

第3章 詳細調査

3.1 基本的事項

詳細調査は、既往の機能診断結果等を活用し、腐食機構の特定、腐食対策の要否判定、対策実施範囲の概定を目的に実施するもので、その内容から腐食環境調査と腐食状態調査に大別される。

腐食環境調査は、施設構造条件や設置環境に着目して腐食機構を推定し、これを確認することを目的とする。また、腐食状態調査は腐食対策の要否判定、対策の実施範囲の概定を目的に実施する。

【解説】

3.1.1 機能診断調査・評価

機能診断調査の目的は、対象施設の機能の状態、劣化状況等を把握し、対象となる農業水利施設の機能全般について把握するとともに、性能低下予測や劣化要因の特定及び防食工法の検討に必要な事項について調査を行うものである。

鋼管等の機能診断調査は、これらの調査を効率的に進める観点から

- ①資料収集や施設管理者からの聴き取りによる事前調査
- ②埋設位置の地上状況や附帯施設の巡回目視による概況の把握を行う現地踏査
- ③近接目視、計測・試験等により定量的な調査を行う現地調査

の3段階で実施することを基本とし、主として表 3.1-1 の内容について実施している（※表 3.1-1 では鋼管等の腐食に関わる調査を抽出している）。

表 3.1-1 「農業水利施設の機能保全の手引き」による機能診断調査の目的と内容

項 目	目的及び内容
事前調査	【調査目的】対象施設の施設概要と想定される腐食機構の把握 【調査内容】下記資料を収集整理し、施設概要等を把握する。 ①設計、施工に係る資料 ・パイプラインの設計図書（設計図、業務報告書）、完成図書（竣工図、施工記録等）、地形・地質データや当時の設計基準、施工方法・技術、使用材料、施工年月及び事業誌、工事誌、用地関係の資料等から、施設の概要やコンクリートピット貫通部の有無等を把握する。 ②事故履歴・補修履歴に係る資料 ・破損の状態、補修・補強の方法、場所等を平面図、縦断図に記入するなどして整理し、範囲ごとの変状の特徴等の分析を行う。 ③埋設環境に係る資料 ・土質、地下水の水質、電気化学的特性（鉄道・変電所等の有無）等から、対象施設に生じている可能性がある腐食機構を推定する。 ④施設管理者に対する問診調査 ・施設に生じている変状の概要、腐食による漏水事故の発生の有無と腐食要因
現地踏査	【調査目的】腐食が疑われる区間及び腐食発生原因の概定、現地調査計画の立案（調査地点、調査内容、必要な仮設計画等の選定） 【調査内容】配管ルート、コンクリートピット貫通部（附帯施設内部）の状況、調査個所の土地利用状況、調査個所の作業スペース 等を確認する。
現地調査	【調査目的】事前調査や現地踏査で得られた情報を踏まえ、対象施設の腐食状態等を把握し、想定される腐食機構を推定する。 【調査内容】管内調査による管内面の発錆状況（大口径管路のみ）、試掘による管外面の腐食深さ（詳細調査であり必ず実施する内容ではない）を把握する。また、これまでの事前調査、現地踏査結果を考慮し腐食機構を推定する。

また、機能診断調査結果に基づき、表 3.1-2 に示す評価表により施設状態評価（健全度評価）を実施している。

表 3.1-2 「農業水利施設の機能保全の手引き」によるパイプラインの施設状態評価表

地区名				評価年月日			
施設名				評価者			
定 点 番 号				調 査 地 点			
施設状態		S-5:変状なし S-4:変状兆候 S-3:変状あり S-2:顕著な変状あり S-1:重大な変状あり		調 査 点 等			
評価項目		評価区分				評価の流れ→	
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2	変状別	要因別
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2	変状別	要因別
漏水		漏水の進行(全管種)※1	無	-	有	-	-
管内面調査	管路の変状	ひび割れ(RC,PC,ACP)	無	-	有	-	-
		ひび割れ(FRPM)	無	-	-	有	-
		沈下(全管種)	無	0～10cm未満	10cm以上～20cm未満	20cm以上	-
		進行性(全管種)	有りの場合1ランクダウン				-
		継手曲げ角度(SP以外)	許容曲げ角度の1/2以内	許容曲げ角度以内	許容角度超や芯ずれ等で浸入水・不明水あり	-	-
		進行性	有りの場合1ランクダウン				-
		継手間隔等(溶接又は接着継手は除く)	施工管理基準規格値内	規格値外だが侵入水・不明水なし	大幅・全面的に規格値外等で浸入水・不明水あり	-	-
		進行性	有りの場合1ランクダウン				-
		発錆状況(SP,DCIP)	無	軽微な錆が点在	一定範囲で全体的に錆が確認される	-	-
		進行性	有りの場合1ランクダウン				-
たわみ量(SP,DCIP,FRPM)		4%以内	4%超5%以内	5%超	-	-	
進行性		有りの場合1ランクダウン				-	
テストバンド(φ900mm以上ソケットタイプ)(静水圧で5分間放置後の水圧)		80%超	-	80%以下	-	-	
※1漏水については施工時(初期値)と比較して漏水量が増えている場合“有”とする。ただし、施工時(初期値)がない場合は、許容減水量(土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」を参照)を越える場合を“有”と判断する。							
詳細調査※2	試験調査	鉄鋼系管路外観調査(SP)	変状なし	腐食代2mm以内	腐食代2mm超	貫通孔あり	-
		PC管外観調査(中性化残り)	中性化残り10mm以上	-	中性化残り又はカバークート厚10mm未満	PC鋼線腐食・破断	-
※2管内面調査や事前調査結果から、詳細調査を行うか判断する。							
(評価の流れにおける、主要因別評価及び施設状態評価の判定の考え方)							

参考情報				備考		
調査項目				備考		
漏水事故の状況(同一路線で過去に起きた事故件数)						
現地踏査	周辺地盤の沈下等(全管種)		無	有		
	上部及び周辺の土地利用(全管種)		変化なし	荷重増		
事前調査	腐食※3環境調査	土質調査(PC,SP,DCIP)	腐食土壌でない	腐食性土壌		
		周辺調査(SP,DCIP)	迷走電流の可能性なし	迷走電流の可能性あり		
	問診調査	供用年数				
	バルブの使用頻度と位置(FRPM,PVC)		近くにあるバルブはほとんど使用しない	近くに頻繁に使用するバルブがある		
※3腐食性土壌の懸念がある場合には、必要に応じて土壌調査を行い、試験調査を行うか判断する。						

注1) 変状別評価から主要因別評価を行う場合は、最も健全度が低い評価を代表値とする。総合評価については、今後の性能低下により影響されと思われる支配的要因を検討し、その評価区分を採用する。また、参考情報についても加味し考えることができる。

注2) S-1の評価は、この評価表に依らず評価者が技術的観点から個別に判定する。

【凡例】 : 鋼管等の腐食に関わる評価項目

3.1.2 詳細調査

詳細調査は、「農業水利施設の機能保全の手引き」に基づく機能診断調査（事前調査、現地踏査結果、現地調査）及び施設状態評価より推定した腐食機構の特定と対策の要否判定のための調査であり、その目的から【腐食環境調査】、【腐食状態調査】、【防食工法検討のための調査】に大別される。

なお、詳細調査の実施に当たっては、施設の基本条件や機能診断結果が蓄積されている農業水利ストック情報データベース等を活用し、鋼管等に生じている腐食機構を推定したうえで実施する。

(1) 腐食環境調査

腐食環境調査は、鋼管等又は土壌の電氣的性状に関する腐食機構の特定（図 3.1-1 の①～⑤）と腐食環境の程度（図 3.1-1 の⑥～⑧）の把握を目的として実施する。各調査方法の詳細は「3.3 腐食環境調査」で詳述する。

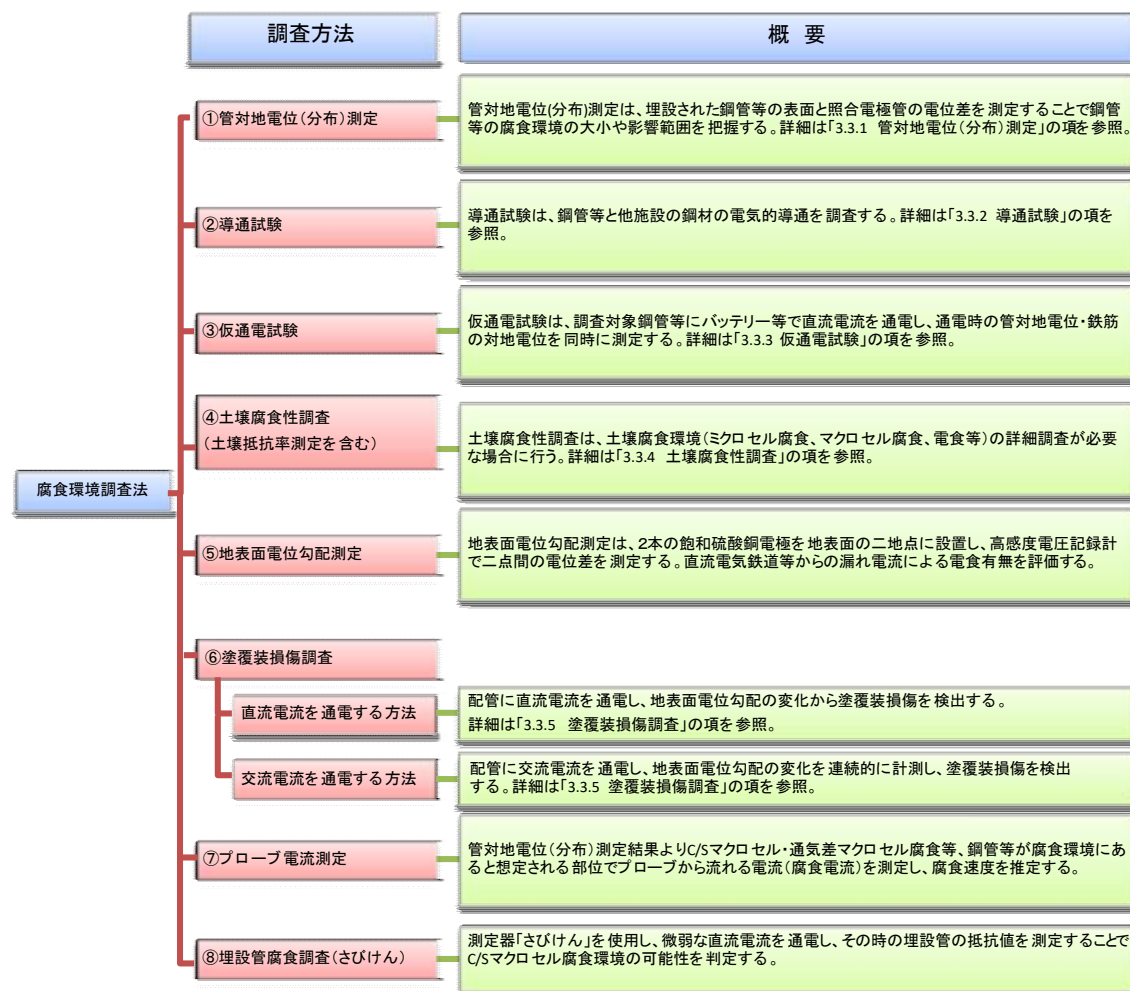


図 3.1-1 腐食環境調査の調査方法

①管対地電位（分布）測定（管対地電位測定と管対地電位分布測定の総称として記載）、②導通試験、③仮通電試験、④土壌腐食性調査（土壌抵抗率測定を含む）、⑤地表面電位勾配測定は腐食機構を特定するための調査であり、想定される腐食機構に応じて適用が異なることに

留意する。

なお、管対地電位（分布）測定は、本マニュアルにおいて表 3.1-3 のように用語を使い分け
ている。

表 3.1-3 管対地電位（分布）測定について

用 語	考 え 方
管対地電位（分布）測定	・管対地電位測定と管対地電位分布測定双方に共通する記載を行う場合に使用。
管対地電位測定	・1 地点で管対地電位測定を行い、1 地点の測定結果から腐食機構を判断する。 ・本マニュアルにおいて、1 地点での測定に係る内容を示す場合に使用。
管対地電位分布測定	・複数地点で管対地電位測定を行い、複数地点の管対地電位の分布状況や電位 差から腐食機構を判断する。 ・マニュアルの解説において、複数地点での測定に係る内容を示す場合に使用。

直流電気鉄道等からの迷走電流による電食の有無を評価する調査には、①管対地電位測定
（電位変動が 50mV 以上であるか）又は⑤地表面電位勾配測定があるが、本マニュアルでは、
①管対地電位測定を適用する（図 3.2-1）。

また、⑥塗覆装損傷調査と⑦プローブ電流測定は腐食環境の程度を把握するための調査であ
り、腐食環境の程度に応じて対策の要否判定を行うための試掘調査（近接目視）を実施する箇
所を概定したい場合に実施するが、⑥塗覆装損傷調査の方が開削箇所を的確に設定できる。

⑧埋設管腐食調査（さびけん）は、小口径（100mm 以下）の SGP 白管（溶融亜鉛メッキ鋼管）
にのみ適用する調査方法であり、①管対地電位分布測定で代替できる。

このため、⑤地表面電位勾配測定、⑦プローブ電流測定、⑧埋設管腐食調査（さびけん）は
本マニュアルの対象外とする。

腐食機構と調査方法適用の組合せは表 3.1-4。

表 3.1-4 腐食機構と調査方法適用の組合せ

腐食機構 調査方法	マクロセル腐食		ミクロセル腐食	微生物腐食	電 食
	C/S マクロセル腐食	異種金属接触腐食 通気差マクロセル腐食	特殊土壌腐食 一般土壌腐食		
管対地電位分布測定	●	○	—	—	—
管対地電位測定	—	—	—	—	○
導通試験	○	—	—	—	—
仮通電試験	○	△	△	△	△
土壌腐食性調査 （土壌抵抗率測定）	△	△	●	●	△
土壌腐食性調査 （土壌抵抗率測定以外）	—	—	○	○	—

凡例： ○腐食環境の把握に必要、—：実施しなくても良い、

△対策（電気防食工法）検討時に必要、

●腐食環境の把握及び対策（電気防食工法）検討時に必要

(2) 腐食状態調査

腐食状態調査とは、鋼管等の管厚や腐食範囲から腐食状態を把握し、評価するものである。腐食状態調査は、図 3.1-2 に示すように外観目視調査、部材厚（管厚）測定及び探傷調査に大別される。なお、各調査方法の詳細は「3.4 腐食状態調査」で詳述する。

外観目視調査は、配管埋設深度まで掘削し、管外面の塗装・腐食状況、発錆状況の目視及び簡易計測を行うことを目的に実施する。デプスゲージやスケール等を用いて腐食深さや腐食の発生範囲を把握する。

管厚測定は、超音波により鋼管等の管厚（腐食深さ）を把握することを目的に実施する。

探傷調査は、鋼管等に生じた傷や腐食部を検出することを目的に実施する。

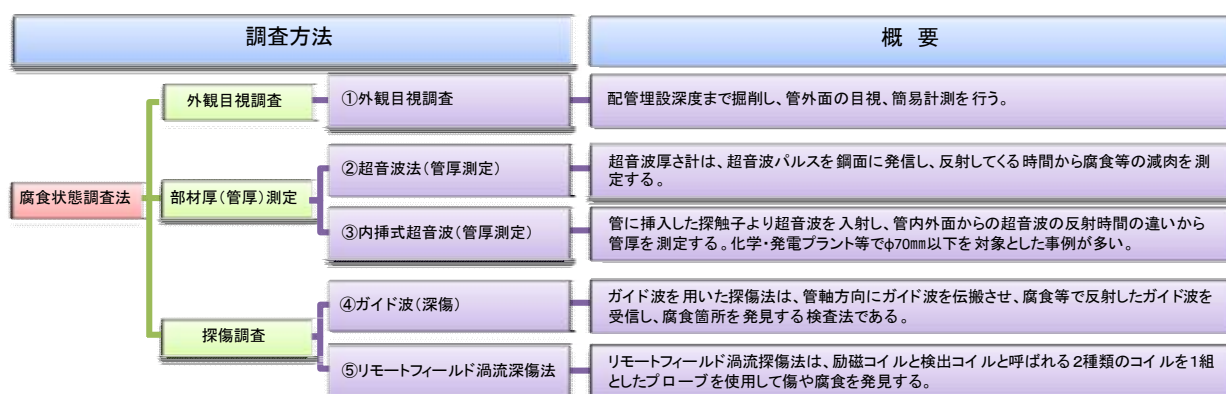


図 3.1-2 腐食状態調査の調査方法

なお、部材厚（管厚）測定の中の③内挿式超音波、及び探傷調査（④ガイド波、⑤リモートフィールド渦流探傷法）は、未だ手法として確立されておらず研究開発段階であること、また、適用条件が極めて限定的な技術であるため、本マニュアルでは腐食状態調査として②超音波法（管厚測定）について解説する。

