



PC管における非破壊調査 (超音波部材厚測定、電磁誘導法 によるPC鋼線の発錆・破断測定)



株式会社 ダイアコンサルタント
技術開発センター

小泉和広

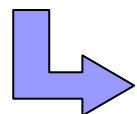
管体破損に伴う出水事故が顕在化している管種

PC管

要因

- カバーコートの化学的な侵食から、円周方向PC鋼線の発錆・破断による管体の破損。
- 継手部の漏水によるカバーコートの物理的な侵食、円周方向PC鋼線の発錆・破断による管体の破損。

管外から劣化が進行することから、管内からの調査が困難。



新たな調査手法の開発が急務！

FRPM管

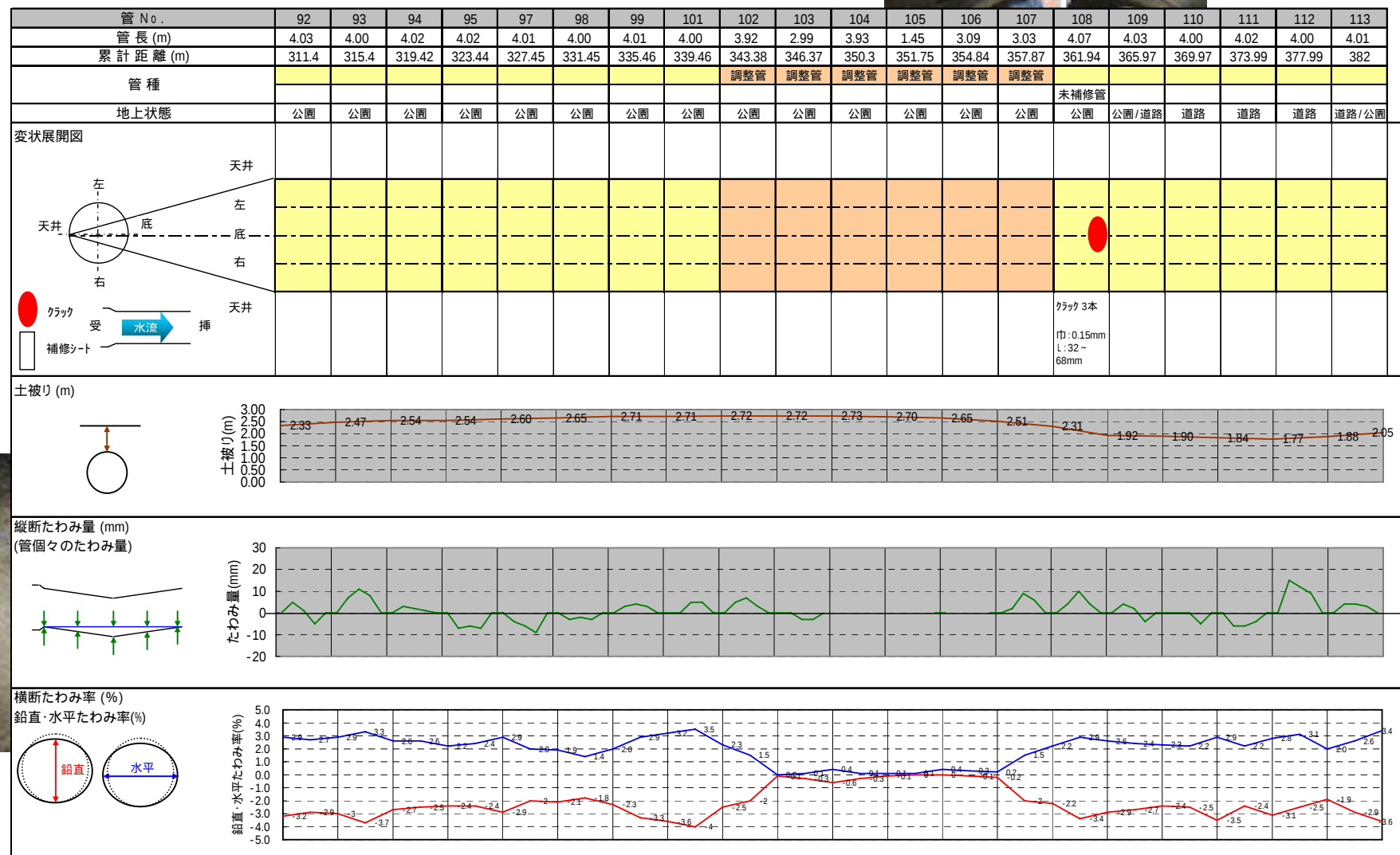
要因

- 埋設環境の変化や基礎の施工不良による管体変形による破損。

管内からの内径計測による機能診断が可能。

管内からの調査 管径 φ 800 ~ 3000mmを対象

FRPM管の調査事例



レーザ距離計を用いた同相反な内径の計測

PC管を用いたパイプラインの背景

- プレストレストコンクリート管(以降PC管と略記)は、道路横断排水や河川、農業用水路として、日本国内には総延長約3,000km(PC管協会出荷実績による)が地盤内に敷設されている。これらPC管は敷設後30～40年を経過し老朽化してきており、ここ数年で多くの破損・破裂事故が発生している。しかし、PC管は埋設管であるがため、その老朽化の程度が殆ど把握できない状態となっていることから、農業用水路の維持管理や横断管として使用している道路の維持管理を推進していく上で問題となってきた。ここでは破損事故を予防するために、管体外面の劣化(健全性)を管内から非破壊で調査する手法について開発した。



PC管協会HPより

劣化PC管の調査診断評価技術の経歴について

平成15年度
～
平成16年度



(株)ダイヤコンサルタントと三菱マテリアル建材(株)と共同で、PC管におけるPC鋼線の発錆・破断を検出できる電磁誘導法による非破壊調査手法の開発。

平成16年度
～
平成18年度

独立行政法人水資源機構の管理するPC管水路にて現場適用試験と試掘検証結果に基づいた診断評価基準を作成。

「PC管本体劣化に関する調査・診断マニュアル(案) 平成19・20年度版」策定
非破壊調査手法として、超音波反射法と電磁誘導法との複合調査にてPC管の劣化を診断する。

平成18年度
～
平成21年度

官民連携新技術研究開発事業「老朽化管の調査診断技術の開発」として、
(独)農村工学研究所土質研究室、(独)水資源機構総合技術推進室、新技術研究開発組合((株)ダイヤコンサルタント、三菱マテリアル(株))の3機関にて調査診断技術を開発。
開発期間:平成18年11月～平成21年3月

