

第28回

千葉県非破壊検査研究会・研究発表会

講演資料

日時 平成26年2月13日(木)
10:45~17:00

場所 千葉県産業支援技術研究所

目 次

I 研究発表

1. JIS 規格制定における CND I との関わり ----- 1
立川 NDT テクノ 立川 克美
2. 2次元検出を利用した $\cos \alpha$ 法を用いた残留応力測定について ----- 7
パルステック工業株式会社 野末 秀和
3. 丸棒鋼用フェーズドアレイ自動超音波探傷装置の開発 ----- 13
菱電湘南エレクトロニクス株式会社検査計測事業部 田中洋次
4. Ms T ガイド波法による高所配管 架台接触部腐食検査への取り組み ----- 19
株式会社シーエックスアール 田邊有作, 藤岡 克美
5. 配管に対する非破壊検査の応用技術 ----- 27
新日本非破壊検査株式会社関東支社 熊谷安紘
6. コンクリート構造物の塩害・腐食調査手法の紹介(蛍光 X 線分析による
塩化物量測定、分極抵抗法による腐食速度の推定) ----- 31
日鉄住金テクノロジー株式会社計測・検査事業部 金田尚志
7. 社会インフラの維持管理における NDT 適用事例 ----- 41
株式会社ダンテック関東支社 前川真一

II. 特別講演会

- 演 題 鋼道路橋の維持管理 ―損傷事例と点検手法・調査技術の紹介― ----- 47
- 講 師 国土交通省所管 独立行政法人 土木研究所(PWRI)
構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)
橋梁構造研究グループ主任研究員 高橋 実 氏

JIS Z 3060:2002 鋼溶接部の超音波探傷試験方法

- JIS Z 3060の改正作業はほぼ終了した。
- 2月末には規格協会に提出予定である。
- 日本工業標準調査会 溶接技術専門部会にて審議後、官報に公示される。
- 改正JIS規格が出版された後、CNDIでは講習会又はテクノ談話室等で説明会を予定。

JIS Z 3060が制定された頃の背景

- 溶接部のUTは1963年、ASMEのボイラ圧力容器規格Sec. IIIで規定された。
- 国内では1965年、東京都水道局の「水道用鋼管現場溶接部検査仕様書及び検査判定基準」が定められ、UTが実施された。
- この頃、高層建築の現場接合に溶接が適用されるようになり、UTの適用要求が高まった。
- 1970年日本非破壊検査協会規格NDIS 2404-70(鋼構造物溶接部の超音波探傷試験方法及び等級分類)が制定され、1974年に改正後、これを原案として、JIS Z 3060が制定された。
- 1975年には、NDISを基本とし、欠陥をもつ部材と強度の関係などの研究結果を基に鋼構造建築物に適した合否判定基準を含む「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準」(通称:建築学会規準)が制定された。

JIS規格制定におけるCNDIとの関わり

立川NDTテクノ

立川克美

JSNDIが原案作成中のJIS規格

- **JIS Z 3060:2002 鋼溶接部の超音波探傷試験方法**
- Z 2320-1:2007 非破壊試験—磁粉探傷試験—第1部:一般通則
- JIS Z 2320-2:2007 非破壊試験—磁粉探傷試験—第2部:検出媒体
- JIS Z 2320-3:2007 非破壊試験—磁粉探傷試験—第3部:装置
- JIS Z 2316-1~4(予定)非破壊試験—渦電流試験—第1部~第4部

JSNDI ホームページより

JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」と CNDIメンバーとの関わり

JIS Z 3060-1975 (昭和50年9月1日制定)
溶接部会溶接部超音波探傷試験方法専門委員会 構成表

委員長	石井 勇五郎	日本大学			
木村 勝美	科学技術庁金属材料技術研究所		高橋 茂	千代田化工建設株式会社	
神尾 昭	運輸省運輸技術研究所		藤盛 紀明	清水建設株式会社	
山本 英爾	株式会社東京計器		菊池 晋一	三菱重工業株式会社	
森川 泰汎	株式会社検査技術研究所		大橋 明	株式会社日本製鋼所	
奥田 直樹	株式会社神戸製鋼所		富士 岳	日本鋼管株式会社	
磯野 英二	新日本製鉄株式会社		明石 重雄	株式会社横河橋梁製作所	
白岩 俊男	住友金属工業株式会社		森田 静徹	軽金属溶接技術協会	
栗山 良員	石川島播磨重工業株式会社		(専門委員)	大嶋 正昭	鹿島建設株式会社
寺井 清	川崎重工業株式会社		(事務局)	中川 昌俊	工業技術院標準部

JIS Z 3060改正の経緯

(制定後、8年経過後に1回目の改正原案)

JIS Z 3060-1983 (昭和58年3月1日制定)

委員の構成表はJIS規格本文中に記載なし

NDI機関誌Vol33.(12) p-893 ~ 898に報告があり、

委員長 木村勝美、 幹事 岸上守孝

同報告はCNDIの第2回研究報告に掲載、岸上顧問が発表した。

1983年の改正では、Z3060は2つの規格に分離された。(委員長、幹事は同じ)

- JIS Z 3061 適用範囲 (1)曲率半径が ≥ 1000 mm未満の円周継手
(2)曲率半径が ≥ 1500 mm未満の長手継手
(3)鋼管分岐継手

分離した理由: 曲率半径の変化とともに超音波の入射効率が変化する。
肉厚対外径比(t/D)によっては内面付近が探傷不能となる場合がある。
欠陥位置の推定が平板と同様に扱えない
JIS Z 3061はASMEを参考に制定された

JIS Z 3060改正の経緯
 (第1回改正原案制定後、5年を経て2回目の改正原案)
JIS Z 3060-1988(昭和63年3月1日制定)

改正のポイント

- 音響異方性鋼板について規定
 NDIS 2103(音響異方性を有する鋼溶接部の超音波探傷試験方法及び試験結果の等級分類方法)を基本とした。
- Z 3060とZ 3061が再度統合された
 平板の超音波探傷規格、曲率を有する超音波探傷規格、音響異方性を有する超音波探傷規格の3規格が存在することは混乱を招く恐れがあるため、これらをまとめてJIS Z 3060-1988とした。

JIS Z 3060-1988(昭和63年3月1日制定)
改正原案作成委員会構成表

(委員長)	木村勝美	(財)日本溶接技術センター	小倉幸夫	日立建機(株)
(幹事)	岸上守孝	石川島播磨重工業(株)	近藤明男	(株)神戸製鋼所
(幹事)	名取孝夫	日本超音波試験(株)	高沖 亮	日鋼検査サービス(株)
	内仲康夫	通商産業省	竹中克己	非破壊検査(株)
	大谷清史	アメリカン・ビューロー・オブ・シッピング	寺田邦男	日本検査コンサルタント(株)
	神尾 昭	船舶技術研究所	永倉義之	川崎製鉄(株)
	笹谷 勇	工業技術院標準部	西海秀夫	(株)帝通電子研究所
	仙田富男	大阪大学工学部	西藤勝之	日本鋼管(株)
	立川克美	千葉県機械金属試験場	藤盛紀明	清水建設(株)
	野中太郎	高圧ガス保安協会	松山 宏	三菱電機(株)
	大八木正広	(財)日本海事協会	八木 健	(株)東京計器
	富士 岳	日本技術検査協会	山内秀彦	三井造船(株)
	岩本啓一	三菱重工業(株)	山口久雄	住友金属工業(株)
	宇田川建志	新日本製鉄(株)	佐橋幸祐	(社)日本非破壊検査協会
	清友滋弘	千代田化工建設(株)		

改正のメインテーマ: 音響異方性を有する鋼板の探傷

JIS Z 3060改正の経緯
(第2回改正原案制定後, 6年を経て3回目の改正原案)
JIS Z 3060-1994 (平成6年3月1日制定)

(委員長)	岸上守孝	(財)発電設備技術検査協会
(幹事)	倉持 貢	清水建設(株)技術研究所
(幹事)	寺田邦男	日本検査コンサルタント(株)
(幹事)	名取孝夫	(株)ジャスト研究所
(委員)	宇田川義夫	日本タラウトクレーマー(株)
	大岡紀一	(社)軽金属溶接構造協会
	岡 賢治	(株)検査技術研究所
	小倉幸夫	日立建機(株)
	清田文範	(社)非破壊検査振興協会
	工藤憲二	(社)鉄骨建設業協会
	佐々木直樹	(社) 高圧ガス保安協会
	立川克美	千葉県機械金属試験場
	冨田眞己	(社)日本溶接協会
	中島一郎	通商産業省基礎産業局
	服部幹雄	通商産業省工業技術院標準部
	村山 章	(社)日本鉄鋼協会
	森田耕次	(社)日本建築学会
	中野武人	(社)日本非破壊検査協会

主な改正点

- ・欠陥の用語をきずとした
- ・音響異方性鋼板に対しては、屈折角65°の探触子を使用するよう改正した
- ・デジタル探傷器の普及を妨げないような規定とした

JIS Z 3060改正の経緯
(第3回改正原案制定後, 8年を経て4回目の改正原案)
JIS Z 3060-2002 (平成14年3月1日制定)

(委員長)	福原照明	金属材料技術研究所	山崎利一	エヌケーテクノス(株)
(幹事)	立川克美	千葉県機械金属試験場	守井隆史	川崎製鉄(株)
(幹事)	小倉幸夫	日立建機(株)	木村勝美	日本パナメトリクス(株)
(幹事)	倉持 貢	清水建設(株)	松村民久	日本検査コンサルタント(株)
(幹事)	名取孝夫	(株)ジャスト研究所	和高修三	三菱電機(株)
	八田 勲	工業技術院標準部	岡 賢治	(株)検査技術研究所
	橋本 進	日本規格協会	吉次 宏	石川島検査計測(株)
	木村新一郎	(社)日本鉄鋼連盟	菊池晋一	(株)イー・アンド・デイ
	堀川浩甫	(社)日本溶接協会	成宮隆雄	(株)宮地織工所
	清田文範	(社)非破壊検査振興協会	加藤和彦	(社)日本非破壊検査協会
	大岡紀一	(社)軽金属溶接構造協会		
	森田耕次	(社)日本建築学会		
	田中雅人	(株)東京鎖骨橋梁		

JIS Z 3060-2002 改正の特徴

- 感度標準試験片は従来からSTB-A2がメインのように取り扱われてきたが、2002の改正ではRB-41をメインとした。
- 探触子の周波数を2MHz～5MHzとした。
- きず高さの測定法として、端部エコー法を「参考」として導入した。
- 国際規格(ISO/DIS 17640:溶接部の非破壊試験—溶接継手の超音波試験)との整合化が問題となり、多くの時間が費やされた

JIS Z 3060改正の経緯
(第4回改正原案制定後、12年を経て
5回目の改正作業中)

JIS Z 3060-2014(平成26年 月 日制定予定)

(委員長) 三原 毅 (富山大学)
(幹事) 名取孝夫
(幹事) 立川克美
(幹事) 守井隆史

2次元検出を利用した $\cos \alpha$ 法を用いた 残留応力測定について

2014年 2月13日
パルステック工業(株)
野末秀和

残留応力が主要因といわれている事例

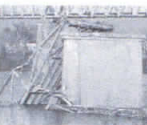
・リバティー船の脆性破壊、1942年3月米国オレゴン州

2708隻建造、1031件の事故の報告、うち200隻以上が沈む、スケネクタディー号は冬季岸壁係留中夜明方大音響と共に船体が真二つに折れた事故発生
溶接による残留応力が主要原因とされている



・シルバーブリッジ崩落、1963年12月14日

アメリカ合衆国ウエストバージニア州のつり橋が崩落し、車両31台が巻き込まれ46人が死亡
シルバーブリッジは、ケーブル代わりチェーンを使用
そのチェーンの腐食とクリスマスショッピングによる渋滞が原因で崩壊したとされている
製造工程にて不均等な冷却が原因による残留応力が主要因とされている



残留応力の活用

- ・輸送用機器関連（自動車、造船、鉄道、航空宇宙）
- ・機械部品加工メーカ
- ・金属加工メーカ
- ・プラント部品メーカ
- ・電力や橋梁等のインフラ関連
- ・鉄鋼材料メーカ

近年自動車関連は、激化する高燃費競争による部品の軽量化と、それとは相反して安全性や性能向上のために、部品の寸法精度向上が急務

→残留応力の管理や把握、その制御が重要とされている

鉄鋼部品の完成まで

部品になるまでには目的の性能に達するためにさまざまな工程がある

- ・塑性加工：圧延、プレス、金型等
- ・熱処理：焼入れ、焼鈍、サブゼロ処理
- ・溶接：ボイラー、シャフト、マニホールド、マフラー等
- ・切削、研磨品：エンジン、駆動系構成部品
- ・表面改質：ピーニング(ショット、WPC、LD)、ブラスト等々

残留応力測定

残留応力の測定

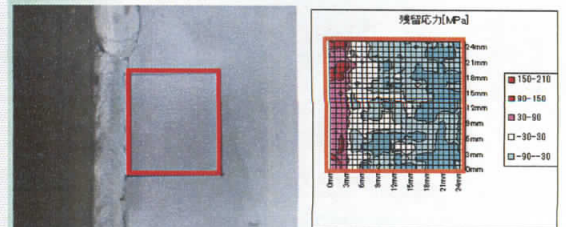
破壊法	試験体を切断や除去した時に生じる弾性変形を定量的に測定 ⇒ホールドリル(穿孔)法、リングコア法、⇒ ひずみゲージ
非破壊法	試験体に極力破壊しない状態で測定 ⇒X線法、磁気歪み法、硬さ法、腐食法、音弾性法、パルソニック法

圧縮応力/善玉：強さ(疲労強さ)を増し、疲労破壊を防ぐ効果あり
引張応力/悪玉：小さい傷が疲労破壊を促進させる可能性あり



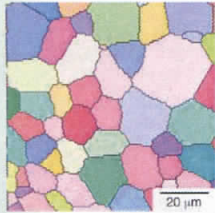
溶接による残留応力

- ① 局所的な温度変化に伴う熱膨張と縮小が発生
- ② 周囲が拘束された状態となるため変形が妨げられ、溶接近傍に大きな残留応力が発生
- ③ 残留応力が要因で変形や亀裂等の問題が発生する場合あり



鉄のような等方性多結晶構造の様子

- 鉄 (Fe) に含まれる多結晶粒の様子

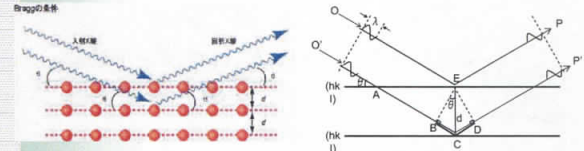


鉄 (鋼) は色々な向きの結晶粒がランダムに配置されており結晶粒の大きさは、X線の照射スポットに比べ小さいため、X線は様々な向きの結晶に当たります。

PULSTEC
Create New Value 7

X線の基礎 回折現象について

- Bragg (ブラッグ) の法則



ブラッグの法則 (格子面によるX線の散乱による回折)

X線波長(λ)が結晶格子面間隔(d)に入射、散乱する際(d)により位相の干渉が発生。この回折現象をBraggの式(**Braggの法則**)となる (n)は自然数

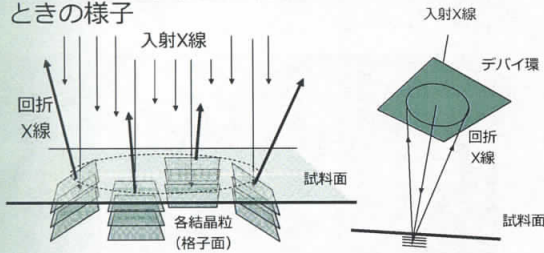
$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

λ はX線波長のため不変、そのため力加わり d が変わると θ が変わる

Create New Value 8

等方性多結晶構造からのX線の回折

- X線を等方性多結晶の材料に向けて放射したときの様子



色々な向きの結晶粒からBraggの法則に適合する格子面からX線が回折し、前述のように様々な角度の結晶粒が無数にあるため、X線の回折は入射X線を軸に円錐状に放出されます。

PULSTEC
Create New Value 9

μ -X360 : 標準仕様

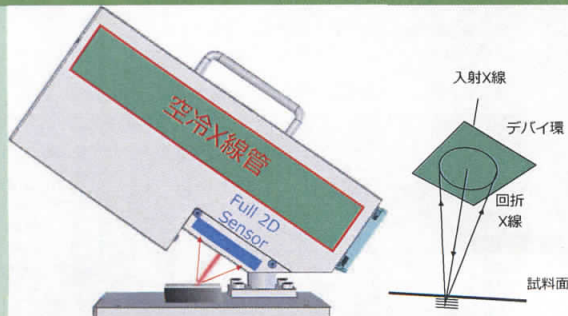


- 概略仕様

X線管球 : 標準Cr · 30kV · 1mA (低出力X線)
コリメータ径 : 標準Φ 1.0mm (測定面積 約Φ2mm)

