

外面特殊塗装ダクタイル鋳鉄管「亜鉛アルミ管」の耐食性検証

Corrosion Resistance Verification of Special Exterior Painting DCI Pipes "Zinc-Aluminum Pipes"

廣島聡子* 齊藤昌彦** 浦田正博*** 松永直樹***

Satoko Hirohata, Masahiko Saito, Masahiro Urata, Naoki Matsunaga

川崎市内の腐食性の高い海成粘土中におけるポリエチレンスリーブを施していないダクタイル鋳鉄管の漏水や、川崎市で埋戻し材として使用している土質改良土には、比抵抗が低いなどの腐食要因があることなどを考慮し、2004年度より川崎市水道局と共同で、通常のダクタイル鋳鉄管よりも防食性が高いと考えられる外面特殊塗装ダクタイル鋳鉄管「亜鉛アルミ管」の耐食性検証を10年計画で行っている。今回、埋設環境を模擬した水溶液中における浸漬試験、および埋設試験3年目掘上げ調査を行った結果、亜鉛アルミ管の優れた耐食性を確認した。

Strong corrosive marine sediment clay causes water leaks in DCI pipe that is not encased in a polyethylene sleeve and buried. Also, improved soil used as backfilling material has corrosive factors that show low resistivity in Kawasaki City. Therefore, a 10-year project for verifying the corrosion resistance of externally treated ductile cast iron pipe, "Zinc - Aluminum Pipes," which is thought to be higher in anticorrosion property than ordinary DCI pipe, is being conducted in cooperation with the Kawasaki City Waterworks Bureau since fiscal 2004. This paper reports the results of soaking test in a solution that imitates the underground environment where piping is laid, and of examination of the three years- buried pipe.

1. はじめに

川崎市における、ポリエチレンスリーブの施されていないダクタイル鋳鉄管の漏水について、腐食性の高い海成粘土が大きな影響を与えていることが確認されている。

川崎市では、建設発生土の抑制、再資源化の観点から建設発生土にセメント・石灰複合系の固化材を5%混合した土質改良土を埋戻し材とすることで有効利用を図っている。しかし、比抵抗が低いなどの腐食要因が懸念されることから、現在、管の防食を目的にポリエチレンスリーブを被覆し、さらに管周囲は砂により埋設している。

管路の腐食対策は、ポリエチレンスリーブ被覆が一般的であるが、ポリエチレンスリーブ被覆がなくても防食効果を得られる管材料の検討として、2004年度から川崎市水道局と共同で外面特殊塗装ダクタイル鋳鉄管「亜鉛アルミ管」の耐食性検証を、10年計画で開始した。

今回、埋設環境を模擬した水溶液中における浸漬試験結果、および埋設試験3年目掘上げ調査結果を報告する。

2. 亜鉛アルミ管について

呼び径φ250以下のダクタイル鋳鉄管の外面塗装には、亜鉛系プライマー（亜鉛溶射、またはジンクリッチ塗料）が用いられている（以下、通常ダクタイル管）。亜鉛アルミ管は、この亜鉛系プライマーの代わりに、亜鉛-アルミニウム系の溶射を行うものである。

一般的に亜鉛は、鉄に対して電気化学的に卑であるため、犠牲陽極として働く。一方、アルミニウムは、表面に緻密な不動態膜を形成し、その遮断効果により優れた耐食性を示す。この緻密な不動態膜により、亜鉛の溶出が抑制され、長期にわたる耐食性を発揮するのが「亜鉛アルミ管」である。

表1 亜鉛アルミ管の外面塗装仕様

種類		プライマー	下塗り	上塗り
亜鉛アルミ管	Zn-Al 合金溶射管	Zn-Al 合金溶射 (Al含有量 15%) 400g/m ²	JWWA K 139 合成樹脂塗装 (アクリル樹脂塗料) 80 μm	JWWA K 139 合成樹脂塗装 (アクリル樹脂塗料) 20 μm
	Zn-Al 擬合金溶射管	Zn-Al 擬合金溶射 (Al含有量 27%) 400g/m ²		
通常ダクタイル管 (JWWA G 113)		Zn 溶射	130g/m ² + 合成樹脂塗装 合計膜厚 100 μm	

* パイプシステム事業本部 鉄管事業部 技術本部 研究部

** パイプシステム事業本部 品質保証部

*** 川崎市水道局

亜鉛アルミ管の外面塗装仕様を表1に示す。また、走査電子顕微鏡（以下SEM）による塗膜断面観察結果、およびX線マイクロアナライザ（以下EPMA）による定性分析結果を図1に示す。

亜鉛アルミ管には、Zn-Al擬合金溶射管とZn-Al合金溶射管の2種類がある。Zn-Al擬合金溶射管は、亜鉛とアルミニウムが層状になっており、Zn-Al合金溶射管は亜鉛とアルミニウムが均一に混ざっている。

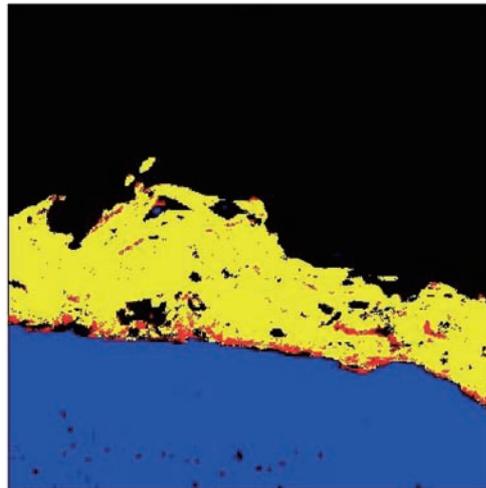
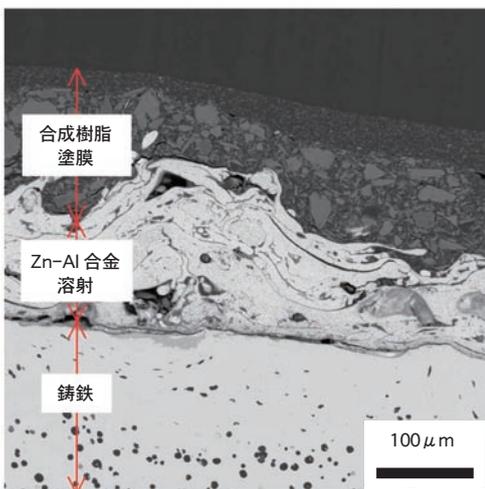
各プライマーを施したダクタイル鋳鉄片の耐中性塩水噴霧性試験結果（塗料一般試験方法JIS K 5600に準拠）を図2に示す。亜鉛溶射は50日で赤錆が発生しているが、Zn-Al擬合金溶射、Zn-Al合金溶射は900日を経過しても赤錆の発生はなく、耐食性に優れていることがわかる。

3. 海成粘土と土質改良土

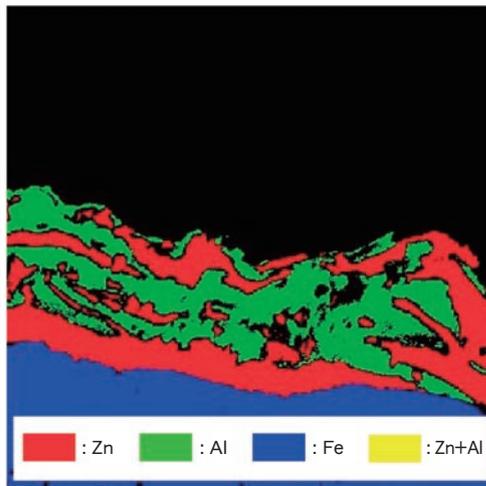
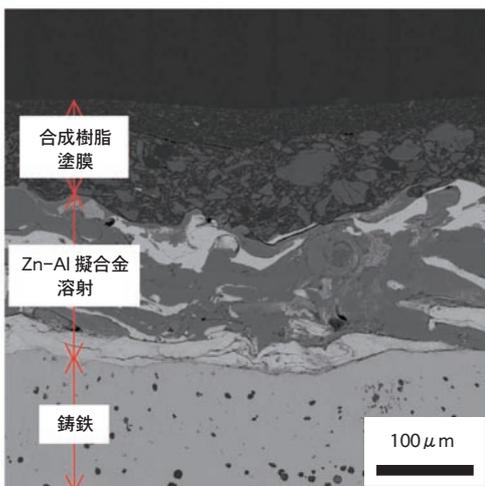
海成粘土は、内海の静かな海底に堆積して生成した粘土である。特徴として、酸性である、比抵抗が低い、硫酸イオン濃度が高いなどが挙げられる³⁾。

