

# 磁気センサーを活用した 水産基盤施設の点検の手引き

～ 水中部における非接触式の肉厚測定 ～

令和6年4月

(赤字：令和7年2月一部修正)

水産庁漁港漁場整備部事業課

# 目 次

1	本書の概要 .....	1
1.1	目的 .....	1
1.2	本書の構成 .....	2
1.3	手引きの記載の仕方 .....	3
1.4	位置づけ .....	4
1.5	用語の解説定義 .....	5
2	水産基盤施設における磁気センサーの活用 .....	6
3	磁気センサーの有効性と適用条件 .....	7
3.1	従来技術との違い .....	7
3.2	対象施設 .....	10
3.3	磁気センサーの仕様・構成等 .....	11
3.4	従来技術（超音波センサー）との使い分け .....	12
4	磁気センサーの測定精度と測定方法 .....	13
4.1	測定精度 .....	13
4.2	測定手順 .....	16
4.3	データの整理・評価 .....	24
5	安全管理上の留意点 .....	26

# 1 本書の概要

## 1.1 目的

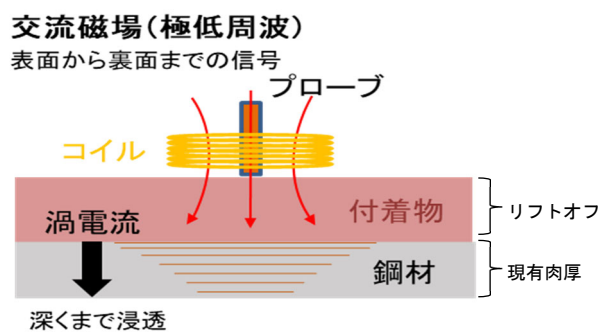
本書は、水産基盤施設の水中部点検を安全で効率的に実施するため、施設管理者および点検実施者が磁気センサーを活用した肉厚測定を行うにあたっての有効性、適用条件、測定方法、測定精度および課題や留意点をまとめたものである。

### 【解説】

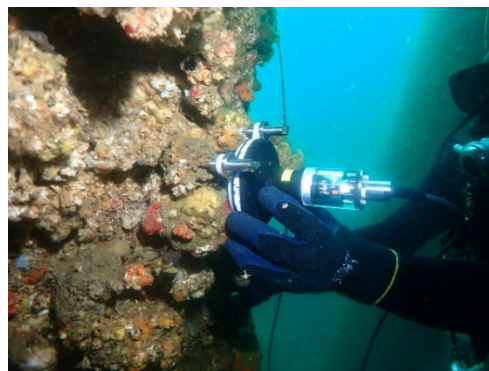
水産基盤施設の定期点検は、点検間隔の標準を10年とし、重要度や構造形式・健全度に合わせて、5～20年の範囲で設定することとしている。このうち、鋼構造物においては肉厚測定の有無によって5～10年の範囲で設定するとされており重要度の高い位置付けにある。従来の肉厚測定は、鋼材の表面に直接センサーを接触させる超音波法（以下、「超音波センサー」という。）を用いる場合が多く、超音波センサーによる測定で必要となる水中部のケレン作業（付着物除去）にかかる労力、時間、コスト等が課題となっている。

鋼材とセンサーの間に錆等の腐食部や貝殻等の付着物がある状態でも鋼材厚さが測定できる（＝鋼材と非接触でも測定できる）技術の研究・開発は、これまでも進められてきたが、簡便性や精度、コスト面等の観点から普及には至っていない。そのなかで、近年の研究において新たな技術として開発された極低周波磁気検査法（以下、「磁気センサー」という。）は操作性も簡便で、かつ測定点のケレンが不要ということで実用化が期待されている手法となっている。この技術は、小型かつ高感度の磁気センサーと数Hz～数百Hzまでの極低周波の交流磁気を用いた磁気計測技術であり、鋼構造物の鋼材を錆や付着生物の上から非接触により残存厚さを測定することが可能とされている。

本書は、水産基盤施設の水中部点検を安全で効率的に実施するため、ケレン作業（付着物除去）が不要となる、磁気センサーを活用した水中部の肉厚測定を実施するために必要な技術事項についてとりまとめたものである。なお、本手引きは、「令和4、5年度水産基盤整備調査委託事業 水産基盤施設の長寿命化対策強化に向けた検討調査」から得られた成果である。



【磁気センサーの基本原則】



【磁気センサーによる肉厚測定状況】

図 1-1 磁気センサーを用いた鋼材の肉厚測定概念図

## 1.2 本書の構成

本書の構成は、以下に示すとおりである。

**表 1-1 本書の構成**

章	頁	内 容
第1章	1	概要（目的・構成・位置づけ・用語説明など）
第2章	6	水産基盤施設における磁気センサーの活用
第3章	7	磁気センサーの有効性と適用条件
第4章	13	磁気センサーの測定精度と測定方法
第5章	26	安全管理上の留意点

### 1.3 手引きの記載の仕方

本書は「基本的考え方」、「解説」、「参考情報」を以下の記述方法で記載する。

<b>【基本的考え方】</b>
-----------------

各章の冒頭に基本的考え方を整理
-----------------

**【解説】**

基本的考え方を文章、図表、写真などで解説

--- **【参考情報】** -----

・事例、参考データ等を掲載する場合はこの枠組み

-----

## 1.4 位置づけ

本書は、水産基盤施設ストックマネジメントのための機能診断において、鋼構造物における磁気センサーを用いた肉厚測定（詳細調査）の活用に応用する。

### 【解説】

水産庁インフラ長寿命化計画（行動計画）において、「技術の開発状況と導入実態を踏まえて、新技術の採用が速やかに進むように、従来の点検方法が新技術により代替可能であるものについては、その適用性を検証しつつ基準・マニュアル等に反映していく必要がある。」とされており、本書は、肉厚測定の従来技術である超音波センサーの代替かつ効率化を可能とする新技術「磁気センサー」の普及を目指すものである。

また、水産基盤施設ストックマネジメントの機能診断における肉厚測定は、健全度評価の検証や老朽化要因の特定、さらには老朽化予測を実施するための詳細調査の位置づけにあたることから従来技術同等の精度が求められる。

