令和3年度　橋梁管理実務者（Ⅱ）研修

非　破　壊　検　査　技　術
（鋼部材・コンクリート部材）

(一般財団法人)　橋梁調査会

非破壊検査について

非破壊検査とは、“物を壊さずに”その内部のきずや表面のきずあるいは劣化の状況を調べ出す検査技術のこと

非破壊試験 nondestructive testing　JIS Z 2300 (0301)
素材や製品を破壊せずに、きずの有無・その存在位置・大きさ・形状・分布状態などを調べる試験。材質試験などに応用されることもある。放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験、渦流探傷試験、などがある。 略記号はNDTを用いる。

非破壊検査 nondestructive inspection　JIS Z 2300 (0302)
非破壊試験の結果から、規格などによる基準に従って合否を判定する方法。
略記号はNDIを用いる。

非破壊評価 nondestructive evaluation　JIS Z 2300 (0303)
非破壊試験で得られた指示を、試験体の性質又は使用性能の面から総合的に解析・評価すること。略記号はNDEを用いる。

非破壊検査の品質確保

【有資格者による測定が規定されている】

○道路橋示方書（H29. 11）[Ⅱ鋼橋・鋼部材編]での非破壊検査

20章　施工　20.8　溶接　　20.8.6　外部きず検査

4) 非破壊試験を行う者の資格

非破壊試験のうち，**磁粉探傷試験**又は**浸透探傷試験**を行う者は，それぞれの試験の種類に対応した**JIS Z 2305（非破壊試験－技術者の資格及び認証）に規定するレベル2 以上**の資格を有していなければならない。

20章　施工　20.8　溶接　　20.8.7　内部きず検査

2) 非破壊試験を行う者の資格

非破壊試験を行う者は，試験の種類に応じて，**JIS Z 2305（非破壊試験－技術者の資格及び認証）**に基づくa）からc）に示す資格を有していなければならない。

a) 放射線透過試験を行う場合は，**放射線透過試験におけるレベル2 以上**の資格とする。

b) 超音波自動探傷試験を行う場合は，**超音波探傷試験におけるレベル3** の資格とする。

c) 手探傷による超音波探傷試験を行う場合は，**超音波探傷試験におけるレベル2 以上**の資格とする。

○非破壊試験等によるコンクリートの品質管理について（通知）平成30年10月

・微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領（解説）

超音波法 ⇒（国研）土木研究所による講習会の受講証明書

衝撃弾性波法（iTECS 法）　⇒（一社）iTECS 技術協会による講習会の受講証明書

衝撃弾性波法（表面２点法）　⇒（国研）土木研究所による講習会の受講証明書

・非破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態及びかぶり測定要領（解説）

電磁誘導法　電磁波レーダ法　⇒ コンクリート構造物の配筋探査技術者資格証明書

（一社）日本非破壊検査工業会

非破壊検査の分野･目的と役割

非破壊検査の分野 – 安全性、健全性を必要とするあらゆる構造物や製品

社会資本 ： 橋、道路、ビルなど
プラント ： 原子力･火力発電所、石油精製、石油化学、ガスなど
工業製品 ： 鋼板や種々の製品など

非破壊検査の目的と役割

(1) **新しく製造された製品、構造物**などでは、**製造過程で思わぬキズ**が発生していない か また、**製品の品質**が決められたレベルを満足しているかを調べる目的で非破壊検査が使われます。**品質管理の手段**の一つと言えます。

(2) **一定期間使用あるいは運転した後の検査**では、**使用中にキズ**が発生していないか、そのキズにより製品、**構造物が破壊に至ること**がないかを調べる目的で使われます。
部品、構造物の破壊による大規模な**事故を防ぎ**、**安全を確保**する手段として非破壊検査が行われます。

(3) **道路橋定期点検要領**（平成31年2月　国土交通省 道路局）の記載例

･道路橋毎の健全性の診断を行うにあたって、**近接目視で把握できる範囲の情報では不足**するとき、触診や打音検査等も含めた**非破壊検査等を行い、必要な情報を補う**のがよい。P11

･非破壊検査又はその他さらに**詳細に調べなければ、Ⅰ～Ⅳの判定が適切に行えない状態**と判断された場合には、その旨を記録するとともに、**速やかに必要な非破壊検査等を行い、その結果を踏まえてⅠ～Ⅳの判定を行う**こととなる。P13

構　　成

1．鋼部材の非破壊検査法

2．コンクリート部材の非破壊検査法

1．鋼部材の非破壊検査法

①超音波探傷試験（UT）　JIS　Z3060　　内部欠陥
　超音波板厚計測

②磁粉探傷試験（MT）　JIS　G0565　　表面欠陥

③浸透探傷試験（PT）　JIS　Z2343　　表面欠陥

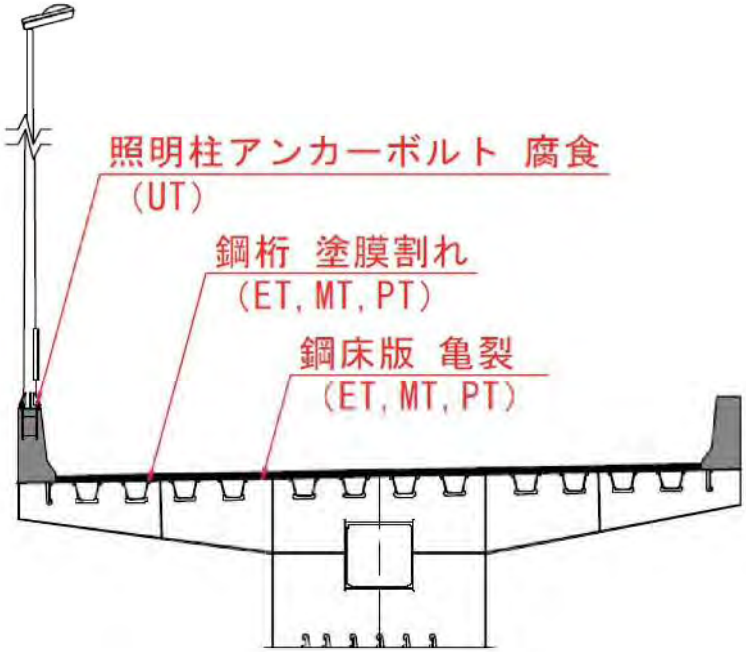
④渦流探傷試験（ET）　JIS　G0568　　表面欠陥

⑤放射線透過試験（RT）　JIS　Z3104　　内部欠陥

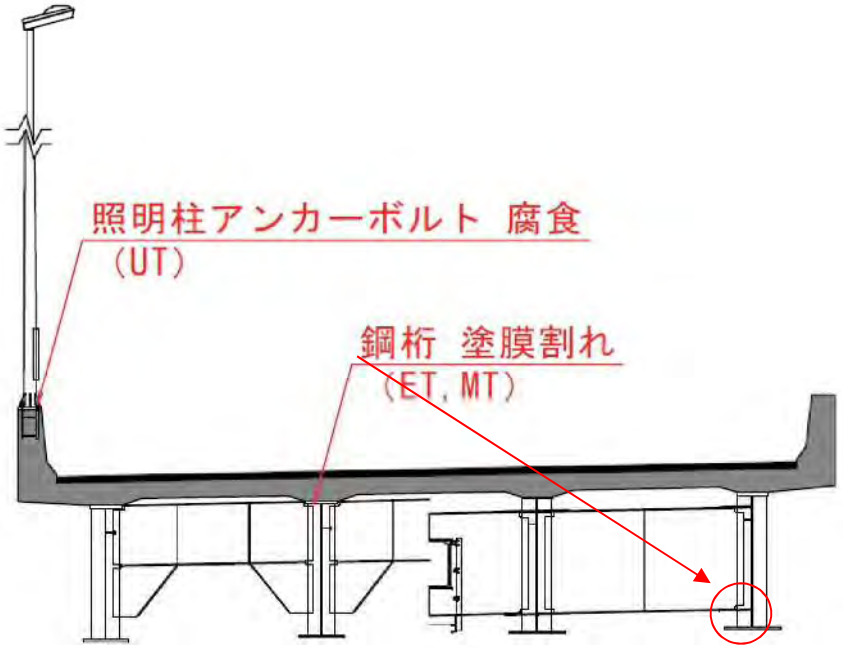
※JIS規格「日本工業規格」は、2019年7月1日の法改正により名称が「日本産業規格」に変わりました。
　標準化の対象にデータ、サービス、経営管理等を追加し、
「日本工業規格(JIS)」を「日本産業規格(JIS)」に、法律名を「産業標準化法」に改めました。



詳細調査における非破壊検査技術の適用例



鋼床版箱桁橋

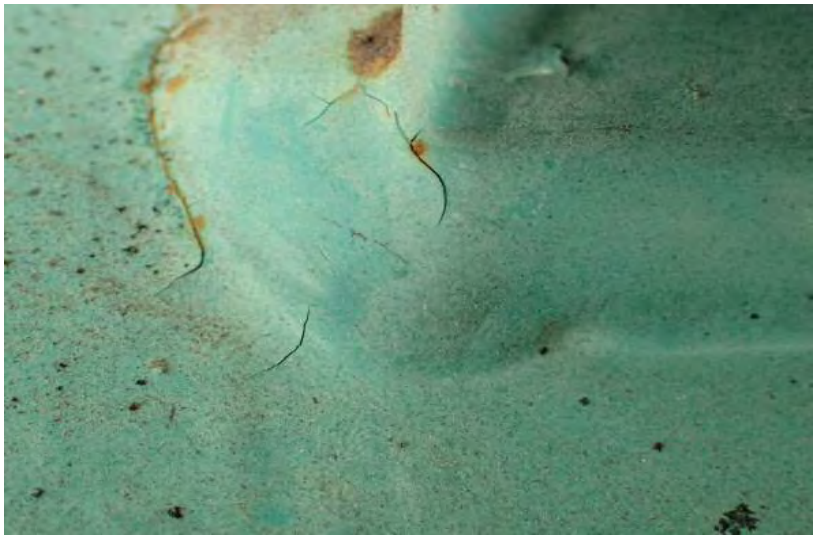


鋼鈑桁橋

・超音波探傷試験(UT)
・磁粉探傷試験(MT)
・浸透探傷試験(PT)
・渦流探傷試験(ET)

疲労亀裂の発生しやすい部位と塗膜割れ







①超音波探傷試験(UT)

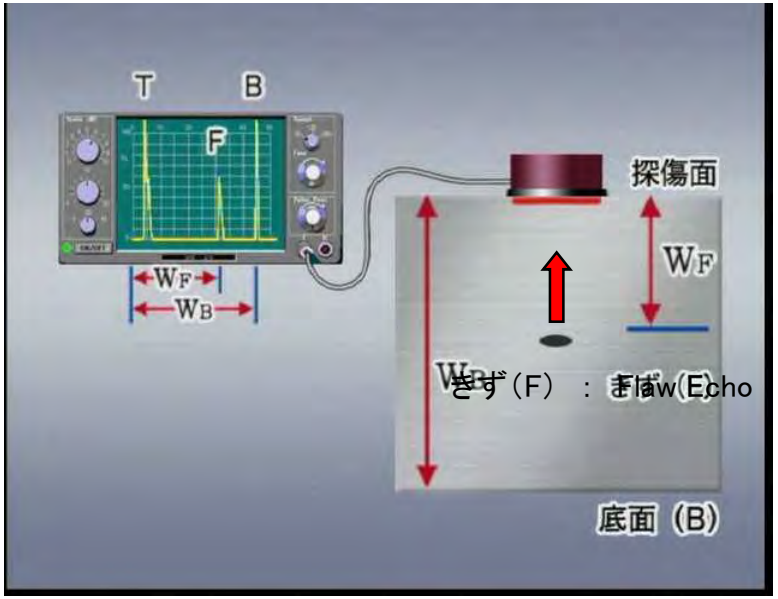
Ultrasonic Testing

原理

①超音波は，金属物体内で伝搬しやすく，一方向のみに伝搬していく.

②超音波が物体の端面や異種類の物体境界面に当たると反射＊1される.

③反射されて戻ってきたエコーの時間と強度から、欠陥の有無と位置を判定する.



