

海洋・港湾構造物維持管理士会 第19回講演会【長崎】

鋼構造物の腐食等を 非破壊で検出可能な技術 (RTD – INCOTEST)

2019年 10月 1日(火)



若築建設(株) 技術研究所 秋山哲治

本日の発表内容

1. 港湾鋼構造物の点検診断
2. 本技術の概要
3. 実構造物での適用結果 【事例1, 事例2】
4. 港湾施設における鋼材腐食の一考察
5. まとめ

鋼構造物の点検診断と課題

◆一般点検：船上目視，電位測定



⇒鋼材の表面を直接的に確認できない

◆詳細点検：水中目視，超音波測定

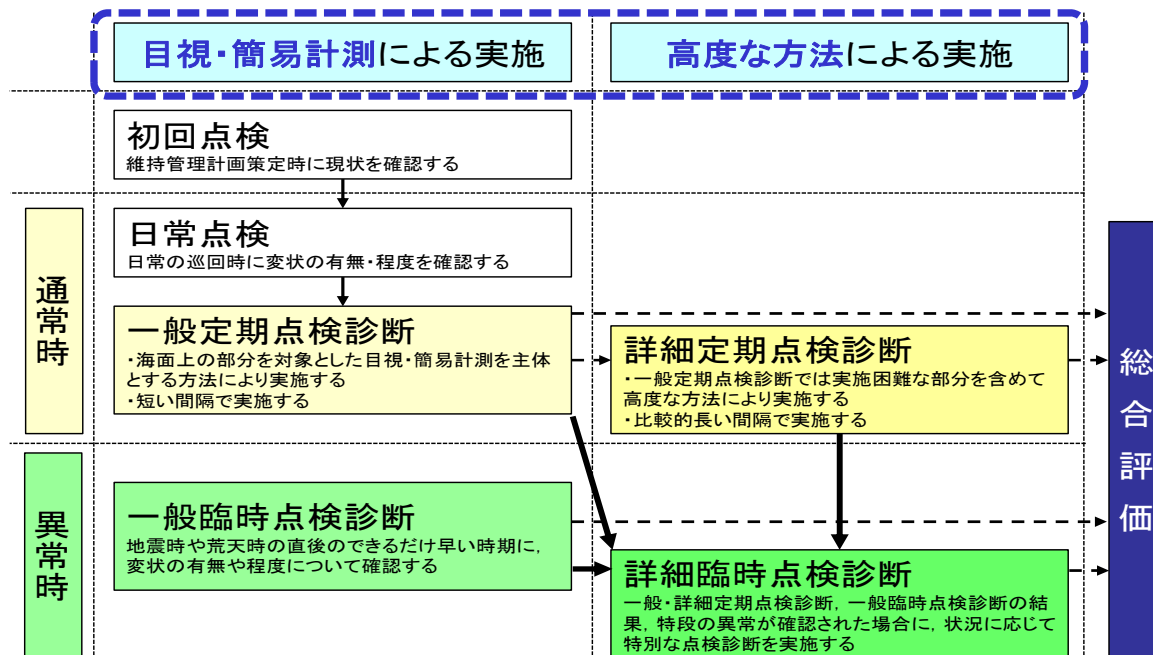


ケレン作業



肉厚測定

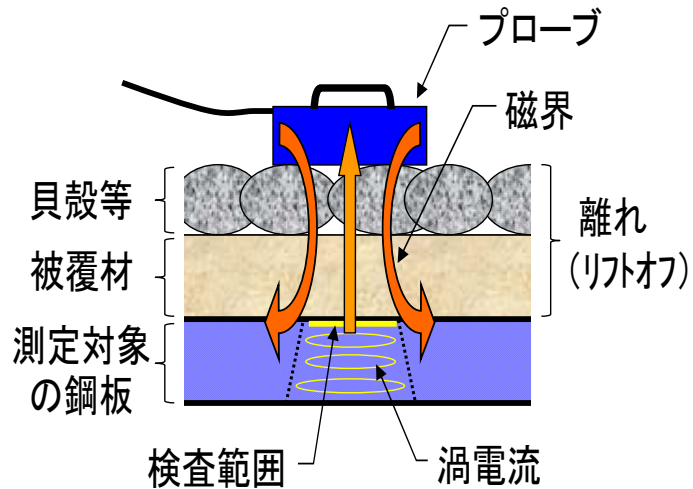
⇒鋼材露出と補修，海洋汚濁，殻処分等



腐食等を非破壊で
検出可能な技術
(RTD-INCOTEST)

↓
実構造物で適用
標準的方法と比較
(水中目視)
(超音波厚み計)

