

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への適用について

(国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所 大井 邦昭
(一社) 水産土木建設技術センター 松本 力
北日本港湾コンサルタント(株) ○三上 信雄
(水産技術研究所 客員研究員)

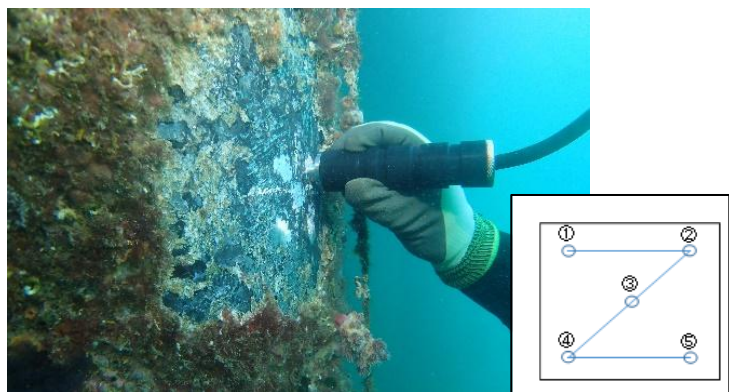
1. はじめに（背景と目的）
2. 技術の概要（従来の技術との比較）
3. 室内試験
4. 現地試験
5. 評価と考察
6. まとめ

1.はじめに（背景と目的）

- 膨大な施設を有する漁港施設に対して適切な機能保全対策を行うため、施設の現状を知るための「点検」は必要不可欠。
- 点検（業務）は人的、経済的、環境的な負担が大きいいため、効率化が求められる。
- 施設の老朽化要因の特定や老朽化予測のために「詳細調査」において行われる「鋼材厚さ測定」は、従来技術である『超音波厚さ計』による方法が標準的に用いられているが、作業負担・環境負荷が課題となっている（特に鋼材表面の付着物や腐食部を除去する「ケレン」作業の負担が大きい）。
- 今回発表（提案）する『高感度磁気センサー』を用いた極低周波渦電流探傷法（以下、磁気センサー）は「ケレン」が不要のため、作業の軽減や環境負荷の低減が期待される。
- 実際に供用中の漁港施設を対象に模擬的な点検作業を行い、適用性（精度、作業性、適用範囲）の検証を行った。

2. 技術の概要（従来技術の課題）

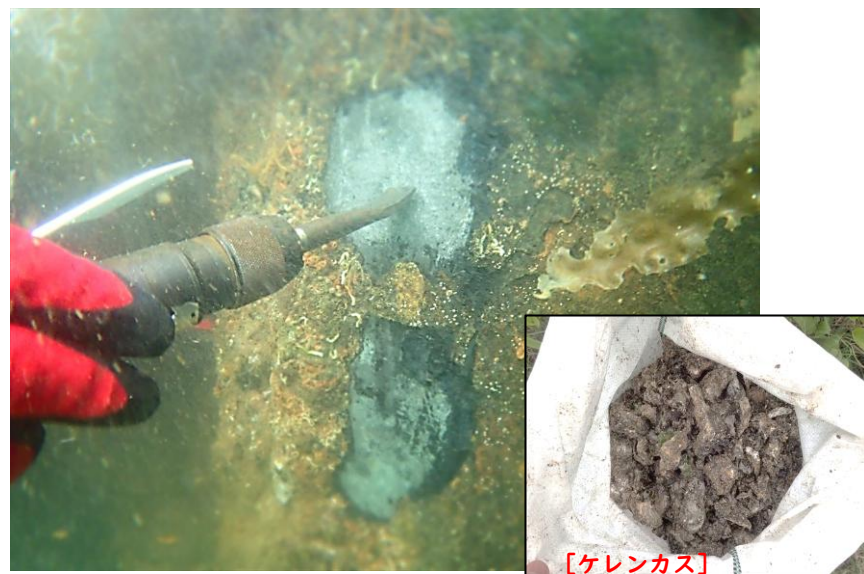
従来技術〔超音波厚さ計〕



- 機能診断における詳細点検で行われる「鋼材厚さ測定」で標準的に用いられる機器。
- 20KHz以上の超音波を発信し、鋼材反対面からの反射にかかる伝播時間から厚さを推定。
- プローブ（鋼材に接触させるセンサー）径は1cm程度の円形が多く、測定時には鋼材と密着する必要があるため、鋼材表面の付着物等の除去（ケレン）が必要。
- 測定に際しては、10cm×10cmの範囲内でZ型に5点測定する場合が多い。