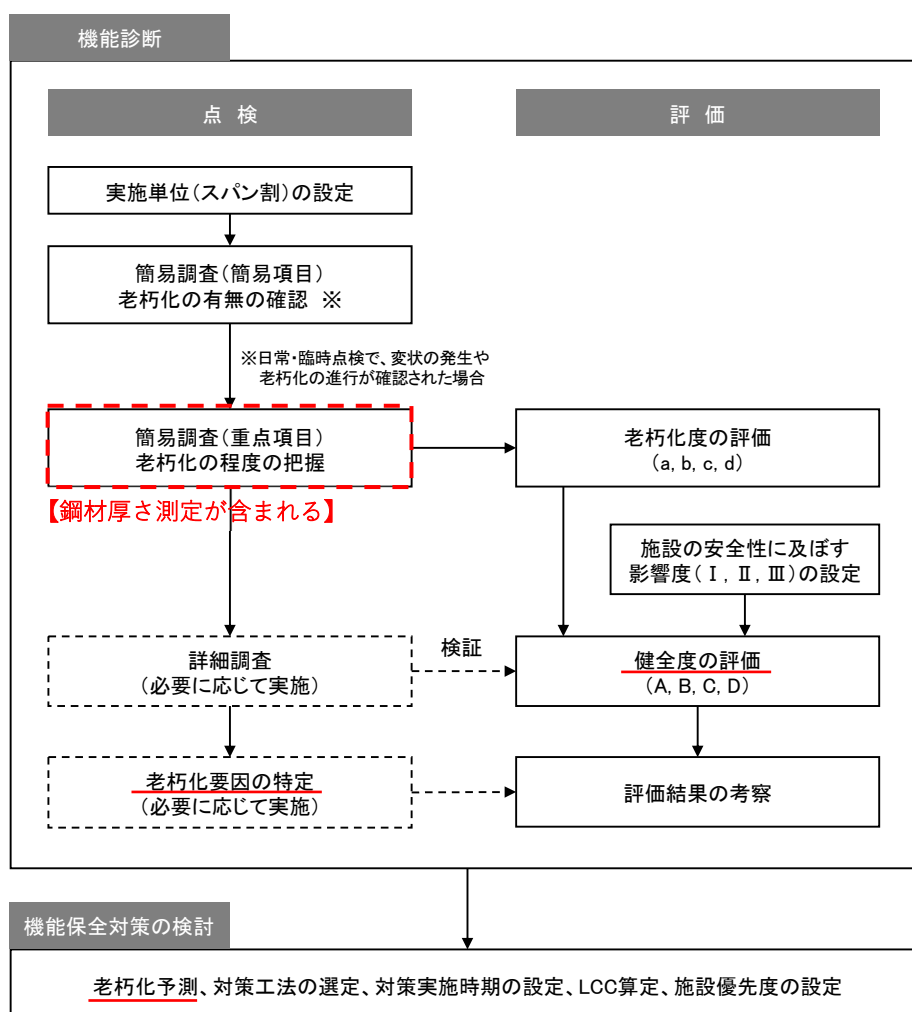


図 1-2 機能診断における磁気センサーの位置づけ

## 1.5 用語の解説定義

本書の記載内容に関して、基本的な用語を以下に解説する。

表 1-2 用語の解説

用語	解説
肉厚測定	鋼材の厚さを測定機器を用いて計測する詳細調査。錆等の腐食部や貝殻類などの付着物の厚さは含まない。
超音波法 (超音波センサー)	鋼材に超音波を発信し、境界面で反射して戻ってくるまでの時間(伝播時間)を計測することで肉厚測定する手法。
極低周波磁気検査法 (磁気センサー)	鋼材に極低周波(数 Hz~数百 Hz)を有する交流磁気を加え、発生した渦電流による微弱な磁場を高感度センサーにて計測することで肉厚測定する手法。
初期肉厚 (設計肉厚)	供用開始当初に測定した鋼材の厚さ。もしくは鋼部材の公称肉厚。
測定肉厚 (現有肉厚)	肉厚測定によって得られた現状有している鋼材の厚さ(平均肉厚)。
腐食肉厚 (腐食量)	初期肉厚から現有肉厚を差し引いた鋼材の減少量。
腐食速度	腐食量を供用(使用)期間で除した鋼材の減少速度。
局部腐食	鋼材表面の腐食が均一ではなく、局部的に集中して生じる腐食。
孔食	鋼材内部に向かって孔状に進行する局部腐食。
開孔(貫通孔)	鋼材背面まで孔食が進行した現有肉厚 0mm(貫通)の腐食状態。
プローブ	各センサーの検出部。「プローブからの距離」と表現する場合は検出部の最も先端からの距離を意味する。
リフトオフ	プローブから対象鋼材表面までの距離。測定結果においては、主に付着物厚さを表す。

## 2 水産基盤施設における磁気センサーの活用

水中部の水産基盤施設において適用可能な新技術として、鋼材の厚さを非接触で測定する磁気センサーの活用についてまとめている。

### 【解説】

水産基盤施設の詳細調査における肉厚測定は、一般的に超音波センサーを用いて実施されている。この方法ではプローブを測定対象となる鋼材に密着させる必要があるため（=接触式）、鋼材表面のケレン作業が不可欠となっている。これに対してプローブと鋼材の間に錆等の腐食部や貝殻等の付着物があっても取り除く必要がないものを非接触式の肉厚測定技術とすると、現行の非接触式の肉厚測定技術は表 2-1 に例示するものなどが開発されている。しかし、いずれの技術も主に調査・研究段階の技術であり、普及は進んでいない。

表 2-1 非接触式の肉厚測定技術

技術名称	概要	特徴	留意点	参考	
磁気センサー	<b>【特許】</b> 極低周波磁気検査法  <b>【NETIS】</b> 鋼板腐食検査器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高感度の磁気センサーと数 Hz～数百 Hz までの極低周波の交流磁気を用いた磁気計測により鋼構造物を非破壊で検査する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・錆や付着物の上から鋼材に非接触で肉厚測定が可能</li> <li>・付着物除去をしなくても良いためケレン作業が不要</li> <li>・センサーが小型のため細部の点検が可能、操作が簡便</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水中部の実構造物による現地実証が少ない（特に漁港施設）</li> <li>・現状の計測方法においては潜水士による作業が必要（ケレン作業がないため超音波測定よりも作業軽減）</li> </ul>	<b>【特許】</b> 再表 2018-211833  <b>【NETIS】</b> KK-220042-A
	RTD-INCOTEST	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁誘導によるパルス渦流探傷技術を用いて、鋼材の肉厚状況を調査する非破壊検査システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼管杭や鋼矢板等に対して、貝殻や被覆材を除去せずに、非接触で肉厚測定が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・絶対肉厚でなく、基準点に対する相対値(%)で評価</li> <li>・センサーが大きいいため細部の点検が難しい（平均的な状態把握となる）</li> <li>・ケレン作業は不要であるが、従来型の超音波式よりセンサーが大型で作業性に劣る</li> </ul>	<b>【NETIS】</b> KKK-140002-VR
超音波センサー	液中構造物の非接触型厚み測定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海中に超音波ビームを放射することで、伝播した超音波の一部が鋼材内部に進入し多重反射させ、その反射波を検出することで肉厚測定する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超音波の多重反射を利用することで非接触（付着物ありの状態）で鋼材の肉厚測定が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適用実績が少ない</li> <li>・送受波器が 5kg と重いため、従来の超音波式に比べ作業性が劣り、センサーの取扱が容易でない</li> </ul>	<b>【特許】</b> 第 6643762 号
	電磁超音波厚さ計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁的に鋼材内部に超音波を発生させ、伝播させた反射波を電気信号として受信し、送信から受信するまでの時間（伝播時間）を計算し、厚さに変換する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定面の錆や塗膜を落とさなくても、肉厚測定が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・貝類等の付着生物の除去は必用</li> <li>・従来型の超音波式より精度は劣る</li> </ul>	一部販売あり

※   は本書に掲示した新技術

本書は、このうち従来技術の超音波センサーと同等な測定精度を有し、代替可能かつ効率の極低周波磁気検査法（磁気センサー）を活用した肉厚測定についてとりまとめたものである。なお、本書をとりまとめるにあたり使用した試験機器は、ACTUNI 社の製品である“SPEC-01”であるため、取り扱い等の内容について本試験機器に準じる表記としているが、それ以外を排除するものではなく、本書を参考に適宜試験機器を選択し広く活用されるところととも今後の技術開発を期待するところである。

### 3 磁気センサーの有効性と適用条件

#### 3.1 従来技術との違い

従来技術との違いについて、磁気センサーの特徴を有効性と留意点の観点でとりまとめている。

#### 【解説】

##### (1) 有効性

従来技術（超音波センサー）の肉厚測定では、付着物の除去や鋼材の地肌を露出させるケレン作業が不可欠であるが、磁気センサーにおいては、ケレン作業が不要となるため、潜水士の作業負担軽減など多くの効果があり有効性は高い。肉厚測定の作業フローからみる従来技術との比較を図 3-1 に示す。