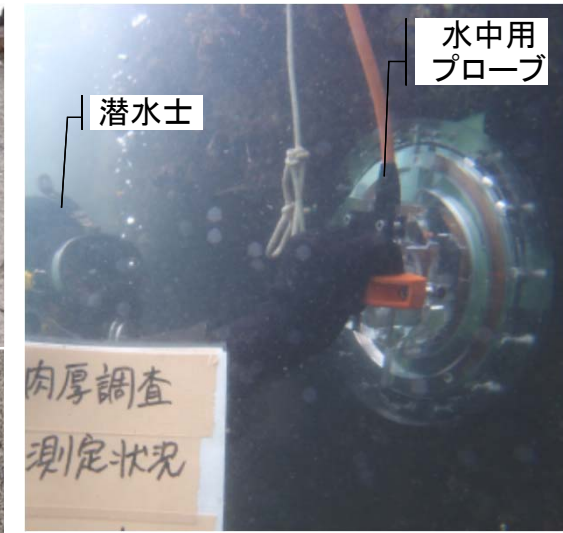
本技術の概要



測定の概念図



システムの機器構成



水中での測定状況

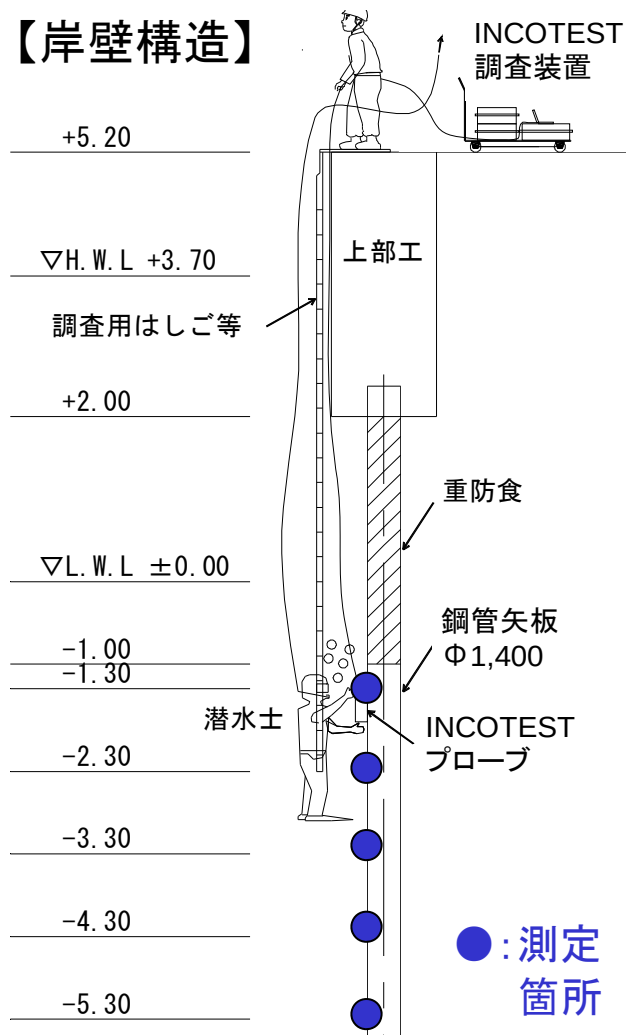
項目	具体内容
測定原理	電磁誘導によるパルス渦流探傷の一種
適用実績	工場の配管等の鋼材(磁性体)の減肉調査 ※非破壊で測定
システム構成	プローブ, パソコン, コントロールユニット, バッテリー
機器仕様	対象_炭素鋼, リフトオフ_150mmまで, 肉厚_65mm以下
測定精度	±5% ※絶対肉厚でなく, 基準点に対する相対値(%)で評価

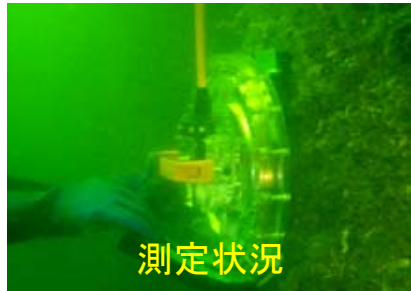
実構造物での適用結果 【事例1】

国土交通省
公募試行調査

『目視困難な水中部にある鋼構造物の腐食や損傷等を
非破壊・微破壊で検出が可能な技術』

【岸壁構造】



項目	具体内容
構造形式	鋼管矢板式, Φ1400×t12 (電気防食 -1.0m以深)
竣工年	1994年 (調査2016年_供用22年)
測定箇所	100箇所 (INCOTEST・目視共に, =20測線×5水深)
貝類の 付着状況	  測定状況 水深に因らず約50mm

◆水中目視の判定基準

点検項目	点検方法	劣化度の判定基準	
鋼矢板等 ・鋼材の腐食 ・亀裂, 損傷	目視 ・開孔の有無 ・表面の傷の 状況	a	腐食による開孔や変形, 他の著しい損傷がある
		b	—
		c	—
		d	腐食による開孔や変形はない

INCOTESTの測定結果

※ 各測線で基準100%を設定し、基準に対する相対比率[%]で整理.

