

新設橋梁における電気防食の効果検証

令和2年3月

橋梁塩害対策検討委員会
北陸地方整備局 北陸技術事務所

目 次

第1章 検討の目的	1
1.1 背景・目的	1
1.2 対象橋梁概要	1
1.3 補修補強履歴	2
第2章 電気防食概要	2
2.1 電気防食概要図	2
2.2 測定回路一覧	3
2.3 全体概要	3
2.4 試験施工工法特徴	5
第3章 10ヵ年調査（追跡調査）	5
3.1 目的	5
3.2 実施方法	5
3.3 外観目視	7
3.3.1 目的	7
3.3.2 方法	7
3.3.3 結果	8
3.4 打音法	16
3.4.1 目的	16
3.4.2 実施方法	16
3.4.3 結果	16
3.5 反発硬度法	16
3.5.1 目的	16
3.5.2 実施方法	17
3.5.3 結果	17
3.6 塩化物イオン含有量分析	17
3.6.1 目的	17
3.6.2 実施方法	18
3.6.3 結果	18
3.7 中性化深さの測定	18
3.7.1 目的	18
3.7.2 実施方法	19
3.7.3 結果	19
3.8 一軸圧縮試験	19
3.8.1 目的	19

3.8.2	実施方法	19
3.8.3	結果	19
3.9	自然電位	19
3.9.1	目的	19
3.9.2	実施方法	19
3.9.3	結果	20
第4章	詳細調査	20
4.1	目的	20
4.2	位置図	20
4.3	調査項目・実施方法	20
4.4	結果	21
4.4.1	鉄筋腐食状況観察	21
4.4.2	アルカリ量分析	22
4.4.3	拭き取り塩分量調査	22
4.4.4	EPMA分析	23
第5章	復極量調査（追跡調査）	27
5.1	目的	27
5.2	モニタリング方法	27
5.3	モニタリング結果	27
5.4	復極量変動の原因	29
5.4.1	背景	29
5.4.2	不具合原因特定に向けた調査	29
5.5	遠隔監視制御装置の不具合	32
5.5.1	目的	32
5.5.2	不具合の経緯	32
5.5.3	点検方法	33
5.5.4	点検結果	35
5.5.5	新たな方法による電気防食データの取得方法	37

第1章 検討の目的

1.1 背景・目的

旧橋は、昭和36年（1961年）にPC単純ポステン×3連で架橋され、塩害による劣化により平成13年（2001年）に現橋への架替が実施された。

新橋は、旧橋より海側に架設することから、それまでの塩害対策では、耐久性に課題があった。

そこで、既設橋梁の塩害対策に適用し始めていた電気防食に着目したが、新設橋梁での電気防食事例が乏しかったことから、「新道路技術5ヵ年計画（平成10年（1998年）11月策定）」の一環で実証実験として、電気防食の有効性の確認と工法選定のための指標を得る目的で電気防食を設置した。

外部電源方式は4工法、チタンリボンメッシュ方式、チタングリッド方式、チタンロッド方式、チタン溶射方式を設置した。

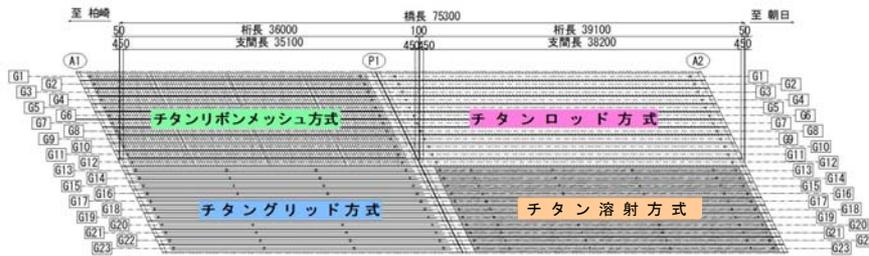


図 1.1.1 電気防食概要図

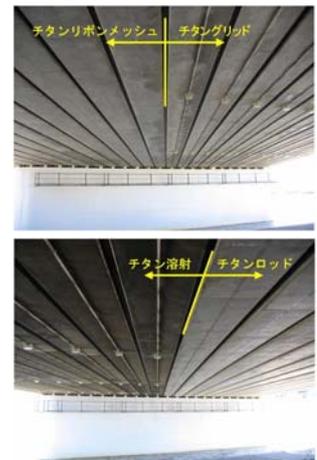


図 1.1.2 電気防食状況

1.2 対象橋梁概要

橋長：75.300m

幅員：21.0m

上部工形式：PC2 径間連結ポステンション方式バイプレ中空床版橋

完成：平成13年（2001年）

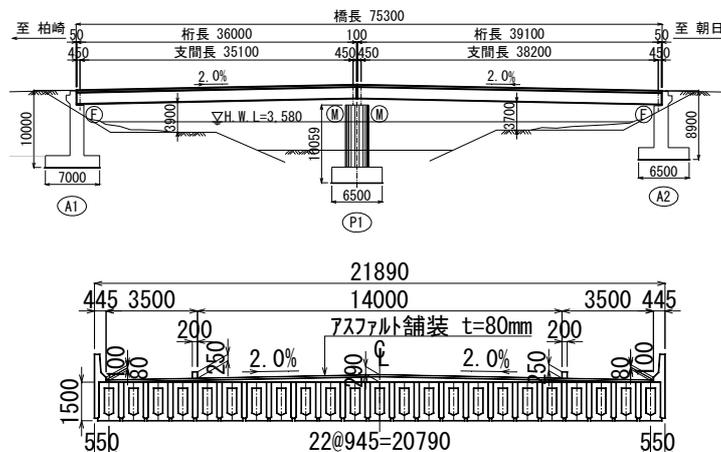


図 1.2.1 橋梁一般図

1.3 補修補強履歴

表 1.3.1 補修履歴一覧

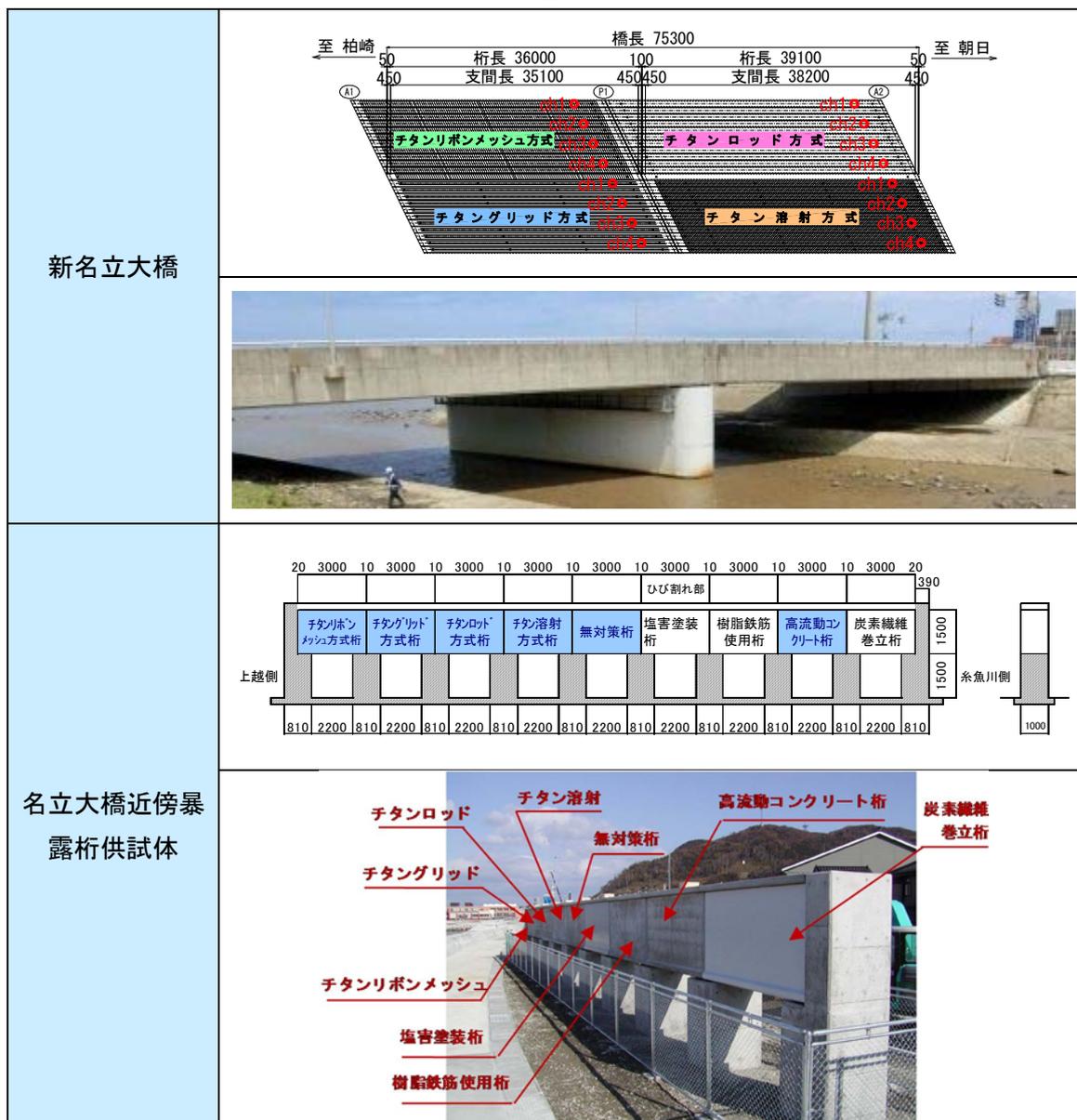
年度	内容
平成 21 年 (2009 年)	伸縮装置取替え
平成 22 年 (2010 年)	電気防食整備補修工 (チタングリッド方式 : ch4, 照合電極取替え : ハフニウム→鉛)
平成 23 年 (2011 年)	電気防食整備補修工 (チタングリッド方式 : ch1, 照合電極取替え : ハフニウム→鉛)
平成 24 年 (2012 年)	電気防食整備補修工 (チタングリッド方式 : ch2・3, 照合電極取替え : ハフニウム→鉛)

第 2 章 電気防食概要

2.1 電気防食概要図

以下に示す。

表 2.1.1 電気防食概要図



2.2 測定回路一覧

局舎内の直流電源装置内の回路を以下に示す。

表 2.2.1 計測回路一覧

新名立大橋	回路 1 : チタンリボンメッシュ	回路 2 : チタングリット	回路 3 : チタンロッド	回路 4 : チタン溶射
名立大橋 近傍暴露桁供試体	回路 5 : チタンリボンメッシュ	回路 6 : チタングリット	回路 7 : チタンロッド	回路 8 : チタン溶射
	回路 9 : 無対策	回路 10 : 塗装	回路 11 : 高流動コンクリート	

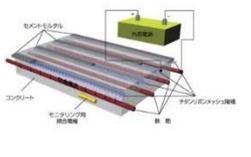
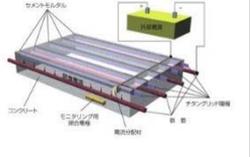
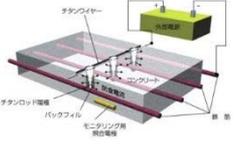
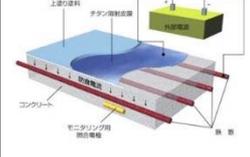
2.3 全体概要

次頁に示す。

2.4 試験施工工法特徴

電気防食方式の概要を表 2.4.1 に示す。

表 2.4.1 電気防食方式概要

方式	外部電源方式				
	線状陽極方式		点状陽極方式	面状陽極方式	
	チタンメッシュ方式	チタングリッド方式	チタンロッド工法	チタン溶射方式	
概要図					
概要	金属酸化物をコーティングしたりボンメッシュ陽極をコンクリート表面に一定間隔で切削した溝に設置し、セメントモルタルにより充填する	金属酸化物をコーティングしたグリッド陽極をコンクリート表面に一定間隔で切削した溝に設置し、セメントモルタルにより充填する	金属酸化物をコーティングした線状の内部挿入陽極をコンクリートにかけた直径 12mm~25mm の孔の内部にバックフィルと共に挿入する。各電極はチタンワイヤーで結束し、モルタルで埋設する	金属チタンをコンクリート表面に溶射し、触媒液塗布をすることにより、陽極皮膜を形成する	
特徴	死荷重増加	無し ◎	無し ◎	無し ◎	
	切削の有無	有り (範囲大) ▲	有り (範囲中) △	無し ◎	
	設置後の観察性	目視可能 ◎	目視可能 ◎	目視可能 ◎	主桁コンクリートは目視できない ▲
		飛砂耐久性	耐久性あり ◎	耐久性あり ◎	耐久性なし ×

第3章 10ヵ年調査 (追跡調査)

3.1 目的

塩害による鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食を未然に防止するために、桁の底面に電気防食を行った。