(3) 防食工法検討のための調査

防食工法として電気防食を採用する場合、必要な防食電流を決定することを目的に仮通電試験、管対地電位分布測定と土壤抵抗率測定を実施する。

なお、各調査とも腐食環境調査（土壤抵抗率測定は、腐食環境調査である土壤腐食性調査の中に含まれる）にも位置づけられることから、本マニュアルでは腐食環境調査の項目で詳述している。

(4) 詳細調査データの整理

詳細調査で得られるデータは、表 3.1-5 を参考に採用値を整理する。

表 3.1-5 詳細調査データの整理例

詳細調査方法	調査データの整理
腐食環境調査	
管対地電位（分布）測定	実施する測定は1回、測定値＝採用値とする ※詳細は各調査方法の標準調査ピッチを参照。
導通試験	
仮通電試験	
土壌腐食性調査 （土壌抵抗率測定（4電極法）を含む）	
塗覆装損傷調査 （直流電流を通電する方法）	
塗覆装損傷調査 （交流電流を通電する方法）	1 地点当たり2回（2側線）の測定を標準とする 2 回の測定を総合的に評価し、塗覆装損傷部を概定する
土壌腐食性調査 （土壌抵抗率測定（土壌杖法））	1 地点当たり3回の測定を標準とする 3 回の平均をもって採用値とする
腐食状態調査	
超音波法（管厚測定）	1 地点当たり3回の測定を標準とする 3 回の平均値をもって採用値とする

3.2 詳細調査の実施手順

鋼管等に腐食発生が予測される場合は、想定される腐食機構（C/Sマクロセル腐食、ミクロセル腐食、微生物腐食、電食、異種金属接触腐食、通気差マクロセル腐食）を特定する腐食環境調査を実施したうえで、腐食状態調査を行い腐食対策の要否を判定する。

【解説】

鋼管等に腐食の発生が予測される場合は、機能診断結果等から鋼管等に生じている腐食機構（ミクロセル腐食、C/S マクロセル腐食、異種金属接触腐食、通気差マクロセル腐食、微生物腐食、電食）を推定し、図 3.2-1 の A（腐食発生の予測調査）に基づき、腐食機構を特定する詳細調査（管対地電位（分布）測定、導通試験、仮通電試験、土壤腐食性調査、土質調査等）を実施した上で、図 3.2-1 の B（腐食防止対策の必要性調査）に基づく腐食状態に応じて腐食防止対策の要否を判定する。

C/S マクロセル腐食が予測される場合は、コンクリートピット付近を開削し、近接目視により塗覆装の損傷状況やデプスゲージにより腐食深さの確認を行い、腐食状態に応じて腐食防止対策の要否を判定する。

メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食以外が予想される場合は、塗覆装損傷調査を実施し、腐食環境の程度を把握する。その結果から塗覆装の損傷箇所を絞り込んだ上で管路周辺を開削し、近接目視、簡易測定又は超音波法により塗覆装の損傷状況確認や管厚測定を行い、腐食状態に応じて腐食防止対策の要否を判定する。塗覆装損傷調査の結果、塗覆装損傷箇所が判断し難い場合、また、調査対象がダクタイル鋳鉄管の場合は、延長 1km 当たり 5 箇所程度開削箇所を設定する（詳細は WSP081-2019 鋼管路の更新・診断マニュアル 第 2 部 鋼管路の補修参照）。

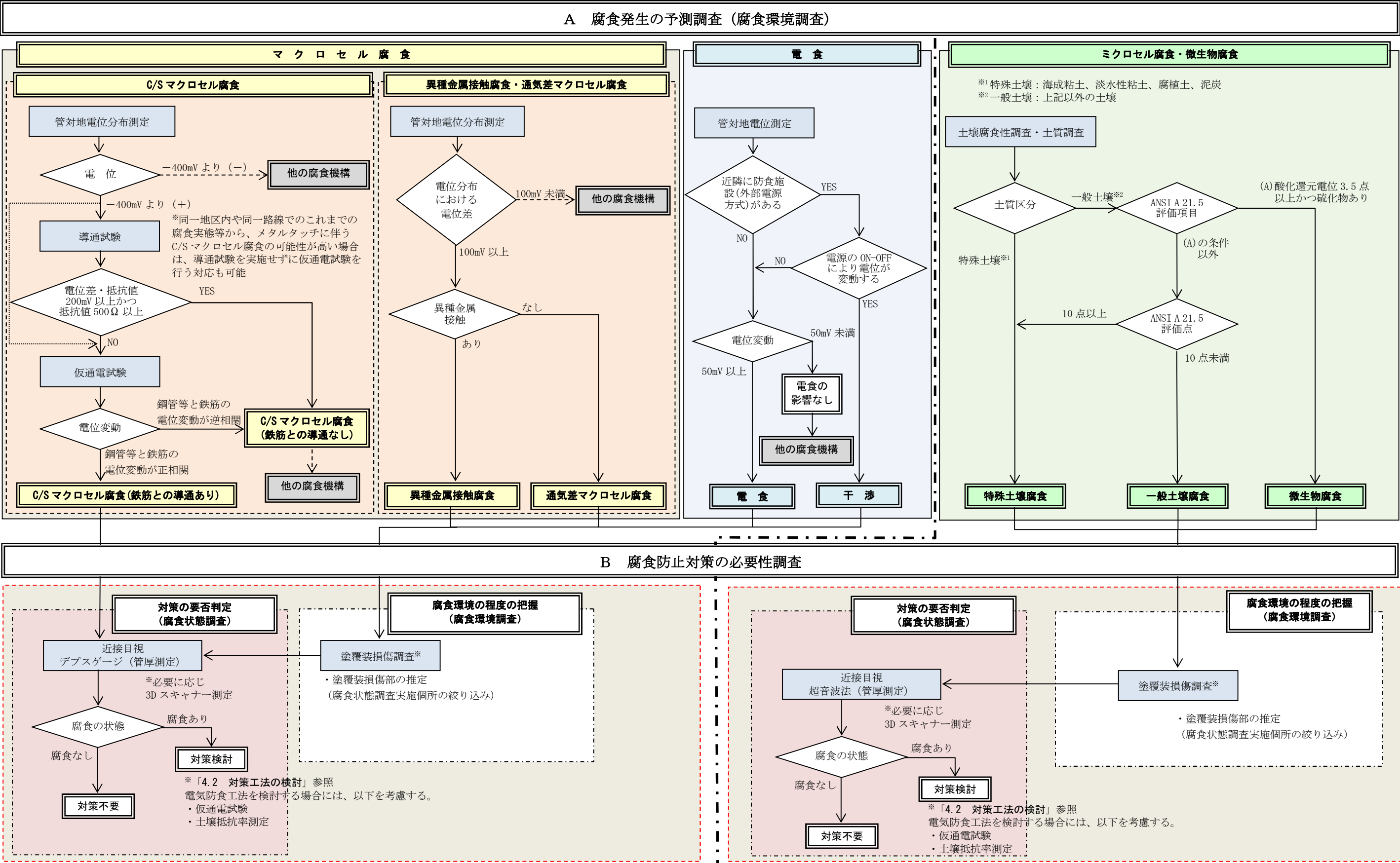
防食工法として電気防食を選定した場合は、電気防食設計のために以下の詳細調査を実施する（腐食機構の特定のために調査を実施している場合は、調査結果を活用する）。

表 3.2-1 電気防食に必要な詳細調査

電気防食	必要な詳細調査
近接陽極法	管対地電位分布測定、土壤抵抗率測定
完全防食法	仮通電試験、土壤抵抗率測定

なお、腐食発生が予測されるが現場状況から開削が困難な場合は、腐食環境調査の結果、同一路線や同一地区内での腐食による漏水事故の有無や頻度、施設の重要度等を考慮し、腐食防止対策の要否を判断し、適切な対応を行う必要がある。

注) 防食工法選定の詳細は「4.2 対策工法の検討」を参照。



B 腐食防止対策の必要性調査

対策の要否判定（腐食状態調査）

近接目視
デプスゲージ（管厚測定）

※必要に応じ 3D スキャナー測定

腐食の状態

腐食あり → 対策検討

腐食なし → 対策不要

※「4.2 対策工法の検討」参照
電気防食工法を検討する場合には、以下を考慮する。
・仮通電試験
・土壌抵抗率測定

腐食環境の程度の把握（腐食環境調査）

塗覆装損傷調査※

・塗覆装損傷部の推定
（腐食状態調査実施個所の絞り込み）

対策の要否判定（腐食状態調査）

近接目視
超音波法（管厚測定）

※必要に応じ 3D スキャナー測定

腐食の状態

腐食あり → 対策検討

腐食なし → 対策不要

※「4.2 対策工法の検討」参照
電気防食工法を検討する場合には、以下を考慮する。
・仮通電試験
・土壌抵抗率測定

腐食環境の程度の把握（腐食環境調査）

塗覆装損傷調査※

・塗覆装損傷部の推定
（腐食状態調査実施個所の絞り込み）

図 3.2-1 詳細調査の実施手順

3.3 腐食環境調査

腐食環境調査は、腐食機構の特定又は腐食環境の程度の把握を目的として実施する。

腐食機構の特定のための調査は、管対地電位（分布）測定、導通試験、仮通電試験、土壌腐食性調査（土壌抵抗率測定を含む）がある。

腐食環境程度の把握調査は、塗覆装損傷調査がある。

【解説】

3.3.1 管対地電位（分布）測定

(1) 適用条件

管対地電位（分布）測定は、管対地電位分布測定と管対地電位測定の総称として記載している。両者の適用区分は以下のとおり。

管対地電位分布測定：C/S マクロセル腐食、異種金属接触腐食、通気差マクロセル腐食
管対地電位測定：電食

なお、管対地電位（分布）測定の適用に当たっては、以下の点に留意する。

1) 調査結果

本調査結果はマクロセル腐食環境の有無と腐食環境の範囲を示すものであるが、メタルタッチに伴うマクロセル腐食であるかは導通試験、仮通電試験を実施し判断する必要がある。

2) 照合電極の設置位置

管対地電位（分布）測定は、鋼管等表面と電解質（土壌）を介した飽和硫酸銅照合電極（以降、照合電極と記載）の電位差を測定するもので、照合電極と鋼管等との距離が重要となる。図 3.3-1 に示すように、鋼管等直上と離れた位置に照合電極を設置した場合、照合電極と鋼管等表面との距離が離れ、土壌の抵抗が大きくなり電圧降下による測定誤差が生じる。このため、照合電極はできるだけ鋼管等に近い位置（地表面で測定する場合は管の直上・掘削孔内で測定する場合は鋼管等近傍）に設置する。

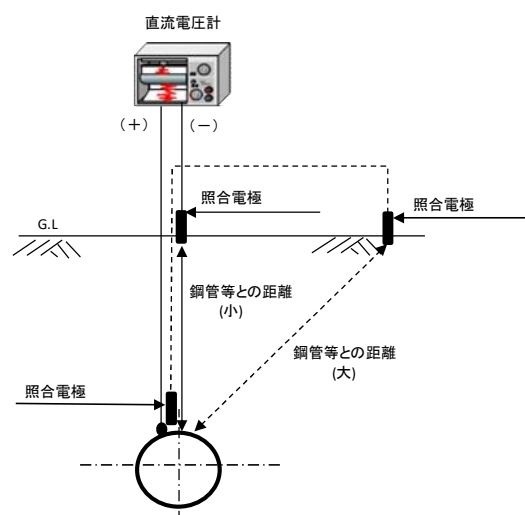


図 3.3-1 管対地電位（分布）測定概略図

(2) 調査要領

1) 調査概要

管対地電位とは、埋設された鋼管等の表面と地盤に設置した照合電極間の電位差であり、無防食鋼管等の場合、この値を自然電位（表 3.3-1）と呼ぶ。管対地電位（分布）測定とは、この自然電位を測定することで鋼管等の腐食環境を把握するものである（図 3.3-2）。

表 3.3-1 異なる環境における鋼管(鉄)の自然電位（照合電極基準）

外部環境	鉄の自然電位 (mV)
粘土・ローム	-700～-800
山砂	-400～-600
コンクリート	-200 程度

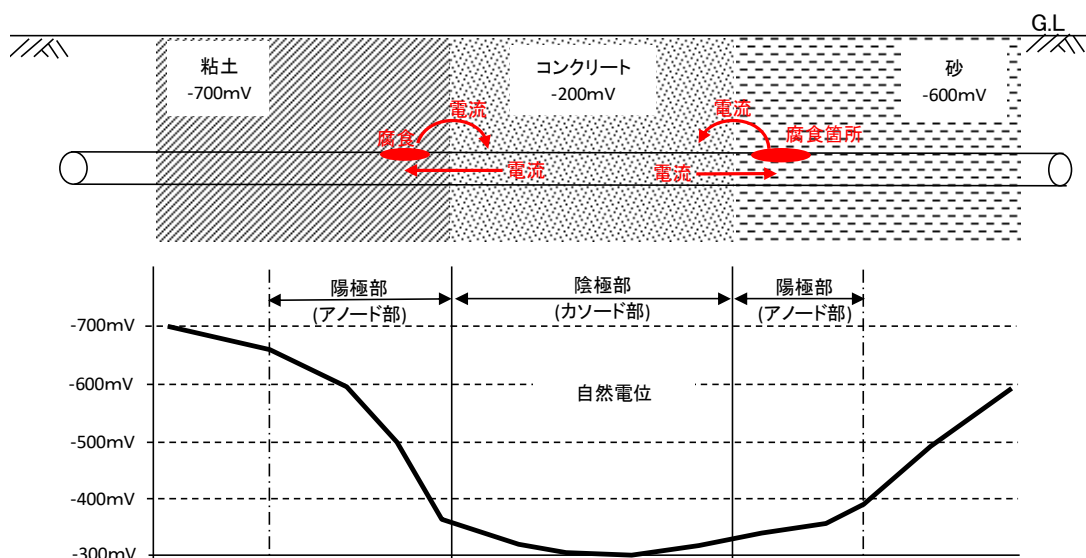


図 3.3-2 異なる環境中における鋼管(鉄)の自然電位（照合電極基準）例

具体的には、管対地電位（分布）測定では、管対地電位と管対地電位分布の測定を行い、鋼管等の管対地電位が埋設延長に対し変化しているかを調べ、マクロセル腐食等の腐食環境に置かれている範囲を把握するものである（図 3.3-3）。

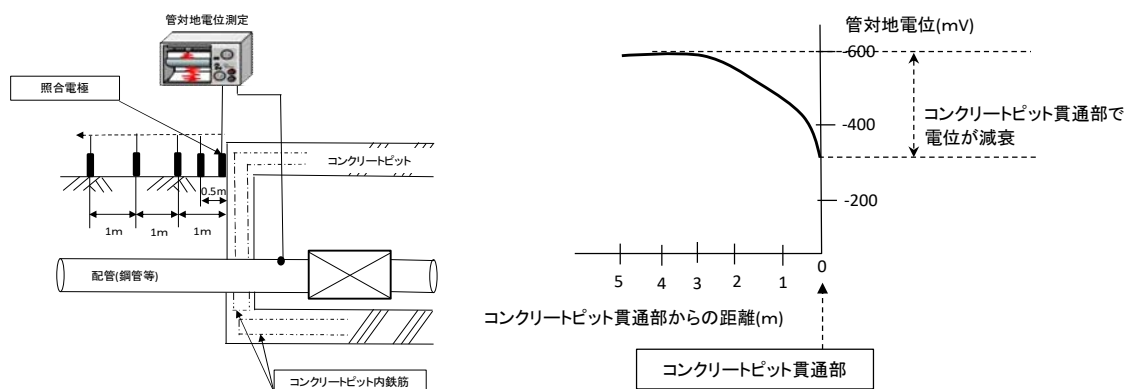


図 3.3-3 管対地電位分布測定例

鋼管では、C/S マクロセル腐食環境を把握するために実施される事例が多い。C/S マクロセル腐食の原因は、鋼管がコンクリートピット中の鉄筋と接触していることがほとんどであるため、管対地電位を測定した場合、コンクリートピット貫通部近傍ほど、コンクリートピット中の鉄筋電位の影響を受け、電位がプラス側になる。「マクロセル腐食防食指針（WSP045-2008）」によると、その影響範囲はコンクリートピットの規模にもよるが、貫通部より 10m までの間で見られることが示されている。このため、本調査はコンクリートピット貫通部から 10m の範囲で実施される事例が多い。

