

第4章 対策工法

4.1 基本的事項

腐食に対する補修（防食工法）は、鋼管等の耐久性を回復又は向上、若しくは腐食の抑制により施設の長寿命化を図ることを目的に実施し、「電気防食」、「塗覆装」、「メタルタッチ切断」に分類される。

【解説】

4.1.1 防食工法の目的と分類

管路の腐食を防止したり抑制することを防食という。防食工法は図 4.1-1 に示すとおり電気防食、塗覆装、メタルタッチ切断に分類される。

（1）電気防食

鋼管等から電解質（周辺土壌等）へ腐食電流が流れ出ることによって腐食が生じる。電気防食は、この腐食電流に対抗して鋼管等へ防食電流を流入させることで、腐食電流を減少あるいは停止させて防食を行う。

電気防食は、防食電流の供給方式により「流電陽極方式」と「外部電源方式」に分類されるが、本マニュアルでは、鋼管への適用実績を踏まえ「流電陽極方式」について記述する。

外部電源方式は、防食対象の管路が大口径かつ延長が長い場合及び流電陽極方式で対応できない電流を必要とする施設に対して実施する。維持電力費を要し、過防食や隣接鋼構造物への影響に留意する必要がある。詳細は、WSP050-2017（水道用塗覆装鋼管の電気防食指針）等を参照する。

（2）塗覆装

鋼管の表面に塗覆装を施すことにより、腐食環境の悪い土壌や水等から遮断し腐食を防止する防食方法である。既存の鋼管塗覆装と同程度の対策を行った場合は耐久性の回復となり、既設塗覆装より絶縁性の高い材料や複数の被覆を重ねる塗覆装を行った場合は耐久性の向上となる。

塗覆装の使用材料は、既製のシートライニング材である（詳細は「4.3.2 塗覆装」参照）。

また、本マニュアルでは熱収縮シート及び熱収縮チューブのプラスチック系防食材の材料を総称してジョイントコートと記載している。

（3）メタルタッチ切断

鉄筋コンクリートピットと配管の絶縁により、C/S マクロセル腐食の防止を目的として実施する。

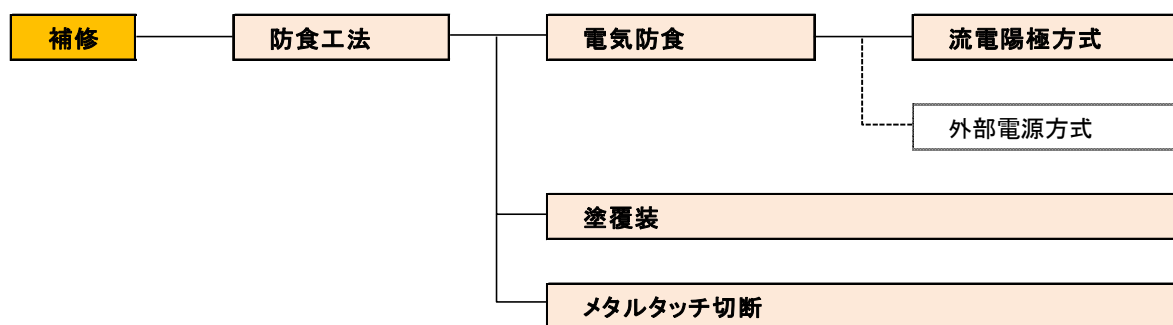


図 4.1-1 防食工法の分類

本マニュアルにおける腐食に対する補修（防食工法）は、「電気防食」、「塗覆装」、「メタルタッチ切断」を対象としている。

補修（耐久性回復または止水対策）における漏水補修クランプ・漏水補修ジョイント（メカニカル補修）、当て板工法については「WSP081-2019 鋼管路の更新・診断マニュアル」に詳述されているため参照されたい。

なお、本マニュアルでは、管路の付帯施設として排泥管路の腐食により漏水が生じた施設で実績のある「**管路更生局所補修工法**」を巻末の参考資料に掲載している。

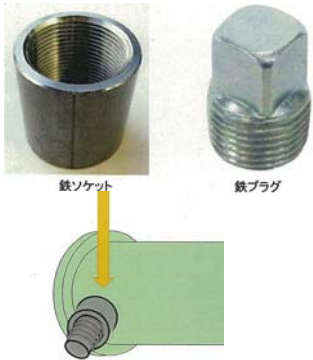
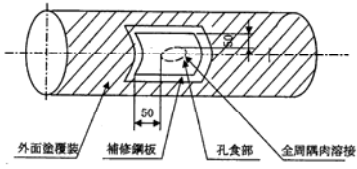
コラム ～漏水に対する対策事例～

防食工法は、腐食により漏水等が発生していない鋼管等に対して実施する場合（予防保全）と、漏水が発生した鋼管等に対して実施する場合（事後保全）が想定される。

事後保全として防食工法を実施する場合、漏水対策を併用する必要がある。一般的な漏水対策は表1に示すようなものがあり、施設条件や経済性等を考慮し適宜選択する。

なお、漏水補修クランプ・漏水補修ジョイント（メカニカル補修）、鉄ソケット・鉄プラグによる止水対策は小口径管路に、当て板工法は大口径管路に対する適用実績が多い。

表1 一般的な漏水対策

漏水補修クランプ 漏水補修ジョイント (メカニカル補修)	鉄ソケット・鉄プラグ	当て板工法
漏水補修クランプ  漏水補修ジョイント	 鉄ソケット 鉄プラグ	
・ 局部腐食箇所バンドを巻きつける要領でクランプ又はジョイントを設置し止水する。 ・ $\phi 2000\text{mm}$ までの実績がある。	・ 鉄ソケットを溶接し、溶接したソケットに鉄プラグをねじ込むことで止水する。	・ 管外面から局部腐食箇所に鋼板を溶接し止水する。

なお、鋼管等で漏水が確認された場合の対応手順と留意事項は以下のとおりである。

- 1) 事故報告（事故原因を「電食」とする報告が多いことから、漏水箇所周辺に直流電気鉄道や変電所等があるか確認すること）（腐食の分類は P. 2-7 参照）
- 2) 対策の検討及び原因究明調査の実施（管理者から事故歴の聞き取り及び資料確認）
- 3) 対策工法及び詳細調査の検討・判断
- 4) 対策の施工時（土質資料の収集、動画・写真、デプスゲージ、超音波・3D スキャナー等で管路の腐食状況を確認するとともに、塗覆装を準備し、補修必要箇所の既設塗覆装を復旧する。）

また、必要に応じて対応すべき事項として 5)～7)を示す。

- 5) 詳細調査実施（腐食環境調査＋腐食状態調査）
- 6) 防食工法検討
- 7) 防食工法の実施

漏水が確認されない場合でも、腐食による減肉や腐食発生面積が著しい場合は、既設塗覆装の除去及び塗覆装の新設や当て板工法等、適切な対策を検討する。

4.2 対策工法の検討

腐食が確認され対策工法が必要となった場合は、腐食程度（腐食深さと腐食範囲）と重要度区分に応じて対策区分（補修・補強・改修・更新）を判断する。補修を選定した場合、鋼管等に生じている腐食機構、施工条件、施設の重要度区分、経済性等を踏まえて、適切な防食工法を選定し、必要に応じて防食工法の組合せ（併用）を検討する。

【解説】

4.2.1 対策区分の判断指標

(1) 腐食深さ

設計基準パイプラインによると、鋼管等の設計管厚は下式により算定される。

$$t \geq \frac{0.5D \cdot H + \sqrt{(0.5D \cdot H)^2 + 24\alpha \cdot \sigma_a \cdot M}}{2\sigma_a} \dots\dots\dots (9.4.5)$$

ここに、

t : 応力計算から求められる必要管厚 (mm)

D : 管の内径 (mm)

H : 設計水圧 (MPa)、 $H=H_1+H_2$

H_1 : 静水圧 (MPa) H_2 : 水撃圧 (MPa)

M : 外圧によって延長 1mm 当たりの管体に発生する最大曲げモーメント
(N・mm/mm) (単位変換 1kN・m/m=1,000N・mm/mm)

α : 引張応力/曲げ応力

ダクタイル鋳鉄管 0.7 鋼管 0.7 硬質ポリ塩化ビニル管 0.55

ポリエチレン管 0.75

σ_a : 許容引張応力度 (N/mm²)

ダクタイル鋳鉄管：許容応力度を引張強さの 90%、安全率を 2 とする。

$$\sigma_a = 420 \times 0.9 \div 2 = 189 \text{N/mm}^2$$

鋼管：溶接効率を考慮し、許容応力度を引張り強さの 85%、安全率を 2 とし、表 4.2-1 に示す。

硬質ポリ塩化ビニル管：安全率を 3 とし、 $\sigma_a = 45 \div 3 = 15 \text{N/mm}^2$

ポリエチレン管：安全率を 3 とし、 $\sigma_a = 6.2 \text{N/mm}^2$ (MPa)

表 4.2-1 鋼管の許容引張応力度

材質 \ 項目	引張強さ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)
STW490 (SM490)	490	208
STW400、STPY400	400	170
STW370、STPG370	370	157
STW290、SGP	290	123
STPG410	410	174
SUS304、316	520	221

上記式中の許容応力度 (σ_a) は、鋼材の引張強さ (表 4.2-1) に対し溶接効率の 85%と安全

率 (=2) を考慮し決定している。鋼管等の余裕厚は、式 9.4.5 で算出した設計厚 (t) と「安全率を 1 として算出した管厚 (t')」の差分として考える。

ここで、t' と t の比率は計算上約 0.65～0.68 と算定され、安全側に丸めて 0.70 を採用する。この結果を踏まえ、鋼管等の余裕厚（腐食深さ）の目安は設計管厚×0.3 と設定する。

なお、局所的な腐食の場合（次頁の「(2) 腐食範囲」参照）、本指標値以上の腐食深さが生じても鋼管等の力学的安全性に対する影響は小さいと考えられるが、現状では局所的な腐食範囲及び腐食深さと管体の力学的安全性の関係が明らかにされていないため、局所的な腐食に対しても本値（設計管厚×0.3）を腐食深さの指標値として準用する。

既存資料から設計管厚が把握できない場合は、安全側に考慮し最小管厚×0.3 と設定する。口径に応じた最小管厚は表 4.2-2。

表 4.2-2 鋼管の最小管厚

口径 (mm)	最小管厚 (mm)	備 考
80～90	4.2	JIS G3452 SGP 管規格
100～125	4.5	
150	5.0	
175	5.3	
200	5.8	
225	6.2	
250	6.6	
300	6.9	
350～600	6.0	JIS G3457 STPY400 規格
700～1,600	6.0	水門鉄管技術基準
1,650	6.2	
1,800	6.5	
1,900	6.8	
2,000	7.0	

(2) 腐食範囲

国営造成施設を対象とした突発事故調査結果によると、鋼管の主な腐食形態はマクロセル腐食であり、マクロセル腐食による孔食が局所的に生じている状態が現場で確認される主な腐食形態であると想定される。

対策区分の判断に当たっては、腐食範囲、腐食深さと鋼管等の力学的安全性の関係を定量的に評価し、補修の適用が可能な局所的な腐食の定義を示すことが望ましいが、現在の技術では困難である。このため、腐食範囲については、図 4.2-1 に示す事例を参考に目視等で定性的に判断し、「局所的」と「全体的（円周方向）」を決定するものとする。



（局所的に腐食が生じている事例）

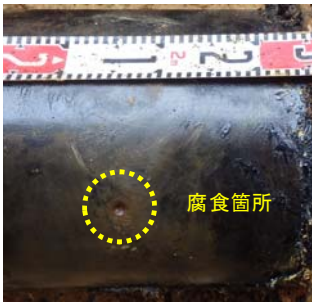
（円周方向に全体的に腐食が生じている事例）

図 4.2-1 腐食範囲の参考例

なお、対策区分の判断に係る具体事例の蓄積・活用により、判断の考え方の精度向上を図り、適切な対策実施に資するため、①施設諸元、②実施済みの機能診断結果、③重要度区分、④詳細調査（腐食環境調査、腐食状態調査）結果、⑤残供用期間、⑥施設造成者と施設管理者の協議結果（選定した対策区分）について記録を残す必要がある。記録様式は表 4.2-3。

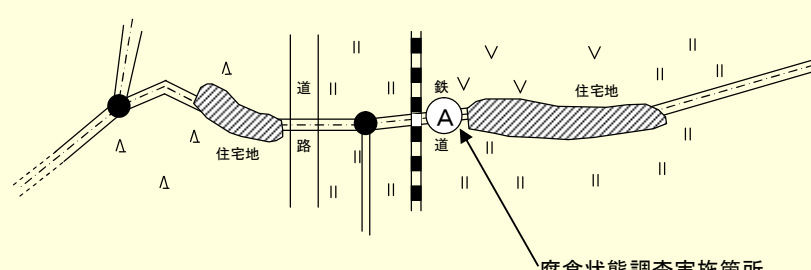
また、作成した記録票については、保管するとともに写しを各農政局土地改良調査管理事務所にその都度提出するものとする。

表 4.2-3 対策区分選定結果記録票（記載例）（1/2）

対策区分記録票					
作成日		2019年2月13日			
基本情報					
施設造成者		〇〇農業水利事業所			
施設管理者		〇〇土地改良区			
地区名		〇〇地区			
施設名		A 幹線用水路			
所在地		〇〇県△△市××地先			
施設諸元	管種	鋼管			
	口径、設計管厚	口径	1,500 (mm)	設計管厚	7.0 (mm)
施設運用上の不具合		特になし			
施設の重要度区分		A（鉄道や道路横断部を有し、突発事故が発生した場合第三者被害が想定される）			
機能診断結果	機能診断実施年	2015年			
	健全度評価※	S-4			
	※「農業水利施設の機能保全の手引き」参照				
	主な変状	管内面に軽微な錆が点在			
腐食環境調査結果					
実施した腐食環境調査項目調査結果	調査項目	実施の有無	調査結果		
	管対地電位分布測定	実施	電位	-400mVより (+)	電位差 対象外
	管対地電位測定	未実施			
	導通試験	未実施	電位差		抵抗値
	仮通電試験	実施	鋼管等と鉄筋の電位変動が正相関		
	土壌腐食性調査、土質調査	未実施			
	塗覆装損傷調査	未実施	コンクリートピット貫通部であるため必要なし		
	調査結果の所見	腐食機構	C/Sマクロセル腐食		
腐食状態調査結果					
実施した腐食状態調査項目調査結果	調査項目	実施の有無	調査結果		
	近接目視	実施	腐食の有無		腐食あり
	超音波法	未実施	腐食の有無		
	基準深さ	2.1mm	設計管厚(mm)×0.3		
	腐食程度	腐食深さ	腐食深さ≥設計管厚×0.3		
			実測値	2.2mm	
		腐食範囲※	局所的		
※設計管厚×0.3以上の深さを有する腐食の発生形態を記載					
腐食状況写真					
※腐食範囲の規模がわかるようにスタッフやロッドテープ等と併せて撮影すること。					
残供用期間	20年以上を想定				
施設造成者と施設管理委託者の協議結果	対策区分(リストより補修、改修、更新を選定する)		改修		
	対策工法		管路更生工法		
	協議結果	腐食範囲が局所的であること、また、腐食深さが対策区分判定指標の基準値である2.1mmを0.1mmだけ超過していることから、力学的安全性を有していると判断され補修の適用が可能であるが、本施設は重要度区分がAであり、突発事故が生じた場合の社会的影響が甚大であるため、安全側に考慮し改修又は更新から経済的である改修を選定した。			

【凡例】 ：記載欄 ：リストから選択

表 4.2-3 対策区分選定結果記録票（記載例）（2/2）

自由記載欄（可能な限り記載する）	
対象施設の周辺環境	A幹線用水路は〇〇頭首工を取水源とし、受益面積〇〇haの用水を送水する施設である。地上部の土地利用条件は様々であるが、住宅地や道路横断部、鉄道横断部を有する。腐食状態調査を実施した箇所は鉄道横断部付近に位置する空気弁保護工の直下流であり、突発事故が生じた場合の第三者被害は甚大であると想定される。接近する鉄道は交流電化区間であり迷走電流の影響はない。  腐食状態調査実施箇所
対象施設の埋設条件	開削した結果、埋戻し土に石の混入が認められた。このため、転圧時に石の影響により塗覆装の損傷が生じた可能性が高い。 
検討上特に苦慮した事項	補修工法を併用（塗覆装＋電気防食）することも考えられたが、本施設の場合、重要度区分を考慮して改修を選定した。この判断については、定量的な根拠を設定できないため、判断に苦慮した。
その他特記事項	A幹線用水路には本調査地点以外にもメタルタッチに伴うC/Sマクロセル腐食が懸念される箇所（空気弁及び流量計保護工等）が複数あるため、早急に詳細調査を実施することが望ましい。

(3) 施設の重要度区分

重要度区分は、農業面では農業への影響度や復旧の難易度（費用、期間）を、農業以外の面では住宅地、公共機関等の周辺施設の立地条件から、事故が発生した場合の被害等を踏まえて評価ができる。