電気防食工法の効果を確認するために平成 13 年 (2001 年) から平成 22 年 (2010 年) の 10 年間、追跡調査を行った。

なお、平成 22 年 (2010 年) 以降も目視調査と自然電位測定は、継続して実施している。

3.2 実施方法

調査内容、方法を表 3.2.1 に、期間を表 3.2.2 に示す。

また、腐食環境調査 (気象調査・飛来塩分調査・凍結防止剤散布量調査) は、別資料 (環境の違いによる塩害進行予測手法の検討) にてまとめる。

表 3.2.1 追跡調査内容及び方法

項目	内容	方法	
腐食環境調査	気象調査	高田工事事務所が名立(149.9KP)地点に設置している気象計測器により、過去の平均風速・最大風速・最多風向に関する調査を行う。 また、新名立大橋近傍に新規に設置する気象計測器により、今後の平均風速・最大風速・最多風向に関する調査を行う。	既設気象計測器を利用して過去の調査を行い、新規の気象計測器を利用して今後の調査を行う。また、地形データや距離データに関しては、現地および図面にて確認を行う。(集計は、12月～2月までの3ヶ月)
	飛来塩分量調査	下記に示す合計19箇所で飛来塩分量の調査を行う。 土研式(2箇所設置)……………2箇所 表面拭き取り式……………暴露供試体9体からそれぞれ1箇所ずつおよび実橋から8箇所の合計17箇所	土研式、表面拭き取り式により行う。
	凍結防止剤散布量調査	新名立大橋における凍結防止剤の散布量調査を行う。	薬剤散布車の記録により行う。
目視観測	ひび割れ、錆汁、塗膜、電気防食装置の目視観測	実橋および暴露供試体について、ひび割れ、錆汁、塗膜劣化の発生時期、規模、位置や電気防食(配線、電源装置、遠隔監視装置)の点検を行う。	目視により行う。
物理・力学・電気化学試験	打音法	鋼材腐食によるかぶりコンクリートのうきの調査を行う。	点検ハンマーにより行う。
	反発硬度法	コンクリートの反発硬度の確認を行う。	シュミットハンマーにより行う。
	自然電位法	鉄筋の腐食状況や位置の確認を行う。	自然電位方により行う。
	コア採取	Φ50mm、L=100mmのコアを8本採取する。(暴露供試体のうち無対策桁および高流動コンクリート桁からそれぞれ4本計8本)	コアボーリングマシーンにより採取する。
	塩化物イオン含有塩量分析	採取したコアにより、塩化物イオン含有量の分析を行う。また、採取したコアをスライスすることにより、表面からの塩化物イオン濃度分布を把握する。(暴露供試体のうち無対策桁および高流動コンクリート桁からそれぞれ1本計2本)	無対策桁および高流動コンクリート桁から採取したコアからそれぞれ1本を割裂し、その一方を2.0cmピッチでスライスし、濃度分布を計測する。
	中性深さの測定	採取したコアにより、中性深さの測定を行う。(暴露供試体のうち無対策桁および高流動コンクリート桁からそれぞれ1本計2本)	無対策桁および高流動コンクリート桁から採取したコアからそれぞれ1本を割裂し、その一方の割裂面にてフェノールフタレイン法により行う。
	一軸圧縮試験	無対策桁および高流動コンクリート桁からそれぞれ3本のコアにより、強度の変化を取りまとめる。	一軸圧縮試験により行う。
保守点検	①通常点検	電源装置の運転状況の確認。	遠隔監視制御システムにより自動化
	②定期点検	電位の確認、防食効果の確認・試験・通電量の調整および外観目視	外観目視以外は、遠隔監視制御システムにより自動化
	③詳細点検	陽極、配線配管、電源装置のメンテナンス	目視により行う。
	①および②の外観目視以外に関しては、常時事務所で管理できるシステムとなっているため、現地に向向く必要はない。		

表 3.2.2 追跡調査期間

項目	過去	1年目(H13)	2年目(H14)	3年目(H15)	4年目(H16)	5年目(H17)	6年目(H18)	7年目(H19)	8年目(H20)	9年目(H21)	10年目(H22)	10年目以降	
腐食環境調査	気象調査	5年間各月毎											
	飛来塩分量調査	1回/月			1回/年							10年目以降	
	凍結防止剤散布量調査	各月毎											
目視観測	ひび割れ、錆汁、塗膜、電気防食装置の目視観測	1回/年											
物理・力学・電気化学試験	打音法	目視観測により、損傷が確認されたときのみ											
	反発硬度法	目視観測により、損傷が確認されたときのみ											
	レーダ法												
	自然電位法	1回/年											
	コア採取	1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		10年目以降	
	塩化物イオン含有量分析	1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		10年目以降	
	中性化深さの測定	1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		10年目以降	
一軸圧縮試験	1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		1回/年		10年目以降		
保守点検	①通常点検	常時											
	②定期点検	外観目視は1回/年、外観目視以外は常時											
	③詳細点検	1回/年											

3.3 外観目視

3.3.1 目的

実橋と桁供試体の現状を把握する。また、電気防食装置（配線，電源装置，遠望監視装置）の点検（外観異常）も併せて行う。

3.3.2 方法

目視にて行う。

3.3.3 結果

< 損傷図 >

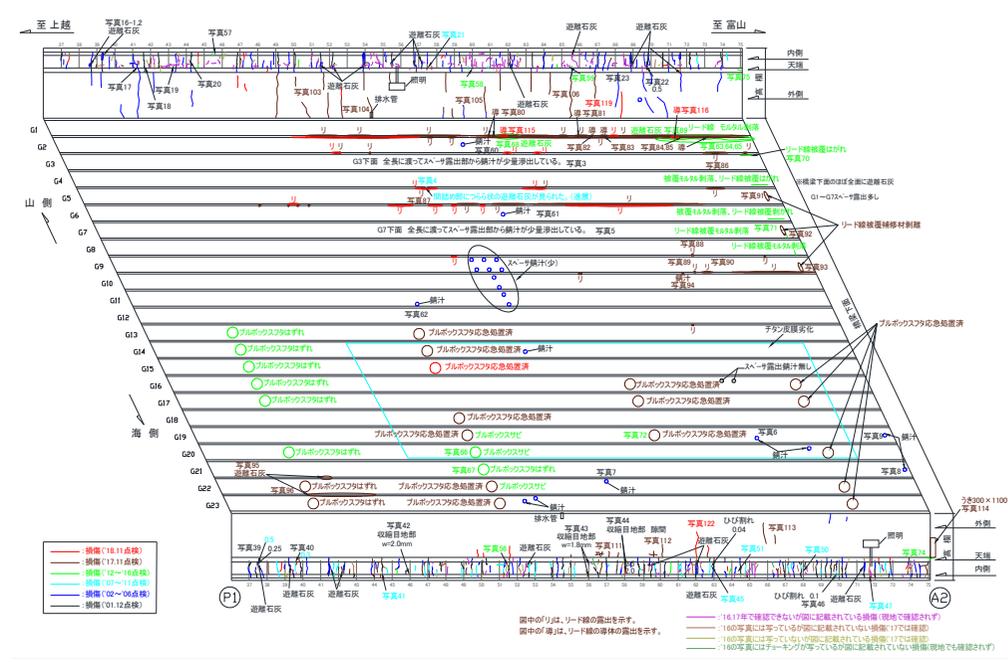
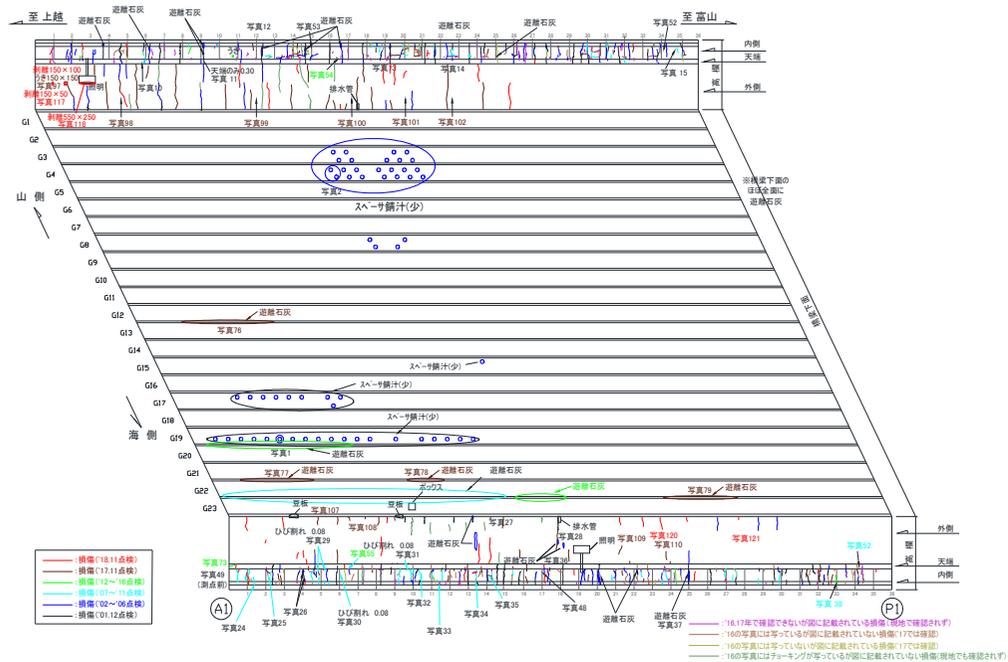


図 3.3.1 損傷図

<変状経年比較>

・チタンメッシュ工法

表 3.3.1 変状経年比較 (チタンメッシュ工法)

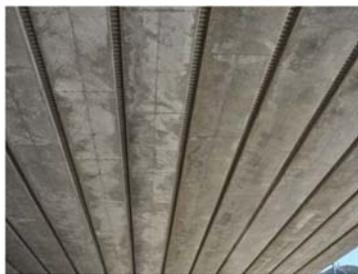
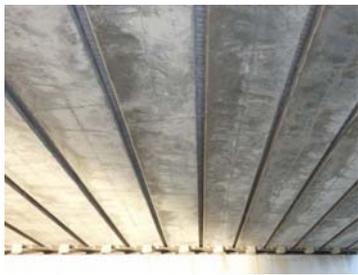
平成 13 年 (2001 年)	平成 14 年 (2002 年)	平成 15 年 (2003 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 17 年 (2005 年)
				
平成 18 年 (2006 年)	平成 19 年 (2007 年)	平成 20 年 (2008 年)	平成 21 年 (2009 年)	平成 22 年 (2010 年)
				
平成 23 年 (2011 年)	平成 24 年 (2012 年)	平成 25 年 (2013 年)	平成 26 年 (2014 年)	平成 27 年 (2015 年)
特徴的な変化なし	特徴的な変化なし	特徴的な変化なし	特徴的な変化なし	特徴的な変化なし
平成 28 年 (2016 年)	平成 29 年 (2018 年)	平成 30 年 (2019 年)		
特徴的な変化なし				

表 3.3.2 変状経年比較 (チタングリット工法)

平成 13 年 (2001 年)	平成 14 年 (2002 年)	平成 15 年 (2003 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 17 年 (2005 年)
				
平成 18 年 (2006 年)	平成 19 年 (2007 年)	平成 20 年 (2008 年)	平成 21 年 (2009 年)	平成 22 年 (2010 年)
				
平成 23 年 (2011 年)	平成 24 年 (2012 年)	平成 25 年 (2013 年)	平成 26 年 (2014 年)	平成 27 年 (2015 年)
				
平成 28 年 (2016 年)	平成 29 年 (2018 年)	平成 30 年 (2019 年)		
				

表 3.3.3 変状経年比較 (チタンロッド工法)

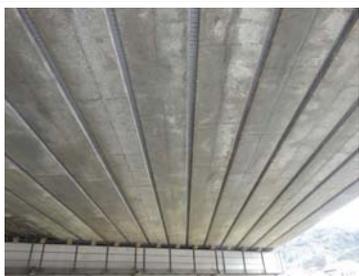
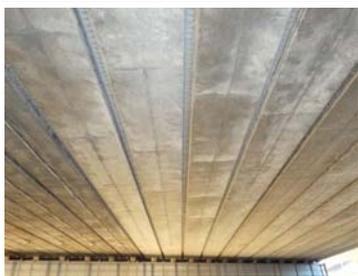
平成 13 年 (2001 年)	平成 14 年 (2002 年)	平成 15 年 (2003 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 17 年 (2005 年)
				
平成 18 年 (2006 年)	平成 19 年 (2007 年)	平成 20 年 (2008 年)	平成 21 年 (2009 年)	平成 22 年 (2010 年)
				
平成 23 年 (2011 年)	平成 24 年 (2012 年)	平成 25 年 (2013 年)	平成 26 年 (2014 年)	平成 27 年 (2015 年)
				
平成 28 年 (2016 年)	平成 29 年 (2018 年)	平成 30 年 (2019 年)		
				

表 3.3.4 変状経年比較 (チタン溶射工法)

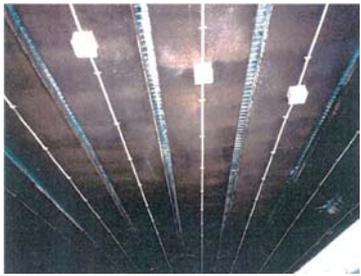
平成 13 年 (2001 年)	平成 14 年 (2002 年)	平成 15 年 (2003 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 17 年 (2005 年)
				
平成 18 年 (2006 年)	平成 19 年 (2007 年)	平成 20 年 (2008 年)	平成 21 年 (2009 年)	平成 22 年 (2010 年)
				
平成 23 年 (2011 年)	平成 24 年 (2012 年)	平成 25 年 (2013 年)	平成 26 年 (2014 年)	平成 27 年 (2015 年)
				
平成 28 年 (2016 年)	平成 29 年 (2018 年)	平成 30 年 (2019 年)		
				

表 3.3.5 変状経年比較（無対策桁）

	平成 13 年 (2001 年)	平成 14 年 (2002 年)	平成 15 年 (2003 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 17 年 (2005 年)	平成 18 年 (2006 年)	平成 19 年 (2007 年)
海側							
下面							
陸側							
	平成 20 年 (2008 年)	平成 21 年 (2009 年)	平成 22 年 (2010 年)	平成 23 年 (2011 年)	平成 24 年 (2012 年)	平成 25 年 (2013 年)	平成 26 年 (2014 年)
海側							
下面							
陸側							
	平成 27 年 (2015 年)	平成 28 年 (2016 年)	平成 29 年 (2018 年)	平成 30 年 (2019 年)			
海側							
下面							
陸側							

凡例
□ : セパ後

表 3.3.6 変状経年比較 (塩害塗装劣)

	平成 13 年 (2001 年)	平成 14 年 (2002 年)	平成 15 年 (2003 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 17 年 (2005 年)	平成 18 年 (2006 年)	平成 19 年 (2007 年)
海側							
下面							
陸側							
	平成 20 年 (2008 年)	平成 21 年 (2009 年)	平成 22 年 (2010 年)	平成 23 年 (2011 年)	平成 24 年 (2012 年)	平成 25 年 (2013 年)	平成 26 年 (2014 年)
海側							
下面							
陸側							
	平成 27 年 (2015 年)	平成 28 年 (2016 年)	平成 29 年 (2018 年)	平成 30 年 (2019 年)			
海側							
下面							
陸側							