一方、土質改良土は、建設発生土にセメント・石灰複合系の固化材を5%混合したものである。特徴として、アルカリ性である、比抵抗が低いなどが挙げられ、建設発生土に海成粘土が含まれている場合は、硫酸イオンが多く含まれる。川崎市内の海成粘土と土質改良土の分析結果の一例を表2に示す。

【Zn-Al合金溶射管】



【Zn-Al擬合金溶射管】



（左：SEM、右：EPMAによる）

図1 亜鉛アルミ管の塗膜断面

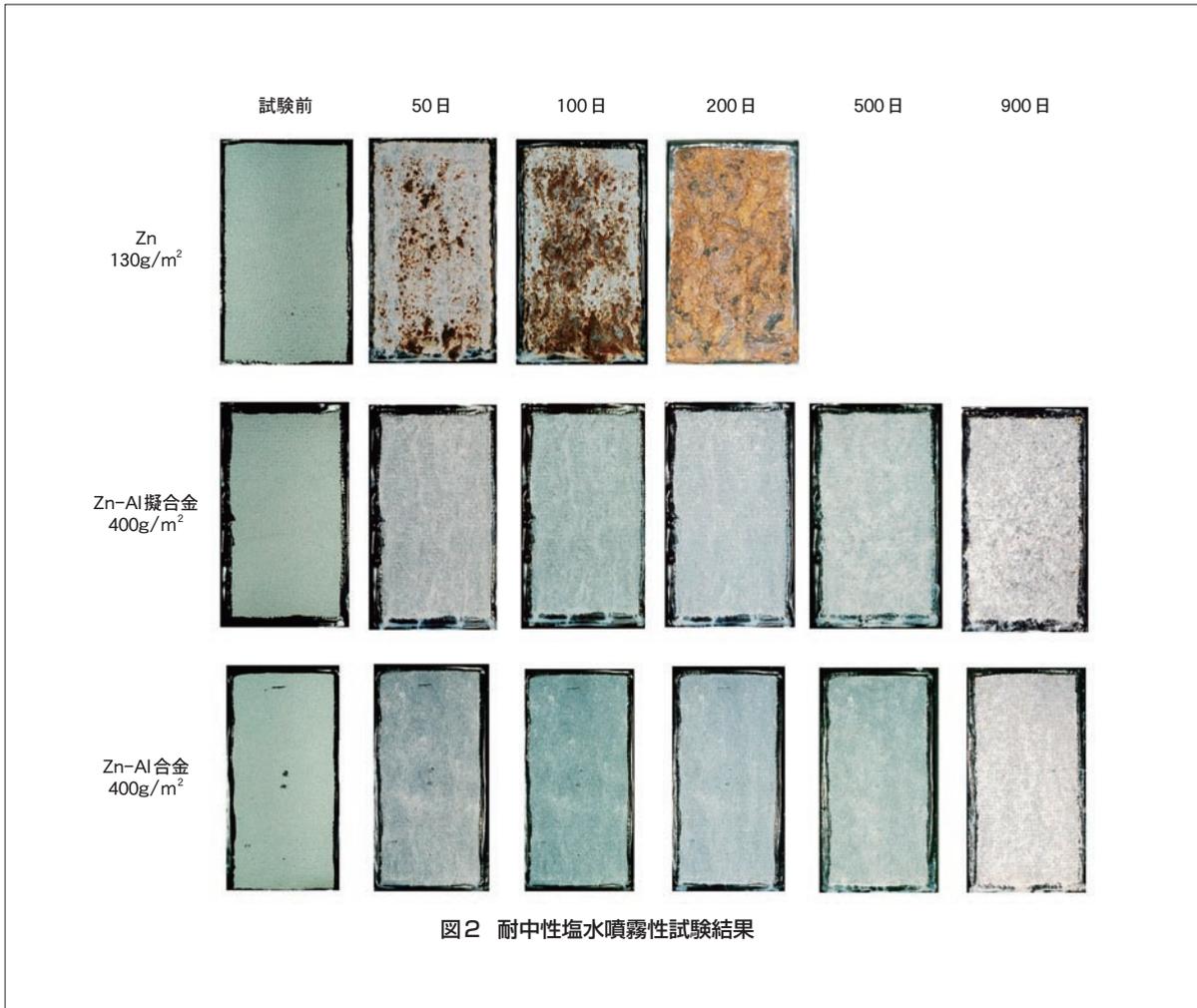


図2 耐中性塩水噴霧性試験結果

表2 川崎市内の土壌分析結果の一例

土の種類	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	硫化物	硫黄分 (%)	土壌抽出水 (1:2.5) *		
				比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	pH	硫酸イオン (mg/L)
海成粘土	808	あり	0.31	400	4.2	1,900
改良土	891	あり	0.23	552	12.0	3.2

*土を乾燥後、重量比で2.5倍の純水を入れ、抽出した水のことである。

4. 浸漬試験

川崎市内の埋設環境である、海成粘土と改良土を模擬した水溶液中での浸漬試験を行った。また、管体に傷が入った場合の腐食挙動の解析として、浸漬中の管体電位とプローブ電流の測定を行った。

プローブとは、塗覆装欠陥を模擬したものであり、管路と同一の材質の金属面を有している。管路近傍の環境中にプローブを設置し、金属面が環境と接するようにする。プローブ金属面から導線を管路と接続することで、プローブは塗覆装欠陥と電気回路として等価な状態となる。したがって、プローブを利用して計測を行うことにより、塗覆装欠陥の状況を把握することができる⁴⁾。

4.1 模擬水溶液

模擬水溶液について、表3に示す。

4.2 供試管

亜鉛アルミ管に、ダクトイル鋳鉄をプローブにして、導線で接続した。供試管の外観を図3に示す。

供試管 : 亜鉛アルミ管 通常ダクトイル管
(呼び径 $\phi 150 \times 500\text{mm}$)

プローブ : ダクトイル鋳鉄
 1 cm^2 、 10 cm^2

4.3 測定方法

測定方法を図4に示す。試験中は、供試管とプローブを導線で接続し、模擬水溶液中に浸漬し(A)、管体電位測定時は、供試管とプローブを導線で接続した状態で電位を測定した(B)。なお、参照電極は、銀-塩化銀電極

を用いた。プローブ電流は、供試管とプローブとの間の電流値を測定した(C)。プローブ電流値は、図5に示すように、測定値が正の場合、プローブに腐食電流が流れていることを示し、測定値が負の場合、プローブに防食電流が流れていることを示す。

表3 模擬水溶液

	模擬海成粘土	模擬改良土
pH	4	11
硫酸イオン濃度 (mg/L)	500	
カルシウム濃度 (mg/L)	—	50
比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	500 ~ 1,000	