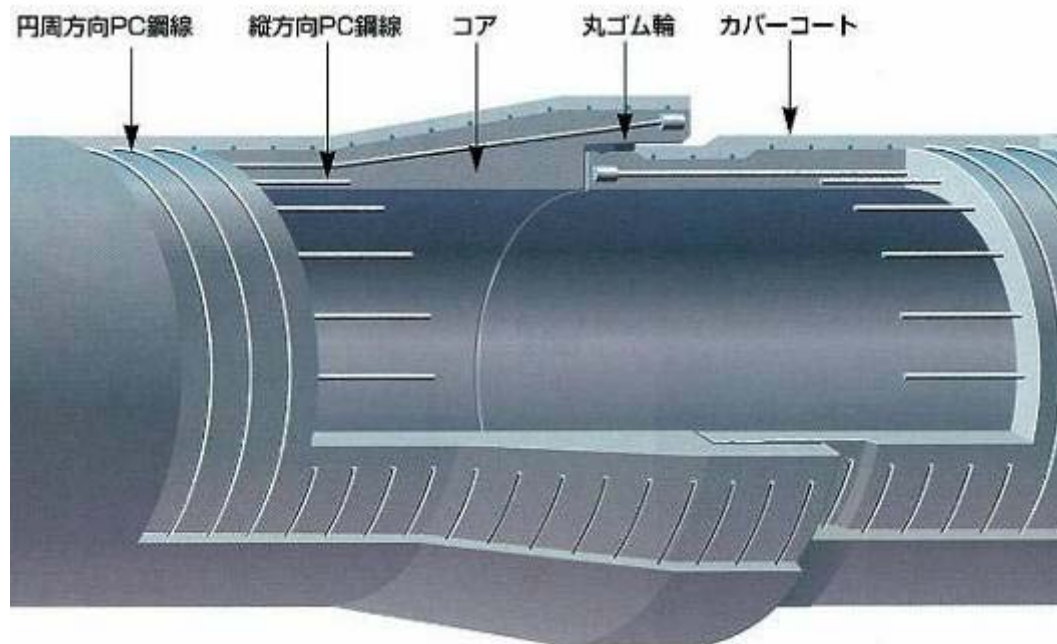
関東農政局利根川水系土地改良調査事務所から
「平成20年度 スtockマネジメント技術高度化事業石岡台地地区千代田幹線水路機能診断業務」
として、
農業水利施設Stockマネジメントマニュアルに加えて、劣化PC管における非破壊調査・診断を実施。



官民連携新技術研究開発事業で開発した管内点検車

プレストレストコンクリート管(PC管)とは、

- 日本工業規格 (JIS) と P C 管協会規格 (PCPA) にて規格化。
- 超高強度コンクリートの**コア** (圧縮強度100MPa), 円周方向**PC鋼線**, PC鋼線を保護する**カバーコート(モルタル)** で構成。
- 高強度のPC鋼線をコアの円周方向に配置・緊張することで、内外圧に耐える構造。(円周方向のPC鋼線の巻き数により, 1種~5種など許容内圧が異なる。

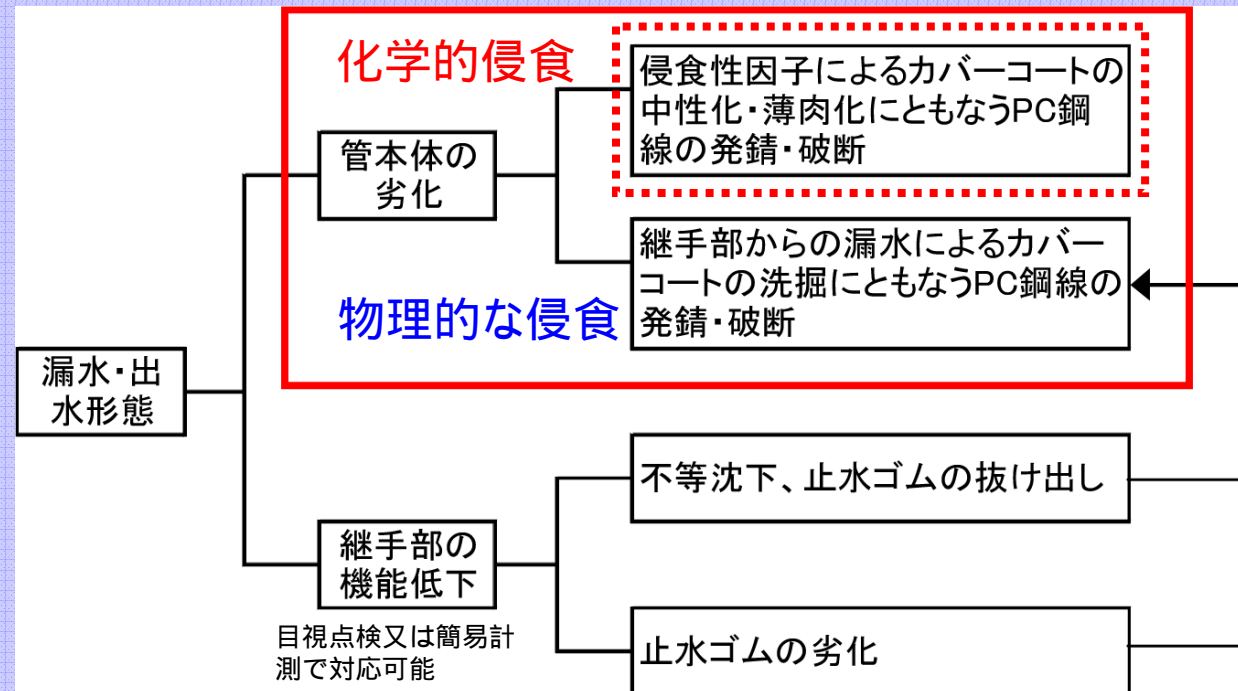


ポイント

コア及び縦方向PC鋼線の製造手法及び構造形式が製造メーカーによって異なる。

PC管本体の劣化における調査対象

現在までの調査結果から**化学的侵食**と**物理的な侵食**が劣化要因として推定される。“劣化調査は主に**化学的な侵食**を受けた劣化管を対象としている。”



PC管の漏水・出水形態の分類



劣化したカバーコート
(化学的侵食)

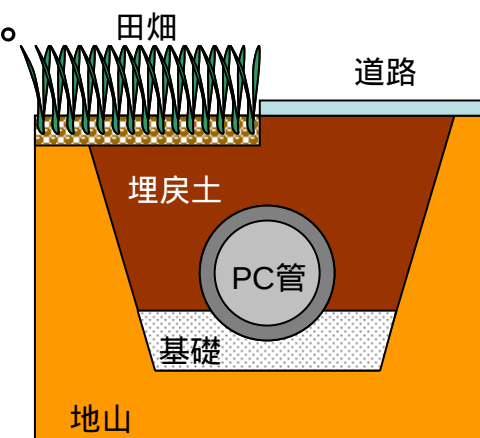


継手部からの漏水
(物理的な侵食)

