# 報告 供用 10 年を経た新設電気防食橋梁の追跡調査結果

吉川 進\*1·加藤 丈和\*2·松山 公年\*3·丸山 久一\*4

要旨:北陸地整では、国内でも例の少ない電気防食工法を新設時の橋梁に適用しており、供用開始後、モニタリングによるデータの蓄積と電気防食効果の確認および塩害環境の把握(風向・風速や飛来塩分量等)を継続的に実施している。橋梁が供用期間 10 年を迎えたことから、追跡調査と電気防食の防食効果に懸念がある箇所について詳細調査を行った結果を報告する。塩害環境は、冬場の海側からの風が卓越し、飛来塩分量にも影響を与えていることが確認された。また、電気防食工法は、陽極材が表面に露出している工法では、砂の巻上げ等で陽極材が劣化し、電気防食の機能を低下させる可能性があることを確認した。

キーワード: 塩害, 電気防食桁, 復極量, 腐食

#### 1. はじめに

四方を海で囲まれている我が国では、海からの飛来塩分によるコンクリート構造物の塩害は、全国的な問題である<sup>1)</sup>。とくに、北陸地域では、日本海沿岸部の厳しい塩害環境下に置かれているコンクリート構造物が少なくない。そこで北陸地整では、塩害対策の検討・実施を先駆的に取り組んでおり、塩害対策の1つである電気防食工法を新設時の橋梁(2001年11月供用開始、写真-1)に適用した。電気防食工法を選定した理由として、継続的に防食効果が期待できること、他の工法よりもライフサイクルコストが抑えられることが挙げられる。しかし、採用にあたり適用環境に即した工法選定や維持管理手法を検討する必要があったことから、4種類の電気防食工法を適用し、供用開始以降、モニタリングによるデータの蓄積と電気防食効果の確認を継続的に実施している。今回、この橋梁が供用期間10年を迎えたことから、これまでの追跡調査と電気防食効果の懸念箇所について詳細調査を実施した結果を報告する。

## 2. 橋梁の概要

日本海側国道8号の名立大橋は、1962年に架橋された旧橋が塩害による損傷が激しく撤去された(2002年)ことに伴い、2000年3月~11月に新しく架設し、2001年11月より供用を開始した。橋梁の概要を表-1、新・旧名立大橋、気象観測装置、暴露供試体の位置図を写真-2、電気防食工法の特徴を表-2に示す。当該橋梁は、供用開始後10年が経過しており、新設時から桁下面に塩害対策として電気防食工法が施されている。電気防食工法は、新設橋への適用性および長期防食効果を調査するため、橋梁下面全体を4分割し、図-1に示す4工法が適用されており、暴露供試体も橋梁の近傍に設置している。橋梁は、写真-1、写真-2に示すとおり海沿いに位置し、海からの飛来塩分の影響を受けやすい状況である。また、冬期には、路面に凍結

防止剤が散布されている状況である。

### 3. 調査・試験スケジュール

「新名立大橋電気防食技術検討会」で決定した 10 年間の調査・試験スケジュール (表-3) に基づき,調査および試験を行った。調査項目は,腐食環境調査,目視観測,保守点検(電気防食追跡調査)の3項目に大別される。

#### 3.1 腐食環境調査

腐食環境調査は、名立大橋近傍で気象調査および凍結防止剤



写真-1 名立大橋全景(山側からの撮影)

表-1 橋梁概要

橋梁名	名立大橋
設計活荷重	B活荷重
橋長	75.300m
桁長	A1~P1:36.00m P1~A2:39.10m
支間長	A1~P1:35.10m P1~A2:38.20m
上部工構造形式	PC単純ポストテンションバイプレ方式中空床版橋
下部工構造形式	逆T式橋台、壁式橋脚
基礎形式	直接基礎
桁高	1.50m
幅員構成	21.00m(3.5+2.0+3.5+3.0+3.5+2.0+3.5)
電気防食工法	A1~P1(山側): チタンリボンメッシュ方式 A1~P1(海側): チタングリッド方式 P1~A2(山側): チタンロッド方式 P1~A2(海側): チタン溶射方式
供用開始	2001年11月

<sup>\*1</sup> 国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所 (正会員)

<sup>\*2</sup>国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所 (正会員)

