

見えないものを

みる

る



株式会社 アイペック

見えないものをみる

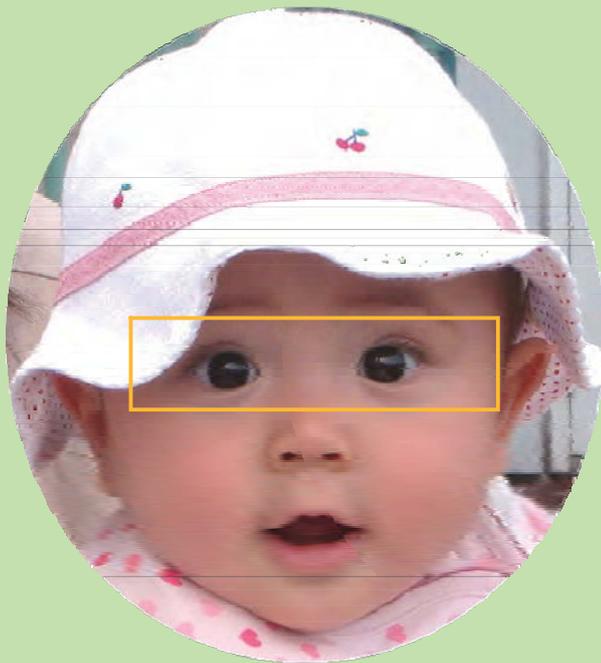
目次

はじめに 1

非破壊検査

超音波探傷検査(U T).....	1
鉄骨等溶接部の探傷.....	2
放射線透過検査(R T).....	3
放射線の影響.....	4
渦流探傷検査(E T).....	5
磁粉探傷検査(M T).....	6
浸透探傷検査(P T).....	7
歪(ひずみ)測定.....	8
温度測定.....	9
圧力測定.....	11
タンクローリーの漏洩検査.....	12
危険物地下タンクの液相部漏洩検査.....	12
振動法による精密診断.....	13
騒音・振動.....	15
A E(アコースティックエミッション).....	16
水力発電所における各種計測.....	17
水圧鉄管振動測定.....	17
流量測定.....	18
建造物の健康診断.....	19
鉄筋の調査.....	20
コンクリートレーダー.....	20
電磁誘導法.....	20
コンクリートの中性化試験.....	20
コンクリートコアによる中性化試験.....	21
鉄筋腐食度調査.....	21
アルカリ骨材反応による鉄筋の応力.....	22
コンクリート中の塩分濃度測定.....	22
圧縮強度.....	23
建築物の耐震診断.....	24
モニタリングシステム.....	27
橋梁における検査・計測・診断技術.....	29
R C橋・P C橋・鋼橋.....	29
木橋.....	31

見えないものをみる



はじめに

人は見た目には健康そうでも、実際には問題を抱え、成人病の発症寸前であることが知られたならば、健康管理に努めようと努力する。私たちは、子供の頃から定期的に健康診断を受診し、自分の体の管理をしている。そして、成人になると、その検診内容もより精密になり、これから先の病気等の予防のために、肉体の不調をいち早く見つけようと心掛けるものである。

機械設備、建造物等は、その多くが適切な点検・維持管理を行い、その寿命を延ばすことが社会的課題となって求められている。

以下に、現在どのように機械設備や建造物が、点検・検査・診断されているかを紹介する。その手法の原理などを知っていただくことで、今後どのような活用があるかを考えていただき、【見えないものをみる】ことができ、安全に対する意識を高めていただければ幸いである。

非破壊検査

定義：検査物を傷つけたり、破壊したりせずに、性質や状態、内部構造を知る方法。

目的：品質の評価や寿命の評価。

種類：目視検査

超音波探傷検査	Ultrasonic Testing	UT
放射線透過試験	Radiography Testing	RT
磁粉探傷検査	Magnetic Testing	MT
浸透探傷検査	Liquid Penetrate Testing	PT
渦流探傷検査	Eddy Current Testing	ET
その他		



超音波探傷検査

原理：人間の耳に聞こえる音波の周波数は約20Hz～20,000Hzで、これより高い周波数の音波を超音波と総称している。超音波は気体、固体、液体中を伝播し、また反射する性質を持っているが、この性質を利用すれば距離や大きさ、更に速度等を測定することができる。

