

ダクティル鑄鉄管外面特殊塗装の耐食性の検証

Inspection of Corrosion Protection of Special Exterior Coatings for DCI Pipes

道浦吉貞* 喜多川 真好**

Yoshisada Michiura, Masayoshi Kitagawa

腐食性土壌地域におけるダクティル鑄鉄管の防食工法として、ポリエチレンスリーブ工法が多くの実業体で採用されている。さらに、より防食効果・施工性を高めかつ経済性を考慮するという観点から、外面特殊塗装の検討を行ない、ポリエチレンスリーブレス仕様として亜鉛-アルミニウム擬合金溶射を開発してきた。その耐食性検証のため徳島市水道局と共同で腐食性土壌地域での埋設試験を計画し、経時での追跡調査を行なってきたが、今回、6年目の経年調査を実施したので結果を報告する。

Polyethylene encasement has been adopting in many cities, for providing corrosion protection for DCI pipe systems under corrosive environments. Furthermore, from the point of improving corrosion protection effect and installation method, and of considering economic condition, Zinc-Aluminum pseudo-alloy thermal spray coating has been developed.

For the purpose of inspection of corrosion protection of it, Kurimoto has planned investigation of exterior special coatings under severely corrosive test sites with Tokushima Waterworks Bureau, and started in 1996.

This paper reports the result of corrosion test over 6 years.

1. はじめに

徳島市は、吉野川の沖積平野に発達した都市であり、特に沿岸部においては、ダクティル鑄鉄管の管体腐食やT頭ボルト・ナットの腐食による事故を経験してきた。そこで、平成3年度から平成6年度にかけ、市内113地点の土壌調査を実施し、腐食性土壌地域と非腐食性土壌地域を識別し、これを基に、腐食性土壌地域には、ポリエチレンスリーブ工法を採用し、管路全体の防食対策に取り組んできた。

さらに徳島市水道局では、ポリエチレンスリーブ工法よりも防食効果・施工性に優れた外面特殊塗装の検討を進めてきた。

一方、栗本ではポリエチレンスリーブレスの外面耐食材について種々検討を行ない、亜鉛-アルミニウム擬合金溶射を開発してきた。

このような背景から、DIPの外面特殊塗装に関して

共同で、腐食性土壌下での埋設試験を計画し、平成8年から実施している。今回6年目の調査を行なったのでその結果を以下に報告する。

2. 亜鉛-アルミニウム擬合金溶射について

亜鉛-アルミニウム擬合金溶射は米国海軍によって開発されたものである。一般に亜鉛(溶射膜)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。また、アルミニウム(溶射膜)は鉄表面に緻密な不動態膜を形成し、遮断効果により優れた耐食性を示す。これら両者の長所を組み合わせたものが亜鉛-アルミニウム擬合金溶射であり、図2に示すようにアーク溶射プロセスにより亜鉛層とアルミニウム層を層状に形成することでアルミニウム層の緻密な不動態膜により亜鉛の溶出を抑制し長期にわたる耐食性を発揮する。図3に溶射被膜断面のEPMAによる定性分析結果を示す。

また、図4に長期塩水噴霧試験を行なった結果を示す。比較材として亜鉛溶射を用いたが、亜鉛溶射(塗布量 $130\text{g}/\text{m}^2$)では60日後に赤錆が発生したが、亜鉛-アルミニウム擬合金溶射(塗布量 $130\text{g}/\text{m}^2$)では210日後に赤錆が発生し、塗布量を $260\text{g}/\text{m}^2$ とした場合は270日後でも赤錆の発生はなく優れた耐食性を示している。

3. 埋設試験

3.1 埋設年月

平成8年11月～平成9年2月

3.2 調査年月

平成11年5月(3年目)

平成14年11月(6年目)