垂直探傷法(例)

超音波探傷試験(UT)の特徴

特徴

①部材内部の欠陥を検出

②亀裂の判別に適する

③持ち運びが容易

④使用実績が豊富

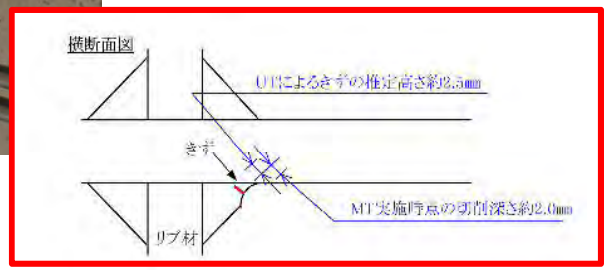
⑤測定に熟練を要する

⑥記録が保存しにくい

⑦損傷の形状・種類が把握しにくい.

超音波探傷試験(UT)の具体事例1





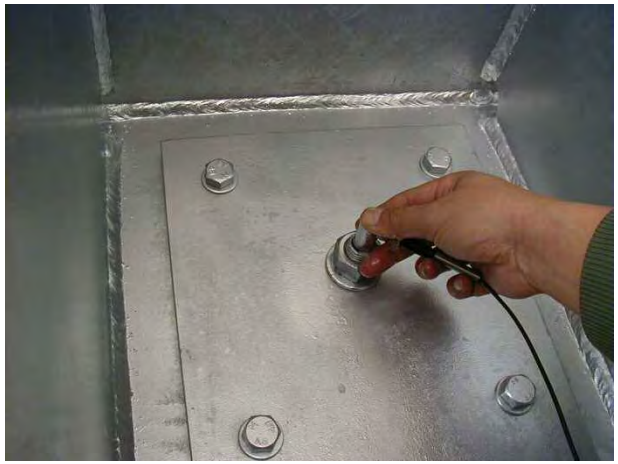
超音波探傷試験(UT)の事例2

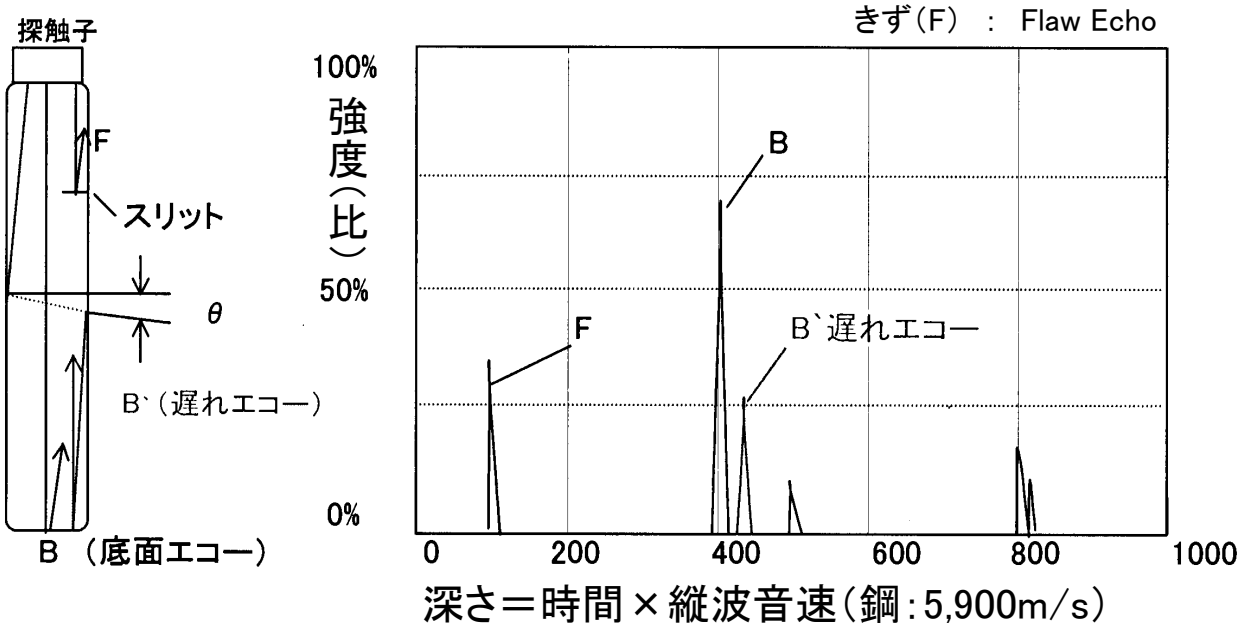
①垂直探傷法

鋼材表面より垂直に縦波を入射させる

(ボルトの軸部破断、割れ、長さ)

(鋼板内部の欠陥)







超音波探傷試験(UT)の事例3

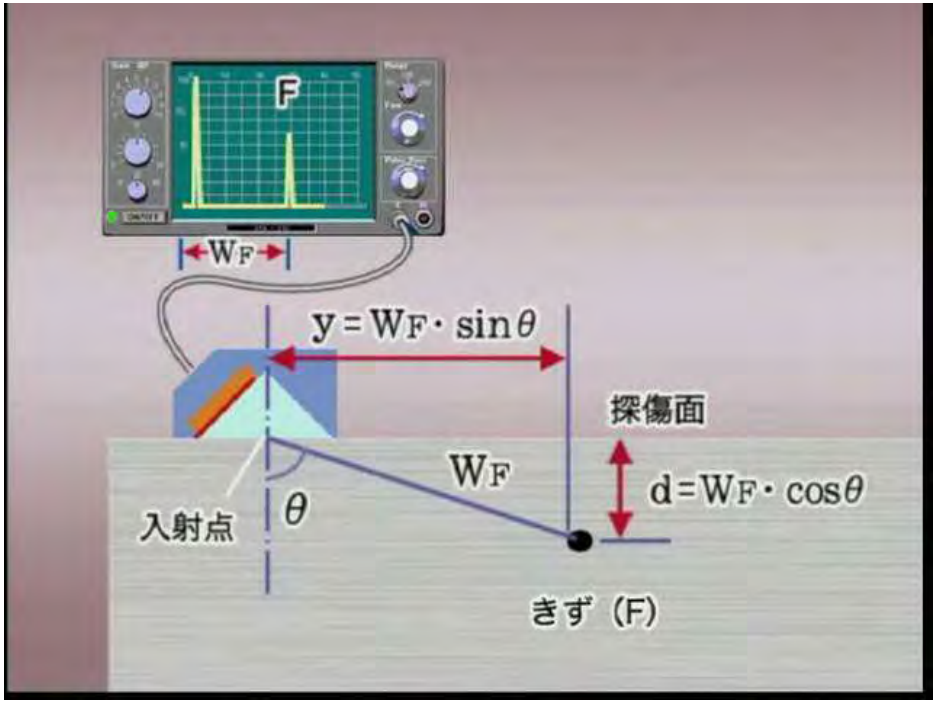
②斜角探傷法

鋼材表面より斜め方向に横波を入射させる.

(溶接部欠陥)

手動斜角探傷





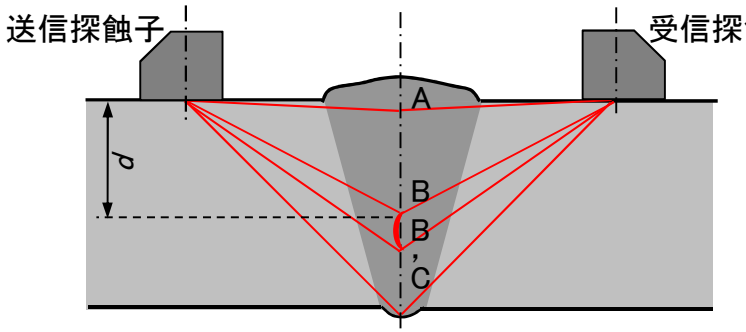
きず(F) : Flaw Echo

超音波探傷試験(UT)の事例4

③TOFD法

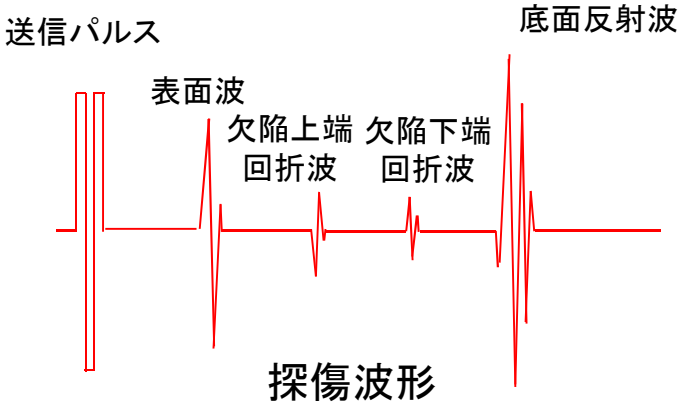
TOFD法(Time of flight diffraction)は送信探触子と受信探触子とを対向させて配置し、材料内の欠陥の上端部および下端部で生じる回折波を受信する。

【特長】
・欠陥高さが精度良く計測できる
・探傷結果が画像として出力されるため、ビジュアル的な欠陥の存在を示すことができる
・欠陥のスクリーニングとサイジングを同時に可能



TOFD法概要図

A:表面透過波
B:欠陥上端の回折波
B':欠陥下端の回折波
C:底面反射波
d:欠陥深さ



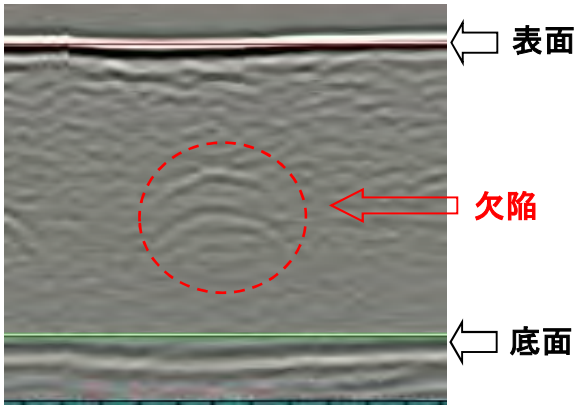
探傷波形



TOFD装置



溶接部検査状況



TOFD出力画面

超音波板厚計測



超音波厚さ測定



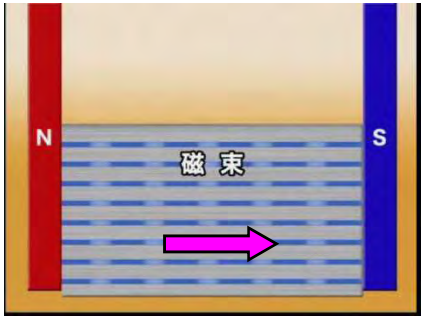


超音波探傷試験の垂直探傷法を板厚計測に特化。

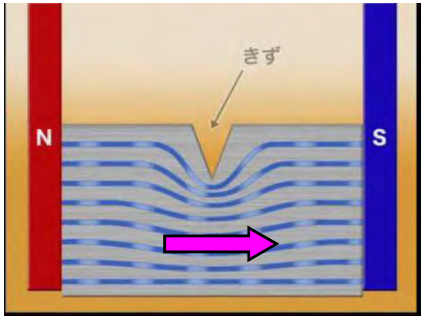
②磁粉探傷試験（MT）

Magnetic Particle Testing

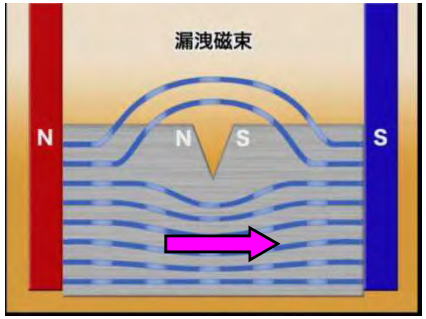
原理



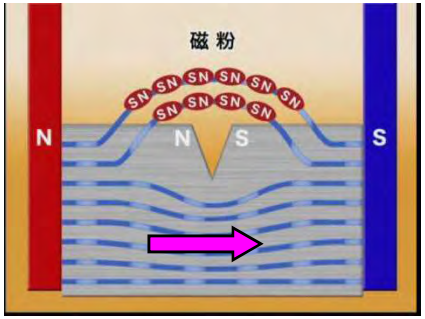
強磁性体が磁化されると磁束が流れる



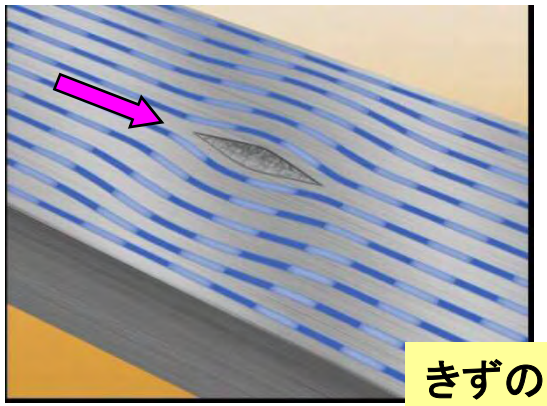
そこに傷があると磁束が内部に迂回する

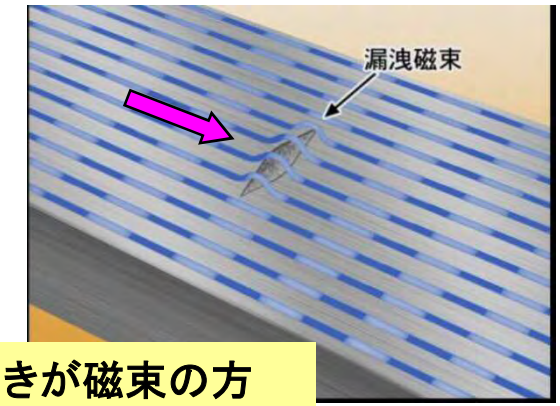


磁束が大きくなると外部に漏洩する



そこに鉄粉を振りかけると吸着して磁粉模様が形成される





きずの向きが磁束の方向に直角の場合が漏洩磁束が最大になる

磁粉探傷試験（MT）の特徴

特徴

①部材表面，または表面付近の損傷の検出

②方法が簡易で亀裂の検出に優れている.