凡例
□ : セパ後

表 3.3.7 変状経年比較（高流動コンクリート桁）

	平成 13 年 (2001 年)	平成 14 年 (2002 年)	平成 15 年 (2003 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 17 年 (2005 年)	平成 18 年 (2006 年)	平成 19 年 (2007 年)
海側							
下面							
陸側							
	平成 20 年 (2008 年)	平成 21 年 (2009 年)	平成 22 年 (2010 年)	平成 23 年 (2011 年)	平成 24 年 (2012 年)	平成 25 年 (2013 年)	平成 26 年 (2014 年)
海側							
下面							
陸側							
	平成 27 年 (2015 年)	平成 28 年 (2016 年)	平成 29 年 (2018 年)	平成 30 年 (2019 年)			
海側							
下面							
陸側							

3.4 打音法

3.4.1 目的

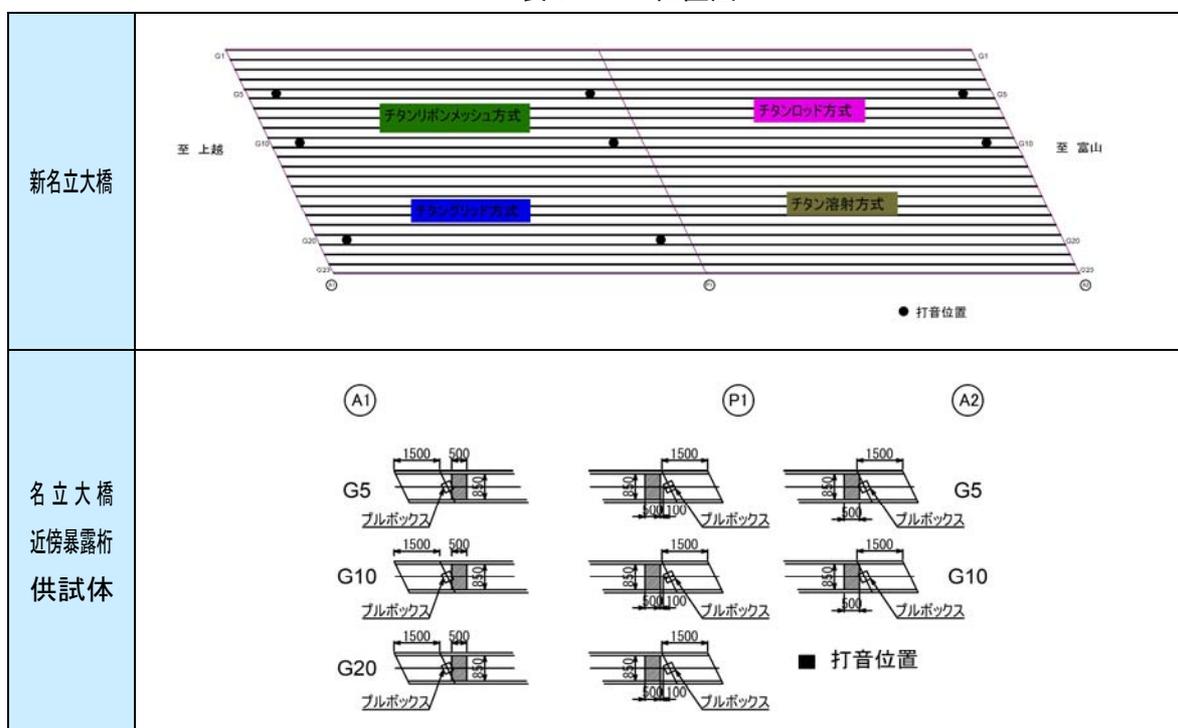
目視観測により損傷が確認された箇所について、鋼材腐食によるかぶりコンクリートのうきの有無を調査するために行う。

3.4.2 実施方法

実橋については、チタン溶射方式による電気防食工法が施工されている箇所については、陽極から何らかの悪影響を及ぼすことも考えられることから調査は行わない。また、供試体の内、塩害塗装桁、炭素繊維巻き立て桁については打音検査より塗膜を傷つける可能性があることから調査は行わない。

また、チタン溶射方式による電気防食工法を施した桁供試体桁下面についても陽極材を傷つける可能性があることから、桁側面のみ調査対象とした。表 3.4.1 に位置図を示す。

表 3.4.1 位置図



3.4.3 結果

新名立大橋、名立大橋近傍暴露桁供試体共に異常は認められなかった。

3.5 反発硬度法

3.5.1 目的

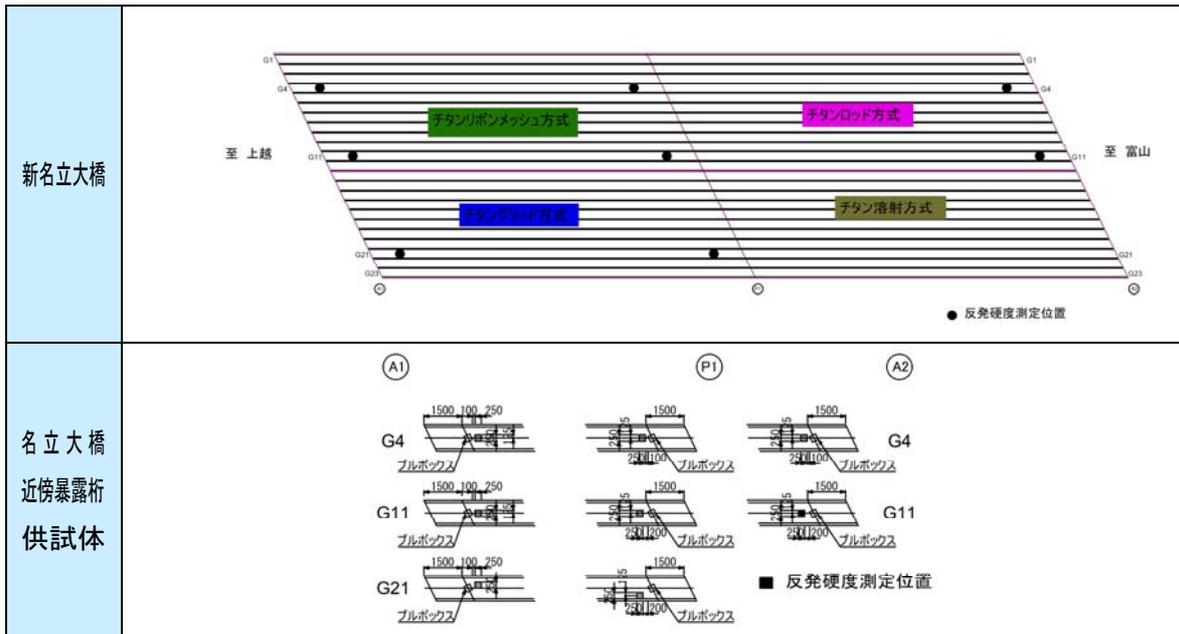
圧縮強度を確認するためのものではなく、コンクリート表面の反発硬度が経年変化とともに、どのように変化するか確認する事を目的とする。

3.5.2 実施方法

シュミットハンマーにて反発硬度を計測する。なお、実橋のうち、チタン溶射方式による電気防食工法が施工されている箇所については、陽極から何らかの悪影響を及ぼすことも考えられることから調査は行わない。

また、桁供試体の内、チタン溶射桁、塩害塗装桁、炭素繊維巻き立て桁については、塗膜を傷つける可能性があることから調査は行わないこととした。表 3.5.1 に位置図を示す。

表 3.5.1 位置図



3.5.3 結果

調査結果を以下に示す。

表 3.5.2 調査結果一覧

新名立大橋											名立大橋近傍暴露桁供試体																								
(箇所別詳細データ)											(箇所別詳細データ)																								
種類	反発硬度 (R)										平均 硬度	種類	反発硬度 (R)										平均 硬度												
実橋	G4	81	81	61	61	62	60	61	61	62	61	A1	54	59	58	58	61	58	59	59	59	62	供試体	チタンメッシュ	54	59	58	58	61	58	59	59	59	62	61
		62	60	62	62	59	62	60	59	59	56		59	56	57	61	59	57	57	58	59	58		チタンメッシュ	59	56	57	61	59	57	57	58	59	58	58
	G11	57	55	58	61	58	57	58	59	60	61	A1	58	58	57	57	61	57	61	62	59	57		チタングリッド	58	58	57	57	61	57	61	62	59	57	59
		59	57	57	55	57	53	56	58	55	53		60	59	58	59	59	59	59	60	58	チタングリッド			60	59	58	59	59	59	59	59	60	58	
	G4	58	64	61	59	61	65	62	58	61	61	P1	60	57	60	62	61	59	59	60	63	57		チタンロッド	60	59	58	59	59	59	59	59	60	58	61
		61	59	60	62	60	59	59	63	58	60		65	59	62	61	56	57	60	58	61	58			チタンロッド	61	60	59	61	61	63	62	63	64	
	G11	60	57	60	62	61	59	59	60	63	57	P1	55	56	57	57	56	55	57	56	58	55		無対策	55	56	57	57	56	55	57	56	58	55	56
		65	59	62	61	56	57	60	58	61	58		58	57	56	57	56	57	56	56	55	55			無対策	58	57	56	57	56	57	56	56	55	
	G21	58	59	60	60	59	55	54	57	57	58	P1	60	55	57	56	57	59	61	58	59	59		樹脂鉄筋	60	55	57	56	57	59	61	58	59	59	58
		59	53	59	56	56	60	59	59	57	56		60	59	56	61	60	62	63	56	56	樹脂鉄筋			58	60	58	59	59	59	56	57	55	55	
	G4	60	59	56	61	61	60	62	63	56	56	A2	57	62	57	56	62	60	62	60	62	60		高流動コンクリート	57	55	57	59	56	57	57	57	56	60	58
		60	58	57	60	56	61	58	59	57	63		63	58	66	64	59	57	56	58	58	59			高流動コンクリート	57	58	57	59	57	59	58	58	57	

3.6 塩化物イオン含有量分析

3.6.1 目的

桁供試体から採取したコアに対し、塩化物イオン含有量分析を行うことにより、それらの初期値を得る。

3.6.2 実施方法

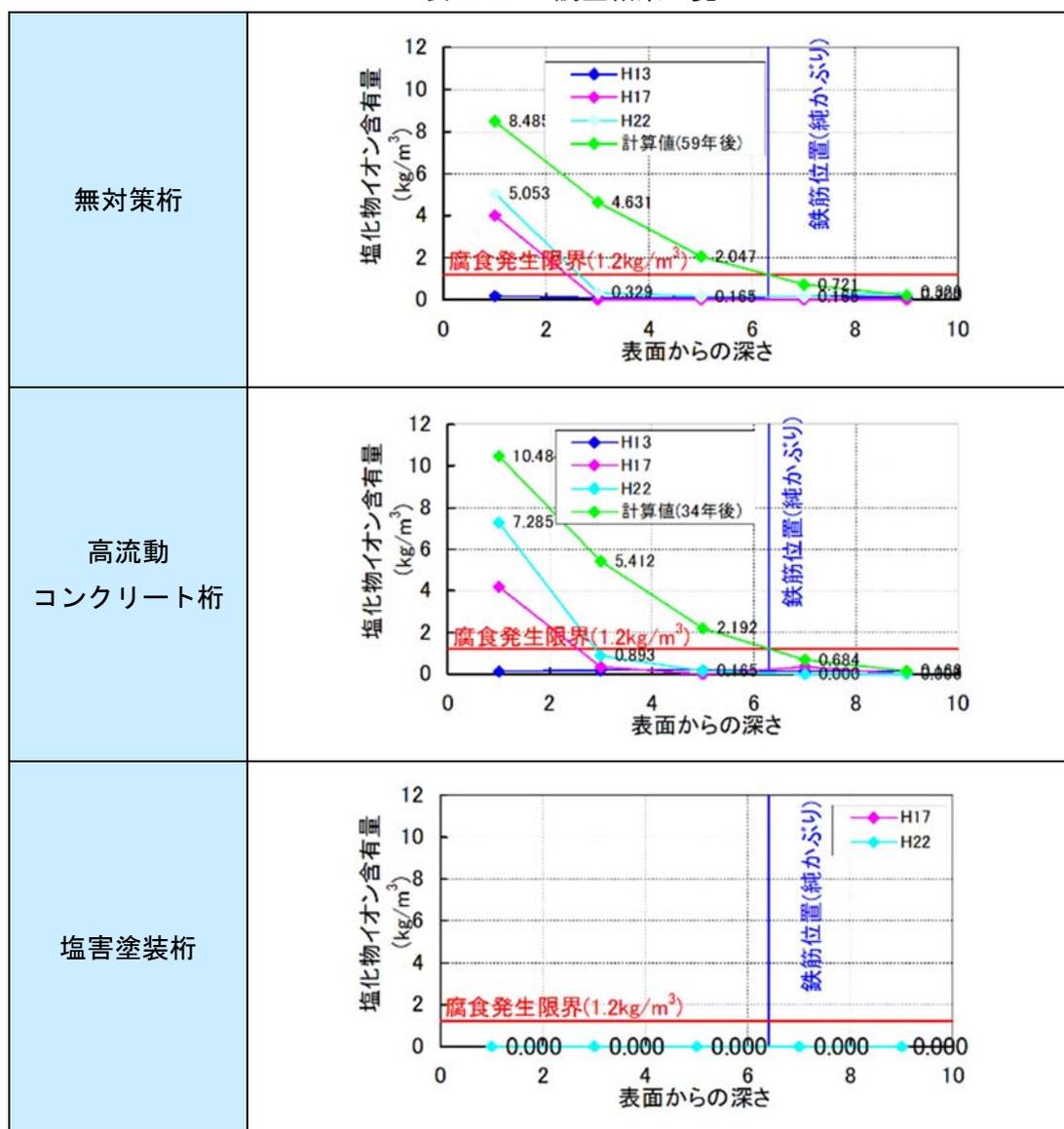
桁供試体の無対策桁と高流動コンクリート桁から採取した各4本のコアのうち、それぞれ1本を割裂し、調査を行う。

硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法（JIS-SC5）に準拠して行う。

3.6.3 結果

調査結果を以下に示す。

表 3.6.1 調査結果一覧



3.7 中性化深さの測定

3.7.1 目的

桁供試体から採取したコアに対し中性化深さの測定を行うことにより、これらの初期値を得る。

3.7.2 実施方法

桁供試体の無対策桁と高流動コンクリート桁から採取した各4本採取したコアのうち、それぞれ1本を割裂し、割裂した一方の割裂面で中性化深さを測定する。

採取したコア割裂面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧して、変色しない領域(中性化領域)をノギス等で計測する。

フェノールフタレイン1%溶液の調整はJIS K 8001に準拠して行う。

3.7.3 結果

調査結果を以下に示す。

表 3.7.1 調査結果一覧

部材名	位置	コア径	番号	H22年調査結果 中性深さ(mm)									H17年調査結果
				測点1	測点2	測点3	測点4	測点5	測点6	測点7	測点8	平均	
無対策桁	下面	Φ50	1	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0mm
塩害塗装桁	下面	Φ50	2	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0mm
高流動コンクリート桁	下面	Φ50	3	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5mm未満	0mm
下部工	山側側面	Φ50	4	0.5mm未満	3.0	5.0	3.0	0.5mm未満	2.0	2.0	0.5mm未満	1.9	0mm
下部工	海側側面	Φ50	5	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5mm未満	0.5mm未満	0.5	0.5mm未満	0.8	0mm

3.8 一軸圧縮試験

3.8.1 目的

桁供試体から採取したコアに対し一軸圧縮試験を行うことにより、これらの初期値を得る。

3.8.2 実施方法

桁供試体の無対策桁と高流動コンクリート桁から採取した各4本採取したコアのうち、それぞれ3本で行う。

3.8.3 結果

調査結果を以下に示す。

表 3.8.1 調査結果一覧

供試体	無対策桁			高流動コンクリート桁		
コア番号	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
圧縮強度(N/mm ²)	31.5	39.6	39.0	37.0	46.8	47.7
平均(N/mm ²)	39.3			47.3		

3.9 自然電位

3.9.1 目的

鉄筋の腐食状況や腐食箇所の確認を行う。

3.9.2 実施方法

電気防食桁以外の無対策桁、高流動コンクリート桁、無塩害塗装桁の3か所で、電磁波レーダ法により自然電位の計測を行う。

3.9.3 結果

平成13年度第5回打合せ時にて、自然電位法は取りやめとしている。

しかし、第6回打合せより、電気防食桁以外の無対策桁、高流動コンクリート桁、無塩害塗装桁の3つで自然電位の計測を行うことになっている。

表3.9.1に示すとおり、無対策桁、高流動コンクリート桁、無塩害塗装桁の3つで自然電位が安定している。

表 3.9.1 調査結果一覧

平成13年 (2001年)	平成14年 (2002年)	平成15年 (2003年)	平成16年 (2004年)	平成17年 (2005年)	平成18年 (2006年)	平成19年 (2007年)	平成20年 (2008年)	平成21年 (2009年)	平成22年 (2010年)
—	安定								
平成23年 (2011年)	平成24年 (2012年)	平成25年 (2013年)	平成26年 (2014年)	平成27年 (2015年)	平成28年 (2016年)	平成29年 (2017年)	平成30年 (2018年)		
安定									

第4章 詳細調査

4.1 目的

新名立大橋近傍の桁供試体の暴露試験の開始から10年の平成22年度に、今後の劣化進行を継続的に把握することを目的に、塩分量や中性化深さの調査を実施する。

また、電気防食効果の確認を行う。

4.2 位置図

コアの採取位置を以下に示す。

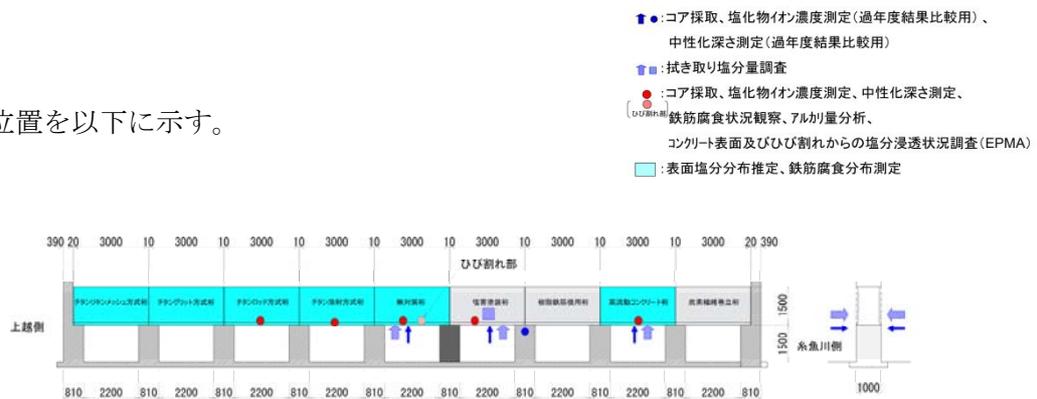


図 4.2.1 位置図

4.3 調査項目・実施方法

調査項目、調査方法を以下に示す。

表 4.3.1 調査結果一覧

調査項目	調査方法
鉄筋腐食状況観察	コア孔底の鉄筋を露出させて、腐食状況を目視観測する。
アルカリ量分析	「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書<第二編> 3.3 コンクリート中の水溶性アルカリ金属元素の分析方法(案)」に準拠した。
拭き取り塩分量調査	「鋼橋塗装調査マニュアル JSSIV03-1993」に従い実施する。
EPMA 分析	フランジ部にて採取したコア試料の切断面に対し EPMA 分析 (CI) を実施する。

4.4 結果

4.4.1 鉄筋腐食状況観察

全ての桁において、鉄筋の腐食は点錆程度であり、塩害による腐食はない、もしくは軽微であると考えられる。

調査結果を表 4.4.1 に示す。

表 4.4.1 鉄筋観測一覧

チタンロッド方式桁	チタン溶射方式桁
	
無対策桁	無対策桁（ひび割れ）
	
塩害塗装桁	高流動コンクリート桁
	

4.4.2 アルカリ量分析

各供試体のコンクリート総量は、1.97～2.6Kg/m³であった。

調査結果を表4.4.2に示す。

表4.4.2 調査結果一覧

試験項目 試料名	Na ₂ O		K ₂ O		R ₂ O		アルカリ総量
	(mg/g)	(mass%)	(mg/g)	(mass%)	(mg/g)	(mass%)	(kg/m ³)
チタンロッド方式桁	0.57	0.06	0.52	0.05	0.91	0.09	2.14
チタン溶射方式桁	0.48	0.05	0.55	0.06	0.84	0.09	1.97
無対策桁	0.63	0.06	0.56	0.06	1.00	0.10	2.35
無対策桁(ひび割れ箇所)	0.80	0.08	0.48	0.05	1.12	0.11	2.63
塩害塗装桁	0.52	0.05	0.52	0.05	0.86	0.08	2.02
高流動コンクリート桁	0.66	0.07	0.63	0.06	1.07	0.11	2.51

$$*R_2O = Na_2O + 0.658 \times K_2O$$

*単位体積重量は2,350 kg/m³を使用

4.4.3 拭き取り塩分量調査

付着塩分量は、コンクリート表面は少なく、塩害塗装桁表面は多かった。

塩害塗装桁表面の中で、側面より下面の方が付着塩分量は多かった。

番号8～9は強風が吹いた後に、もう一度実施した結果である。

下面の付着塩分量は、殆ど変化ないが、側面は海側、山側ともに付着塩分量が増加した。

調査結果を表4.4.3に示す。

表4.4.3 拭き取り塩分量調査結果一覧

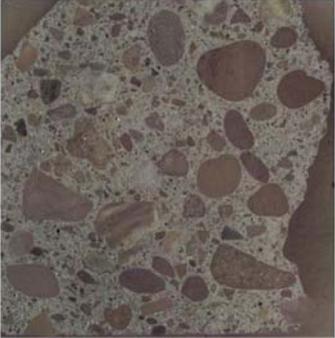
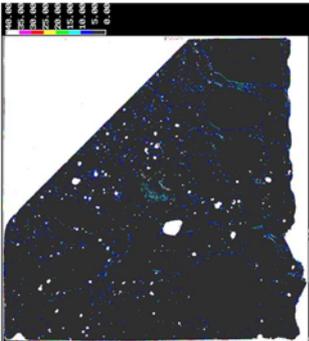
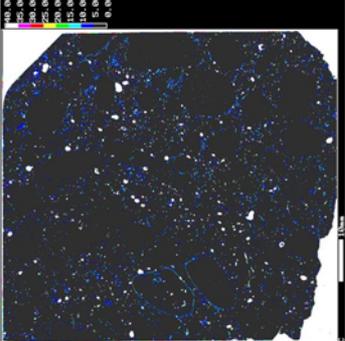
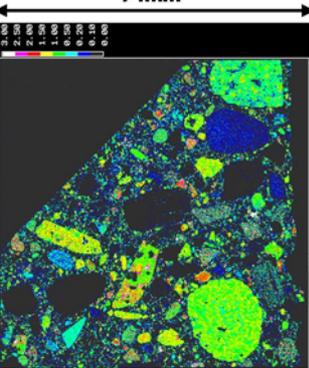
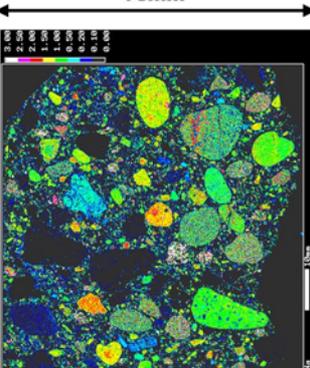
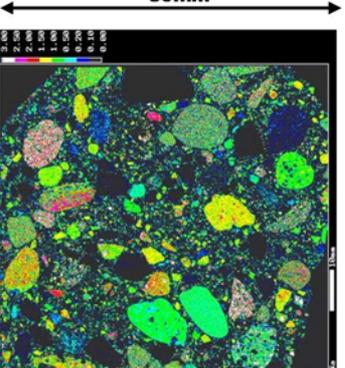
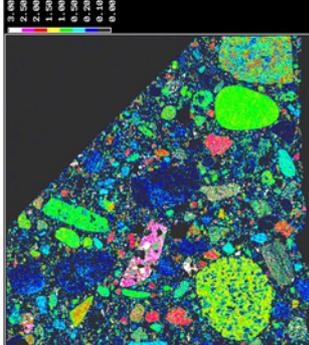
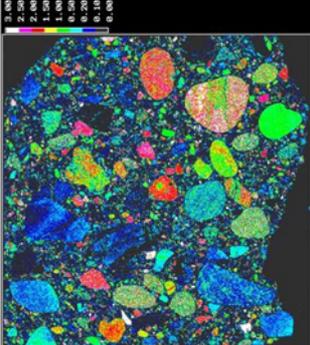
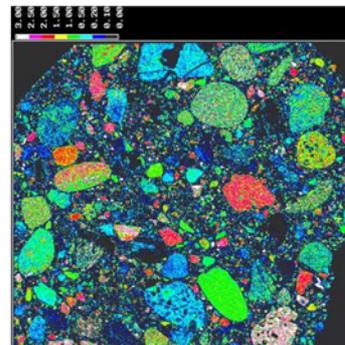
番号	部材名	位置	日付	表面付着塩分量 (mg/m ²)	備考
1	無対策桁	下面	2010.11.08	8	
2	高流動コンクリート桁	下面	2010.11.08	24	
3	下部工	山側側面	2010.11.08	3	
4	下部工	海側側面	2010.11.08	5	
5	塩害塗装桁	下面	2010.11.08	1268	
6	塩害塗装桁	山側側面	2010.11.08	6	
7	塩害塗装桁	海側側面	2010.11.08	5	
8	塩害塗装桁	下面	2010.11.11	1059	2回目
9	塩害塗装桁	山側側面	2010.11.11	385	2回目
10	塩害塗装桁	海側側面	2010.11.11	340	2回目