<sup>\*3</sup>日本工営(株) 工博 (正会員)

<sup>\*4</sup>長岡技術科学大学 Ph.D. (正会員)

散布量調査が行われた。飛来塩分量調査(土研式)は、2002年2月から最初の3年間は名立大橋の腐食環境が著しい時期や傾向を確認するため、1回/月で実施し、4年目以降は過年度調査結果を基に測定頻度は落として実施した。また、コンクリート表面の拭き取り調査を2001年10月から実施した。

## 3.2 目視観測

名立大橋のひび割れ、錆汁、塗膜の割れ、電気防食装置の異常等に関して目視観測を1回/年の頻度で実施した。

#### 3.3 保守点検 (電気防食追跡調査)

通常点検(巡視)は遠隔モニタリングしているデータにより 常時防食効果を確認し、定期点検および詳細点検は、名立大橋 にて電位の確認および直流電源装置や無停電電源装置の稼働状 況確認を1回/年で実施した。

チタンリボンメッシュ方式



写真-2 新・旧名立大橋 気象観測装置 暴露供試体の位置図

### 4. 調查·試験内容

## 4.1 腐食環境調査

### (1) 気象調査

チタングリッド方式

風速・風向と飛来塩分との相関関係を調べることを目的として、名立大橋近傍に設置された気象観測装置 (写真-2) からのデータを収集・整理し、気象特性を分析した。

チタン溶射方式

表-2 電気防食方式の特徴

チタンロッド方式

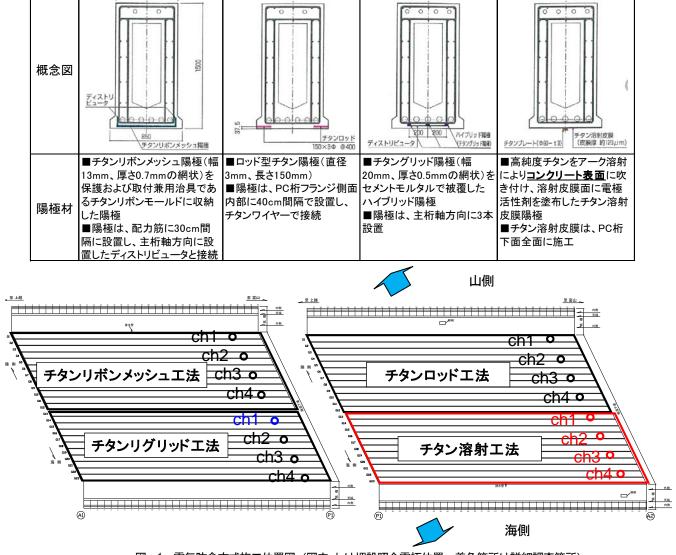


図-1 電気防食方式施工位置図 (図内 ch は埋設照合電極位置, 着色箇所は詳細調査箇所)

表-3 実橋の調査および試験スケジュール

項目		過去	1年目 (2001年度)	2年目 (2002年度)	3年目 (2003年度)	4年目 (2004年度)	5年目 (2005年度)	6年目 (2006年度)	7年目 (2007年度)	8年目 (2008年度)	9年目	10年目	10年目 以降
腐	気象調査	1998.12~	_				各月毎						
食環境調	飛来塩分量調査(土研式) 表面ふき取り調査		2001.10	002.2~	1回/月				2回/年				
査	凍結防止材散布量調査		•				各月毎						•
観	ひび割れ, 錆汁, 塗膜, 電気 防食装置の目視観測		<b>—</b>				1回/年					<b></b>	
測	①通常点検					常田	寺(遠隔に。	よるモニタリ	<b>リング</b> )				
保守点	②定期点検					外観目視	は1回/年,	外観目視	以外は常田	<del>-</del>			
検	③詳細点検						1回/年						

#### (2) 飛来塩分量調査

飛来塩分は、土研式飛来塩分捕集器を用いた。

塩分捕集器を橋梁の近傍に設置し、試料は、一定期間(1ヶ月間)放置後、ステンレス製捕集器に付着している塩分を精製水により洗い、下のポリタンクの中に溶液を捕集する。分析は、電位差滴定法(JISA1154)により行った。