2) 標準調査ピッチ

調査ピッチは、埋設配管の状況により以下のように設定する。

①コンクリートピット周辺の場合

コンクリートピット貫通部や鉄筋コンクリートスラストブロック設置部の土中際を起点（0m）として 0m、0.5m、0.5m その後は 1m ピッチで測定を行う（図 3.3-3）が、電位勾配が平衡状態（測定値がほぼ同一）となる地点まで測定を行う。測定の目安は、上記のとおり 10m 区間となる。

②一般埋設部の場合

埋設鋼管等延長が 1m 未満の場合は 1 地点の測定（管対地電位測定）となるが、埋設延長が 1m 以上ある場合は 1m ピッチで測定を行う。

(3) 調査手順

管対地電位（分布）測定は図 3.3-4 の手順で実施する。

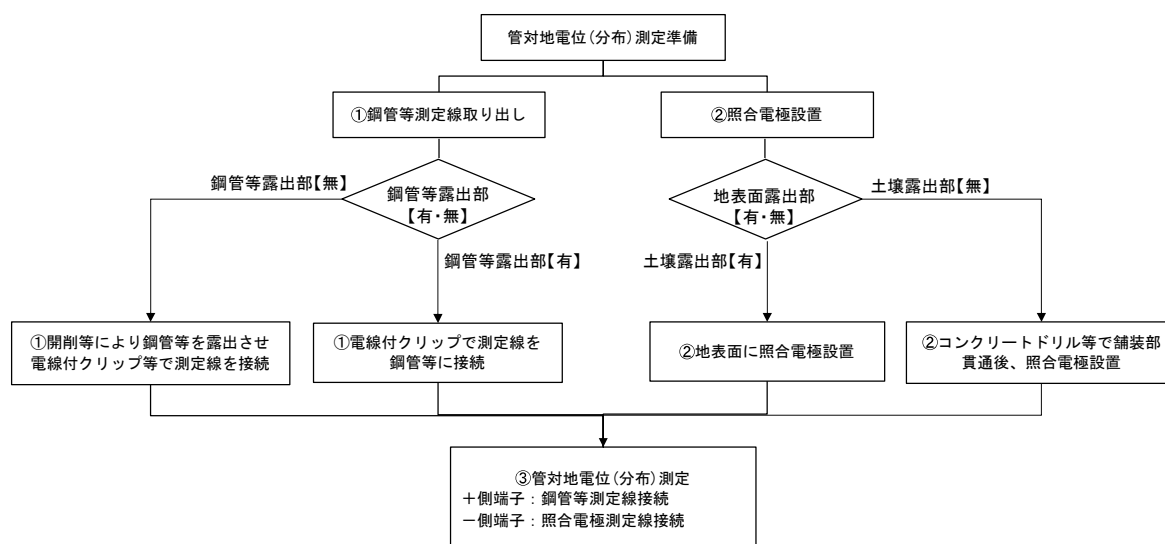


図 3.3-4 管対地電位（分布）測定の実施手順（例）

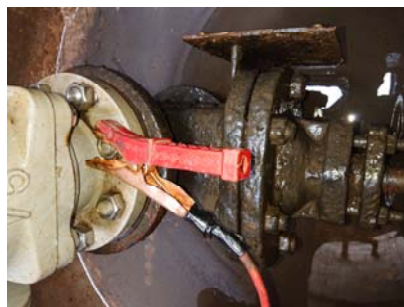
※①～③の数字は以降に示す項目番号を示している。

①鋼管等測定線取り出し

コンクリートピット内の鋼管等（鋼管等露出部）から測定線を取り出す場合、図 3.3-5 に示すようにクリップ付測定線を用い測定対象となる鋼管等と電氣的に導通している鋼管等露出部の計装配管やフランジボルトから測定線を取り出す。



計装配管への測定線接続例



バルブフランジボルトへの測定線接続例

図 3.3-5 露出鋼管からの測定線取り出し例

鋼管等露出部が無い場合は開削等により鋼管等を露出させ測定線を取り出す必要がある。

開削等により鋼管等を露出させ図 3.3-6 に示すように測定線を取り出す。また、継続して測定する必要がある場合はターミナルボックスを設け測定線を収納する。

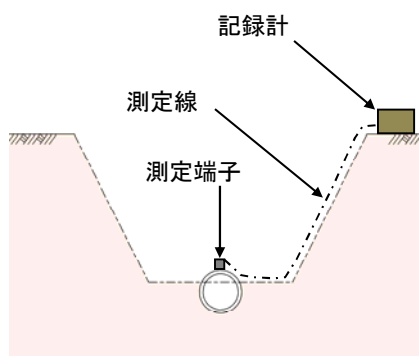


図 3.3-6 埋設鋼管等からの測定線取り出し例

②照合電極の地表面への設置

照合電極は、測定対象配管直上の地表（土）に電極面を接触させ測定する。コンクリート舗装又は土壌面が乾燥している場合、測定値に誤差が生じる可能性があるため散水し湿潤状態を保ったうえで照合電極を配置する。

地表面がアスファルト舗装等で露出していない場合、舗装等が高抵抗となり正確な電位測定ができなくなる。図 3.3-7 に示すように、舗装面をドリル（ $\phi 10\text{mm}$ 程度）で穿孔し、地表面を貫通させ、貫通口に照合電極を挿入し測定する。その際、貫通孔に十分注水し湿潤状態として測定する。



図 3.3-7 舗装道路上の照合電極配置例

③管対地電位（分布）測定

管対地電位（分布）測定は、鋼管等表面と電解質（土壌や水）を介した照合電極間の電位差を測定するもので、図 3.3-8 に示すように鋼管等からの測定線を高感度電圧記録計プラス側端子、照合電極からの測定線をマイナス側端子に接続し測定する。

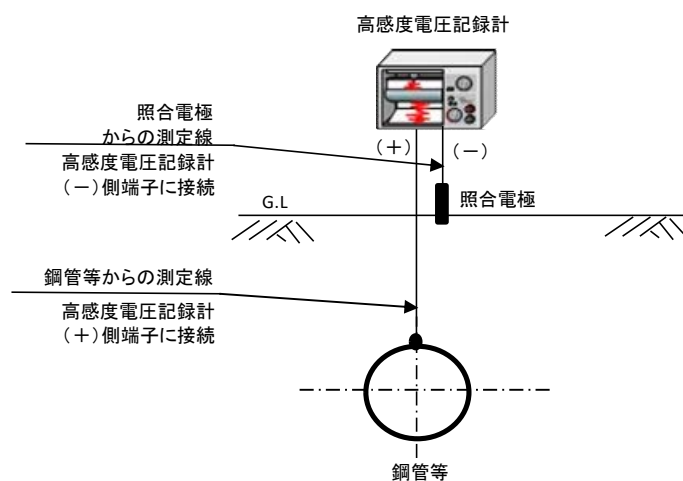


図 3.3-8 管対地電位（分布）測定状況

(4) 判定基準

1) 電位による判定

金属が与えられた環境中で実際に示す電位を自然電位といい、中性土壌中の鋼材の場合、 $-400\text{mV} \sim -800\text{mV}$ 程度を示すとされている。

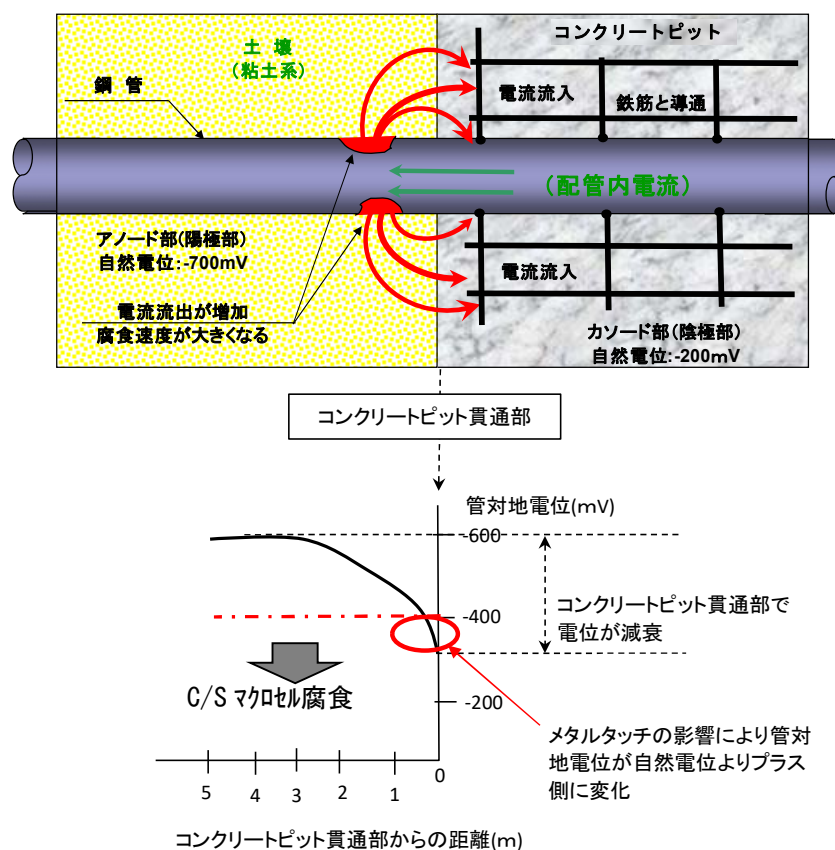
一方、コンクリート等の高アルカリ性 ($\text{pH}12$ 以上) の環境では不動態化（鋼材表面に腐食作用に抵抗する酸化被膜が生じた状態のこと）し、 -200mV 程度の自然電位を示す。

鋼管等が、図 3.3-9 のようにコンクリートピットを貫通して配管される場合、土中部とコンクリート中の自然電位に差異が生じ、マイナス側がアノード、プラス側がカソードとなって腐食電池が形成され、アノード部が腐食する。

埋設鋼管等の管対地電位が -400mV よりプラス側である場合、土壌中の自然電位よりプラス側に位置していることになり、腐食電池により腐食が生じている可能性がある状態を意味している。

このため、「C/S マクロセル腐食の可能性あり」に対する管対地電位の判定指標は-400mV以上を標準とする。

この考え方は「マクロセル腐食防食指針（WSP045-2008）」等、多数の図書で適用されているものである。



【凡例】

.....: 「C/S マクロセル腐食の可能性あり」と判定される管対地電位

図 3.3-9 メタルタッチに伴う C/S マクロセル腐食が進行している場合の
管対地電位分布測定結果例

2) 電位変動による判定

土壌中の鋼管等が直流電気鉄道の迷走電流や他防食施設からの干渉等による影響を受ける場合、管対地電位には変動が生じる。この関係に着目し、「消防用設備等の配管を土中に埋設する場合の工事施工に係る指導基準」では、「1 測定地点の管対地電位の最大変位が 50mV 以上の場合、電食に対する防食措置を指導」と規定されている。

このため、「電食の危険性あり」の判定基準として電位変動 50mV 以上を標準とする。

なお、干渉の場合は、近隣の防食施設（外部電源方式）の電源の ON-OFF により電位変動が生じる。

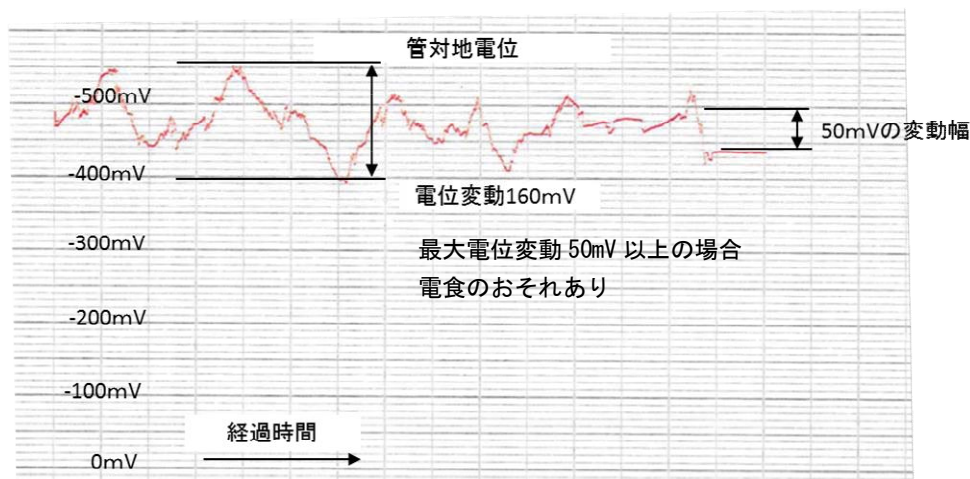


図 3.3-10 管対地電位の測定例（電位変動 50mV 以上）

3) 電位分布における電位差による判定

電位差とは延長のある鋼管等に対し複数の地点で行った管対地電位の差異を示す。電位差が 100mV 以上を示す場合は、腐食環境の程度が大きいと判断され通気差マクロセル腐食又は異種金属接触腐食のおそれありと判定される（図 3.3-11 は 6 地点での管対地電位の測定結果を示した事例であり、管対地電位の電位差が 120mV）。

このため、「通気差マクロセル腐食又は異種金属接触腐食のおそれあり」の判定基準として電位差 100mV 以上を標準とする。なお、基準値の 100mV は、これまでの調査実績から決定している。

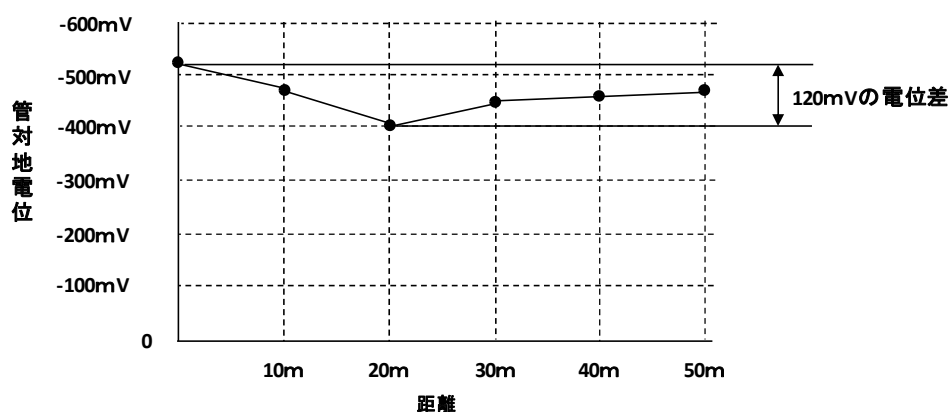


図 3.3-11 複数地点の管対地電位の電位差例

3.3.2 導通試験

(1) 適用条件

導通試験は、鋼管等と他施設の鋼材（主にコンクリートピット中の鉄筋）の電氣的導通を調査するものであるため、マクロセル腐食のうちC/Sマクロセル腐食に対して適用する。

また、コンクリートピット周辺（貫通部）に埋設された鋼管等に対して適用する。

導通試験の適用に当たっては、コンクリートピット貫通部の鉄筋をはつり出す必要があるため、事前に対象となる構造物の詳細（かぶり厚、配筋ピッチ等）を把握し、施設管理者にはつり作業の同意を得る必要がある。

なお、本調査は「メタルタッチしていない」ことは特定できるが、「メタルタッチしている」ことは特定できない。このため、本調査により「メタルタッチの可能性あり」と判定された場合は「メタルタッチの有無を特定するための仮通電試験」が必要となることに留意する。なお、同一路線内や同一地区内で過去にメタルタッチに伴うC/Sマクロセル腐食の発生が確認されメタルタッチの可能性が高いと想定される場合は、本調査を実施せず仮通電試験を実施する対応をとることも可能である。

