

第5章 防食工法のモニタリング

5.1 基本的事項

防食工法のモニタリング（以降、「モニタリング」という。）は、防食工法の効果が期待される期間中、当該工法が備えるべき性能の確認を目的とし、施工時及び供用時を対象に防食工法に応じたモニタリング計画に基づき実施する。

【解説】

モニタリング計画は、防食工法を適切に評価するため、対象となる防食工法の防食機構を把握し、防食効果を発現するために必要となる性能、又は外観上の変状の程度等を対象に策定する。

モニタリング結果は、対象鋼管等の基本情報（施設基本情報・防食工法情報）や周辺状況写真・管外面（開削可能な場合）と併せて、記録様式に蓄積し、施設管理者等の関係者間で情報を共有することでリスク管理を行う。

なお、モニタリングは防食工法毎に設定された頻度で実施する。モニタリング実施後は結果の傾向分析を行い、傾向に応じた実施頻度を適宜設定する。

5.1.1 モニタリングの目的

モニタリングは、補修工法の効果が期待される期間中、供用開始後の状況変化、当初品質の維持状況を継続的に把握し、当該工法が備えるべき性能（要求性能）の照査を目的として実施する。

5.1.2 モニタリングの実施段階と手順

モニタリングの実施段階は、「防食工法施工時」と「供用時」の2段階に区分する。

「防食工法施工時」のモニタリングは、今後継続して実施するモニタリングデータの初期値を把握するために実施する。なお、初期値は防食工法施工時の性能発揮状況を把握するとともに、今後の性能低下傾向を把握するための基準値となる。