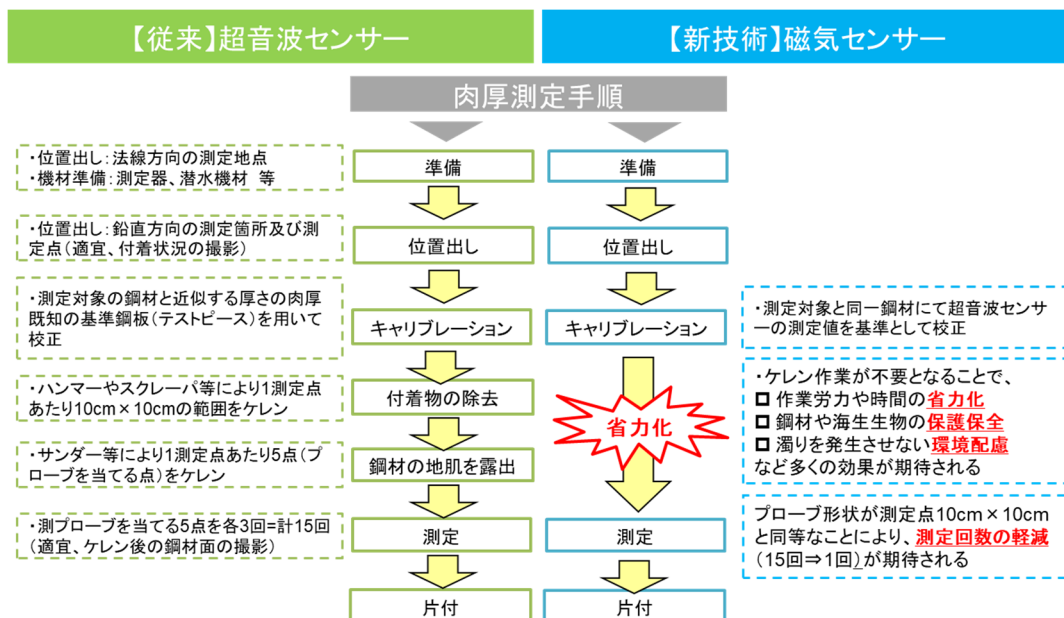


図 3-1 肉厚測定の作業フローからみる従来技術との比較

## (2) 留意点

### ①「キャリブレーション」において

磁気センサーは、鋼材の組成の違いに影響を受けるため、キャリブレーションに当たっては、鋼材の規格、型式、形状および建設年次（工区）等、それら条件（組成）が変更する都度、測定対象と同条件の鋼材にて超音波センサーの測定結果に基づいた実施が必要となる。なお、測定対象となる鋼材そのものを用いたキャリブレーションを行う場合、供用中施設であるため、現有厚さが不明である場合が多いと考えられる。キャリブレーションを行う場合は対象とする板材の厚さの情報は不可欠であり、その部位の現在厚さの校正値（真値）として超音波センサーによる測定が必要となる（すなわち、最低1か所はケレンを行う必要がある）。

### ②「測定」において

磁気センサーによる「測定」は、超音波センサーと比べてケレン不要かつ測定点の面的な平均値を1回で測定する効率化が可能である一方、鋼材表面の腐食が均一ではなく、局部的に集中して生じる局部腐食の把握はできない。このため、測定結果の状況等を踏まえ必要に応じて部分的なケレンにより鋼材表面の状態を確認することに留意が必用である。

--- 【参考情報】 -----

【時間効率】

有効性の検証として、一定の条件による磁気センサーと超音波センサーとの作業時間の比較（計測）をすると、約 50%の時間短縮が確認された。

表 3-1 に設定条件、表 3-2 に各作業手順にかかる時間比較を示す。キャリブレーションでは時間増加となるが、ケレンおよび測定で顕著な時間短縮となることが確認された。

**表 3-1 設定条件**

鋼材種類	U型鋼矢板	初期肉厚 10.3mm
測定地点	1	地点間の移動なし
測定箇所（水深）	2	-1.0m、-2.0m
測定点	4	凹×2、凸×2

**表 3-2 各作業手順にかかる時間比較**

手 法 手 順	肉厚測定にかかる作業時間（分）	
	超音波センサー	磁気センサー
1.準備（測定機器）	3	3
2.位置出し（撮影含む）	3	3
3.キャリブレーション	2	10
4.ケレン	20	0
5.測定	15	4
6.片付け（測定機器）	3	3
作業時間計	46	23
時間短縮率	-	50.0%

【経済性】

推奨する磁気センサーの NETIS 登録情報（登録番号 KK-220042-A）では、超音波センサーとの比較による経済性について、以下のとおり大幅なコスト削減と工程の短縮が可能となったことが示されている。

**表 3-3 共通条件**

測定内容	鋼矢板の肉厚測定
測定場所	大阪湾
測定数量	400 箇所

**表 3-4 超音波センサーとの測定にかかる経済比較**

項 目	超音波センサー	磁気センサー	向上の程度
測定日数	8 日	2 日	75%
測定金額	3,346,112 円	680,624 円	79.66%

### 3.2 対象施設

本書で対象とする施設は、漁港施設における鋼構造物（鋼矢板、鋼管杭など）のうち無防食施設を基本とする。

#### 【解説】

磁気センサーは、従来技術を代替するものであり、表 3-5 のとおり超音波センサー同様の対象施設とする。無防食施設を基本とするが従来技術と同様に電気防食工は対象範囲となる。ただし、電気防食工における流電陽極方式の場合、陽極の至近では陽極の微弱電流が測定に影響を及ぼす可能性があるため、10cm 程度以上の距離を保つことに留意が必要である。同様に、被覆防食工におけるペトロラタム被覆の保護カバーの下端金具など、測定対象鋼材と組成が異なる磁性体の至近は避け、10cm 程度以上の距離を保つことに留意が必要である。

表 3-5 対象施設と適用範囲

	対象施設	適用範囲（部位・部材）
外郭施設	矢板または杭式防波堤、浮防波堤、矢板式護岸等	鋼矢板、鋼管杭、鋼製ポンツーン（頂版、底版、側壁等）等
係留施設	矢板式系船岸、栈橋式係船岸、浮体式係船岸等	鋼矢板、鋼管杭、鋼製ポンツーン（頂版、底版、側壁等）等

#### --- 【参考情報】 -----

「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（2022 年版）」（一般社団法人沿岸技術研究センター）では、新技術として電磁誘導法による非接触型の肉厚評価技術（本書、表 2-1 記載の「RTD-INCO TEST」に該当）記載されている。ここでは「カキ殻の他、コンクリート、モルタル、エポキシ樹脂、FRP 等、非磁性の材質の材料が鋼材表面に被覆（被覆厚さ 200mm 以下）されていても測定可能である」と記載されている。このように機器により適用範囲が異なるため、被覆防食工への適用をすべて排除するものではなく、使用する機器の仕様等に応じ適宜対応することができる。

本書で使用の測定機器においても、有効性の検証として被覆防食を施している施設について現地確認し一定の測定結果を得た。ただし、間接的な検証等（過年度の測定結果や隣接箇所での超音波センサーとの比較）のみで十分な検証データの取得にまで至っていないことから適用範囲外としている。したがって、施設を維持管理していく上で必要に応じた参考値としての適用を排除するものではない。

### 3.3 磁気センサーの仕様・構成等

磁気センサーは、極低周波（数 Hz～数百 Hz）を有する交流磁気を鋼材に加える発信装置と、発生した渦電流による微弱な磁場を受信する高感度センサーで構成される。

#### 【解説】

水産基盤施設の肉厚測定における磁気センサーの推奨仕様を表 3-6、基本構成を図 3-2 に示す。この仕様・構成は本書で用いた試験機器であり、これを参考に適切なものを選定することとする。したがって、磁気センサーのプロープ形状が肉厚測定点の標準範囲である約 10×10cm に相当するφ10cm（丸型）もしくは 10×10cm（角型）のものを示す。本書では、当該仕様を満たす機器を用いることを前提としているが、現場条件等によっては当該仕様を必ずしも満たす必要はない。

表 3-6 磁気センサーの推奨仕様

項目	仕様	備考
励磁方式	時分割励磁式	
励磁電流	150～500mA	プローブ仕様により変更
試験周波数	0.6, 1, 3, 5, 10, 20, 100, 200, 1000Hz	対象材の板厚より組み合わせを変更
機器-PC 間通信	USB 通信	
動作環境	温度：0～40℃ 湿度：10～85%	
寸法 （キャリアケース）	366（W）×472（L）×160（H）mm	
重量	約 9kg	
電源	DC12V, 2A	付属の専用バッテリーを使用すること
消費電力	約 24VA	
連続使用可能時間	約 6 時間	