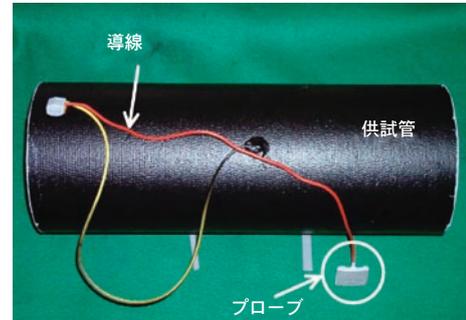


図3 供試管の外観

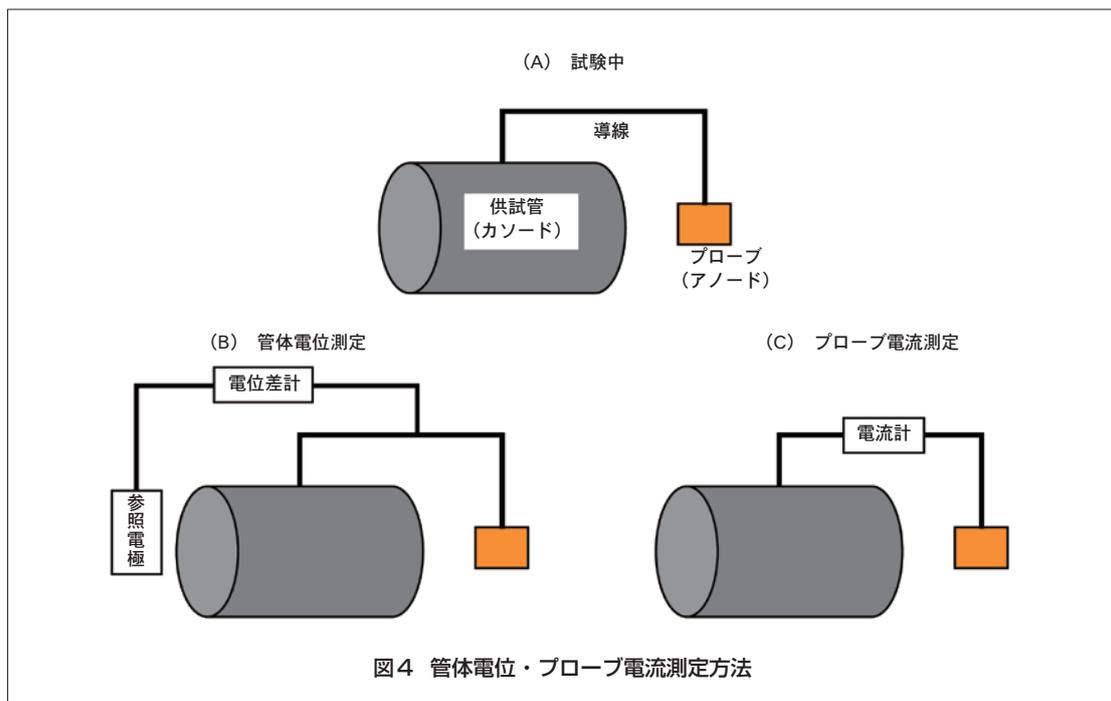


図4 管体電位・プローブ電流測定方法

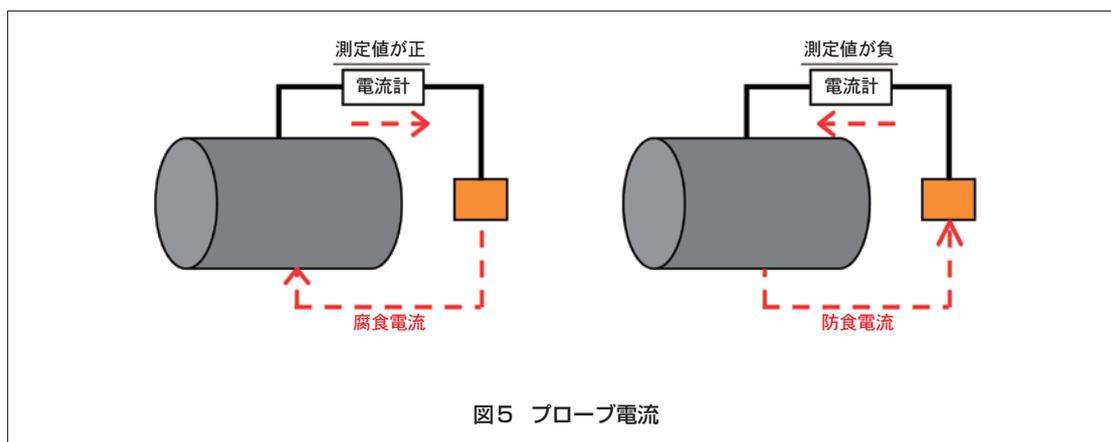


図5 プローブ電流

4.4 浸漬試験結果

管体電位、およびプローブ電流測定結果を図6に示す。供試管の外観写真を図7に示す。

模擬海成粘土水溶液中では、通常ダクトイル管は、60

日を経過すると管体に赤錆が発生し、管体電位が -600mV よりも貴になり、電流値は正となった。つまりプローブに腐食電流が流れ始め、亜鉛溶射の犠牲陽極作用がなくなった。一方、亜鉛アルミ管は、1000日を経過しても

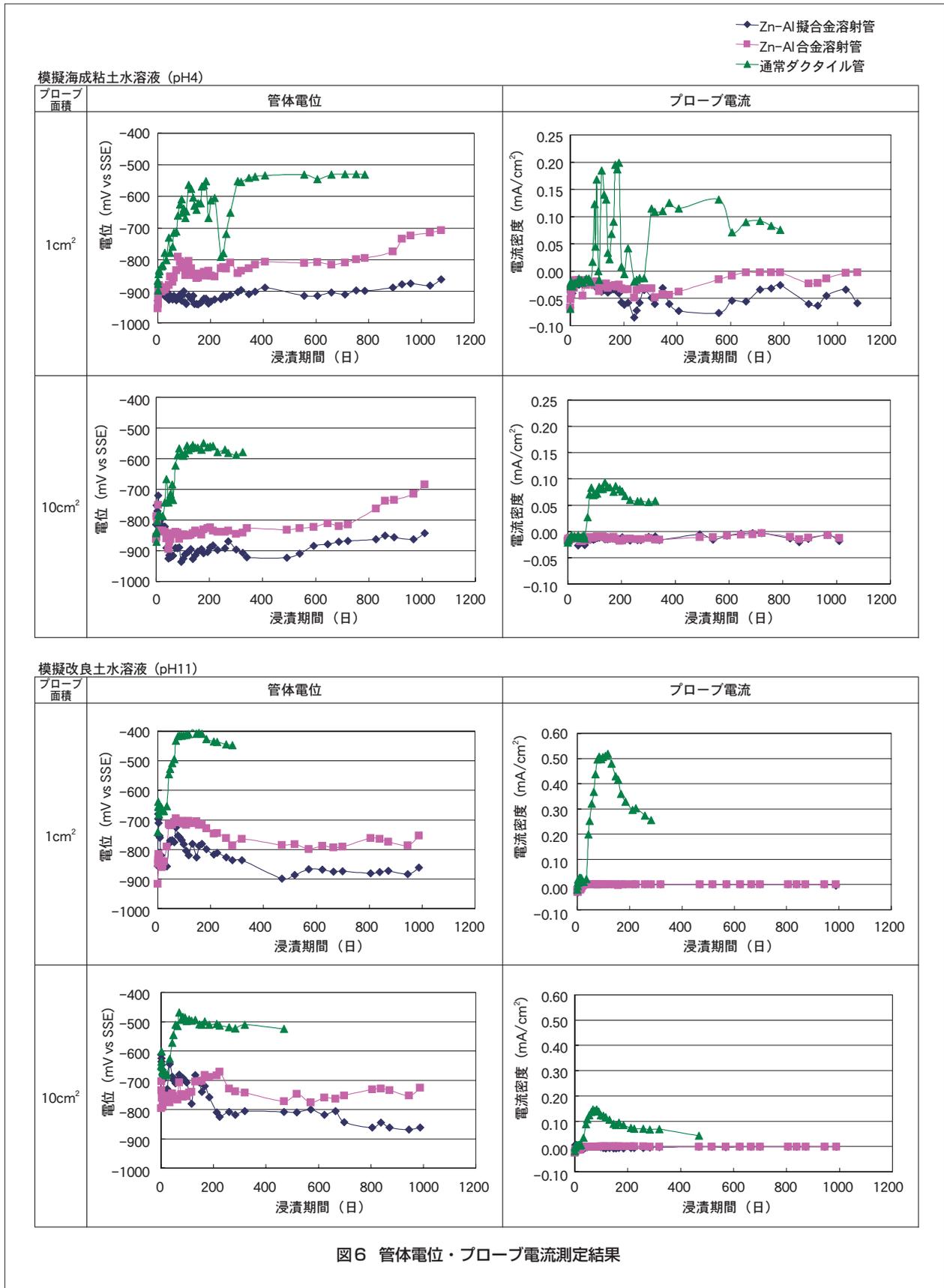


図6 管体電位・プローブ電流測定結果

管体に赤錆の発生はなく、 -700 mV 以下を保持していた。また、電流値は負を示し、プローブに防食電流が流れており、プライマーの犠牲陽極作用が持続していることがわかった。