図1 腐食により漏水した管

Fig. 1 Leaked underground pipes by corrosion

* 鉄管事業部 鉄管研究部

** ピー・エス・ティ株式会社

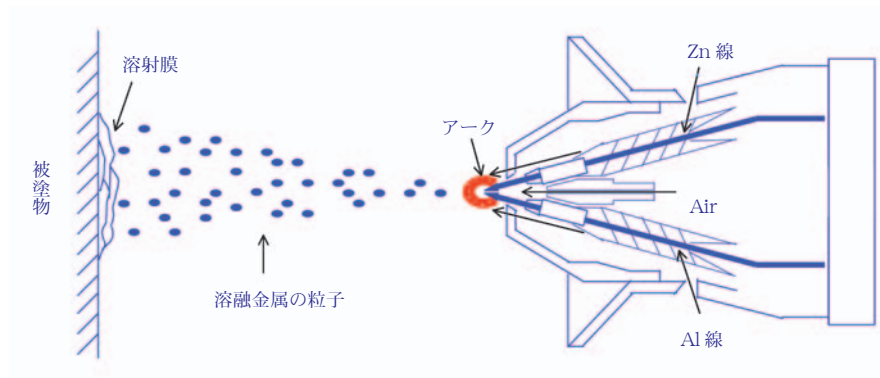


図2 アーク溶射の概念図
Fig. 2 Scheme of arc thermal spray

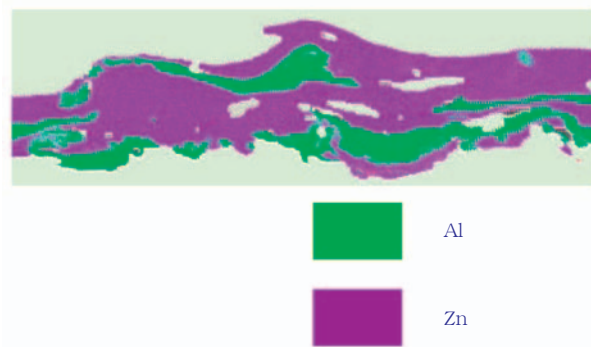


図3 Zn-Al擬合金溶射被膜断面図
Fig. 3 Section of Zn-Al pseudo-alloy thermal spray coating

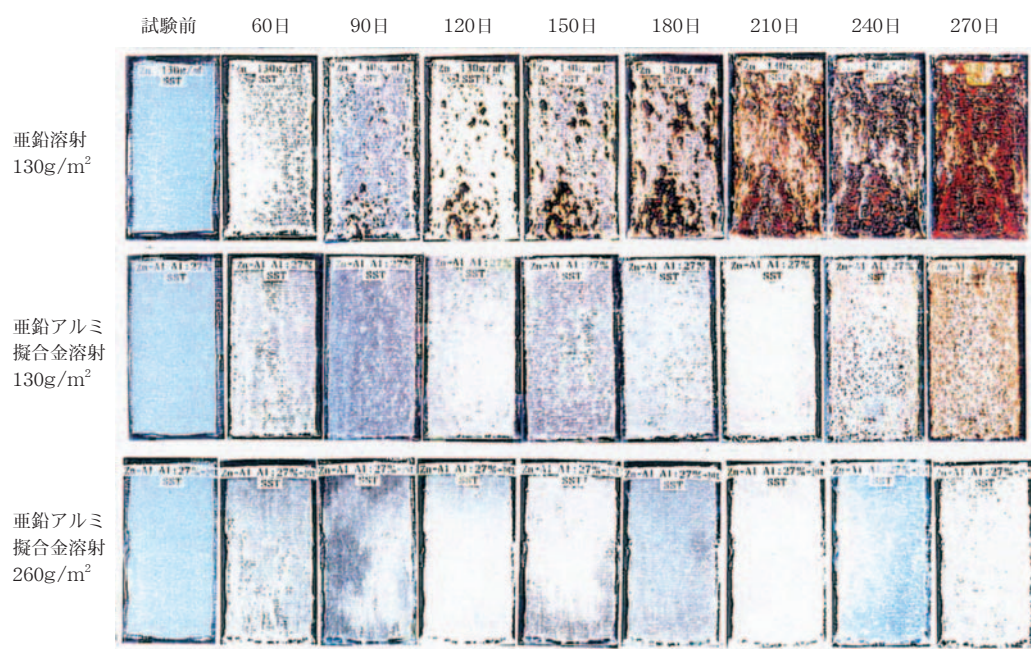


図4 耐塩水噴霧性試験結果
Fig. 4 Result of salt spray test



図5 埋設場所
Fig. 5 Location of test sites

表1 外面特殊塗装仕様
Table 1 Specification of special external coatings

呼び径	プライマー	一次塗装	二次塗装
φ200	Zn-Al擬合金溶射 (Al含有率27%) 塗布量: 260g/m ²	合成樹脂塗装 (塗装の厚さ: 80 μm)	合成樹脂塗装 (塗装の厚さ: 20 μm)
φ150	—	ポリウレタン樹脂塗装 (塗膜の厚さ: 1.5mm以上)	—

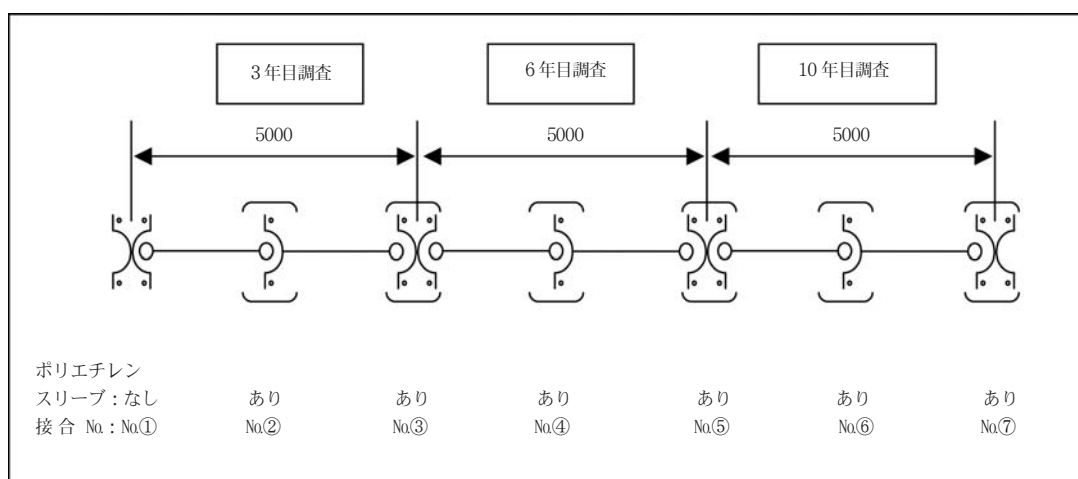