パイプラインにおける施設の重要度区分は、設計基準パイプラインによると、表 4.2-4 のように示されている。本表に示されている区分を基本としつつ、当該施設が置かれた状況等を総合的に勘案した上で決定する。

表 4.2-4 パイプラインにおける重要度区分

区 分	項 目 ①～③のいずれかに該当する施設	判断する上での参考指標
重要度区分 A種 (レベル2地震動を 考慮する)	①利水施設としての規模。 供給される用水の中断あるいは減 量が地域の生活機能及び経済活動・ 生産活動に与える影響の度合い。	・水路システムの中で上流に位置し、施設規模が極めて大きく、かつ被災した場合にライフラインとしての水供給、ひいては地域の生活機能や経済活動・生産活動に著しい支障を来す場合。 例) 基幹水利施設(水田用水)として、流量 $5\text{m}^3/\text{s}$ 以上、管径で $\phi 2,000$ ($V=1.5\sim 2.0\text{m/s}$ 程度を想定) 以上 ¹⁾ など。 また、バイパス水路の有無や、関連施設からの供給の可能性など地区の状況に応じて勘案する。
	②被災による二次災害危険度。 パイプライン施設が被災すること による第三者への被害で、特に人 命・財産やライフラインなどへの影 響。	・パイプライン施設に近接して家屋、避難場所、若しくは公道、鉄道、ライフライン等重要公共施設があり、水路の損壊による流出水が大量にこれらの場所に流入、又は湛水し、人命若しくは社会経済的に重大な影響を及ぼすおそれがある場合。
	③応急復旧の難易度。 パイプライン施設が被災した場合 に直ちに実施すべき応急復旧のため の現場作業の難易度。	・応急復旧のための作業が極めて困難、若しくは長期間を要する場合。 例) 宅地などの隣接部や構造物の埋設が深い場合などに難易度が高くなると考えられる。
重要度区分 B種 (レベル1地震動を 考慮する)	①利水施設としての規模。 同上	・施設規模が極めて大きく、かつ被災した場合にライフラインとしての水供給、ひいては地域の生活機能や経済活動・生産活動に相当の支障をきたす場合で、A種以外のもの。
	②被災による二次災害危険度。 同上	・パイプライン施設に近接して家屋、避難場所、若しくは重要公共施設があり、水路の損壊による流出水がこれらの場所に流入又は湛水し、人命に重大な影響はないものの、社会経済的に多大な影響を及ぼすおそれがある場合。
	③応急復旧の難易度。 同上	・応急復旧のための作業に比較的長期間を要する場合。
重要度区分 C種 (耐震設計は行わ ない)	①利水施設としての規模。 同上	A種、B種に該当しない場合。 ②の例) 水路施設が甚大な被害を受けた場合でも付近の原野、水田等が浸水する程度で、社会経済的な影響が軽微な場合。 ③の例) 応急復旧のための作業が容易で、短期間で実施できる場合。
	②被災による二次災害危険度。 同上	
	③応急復旧の難易度。 同上	

1) 水田用水における流量 $5\text{m}^3/\text{s}$ 以上、管径で $\phi 2,000$ ($V=1.5\sim 2.0\text{m/s}$ 程度を想定) 以上は、一つの例として示しているものであることから、地区の状況に応じて勘案する。

出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」平成21年3月 P.332

4.2.2 対策区分の判断基準

対策区分は、図 4.2-2 を参考に鋼管等の腐食程度や対象施設の重要度区分を踏まえ、施設管理者と施設造成者が協議のうえ判断する。

なお、対策区分が補修と選定された場合でも、施設の重要度区分や今後の残供用期間を踏まえた経済性等に応じて、補強又は改修・更新を選定することを妨げるものではない。

また、本マニュアルで対象としている対策区分は「防食を目的とした補修（腐食の抑制も含む）（防食工法）」であり、上記の選定で補強又は改修・更新を選定した場合は、設計基準パイプラインや「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル パイプライン編）（案）」等を参照し、設計、施工を行う。

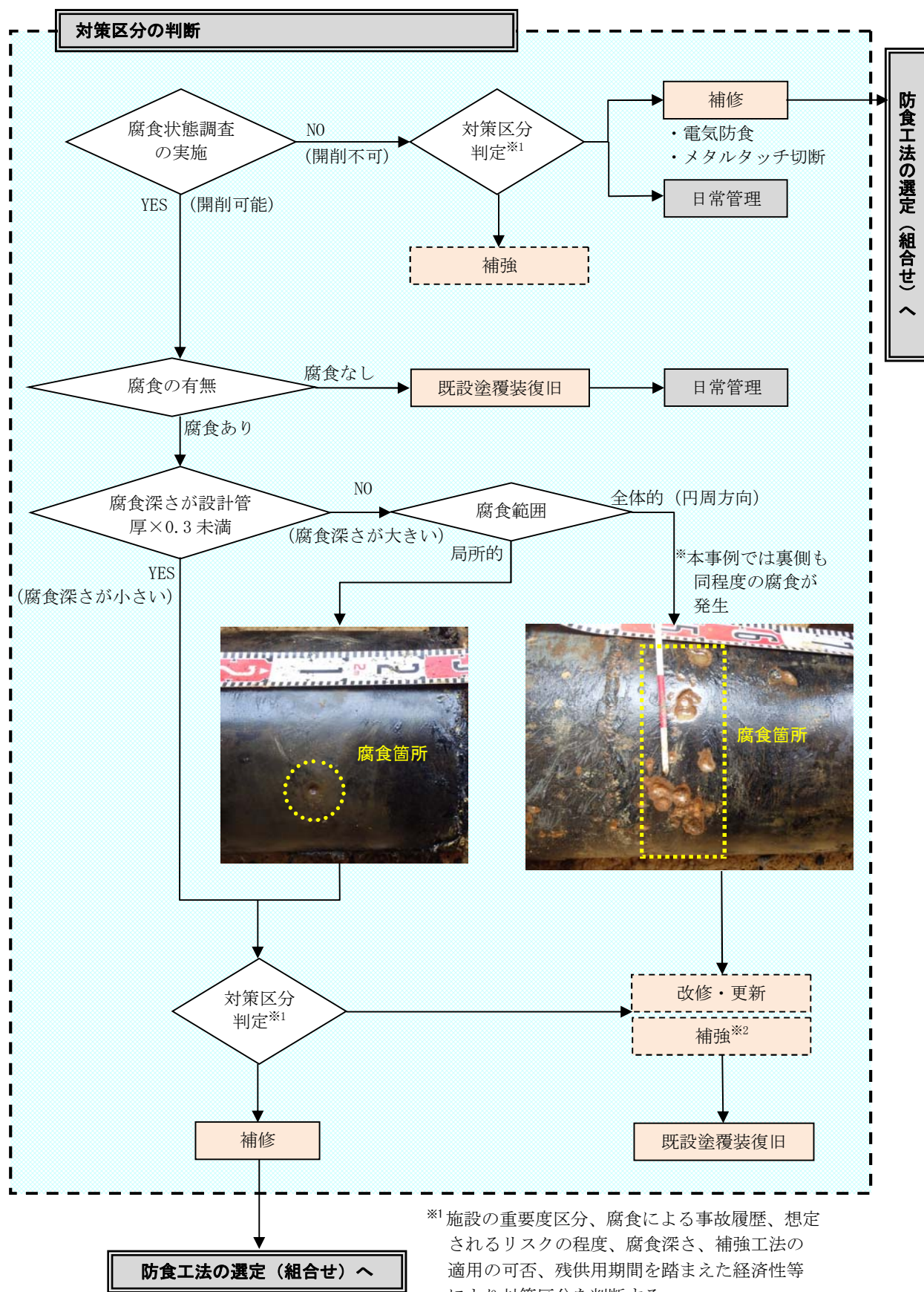


図 4.2-2 対策区分の判断

4.2.3 防食工法の選定

防食工法はそれぞれの工法により防食機構が異なり、適用可能な腐食機構も異なる。また、開削を必要とする防食工法もあり、現場条件によっては採用できない場合もある。各防食工法の防食機構と適用可能な腐食機構、現場条件を整理すると表 4.2-5 のとおりである。

表 4.2-5 各防食工法の防食機構と適用可能な腐食機構、現場条件

	電気防食	塗覆装	メタルタッチ切断
工法の防食機構	・自然電位が鋼管等よりマイナスの流電陽極材を接続し、その電位差で電流を流すことにより鋼管等の管対地電位を目標値以下に保ち防食する。	・管外面を絶縁性の高い防食シート等で被覆し防食する。	・C/S マクロセル環境の原因である管路とコンクリート中の鉄筋等の接続を切り離し、C/S マクロセル環境を自然腐食環境まで改善する。
適用可能な腐食機構	全ての腐食機構	全ての腐食機構	メタルタッチによるC/S マクロセル腐食
現場条件	非開削・開削で施工可能	開削が必要	非開削・開削で施工可能

上記を踏まえ、防食工法の選定の考え方を図 4.2-3 に示す。

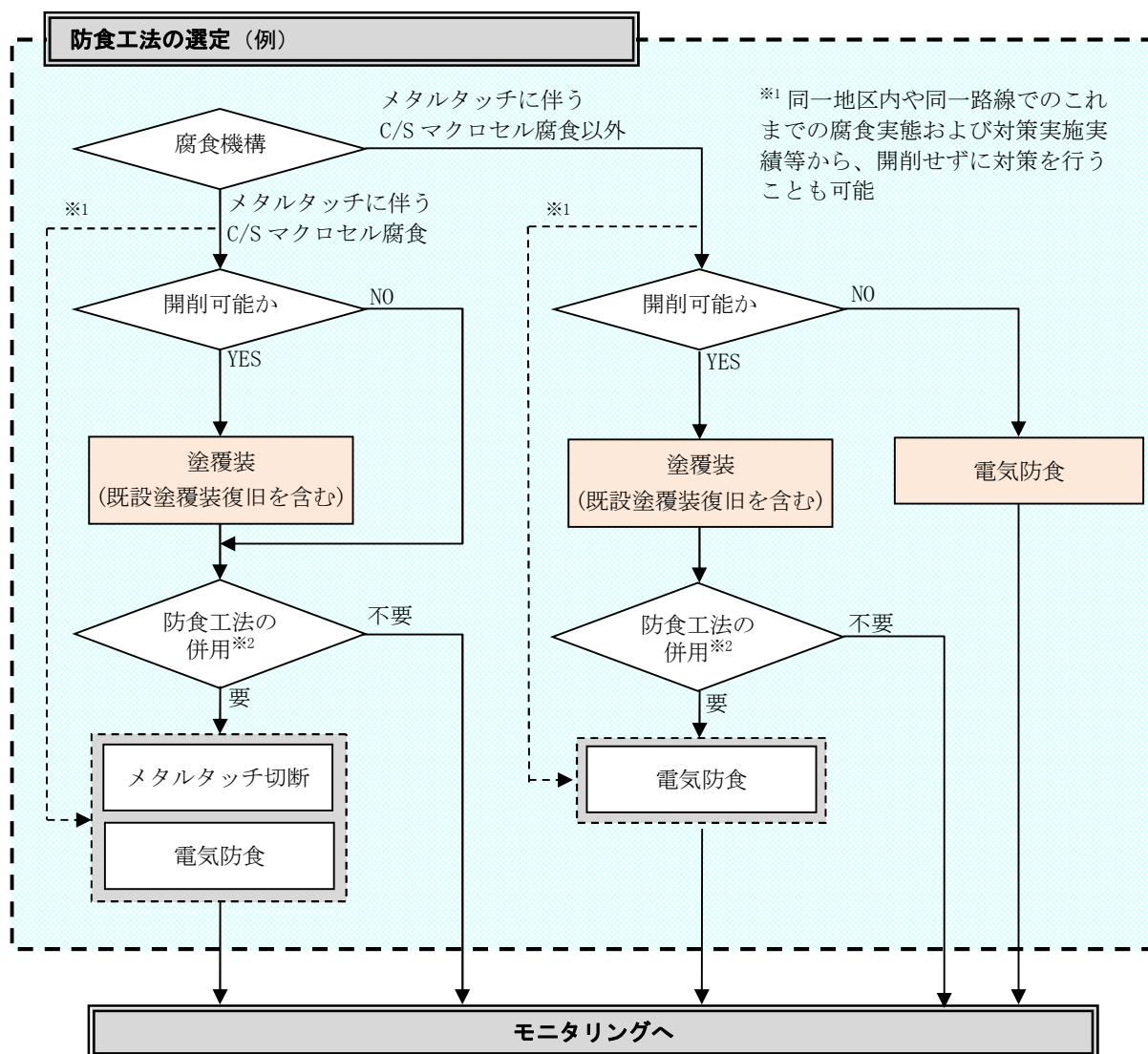


図 4.2-3 防食工法選定の考え方

図 4.2-3 において、開削が可能な場合、劣化した塗覆装を除去し腐食状態調査を実施するため、既設塗覆装除去部の復旧（塗覆装）を行う必要がある。また、対象の腐食機構がメタルタッチによるC/Sマクロセル腐食以外で開削ができない場合、適用可能な工法は電気防食のみである。以上より、図 4.2-3 の着色した防食工法は、必ず実施する。

一方、未着色の防食工法は他工法との併用が考えられる。防食工法の組合せに当たっては、施設の重要度区分、腐食による事故履歴等を踏まえ想定されるリスクの程度、残供用期間を踏まえた経済性等を考慮し、リスク対応としての防食工法の併用を検討する。

具体的には重要度区分がA（表 4.2-4）となる施設では、被災による二次災害危険度や応急復旧の難易度が高い場合が想定され、リスク対応としての防食工法の併用が有効であると考えられるが、各現場において、施設が置かれた状況を総合的に勘案し、施設造成者と施設管理者が協議の上適切に設定する。

なお、メタルタッチ切断工法は、鉄筋切断後の既設構造物の構造性能照査を実施し、既設構造物が応力的に不安定な状態にならないことを確認する必要があることに留意する（詳細は「4.3.3 メタルタッチ切断（3）設計」を参照）。

4.2.4 腐食環境の改善

埋め戻し材料に石が含まれる場合、埋戻し土の転圧時に石が塗覆装を損傷し、石と管の接触部をアノード、その他の部分をカソードとした通気差マクロセル腐食が生じ漏水するという状況がある。このため、地区内で過年度生じた漏水事故原因を究明し、必要に応じて埋め戻し土を良質な材料へ置き換える等の対策を検討する。（水分が多い粘性土の抵抗は3千 Ω 、一方、シラス（火山性土）は10万 Ω を示し、シラス（火山性土）の方が約33倍電気を通しにくい）

4.3 防食工法

防食工法の基本はアノード反応かカソード反応が生じないようにすることであり、その方法によって外部から電流を流入させアノード反応の進行を阻止する電気防食、鋼材表面と電解質（土壌、水分）を遮断する塗覆装、アノードとカソードを切り離すメタルタッチ切断に分類される。

【解説】

4.3.1 電気防食（流電陽極方式）

電気防食は、防食対象である鋼管等の自然電位をよりマイナス側の電位に変化させて腐食を抑制あるいは緩和させる手法である。

その工法には、完全防食法と近接陽極法があり、原則完全防食法を適用する。

メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食対策の場合、電氣的に接触しているコンクリート構造物を含めて防食されることとなる。このため、構造物の規模が大きければその対策に係るコストが膨大になることと併せて周囲の他埋設金属構造物に対する影響（干渉）も大きくなることが懸念されることから、近接陽極法を適用する。ただし、近接陽極法はメタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食環境の解消のみを目的としているため、それ以外の自然腐食は解消できない。

完全防食法と近接陽極法をまとめると以下のとおりとなる。なお、本マニュアルに示す電位は飽和硫酸銅電極基準値を示す。

表 4.3-1 電気防食法（流電陽極方式）の分類

項 目	完全防食法	近接陽極法
適用される腐食機構	メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食以外	メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食のみ
防食達成の評価基準	-850mV*以下を目標とする。 *防食電位	一般的な埋設鋼管等の自然電位である-600mV 以下又は、自然電位から300mV マイナス側に変化させることを改善目標電位とする。

防食電位の考え方は以下のとおりである。

中性環境における土壌中の鋼管等の電位は-400～-800mV の自然電位にあり、腐食しない領域(A)又は腐食が停止する領域(C)の電位に変化させることで腐食が抑制されるが(図 4.3-1)、一般的な電気防食は (C) の領域に防食対象物の電位を変化させる工法である。