「供用時」のモニタリングは、防食工法の性能や変状の程度を把握し、防食工法の効果を適切に評価することを目的とし実施する。

モニタリングの実施手順を図 5.1-1 に示す。

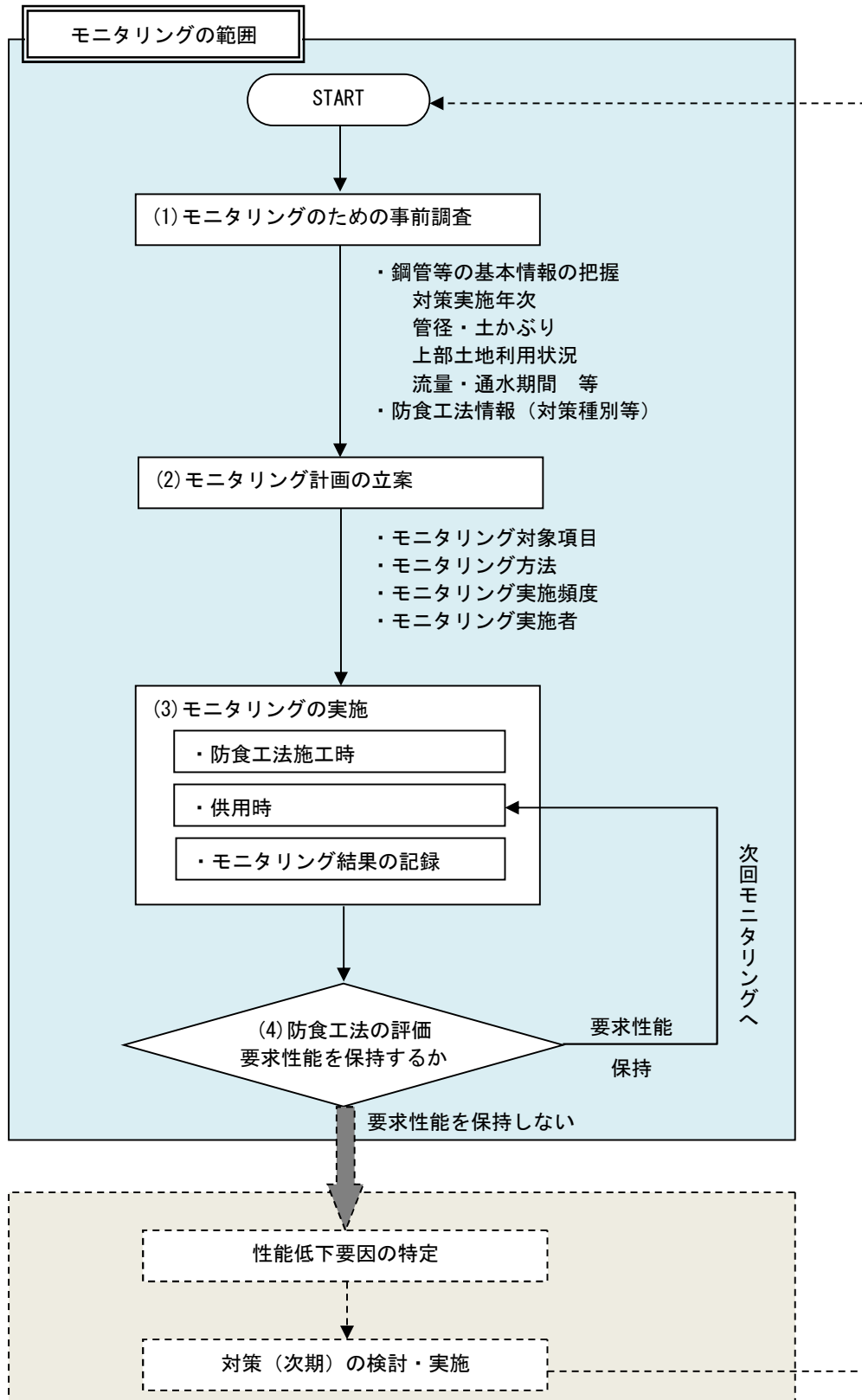


図 5.1-1 モニタリングの手順

(1) モニタリングのための事前調査

モニタリングのための事前調査では、既存資料（表 5.1-1）の収集整理により、対策を実施した鋼管等について施設基本情報、施設状態情報、防食工法情報、維持管理情報を把握する。

既存資料が十分に収集できない場合は施設管理者などへの聴き取り調査を実施し内容を把握する。

把握した内容をもとに、モニタリング計画を立案する。

表 5.1-1 事前調査の収集資料及び把握内容の資料例

情報区分	収集資料	把握内容	
施設基本 情報	工事誌、土地改良区パンフレット	基本情報	造成年次（経過年数）、施設構造 等
	設計書、出来高図面、施設管理台帳	埋設条件	上部土地利用状況、管径、土かぶり 等
	事業計画書、事業誌、河川協議書、設計書	通水条件	計画流量、通水期間 等
施設状態 情報	既往調査資料、対策工事施工記録、聴き取り	変状情報	対策実施前の変状種別・変状要因・変状の程度 施設の補修履歴、対策実施後の施設状態（不具合の有無等）
防食工法 情報	工法パンフレット、対策工事施工記録	基本情報	防食工法種別（電気防食、シートライニング工法、塗布型ライニング工法、管路更生局所補修工法） 防食工法名称、工法選定理由、防食工法の要求性能 防食工法の防食機構
	製造証明書等	材料情報	品質試験結果
維持管理 情報	聴き取り、日常管理記録	対策実施後の日常管理等で確認された不具合等	

(2) モニタリング計画の立案

モニタリング計画では、表 5.1-2 の内容について実施方針を整理する。

表 5.1-2 モニタリング計画記載項目

検討項目	検討内容
モニタリング対象施設の概要	・ 事前調査で把握した基本情報（施設基本情報・防食工法情報）、施設状況写真（対策施工完了時の写真）を示す。
モニタリング対象範囲（位置）	・ 原則として防食工法が実際された全範囲を調査対象とし、位置図と測点等の位置情報を添付する。 ・ 施工延長が長い場合は、定点を設けて調査を行う。 ・ 定点は重要施設等近接箇所や管内調査し易い箇所等を考慮し設定する。
モニタリング項目	・ モニタリング対象の防食工法に応じて適宜設定する。
モニタリング方法	・ モニタリング項目に応じたモニタリング方法を設定する。
モニタリング実施時期	・ 地上部で実施するモニタリングは特に実施時期を限定しない。 ・ 管内で実施するモニタリングは非かんがい期（通水停止期間）を原則とする。
モニタリング頻度	・ モニタリング対象の防食工法に応じて適宜設定する。
モニタリング実施者	・ 施設管理者、専門技術者等、実施者を明記する。
留意事項	・ 施設の通水条件や施設変状の有無、維持管理の状況等について施設管理者に確認する。

(3) モニタリングの実施

防食工法に応じたモニタリングを実施する（詳細は後述の「5.2 防食工法に応じたモニタリング」を参照）。

(4) モニタリング結果の記録

実施したモニタリング結果は所定の記録様式に蓄積し、防食工法の効果検証にフィードバックしていく。

記録様式を表 5.1-3～表 5.1-4 に示す。

また、作成した記録表については、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 5.1-3 電気防食 モニタリング結果記録様式