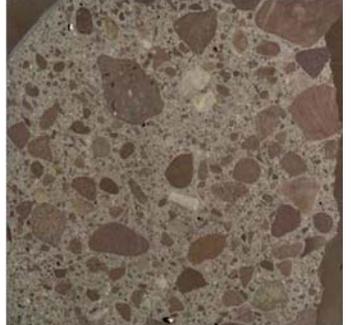
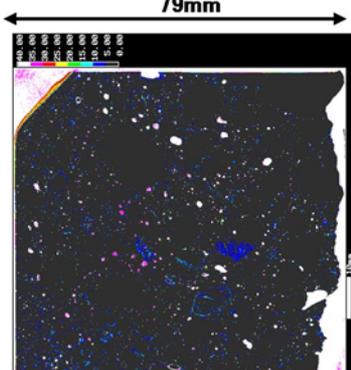
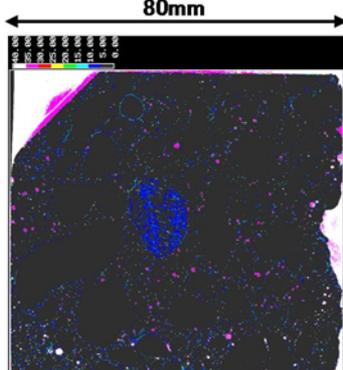
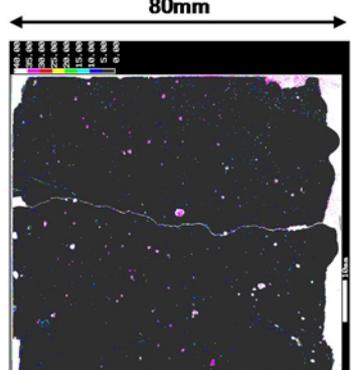
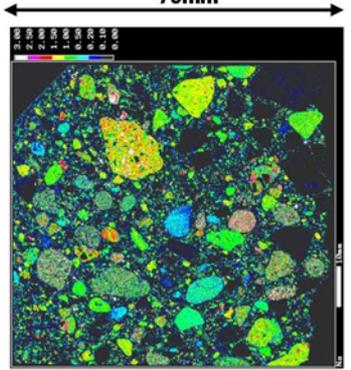
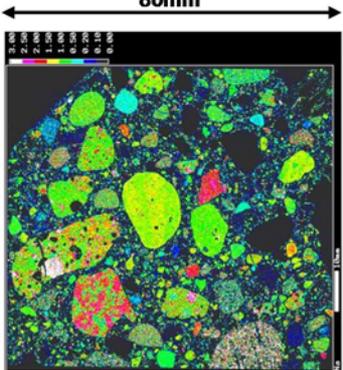
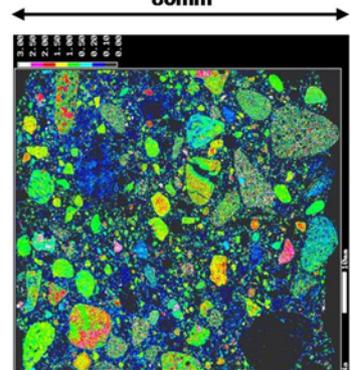
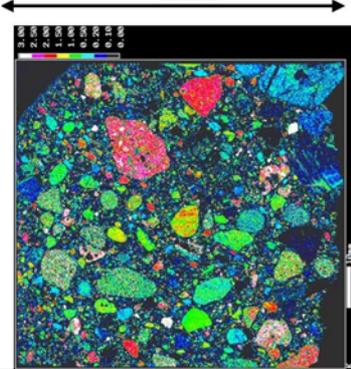
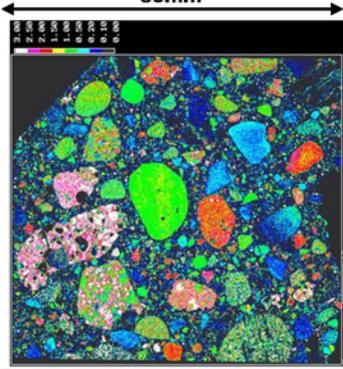
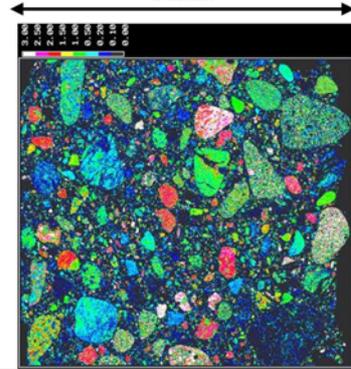
4.4.4 EPMA分析

(1) コンクリート表面から深さ方向のアルカリ量分布

調査結果を表 4.4.4 に示す。

表 4.4.4 コンクリート表面から深さ方向のアルカリ量分布一覧

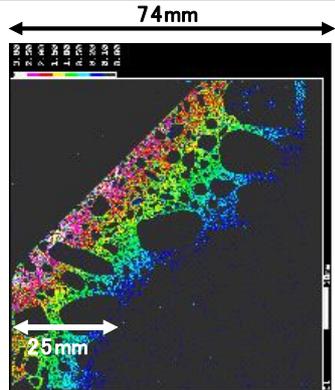
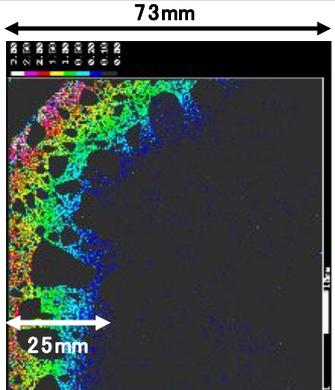
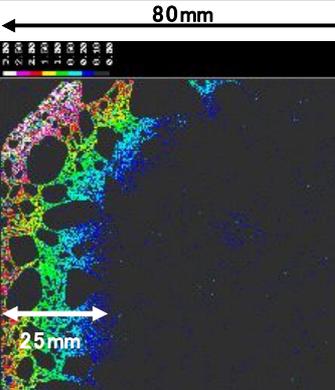
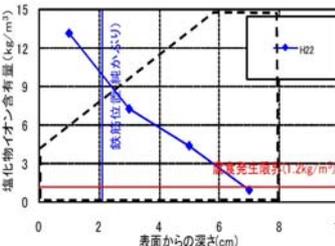
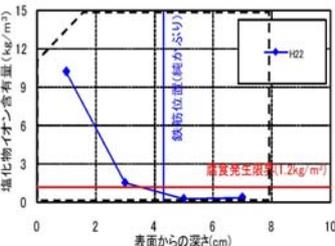
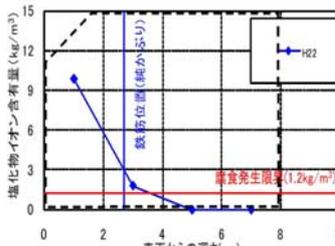
供試体名	チタンロッド方式桁	チタン溶射方式桁	無対策桁
測定面			
炭素 (C)	74mm 	73mm 	80mm 
ナトリウム (Na)	74mm 	73mm 	80mm 
カリウム (K)	74mm 	73mm 	80mm 
結果概要	ペースト部におけるナトリウム、カリウムの濃度は、コンクリートから深さ方向にほぼ均一であった	ペースト部におけるナトリウム、カリウムの濃度は、コンクリートから深さ方向にほぼ均一であった	ペースト部におけるナトリウム、カリウムの濃度は、コンクリートから深さ方向にほぼ均一であった

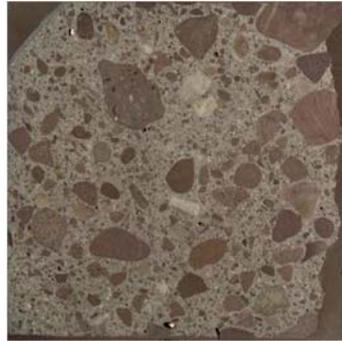
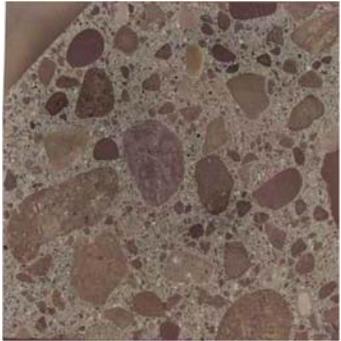
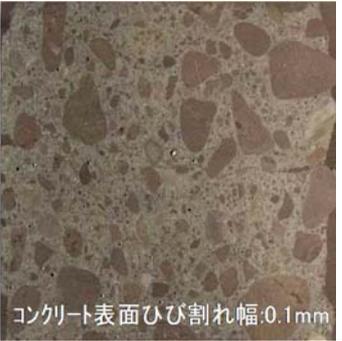
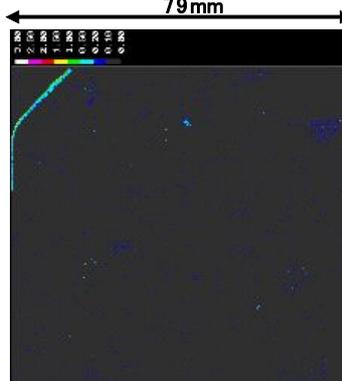
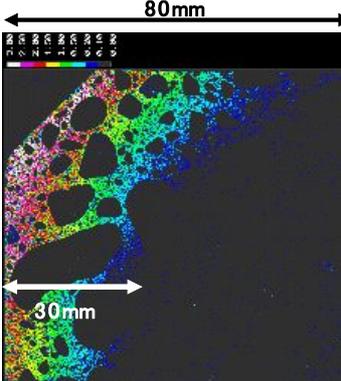
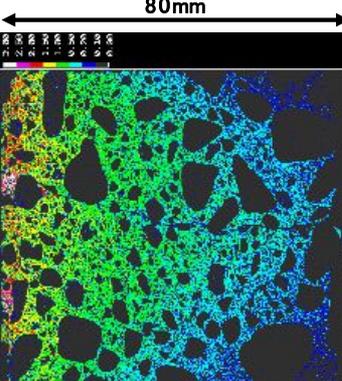
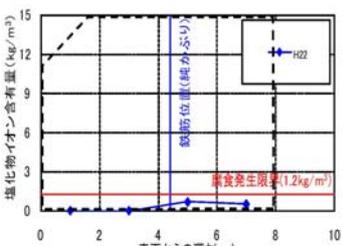
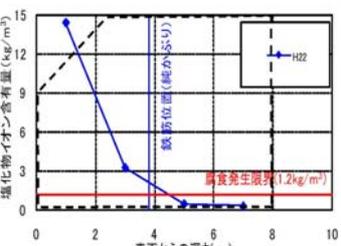
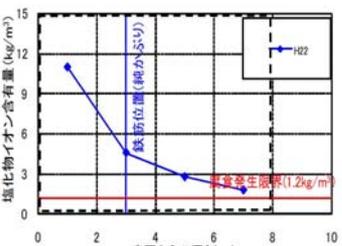
供試体名	塩害塗装桁	高流動コンクリート桁	無対策桁（ひび割れ箇所）
測定面			
炭素 (C)	79mm 	80mm 	80mm 
ナトリウム (Na)	79mm 	80mm 	80mm 
カリウム (K)	79mm 	80mm 	80mm 
結果概要	ペースト部におけるナトリウム、カリウムの濃度は、コンクリートから深さ方向にほぼ均一であった	ペースト部におけるナトリウム、カリウムの濃度は、コンクリートから深さ方向にほぼ均一であった	ペースト部におけるナトリウム、カリウムの濃度は、コンクリートから深さ方向にほぼ均一であった

(2) コンクリート表面及びひび割れからの塩化物イオン浸透状況

調査結果を表 4.4.5 に示す。

表 4.4.5 コンクリート表面及びひび割れからの塩化物イオン浸透状況結果一覧

供試体名	チタンロッド方式桁	チタン溶射方式桁	無対策桁
測定面			
分析結果			
結果概要	<ul style="list-style-type: none"> ・塩化物イオンは、コンクリート表面から深さ約 25mm の浸透が確認された。 ・ハンチ部にて高濃度の塩化物イオンが確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩化物イオンは、コンクリート表面から深さ約 25mm の浸透が確認された。 ・ハンチ部にて高濃度の塩化物イオンが確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> 塩化物イオンは、コンクリート表面から深さ約 25mm の浸透が確認された。 ・ハンチ部にて高濃度の塩化物イオンが確認された。
コア採取塩分測定結果			

供試体名	塩害塗装桁	高流動コンクリート桁	無対策桁（ひび割れ箇所）
測定面			
分析結果			
結果概要	<ul style="list-style-type: none"> 塩化物イオンのコンクリート内部への浸透は確認されなかった。 ハンチ部の塩化物イオンは、塗装表面に付着したものである。 	<ul style="list-style-type: none"> 塩化物イオンのコンクリート内部への浸透は確認されなかった。 ハンチ部の塩化物イオンは、塗装表面に付着したものである。 	<ul style="list-style-type: none"> 塩化物イオンのコンクリート内部への浸透は確認されなかった。 ハンチ部の塩化物イオンは、塗装表面に付着したものである。
コア採取塩分測定結果			