測点/測線	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20
-1.30	97	99	100	98	97	97	96	97	96	93	96	96	99	99	99	93	95	99	96	95
-2.30	97	98	97	97	95	97	95	97	98	86	96	99	98	100	100	94	98	99	100	96
-3.30	95	100	96	100	100	98	95	99	99	100	98	97	100	100	100	92	95	98	99	95
-4.30	99	99	87	99	96	100	100	98	100	99	100	98	98	98	100	100	100	97	99	100
-5.30	100	97	95	99	97	99	91	100	100	97	99	100	100	97	96	93	98	100	99	98

・相対肉厚の凡例[%] ■:85-89以下, ■:90-94, ■:95-99, ■:100

■ 考察

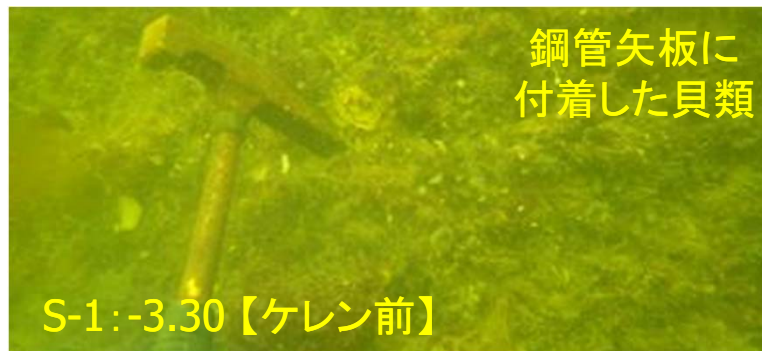
- ・ 残存肉厚 : 全100点の9割以上-相対肉厚95%以上, 2箇所-80%台.
- ・ 岸壁傾向 : 【水深方向】相対肉厚が著しく小さくなるような, 特異な水深は無い.
【延長方向】S-16 若干小 ⇒相対肉厚92%以上で著しい腐食無し.
- ・ 管理状態 : 岸壁は, 適切な維持管理が行われ, 数mm以上の腐食は無いと判定.
岸壁の維持管理状況を, 全体として定量的に評価できた.
- ・ 測定時間 : 全100点-約65分, 1測点-約40秒 ⇒迅速な測定, 環境汚濁・殻無し.

水中目視の結果

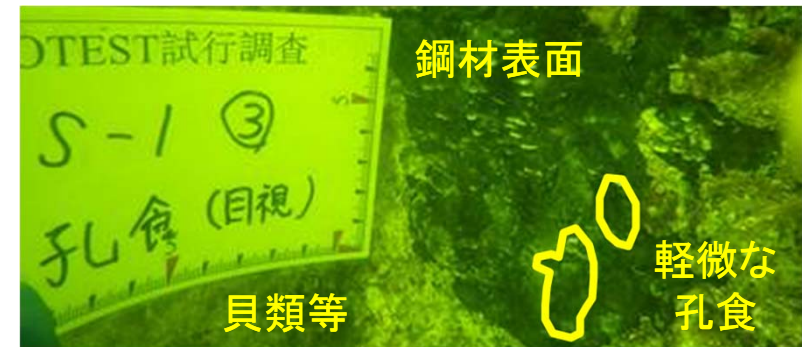
※点検診断ガイドラインに示す、4段階評価により整理.

測点/測線	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20
-1.30	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
-2.30	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
-3.30	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
-4.30	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
-5.30	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d

・一般定期点検の劣化度判定結果[-] ■:a_開口・変形・損傷あり, ■:b, ■:c, ■:d_変状なし



約5×10cm
ケレン後



■考察

- ・診断結果 : 全測点で変状なし. 任意8箇所でのケレン後に, 軽微な腐食-1箇所. 目視では, 内在する表面腐食は検出不可, 劣化初期は診断困難.
- ・調査時間 : 全100点-約21分, 1測点-約13秒 ⇒ 電防良好, 貝付着・ケレン回数-少. ※ケレン面積を(INCOTESTプローブと同じ) 径30cm程度 ⇒ 1測点-約70秒.