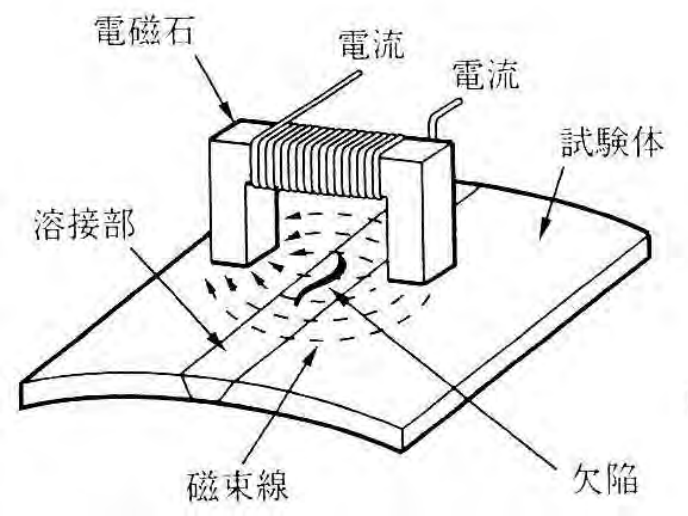
③鉄鋼材料等の磁性材料のみで適用可能

④内部損傷は測定不能

⑤亀裂の深さが測定不能

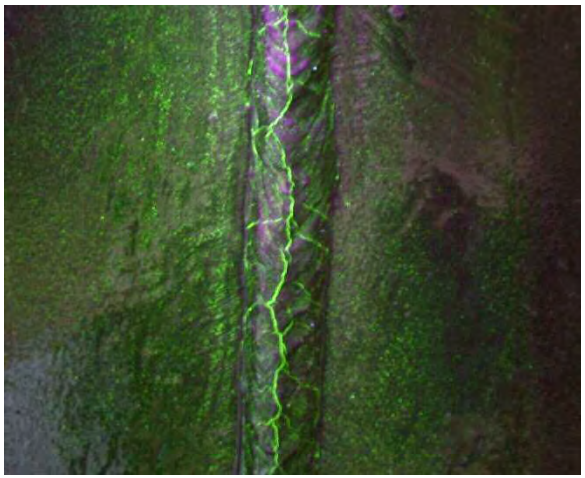
※中国地整では、2mmの表面切削で亀裂の消失の有無を確認することになっている。

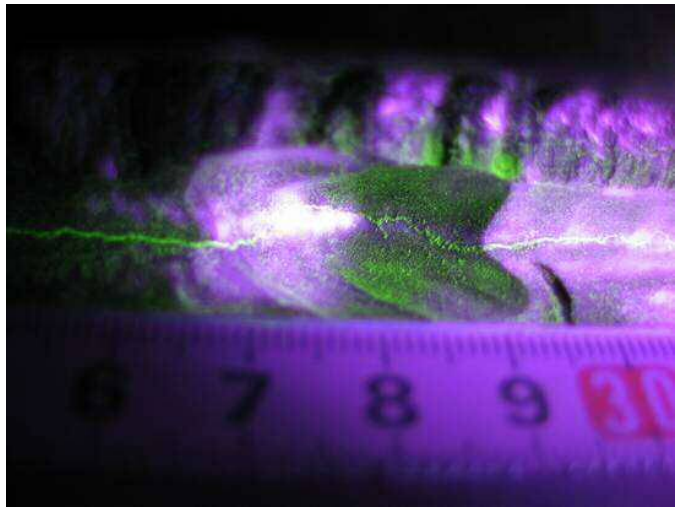
磁粉探傷試験（MT）の方法と事例



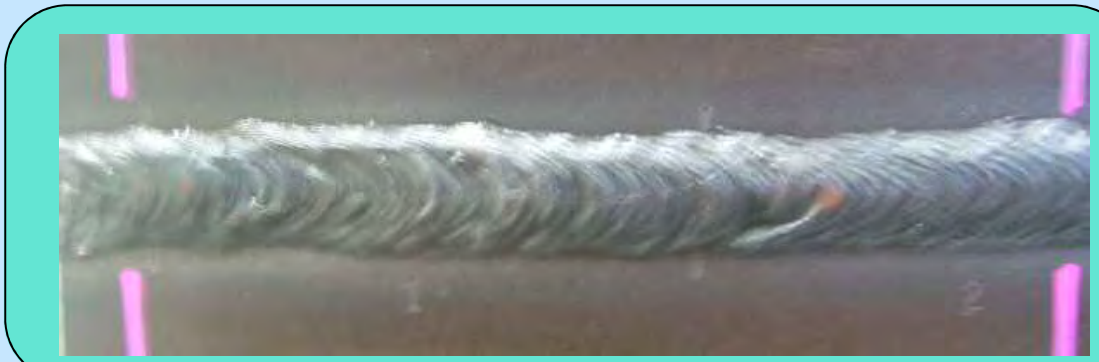


極間法

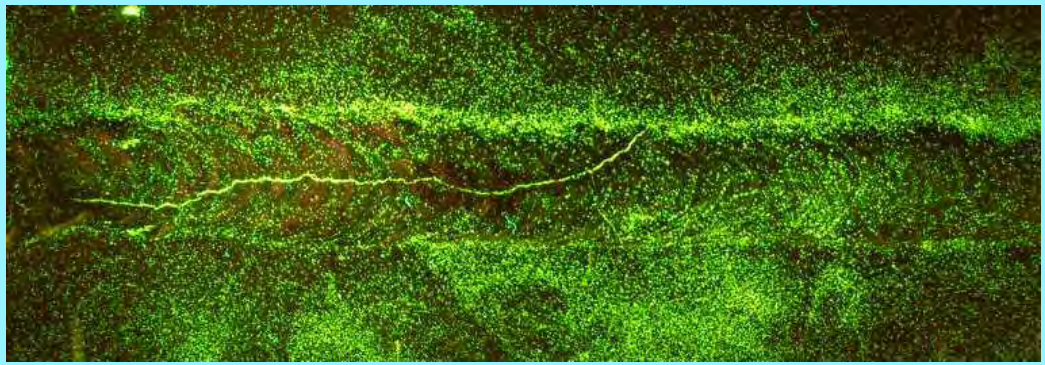




磁粉探傷試験（MT）の方法と事例



溶接部



磁粉探傷試験
指示模様例

極間法

磁粉探傷試験（MT）の方法と事例

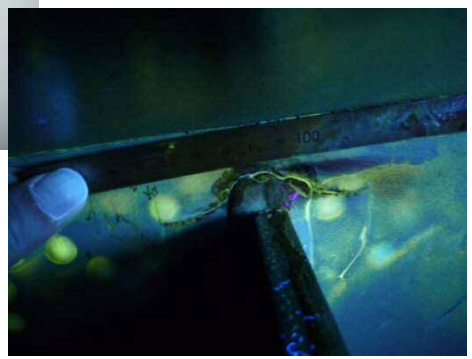
橋脚の磁粉探傷試験事例

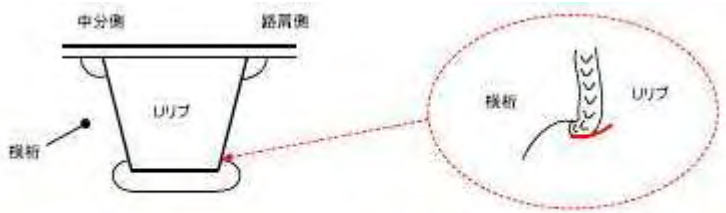




<極間法、赤色湿式磁粉>









<極間法、黒色湿式磁粉>



<極間法、蛍光湿式磁粉>

鋼床版の磁粉探傷試験事例

③浸透探傷試験(PT)

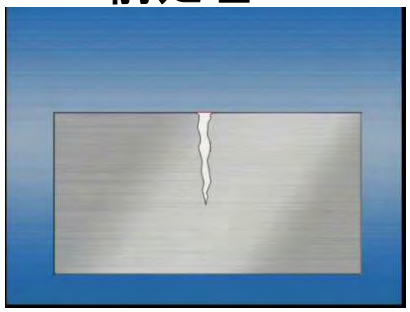
Penetrant Testing

原理

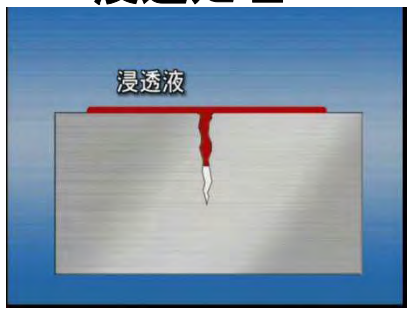
①毛細管の原理を利用.

②幅の狭い欠陥に液体を染み込ませ，染み込んだ液体を再度表面に吸い出す.

