



ダクタイル鉄管の
内外面防食

Chapter 4

4-1

外面防食

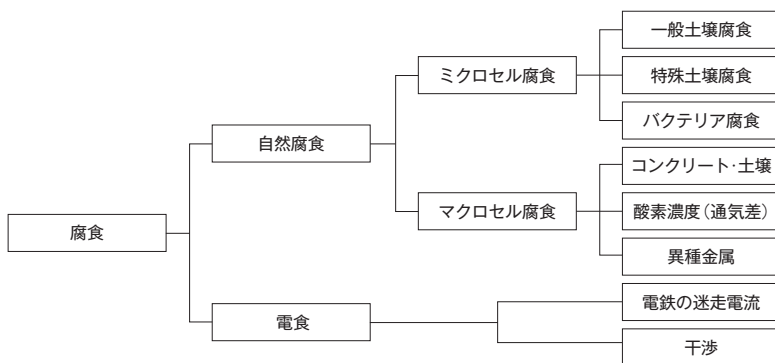
4-1-1 外面腐食の要因

1 埋設管の外面腐食

埋設管(埋設金属管)の腐食は、埋設環境により加速される。結果として生じる管路の腐食損耗現象は同じでも加速因子はさまざまである。

ダクタイル鉄管は、内面にはモルタルライニング、エポキシ樹脂粉体塗装、液状エポキシ樹脂塗装などが施されているため、一部の例外(無ライニング管、受口内面、挿し口外面、硫化水素や塩素ガス発生の管路など)を除き、通常の使用状態で生じる腐食は、外面からの腐食に限られる。配管設計に際し、外面防食方法の選定は、埋設環境、使用環境など種々の使用条件によって異なり、選定を誤ると腐食事故などの発生要因となる。詳しくは「埋設管路の腐食原因とその防食について JCPA T11」を参照のこと。

●図表4-1-1-1 埋設管の外面腐食の分類



2 外面腐食に影響を及ぼす諸因子

外面腐食に影響を及ぼす因子としては、土壌の組成・不均一性・比抵抗(電気抵抗)・pH値・溶解塩分とその濃度、土壌中のバクテリア活動、異種金属の影響などがある。

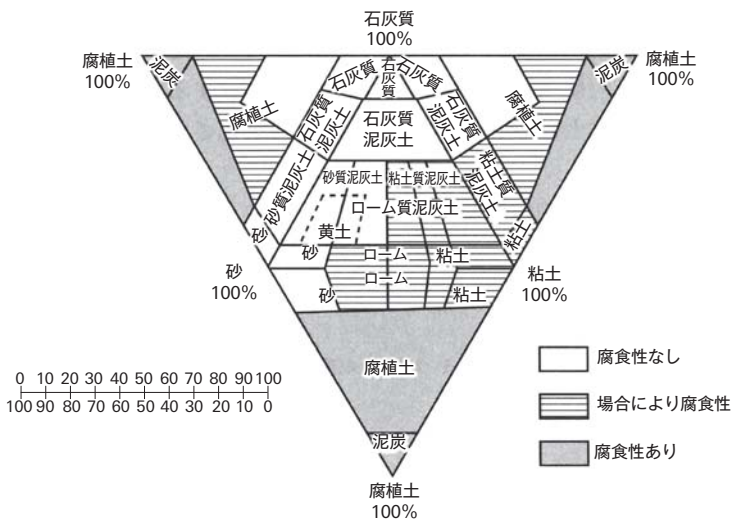
1 土壌の組成

土壌が一般的に腐食性であるといわれているのは、次のような所である。

- ・ 酸性の工場廃液や汚濁河川水などが地下に浸透した所
- ・ 海浜地帯、埋立地域など地下水に多量の塩分を含む所
- ・ 硫黄分を含む石炭ガスなどで盛土や埋立てをされた所
- ・ 泥炭地帯
- ・ 腐植土、粘土質の土壌
- ・ 廃棄物による埋立地域や湖沼の埋立地
- ・ 海成粘土など酸性土壌

工場廃液や迷走電流の影響がない場合、砂・石灰石などの通気性の良いローム質の土壌は、腐食性を示さないといわれている。一方、通気性の悪い粘土・腐植土・泥炭層などは腐食性を示す。

●図表4-1-1-2 土壌の評価



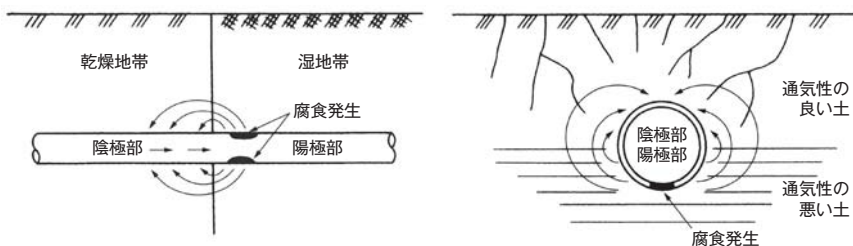
② 土壤の不均一性(マクロセル腐食)

埋設環境では、土壤の差により部分的に電位差を生じマクロセル(巨視的電池)が形成され、腐食が促進されることがある。代表的な事例は以下の通りである。なお、マクロセル腐食の対策としては、ポリエチレンスリーブによって、土壤やコンクリートと管の直接接触を防ぐことが有効である。

1) 通気差による腐食

土壤の通気性の差により酸素濃淡電池ができ、湿地帯など通気性の悪い土壤と接する部分がアノードとなり腐食が起こる。

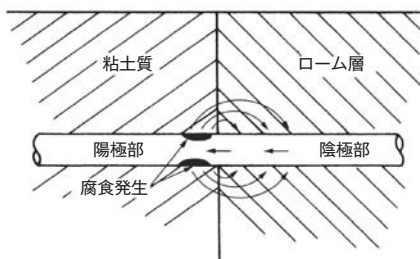
●図表4-1-1-3 通気差による腐食



2) 土質の違いによる腐食

塩類濃度に差がある場合や腐食性の異なる土壤など腐食性の環境差により、マクロセルが形成され、腐食が促進される。粘土質とローム層では、粘土質と接する部分がアノードとなり腐食が進行する。

●図表4-1-1-4 土質の違いによる腐食

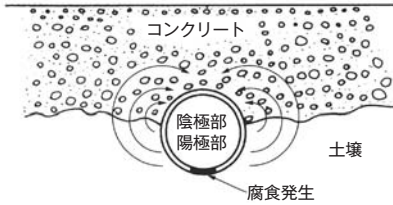


3) コンクリートによる腐食

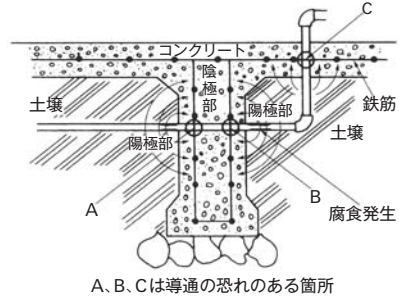
コンクリートと土壤のpH値の差により電位差を生じ、コンクリートと隣接した土壤付近がアノードとなり腐食が進行する。また、鉄筋コンクリートを通過する配管

で鉄筋と導通(電氣的に接触)することによりカソードが増大し、アノードである土壤側の配管において激しい腐食を起こす。

●図表4-1-1-5 コンクリートによる腐食(土中で起こる)

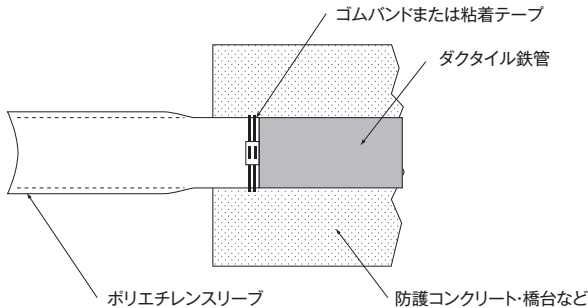


●図表4-1-1-6 鉄筋コンクリートとの導通によって起こる管の腐食



防護コンクリートや水管橋のコンクリート製橋台などコンクリートでダクタイル鉄管が巻かれている場合には、コンクリート出口付近にマクロセル腐食が発生しやすいために、ダクタイル鉄管用ポリエチレンスリーブをゴムバンドまたは粘着テープで固定して、コンクリート端部から100～150mm程度入れるように施工する。

●図表4-1-1-7 防護コンクリート部などでのポリエチレンスリーブの末端処理



〔水道施設設計指針・解説 2012〕(日本水道協会)より

③ 土壤の比抵抗

金属の腐食は、電気化学的な反応であり、腐食速度は環境の比抵抗によって大きな影響を受ける。

●図表4-1-1-8 土壌の腐食性と比抵抗の関係

腐食性の程度	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)				
	F.O.Waters 注1	L.M.Applegate 注2	V.A.Pritula 注3	E.R.Shepard 注4	M.Romanoff 注5
激しい	0~900	0~1000	0~500	0~500	< 700
やや激しい	900~2300	1000~5000	500~1000	500~1000	700~2000
中	2300~5000	5000~10000	1000~2000	— 定め難い	2000~5000
小	5000~10000	10000~100000	2000~10000		> 5000
きわめて小	> 10000	> 100000	> 10000		

注1 F.O.Waters : Corrosion, 8, No.407 (1952)

注2 L.M.Applegate : Cathodic Protection (1960)

注3 V.A.Pritula : Cathodic Protection of Pipeline and Storage Tanks (1953)

注4 E.R.Shepard : Journal of Res. of NBS, 6, 683 (1931)

注5 M.Romanoff : NBS Circular 450 and 579

『新版 電食・土壌腐食ハンドブック』(電気学会, 1986年)より

4 土壌のpH値

土壌のpH値は、腐食に大きな影響を及ぼす。鉄の腐食速度は、pH4前後から弱アルカリ性までの範囲でほとんど差がない。しかし、pH4以下の酸性域では酸性が強くなるに従って腐食は激しくなる。

●図表4-1-1-9 土壌のpH値と鉄の腐食の程度との関係

pH値	腐食の程度
4.5以下(酸性)	非常に腐食性
4.5~6.5(弱酸性)	腐食性
6.5~8.5(中性または弱アルカリ性)	非腐食性
8.5以上(アルカリ性)	不明 ^{注1}

注1 不明とは、場合によって非腐食性のときと腐食性のときがあり、一概に決められないことをいう。

『電食・土壌腐食ハンドブック』(電気学会, 1966年)より

5 土壌の溶解塩分とその濃度

可溶性の塩類の存在は、土壌の電気伝導性を良好にし(比抵抗を下げる)、電気の通過を容易にするので腐食速度が大きくなる場合が多い。また、塩素イオンなどのハロゲンイオンは、金属表面の保護皮膜を破壊し腐食を進行させる作用がある。一方、中性条件下でカルシウムイオンやマグネシウムイオンは、不溶性の生成物となって析出し、これが保護皮膜となって働くため腐食を抑制する作用がある。

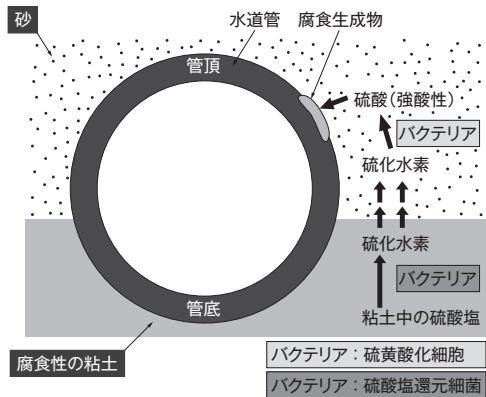
6 土壌中のバクテリア

埋設管の腐食は、土壌に生息するバクテリアの代謝作用によって促進されることがある。腐食に関連する代表的なバクテリアには、好気性の鉄バクテリアと嫌気性の硫酸塩還元バクテリアの影響が大きいといわれている。硫酸塩還元バクテリアは、pH6～8程度の中性環境中で水素と硫酸塩を必要とし、硫酸塩を硫化物に

還元する。通常、鉄表面には水素が吸着しているが、バクテリアは硫酸塩を還元するときに、この鉄表面の水素を利用し復極*1させ、鉄は一部が黒錆(硫化鉄:FeS)になって腐食する。Redox電位(酸化還元電位)は、硫酸塩還元バクテリアの活動しやすい酸素の少ない嫌気性環境のときに低い値を示す。

*1 復極とは、電流の流れを止める分極作用を抑制することをいう。

●図表4-1-1-10 バクテリア腐食のメカニズム



7 特殊な腐食性土壌

粘土は、淡水成粘土と海成粘土に大別できる。この中で海成粘土は、内海の静かな海底に堆積して生成した粘土であり、硫化物や塩分として硫酸塩を多量に含有するため強い腐食性を示す。これは、嫌気性環境で活動する硫酸塩還元バクテリアによって、海水中の硫酸塩が多量に還元されたためであり、この結果、海成粘土の比抵抗やRedox電位は低い値を示す。また、この粘土は還元状態(海水中や地下深く)では中性を示すが、風化すると酸性を示す特徴を持つ。海成粘土は、今から5万～200万年前(地質学的には第四紀)に生成されたもので、その後の海岸線の移動や地殻変動により、海岸近くだけでなく内陸の丘陵地にも分布している場所がある。

●図表4-1-1-11 海成粘土と淡水成粘土

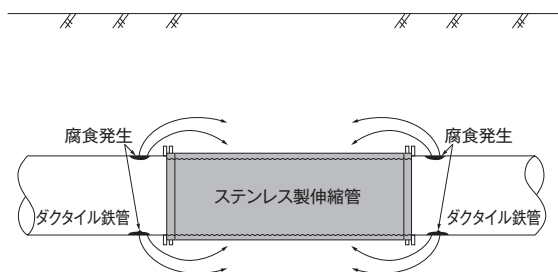
粘土の種類	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	硫化物	硫黄分 (%)	土壌抽出水 ^{注1} (1:2.5)					腐食性 評価
				比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	pH	SO ₄ (mg/L)	2-C1 (mg/L)	蒸発 残留物 (mg/L)	
海成 粘土	430	検出	0.63	331	4.7	779	4	1268	強腐 食性
淡水成 粘土	1670	検出	0.03	2520	6.9	28	6	180	腐食性