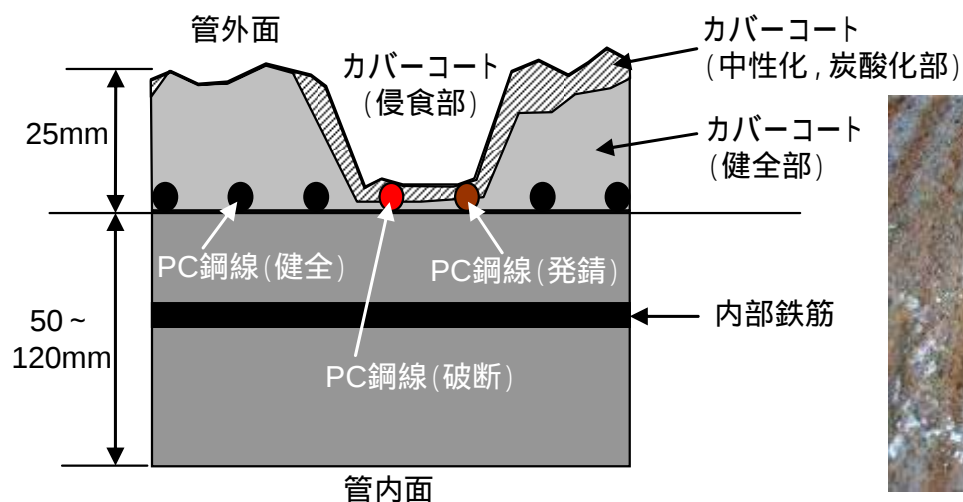
化学的な侵食性因子とカバーコートの劣化

埋戻土や周辺地盤の土地利用及び地下水の流入等，ローカル性が高いため，劣化要因を特定することが非常に困難ではある。

- 侵食性遊離炭酸による劣化(炭酸侵食)
- 酸性溶液による劣化
- 硫酸塩侵食による劣化



PC管の埋設環境の例

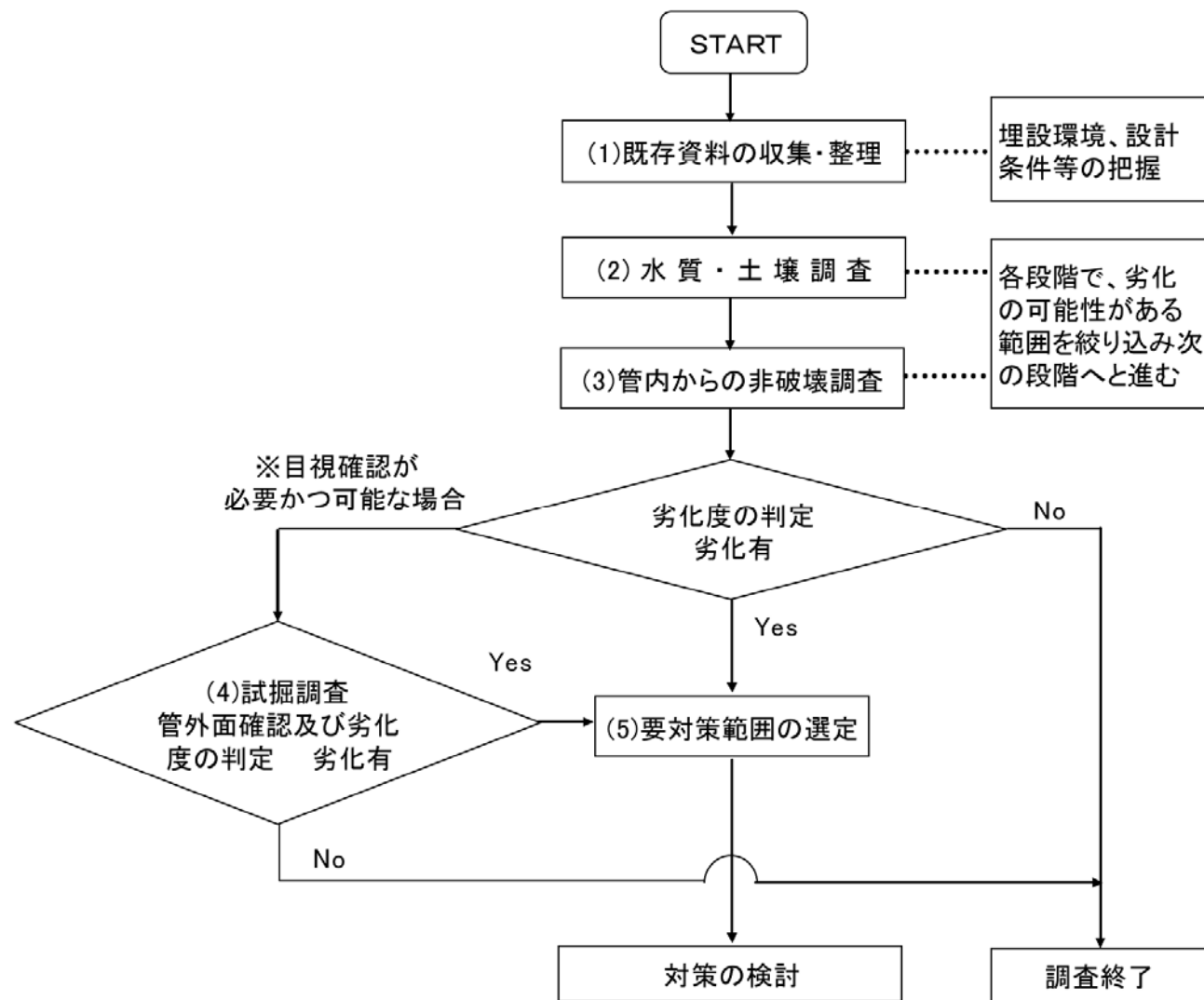


カバーコート及びPC鋼線の劣化模式図



カバーコートの薄肉化と
PC鋼線の破断

PC管本体の劣化に関する調査・診断手順



水質・土壌調査における結果の評価

水質・土壌調査項目による劣化危険度評価指標

調査項目	基準値	評価
侵食性遊離炭酸	20mg/l以上	劣化の危険性が高い
塩素イオン	200mg/l以上	
硫酸イオン	200mg/l以上	
ANSI A 21.5	10点以上	

