

磁気を活用したPC橋内部鋼線の破断検出技術

磁気による鋼材破断検知技術の概説と
実橋における計測精度の検証

琉球大学大学院（川田建設） 垣花 寿

BIC BUSINESS INNOVATION CENTER

KONICA MINOLTA

国土交通省
点検支援技術性能カタログ
技術番号 BR020018-V0021

NETIS
登録番号 KT-190094-A

Senrigan

老朽化橋梁の維持管理に貢献

「橋梁の内部鋼材破断を磁気センシングとIoTで可視化する非破壊検査ソリューション」

IoT Acceleration Lab

NEDO 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

コニカミノルタ株式会社
Business Innovation Center Japan

Giving Shape to Ideas

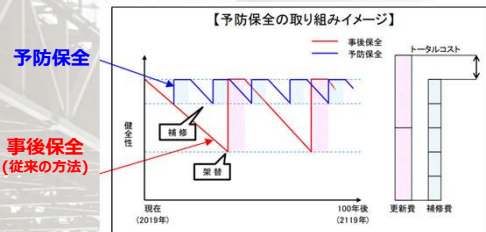
1/34

令和2年から開始したカタログの第3版が発行となり、橋梁の内部鋼材破断を見る技術として掲載PC鋼材非破壊検査市場を市場を活性化させていきたい。

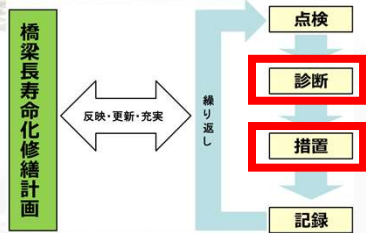
技術・カタログの分類	検出項目 ※新規項目	R2年度(技術数)		今回拡充(技術数)		R3. 7計(技術数)		
		橋梁	トンネル	橋梁	トンネル	橋梁	トンネル	
画像計測技術 橋梁:24技術(R2)10技術(R3) トンネル:8技術(R2)8技術(R3) 非破壊検査技術 橋梁:11技術(R2)8技術(R3) トンネル:6技術(R2)7技術(R3)	点検技術者が 目視の範囲 で 残存強度や負荷を推定し 、健全性を診断	腐食・斜材の変状	2		1		3	
		ひびわれ	22	8	9	8	31	16
		腐食	1		3		4	
		き裂	1				1	
		うき	7	6	1	3	8	9
		漏水・滲水	1				1	
		塩化物イオン濃度	1				1	
		支承部の機能障害			1		1	
		剝離・変形			1		1	
		破断			1		1	
		PCグラウト充填			1		1	
		背面空洞				2		2
		ボルトの取付状態				2		2

出典：福岡市「福岡市橋梁長寿命化修繕計画」

予防保全型で橋梁のライフサイクルコストを最適化



福岡市のメンテナンスサイクルのイメージ



予防保全型の導入効果

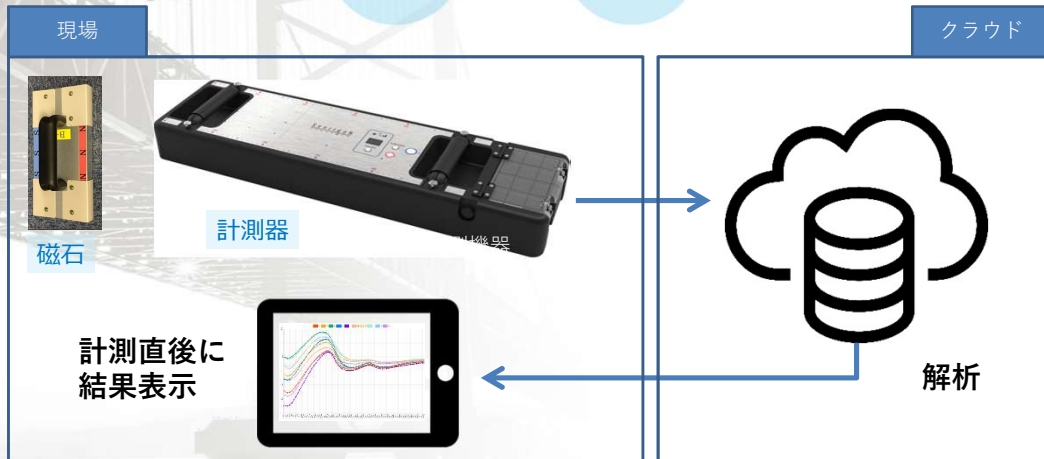
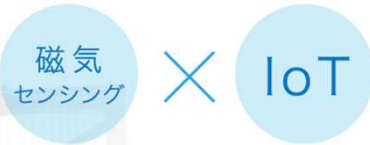
- 最小限の費用で最大の効果を得るコスト管理
- 内部鋼材の損傷を調査する事で**安全性・信頼性を向上**
- 事実根拠を元に予算配分を適正化、透明性を向上
- 管理費の平準化により、計画的な投資が可能
- 本質的調査による市民への安心安全の提供

従来検査法では検知できない
橋梁の**内部鋼材の健全度の把握**が可能

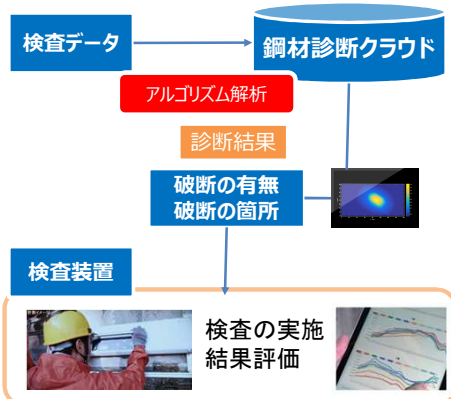
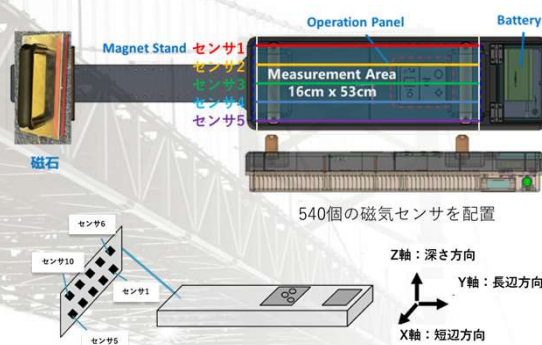
橋梁の損傷状況を正確に評価