#### (3) 表面拭き取り調査

試料の採取方法および分析は、鋼橋塗膜調査 JISS IV03 (日本鋼構造協会) に示される「塗膜汚染物質とさびの分析」に準拠して行った。調査対象は、G3桁(山側)の3箇所、G12桁(中間)3箇所、G23桁(海側)2箇所の合計8箇所で行った。

## (4) 凍結防止剤散布量調査

名立大橋に散布される凍結防止剤について,薬剤散布車の記録(散布量,回数)を集計し,過年度データを併せて分析した。

#### 4.2 目視観測調査

目視観測調査は、補修点検の定期点検及び詳細点検と合わせて実施した。供試体に近接し、ひび割れや浮き、剥離、錆汁などの変状の有無を目視で確認した。

## 4.3 保守点検 (電気防食追跡調査)

電気防食の効果を確認するため、ON電位、Instant Off電位、通電停止1時間後、4時間後、24時間後の電位を測定し、復極量を算出した。対象は電気防食を施工した桁に対して実施した。これらの桁の内部には照合電極が埋め込まれており、鋼材の電位及び復極量がモニタリングされている。

### 5. 調查·試験結果

### 5.1 腐食環境調査

## (1) 気象調査

気象調査結果を図-2に示す。観測開始(2002年11月)から傾向が同様であるため代表例として、2010年11月から2011年2月までに実施した結果を示す。11月~2月までの4ヶ月間で、風向別最大風速は西側の風が最も卓越しており、これは海岸側からの風であることから、塩害に大きな影響を及ぼすと考えられる。

#### (2) 飛来塩分量調査

飛来塩分量結果を**図-3**に示す。図は2002年から2005年に実施した結果である。

調査の結果, 気象調査で確認された季節風(海からの西風) が強くなる11月から3月までが飛来塩分の付着量も多くなる傾 向が見られた。

#### (3) 表面拭き取り調査

名立大橋桁下面の表面拭き取り調査結果を図ー4に示す。本 結果は、2003年10月から2004年9月の期間に得られたものであ

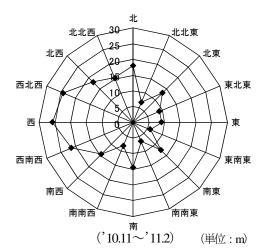


図-2 風向別最大風速 (2010.11~2011.2)

18
16
(Ap) (Ap) 12
(Ap) (Ap) 10
17
18
18
16
(Ap) (Ap) 12
(Ap) (Ap) 12
(Ap) 1

図-3 土研式飛来塩分量調査結果(2002~2005)

る。風速が大きくなる11月頃から飛来塩分の付着量が多くなり、 風の影響を受けやすい海側のG22桁において、G13(山側)、 G12桁(中間)より多くの飛来塩分が付着した結果となった。

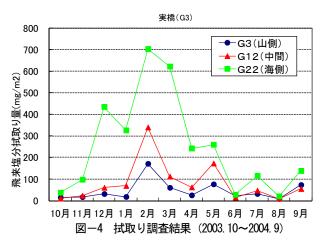
#### (4) 凍結防止剤散布量調査

凍結防止剤の散布量は、2001年度の集計開始から2004年度までは年々増加し、2005年度から2010年度にかけては変動を繰り返しながら減少傾向にある(図一5)。月別における凍結防止剤の散布量は1月、2月に多く散布される傾向がある。1月、2月の平均気温は、例年、他の月に比較して低いため、凍結防止剤の散布量も多くなったと考えられる。以上の結果、名立大橋の凍結防止剤の散布状況は、近年、散布量は減少傾向にあるが、これまで多くの凍結防止剤が散布され、気温の低くなる1月、2月に集中して散布されている。

## 5.2 目視観測調査

特徴的な変状は、チタン溶射方式の下面におけるチタン皮膜 (陽極材)の劣化である。チタン溶射皮膜の劣化は、劣化面積 が徐々に拡大している(**写真-3**)。

壁高欄のひび割れは、コンクリートの収縮によるものと考えられ、毎年新規発生、進展が確認されるが、大部分のひび割れ



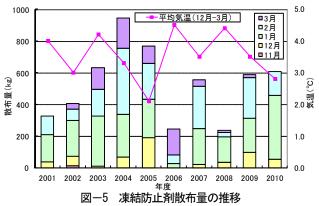






写真-3 チタン皮膜の劣化(左)及び壁高欄ひび割れ(右)