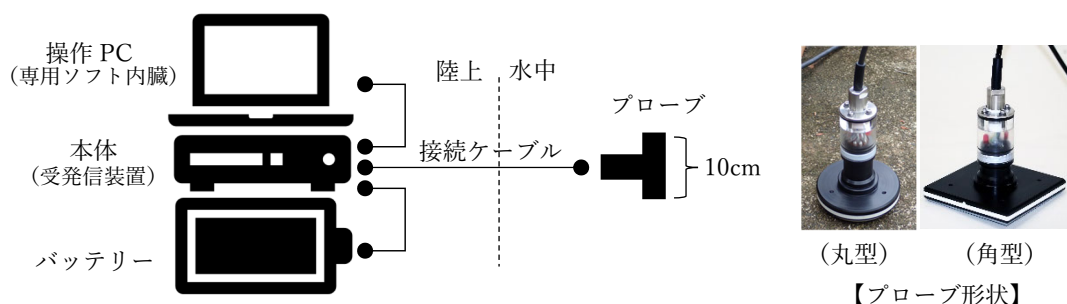


図 3-2 磁気センサーの基本構成（例）

### 3.4 従来技術（超音波センサー）との使い分け

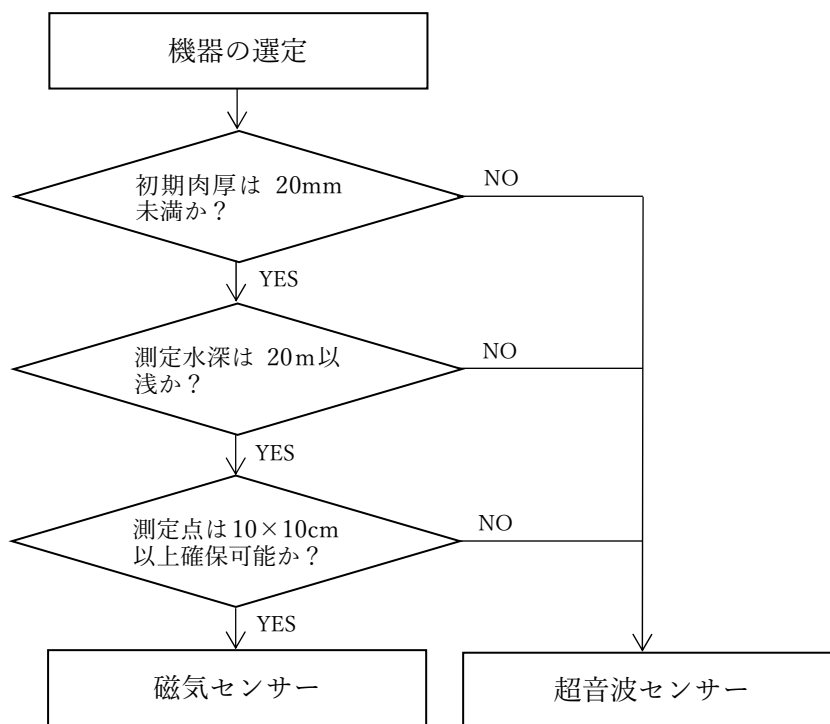
磁気センサーは、対象施設の構造条件等に応じて適切に使い分けて活用する必要がある。

#### 【解説】

磁気センサーは、超音波センサーとの適用条件（限界）が異なるため、適切な使い分けが必要となる。表 3-7 に適用条件、図 3-3 に使い分けのフローを示す。ただし、フローは磁気センサーが適用“できる”条件を示すものであり、すべての条件を満たす場合でも従来通りに超音波センサーを使用することを妨げるものではない（ただし、ケレンは必要となる）。

表 3-7 適用条件

適用条件	磁気センサー	超音波センサー
測定可能鋼材厚さ	20mm 以下	概ね 250～300mm 以下
測定可能付着厚さ	60mm 以下	不可
測定可能水深	20m 以下	耐圧水深 100m 程度以下
測定可能面積	10×10cm 以上	概ね 3×3cm 以上



注) 付着厚さ（リフトオフ）が 60mm 以上の場合、60mm 未満まで除去することに留意が必要

図 3-3 磁気センサーと超音波センサーの使い分けフロー

## 4 磁気センサーの測定精度と測定方法

### 4.1 測定精度

機能保全計画における老朽化予測や対策要否、工法選定等に求められる精度を確保する必要がある。

#### 【解説】

従来活用されている一般的な超音波センサーの測定精度（誤差）が $\pm 0.01 \sim \pm 0.1 \text{mm}$ であるのに対し、磁気センサーの測定精度（誤差）は $0.1 \text{mm}$ 以下（リフトオフ $60 \text{mm}$ の場合）（リフトオフ $40 \text{mm}$ なら $0.06 \text{mm}$ 、リフトオフ $30 \text{mm}$ なら $0.03 \text{mm}$ 以内の誤差）であり、付着物厚さを意味するリフトオフは $60 \text{mm}$ まで適用できる。また、本書で用いた試験機器のNETIS登録情報（登録番号KK-220042-A）では、実証による確認精度、従来法（超音波センサー）との比較精度ともに $\pm 5\%$ 以内と示されている。

従来技術である超音波センサーの精度は使用機器によるがカタログ上の数値としては $\pm 0.01 \sim 0.1 \text{mm}$ 程度であることから、磁気センサーの精度は概ね同程度であり、従来技術の代替は可能である。

#### --- 【参考情報】 -----

#### 【測定精度の検証】

大井ら（2023）<sup>1)</sup>は磁気センサーの測定精度（誤差）を、初期肉厚を保持するJIS G 3106（溶接構造用圧延鋼材）のSM490Aを用い、厚さ $6 \sim 16 \text{mm}$ の範囲で $2 \text{mm}$ ピッチに検証を行った。その際の検証結果を表4-1に示す。

表 4-1 磁気センサーの測定精度（誤差）（大井ら、2023）<sup>1)</sup>

リフトオフ	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
鋼材厚さ	測定誤差 (mm)				
6 mm	<b>0.02</b>	0.02	0.01	0.01	0.04
8 mm	<b>0.02</b>	0.02	0.01	0.01	0.04
10 mm	<b>0.01</b>	0.03	0.01	0.01	0.02
12 mm	<b>0.01</b>	0.02	0.01	0.01	0.05
14 mm	<b>0.03</b>	0.02	0.02	0.02	0.06
16 mm	<b>0.01</b>	0.01	0.01	0.01	0.04

→リフトオフ

#### 【超音波センサーとの比較】

超音波センサーとの測定精度の比較について、室内および現地試験により検証を行った結果、概ね $\pm 0.5 \text{mm}$ 未満の差であった（図4-1 ※一例なので平均しても $0.5 \text{mm}$ にはならない）。超音波センサーは約 $\phi 1 \text{cm}$ のプローブにより従来どおり測定点約 $10 \times 10 \text{cm}$ の

範囲を5点×3回測定 of 平均値から測定値を算出、磁気センサーはφ10cmのプロープにより超音波センサーと同一測定点を平面1点×3回測定 of 平均値から測定値を算出した。両センサーによる測定値の差は、このように測定条件が異なる比較であることや、供用中の鋼材には深さ1mm程度の凹凸が点在している状況（図4-2）から生じているものと考えられ、上記の通り両センサーとも十分な基本性能を有していることに鑑みれば、磁気センサーは超音波センサーの代替手法として適用可能であると言える。留意点としては、ケレン不要のため局部腐食など鋼材表面の状態（凹凸）の把握はできない。よって、発錆がみられる箇所や腐食量が顕著な場合など、測定結果等の状況を踏まえて部分的なケレンにより鋼材表面の状態を確認することが望ましい。