(2) 調査要領

1) 調査概要

コンクリートピットを鋼管等が貫通し塗覆装に損傷部があると、図 3.3-9 に示すように、自然電位の差により腐食電流が生じ土中部の鋼管等で腐食が発生する。さらに鋼管等がコンクリート内の鉄筋と接触していると、鉄筋もコンクリート中の鋼管等（カソード）の表面積に含まれ、カソード部が増大し、電位差により生じる流出電流（腐食電流）も増大する。このため、腐食速度は著しく大きくなる。よって鉄筋と鋼管等の電氣的な導通（陰極部の増加）を測定すればC/Sマクロセル腐食環境の有無（あるいは大小）が判定できる。

具体的には、測定器のマイナス側端子に鋼管等からの測定線を接続し、プラス側端子に鉄筋からの測定線を接続し、コンクリートピット中の鉄筋と鋼管等の電氣的な導通を把握する。測定状況を図 3.3-12 に示す。

2) 標準調査ピッチ

導通試験の場合、鋼管等と保護工等のコンクリート中の鉄筋について各1箇所（場所の指定は特になし）測定線を取り出すことができれば調査可能であるため、標準調査ピッチの規定はない。ただし、コンクリートピット内のバルブ等に絶縁フランジが使用されている場合には、鋼管等からの測定線は絶縁フランジを挟んだ上下流を対象に設置する必要がある。

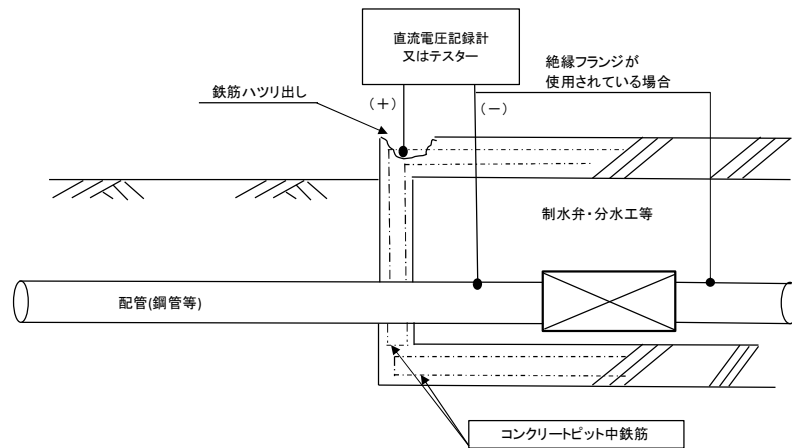


図 3.3-12 導通試験測定状況例

(3) 調査手順

導通試験は、図 3.3-13 に示す手順で実施する。

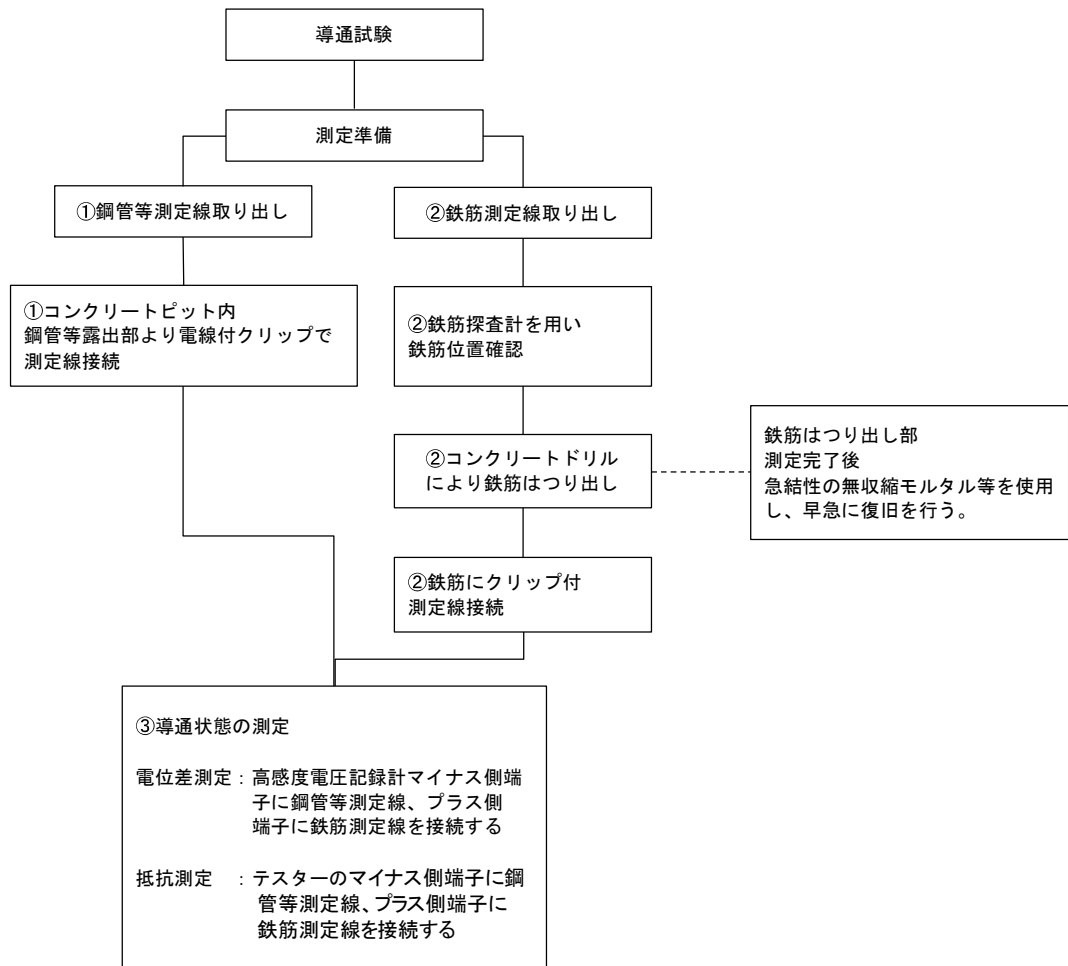


図 3.3-13 導通試験の実施手順

注) ①～③は以降の項目番号を示している。

①鋼管等測定線取り出し

コンクリートピット内等の鋼管等（露出部）から測定線を取り出す場合は、「3.3.1 管対地電位（分布）測定 ①鋼管等測定線取り出し」を参照。

なお、鋼管等からの測定線はマイナス側端子に接続する。

②鉄筋測定線取り出し

コンクリートピット中の鉄筋からの測定線取り出しは、図 3.3-14 に示すように鉄筋探査機で鉄筋位置を探索・確認後、コンクリート中の鉄筋をはつり出し測定線を取り付ける。

なお、鉄筋からの測定線はプラス側端子に接続する。



図 3.3-14 鉄筋からの測定端子取り出し例

③導通状態の測定

導通状態の測定に当たっては、高感度電圧記録計又はテスターによる電位差測定と、テスターによる鉄筋と鋼管等間の抵抗値測定を行う。図 3.3-15 に測定状況を示す。

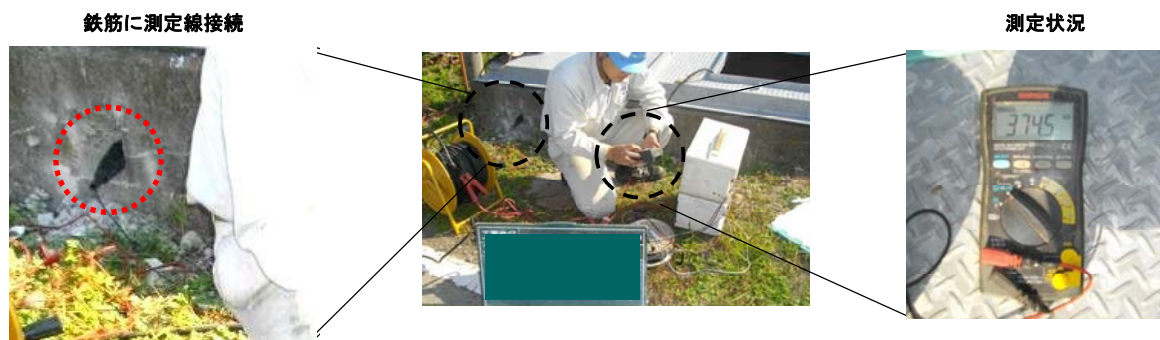


図 3.3-15 鉄筋との導通測定例

(4) 判定基準

マクロセル腐食防食指針（WSP045-2008）では、以下の要領で判定が実施されている。

鋼管と鉄筋間の電位差が 200mV 以上ある場合又は、電位差は 200mV 未満であるが両者間の抵抗が 500Ω 以上ある場合は「非導通状態にある」、両者の電位差が 200mV 未満かつ抵抗が 500Ω 未満の場合は、既設鋼管と鉄筋の導通の有無を確実に判定できる「仮通電試験が必要」と評価される。

ただし、判定結果が「非導通状態※」に該当する場合、判定上は非導通状態と評価されるが、これまでの実績より必ずしも非導通状態ではない場合が散見されている。

このため、本マニュアルでは、電位差 200mV 以上かつ抵抗値 500Ω 以上を「鋼管と鉄筋の導通の可能性なし」の判断指標とし、これに該当しない場合は仮通電試験の実施を検討する。

		電位差	
		200mV 未満	200mV 以上
抵抗	500Ω 未満	仮通電が必要	非導通状態※
	500Ω 以上	非導通状態※	非導通状態

図 3.3-16 導通試験結果の判定

3.3.3 仮通電試験

(1) 適用条件

仮通電試験は、鋼管等と主としてコンクリートピット内の鉄筋の電氣的導通を調査するものであるため、マクロセル腐食のうち C/S マクロセル腐食に対して適用可能である。

また、コンクリートピット周辺（貫通部）に埋設された鋼管等に対して適用可能である。

なお、仮通電試験の適用に当たっては仮設電極の設置が必要となる。仮設電極は、正確な測定結果を得るため調査対象となる構造物や鋼管等から 20m 以上離すことが望ましいとされている。このため、事前に仮設電極の設置の可否を把握する必要があることに留意する。

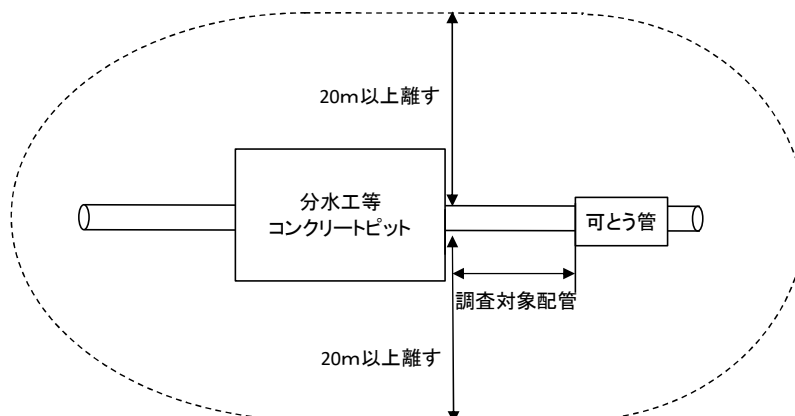


図 3.3-17 仮設電極設置範囲

また、仮設電極とバッテリーの接続に当たっては、接続方法を間違えると鋼管等が腐食するので十分留意する。図 3.3-18 に仮設電極とバッテリーの接続方法を示す。

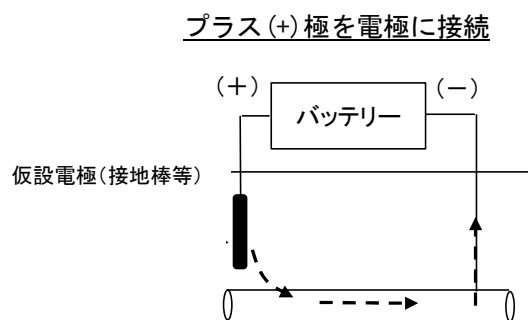


図 3.3-18 バッテリーによる通電方法

留意点を踏まえた仮通電試験実施状況を図 3.3-19 に示す。

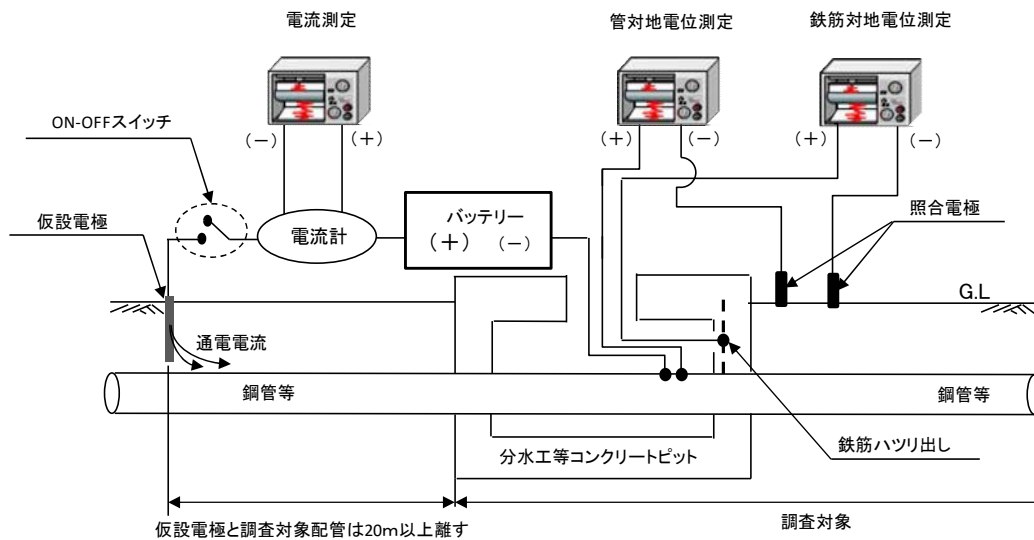


図 3.3-19 留意点を踏まえた仮通電試験実施状況

(2) 調査要領

1) 調査概要

調査対象鋼管等にバッテリー等で直流電流を通電し、通電時の管対地電位・鉄筋の対地電位を同時に測定するものである。その際、通電している直流電流を ON-OFF し、その時の管対地電位と鉄筋の対地電位の変化量並びに直流電流値を測定し、電位変化量の傾向からコンクリートピット中の鉄筋と鋼管等の導通有無を調査する。

この事象から鋼管等と鉄筋の導通有無を判定する（詳細は「(4) 判定基準」参照）。

2) 標準調査ピッチ

仮通電試験の場合、導通試験の結果、仮通電試験の実施が必要と判定された箇所を対象に、鋼管等とコンクリートピット中の鉄筋について各 1 箇所（場所の指定は特になし）測定線を取り出すことができれば調査可能であるため、標準調査ピッチの規定はない。

(3) 調査手順

仮通電試験は、図 3. 3-20 に示す手順で実施する。

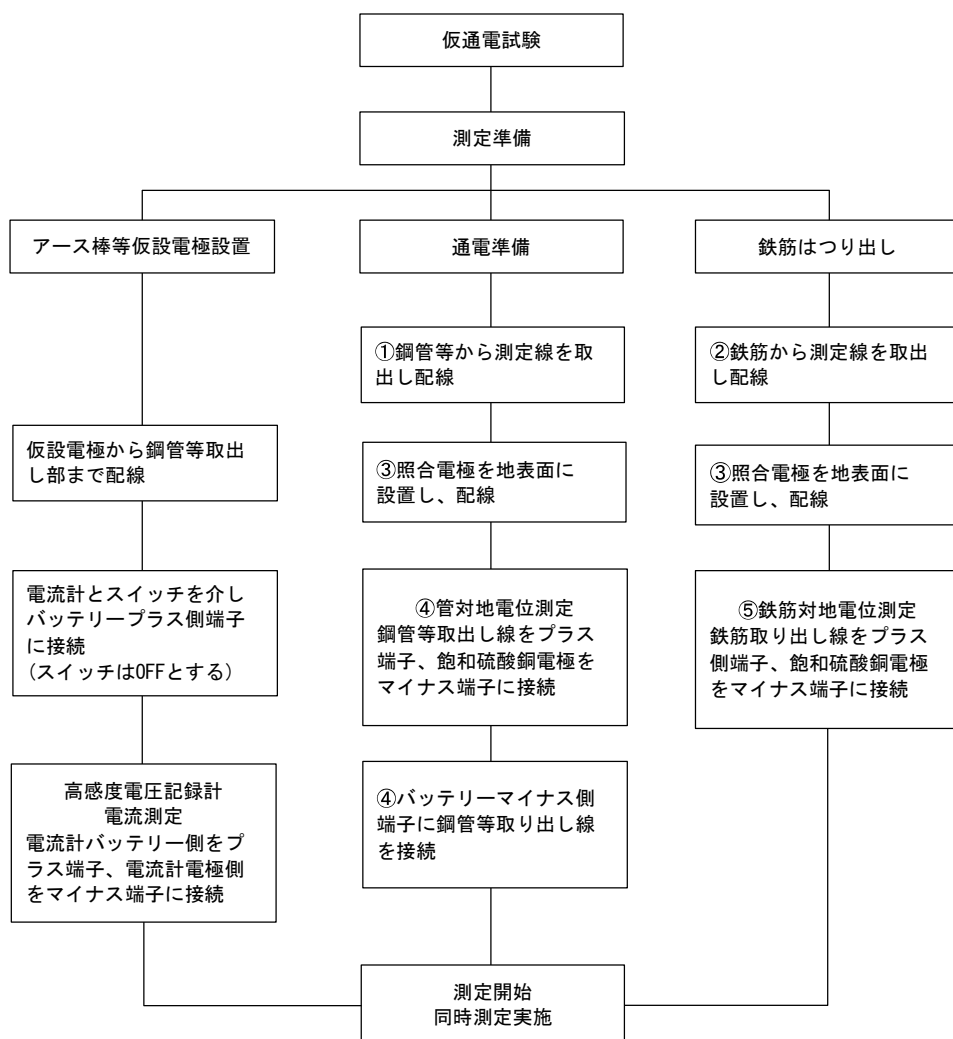


図 3. 3-20 仮通電試験の実施手順

注) ①～⑤は以降の項目番号を示す。

①鋼管等測定線取り出し

コンクリートピット内の鋼管等（鋼管等露出部）から測定線を取り出す場合は、「3. 3. 1 管対地電位（分布）測定」を参照のこと。なお、鋼管等からの測定線はプラス側端子に接続する。