は、幅が0.2mm以下と小さいので、現状では内部鋼材の腐食に 進行を及ぼすものではないと考えられる。

### 5.3 保守点検 (電気防食追跡調査)

#### (1) 通常点検

遠隔監視制御システムにより電源装置の運転状況の確認を実施し、落雷による無停電電源装置の故障等を把握した。

#### (2) 定期点検および詳細点検

復極量測定結果を図ー6に示す。復極量は夏季に減少し、冬季に増加する傾向を繰り返している。電気防食方式において防食基準100mVを概ね満足している状況が確認された。しかし、チタングリッド工法のchlは復極量が防食基準(100mv)を通年で下回り、チタン溶射工法の全chにて復極量が大きくばらつく傾向が確認された。復極量が異常な値を示す原因を早急に究明し、適切な対策を講じるため、2010年度に詳細調査を実施した。

#### 6. 詳細調査

### 6.1 詳細調査方法

#### (1) 照合電極電位調査

埋設している照合電極が正常に機能しているか確認するため, 照合電極電位調査を実施した。チタン溶射は, 陽極電位の影響を受けないように測定箇所をグラインダーで削り測定した。

## (2) 電流供給不具合調査

照合電極電位調査にて異常が確認されなかった箇所では、電 流供給に起因する不具合で正確な測定値が得られていない可能 性がある。従って、以下の2つの調査を実施した。

## 1) 配線不具合調査

配線の不具合の有無を確認するため、各接続点間の配線の導 通確認をマルチメータにて実施した。

## 2) 電流分配確認調査 (チタン溶射工法のみ)

チタン溶射工法で復極量が大きくばらついていたため,各桁 へ均等に電流が流れているか確認する調査を実施した。

各桁の配線を遮断し、各桁を独立させ、桁につながっている 配線に電流計を設置し、桁に流れている電流値を計測した。

### (3) 陽極材劣化調査 (チタン溶射工法のみ)

チタン溶射工法は、陽極材が剥き出しの状態で適用されている。橋梁の設置位置は、冬場に海側(西)から強風が吹く。従って、砂などが混ざった強風が陽極材に衝突し、陽極材が劣化している可能性があった。そこで、各桁のプルボックス内のチタンプレートとチタン溶射皮膜にマルチメータの端子を接続し、電位値を測定し、陽極材の導通状況を確認した。これにより、陽極材の剝れや消耗状況を確認することが可能となる。

## 6.2 詳細調査結果

### (1) 照合電極電位調査

表-4にチタン溶射工法の照合電極電位調査結果を示す。各 chで、埋設照合電極と携帯用照合電極の測定電位値(左欄)と 電位値を用いて算出した復極量(右欄)を示す。

表-4で、赤枠で囲った復極量の値は、埋設照合電極により得られた鋼材の電位値より算出したものであり、通電停止後、

時間の経過に伴い値が増減した。一方,携帯用照合電極で測定した鋼材電位より算出した復極量は,漸増した。一般的に,防食電流が流れていれば,復極量は,通電停止後,時間の経過と共に増加する。従って,携帯用照電極にて,電気防食は正常に機能していることが確認でき,コンクリート内部に埋設されている照合電極が異常であることが確認できた。また,チタングリッド工法の結果も同様であった。

照合電極が異常になった理由は、照合電極内部の水分が乾燥し、電位測定に弊害のある電気抵抗が増加したことが考えられる。また、チタン溶射工法のch2は、携帯用照合電極の測定値で、通電停止後24時間後の復極量が、防食基準の100mVを下回っており、防食効果が低下している結果となった。この原因は、電流分配確認調査で示す。

## (2) 電流供給不具合調査

## 1) 配線不具合調査

各接続点間の導通確認を実施し、全て電位値 ImV を 下回った。従って、配線不具合はないと判断した。

### 2) 電流分配確認調査

表-5に電流分配確認調査結果を示す。表-5は、各桁に流れている電流値と全体の電流値に対する各桁への流入率を示している。GI3桁からGI7桁までは、流入率が約10~20%であった。桁の設置関係は、GI3桁からGI7桁は山側で、GI8桁からG23桁は海側である。調査結果から、山側の桁に流れる電流は少なく、海側の桁に流れる電流は多いことが確認された。この理由は、コンクリート表面の乾湿の違いによる電気抵抗の大小が考えられる。海側は、海水により湿潤状態にあり、電気抵抗が小さく、山側は、乾燥により電気抵抗が大きいと考えられる。なお、照合電極電位調査で、チタン溶射工法にて、復極量が防食基準を下回ったch2は、山側のGI6桁に埋設されている。従って、電流が流れにくい環境であることが防食効果の低下を招いたと考えられる。