補修・補強の具体的な方法を策定・実施

論理的な説明根拠とともに実施内容・結果を記録

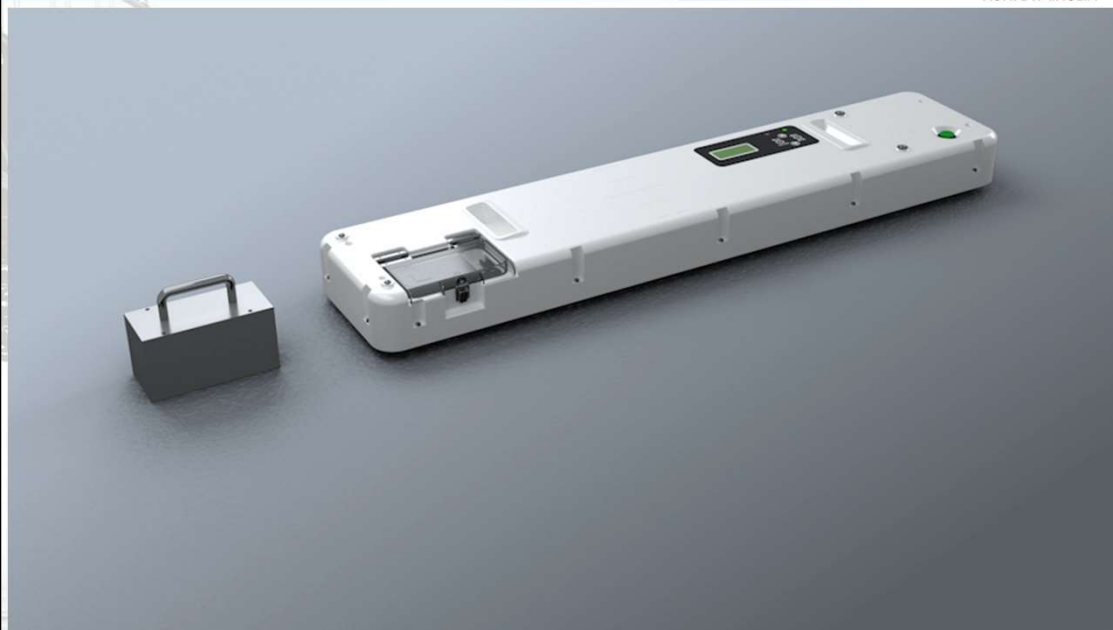


※1回の計測面 16cm×53cm。計測時間 約5秒



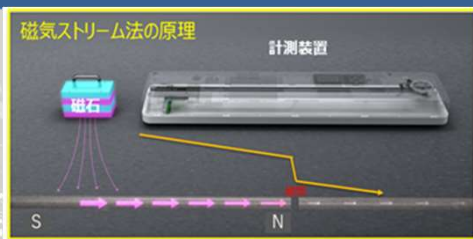
計測手法は、磁気ストリーム法、漏洩磁束法の2つを利用
鋼材や、かぶり深さによって、2つの手法を使い分ける。