PULSTEC
Create New Value 10

μ -X360 X線照射イメージ



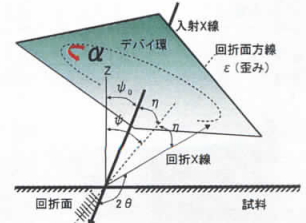
X照射部分の結晶格子の距離から、応力を非破壊で算出単一入射法である『 $\cos\alpha$ 法』を採用可搬性のある装置としては、『世界初』

PULSTEC
Create New Value 11

$\cos\alpha$ 法(本装置で採用)

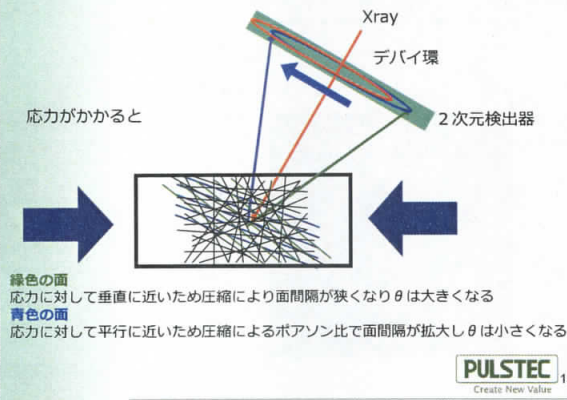
- $\cos\alpha$ 法の概要

デバイ環全体を取得し、無応力試料を基準に測定試料のデバイ環との差 (歪 θ) を求めることで、残留応力を算出 $\sin^2\psi$ 法に加えデバイ環の回転角 α が計算に加わる



12

cos α の原理



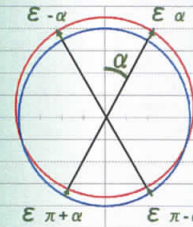
cos α 法の計算

• cos α 法の残留応力 (σ) 計算

デバイ環全周を取得し、
無応力試料との差 (歪) を求め、次の計算を行う

$$\epsilon_{\alpha 1} = \frac{1}{2} \{ (\epsilon_{\alpha} - \epsilon_{\pi + \alpha}) + (\epsilon_{-\alpha} - \epsilon_{-\pi - \alpha}) \}$$

$$\epsilon_{\alpha 2} = \frac{1}{2} \{ (\epsilon_{\alpha} - \epsilon_{\pi + \alpha}) - (\epsilon_{-\alpha} - \epsilon_{-\pi - \alpha}) \}$$



$$\sigma = \frac{E}{1 + \nu} \cdot \frac{1}{\sin 2\eta} \cdot \frac{1}{\sin 2\psi_0} \left(\frac{\partial \epsilon_{\alpha}}{\partial \cos \alpha} \right)$$

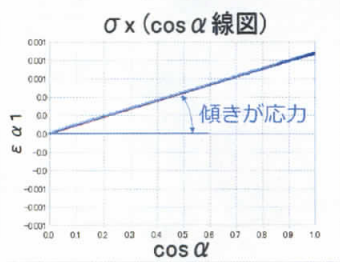
応力定数 K 傾き M

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1 + \nu)} \cdot \frac{1}{\sin 2\eta} \cdot \frac{1}{\sin \psi_0} \left(\frac{\partial \epsilon_{\alpha 2}}{\partial \sin \alpha} \right)$$

14

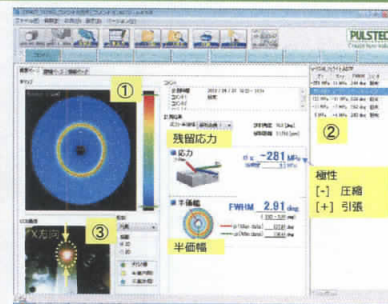
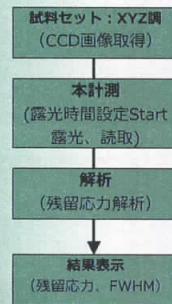
cos α 法

横軸に cos α (α はデバイ環角度)、縦軸に前頁で計算した ε α 1 でグラフを作ると以下の図になり、sin²ψ法と同様に直線の傾きが応力となることから、cos α 法と呼ばれます。



μ-X360 アプリケーション紹介

■ μ-X360の動作

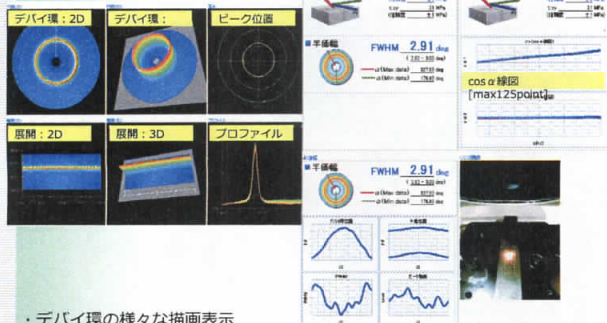


- ① デバイ環や残留応力値の表示
- ② 過去データの確認が容易、履歴リスト
- ③ CCDカメラによる試料の確認が容易

PULSTEC
Create New Value

μ-X360の様々な表示画面と解析画面

■ μ-X360の結果



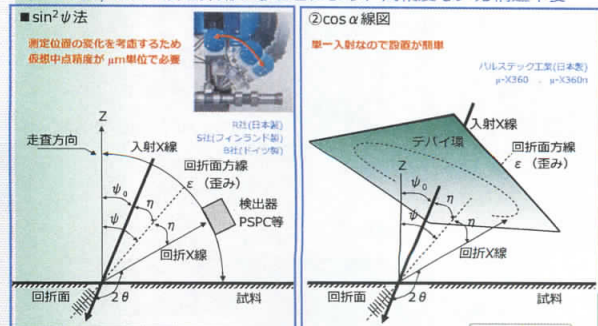
- デバイ環の様々な描画表示
- 残留応力値、半値幅を数値やグラフで表示

PULSTEC
Create New Value 17

2次元検出によるメリット

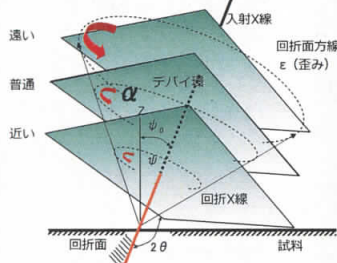
■ メリット1

単一入射 / cos α 法を採用することにより、高精度なメカ構造不要



2次元検出によるメリット(補足)

- $\cos \alpha$ 法はなぜ試料距離がラフなのか？
試料距離に応じてデバイ環のサイズが変化
2次元検出器にデバイ環が収まれば計測可能



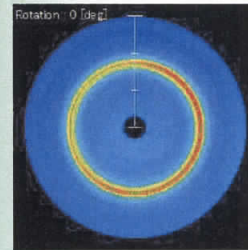
フェライトのデバイ環Cr k α(156.396deg)：測定可能資料距離28-50mm

19

2次元検出によるメリット

- メリット2
デバイ環全周取得(500ポイント)
→最大500個のデータを取得することで再現性と信頼性向上

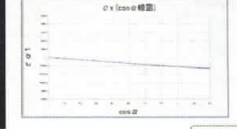
①デバイ環
2次元センサー強度分布



②結果(例)



③COS α線図
125point

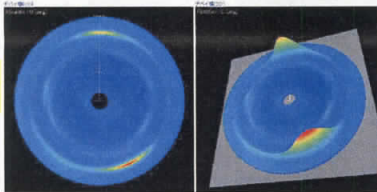


PULSTEC
Create New Value 20

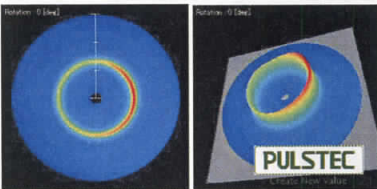
2次元検出によるメリット

- メリット3
『視覚的に確認』

粗大結晶



配向：圧延による影響



PULSTEC
Create New Value

標準仕様 と 狭小仕様

■μ-X360 [標準仕様]



■μ-X360n [狭小仕様]



隅内溶接部分の狭い部分の測定が可能



22

μ-X360n 狭い部分の測定

通常測定



*隅内溶接部へのアクセスが可能

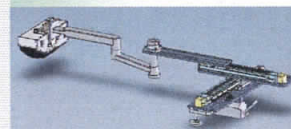
μ-X360n専用測定



Create New Value 23

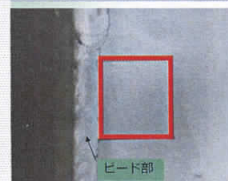
可動ステージ(オプション)

- X/Y二軸ステージと同時制御を行うことで、『マップ表示を実現』

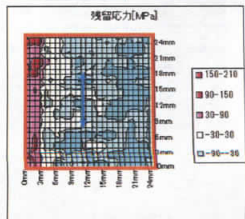


□25mmを1mmStepで測定
26p×26p=676point

溶接応力測定結果



ビード部



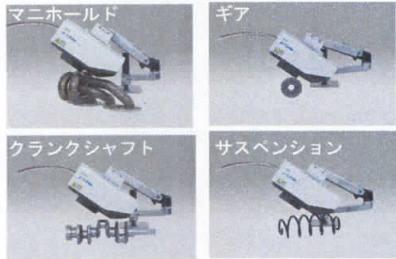
*標準 2軸ステージ(X/Y) 対応可能アプリケーション(3軸以上は要相談)

PULSTEC
Create New Value 24

導入事例：自動車部品

- ①ギア(ラックピニオン、ハイボイドギア)
- ②エンジンストマニホールド
- ③クランクシャフト
- ④サスペンション
- ⑤コンロッド
- ⑥ベアリング
- ⑦ドアパネル
- ⑧シャーシ
- ⑨ホイール
- ⑩ボールネジ
- ⑪マフラー
- ⑫シートレール
- ⑬タービンブレード

【熱を発する工程】
鍛造、鋳造、ダイカスト
切削、溶接、熱処理、表面改質

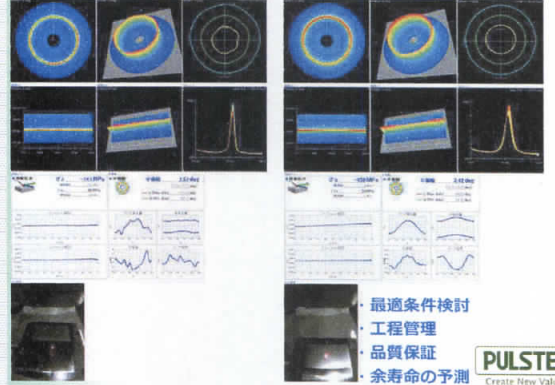


- 数値化することで
- ・材料開発
 - ・最適な工程設計
 - ・工程管理
 - ・寿命予測
 - ・シミュレーションとの比較
 - ・品質保証

PULSTEC
Create New Value 25

ショットピーニング効果

①ショットピーニング前 -141MPa ②ショットピーニング後 -459MPa



- ・最適条件検討
- ・工程管理
- ・品質保証
- ・余寿命の予測

PULSTEC
Create New Value 26

大型部品や構造材

- ①配管
溶接 & 熱処理部
周辺残留応力確認
- ②タンク
溶接部、焼戻し効果確認
現物確認と工程改善
- ③大型工作機械部品
高周波焼入れ近傍確認
金型の経年変化確認
- ④重機部品
溶接、熱処理
ショットピーニング効果確認



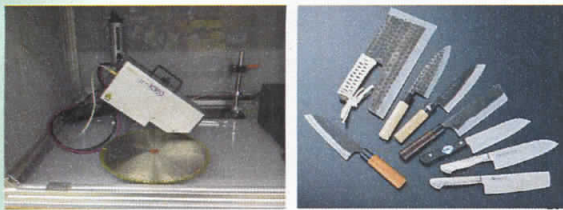
測定事例：現場

- ①鉄道 レール測定
- ②道路建築現場ケーソン計測
- ③橋梁 ウェブ部、フランジ部
- ④水力発電所 ランナー計測
- ⑤プラントメンテナンス
補修溶接後、ショットピーニング処理部計測
経年変化確認



測定事例

- ①医療分野
鉗子(熱処理による経年変化や亀裂)
- ②付加価値商品
溶接による問題の有無
- ③丸の子の歯
表面改質効果確認



PULSTEC

Create New Value

新しい価値を創造する



PULSTEC
Create New Value 30

編集上の調整ページ

丸棒鋼用フェーズドアレイ自動超音波探傷装置の開発

Development of Phased Array Automatic Ultrasonic Testing System for Round Bar

○田中 洋次

Hiroji Tanaka

菱電湘南エレクトロニクス（株）

Ryoden Shonan Electronics Corp.

概 要

鉄鋼分野で使用されるオンラインシステムのうち、特に丸棒や鋼片の内部検査にはフェーズドアレイ方式の自動超音波探傷装置が多く用いられている。オンラインシステムでは高速でかつ連続的に搬送される材料を検査するために、探触子と材料の間には音響的に安定した水を常に充満させる必要がある。当社では探傷機や探触子に加えて探傷水の形成に関する課題を解決した高SN比を有するフェーズドアレイ方式の自動超音波探傷装置を開発・実用化したので報告する。

キーワード：フェーズドアレイ、オンライン、自動超音波探傷装置

1. まえがき

丸棒鋼のオンライン自動超音波探傷装置では垂直探傷法による材料の中心部、及び斜角探傷法による表面皮下部の探傷法を組み合わせることで全断面の検査が行われるのが一般的である。材料が直進搬送される検査ラインにおいて高速でかつ連続的な検査を行うためには、材料の周囲で探触子を高速回転させる方式と、材料の周囲に配置されたアレイ探触子の超音波ビームを電子的に走査させる方式⁽¹⁾⁽²⁾がある。

特に最近では後者のアレイ探触子の超音波ビームを電子的に走査させるフェーズドアレイ方式の自動超音波探傷装置の要求が多く、当社でもフェーズドアレイ方式の自動超音波探傷装置の実用機を開発した。特に高い欠陥検出能（SN比）を確保するために、探傷機や探触子の主要性能はもとより、探傷水に含まれる小さな気泡（溶存酸素）の除去や材料の通過によって水槽内部に引き込まれて残留する気泡の除去技術を併用する事で、高い欠陥検出能を有するオンライン用のフェーズドアレイ方式自動超音波探傷装置を実用化した。

2. システムの概要

オンライン用のフェーズドアレイ方式自動超音波探傷装置のシステム構成図を図1に示す。装置はアレイ探触子を収納した水槽を備えた探傷機構装置と、上記水槽内に探傷水を供給する探傷水供給装置と、オフラインで使用する感度校正装置と、超音波探傷機と、各機器の制御と搬送ラインとのインターフェース機能を有する制御装置と、超音波探傷機の各種設定や探傷データの処理を行うデータ処理装置、及び探傷結果を出力する出力機器等から構成されている。

超音波探傷機とアレイ探触子の主要諸元を表1に示す。従来の多くのオンラインシステムでは超音波探傷機が運転室内に配置され、本数の多い探触子ケーブル（同軸ケーブル）を長く引き回していたが、今回開発した自動超音波探傷装置は図1に示すように超音波探傷機を機構装置部上に配置してフェーズドアレイ方式の欠点となる多芯同軸ケーブルの引き回しを最小限の長さとし、探傷機の制御や、探傷データの伝送はLAN回線で実行する事で付帯設備の小型化を図った。また、様々な材料の外径に対する段取り変え時間を短縮するために、アレイ探触子を固定している探触子ホルダはサイズ情報から自動で高さ位置の調整を可能としている。さらに探傷感度の校正やSN比の確認のためにオフライン位置

に感度校正装置を備えており、全てのアレイ探触子の感度校正や超音波ビームの走査条件を設定、確認できる。

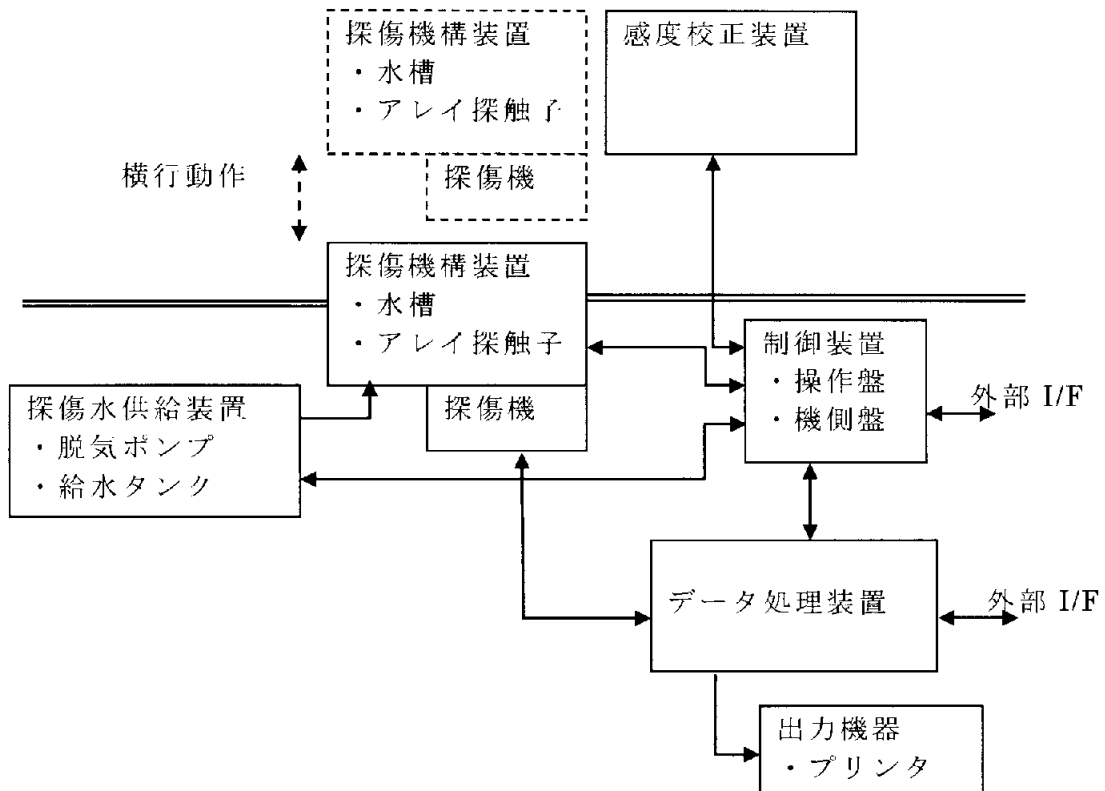


図 1. 自動超音波探傷装置のシステム構成図

表 1. 超音波探傷機、及び探触子の主要諸元

項目	諸元	備考
超音波探傷機		
(1) 送受信ユニット	2 式	128CH×4/ユニット
(2) フォーカルロー	1024 パターン	
(3) 送信電圧	100～200V	
(4) PC インターフェース	LAN	
探触子		
(1) 周波数	7 MHz	
(2) 振動子材質	コンポジット	
(3) エレメント数	128 素子	配列間隔：約 0.6mm