課題

- 「ケレン」とは、プローブと鋼材を密着させるために海藻や貝殻等付着物や、錆等腐食部をグラインダー等で削り取る作業。
- ケレンは、鋼材厚さ測定の一連の作業工程の中で時間的にも労力的にも大きなウェイトを占める。
- ケレンカスによる環境影響やケレン作業に伴う鋼材本体の損傷等も大きな課題。



2. 技術の概要（検証技術の特徴）

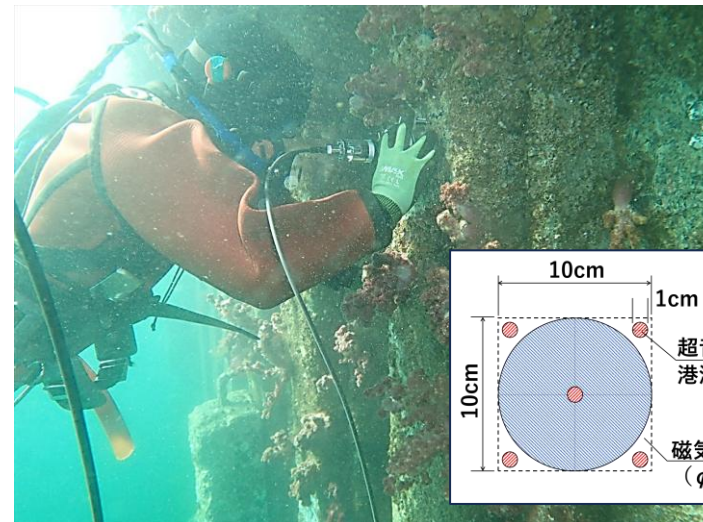
検証技術〔磁気センサー〕



- 磁気センサーは、極低周波の交流磁場を照射し、対象物内部で生じる渦電流が起す新たな磁場を測定する。
- 発生した磁場は非磁性体の貝殻等付着物や導電率の小さい錆等腐食部の影響を受けない。
- プローブと鋼材は必ずしも密着する必要はなく、超音波厚さ計で必須の「ケレン」が不要。
- 超音波厚さ計で課題となる人的、環境的な負担の軽減が期待される。