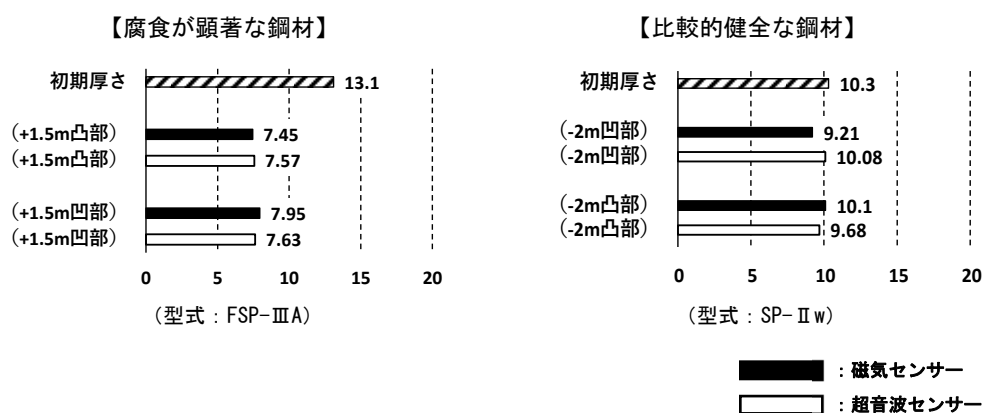


図 4-1 磁気センサーと超音波センサーの測定値の差（比較）の一例

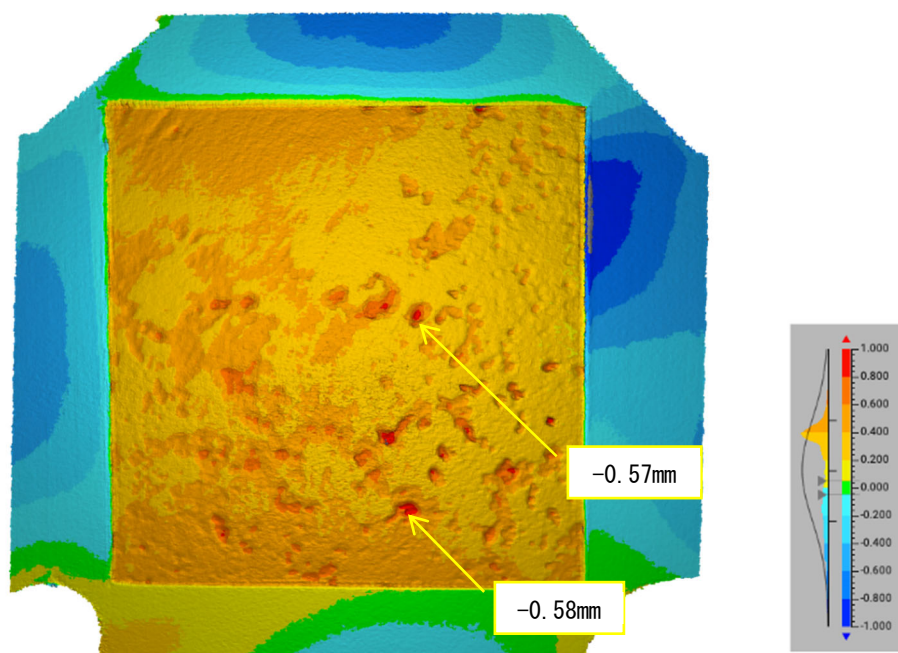


図 4-2 鋼矢板表面高さのコンター図

(参考文献)

- 1) 大井邦昭、塚田啓二、三上信雄、松本力、武田真典、渡辺創：高感度磁気センサーを活用した鋼材厚さ測定手法の漁港施設水中部点検に対する適用性，土木学会論文集 B3（海洋開発） Vol.79, 18号 23-18149, 2023.
-

## 4.2 測定手順

詳細調査計画に基づき、必要機材を準備する。測定に求められる精度を確保しつつ、安全に配慮しながら、手順に従って肉厚測定をする。

### 【解説】

#### (1) 実施フロー

以下の実施フローに従って、磁気センサーを用いた肉厚測定を実施する。

ここでは本書で用いた磁気センサーについて記載するものであるが、機種によって取り扱いが異なるため、取扱説明書や機器メーカーからの事前説明等、十分に理解したうえで安全かつ適切に使用することに留意が必要である。なお、測定地点や箇所等の選定の考え方は超音波センサー同様のため本書では割愛する。

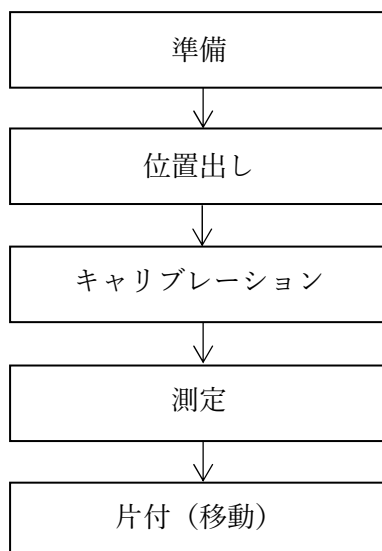


図 4-3 磁気センサーを用いた肉厚測定実施フロー

#### (2) 準備

購入・リース、委託等の選択肢を経て、肉厚測定に必要な機材を準備する。

肉厚測定機器（磁気センサーおよび超音波センサー）の接続・設定、潜水機器（水中電話、エア工具等）の接続・設定した後、試運転により作動確認を行う。磁気センサーの測定装置については、以下の手順で設定（準備）する。

### 【手順】

- ① 検査器とプローブを接続後、検査器本体と操作 PC の電源を入れる。
- ② ソフトウェアを立ち上げ画面右上の LED が緑に点灯し「接続 OK」と表示が変更されたことを確認（下図①）。
- ③ 「設定」タブを選択（下図②）
- ④ 「スペクトル判定」の「低」を選択（下図③）。測定回数を複数回に設定した場合、各

測定結果の誤差を判定し誤差が大きいと「再測定してください。」と自動表示させる機能。  
低・中・高・無の4段階あり「低」を標準とする。

- ⑤ 「検査」タブを選択（下図④）
- ⑥ 「詳細名称」を入力（下図⑤）。
- ⑦ 「プローブ型番」を選択（下図⑥）
- ⑧ 検査モードを「リファレンス」に設定する（下図⑦）。リファレンスとは、現場周辺に存在する地磁気等（地球上から発する様々な外乱データ）を取り除く作業であり、測定の事前準備として必要となる。その際、プローブは磁気を発するものから 15cm 以上距離をとり、可能な限り垂直（下向き）に固定（静止）させてから行うことに留意する。
- ⑨ 「測定開始」を選択（下図⑧）。乱れた波形が表示され設定完了（下図⑨）。
- ⑩ 測定データは、手順⑥で入力した詳細名称をファイル名として自動保存される。

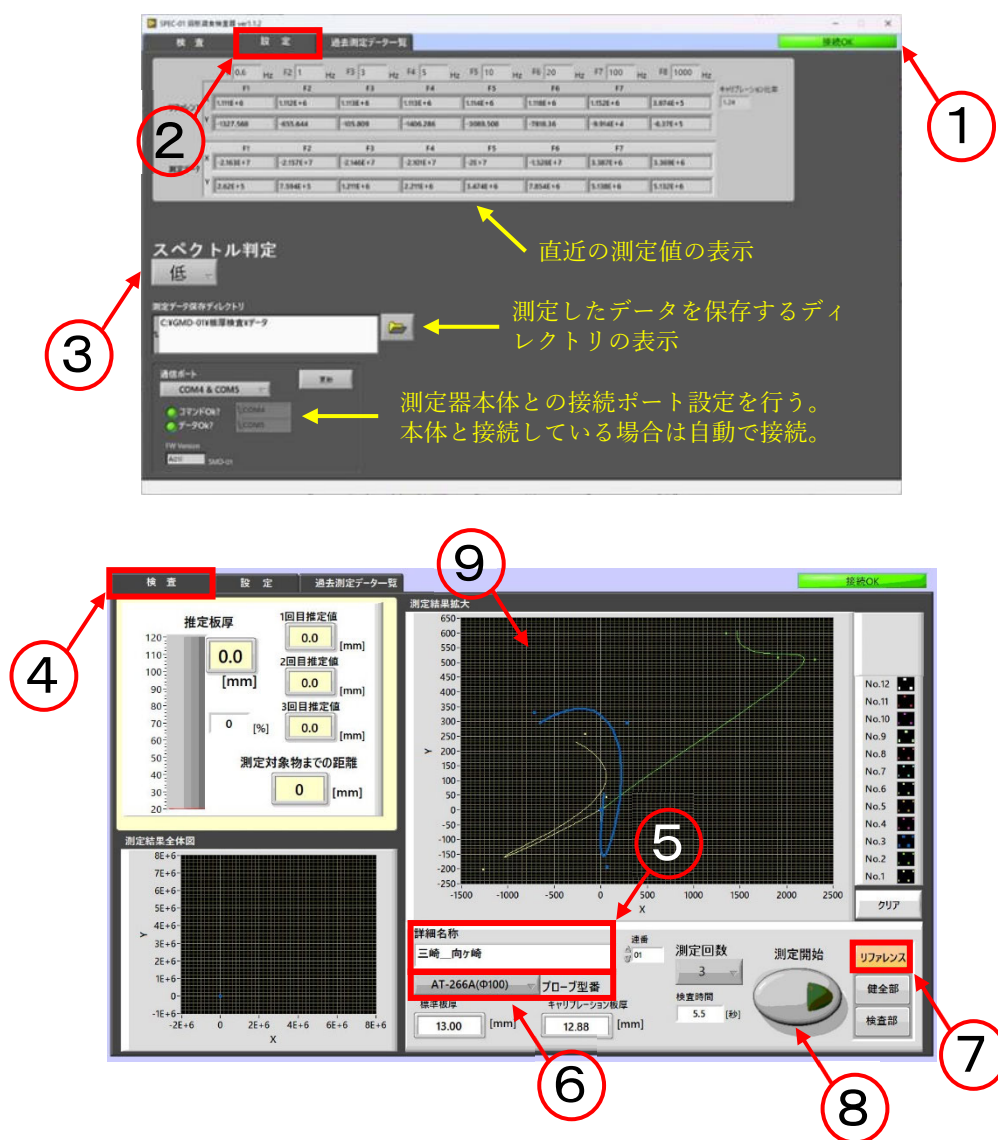


図 4-4 測定装置の事前設定（上：設定タブ画面、下：検査タブ画面）

### (3) 位置出し

測定地点（法線方向）の位置出しは、対象施設の陸上部（上部工コンクリート）を巻き尺等のスケールを用いて行い、チョーク等によりマーキングをする。測定箇所（鉛直方向≒水深）の位置出しは、測定地点の上部工コンクリート天端もしくは下端からスタッフや目印ロープ等のスケールを用いて潜水士により行う。位置出し後は、各測定点について適宜付着状況の撮影をしておくが良い。