模擬改良土水溶液中では、通常ダクタイル管は、管体にほとんど白錆が発生せず、30日を経過すると犠牲陽極作用はなくなった。一方、亜鉛アルミ管は1000日を経過しても管体に赤錆の発生はなく、犠牲陽極作用も持続していた。

プローブ面積を比較すると、 10 cm^2 よりも 1 cm^2 の電流密度が大きく、厳しい腐食環境であると言える。これは、このようなマクロセル状態では、カソード面積が一定の場合、アノード面積が小さいほど電流が集中して流

れるため、電流密度も大きくなるからである。亜鉛アルミ管の場合、電流値は負なので、この電流密度が小さいほど、プライマーの消耗量が少なくなり、管全体の寿命は長くなる。

亜鉛アルミ管の電流密度は、模擬海成粘土水溶液に比べ、模擬改良土水溶液中の方が非常に小さな値である。これは、模擬改良土水溶液中のプローブ表面には炭酸カルシウムが析出しており、それが保護皮膜として作用するため、電流密度が小さくなったと考えられる。

以上のことから、模擬海成粘土水溶液、模擬改良土水溶液のいずれにおいても、亜鉛アルミ管が優れた耐食性を発揮することがわかった。

浸漬 日数	プローブ 面積	模擬水溶液					
		模擬海成粘土水溶液 (pH4)			模擬改良土水溶液 (pH11)		
		Zn-Al 擬合金溶射管	Zn-Al 合金溶射管	通常ダクタイル管	Zn-Al 擬合金溶射管	Zn-Al 合金溶射管	通常ダクタイル管
200	1cm ²						
200	10cm ²						

図7 供試管の外観

5. 埋設試験

5.1 埋設年月

2005年1月

5.2 調査年月

2008年7月～8月

5.3 埋設場所

川崎市麻生区王禅寺西5丁目

5.4 試験材料

供試材を表4に示す。亜鉛アルミ管の付属品は、エポキシ樹脂粉体塗装とし、ボルト・ナットはSUS304を用いた。

5.5 埋設条件

5.5.1 埋戻土

- ① 布設時の建設発生土(以下、発生土)
- ② 川崎市土質改良プラントの改良土(以下、改良土)

5.5.2 埋設条件

図8に埋設条件の模式図を示す。比較として通常ダクタイル管についても、ポリエチレンスリーブなしで同様

な埋戻土で並列に埋設し、付属品はすべて通常品を用いた。

検証対象管の経年変化を調査するため、約5mごとに、管体上部にカッターナイフを用いて、30°で交わる長さ60mmのクロスカット(傷)を入れた。クロスカット部の外観を図9に、埋設状況を図10に示す。

埋設条件1：Zn-Al合金溶射管+発生土

埋設条件2：Zn-Al合金溶射管+改良土

埋設条件3：Zn-Al擬合金溶射管+発生土

埋設条件4：Zn-Al擬合金溶射管+改良土

5.6 調査箇所

継ぎ手部とクロスカット部を含む箇所を切り出し、調査を行った。

5.7 調査項目および調査内容

5.7.1 土壌調査

a) 現地調査

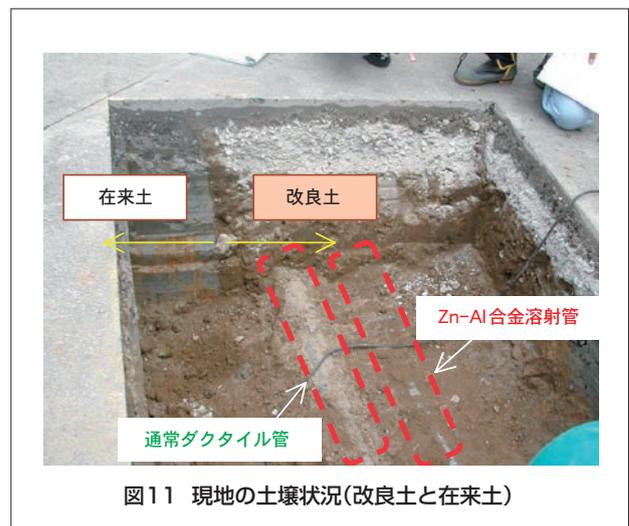
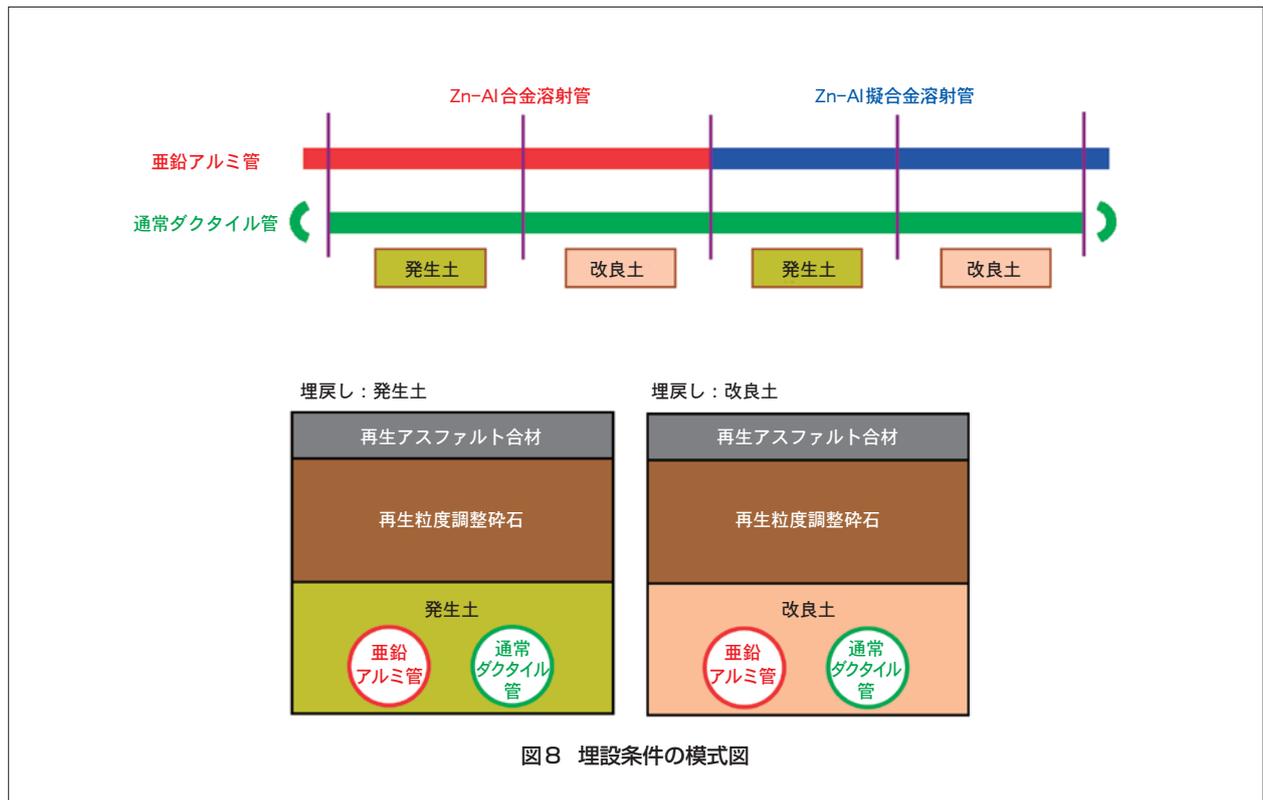
掘上げ調査を行った4ヶ所の土壌について、表5に示す項目の調査を行った。なお、室内調査用の土壌は、各調査箇所の調査管周囲の任意の2点、および在来土から採取した。図11に現地の土壌の状況を示す。