- ・ 計測後すぐに破断の確認が可能。
- ・ 2人で計測できる高い利便性。
- ・ 独自のアルゴリズムによるデータ解析で、深い部位の破断検知を可能とする。



計測手法① 磁気ストリーム法

内部鋼材に1方向から磁場をかける事で、破断による磁場の急減衰現象を捉える方式

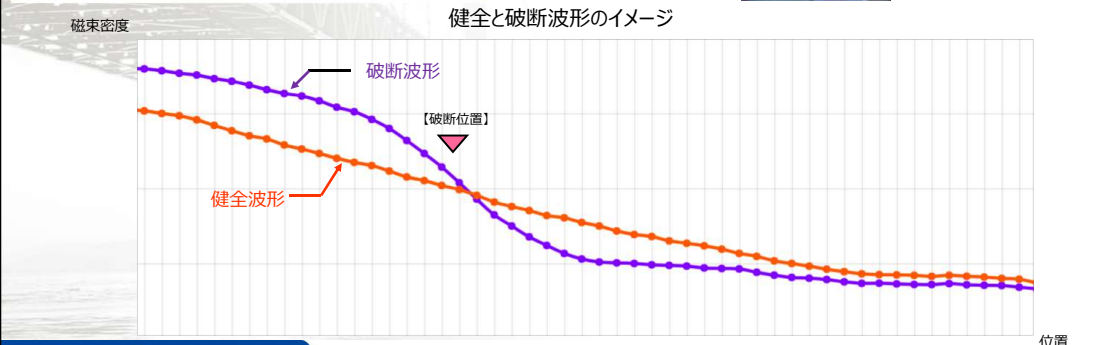


迅速な計測

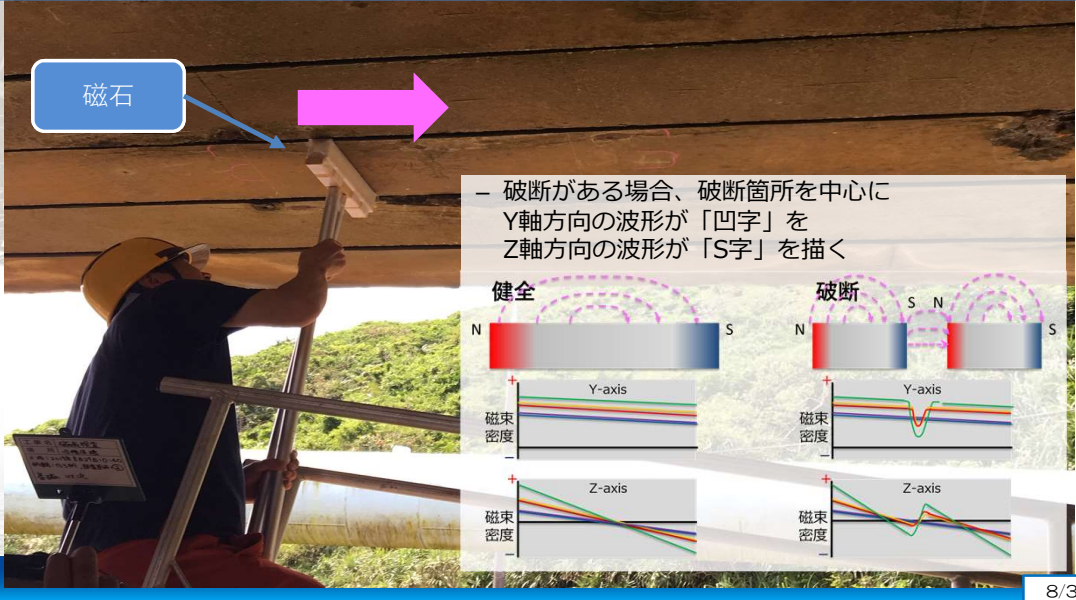
クラウドデータ解析



モバイルデータ通信



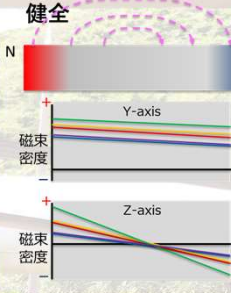
あらかじめ着磁により鋼材を磁化させて、破断時に漏洩する磁束を計測し、破断を検知する手法



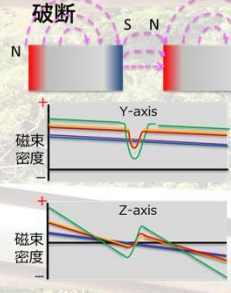
磁石

- 破断がある場合、破断箇所を中心にY軸方向の波形が「凹字」をZ軸方向の波形が「S字」を描く

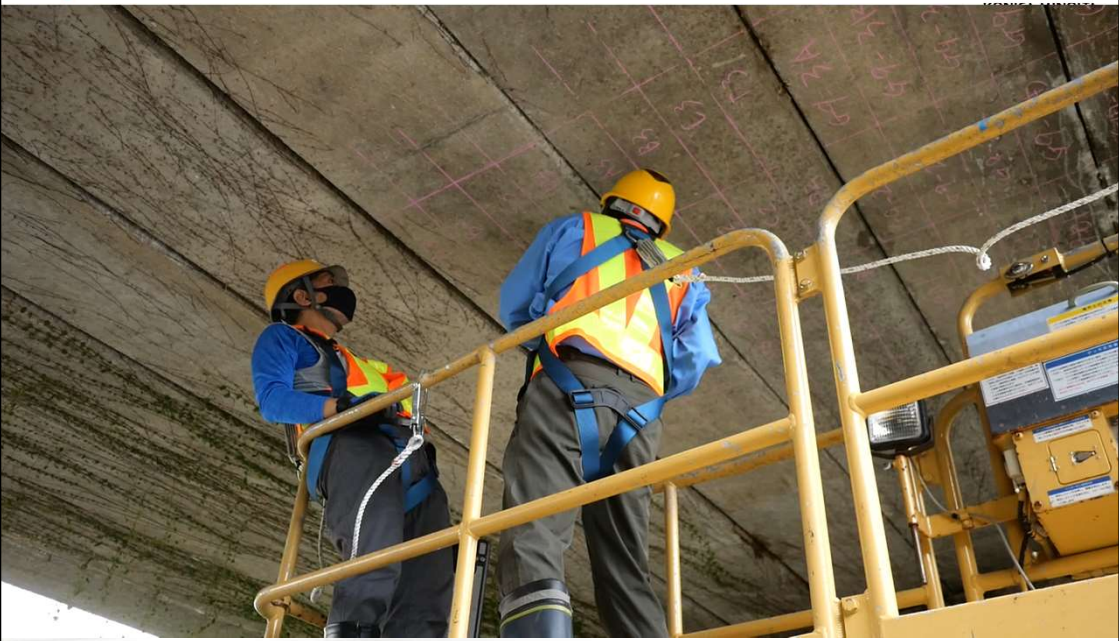
健全



破断



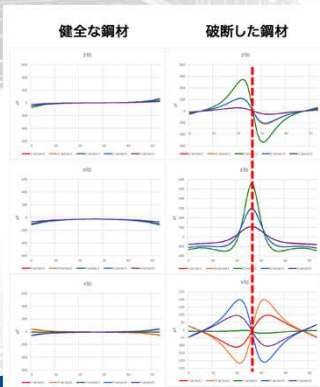
8/34



着磁



計測



Z軸 (深さ方向)

破断箇所を境とする、逆S字カーブが得られる。

X軸 (長辺方向)

破断箇所をピークとする凸波形が生じる。

Y軸 (短辺方向)

破断箇所を中心に破断位置を挟む波形がクロスする。

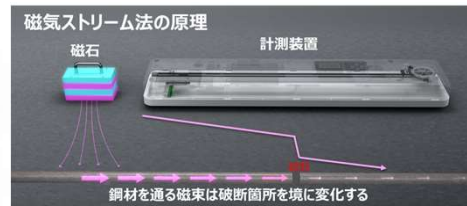
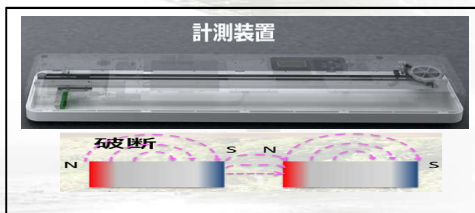