②鉄筋測定線取り出し

コンクリートピット中の鉄筋から測定線を取り出す場合は、「3. 3. 2 導通試験」を参照のこと。なお、鉄筋からの測定線はプラス側端子に接続する。

③照合電極の地表面への設置

照合電極の地表面への設置は、「3. 3. 1 管体地電位（分布）測定」を参照のこと。

④管対地電位測定

管対地電位測定は、「3.3.1 管対地電位（分布）測定」を参照のこと。

⑤鉄筋対地電位測定

鉄筋対地電位測定は、鉄筋と電解質（土壌や水）を介した照合電極間の電位差を測定するもので、測定に際し、鉄筋からの測定線を高感度電圧記録計プラス側端子、照合電極（飽和硫酸銅電極）からの測定線をマイナス側端子に接続し測定する。測定状況を図 3.3-21 に示す。

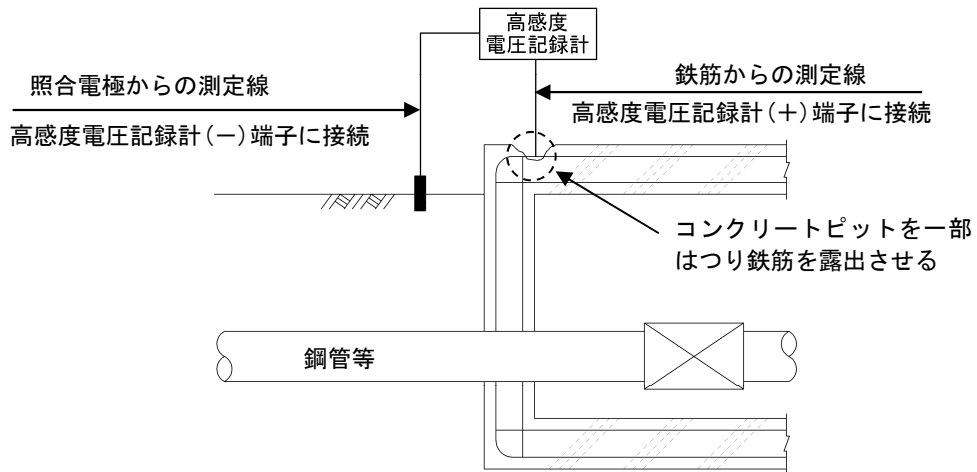


図 3.3-21 鉄筋対地電位測定状況

(4) 判定基準

仮通電試験により鋼管等に向かって直流電流を流すと、鋼管等の管対地電位はマイナス方向に変化する。この時、鋼管等に通電した直流電流は、鉄筋と鋼管等が導通していると、一部の電流が直接鉄筋にも流入し、鋼管等を介して赤矢印のように戻る回路ができる。

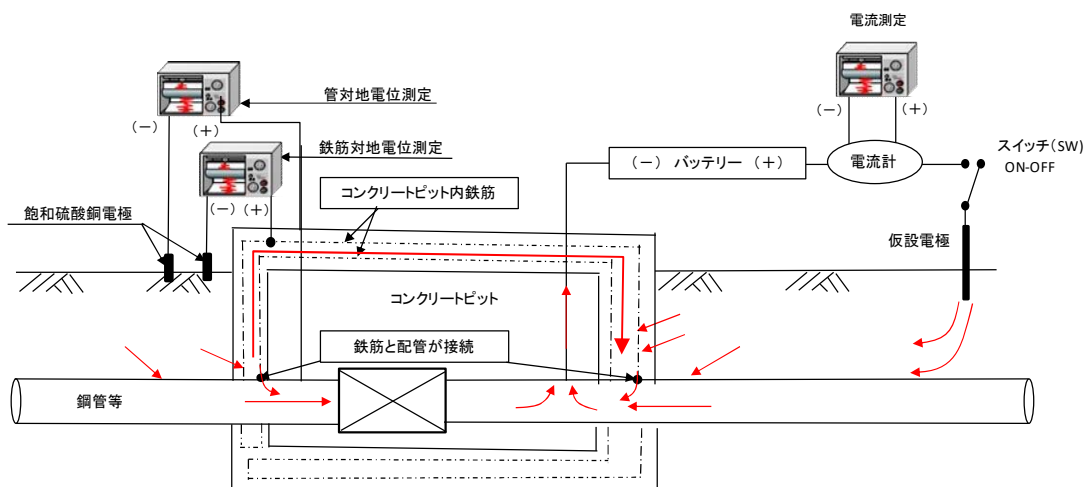


図 3.3-22 鋼管等と鉄筋が導通している場合の電流の流れ

このため、鉄筋が鋼管等と導通していると鉄筋の対地電位もマイナス方向に変化し、鋼管等の対地電位と正相関を示す。鋼管等と鉄筋が導通していない（絶縁）と、鉄筋対地電位は変化しないかプラス方向(逆相関)に変化する。

上記の特性を活用し、鋼管等と鉄筋の導通状態を把握する調査が仮通電試験である。このため、「鋼管等と鉄筋の導通あり」に対する判定指標は鋼管等と鉄筋電位変動が正相関を標準とする。

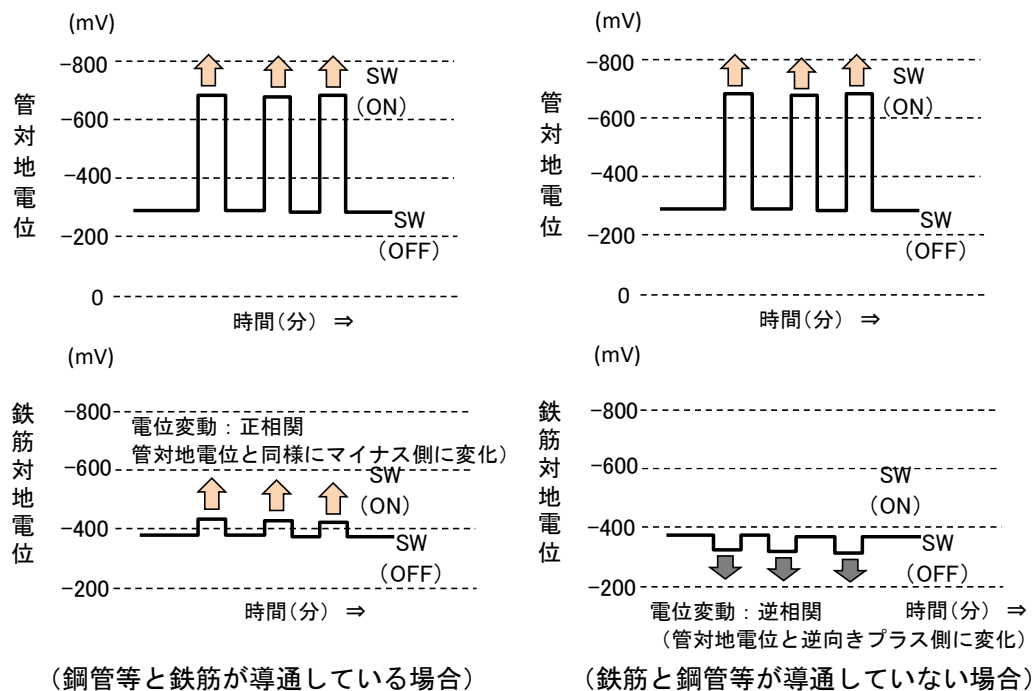


図 3. 3-23 仮通電試験結果例

3.3.4 土壌腐食性調査

土壌腐食性調査とは、土壌の化学的性状を把握し、その結果から土壌の腐食環境を評価するものである。

土壌腐食性調査は、土壌抵抗率やその他の土壌特性値及び埋設環境を基に、土壌の腐食性を定性的に数値化評価する代表的な方法として「DIN（ディン） 50929」と「ANSI（アンシ） A 21.5-2010」の評価方法がある。「DIN50929」に比べ「ANSI A 21.5-2010」は調査項目が少ないが、これまでの業務等による腐食性土壌判定の実績から土壌の腐食性を判断できるため、本マニュアルでは「ANSI A 21.5-2010」を採用する。

一般に土壌腐食の進行は比較的穏やかで、質量減少量から求められる平均腐食速度は鋼管の場合、一般的な土壌環境中で約 0.02mm/年程度である。

しかし、土壌の各種環境(抵抗率、pH、酸化還元電位(Redox 電位)、含水率(地下水)、土質、可溶性塩基 ($\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 等)、通気性等)が一般的な土壌環境とは異なる場合、鋼管等が非常に激しく腐食する場合がある。このため、これらの土質性状に着目し土壌腐食性調査を行うことが重要である。土壌環境による腐食因子の主な測定項目を表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2 土壌腐食環境調査の主な測定項目

測定項目	目 的
土 質 (観察目視)	土質の違いによる腐食環境を評価する。粘土質又は細粒分の多い土質では、マクロセル形成時にアノード(腐食部)となりやすく腐食速度が大きくなる。
土壌抵抗率	土壌又は地下水の電気伝導性を評価する。土壌抵抗率が小さいとマクロセル形成時の腐食速度が大きくなる。
pH (水素イオン濃度)	酸性環境の有無、程度を評価する。 pH4 以下の酸性では水素発生型の激しい腐食が進行し腐食速度が増大する。
酸化還元電位 (Redox 電位)	嫌気性硫酸塩還元菌による腐食環境を評価する。酸化還元電位が 100mV 以下では激しい腐食が懸念されるが、この因子だけでは判定しにくい。このため、その他の土質性状を考慮した「ANSI A 21.5-2010」による総合評価を行うことが望ましい。
含水率	土壌の含水率から腐食性を評価する。地下水の影響等、含水率が高いと腐食生成物が溶解しやすく腐食が進行しやすい。また通気性不良によりマクロセル形成時にアノード(腐食部)となり腐食速度が大きくなりやすい。 なお、含水率は、見た目や触診により判断する。
硫化物	硫化物を多く含む土壌は鋼の表面に保護性酸化被膜が生成されにくいいため腐食速度が速くなる。また、硫酸塩還元菌の判定にも利用できる。

(1) 土質

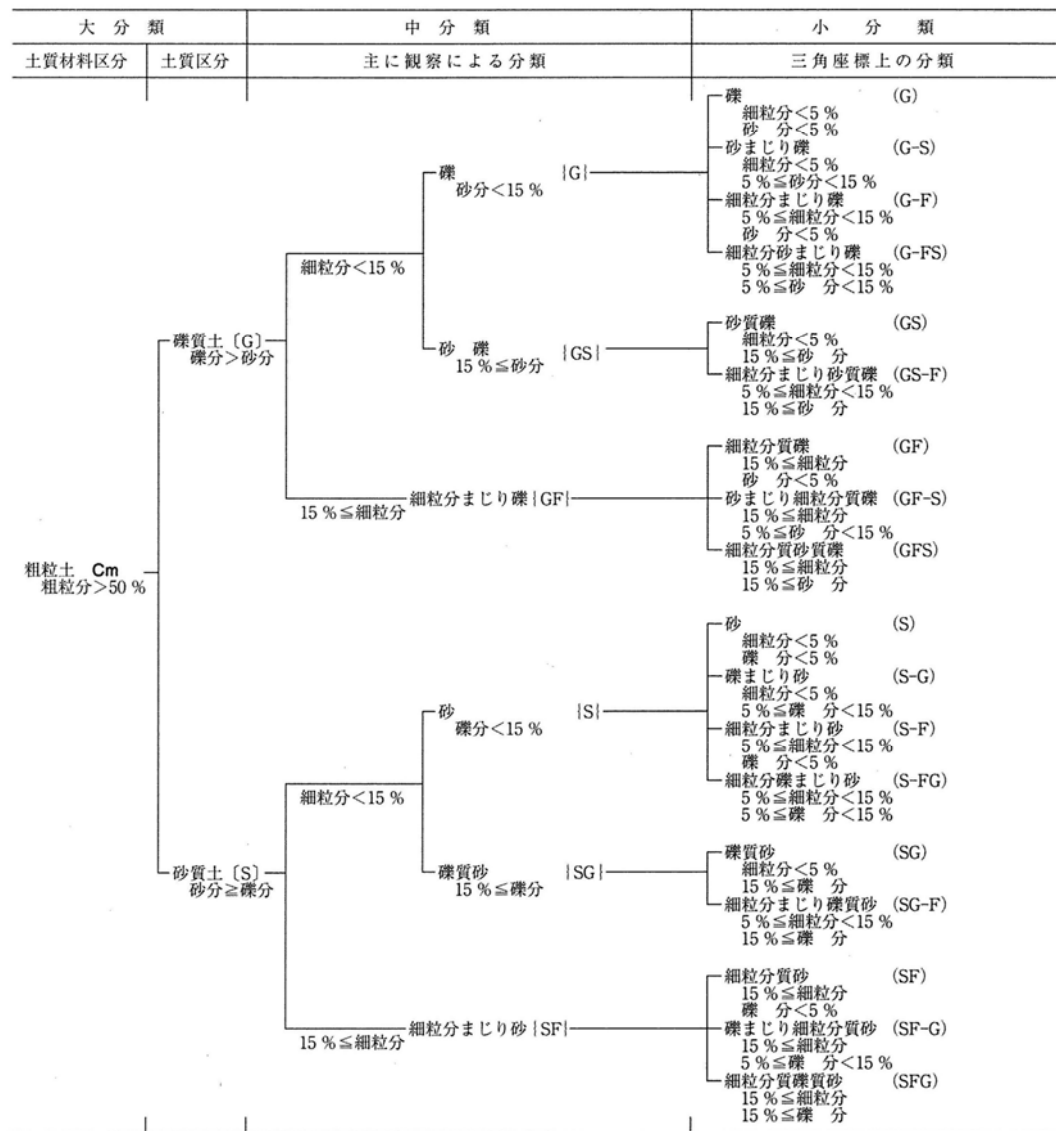
1) 調査要領

土壌中の鋼管等は、土壌との界面で生じる化学反応の結果、腐食が進行する。土壌の腐食環境は、非常に不均一な環境であり、さまざまな腐食要因の影響を受ける。土壌は粒子の直径の大小により礫(れき)・砂・シルト及び粘土に大別されるが、土質による自然電位の違いなど、土質を検証することで腐食環境を把握するものである。