いずれかの項目が基準値以上確認された場合は、劣化の危険性が高い



井戸からの採水

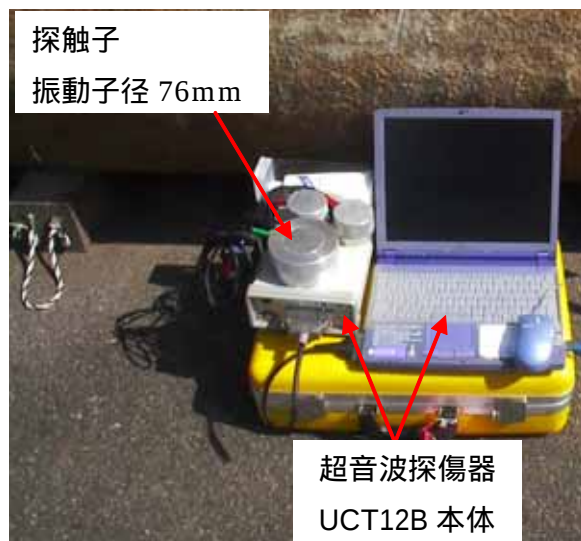
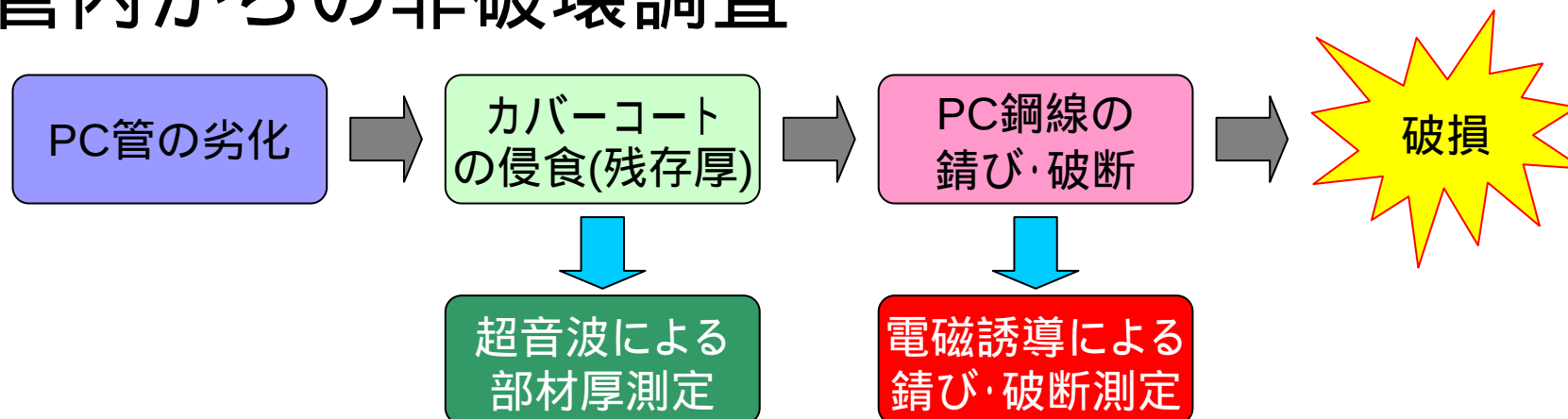


オーガーボーリングによる掘削

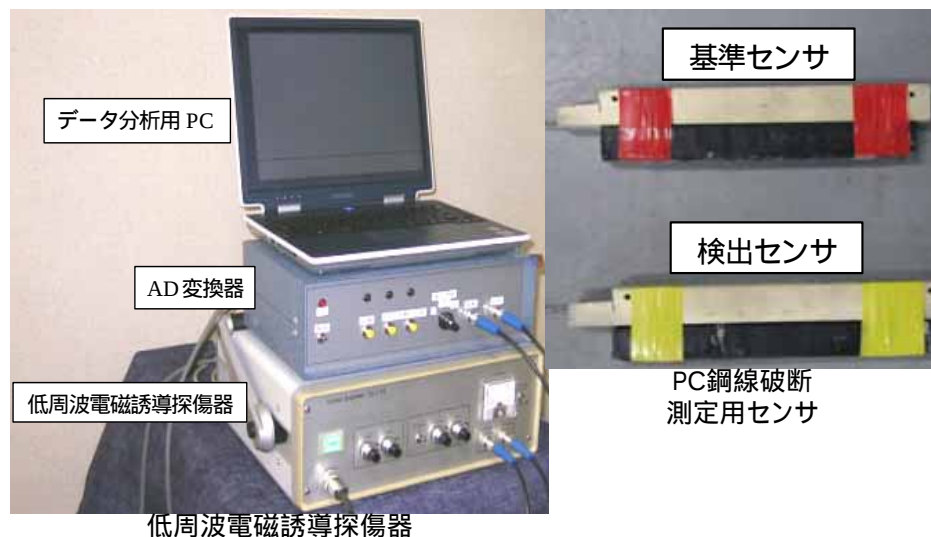


ベラーによる掘削孔からの採水

管内からの非破壊調査



超音波測定機器一式



電磁誘導測定機器一式

超音波による部材厚測定

超音波法は、コンクリートの非破壊調査として、部材厚、ひび割れ深さ、音速値などの測定において一般的に利用され、非破壊機器の中でも最も普及している。

PC管の部材厚測定に適応した超音波測定(探傷)器の仕様

- 超広帯域(2 ~ 750kHz)の超音波探触子(複合部材に対応)
- デジタルタイプの超音波探傷器(デジタルデータの保存)
- 1つの探触子で送受信が可能な振動子による反射法(作業性の向上)
- 振動子径76mmの大口徑探触子(超音波が透過しにくい部材に対応)