注1 土壌を乾燥後、質量比で2.5倍の純水を入れ、抽出した水。

8 異種金属による影響

異なる2種の金属が土壤中で電氣的に接合されると、おのおのの自然電位の差によりマクロセルが形成され、自然電位の卑な(小さい)金属がアノード(陽極)となり腐食する。これを異種金属マクロセル腐食という。また、卑な金属の面積に比べて自然電位の貴な(大きい)金属の面積が大きいと、卑な金属の腐食が激しくなる。これは、貴な金属の面積が大きいとそれに見合ったアノード溶解が卑な金属の小さな表面に集中するために腐食が激しくなることによる。逆に貴な金属の面積に比べて卑な金属の面積が大きくなればなるほど、卑な金属の腐食はより減少する。

●図表4-1-1-12 異種金属による腐食

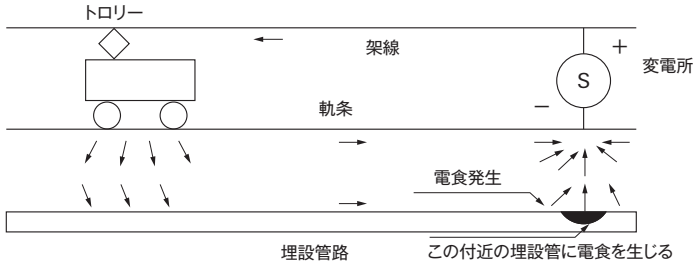


このような異種金属による影響を防止するには、絶縁継手などにより卑な金属と貴な金属を電氣的に絶縁状態にし、さらにポリエチレンスリーブを被覆して、金属と土壌の直接接触を防ぐことが有効である。

9 電食

電食とは、電鉄の迷走電流や電気防食施設の漏れ電流などが埋設管に流入し、電流が再び土中に流出する箇所で激しい電解腐食を起こすことをいう。この内、電気防食施設からの漏れ電流による電食は「干渉」と呼ばれる。

●図表4-1-1-13 電食の発生メカニズム



10 母材の耐食性

一般に、ダクタイル鉄管は材質自体の比抵抗が鋼管に比べ、2.5～7.0倍程度大きく、また継手部にゴム輪を使用しているため継手部自体が抵抗体になっている。関西電食防止対策委員会『電食防止対策の手引き』では、ダクタイル鉄管の継手部の電気抵抗値は、接合形式によって差はあるが管内満水状態で100～3000Ω程度を有している(図表2-2-4-3)。このため、管路全体として導通状態ではなく、迷走電流の影響による電食を受けにくい構造となっている。

また、鋳鉄は黒鉛とフェライト(純鉄に近い)の混合物であり、腐食反応においては、この黒鉛が腐食生成物と固着し新たな腐食を抑制する方向に働く。この作用は「黒鉛化」と呼ばれ、これが鋳鉄材料の耐久性が優れている要因ともいわれている。

●図表4-1-1-14 ダクタイル鋳鉄と鋼の比抵抗

材 質	比抵抗 ρ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	$\rho_{\text{ダ}} / \rho_{\text{鋼}}$
ダクタイル鋳鉄	50～70	2.5～7.0
鋼	10～20	

4-1-2 外面防食の種類

●図表4-1-2-1 外面防食の種類と概要

種類	概要
合成樹脂塗装	ダクタイル鉄管の標準的な塗装でエポキシ樹脂塗料やアクリル樹脂塗料による塗装仕様である。
外面耐食塗装 (GX形など)	亜鉛系合金の溶射により自己修復機能を持たせた塗装仕様である。GX形などに用いられている。
外面特殊塗装	色指定が必要な場合や水中配管など特殊な環境で使用する場合に適用する塗装仕様で、AA、BB、CC、DD種の4区分に分けられる。
ポリエチレンスリーブ法	ポリエチレンスリーブを現地で被覆する防食仕様で、上記塗装仕様と併用することでさらに防食性能を高めることができる。

4-1-3 合成樹脂塗装

鑄鉄管、ダクタイル鉄管の防食法として、古くはコールタールやタールエポキシ樹脂塗料が用いられてきたが、現在では「JWWA K 139 水道用ダクタイル鑄鉄管合成樹脂塗料」で規定されている一液性エポキシ樹脂塗料、二液性エポキシ樹脂塗料、アクリル樹脂塗料の3種類が用いられている。各塗料は製造ラインの特性に応じて使い分けられている。

なお、JWWA K 139で規定されている塗料は、図表4-1-3-1、2に示す品質を有している。浸出性が規定されているのは、外面部でも、一部が水と接触するためである。

塗料の組成はJWWA K 139で、塗装方法や塗布量は「JWWA G 113 水道用ダクタイル鑄鉄管」「JWWA G 114 水道用ダクタイル鑄鉄異形管」でそれぞれ規定されている。「JDP A Z 2010 ダクタイル鑄鉄管合成樹脂塗装」では、目標塗膜厚さなども規定されている (図表4-1-3-3)。

下塗りとして用いている亜鉛系プライマは、腐食性環境下における管路の防食対策として有効であり、わが国はもとより海外においても図表4-1-3-4のように規格化されている。一般に埋設土壌の腐食性が高い場合や、より長期の耐久性を求める場合にはポリエチレンスリーブを被覆する防食方法がある (「4-1-6 ポリエチレンスリーブ法」参照)。

● 図表4-1-3-1 合成樹脂塗料・塗膜の品質(物性)

項 目		概 要
塗料	容器の中の状態	かき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になる。
	塗装作業性	塗装作業に支障がない。
	硬化乾燥時間	48時間以内に硬化乾燥状態になっている。
塗膜	耐屈曲性	直径10mmの心棒による折り曲げで塗膜のき裂またははく離がない。
	耐おもり落下性	500gのおもりを高さ30cmから落下させて塗膜の割れ・はがれがない。
	耐アルカリ性	水酸化ナトリウム溶液(0.1mol/L)に48時間浸し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・あな・軟化がなく、さらに2時間放置した後、原状試験片と比べて、つやの変化及び変色の程度が大きくない。
	耐酸性	硫酸(0.05mol/L)に48時間浸し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・あな・軟化・さびがなく、さらに2時間放置した後、原状試験片と比べて、つやの変化及び変色の程度が大きくない。
	耐水性	脱イオン水に30日間浸し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・しわを認めず、さらに2時間放置した後、原状試験片と比べて、つやの変化・くもり・白化・変色の程度が大きくない。
	耐中性塩水噴霧性	塗膜に素地に達するスクラッチをつけ120時間の塩水噴霧で塗膜の膨れ・はがれ・さびがない。
	耐湿性	温度50±2℃、湿度95%以上で120時間静置し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・しわ・さびが認められず、2時間置いた後の観察でくもり・白化・変色がない。
	促進耐候性	キセノンランプ法により300時間の照射で、塗膜に割れ・はがれ・さびを認めない。
耐低温・高温繰返し性	-20±2℃で1時間、23±2℃で30分以上、80±2℃で1時間、23±2℃で30分以上を1サイクルとして6サイクル繰り返し、塗膜に割れ・剥がれ・膨れ・白化を認めない。	

備考 各項目の概要はJWWA K 139-2015において、塗料と塗膜について規定された内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

[JWWA K 139 水道用ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗料]より

●図表4-1-3-2 合成樹脂塗料・塗膜の品質(浸出性)

項目	基準		
	一液性 エポキシ樹脂	二液性 エポキシ樹脂	アクリル樹脂
シアン化物イオンおよび塩化シアン	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}
ホルムアルデヒド	0.008mg/L以下 ^{注1}	0.008mg/L以下 ^{注1}	0.008mg/L以下 ^{注1}
フェノール類	0.0005mg/L以下 ^{注1}	0.0005mg/L以下 ^{注1}	0.0005mg/L以下 ^{注1}
有機物 [全有機炭素(TOC)の量]	0.5mg/L以下 ^{注1}	0.5mg/L以下 ^{注1}	0.5mg/L以下 ^{注1}
味	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}
臭気	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}
色度	0.5度以下 ^{注1}	0.5度以下 ^{注1}	0.5度以下 ^{注1}
濁度	0.2度mg/L以下 ^{注1}	0.2度mg/L以下 ^{注1}	0.2度mg/L以下 ^{注1}
塗膜 アミン類	トリエチレンテ トラミンとして、 0.01mg/L以下 ^{注1}	トリエチレンテ トラミンとして、 0.01mg/L以下 ^{注1}	トリエチレンテ トラミンとして、 0.01mg/L以下 ^{注1}
酢酸ビニル	0.01mg/L以下 ^{注1}	0.01mg/L以下 ^{注1}	0.01mg/L以下 ^{注1}
スチレン	0.002mg/L以下 ^{注1}	0.002mg/L以下 ^{注1}	0.002mg/L以下 ^{注1}
1,2-ブタジエン	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}
1,3-ブタジエン	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}
エピクロロヒドリン	0.01mg/L以下 ^{注1}	0.01mg/L以下 ^{注1}	—
2,4-トルエンジアミン	—	0.002mg/L以下 ^{注1}	—
2,6-トルエンジアミン	—	0.001mg/L以下 ^{注1}	—
トルエン	0.2mg/L以下(暫定)	0.2mg/L以下(暫定)	0.2mg/L以下(暫定)
キシレン	0.4mg/L以下(暫定)	0.4mg/L以下(暫定)	0.4mg/L以下(暫定)
残留塩素の減量	0.7mg/L以下	0.7mg/L以下	0.7mg/L以下

注1 JWVA K 139-2015では、「水道施設の技術的基準を定める省令の別表二による」と規定されているが、「水道施設の技術的基準を定める省令(平成12年2月23日厚生省令第15号、平成26年2月28日改正)」の別表二による基準を参考までに記載したものである。

「JWVA K 139 水道用ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗料」より

● 図表4-1-3-3 ダクタイル鉄管の外面塗装

項目	直管	異形管
塗装方法	エアレススプレー塗装機又はエアスプレー塗装機、はけ、ローラなどを用いて行う。	
目標塗膜厚さ	0.1mm以上	0.8mm以上
塗布量	塗膜厚さ0.1mmにつき250g/m ² 以上	
亜鉛系プライマ	呼び径250以下は全管に適用	—

〔JCPA Z 2010 ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗装〕より

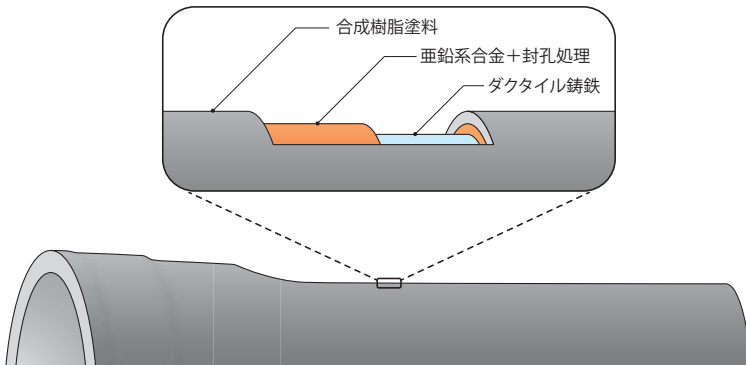
● 図表4-1-3-4 海外でのダクタイル鉄管の外面塗装の規格

規格	名称
ISO 8179	Ductile iron pipes-External zinc-based coating
BS EN 545	Ductile iron pipes, Fittings, accessories and their joints for water-pipelines

4-1-4 外面耐食塗装

外面耐食塗装はポリエチレンスリーブを被覆することなく長期の耐久性が期待できる塗装仕様として開発された。この仕様の寿命は一般的な埋設環境(山地を除く国土の95%)において外面耐食塗装の寿命70年以上を目標として設計しており、鉄部の寿命と合わせて長期の耐久性が期待できるものである。図表4-1-4-1に外面耐食塗装の塗膜構成を示す。

● 図表4-1-4-1 外面耐食塗装の塗膜構成



1 防食性

「JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法」に従って試験を行った結果、外面耐食仕様のものは、長期間でも錆が発生しない良好な防食性能を示した。