水中目視との比較結果まとめ 【事例1】

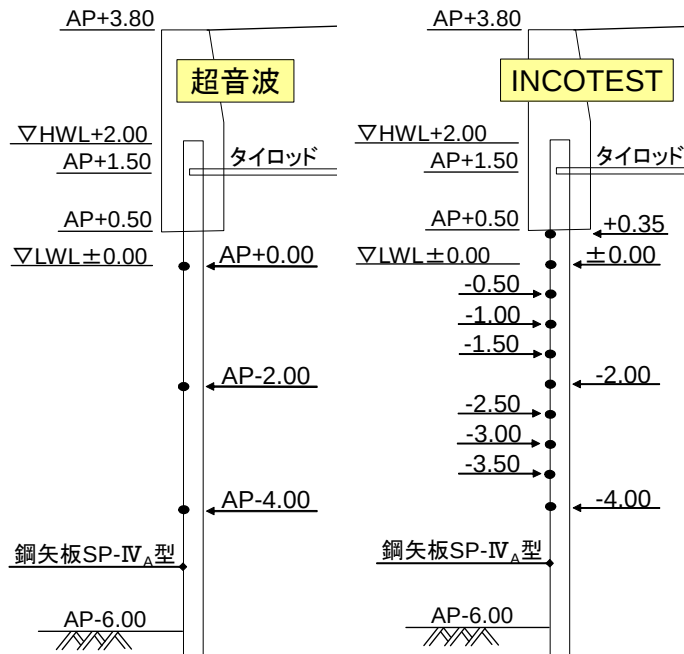
7

項目	INCOTEST	従来の水中目視	備考
肉厚評価	定量的に評価	評価できない	
腐食傾向	評価可能	評価できない	岸壁延長・水深方向
測定時間	約40秒 /箇所	約70秒 /箇所	貝付着 約5cm
		※上記の2倍以上	貝付着 10cm以上
ケレン作業等	不要	必要・要修復	作業の効率化
海洋汚濁等	無し	有り・殻処分	環境への影響
診断結果	○:客観性	△:個人差	
データ再現性	迅速で良好	—	現場作業の向上
その他	詳細点検の効率化	—	点検の高度化

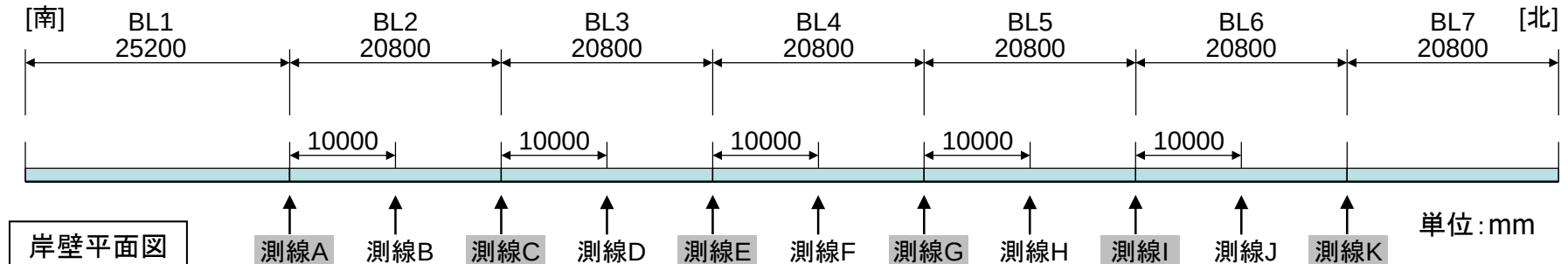
実構造物での適用結果 【事例2】

◆民間港湾施設における点検診断ガイドラインに基づく岸壁の定期点検

【岸壁構造】



項目	具体内容
構造形式	鋼矢板式, FSP-IV _A (電気防食無し)
竣工年	1977年 (調査2015_供用38年)
測定箇所	INCOTEST : 110箇所 (=11測線×10水深) 超音波 : 18箇所 (=■6測線×3水深)
貝類の付着状況	上部工下端から深さ約80cmまで 着状況 約100mm AP-0.50程度より深い範囲 査状況 約30mm



INCOTESTの測定結果

※ 各測線で基準100%を設定し、基準に対する相対値[%]で整理.