基本情報								
地区名								
施設名								
管種・口径								
土かぶり厚								
対策実施前の管対地電位								
電気防食	種別	<input type="checkbox"/> 完全防食法			<input type="checkbox"/> 近接陽極法			
	要求性能	管対地電位-850mV以下			管対地電位-600mV以下 対策前後の管対地電位差300mV超			
	W : 設計時の陽極正味質量 (kg)							
	施工年月				設計耐用年数			
モニタリング結果								
回数	実施年月日	測定者		管対地電位	要求性能に対する判定			
施工時					<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない			
1年目					<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない			
2年目					<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない			
3年目					<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない			
4年目					<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない			
5年目					<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない			
余寿命算定								
<p>①施工時 $Y_a = W_0 / (I_{mg} \times C)$ Y_a : 余寿命 [y] W_0 : 初期陽極質量 [kg] I_{mg} : 測定時陽極発生電流 [A] C : 陽極消耗率 8.0kg/A・y</p> <p>②モニタリング時(1年目以降) $Y_a = W_n / (I_{mg} \times C) - n$ W_n : 前回実施したモニタリング時の陽極残質量 [kg] n : 前回実施したモニタリングからの経過年数 [y] $W = W_n - W'_n$ W : 陽極残質量 [kg] W'_n : 前回実施したモニタリングからの陽極消耗量 [kg] $W'_n = I_{mg} \times C \times n$</p>								
回数	経過年	W0(kg)	I _{mg} (A)	n(年)	W(kg)	Y _a (年)	設計余寿命(年) 設計耐用年数-経過年	要求性能に対する判定
施工時								<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
1年目								<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
2年目								<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
3年目								<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
4年目								<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
5年目								<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
所見								
施工時								
1年目								
2年目								
3年目								
4年目								
5年目								

【凡例】 : 記載欄

表 5.1-4 塗覆装 モニタリング結果記録様式

基本情報			
地区名			
施設名			
管種・口径			
土かぶり厚			
対策実施前の写真			
塗覆装	種別	<input type="checkbox"/> シートライニング工法	<input type="checkbox"/> 塗布型ライニング工法
	細目		
	施工年月		メーカー名
	要求性能	劣化度 c 以上・ピンホールがないこと	
モニタリング手法			
地表面電位勾配	種別	<input type="checkbox"/> 直流電流による	<input type="checkbox"/> 交流電流による
塗覆装の外観	区分	<input type="checkbox"/> 開削による目視実施	<input type="checkbox"/> ピンホール探知試験 <input type="checkbox"/> 未実施
モニタリング結果（地表面電位勾配）			
回数	実施年月日	測定者	要求性能に対する判定
施工時			<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
次回			<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
計測結果図・所見を記載			
施工時	<input type="checkbox"/> 極性の変化なし（導通なし） <input type="checkbox"/> 極性の変化あり（導通あり）		
次回	<input type="checkbox"/> 極性の変化なし（導通なし） <input type="checkbox"/> 極性の変化あり（導通あり）		
モニタリング結果（塗覆装の外観）			
回数	写真	劣化度	要求性能に対する判定
施工時		<input type="checkbox"/> a	<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
		<input type="checkbox"/> b	所見
		<input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	
回数	写真	<input type="checkbox"/> a	<input type="checkbox"/> 保持 <input type="checkbox"/> 保持しない
		<input type="checkbox"/> b	所見
		<input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	

【凡例】 : 記載欄

5.2 防食工法に応じたモニタリング

モニタリングは、防食工法施工後の状況変化、当初品質の維持状況を継続的に把握し、性能などを検証するものである。

モニタリングは、各防食工法の性能の発揮状況を確認できる調査又は外観目視により行うことで、防食工法の要求性能を保持しているか否かの判定を行う。

【解説】

本節では、「第4章 対策工法」で示した①電気防食、②塗覆装の2工法を対象にモニタリング計画について記載する。

5.2.1 電気防食（流電陽極方式）

(1) モニタリングの項目と留意点

本工法に対するモニタリング項目は、防食効果の発現状況の判定指標となる管対地電位と陽極材の余寿命（下式参照）の判定指標となる陽極発生電流とする。

①施工時

$$Y_a = W_0 / (I_{mg} \times C)$$

Y_a : 余寿命 [y]

W_0 : 初期陽極質量 [kg]

I_{mg} : 測定時陽極発生電流 [A]