図6 調査箇所の配管図
Fig. 6 Piping of investigation point

3.3 埋設場所

徳島市川内町加賀須野地内。

図5に示す4箇所で埋設試験を行なった。調査箇所①②は呼び径φ200、③④は呼び径φ150である。

3.4 試験材料

今回埋設試験に用いたダクタイル鋳鉄管の外面塗装仕様を表1に示す。φ200のラインについては亜鉛-アルミニウム擬合金溶射+合成樹脂塗装を施し、φ150のラインについては厚膜重防食タイプのポリウレタン樹脂塗装を施した。

表2 調査箇所の接合内容
Table 2 Joint condition of examination points

接合No	No①		No②		No③		No④		No⑤		No⑥		No⑦	
接合形式	K形		K形		K形継輪		K形		K形継輪		K形		K形継輪	
押輪の種類	特殊押輪		K形押輪		特殊押輪		K形押輪		特殊押輪		K形押輪		特殊押輪	
ボルト・ナットの種類	DCI	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304 コーティング	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304 コーティング	SUS 304
ポリエチレンスリーブの有無	なし		有り		有り		有り		有り		有り		有り	
ポリエチレンスリーブ締具	なし		ゴムバンド		ゴムバンド		ゴムバンド		ゴムバンド		ゴムバンド		ゴムバンド	