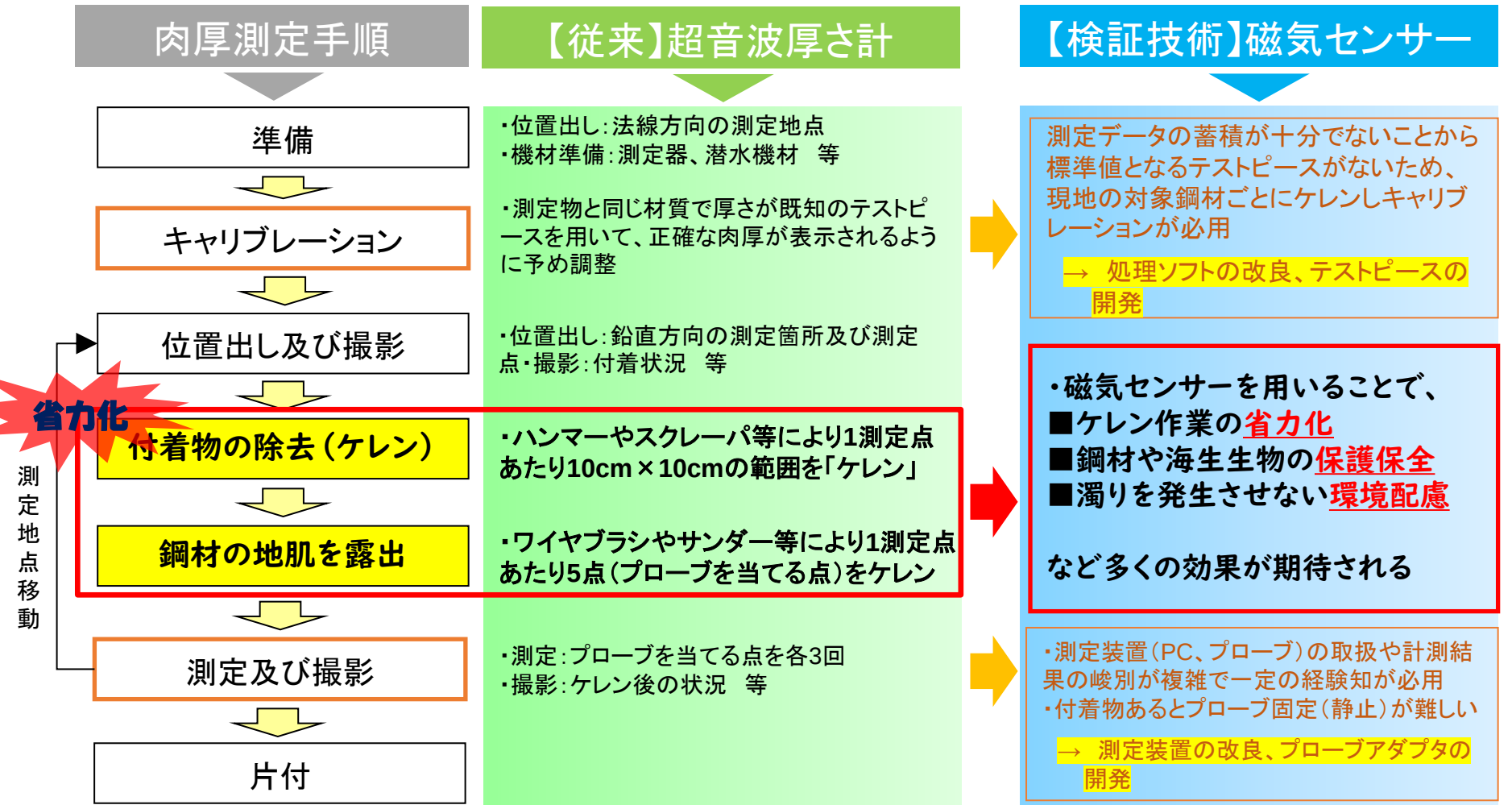
留意点

- 磁気センサーのプローブは、超音波厚さ計のプローブと比べてやや大きい（直径10cmの円形など）。
- 超音波厚さ計で測定する検査領域（10×10cm）を一括して含むため、結果的に測定時間が低減される。
- 局所的ではなく面的な計測であるが、超音波厚さ計も測定5点の平均が最終データであり、実質は同じ扱いとなる。



2. 技術の概要（肉厚測定作業フロー）

■肉厚測定作業フロー（手順）でみる新技術（磁気センサー）の期待される効果



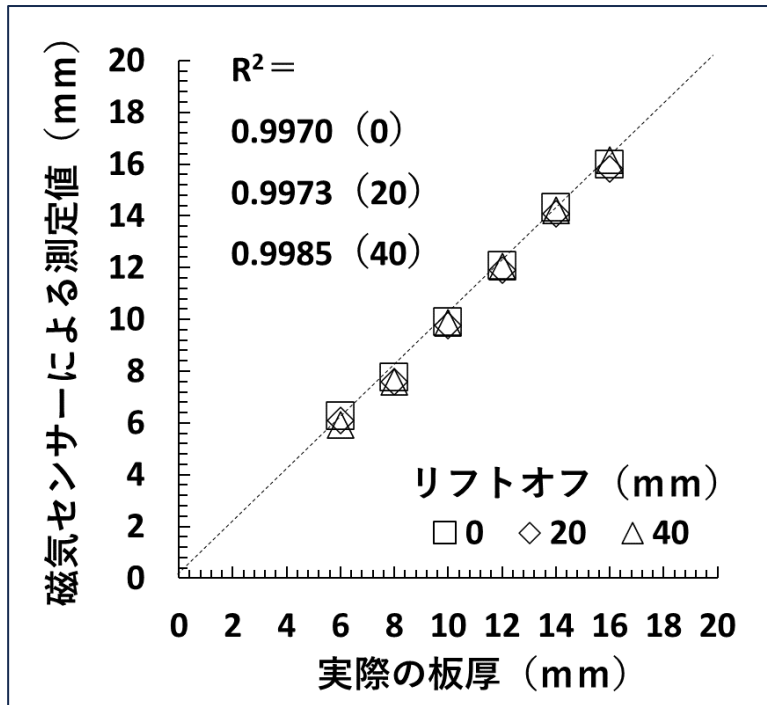
省力化

測定地点移動

効果 : 課題と対応

3. 室内試験（試験結果）

室内試験において、健全な（劣化のない無垢な）鋼材を対象に磁気センサーの基本的性能を確認



測定状況

〔試験条件〕

- ・ 使用鋼材: JISG3106SM490A
- ・ 鋼材寸法: 300×300mm
- ・ 厚さ種別: 6～16mmの範囲で2mmピッチ
- ・ リフトオフ（プローブと鋼材の距離）：
0、20、40mm