性質：伝播速度

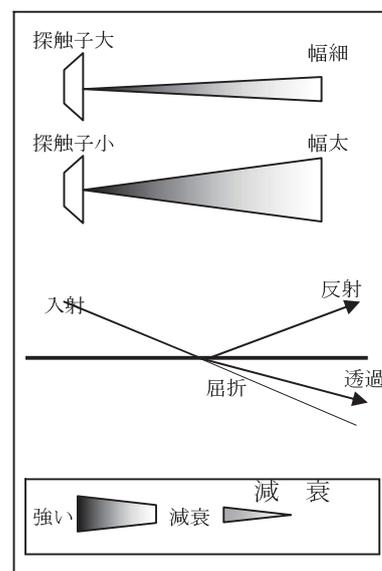
鉄	5850m/S	銅	4700m/S
水	1480m/S	空気	344m/S

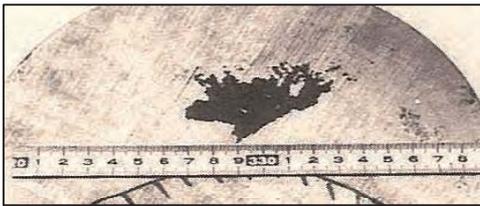
指向性：超音波が材料中を伝播する場合、周波数と音源の大きさに応じた広がりを持つ束として伝播する。

材料中を伝播する超音波は、指向性を有し、周波数が高いほど、振動子直径が大きいほど指向性が鋭くなる。

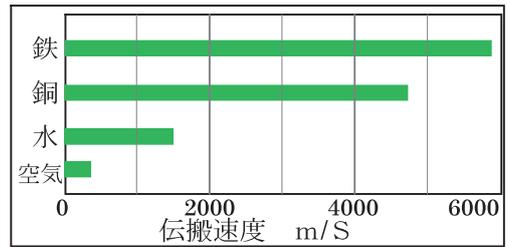
反射：材料中を伝播する超音波が他の材質との境界面に当たると、一部は反射し、一部は通過する。