3.5 調査箇所の配管図

調査箇所の配管図を図6に、接合内容を表2に示す。接合形式はK形で今回の実験では接合部のみポリエチレンスリーブを用いた。

4. 調査項目および調査内容

4.1 土壌調査

4.1.1 現地調査

掘上げ調査を行なった4箇所の土壌について、表3に示す項目の調査を行なった。

4.1.2 室内調査(土壌)

採取した土壌について表4に示す項目の調査を行なった。

4.1.3 室内調査(土壌抽出水および湧水)

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。また、湧水はサンプルをそのまま試験水とし、表5に示す項目について調査を行なった。

4.1.4 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6にANSIによる評価基準を、表7にDVGWによる評価基準を示す。

ANSIではその合計点数が10点以上で腐食性が激しいと評価する。また、DVGWでは、その合計点数が-10点以下で腐食性が激しいと評価する。



図7 掘上げ状況
Fig. 7 State of digging test pipes

表3 現地土壌調査項目
Table 3 Examination items of field soil survey

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
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)}
硫化物判定	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
土壌、湧水の採取	土壌調査箇所の4地点について、室内調査用の土壌および湧水を採取

※1) 算出方法を以下に示す

$$E_{Redox} = E + 247 + E_{pH}$$

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)

$$E_{pH} = (pH値 - 7) \times 60$$

表4 室内土壌調査項目
Table 4 Examination items of laboratory

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	現地調査と同様に測定
強制酸化試験	土壌に 30% 過酸化水素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）
硫化物判定	現地調査と同様に測定
硫黄含有率測定	乾燥した土壌を JIS Z 2616 の赤外線吸収法（積分法）により測定

表5 土壌抽出水および湧水の調査項目
Table 5 Examination items of extracted water from sampling soil and ground water

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	JIS Z 0101（工業用水試験方法）により測定（重量法）
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6 ANSIによる土壌の腐食性評価基準
Table 6 Estimation standard of soil corrosion by ANSI

測定項目	測定値	点数	測定項目	測定値	点数
比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	<1500	10	Redox 電位 (mV)	>100	0
	1500 ~ 1800	8		50 ~ 100	3.5
	1800 ~ 2100	5		0 ~ 50	4
	2100 ~ 2500	2		< 0	5
	2500 ~ 3000	1	水分 (%)	排水悪い、常に湿潤	2
	> 3000	0		排水かなり良好 一般に湿っている	1
pH	0 ~ 2	5		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7 DVGWによる土壌の腐食性評価基準
Table 7 Estimation standard of soil corrosion by DVGW

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 (度)	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	アルカリ度 (度)	0以下	-4
	重質ローム	-4		50000以上	2
	沼沢地土壌	-4		10000～50000	1
				10000以下	0
埋設位置での地下水	なし	0	硫化水素および 硫化物	なし	0
	あり	-1		微量	-2
	変動あり	-2		あり	-4
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	なし	0
	掘返した土壌	-2		あり	-4
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)	100以下	0
	構造物周辺と異質	-3		100以上	-1
比抵抗 (Ω・cm)	10000以上	0	硫酸塩含有量 (mg/kg)	200以下	0
	10000～5000	-1		200～500	-1
	5000～2300	-2		500～1000	-2
	2300～1000	-3		1000以上	-3
	1000以下	-4			