レベルAP	測線A	測線B	測線C	測線D	測線E	測線F	測線G	測線H	測線I	測線J	測線K
+0.35	100	99	100	100	100	100	98	100	100	100	100
±0.00	86	88	98	89	96	99	99	94	96	97	94
-0.50	95	91	99	94	94	94	100	95	94	100	89
-1.00	96	91	94	93	95	92	98	88	98	96	93
-1.50	94	90	93	91	93	90	98	73	96	95	96
-2.00	94	91	94	92	93	91	96	96	96	93	97
-2.50	94	90	94	91	95	91	88	95	97	94	95
-3.00	96	92	97	92	96	93	91	96	96	95	95
-3.50	96	100	97	93	95	93	89	96	99	97	96
-4.00	96	100	97	95	97	92	94	96	97	95	96

・相対肉厚の凡例[%] ■:79以下, ■:80-89, ■:90-99, ■:100 (■:超音波のみ実施)

■ 考察

- ・ 残存肉厚 : 基準値の90%以上-大半, 80%台-7箇所, 最小値73%-1箇所
- ・ 腐食傾向 : 上部工下端(+0.35)で100%多く, LWL(±0.0)とその直下で最小が分布.
⇒ 港湾基準に示す腐食傾向(LWL直下で腐食が大きい)と概ね同様.
- ・ 局所腐食 : 73%箇所での超音波の結果は, 全18箇所の最小値10.9mmを記録.

INCOTESTと超音波の比較

◆INCOTEST（各測線±0.0を100として換算）

レベルAP	測線A	測線B	測線C	測線D	測線E	測線F	測線G	測線H	測線I	測線J	測線K
+0.35	116	113	102	112	104	101	99	106	104	103	106
±0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-0.50	110	103	101	106	98	95	101	101	98	103	95
-1.00	112	103	96	104	99	93	99	94	102	99	99
-1.50	109	102	95	102	97	91	99	78	100	98	102
-2.00	109	103	96	103	97	92	97	102	100	96	103
-2.50	109	102	96	102	99	92	89	101	101	97	101
-3.00	112	105	99	103	100	94	92	102	100	98	101
-3.50	112	114	99	104	99	94	90	102	103	100	102
-4.00	112	114	99	107	101	93	95	102	101	98	102

・相対肉厚の凡例[%] ■:79以下, ■:80-89, ■:90-99, ■:100-109, ■:110-119

◆超音波厚み計（各測線±0.0を100として換算）

レベルAP	測線A	測線B	測線C	測線D	測線E	測線F	測線G	測線H	測線I	測線J	測線K
+0.35											
±0.00	100		100		100		100		100		100
-0.50											
-1.00											
-1.50											
-2.00	110		99		98		99		94		102
-2.50											
-3.00											
-3.50											
-4.00	112		106		100		91		94		101

・相対肉厚の凡例[%] ■:79以下, ■:80-89, ■:90-99, ■:100-109, ■:110-119

測定時間等の比較

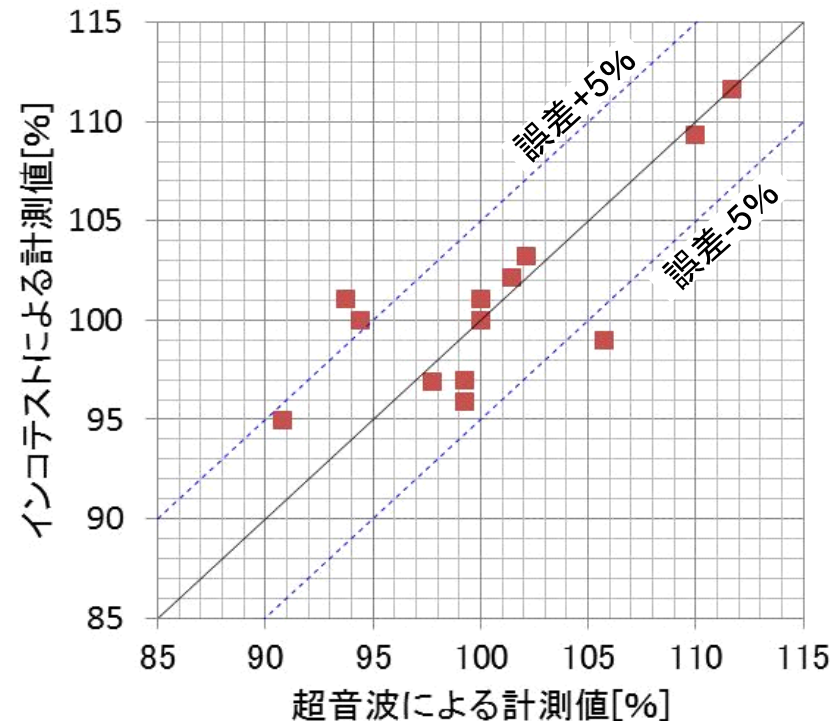
項目	INCOTEST	超音波
測定時間	1.2分/箇所	9.4分/箇所
殻処分等	無し	有り

■INCOTESTの有効性

- ・有効性 : 岸壁全体の腐食傾向(幅・深さ)を把握. 局所的な著しい腐食を抽出.
- ・作業速度 : 超音波と比べて約 8倍速く, 作業時間を大幅に短縮.
- ・環境配慮 : 超音波でのケレン作業で生じる, 貝類等の殻処分は無かった.