開発目標の欠陥検出性能は搬送速度 135m/分、材料の間隔（前材料後端と次材料先端との間隔）約 0.5～1.0sec の条件下で丸棒鋼の外径がφ10～φ40 において横穴φ1×10mm の人工きずを従来のシステムでの S N 比（約 20～26dB）より高い S N 比で検出するものである。

上記欠陥検出能を満足させるためには探触子で形成する超音波ビームのフォーカス条件も重要であるが、探触子と材料との間に存在する探傷水中に浮遊する微細気泡の影響を考慮する必要がある。すなわち、材料の表面近傍に存在する気泡で、超音波の伝搬経路が例えば探触子⇒材料表面⇒気泡⇒探触子（又は再び材料表面を経由して探触子）などの様に、伝搬時間として材料中に設定された探傷ゲート内で鋼中の伝搬時間と区別ができない条件

で気泡からのエコーが発生すると誤検出となる場合がある。例えば $\phi 1 \times 10\text{mm}$ の横穴人工きずをSN比30dBで検出する場合には、水中の気泡レベルは表面エコーを基準に考えると60dB（表面エコーときずエコーのレベル差約30dB+S/N \approx 30dB）以上低くする必要がある。また、前の材料と次の材料との間隔が約0.5~1.0secと短いために、前の材料の後端で水槽中に引き込まれる気泡を瞬時に除去させる必要がある。上記を実現させるために開発した内容について以下に記述する。

3. 高SN比を実現するための開発内容

3.1 探触子の開発

今回は丸棒鋼の外径範囲を $\phi 10 \sim \phi 40$ として開発を行った。探触子の周波数は7MHzとして、表面エコーのパルス幅を短くするために音響インピーダンスの低いコンポジット振動子を用いて、かつ振動子の背面側に設置するダンパ材も感度とダンピング特性の両立を図れる材料を製作した。図2にアレイ探触子の外観と、図3に垂直探傷モードでの探傷図形を示す。適正なダンピング特性で高いSN比を実現している。



図2. アレイ探触子の外観図

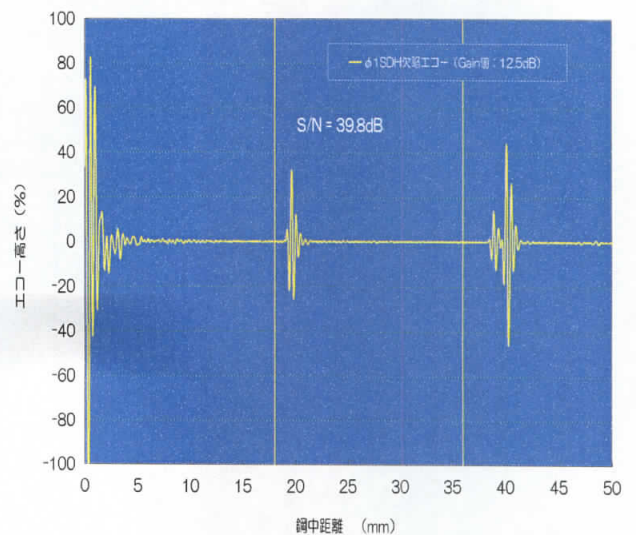


図3. 探傷図形例（垂直法）

3.2 探傷機構装置の開発

探傷機構装置の探傷水槽に水を供給する給水装置部は通常は探傷水を水中ポンプで給水するだけで十分な場合が多いが、今回の高SN比を実現させるためには探傷水の中に含まれる微細気泡（溶存酸素）の影響を軽減させる必要がある。特にオンラインシステムでは長時間にわたって連続的に気泡の少ない探傷水が必要となる事から、真空脱気ポンプを介して探傷水を生成する事で、探傷水に含まれる微細気泡によるノイズエコーレベルを10dB以上低下させることができた。図4に脱気しない探傷水を使用した場合の超音波ノイズのチャート図、図5に真空脱気した探傷水を使用した場合の超音波ノイズのチャート図をそれぞれ示す。

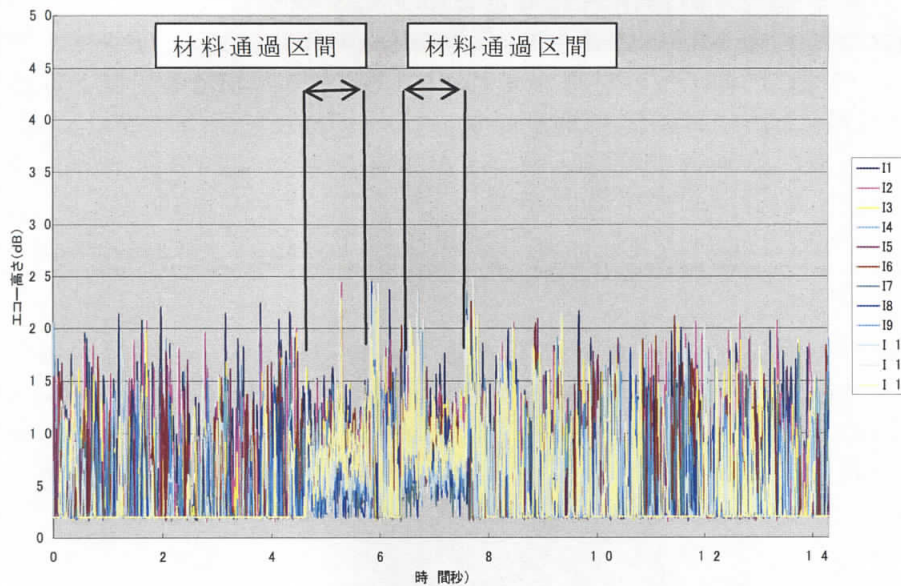


図4. 脱気しない探傷水の超音波ノイズ (φ1×10L人工傷48dB設定)

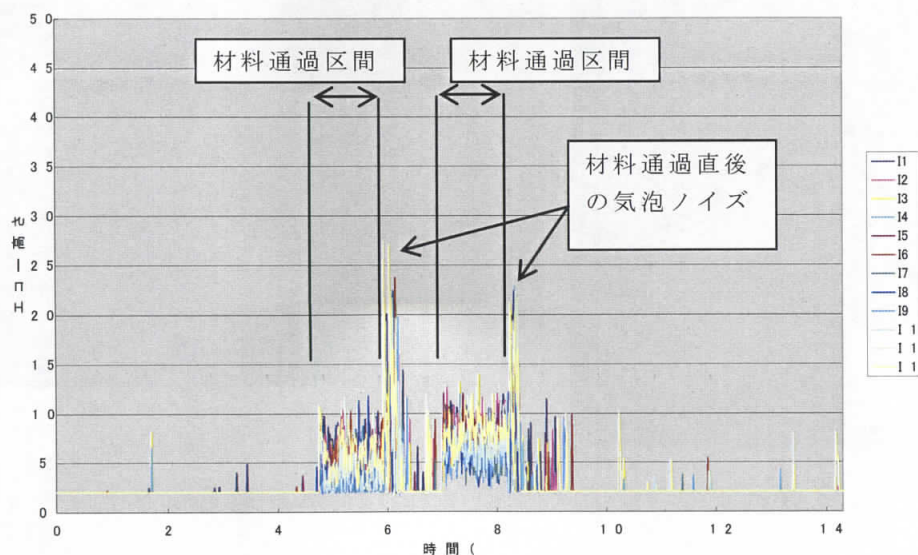


図5. 真空脱気した探傷水の超音波ノイズ (φ1×10L人工傷48dB設定)

図4に示す脱気しない探傷水中のノイズエコーはφ1×10Lの人工欠陥に対して約24dB低いレベルで、材料中の結晶粒からの散乱ノイズレベルより大きい事が分かる。一方、図5に示す脱気した探傷水中のノイズエコーはφ1×10Lの人工欠陥に対して約38dB低いレベルで、材料中のノイズレベルと同等か、若干低いレベルになっている。

なお、材料が探触子の位置を通過した直後にノイズレベルが大きくなる現象が見られるが、これは材料が探傷水槽を通過する際の材料後端部に生じる負圧による空気の引き込み現象で気泡が発生するものであり、この気泡については水槽内で適切な水流を形成する事で、次材が進入してくるまでの短時間内で上記の気泡を超音波ビームが送受信される領域の外に追い出す事を実現している。

4. 実ラインでの検証結果

実ラインに設置された自動超音波探傷装置の探傷機の外観図を図6に、探傷機構装置の外観図を図7にそれぞれ示す。



図6. 探傷機の外観図

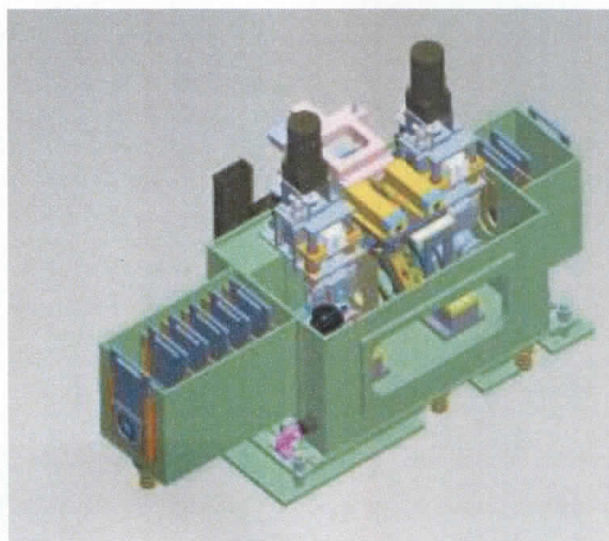


図7. 探傷機構装置の外観図

本装置による人工欠陥付きテストピース（外径：28mm）を実ラインで搬送した時の探傷チャート図を図8に示す。図8において、先端部から2個目の信号（①）と後端部から2個目の信号（③）はテストピースのつなぎ目で、先端部から3個目の信号（②）は素材に内在する自然きずである。人工欠陥（φ1横穴）がSN比30dB以上で検出されている。

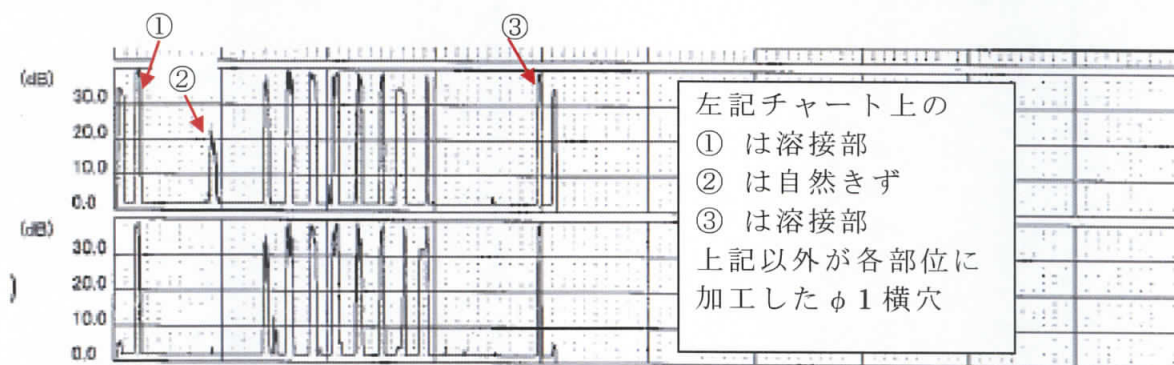


図8. 人工欠陥付きテストピースによる探傷チャート例

また、実ラインで実際に検出された自然きずの探傷チャート、及びきずのマイクロ写真を図9と図10にそれぞれ示す。この時の丸棒鋼のサイズはφ24mmで、検出された自然きずの大きさは0.14mmであり、オンラインの条件下でも十分なSN比を保有していることが検証できている。

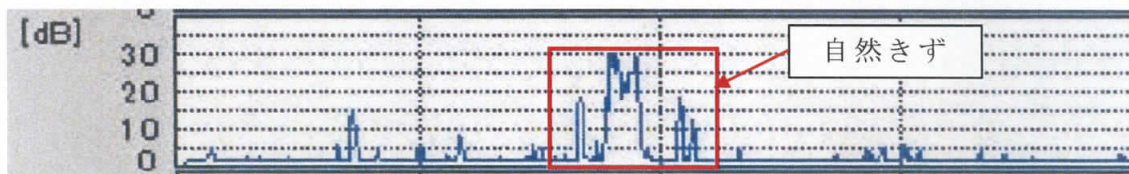


図9. プロパー材の探傷チャート図

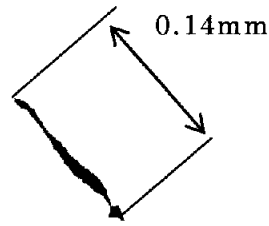


図10. 自然きずのマイクロ写真

5. まとめ

今回開発、実用化した丸棒鋼用のフェーズドアレイ自動超音波探傷装置は、現在国内で稼働しているオンライン用のフェーズドアレイ自動超音波探傷装置の中でも非常に高いS/N比を満足したものであり、今後さらに高まるであろう品質要求にも対応できるものと考ええる。現在はここで開発したシステムの適用拡大を展開中である。

〔参考文献〕

- 〔1〕 村井純一・富田一臣：ボリュームフォーカス自動探傷装置の開発 平成22年秋季講演大会概要集（平成22年10月）
- 〔2〕 森大輔・渡邊裕之・兼重健一：ボリュームフォーカス探傷法を用いた丸棒鋼探傷技術の開発 平成23年秋季講演大会講演概要集（平成23年10月）

MsTガイド波探傷法による
高所配管・架台接触部腐食
スクリーニング検査への取り組み

2014年2月

株式会社 シーエックスアール



開発背景

P. 1



ラック上などの高所に位置する配管の架台接触部を検査する際、従来技術では仮設足場が必要であり、これに要する費用が大きく、仮設足場が無くとも検査できる技術が望まれていた。

当検査手法の特徴

P. 2

- ・ 仮設足場を使用せずに、最大で高さ5mの位置に設置された配管架台接触部の検査を実施します。
- ・ MsTセンサを用いたガイド波による探傷法です。
- ・ ガイド波により得られるデータは板厚情報でなく、腐食の大きさ(断面欠損率)のため、スクリーニング検査として適用します。

MsTガイド波探傷法

P. 3

- ・ 米国Southwest Research Institute社との技術提携に基づく、MsT(Magnetostrictive Transducer) センサを用いた磁わい方式によるガイド波探傷法。
- ・ 配管に設置したMsTセンサによりガイド波を配管軸方向に伝播させ、腐食からの反射波を検出し評価する超音波探傷試験