第5章 復極量調査（追跡調査）

5.1 目的

電気防食効果の有効性を評価することを目的として実施する。

5.2 モニタリング方法

電気防食工法の効果の確認を行う。

防食効果は、通電 24 時間後の復極量を測定することにより確認する。

記録は、ON 電位、インスタントオフ電位、通電停止 1 時間後、4 時間後、24 時間後の電位を測定する。

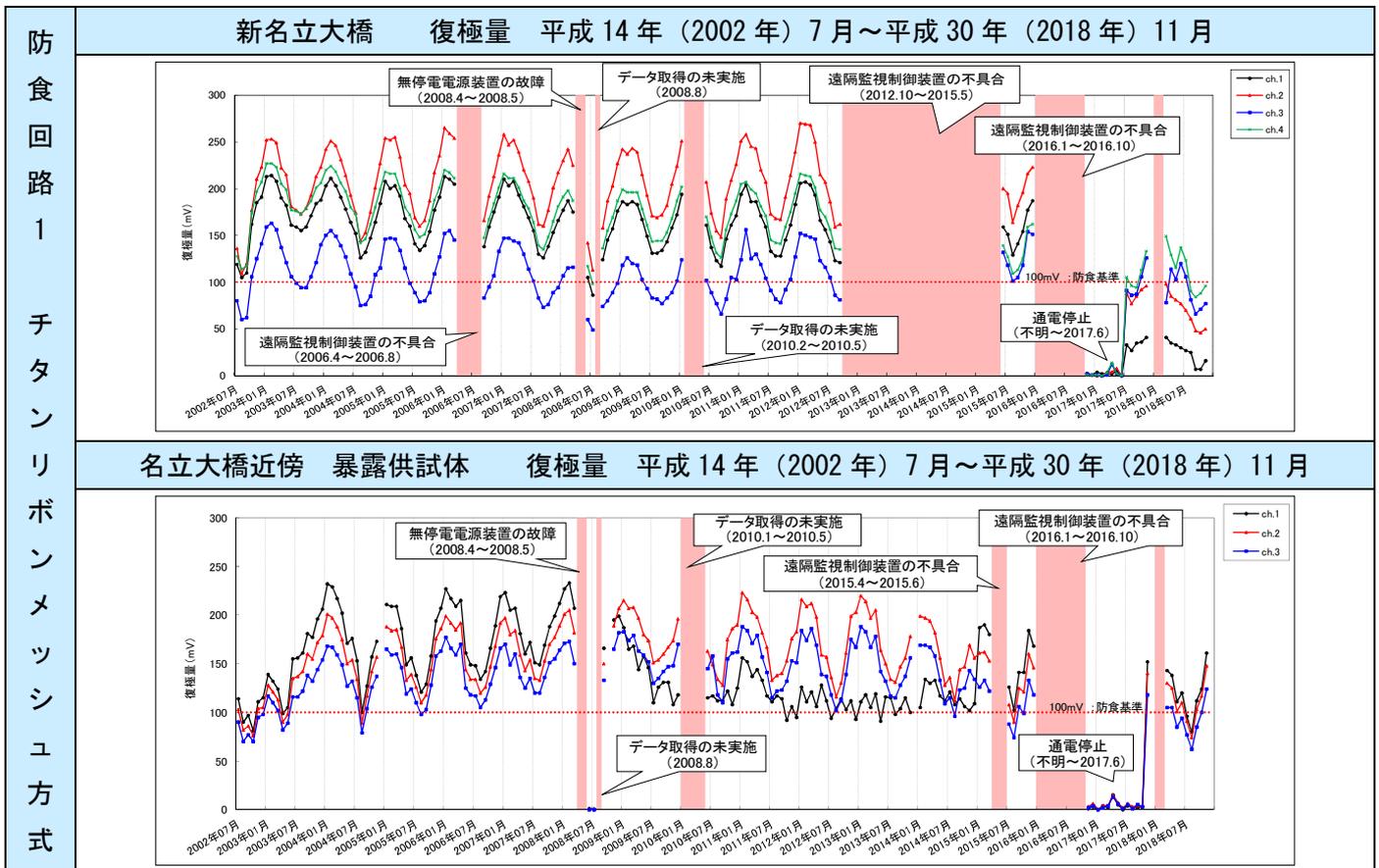
表 5.2.1 各測定状況（電流・電圧・電位）



5.3 モニタリング結果

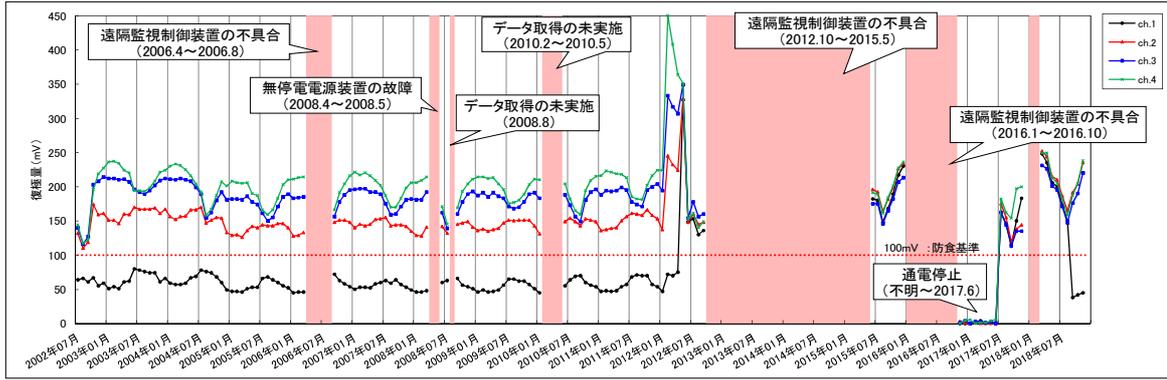
調査結果を表 5.3.1 に示す。

表 5.3.1 調査結果一覧

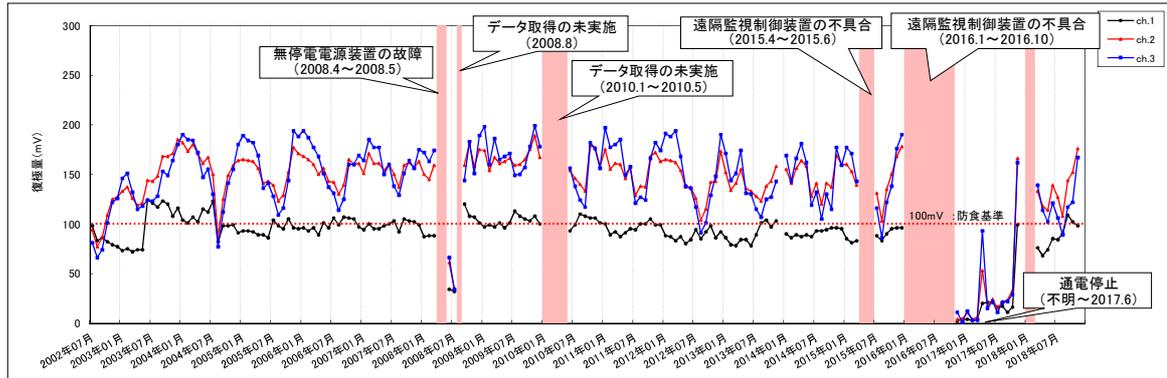


防食回路2
チタングリッド方式

新名立大橋 復極量 平成14年(2002年)7月~平成30年(2018年)11月

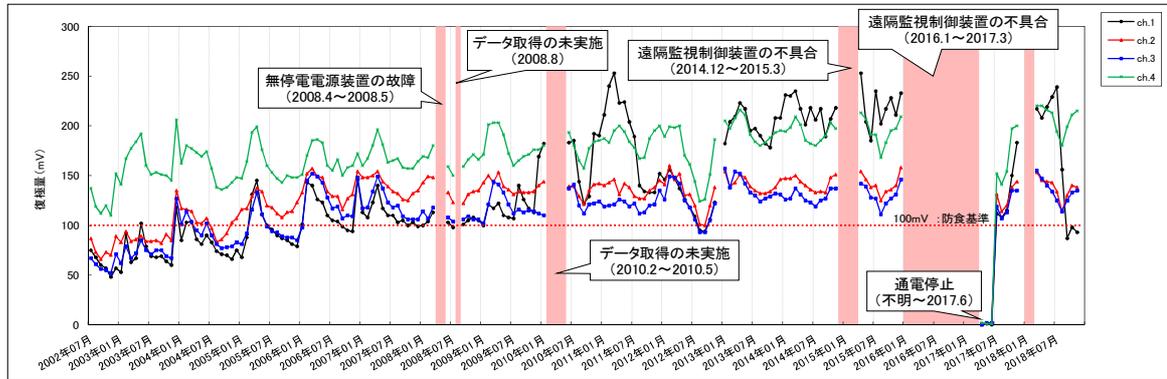


名立大橋近傍 暴露供試体 復極量 平成14年(2002年)7月~平成30年(2018年)11月

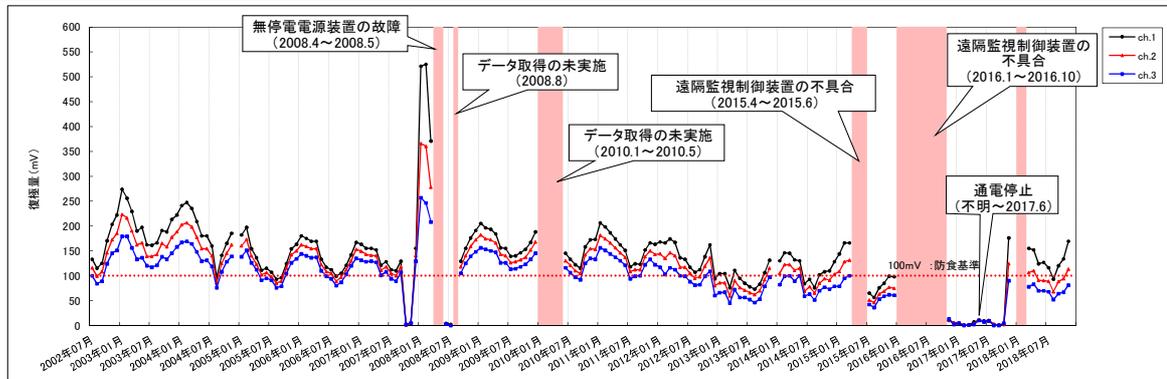


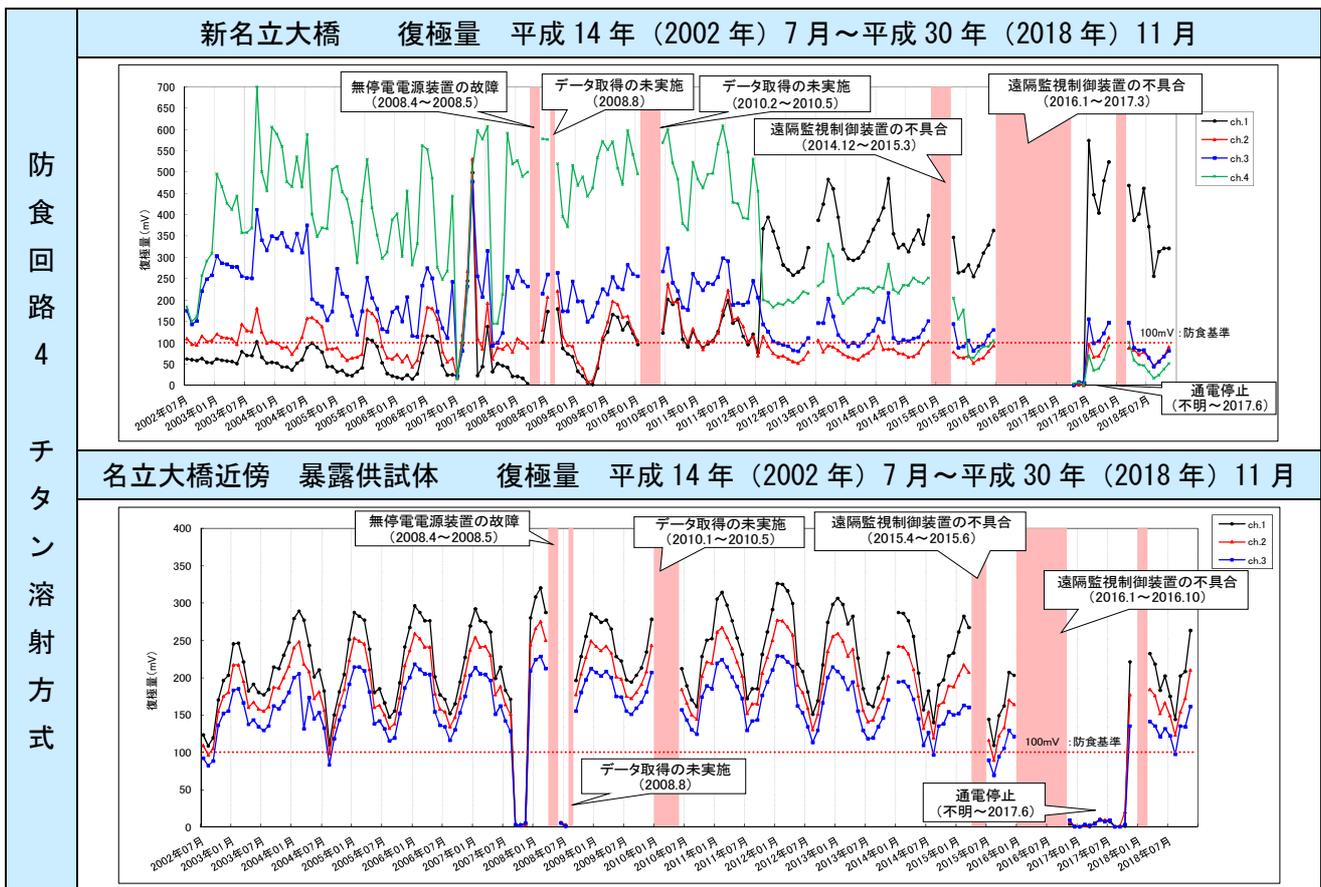
防食回路3
チタンロッド方式

新名立大橋 復極量 平成14年(2002年)7月~平成30年(2018年)11月



名立大橋近傍 暴露供試体 復極量 平成14年(2002年)7月~平成30年(2018年)11月





5.4 復極量変動の原因

5.4.1 背景

平成 14 年 (2002 年) ～平成 23 年 (2011 年) の復極量の推移より、新名立大橋のチタングリッド ch1 の復極量が他の復極量と比べて著しく低い値を示しており、通年で防食基準 100mV を下回っている。

チタン溶射は ch1～4 でばらつきが大きい。

遠隔監視制御装置の不具合や、遠隔監視装置と現地結果の電位の読み違いがある。

5.4.2 不具合原因特定に向けた調査

(1) 照合電極電位調査

1) 目的

埋設している照合電極が正常に機能しているかを確認するために実施した。

2) 実施方法

埋設されている照合電極位置で、性能が確認された外部照合電極 (飽和塩化銀電極) をコンクリート表面に押し当て、プルボックスにて鉄筋の電位を測定。

3) 調査結果

表 5.4.1 調査結果一覧

チタン溶射方式の照合電極電位調査結果

析出(遠隔chNo)			G13(ch4)				G14			G15			G16(ch3)				G17		G18							
測定年月日 時刻	温度 [°C]	測定項目	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]						
			MnO ₂	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)		MnO ₂	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)				
'10(H22)/11/12 08:02	11	On電位	-642	-642	—	-1820	-1715	—	-1490	-1545	—	-1460	-1555	—	-225	-125	—	-87	-182	—	-127	-222	—	-1640	-1735	—
		Ins.Off電位	-624	-523	0	-630	-625	0	-610	-705	0	-620	-715	0	-215	-114	0	-79	-174	0	-120	-215	0	-690	-745	0
'10(H22)/11/12 09:02	11	Off電位 1 [hr]後	-284	-185	338	-311	-406	219	-312	-407	258	-291	-386	329	-188	-87	27	-82	-177	38	-82	-177	38	-325	-420	325
'10(H22)/11/12 10:02	12	Off電位 2 [hr]後	-254	-154	389	-294	-391	234	-290	-395	310	-290	-377	330	-127	-27	87	-40	-146	29	-77	-174	41	-301	-396	347
'10(H22)/11/12 11:02	14	Off電位 3 [hr]後	-222	-124	399	-276	-377	249	-283	-384	321	-288	-389	346	-80	18	132	-44	-145	29	-76	-177	38	-300	-401	344
'10(H22)/11/12 12:02	14	Off電位 4 [hr]後	-68	-30	553	-264	-365	260	-273	-374	331	-256	-357	358	-81	17	131	-41	-142	32	-67	-168	47	-295	-396	348
'10(H22)/11/12 14:02	16	Off電位 6 [hr]後	-256	-160	383	-248	-352	275	-280	-364	341	-241	-345	370	-131	-35	79	-36	-140	34	-62	-166	49	-282	-388	359
'10(H22)/11/12 16:00	17	Off電位 8 [hr]後	-214	-119	404	-237	-343	282	-252	-358	347	-230	-336	379	-130	-35	79	-35	-141	33	-58	-164	51	-276	-382	363
'10(H22)/11/13 08:10	14	Off電位 24 [hr]後	-178	-78	445	-196	-297	328	-207	-308	397	-190	-291	424	-39	58	173	-38	-139	35	-67	-168	47	-178	-279	466
'10(H22)/11/17 08:55	9	Off電位 120 [hr]後	-249	-145	378	-110	-202	423	-118	-210	495	-90	-182	533	-153	-50	64	-27	-119	55	-48	-140	75	-89	-181	564