#### 【留意点】

- ・陽極が施されている施設では、可能な限り距離を確保（10cm 程度以上）することが望ましい（特に芯金の溶接部付近）。
- ・鋼管の溶接部や当て板補修部は避けることに留意する。補修図面を事前入手しておくことや付着で確認不可の場合でも、測定値結果のばらつき程度を判断し、位置をずらして再測定を行うなどの対処を必要とする。

### (4) キャリブレーション

磁気センサーは、鋼材の組成の違いに影響を受けるため、キャリブレーションに当たっては、鋼材の規格、型式、形状および建設年次（工区）等、測定対象と同一鋼材にて行う必要がある。よって、超音波センサーのキャリブレーション方法（陸上にてテストピースを用いた簡便な方法）とは異なり、磁気センサーのキャリブレーションは以下の手順および留意点により実施する。

#### 【手順】

- ① 測定対象と同一鋼材の 1 点を超音波センサーにて測定する（5 点×各 3 回=15 点）。よって、キャリブレーションの 1 点のみ付着物のケレンが必要となる。
- ② 検査モードを「健全部」に設定する（下図①）。
- ③ 「詳細名称」を入力（下図②）。
- ④ 測定対象の設計肉厚を「標準板厚」に入力する（下図③）。
- ⑤ 超音波センサーの測定値（15 点の平均値）を「キャリブレーション板厚」に入力する（下図④）。
- ⑥ 「測定回数」3 回を選択する（下図⑤）。3 回を標準とするが、長時間のプロープ固定が困難な場合等、状況に応じて回数を選択することで検査時間を短縮し、数回繰り返すことでその平均値を測定値とすることもよい。
- ⑦ 超音波センサーと同一測定点にて磁気センサーのプロープを固定し「測定開始」を選択（下図⑥）。測定中は測定開始ボタンの LED が緑色に点灯、磁気プロープ内の LED が赤色に点灯する。
- ⑧ 測定終了後「測定データを保存しますか」と表示される（下図⑦）
- ⑨ 波形が乱れなく一致していることを「測定結果拡大」グラフから確認（下図⑧）。
- ⑩ 問題が無ければ[YES]を選択。キャリブレーション完了。
- ⑪ 波形にばらつきがみられる場合は、正確に測定できていないため（プロープの固定が不

完全など) [NO]を選択し、再測定を行う。

⑫ 測定データは、手順③で入力した詳細名称をファイル名として自動保存される。

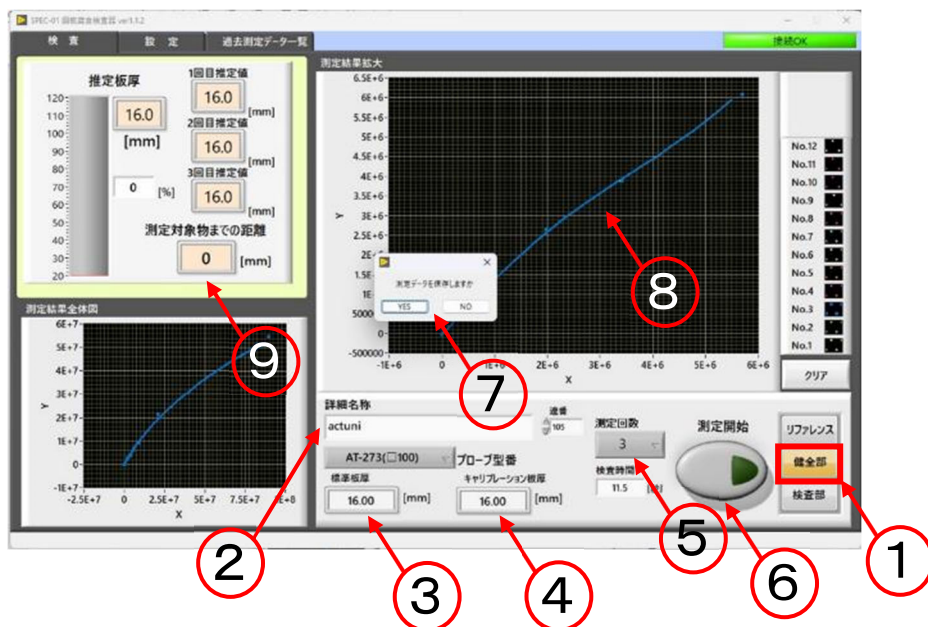


図 4-5 キャリブレーションの操作手順

【留意点】

- ・キャリブレーションを行う点は、測定対象範囲のうち可能な限り腐食の軽微な箇所を選定し（干満帯を避ける、発錆箇所を避ける、過去データを参考にする等）、測定対象と同一の杭（または矢板）の測定対象の至近で行うとよい。
- ・測定対象物までの距離（リフトオフ）（上図⑨）は、キャリブレーション測定時の距離が基準（0mm）となるため、プローブ先端に固定用治具等は取り付けずノーマルな状態で実施することが望ましい。
- ・手順⑨の「波形が乱れなく一致」は測定者の判断となるため、ある程度の経験値が必要となる。波形の参考事例を図 4-6 に示す。

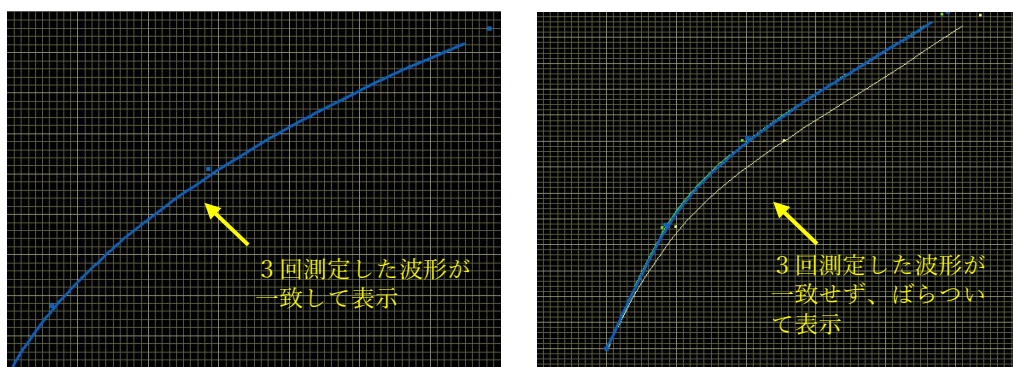


図 4-6 キャリブレーションの波形例  
 (左：正常な波形、右：正確な測定ができていない波形)

- ・キャリブレーションの推奨事項を図 4-7 に示す（一部、(5) 測定を含む）。図中の①～④にてキャリブレーションから測定まで実施後、⑤で④の測定部をケレンし、⑥超音波センサーで④の測定値を検証する。④と⑥の測定値が同等の場合、磁気センサーによる測定を継続、同等でない場合（±0.5mm 程度の差を目安）、⑥の検証値を用いて⑦を再測定（キャリブレーション）する。その後、別の測定点を測定し検証値が同等となるまで⑤～⑦を繰り返す。