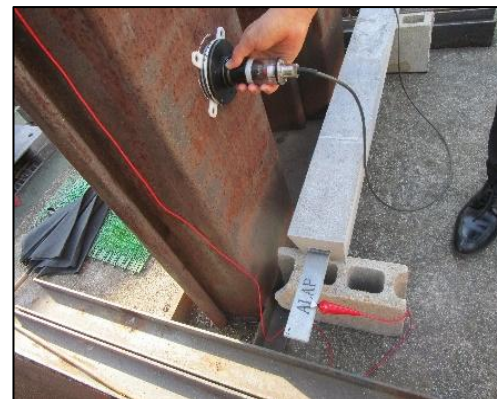
〔結果〕左図参照

- リフトオフがゼロ（鋼材と密着）の場合、磁気センサー測定値と実際の厚さの誤差は 0.03mm以下 ほぼ一致
- リフトオフの増加に伴って誤差が若干増えるが、試験範囲（～40mm）での誤差は 0.04mm以下 許容範囲
- 鋼材の腐食速度の設計値（0.3mm/年、HWL以上）に鑑みると実用上問題ない精度

4. 現地試験（対象施設）

供用中の漁港施設、および陸上施設（矢板保管ヤード）において現地試験を実施した

試験種別	場所	矢板 Or 鋼管	矢板型式 または鋼管径	施設名	初期厚さ (mm)	供用 年数	主な 付着物
陸上施設	A 試験場	矢板	JFESP－Ⅲw		13.4	0	
	B 試験場	矢板	FSP－Ⅲ		13.0	不明	
			FSP－Ⅳ		15.5		
			YSP－Ⅳ		15.5		
			FSP－Z38		11.4		
			FSP－V _L		24.3		
現地施設	A 漁港	矢板	NSSP－10H	岸壁	10.8	15	海藻類 貝殻類
			NSSP－25H	岸壁	13.2	15	
			SP－Ⅱ _w	岸壁	10.3	15	
			FSP－ⅢA	護岸	13.1	41	
	B 漁港	矢板	SP－Ⅲ	岸壁	13.0	39 ～69	貝殻類
			SP－Ⅳ	岸壁	15.5		
			SPU－Ⅳ	物揚場	16.1	40 ～71	
			SPU－Ⅵ	物揚場	27.6		
		鋼管	Φ700	棧橋	12	41～70	貝殻類
	C漁港	鋼管	Φ800（SKK41）	防波堤	12	37	貝殻類
				防波堤	14		
			Φ1000	防波堤	12	33	
				防波堤	14		
			Φ500	防波堤	12	17～22	
			Φ800（SKK490）	防波堤	12		
			φ1000	岸壁	16	32～35	
			φ900	浮棧橋	12	19	



陸上施設
(矢板)

・2試験場、
6種類



現地施設
(鋼管)