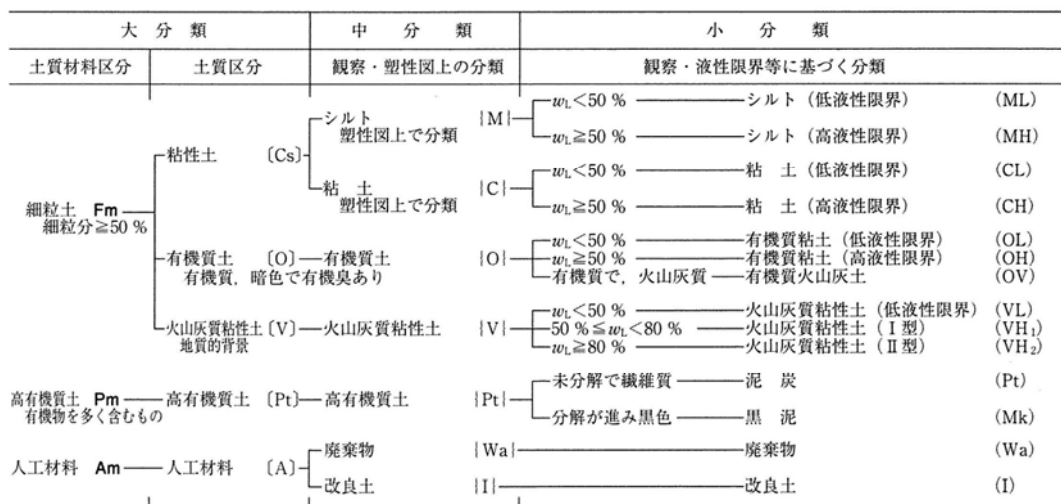
土質は、掘削箇所等を主に目視により観察分類し、必要に応じて粒度分布試験、土の細粒分含有量試験により分類する。

土質の分類を図 3.3-24 土質材料の工学的分類体系（平成 21 年改訂）に示す。

第 2 編 地盤材料の工学的分類



(a) 粗粒土の工学的分類体系



(b) 主に細粒土の工学的分類体系

図 4-土質材料の工学的分類体系

図 3.3-24 土質材料の工学的分類体系（平成 21 年改訂）

2) 判定基準

一般的に腐食性が高いとされる土壌は次のような土壌である。

- ・海成粘土*等に代表される酸性土壌
- ・淡水成粘土
- ・泥炭
- ・腐植土

※沖積世などの内湾や潟などの地域（現在の主な平野部）に堆積した粘土である。

このような環境は非常に還元的であるため、硫酸塩還元菌の作用により海水の硫化イオンが還元され、海成粘土は多量の硫化物を含み、強い腐食性を示す特徴を有する。

このような土壌は特殊な腐食性土壌と位置付けられることから、「特殊土壌腐食のおそれあり」の判定指標として対象土壌が海成粘土など酸性土壌、淡水成粘土、泥炭、腐植土であることを標準とする。

なお、対象地の地質が上記に示す腐食性土壌であるかどうかは、掘削箇所等の観察目視及び既存の地質図等から対象地の地質の把握、当該地質の地質構造発達史を文献等から調査することで判定が可能である。

(2) ANSI A 21.5-2010 による評価

ダクタイル鋳鉄管に適用することが多い ANSI A 21.5-2010 では、表 3.3-3 に示す評価点の合計点が 10 点以上となった場合に腐食性土壌であると判定している。

表 3.3-3 ANSI A 21.5-2010 の土壌の腐食性評価

測定項目	測定結果	点数	測定項目	測定結果	点数
土壌の抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	< 1500	10	酸化還元電位 (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 値※	0～2	5		排水良好 一般に乾燥している	0
	2～4	3	硫化物	あり	3.5
	4～6.5	0		微量	2
	6.5～7.5	0*		なし	0
	7.5～8.5	0			
	> 8.5	3			

※pH 値が 6.5～7.5 の場合で硫化物が存在し、かつ、酸化還元電位が低い場合は 3 点加算する。

1) 土壤抵抗率測定

①適用条件

土壤抵抗率測定は、土壤の抵抗を測定することで腐食電流が流れ易いか、流れにくいかを判定するものであり、マイクロセル腐食、マクロセル腐食、微生物腐食、電食に対して適用可能である。

なお、土壤抵抗率測定の適用に当たっては、以下の点に留意する。

4 電極法による土壤抵抗率測定を行う場合、その調査方法（詳細は②調査要領参照）から電極間隔 D とほぼ等しい深さまでの、土壤抵抗率の平均値を示す。電極間隔 D を広げればそれに応じた深い場所の土壤抵抗率が推定できる。但し、既設の鋼製埋設物と平行に間隔を広げた場合は鋼構造物に電流が流出入し電位差が小さく表れ、実際の抵抗率より低い値が測定されるので、図 3.3-25 に示すように鋼管等と直角方向に測定する必要があることに留意する。

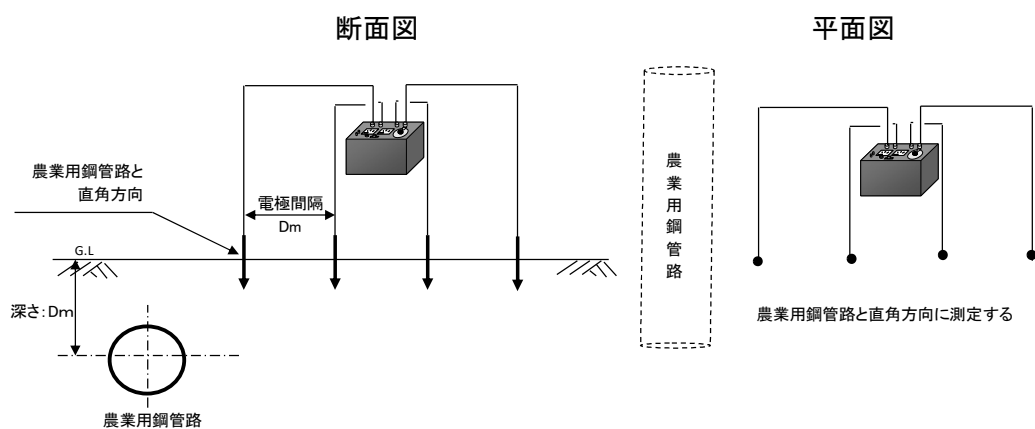


図 3.3-25 配管と直角方向の測定例

また、土壤抵抗率は、腐食電流の流れやすさ（腐食速度）を把握するもので、土壤の腐食環境を知る上で重要な測定となる。なお、土壤の腐食性は、酸素、含水率、含有塩分の種類とその濃度など種々の因子が関係する。このため、本調査結果を考慮し土壤の腐食性調査方法（ANSI A 21.5-2010）により判定する。

②調査要領

a) 調査概要

測定方法は一般的に、土壤杖による方法、1m 以上の深度の平均的な土壤の抵抗率を測定する 4 電極法による方法、土壤箱による方法がある。

掘削が可能な場合は土壤杖による方法を適用し、非掘削によってある深さの土壤抵抗率を測定する場合は 4 電極法を用いる。

以降に土壤杖による方法と 4 電極法の概要を示す。

I) 土壌杖による方法

土壌杖の構造は、接地棒の先端に絶縁リングを介した所定の寸法の金属先端からなる。この土壌杖を土中又は水中に挿入し、オームメータから交流電圧を与えた際の抵抗値を測定し、土壌抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$) に換算した値をオームメータの針がゼロになるよう調整しその値を読み取る方法である。

土壌杖による方法の場合、鋼管等の管下部、管横部、管上部を対象に各地点で3回測定を行い、測定値の平均値を採用する。

土壌杖で土壌抵抗率測定するには、先端を少なくとも 30cm 土壌中に突き刺して測定する。図 3.3-26 に土壌杖による測定概念図を示す。

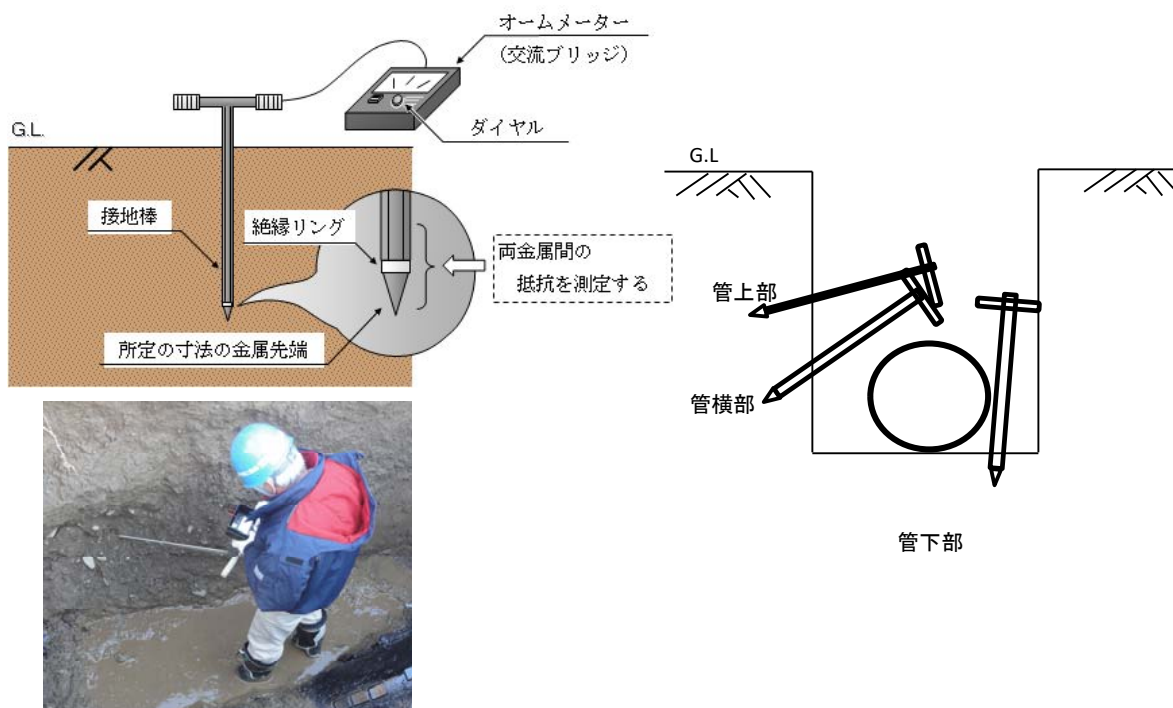


図 3.3-26 土壌杖による測定概念図

II) 4 電極法による測定

地表面に一直線上に 4 本の電極 ($C_1 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot C_2$) を測定深さ 1.0m の間隔で管底以下まで電極 (接地棒) を設置し、 C_1 から C_2 に交流電流を流し、 $P_1 \cdot P_2$ で電位差を測定する。なお、接地棒は鋼管等への電流の流入を防止するため、鋼管等の中心線から $D3/2$ の離隔を確保することが望ましいが、現場の状況に応じて適宜対応する。

鋼管等が埋設されている地盤構造は、抵抗率の異なる複数の地層により形成されている。4 電極法により土壌抵抗率を測定した場合、測定電流が浸透した深さまでの平均的な抵抗値が得られる。この性質を利用して、図 3.3-27 に示したように電極の間隔を順次拡大することで、深さ方向における土壌抵抗率の変化を見ることが可能となる。

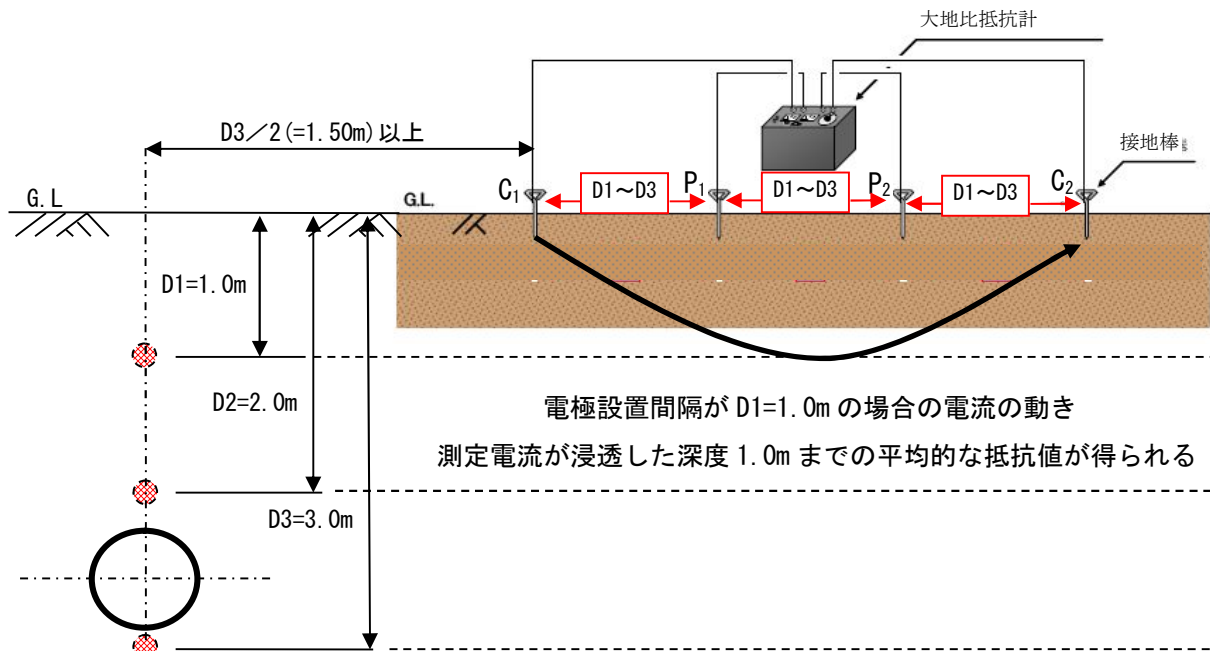


図 3.3-27 4 電極法による測定例

本事例の場合、接地棒間隔が 1.0m、2.0m、3.0m の 3 ケースについて実施することになり、各ケースについて平均的な抵抗率（R）を測定する。

測定した大地比抵抗（R）は、P₁とP₂間の電位差をC₁とC₂間に流した電流で割った抵抗 R(Ω)として求められ、次式に代入することにより土壤抵抗率（ρ）を求めることができる。

$$\rho (\Omega \cdot \text{cm}) = 628 \cdot D \cdot R$$

ここで、D：測定深さ（m）

R：大地比抵抗測定値（Ω）

ρ：土壤抵抗率（Ω・cm）

なお、接地棒は土中に接地することを前提とし、差し込み深さに特に規定はないが、10～20cm 程度を目安とする。測定点に舗装がある場合は、φ10mm 程度で穿孔し、土中に差し込む。

b) 標準調査ピッチ

I) 土壤杖による方法

土壤杖による方法の場合、管下部、管横部、管上部を対象に開削断面に 1 箇所以上、調査時の掘削延長が長い場合は 5.0m 程度を標準ピッチとして測定を行うが、掘削断面内の地層構成等が複雑な場合は、調査ピッチを密にする等の対応をとる。

II) 4 電極法による測定

4 電極法の調査ピッチは鋼管等と直角方向について、図 3.3-27 に示すとおり鋼管等の埋設深さに応じて適宜設定する。

③調査手順

本調査方法の場合、特筆すべき調査手順はなく、所定の場所に土壌杖又は接地棒を設置し適宜調査を行う。

④判定基準

土壌は大気、水、その他の環境に比較して複雑な腐食性環境を有するため、地中での鋼管等の腐食度は急速なものから無視できる程度のもので広範囲にわたっている。

ANSI A 21.5-2010 による評価では、土壌抵抗率の測定結果に応じて表 3.3-3 のように配点が決まっている。

2) 水素イオン濃度 (pH) 測定

①調査概要

水素イオン濃度 (pH) の測定は、pH 試験紙を用いて標準色と比較する比色法と、ガラス電極を用いた携帯型 pH 計による測定法が一般的である。

携帯型 pH 計はガラス電極を複合電極に交換するだけで酸化還元電位計として併用できる機器が数多く販売されている。

計測器を使用する場合は、地下水や十分に水を含んでいる資料は直接ガラス電極を設置して測定可能であるが、通常の土壌を測定する場合は JGS0211-2009 (地盤工学会の土懸濁液の pH 試験法) に基づいた試料の調整・測定を行う。

②判定基準

金属の腐食は、土壌や地下水の水素イオン濃度 (pH) に影響される。pH は水素イオン $[H^+]$ の濃度を示す指標であって、中性が pH7 となり、水素イオン濃度が大きいほど pH1 方向に近づき (酸性)、水素イオン濃度が小さいほど pH14 に近づく (アルカリ性) こととなる。