4.2 腐食調査

4.2.1 外観調査

掘上げた試験材料を持ち帰り、外観状況の確認を行った。外面塗膜はショットブラスト処理にて除去した。また、ボルトについてはブラッシングを行ない、外観観察を行った。

なお、外面ポリウレタン樹脂塗装については、ショットブラストによる塗膜の除去が困難であったため、塗

膜を焼落とした後、ショットブラスト後の調査を行った。

4.2.2 電位測定

亜鉛－アルミニウム擬合金溶射管について、管体の電位測定を行った。

4.2.3 インピーダンス測定

ポリウレタン樹脂塗装管について、塗膜抵抗値を求め劣化度を評価した。

表 8 土壌分析結果
Table 8 Analyzed results of soils

調査箇所	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	現地	室内				
① $\phi 200$	シルト	オリーブ黒色	850	1020	980	—	−14	40.2	あり	2.6	0.921
	粘土	オリーブ灰色	400	395	390	—	101	69.9	あり	2.9	0.238
	粘土	オリーブ灰色	650	726	711	288	317	33.2	あり	4.2	0.083
② $\phi 200$	粘土混じりのシルト	黒色	450	1128	1086	−55	−65	31.5	あり	5.4	0.851
	レキ	灰オリーブ色	—	3560	3020	—	54	11.5	あり	4.4	0.12
	シルト	灰色	1500	2180	2140	—	393	33.1	あり	3.4	0.048
③ $\phi 150$	粘土	灰色	1700	2080	2040	—	94	26.3	あり	3.4	0.245
	粘土	オリーブ灰色	2200	1710	1692	—	76	43.9	あり	2.9	0.21
	粘土	オリーブ灰色	2500	2010	1980	—	178	36.0	あり	4.6	0.142
④ $\phi 150$	レキ	オリーブ色	3800	10050	5750	—	558	12.1	あり	8.7	0.035
	レキ	暗オリーブ色	4500	8430	5920	—	551	11.9	あり	8.0	0.051
	シルト	オリーブ灰色	1500	2440	2350	346	289	27.0	あり	5.3	0.143

表 9 土壌抽出水(湧水)分析結果
Table 9 Analyzed results of extracted water and ground water

調査箇所	土の種類	土の色	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)	溶解性蒸発残留物(mg/L)	総酸度	アルカリ度
① $\phi 200$	シルト	オリーブ黒色	3831	3.5	57	51	25	192	36.7	—
	粘土	オリーブ灰色	609	3.8	57	501	29	914	19.8	—
	粘土	オリーブ灰色	1374	6.9	126	208	151	1105	7	11.1
	湧水		240	8.1	87	1356	22	2495	0.5	438.2
② $\phi 200$	粘土混じりのシルト	黒色	2959	4.3	82	60	62	316	25.8	—
	レキ	灰オリーブ色	4975	4.6	43	53	11	174	6.1	—
	シルト	灰色	9434	6.6	19	38	51	204	5.1	5.2
	湧水		967	8.1	71	239	8	567	1.2	129.6
③ $\phi 150$	粘土	灰色	3571	5.5	73	50	234	221	10.1	0.6
	粘土	オリーブ灰色	3155	5.5	70	63	55	429	12.4	1.6
	粘土	オリーブ灰色	4651	6.8	130	60	121	844	10.8	14
	湧水		1314	8.0	62	127	14	463	1.4	222.3
④ $\phi 150$	レキ	オリーブ色	7758	7.1	43	33	9	100	3.4	11.6
	レキ	暗オリーブ色	7758	7.1	43	33	9	100	3.4	11.6
	シルト	オリーブ灰色	4926	7.0	44	28	19	127	10.2	23.9
	湧水		2058	7.9	67	76	5	328	4.2	109.1

5. 調査結果

5.1 土壌調査結果

土壌調査結果および土壌抽出水(湧水)の調査結果を表 8 および 9 に示す。また、ANSI および DVGW による腐食性評価結果を表 10 に示す。

5.2 腐食調査結果

5.2.1 外観調査結果

外観調査結果を図 8～15 に示す。また、表 11 に結果のまとめを示す。亜鉛－アルミニウム擬合金溶射管、ポリウレタン樹脂塗装管とも全く腐食は認められず良好な結果が得られた。