C : 陽極消耗率 8.0kg/A・y

②モニタリング時（1年目以降）

$$Y_a = W_n / (I_{mg} \times C) - n$$

W_n : 前回実施したモニタリング時の陽極残質量 [kg]

n : 前回実施したモニタリングからの経過年数 [y]

$$W = W_n - W'_n$$

W : 陽極残質量 [kg]

W'_n : 前回実施したモニタリングからの陽極消耗量 [kg]

$$W'_n = I_{mg} \times C \times n$$

計測結果に急激な低下傾向が認められる場合は、原因究明のための詳細調査の要否を検討する。

管対地電位の測定位置は原則として埋設型照合電極を活用するが、ない場合は常に同位置で実施可能となるように、図面に測定位置を明記する。

(2) モニタリング方法

モニタリング方法を表 5.2-1 に示す。なお、モニタリング方法の詳細は表中に記載の本マニュアルの該当頁を参照されたい。

表 5.2-1 電気防食（流電陽極方式）のモニタリング

モニタリング項目	モニタリング方法	参照頁
管対地電位	管対地電位測定	第3章 3.3.1 管対地電位（分布）測定
陽極発生電流	陽極発生電流測定	下記1) 陽極発生電流測定

1) 陽極発生電流測定

陽極発生電流測定は、ターミナルボックス内又はコンクリートピット内でボルト締め結線している陽極と鋼管等のリード線をシャント抵抗器（又は零抵抗電流計）を介して接続し、高感度電圧記録計で陽極発生電流を記録する。

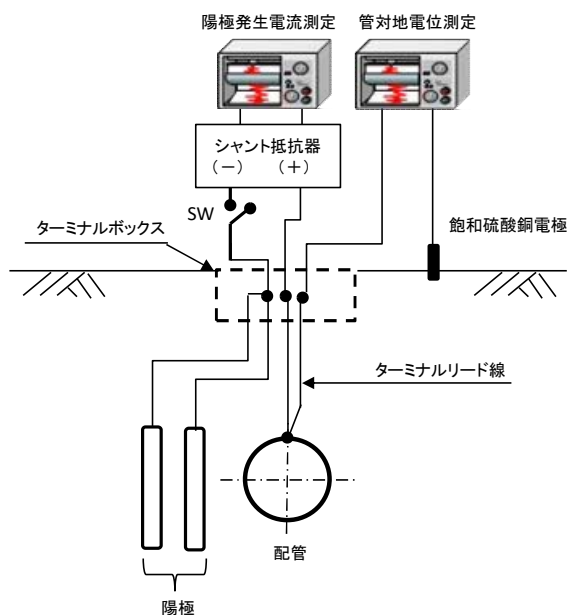


図 5.2-1 陽極発生電流測定（例）

(3) 評価及び判定

1) 管対地電位

モニタリング結果の評価及び判定は、適用された電気防食種別に応じて表 5.2-2 のとおり実施する。

表 5.2-2 管対地電位測定結果の評価と判定

種別	区分	評価	判定
完全防食法	—	-850mV 以下	要求性能を保持
		-850mV 超過	要求性能を保持しない
近接陽極法	①	-600mV 以下	要求性能を保持
		-600mV 超過	要求性能を保持しない
	②	対策前後の管対地電位差 300mV 以上	要求性能を保持
		対策前後の管対地電位差 300mV 未満	要求性能を保持しない

※近接陽極法の区分は、採用されている防食達成基準（①自然電位である-600mV 以下、②自然電位より-300mV マイナス側に変化）により選定する。

2) 陽極発生電流

モニタリング結果の評価及び判定は表 5.2-3 のとおり実施する。

表 5.2-3 陽極発生電流測定結果の評価と判定

評 価	判 定
余寿命 (2~3*年以上)	要求性能を保持
余寿命 (2~3*年未満)	要求性能を保持しているが、モニタリングを半年に1回実施 *改修・更新を含めた再対策実施時期を検討する。
余寿命なし	要求性能を保持しない

※今後の保全計画等の計画を踏まえ、適宜設定する。

(4) モニタリングの頻度

モニタリングの頻度は防食工法の防食機構を踏まえ、防食工法の効果、変状の有無や進行性等を継続的に評価・判定するため表 5.2-4 のように設定する。

なお、余寿命が2~3*年になった場合、モニタリングの実施頻度を上げ防食工法の効果が期待される期間に対する監視体制を強化する。

表 5.2-4 モニタリングの頻度

区 分	実施頻度
施工時	施工完了後（初期値の把握）
初期値把握後	1年~複数年に1回
余寿命が2~3*年未満となったとき	半年に1回 改修・更新を含めた再対策の実施時期を検討する