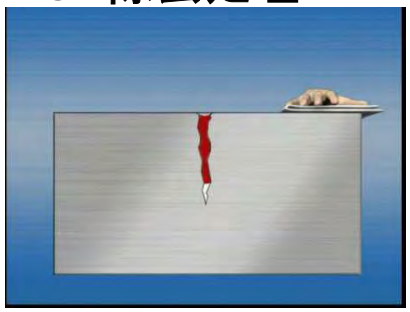
1. 前処理



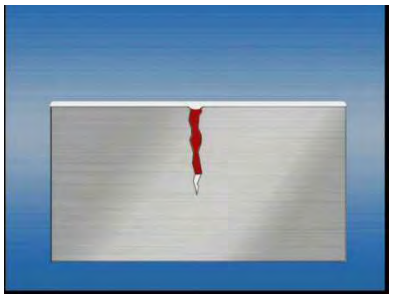
2. 浸透処理



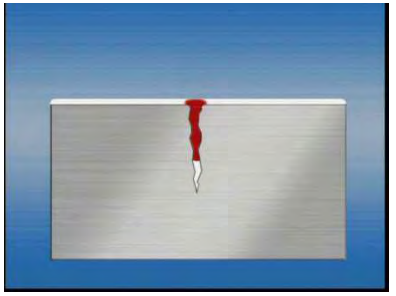
3. 除去処理



4. 現像処理



5. 観察



浸透探傷試験(PT)の特徴

特徴

①溶接部、母材の表面欠陥(亀裂)の検出

②材質を選ばない

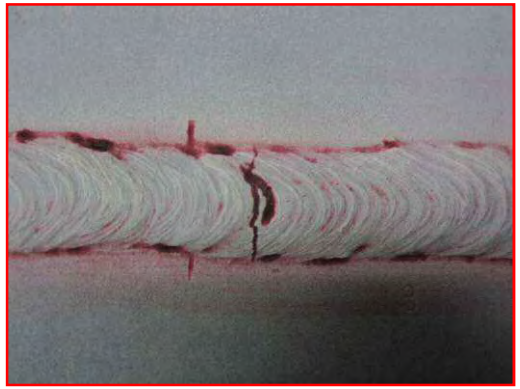
③作業効率がよい

④写真などにより記録が容易

⑤内部損傷は測定不能

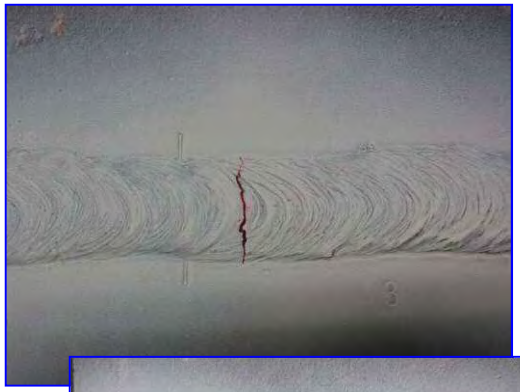
⑥多孔質材料および表面の粗い材料は不可

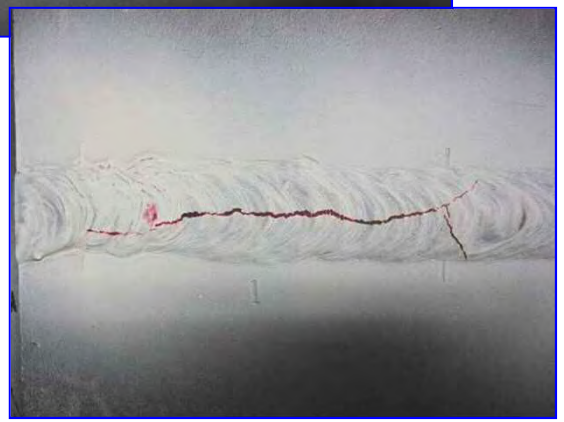
浸透探傷試験(PT)
Penetrant Testing



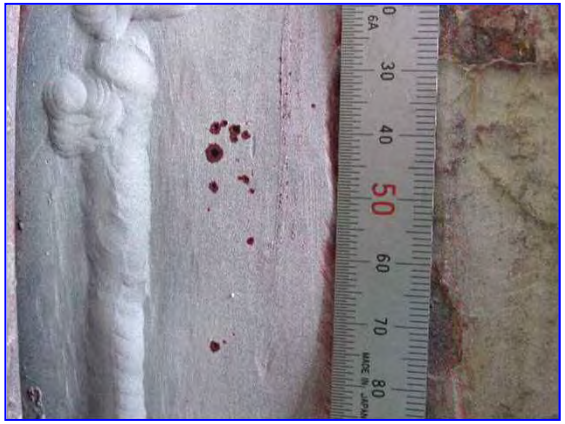
右：正しく実施されたPT
（われ指示模様）

左：洗浄不足

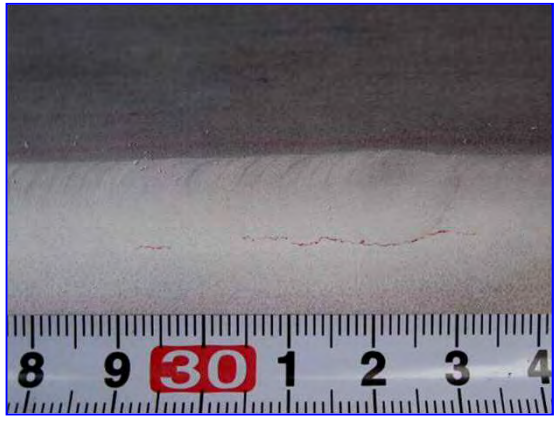




線状指示模様

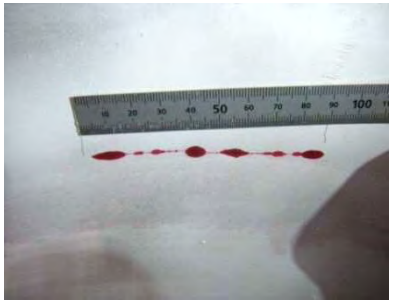


円形指示模様



線状指示模様

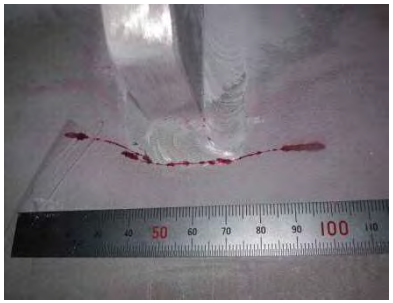
浸透探傷試験(PT)の事例



軸フランジ付根部の
ねじれによる疲労われ
（綿棒状指示模様）



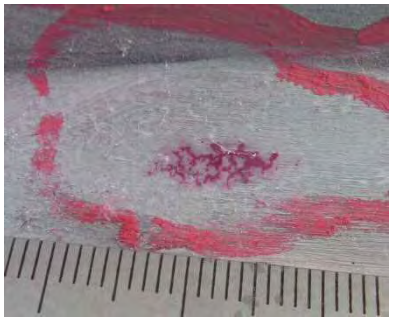
溶接部の縦われ横われ



止端部からの疲労われ



ステンレス(SUS) の
応力腐食割れ
Stress Corrosion Crack (SCC)



クレータ割れ

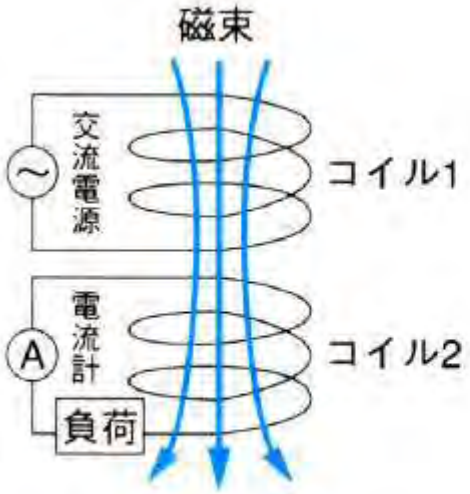
④渦流探傷試験(ET)

Eddy Current Testing

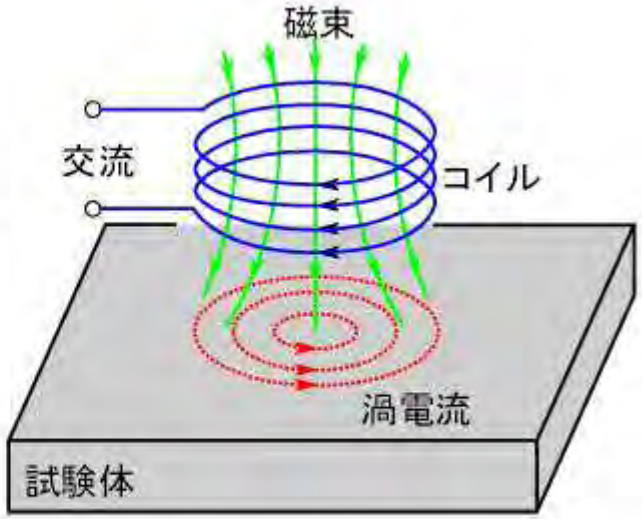
原　理

交流を流したコイルを試験体に近づけ，磁界の作用によって試験体に発生する渦電流が欠陥の影響で変化する.

コイル側の電流変化で検出



電磁誘導現象



渦電流の発生

渦流探傷試験(ET)の特徴

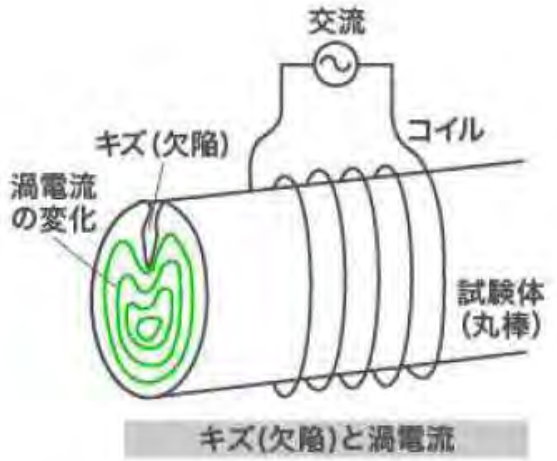
特徴

①表面の亀裂検出に適する

②磁性材料の管，棒，線等に対し高速度で検査出来る

③試験体に非接触であり自動化が容易

④内部欠陥の測定不能



渦流探傷試験(ET)の特徴

非接触であるため塗装上から検査が可能
傷を信号で判断する。



Uリブ溶接部の探傷





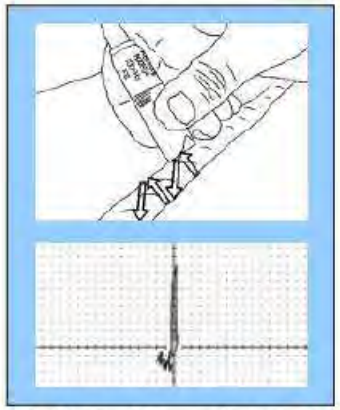
渦流探傷器



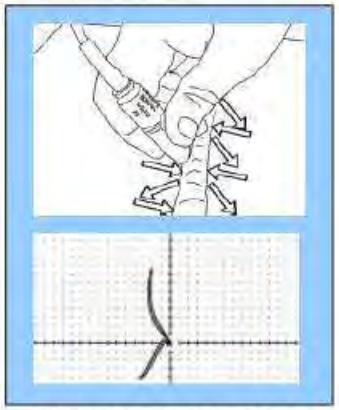
溶接部検査用ETプローブ







溶接ビード上の走査方向
ときず信号



熱影響部の走査方向と
きず信号

メーカー資料より

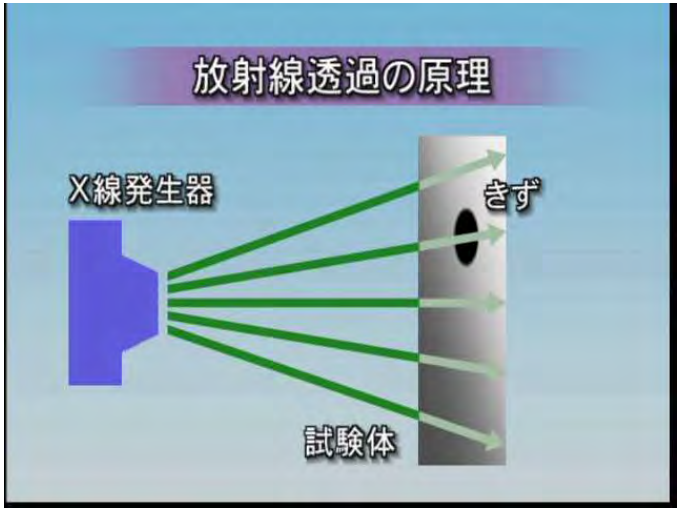
⑤放射線透過試験（RT）

Radiographic Testing

原理

①構造物に放射線（X線、ガンマー線）を照射する

②試験体を透過した放射線量を裏側に設置したフィルムあるいはデジタル画像として処理できる媒体に感光させ，その濃淡で欠陥位置を把握する



放射線透過試験（RT）の特徴

特徴

①溶接部の欠陥，ブローホール，スラグの巻込みの検出

②損傷の状態が画像として観察・目視できる

③材質に制限がなく，適用範囲が広い

④X線、ガンマー線作業主任者の管理下での作業と安全管理に充分な対策が必要

⑤機材が大きい

⑥結果が即時に判別できない

（デジタル処理により現地での判別が可能）

放射線透過試験(RT)の事例



ライナック　6Mev

対象板厚(鋼)

50mm～400mm

直線加速器



可搬式　450kvp

対象板厚(鋼)

数mm～110mm

X線管



ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ 250kvp

対象板厚(綱)

数mm～30mm

X線管

2. コンクリート部材の非破壊検査法

①反発硬度法（シュミットハンマー法）	コンクリート表層部の圧縮強度
②超音波法	厚さ、ひび割れ、空隙、はく離
③電磁誘導法	鉄筋、シース管位置、かぶり
④電磁波レーダー法	鉄筋、シース管位置
⑤放射線透過法	鉄筋位置、グラウト充填
⑥自然電位法	鉄筋腐食
⑦赤外線法	はく離、空隙