析出(遠隔chNo)			G19(ch2)				G20		G21		G22(ch1)				G23								
測定年月日 時刻	温度 [°C]	測定項目	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]						
			MnO ₂	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)		MnO ₂	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)				
'10(H22)/11/12 08:02	11	On電位	-590	-489	—	-1710	-1805	—	-2130	-2225	—	-1570	-1665	—	-646	-545	—	-1390	-1685	—	-1810	-1905	—
		Ins.Off電位	-584	-463	0	-590	-685	0	-800	-895	0	-520	-615	0	-642	-541	0	-550	-645	0	-570	-665	0
'10(H22)/11/12 09:02	11	Off電位 1 [hr]後	-314	-213	250	-295	-390	295	-389	-484	411	-281	-376	239	-543	-442	99	-302	-397	248	-305	-400	265
'10(H22)/11/12 10:02	12	Off電位 2 [hr]後	-306	-206	297	-278	-375	310	-355	-452	443	-283	-380	255	-341	-241	300	-293	-390	255	-293	-390	275
'10(H22)/11/12 11:02	14	Off電位 3 [hr]後	-300	-202	261	-282	-363	322	-323	-424	471	-246	-347	288	-321	-223	318	-270	-371	274	-256	-357	308
'10(H22)/11/12 12:02	14	Off電位 4 [hr]後	-295	-197	266	-250	-351	334	-299	-400	495	-228	-329	286	-335	-237	304	-255	-356	289	-241	-342	323
'10(H22)/11/12 14:02	16	Off電位 6 [hr]後	-282	-186	277	-237	-341	344	-265	-369	528	-212	-316	299	-326	-230	311	-241	-345	300	-222	-326	339
'10(H22)/11/12 16:00	17	Off電位 8 [hr]後	-276	-181	282	-231	-337	348	-240	-346	549	-200	-306	309	-302	-207	334	-222	-328	317	-210	-316	349
'10(H22)/11/13 08:10	14	Off電位 24 [hr]後	-242	-144	319	-183	-284	401	-164	-265	630	-168	-269	346	-282	-184	257	-218	-319	326	-153	-254	411
'10(H22)/11/17 08:55	9	Off電位 120 [hr]後	-189	-86	377	-102	-194	491	-65	-157	738	-91	-183	432	-182	-79	462	-109	-201	444	-86	-178	487

チタンロッド方式の照合電極電位調査結果

析出(遠隔chNo)			G23(ch1)					
測定年月日 時刻	温度 [°C]	測定項目	鋼材電位[mV]		dE[mV]	鋼材電位[mV]		dE[mV]
			Hf	CSE (25°C)		SSE	CSE (25°C)	
'10(H22)/11/12 08:02	11	On電位	-338	-383	—	-302	-397	—
		Ins.Off電位	-338	-383	0	-229	-324	0
'10(H22)/11/12 09:02	11	Off電位 1 [hr]後	-11	-56	327	-47	-142	182
'10(H22)/11/12 10:02	12	Off電位 2 [hr]後	0	-45	338	-40	-137	187
'10(H22)/11/12 12:02	14	Off電位 4 [hr]後	-11	-56	327	-27	-128	196
'10(H22)/11/12 14:02	16	Off電位 6 [hr]後	-8	-53	330	-15	-119	205
'10(H22)/11/13 08:10	14	Off電位 24 [hr]後	-27	-72	311	42	-59	265

(2) 電流供給不具合調査

1) 目的

電流供給不具合調査は、各ボックス間および現地ボックスと遠隔装置間が正しく継続されているか確認するために桁部、橋台部、電源装置部で鋼材電位の測定を実施した。

2) 結果

調査結果を表 5.4.2 に示す。

表 5.4.2 鋼材電位測定結果

種類	電流供給方法	桁部	橋台部	A2橋台海側側面中継										電源装置																			
				ボックス		鋼材オン電位		②-③		鋼材オン電位		②-③		鋼材オン電位		②-③		鋼材オン電位		②-③		鋼材オン電位		②-③									
				①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②								
A1-P1	ケーブル ボックス	G1	04	B1-G1P	-	-	-	-	+421	[mVvsPt]	AL11	+422	[mVvsPt]	-1	OK	+424	[mVvsPt]	-3	OK	+425	[mVvsPt]	-4	OK	+417	[mVvsPt]	+3	OK	-800	±0	-728	+447	[mVvsPt]	
		G4	04	B1-G4P	-	-	-	-	+328	[mVvsPt]	AL12	+329	[mVvsPt]	±0	OK	+329	[mVvsPt]	-3	OK	+329	[mVvsPt]	-3	OK	+325	[mVvsPt]	+4	OK	-800	±0	-728	+363	[mVvsPt]	
		G7	04	B1-G7P	-	-	-	-	+501	[mVvsPt]	AL13	+501	[mVvsPt]	±0	OK	+501	[mVvsPt]	±0	OK	+501	[mVvsPt]	±0	OK	+495	[mVvsPt]	+5	OK	-800	±0	-728	+504	[mVvsPt]	
		G10	04	B1-G10P	-	-	-	-	+411	[mVvsPt]	AL14	+411	[mVvsPt]	±0	OK	+412	[mVvsPt]	-1	OK	+410	[mVvsPt]	+1	OK	+408	[mVvsPt]	+2	OK	-800	±0	-728	+441	[mVvsPt]	
		G18	04	B2-G18P	-	-	-	-	-313	[mVvsPt]	AL21	-313	[mVvsPt]	±0	OK	-312	[mVvsPt]	-1	OK	-313	[mVvsPt]	±0	OK	-83	[mVvsPt]	-224	NG	-45	+755	+30	-81	[mVvsPt]	
	ケーブル ブリッジ	G17	04	B2-G17P	-	-	-	-	-407	[mVvsPt]	AL22	-408	[mVvsPt]	+1	OK	-407	[mVvsPt]	±0	OK	-407	[mVvsPt]	±0	OK	-241	[mVvsPt]	-166	NG	-45	+755	+30	-211	[mVvsPt]	
		G20	04	B2-G20P	-	-	-	-	-401	[mVvsPt]	AL23	-401	[mVvsPt]	±0	OK	-401	[mVvsPt]	±0	OK	-401	[mVvsPt]	±0	OK	-325	[mVvsPt]	-74	NG	-45	+755	+30	-258	[mVvsPt]	
		G23	04	B2-G23P	-	-	-	-	-195	[mVvsPt]	AL24	-195	[mVvsPt]	±0	OK	-192	[mVvsPt]	-3	OK	-192	[mVvsPt]	-3	OK	-288	[mVvsPt]	+84	NG	-45	+755	+30	-241	[mVvsPt]	
		ケーブル ボックス	G1	04	B3-G1A	-	-	-	-	-432	[mVvsMnO2]	AL31	-432	[mVvsMnO2]	±0	OK	-432	[mVvsMnO2]	±0	OK	-432	[mVvsMnO2]	±0	OK	-433	[mVvsMnO2]	+1	OK	+86	+888	+180	-424	[mVvsMnO2]
			G4	04	B3-G4A	-	-	-	-	-383	[mVvsMnO2]	AL32	-383	[mVvsMnO2]	±0	OK	-382	[mVvsMnO2]	-1	OK	-382	[mVvsMnO2]	-1	OK	-384	[mVvsMnO2]	+2	OK	+86	+888	+180	-394	[mVvsMnO2]
G7	04		B3-G7A	-	-	-	-	-342	[mVvsMnO2]	AL33	-342	[mVvsMnO2]	±0	OK	-342	[mVvsMnO2]	±0	OK	-342	[mVvsMnO2]	±0	OK	-343	[mVvsMnO2]	+1	OK	+86	+888	+180	-343	[mVvsMnO2]		
G10	04		B3-G10A	-	-	-	-	-414	[mVvsMnO2]	AL34	-414	[mVvsMnO2]	±0	OK	-413	[mVvsMnO2]	-1	OK	-413	[mVvsMnO2]	-1	OK	-413	[mVvsMnO2]	±0	OK	+86	+888	+180	-413	[mVvsMnO2]		
G13	04		B4-G13A PB13-0	-	-	-	±0	OK	-195	[mVvsMnO2]	AL41	-194	[mVvsMnO2]	-1	OK	-195	[mVvsMnO2]	±0	OK	-195	[mVvsMnO2]	±0	OK	-143	[mVvsPt]	-47	NG	+86	+888	+180	-138	[mVvsMnO2]	
ケーブル ブリッジ	G18	04	B4-G18A PB18-0	-	-	-	±0	OK	-191	[mVvsMnO2]	AL42	-190	[mVvsMnO2]	-1	OK	-192	[mVvsMnO2]	+1	OK	-191	[mVvsMnO2]	±0	OK	-101	[mVvsPt]	-90	NG	+86	+888	+180	-83	[mVvsMnO2]	
	G19	04	B4-G19A PB19-0	-	-	-	±0	OK	-154	[mVvsMnO2]	AL43	-153	[mVvsMnO2]	-3	OK	-157	[mVvsMnO2]	+1	OK	-155	[mVvsMnO2]	-1	OK	-72	[mVvsPt]	-83	NG	+86	+888	+180	-57	[mVvsMnO2]	
	G22	04	B4-G22A PB22-0	-	-	-	±0	OK	-258	[mVvsMnO2]	AL44	-252	[mVvsMnO2]	-4	OK	-254	[mVvsMnO2]	-2	OK	-253	[mVvsMnO2]	-3	OK	-43	[mVvsPt]	-208	NG	+86	+888	+180	-41	[mVvsMnO2]	

(3) 分配電流測定

1) 目的

分配電流測定は、桁間および間の分配電流を測定することにより、各桁に均等に電流が供給されているか、溶射被膜に異常がないかを確認するために実施した。

2) 結果

調査結果を図 5.4.1 に示す。

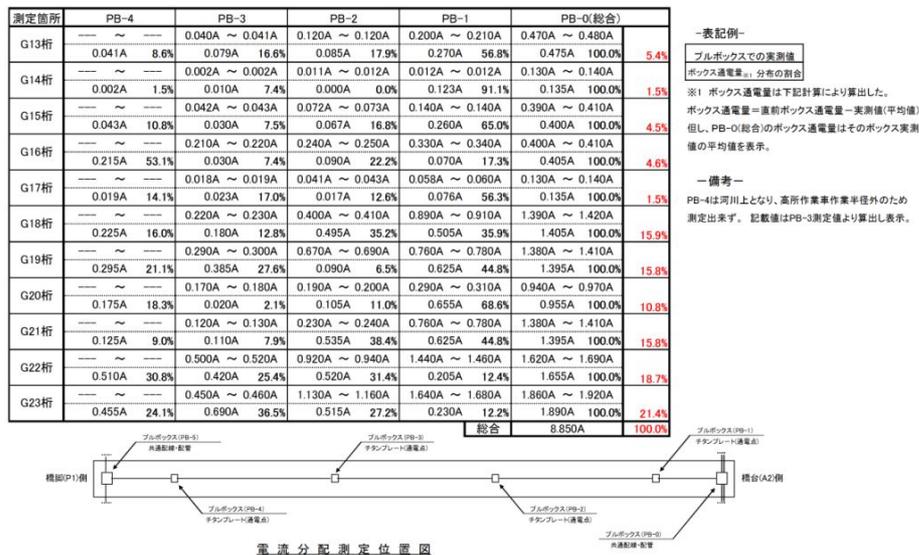


図 5.4.1 溶射被膜調査結果

5.5 遠隔監視制御装置の不具合

5.5.1 目的

電気防食工法の効果検証及び維持管理上の課題を把握することを目的に、新名立大橋（平成 13 年度設置：架橋時）、新名立大橋近傍暴露供試体について平成 13 年度から継続的に調査を実施。

新名立大橋および新名立大橋近傍暴露供試体の電気防食設備には、これまでも複数の不具合が生じてきたが、平成 28 年度には長期のモニタリング不良や通電不良が発生した。