表10 土壌の腐食性評価結果
Table 10 Estimated results of soil corrosion

調査箇所	土の種類	土の色	ANSI A21.5-93		ANSI A21.5-99		DVGW G9-1971	
			点数	腐食性評価	点数	腐食性評価	点数	腐食性評価
① φ200	シルト	オリーブ黒色	21.5	腐食性が強い	23.5	腐食性が強い	-23	著しく腐食性あり
	粘土	オリーブ灰色	18.5	腐食性が強い	18.5	腐食性が強い	-22	著しく腐食性あり
	粘土	オリーブ灰色	15.5	腐食性が強い	15.5	腐食性が強い	-18	著しく腐食性あり
② φ200	粘土混じりのシルト	黒色	23.5	腐食性が強い	23.5	腐食性が強い	-21	著しく腐食性あり
	レキ	灰オリーブ色	12	腐食性が強い	12	腐食性が強い	-12	著しく腐食性あり
	シルト	灰色	7.5		13.5	腐食性が強い	-16	著しく腐食性あり
③ φ150	粘土	灰色	13	腐食性が強い	20	腐食性が強い	-20	著しく腐食性あり
	粘土	オリーブ灰色	13	腐食性が強い	20	腐食性が強い	-20	著しく腐食性あり
	粘土	オリーブ灰色	6.5		10.5	腐食性が強い	-18	著しく腐食性あり
④ φ150	レキ	オリーブ色	5.5		5.5		-6	やや腐食性あり
	レキ	暗オリーブ色	5.5		5.5		-6	やや腐食性あり
	シルト	オリーブ灰色	7.5		13.5	腐食性が強い	-16	著しく腐食性あり



図8 Zn-Al擬合金溶射+合成樹脂塗装φ200(3年目)
ショットブラスト前

Fig. 8 Zn-Al pseudo-alloy thermal spray + synthetic resin coating φ200(after 3 years)
(before shot blast treatment)



図10 Zn-Al擬合金溶射+合成樹脂塗装φ200(6年目)
ショットブラスト前

Fig. 10 Zn-Al pseudo-alloy thermal spray + synthetic resin coating φ200(after 6 years)
(before shot blast treatment)

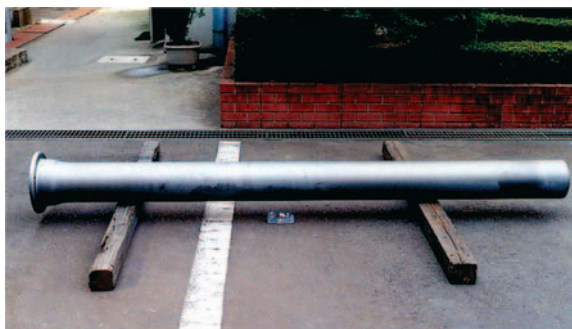


図9 Zn-Al擬合金溶射+合成樹脂塗装φ200(3年目)
ショットブラスト後

Fig. 9 Zn-Al pseudo-alloy thermal spray + synthetic resin coating φ200(after 3 years)
(after shot blast treatment)

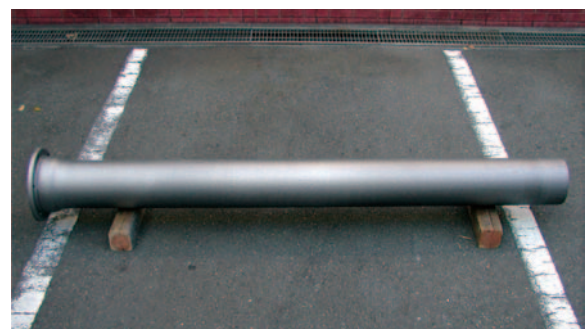


図11 Zn-Al擬合金溶射+合成樹脂塗装φ200(6年目)
ショットブラスト後

Fig. 11 Zn-Al pseudo-alloy thermal spray + synthetic resin coating φ200(after 6 years)
(after shot blast treatment)



図12 ポリウレタン樹脂塗装φ150(3年目)
ショットブラスト前

Fig. 12 Polyurethane resin coating φ150(after 3 years)
(before shot blast treatment)



図14 ポリウレタン樹脂塗装φ150(6年目)
ショットブラスト前

Fig. 14 Polyurethane resin coating φ150(after 6 years)
(before shot blast treatment)



図13 ポリウレタン樹脂塗装φ150(3年目)
ショットブラスト後

Fig. 13 Polyurethane resin coating φ150(after 3 years)
(after shot blast treatment)