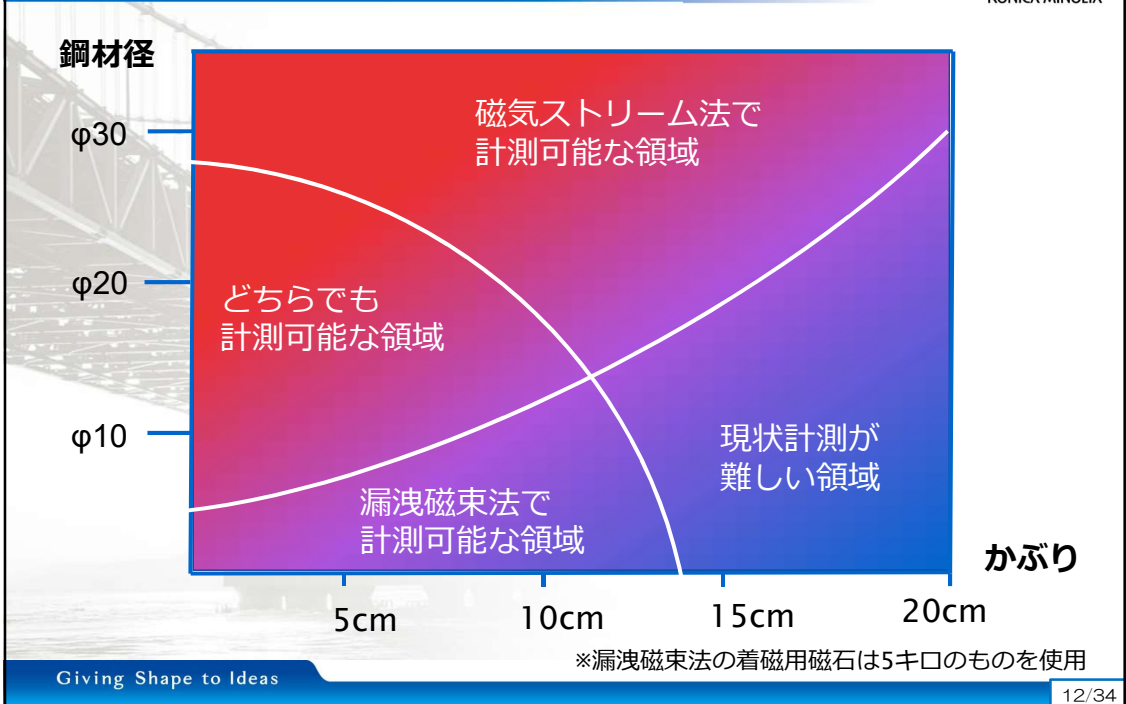
細鋼材 (着磁が容易)
主にプレテン桁
(電柱、吊り橋ケーブル)

太鋼材 (磁気が流れやすい)
主にポステン桁
(PC床版)

漏洩磁束法

磁気ストリーム法





鉄道橋での計測事例





国土交通省 北陸整備局 塩害調査会と連携し、新潟県糸魚川市のB橋において実証実験
今後、破断の疑いのある箇所を研り、計測結果の確認を実施予定



橋梁名	〇〇〇〇
橋長	340.02m
上部工形式	プレテンT桁
下部工形式	控壁式橋台、柱橋脚（RC）
全幅員	11.40m
（有効幅員）	（10.50m）
築設年	1972
所在地	糸魚川市能生

計測した実橋



B橋

橋桁下部からの計測



プロトタイプによる計測

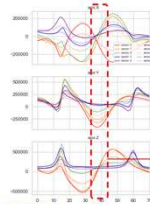
金沢工業大工様と連携



結果確認



計測直後に確認可能

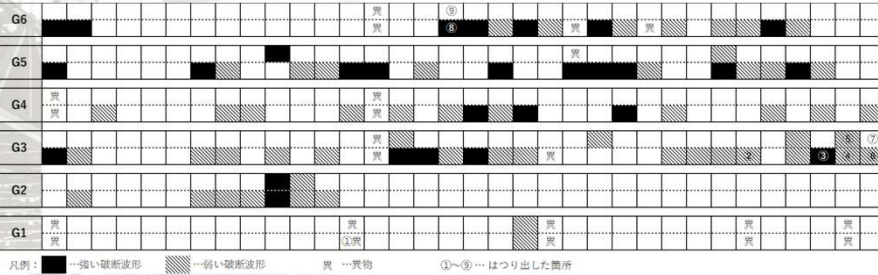


推定された破断箇所



診断結果
37cm付近の0番・1番
センサーに破断の疑い

- 2019年にB橋で408面（1径間の6桁分）を計測し、83面で破断信号を認めた
- 8箇所をはつり出し、破断・健全・異物の信号が全て正しく判定出来た事を確認した



破断信号を検知した位置の例



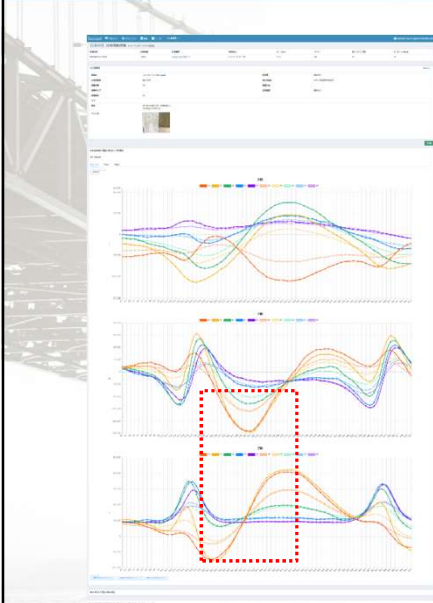
はつり出した鋼材



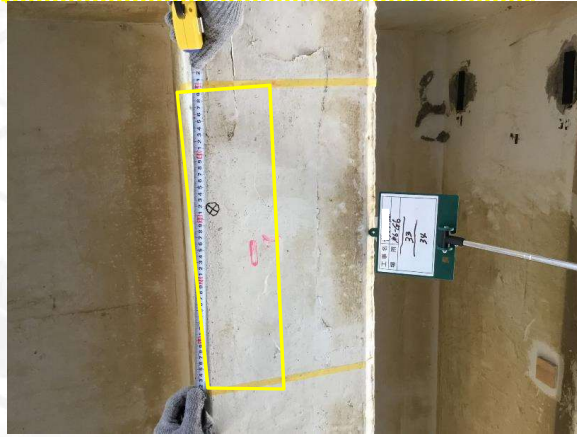
計測箇所名	判定	判定位置	はつり結果		正誤	
G1-25	異物		異物		○	
G6-33	強い破断	31cm	素線破断	26~40cm	○	
G3-65	弱い破断	28cm	素線破断	32cm	○	
G3-66	弱い破断	32cm	素線破断	32cm	○	G3-65と同一箇所
G6-34	健全	-	健全	-	○	
G3-57	深い箇所の破断疑い	13cm	素線破断	13cm	○	
G3-63	強い破断	55cm	素線破断	55cm	○	鋼材露出のため目視にて確認
G3-67	弱い破断	40cm	破断	34cm	○	