・3漁港、
8種類

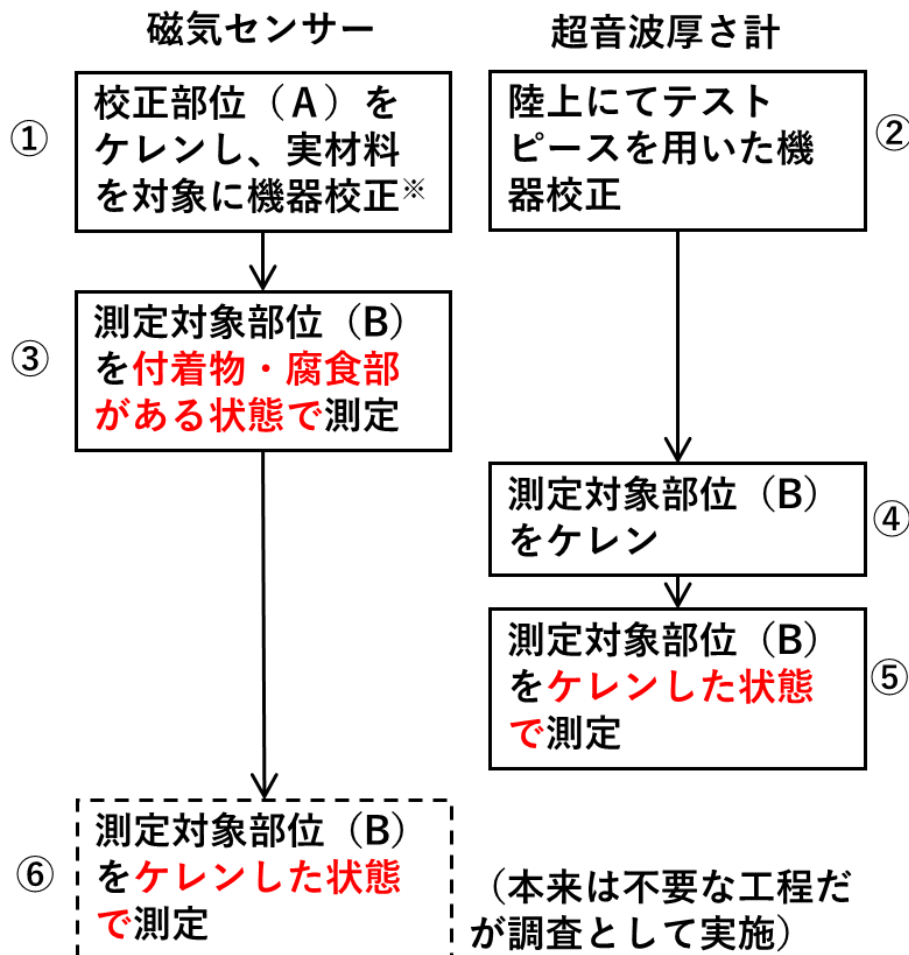


4. 現地試験（現地施設における測定フロー）

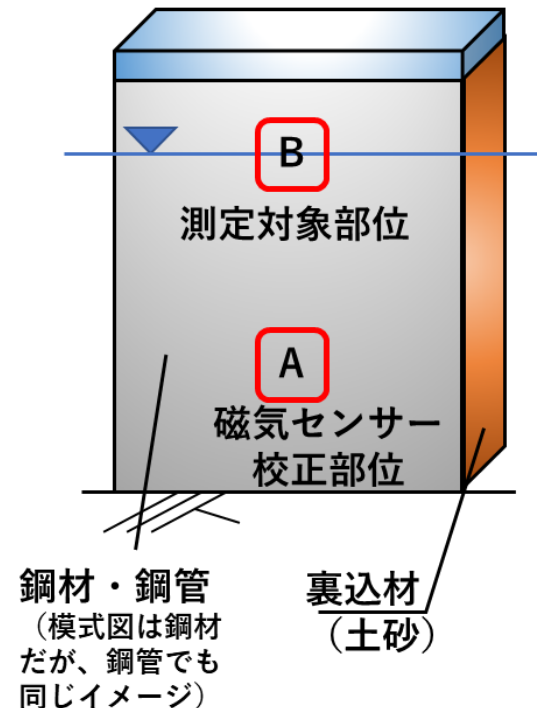


国立研究開発法人
水産研究・教育機構

精度確認のため、①「ケレン」の有り無し、②同一部位での超音波厚さ計での測定、を行い、測定値の比較や作業性の違いを確認した。

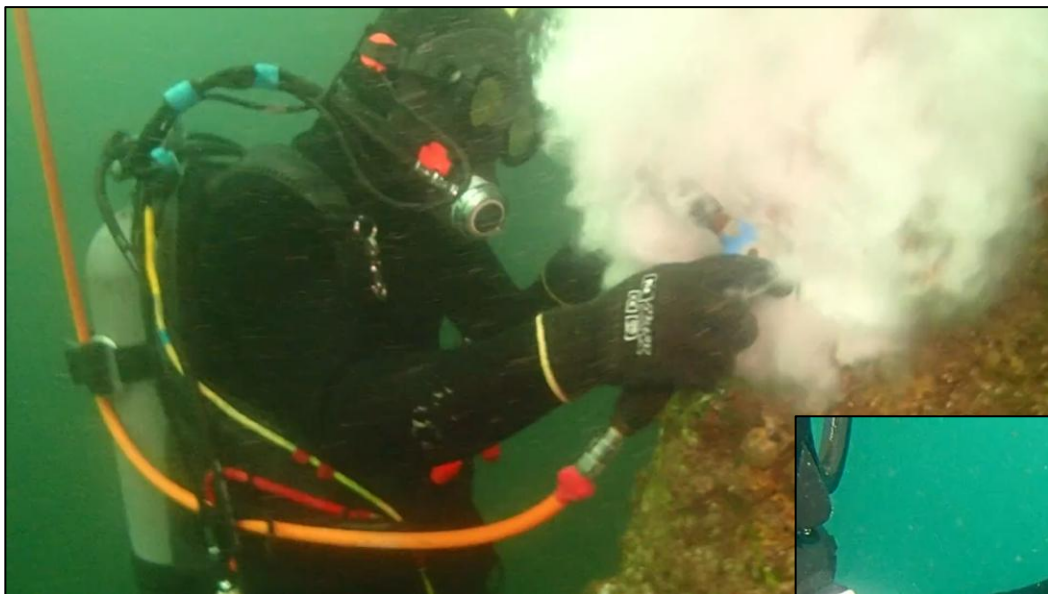


上部工



4. 現地試験（測定状況：超音波厚さ計）

ケレン状況と超音波厚さ計の測定状況



鋼材のケレン状況

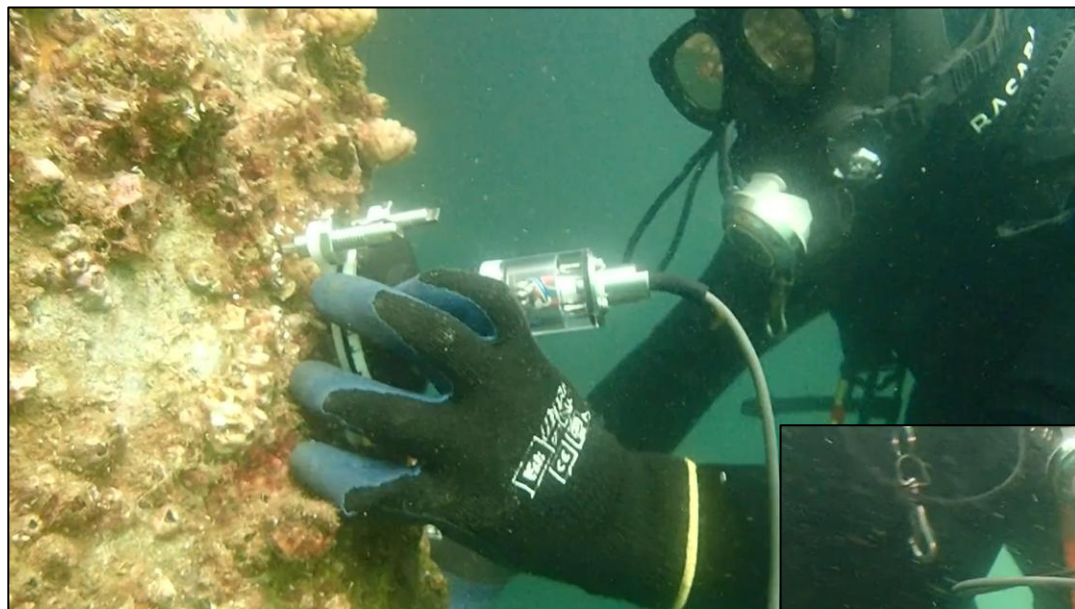