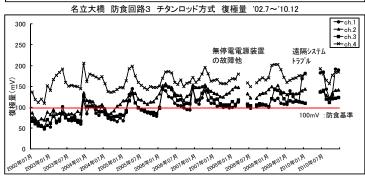
## (3) 陽極材 (チタン溶射皮膜) 劣化調査

写真-5 に、チタンプレートとチタン溶射皮膜の電 位値差確認点とチタン溶射皮膜の劣化状況を、表-6 に、電位差確認結果を示す。

表-6 で赤く塗られている箇所は、プルボックス内のチタンプレートとチタン溶射皮膜の電位差が 1mV 以上あった箇所であり、山側の桁で顕著であった。これは導通が低下し電気が流れにくいことを意味する。チタン溶射工法は、チタン溶射皮膜が剥き出しで供用されていることから、砂等の物理損傷でチタン溶射皮膜が剝れ落ち、導通が低下したと想定された。そこで、目視でチタン溶射皮膜の剝れ落ちを確認した箇所(写真-5)で電位差を確認すると、1mVを大きく上回ることを確認した。従って、チタン溶射皮膜の剝れ落ちにより、導通が低下し電流が流れにくくなったと考えら

れる。

チタン溶射皮膜が剝れ落ちた理由は、橋梁側面に堆積した砂が、風により巻き上げられ衝突したことが挙げられる。その根拠は、チタン溶射工法は、4 つの工法の中で、海側の桁で適用されており、風の影響を最も受けることや橋梁側面には砂が堆積していることである。さらに、チタン溶射皮膜に付着している物質を観察・分析した結果(図-7)、付着物は陽極材の主成分である、チタン以外に、砂(石英)、塩(NaCl)が検出され、チタン溶射皮膜に砂が触れる環境であることを確認した。また、山側でチタン溶射皮膜の剝れ落ちによる導通の低下で電流が流れにくくなったことは、表-5 の傾向とも一致する。従って、チタン溶射工法で、復極量が大きくばらつく原因は、コンクリート表面の湿潤状態やチタン溶射皮膜の劣化によ



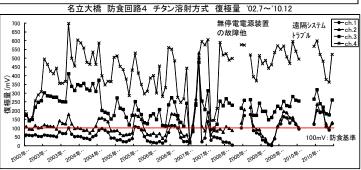


図-6 電気防食追跡調査結果

り、各桁へ流れる電流量が異なることが原因と考えられる。

## 7. 復極量変動原因に対する対応策

## 7.1 埋設照合電極の異常

埋設照合電極の異常(チタングリッド工法 ch1, チタン溶射 工法 ch1, ch2) は、新規照合電極への取替が必要である。

#### 7.2 チタン溶射皮膜の劣化

チタン溶射皮膜の劣化が確認されたチタン溶射工法の山側 の桁(G13~G17桁)は、チタン溶射を再溶射する必要があり、 物理的損傷に対しては、被覆材塗布で保護する。

#### 8. まとめ

供用 10 年を経過した新設電気防食橋梁の追跡調査から以下 のことがわかった。腐食環境調査より、冬期は海側からの西風 が卓越し、橋梁への飛来塩分の付着量が増大する傾向が確認さ れた。目視観測調査より、チタン溶射方式の桁にてチタン溶射 皮膜の劣化が拡大していることが確認された。

また, 電気防食工法のモニタリングデータより, 電気防食 効果低下の可能性を把握し,詳細調査で詳しく調査することで, 以下のことがわかった。桁内部に埋設された照合電極の電位測 定結果と正常な携帯用照合電極の電位測定結果の比較により、 桁内部に埋設されている照合電極が異常であることが確認でき た。電流分配確認調査(チタン溶射のみ)より、山側の桁に流 れる電流は少なく、海側の桁に流れる電流は多いことが確認さ れた。この理由は、コンクリート表面の乾湿の違いによる電気 抵抗の大小やチタン溶射皮膜劣化調査結果によるチタン溶射皮 膜の劣化が原因である。