このため、不具合状況を詳細に把握するために、平成 29 年度の通電再開作業後に、電気防食電位計測と継続調査（復極量計測及び外観変状調査）を実施した。

※これまでのモニタリングは、現地局舎内の遠隔監視制御装置表示値と高田河国 P C 集積データのみ（照合電

極のみの評価）であり、主桁などの機能確認ができていなかったことから主桁ごとに機能状態を確認することにした。

5.5.2 不具合の経緯

表 5.5.1 不具合の経緯一覧

	実橋	供試体	その他
平成 13 年 (2001 年)			
平成 14 年 (2002 年)			<ul style="list-style-type: none"> ・落雷により停電事故が発生直流電源装置、遠隔監視装置に作動異常が生じた ・避雷機器増設
平成 15 年 (2003 年)		<ul style="list-style-type: none"> ・通電量が微小でノイズの影響 ・ノイズ対策実施（チタンメッシュ） 	
平成 16 年 (2004 年)		<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔システムに電流調整（チタンメッシュ） ・システムの設定を一時的に変更し、電流値の再調整 ・モニタリング装置の故障 	<ul style="list-style-type: none"> ・通信障害復旧作業 ・避雷器交換工事
平成 17 年 (2005 年)			
平成 18 年 (2006 年)	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔制御システムにノイズ等が侵入し、バグ発生、通信不能（チタンメッシュ、チタングリッド） ・復旧作業を実施 ・遠隔システム通信不通減少（チタン溶射） 		
平成 19 年 (2007 年)		<ul style="list-style-type: none"> ・通電が遮断 →原因としては、避雷等による電源装置トラブル（チタングリッド） 	<ul style="list-style-type: none"> ・NTT 専用回線を利用し遠隔操作を実施 ・モデムに不具合
平成 20 年 (2008 年)	<ul style="list-style-type: none"> ・停電電源装置の故障（全工法） ・溶射皮膜の劣化、遠隔装置もしくは電源装置の不具合（チタン溶射） 	<ul style="list-style-type: none"> ・停電電源装置の故障（チタンメッシュ） ・電流電圧が遮断（チタングリッド） ・原因不明の通電電流・電圧が増加（チタングリッド） 	
平成 21 年 (2009 年)	<ul style="list-style-type: none"> ・通電調整、電源装置等の不具合（チタン溶射） ・溶射皮膜の劣化、遠隔装置もしくは電源装置の不具合（チタン溶射） 		

	実橋	供試体	その他
平成 22 年 (2010年)	・モニタリングデータが未計測（全工法） →原因として、高田河川国道事務所においてデータの取得が未実施	・モニタリングデータが未計測（全工法） →原因として、高田河川国道事務所においてデータの取得が未実施 ・照合電極設置（チタンロッド、チタン溶射）	・電気防食装置に劣化、腐食 ・配線保護材の劣化とブルボックス内滞水 ・除湿材の新規取り換え
平成 23 年 (2011年)	・照合電極取替え間違え発覚（チタングリッド）		・中継盤の汚れ・塗装剥がれ、錆 ・盤内板の錆 ・配線保護材の割れ、配管塗装の腐食 ・ブルボックス蓋の外れ
平成 24 年 (2012年)			・回線通信不能によりデータ回収不能 →回線不通が判明 ・NTT回線復活したが、データ回収不能 →現地子局の警報OFFにし、データ回収
平成 25 年 (2013年)	・データ欠損 ・遠隔監視システムの不具合（チタンメッシュ、チタングリッド） ・リード線皮膜モルタルの剥離及びびりード線樹脂皮膜の欠損（チタンロッド）		・サージシールド、直流電源装置内アレスタ：設置後メンテナンス、交換が未実施 ・サージカウンタ：一時電源側の未計測 ・供試体側、橋梁側アレスタ：固定端子の腐食があるが置後交換未実施
平成 26 年 (2014年)	・データ欠損 ・遠隔監視システムの不具合（チタンメッシュ、チタングリッド） ・照合電極交換（チタングリッド）		・供試体側アレスタ：交換 ・LEDパトライト設置 ・モデム設定の不備により通信不通
平成 27 年 (2015年)	照合電極交換（チタン溶射）		
平成 28 年 (2016年)			・遠隔監視装置のうちモニタリング装置にエラー表示 ・直流電源装置の通電の不具合 ・ランプ、遠隔監視装置の不具合
平成 29 年 (2017年)	・回線不良のため、データ消失（チタンメッシュ、チタン溶射） ・無通電期間あり（チタンメッシュ、チタン溶射） ・ブルボックス内の断線、塗装皮膜欠損（チタン溶射）		・VR装置を直流電源装置に切替監視子局側に戻しても電源が入らない ・NTT回線が摩耗により、電源が消失している可能性がある
平成 30 年 (2018年)			・データロガーの設置

5.5.3 点検方法

(1) 通電作業

無通電状態から通電する際には、分極試験により直流電源装置から流す防食電流量を調整する。

分極試験の手順は、「コンクリートライブラリー107 電気化学的防食工法設計施工指針（案）土木学会」に基づき実施する。

(2) 遠隔システム

1) 目的

遠隔監視システムの健全性を確認する。

2) 点検方法

通電状況と鉄筋電位をテスターにより計測し、これと遠隔システム子局（現地）表示値との整合を確認。

直流電源装置（VR 装置）、子局と事務所内モニタリング PC との数値整合を確認（数値が記録できるかの確認）。

(3) モニタリング装置

1) 目的

本電気防食システムは全回路とも、桁から直流電源装置間にアレスター（落雷対策）が適用されている。

桁内に埋設された照合電極で計測された電位値が直流電源装置位置にて正確に表示されている事を確認する。



直流電源装置



遠隔監視システム（子局）



ボックス内アレスター



直流電源装置背面端子台



直流電源装置前面端子台

図 5.5.1 モニタリング装置一覧

2) 点検方法

桁位置における鉄筋電位を計測する。

直流電源装置までの区間で結線されている部位がある場合には、すべての結線部で測定を行う。アレスターの入口と出口における各照合電極の電位値を計測する。

直流電源装置背面端子台、直流電源装置前面端子台にて同様に計測する。

遠隔監視システムの表示値を記録し、すべての計測結果が一致しているかを確認する。

(4) 分配電流測定

1) 目的

電気防食システムは1回路当たり4個の照合電極が設置されているが、照合電極が設置されていない桁の防食効果を確認にする。

2) 点検方法

すべての桁に接続されているボックスの蓋を開け、陽極幹線ケーブルを確認する。

各桁で分配されている陽極ケーブルにクリップオン電流計を接続し、電流値を読み取り、記録する。

桁相互の電流値が近似値となっているかを確認する。

5.5.4. 点検結果

(1) 無通電になった要因について

電気防食の通電停止を行うには、下記3ケースとなる。

- ①直流電源背面（基盤）のVR装置を電源装置に切替えたうえで電流調整器により0とする（図5.5.2）。
- ②直流電源背面（基盤）のVR装置を監視子局（高田河国PC）に切り替えたうえでモニタリングPCにより0とする。
- ③遠隔監視制御装置の出力機で0とする。



図 5.5.2 直流電源背面

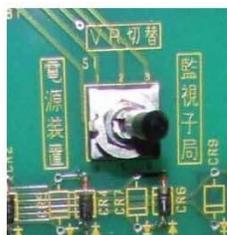


図 5.5.3 遠隔監視制御装置

これまでの継続調査においては、VR装置を一度直流電源装置に切り替えても、点検後に監視子局に戻せば電源が回復していた（製造メーカーである日本防蝕へのヒアリングでも通常操作は同様との回答）が、平成29年（2017年）6月14日にVR装置を一度直流電源装置に切り替えた後に監視子局に戻しても電源が入らないという現象が生じた。

このことから、遠隔監視制御装置もしくは制御盤内で異常が生じており、VR装置の切替えが正常に作動しない状態となっており、これらを含む不具合により電源が消失した可能性が疑われる。

また、名立局舎から高田河国内へはモデムを通じてNTT電話回線により通信されているが、NTT電話回線が摩耗劣化していたことも確認されているため、この劣化により異常信号が生じ電源が焼失した可能性があるものの、原因の特定には至っていない。

(2) 不具合箇所の確認①（電位の安定性：機器の健全性）

装置・基盤の前後での電位を計測することで、避雷器基盤と制御盤で不具合が生じている可能性が確認された。

表 5.5.2 不具合箇所の確認結果

区間	電気防食方式	桁 No.	通隔 No.	A2橋台 アレスタ (避雷器) BOX					直流電源装置配線		直流電源装置制御盤				
				①桁側	避雷器 No.	②電源側	差 ①-②	判定①-② (±10Dev基準)	備考	③入線端子台	差 ②-③	④表示値	差 ③-④	判定③-④ (±10Dev基準)	備考
第1区間 A1-P1	チタン溶射メッシュ	G1	ch1	+463	AL11	+345	+118	NG	※電位が異常に高くなる	+343	+2	+98	+245	NG	※電位が異常に高くなる
		G4	ch2	+214	AL12	+194	+20	NG	※電位が異常に高くなる	+193	+1	+168	+26	NG	※電位が異常に高くなる
		G7	ch3	+502	AL13	+502	0			+502	0	+498	+4		
		G10	ch4	+452	AL14	+147	+305	NG	※電位が異常に高くなる	+138	+9	+491	-353	NG	※電位が異常に高くなる
	チタングリッド	G14	ch1	+385	AL21	+385	0			+390	-5	+379	+11	NG	※電位が異常に高くなる
		G17	ch2	+371	AL22	+370	+1			+375	-5	+367	+8		
		G20	ch3	+402	AL23	+402	0			+404	-2	+399	+5		
		G23	ch4	+312	AL24	+312	0			+314	-2	+309	+5		
		G1	ch1	-349	AL31	-352	+3			-350	-2	-352	+2		
		G4	ch2	-385	AL32	-390	+5			-388	-2	-391	+3		
第2区間 P1-A2	チタンロッド	G7	ch3	-347	AL33	-348	+1			-347	-1	-350	+3		
		G10	ch4	-423	AL34	-424	+1			-420	-4	-424	+4		
		G13	ch1	-1019	AL41	-1021	+2			-1017	-4	-1020	+3		
		G16	ch2	-283	AL42	-284	+1			-283	-1	-290	+7		
	チタン溶射	G19	ch3	-623	AL43	-335	-288	NG	※電位が異常に高くなる	-327	-8	-367	+40	NG	※電位が異常に高くなる
		G22	ch4	-232	AL44	-233	+1			-232	-1	-301	+69	NG	※電位が異常に高くなる

(3) 不具合箇所の確認②（桁への通電確認：電気防食機能の健全性）

チタン溶射方式では分極のバラツキが大きく異常が生じていると言える。

また、各桁への通電量（電流値）を確認した結果、チタン溶射区間のうち、G14、G16、G17、G21、G23 で通電されていないことが判明したため、プルボックス内を調査したところ、破断が6箇所、断線が疑われる箇所が3箇所確認された。

溶射被膜の欠損も広範囲で生じており、チタン溶射区間では回線の破断とチタン溶射の摩耗による陽極材の欠損で機能が消失していると言える。

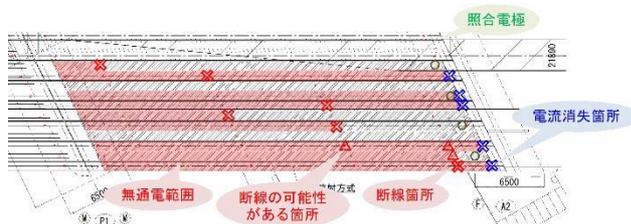


図 5.5.4 不具合箇所の確認結果

5.5.5 新たな方法による電気防食データの取得方法

遠隔監視制御装置（CP-Watcher）の更新期間中にデータを収集することが困難なことから、作業の容易性および経済性の観点からデータロガーによるモニタリングへ更新を図る。

(1) データロガーの概要

表 5.5.3 に示す。

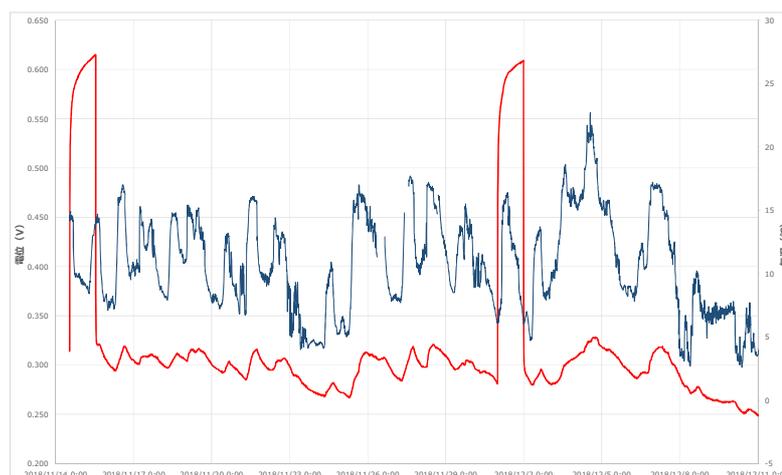
表 5.5.3 データロガー概要一覧

	電流 電圧ロガー (LR5041)	電圧 電圧ロガー (LR5043)	電位 電圧ロガー (LR5042)	データ収集器 データコレクター (LR5092)
				
測定項目	直流電圧 1ch	直流電圧 1ch	直流電圧 1ch	—
測定範囲	-50.00 ~ 50.00 mV	-50.00 ~ 50.00 V	-5.000 ~ 5.000 V	—
測定精度	±0.5% rdg. ±5dgt. (23 ±5°Cにおいて)	±0.5% rdg. ±5dgt. (23 ±5°Cにおいて)	±0.5% rdg. ±5dgt. (23 ±5°Cにおいて)	—
ロガー通信部	—	—	—	赤外線通信
内部メモリ	10分：416日16時間	10分：416日16時間	10分：416日16時間	—
寸法・質量	79W × 57H × 28D mm, 105 g	79W × 57H × 28D mm, 105 g	79W × 57H × 28D mm, 105 g	83W × 61H × 19D mm, 43 g
電源	単 3 形アルカリ乾電池 (LR6) × 1	単 3 形アルカリ乾電池 (LR6) × 1	単 3 形アルカリ乾電池 (LR6) × 1	DC5V (USB バスパワーで動作) 最大定格電力：0.5 VA
電池寿命	約 2 年	約 2 年	約 2 年	—

(2) 試行設置

設置立案に伴い、整合性確認のために 1 回路 1ch に試行設置を行った（平成 29 年（2017 年）11 月 14 日～平成 29 年（2017 年）12 月 11 日）

表 5.5.4 データロガー試行結果



測定結果から、遠隔監視装置は故障しており正確な電位測定は困難だが、復極量計測のための電源操作機能は現時点では機能していることが分かった。

データロガーにより 10 分間隔の測定値を測定することで、従来の 3 時間間隔に比べて詳細なデータが得られる。また、詳細なデータを得ることで不具合発生時刻の把握や気象観測データとの比較が可能となった。