※その他、

①反発硬度法（シュミットハンマー法）

原理

①先端が半球状のハンマーをコンクリート表面に打撃し、ハンマーの跳ね返り高さが反発硬度として記録される

②反発硬度が弾性係数と比例関係に有ることを利用

特徴

①間接的に簡便で迅速に圧縮強度をある程度推測できる

②圧縮強度の推定値の誤差が大きい。20cm以下の薄い部材厚で誤差は大きくなる

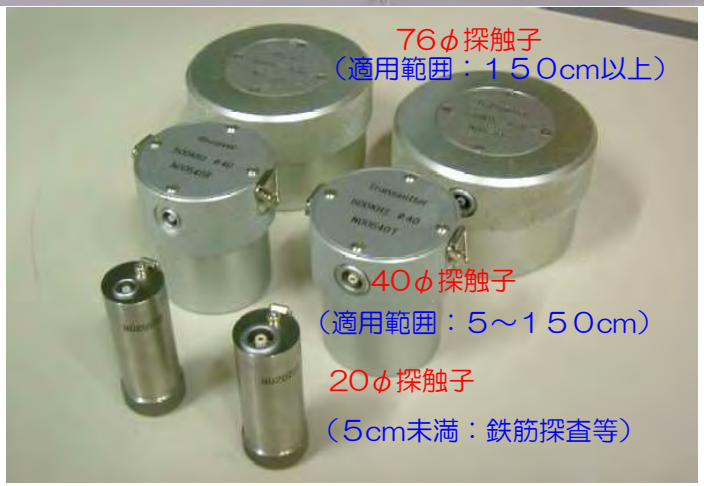


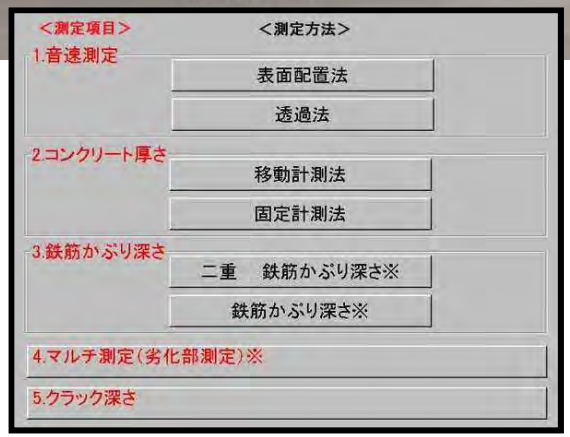
シュミットハンマー　１箇所につき20回打撃

②超音波法


制御用ノートPC
本体装置
（パルス発生器）
探触子


一体型装置
電池
探触子
本体装置


76φ探触子
（適用範囲：１５０cm以上）
40φ探触子
（適用範囲：５～１５０cm）
20φ探触子
（５cm未満：鉄筋探査等）


＜測定項目＞
＜測定方法＞
1.音速測定
表面配置法
透過法
2.コンクリート厚さ
移動計測法
固定計測法
3.鉄筋かぶり深さ
二重　鉄筋かぶり深さ※
鉄筋かぶり深さ※
4.マルチ測定（劣化部測定）※
5.クラック深さ