配管架台接触部用
MsTセンサ



MsTセンサ

P. 4

<p>配管架台接触部用 MsTセンサ</p>	<p>リング型 MsTセンサ</p>	<p>ボイラ過熱器管用 MsTセンサ</p>
		

検査機器

P. 5

<p>探傷器</p>	<p>MsTセンサ 配管架台接触部用 (ポール長さ最大5m)</p>	<p>接触媒質 (水溶性で腐食性なし)</p>
		

基礎実験結果

P. 6

モックアップ配管(4B t6.0mm)を用いて実施した、代表的な基礎実験の結果を示します。

基礎実験① ②

Uボルト架台中央及びUボルト架台際に配置した配管模擬腐食は検出可能

基礎実験③

内部流体の有無に関わらず、配管模擬腐食は検出可能

基礎実験④

塗装の有無に関わらず、配管模擬腐食は検出可能

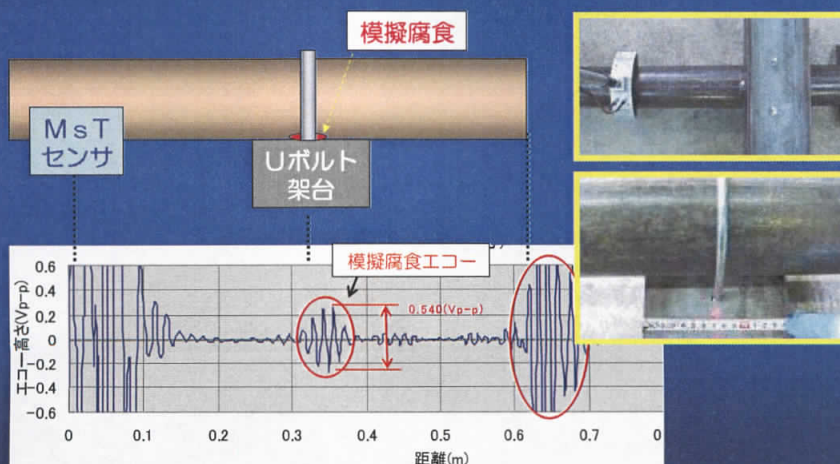
基礎実験⑤

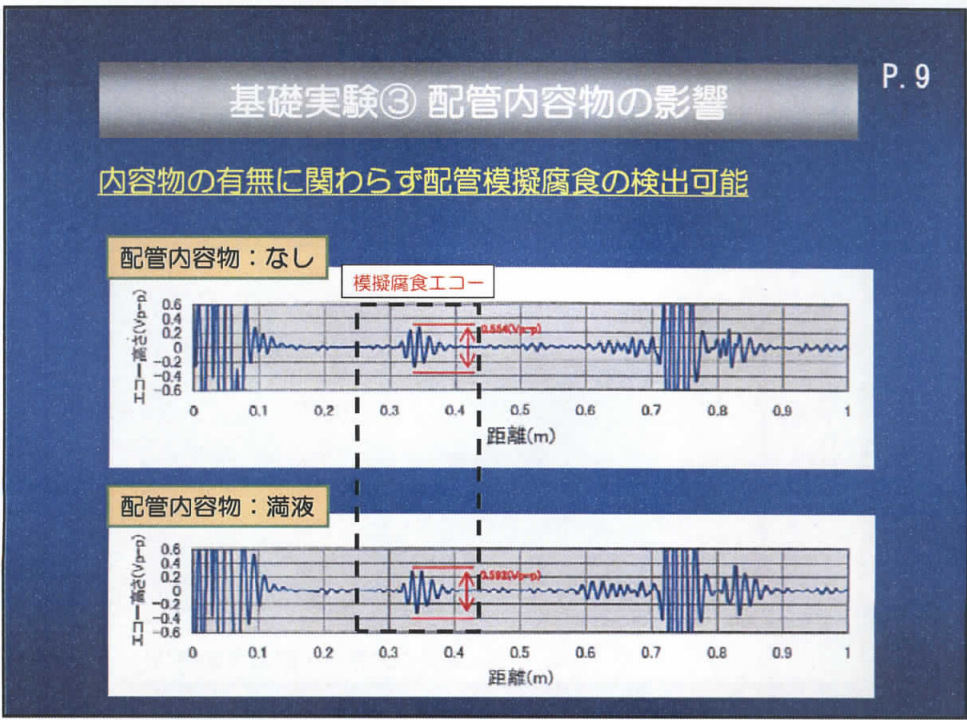
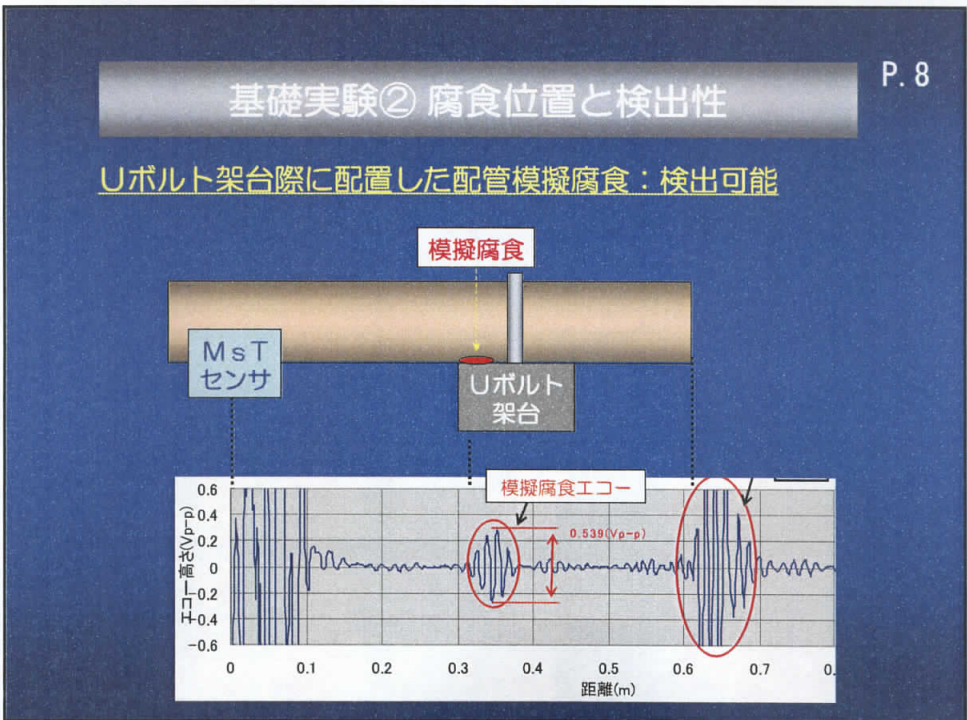
エコー高さ(振幅)と腐食の大きさ(断面欠損率)は、ほぼ比例する。

基礎実験① 腐食位置と検出性

P. 7

Uボルト架台中心に配置した配管模擬腐食：検出可能

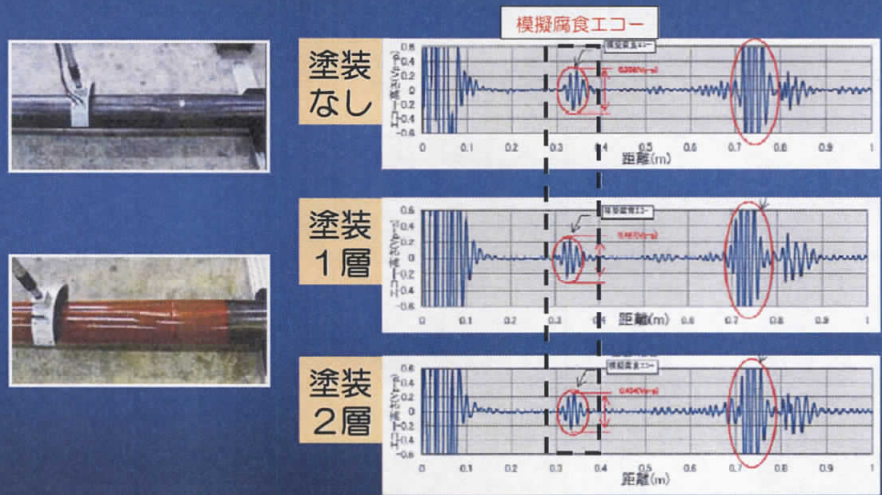




基礎実験④ 塗装の影響

P. 10

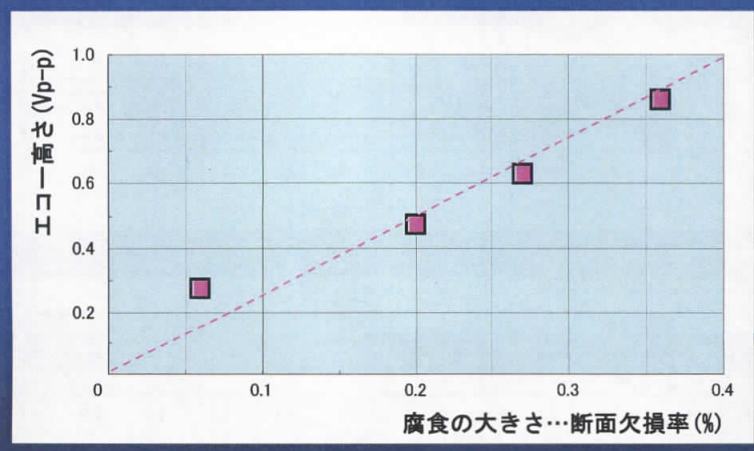
塗装の有無に関わらず配管模擬腐食の検出可能



基礎実験⑤ エコー高さで腐食の大きさ

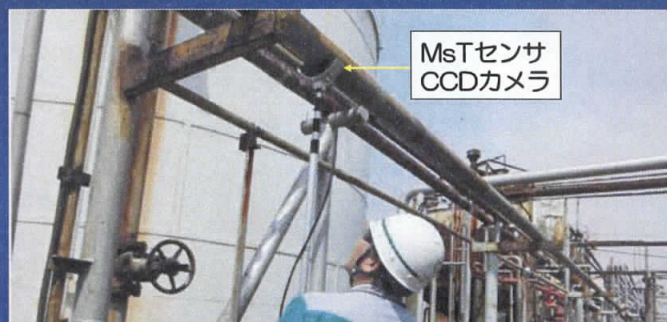
P. 11

エコー高さで腐食の大きさ(断面欠損率)は、ほぼ比例する



高所配管架台接触部への適用例

P. 12



1. 配管のMsTセンサ設置位置（架台端面から200～300mm程度）の表面の浮き錆、汚れをブラシ等で除去する。
2. MsTセンサの側面に装着しているCCDカメラで配管架台接触部の腐食状況を目視。
3. MsTセンサに接触媒質を塗布。
4. 配管に押し付け、データ採取。
5. 配管に付着した接触媒質を水を含んだブラシ等で除去する。

配管当板補修部への適用例

P. 13



P. 14

高所配管・架台接触部 MsTガイド波探傷法 モックアップにおける検証結果まとめ

ガイド波モード	Tモード (配管内容物の影響を受けにくい)
適用周波数	64~128kHz
適用可能な架台の種類	配管に直接溶接されていない状態であること。
適用可能な高さ	仮設足場なしで5mの高さまで検査可能。
塗装の影響	塗装が浮いてなければ影響は少ない。
腐食減肉検出限界	減肉率39%の腐食を検出。
評価方法	腐食の大きさ(断面欠損率)にて評価します。 減肉の内外面の発生位置は識別不可。

今後はフィールドにおける検証試験を積み重ね、高所配管・架台接触部腐食のスクリーニング技術を確立していきます。

P. 15

CXRは安全な社会の構築に寄与します



CXRとは C=Creative 創造 X=無限 R=Reliable 信頼を表します

配管に対する非破壊検査の応用技術

Applied technology of nondestructive inspection for pipe

熊谷 安紘

新日本非破壊検査株式会社

Shin-Nippon Nondestructive Inspection Co.,LTD.

概要

各種プラント設備は高経年設備が多く、漏洩事故等が増加している。これらの工業プラントは非常に多くの配管やその他の機器部材によって構成されている。

これらプラントを安全で経済的に使用するために非破壊検査は不可欠であり、減肉等による損傷・トラブルを未然に防止するために適用される。しかしながら、既存の検査技術では検査が困難な場合があり、ニーズに応じた検査手法の開発が行われている。本稿では、非破壊検査の応用技術について紹介する。

1. はじめに

各種プラント設備は建設後 30 年以上経過した高経年設備が多く、その使用環境から疲労や腐食などの損傷が発生し、漏洩事故等が増加している。これらの工業プラントは非常に多くの配管やその他の機器部材によって構成されている。

工業プラントを安全で経済的に使用するためには非破壊検査は不可欠であり、減肉等による損傷・トラブルを未然に防止するために適用される。非破壊検査にはそれぞれに特徴があり、その特徴を利用してプラントの健全性確保のための情報を取得している。しかしながら、非破壊検査の各手法は万能ではないため、特定のきずの検出に特化した検査手法の検討など、ニーズに応じた検査手法の開発が行われている。

また、近年、電子デバイスの急速な発達を背景に装置の自動化やロボット化が進められており、検査速度の高速化及び記録性の向上が図られている。プラント設備の保守検査でも作業の安全性・信頼性及び効率化を目指して、新しい検査技術の導入や検査方法の自動化が進められ、一部実用化されている。

本稿では、配管に適用するいくつかの非破壊検査の応用技術について紹介する。

2. 非破壊検査の適用時期

非破壊検査はいろいろな分野に適用されているが、実施される時期により製造時検査と保守検査に大別することができる。製造時検査では材料及び溶接部の品質を評価するために行われ、製造されたものが規定された品質を満たしているかどうかを確認する。製造時検査では製造過程に発生したきずの検出を目的とする。

一方、保守検査は一定期間ごとに行われ、次に行われる検査までの間、機器又は構造物が安全に使用することができるかどうかを評価する。保守検査で検出されるきずには一部に製造時のきずを含むが、一般的には使用中に発生又は成長したものである。

近年ではプラントの高経年化が進み、プラントを構成する各種配管の腐食の進展が問題となっている。プラントの経年劣化に伴い損傷がランダムに発生するようになってき

たことから、配管に対するスクリーニング検査の適用等について検討されている。

3. 非破壊検査の応用技術

発電設備に適用している非破壊検査にはそれぞれに特徴があり、その特徴を利用してプラントの健全性確保のための情報を取得している。しかしながら、非破壊検査の各手法は万能ではないため、特定のきずの検出に特化した検査手法の検討など、ニーズに応じた検査手法の開発が行われている。

また、近年、電子デバイスの急速な発達を背景に装置の自動化やロボット化が進められており、検査速度の高速化及び記録性の向上が図られている。発電設備の保守検査でも作業の安全性・信頼性及び効率化を目指して、新しい検査技術の導入や検査方法の自動化が進められ、一部実用化されている。

3.1 拡管部応力腐食割れ検出技術

通常の内挿コイルを用いた渦電流探傷検査では、火力発電所の水素ガスクーラー、主タービンオイルクーラー等の細管の拡管部に発生する応力腐食割れの検出が困難である。応力腐食割れは非常に微細な割れであり、軸方向または周方向に方向性を持っている。渦流探傷試験において通常の内挿コイルでは割れによる信号が拡管信号と重なるためSN比が低下し、検出が困難となる。また、一方向に巻いたコイルでは軸方向または周方向のどちらか一方の割れが検出困難となる。

そこで拡管部に発生する応力腐食割れの検出を目的としたコイルを開発した。検査は管内壁にコイルを押し当て、周方向に回転させることで、拡管部に発生する応力腐食割れの検出を可能とした。

図1に拡管部応力腐食割れ技術の一例を示す。

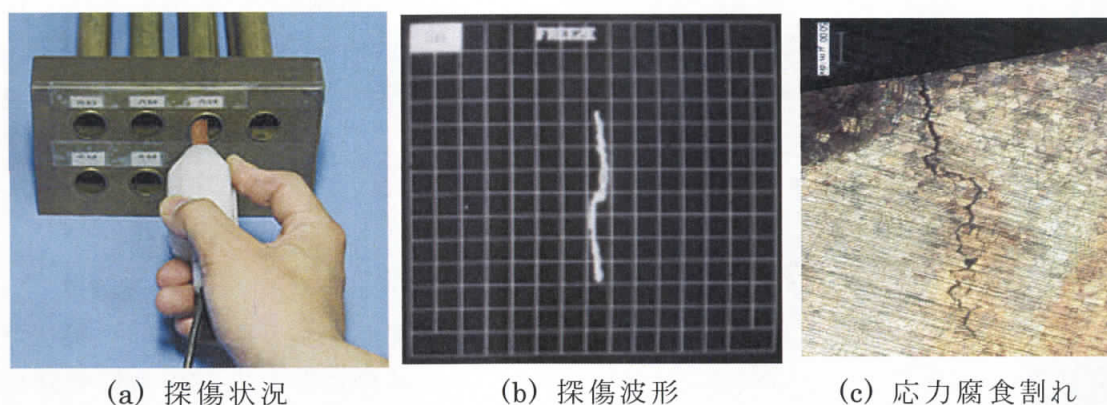
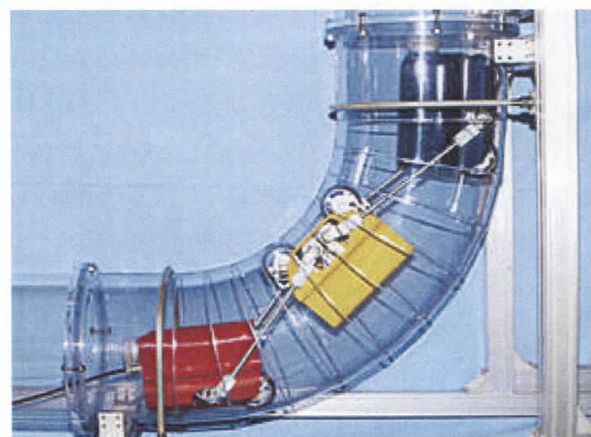