減衰：超音波は、材料中を伝播するに従い、その強さが減衰する。材料中での拡散や損失、散乱、吸収がその原因である。

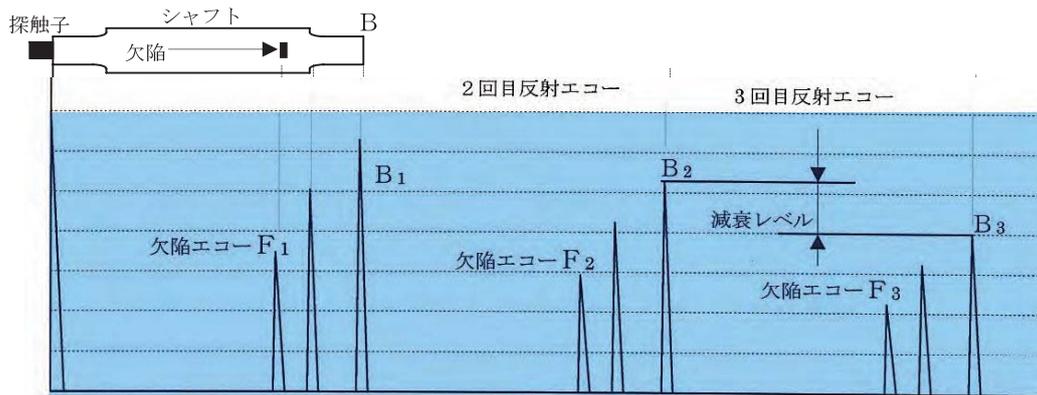




内部に欠陥のあったシャフト断面

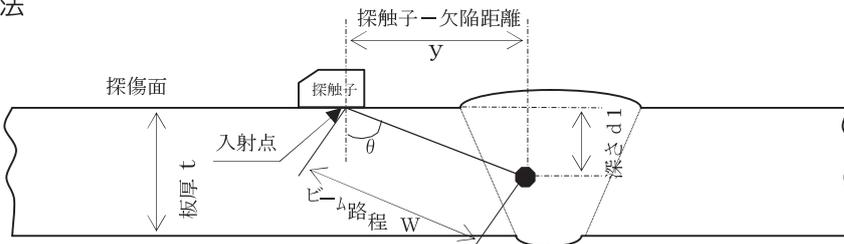


超音波のモニターへの現れ方



鉄骨等溶接部の探傷

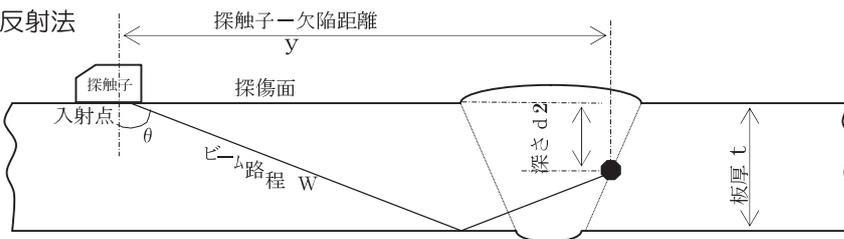
直射法



$$y1 = W \cdot \sin \theta$$

$$d1 = W \cdot \cos \theta$$

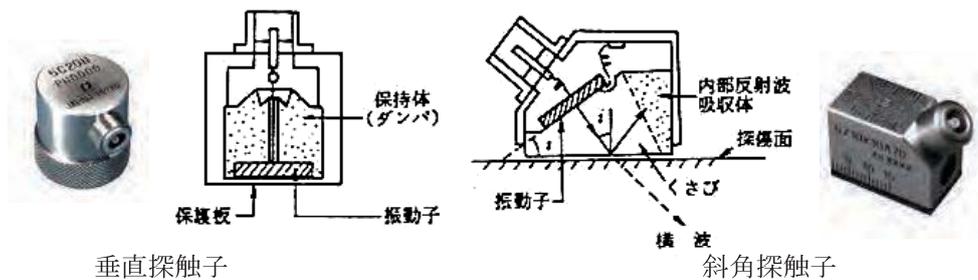
1回反射法



$$y2 = W \cdot \sin \theta$$

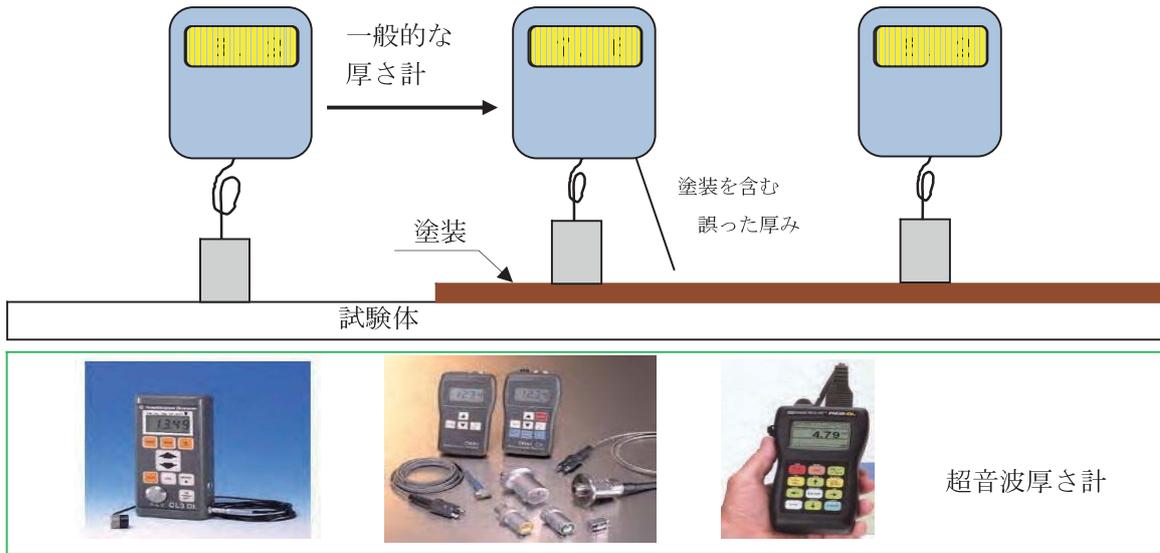
$$d2 = 2t - W \cdot \cos \theta$$