図 3.3-28 pH 値の表示

腐食因子としての pH と鉄の腐食の関係を示す資料として、土壌の pH と鉄の腐食程度 of 関係を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-4 土壌の pH 値と鉄の腐食程度の関係

pH 値	区 分	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	中性又は弱アルカリ性	非腐食性
8.5 以上	アルカリ性	不 明※

※不明とは、場合によって非腐食性と腐食性があり、一概に決められないことをいう。

なお、ANSI A 21.5-2010 による評価では、測定した pH に応じて表 3.3-3 のとおりの評価点が規定されている。

3) 酸化還元電位

①調査概要

酸化還元電位の測定は、不活性電極と照合電極からなる複合電極を土中に設置して、両電極間の電位差を計測する。計測器は前頁の携帯型 pH 計のガラス電極を複合電極に交換することで計測できる。なお、電極を土中に接地する際、酸素が一緒に入り土壌中の還元物質が乱れる場合があることに留意する。

②判定基準

微生物腐食のうち、嫌気性の硫酸塩還元菌は水系・土壌系の環境を問わず幅広く生息し、活動の結果生成する硫化水素や硫化物が鋼の腐食に大きな影響を及ぼす。

硫酸塩還元菌の活動する環境は強い還元性の状態にあるので、酸化還元電位は低い値となる。酸化還元電位 (Eh) は次式で算出され、酸化還元電位と嫌気性腐食程度を表 3.3-5 に示す。

$$Eh = Ep + Er + EpH$$

ここで、Ep：計測器による計測値 (mV)

Er^{*}：247mV (カロメル電極に対する水素電極換算値)

*使用した電極(カロメル電極・塩化銀電極等)によって換算値が異なる場合がある

E_PH：pH7.0 への修正値 [(pH 計測値-7) × 60mV]

表 3.3-5 酸化還元電位と嫌気性腐食の程度

Eh 範囲 (mV)	嫌気性腐食の程度
< 100	激 烈
100～200	中程度
200～400	軽 微
400<	無腐食

計算例：pH6.5 の土壌中で計測した電位が-100mV の場合、

$$Eh = (-100) + 247 + [(6.5 - 7.0) \times 60] = 147 - 30 = +117\text{mV}$$

ANSI A 21.5-2010 による評価では、酸化還元電位に応じて表 3.3-3 のとおりの評価点が規定されている。

4) 硫化物

①調査概要

土壌には粘土に代表される低抵抗率土壌と砂に代表される高抵抗率土壌がある。低抵抗率土壌は Cl⁻や SO₄²⁻などの塩類濃度が高く、空気と水の透過度が低い。Cl⁻や SO₄²⁻の濃度が高いと、鋼表面に酸化被膜が生成されにくいため腐食速度はより速くなる。

硫化物の測定は、現地で土壌や地下水を採取し分析する。硫化物は非常に不安定で現地で試料採取する際に揮発し酸化分解するので、以下のように保存する。

- ・あらかじめポリエチレン瓶に亜鉛アンミン溶液を満たしておく。
- ・採取した試料（50g）を瓶に入れて溶液をあふれさせる。
- ・容器中に空気が残らないよう密栓してよく混和した後に 5℃以下に保つ。

②判定基準

SO_4^{2-} は硫酸塩還元菌の存在下で高くなるので、微生物腐食の判定にも利用できる。分析方法は、ヨウ素滴定法、メチレンブルー吸光光度法、地盤工学会基準 JGS 0241 土の水溶性成分試験方法 7. 塩化物、硫酸塩含有量試験等により行う。

ANSI A 21.5-2010 による評価では、硫化物の有無に応じて表 3.3-3 のとおりの評価点が規定されている。

3.3.5 塗覆装損傷調査

鋼管の腐食は、塗覆装が損傷し鋼表面が直接土壌と接する部位で激しく腐食することが多い。ミクロセル腐食、マクロセル腐食、電食の腐食環境下にある鋼管で塗覆装損傷調査により損傷箇所が検証できれば、腐食危険箇所としての対応が容易にできる。

塗覆装の損傷調査は以下の2工法に大別される。

- ・ 鋼管に直流電流を通電し、地表面電位勾配の変化から検出する方法（地表面電位勾配測定）
- ・ 鋼管に交流電流を通電し、誘起電圧の大小から検出する方法

塗覆装（アスファルトライニングやプラスチック被覆等）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表面への流入電流が小さく、塗覆装に損傷部（鋼面が土壌と接触）があると健全な部位と比べ抵抗が小さくなり流入電流は大きくなる。流入電流の大きい部位は、図 3.3-29 に示すように地表面電位勾配にも極性の反転という変化が生じる。上記の二つの工法は、いずれもこの変化を測定することで塗覆装の損傷部を判定するものである。

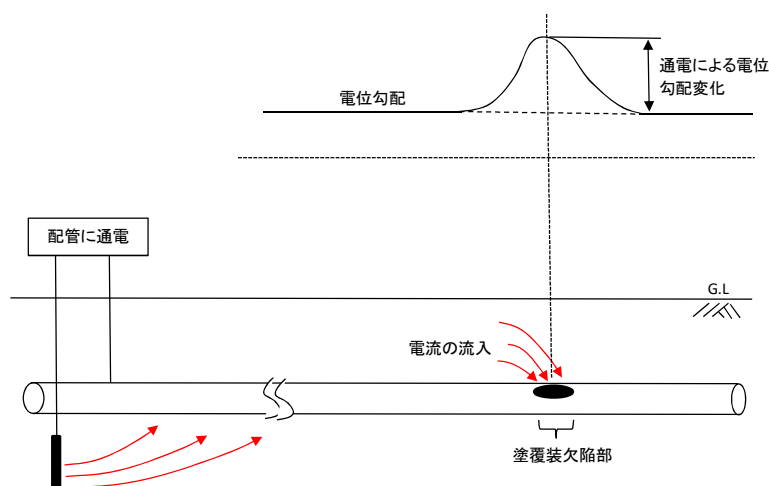


図 3.3-29 通電による電位勾配の変化

直流電流を通電する方法は、交流電流を通電する方法に比べ安価に実施できるが、測定精度はやや劣る。一方、交流電流を通電する方法は、測定精度が高く、道路上等、使用する受信器の走行性が確保されれば効率的に調査が可能であるが、調査費用は高くなる。

(1) 鋼管に直流電流を通電する方法（地表面電位勾配測定）

1) 適用条件

本調査適用に当たっての留意点を次頁以降に示す。

①調査精度

本調査方法では、管周方向の塗覆装損傷位置（管上・管下等）までは判定できない。また、他分野の事例では、塗覆装損傷部の規模にもよるが概ね土かぶり 2～3m 程度での適用実績（損傷特定実績）が多く、土かぶりが大きくなる場合には適用に当たり留意する必要がある。

また、本調査は、塗覆装損傷部だけではなく、鋼管に水道管や存置された鋼矢板などが接触している場合にも同様の結果を示すため、必ずしも塗覆装損傷部を特定できるものではないことに留意する。

②メタルタッチが生じている場合

コンクリートピット中の鉄筋と鋼管がメタルタッチしている部位（C/S マクロセル腐食環境にある配管）では、塗覆装損傷部と比べ、鋼管と接続している鉄筋の表面積の方がはるかに大きいので、通電電流のほとんどが鉄筋に流入してしまい、塗覆装損傷部の地表面電位勾配の変化が微小となる。このため、このような部位での塗覆装損傷調査は適用できないことに留意する。

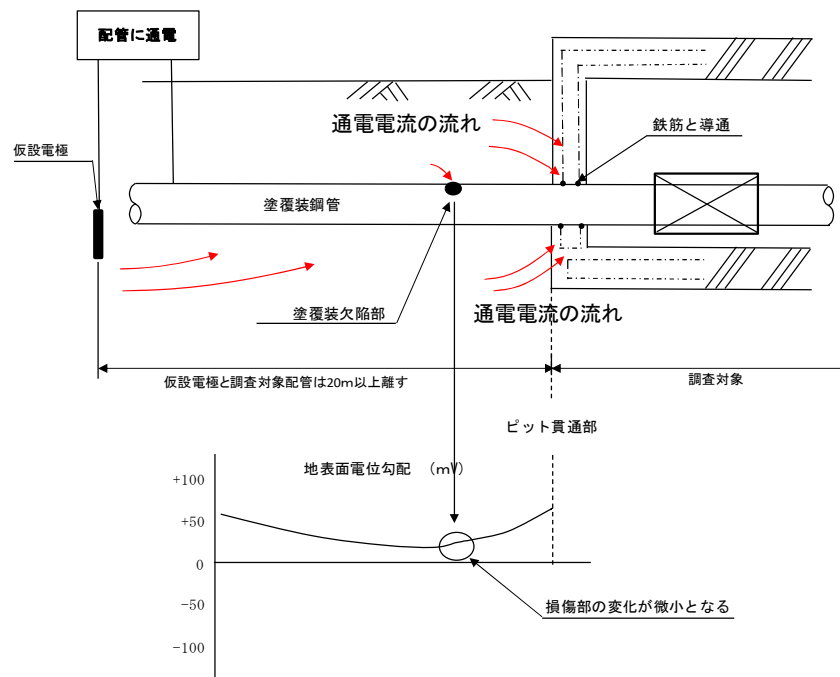


図 3.3-30 鉄筋とメタルタッチした際の地表面電位勾配例

③仮設電極の設置

電流測定に際し設ける仮設電極は、「3.3.3 仮通電試験」と同様、調査対象となる構造物や鋼管から 20m 以上離すことに留意する。

2) 調査要領

①調査概要

本調査方法は、仮設電極により鋼管に強制的に直流電流を流し、2 本の照合電極を地表

面の2地点に設置し、高感度電圧記録計で2点間の電位差を測定するものである。

鋼管に通電した直流電流をON-OFFしながら地表面電位勾配を測定すると、図3.3-31に示すように塗覆装損傷部付近で、極性が反転する。

②標準調査ピッチ

地表面電位勾配測定は、最初は10m間隔程度で測定し、極性の反転（塗覆装損傷部）を検知後、その部位を1m間隔で測定すると、前後1m程度の範囲で損傷箇所を判定できる。

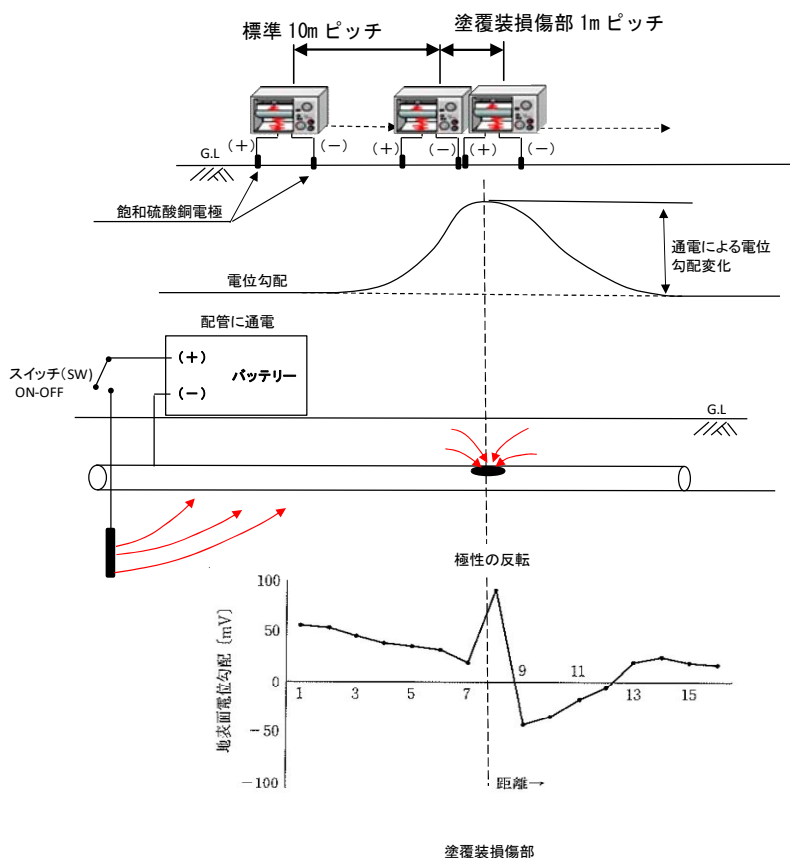


図 3.3-31 直流通電による地表面電位勾配測定（例）

3) 調査手順

①照合電極の地表面への設置

照合電極の地表面への設置は、「3.3.1 管体地電位（分布）測定」を参照のこと。

②地表面電位勾配の測定

地表面電位勾配の測定に当たっては、鋼管と平行方向に実施する。なお、起点側の測定端子を高感度電圧記録計のプラス側端子、起点から離れた測定端子をマイナス側端子に接続し測定を行う。

4) 判定基準

鋼管に通電した直流電流を ON-OFF しながら地表面電位勾配を測定し、塗覆装損傷の可能性ありの判定指標として、図 3.3-31 に示すように電位勾配の変化（極性の反転）が認められた場合を標準とする。

(2) 鋼管に交流電流を通電する方法

1) 適用条件

本調査方法の適用条件は「(1) 鋼管に直流電流を通電する方法（地表面電位勾配測定）」と同様である。

2) 調査要領

①調査概要

鋼管に交流電流を通電し、基本的に鋼管直上で電位勾配を測定する。基本的な原理は直流電流を通電する方法と同様であるが、直流電流を通電する方法に対し測定精度が高く、測定効率も良いことが利点である。ただし、調査に当たっては測定器を走行させる必要があるため、平坦かつ走行性が良い調査地点で適用する。

測定は図 3.3-32 に示すように、測定対象の鋼管に交流発信機をセットして通電し、通電によって発生する地表面電位勾配と塗覆装損傷部に生じる位相変化を手押し式又は自走式受信器の車輪を電極として検出・評価する。

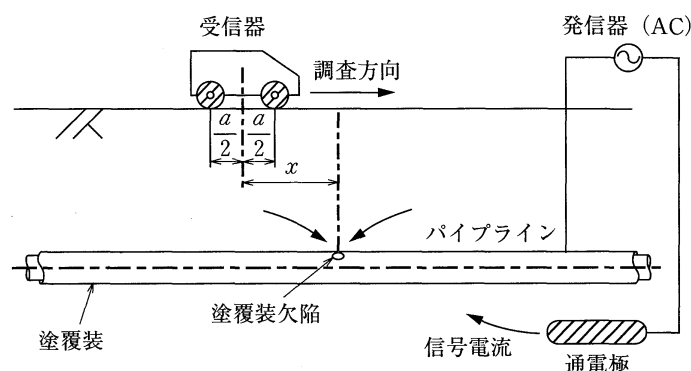


図 3.3-32 交流通電による測定概要

②標準調査ピッチ

本調査方法は線的に実施するものであり、標準調査ピッチはない。なお、調査精度を向上させるため、調査は同一測線上で 2 回（2 測線）実施することが望ましい。

3) 調査手順

本調査は次の手順で実施する。

1. 調査対象始点終点部に発信装置の設置
2. 機器のキャリブレーション（模擬損傷部での位相調整実施）
3. 路面への散水
4. 調査実施（2回実施）
5. 調査結果の記録

4) 判定基準

図 3. 3-33 に示すように、通电した交流の位相変化（ $+90^\circ$ （ $\pi/2$ ）から 180° （ $-\pi/2$ ）への変化）地点と振幅の極小点が重なる地点が塗覆装損傷部を示す。

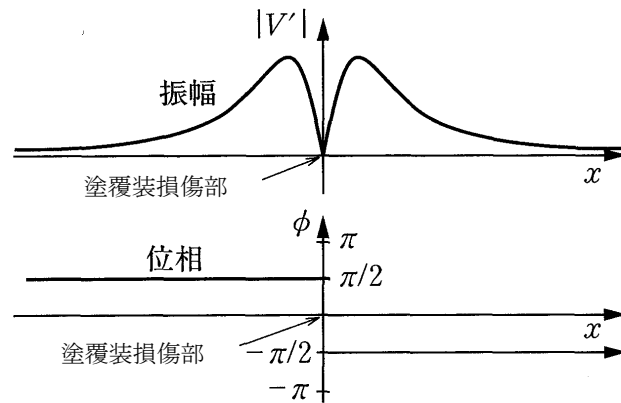


図 3. 3-33 塗覆装損傷判定例

3.4 腐食状態調査

腐食状態調査は、鋼管等の腐食状態の把握と対策の要否判定を目的とし、外観目視又は超音波法（管厚測定）により実施する。

腐食機構がマクロセル腐食又は電食の場合は外観目視を行い、ミクロセル腐食の場合は超音波法又は外観目視を行う。

【解説】

3.4.1 超音波法（管厚測定）

(1) 適用条件

超音波法はミクロセル腐食に対して適用可能である。

なお、超音波法適用に当たっての留意点を以下に示す。

- ・管内で診断を実施する場合は「 $\phi 800\text{mm}$ 以上（作業性を考慮すると $\phi 1000\text{mm}$ 以上が望ましい）、管内に進入できる程度の水深（30cm 程度まで）又は内水なし」の条件が求められる。
- ・管外面からの計測は、最大腐食深さまで管表面を均等に研磨し探触子を探傷面に垂直に置かないと誤差が生じる。
- ・内面腐食がある場合には、管厚を正確に測定できない。
- ・管外面からの調査に際しては、鋼管等の塗覆装や腐食生成物を除去し、腐食部の最深部に端子が垂直に密着できるよう表面をサンダー等で研磨した後、図 3.4-1 に示すように鋼管等に垂直に探触子を密着させ測定する必要がある。