図1 拡管部応力腐食割れ検出技術の一例

3.2 管内検査システム

配管内を走行し、配管内の腐食・摩耗・詰り、ライニングの状態等の観察を行う装置である。

配管の材質を問わず、幅広い配管径に対



応している。配管内で回転及び螺旋走行をすることを可能とし、様々な構造の配管を自由に走行できる。

図 2 に管内検査システムの外観を示す。

図 3 に走行機構を示す。本ロボットは三つの台車をアームで連結し、アームをくの字に突っ張ることで車輪を配管内面に押しつけて、配管内を走行することができる。

中央の台車のアームはバネによりその角度を閉じようとする方向に力が働く構造とした。アームを閉じようとする力は配管内に挿入した場合、台車を押しつける力となり 3 台の台車が突っ張るように配管内を走行することが可能となる。

アーム角度と閉じようとする力はモータによりコントロールすることができ、配管径や材質、形状に合わせてアームの角度と突っ張り力を制御する。これにより、垂直配管の走行や、曲がり管の通過も可能とした。適用対象となる配管径は走行台車を変更することで、内径 200mm～750mm に対応可能である。

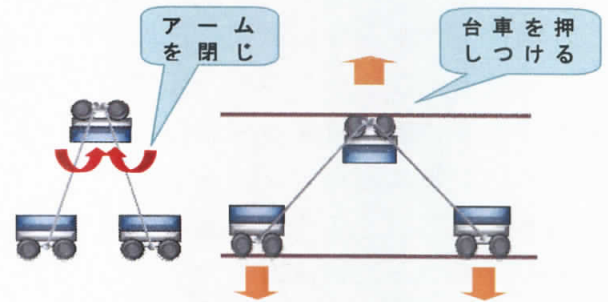


図 3 走行機構

図 4 に垂直部及び水平部の走行状況を示す。

前方及び後方の台車にはカメラと照明を搭載し、配管の内面状態の観察や、走行状態のモニターを行う。



(a) 水平部走行状況

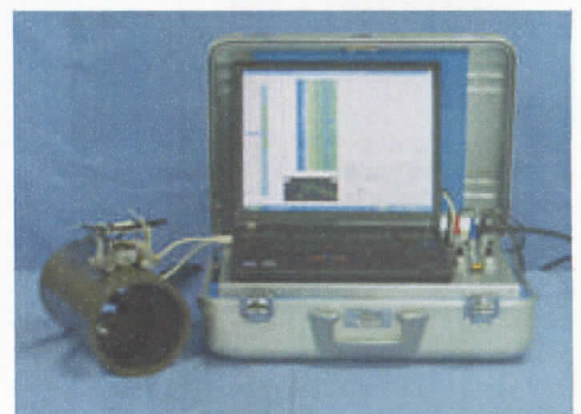


(b) 垂直部走行状況

図 4 垂直部及び水平部の走行状況

3.3 連続超音波厚さ測定システム

プラント配管の超音波厚さ測定は、配管円周を 4～8 等分した点に対してスポット的に行われるため、管内面の腐食状況を正確に把握することが困難である。そこで、配管の一円周の連続した厚さ分布や直線状の連続した厚さ分布を測定することを可能とした装置である。



得られたデータを蓄積することで、経年変化を追跡することを可能とした。

図5に連続超音波厚さ測定システムの外観を、図6に出力例を示す。測定の際は、リアルタイムで断面の厚さ分布を表示することができるため、減肉状況を視覚的に確認することが可能である。さらに、すべての測定波形をとりこむことで、測定終了後の評価も容易である。

連続超音波厚さ測定システムをマルチチャンネル化し、ある範囲の管の厚さを測定することも可能とした。図7に配管厚さ測定ロボットを示す。

本ロボットは、12個の超音波探触子を搭載した測定走行車を管外面側の円周方向に磁石により吸着走行させながら、連続で管の厚さを測定する。適用可能な配管径はφ300以上であり、平板は適用可能である。

図8に出力例を示す。厚さに応じてカラー表示をすることで、減肉の分布状況が視覚的に確認できるため、機器や配管の保守管理の一助となるデータを提供できる。

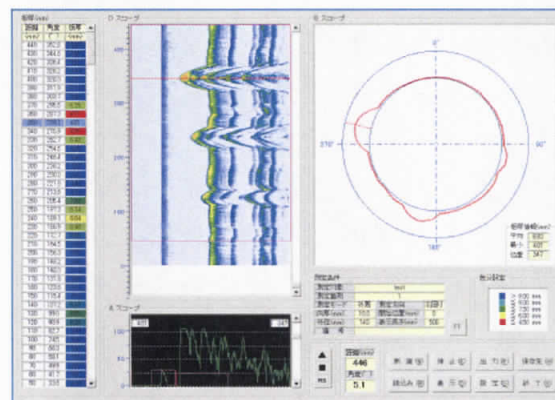


図6 連続超音波厚さ測定出力例



図7 配管厚さ測定ロボット

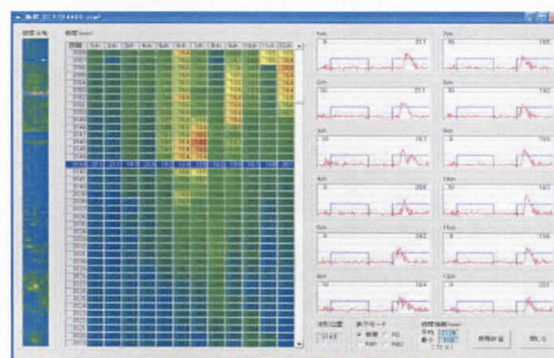


図8 配管厚さ測定ロボット出力例

4. おわりに

配管に対する非破壊検査は多種多様である。これらの特徴を理解し、適用することで、より効率的な検査が可能になる。今後もニーズに応じた技術を提供するために、非破壊検査技術の更なる高度化に取り組む必要があると考えられる。

2014.2.13

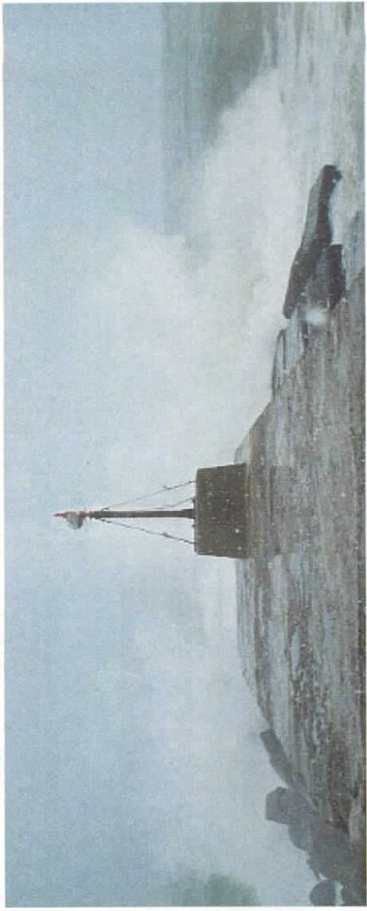
CNDI 第28回 研究発表会 コンクリート構造物の塩害・ 腐食調査手法の紹介

(蛍光X線分析による塩化物物量測定、
分極抵抗法による腐食速度の推定)

NSST日鉄住金テクノロジーズ

金田尚志

コンクリート塩害劣化の要因 (1)



季節風により(特に日本海側)、波しぶきがコンクリート構造物にかかり、塩害による劣化が問題となっている。

コンクリート塩害劣化の要因 (2)



塩分を含む海砂がコンクリートに用いられてきた。
→ 海岸地域以外でも塩分量が高いコンクリートがある。
→ 昔は除塩が不十分なままコンクリートに使用された。

コンクリート塩害劣化の要因 (3)

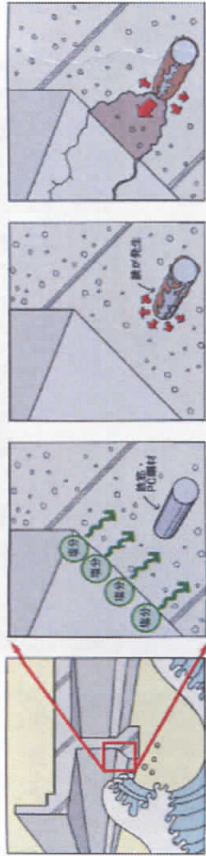


凍結防止剤
の散布



凍結防止剤による床版の劣化

コンクリート塩害のメカニズム



第1段階

強い季節風により波しぶきが構造物に降りかかる

第2段階

構造物の表面に塩分等が付着し、コンクリートに浸透していく

第3段階

コンクリートに浸透した塩分等が原因で、鉄筋に錆が発生し、膨張を始める

第4段階

錆による膨張で亀裂が生じる亀裂から塩分が入りやすくなり、更に錆が進む

コンクリート中の塩化物物質量測定の目的

目的

・コンクリート中に塩化物物質量(CI)がどの程度含まれているかを知る→今後の対応策を検討する指標となる

具体的には

- ・レディーミクスコンクリート(生コン)の塩化物物質量荷卸し時に 0.3kg/m^3 以下、鉄筋防錆対策をとった場合には 0.6kg/m^3 以下とされている
- ・鉄筋周辺の塩化物物質量 1.2kg/m^3 を超えると腐食の可能性があるとされている
- 環境条件、セメント種類、配合等により異なる
- ・塩化物イオン拡散係数の算出
- ・塩化物係数が小さいほど塩分が浸透しにくい

コンクリートの塩化物物質量、分布の調査方法

・電位差滴定

粉碎したコンクリート粉を用いて電位差滴定装置により塩化物物質量を測定する→一般的に行われる手法

・EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)

試料中のCl原子の分布状況(マッピング)を調べる

硝酸銀溶液噴霧法

コンクリート断面に噴霧するとCl存在部が白く変色する

カンタブ、バックテストによる簡易法

水質試験用薬品による簡易試験、生コン等に用いられる

蛍光X線分析

今回紹介する方法、簡易・短時間で測定が可能

電位差滴定法の手順



手間と時間がかかる
費用も高い

従来の塩化物量測定手法の問題点

- ・定量分析手法は試料の調製や測定に手間がかかる
→コスト:高い
- ・検出対象成分ごとに別々の試験方法が必要
→劣化因子ごとに異なる試験を行う必要がある
- ・実験室に試料を持ち帰って分析する必要がある
→現場ですぐに結果が出ない
- ・広範囲を測定するには、サンプルを多く採取する必要がある
- 健全部も傷つけてしまう可能性がある
- ・薬品を使う
→測定後の試料の適切な処理が必要

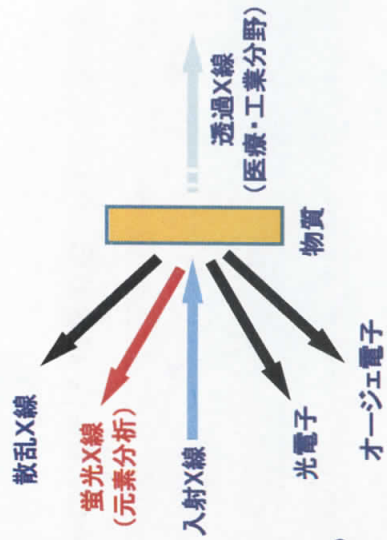
蛍光X線分析のメリット

- ・より早く、簡易に測定できる
→数十秒～2分程度で結果が出る
- ・サンプルの調製が必要無い
→構造物を直接測定でき、薬品等も使用しない
- ・現場で計測できる
→その場で結果がわかるので、やり直しができる
- ・多元素同時分析
→Cl以外に、Al、Si、S、Ca、Fe等も同時に分析可能
- ・ある程度の範囲を短時間で測定できる
→検査効率の改善、劣化部と健全部の切り分け
- ・非破壊的に測定、無公害(X線漏えいには注意)
→測定後の試料を他の分析に使用できる

X線について



レントゲン (1845-1923)
エックス線(X線)は南ドイツで
1895年10月にレントゲンによって発見
第一回ノーベル物理学賞受賞
(1901)



X線の発見

蛍光X線は物質にX線を入射させた際に生じる相互作用の一部

X線と物質の相互作用

蛍光X線の歴史

- ・チャールズ・バークラ(Charles Glover Barkla)
1877年6月7日～1944年10月23日
イギリスの物理学者
元素に電子線をあてると元素に固有な波長を持つ特性X線が発生することを発見
ノーベル物理学賞(1917年)
- ・ヘンリー・グウィン・ジェフリーズ・モーゼリー
(Henry Gwyn Jeffreys Moseley)
1887年11月23日～1915年8月10日
イギリスの物理学者
元素の特性X線の波長との原子核の電荷(原子番号)の関係を発見



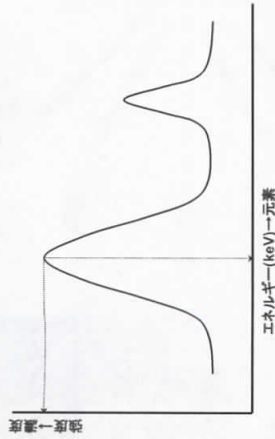
ノーベル賞候補
だったが残念な
がら若くして大
戦で帰らぬ人に

蛍光X線分析は以前から元素分析として用いられてきたが、近年、可搬型のポータブル蛍光X線分析装置の性能が向上し、低濃度のClを現場で計測できるようになってきた。

蛍光X線分析の原理

蛍光X線分析

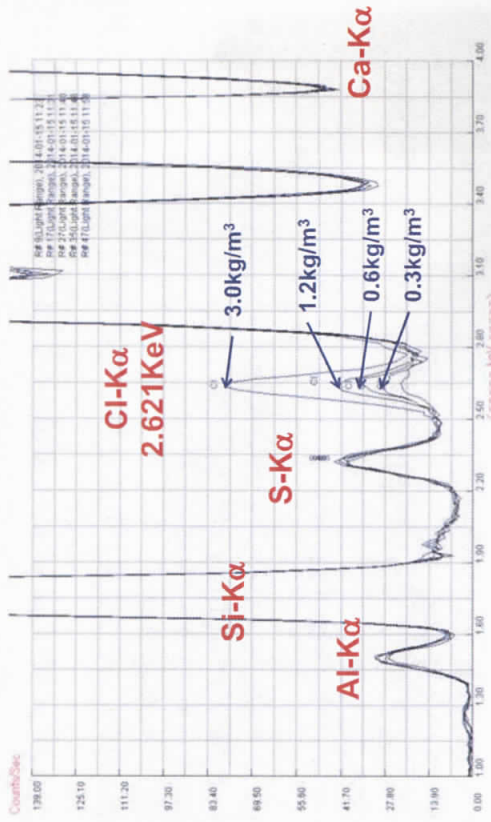
X線を試料に照射したときに試料から発生する蛍光X線を検出・分光して元素分析を行う方法



蛍光X線分析による定性・定量分析

蛍光X線は、試料を構成する元素固有の波長(エネルギー)を持つので、簡単に定性分析ができ、各スペクトルの強度から定量分析ができる

コンクリートの蛍光X線スペクトル

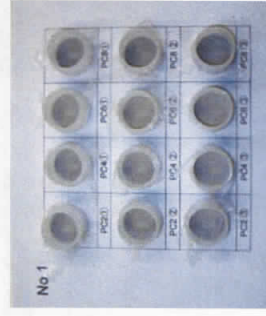


塩化物量が増加するとCl-Kαの蛍光X線カウントが増加

可搬型蛍光X線分析装置の例

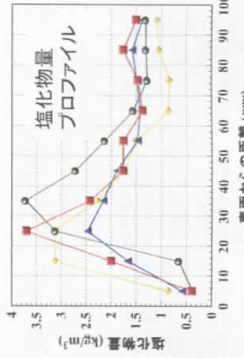


ドリル削孔粉を用いた調査事例



コンクリート表面から深さ方向のドリル削孔粉を採取

試料カップに入れて分析する



コンクリートの中性化により表面から20~40mmの深さに塩分が濃縮していることがわかる。

コンクリートコアを用いた調査事例



コンクリートコア採取

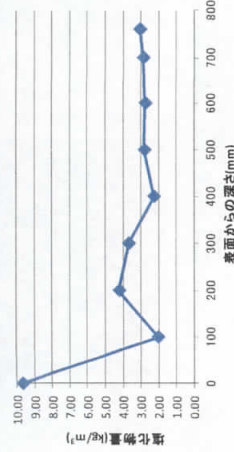


グラインダー処理

コア抜き時に塩分が水で流されているので、グラインダーで削って新しい面を出してから測定する

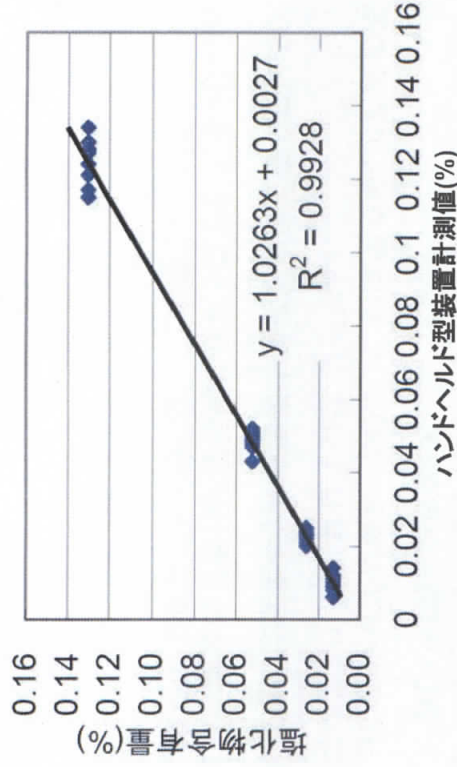


表面側の塩化物量が高いことがわかる。内在塩分も確認される。



この方法のメリット
コアを破壊せずに測定できるので、塩化物量の測定後にコアを用いて圧縮強度試験等ができる。

測定精度はどの程度か？



同一試料を10回繰返し測定を行った結果である。
0.1%以下の低濃度域においても、まずまずの測定精度があることがわかる。

まとめ(蛍光X線分析)