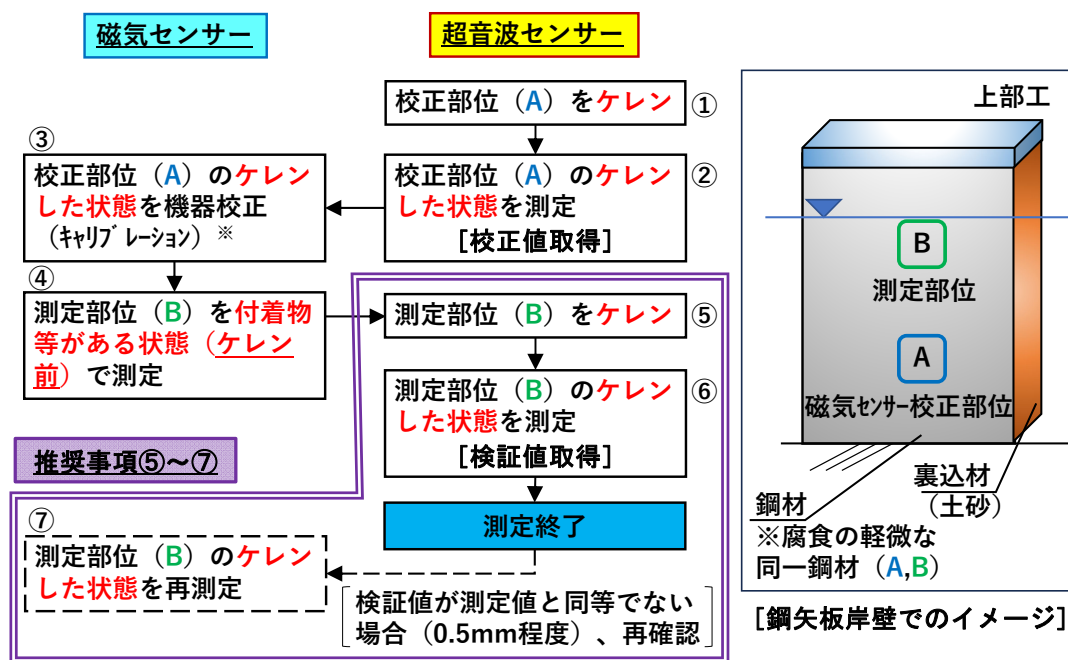


図 4-7 キャリブレーションの推奨事項

- ・キャリブレーションの精度はその後の測定の基本となる手順となる。このことから、⑦の再測定を複数回繰り返し、磁気センサーの測定値にバラツキがないことを確認することが望ましい。

## (5) 測定

位置出した測定点について、付着物の上から磁気センサーを数秒間静止させることで測定する。静止時間は鋼材厚さにより異なるため、事前に潜水士へ静止時間を共有しておく方が良い。以下に測定手順および留意点、表 4-2 に鋼材厚さによる静止時間を示す。

### 【手順】

- ① 検査モードを「検査部」に設定する（下図①）。
- ② 「詳細名称」を入力（下図②）。
- ③ 「標準板厚」「キャリブレーション板厚」「測定回数」はキャリブレーションの設定値と同一を基本とする。
- ④ 測定点にプローブを固定し、「測定開始」を選択（下図③）。測定中は測定開始ボタンの

LED が緑色に点灯、磁気プローブ内の LED が赤色に点灯する。

- ⑤ 測定終了後「測定データを保存しますか」と表示される。
- ⑥ 測定結果に問題が無ければ[YES]を選択。測定完了。
- ⑦ 問題がある場合は、[NO]を選択し再測定を行う。なお、測定回数を複数回に設定している場合、測定結果に誤差があると「再度測定してください。」と自動表示される。
- ⑧ 測定結果は「推定板厚」として各測定回の測定値と平均値を示す（下図④）。
- ⑨ 測定データは、手順②で入力した詳細名称をファイル名として自動保存される。
- ⑩ 測定点毎にこの手順を繰り返す。

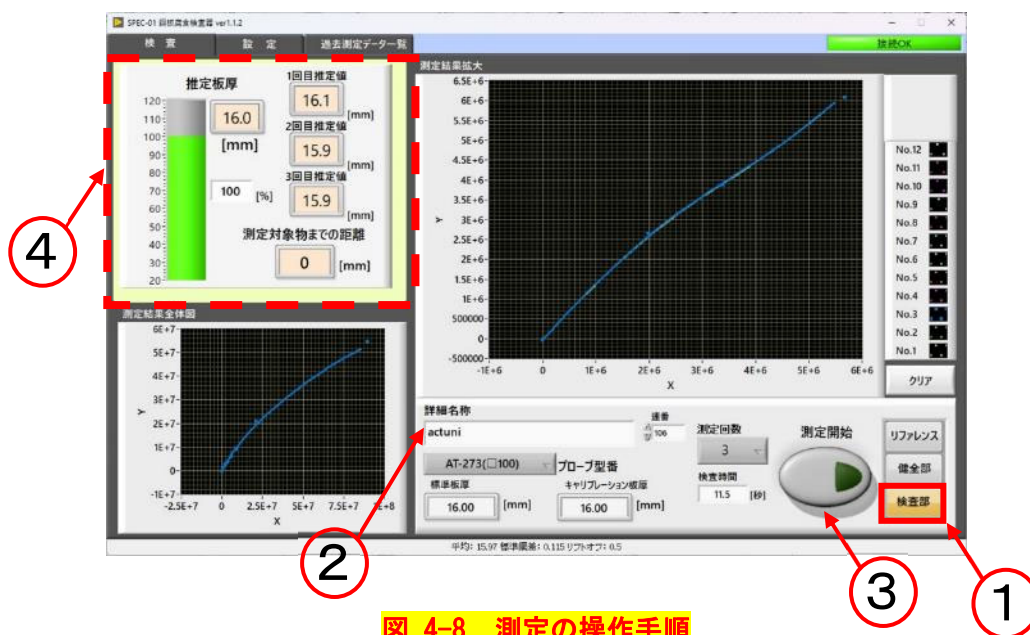


図 4-8 測定の操作手順

表 4-2 鋼材厚さ別の測定（静止）にかかる時間（秒）

測定回数 (回)	鋼材厚さ (mm)		
	～14	14～20	(20～)
1	2.2	4.2	(7.6)
2	3.9	7.9	(14.5)
3	5.5	11.5	(21.5)

※鋼材厚さ 20mm 以上は、実質適用範囲外

【留意点】

- ・ケレン不要のため局部腐食など鋼材表面の状態の把握はできない。よって、発錆箇所や腐食量が顕著な場合等においては、測定点を増やすことや測定結果の状況を踏まえて部分的なケレンにより鋼材の表面状態を確認しておくことが望ましい。
- ・プローブを付着物上で一定時間静止させるのは困難なため、付着状況や鋼材形状等を考慮した固定用治具を用いることが有効である（【参考情報】参照）。

- ・推奨する磁気センサーのリフトオフ限界は 60mm 以下のため、超過する場合は位置変更もしくは適用範囲内までケレンが必要となることに留意する。
- ・測定記録は測定完了後に自動保存されるため、保存名称は重複や不足のないように十分注意するとともに事前にフォルダ区分等しておくことが望ましい。

#### (6) 片付 (移動)

測定が完了次第、自動保存されている検査ログデータに不足等のないことを確認後、操作 PC と検査機器の電源を落としケーブルを切断する。検査ログデータ例を表 4-3 に示す。リファレンスデータにはファイル名の先頭に「REF」、キャリブレーションデータにはファイル名の先頭に「STANDARD」が付加される。その他、使用した器具等を片付け使用前と同様の状態であることを確認し移動する。なお、除去した付着物は持ち帰り適切に処理することとする。

**表 4-3 検査ログデータ例**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	検査時刻	ファイル名	補正前板厚(nr)	補正後板厚(nr)	リフトオフ[nr]	1回目推定値	2回目推定値	3回目推定値
2	14:04:17	REF_三崎_向ヶ崎_0	0	0	0			
3	14:08:40	STANDARD_三崎_向ヶ崎_0	11.98	11.98	18.4	11.98	11.98	11.98
4	14:09:47	三崎_向ヶ崎2号_II	8.86	8.86	0.3	8.87	8.81	8.89
5	14:10:15	三崎_向ヶ崎2号_II	8.95	8.95	0.6	9.1	9.19	8.55
6	14:10:42	三崎_向ヶ崎2号_II	8.98	8.98	0.3	9.02	9.12	8.79
7	14:11:13	三崎_向ヶ崎2号_II	11.7	11.7	0	11.88	11.27	11.94
8	14:11:35	三崎_向ヶ崎2号_II	11.97	11.97	0	11.87	11.93	12.1
9	14:12:09	三崎_向ヶ崎2号_II	12.2	12.2	0	12.08	12.17	12.35
10	14:12:25	三崎_向ヶ崎2号_II	12.07	12.07	0	12.24	12.21	11.76
11	14:13:01	三崎_向ヶ崎2号_II	11.52	11.52	0	11.64	11.46	11.45
12	14:13:24	三崎_向ヶ崎2号_II	11.54	11.54	0	11.55	11.5	11.57