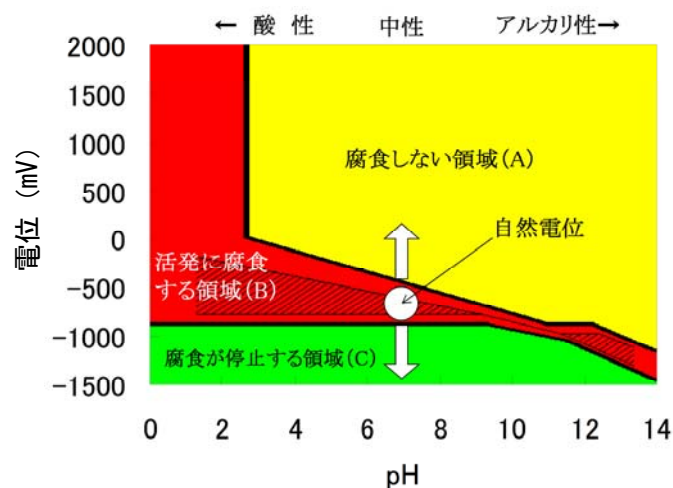


図 4.3-1 鋼の電位・pH 図

中性環境において腐食が停止する領域の境界は-850mV であり、この電位を防食電位と呼び、この状態が完全防食状態となる。

(1) 工法概要と適用条件

1) 工法概要

電気防食（流電陽極方式）は、図 4.3-2 に示すように鋼管等より電位がマイナス側である陽極材を鋼管等に接続し、その電位差により防食電流を鋼管等に流すことで電位をマイナス側に変化させて腐食が停止する領域（マイナス側）にする（又は近づける）ことである。なお、この場合、鋼管等に接続した陽極材がアノード部、鋼管等がカソード部となるため、陽極材が腐食する。一般的にはマグネシウム合金陽極を陽極材として使用する。

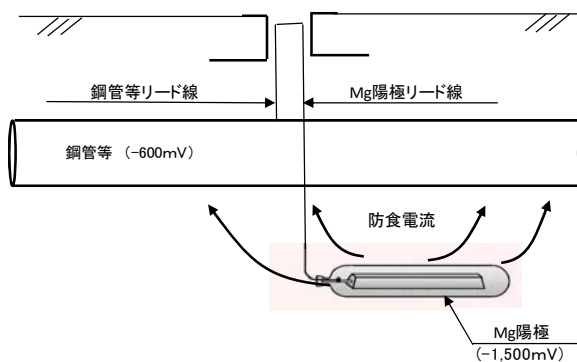


図 4.3-2 流電陽極方式による電気防食

【コラム】 電気防食の原理

電気防食は、異なる金属が電解質を介して接続すると電位のマイナス側の金属がアノード部、電位のプラス側の金属がカソード部となって電流が流れ、カソード側の金属の腐食を防止するもので、土壌中の鋼管等の防食にはマグネシウム陽極(Mg 陽極)が用いられる。

図1に鉄とMg陽極を電解質中で接続した状況を示す。コンクリート中の鉄の電位を -200mV 、土壌中の鉄を -600mV 、マグネシウム陽極の電位を -1500mV とすると、鉄からMg陽極に向かって I_b の電流が流れる。この場合、Mg陽極がアノード部となってカソード部である鉄に向かって電解質中を I_b の電流を流し、Mg陽極は電流を流すことで消耗するが鉄の腐食は抑制(防食)される。

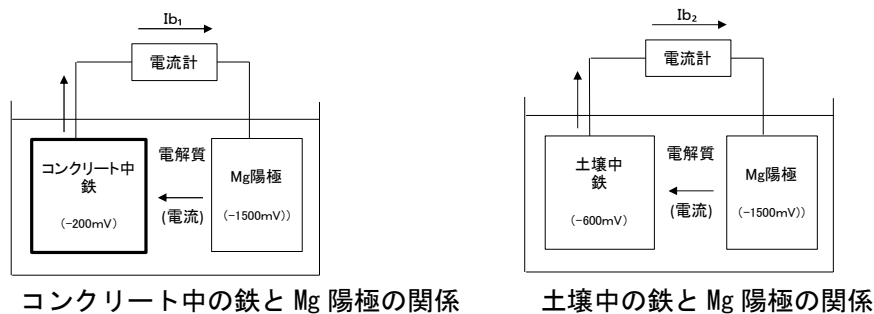


図1 電解質中の鉄と Mg 陽極の関係

これを土壌中の鋼管等と Mg 陽極に置き換えると、図2に示すように近接陽極法と完全防食法による電気防食イメージ図で表すことができる。

C/S マクロセル腐食環境にある鋼管等の電位 -200mV を近接陽極法で電位改善する場合、 I_{b1} の防食電流をMg陽極から流すことで鋼管等の電位を 300mV 以上マイナス側又は、 -600mV よりマイナス側の自然電位まで変化させる。(C/S マクロセル腐食以外の自然腐食は解消できない。)C/S マクロセル腐食以外の腐食環境にある鋼管等の電位 -600mV を完全防食法で電位改善する場合、 I_{b2} の防食電流をMg陽極から流すことで鋼管等の腐食が抑制される -850mV よりマイナス側の防食電位まで変化させる方法で電気防食を施す。

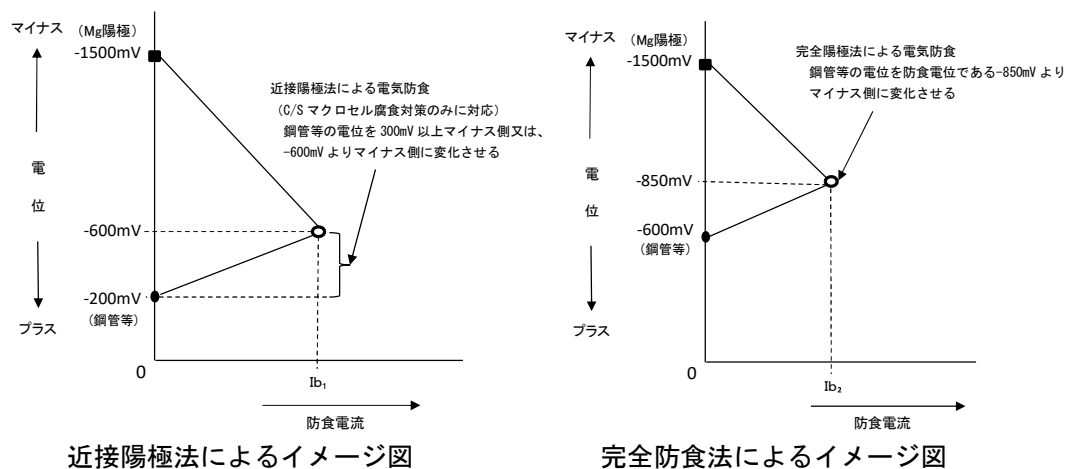


図2 流電陽極法による鋼管等の電気防食イメージ図

2) 適用条件

本工法は、腐食電流の発生に伴う腐食の抑止を目的とし、開削又はボーリング等により鋼管等直近に陽極材を設置できる場合に適用する。

流電陽極法による腐食対策は、「4.3.1 電気防食（流電陽極方式）」に記載した完全防食法と近接陽極法の二つの方法のいずれかを適用する。

(2) 使用材料

流電陽極材の代表的なものは、マグネシウム合金陽極（Mg 陽極）・亜鉛合金陽極（Zn 陽極）・アルミニウム合金陽極（Al 陽極）である。各種流電陽極材の性能を表 4.3-2 に示す。

表 4.3-2 各種流電陽極材の性能

特性		マグネシウム合金陽極	亜鉛合金陽極	アルミニウム合金陽極
密度 [g/cm ³]		1.77	7.14	2.83
回路陽極電位 [V] (SCE)		-1.48	-1.03	-1.08
鉄に対する有効電位差 [V]		0.65	0.20	0.25
発生電気理論値 [A・h/g]		2.21	0.82	2.87
海中 3mA/cm ² (注 1)	電気効率 [%]	55	95	80
	発生電気量 [Ah/g]	1.22	0.78	2.30
	消耗度 [kg/(A・y)]	7.20	11.80	3.80
地中 0.03mA/cm ² (注 1)	電気効率 [%]	50	65	65 (注 2)
	発生電気量 [Ah/g]	1.11	0.53	1.86 (注 2)
	消耗度 [kg/(A・y)]	7.90	16.50	4.70

(注 1)：電流密度により電気効率・発生電気量・消耗度が変わるので海水中を 3mA/cm²、地中を 0.03mA/cm² の電流密度としたときの結果を記載した。

(注 2)：組成により変動がある。

なお、土壌のように一般的に抵抗率の高い環境では、実用金属中で陽極電位が最も低く有効電位差の大きいマグネシウム合金陽極を用いることが多い（以降、Mg 陽極と記載）。

Mg 陽極の形状図を図 4.3-3 に示す。ただし、海水が入ったり抵抗率が低いような環境では亜鉛を使用する場合もある。

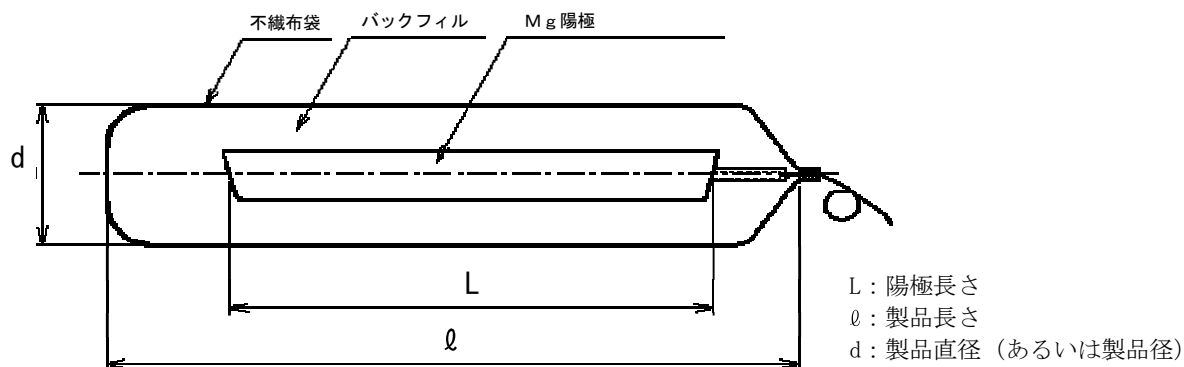


図 4.3-3 Mg 陽極形状図

Mg 陽極は陽極の接地抵抗を低減し、陽極電位を安定させるためベントナイトを主剤としたバックフィルで包み使用している。

Mg 陽極は、鋼管等に防食電流を流すことで消耗していくので、設計耐用年数に応じた質量を表 4.3-3 より選定する。(詳細は「(3) 設計」を参照)

表 4.3-3 Mg 陽極の型式と形状

型式	L (mm)	φ (mm)	d (mm)	陽極質量 (kg) NET (GROSS)	製品質量 (kg)	形状係数	
						1 本吊	2 本吊
I	1,000	1,200	φ 150	1.84 (2.08)	約 25	0.42	0.26
II	1,000	1,200	φ 150	2.47 (3.01)	約 25		
III	1,000	1,200	φ 150	4.18 (4.72)	約 26		
IV	1,000	1,200	φ 200	7.73 (8.85)	約 44	0.38	0.24
V	1,000	1,200	φ 200	11.2 (12.9)	約 45		
VI	1,000	1,200	φ 200	15.8 (17.5)	約 47		
VII	1,000	1,200	φ 200	23.4 (25.1)	約 48		
VIII (A)	1,050	1,020	φ 90	5.83 (6.87)	約 11	0.53	—
VIII (A+B)	2,105	2,040	φ 90	11.66 (13.71)	約 22	0.32	—
X I	700	1,000	φ 200	2.0 (2.3)	約 34	0.43	0.27
X II	700	1,000	φ 200	4.0 (4.3)	約 33		
X III	700	1,000	φ 200	6.0 (6.3)	約 34		
X IV	700	1,000	φ 200	8.0 (8.3)	約 35		
X V	700	1,000	φ 200	11.0 (11.7)	約 36		
X VI	700	1,000	φ 200	14.0 (14.6)	約 38		
X VII	700	1,000	φ 200~220	22.0 (23.1)	約 48		

※ 陽極標準組成：JIS H6215 MGA-2 に準じる。

※ 製品質量とは、バックフィルを含んだ質量で参考値である。

※ Mg 陽極材を管に平行に敷設する場合は、1 本吊りの形状係数を適用する。(VIII (A)、VIII (A+B) は、コンクリートピット内からの押込用のため、1 本吊り欄に記載。)

流電陽極方式では、流電陽極材の他に主な材料として、鋼管等からリード線を取り出すターミナル、リード線として使用するケーブル、それらケーブルを保護するための電線管、地表部に立ち上げたリード線を収納するターミナルボックス等から構成され、必要に応じて電位測定用の照合電極を設置する。

なお、ターミナルは用途別に、電位測定を目的とする I 型、Mg 陽極と接続する II 型、外部電源装置等、大きな電流を流す III 型に分けられ、鋼管等に溶接し取付ける。

流電陽極材の設置方法は図 4.3-4 に示すように横置き、縦置き及び押込みがあるが、構成する主な材料は同一である。

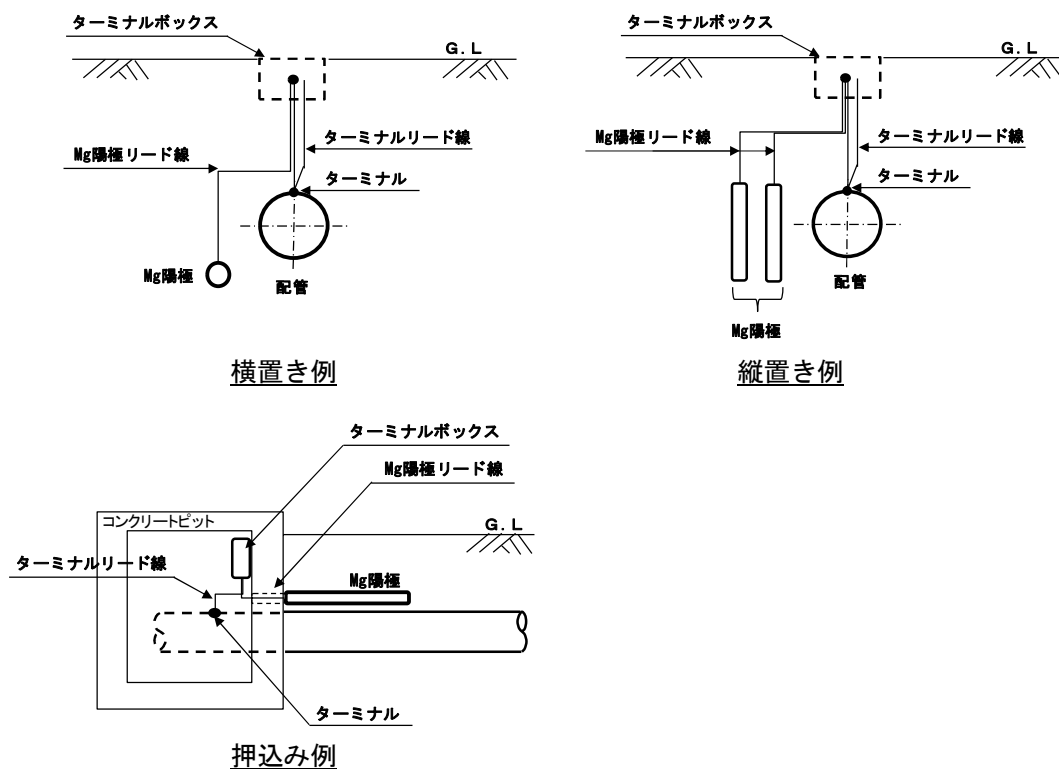


図 4.3-4 流電陽極材設置例

防食設計を基に各種使用材料は図 4.3-5 に示すように配置する。この際、各種リード線は電線管内に収納し配線する。

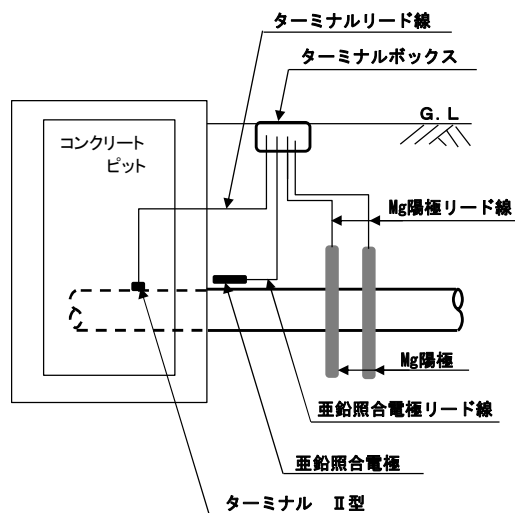


図 4.3-5 主な材料の配置例

(3) 設計

1) 基本的事項

①設計の考え方

電気防食（流電陽極方式）の設計法は、完全防食法を基本として、メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食対策についてのみ経済性等も考慮した近接陽極法とに大別される。これらの設計手法においては表 4.3-4 のように設計条件や検討内容が異なる。