●図表4-1-4-2 塩水噴霧試験結果（従来仕様との比較）

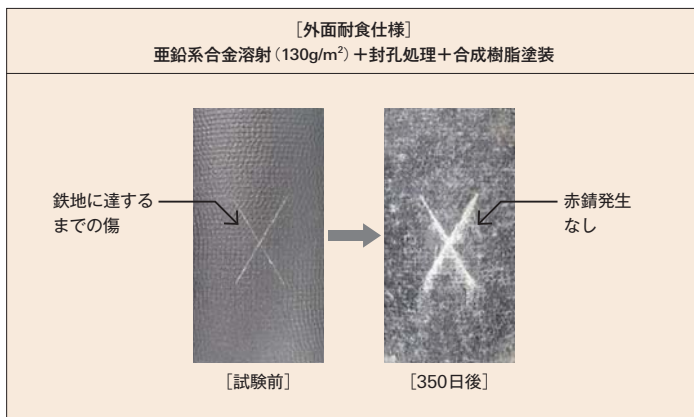


備考 合成樹脂塗装はなし。

2 傷部に対する防食性

試験片に鉄地に達するまで傷をつけ、塩水噴霧試験を行ったが、外面耐食塗装は、良好な防食性能を示した。

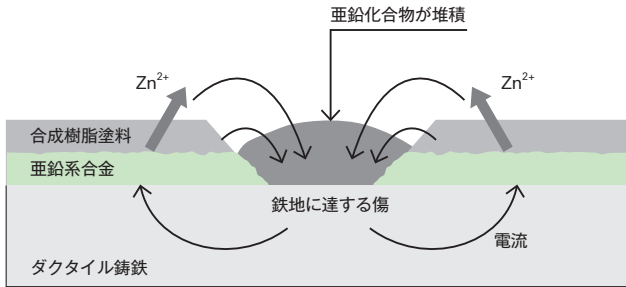
●図表4-1-4-3 塩水噴霧試験結果（傷部に対する防食性）



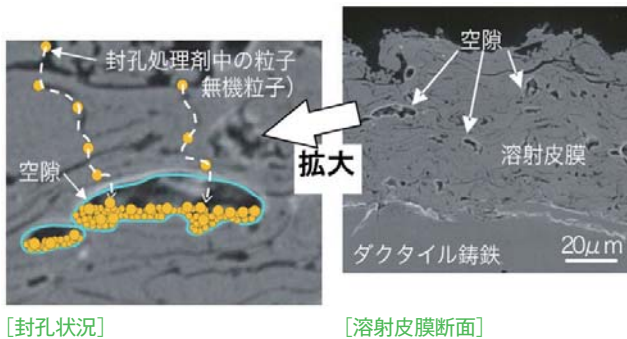
これは、管体に傷がつき鉄地が露出しても、図表4-1-4-4に示す外面耐食塗装の防食メカニズムにより、この部分を守るために矢印のように電流が流れ、亜鉛がゆっくと溶出し、傷部に亜鉛化合物が堆積して保護皮膜を形成するためである。溶射皮膜に存在する空隙を無機粒子で埋める封孔処理(図表4-1-4-5)により亜鉛の溶出を抑制し、防食性能を向上させている。

なお、許容できる傷の大きさは、管外表面 1m^2 当たり 15cm^2 以内、かつ幅5mm以内である。

●図表4-1-4-4 傷部の防食メカニズム



●図表4-1-4-5 封孔処理状況



3 水質衛生性

「JWWA Z 108 水道用資機材-浸出試験方法」に基づき外面耐食塗装(亜鉛系合金溶射(325g/m²) + 封孔処理 + 合成樹脂塗装)の浸出試験を行ったが、試験後の測定値は「水道施設の技術的基準を定める省令」の基準値以内であった。

4-1-5 外面特殊塗装

ダクタイル鉄管は一般的には地下に埋設して使用される。しかし、浄水場などでは、地上または管廊内での露出配管や水中に配管される場合がある。

露出配管の場合には、塗装は単なる防錆、防食だけでなく、管路の美観、用途や使用目的を判別するための表示も目的となる。水中の場合には、通常の外面に要求されるレベルよりも優れた防食性能が要求される。

これらの外面特殊塗装については、「JCPA Z 2009-2011 ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」で規格化されており、1次、2次、3次塗装は工場で塗装し、輸送や布設工事での塗膜の損傷を考慮して布設完了後現地で仕上げ塗装を行うこととしている。

●図表4-1-5-1 ダクタイル鉄管の外面特殊塗装

種類	工場塗装			現地塗装(参考)		
	1次塗装	2次塗装	3次塗装	用途	現地塗装適合塗料	備考
AA ^{a)}	亜鉛溶射又はジンクリッチペイント ^{b)}	管に通常用いる塗料 塗膜の厚さ 0.08mm		主として露出配管に用いる。	管に通常用いる塗料	黒色とし、その他の色は指定できない。
BB	亜鉛溶射又はジンクリッチペイント	現地塗装のアクリルNAD系艶有塗料に適した管に通常用いる塗料 塗膜の厚さ 0.08mm	—		アクリルNAD系艶有塗料	色の指定ができ、歩道橋や建築関係で通常用いられている。 塗料は市販性がよく、入手しやすい。
CC	ただし、JCPA G 1049のGX形管は亜鉛系合金溶射でもよい ^{b)}	エポキシ樹脂塗料 塗膜の厚さ 0.05mm	エポキシM.I.O.塗料又はエポキシ樹脂塗料 塗膜の厚さ 0.05mm	水中配管及び湿度の高い所の露出配管に用いる。	ポリウレタン樹脂塗料	色の指定ができ、耐候性が要求される場合に使用される。
DD					エポキシ樹脂塗料	色の指定ができ、水中や湿度の高い腐食性環境で使用される。

注 a) 種類AAには、JCPA G 1049のGX形管は適用しない。

b) 1次塗装の塗布量は、亜鉛溶射又は亜鉛系合金溶射の場合は130g/m²以上、ジンクリッチペイントの場合は150g/m²以上を基準とし、塗膜厚さは0.02mmとして積算する。

なお、亜鉛系合金溶射の場合は、封孔処理を行ってもよい。

「JCPA Z 2009-2011 ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」より

4-1-6 ポリエチレンスリーブ法

1 防食性

布設予定地が腐食土壌と判定された場合、または管路の長寿命化を図るために、ポリエチレンスリーブ法を適用する。ポリエチレンスリーブ法は、厚さ0.2mmの軟質ポリエチレン製スリーブをダクタイル鉄管の全長にわたって被覆する方法であり、以下①～④の防食効果が期待できる。①腐食土壌と管の直接接触を防ぎ防食する、②管の周辺を均一な状態に保ちマクロセル腐食を防ぐ、③侵入した地下水の移動を抑制することで溶存酸素を消費し腐食の進行を抑制する、④迷走電流^{しゃへい}に対して遮蔽物の効果を果たして電食を防ぐ。

ポリエチレンスリーブは、米国^{*2}と英国^{*3}で国家規格になっており、欧州諸国^{*4}でも広く用いられ、中近東諸国でも採用されている。日本では、2001年に材料がより破れにくいものへと改良され、「JWWA K 158-2005 水道用ダクタイル鑄鉄管用ポリエチレンスリーブ」として規格化された。その後、2017(平成29)年にさらに耐久性の向上した材料が「JWWA K 158-2017 ダクタイル鑄鉄管用ポリエチレンスリーブ」として規格化された(図表4-1-6-1)。

*2 ANSI/AWWA C105-10 Polyethylene Encasement For Ductile – Iron Pipe Systems.

*3 BS 6076 1981 Tubular Polyethylene film for use as protective sleeving for buried iron pipes and fittings.

*4 ISO 8180 1985 Ductile iron pipes – polyethylene Sleeving.

●図表4-1-6-1 ポリエチレンスリーブの物性

試験項目	品質
引張降伏応力 (MPa)	30以上 ^{注1}
引張破壊ひずみ (%)	600以上 ^{注2}
引張弾性率 (MPa)	160以下
耐衝撃性	衝撃で破れないこと
メルトマスフローレイト (g/10min)	0.2を超え、3.0以下
密度 (23℃) (kg/m ³)	901を超え、921以下
酸化誘導時間 (min)	60以上

注1 降伏点を示さない場合は、引張破壊応力とする。

注2 熱融着によって製造したスリーブの熱融着部の引張降伏応力は、10MPa以上、引張破壊ひずみは250%以上とする。

「JWWA K 158-2017 ダクタイル鑄鉄管用ポリエチレンスリーブ」より

2 適用判定基準

① 合成樹脂塗装の場合

布設予定地の土壌が調査の結果、腐食性の土壌であった場合には、適切な防食を行うという考え方が1960年代の米国で普及し、判定基準の一つとして「ANSI/AWWA C105/A 21.5」が規定された。その中では、合成樹脂塗装の場合、5項目の埋設土壌環境を測定し、各評価点の合計が10点以上のときは、铸铁管に対して腐食性があると判定し、ポリエチレンスリーブ法の適用が推奨されている。

●図表4-1-6-2 「ANSI/AWWA C105/A21.5」による土壌評価法

測定項目	測定値	点数
比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	< 1500	10
	1500~1800	8
	1800~2100	5
	2100~2500	2
	2500~3000	1
	> 3000	0
pH値	0~2	5
	2~4	3
	4~6.5	0
	6.5~7.5	0 ^{注1}
	7.8~8.5	0
	> 8.5	3
Redox電位 (100mv)	> 100	0
	50~100	3.5
	0~50	4
	< 0	5
水分	排水悪く非常に湿潤	2
	排水良く一般に湿っている	1
	排水良く一般に乾燥している	0
硫化物	検出	3.5
	痕跡	2
	なし	0

注1 硫化物が存在し、Redox電位が100mv以下の時は3点を追加する。

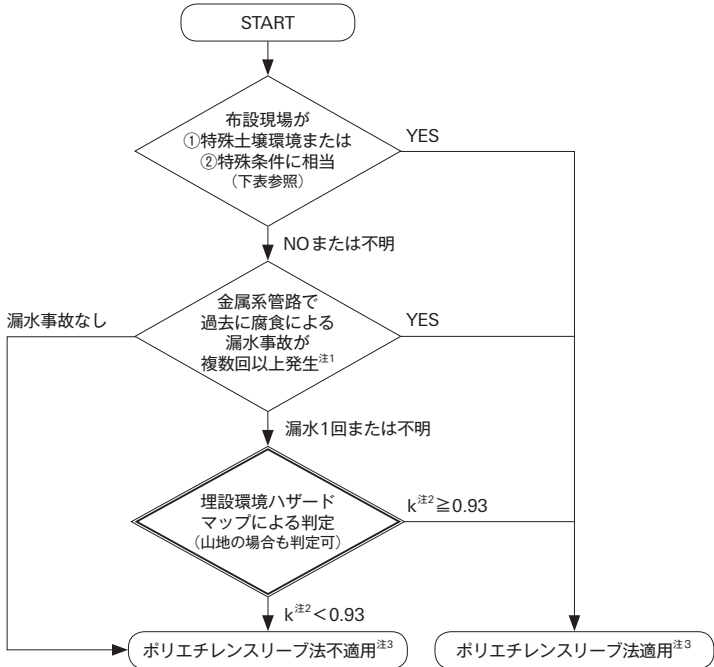
● 図表4-1-6-3 土壌腐食性評価例

土壌の種類	評価点数(点)				
	5	10	15	20	25
海成粘土				■	
石灰がら・鋳炉灰・コークスがら			■		
腐植土・泥炭			■		
砂(塩分を含む)			■		
淡水成粘土		■			
赤色土・黄色土		■			
ローム	■				
砂	■				

② 外面耐食塗装(GX形)の場合

外面耐食塗装が施されているGX形は、長期耐久性を有しているため、ポリエチレンスリーブ法の適用判定は図表4-1-6-4による。

●図表4-1-6-4 GX形のポリエチレンスリーブ法の適用判定



環境・条件

①特殊土壌環境 (自然環境)	強酸性土壌環境 ^{注4}	海成粘土相当層
		温泉地域
		泥炭地帯
		強酸性の工場廃液による土壌汚染地域 ^{注5}
	強腐食性土壌環境	ガラ等の廃棄物による埋立地 (旧)炭鉱地帯
②特殊条件 ^{注6}	鉄筋コンクリート構造物を貫通して出た埋設管(コンクリート/土壌系マクロセルに相当)	
	電気防食設備設置付近の管(外部電源用電極設置箇所)	
	ステンレス鋼管と電氣的に接触し、異種金属接触腐食を生じる場合	

注1 例えば40年以内に2回以上の腐食漏水事故が発生したことを目安とする。

注2 「k」は、腐食予測式 $P = kt^{\alpha}$ (P: 腐食深さ、t: 埋設年数、 α : 定数) に示される埋設環境の腐食性を示す係数。

注3 管周囲を砂で埋め戻せば、埋設環境はさらに良好になる。

注4 強酸性とはpH4未満または過酸化水素水による強制酸化試験後のpH3以下のもの。

注5 強酸性の工場廃液で汚染された土壌環境では、ポリエチレンスリーブ法併用でも効果がない場合がある。

注6 ステンレス給水管の取出部は「絶縁型サドル分水栓」を使用すればポリエチレンスリーブ法は不要。またステンレス鋼管との接合部は「異種金属同士の絶縁対策」を施せば、ポリエチレンスリーブ法は不要。なお、既設の「GX継手管以外の従来管」との切管ユニット接合部分には、ポリエチレンスリーブ法の併用が必要。

4-2

内面防食

4-2-1 内面腐食の要因

1 内面腐食に影響を及ぼす諸因子

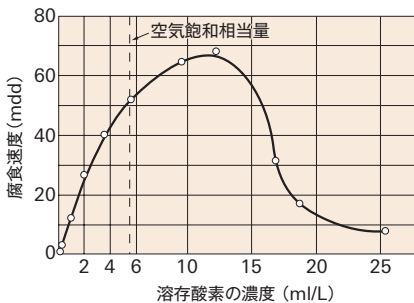
① 溶存酸素

中性の水中では、鉄系金属は腐食の進行に溶存酸素が必要であるが、酸素濃度が高過ぎると、鉄は不動態化して腐食速度は低下する。

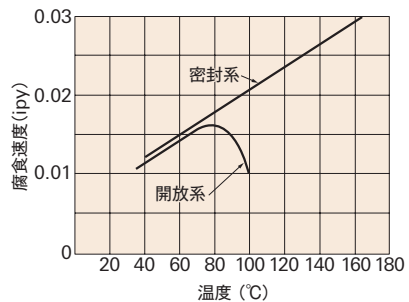
② 温度

温度の影響は、一定の酸素濃度下(密封系)では温度上昇とともに腐食は直線的に増加する。しかし、開放系では腐食速度は80℃で最大となり、それ以上の温度では酸素の溶解度が急激に減少するため、鉄の腐食速度は低下する。

● 図表4-2-1-1 溶存酸素濃度と腐食速度の関係



● 図表4-2-1-2 溶存酸素を含む水中での鉄の腐食に対する温度影響



H.H. ユーリック、R.W. レヴィー 『腐食反応とその制御 (第2版)』(産業図書)より

3 流速

流速が増せば、鉄表面に達する酸素濃度が增大するため腐食速度も増すが、さらに速度が上がり、酸素供給量が多くなり過ぎると、鉄表面が不動態化して腐食速度は低下する。しかし、流速が極端に速くなると、不動態皮膜や腐食生成物が機械的に破壊され、キャビテーションエロージョンの被害を受ける。このキャビテーションエロージョンは、バルブ部のように局部的に流れが変化する箇所で起こりやすい。