G6桁 33 強い破断波形

判定：破断



Y, Z軸方向の0番センサー 31cmあたりに破断らしき波形。



G6桁 33 はつり結果 破断

結果：破断

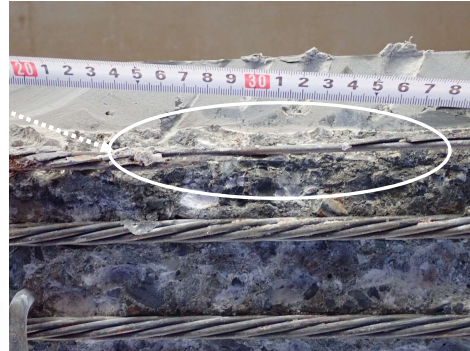
結果：
0番センサー付近の26~40cmの素線が破断



Y, Z軸方向の0番センサー 31cmあたりに破断らしき波形の判定。



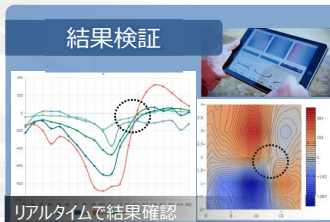
破断箇所も検知できているし、素線破断も検知できていた。



土木学会西部支部沖縄会 技術小委員会と連携し、沖縄地区にて実証実験「インフラの劣化予測と残存性能の診断」テーマとして内部鋼材破断検知を検証



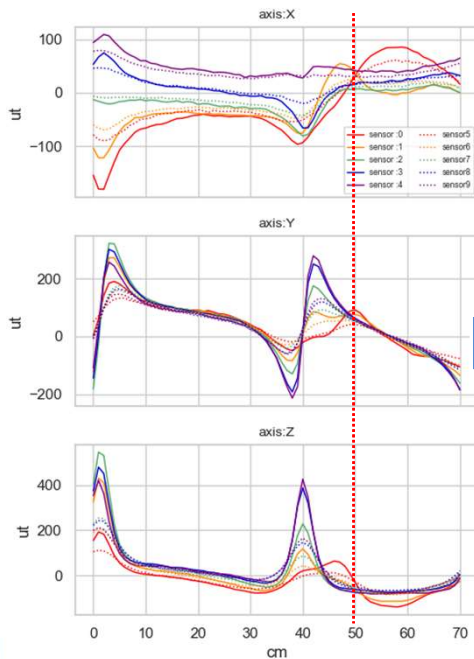
橋種	単純PCプレテンI桁橋（推定）
区間長	10,400m（概略実測値）
桁長	
支間	
幅員	車道7,500m、歩道1,900m
利配置架橋	主桁29本
交通条件	河川（河口）
運用状況	
完成年度	昭和57年（1982年）以前【調査必要】
供用年数	35年以上経過（現状確認・補修・補強要なし）



20か所計測を実施し正当率約95%。2本より線の1本素線破断も検知できている。

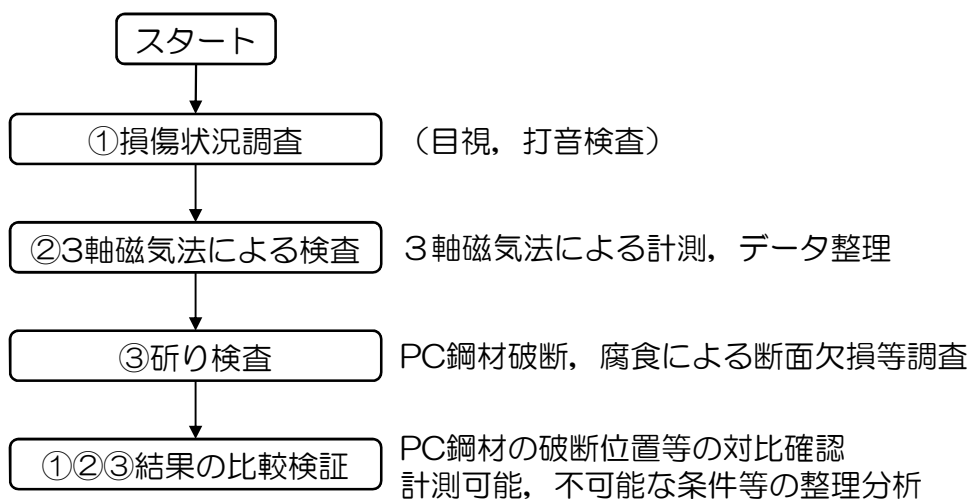
計測箇所	研り前計測	研り後計測	判定		非破壊検査結果正誤判定	備考
	破断位置	破断位置				
5-3A	なし	なし	健全		○	
5-3B	なし	なし	健全		○	
8-3A	-	なし	健全		○	
8-3B	センサ0の50cm付近	センサ0の50cm付近	破断あり	素線破断	○	離隔の中心位置に破断波形。2本より線のうち1本破断
7-9A	-	センサ2,3間の53cm付近	破断あり	素線破断	○	離隔の中心位置に破断波形。
7-9B	センサ0の18cm付近	落下ヒース確認 破断位置はあっている	破断あり	全破断	○	研り時に部位が落下。落下部位を確認し破断位置合致
	-	センサ0の32cm付近	破断あり	全破断	○	スタップ付近で抜け落ちた端部に破断波形。逆向き着磁によって破断を捉えた。
2-10A	センサ4の38cm付近	センサ4の40cm付近	破断あり	全破断	○	破断端部（終端部）
	センサ4の55cm付近	センサ4の55cm付近	破断あり	全破断	○	破断端部（終端部）
	センサ4の14cm（弱）	なし	健全		×	1段目に破断なし。緩い変化のため2段目以降PC破断の可能性あり。
2-10B	-	センサ1の26cm付近	破断あり	全破断	○	
6-11A	-	なし	健全		○	
6-11B	センサ0の14付近	センサ0の18付近	破断あり	素線破断	○	1本破断
	センサ0の30付近	センサ0の32付近	破断あり	素線破断	○	1本破断（終端部）
	センサ0の45付近	センサ0の47付近	破断あり	素線破断	○	1本破断（終端部）
4-16A	-	センサ3の46cm付近	破断あり	全破断	○	鋼材が抜け落ちてなかった。端部を捉える。
	-	センサ4の64cm付近	破断あり	全破断	○	離隔の中心位置に破断波形。
4-16B	センサ0の37cm付近	センサ0の34cm付近	破断あり	全破断	○	全破断（終端部）
	センサ0の48cm付近	センサ0の47cm付近	破断あり	素線破断	○	2本より線のうち1本破断
8-6B	センサ0の27cm付近	-	異物あり	健全	○	目視にて異物を確認可能。研りは未実施。