表4 供試材

	外面塗装系	備考
直管	Zn-Al擬合金溶射400g/m ² + 合成樹脂塗装100μm	亜鉛アルミ管
	Zn-Al合金溶射400g/m ² + 合成樹脂塗装100μm	
	Zn溶射130g/m ² +合成樹脂塗装 合計100μm	通常品
異形管	JWWA G 112準拠 エポキシ樹脂粉体塗装200μm	
	合成樹脂塗装	通常品
押輪	JWWA G 112準拠 エポキシ樹脂粉体塗装200μm	
	合成樹脂塗装	通常品
特殊押輪	エポキシ樹脂粉体塗装	
	合成樹脂塗装	通常品
ボルト・ナット	ステンレスSUS304	
	ダクタイル鋳鉄(DCI)	通常品

表5 現地土壌調査項目

調査項目	調査内容
比抵抗	土壌棒およびオームメータ(交流抵抗計)により測定
土壌の採取	各調査箇所、室内調査用の土壌を採取



b) 室内調査(土壌)

採取した土壌を試験土壌として、表6に示す項目の調査を行った。

c) 室内調査(土壌抽出水)

土壌抽出水は、採取した土壌を風乾した後、2.5倍の重量の純水により24時間以上抽出し、その上澄み液を試験水とした。表7に示す項目について、調査を行った。

d) 土壌の腐食性評価

上記の土壌分析を実施後、ANSI A21.5-1999 (アメリ

カ規格協会規格)に示される腐食性評価方法および、DVGW GW9-1971 (ドイツガス水道技術者協会規格)により、土壌の腐食性を評価した。表8にANSIによる評価基準を、表9にDVGWによる評価基準を示す。

ANSIでは、比抵抗、pH、Redox 電位、水分および硫化物の有無を点数化し、その合計点数が10点以上になれば腐食性の土壌と判断して、ポリエチレンスリーブ工法による防食対策を考慮することとされている。

DVGWでは、その合計点数を表10に示す腐食性判定基準に基づいて土壌の腐食性を判定する。

表6 室内土壌調査項目

調査項目		調査内容
比抵抗	未処理	試料土をアクリル製土壌箱(15×20×30)に固く詰め、交流抵抗計にて測定
	水飽和	試料土に純水を添加して飽和させた状態で未処理と同様に測定
Redox 電位 (酸化還元電位)		Redox 電位計にて測定した値を補正して算出 ^{※1)}
強制酸化試験		土壌に30%過酸化水素水を加えて強制的に酸化させ、pH値を測定
含水比		JIS A 1203(土の含水比試験方法)
硫化物測定		ナトリウムアジドヨウ素溶液を用いて、窒素ガスの発生状況により硫化物を判定
硫黄含有率測定		乾燥した土壌を JIS G 1215 の赤外線吸収法により測定

※1) 算出方法 $E_{Redox} = E + 247 + E_{pH}$
 E_{Redox} : Redox 電位 (mV)
 E : 電位計メータ直読値 (mV)
 247 : 水素電極(標準)補正值 (mV)
 E_{pH} : pH 値による補正值 (mV)
 $E_{pH} = (pH \text{ 値} - 7) \times 60$

表7 土壌抽出水の調査項目

調査項目	調査内容
比抵抗	上水試験方法により電気伝導度を測定して算出 比抵抗 = 1 / 電気伝導度
pH	JIS Z 8802(pH値測定方法)により測定(ガラス電極式pH計法)
硫酸イオン	上水試験方法により測定(イオンクロマトグラフ法)
塩素イオン	上水試験方法により測定(モール法)
過マンガン酸 カリウム 消費量	上水試験方法により測定(酸性法)
蒸発残留物	上水試験方法により測定(蒸発残留物)
酸度測定	上水試験方法により測定(総酸度)
アルカリ度測定	上水試験方法により測定(総アルカリ度)

表8 ANSI A21.5-1999による土壌の腐食性評価基準

測定項目	測定値	点数	測定項目	測定値	点数	
比抵抗 (Ω・cm)	<1,500	10	Redox 電位 (mV)	>100	0	
	1,500 ~ 1,800	8		50 ~ 100	3.5	
	1,800 ~ 2,100	5		0 ~ 50	4	
	2,100 ~ 2,500	2		<0	5	
	2,500 ~ 3,000	1		排水悪い、常に湿潤	2	
	>3,000	0	排水かなり良好 一般に湿っている	1		
pH	0 ~ 2	5	水分(%)	排水良好 一般に乾燥している	0	
	2 ~ 4	3		硫化物	検出	3.5
	4 ~ 6.5	0			痕跡	2
	6.5 ~ 7.5	0 ^{※2)}	なし		0	
	7.5 ~ 8.5	0				
	>8.5	3				

※2) pHが中性域(6.5 ~ 7.5)で硫化物が存在し、かつRedox 電位が低い場合には3点を加算する。

表9 DVGW GW9-1971 ドイツガス水道技術者協会規格による土壌の腐食性評価基準

測定項目	測定値	点数	測定項目	測定値	点数
土壌の種類	石灰質	2	含水比 (%)	20%以下	0
	泥灰状石灰岩	2		20%以上	-1
	砂状泥灰土	2	pH	6以下	-2
	砂	2		6以上	0
	砂質ローム (ローム含有75%以下)	0	総酸度 (mg/kg)	125以下	0
	泥灰ローム	0		125 ~ 250	-1
	砂質粘土 (シルト含有75%以下)	0		250以上	-2
	粘土	-2	Redox 電位 (mV)	400以上	2
	泥灰粘土	-2		200 ~ 400	0
	腐植土	-2		0 ~ 200	-2
	泥炭	-4		0以下	-4
	重質ローム	-4		アルカリ度 (mg/kg)	50,000以上
	沼沢地土壌	-4		10,000 ~ 50,000	1
	埋設位置での地下水	なし	0		10,000以下
あり		-1	硫化水素 および 硫化物	なし	0
変動あり		-2		微量	-2
土壌の条件 (掘返しの有無)	掘返していない	0	石灰ガラコークスの存在	あり	-4
	掘返した土壌	-2		なし	0
土壌の条件 (構造物周辺との土質差)	構造物周辺と同質	0	塩化物 (mg/kg)	あり	-4
	構造物周辺と異質	-3		100以下	0
比抵抗 (Ω・cm)	10,000以上	0	硫酸塩含有量 (mg/kg)	100以上	-1
	10,000 ~ 5,000	-1		200以下	0
	5,000 ~ 2,300	-2		200 ~ 500	-1
	2,300 ~ 1,000	-3		500 ~ 1,000	-2
	1,000以下	-4		1,000以上	-3

表10 DVGW GW9-1971による土壌腐食性判定基準

点数の合計	土壌の腐食性
0	腐食性なし
0 ~ -4	やや腐食性あり
-5 ~ -10	腐食性あり
-11	以下著しく腐食性あり

5.7.2 腐食調査

a) 外観調査

掘上げたダクトイル鋳鉄管の外観状況の調査を行った。ショットブラスト前に赤錆、白錆等の外観状況確認、ショットブラスト後に腐食が認められた場合は、腐食深さと面積を測定した。また、クロスカット部は、図12に示す基準により評価した。

b) 塗膜断面観察

掘り上げたダクトイル鋳鉄管の塗膜について、SEMによる断面の観察、およびEPMAによる定性分析を行った。

c) 電位測定

クロスカット部の電位測定を行った。図13のように、クロスカット部を覆うようにアクリル容器を設置し、その中に埋設土壌の模擬水溶液を入れ、電位の測定を行った。測定方法を図14に示す。なお、参照電極は、銀塩化銀電極を用いた。