- ・近年、可搬型のポータブル蛍光X線分析装置の性能が向上し、現場で低濃度のコンクリート中の塩化物量の測定が可能になってきた。
- ・従来の電位差滴定法による塩化物量の測定と比較して、簡易で短時間の計測が可能であり、薬品類も使用せず、環境負荷の小さい測定方法である。低コスト化が可能となる。
- ・現場で測定値がわかるため、無駄なサンプリングを減らすことが可能となり、調査効率が格段に向上する。

課題

- ・測定精度は、電位差測定と比較してやや劣るがスクリーニング用としては十分な精度がある。今後の装置の性能向上に期待したい。
- ・装置が高価である。500万円以上。

コンクリート中の鋼材の腐食調査方法

コンクリート中の鋼材の腐食調査方法として電気化学的手法による調査が一般的に行われている。これらは非破壊(微破壊)的に鋼材の腐食の可能性や腐食速度の推定、腐食環境の評価を行うものである。

主な電気化学的手法

- ・自然電位法
鋼材の自然電位を測定し、腐食の可能性を推定する定性的な調査手法。自然電位が卑(マイナス)であるところが腐食の可能性が高い。
- ・コンクリート比抵抗法
コンクリートの比抵抗(電気抵抗率)を測定する。比抵抗が高い方が腐食しにくい環境と推定できる。
- ・分極抵抗法
今回紹介する方法、分極抵抗が高いと腐食速度が低い。

鋼材の腐食

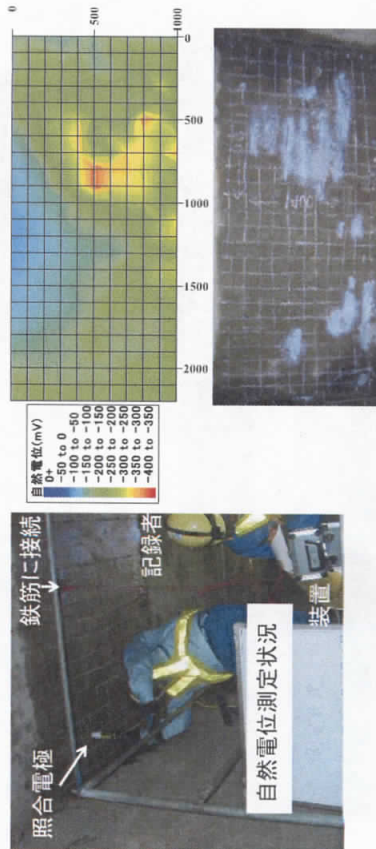
健全なコンクリート中における鉄筋は、コンクリートが示す高いアルカリ性により、鉄筋表面に「不動態皮膜」を形成するため、腐食が生じにくい状態にある。しかし、中性化や塩害により、この不動態皮膜が破壊されることで、電気化学的平衡が崩れ、鉄筋の腐食が始まる。

- $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ アノード反応(腐食反応)鉄が溶け出す
- $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ カソード反応(防食反応)

腐食はアノード部とカソード部で電子の授受に伴う腐食電流が流れることによって生じる。腐食反応で生じた Fe^{2+} がコンクリート中の OH^- と反応して錆: $\text{Fe}(\text{OH})_2$ を生成する。



自然電位法の測定例



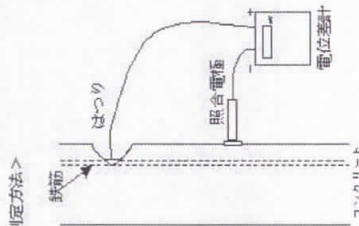
赤い箇所が電位が卑であり、鉄筋の腐食の可能性が高いと推定される。

自然電位法

測定原理

鋼材が腐食することによって変化する鋼材表面の電位から腐食を診断しようとする電気化学的手法である。自然電位が低い(卑:マイナス)ほど腐食の可能性が高くなる。鉄筋が腐食しているアノード部($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$)の電位は卑側(マイナス側)に変化することが多い。

<測定方法>



測定方法

かぶりコンクリートをはつきり、電位差計の十側を鉄筋に接続、一側に照合電極を接続する。鉄筋上のコンクリート表面に照合電極(銅硫酸銅電極や銀塩化銀電極)を接触させて電位計の電位を読み取る。

自然電位法の特徴

- ・内部抵抗の大きい電位計と照合電極があれば測定可能なため、システムとしては非常にシンプルなものである。測定手法も簡単であり、難しい知識も必要無い。
- ・1点の測定時間が数秒であるため、短時間で多くの箇所の測定が可能であり、自然電位マッピングが得られる。
- ・自然電位は温度や、鉄筋周辺の酸素濃度に影響を受ける。
- ・鉄筋の腐食の可能性を定性的に示すものであり、条件によっては、実際の腐食状況と一致しないことがある。

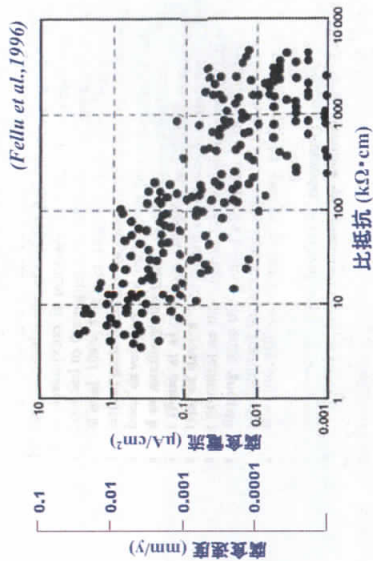
自然電位測定結果の評価基準一例

劣化度	自然電位: E _{corr.} (mV)
高	-350 ≧ E _{corr.}
中	-250 ≧ E _{corr.} > -350
低	-150 ≧ E _{corr.} > -250
無	E _{corr.} > -150

コンクリート比抵抗法

測定原理

コンクリート比抵抗(電気抵抗率)が高いと鋼材の腐食速度は小さく、低いと腐食速度が大いことがわかっている。



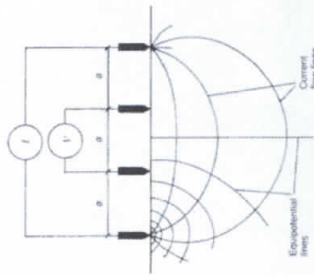
鋼材のおかれている環境が腐食しやすい環境か、しにくい環境であるかを推定することができる。

コンクリート比抵抗の測定例

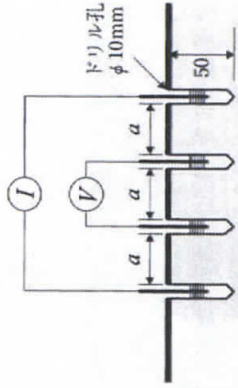


コンクリート表面が乾燥していると測定が困難になるため、事前に散水しておく。四電極センサーをコンクリート表面に接触させる。鉄筋を避けて測定を行う。

コンクリート比抵抗の測定方法例



Wennerの四電極法



ドリルPR法
(日本建築総合試験所)

電極を直列に4つ配置し、外側の電極に電流を流した際の内側の電極の電位変化を計測する。

見かけの比抵抗 $= 2\pi \times \text{電極間隔} \times (\text{電位差} \div \text{加えた電流})$

コンクリート比抵抗法の特徴

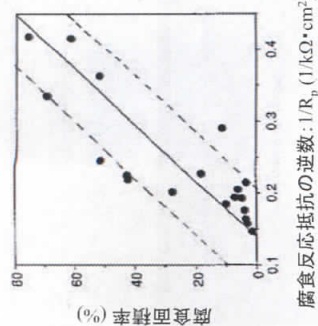
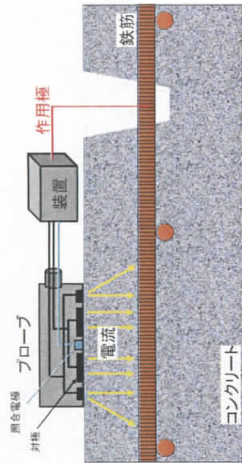
・鋼材のおかれている腐食環境を定量的に測定することができる。

Fellu et al. 1996

Resistivity: kΩ・cm	Corrosion Rate
<10	Resistivity does not control corrosion rate
10-50	Moderate to high corrosion rate when steel is active
50-100	Low corrosion rate
>100-200	Negligible corrosion; concrete is too dry

- ・測定原理、装置がシンプルであり、難しい知識を必要としない。
- ・コンクリートの含水率、温度、塩化物量、配合等の影響を受ける。
- ・測定箇所周辺に鉄筋があるとその影響を受ける。コンクリートより鉄筋の方が電流が流れやすいためである。配筋ピッチが小さい場合は、測定箇所を探すが困難になる。
- ・コンクリート表面側の比抵抗しか測定できない。
- ・鉄筋の腐食状況を直接推定することはできない。

分極抵抗法



かぶりコンクリートをつくり、鉄筋を露出させ、コンクリート表面に設置したプローブから交流電流を流して分極抵抗を測定する。

鋼材の腐食速度(腐食電流密度)と分極抵抗が反比例関係にあることを利用し、コンクリート中の鋼材の腐食速度を推定しようとする手法である。

分極抵抗法の測定原理

分極抵抗(R_p)は、鋼材表面における腐食抵抗性を示しており、分極抵抗が高ければ、鋼材は腐食しにくい状態、分極抵抗が低ければ腐食しやすい状態であるといえる。

腐食電流密度は、 $i_{corr} = K/R_p$ で求めることができる。K(V)値は、金属の種類、環境によって定まる実験定数で、コンクリート中の鋼材では $K=0.026V$ が一般的に用いられている。

腐食速度の判定基準の一例

腐食電流密度 i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	腐食速度の判定	分極抵抗 R_p ($k\Omega \cdot cm^2$)	侵食速度 ($\times 10^{-3} mm/year$)
0.2未満	不動状態(腐食なし)or 極めて遅い腐食速度	130より大	2.3未満
0.2以上0.5以下	低～中程度の腐食速度	52以上130以下	2.3以上5.8以下
0.5以上1以下	中～高程度の腐食速度	26以上52以下	5.8以上11.6以下
1より大	激しい、高い腐食速度	26未満	11.6より大

分極抵抗測定装置例



装置本体、プローブ、接続ケーブルから構成される

分極抵抗測定例

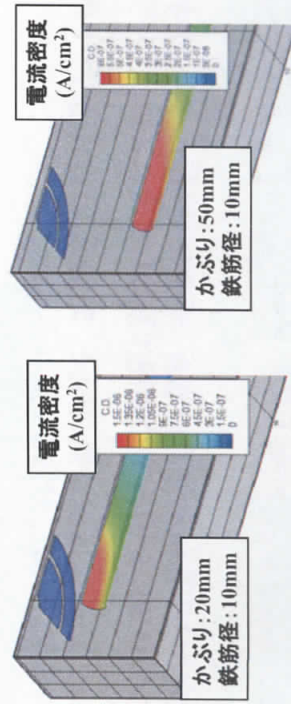


かぶりコンクリートをはつり出し、ケーブルを鉄筋に接続する。鉄筋直上のコンクリート表面にプローブを接触させて、プローブから内部の鉄筋に交流電流を流して分極抵抗を測定する。

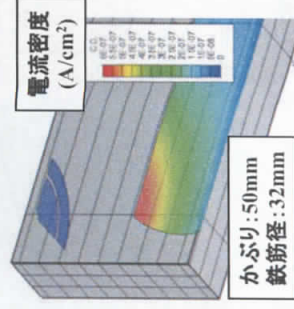
分極抵抗法の特徴

- ・鋼材の腐食速度を直接的に求めようとする手法であり、計測に問題が無ければ、非常に有益な情報を得ることができる。自然電位法やコンクリート比抵抗法と比較するとより定量的な調査が可能である。分極抵抗と同時に自然電位とコンクリート抵抗を測定できる。
- ・測定装置が特殊で高価である(180万円～220万円)。
- ・測定結果の解釈が難しく、専門的な知識が必要となる。
- ・自然電位法等と比較すると測定時間が長い(数分～数十分)。
- ・ピーカー内での分極試験と比較して、実構造物のコンクリート中の鋼材の分極抵抗の測定は、外乱要因を受けやすい。
- ・プローブの対極からコンクリート内の鋼材に向かって、測定電流が分散しながら流れる。
→数値計算により測定電流の流れをシミュレーションする。

鉄筋に流入する電流密度分布の変化(1)

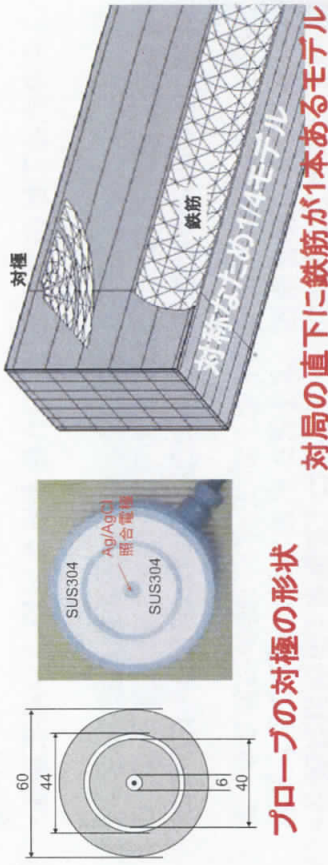


鉄筋径が同じ場合、かぶり大きくなると電流は分散する。かぶりが同じ場合、鉄筋径が大きくなると、鉄筋上側に集中して電流が流れ込む。



分極抵抗測定電流の流れ

プローブの対極の面積に対して、コンクリート内部の鋼材の面積が大であるため、測定電流は分散しながら、広い面積の鋼材に流れ込む。電流の流れを把握できないと、正確な分極抵抗を計測できない。

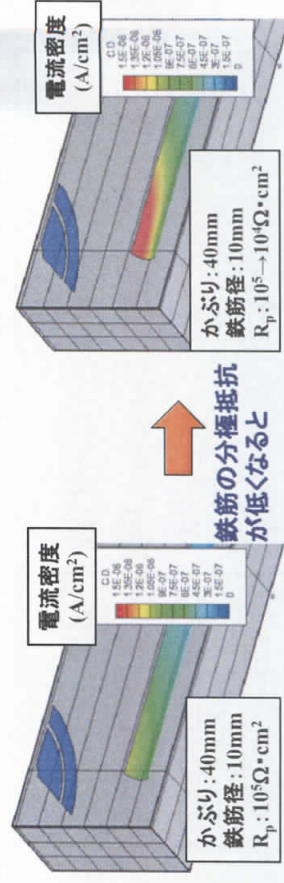


プローブの対極の形状

対局の直下に鉄筋が1本あるモデル

プローブの対極と鉄筋の配筋状況をモデル化して数値シミュレーションを行う。

鉄筋に流入する電流密度分布の変化(2)

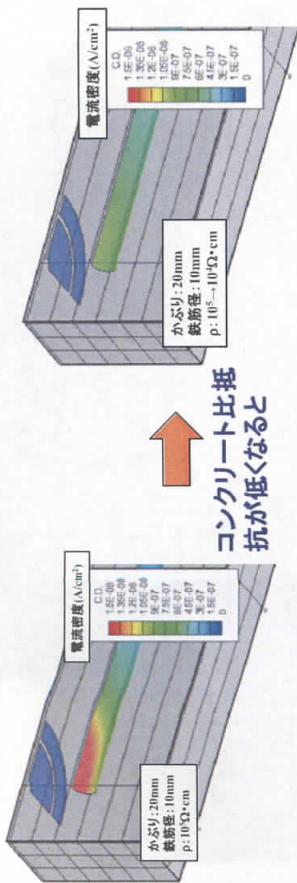


鉄筋の分極抵抗が低くなると

・鉄筋の分極抵抗が高い場合、測定電流は鉄筋に入流しにくくなり、広い面積の鉄筋で測定電流を受けようとするため、電流は拡散する。

・鉄筋の分極抵抗が低くなると、測定電流が鉄筋に入流しやすくなるため、対極直下の範囲に集中して流れこむ。

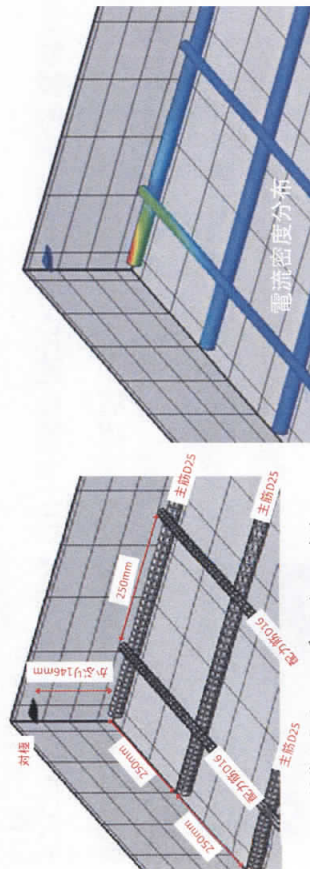
鉄筋に流入する電流密度分布の変化(3)