表 4.3-4 各防食設計法における設計条件の考え方

項 目	完全防食法	近接陽極法
適用される腐食機構	・メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食以外	・メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食のみ
鋼管等の自然電位	・原則として実測値（仮通電試験実施時）とする。鋼管等延長上で複数個所の測定を行った場合は、最もプラス側の値を採用する。	・原則として実測値（管対地電位分布測定実施時）とするが、調査が実施できない場合は-200mV（飽和硫酸銅電極基準）としても良い。
鋼管等の改善目標電位	・防食電位は-850mV 以下であるが、防食設計電位は-1,000mV とする。	・一般的な埋設鋼管等の自然電位である-600mV 以下又は、自然電位から 300mV マイナス側に変化させることを改善目標電位とする。
防食対象範囲	・腐食環境調査、腐食状態調査結果に基づく範囲とする。	・電位分布測定を行った場合は、電位が定常値になるまでの範囲とする。 ・電位分布測定を行わない場合は、コンクリートピット貫通部より 10m まで、あるいは 10m 以内に可とう管（絶縁）がある場合は可とう管までとする。
配管周囲の土壌抵抗率	・陽極からの防食電流は土壌抵抗率の値で左右されるので、事前に測定した値又は、付近の柱状図等より想定する。	
設計耐用年数	・個々の施設の残供用期間等を考慮し適宜設定する。	
施工方法の検討	・鋼管等の埋設環境を考慮し、陽極の設置方法（縦置き、横置き又は押込み等）・資機材搬入方法・掘削方法等を検討する。	

②設計に当たっての留意事項

電気防食（流電陽極方式）の設計に際しての留意事項を以下に記載する。

・配管位置の確認

図面と照合し、対象配管の位置、延長、埋設深さ、口径及び他埋設物の位置、埋設深さ、地上部の土地利用条件を確認する。

・他工法との比較検討

流電陽極は陽極本体の電位（-1,500mV）と鋼管等との有効電位差が小さく、陽極 1 本当たりの発生電流も小さい。このため、完全防食を適用する施設において、大規模施設や土壌抵抗率が高い施設では陽極本数が増加するため、コストも増大する。小規模施設であっても、防食対象施設の埋設環境によっては掘削可能範囲が制限される場合等もあり、多数の陽極を設置できないことも考えられる。また、近接陽極法を適用する施設において、防食対象範囲が長い場合には施工範囲が広がり、借地や地上物の干渉も増え施工が困難になることも考えられる。

・特殊環境での改善目標電位の設定

硫酸塩還元菌の存在する水田等の不通気的环境、温泉地で地熱のある環境等、特に腐食作用が激しいと認められる土壌中では、目標電位として-950mV とする場合がある。

2) 設計に必要な各種設計数値の考え方

①改善目標電位

C/S マクロセル腐食下における自然電位より 300mV マイナス側に変化させる場合、変化後の電位は-500mV~-600mV となるので、一般土壌中でのマイクロセル腐食環境は変わらない。一方、完全防食法によって-850mV 以下とした場合、腐食は抑制される。

②陽極数量算出

近接陽極法の場合、改善目標電位と土壌抵抗率から陽極 1 本当りの防食電流と効果範囲を求め、防食対象面積から陽極数量と設置間隔を求めるが、コンクリート構造物際の電位勾配の大きい部位では陽極を 1 本余分に追加するなど陽極を密に配置することを検討する。

③陽極消耗率

陽極消耗率は、1A の電流を 1 年間流し続けた場合に消耗する量で「kg/A・y」で表される。流電陽極材の消耗率は、電気防食の設計計算上 WSP と同様に 8.0kg/A・y として計算する。

3) 設計のフローチャート

電気防食による電気防食設計のフローを図 4.3-6 に示す。

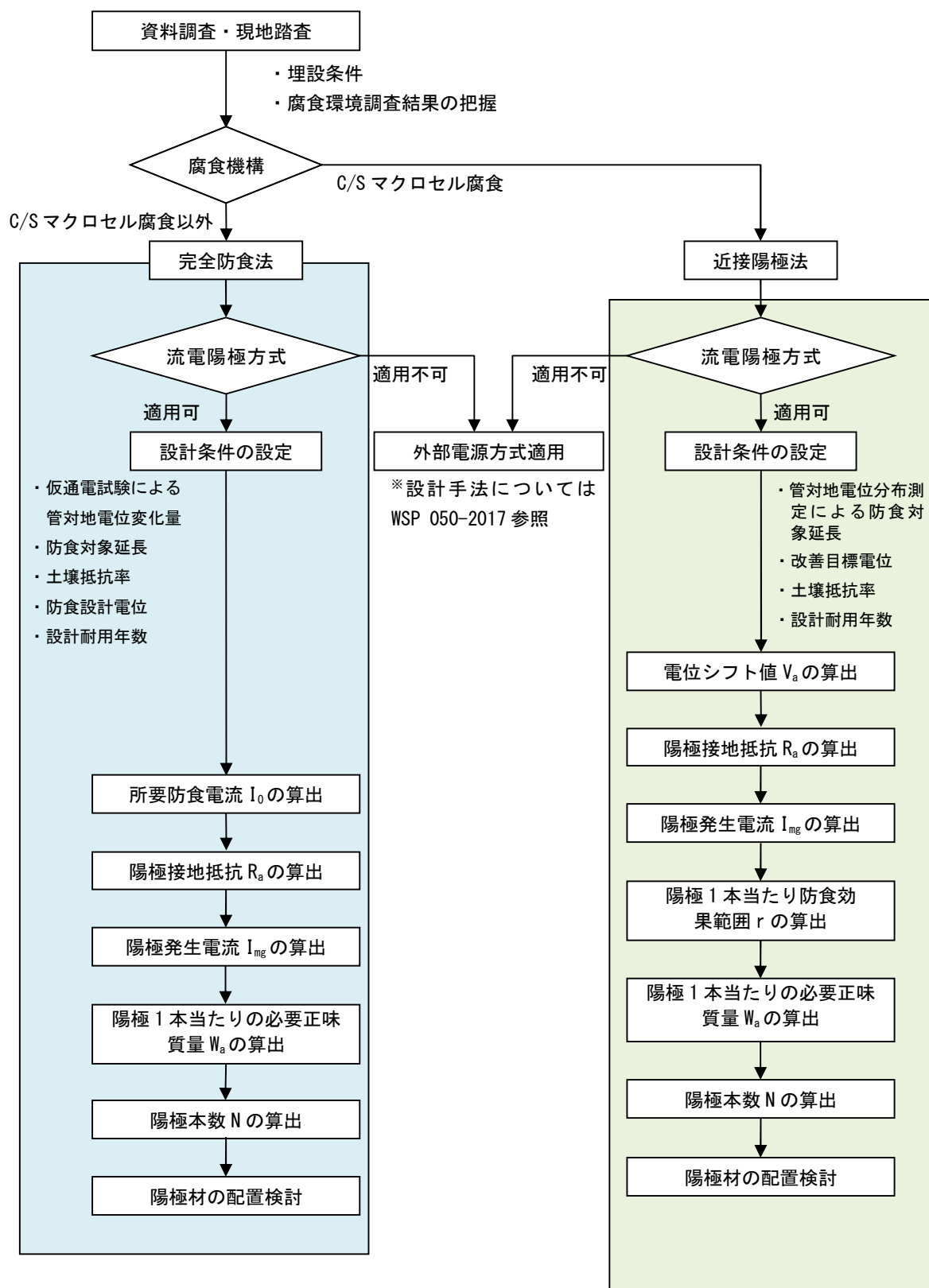


図 4.3-6 電気防食の設計フロー

4) 設計計算例

①完全防食法による設計計算

a) 所要防食電流 I_0 (A) の算出

仮通電試験結果を基に防食設計電位 (-1,000mV) ・ (飽和硫酸銅電極基準) に必要な防食電流を次式より算出する。

$$I_0 = (\Delta E) / (\Delta E_1 / I_1)$$

I_0 : 所要防食電流 (A)

ΔE_1 : 仮通電による管対地電位変化量 (V)

I_1 : 仮通電時に通電した電流値 (A)

ΔE : 自然電位 ($V_{P/S}$) - 防食設計電位 (-1.0V)

ただし、現場条件による制約等で仮通電試験が実施できない場合は、鋼管等に施されている外面塗覆装と防食電流密度 (WSP050-2017 参照) より所要防食電流 I_0 を算出しても良い。

b) 陽極接地抵抗 R_a (Ω) の算出

$$R_a = k \cdot \rho$$

R_a : 陽極 1 本の接地抵抗 (Ω)

ρ : 土壌抵抗率 ($\Omega \cdot m$)

k : 陽極の形状係数

c) 陽極発生電流 I_{mg} (A/本) の算出

$$I_{mg} = \Delta e / R_a$$

I_{mg} : 陽極発生電流 (A/本)

Δe : 管の有効電位差 (V)

Δe = 防食設計電位 (-1.0V) - Mg 陽極閉路電位 (-1.5V)

d) 陽極 1 本当たりの必要正味質量 W_a (kg) の算出

$$W_a = I_{mg} \cdot Y \cdot C$$

W_a : 陽極 1 本当たりの必要正味質量 (kg)

Y : 設計耐用年数 (y)

C : 陽極消耗率 8.0 (kg/A・y)

表 4.3-3 (Mg 陽極の型式と形状) より、陽極質量 (NET) が W_a より大きい陽極形式を使用陽極として選定する。

e) 陽極本数 N (本) の算出

$$N = I_0 / I_{mg}$$

N : 陽極本数 (本)

陽極本数は、整数に切り上げる。

(例 : $N=1.6 \rightarrow 2$ 本・ $N=2.1 \rightarrow 3$ 本)

②近接陽極法による設計計算

a) 防食対象延長 L(m)の算出

事前調査の管対地電位分布測定結果から防食対象延長(L)を求める。

b) 電位シフト値 V_a (V)の算出

$$V_a = V_{p/s} - V_o$$

V_a : 電位シフト値(V)

$V_{p/s}$: 管の自然電位(V)

原則実測値を用いるが、調査を行わない場合は-0.2V とする。

V_o : 改善目標電位(V)

-0.6V とする。

c) 陽極接地抵抗 R_a (Ω)の算出

$$R_a = k \cdot \rho$$

R_a : 陽極 1 本の接地抵抗(Ω)

ρ : 土壌抵抗率(Ω・m)

k : 陽極の形状係数

d) 陽極発生電流 I_{mg} (A/本)の算出

$$I_{mg} = \Delta e / R_a$$

I_{mg} : 陽極 1 本当たりの発生電流(A/本)

Δe : 管の有効電位差(V)

改善目標電位(-0.6V) - M_g 陽極閉路電位(-1.5V)

e) 陽極 1 本当たりの防食効果範囲 r (m)の算出

$$r = (I_{mg} \cdot \rho) / (2\pi \cdot V_a)$$

f) 陽極 1 本当たりの必要正味質量 W_a (kg)

$$W_a = I_{mg} \cdot Y \cdot C$$

W_a : 陽極 1 本当たりの必要正味質量(kg)

Y : 設計耐用年数(y)

C : 陽極消耗率 8.0(kg/A・y)

表 4.3-3(M_g 陽極の型式と形状)より、陽極質量(NET)が W_a より大きい陽極形式を使用陽極として選定する。

g) 陽極本数N(本)の算出

$$N = [(L \cdot D \cdot \pi) / (r^2)] + 1$$

N：陽極本数(本)

L：防食対象の鋼管等延長(m)

D：鋼管等の外径(m)

r：陽極1本の効果範囲(m)

1：C/S マクロセル環境に陽極を設置する場合は、コンクリートピット貫通部の防食を考慮し、陽極本数を設計数量に1本追加する。

陽極本数は、整数に切り上げる。

(例：N=1.6→2本・N=2.1→3本)

5) 陽極材の配置検討

完全防食法の場合、陽極設置間隔は200～500m程度を標準とし、防食対象長さに対して均等に配置する。

近接陽極法の場合、防食効果範囲r(m)を半径とする球の内部に防食対象の鋼管等が位置するように管径、配管状況を考慮して陽極の配置を決定する必要がある。ただし、図4.3-7に示すとおり、コンクリートピット際等の電位勾配の大きい部位では陽極材を密に配置することを検討する。

なお、鋼管等との離隔について特別に規定された値はないが、施工上、開削の場合は20cm程度、オーガーやボーリングを使用する場合は30～50cm程度の離隔を確保する場合が多い。

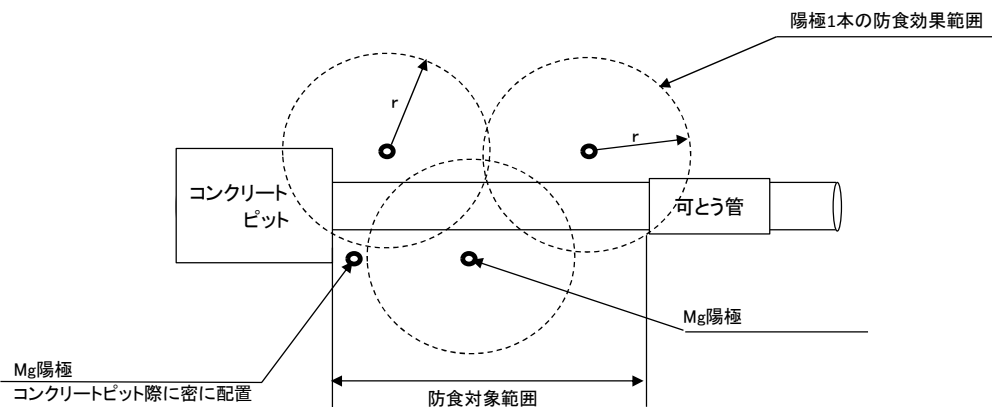


図4.3-7 陽極配置例（平面配置）

また、陽極材の設置に当たり、開削する場合、地表からボーリングで行う場合、コンクリートピット内から押込む場合等、防食効果範囲・配管深さや施工範囲の制約等、現場条件によって工事費の経済比較を行い、陽極の設置方法（縦置き、横置き又は押し込み）・陽極間隔・縦置きの場合1本吊・2本吊・3本吊等を考慮した設計が必要となる。

参考として、陽極配置例を図4.3-8～図4.3-10に示す。

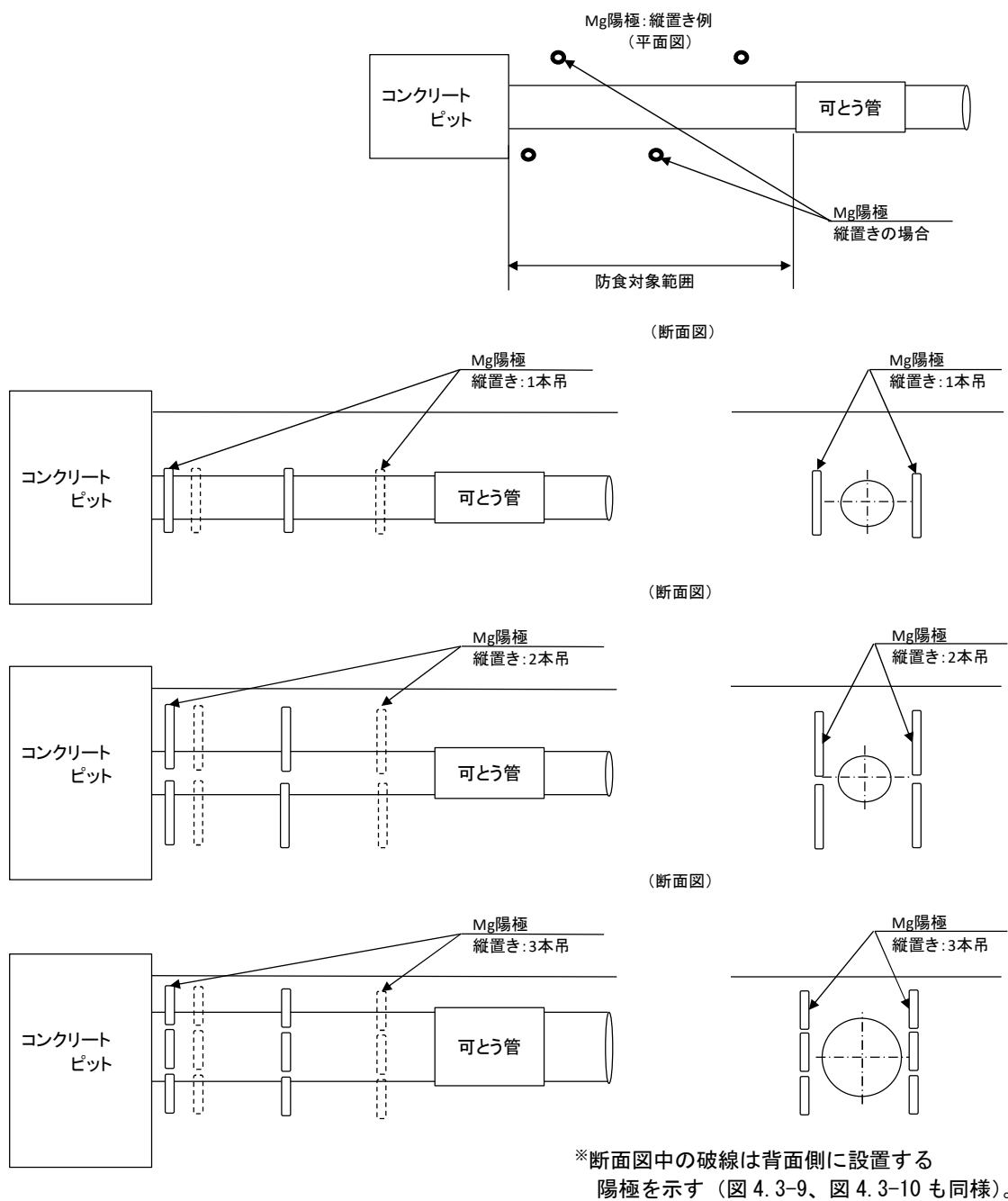


図 4.3-8 流電陽極材縦置き例

陽極縦置き工法は、地表からオーガー車やハンドオーガー又は、ボーリングマシンにより所定の深さまで穿孔掘削し、掘削孔内に陽極を設置する方法であり、配管まで開削する必要がなく、限られた用地内で施工ができる利点がある。ただし礫や玉砂利・湧水等、ボーリングの障害となる土質の場合は施工が困難になる場合があるので、現場状況の把握が重要である。