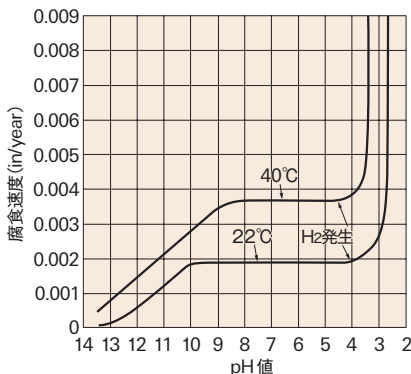
4 pH値

pH4～10の範囲ではほとんど差がなく、一定の腐食量を示すが、pH4以下では水素発生型の腐食が起こり、鉄の腐食速度は急速に増大する。pH10以上では鉄は不動態化の傾向を示し、腐食速度は低下する。

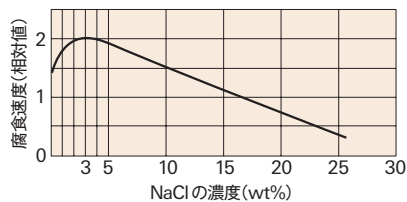
5 溶存塩類

溶存塩類の影響は、例えば食塩3%含有の食塩水の場合、電気伝導度が大きいいため、鉄の腐食速度は速くなる。また、塩素イオンが水酸化鉄の保護膜を破壊するため、腐食の進行速度が経時的に低下する傾向が少なくなる。このため、一般に淡水の場合より海水の場合の方が腐食が激しくなる。しかし、さらに塩類濃度が高くなると、酸素の溶解度が小さくなるため、腐食速度は遅くなる。

●図表4-2-1-3 鉄の腐食に及ぼすpH値の影響



●図表4-2-1-4 曝気した室温の鉄の腐食に関する食塩水濃度



H.H. ユーリック、R.W. レヴィー 『腐食反応とその制御(第2版)』(産業図書)より

2 上水道における因子

上水道では、先に述べた内面腐食の諸因子は、鉄部の内面腐食に大きな影響を及ぼすほどの値をとるものではない。むしろ、モルタルライニングの中性化に影響を及ぼす遊離炭酸に注意する必要がある。

① 遊離炭酸

『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）に「侵食性遊離炭酸を多く含む水は水道施設に障害を与える場合がある。遊離炭酸が約20mg/Lを越える場合は、侵食性遊離炭酸も多いおそれがあるので、水質障害の程度を勘案して、エアレーションあるいはアルカリ処理を行って、除去または中和する必要がある」と記されている。遊離炭酸は水の侵食性に大きく影響を与える因子の一つである。

② 水の侵食性を表す指数

水の侵食性が高い場合には、内面無ライニングの管などがあると赤水などが発錆しやすくなる。水が侵食性かあるいはスケール形成による非侵食性かの判断方法としてランゲリア指数があり、『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）では管理目標値を-1.0程度以上としている。またAWWAでは侵食性指数（Aggressiveness Index）を指標に管理することを提案している。侵食性指数が10以下のときは強侵食性で、12以上のときは非侵食性、10～12の間を中間程度の侵食性と区別している。

3 下水道における因子

下水道では、先に述べた内面腐食の諸因子に加えて、硫酸塩還元細菌によるモルタルライニングの劣化に注意を要する。

① 硫酸塩還元細菌

硫酸塩還元細菌は、pH5.5～8.5で脱気した水中や、自然の還元性環境下で繁殖し激しい腐食を起こすことがある。この現象は、下水のスラッジ中で硫酸塩還元細菌が活動し、硫化水素（ H_2S ）ガスを発生させ、さらに好気性細菌によって硫酸となることによって起こる現象である。

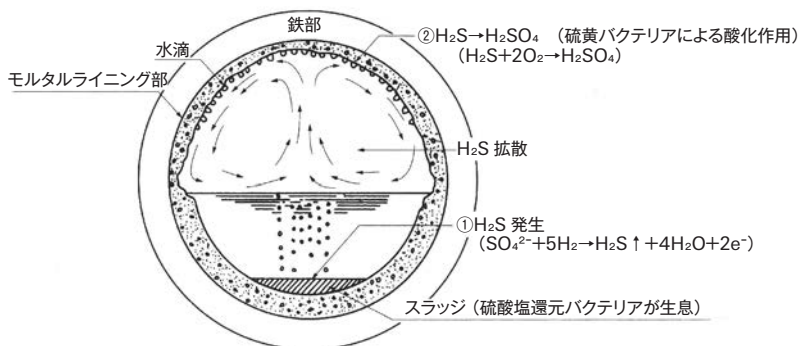
この腐食は、水中や海水中でも起こるが、特に高温地域などにおけるモルタルラ

ライニング下水道管で問題化している。

この下水道管の腐食を防止するため、米国EPA (Environmental Protection Agency) では、流速を上げるか、下水道管の中に酸素を供給する方法が規定されている。

既設管がモルタルライニング管の場合の対策としては、定期的な管内清掃によりスラッジを排出するか、エポキシ樹脂粉体塗装管への更新が望ましいとされている。

●図表4-2-1-5 下水道管のモルタルライニング劣化メカニズム



4 その他

海水や温泉水などその他の流体については内面腐食の諸因子が種々影響を及ぼす場合がある。

4-2-2 内面防食の種類

ダクタイル鉄管では、1955(昭和30)年代から、直管の内面にモルタルライニングが施されるようになり、それ以前の管に見られるような内面の錆はほとんど発生しなくなったが、異形管については、^{れきせいしつ}瀝青質系の薄い塗装が施されていたため、赤水発生の原因の一つになっていた。そこで、1973(昭和48)年ごろから内面エポキシ樹脂粉体塗装異形管が採用されはじめ、その後、年々この塗装が施された異形管を採用する都市が増加し、現在では主流となっている。

この間、1977(昭和52)年に異形管専用の規格として、「JCPA Z 2006 水道用ダク

「タイル鑄鉄異形管粉体塗装」が制定された。さらに、内面にエポキシ樹脂粉体塗装が施された直管を採用する都市が増えてきたことから、直管、異形管ともに適用できる規格として、1980(昭和55)年に「JWWA G 112 水道用ダクタイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」が制定された。また、エポキシ樹脂粉体塗装は、水道以外の分野、例えば硫化水素ガスの発生しやすい下水道管路や海水等を利用する工業用水道管路でも使われるようになり、1984(昭和59)年に「JIS G 5528 ダクタイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」が制定された。

●図表4-2-2-1 内面防食の種類と概要

種 類	概 要
エポキシ樹脂粉体塗装	小中口径ダクタイル鉄管(直管、異形管)に用いられる標準的な内面塗装仕様である。
モルタルライニング	小中口径から大口径ダクタイル鉄管(直管)に用いられる。長年の実績があり、エポキシ樹脂粉体塗装よりも安価である。管内水が長時間滞留するとCaの溶出に伴うpH上昇を生じることがある。
液状エポキシ樹脂塗装	主に大口径ダクタイル鉄管(異形管)に用いられる。

4-2-3 エポキシ樹脂粉体塗装

1 塗料

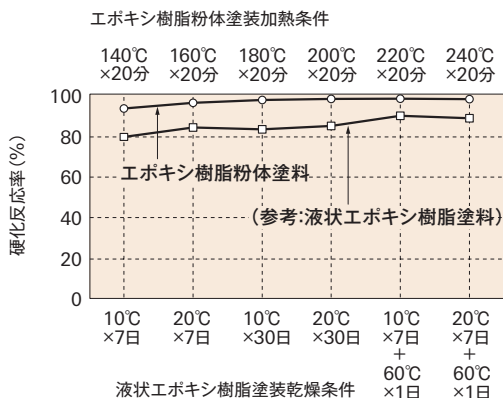
一般に、エポキシ樹脂系の塗料に使われている原料エポキシ樹脂の分子量は塗料の種類によって異なっており、おおむね図表4-2-3-1のようになっている。このように、エポキシ樹脂粉体塗料では他のエポキシ樹脂系の塗料と比べて高分子量の原料が用いられており、さらに樹脂粉末を製造する段階で加熱溶融させるため、実際に使用される段階では1万以上の分子量になっている。塗料は、このような樹脂粉末に顔料が加えられた粉末状のものであり、溶剤は含まれていない。

エポキシ樹脂粉体塗料は、硬化性に優れている。いろいろな塗装条件での硬化反応率を、ソックスレー抽出法により測定した結果を図表4-2-3-2に示す。溶剤系の塗料が常温で1週間経過しても十分に硬化していないのに対して、エポキシ樹脂粉体塗料は、幅広い温度域でほぼ100%の硬化反応率を示している。

●図表4-2-3-1 原料エポキシ樹脂の分子量

塗料	原料エポキシ樹脂の分子量
エポキシ樹脂粉体塗料	1400程度
溶剤系エポキシ樹脂塗料	900程度
無溶剤形液状エポキシ樹脂塗料	350程度

●図表4-2-3-2 エポキシ樹脂粉体塗料の硬化反応率



2 塗装方法

直管は、あらかじめ190～220℃に加熱した管を高速で回転させておき、その内面に、空気とともに圧送されてきたエポキシ樹脂粉体塗料を吹き付けることにより塗装される。これにより均一で滑らかな塗膜が形成される。

異形管は、直管のように管を回転することができず、しかも形状が複雑なため、静電スプレーガンを用いた静電塗装が施される。この方法は、静電気を帯びたエポキシ樹脂粉体塗料と管との間に生じる吸引力を利用する方法で、複雑な形状の被塗物でも均一で滑らかな塗膜が得られやすい。

3 塗膜の品質

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の品質は、JIS G 5528の中で図表4-2-3-3のように規定されている。

● 図表4-2-3-3 エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の品質

項目	概要
塗膜の比重	1.8以下とする。
附着性	クロスカット法による試験結果の分類で0または1とする。
耐おもり落下性	500gのおもりを高さ500mmから落下させ、衝撃による変形で、割れまたは剥がれがない。
耐カッピング性	押し込み深さ3mmで、割れまたは剥がれがない。
引っかき硬度	硬度Hの鉛筆で、異常がない。
耐中性塩水噴霧性	500時間の塩水噴霧でさび、膨れまたは剥がれがない。
耐低温・高温繰返し性	-30±1℃で4時間、20±1℃で1時間、70±1℃で2時間、20±1℃で17時間を1サイクルとして4サイクル繰り返し、割れ、剥がれ、膨れまたは白化がない。

備考 各項目の概要はJIS G 5528-2014において、塗料について規定されている内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

管を水道施設に使用する場合は、水質に有害な影響を与えないことを確認する。塗料の浸出性検査項目はJWWA G 112に規定されている(図表4-2-3-4)。

● 図表4-2-3-4 塗料の浸出性

項目	基準
シアン化物イオンおよび塩化シアン	シアンの量に関して、0.001mg/L以下 ^{注1}
ホルムアルデヒド	0.008mg/L以下 ^{注1}
フェノール類	フェノールの量に換算して、0.0005mg/L以下 ^{注1}
有機物[全有機炭素(TOC)の値]	0.5mg/L以下 ^{注1}
味	異常でないこと ^{注1}
臭気	異常でないこと ^{注1}
色度	0.5度以下 ^{注1}
濁度	0.2度以下 ^{注1}
エピクロロヒドリン	0.01mg/L以下 ^{注1}
アミン類	トリエチレンテトラミンとして、0.01mg/L以下 ^{注1}
ヒドラジン	0.005 mg/L以下
アクリル酸	0.002 mg/L以下
残留塩素の減量	0.7 mg/L以下

注1 JWWA G 112では「水道施設の技術的基準を定める省令の別表第二による」と規定されているが、「水道施設の技術的基準を定める省令」(平成12年2月23日厚生省令第15号、平成26年2月28日改正)の別表第二による値を参考までに記載したものである。

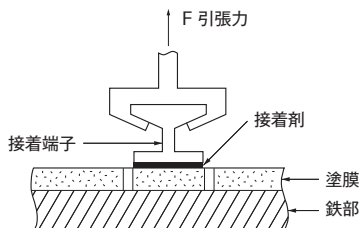
[JWWA G 112-2015 水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装]より

4 塗膜の密着性・耐真空性

① 密着性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の密着力を図表4-2-3-5の要領で調べた。試験結果の一例を図表4-2-3-6に示す。

●図表4-2-3-5 塗膜の密着力試験方法



〔JIS K 5600 5-7塗料一般試験方法－第5部：塗膜の機械的性質－第7節：付着性(プルオフ法)〕より

●図表4-2-3-6 塗膜の密着力試験結果

NO.	密着力 (N/mm ²)	NO.	密着力 (N/mm ²)
1	7.75<	5	9.41<
2	7.26<	6	7.36<
3	9.41<	平均	8.24<
4	8.24<		

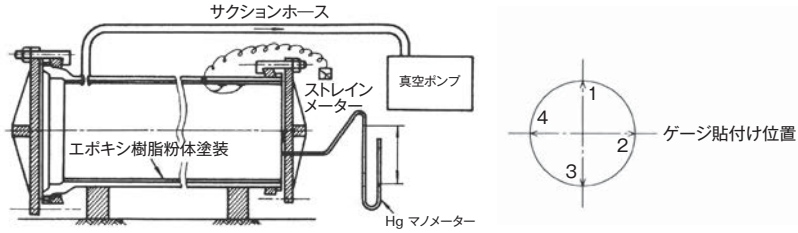
備考 <は、接着端子の接着面で剥がれてしまったため、実際の密着力は測定値より大きいと評価した。