Giving Shape to Ideas



センサ0の直上にあるより線の計測位置50cm付近に素線破断

3軸磁気法による検知精度の検証方法



24/34

調査対象橋梁（C橋）の概要

プレテンション方式PC単純I桁床版橋
橋長10.4m, 全幅10.1m

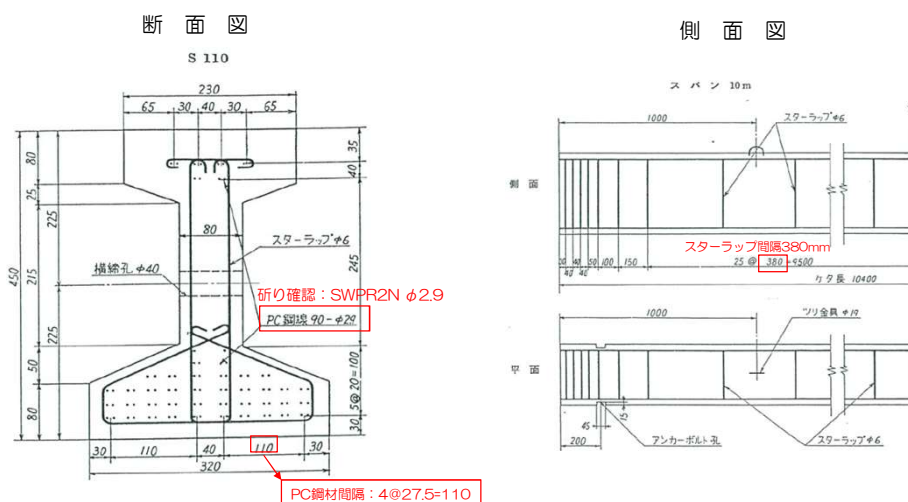
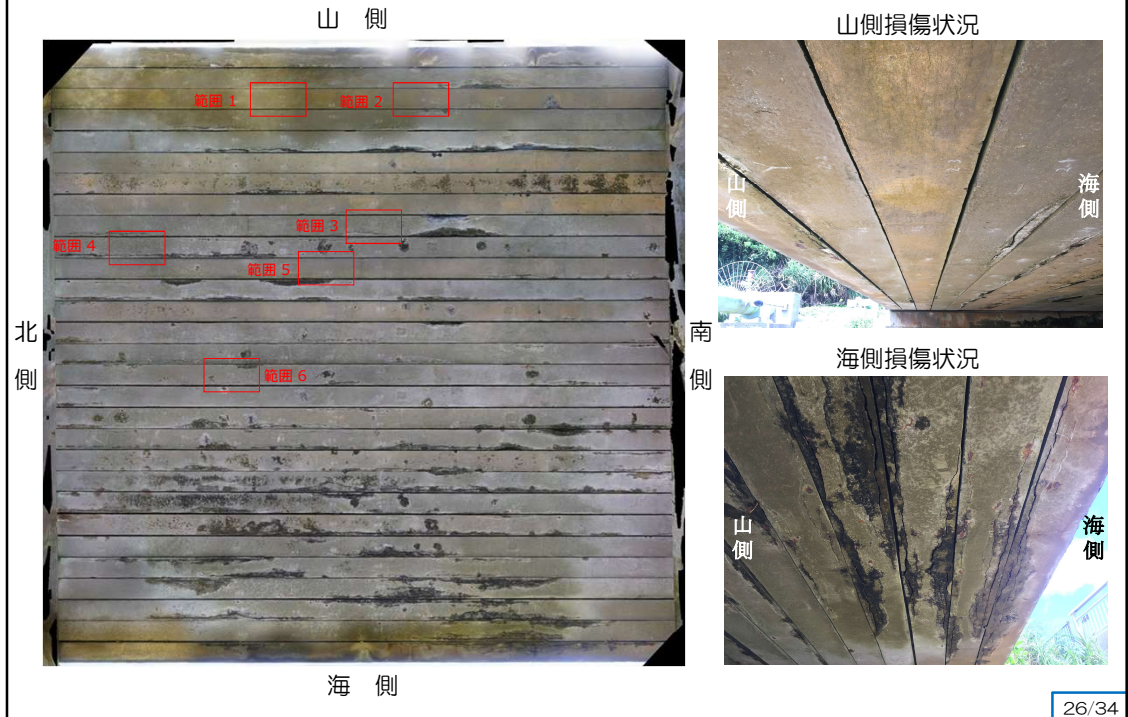