超音波厚さ計による測定状況

4. 現地試験（測定状況：磁気センサー）

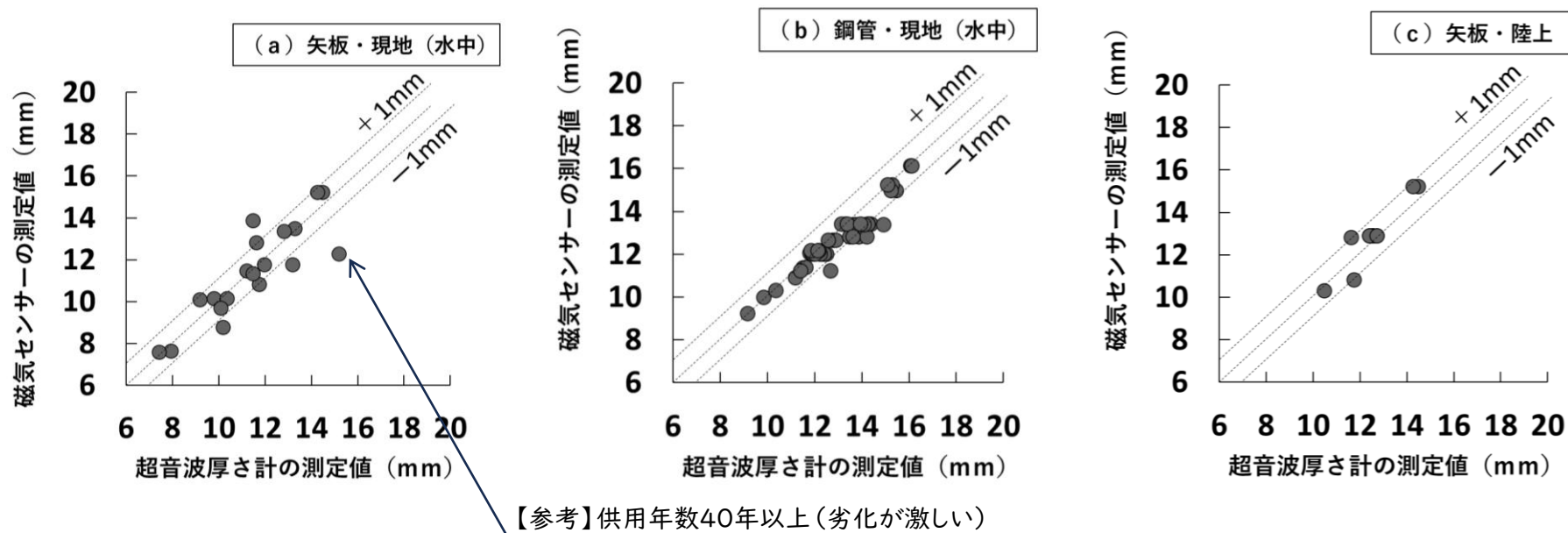
磁気センサーの測定状況

磁気センサーによる測定状況
(ケレン前)



磁気センサーによる測定状況
(ケレン後)

4. 現地試験（測定結果）



5. 評価と考察（精度、操作性）

陸上施設での誤差範囲：-0.97～+1.15mm (91.8～109.9%)
水中施設での誤差範囲：-0.42～+0.87mm (95.8～109.4%)

- 超音波厚さ計と磁気センサーの測定値の差異に明確な違いはない。
- 水中でのプローブ固定や作業時間など操作面においても支障がない。

5. 評価と考察（付着物および腐食部の影響）