超音波法の特徴

特徴

①コンクリートの版厚

②ひび割れ深さ

③ジャンカ、空洞、はく離

④コンクリートの品質
（強度、水セメント比の推定）

等が測定可能

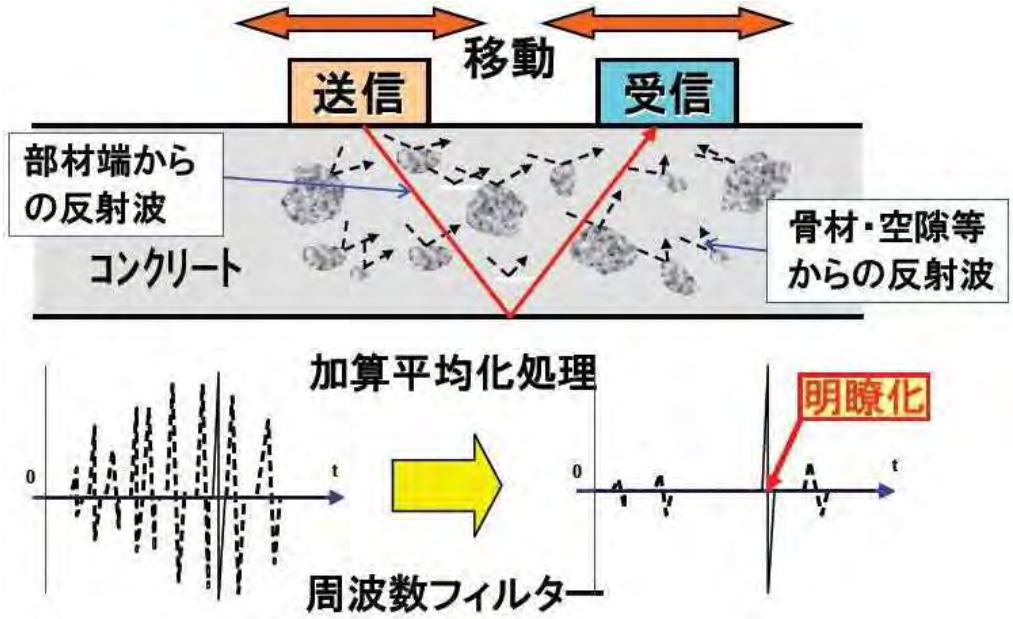
⑤反射波のノイズを把握し測定するには熟練を要する

⑥記録が保存しにくい

⑦損傷の形状が把握しにくい

土木研究所　非破壊検査によるコンクリート構造物の強度測定試行要領　H19年

加算平均処理による散乱波の除去



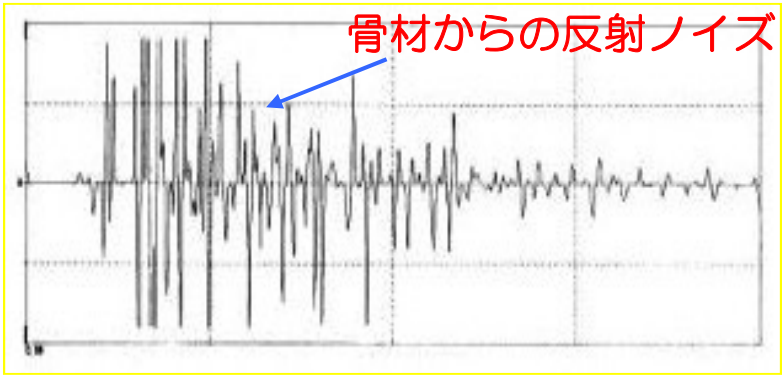
全ての反射波を受信　　ﾀｰｹﾞｯﾄ波を明瞭化

底面からの反射波の
伝播時間は常に一定

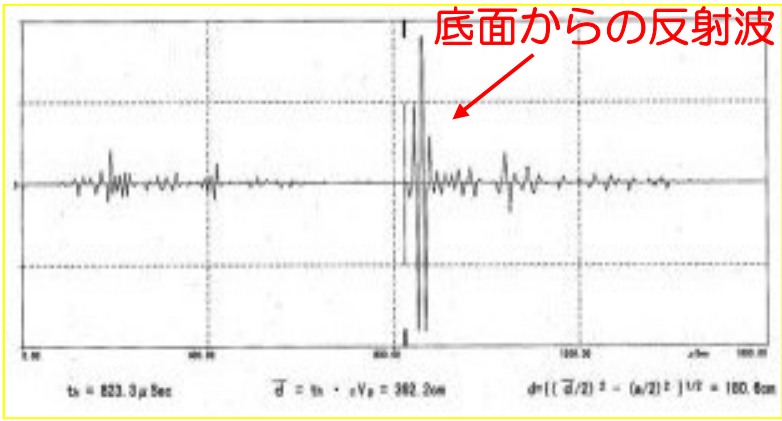
骨材からの反射波の
伝播時間は変化する

加算平均化処理により骨材
からの散乱波が除去される

従来の超音波技術による厚さ測定結果



巨視的超音波技術による厚さ測定結果
（加算平均処理後）



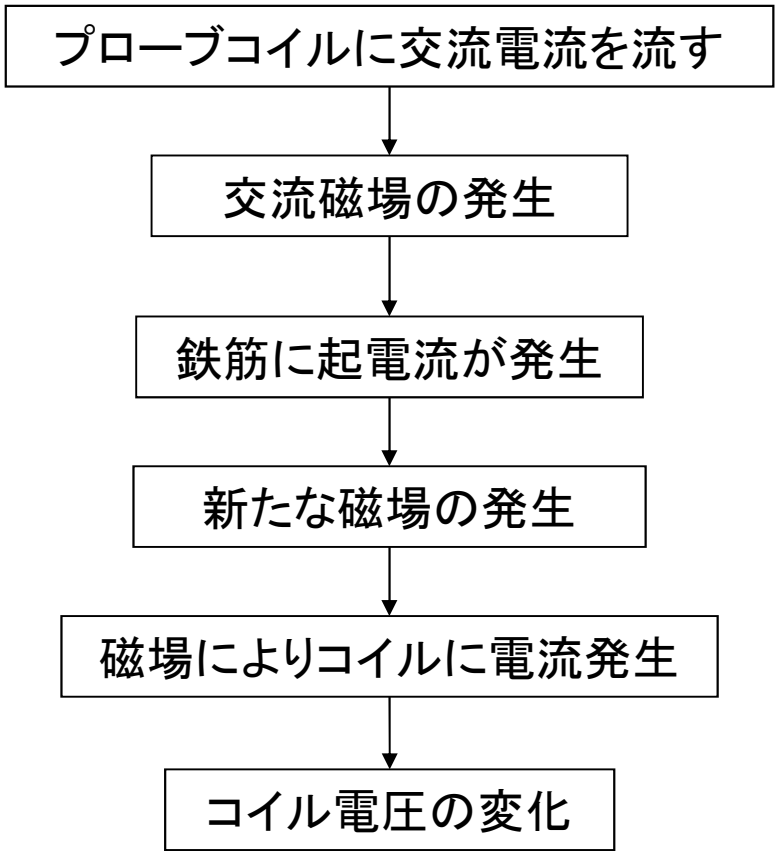
③電磁誘導法

原理

プローブ内部の励磁コイルに電流を流し、交流磁場を発生させる。

電磁場内に鉄筋などの磁性体が存在すれば、その磁性体に新たに電流が流れ、同時に磁場が形成される。

その磁場の変化によってプローブ内部の検出コイルに電流が発生し、コイル電圧が変化し、この変化を計測し数値処理することによって、鉄筋位置、かぶり厚を測定する。



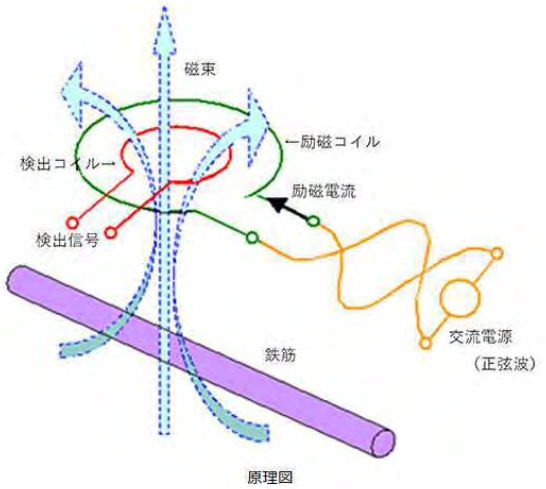
電磁誘導法　装置と計測状況



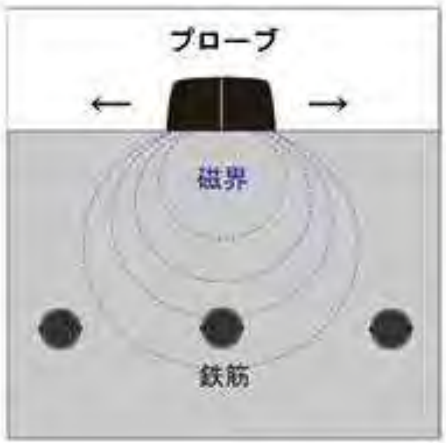
計測装置



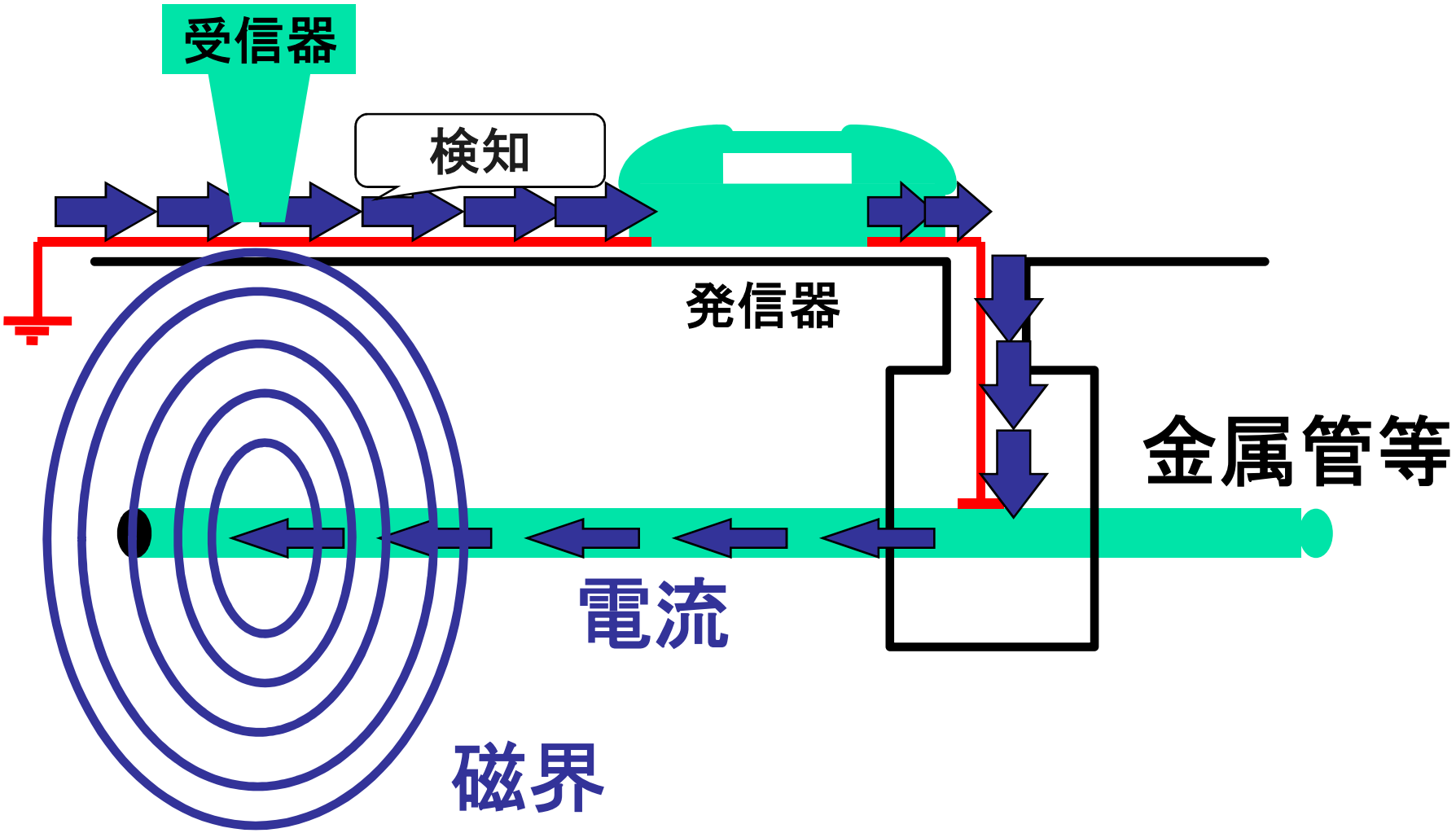
計測状況



原理図



電磁誘導法による埋設物探査方法の事例



④電磁波/レーダ法

原理

レーダ法は、アンテナからコンクリート内に向けて電磁波を放射し、その電磁波がコンクリートと電気的性質の異なる物質（鉄筋、配管、空洞など）から反射して戻ってくる際の伝達時間を計測する。
この伝達時間にコンクリート中の電磁波の伝播速度を乗じることにより、反射物体までの距離(深さ)を計り、またアンテナをコンクリート表面上を移動させることにより、水平位置を測定する。



鉄筋探査状況

電磁波/レーダー法の特徴

特徴

①非開削で空洞・鉄筋を探査.

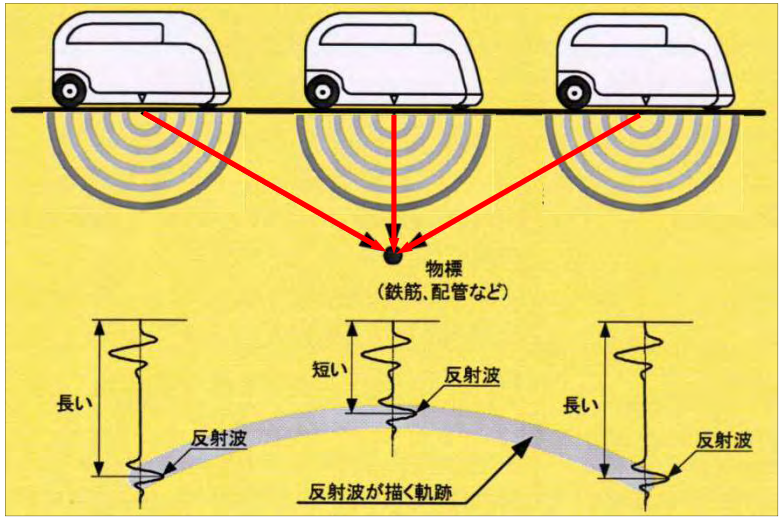
②材質によらず探査可能.

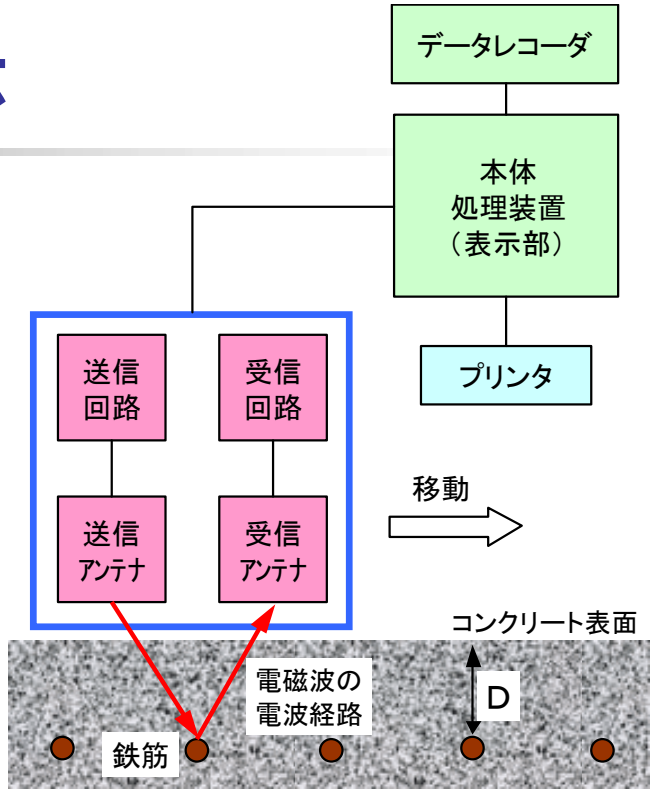
③探査精度が高く、測定速度が速い.

④電磁誘導法と併用することにより精度を向上できる.

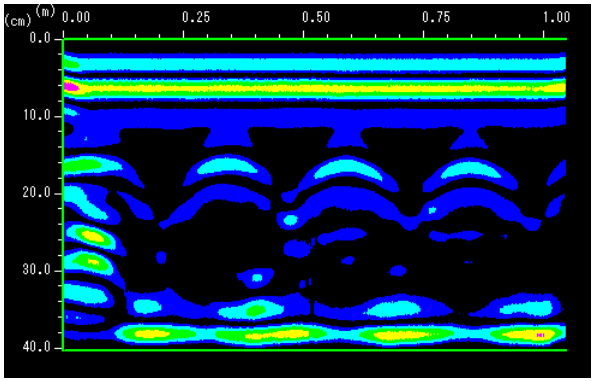
⑤探査技術の取得が必要.