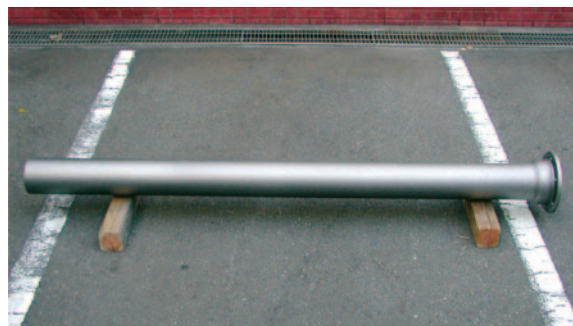


図15 ポリウレタン樹脂塗装φ150(6年目)
ショットブラスト後

Fig. 15 Polyurethane resin coating φ150(after 6 years)
(after shot blast treatment)

表11 外観調査結果
Table 11 Results of appearance survey

埋設 年数	調査 パイプ	土壌の腐食性 調査結果		外面塗装仕様	腐食調査結果	
		ANSI	DVGW		ショットブラスト前	ショットブラスト後
3年	φ 200	23.5	- 15	Zn-Al擬合金溶射 + 合成樹脂塗装	全面白錆発生	腐食はなく良好
	φ 150	18.5	- 17	ポリウレタン樹脂塗装	・塗膜の密着性良好 ・特殊押輪の爪痕あり	腐食はなく良好
6年	φ 200	23.5	- 23	Zn-Al擬合金溶射 + 合成樹脂塗装	全面白錆発生	腐食はなく良好
	φ 150	20	- 20	ポリウレタン樹脂塗装	・塗膜の密着性良好 ・特殊押輪の爪痕あり	腐食はなく良好

5.2.2 電位測定結果

電位測定結果を表12に示す。6年後においても埋設前と比較して電位差はほとんどなく、防食電位を保っていることを確認した。

表12 電位測定結果
Table 12 Result of measured voltage

	埋設前 (mV)	6年後 (mV)
管 体	- 1050	- 1030

5.2.3 インピーダンス測定結果

インピーダンス測定結果を図16に示す。6年後においても埋設前と比較して塗膜の抵抗値はほとんど変わらず劣化は認められなかった。

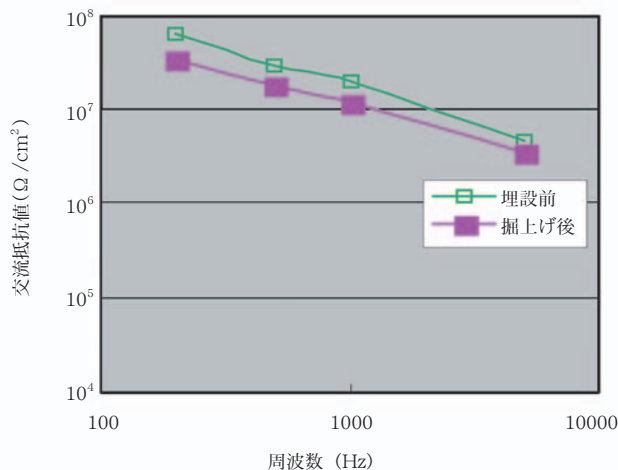


図16 インピーダンス測定結果

Fig. 16 Result of impedance of polyurethane resin coating

6. まとめ

6年間の埋設実験を行なった結果、腐食性の激しい土壌下にポリエチレンスリーブなしで埋設したZn-Al擬合金溶射+合成樹脂塗装が優れた耐食性を示していることを確認した。また、ポリウレタン樹脂塗装に関しても同様に優れた耐食性を示している事を確認した。

7. おわりに

今後さらに、10年目の追跡調査を実施、ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装の耐食性の検証を行なう予定である。

最後に、本実験に際して多大なるご協力をいただいた徳島市水道局の関係各位に対して深く感謝の意を表すとともに、本報告が腐食性土壌地域におけるダクタイル鋳鉄管布設工事の参考になれば幸いである。

執筆者

道浦吉貞

Yoshisada Michiura

昭和58年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事
工学博士



喜多川 真好

Masayoshi Kitagawa

ピー・エス・ティ(株)社長

