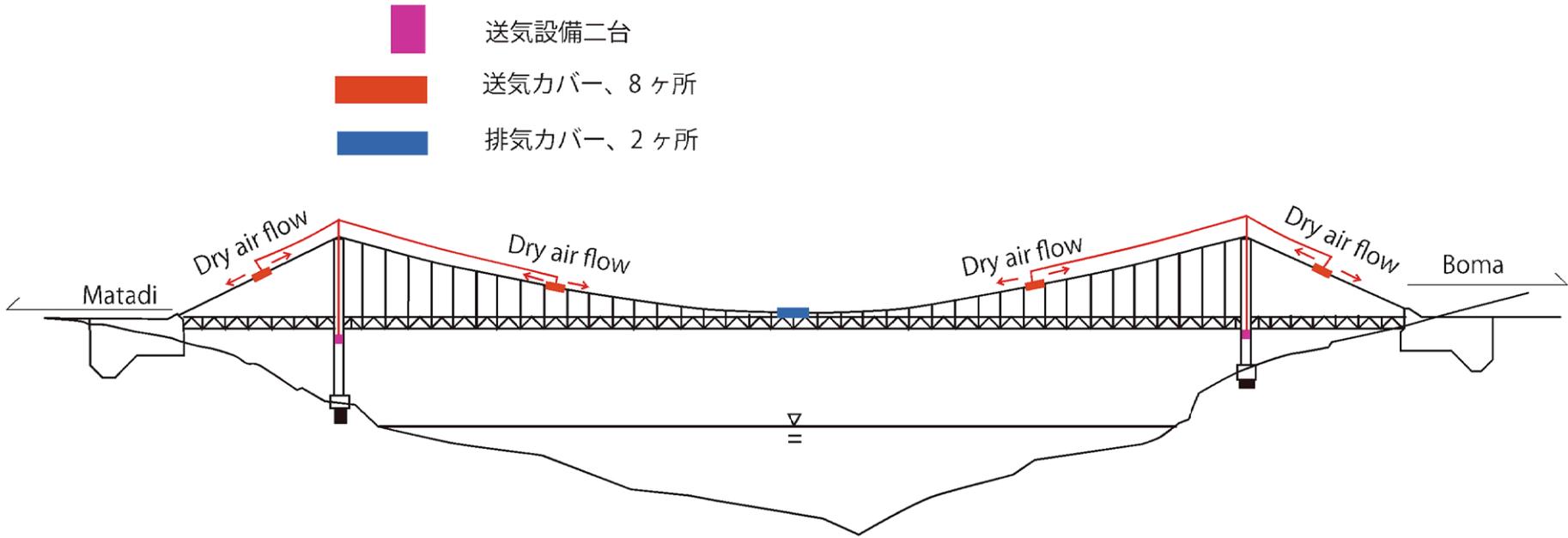


図 4-1 マタディ橋の送気乾燥システム概念図

第 5 章 OEBK の組織、体制等について

OEBK の組織については、2011 年度から大きな変化はない。Luthero 総裁が国会議員に転出し、副総裁であった Kidima 氏が総裁となった。また副総裁に Madiata 氏になった。Madiata 氏は維持管理部長と副総裁とを兼務している。

その他に大学卒の新卒採用として Christian Sefu 氏が採用された。現在は試用期間中である。OEBK の組織図を次ページ以降に示す。

表 5-1 OEBK の主要職員(青色が技術スタッフ)

No.	名前	役職名
1	キディマ、KIDIMA NUMA	総裁
2	マディアッタ、MADIATA NDELE BUBA	副総裁
3	マケンゴ、MAKENGO MABEKA	総務・財務部長
4	ゲサンガ、GESANGA MALIO	運営部長
5	マディアッタ、MADIATA NDELE BUBA	維持管理部長
6	カロンボ、KALOMBO MUKEBA	総裁補佐
7	ルコンボ、LUKOMBO NSIMBA	維持管理部次長
8	カブウェンデ、KABWENDE MATONGOLE	橋梁課長
9	ムントモシ、MUNTOMOSI TOMADIA	新規工事課長
10	ムブンビ、MVUMBI PUATI	アクセス道路担当課長
11	クリスティアン、CHRISTIAN SEFU	

第 6 章 提言

6.1 調査結果と提言

- (1) マタディ橋の主ケーブルにも腐食が確認された。
- (2) その腐食形態は、日本（本四連絡橋の吊橋）で確認されたものと同様である。
- (3) 腐食形態の進行は、日本と比較して遅いと言える。
- (4) しかし、腐食は確実に進行するため、その進展を止めることが必要で、現時点程度が送気乾燥システムを設置する適当な時期であると思われる。よって、送気乾燥システムの設置を提言する。

6.2 今後のスケジュール

送気乾燥システム導入を具体化するための作業項目とそれぞれに必要なとされる期間を以下のよう
に想定する。

- (1) 現地調査、設計、積算、及び契約図書作成；8ヶ月程度
- (2) 主ケーブル塗装及びケーブルバンド部コーキング；16ヶ月程度
塗料・コーキング材等調達・輸送；4ヶ月程度
塗装・コーキング現地作業；12ヶ月程度
- (3) 送気乾燥システム製作・輸送・据付及び運営指導；11ヶ月程度