ISL社製のデジタル探傷器

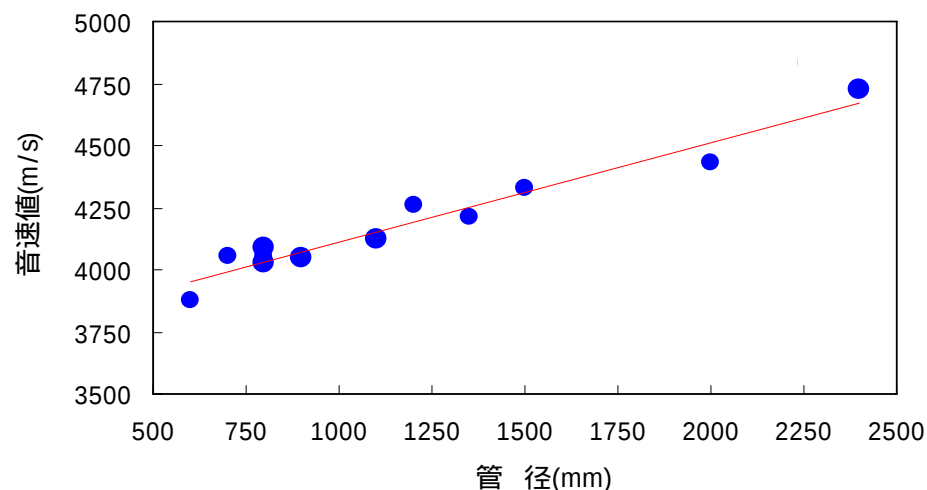


超音波波形の例

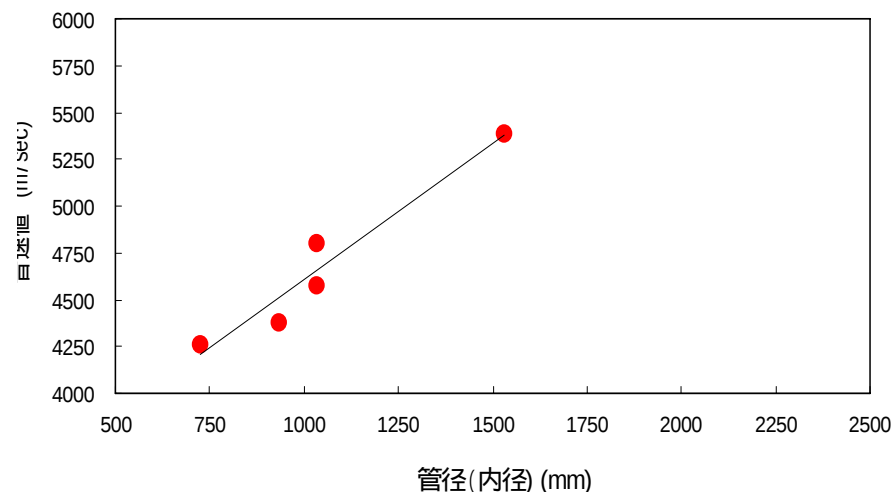


密な粗骨材

管径と音速値との関係



ロール転圧成形管



遠心力成形管

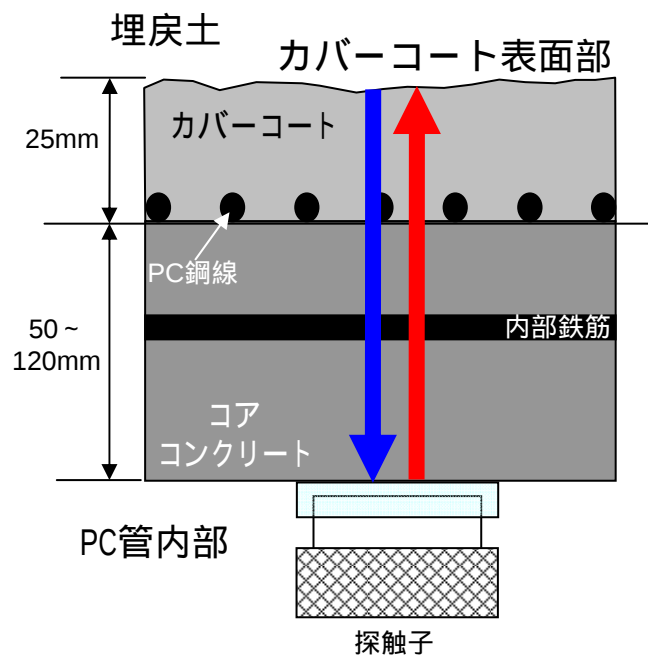
管径が大きくなるにしたがって、音速値が増加していくことが確認された。すなわち、一般的なコンクリートの音速値(4,200 ~ 4,300m/s程度)との固定概念で調査を実施した場合には大きな誤差を生むこととなる。

測定精度に影響を及ぼす音速値は、成型方法（ロール転圧成形管及び遠心力成形管）で異なることから、超音波部材厚測定の前にPC管の内径を測り、成型方法を把握した上で計測を行う必要がある。

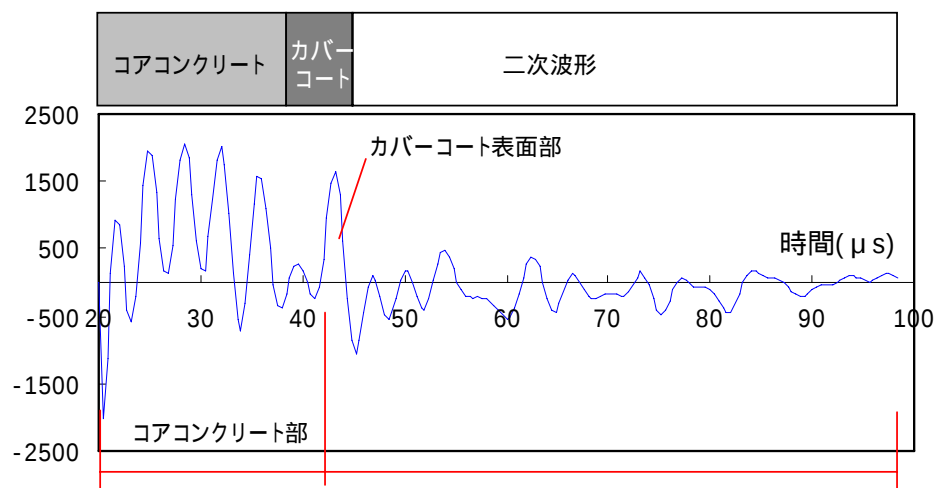
カバーコートの部材厚

超音波による部材厚測定では、超音波が伝播してきた全体部材厚(コア厚+カバーコート厚)が求められることから次式を用いてカバーコート厚を求める。

$$\text{■ カバーコート厚} = \text{全体部材厚} - \text{コア厚}$$



超音波経路の模式図



超音波波形と各部材との模式図



超音波法によるカバークート厚の健全性評価判定

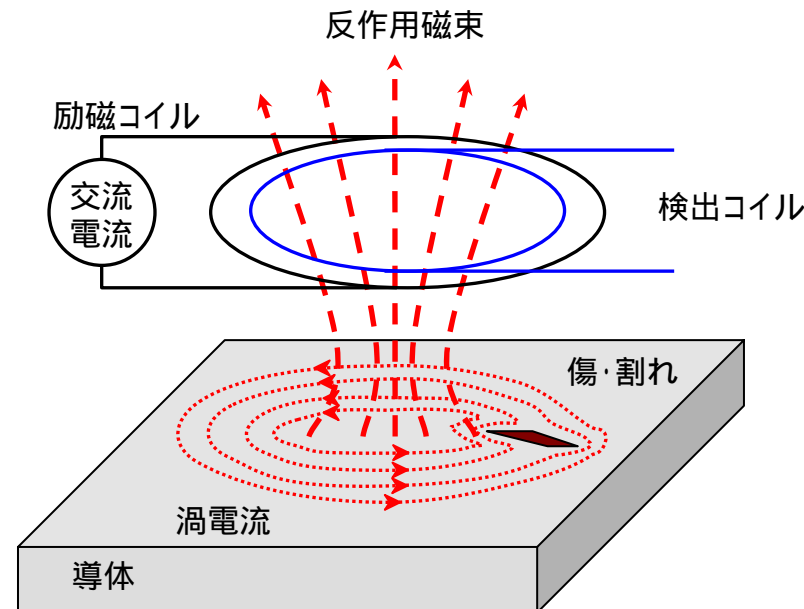
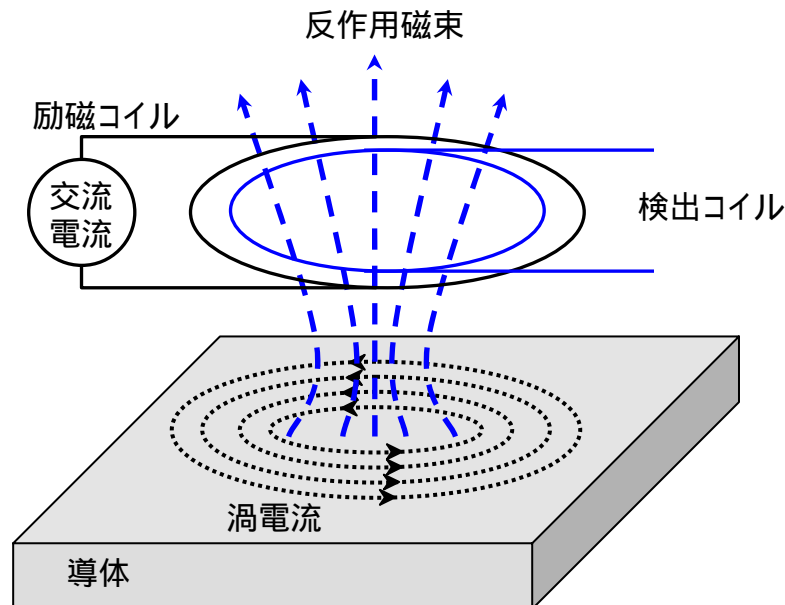
超音波法によるカバークート厚の健全性評価判定表