② 耐真空性

1) 試験方法

呼び径200のエポキシ樹脂粉体塗装管の内面にひずみゲージ(円周方向4カ所)を貼り、図表4-2-3-7のようにセットした後、管内を真空ポンプにより-96kPaまで減圧し、1時間静置した。

● 図表4-2-3-7 真空試験方法



備考 気密性を保つためにサクシオンホース用穿孔部など粉体塗装膜の断面が露出する部分はエポキシ樹脂で鉄部との間をシールした。

2) 試験結果

-96kPaまで減圧しても、エポキシ樹脂粉体塗装面に発生したひずみは、最大でも 20×10^{-6} 程度であった。

● 図表4-2-3-8 ひずみの経時変化

(単位: $\times 10^{-6}$)

測定位置 No.	経過時間(分)					
	10	20	30	40	50	60
1	20	18	10	13	6	15
2	17	10	3	12	18	10
3	16	6	13	15	4	12
4	10	8	12	15	10	6

試験後の塗膜の密着力は、常圧下の密着力(図表4-2-3-6)と同等であり、真空試験による密着力の低下は認められなかった。

● 図表4-2-3-9 真空試験後の塗膜の密着力

NO.	密着力 (N/mm ²)	NO.	密着力 (N/mm ²)
1	9.02<	3	8.73<
2	7.55<	平均	8.43<

備考 <は、接着端子の接着面で剥がれてしまったため、実際の密着力は測定値より大きいと評価した。

5 たわみに対する塗膜の安全性

管のたわみがエポキシ樹脂粉体塗装の塗膜に与える影響を環状試験片によるへん平試験を行い調査した。

1) 試験方法

【供試管】

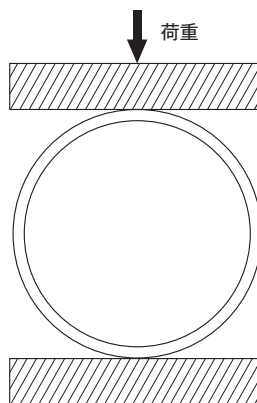
- ・ 呼び径200(3種管)のエポキシ樹脂粉体塗装管から採取した長さ50mmの環状試験片
 - ・ 呼び径700(3種管)のエポキシ樹脂粉体塗装管から採取した長さ300mmの環状試験片
- 供試管に図表4-2-3-10の要領で荷重を負荷し、へん平試験を行った。

呼び径の5%たわみ量までのへん平試験を行い、試験後の塗膜の状況を調査した。

2) 試験結果

いずれの供試管においても、目視により観察した結果、塗膜に異常は認められなかった。

●図表4-2-3-10 へん平試験方法



6 塗膜の耐水性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐水性を確認するため、浸食性の地下水を用いて約12年間にわたる長期通水試験を実施した。

1) 試験方法

【供試管】

供試管は全て呼び径100×300mmの乙切管(両挿し口の管)で、内面防食仕様は図表4-2-3-11とした。

●図表4-2-3-11 供試管の内面防食仕様

No.	種類	厚み(mm)	備考
1	エポキシ樹脂粉体塗装	0.3~0.4	
2	タールエポキシ樹脂塗装	0.3~0.4	比較用
3	無溶剤形液状エポキシ樹脂塗装	0.3~0.4	比較用

【通水条件】

- ・ 流速: 約0.4m/s(常に新しい水を供給)

- ・ 水質：pH5.8、遊離炭酸濃度60ppm、アルカリ度32ppm

L.I.(ランゲリア指数^{*5}) - 2.6 (いずれも平均値)

*5 「4-2-1 内面腐食の要因」2の②による。

2) 試験結果

エポキシ樹脂粉体塗装には、他の塗装に認められたような塗膜の膨れや錆の発生はなく、良好であった(図表4-2-3-12)。本試験で通水された水は、浸食性の地下水であることから、エポキシ樹脂粉体塗装は、耐水性に優れているといえる。

●図表4-2-3-12 内面防食の長期通水試験結果

No.	種 類	厚み (mm)	試験期間	観察結果
1	エポキシ樹脂粉体塗装	0.3~0.4	約12年	塗膜の膨れや剥がれは認められず良好
	エポキシ樹脂粉体塗装 (直接分岐穿孔部)	0.3~0.4	約5年	穿孔部周辺の塗膜に膨れや剥がれは認められず良好
2	タールエポキシ樹脂 塗装	0.3~0.4	約12年	φ1~2mmの膨れが多く認められた
3	無溶剤形液状エポキシ 樹脂塗装	0.3~0.4	約11年	φ1~20mmの膨れが多く認められた

7 塗膜の耐酸性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐酸性を確認するため、強酸性水による通水試験を行った。

1) 試験方法

【通水条件】

- ・ 水のpH値：2および4の2種類(塩酸を用いて調整)
- ・ 流速：約2.3m/s
- ・ その他：循環通水

試験状況を図表4-2-3-13に示す。

2) 試験結果

エポキシ樹脂粉体塗装には、13年間経過しても塗膜の膨れや剥がれは認められず、優れた耐酸性を有しているといえる。

●図表4-2-3-13 強酸性水通水試験状況



手前がpH2、奥がpH4の通水管路

8 塗膜の耐摩耗性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐摩耗性を調査するため、以下の2種類の試験を行った。

① 摩耗輪による摩耗試験

1) 試験方法

この試験は、「JIS K 7204 プラスチック—摩耗輪による摩耗試験方法」に準拠して行った。

2) 試験結果

図表4-2-3-14の通り、エポキシ樹脂粉体塗装は、タールエポキシ樹脂塗装に比べて摩耗質量が約半分であった。

●図表4-2-3-14 摩耗輪による塗膜の摩耗試験結果

種 類	摩耗質量 (mg)	
エポキシ樹脂粉体塗装	113 ^{注1}	23.3 ^{注2}
タールエポキシ樹脂塗装	224 ^{注1}	

注1 摩耗輪=GC-150H、塗装片の回転数=1000回、塗装片への荷重=9.8N

注2 摩耗輪=CS17、塗装片の回転数=1000回、塗装片への荷重=4.9N

② スラリー通水摩耗試験

1) 試験方法

高速流でスラリー水を流す試験により、内面塗膜の摩耗による厚みの変化を測定した。

【供試管】

- ・ 呼び径100×300mmのエポキシ樹脂粉体塗装管

【通水条件】

- ・ スラリー：微粉珪砂／7号珪砂／沈降防止剤（エアロジル）=2／1／0.2（重量比）
- ・ スラリー濃度：1%（重量比）
- ・ 流速：約2.5m/s

2) 試験結果

1年後も摩耗による厚みの減少量は小さかった。

●図表4-2-3-15 スラリー通水による塗膜の摩耗試験結果

種 類	摩耗による厚み減少量 (mm)	
	3カ月後	1年後
エポキシ樹脂粉体塗装	0.0030	0.0035

9 塗膜の耐候性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐候性を確認するため、長期間の屋外曝露試験を行った。

1) 試験方法

世界でも特に過酷な条件と思われる中近東(クウェート)で約4年間、その後、国内にて約7年間の計11年間という長期にわたって行った。

2) 試験結果

供試管のエポキシ樹脂粉体塗装の表面には、チョーキング(粉が出る現象)が発生していた。これは、屋外曝露等で、熱、風雨、紫外線等により、塗膜の表面が分解し、塗膜中の顔料分等が粉状になって現れるエポキシ樹脂系塗料によく見られる現象である。

しかし、チョーキングによる影響は塗膜の表層だけであり、これによって失われた塗膜厚も十数 μm 程度であった。

なお、実際のエポキシ樹脂粉体塗装管の両端には、キャップが施されているので、1、2年の保管では、チョーキングもあまり起こらないものと考えられる。

10 塗膜の水質に及ぼす影響

エポキシ樹脂粉体塗装の材料はもともと高分子であり、さらに塗装時の熱によって硬化反応がほぼ終了するため、硬化不足に起因する臭気、味などに異常はない。また、無溶剤形塗料なので、残留溶剤の影響もない。

① 浸出試験(事例1)

エポキシ樹脂粉体塗装が水質に及ぼす影響は、JWWA G 112の中に浸出試験として規定されている。公的機関で行われた試験結果を図表4-2-3-16に示す。

● 図表4-2-3-16 エポキシ樹脂粉体塗装浸出試験結果例

様式-1-12-1-改正02 (業務規則第11条11.3)

第2015-定塗-006-1号
2016年(平成28年)3月7日

日本ペイント・インダストリアルコーティングス株式会社 様

公益社団法人 日本水道協会 品質認証センター 品質管理課
東京都千代田区九段南4-8-9

浸出性能試験結果(定期)



ご依頼のありました試験の結果は次のとおりです。

認証取得者	日本ペイント・インダストリアルコーティングス株式会社		
品質確認実施工場	日本ペイント・インダストリアルコーティングス株式会社 千業工場		
試料名	タタカグ-TK1413F(TJ)		
接触面積比	550cm ² /L	認証登録番号	資管F-6
規格番号	JWWA G 112 水道用ケタイル鋳鉄管内面用樹脂粉体塗装		
試料採取年月日	平成27年12月22日	試料採取職員	佐藤 喜一郎
受付年月日	平成28年1月15日	試験方法	JWWA G 112:2015
コファ・イソシオンガ分析年月日	平成28年1月16日～2月15日		JWWA Z 108:2012
試験実施場所	一般財団法人岐阜県公衆衛生検査センター	試験責任者	品質管理課長 仙波 政
浸出用液の水質	pH値6.9 硬度46 mg/L アルカリ度34 mg/L 残留塩素1.1 mg/L		
項目	試験結果(単位:mg/L)	基準(単位:mg/L)	注 分析方法
シソ化合物(4)及び塩化シソ	0.0005 未満	0.001 以下	(1)1017F 35-47 3181A 吸光光度法
鉛(Pb)イオン	0.008 未満	0.008 以下	誘導体化-誘導抽出-GC-MS法
フェノール類	0.0005 未満	0.005 以下	1 固相抽出-誘導体化-GC-MS法
有機物(全有機炭素(TOC)の量)	0.2	0.5 以下	全有機炭素計測定法
味	異常なし	異常でないこと	官能法
臭気	異常なし	異常でないこと	官能法
色度	0.5 度未満	0.5 度以下	透過光測定法
濁度	0.1 度未満	0.2 度以下	積分球式光電光度法
アミン類	0.01 未満	0.01 以下	吸光光度法
エピクロヒドリン	0.001 未満	0.01 以下	PT-GC-MS法
ヒドラン	0.005 未満	0.005 以下	吸光光度法
フクリ酸	0.002 未満	0.002 以下	HPLC法
残留塩素の減量	0.15	0.7 以下	吸光光度法
備考	Lot No. 15.12.22C6-1 (2015年12月22日製造) 注1 フェノール類とは、フェノール及び塩素化したフェノールの総称である。 フェノール類の基準は0.0005 mg/Lであるが、H ₂ O ₂ を除く主要部品の材料としてJ ₂ M、J ₂ M化合物又は合成樹脂を使用している場合は、当分の間、0.005 mg/Lとする。 上記の試験結果は、基準内であるため、適合と判定する。		

この試験結果は、完全な複製を除き、試験結果の一部のみを複製した場合は、無効とする。

2 浸出試験(事例2)

エポキシ樹脂粉体塗装管の中に、水道水を溜めて水質変化を調査した。

1) 試験方法

【供試管】

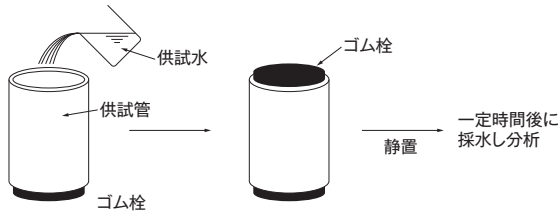
- ・ 呼び径100×300mmの内面エポキシ樹脂粉体塗装管

なお、比較用として内面モルタルライニング管も併せて試験した。

【条件】

浸出試験は、JWWA G 112の附属書Aに準じ、図表4-2-3-17の要領にて行った。

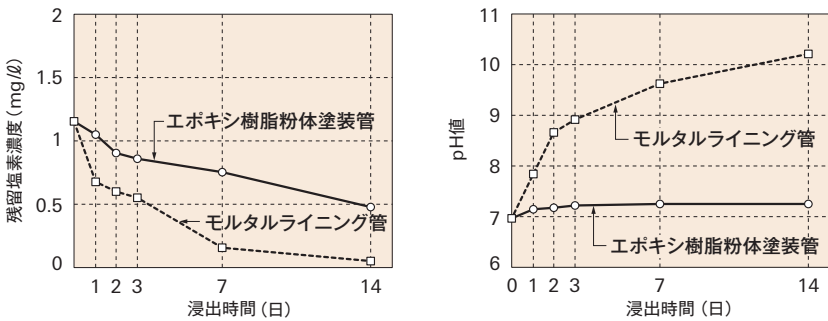
●図表4-2-3-17 浸出試験要領

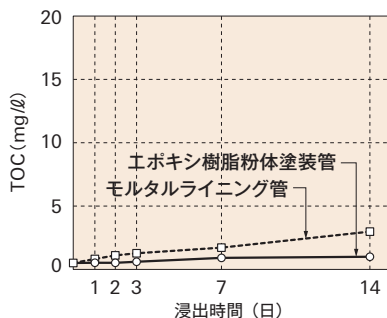
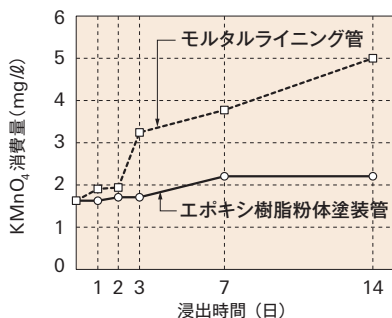