5.8 調査結果

5.8.1 土壌調査結果

土壌調査結果および土壌抽出水の調査結果を表11、12に示す。また、ANSIおよびDVGWによる土壌の腐食性評価結果を表13、14に示す。

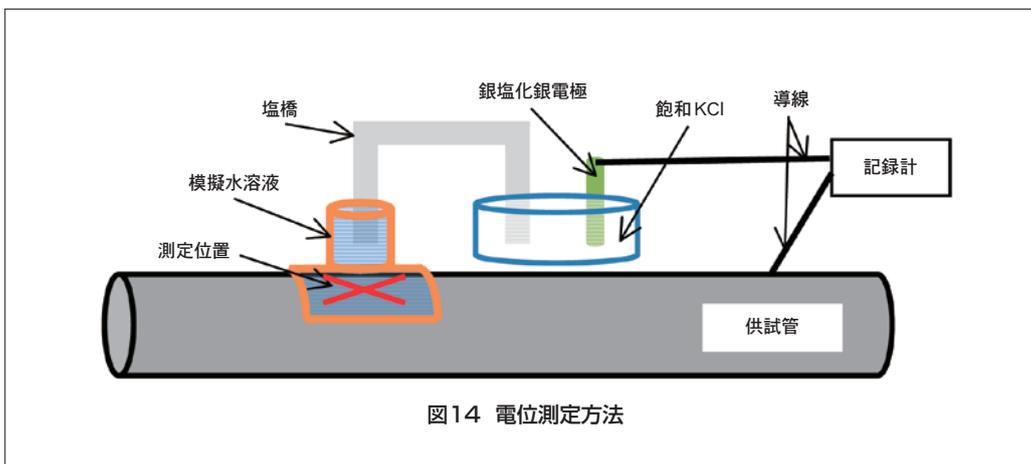
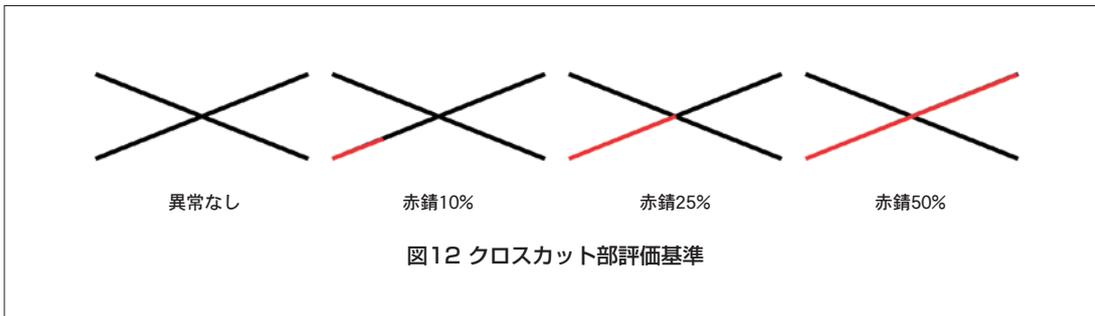


表11 土壌分析結果

調査地点	サンプル No.	土の種類	土の色	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)			Redox 電位 (mV)	含水比 (%)	硫化物	pH (H_2O_2)	硫黄含有率 (%)
				現地	未処理	水飽和					
埋設条件 1	1-1	粘土	灰オリーブ色	1,200	2,610	862	509	32	あり	5.7	0.28
	1-2	粘土	黄褐色	1,000	2,660	827	449	34	あり	4.6	0.36
	在来土	粘土	暗オリーブ色	—	5,360	686	275	31	あり	3.1	0.41
埋設条件 2	2-1	シルト	暗褐色	1,100	13,990	2,540	460	24	あり	11.2	0.19
	2-2	シルト混じり粘土	褐色	—	10,120	2,170	488	27	あり	11.0	0.17
	在来土	粘土	暗オリーブ灰色	—	5,750	1,060	363	31	あり	3.6	0.40
埋設条件 3	3-1	粘土混じりシルト	にぶい黄褐色	850	3,740	1,001	546	27	あり	2.9	0.28
	3-2	粘土混じりシルト	にぶい黄褐色	1,900	2,620	941	486	30	あり	5.7	0.33
	在来土	粘土混じりシルト	にぶい黄褐色	—	220	1,574	471	26	あり	5.2	0.14
埋設条件 4	4-1	砂粘土混じりシルト	褐色	1,800	2,040	933	502	33	あり	7.2	0.10
	4-2	砂粘土混じりシルト	オリーブ褐色	1,750	6,890	2,310	462	34	あり	9.2	0.22
	在来土	砂混じり粘土	暗オリーブ色	2,300	2,500	927	499	28	あり	6.4	0.10

表12 土壌抽出水分析結果

調査地点	サンプル No.	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	pH	硫酸イオン (mg/l)	塩素イオン (mg/l)	KMnO_4 消費量 (mg/l)	蒸発残留物 (mg/l)	酸度 (mg/l)	アルカリ度 (mg/l)
埋設条件 1	1-1	461	7.2	1,200	4	13	2,204	4	16
	1-2	446	5.3	1,300	3	6	2,324	26	1
	在来土	394	3.6	1,500	2	5	2,644	161	—
埋設条件 2	2-1	1,406	10.9	40	6	32	312	—	55
	2-2	1,429	10.7	85	9	33	440	—	49
	在来土	883	6.1	530	2	3	1,021	4	2
埋設条件 3	3-1	552	7.5	910	4	5	1,766	5	47
	3-2	590	7.2	840	4	5	1,618	3	25
	在来土	5,615	6.5	56	1	2	159	3	5
埋設条件 4	4-1	1,575	7.3	180	4	15	520	3	30
	4-2	1,520	9.3	200	2	24	517	—	36
	在来土	974	7.2	450	1	9	891	4	24

表13 ANSIによる土壌の腐食性評価結果

調査地点	サンプルNo.		比抵抗 (Ω・cm)	Redox 電位 (mV)	含水比(%)	硫化物	pH	総合評価 点数
埋設条件 1	1 - 1	分析値	862	509	32	あり	7.2	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5
	1 - 2	分析値	827	449	34	あり	5.3	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5
	在来土	分析値	686	275	31	あり	3.6	—
		ANSI	10	0	2	3.5	3	18.5
埋設条件 2	2 - 1	分析値	1,100	460	24	あり	10.9	—
		ANSI	10	0	2	3.5	3	18.5
	2 - 2	分析値	1,015	360	33	あり	7.2	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5
	在来土	分析値	1,060	363	31	あり	6.1	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5
埋設条件 3	3 - 1	分析値	850	546	27	あり	7.5	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5
	3 - 2	分析値	941	486	30	あり	7.2	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5
	在来土	分析値	1,574	471	26	あり	6.5	—
		ANSI	8	0	2	3.5	0	13.5
埋設条件 4	4 - 1	分析値	933	502	33	あり	7.3	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5
	4 - 2	分析値	1,750	462	34	あり	9.3	—
		ANSI	8	0	2	3.5	3	16.5
	在来土	分析値	927	499	28	あり	7.2	—
		ANSI	10	0	2	3.5	0	15.5

腐食判定結果 ■ : 10点以上(腐食性の土壌)