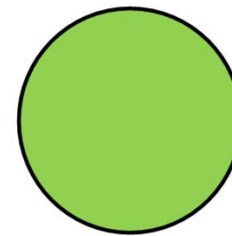
INCOTESTの精度検証

◆測定精度の比較



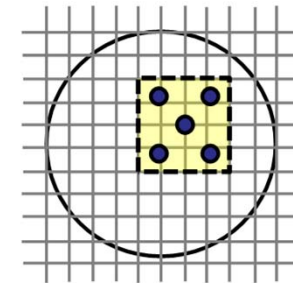
◆測定範囲の比較

INCOTEST



直径 約30cm

超音波



10cm四方_5点

- 超音波厚み計による
(探触子1点当たり)
- 超音波厚み計による
(1箇所での測定範囲)

■考察

- ・ INCOTESTの結果 : 超音波を基準として、測定精度±5%以内は、全体の78%.
- ・ 測定面積／箇所 : INCOTEST(面で測定)は、超音波(点で測定)の約 5倍に相当.
- ・ 鋼矢板の状態 : 本岸壁では、電気防食が無かったことによって孔食が点在.
⇒超音波の結果に、バラツキが含まれる可能性が示唆.

超音波の測定結果について

◆計18箇所(=6測線×3水深, 電防無し)

6側線	3水深 [m]	計測5点の平均値とバラツキ				
		平均値 [mm]	+最大 [mm]	-最小 [mm]	+最大 [%]	-最小 [%]
測線 A	±0.00	12.0	12.4	11.6	3.3	-3.3
	-2.00	13.2	13.4	13.1	1.5	-0.8
	-4.00	13.4	13.6	13.2	1.5	-1.5
測線 C	±0.00	14.0	14.4	13.8	2.9	-1.4
	-2.00	13.9	14.5	13.5	4.3	-2.9
	-4.00	14.8	15.4	14.2	4.1	-4.1
測線 E	±0.00	13.4	14.1	12.8	5.2	-4.5
	-2.00	13.1	13.6	12.6	3.8	-3.8
	-4.00	13.4	13.6	13.2	1.5	-1.5
測線 G	±0.00	14.1	14.3	13.9	1.4	-1.4
	-2.00	14.0	14.2	13.7	1.4	-2.1
	-4.00	12.8	14.1	12.1	10.2	-5.5
測線 I	±0.00	14.3	14.5	14.1	1.4	-1.4
	-2.00	13.5	13.6	13.4	0.7	-0.7
	-4.00	13.4	13.6	13.1	1.5	-2.2
測線 K	±0.00	14.1	14.3	13.7	1.4	-2.8
	-2.00	14.4	14.6	14.3	1.4	-0.7
	-4.00	14.3	14.5	14.1	1.4	-1.4



測定結果のバラツキ幅の割合

平均値からの バラツキ幅	バラツキ幅の 割合[%]
±0～±3%	67
±3～±5%	25
±5%以上	8

注) 割合: 1箇所での測定のバラツキ幅において
+側と-側の両方を考え、**標本数36**で試算。

- ・バラツキ幅の最大/最小:
+10.2%～-5.5%の範囲で比較的大.
- ・バラツキ幅±3%以上:
全測点の 3割以上で比較的多い.

■考察

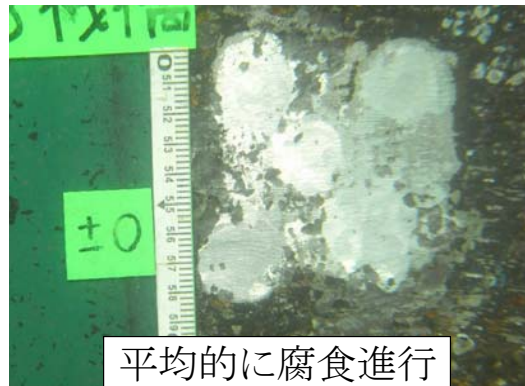
- ・ 超音波 : 腐食状況にバラツキある場合, 測定結果に差異が生じる可能性あり.
- ・ INCOTESTと超音波の結果比較 :
超音波の結果のバラツキ, 肉厚換算時の基準点設定やその設定頻度に留意