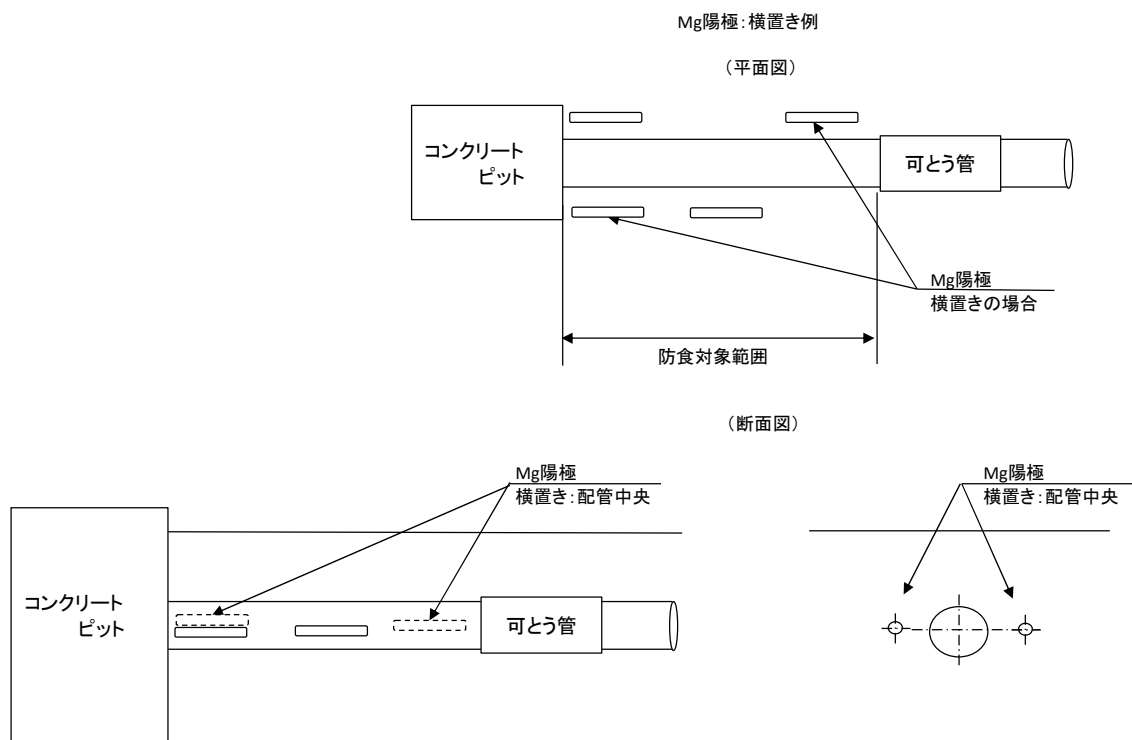


図 4.3-9 流電陽極材横置き例

陽極横置き工法は、バックホウにより所定の深さまで開削し、陽極を設置する方法である。陽極縦置き工法や陽極押込み工法に比べ土木工事量が多くなるが、礫や玉砂利・湧水等がある場合でも施工が可能である。

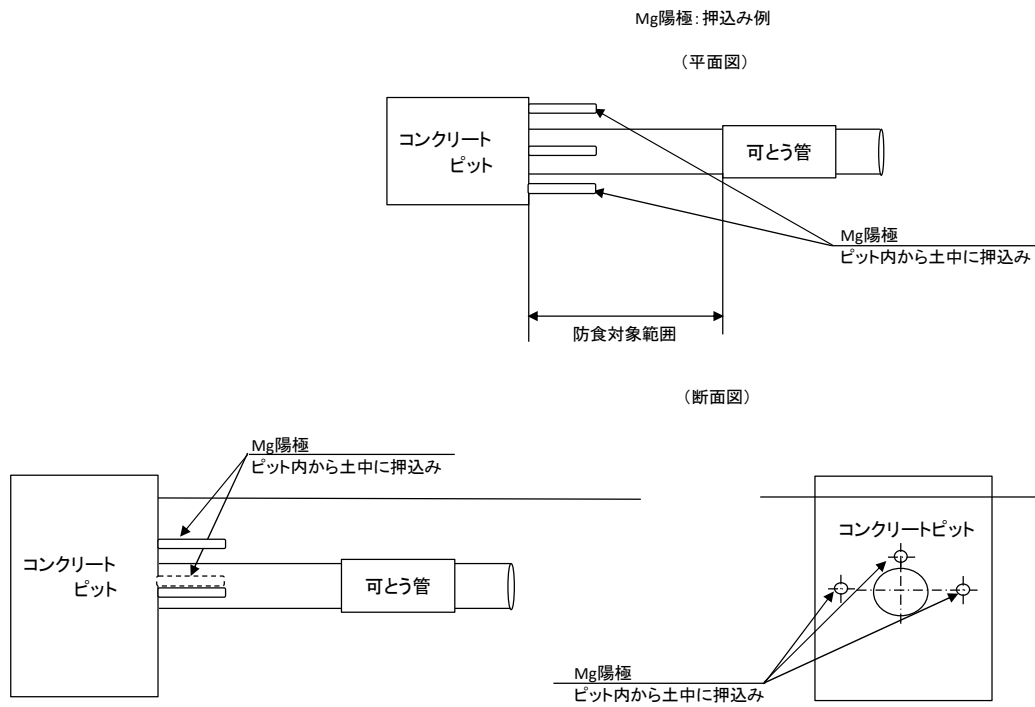


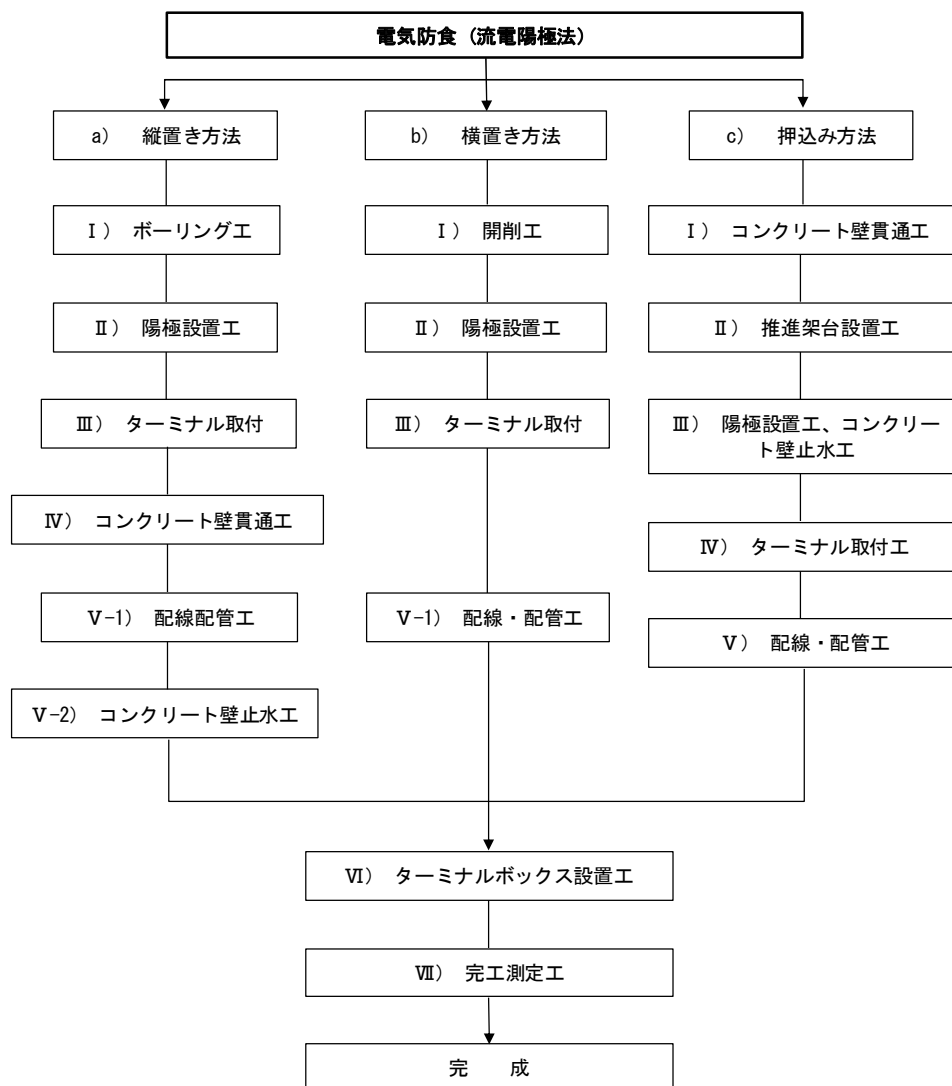
図 4.3-10 流電陽極材押込み例

陽極設置箇所のコンクリートピット壁をコア抜きし、油圧ジャッキを用いて陽極を推進圧入して陽極を設置する方法であり、ピット内のように限定された狭い空間でも施工が可能であることから、地上部からの施工ができない場合にも適用できる。また、小型軽量の機材を使用するため、人力運搬が可能であり、機材搬入が容易にできる利点がある。

(4) 施工

1) 施工方法

縦置き方法、横置き方法、押込み方法について、施工フローを図 4.3-11 に示す。



※施工順は、現場の状況によって変わる場合もある。

図 4.3-11 電気防食（流電陽極法）の施工フロー

①施工順序

a) 縦置き方法

設置状況を図 4.3-12 に示す。

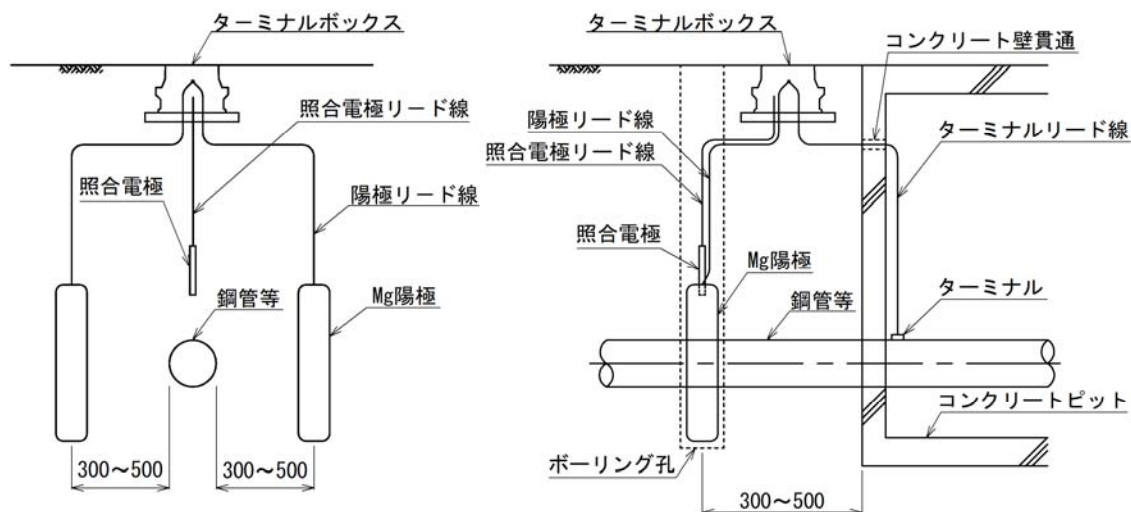


図 4.3-12 設置状況

縦置き方法の施工順序を以降に示す。

I) ボーリング工

陽極設置予定箇所及び照合電極設置箇所を G. L-1.0m 程度手掘り試掘し、GL-1.5～2.0m 付近まで他埋設物等の障害物が無いことを探査棒等で確認後、 $\phi 200\sim 300\text{mm}$ （口径は適用陽極の径を考慮）で所定の深さまで掘削穿孔する。

また、地表付近の土壤に礫や玉砂利等の障害がある場合、一部開削し障害物を撤去した後ボーリングする方法もある。

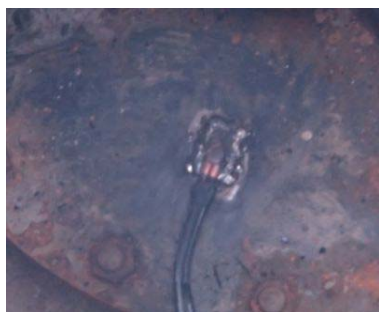
II) 陽極設置工

掘削穿孔完了後、陽極及び照合電極を所定のボーリング孔内に設置し、陽極及び照合電極周囲は良質土を充填する。

Ⅲ) ターミナル取付工

陽極接続用ケーブルおよび測定用ケーブルはⅡ型ターミナルを使用し、コンクリートピット内の鋼管等に溶接により取付ける。

取付例を図 4.3-13 に示す。



ターミナル取付



取付け部プライマー処理

図 4.3-13 ターミナル取付例

Ⅳ) コンクリート壁貫通工

鉄筋探査計で鉄筋位置を確認し、コアドリルを用いて $\phi 40 \sim 60\text{mm}$ 程度の穿孔を行い、ターミナルリード線あるいは陽極リード線および照合電極リード線を配線する。

Ⅴ-1) 配線配管工

陽極、ターミナルおよび照合電極のリード線は電線管で保護し配管する。

一般的に使用する電線管は次の通りである。

埋設部：波付硬質ポリエチレン管等

露出部：厚鋼電線管等

埋設配管の場合、埋め戻し途中で所定の深さに電線布設を示す埋設表示シートを布設する。

各配線は、ターミナルボックスまで布設する。

Ⅴ-2) コンクリート壁止水工

コンクリート壁貫通部を復旧し、止水処理する。



陽極リード線

ピット内引込

図 4.3-14 止水状況

Ⅵ) ターミナルボックス設置工

ターミナルボックスは、ピット内に設置する場合は鋼製プルボックス、管路上に設置する場合はターミナルボックスを設置し、Mg 陽極とターミナルリード線を収納結線する。

Ⅶ) 完工測定工

工事完了後、防食効果確認の完工測定を行う。

測定は、管対地電位と流電陽極発生電流を同時に測定し、防食設計電位又は改善目標電位を満足していること及び陽極発生電流値から設計耐用年数を満足するか確認を行う。



図 4.3-15 測定状況例

$$\text{設計耐用年数} = W_0 / (C \times I_{mg})$$

ここで、 W_0 : 設置した陽極質量 (kg)
 C : 陽極消耗率 (8.0kg/ (A×y))
 I_{mg} : 測定した陽極発生電流値 (A)

b) 横置き方法

横置き方法の施工順序を以降に示す。

I) 開削工

開削工は、重機、人力等によって配管周囲（陽極設置位置）まで掘削する。

Ⅱ) 陽極設置工

陽極設置位置まで掘削してあるので、所定の位置に陽極を配置し、管頂には照合電極を配置する。埋め戻しは、山砂を使用することが望ましい。

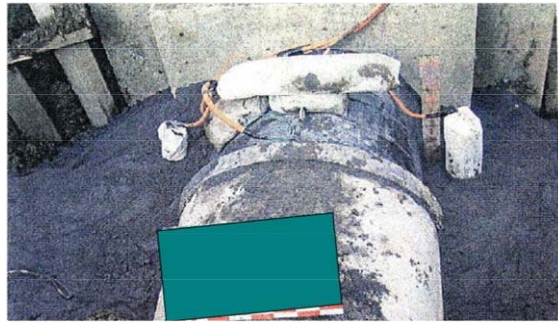


図 4.3-16 Mg 陽極設置例

陽極の設置方法は、図 4.3-17 に示すように、防食対象に対して陽極数量が多い場合や防食対象範囲が狭い場合等では、開削しても陽極を縦に設置する場合もある。



防食対象範囲に対して陽極数が多い例



防食対象範囲が狭い例

図 4.3-17 Mg 陽極設置例

以降、Ⅲ)ターミナル取付工、Ⅴ-1)配線配管工、Ⅵ)ターミナルボックス設置工～Ⅶ)完工測定工は、縦置き方法と同様に行う。

c) 押込み方法

押込み方法の施工順序を以降に示す。

Ⅰ) コンクリート壁貫通工

鉄筋探査計等を使用してコンクリートピット中の鉄筋位置を確認し、マーキングを行った後、陽極設置箇所のコンクリート壁をコア抜きする。

Ⅱ) 推進架台設置工

コア抜きした孔に陽極を押し込める位置に推進架台を設置する。

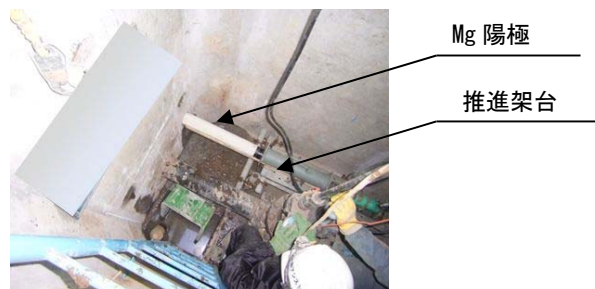


図 4.3-18 Mg 陽極押込み(圧入)状況

Ⅲ) 陽極設置工、コンクリート壁止水工

油圧ジャッキにより陽極を所定の位置まで押し込む。

陽極設置後、陽極リード線をピット内に引込み、コンクリート壁を止水処理する。止水工の状況は図 4.3-14。

Ⅳ) ターミナル取付工

ターミナルは、陽極縦置き・横置きと同様にターミナルⅡ型を使用し、鋼管等に溶接により取付ける。

V) 配線配管工

陽極リード線とターミナルリード線をピット内壁に固定配線する。



図 4.3-19 配線状況

以降、Ⅵ) ターミナルボックス設置工～Ⅶ) 完工測定工は、縦置き・横置き方法と同様に行う。

2) 施工段階での留意事項

道路拡幅や区画整理等で建設時の図面と現状が異なる場合は、必要に応じて管路を試掘し、配管ルートを確認する。

4.3.2 塗覆装

(1) 工法概要と適用条件

1) 工法概要

塗覆装は、埋設環境中の土壌、水が鋼管表面に触れるのを防ぎ、腐食電流や迷走電流の流入が発生しないようにすることを目的とし、鋼管に防食シート材を熱融着、接着、又は塗布する工法である。