--- 【参考情報】 -----

【固定用治具】

磁気センサーは鋼材の付着物を除去することなく厚さを測定することができるものであるが、現状では鋼材の厚さにより3～12秒程度の固定（静止）が必要で、凸凹が大きい貝類等の付着物上での長時間の固定は難しく、潜水士への負担が大きい。このため、付着物上で固定がしやすくなるようプローブ先端に脱着可能な固定用の治具を装着するとよい。下図にピン長20～35mmの固定用治具（例）を示す。

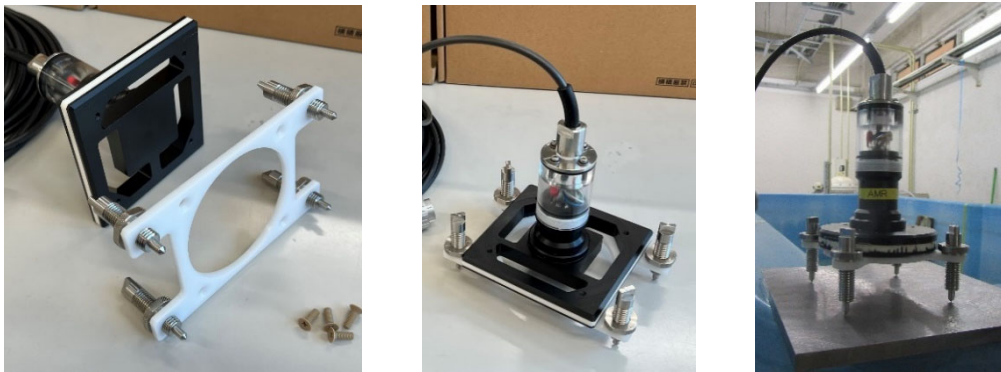


図 4-9 固定用治具（例）

（左：取付前（角型）、中：取付後（角型）、右：取付後（丸型））

### 4.3 データの整理・評価

磁気センサーで取得した肉厚測定データから現有肉厚を用いて、腐食量および腐食速度を算出することで、肉厚を評価する。

#### 【解説】

データ整理・評価の方法は、従来の超音波センサーと同様である。

磁気センサーで得られた肉厚測定データを、施設別、地点別、箇所（深度）別、および測定点別に一覧表として整理する。補修対策の要否や工法選定をする場合、現有肉厚が5mm以下か否か、腐食量が余裕代を超えているか否か等の力学性能に対する評価を踏まえることが重要となる。また、老朽化予測をする場合、当初設計での想定値や標準的な腐食速度（表4-4）と比較して評価することがガイドラインでも示されているところである。表4-5に磁気センサーの肉厚測定データ整理例として鋼矢板の場合の一覧表（記録例）を示す。

表 4-4 鋼材の平均腐食速度（標準値）

腐食環境	腐食速度（mm/年）
H.W.L 以上	0.3
H.W.L～L.W.L-1.0m	0.1～0.3
L.W.L-1.0～水深 20m	0.1～0.2
水深 20～50m	0.06
水深 50m 以深	0.045
海底泥層中	0.03
陸上大気中	0.1
土中（残留水位上）	0.03
土中（残留水位下）	0.02

表 4-5 磁気センサーによる肉厚測定記録表例（鋼矢板用）

漁港名称	〇〇漁港	施設名称	〇〇岸壁	管理事務所	〇〇事務所										
形状・種類	〇〇形鋼矢板 (SYW〇〇)	型式	SP-〇〇型	初期肉厚	13.0 mm										
施工年月	〇〇年〇〇月	経過年数	12年	防食種類	アルミニウム合金陽極										
測定日	〇〇年〇〇月	測定者	〇〇	測定器	〇〇 (〇〇製)										
測定地点	測定方法	測定箇所 (深度 m)	測定点 (凹凸)	探触子点	① 現有肉厚 (mm)					② 腐食量 (mm)		③ 腐食速度 (mm/Yr)		リフトオフ (mm)	
					1回目	2回目	3回目	平均	最小	平均	最大	平均	最大		
calibration スパンNo.〇 (起点+〇m)	超音波センサー	-〇.〇	凸	①	12.00	11.99	11.98	11.99	11.57	1.22	1.42	0.102	0.118	-	
				②	11.88	11.87	11.86	11.87							
				③	11.78	11.78	11.79	11.78							
				④	11.66	11.67	11.68	11.67							
				⑤	11.59	11.58	11.57	11.58							
				測定点平均				11.78							11.78
スパンNo.〇 (起点+〇m)	磁気センサー	+〇.〇	凹	11.22	11.23	11.24	11.23	11.22	1.77	1.78	0.147	0.148	23		
			凸	11.22	11.21	11.20	11.21	11.20	1.79	1.80	0.149	0.150	22		
		-〇.〇	凹	11.33	11.34	11.35	11.34	11.33	1.66	1.67	0.138	0.139	21		
			凸	11.33	11.32	11.31	11.32	11.31	1.68	1.69	0.140	0.141	20		
		-〇.〇	凹	11.70	11.71	11.72	11.71	11.70	1.29	1.30	0.108	0.108	10		
			凸	11.73	11.74	11.75	11.74	11.73	1.26	1.27	0.105	0.106	11		
		-〇.〇	凹	11.70	11.71	11.72	11.71	11.70	1.29	1.30	0.108	0.108	3		
			凸	11.73	11.74	11.75	11.74	11.73	1.26	1.27	0.105	0.106	2		
		スパンNo.〇 (起点+〇m)	磁気センサー	+〇.〇	凹										
					凸										
-〇.〇	凹														
	凸														
-〇.〇	凹														
+〇.〇	凸														

--- 【参考情報】 ---

【取得データ】

推奨する磁気センサーにて取得（自動保存）されるデータ例を下図に示す。測定データは CSV ファイルのため、記録表へコピーすることで効率的な整理が可能となる。

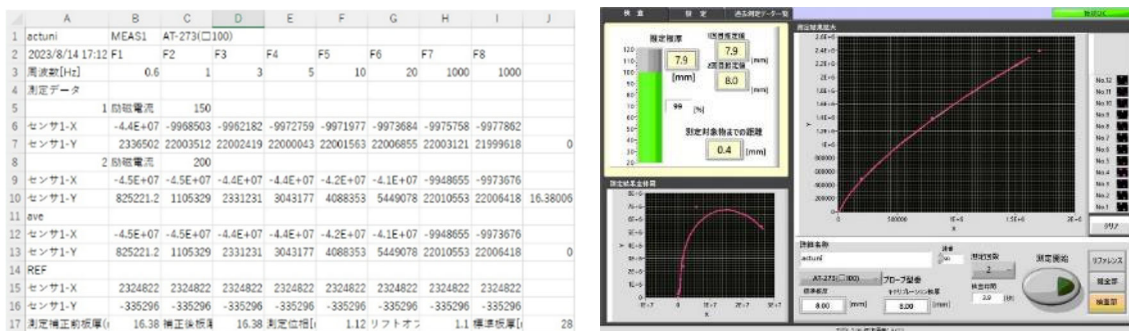


図 4-10 自動保存される測定データ例（左：CSV データ、右：画像データ）

## 5 安全管理上の留意点

磁気センサーの実施にあたり、事前に潜水・海上作業の許可・届出、他の関係する法令に規定する許可や届出を提出する。また、地方条例や団体等によって定められた同意・承諾等を遵守してその履行に適切に対応する。

さらに、調査海域を管轄する関係機関や関係者への作業内容、作業方法および作業工程の周知を行う必要がある。

### 【解説】

管轄海上保安部への潜水・海上作業の許可申請は、原則、作業を行う1か月前までに、受注者が管轄の港長又は海上保安部署等へ行う。

この許可申請に基づき、実施される測量作業区域、方法等の公示が行われるほか、水路通報や航行警報が発出され、測量作業について安全周知が行われる。

### --- 【参考情報】 -----

#### 【関係法令】

磁気センサーを用いた肉厚測定に伴う潜水・海上作業については、関係する法令等を遵守する。

- (1) 港則法
- (2) 海上交通安全法
- (3) 海上衝突予防法
- (4) 漁港及び漁場の整備等に関する整備法
- (5) 海洋汚染等および海上災害の防止に関する法律

【参考文献等】

資料名	発行年	発行	備考
水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン	令和6年 4月改訂	水産庁漁港漁場整備部	
漁港漁場設計・測量・調査等業務 共通仕様書	令和6年 4月	水産庁漁港漁場整備部	