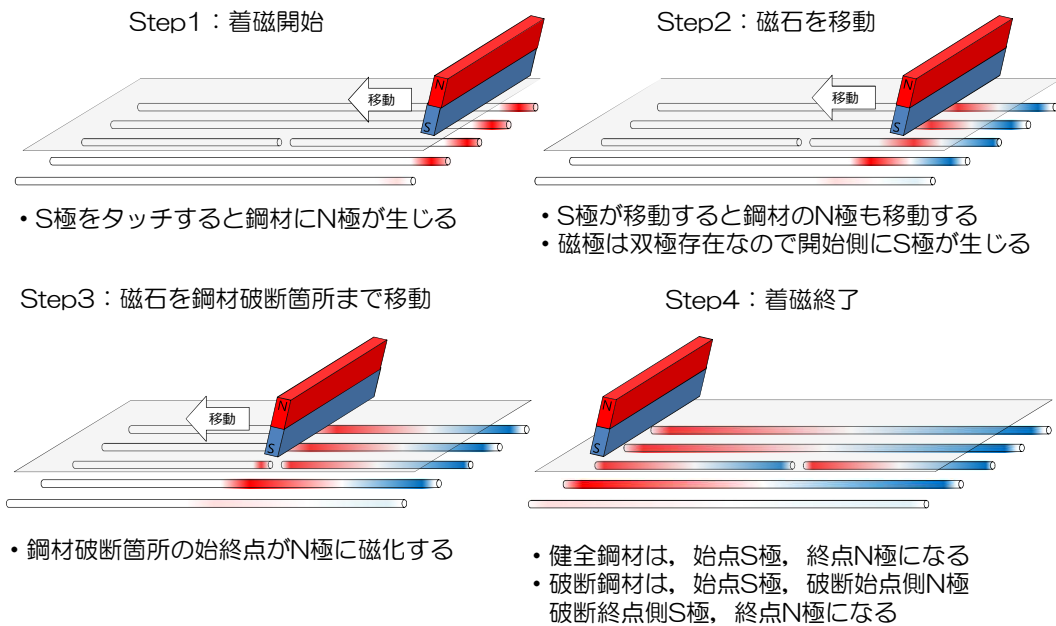
図-1 JIS A 5313-1959 S110(転載)

25/34

対象橋梁桁底面損傷状況



鋼材の磁化メカニズム (PC鋼材のみ)



PC鋼材破断箇所の判定(グラフ形状)

3軸磁気法のグラフ形状による判定			
鋼材状況	Z軸[計測面垂直]	Y軸[鋼材軸]	X軸[鋼材軸直角]
健全	急変なし	急変なし	急変・交差なし
PC鋼材破断箇所	<p>S字(逆S字)形状</p>	<p>谷(山)形状</p>	<p>逆勾配³⁾ or 隣と交差</p>

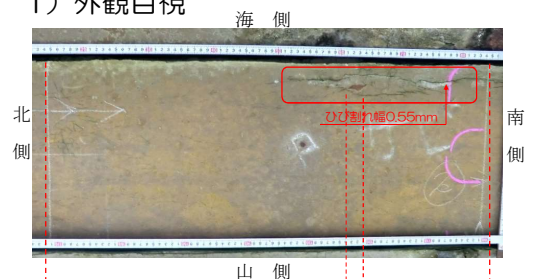
- 注1) 判定は、S極を用いた南→北移動による方法の事例を示す。
 2) 括弧書きは、S極を用いた北→南移動による方法の事例を示す。
 3) センサが鋼材左側だとZ軸グラフと逆方向勾配、右側だと同方向勾配になる。
 4) 最新計測器では、鋼材軸方向はX軸、鋼材軸直角方向はY軸としている。

28/34

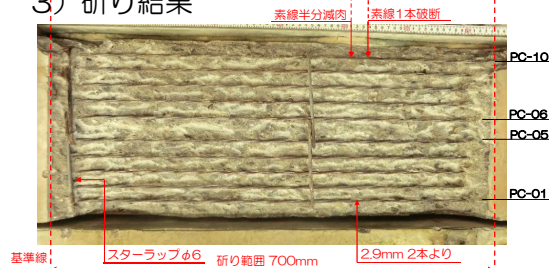
外観目視, 3軸磁気法, 斫り結果の比較

(1) 調査範囲②海側 (着磁: S極, 北→南移動)

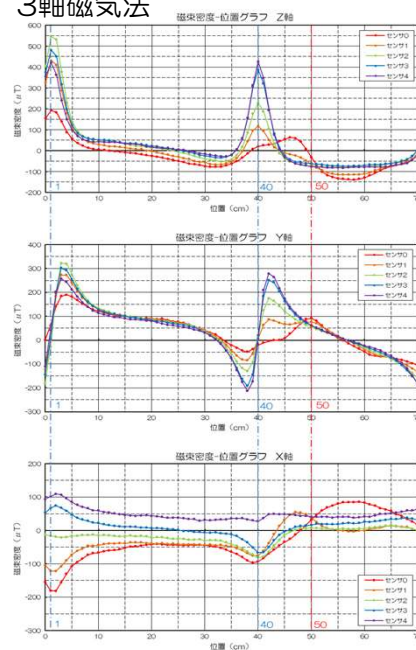
1) 外観目視



3) 斫り結果

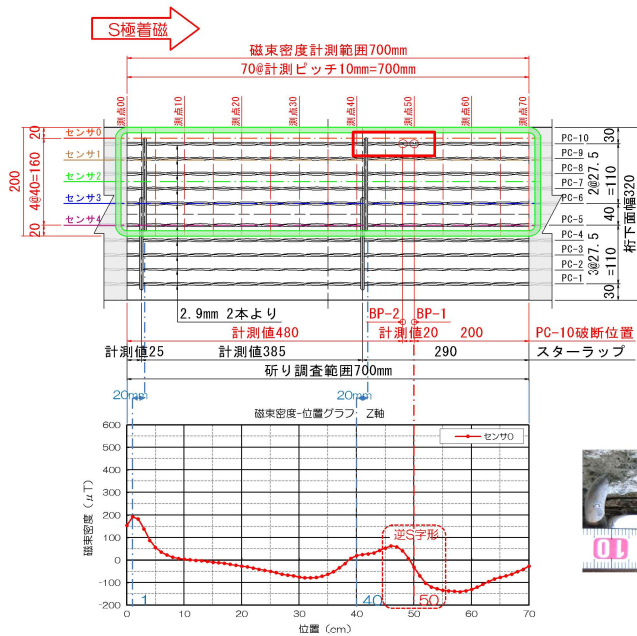


2) 3軸磁気法



29/34

調査範囲②海側（計測結果と研り結果の比較）



BP1：素線1本破断
BP2：素線半分減肉
(断面欠損)