超音波との比較結果まとめ 【事例2】

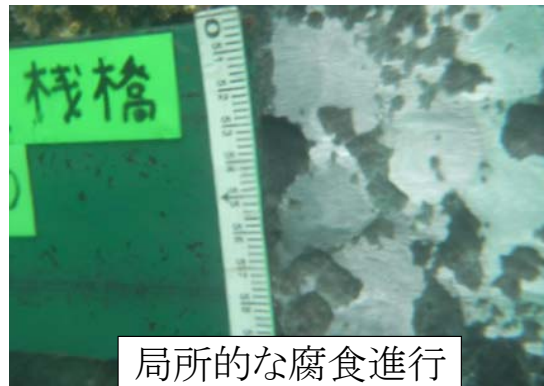
項目	INCOTEST	従来の超音波厚み計
測定範囲	約30cm径範囲の平均肉厚 (基準に対する 相対値)	10cm四方内5点の平均 (絶対値)
腐食傾向	岸壁全体を定量的に評価 局所的な劣化を抽出	限定された箇所の評価
測定数	100箇所/半日 (1.2分/箇所)	18箇所/半日 (9.4分/箇所)
測定精度	±5% (今回測定では...全測点の78%)	±0.1mm (測定値はバラツキ含む)
前処理	特になし	貝類除去, 鋼材表面の研磨
後処理	特になし	除去・微破壊した箇所修復
備考	肉厚を絶対値で評価する場合は, 超音波結果・基準設定等に留意	岸壁の防食状態によっては, 鋼材の局所腐食に注意

港湾施設における鋼材腐食の一考察

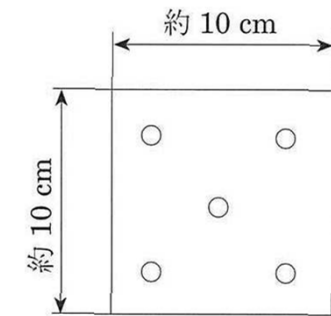
- ・腐食状況は、“平均的に腐食する箇所”と“局所的な大小の腐食”が混在
- ・実構造物での測定結果を整理して、腐食程度と測定値のバラツキを考察



平均的に腐食進行



局所的な腐食進行



超音波の測定(5点/箇所)