健全カバークートかぶり厚	判定区分
複数の測定値または95%信頼区間の下限値が10mm以下	劣化
複数の測定値または95%信頼区間の下限値が12mm以下	要注意
上記以外	健全

電磁誘導法による非破壊調査

■ 測定原理

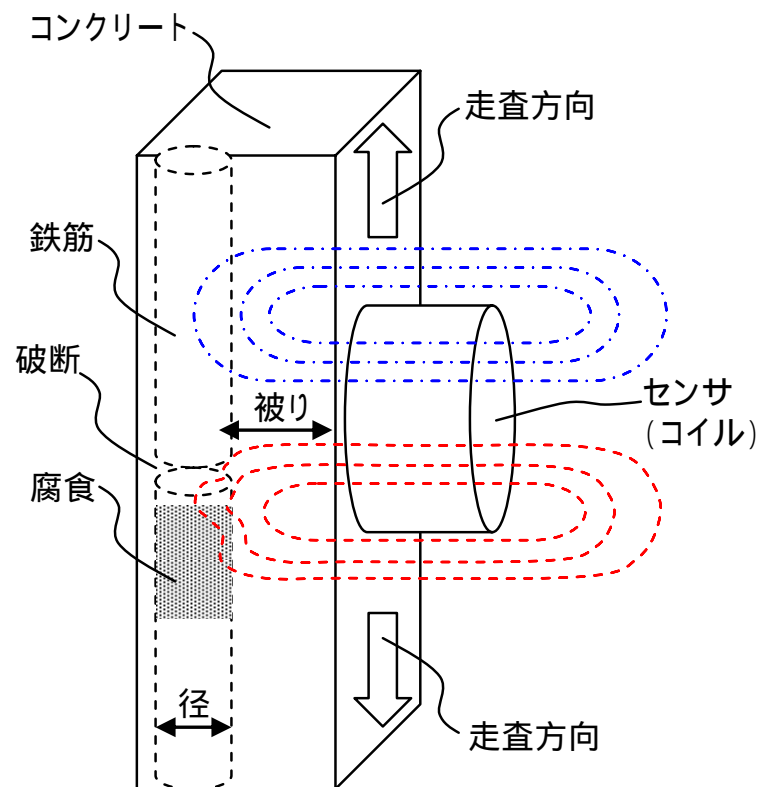
電磁誘導法とは、磁束を時間的に変化させると磁場が生じる現象を言う。例えば、コイルから試験体に交流を試験体に流すと過電流が発生し、渦電流はコイルからの磁束を打ち消すような磁束（反作用の磁束）を放出する特性があることから、その磁束内に不連続面（ここではPC鋼線の断裂やPC鋼線の重なり等）があると、渦電流がそこを迂回して流れてくる原理に基づいている。この時に発生した渦電流が正常時の状態と異なるため、この渦電流の変化から欠陥部を検出する手法である。



電磁誘導法による非破壊調査

■ 一般的な使われ方

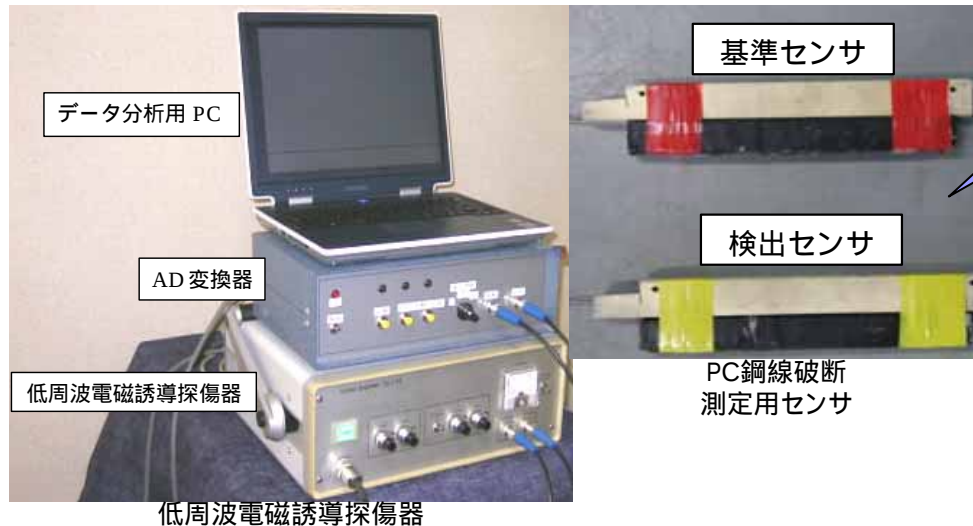
一般的な電磁誘導試験装置はコンクリート中の鉄筋に沿って走査することにより、鉄筋の直径、破断の有無、腐食、被り等を検出する。また、探査深度が50～100mm程度であり、PC管外周部のPC鋼線探査は困難である。



測定装置の概要

PC管周方向PC鋼線破断測定用電磁誘導探傷器

本体は
市販機器



● 電磁誘導装置の仕様

- (1) 検出器（低周波電磁誘導探傷器）：偕成エンジニア(株)製
- (2) 周波数500Hz ~ 50KH z
- (3) 交流増幅度40 d B
- (4) 直流増幅度40dB
- (5) 位相調整 $\pm 90^\circ$ (10回転マルチダイヤル)
- (6) 出力位相、振幅(0 ~ 10V)
- (7) 出力インピーダンス50 Ω
- (8) 電源AC100V