2) 試験結果

浸出期間1カ月の内、水質が大きく変化した14日間の変化を図表4-2-3-18に示す。

●図表4-2-3-18 エポキシ樹脂粉体塗装の浸出試験における水質の経時変化





11 塗装の浸出水の変異原性試験

エポキシ樹脂粉体塗装の浸出水についてAmes試験(変異原性試験)を行った(Ames試験については「4-2-4 モルタルライニング」2の③を参照)。

その結果、エポキシ樹脂粉体塗装の浸出水の変異原性は陰性であった。

12 塗膜の性能

本項で取り上げた性能試験結果の一覧を図表4-2-3-19に示す。

●図表4-2-3-19 エポキシ樹脂粉体塗装の性能確認試験結果

試験項目	試験結果
密着性	塗膜の密着力は平均8.24N/mm ² 以上であった。
耐真空性	管内を真空ポンプにより-96kPaまで減圧した場合、エポキシ樹脂粉体塗装面に発生したひずみは、最大でも20μ程度であった。また、真空試験による密着力の低下は認められなかった。
たわみに対する安全性	呼び径の5%たわみ量までのへん平試験を行った結果、塗膜に異常は認められなかった。
耐水性	ランゲリア指数=-2.6の強浸食性の地下水による約12年間の長期通水試験の結果、エポキシ樹脂粉体塗装には塗膜の膨れや錆の発生はなく良好であり、優れた耐水性を有していた。
耐酸性	pH2およびpH4の2種類(塩酸調整水)の通水試験を行った結果、13年間経過してもエポキシ樹脂粉体塗装には塗膜の膨れや剥がれは認められず優れた耐酸性を有していた。
耐摩耗性	JIS K 7204に規定されている「プラスチック-摩耗輪による摩耗試験方法」では、エポキシ樹脂粉体塗装はタールエポキシ樹脂塗装に比べて摩耗量が約半分であった。また、高流速でスラリー水を流すスラリー通水摩耗試験を行った結果、エポキシ樹脂粉体塗装は1年後も厚みの減少量が、0.0035mmと小さいことを確認した。

試験項目	試験結果
耐候性	中近東(クウェート)で約4年間、その後、国内にて約7年間の計11年間屋外曝露試験を行った結果、チョーキング(粉が出る現象)は発生していたが、チョーキングによる影響は塗膜の表層だけであり、これによって失われた塗膜厚も十数 μ 程度であった。
水質に及ぼす影響	浸出性はJWWA G 112を満足する。また、エポキシ樹脂粉体塗装管およびモルタルライニング管の中に水道水を約1カ月間にわたって溜めた場合の水質変化を比較したところ、残留塩素濃度の低下、pH値、KMnO ₄ 消費量、TOCのいずれの経時変化についてもエポキシ樹脂粉体塗装管はモルタルライニング管よりも良好な結果が得られた。
変異原性	Ames試験(変異原性試験)での塗膜の浸出水の変異原性は陰性であった。

4-2-4 モルタルライニング

1 配合と施工

① 配合

- ・ セメント：砂＝1：1.5～3.0(質量比)
- ・ 水セメント比＝約0.4(膨張材＝セメント量の約8%)

② 施工

直管は遠心力によりモルタルライニングを行う。すなわち、管を回転させながら、所定の厚さを得るように計量されたモルタルを投入した後、重力の約30倍の遠心力を与えるように高速回転させて、モルタルを管内面に均一の厚さに密着させる。

モルタルライニング施工後の管に適切な条件で蒸気養生を行い、その後シーリングコートを施す。

異形管には、遠心力施工を行うことができないので、過去においては、遠心力投射、グナイト(吹付け)および手塗りによってモルタルライニングを行っていた。現在では、異形管の内面にはエポキシ樹脂粉体塗装または液状エポキシ樹脂塗装が施されており、モルタルライニングは行われていない。

●図表4-2-4-1 モルタルライニングの規定厚さおよび参考質量

呼び径	厚さ (mm)	参考質量 (kg/m)	呼び径	厚さ (mm)	参考質量 (kg/m)
75	4	2.23	1000	10	75.25
100	〃	2.99	1100	〃	82.79
150	〃	4.52	1200	〃	90.25
200	〃	6.06	1350	12	121.69
250	〃	7.62	1500	〃	135.26
300	6	13.65	1600	15	179.26
350	〃	15.97	1650	〃	184.91
400	〃	18.21	1800	〃	200.97
450	〃	20.48	2000	〃	224.5
500	〃	22.76	2100	〃	235.81
600	〃	27.27	2200	〃	248.59
700	8	42.28	2400	〃	268.04
800	〃	48.32	2600	〃	292.92
900	〃	54.35			

「JIS G 5526-2014 ダクタイル鋳鉄管」より

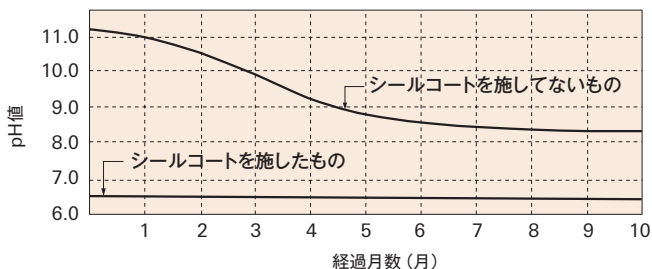
2 シールコート

① 機能

シールコートはモルタル中のアルカリ成分の溶出を抑制し、通水初期の急激なpH値の上昇を防ぐとともに、長期的にもpH値の上昇を抑えることができる*6。

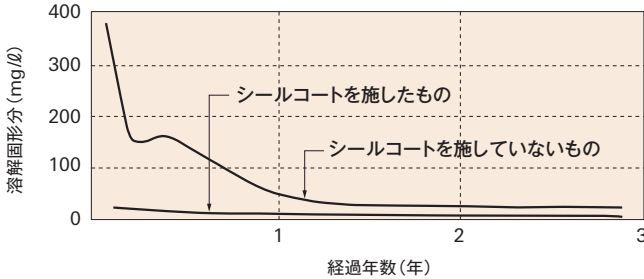
*6 1967(昭和42)年、シールコートを施すことが規格化され、上記のような効果を発揮したが、1982年ごろから水質によってはシールコートが剥離する現象が生じたため1989年ごろから浸透性のシールコートが施されるようになった。

●図表4-2-4-2 シールコートの長期通水試験におけるpH値の経時変化



Journal.AWWA, 47,Dec.1995

●図表4-2-4-3 シールコートの長期通水試験における溶解固形分の経時変化



Journal.AWWA, 47,Dec,1995

2 塗料

シールコートに使用される塗料の組成と諸性能を図表4-2-4-4に示す。

●図表4-2-4-4 シールコート用塗料の組成と諸性能

項目	内容
外観	無色透明液
主成分	アクリル酸、メタクリル酸等共重合物
溶剤	トルオール、キシレン
灰分	0
粘度(CPS)	100以下
比重	約0.9

3 水質試験

シールコートを塗装したモルタルライニング管に、20℃で24時間接触させた後の水を用いて、WHO(世界保健機関)の「飲料水質ガイドライン」(1984年)の中に示されている有機物の分析とAmes試験(変異原性試験)*7を行った。

WHOに基づく有機物の分析結果を図表4-2-4-5に、Ames試験結果を図表4-2-4-6、7に示す。

試験の結果、シールコートは、WHOの水質基準を満たし、Ames試験でもコントロールと試験水は、ほぼ同じコロニー数を示したことから変異原性は陰性であった。

*7 Ames試験とは、変異原性試験方法の一つであり、最も一般的で広く用いられている手法である。変異原性試験は、化学物質の変異原性を検出すると同時に化学物質の発癌性を予備的にスクリーニングするものである。Ames試験の方法は、培地の入ったプレート中に試料水とテスト菌株を入れ、培養を行い、その菌の増殖状況に応じて試料中に変異原性物質が存在するか否かを判定するものである。なお、判定基準は、プレート当たりのコロニー数が「いくつ以上あれば陽性」という具体的な数値はないがコントロールの2~3倍が目安となる。ここでは、コントロールとして培地にテスト菌株のみを入れたもの(溶媒対象)および培地に未処理水(空試験水)とテスト菌株を入れたものを用いた。

● 図表4-2-4-5 WHO「飲料水質ガイドライン」(1984年)に基づく有機物分析結果

試験項目	ガイドライン値	試験結果
アルドリンおよびディルドリン	0.03 μ g/L	0.03 μ g/L以下
ベンゼン	10 μ g/L	1 μ g/L以下
ベンゾ(a)ピレン	0.7 μ g/L	0.01 μ g/L以下
四塩化炭素	4 μ g/L	0.05 μ g/L以下
クロルデン	0.2 μ g/L	
trans-クロルデン		0.005 μ g/L以下
cis-クロルデン		0.005 μ g/L以下
trans-ノナクロル		0.005 μ g/L以下
cis-ノナクロル		0.005 μ g/L以下
オキシクロルデン		0.005 μ g/L以下
クロロベンゼン	ガイドライン値なし	1 μ g/L以下
クロロフェノール	ガイドライン値なし	
(o)		1 μ g/L以下
(m)		1 μ g/L以下
(p)		1 μ g/L以下
2,4-D	30 μ g/L	10 μ g/L以下
DDT	1 μ g/L	1 μ g/L以下
1,2-ジクロロエタン	30 μ g/L	1 μ g/L以下
1,1-ジクロロエチレン	30 μ g/L	0.3 μ g/L以下
ヘプタクロール	ガイドライン値なし	0.1 μ g/L以下
ヘプタクロルエポキシサイド	ガイドライン値なし	0.1 μ g/L以下
ヘキサクロロベンゼン	ガイドライン値なし	0.01 μ g/L以下
ガンマ-HCH(リンデン)	2 μ g/L	0.1 μ g/L以下
メトキシクロール	20 μ g/L	1 μ g/L以下
ペンタクロロフェノール	9 μ g/L	0.5 μ g/L以下
テトラクロロエチレン	40 μ g/L	0.2 μ g/L以下
トリクロロエチレン	70 μ g/L	0.5 μ g/L以下
2,4,6-トリクロロフェノール	200 μ g/L	0.5 μ g/L以下
トリハロメタン		
クロロホルム	200 μ g/L	5 μ g/L以下
ブロモジクロロメタン	60 μ g/L	0.5 μ g/L以下
ジブロモクロロメタン	100 μ g/L	0.5 μ g/L以下
ブロモホルム	100 μ g/L	0.5 μ g/L以下

● 図表4-2-4-6 Ames試験結果(1)

物質	濃度 μL/平板	S9Mix	復帰変異コロニー数/平板	
			塩基置換型 (TA100)	フレームシフト型 (TA98)
溶媒対照	0	—	74	14
			86	17
空試験水	100	—	85	19
			95	12
試料水	3.13	—	83	17
			99	5
	6.25	—	71	12
			73	14
	12.5	—	70	13
			79	13
	25	—	75	9
			86	12
	50	—	76	20
			79	23
100	—	84	17	
		100	18	
陽性対照	名 称		AF-2	AF-2
S9Mix	濃度 μg/平板		0.01	0.05
(-)	コロニー数/平板		472	288
			499	274

AF-2 2-(2-furyl)-3-(5-nitro-2-furyl)acrylamide

●図表4-2-4-7 Ames試験結果(2)

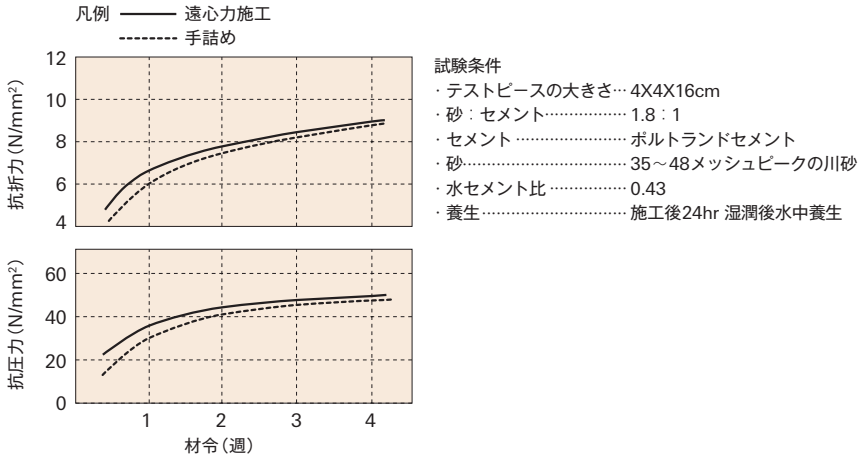
物質	濃度 μL/平板	S9Mix	復帰変異コロニー数/平板	
			塩基置換型 (TA100)	フレームシフト型 (TA98)
溶媒対照	0	+	80	15
			93	19
空試験水	100	+	104	20
			124	24
試料水	3.13	+	87	15
			107	23
	6.25	+	81	15
			105	21
	12.5	+	100	15
			122	17
	25	+	112	19
			99	21
	50	+	121	16
			123	22
100	+	114	17	
		120	24	
陽性対照	名 称		2-AA	2-AA
S9Mix	濃度 μg/平板		0.5	0.5
(+)	コロニー数/平板		659	316
			642	314