チタン溶射は、桁下に堆砂がある強風環境下では適用を避 けるか、又は、防砂林や表面被覆等の対策を施す必要がある。

#### 9. 謝辞

本報告作成に対し、ご指導をいただいた新潟大学佐伯准教 授、長岡技術科学大学下村准教授、田中助教に感謝の意を表し ます。

### 10. 参考文献

1) 橋梁塩害対策検討委員会:塩害橋梁維持管理マニュアル (案),橋梁塩害対策検討委員会,2008

表一4	照合電極電位調査結果

電気防食工法	チタン溶射工法																
		ch1(桁看	番号:13)		ch2(桁番号:16)				ch3(桁番号:19)				ch4(桁番号:22)				
	埋設		携帯用		埋設		携帯用		埋設		携帯用		埋設		携帯用		
測定項目	照合	照合電極 照合電極		電極	照合電極		照合	照合電極		照合電極		照合電極		照合電極		照合電極	
	電位値	復極量	電位値	復極量	電位値	復極量	電位値	復極量	電位値	復極量	電位値	復極量	電位値	復極量	電位値	復極量	
	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	
On電位	-542	_	-1715	_	-125	_	-182	_	-489	_	-1805	_	-545	_	-1685	_	
Ins.Off電位	-523	0	-625	0	-114	0	-174	0	-463	0	-685	0	-541	0	-645	0	
Off電位 1 時間後	-185	338	-406	219	-87	27	-177	-3	-213	250	-390	295	-442	99	-397	248	
Off電位 4 時間後	30	553	-365	260	17	131	-142	32	-197	266	-351	334	-237	304	-356	289	
Off電位 8 時間後	-119	404	-343	282	-35	79	-141	33	-181	282	-337	348	-207	334	-328	317	
Off電位 24 時間後	-78	445	-297	328	59	173	-139	35	-144	319	-284	401	-184	357	-319	326	

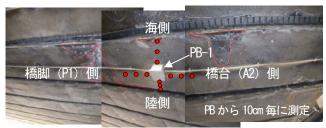


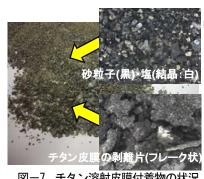
写真-5 チタンプレートとチタン溶射皮膜の電位差確認点と劣化状態

表-6 チタンプレートとチタン溶射皮膜の電位差確認結果

測定	PB-1												
位置	вох	海側			陸側			橋	台(A2	)側	橋脚(P1)側		
江巨	内	10cm	20cm	30cm	10cm	20cm	30cm	10cm	20cm	30cm	10cm	20cm	30cm
G13	0.5	0.7	0.6	0.6	0.8	0.9	1.2	0.9	0.9	1.0	0.6	0.6	0.6
G14	0.1	-			-			0.6	0.6	0.6	1.2	1.2	1.3
G15	0.1	-	-	-	0.8	0.9		1.0	1.0	1.1	0.7	0.7	0.8
G16	0.0												
G17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2				0.0	0.0	0.1
G18	0.4	0.7	0.7	0.7	0.4	0.4		1.0	1.1	1.1	0.4	0.4	0.5
G19	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
G20	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
G21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
G22	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.4
G23	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4

表一5 雷流分配確認調查結里

表一5 冒	<b>三流分</b> 距	1推認制1	<b></b>
測定箇所	測定 電流値	桁流入 割合	山側
G13桁	0.475A	5.4%	
G14桁	0.135A	1.5%	
G15桁	0.400A	4.5%	
G16桁	0.405A	4.6%	
G17桁	0.135A	1.5%	
G18桁	1.405A	15.9%	
G19桁	1.395A	15.8%	
G20桁	0.955A	10.8%	
G21桁	1.395A	15.8%	
G22桁	1.655A	18.7%	llL
G23桁	1.890A	21.4%	
合計	8.850A	100.0%	海側



窒化チタン 石英

図-7 チタン溶射皮膜付着物の状況(顕微鏡観察)と分析結果(粉末 X 線分析)