コンクリート比抵抗が低くなると

- ・コンクリート比抵抗が高い場合、測定電流はコンクリート中を流れていくため、対極直下の範囲に集中して流れこむ。
- ・コンクリート比抵抗が低くなると、測定電流はコンクリート中を流れやすくなるため、分散して流れる。

実構造物の計算例



対称のため1/4モデルにしています

- ・鉄筋探索結果ややはり調査による目視確認により、コンクリート内部の配筋状況を正確にモデル化する。
- ・コンクリート比抵抗は、分極抵抗の測定時に間接的に求めるので、その値を用いる。
- ・鉄筋の分極抵抗は未知数であるため、分極抵抗を少しずつ変化させながらシミュレーションを行い、逆推定によって求める。

測定電流の流れに影響を及ぼす要因

分極抵抗の測定電流の流れ方は、配筋状況(かぶり、鉄筋、ピッチ)、鉄筋の分極抵抗、コンクリート比抵抗によって変化し、プロンプの対極下に集中して流れるか、分散して流れるかをまとめると以下のようなになる。

	集中 ← 電流の分散傾向 →	分散
かぶり	薄い ⇔ 厚い	厚い
ピッチ	広い ⇔ 狭い	狭い
コンクリート比抵抗	高い ⇔ 低い	低い
鉄筋の分極抵抗	低い ⇔ 高い	高い
対極の分極抵抗	低い ⇔ 高い	高い
鉄筋径	太径 ⇔ 細径	細径

実構造物の調査時には、鉄筋探索器で配筋状況を把握することが大切である。

まとめ(分極抵抗法)

- ・分極抵抗法は、原理上、コンクリート中の鋼材の腐食速度を直接推定することが可能な手法であるが、現場計測の難しさや、測定データの解釈の難しさから、広く普及していないのが現状である。
- ・コンクリート内部の鉄筋に向かって測定電流がどのように流れているかを直接的に求めることはできないが、数値計算を取り入れることで、測定精度を向上させることができる。
- ・実構造物への適用事例を増やし、測定精度の向上をはかっている。

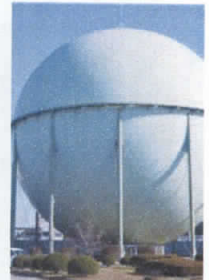
社会インフラの維持管理における NDT適用事例



現在取り組んでいる社会インフラ

都市ガス球形ホルダー

鋼橋(主に道路橋)



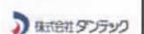
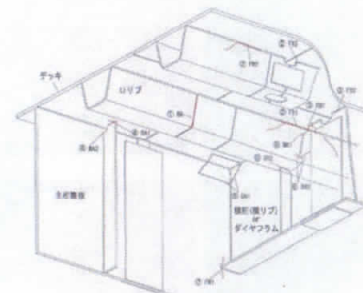
鋼橋におけるNDT事例



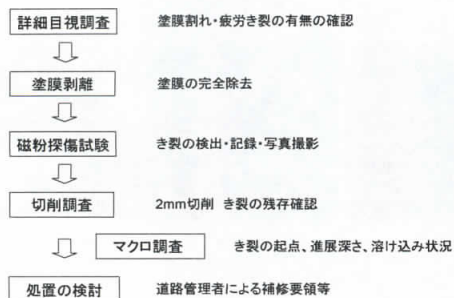
- 詳細目視調査
- 磁粉探傷試験
- 超音波探傷試験
- 切削・研磨・マクロ試験
- 塗膜割れ・発錆
- き裂の検出
- デッキ進展き裂
- デッキ進展き裂調査
- Uリブ浸水検知調査
- き裂の進展
- 溶接状況



き裂損傷着目部位



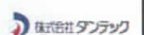
損傷調査の流れ



処置の例


- ストップホール
- 切断
- スカラップ加工
- 補修溶接
- 当て板・HTB補強
- き裂の進展阻止
- 拘束開放
- 拘束低減
- 健全な溶接部を再現
- 構造部材の補強

この処置で切削・切断・穿孔を伴うものについては
随時磁粉探傷試験及びマクロ調査を実施




損傷例 1

Uリブ突合せ溶接部
塗膜割れ




MT結果




株式会社 タンテック

損傷例 1


調査孔施工



き裂側



き裂逆側



株式会社 タンテック

損傷例 2

Uリブ×デッキ溶接部
塗膜割れ



MT結果

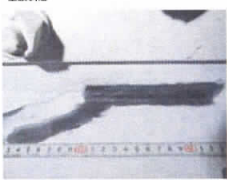


株式会社 タンテック


損傷例 3

Uリブ×デッキ溶接部


塗膜割れ



黒色MT



田粉探傷試験



株式会社 タンテック


処置例

損傷例3の場合

土偶目施工



ストップホール施工






株式会社 タンテック

処置例

ストップホール部詳細

土偶目詳細

き裂側

進展側


き裂深さ・進展方向確認

株式会社 タンテック


損傷例 4

垂直補剛材×デッキ溶接部

塗装剥離

磁粉探傷試験





株式会社 ダンテック

損傷例 5

横桁フランジ溶接部

2mm切削の例




き裂残存

株式会社 ダンテック

処置例

補修溶接施工例

ストップホール施工例





部材取り替え
新たに溶接施工

株式会社 ダンテック

超音波探傷試験

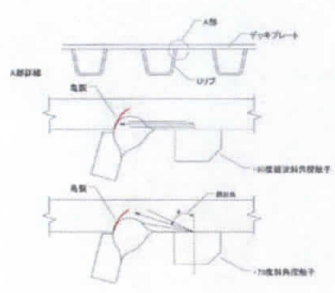
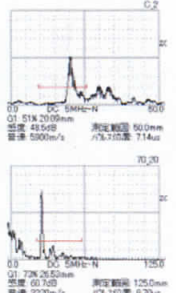
デッキプレート進展き裂検出のための超音波探傷試験

- 横波臨界屈折角探傷法
土木研究所・三菱電機・菱電湘南エレクトロニクス
- 斜角探傷法(点集束斜角探触子)
首都高速道路 他
- フェイズドアレイ法
阪神高速道路 他

Uリブ浸水検知調査
土木研究所・三菱電機・菱電湘南エレクトロニクス

株式会社 ダンテック


き裂検出方法

株式会社 ダンテック

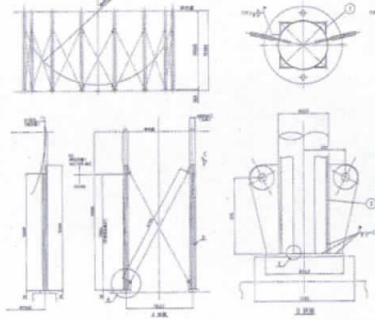
都市ガス球形ホルダーにおけるNDT事例

- 支柱耐震補強
磁粉探傷試験・垂直度測定
アンカー増設
- 供用中検査
自走式TOFDロボット



株式会社 ダンテック

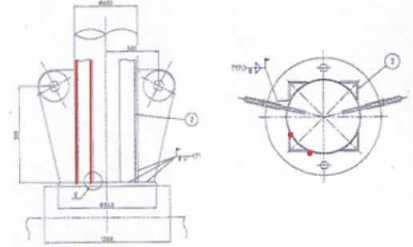
支柱耐震補強



株式会社 タンテック

支柱耐震補強

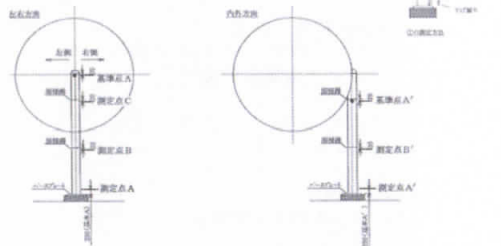
- 磁粉探傷試験



株式会社 タンテック

支柱耐震補強

- 支柱垂直度測定



株式会社 タンテック

供用中検査

- 日本ガス協会「球形ガスホルダー指針」による検査

JGA指-104-03

建設時検査	MT 5年	MT 10年	UT 10年	MT
	<input type="checkbox"/> 開放検査	<input type="checkbox"/> 開放検査	<input checked="" type="checkbox"/> 供用中検査	<input type="checkbox"/> 開放検査
	2回のMT		20年	

UTは「パルス反射法」「TOFD法」併記

- 「球形ガスホルダー指針」は現在改定作業中

株式会社 タンテック

供用中検査における要求事項

- 予備探傷(1次スクリーニング)に足場を要しない
- 塗装のまま外面からの探傷
- 内外面の縦割れ・横割れ等有害なきずを検出
- 塗装膜に損傷を与えない



自走式マルチチャンネルTOFD法を選択
(ガス事業者・タンクメーカーとの共同開発)

株式会社 タンテック

TOFD装置概要

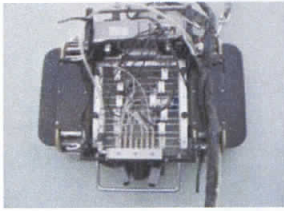
- マグネット式クローラー
- 4チャンネルTOFD法
- CCDによるビード做い
- 水供給によるカップリング



株式会社 タンテック

TOFD装置概要

4chTOFD装置



自走式ロボット



駆動制御部



開発重点項目

- 塗装を傷つけない
車輪ではなくクローラーを採用
ネオジウムマグネットに個々のカバー
- 内外面の縦割れ・横割れの検出
探触子の選定+配列により組合せごとに守備範囲
特に不感帯の大きい外面に苦慮
- ビードぬい
電磁誘導・レーザー光等種々チャレンジ
結果的にCCDカメラによる目視走行



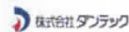
検査状況



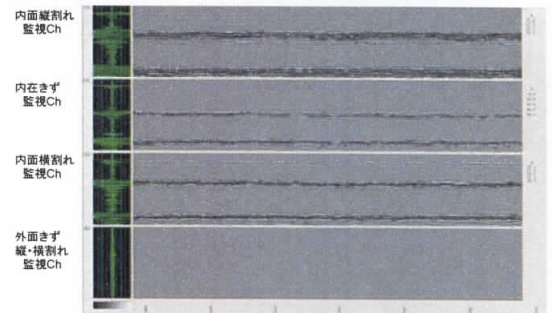
上半球検査状況



下半球検査状況



TOFD画像例



自走式TOFD法採用のメリット

- 検査速度が「パルス反射法」に比べ速い
平均30~40mm/s 10mの縦シームを5分で探傷
- きずのサイジングが可能
詳細は精密探傷によるがロボットデータでも可能
精密探傷できずの深さ・高さ・長さを計測 ... 余寿命評価
- 一回の走行で全波形収録
精密探傷、追跡調査に利用
- 塗膜の影響を受けにくい

ご清聴ありがとうございました。



編集上の調整ページ

特 別 講 演

鋼道路橋の維持管理 — 損傷事例と点検手法・調査技術の紹介 —

講 師：国土交通省所管 独立行政法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

橋梁構造研究グループ主任研究員 高橋 実

鋼道路橋の維持管理

— 損傷事例と点検手法・調査技術の紹介 —



独立行政法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

高橋 実

内容

1. 鋼道路橋の損傷傷事例
2. 橋梁の点検・調査
3. 詳細調査の事例
 - 3.1 疲労き裂とその調査技術の例
 - 3.2 腐食とその調査技術の例

1. 鋼道路橋の損傷傷事例

— 国外・国内の鋼橋の重大損傷事例 —

マイアスリバー橋の崩落

I-95 Mianus River Bridge (米国 CT)

形式:ゲルバー構造 I 桁橋

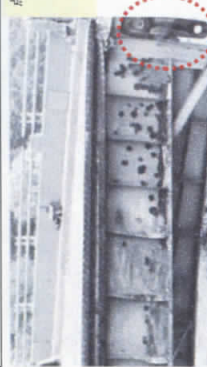
橋長:吊桁部31m(斜橋)

竣工:1958年(供用後25年)

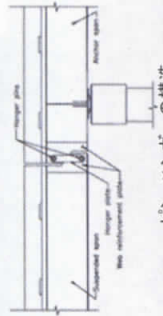
概要:1983年6月、支間30mの吊桁部分の落下とともに、車両4台が落下し、死者3名。
吊桁部は4箇所で支持桁部に上下のピンと2枚のハンガーで連結。腐食に伴う横方向変位により1枚のハンガーがピンよりはずれ、ついにピンに疲労き裂が発生したものと推測。

・1988年 Fracture Critical Member点検の義務付け
(近接目視点検、非破壊検査手法の適用)

- 点検費用は2~5倍増
- 点検車などの機器費用
- 車検規制
- 人工の増大
- 非破壊検査の利用増 等



ピン・ハンガー一部



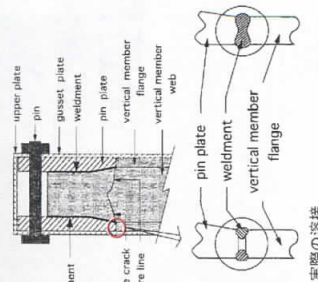
ピン・ハンガーの構造



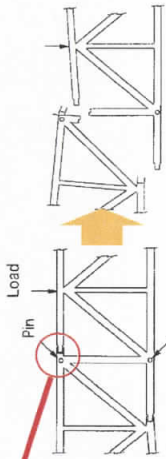
聖水大橋の落橋

聖水大橋 (韓国 ソウル)

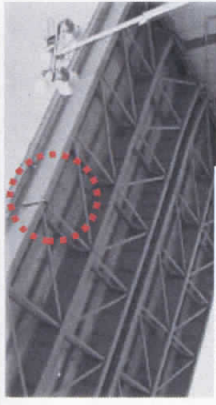
形式: 上路式鋼/径間ゲルバートラス橋
 橋長: 670m (支間長120m、吊桁長48m)
 竣工: 1979年 (供用後15年)
 概要: 1994年10月、吊径間部48mが落下し、死者32名。吊材溶接部の溶込み不良から疲労き裂が発生、破断に至る。崩壊の危険性の点検報告にも、事故まで8ヶ月間放置。



実際の溶接
 開先加工が不十分で未溶着部の存在



http://www.brcg.cn/Up/Smgs/SB-1.htm
 http://www.geocities.com/arcuniversal/atenmondtoak4/

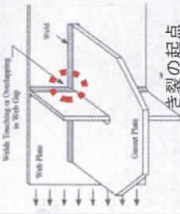


I-794 Hoan Bridge (米国 WI)

形式: 3径間連続 I 桁橋
 橋長: 195m (支間長65m)
 竣工: 1972年、1977年開通 (供用後23年)
 概要: 2000年12月、横つなぎ部材を取り付けるガセット溶接部からき裂が進展し、3主桁のうち2主桁を破断、架替えに至る。

《調査結果》

- ・き裂はガセットと垂直補剛材間の、高い3軸拘束応力状態の交差部から発生 (Constraint-Induced Fracture)。
- ・鋼材の機械的性質はAASHTO基準を満足。通常の使用状態では十分なじん性を確保
- ・き裂の限界き裂長が小さく、点検での発見は困難。



き裂の起点

構造の改良例



出典: HOAN BRIDGE FORENSIC INVESTIGATION FAILURE ANALYSIS FINAL REPORT June 2001 Wisconsin DOT & FHWA

ミネアポリス I-35W橋の崩落事故

I-35W Bridge (米国 MN)

形式: 上路トラス橋
 橋長: 581m (中央径間長139m)
 竣工: 1967年 (供用後40年) 日交通量14万台/8車線
 概要: 2007年8月、ミネソタ州ミネアポリスでI-35W橋が突然崩壊。ラッシュ時に20~30台の車が巻き込まれ、死者13名。
 2008年11月に事故調査報告書が公開。落橋の起点となったガセットプレートの設計の誤りが主因。

《崩壊の推定原因》

- ①崩壊以前の橋の改良工事に伴う重量の大幅な増加
 - ②事故当日の交通荷重と施工資機材の集中載荷の組合せの2点に対する設計の誤りに起因するガセットプレートの耐力が不足
- 《設計の誤りの要因》
- 設計元の品質管理の手順(ガセットの適切な設計が実施されたかどうか確認しなかったこと)
 - 連邦・州職員による適切な設計照査が実施されていなかったこと
- 《事故のその他の要因》
- ガセットの曲がり等の変形に対して、点検時に注意が払われていないこと
 - 荷重評価解析でガセットプレートを除外していることが、連邦・州職員の一般的なやり方であったこと