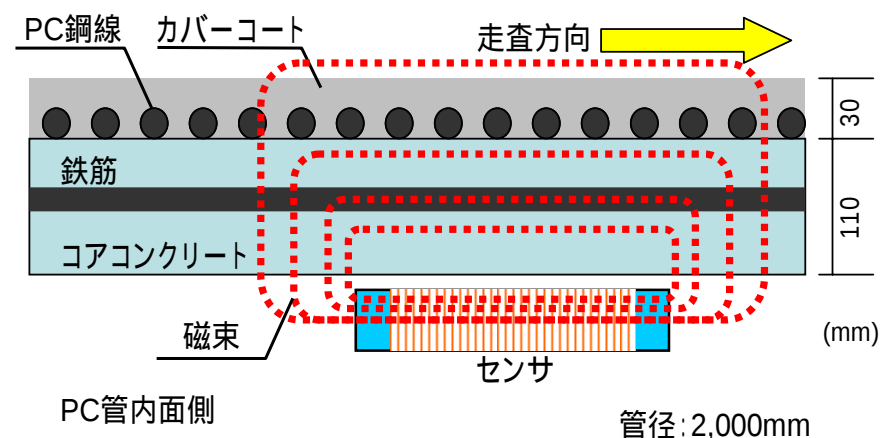
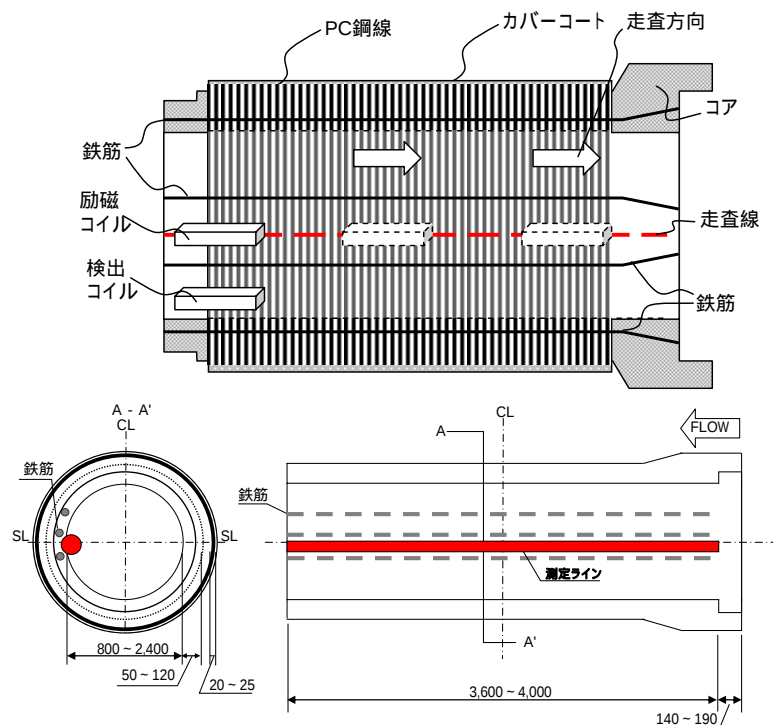
● 電磁誘導センサ(探触子)：(株)ダイヤコンサルタント及び三菱マテリアル建材(株)製

- (1) 基準センサ及び検出センサ：方向性珪素鋼板製

電磁誘導法による非破壊調査

■ 分離型電磁誘導センサ（自社開発）

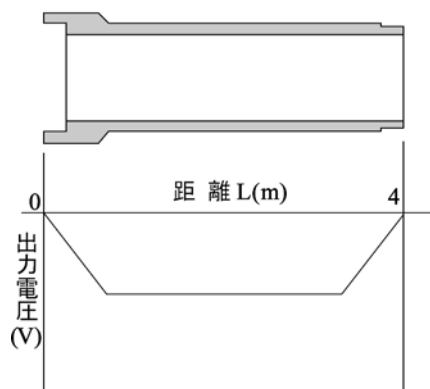
PC管内面に基準コイルと検出コイルとを設置して、検出コイルのみを一直線状に走査する。開発したコイル（センサ）はPC管及びPC管内部に配筋された鉄筋の影響を受けるものの、PC管の外周部に巻かれたPC鋼線に渦電流を発生させることにより、PC鋼線の破断を検出する。