なお、下地処理の程度が塗膜の耐久性に与える影響は大きく、その寄与率は(社)日本鋼構造協会によると 50%と示されている。このため、本工法を適用する場合には、工法・材料の性能を確実に発揮させるために、より確実な下地処理を行うことが重要である。

①下地処理の目的

鋼管の表面に浮き錆、油、汚れ、水分等が残存していると、塗覆装の付着が不十分となり、膨れ、割れ、はがれ等が生じ、さらには鋼材の腐食の発生に至る。

下地処理の目的は、鋼管の表面の錆、油脂、汚れなど、塗覆装の付着性及び防食性を妨げる物質を取り除くことである。

②下地処理程度

下地処理が不十分であり、鋼管に錆が残存すると、塗覆装の付着性が低下し腐食因子が浸入しやすくなるため、早期に腐食が進行しやすくなると考えられている。

このため、下地処理の程度（除錆度）は、塗覆装の材料種別に関らず表 4.3-5 のように設定する。

表 4.3-5 塗覆装材料と適用する下地処理の程度

材料	鋼管表面の状態
シートライニング材 塗布型ライニング材	付着物を全て除去する 錆は孔食部底部を除き全て除去する（孔食部底部は可能な限り錆を除去する（下記参照））

特に鋼管に局部腐食が生じている場合、孔食部底部に錆が残存しやすく、錆が残存した場合再劣化の原因となることに留意し、当該部分の錆について動力工具（表 4.3-7）等を組合せて使用するなどして、可能な限り除去する必要がある。

③下地処理の工法と主な工具

下地処理の工法は、「大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策」によると、表 4.3-6 のように分類されるが、鋼管に対する塗覆装ではこれまでの実績から主に物理的工法（動力工具）を適用している。本マニュアルでは、動力工具について、代表的な工具を紹介する（表 4.3-7）。

表 4.3-6 主な下地処理の工法と種類

原 理	工 法	概 要
物理的	ブラスト	研削材を高速で処理面に投射し、その衝撃力で錆や塗膜等を除去するとともに、鋼表面に表面粗さを形成させる工法。
	動力工具	電気又は圧縮空気により駆動する工具を用いて、鋼材面を研磨することで錆や塗膜を除去する工法。
	手工具	力棒、ハンマー、ワイヤーブラシ等を用いる手作業法、単独では多大な労力が必要になるため、完全な錆除去は困難である。
化学的	酸洗い	酸性薬品で鋼材表面の錆や酸化被膜等を除去する工法。
	化学処理	リン酸等を用いて処理面表面にリン酸塩被膜を形成させる工法。

表 4.3-7 動力工具の分類と特徴

分 類	特 徴
ディスクサンダー 	【概要】 ・動力により回転する円盤にサンドペーパーを取付け、その回転研磨力により下地処理を行う工具。サンドペーパーの粗さは、サンド粒子の大きさにより異なり、錆落としには粒子の粗いものを用いる。 【適する使用条件】 ・比較的広い範囲、比較的軽微な腐食 【不適な使用条件】 ・孔食底部、リベットやボルト部（異形管）
カップワイヤーホイール 	【概要】 ・カップ型のワイヤーブラシを回転させる工具であり、その回転力により下地処理を行う工具。アタッチメントには種々のものがあり、六角ボルト専用のものもある。 【適する使用条件】 ・リベットやボルト部（異形管） 【不適な使用条件】 ・特になし
エアハンマー （ニードルガン） 	【概要】 ・動力によりハンマーを作動させる工具で深い錆のあら落としのために用いる。 【適する使用条件】 ・リベットやボルト部（異形管）、腐食により著しく起伏が生じた部位 【不適な使用条件】 ・比較的広い範囲
縦回転式動力工具 	【概要】 ・特殊硬質金属ブラシの先端をブラシの回転と弾性変形により、鋼表面に叩きつけることで、腐食損傷が軽微な場合については、ブラスト処理に近い清浄面や表面粗さが形成できる。 【適する使用条件】 ・腐食損傷が軽微な場合の孔食底部 【不適な使用条件】 ・大面積、著しい孔食底部

2) 適用条件

本工法は、腐食電流の流出入を発生させないことを目的とし、開削による施工が可能な場合に適用する。なお、使用材料に応じて適用性が高い部位が異なる（「(2) 使用材料」参照）。

(2) 使用材料

塗覆装に使用する材料は、既設鋼管に熱融着又は接着するシートライニング材と、巻きつけて塗布する塗布型ライニング材に分類される。シートライニング材にはプラスチック系熱収縮シートやチューブ、合成ゴムシート、防食テープがあり、塗布型ライニング材には補修用ポリウレタン、水中硬化型エポキシ樹脂、ペトロラタム等があるが、防食テープとペトロラタムは以下の理由により本マニュアルの対象外とする。

- ①防食テープは他工法の端部処理等に使用する事例が多く、防食テープ単独で使用する事例は極めて少ない。また、製品厚が薄いため、単独使用での性能は他工法に比べ劣ると考えられる。
- ②ペトロラタムは原油から減圧蒸留により分離された石油ワックスの一種であり、柔軟性に富む材料である。このため、埋戻し、転圧時に変形する可能性があり、本来の性能が発揮されない可能性がある。

なお、材料選定に当たっては、以下に示す材料から既設塗覆装同等以上の性能を有するものを採用する。

1) シートライニング材

シートライニング材は表 4. 3-8 に示す特徴、表 4. 3-9 に示す性能を有している。

なお、プラスチック系は、現状では高品質化に併せてポリエチレン（PE）系が多く用いられているため、表 4. 3-9 では当該材料のみ性能を評価している。

表 4. 3-8 シートライニング材の特徴

種 類		特 徴
プラスチック系	ポリエチレン(PE)系	PE 基材に固形粘着剤の貼り合せたシートで、PCV より耐久性に優れている。 手巻き・機械巻きともに可能である。
	ポリ塩化ビニル(PCV)系	PCV 基材に固形粘着剤の貼り合せたシートで、柔軟性・耐久性に優れている。 手巻きが主体の施工となる。
合成ゴム系		加硫ゴム又は未加硫ゴムを使用したシートで、防食シートとしての利用が多い。

表 4.3-9 シートライニング材の性能

		熱収縮性ポリエチレン		防食ゴムシート
		粘着型	高密度型	
材 料	基 材	架橋 ポリエチレン	架橋 ポリエチレン	ブチルゴム
	内層材	マスチック系	ホットメルト系	ブチルゴム系粘着剤
性 能	耐薬品性	◎	◎	◎
	耐水性	◎	◎	◎
	耐油性	○	○	○
	耐衝撃性	◎	◎	◎
	可とう性	◎	◎	◎
	密着性	○	◎	○
	絶縁抵抗	◎	◎	◎
	耐候性	◎	◎	◎

各材料の特徴を以降に示す。

①ジョイントコート

ジョイントコートは、ポリエチレンを成形、架橋、延伸し熱収縮機能を付与したもので、加熱すると鋼管の断面方向に収縮して被覆を形成するものである。

ジョイントコートの構成は、ポリエチレン外層材とある温度以上では溶融・流動して鋼管との密着性を付与する内層材から成り立っている。

ジョイントコートの形状は、チューブ系・シート系及びテープ系があるが、鋼管の補修などにはシート系が有効である。ジョイントコートの構成を図 4.3-20 に示す。

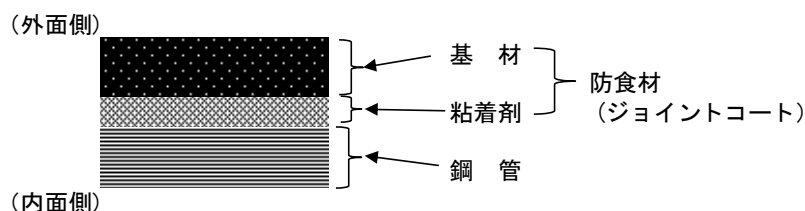


図 4.3-20 ジョイントコートの構成

なお、本材料は過熱すると鋼管の断面方向に収縮し塗覆装を形成するため、直管部に対して適用されることが多い。

②合成ゴムシート

合成ゴムシートは、基材として加硫ゴムシートあるいは未加硫ゴムを使用し、ブチルゴム系粘着剤を積層したもので、材料の構成を表 4.3-10、図 4.3-21 に示す。

表 4.3-10 合成ゴムシート外面防食材料の構成

使用材料		構 成
防食ゴムシート	加硫ゴムシート	ブチル・EPDM 系
	粘着層	ブチルゴム系
保護テープ		塩化ビニル系
保護シート		ポリエチレンシート R
シールテープ		ブチルゴム系

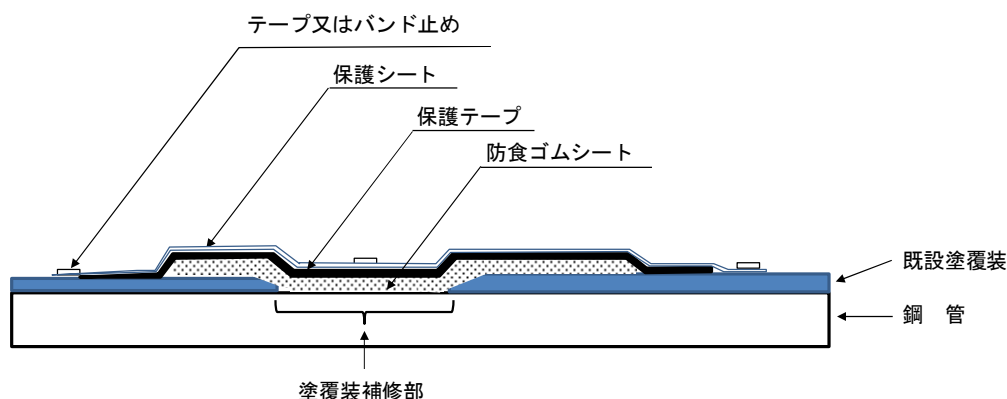


図 4.3-21 ゴム系外面防食材の構成

2) 塗布型ライニング材

塗布型ライニング材には補修用ポリウレタンや水中硬化型エポキシ樹脂があるが、これらは施工規模が極めて小さい場合や腐食深さが深い場合に適用される。詳細は「鋼管路の更新・診断マニュアル（第2部） WSP081-2019」に示されているため参照されたい。

(3) 設計

1) 基本的事項

①材料選定の考え方

塗覆装の材料選定に当たっては、塗覆装の機能が十分に発揮できるように、「②材料選定に当たっての留意点」に示す施工条件を考慮し選定する。なお、一般的にはジョイントコートが安価となる傾向にあるが、対策規模によってはその他の材料が経済的となる場合もあるため、材料選定に当たり経済比較を実施する。

②材料選定に当たっての留意点

塗覆装は、補修を行う鋼管の充水の有無、対象部位等の条件に応じて適する材料が異なる（図 4.3-22）ことに留意する。

2) 設計に必要な各種数値の考え方

塗覆装の設計に当り、使用する材料は JIS によりその要求性能が規定されている。また、特に構造検討などを要する工法ではないため必要となる設計数値はない。

3) 材料選定のフローチャート

塗覆装の使用材料は、図 4.3-22 に示すように選定する。

なお、材料選定の目安として示した対策規模（こぶし大）は、現地での施工性を考慮して示した参考値であるため、個々の施設に応じて経済比較により選定根拠を整理する必要がある。

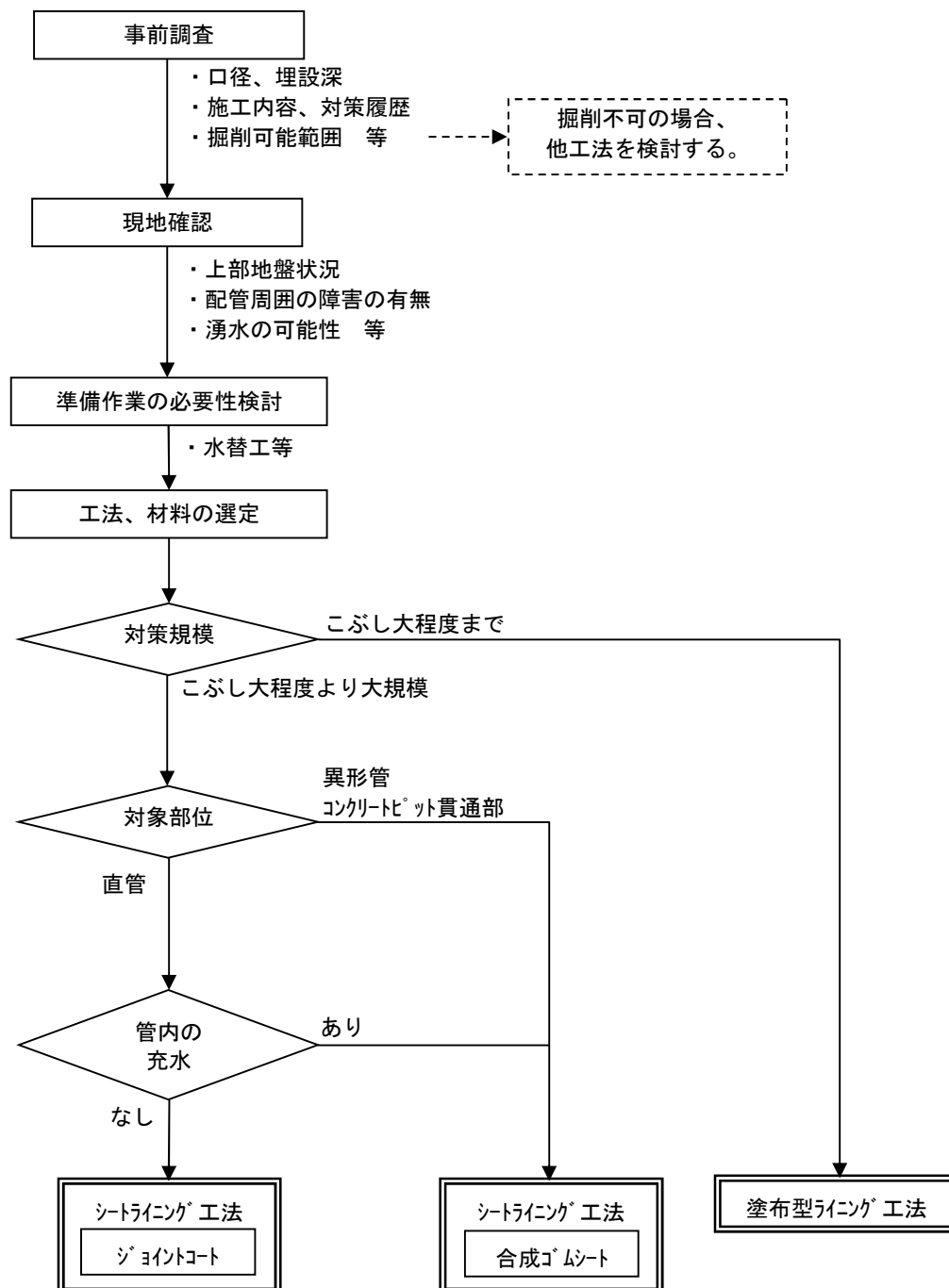


図 4.3-22 塗覆装補修材料の選定フロー例

(4) 施工

塗覆装の施工方法は、使用する材料によりその手順が異なる。以降では、シートライニング材を用いた塗覆装と塗布型ライニング材を用いた塗覆装について、その施工順序、施工段階での留意事項、施工管理を解説する。