2-AA : 2-aminoanthracene

3 モルタル材料の強度

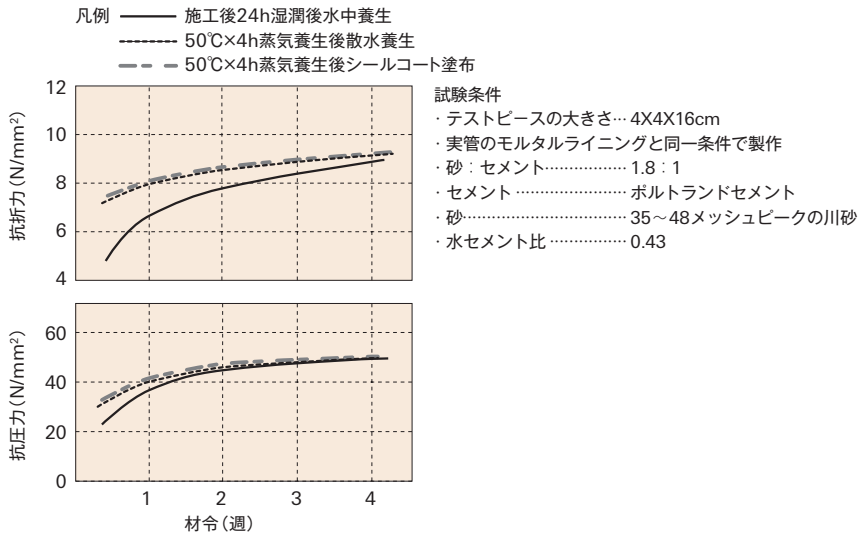
① 遠心力施工と手詰めと比較

●図表4-2-4-8 モルタル材料の初期強度



② 遠心力施工における養生方法と初期強度

●図表4-2-4-9 遠心力施工モルタルテストピースにおける初期強度に及ぼす養生方法の影響



4 ライニングの密着性・耐真空性

① 密着力

●図表4-2-4-10 各種ライニング材の密着力

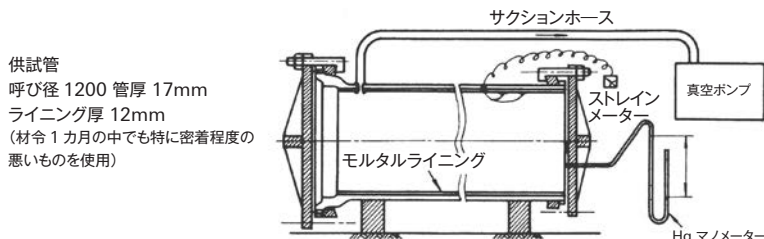
種 類	密着力 (N/mm ²)
コールタール・エナメルと鋼板	0.20~0.39
モルタルと鋼板	0.49
モルタルと鉄管内面肌	1.96

管が多少たわんでも管内面のモルタルライニングが容易に剥離しないことは、Chapter2の図表2-2-2-2～6に示したへん平試験結果からも明らかである。

② 耐真空性

呼び径1200のモルタルライニング管を用いて、図表4-2-4-11のような装置にて、特に密着程度の悪いモルタルライニング管の真空試験を行った。

●図表4-2-4-11 真空試験方法



備考 気密性を保つためにサクションホース用穿孔部など粉体塗装膜の断面が露出する部分はエポキシ樹脂で鉄部との間をシールした。

試験の結果、以下のことが明らかになった。

- ・ 管内の真空度が72%に達するも、モルタルライニングには肌離れ面積の増加、その他の異常は認められなかった。
- ・ 真空がモルタルライニング面に与える影響は、健全部、密着不良部で本質的な差異はない。
- ・ モルタルライニング面に生じる最大ひずみは $33\sim 26 \times 10^{-6}$ 程度であり、モルタル表面層の亀裂発生ひずみが 200×10^{-6} 程度であるのに比べて小さい。
- ・ モルタルはある程度空気を浸透させるため、ライニング内外面の圧力が平衡にな

りやすく、真空作用などに対しては有利である。

5 たわみに対する安全性

Chapter2の図表2-2-2-2～6に示した通り、環状試験片の上下から集中加重を加えるモルタルライニングにとっては厳しい試験条件においても、ライニングに可視クラックを生じるのは、呼び径の3%以上の垂直たわみに達してからである。

埋設管にあっては、荷重は集中することなく分散されるため、モルタルライニングのクラックに対してはさらに有利な条件となる。

従って、許容たわみは呼び径の3%として十分である。一般の埋設条件下におけるダクタイル鉄管の垂直変形の計算値は、図表4-2-4-13の通りであり、一般的な埋設条件下ではモルタルライニングのクラックを懸念する必要はない。

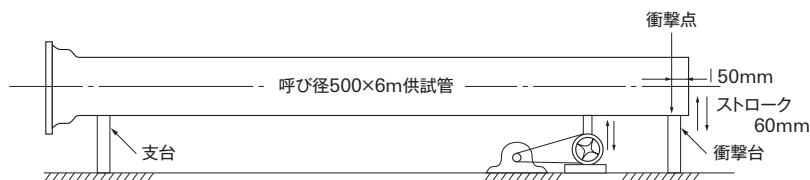
図表4-2-4-13においては、モルタルライニングの補強効果は見込んでいないが、実際にはこの補強効果により、たわみは同表の計算値よりさらに小さくなる。また、もしライニングにクラックを生じ、クラック幅が0.4mmになったとしても、防食効果は損なわれないことを確認している(図表4-2-4-27)。

6 耐振動性・耐衝撃性

① 耐振動性

図表4-2-4-12の通り、呼び径500のモルタルライニング管の挿し口を60mm持ち上げて、衝撃台上に繰り返し落下させ、5000回の振動衝撃を与えても、クラック、剥がれ等の異常は生じなかった。

●図表4-2-4-12 モルタルライニング管の振動衝撃試験方法



(単位：mm)

●図表4-2-4-13 土かぶり深さとダクタイトイル鉄管の垂直たわみとの関係

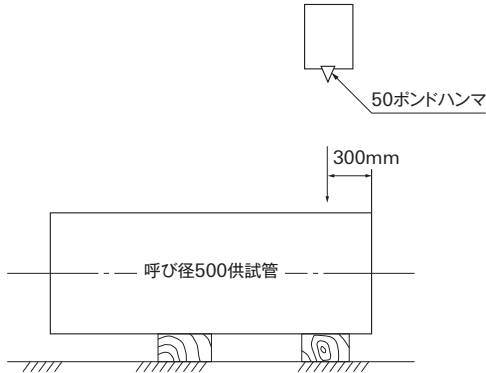
支持角 土かぶり(m)	2θ = 40°												2θ = 60°												
	1.2				1.8				2.4				1.2				1.8				2.4				
	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	
500	0.94	1.37	1.69	1.29	1.88	2.32	1.58	2.29	2.83	0.85	1.23	1.51	1.17	1.68	2.07	1.43	2.06	2.53							
600	1.28	1.70	2.42	2.93	1.78	2.36	3.35	4.06	5.02	1.15	1.52	2.18	1.60	2.11	3.02	1.98	2.61	3.74	4.52						
700	1.85	2.41	3.20	4.56	2.59	3.38	4.48	6.39	7.98	1.66	2.17	2.88	2.33	3.04	4.03	2.91	3.79	5.04	7.49						
800	2.26	3.21	4.18	5.55	3.20	4.55	5.92	7.85	9.87	2.03	2.89	3.76	2.88	4.09	5.33	3.62	5.14	6.89	8.89						
900	2.68	4.11	5.23	6.79	3.81	5.84	7.43	9.64	12.18	2.41	3.71	4.71	3.43	5.26	6.69	4.32	6.64	8.44	10.97						
1000	3.08	4.54	6.31	8.01	4.39	6.46	8.97	11.40	15.38	2.77	4.09	5.68	3.95	5.82	8.09	5.01	7.39	10.26	13.02						
1100	3.49	5.48	7.43	9.28	4.98	7.81	10.59	13.23	18.46	3.32	4.93	6.69	4.48	7.03	9.54	5.68	8.93	12.11	15.11						
1200	3.92	5.90	8.60	11.80	5.60	8.43	12.29	16.86	24.13	4.03	5.31	7.74	5.04	7.59	11.06	6.41	9.65	14.06	19.30						
1350	4.71	7.37	10.40	13.83	6.74	10.55	14.89	19.80	28.24	5.31	6.64	9.36	6.06	9.5	13.40	7.72	12.10	17.05	22.72						
1500	5.50	8.30	12.28	15.92	7.92	11.94	17.67	22.91	33.47	6.64	8.32	12.80	7.15	10.77	15.90	9.14	13.76	20.31	26.39						
1600	5.95	8.74	13.57	17.37	8.55	12.56	19.51	24.97	38.47	7.88	9.87	14.46	7.72	11.33	17.56	10.59	15.42	23.73	30.15						
1650	6.35	9.23	14.19	18.05	9.19	13.36	20.53	26.12	41.47	8.32	10.31	15.14	8.27	12.04	18.52	11.39	16.10	24.36	31.76						
1800	6.82	10.84	16.18	20.20	9.85	15.66	23.38	29.19	46.47	9.76	12.03	17.17	8.87	14.10	21.07	12.39	18.10	27.05	33.76						
2000	8.08	12.32	17.69	24.78	11.70	17.84	25.61	35.88	54.47	11.12	14.36	20.33	10.56	16.09	23.08	13.61	20.74	29.74	41.66						
2100	8.52	12.70	18.97	26.21	12.38	18.45	27.56	38.08	59.47	11.46	15.14	21.14	11.15	16.64	24.82	14.36	21.43	31.96	44.14						
2200	8.97	13.86	20.36	27.75	13.01	20.10	29.53	40.26	65.47	12.48	16.17	22.14	11.75	18.11	26.60	15.16	23.36	34.32	46.80						
2400	9.89	15.39	23.12	30.77	14.37	22.36	33.60	44.72	74.47	13.86	18.17	24.14	12.95	20.15	30.27	16.73	26.02	39.09	52.01						
2600	10.74	16.85	25.78	33.64	15.66	24.57	37.59	49.05	88.47	15.18	20.31	26.31	14.12	22.14	33.89	18.27	28.65	43.85	57.18						

備考 規定管厚から製造公差余裕(管厚の10%または1mm)を差し引いた最底管厚について計算した。モルタルライニングによる補強効果は見込まない。土圧の計算はヤンセン公式による。

② 耐衝撃性

図表4-2-4-14のように呼び径500のモルタルライニング管の端近くに重さ50ポンド(22.7kg)のハンマを、最初15cmの高さから次いで5cmずつ高くしながら、繰り返し落下させ衝撃を与えたが、落下高さ50～75cm(すなわち衝撃回数8～13回)でようやくライニング表面にわずかなひび割れ(ヘアクラック)を生じた。

●図表4-2-4-14 モルタルライニング管の落下衝撃試験方法



以上の試験結果から明らかなように、乱暴な取扱いをしない限り、ライニングが損傷することはない。

7 各種防食塗料の耐食性

モルタルライニングと各種防食塗料の耐食性を比較する試験を行った。

1) 試験方法

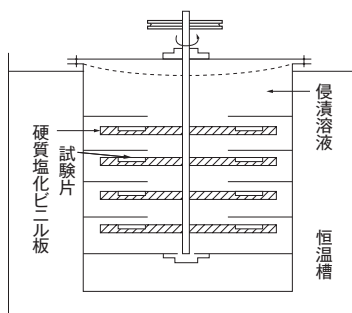
【供試材料】

●図表4-2-4-15 塗料の耐食試験に用いた供試材料

種類	塗装方法	厚み (mm)
コールタール塗料	焼付け 1回	0.03
常温型瀝青質塗料	常温刷毛塗り 1回	0.1
塩化ビニル塗料	〃 2回	0.05
タールエポキシ樹脂塗料	〃 2回	0.3
モルタルライニング	手塗り、50℃×6時間蒸気養生	3
モルタルライニング(割れ目0.4mm)	〃	3

供試材料を40×40×3mmの鑄鉄片に塗布し、塩化ビニル板に取り付け、溶液中に浸漬回転させた(図表4-2-4-16)。

●図表4-2-4-16 各種防食塗料の耐食試験装置



試験片取付け状況

2) 試験結果

●図表4-2-4-17 水道水浸漬試験結果

凡例：◎ 変化なし、○ 一部に膨れ、△ 膨れ多し、× 塗膜一部剥離

種 類	浸漬期間(月)									
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	
コールタール塗料	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	△	
常温瀝青質塗料	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	
塩化ビニル塗料	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	
タールエポキシ樹脂塗料	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
モルタルライニング	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
モルタルライニング (割れ目0.4mm)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

●図表4-2-4-18 海水中浸漬試験結果

種 類	浸漬期間(月)									
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	
コールタール塗料	◎	○	○	△	×	×	×	×	×	
常温瀝青質塗料	◎	○	○	△	×	×	×	×	×	
塩化ビニル塗料	◎	◎	○	○	△	△	×	×	×	
タールエポキシ樹脂塗料	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	
モルタルライニング	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
モルタルライニング (割れ目0.4mm)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

モルタルライニングが最も優れた耐食性を有している。

また、0.4mm程度の割れ目があってもモルタルライニングの防食効果は損なわれるものでないことも明らかである。これは、モルタル中のCaイオンにより腐食性の水がアルカリ化されるためであり、長期間のうちにはセメントの癒着現象^{ゆちやく}により割れ目は小さくなり、わずかなクラックは塞がれる。剥がれについても同様である。

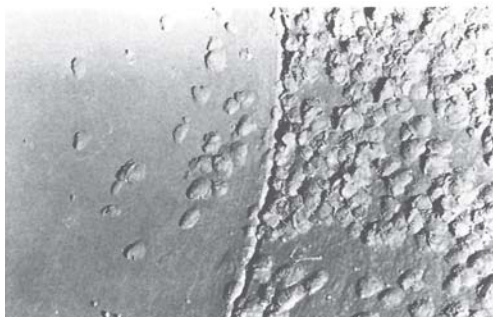
8 耐海水性

海水輸送管として使用する管は次のような条件に耐えるものでなければならない。

- ・ 侵食性の強い海水によって、常に激しい腐食作用にさらされる。
- ・ 海水中に生息するバクテリア類の攻撃を受ける。
- ・ 貝類などの生物の付着と、その繁殖によって内面のライニングが被害を受け、時には致命傷を招く。