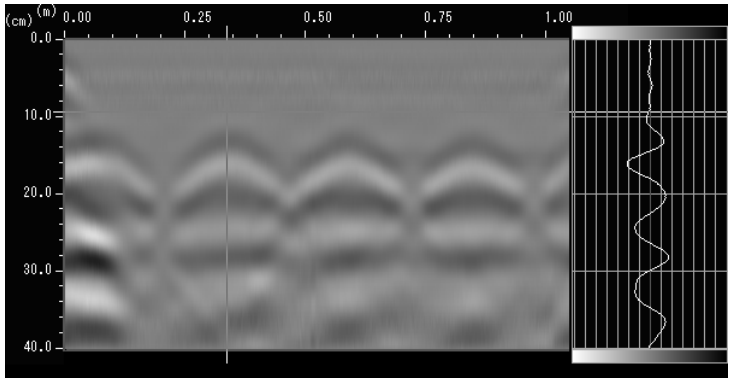
電磁波/レーダー法





電磁波レーダーによる鉄筋探査の原理

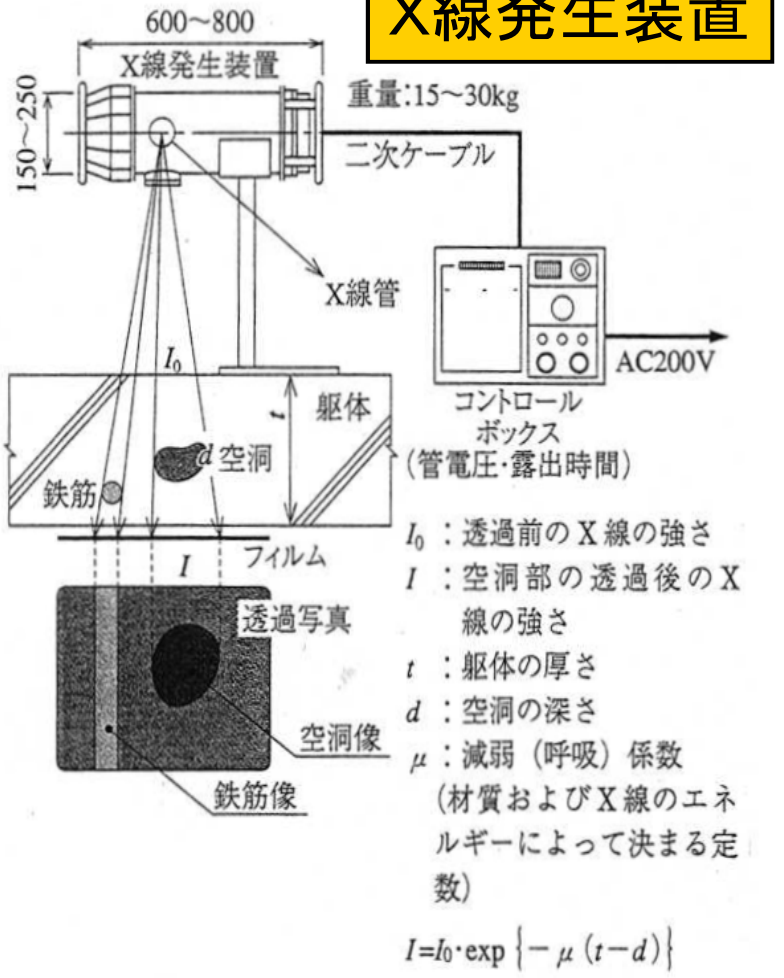




【鉄筋探査　出力結果例】

⑤放射線透過法

X線発生装置



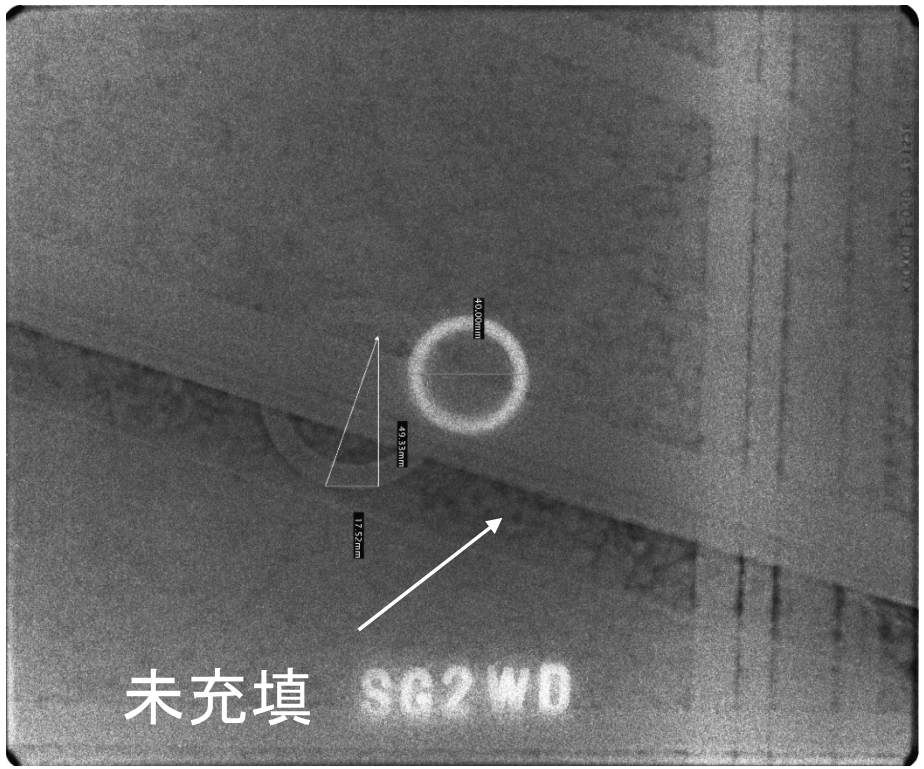
原理

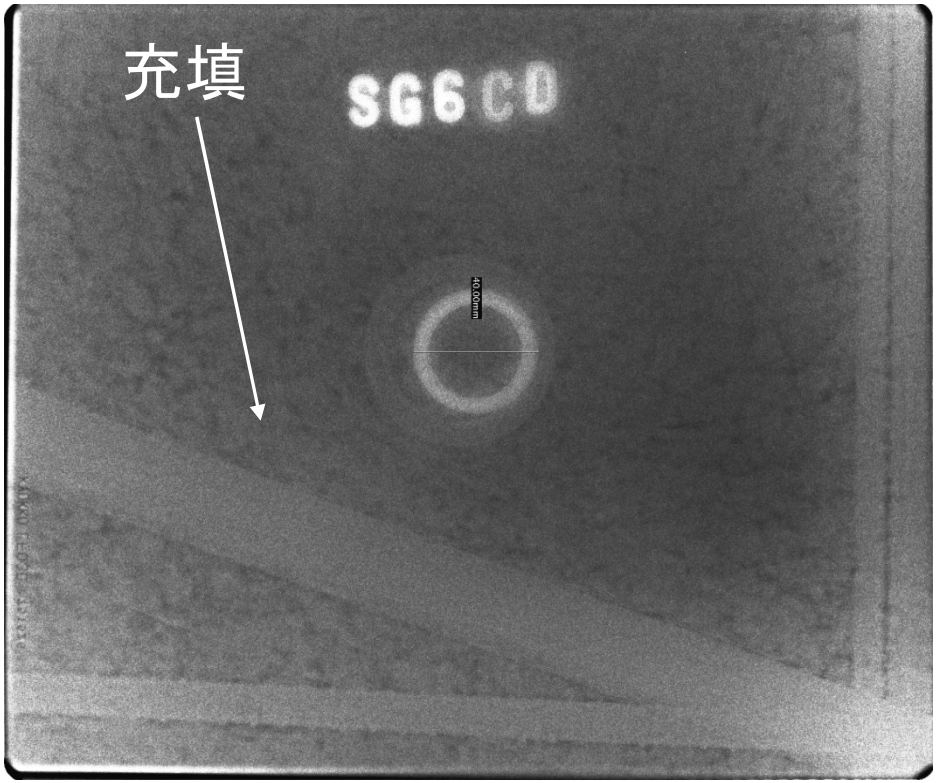
①構造物に放射線（X線、ガンマー線）を照射する

②試験体を透過した放射線量を裏側に設置したフィルムあるいはデジタル画像として処理できる媒体に感光させ，その濃淡で欠陥位置を把握する

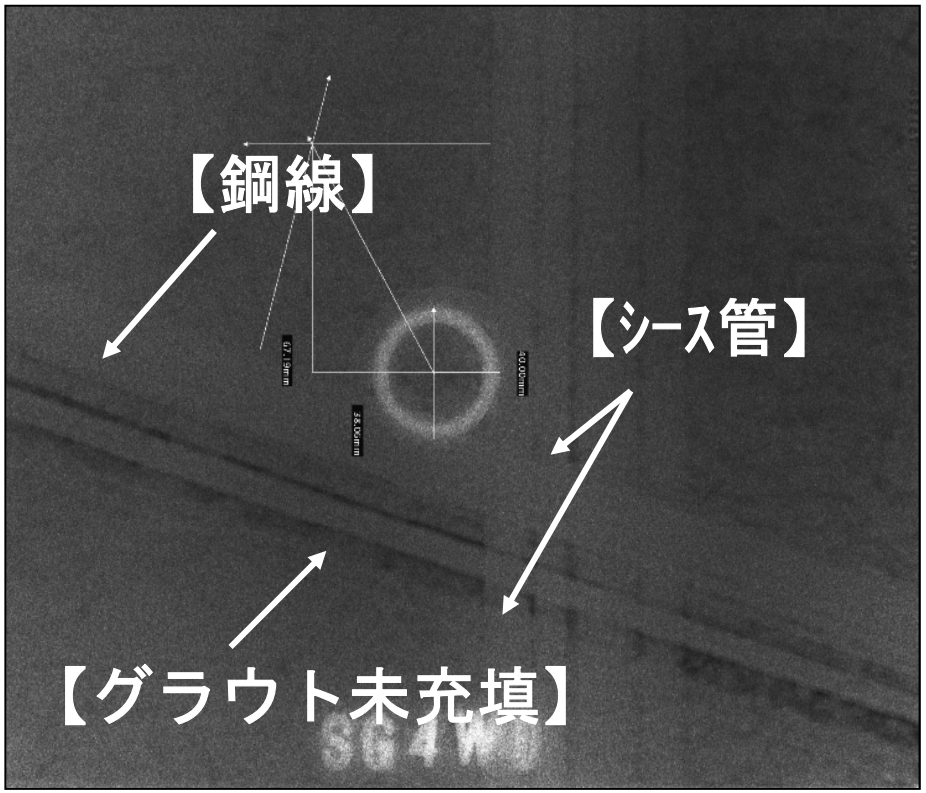
・撮影媒体は、透過してきたX線の強さに応じて黒化する。
・X線の減弱量は物質の密度に比例。
・コンクリートより密度の高い鉄筋は白く写り、密度の低い空洞は黒く写る。

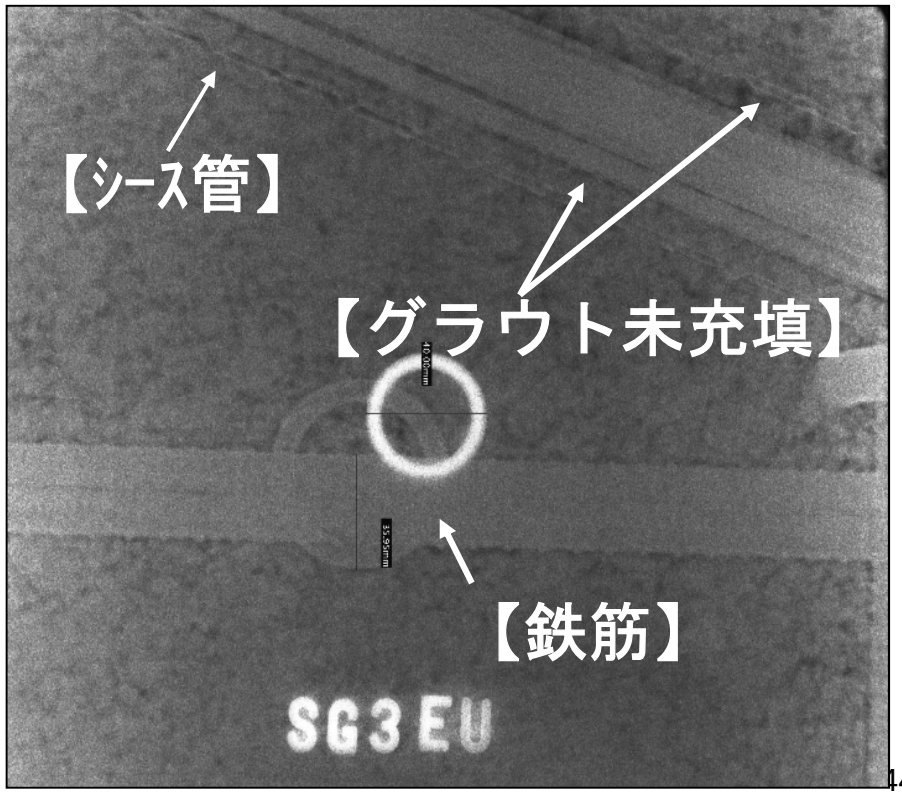
【撮影事例】PC橋主桁ウェブ





【撮影事例】PC橋主桁ウェブ





⑥自然電位法

原理

①腐食部と非腐食部の間に電位勾配が生じ、腐食電流が流れる。

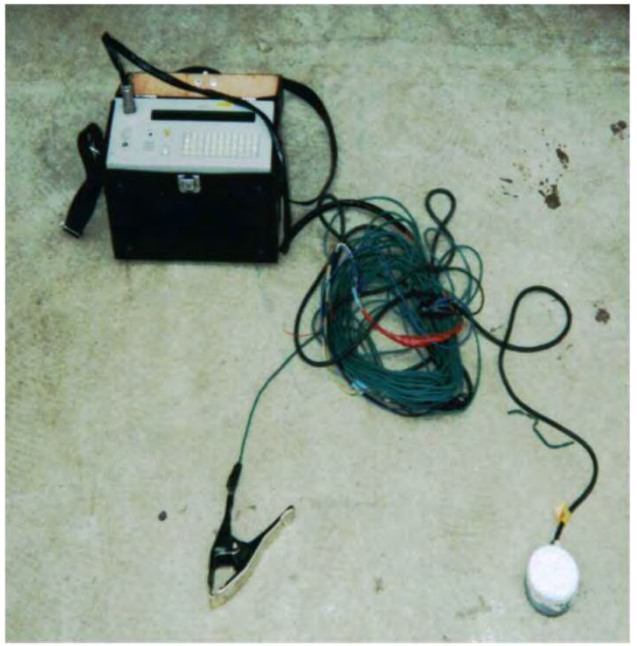
②コンクリート表面から電位勾配（自然電位）を測定し、腐食反応の活性度を確認する。

③測定対象鉄筋等を露出させ測定端子とする.

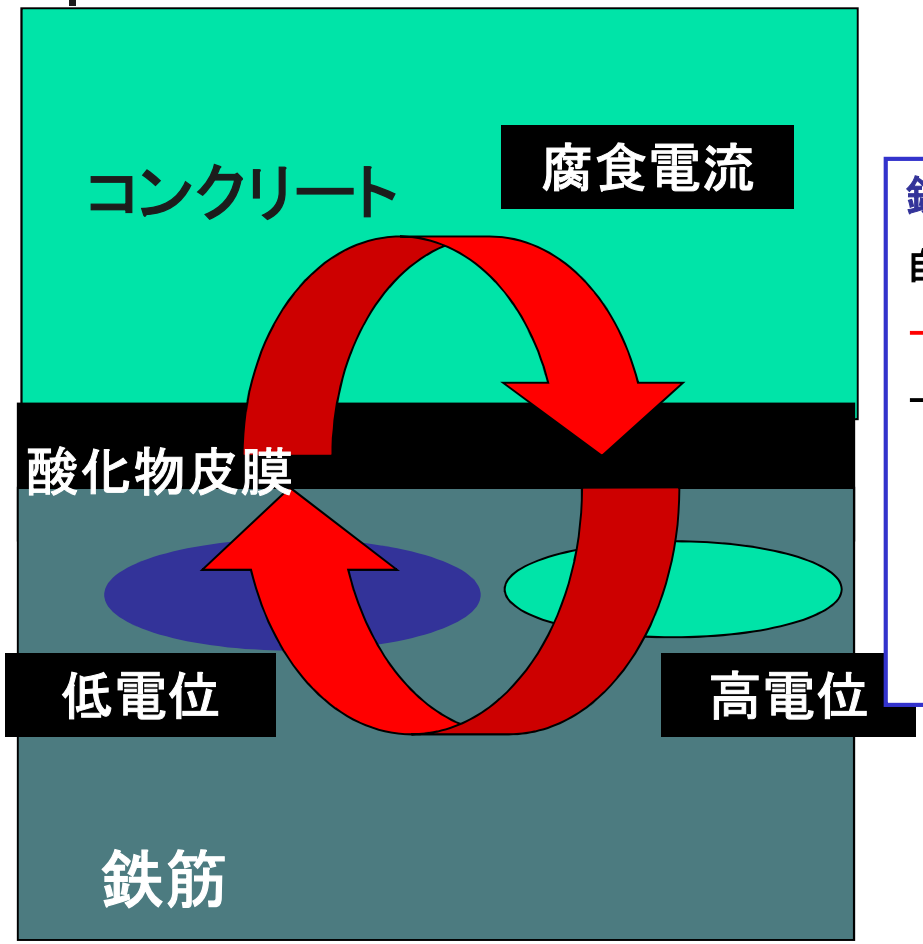
④コンクリート表面を湿らせ探触子を接触させる.