5.2.2 塗覆装

(1) モニタリングの項目と留意点

塗覆装で被覆している鋼管に直流又は交流電流を通電すると、塗覆装が健全な部位は抵抗が高いので鋼面への流入電流が小さく、塗覆装に損傷部があると健全な部位と比べ抵抗が小さくなり流入電流が大きくなる。流入電流の大きい部位は、図 5.2-2 に示すように地表面電位勾配にも変化（極性の変化）が生じる。

このため、塗覆装に対するモニタリング項目は、塗覆装の損傷の有無の判定指標となる地表面電位勾配とする。

また、塗覆装施工箇所周辺の開削が可能で塗覆装の状態を直接的に目視できる場合は、塗覆装の外観（膨れ、剥れ、亀裂等の有無や程度）、膜厚についてもモニタリング項目とする。

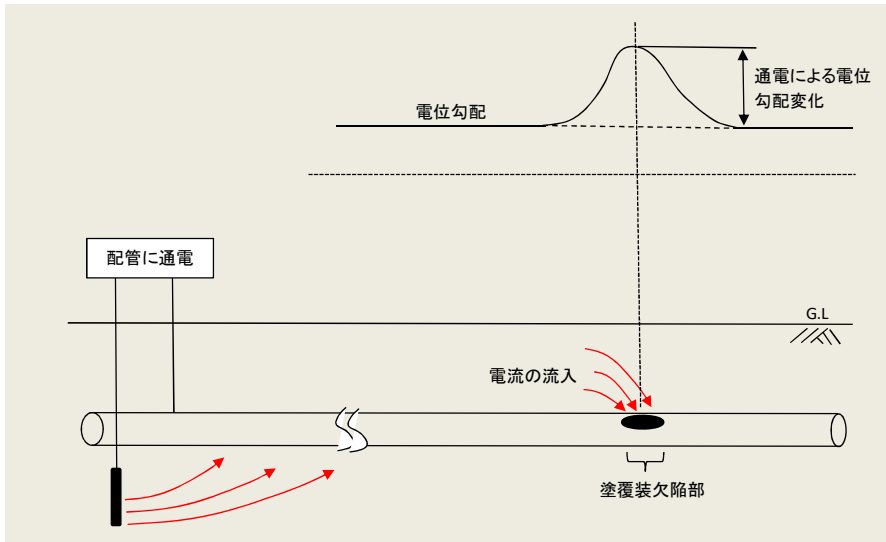


図 5.2-2 通電による地表面電位勾配の変化

塗覆装のモニタリングを実施する際の留意点を以下に示す。

- 1) モニタリング地点近隣に鋼管とコンクリート中の鉄筋等がメタルタッチしている箇所がある場合、通電電流の大部分が鉄筋に流入してしまい塗覆装の損傷に起因する地表面電位勾配の極性の変化が現れないため、このような地点でのモニタリングは実施できない。
- 2) 塗覆装を施した鋼管近傍に他の埋設鋼管が敷設されている場合、地表面電位勾配の極性の変化が生じるため、事前に周辺の配管状況を把握しておく必要がある。