表14 DVGWによる土壌の腐食性評価結果

調査地点	サンプル No.	土壌分析									土壌抽出水分析					総合 評価 点数	
		土壌 の種類	地下 水	土壌条件		石炭ガ ラ・ コークス	比抵抗 (Ωcm)	Redox 電位 (mV)	含水比 (%)	硫化物	pH	硫酸塩 含有量 (mg/kg) [*]	塩素イ オン 含有量 (mg/kg) [*]	総酸度 (mg/kg) [*]	アルカリ 度 (mg/kg) [*]		
				掘返 し	土質 差												
埋設条件 1	1 - 1	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	862	509	32	あり	7.2	3,000	10	10	40	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-4	2	-1	-4	0	-3	0	0	0	-14
	1 - 2	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	827	449	34	あり	5.3	3,250	8	65	4	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-4	2	-1	-4	-2	-3	0	0	0	-16
	在来土	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	686	275	31	あり	3.6	3,750	5	403	—	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-4	0	-1	-4	-2	-3	0	-2	0	-20
埋設条件 2	2 - 1	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	1,100	460	24	あり	10.9	100	15	—	137	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-3	2	-1	-4	0	0	0	0	0	-10
	2 - 2	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	1,015	360	33	あり	7.2	875	15	7	56	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-3	0	-1	-4	0	-2	0	0	0	-14
	在来土	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	1,060	363	31	あり	6.1	1,325	5	8.8	4.5	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-3	0	-1	-4	0	-3	0	0	0	-15
埋設条件 3	3 - 1	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	850	546	27	あり	7.5	2,275	10	12	118	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-4	2	-1	-4	0	-3	0	0	0	-14
	3 - 2	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	941	486	30	あり	7.2	2,100	10	8	63	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-4	2	-1	-4	0	-3	0	0	0	-14
	在来土	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	1,574	471	26	あり	6.5	140	3	7	13	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-3	2	-1	-4	0	0	0	0	0	-10
埋設条件 4	4 - 1	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	933	502	33	あり	7.3	450	10	7	75	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-4	2	-1	-4	0	-1	0	0	0	-12
	4 - 2	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	1,750	462	34	あり	9.3	500	5	—	90	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-3	2	-1	-4	0	-2	0	0	0	-12
	在来土	分析値	粘土	なし	あり	同質	なし	927	499	28	あり	7.2	1,125	3	10	60	
		DVGW	-2	0	-2	0	0	-4	2	-1	-4	0	-3	0	0	0	-14

腐食判定結果 ■ : 著しく腐食性あり ■ : 腐食性あり
* 土壌 1 kgあたりの含有量として、換算した

5.8.2 腐食調査結果

a) 外観調査結果

掘上げた供試管の外観写真を図15に、外観調査結果を表15に示す。

Zn-Al合金溶射管とZn-Al擬合金溶射管は、発生土、改良土のいずれにおいても白錆はあるものの、赤錆の発生はなかった。また、ショットブラスト後の腐食は認め

られず、良好であった。クロスカット部においても、同様に赤錆の発生はなく、腐食は認められなかった。

一方、通常ダクタイル管は、発生土、改良土のいずれにおいても赤錆が発生し、ショットブラスト後の腐食が認められた。特に、改良土中での腐食が著しかった。クロスカット部は、赤錆はあるものの、ショットブラスト後の腐食はなかった。

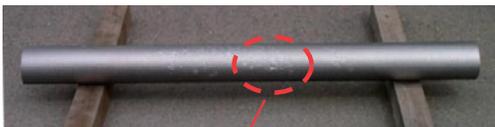
条件	供試管	埋戻土	外観	
			ショットブラスト前	ショットブラスト後
埋設条件1	Zn-Al合金溶射管	発生土		
	通常ダクタイル管			
埋設条件2	Zn-Al合金溶射管	改良土		
	通常ダクタイル管			  腐食深さ：1.8mm
埋設条件3	Zn-Al擬合金溶射管	発生土		
	通常ダクタイル管			  腐食深さ：0.6mm
埋設条件4	Zn-Al擬合金溶射管	改良土		
	通常ダクタイル管			

図15 ダクタイル鑄鉄管の外観

表15 外観調査結果

条件	供試管	埋戻土	腐食調査結果		
			全体	カット部	腐食はなく良好
埋設条件 1	Zn-Al 合金 溶射管	発生土	全体	赤錆なし、全体的に白錆	腐食はなく良好
			カット部	異常なし	腐食はなく良好
	通常 ダクタイル 管		全体	若干赤錆、一部白錆、	φ10、深さ0.6mmの腐食が1ヶ所
			カット部	赤錆5%	腐食はなく良好
埋設条件 2	Zn-Al 合金 溶射管	改良土	全体	赤錆なし、一部白錆	腐食はなく良好
			カット部	異常なし	腐食はなく良好
	通常 ダクタイル 管		全体	局部的に赤錆 赤錆の周りに白錆	最大腐食深さ：1.8mm 腐食面積：13%
			カット部	異常なし	腐食はなく良好
埋設条件 3	Zn-Al 擬合金 溶射管	発生土	全体	赤錆なし、若干の白錆	腐食はなく良好
			カット部	異常なし	腐食はなく良好
	通常 ダクタイル 管		全体	全体に赤錆、若干の白錆	最大腐食深さ：0.6mm 腐食面積：1%
			カット部	赤錆60%	腐食はなく良好
埋設条件 4	Zn-Al 擬合金 溶射管	改良土	全体	赤錆なし、若干の白錆	腐食はなく良好
			カット部	異常なし	腐食はなく良好
	通常 ダクタイル 管		全体	局部的に赤錆 赤錆の周りに白錆	最大腐食深さ：0.8mm 腐食面積：25%
			カット部	赤錆5%	腐食はなく良好

b) 塗膜断面観察結果

掘上げた供試管の塗膜断面のSEM写真、およびEPMAによる定性分析結果を図16、17に示す。

塗膜表面の白錆の有無にかかわらず、塗膜中への亜鉛の溶出が認められたが、溶射皮膜は十分に残存していた。また、Zn-Al合金溶射管の白錆が析出した部分では、アルミニウムの不動態膜が形成されていることが確認できた。

亜鉛やアルミニウムが塗膜中に溶出することにより、塗膜がより緻密化するので、防食効果は今後も長期にわ

たり持続すると考えられる。

c) 電位測定結果

模擬水溶液中における電位測定結果を表16に示す。Zn-Al合金溶射管、Zn-Al擬合金溶射管の電位は、ダクタイル鋳鉄の電位よりも卑であることから、Zn-Al合金溶射やZn-Al擬合金溶射の犠牲陽極作用が持続していることが確認できた。一方、通常ダクタイル管の電位は、ダクタイル鋳鉄よりも貴であり、亜鉛溶射の犠牲陽極作用はなくなっていた。