30/34

外観目視，3軸磁気法，研り結果の比較

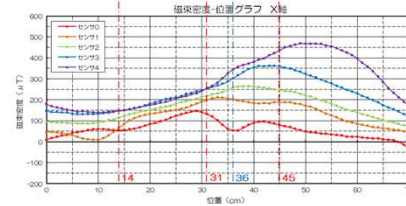
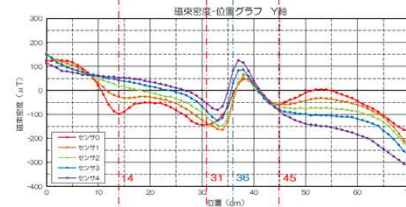
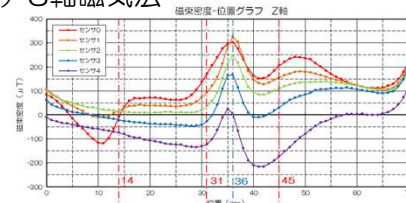
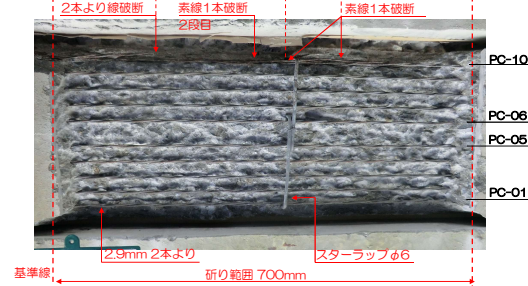
(2) 調査範囲⑤海側（着磁：S極，南→北移動）

2) 3軸磁気法

1) 外観目視

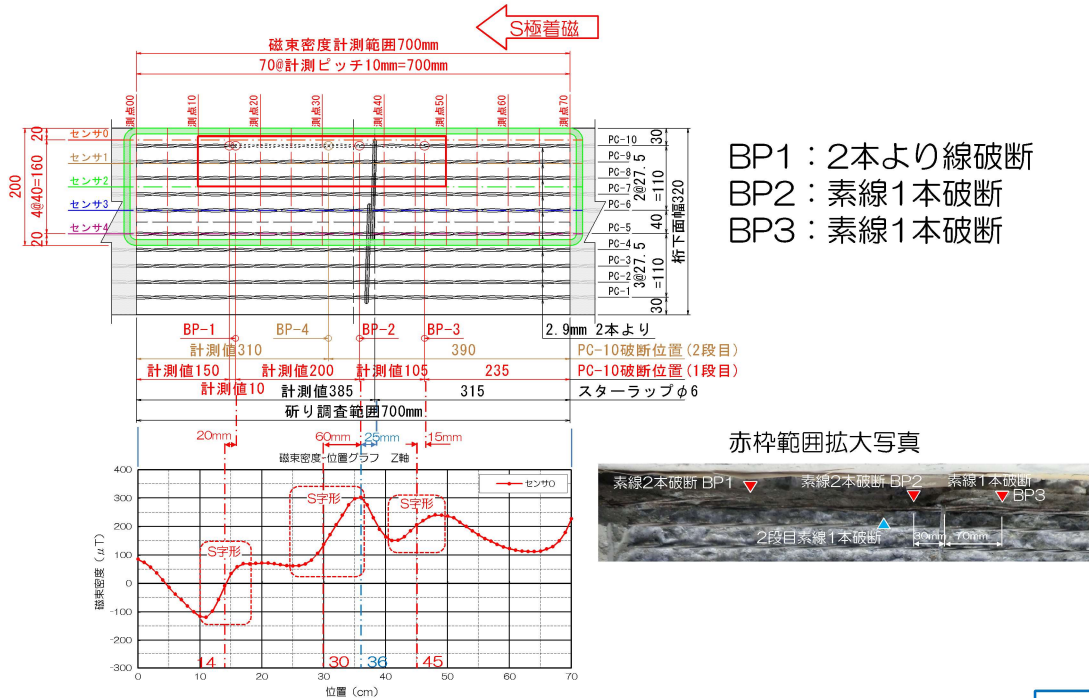


3) 研り結果



31/34

調査範囲⑤海側（計測結果と研り結果の比較）



32/34

3軸磁気法と研り調査の比較まとめ

- (1) SWPR2N 2本より 2.9mmの素線1本の腐食破断まで精度良く検知できる。
腐食による断面欠損した区間は、検知できなかった。
- (2) PC鋼材の破断箇所とスターラップが30mm程度と近い場合は、PC鋼材破断箇所の検知精度は低下する。
PC鋼材破断箇所とスターラップが70mm程度離れると、PC鋼材破断箇所の精度良く検知できる。
- (3) 着磁方向を逆にすると、磁束密度-位置グラフの波形が逆形状を示す。着磁方向の違う計測結果を比較することで、スターラップ付近にあるPC鋼材の破断が検知できる可能性がある。

33/34

3軸磁気法と研り調査の比較まとめ

(4) 今後の課題

1) モデル計測による検知精度の確認 ➤ 検知精度向上

- 鋼より線（SWPR7A,B）の素線破断数の検知
- スターラップ近傍における素線破断数の検知
- 鋼より線径とスターラップ径による素線破断数の検知

2) 実劣化桁による検知精度の確認

- 3軸磁気法による計測結果と研り調査の比較