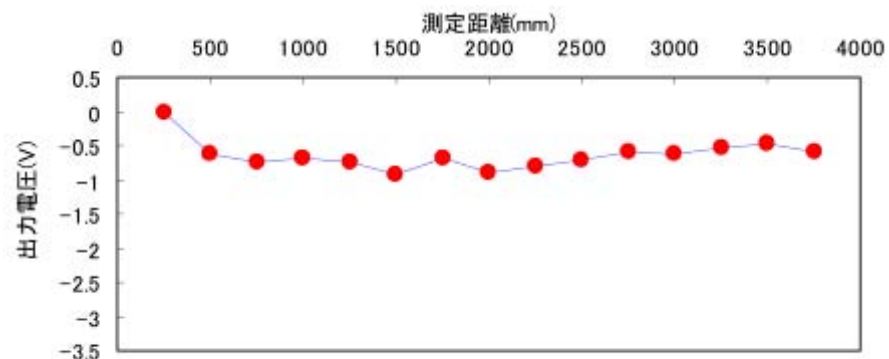
電磁誘導法による非破壊調査

■ 電磁誘導によるPC鋼線の発錆・破断測定

健全なPC管

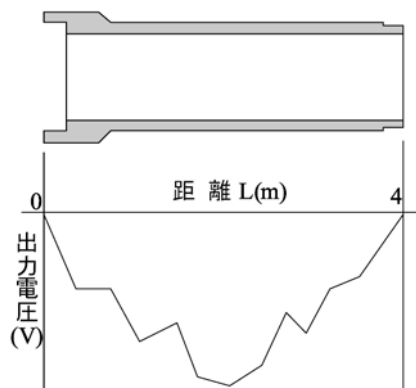


出力例

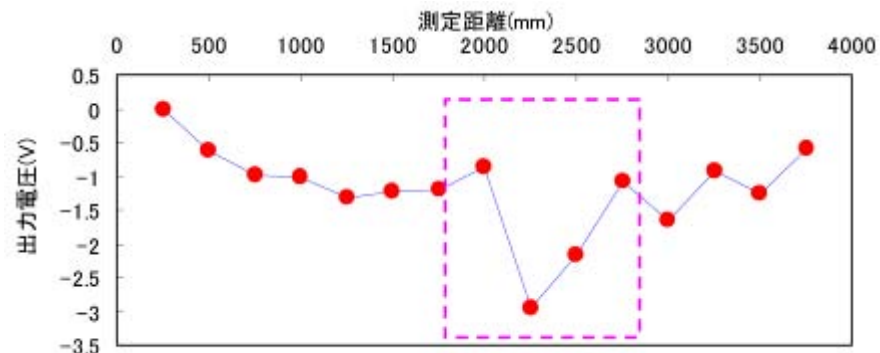


※PC 鋼線が発錆・破断していない場合には、急激な出力電圧の変動が見られず、PC 管中央付近でフラットなパターンを示す。

PC鋼線が破断したPC管



出力例

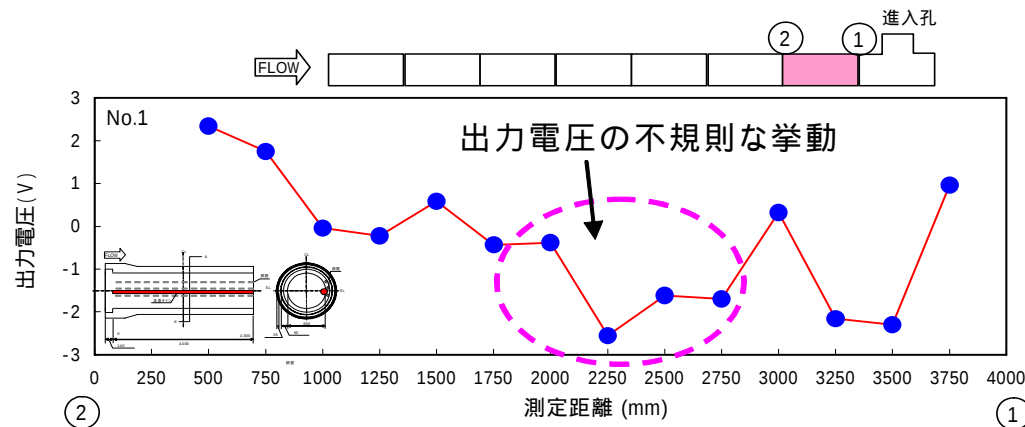


※PC 鋼線が破断している箇所では急激な出力電圧の変動が見られる。(破線の口部)

測定結果の例

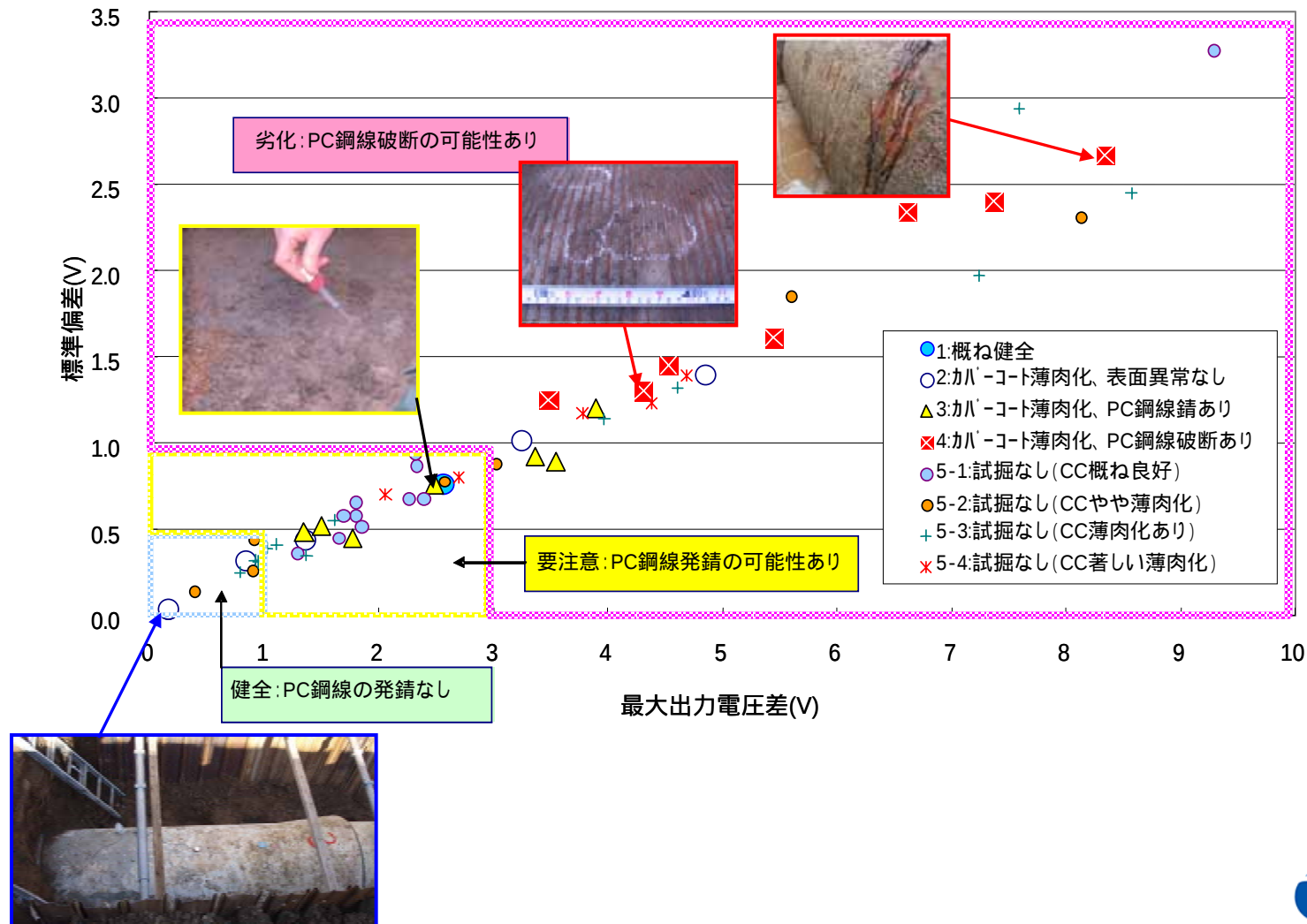


劣化調査により発見された劣化したPC管
(φ800mm 1種管)
当該PC管は、PC鋼線の発錆と鋼線が数箇所破断していた。



PC鋼線の発錆・破断結果の評価

試掘結果から、しきい値を設定した電磁誘導法の劣化度区分図

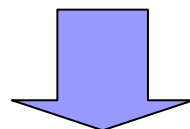




今後の課題

本技術によって、PC管の劣化調査は可能となりましたが、さらなる診断技術の精度向上としては、

実際の管体を掘り出し、管内の非破壊調査による診断結果を管外での管体表面部の結果と対比検証する必要があり、その事例が蓄積されてはじめて精度の向上が図られる。



診断技術の精度向上には、評価基準の区分け(物性値の区分)に伴うしきい値の確からしさについての継続的な検証により、見直しが必要となるものと考えられる。

終