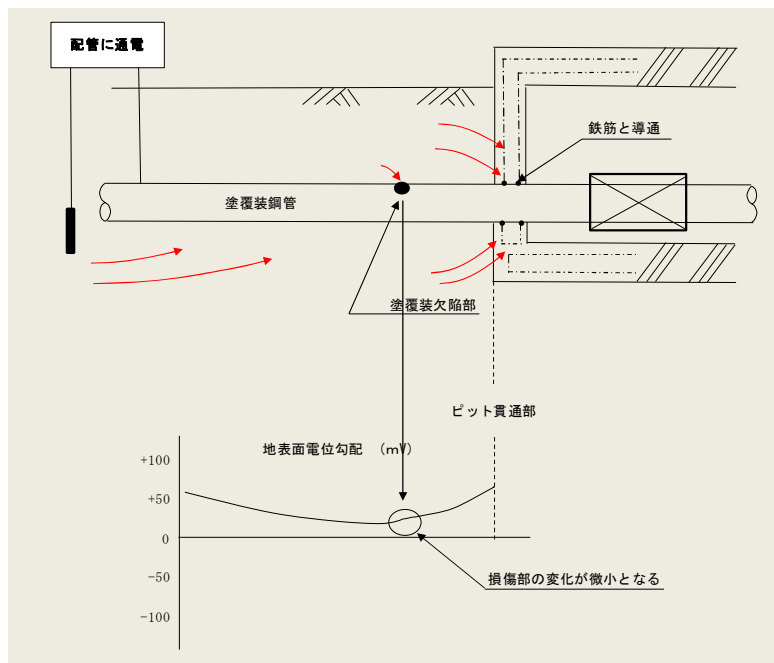


図 5.2-3 鋼管と鉄筋がメタルタッチしている場合の地表面電位勾配例

(2) モニタリング方法

1) 地表面電位勾配

モニタリング方法は通電する電流種別に応じて表 5.2-5 に示す方法がある。

モニタリング方法の詳細は表中に記載の本マニュアル（案）の該当頁を参照されたい。

表 5.2-5 地表面電位勾配のモニタリング方法

モニタリング項目	通電する電流種別	モニタリング方法	参照頁
地表面電位勾配	直流電流	塗覆装損傷調査	第3章 3.3.5 (1) 鋼管に直流電流を通電する方法 (地表面電位勾配測定)
	交流電流	塗覆装損傷調査	第3章 3.3.5 (2) 鋼管に交流電流を通電する方法

2) 塗覆装の外観

塗覆装の外観に対するモニタリング方法は表 5.2-6 のとおり目視と簡易計測とする。

表 5.2-6 塗覆装の外観を対象としたモニタリング方法

モニタリング項目	想定される変状	モニタリング方法	使用機器
塗覆装の外観	歪み、へこみ、剥離、亀裂 焼損、めくれ、剥がれ	目視	—
	ピンホール	ピンホール探知検査	ピンホール探知機

(3) 評価及び判定

モニタリング結果の評価及び判定は表 5.2-7～表 5.2-8 のとおり実施する。

1) 地表面電位勾配

表 5.2-7 地表面電位勾配測定結果の評価と判定

評 価	判 定
極性の変化なし	要求性能を保持
極性の変化あり	要求性能を保持しない

2) 塗覆装の外観

表 5.2-8 外観目視結果の評価と判定

評 価	判 定
劣化度 c、d	要求性能を保持
劣化度 a、b	要求性能を保持しない（防食性能の低下・著しい低下あり）

*劣化度の区分は表 5.2-9。

表 5.2-9 劣化度判定基準

劣化度	判定基準	参考：対策工例
a	剥がれや欠陥が著しく、鋼材が露出し錆が生じている。	全面的な対策（補修）を実施
b	一部に鋼材まで達する亀裂や剥落等が生じ、わずかに錆が認められる。	劣化した箇所の対策（補修）を実施
c	一部に鋼材まで達していない亀裂や剥落等が点状している。	補修は不要だが、モニタリング頻度を高める等の配慮が望まれる。
d	初期状態とほとんど変化なく、健全な状態。	モニタリングを継続する。

(4) モニタリングの実施時期

モニタリングの実施時期は防食工法の防食機構を踏まえ、防食工法の効果等の評価・判定するため表 5.2-10 のように設定する。

表 5.2-10 モニタリングの実施時期

区 分	実施時期
施工時	施工完了後（初期値の把握）
初期値把握後	塗覆装を実施した鋼管を露出させる（開削する）土工事等があった場合に適宜*

* 周辺で土工事等がある場合は、原則として事前に施工実施機関と施工計画を検討し、塗覆装対策区間に影響が生じないようにするが、塗覆装を損傷してしまう可能性が否定できないため、影響が生じていないことを確認する目的で施工者側とモニタリング実施の調整を図る。

5.3 対策（次期）

次期の対策は、モニタリングの結果「要求性能を保持しない」と評価された場合に実施する再対策である。

次期対策は、改修・更新の可能性、実施済みの防食工法の適否も含めて検討を行う。

【解説】

モニタリング結果を踏まえ性能低下の要因（施工不良によるもの、材料不良によるもの、想定外の腐食環境等）を特定した上で、今後の残供用期間や経済性、維持管理性、発生している変状の程度等を総合的に考慮し、次期の対策の区分（「部分的な補修」、「全面的な再対策」、「鋼管等の改修・更新」等）や種別（同一工法、他工法）を検討する。

特に、モニタリングの結果、早期に劣化や変状が確認された場合は、実施済みの防食工法の適否を慎重に検討する必要がある。