崩壊前の橋梁



出典: NTSB RPT-08-010

破壊起点とされたガセットプレート



崩壊後の橋梁

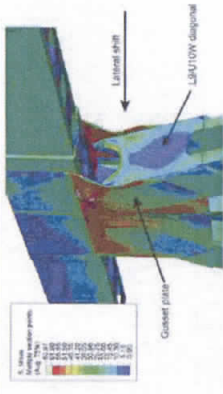


ミネアポリス I-35W橋の崩落事故 NTSB最終報告 - 鋼トラス橋におけるガセットプレートの維持管理の重要性 -

《格点部の維持管理に係わる指橋事項》

これまで認識されてこなかった格点部の腐食欠損や変形等の損傷に対する点検・状態評価の重要性を指摘

⇒点検研修 点検マニュアル等への反映を勧告



I-35W橋の崩壊の起点となった格点部の応力解析例



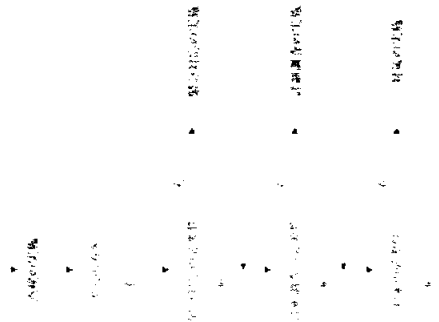
ガセットプレートの局所腐食欠損の例

点検・調査の種類(2/2)

調査	内容	目的	頻度
詳細調査	定期点検などの結果を基に、発見された劣化の程度や程度をより詳細に把握するため、主に機械・器具を用いて実施する。	構造物の全種安全性・機能・耐久性などについて、より詳細な評価を行い、補修・補強の必要性を判断するために必要な情報を得る目的で行う。	必要に応じて実施する。
モニタリング	突発的な異常の検知、構造物において詳細調査などの結果、発見された劣化の程度のある劣化の進展調査、対策の効果を把握、使用した材料や工法の経年変化など、対象や目的を限定して継続的に実施される例が多い。近年では、建設段階で計測機器を構造物に予め設置しておく手法も導入されている。	構造物の劣化について、継続的に計測等を実施することで、構造物の劣化の進行とこれによる安全性の低下を把握する。	劣化や変状、構造物の種類、立地条件に応じて適宜実施する。補修・補強等の対策後の効果を把握するために行うこともあり、この場合は調査期間を限定して行うことが多い。

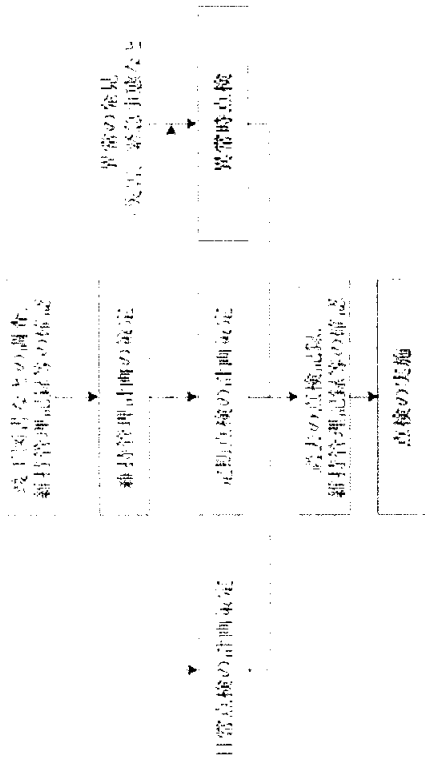
出典 日本道路協会「道路橋補修・補強事例集(2012年版)」

点検・調査の流れ(2/3)



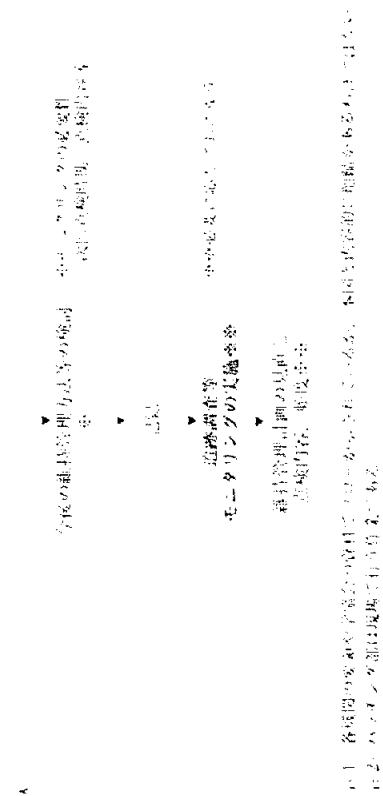
出典 日本道路協会「道路橋補修・補強事例集(2012年版)」

点検・調査の流れ(1/3)



出典 日本道路協会「道路橋補修・補強事例集(2012年版)」

点検・調査の流れ(3/3)



出典 日本道路協会「道路橋補修・補強事例集(2012年版)」

定期点検時の判定区分(国土交通省)

- A: 損傷が認められないか、軽微。
- B: 状況に応じて補修を行う必要がある。
- C: 速やかに補修等を行う必要がある。
- E1: 構造上の安全性から、緊急対応の必要がある。
- E2: その他、緊急対応の必要がある。
- M: 維持工事で対応する必要がある。
- S: 詳細調査の必要がある。

出典: 国土交通省「橋梁定期点検要領(案)」, 平成16年3月

17

定期点検と詳細調査

- 定期点検: **5年に1度の近接目視**が基本。必要に応じて**機械・器具**を使用。
⇒ **変状の有無, 構造物の状況を詳細に確認。**
打音検査, 点検機器での検査で構造物の変状, 安全性に係る状況など把握。
- **詳細調査: 必要に応じて実施。主に機械・器具(非破壊検査装置等)を用いて実施。**
⇒ **構造物の各種安全性, 機能, 耐久性等の詳細評価を行い, 補修・補強の必要性等を判断するため必要な情報を取得。**

18

鋼材に対する非破壊試験の種類

きず(欠陥)、き裂	発生後	表面	外観試験(VT) **
			磁気探傷試験(MT) *
		浸透探傷試験(PT) *	
		渦電流探傷試験(ET) *	
	内部	放射線透過試験(RT) *	
		超音波探傷試験(UT) *	
	発生中	アコースティック・エミッション試験(AT) **	
ひずみ		ひずみゲージ試験(ST) *	
その他		赤外線サーモグラフィ試験(TT) **, 漏れ試験(LT) **, コンピュータトモグラフィ(CT) 等	

* : JIS Z 2305: 非破壊試験-技術者の資格及び認証川において資格有り。

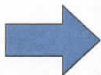
** : JIS Z 2305において、2013年に新たに追加された資格。

3. 詳細調査の事例

詳細調査は、対象物の種類、損傷の種類によって、その種類は多岐にわたる。
ここでは、鋼部材の疲労き裂、腐食(残存厚さ)に対する詳細調査の事例を紹介する。

疲労き裂とは

外力の繰返し作用（応力の繰返し）



1回作用するだけでは構造物に影響を与えない小さな荷重でも、何十万回、何百万回繰返し作用することにより、き裂の発生につながる

- ・ 構造的な応力集中部
- ・ 溶接形状や溶接欠陥等に起因する応力集中部



応力集中部からき裂が発生

3.1 疲労き裂とその調査技術の例

疲労き裂とは(つづき)

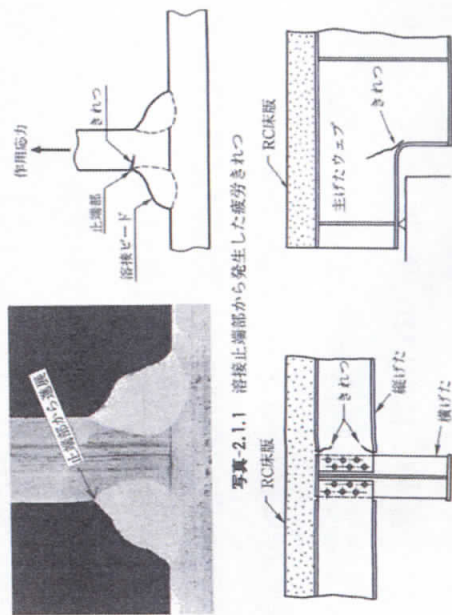
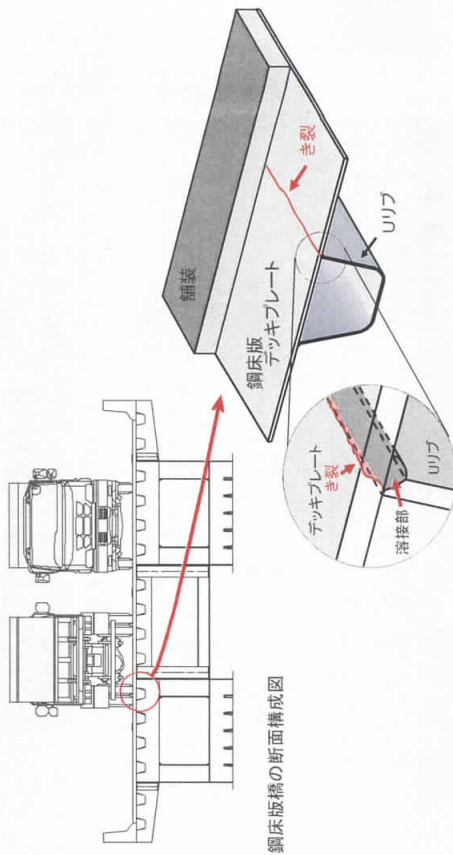


図-2.2.3 縦げた端部に発生した疲労き裂

図-2.2.4 下げた端切欠き部に発生した疲労き裂

「鋼橋の疲労」(日本道路協会)より

疲労き裂の例 -デッキプレート内へ進展するき裂詳細図-



鋼床版橋の断面構成図

き裂の模式図

※ウリブの溶接部に発生し、デッキプレートを貫通。その後、溶接に沿って進展

疲労き裂の非破壊検査技術

- 超音波探傷法の適用上の留意点
 - 超音波や探触子の種類により探傷方法は様々
 - 利用目的に応じたカスタマイズが必要
 - 一方では検出性能も明確に示せる知見はない。

- 要求性能
 - き裂の小さい段階から(精度の確保)、見逃し、誤検出することなく(信頼性の確保)検出可能

- 深さ3mm程度のき裂の検出性能の確保

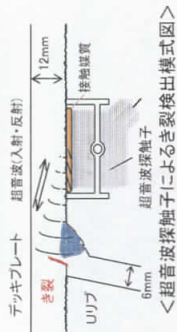
※深さ2mm程度までのき裂を他の反射源との識別は困難
 ※SFRG補装施工後では内在き裂(7mm程度)は進展しない
 という試験報告。深さ3mmは対処可能なき裂と仮定

- 現場作業性の確保

- ・ 塗膜を除去せずに、塗膜上から探傷可能
- ・ テッキプレートの下側から比較的簡易に探傷可能

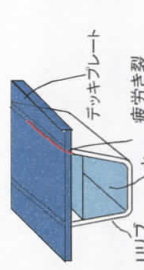


き裂先端部のコア抜き状況



デッキ貫通き裂を見つけるための非破壊検査技術

- Uレブ内の滯水状況から間接的にき裂を検知する技術 —

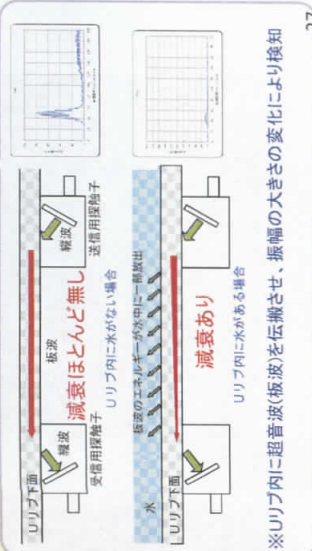


※現場架設のブロック毎に、ダイアフラム(仕切り板)が設置されており、その間に縦断勾配に応じて滯水

- 既にき裂が発生している場合の対策実施までの状況把握(安全性確保)
- 信頼性、作業性の面で、他の汎用手法では課題あり
 - ・ 汎用型UTでは、塗膜の影響により誤検出の可能性
 - ・ 赤外線カメラでは、日照条件、測定時刻、水深により計測に制約や限界あり。

- Uレブ内の雨水の有無によりUレブを伝える超音波が減衰することを利用した調査方法を提案

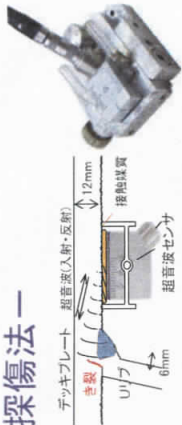
- 3m程度離れた距離から1箇所5秒程度で滯水の有無と深さ(数mm)の計測が可能



疲労き裂の非破壊検査技術

— 一臨界屈折角探傷法 —

- 初期のき裂の検出可能な技術を開発
- 5橋で試行し、調査のための超音波探傷マニュアル案をとりまとめ
- 11橋での調査に適用。
 ⇒ き裂の深さ計測のさらなる精度の向上、診断技術の高度化に取組中



＜超音波探触子によるき裂検出模式図＞＜超音波探触子＞
 ※深いき裂の検出に適した屈折角が90度に近い探触子の超音波伝送特性を活用した新たな角度補正法の開発
 ※超音波の反射波とき裂深さとの対応付けによるき裂の評価手法の開発

	従来技術(70度斜角探触子)	本技術
信頼性	・ 塗膜の影響の補正が困難 ・ 技術者の技量差の影響あり	・ 塗膜の影響の補正が可能 ・ 技量差によるき裂の誤検出を排除
精度	深さ6mm以上のき裂の有無を検出	深さ3mm以上のき裂の有無を検出
作業性	手動探傷 (作業性・信頼性に課題あり)	自動探傷 (探傷結果を位置情報とともに自動記録)



(効果)
 ・ 点検の信頼性向上に貢献
 ・ 合理的な対策の検討に活用
 ・ 対策実施までの監視や対策効果の検証に活用

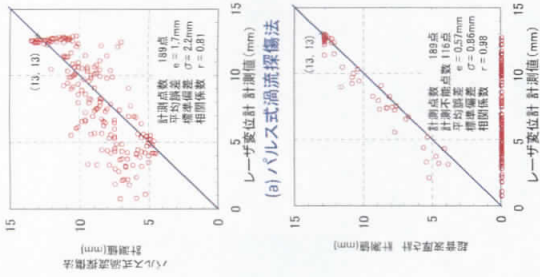


センサからき裂までの距離

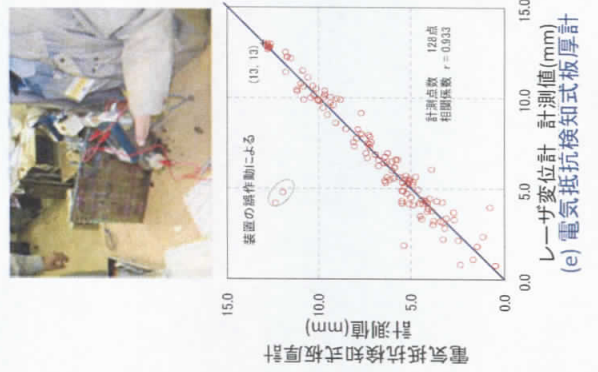
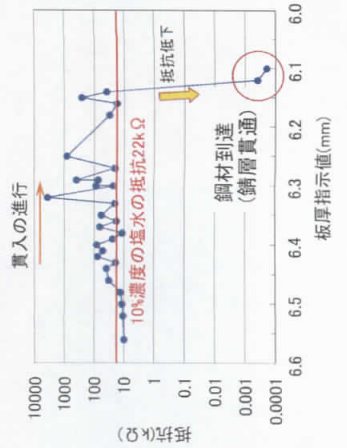
3.2 腐食とその調査技術の例

計測結果

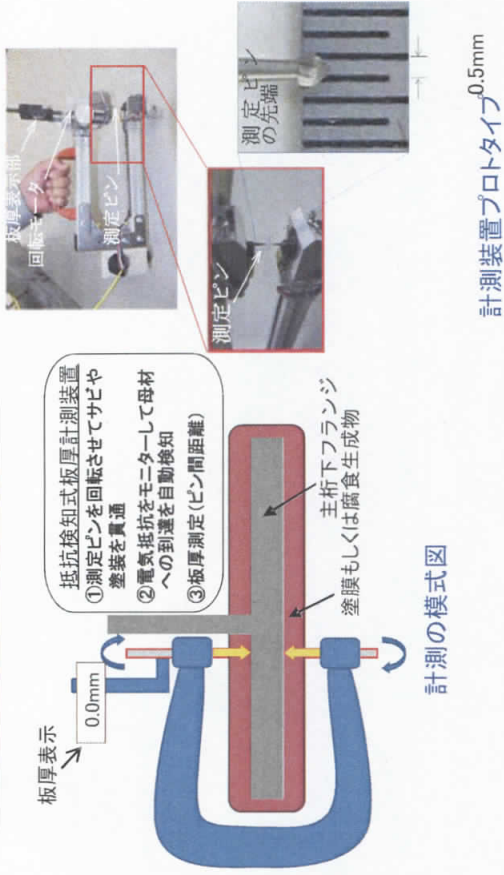
計測面②(腐食が著しい面)(錆除去後)



計測結果



電気抵抗検知式厚さ計



ご静聴ありがとうございました