図表4-2-4-19から分かるように、モルタルライニングへの生物の付着は、コールタールエナメル、タールエポキシ樹脂などの防食材に比べて少ない。

●図表4-2-4-19 モルタルライニング管およびタールエポキシ樹脂塗装管への生物付着



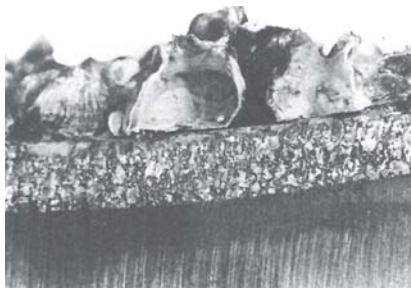
左：モルタルライニング管
右：タールエポキシ樹脂塗装管

もし生物が付着しても、ライニングに食い込んでライニングが剥がされたり、損傷を受けたりすることがない(図表4-2-4-20)。特にフジツボはライニング面に足を食い込ませ、コールタールエナメルなどの軟らかいライニングを持ち上げてしまうが、モルタルライニングは硬いためこのようなことはない。

モルタルライニング面に付着した生物類は比較的除去しやすい。

●図表4-2-4-20 モルタルライニングおよび
コールタールエナメルライニングへの生物付着の状況

モルタルライニング

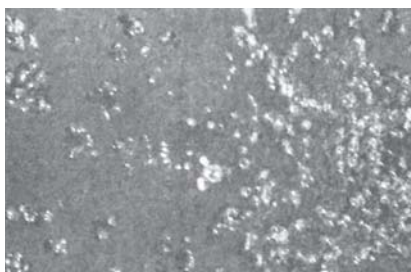


コールタールエナメルライニング



●図表4-2-4-21 生物付着を除去した後のライニングの状況

モルタルライニング



コールタールエナメルライニング



9 熱による影響

① 熱に対するモルタルの特性

●図表4-2-4-22 熱に対するモルタルおよびダクタイル鑄鉄の特性

項目	モルタル	ダクタイル鑄鉄
熱膨張係数 (1/°C)	$11 \sim 18 \times 10^{-6}$	$10.8 \sim 11.5 \times 10^{-6}$
熱伝導度 (kJ/m/h/°C)	3.56	0.989
比熱 (J/g/°C)	1.05	0.481 ~ 0.502

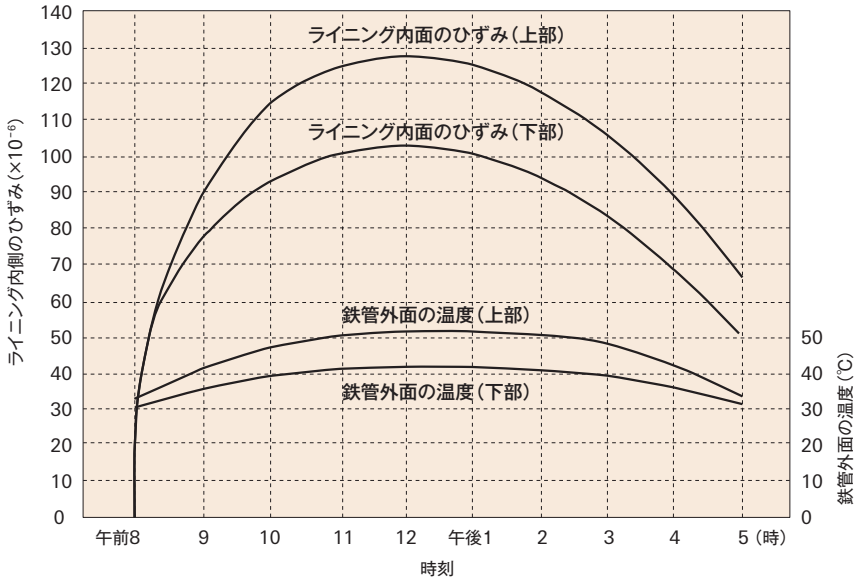
② 直射日光による影響

ダクト用鉄管に比べてモルタルライニングの熱伝導率や比熱が異なるため、直射日光の当たる場所に放置すると管外面とライニングに温度差が生じ、熱膨張の差によってライニングにひずみが生じることがあるので注意を要する。

実測結果の一例を図表4-2-4-23に示す。これを図表4-2-4-24のモルタルの引張破壊ひずみと比較すると、なお約2倍近くの安全率があり、一般の場合、問題は無いと考えられる。

●図表4-2-4-23 鉄管外面の温度とライニング内面のひずみ

実験条件：呼び径250モルタルライニング管を直射日光に曝した場合



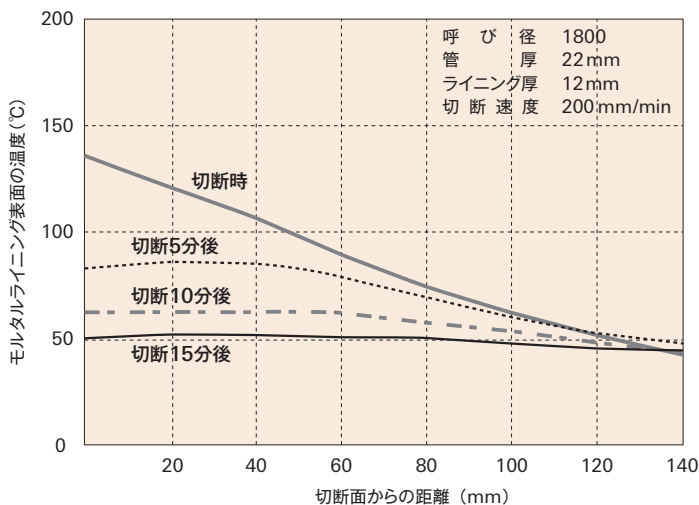
●図表4-2-4-24 遠心力施工したモルタルのテストピースによる引張破壊ひずみ

試料No.	引張強さ (N/mm ²)	ひずみ
1	6.57	204 × 10 ⁻⁶
2	6.37	248 × 10 ⁻⁶

③ ガス切断の影響

呼び径1800のモルタルライニング管についての実測結果の一例を図表4-2-4-25に示す。ガス炎が直接ライニングに当たる部分で、幅約15～20mm程度のモルタルライニング層が結晶水を失いクラックを生じるが、それ以外の熱影響部は変化を生じず、モルタルライニングは健全である。

●図表4-2-4-25 ガス切断におけるモルタルライニングの表面温度と影響範囲



10 ひび割れ(ヘアクラック)の許容幅

セメント硬化物は、硬化過程における水和反応の進行ならびに水分の蒸発に伴う収縮によりひび割れが発生する。モルタルライニングにも同様のひび割れが生じる場合があるが、管内面の水道水と接触することによる吸水膨潤ならびにカルシウムの析出せきしゅつなどにより癒着作用ゆちやくが生じ、長期間防食効果を維持する。ISO 4179では、ひび割れの幅は0.8mmまで許容されている。日本は水質が主に軟水であることから、有害なひび割れの幅を調査したところ0.4mmまで癒着することを確認した。「JIS A 5314 ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング」ならびに「JWWA A 113 水道用ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング」では安全を考慮し、許容されるひび割れの幅は0.25mm以下と規定している。

● 図表4-2-4-26 モルタルライニングのひび割れの癒着結果

ひび割れの幅	流水状態			滞留状態		
	3カ月後	6カ月後	1年後	3カ月後	6カ月後	1年後
0.25mm	○	○	○	○	○	○
0.40mm	△	○	○	○	○	○
0.80mm	×	×	×	△	△	△
1.50mm	×	×	×	△	△	△





○：癒着 △：一部癒着 ×：未癒着

備考1 呼び径500、長さ300mmのモルタルライニング管をたわませて所定の幅のひび割れを生じさせた。

備考2 供試管を滞留状態、流水状態(1L/min)の2種類の水槽に入れ、ひび割れの癒着状況を観察した。

備考3 流水の総硬度は46.0mg/Lであり、軟水に分類された。

● 図表4-2-4-27 モルタルライニングのひび割れの癒着状況(例)

ひび割れの幅	試験開始時	6カ月後
0.4mm		
0.8mm		

4-2-5 液状エポキシ樹脂塗装

液状エポキシ樹脂塗装は、主に大口径の異形管などに適用される。液状エポキシ樹脂塗料には、有機溶剤を含む水道用液状エポキシ樹脂塗料と、有機溶剤を含まない水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料がある。

1 水道用液状エポキシ樹脂塗料

水道用液状エポキシ樹脂塗料は「JWWA K 135水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」で規定されており、塗料は図表4-2-5-1、2に示す品質を有している。また、塗装した製品は図表4-2-5-3に示す塗膜の品質に適合している。

●図表4-2-5-1 水道用液状エポキシ樹脂塗料の品質(物性)

項目	概要	
塗料	容器の中の状態	主剤、硬化剤ごとに、かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる。
	塗装作業性	塗装作業に支障がない。
	硬化乾燥時間	48時間以内に硬化乾燥状態になっている。
	加熱残分 %	60以上
塗膜	塗膜の外観	塗りむら、流れ、はじき、割れない。
	耐屈曲性	先端半径13mmの押さえ金具で38mmまで押し下げたとき、き裂又ははく離がない。
	耐おもり落下性	塗膜表面及び裏面について行う。500gのおもりを、落下面が塗膜表面の場合は30cm、落下面が裏面の場合は50cmの高さから落下させ、割れ、はがれない。
	付着性(クロスカット法)	試験結果の分類で0又は1である。
	付着性(プルオフ法) MPa	破壊強さが2.0以上である。
	低温・高温繰返し性	-30±2℃で4時間、23℃±2℃で1時間、70±2℃で2時間、23±2℃で17時間を1サイクルとして4サイクル繰り返し、き裂又ははく離がない。
	耐中性塩水噴霧性	300時間の塩水噴霧でさび又は膨れがない。
耐湿性	温度50±1℃、湿度95%以上で試験時間は120時間とし、さび、膨れ又ははがれない。	

備考 各項目の概要はJWWA K 135において、塗料について規定されている内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

「JWWA K 135-2007水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

● 図表4-2-5-2 水道用液状エポキシ樹脂塗料の品質（浸出性）

項 目		規 定
塗 膜	シアン化物イオン及び塩化シアン	シアンの量に関して、0.001以下。
	ホルムアルデヒド	0.008以下。
	フェノール類	フェノールの量に換算して、0.0005以下。
	有機物 [全有機炭素 (TOC) の量]	0.5以下。
	味	異常でないこと。
	臭気	異常でないこと。
	色度	0.5以下であること。
	濁度	0.2以下であること。
	エピクロロヒドリン	0.01以下。
	アミン類	トリエチレンテトラミンとして、0.01以下。
	2,4-トルエンジアミン	0.002以下。
	2,6-トルエンジアミン	0.001以下。
	トルエン	0.2以下 (暫定)
	キシレン	0.4以下 (暫定)
	残留塩素の減量	0.7以下

「JWWA K 135-2007水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

● 図表4-2-5-3 水道用液状エポキシ樹脂塗装製品の塗膜の品質

項 目	規 定
塗膜の外観	異物の混入、著しい塗りむら、塗りもれなどがなく、均一な塗膜である。
塗膜の厚さ	mm 塗膜の厚さは、0.3以上である。
ピンホール	火花が発生するような欠陥がない。
付着性 (はつり法)	容易にはがれない。

「JWWA K 135-2007水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

2 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料

水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料は「JWWA K 157水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」で規定されており、塗料は図表4-2-5-4、5に示す品質を有している。また、塗装した製品は図表4-2-5-6に示す塗膜の品質に適合している。

●図表4-2-5-4 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料の品質(物性)

項目		概要
塗料	容器の中の状態	主剤、硬化剤ごとに、かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる。
	塗装作業性	塗装作業に支障がない。
	硬化乾燥時間	48時間以内に硬化乾燥状態になっている。
	加熱残分 %	96以上
塗膜	塗膜の外観	塗りむら、流れ、はじき又は割れがない。
	耐屈曲性	先端半径13mmの押さえ金具で38mmまで押し下げたとき、亀裂又は剥離がない。
	耐おもり落下性	塗膜表面及び裏面について行う。500gのおもりを、落下面が塗膜表面の場合は30cm、落下面が裏面の場合は50cmの高さから落下させ、割れ又は剥れがない。
	付着性(クロスカット法)	試験結果の分類で0又は1である。
	付着性(プルオフ法)MPa	破壊強さが2.0以上である。
	低温・高温繰返し性	-30±2℃で4時間、23±2℃で1時間、70±2℃で2時間、23±2℃で17時間を1サイクルとして4サイクル繰返し、亀裂又は剥離がない。
	耐中性塩水噴霧性	300時間の塩水噴霧でさび又は膨れがない。
	耐湿性	温度50±1℃、湿度95%以上で試験時間は120時間とし、さび、膨れ又は剥れがない。

備考 各項目の概要はJWWA K 157において、塗料について規定されている内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

「JWWA K 157-2013水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

●図表4-2-5-5 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料の品質(浸出性)

項目		規定
塗膜	シアン化物イオン及び塩化シアン mg/L	シアンの量に関して、0.001以下。
	ホルムアルデヒド mg/L	0.008以下。
	フェノール類 mg/L	フェノールの量に換算して、0.0005以下。
	有機物[全有機炭素(TOC)の量] mg/L	0.5以下。
	味	異常でないこと。
	臭気	異常でないこと。
	色度 度	0.5以下であること。
	濁度 度	0.2以下であること。
	エピクロロヒドリン mg/L	0.01以下。
	アミン類 mg/L	トリエチレンテトラミンとして、0.01以下。
	トルエン mg/L	0.2以下(暫定)
	キシレン mg/L	0.4以下(暫定)
	残留塩素の減量 mg/L	0.7以下

「JWWA K 157-2013水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

● 図表4-2-5-6 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗装製品の塗膜の品質

項目	規定
塗膜の外観	異物の混入、著しい塗りむら、塗り漏れなどがなく、均一な塗膜である。
塗膜の厚さ mm	塗膜の厚さは、0.3以上である。
ピンホール	火花が発生するような欠陥がない。
付着性(はつり法)	容易に剥がれない。

〔JWWA K 157-2013水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法〕より