1) シートライニング材を用いた塗覆装

①施工順序

シートライニング材のうち、ジョイントコートと合成ゴムシートの施工方法の詳細は「長寿命形水道用ジョイントコート WSP 012-2014」、「鋼管路の更新・診断マニュアル(第2部) WSP081-2019」に規定されている。これらの詳細については当該図書を参照されたい。本マニュアルでは、当該図書から概要を引用し、巻末の参考資料②に掲載している。

②施工段階での留意事項

a) ジョイントコート

- ・熱収縮シートの保管は、40℃以下の屋内を原則とし、変形や水分・異物の付着のないようにする。
- ・被覆が完了した後、速やかに埋戻しを行う。やむを得ず放置するときは、シート等で養生を行う。

b) 合成ゴムシート

- ・ゴムシートの保管は、シート状の梱包の場合は平坦な場所に平置きする。また、ロール状の梱包材については、ロールを立てた状態で保管する。
- ・ゴムシートの施工は、管表面温度が 60℃以下の場合とする。
- ・ゴムシート・保護シートは、いずれもシート末端が管底を向く方向に巻き付ける。
- ・湿度の高い時、雨天の時は、原則的にゴムシートの施工を行ってはならない。ただし、やむを得ない場合は、防水・防湿対策を施して行うこととする。
- ・被覆が完了した後、速やかに埋戻しを行う。

なお、対策実施後もマクロセル腐食環境は変わらないため、礫質土を用いた埋戻し時の転圧や他工事の掘削等で塗覆装に欠損を生じさせると、塗覆装欠損部から腐食が進行することに留意する。

(5) ダクティル鑄鉄管の防食工法

腐食性土壌と判定された場合、ポリエチレンスリーブで防食するのが一般的である。

ポリエチレンスリーブ法は、1950 年に米国の地下埋設鑄鉄管に実採用された防食方法であり、管の布設現場で 0.2mm 厚さの軟質ポリエチレン製チューブを鑄鉄管の全長にわたって被覆する方法である。

このポリエチレンスリーブ法には、①腐食性土壌と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地下水が進入した場合でも水の移動を制御し、溶存酸素が消費されることで腐食の進行を制御する。④迷走電流による電食に対しても遮蔽物の効果を果たす。などの防食効果が挙げられる。

なお、スリーブの施工に際しては、JCPA W 08「ポリエチレンスリーブ施工要領書」に基づいた正しい施工管理を行う必要がある。

また、ダクティル鑄鉄管に対してはエポキシ樹脂塗料やアクリル樹脂塗料を塗布する工法があるが、これらの詳細は「ダクティル鉄管ガイドブック」や「日本ダクティル鉄管協会規格 ダクティル鑄鉄管合成樹脂塗装（抜粋）Z2010」等 に示されているため参照されたい。

(6) 内面腐食

内面腐食には、一般にダクティル鑄鉄管はモルタルライニングが最もよく使用されるが、そのほかにエポキシ樹脂塗料等が使用される。鋼管の場合は一般に水道用液状エポキシ樹脂塗料が使用される。特に上水道や上水供給事業との供用管路については、厚生労働省令に基づく浸出性能が要求されるため、水道用液状エポキシ樹脂塗料若しくは無溶剤形エポキシ樹脂塗料を使用する必要がある。

詳細は「鋼管路の更新・診断マニュアル（第 2 部）WSP081-2019」に示されているため参照されたい。

4.3.3 メタルタッチ切断

(1) 工法概要と適用条件

1) 工法概要

コンクリートピット貫通部で生じる C/S マクロセル腐食環境は、コンクリートピット中の鉄筋と鋼管等が導通していることで発生するが多い。

メタルタッチ切断は、コアドリル等によりメタルタッチのアノード部とカソード部を切り離すこと、すなわち鋼管等と鉄筋等の異金属の接触を切り離すことで、腐食電流を阻止する方法である。

図 4.3-23 に示すように、鉄筋と鋼管等が導通していた時の管対地電位分布は、コンクリートピット貫通部に近づくと大きく減衰し-400mV よりプラス側の電位を示すが、鉄筋と鋼管等を絶縁することで管対地電位がマイナス方向に改善する。

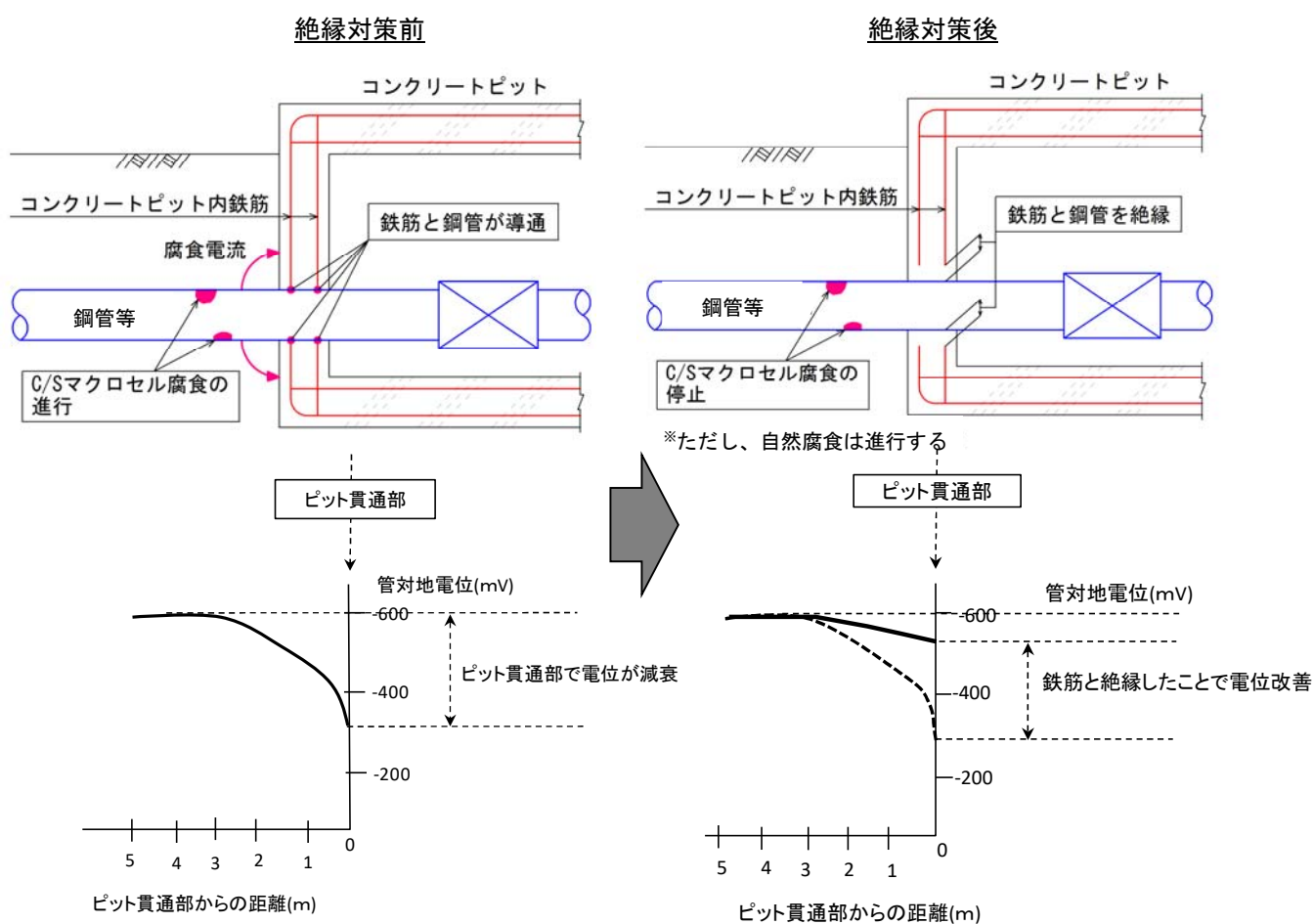


図 4.3-23 メタルタッチ切断概要図

鋼管等の場合、本工法はコンクリートピットなどの適用が想定される。本工法は、コアドリルを用いることでコンクリートピット周囲の掘削や、コンクリートピット中の鉄筋をはつり出し鉄筋を切断するような大掛かりな工事を必要とせず、コンクリートピット内から鋼管等と導通している鉄筋の切断が可能である。

2) 適用条件

本工法は、鋼管等の管対地電位が-400mV よりプラス側を示し、コンクリートピット中の鉄筋と鋼管等が導通している場合、かつ、コアドリルを安全に使用するための施工スペースが確保可能な場合に適用する。

なお、鉄筋と鋼管等の導通の有無は仮通電試験の結果、表 4.3-11 に示す変化が確認された場合に該当する。

表 4.3-11 仮通電試験による鉄筋との導通有無の判定

通電による鉄筋対地電位の変化	鉄筋と鋼管等の導通有無
鉄筋対地電位がマイナス方向（同相）に変化	導通有
鉄筋対地電位がプラス方向（逆相）に変化 又は、変化なし	導通なし

(2) 使用材料

本工法はコアドリルにより鋼管等と導通しているコンクリートピット内の鉄筋を切断するものであり、工法そのものに使用する材料は特にない。施工上必要となる材料は、鉄筋切断部（コア抜き部）の復旧に使用する無収縮モルタル程度である。

(3) 設計

1) 基本的事項

①設計の考え方

本工法の設計に当たっては、メタルタッチ切断によるコンクリートピットの構造性能に与える影響を検討し、応力的に不安定な状態とならないことを確認する。

②設計に当たっての留意事項

鉄筋を切断することで、鉄筋切断範囲の荷重を切断していない部分の構造体に負荷させた時の応力照査が必要となる（施設の構造上、鉄筋を切断すると応力的に対応できない構造の場合もある）。照査項目は次のとおり。

- ・鉄筋を切断した部分に土圧が作用した場合のせん断破壊に対する照査
- ・鋼管等にスラスト力が作用した場合のせん断破壊に対する照査
- ・鉄筋切断箇所の断面照査

メタルタッチ切断により応力的に不安定となった場合は、補強筋の配置、又は他工法（電気防食）の検討を行う必要がある。

また、本工法は、C/S マクロセル腐食環境を改善できるが、自然腐食環境（鋼管等が埋設されている地盤における腐食環境）は変わらないため、鋼管等の自然腐食の進行に留意する。

2) 設計に必要な各種設計数値の考え方

鋼構造物の応力照査に用いる各種数値（許容応力度等）は、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『水路工』」等を参照する。