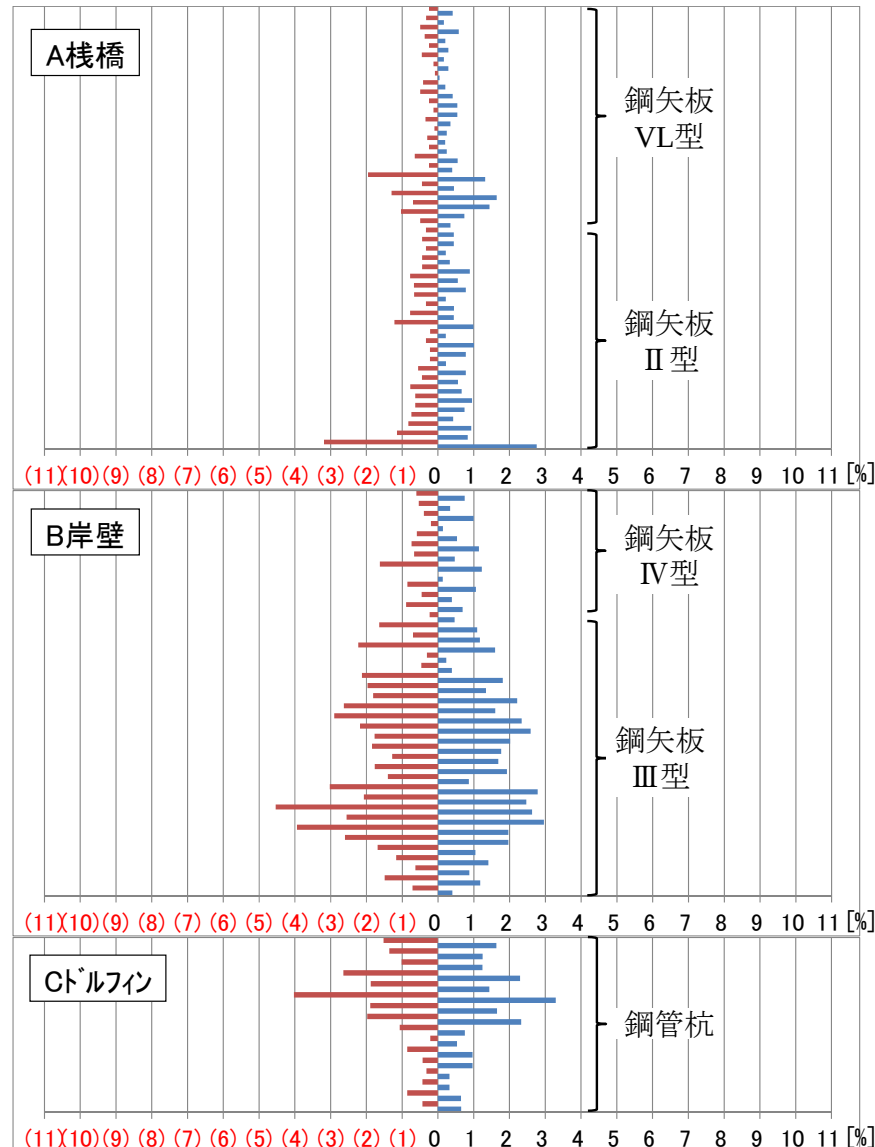
■検討対象とした施設一覧

施設名称	築造年	測定対象	肉厚測定箇所	電気防食
A栈橋	1964・1980年	鋼矢板	48	有
B岸壁	1973年	鋼矢板	40	有
Cドルフィン	1975年	鋼管杭	16	有
Dドルフィン	1960年代	鋼管杭	4	無
E岸壁	1977年	鋼矢板	18	無
任意 5施設 (関東・東海・四国)		計126箇所 (=5点/箇所=630点の最大・最小)		有/無

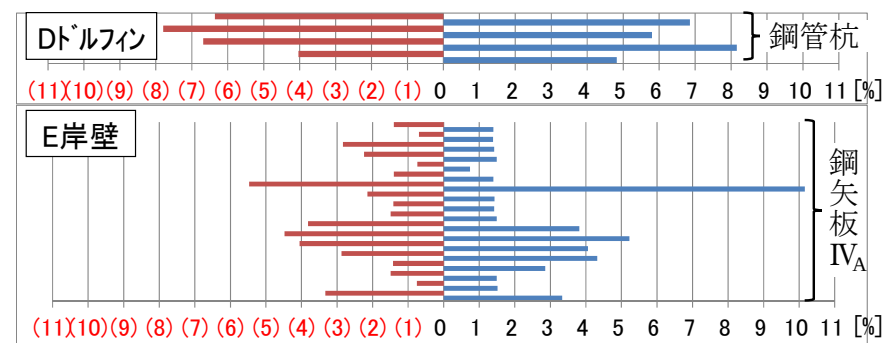
超音波の測定結果一覧

15

◆電防_有 : 測定結果のバラツキ



◆電防_無 : 測定結果のバラツキ



施設名称	電防	初期肉厚 [mm]	5点 平均値 [mm]	5点のバラツキ 最大・最小[%]	
				+側	-側
A栈橋	有	24.3	22.1	+1.6	-2.0
		10.5	9.1	+2.8	-3.2
B岸壁	有	15.5	15.0	+1.2	-1.6
Cドルフィン	有	9.5	9.0	+3.3	-4.0
Dドルフィン	無	14.0	11.9	+8.2	-7.8
E岸壁	無	16.1	13.7	+10.2	-5.5

超音波の結果バラツキと考察

◆測定結果のバラツキ幅の割合

平均値からの バラツキ幅	【電防_有】 バラツキ幅の割合[%]	【電防_無】 バラツキ幅の割合[%]
±0～±3%	97	57
±3～±5%	3	23
±5%以上	0	20

※割合[%] : 1箇所のバラツキ_+側・-側を考慮し, 標本数252=電防_有208, 電防_無44で整理.

◆腐食程度のバラツキ要因

- 1) 腐食代による旧設計, 矢板の施工から陽極設置までに数ヶ月を要した.
- 2) 船舶スクリュー, エロージョン, 河川流入, 排水口, 陽極の脱落等の影響など.

■鋼材腐食の評価について

- 1) 特に, 無防食(無防食期間を含む)の施設では, 腐食程度のバラツキにも留意
- 2) 腐食代による旧設計, 電気防食の対策時期・更新履歴の記録把握
- 3) 潜水土の詳細目視, 非破壊検査の併用による腐食傾向の把握

まとめ

■ 非接触

表面が貝殻や被覆材等で覆われていても、その上から測定可能.

■ 定量評価

測定結果は相対肉厚を数値で表現でき、肉厚状況を定量評価.

■ 見える化

測定値は、計測した直後にパソコンモニタにマッピング表示.

■ 工期短縮

測定を連続的行った場合、最大 数100点/日の測定が可能.

■ 環境配慮

測定時は貝殻等の産業廃棄物が発生せず、海洋汚染の心配なし.

ご静聴有難うございました.