⑤探触子と測定端子の間の自然電位を測定する.

⑥鉄筋腐食を推定する.



自然電位法



鉄筋腐食の可能性

自然電位　　E

－200mv ＜ E　　腐食が生じていない

－300mv ≦ E ≦－200mv　腐食が生じていない場合と生じている場合がある

E ≦ －300mv　腐食が生じている

腐食部と非腐食部の間に電位勾配が生じで腐食電流が流れる

自然電位法の特徴

特徴

①初期の鉄筋腐食の診断に有効.

②装置が簡易である.

③測定電極と接触子の間のコンクリートの性状(被り厚、含水率、中性化深さ、塩化物量等)に影響される.

④相対的な鉄筋の腐食具合のみの推定調査となる.

⑤コンクリート表面を十分に湿らせる必要がある.

⑥1箇所鉄筋をハツリ出す必要がある.

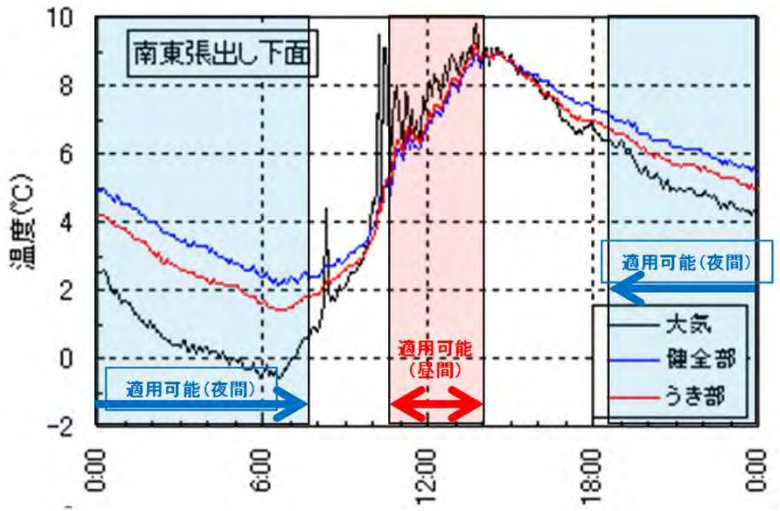
⑦赤外線法（サーモグラフィ）

原理

① 浮き・はく離などの空隙部は、コンクリート中の熱伝導で断熱し、健全部と異なる表面温度分布を示す

② 赤外線サーモグラフィで温度分布を画像化し、欠陥を判定する

③ 判定には、１日２回チャンスがある
昼間：日射、気温上昇により吸熱（浮き部高温）
夜間：気温下降により放熱（浮き部低温）







赤外線サーモグラフィ撮影状況

赤外線法（サーモグラフィ）

特徴

①非接触によるため、路下の安全な場所から点検が可能

②広範囲の測定が可能で、画像で示されるため判定しやすい

③表層数cmの浮き・はく離は高い精度で検出

④温度変化が必要で、温度変化が微小な場合は測定が困難

⑤表面の光沢、汚れが結果に影響することがある

⑥微少欠陥の検出は困難

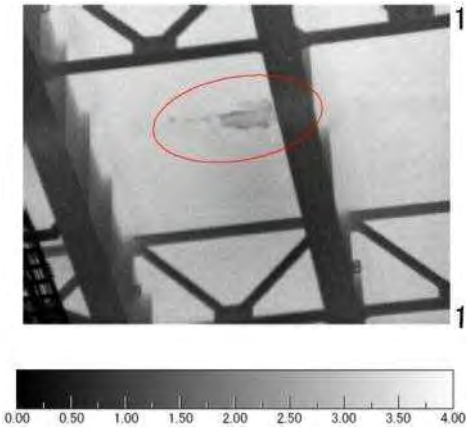
↓

近年の赤外線サーモグラフィは温度感度、解像度が向上！

赤外線法（サーモグラフィ）

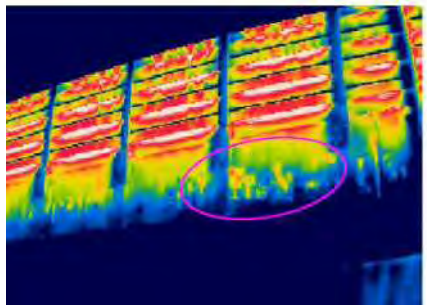
【調査事例1】 コンクリート床版下面の剥離



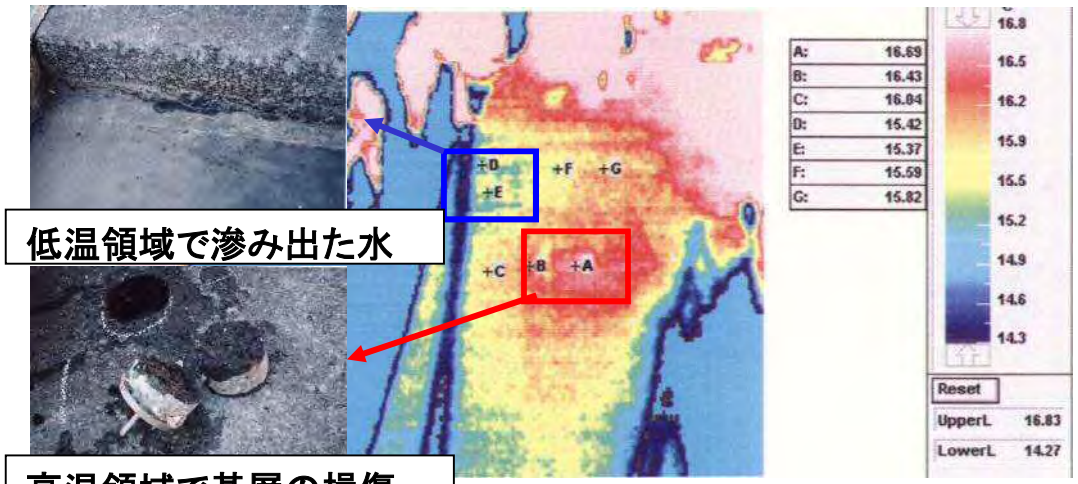


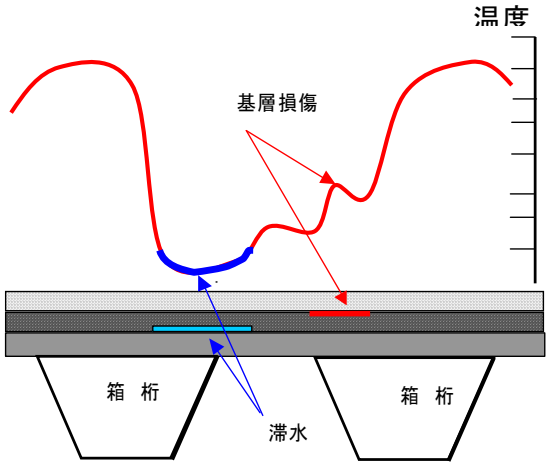
【調査事例2】 コンクリート高欄の剥離





【調査事例2】 鋼床版舗装の滞水、剥離





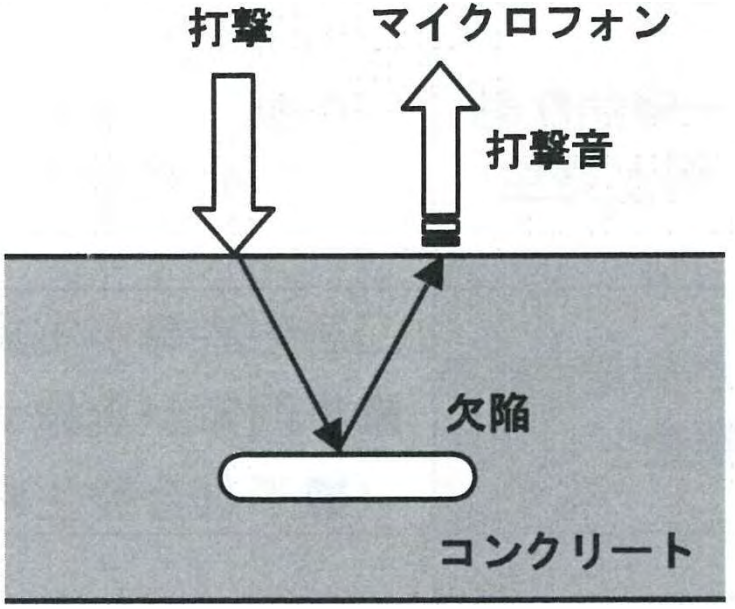
その他（打音法、衝撃弾性波法）

打音法

検査用のハンマーを用いて対象を打撃し、その反射音で異常を検知する。
内部に空隙が存在すると、表層部が健全部に比べ振動しやすくなる原理を応用している。
一般的な橋梁点検では、点検員が打音の高低（清濁）などで損傷の有無を聴力で判断する。



点検ハンマーは重量が1／2ポンド（約230g程度）を用いる打音検査の密度は（間隔）は、原則として縦横200m程度を目安に行う



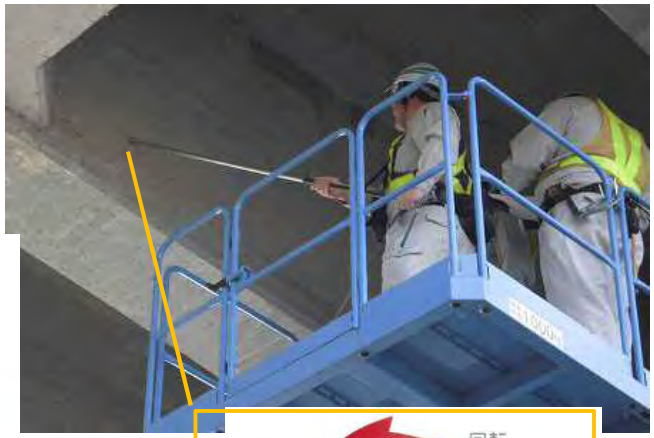
打音が清音（澄んだ乾いた音）であればうき、剥離はない。濁音（濁った鈍い音）の場合はあると考える。

打音法、衝撃弾性波法

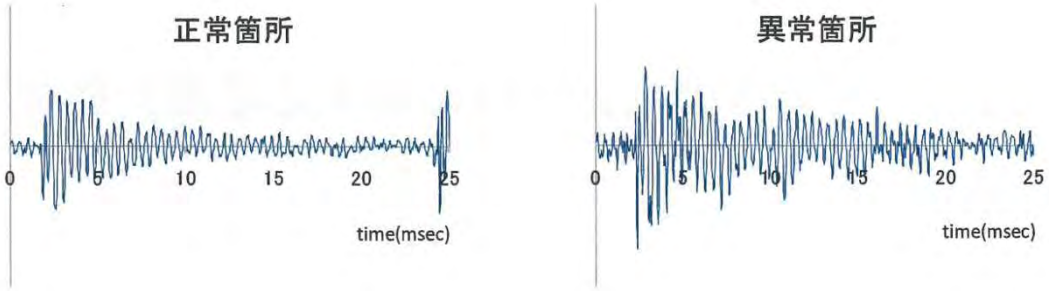
回転式打音法

ロッド先端に金属製の回転部を取り付けた試験器をコンクリート表面に押し当てながら回転させ、発生する打音の変化をもとにコンクリート内部の異常箇所を調べる方法。

内部の異常の有無によって、打撃力を受けたコンクリート表面の振動特性が異なるため、異常箇所では健全部に比べ、大きな反響音が長時間継続する傾向がある。



点検状況（ネクスコ東日本エンジニアリング）



回転式打音法を用いて正常箇所と異常箇所で得られる打音波形のイメージ



非破壊検査技術

【参考】 非破壊検査の動画が閲覧できるサイトのご紹介

一般財団法人　日本非破壊検査協会：http://www.jsndi.jp/



非破壊検査技術

END