3) 設計のフローチャート

メタルタッチ切断のフローチャート例を図 4. 3-24 に示す。

【メタルタッチ切断設計のための調査】

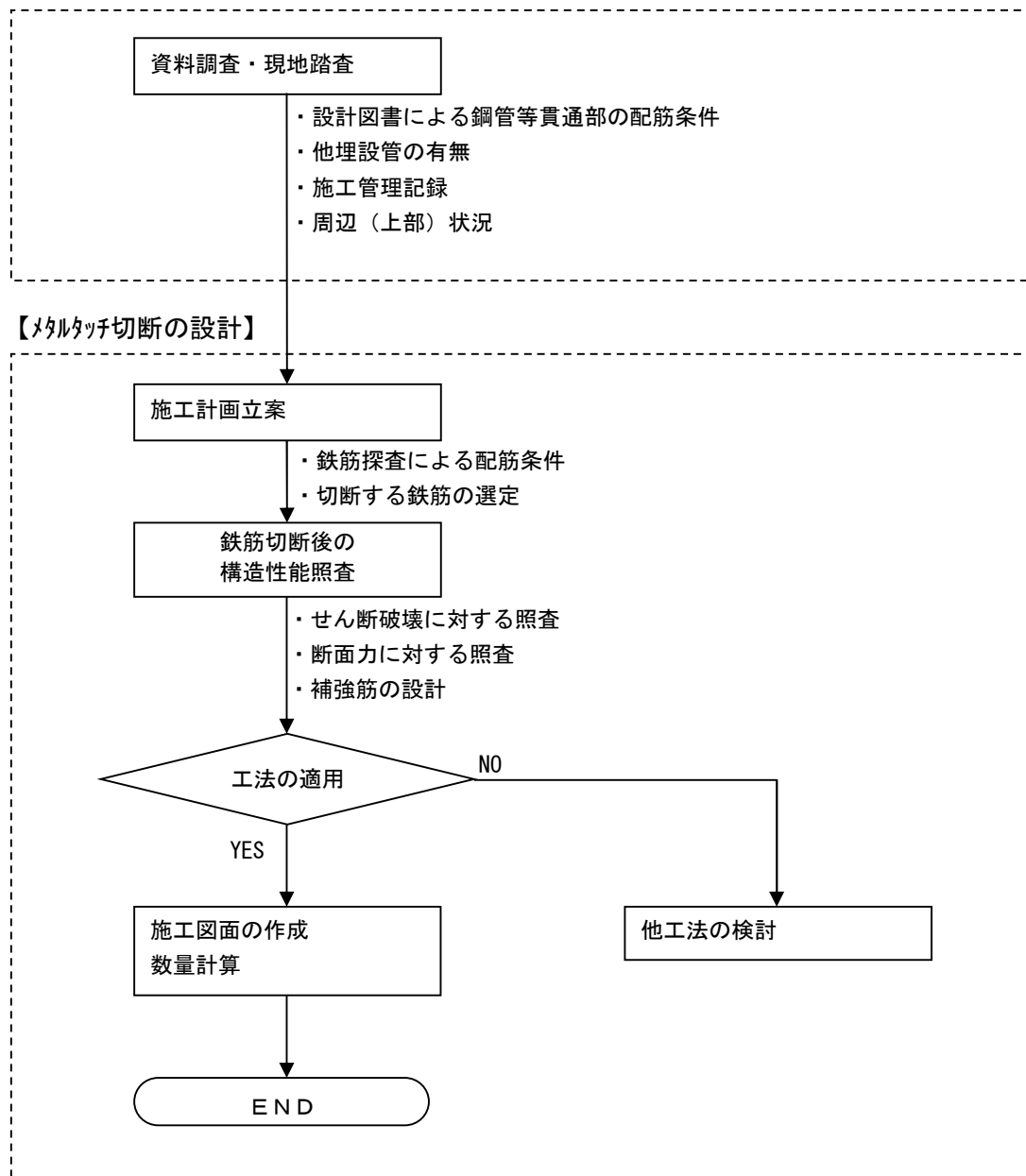


図 4. 3-24 メタルタッチ切断設計フロー例

(4) 施工

本項は、メタルタッチ切断に係る施工について定め、円滑かつ的確な対策工事の施工を図ることを目的としている。

施工に当たっては、工事着手前に、工事目的物を完成させるために必要な手順や工法について施工計画書により、確認しなければならない。

1) 施工方法

コンクリートピット中の鉄筋を切断するので、鉄筋探査が重要となる。探査した配筋状況と施工図面等の配筋図を確認し切断位置を決定する。

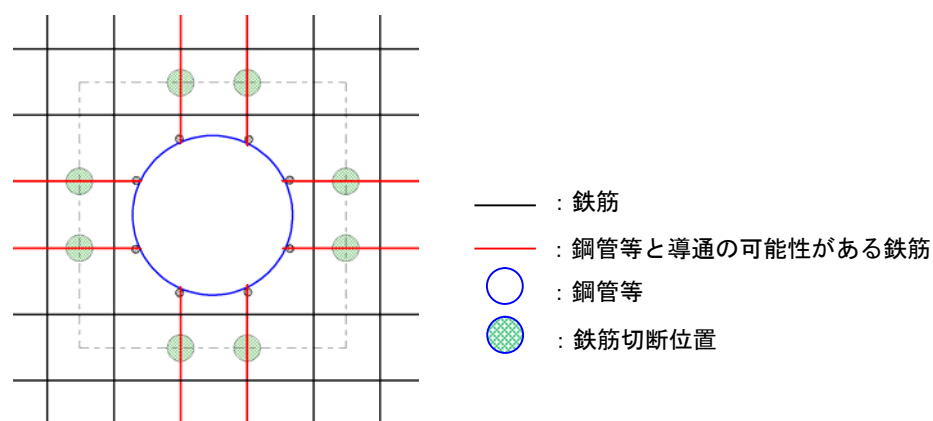


図 4. 3-25 鉄筋切断位置例

施工フローを図 4. 3-26 に示す。

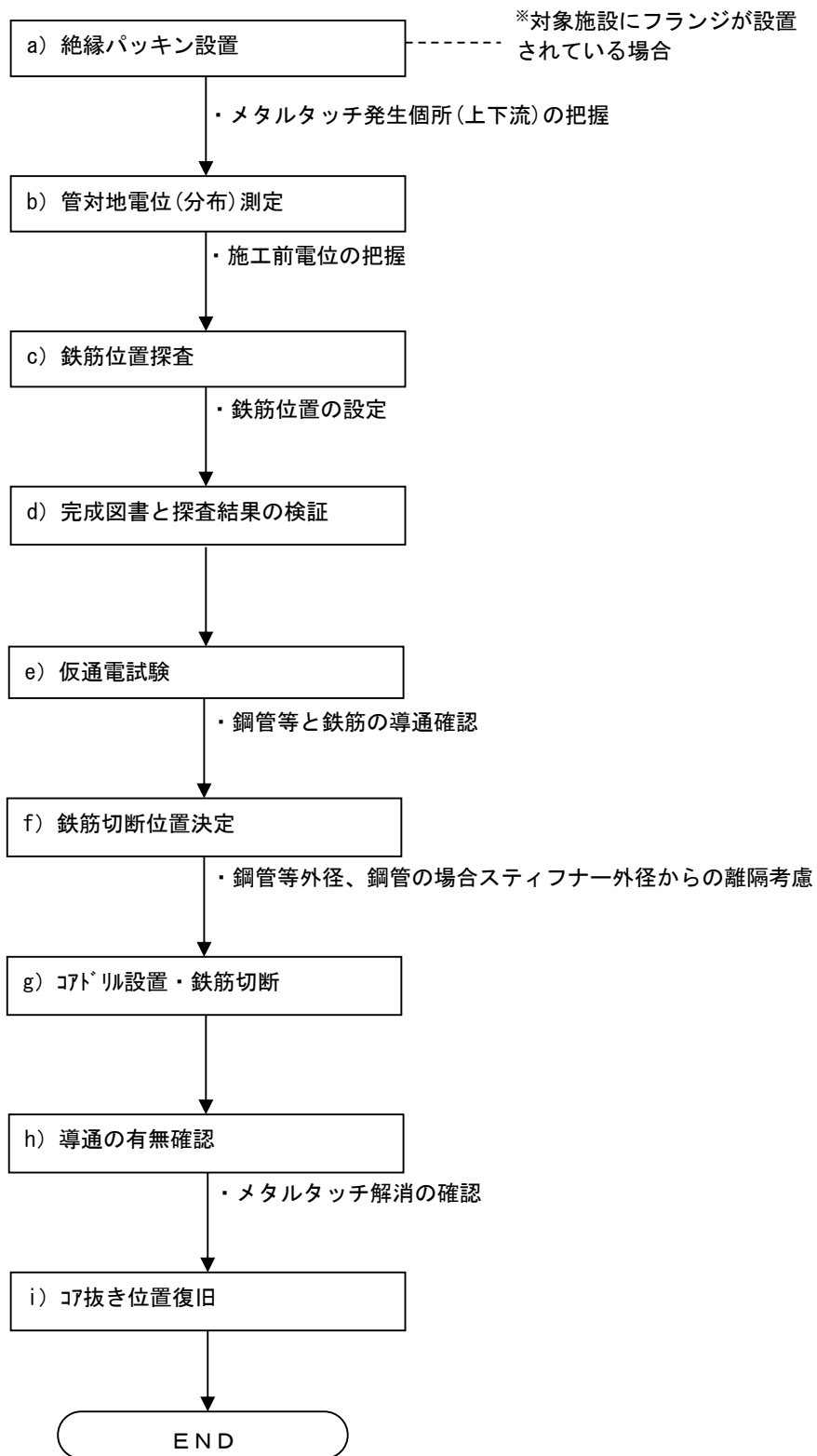


図 4.3-26 施工フロー

①施工順序

a) 絶縁パッキン設置

コンクリートピット中の鉄筋と鋼管等が導通しているとピット貫通部に向かって電位がプラス側に減衰しC/Sマクロセル腐食環境となるが、図4.3-27の例に示すように、ピット貫通部の片側で鉄筋と鋼管等が導通していても影響は両側に発生する。これは、鋼管等が電氣的に一体化しているために、鉄筋が片側で導通していても影響は両側に発生するもので、この状況ではどちら側で導通しているかの判断ができない。

そのため、対象施設にフランジが設置されている場合、フランジに絶縁パッキンを設置しボルトも絶縁ボルトに入れ替え、鋼管等を電氣的に絶縁することでメタルタッチの発生箇所（上下流）を特定する。絶縁ボルトに入れ替えると、鉄筋と導通している側の電位のみ電位差が200mV未満を示し鉄筋と鋼管等が導通している方向が判定できる。

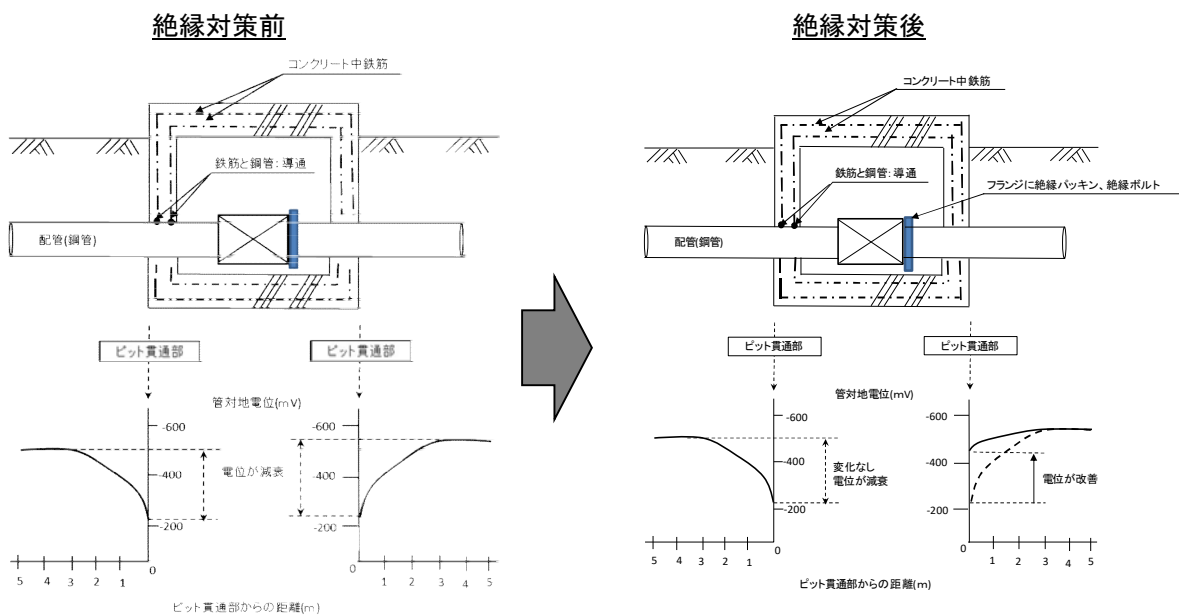


図4.3-27 絶縁パッキン・ボルト設置前後の管対地電位(勾配)測定結果例

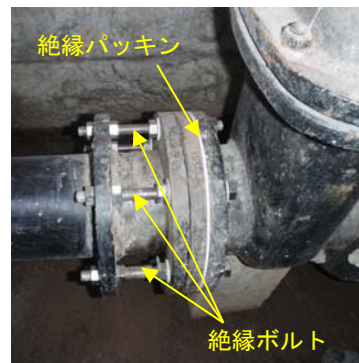
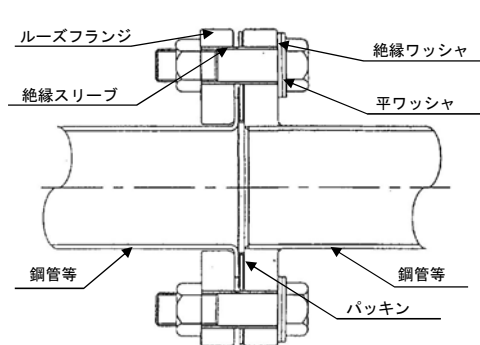


図4.3-28 絶縁パッキン施工例

b) 管対地電位分布測定

コンクリートピット貫通部の電位を事前に測定し、鉄筋切断後の電位と比較検証する。

図 4.3-29 に示すように、コンクリート貫通部の管対地電位を測定する。

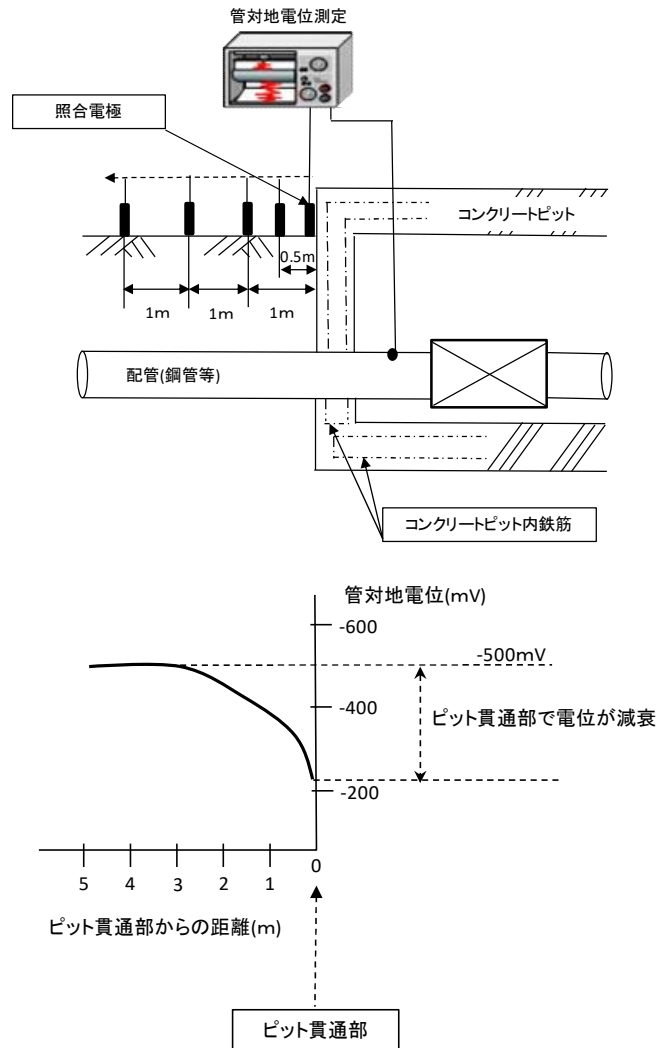


図 4.3-29 管対地電位分布測定例

c) 鉄筋位置探査

鉄筋探査機により、コンクリートピット内部から、鋼管等周囲の配筋状況を探査、マーキングし、鋼管等と導通している可能性のある鉄筋位置を把握する。

d) 完成図書と探査結果の検証

設計・完成図書の配筋図等と探査結果に基づき、鋼管等と配筋状況を踏まえ切断対象となる鉄筋を選定する。

鉄筋探査結果と設計・完成図書を基に鋼管等周囲の配筋を把握する。

コラム ～電磁波レーダーによる鉄筋位置探査について～

【電磁波レーダー法の実施手順】

- ①探査機器は、タイヤの回転を検出して水平距離を測定する距離計が設けられているため、タイヤの空転等が生じないように、壁面の清掃や平滑処理を行う。
- ②探査は対象の鉄筋に対し直角に行う必要がある。このため、測定対象とする配筋と直角方向に探査ライン（図1の例では①～③と④～⑥）を設ける。
- ③スタートラインを決定し、探査ラインに沿って探査計を走行させる。配筋状態とかぶり厚は、探査機の表示部に示される双曲線の中心までの距離により算定する。

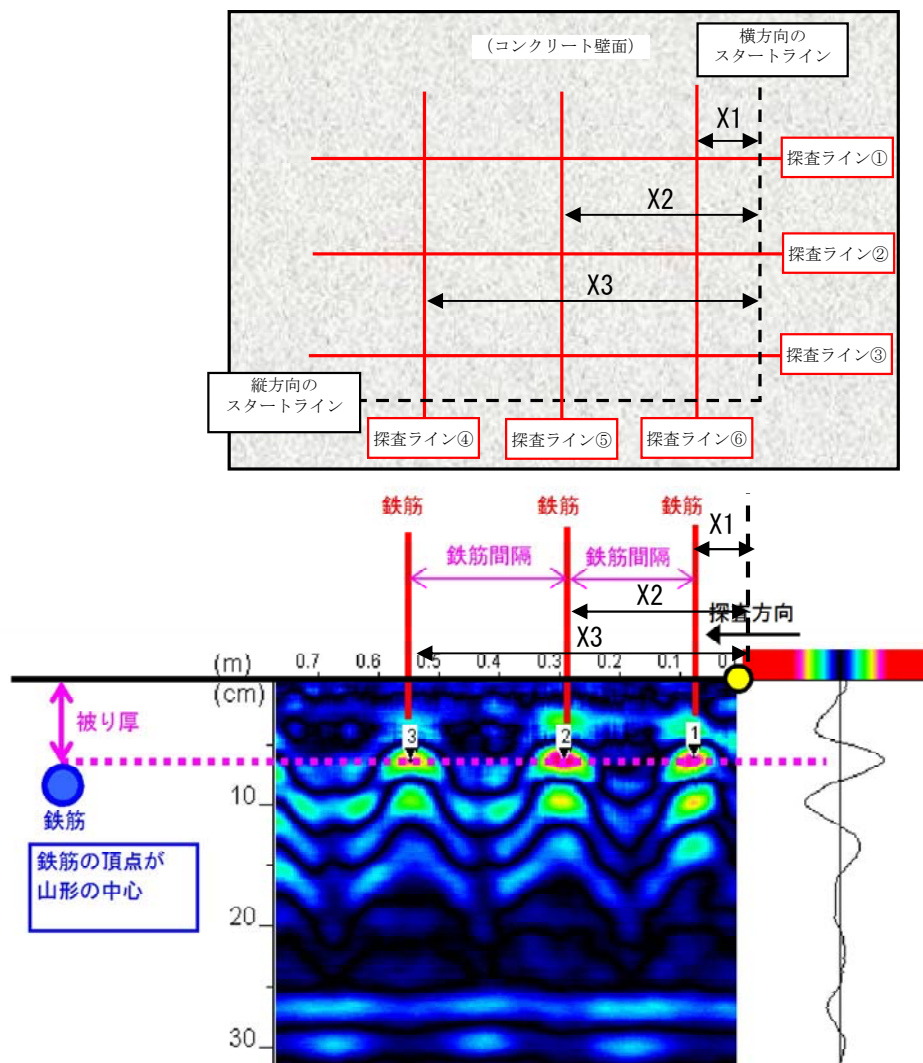


図1 電磁波レーダー探査による探査例

e) 仮通電試験

鉄筋探査後、鉄筋を一箇所ハツリ出し仮通電試験により鋼管等と鉄筋の導通の有無を確認する。



図 4.3-30 鉄筋ハツリ出し・導通確認例

f) 鉄筋切断位置決定

既設鋼管等の口径、スティフナーがある場合はスティフナーの外径を考慮し、鉄筋の切断位置を決定する。なお、鋼管等と導通している鉄筋までは特定できないことから、鋼管等と導通している可能性がある全ての鉄筋を対象とする。

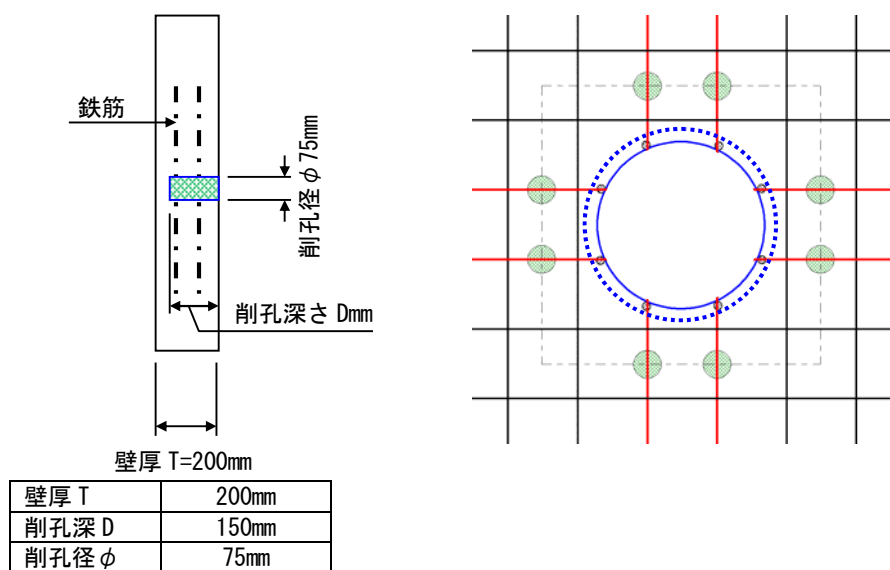


図 4.3-31 鉄筋切断位置例

g) コアドリル設置・鉄筋切断

鉄筋切断位置にコアドリルを設置し、鉄筋を切断する。その際、鉄筋の切断状況を確認する。



図 4.3-32 鉄筋切断状況例

h) 導通の有無確認

鉄筋切断工施工後、再度鋼管等と鉄筋との導通を確認し、メタルタッチ切断により電位差が改善されていることが確認できるまで g) ～h) を繰り返す。

i) コア抜き位置復旧

コア抜き位置と鉄筋はつり出し位置を断面修復材により復旧する。

2) 施工段階での留意事項

施工段階における留意事項を以下に示す。

- ・ 計画・完成図書と鉄筋探査結果を十分に吟味し、配筋状況の確認が重要となる。
- ・ コア抜き後、抜いたコンクリート塊中に切断された鉄筋が残っていることを確認する。
- ・ 配管中にフランジがない流量計用のコンクリートピットの場合、上流側・下流側のどちらで導通しているか、あるいは両方で導通しているかを特定できない。