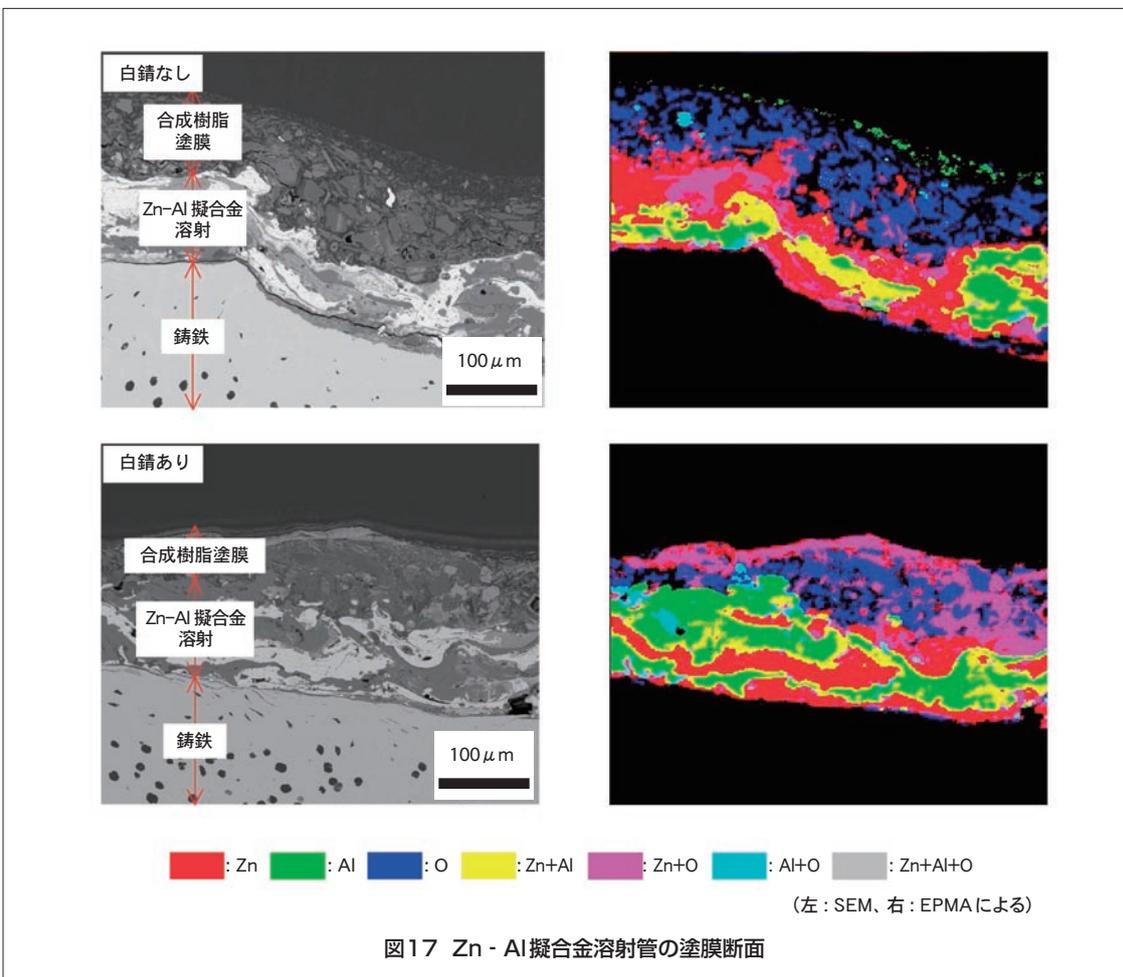
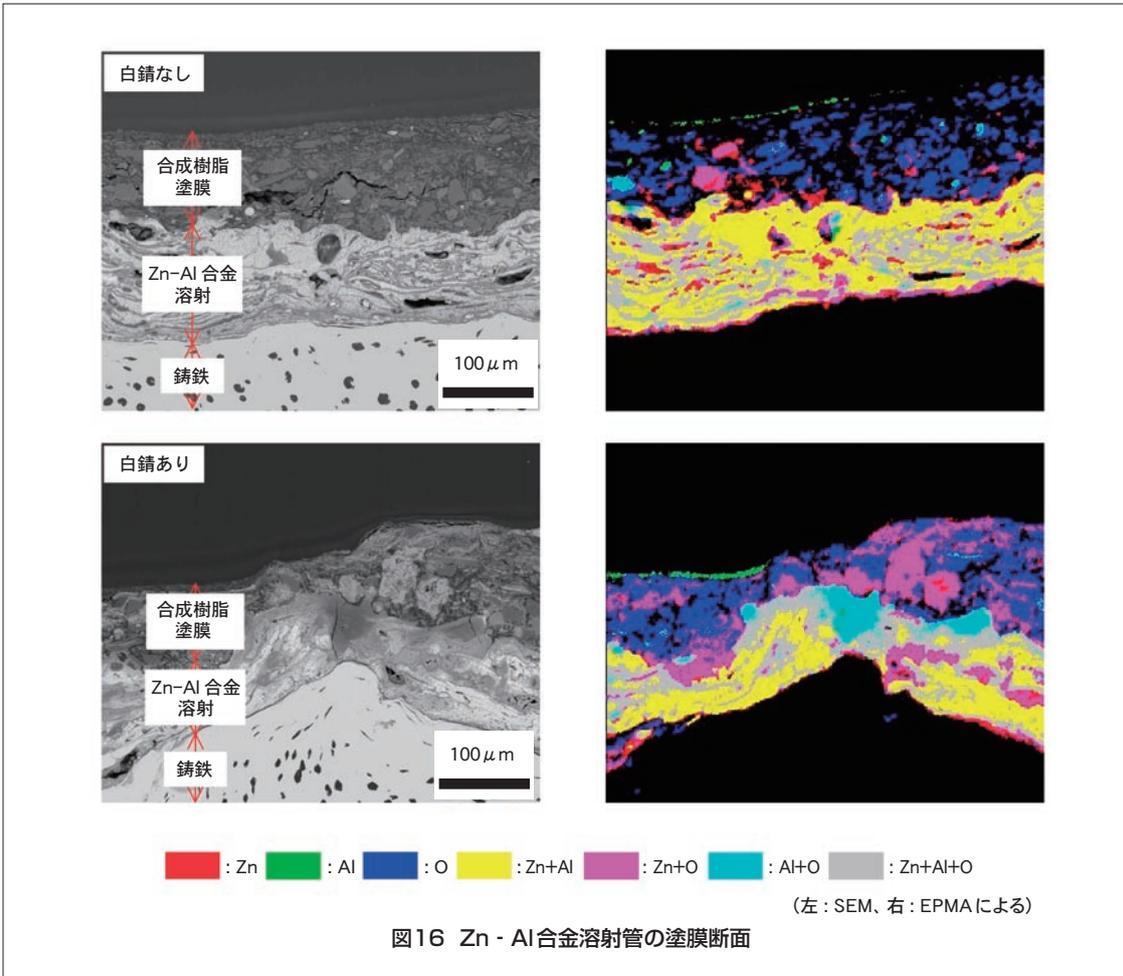


表16 クロスカット部の電位測定結果

供試管	模擬水溶液	
	海成粘土	改良土
Zn-Al合金溶射管	-775	-835
Zn-Al擬合金溶射管	-885	-900
通常ダクタイル管	-410	-480
ダクタイル鋳鉄 (自然電位)	-620	-610

単位：mV vs SSE

6. まとめ

腐食性の激しい海成粘土、および改良土での亜鉛アルミ管 (Zn-Al合金溶射管とZn-Al擬合金溶射管) の耐食性検証を行った。埋設環境を模擬した水溶液での浸漬試験では、電気化学的に亜鉛アルミ管の防食作用が通常ダクタイル管よりも長期にわたり持続することが確認できた。

埋設試験3年目の調査結果では、通常ダクタイル管には管体腐食が認められたが、亜鉛アルミ管には腐食は認められず、その防食効果(犠牲陽極作用)が持続していることが確認できた。

7. おわりに

今後、埋設試験掘上げ調査(6年目、10年目)、およびより過酷な条件を想定した浸漬試験を継続し、亜鉛アルミ管と通常ダクタイル管の比較、Zn-Al合金溶射管とZn-Al擬合金溶射管の比較などを行い、亜鉛アルミ管の耐久性指標の確立を目指していく。

最後に、本報告が、腐食性土壌地域におけるダクタイル鋳鉄管敷設工事の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 柴田久生、片岡徹幸：第48回全国水道研究発表会 (5-19) ダクタイル鋳鉄管等に対して改良土が及ぼす影響 (I)
- 2) 江頭徹夫、柴田久生：第51回全国水道研究発表会 (5-42) ダクタイル鋳鉄管等に対して改良土が及ぼす影響 (II)
- 3) ダクタイル鉄管協会：埋設管路の腐食原因とその防食について、p.8-9
- 4) 細川裕司、梶山文夫、中村康朗：プローブ電流密度を指標とした土壌埋設パイプラインのカソード防食管理基準に関する検討、材料と環境、腐食防食協会、2002年、第51号、第5巻、p 221-222

執筆者

廣島 聡子

Satoko Hirohata

1999年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



斉藤 昌彦

Masahiko Saito

1988年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



浦田 正博

Masahiro Urata

川崎市水道局



松永 直樹

Naoki Matsunaga

川崎市水道局