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

【付着物および腐食部の直接的な影響】

- 磁気センサーの測定に対し、「ケレン」“あり”と“なし”で測定した結果、両者の差は、**-0.38～+0.46mm (96.04～104.64%)**
- 年間腐食速度の設計値(0.3mm)を勘案すると実用上問題ない

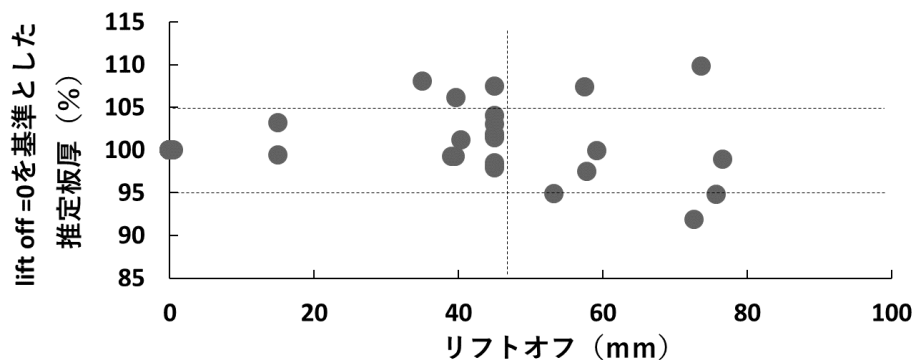
適用可

【リフトオフの影響】

- プローブと鋼材の距離(リフトオフ)の増大に伴い、誤差が増大する傾向
- 実務上の付着物等(60mm以内の厚さ)であれば、5%以内であり問題ない。
- これは、今後のデータ蓄積による処理ソフトの改良で改善可能