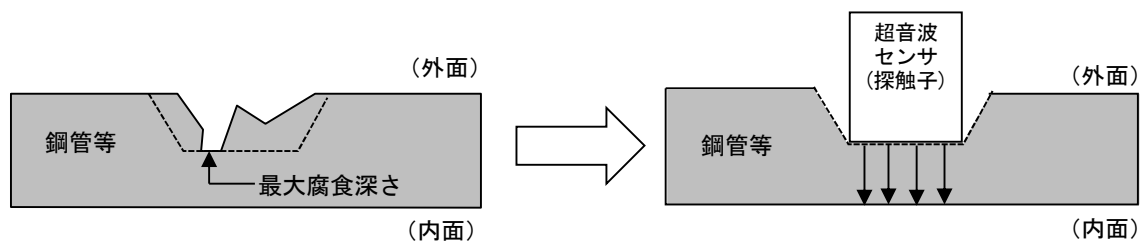


図 3.4-1 測定要領

(2) 調査要領

1) 調査概要

超音波による管厚測定は、基本的に測定対象金属（鋼管等）の外面又は内面に探触子と呼ばれるセンサーを押し当て、センサーから発信した超音波が金属の健全部と腐食部の境界面で反射することを利用し、受信までにかかった時間（反射して戻ってくる時間（伝搬時間））を基に厚さを算出する。

なお、本調査方法はその測定原理から孔食や局所腐食、管継手部など平面状でない箇所では測定が困難であり、一般的にはミクロセル腐食を対象に実施する。

$$D=1/2 \times C \times t$$

D: 厚さ・C: 音速・t: 伝搬時間

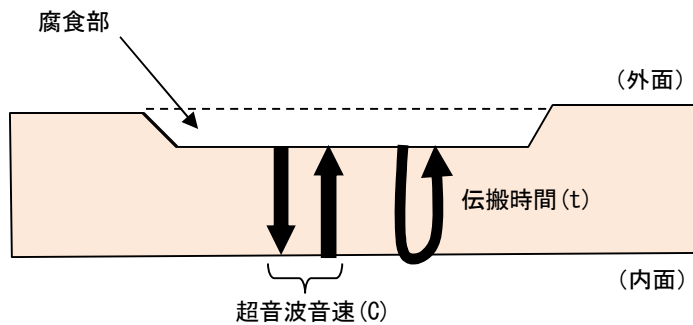
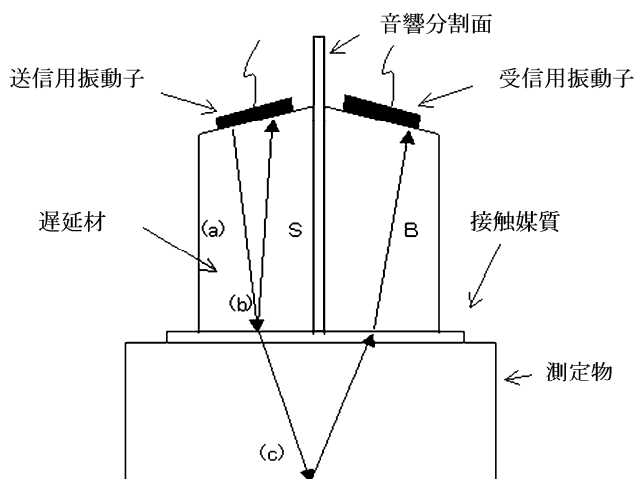


図 3.4-2 超音波法による管厚測定原理

具体的には次のとおり実施する。

- ①送信用振動子から超音波を入射し、測定物表面からの反射波（図の S 波）と測定物底面からの反射波（図の B 波）を受信する。各々の反射波を受信した時間差からの測定物の厚さを判定する。



【凡例】

- (a) 探触子から送信された超音波
- (b) 測定物表面での反射
- (c) 測定物底面での反射
- S 測定物表面からの反射波
- B 測定物底面からの反射波

図 3.4-3 超音波厚さ計の探触子の原理

- ②探触子を探傷面におくと、垂直探傷子の中に組み込まれた振動子によって発生した超音波パルスは、探傷面と垂直な方向に試験体の中を伝搬していく。超音波パルスは試験体内伝搬していく途中で、傷や底面など、超音波パルスを反射させる原因となる反射源に当たると戻ってくる。戻ってきた超音波パルス信号、すなわち反射波をエコーといい、これらは探傷器の表示器に描かれている目盛板上に探傷図形として表示され、目盛板上の管厚 (W)（図 3.4-4）を読み取り、鋼管等の厚さを測定する。

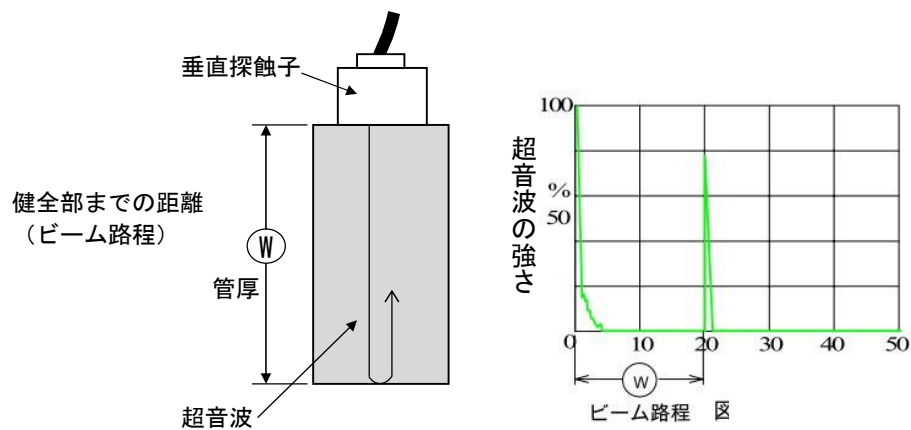


図 3.4-4 探触子による厚さ計測の原理

2) 標準調査ピッチ

調査箇所は、外面調査の場合 1 調査地点当り管頂、両管側（左右）の 3 箇所、内面調査の場合、管頂、両管側（左右）、管底の 4 箇所を基本とするが、内外面の腐食によって測定値にばらつきが生じる可能性があることを考慮し、最大 12 箇所（内面調査）まで測定箇所を設ける。なお、調査対象区間の前後 1m 地点についても同様に計測を行う。

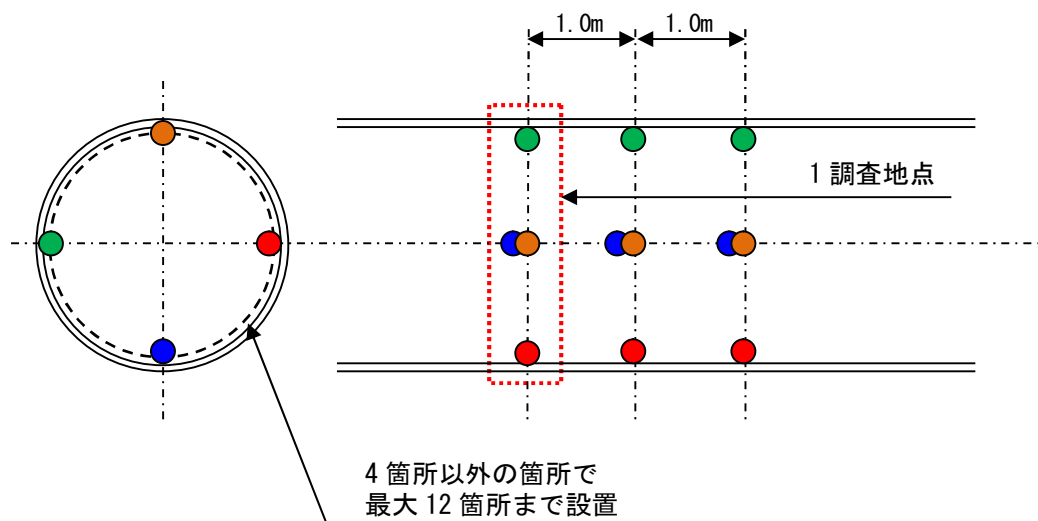


図 3.4-5 超音波法測定実施箇所（管内での調査の場合）の例

(3) 調査手順

超音波法による管厚測定の手順を以下に示す。

- ①試験片を用いたキャリブレーション
- ②調査対象管路の清掃
- ③測定箇所のマーキング
- ④管厚の測定
- ⑤腐食深さ算定（規定管厚から測定管厚を差し引く）

(4) 判定基準

超音波法（管厚測定）による腐食状態により適用する対策区分を表 3.4-1 に示す（詳細は「4.2 対策工法の検討」参照）。

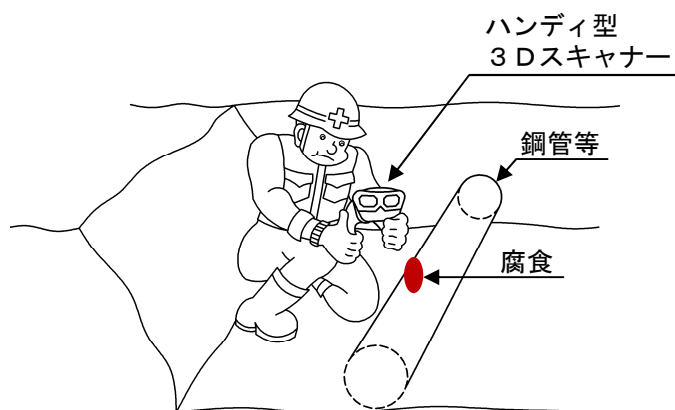
表 3.4-1 腐食状態評価の判定基準

腐食の状態	性能の評価	適用される対策区分
設計管厚×0.3 以上かつ 円周方向に全体的	力学的安全性に重大な影響あり	補強又は改修・更新
設計管厚×0.3 以上であるが局所的	力学的安全性に対する影響が小さい	補修 補強又は改修・更新
設計管厚×0.3 未満	力学的安全性を保持している	補修

コラム ～ハンディ型 3D スキャナー機器の紹介～

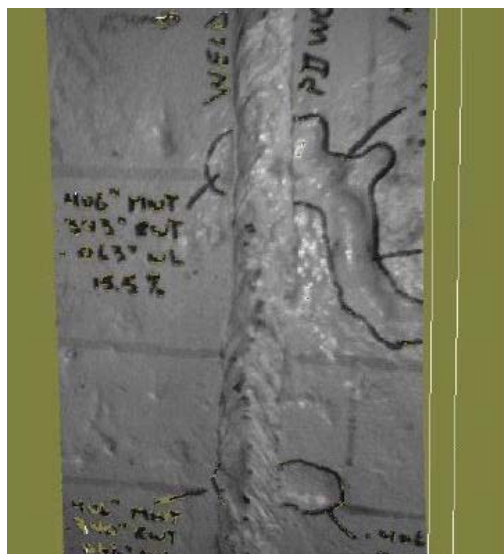
ハンディ型 3D スキャナーは、構造化光法等を用いた計測機器であり、腐食の程度を計測する他の機器と比べて、現場での作業効率化、データ取得再現性の向上、より精細なデータの取得による記録性の向上、経年変化のより正確な記録・評価できる。

【計測状況イメージ】



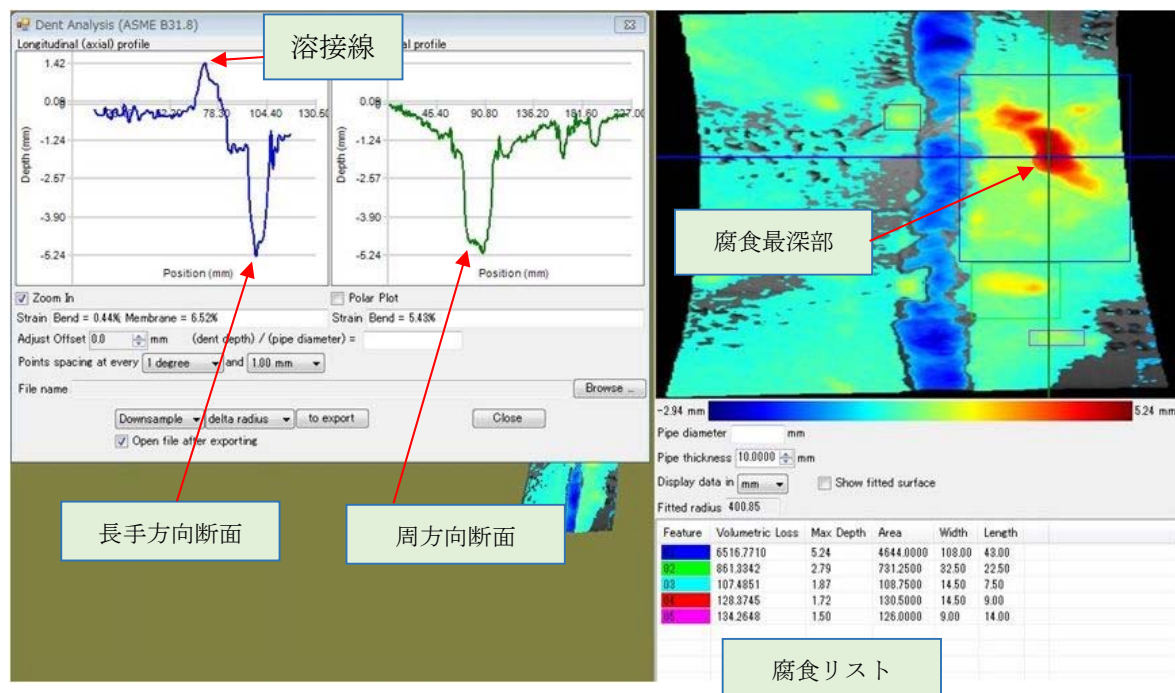
本機器は軽量かつコンパクトであり、現地での作業に当たっても計測技術者が一人で容易に対応できる（現場での計測状況イメージは左図参照）。

【鋼管等溶接線周辺の腐食の 3D 画像例】



左図は、周方向に溶接線の走っている鋼管等の腐食計測事例である。従来、腐食深さはデプスゲージを使って手動で計測しているが、デプスゲージの台に当たる部分が溶接線に当たってしまう、このような事例では正確な計測が困難であった。本コラムで紹介している、可視光による非接触式 3 次元計測手法では、面単位で一括して形状を取得できるため、鋼管等の健全面からの高さや深さを、容易に把握が可能となる。

次頁の図面は、この腐食面の 3 次元形状を一括して取得した座標群に、装置標準添付のソフトウェアでデータ処理を施し、腐食深さをカラーマップ化した図である。この図では、赤が腐食、青が盛り上がり（溶接線など）を表している。



本ソフトウェアでは、腐食のカラーマップの表示とともに、腐食リストの生成や、任意の点での、長手方向・周方向の高さプロファイル（断面）グラフを生成し、さらに、高さ・深さのデータを2次元に展開したCSVファイルとして保管できる。

下図は、比較的広い範囲のなだらかな減肉形状を3次元計測し、データ処理後カラーマップを生成したものである。このような一回の計測範囲を超える腐食に対しても、重複領域を設けつつ複数回取得した3次元データを、半自動で合成し、データ処理ができる。3次元座標データにはモノクロ階調データが乗っており、鋼管等表面に書き込んだメモなどを一緒にデータ化でき、記録性も従来手法（手書きスケッチ）よりかなり進化しているといえる。また、定点観測データを比較し、腐食や損傷の進展具合を定量的に把握も可能である。