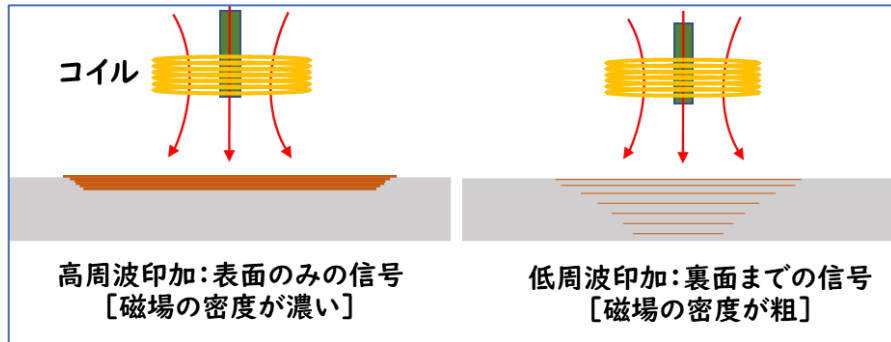
適用可

鋼材型式	部位	磁気センサー測定値 (mm)		ケレンなし (ー) ケレンあり	ケレンなし (÷) ケレンあり
		ケレンなし	ケレンあり	mm	(%)
NSSP-10H	-1.0m凹	11.22	11.06	0.16	101.45
	0m凹	11.97	11.93	0.04	100.34
NSSP-25H	-1.0m凹	12.83	12.65	0.18	101.42
	0m凹	13.31	13.41	-0.10	99.25
SP-II _w	-2.0m凹	9.21	9.59	-0.38	96.04
	-2.0m凸	10.10	10.13	-0.03	99.70
	-1.0m凹	10.37	9.91	0.46	104.64
	-1.0m凸	9.82	9.68	0.14	101.45
SP-III	凹	11.10	10.77	0.33	103.06
	凸	6.60	6.38	0.22	103.45



5. 評価と考察（鋼材厚さの適用範囲）

磁気センサーの原理



※ 鋼材が厚くなるほど磁場の密度が粗くなる

鋼材厚さごとの測定時間

unit : 秒

測定回数 (連続計測)	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)

※ 最適な測定時間は鋼材厚さに応じて線形に増加するが、処理ソフトの都合により3つに区分した

- 鋼材厚さが厚くなる場合、渦電流を深く浸透させるためさらに低周波の交流磁場を用いる
- 交流磁場の周波数が低くなると、磁気センサーの検知精度（感度）が低下していくため、プローブをより“精緻”かつ“長時間”固定することが必要
- 測定結果もバラツキが大きくなるとともに、プローブを固定（静止）し続ける作業自体が難しい
- 今回の試験結果からは「厚さ20mm以下」を適用範囲とした

鋼材厚さ20mmまでで適用（20mmを超える場合は従来手法）¹⁴

5. 評価と考察（作業効率）

■ 鋼材厚さ測定にかかる時間（測定箇所 1 地点（測定点 4 点）あたり）

手順	時間（分）	
	超音波厚さ計	磁気センサー
準備	3	3
位置だし、撮影	3	3
Calibration（機器校正）	2	10 （けれん 1 箇所含む）
ケレン	20	0
測定	15	4
片付け	3	3
合計	46	23
時間短縮率		-50%

● 機器校正のため 1 か所のケレンが必要のため

● 本計測ではケレン不要

● 本計測ではケレン不要
 ● 超音波厚さ計の測定範囲（10*10cm）を 1 回で測定（3 回連続計測）

- 測定対象の鋼材単位で機器校正（キャリブレーション）が必要となるが、
 - 測定に際して「ケレン」が不要（超音波厚さ計は全箇所必要）
 - 測定回数が 1 箇所あたり 1 回（超音波厚さ計は 5 回）
- 測定 1 地点当たりの測定時間が超音波厚さ計に比べて 50%（今回の試験で）

超音波厚さ計の 50% の時間で測定可能 → 作業性向上

6. まとめ

- 点検効率化の観点から、鋼構造の漁港施設の点検項目のひとつである鋼材の厚さ測定に対し、磁気センサー)は有効な手法と言える。
 - 従来技術として用いられる超音波厚さ計を用いた手法が抱える諸問題(潜水土の負担軽減、ケレン作業で生じた除去物による環境影響)を解決可能
 - 実用上問題ない精度で測定可能
- 留意事項としては以下が挙げられる。
 - 適用できる鋼材厚さは 20 mm未満
 - 測定時間内はプローブを静止させる必要があるが、波浪条件等によっては 10 秒以上の静止が難しい場合も想定される
 - 鋼材ごとに「ケレン」を行い機器校正(キャリブレーション)が必要
- 今後は、処理ソフトの改良やアタッチメントの改善により操作性を向上させることにより、適用範囲を20mm以上に拡充できる可能性はある。
超音波厚さ計と同様にテストピースによる機器校正が可能となれば、時間的、経済的なメリットは飛躍的に向上する。