超音波探触子の構造



超音波厚さ計

超音波の反射する時間を測定すれば、鉄板を含めさまざまな材料の厚さ測定ができる。
厚さ測定器によって表面塗膜上から測定できるものとできないものがある。



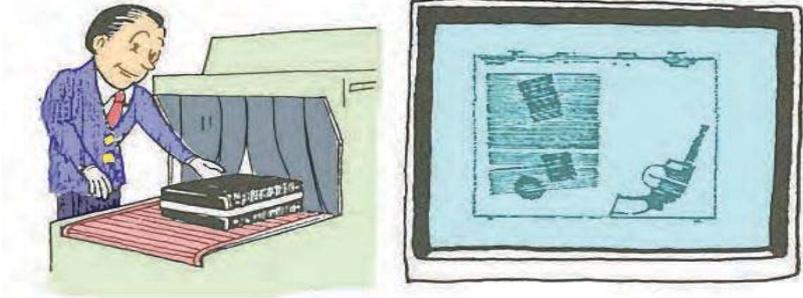
超音波厚さ計

放射線透過検査

原理：放射線の性質を利用して、試験体を通過した放射線を検出して可視像に変えて試験体の内部を知る方法である。

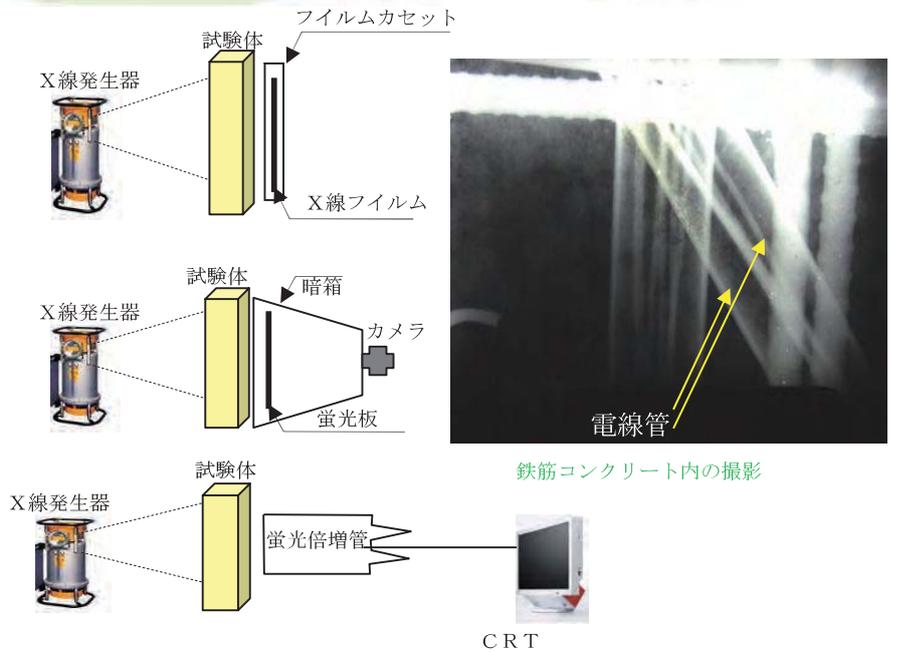


X線照射システム

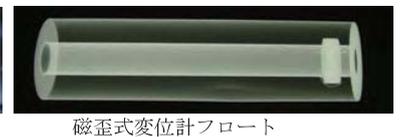
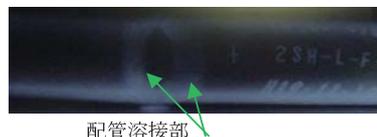
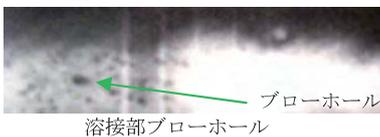


種類

- ① 直接撮影法
試験体を通過した放射線を直接X線フィルムに感光させる方法。
- ② 間接撮影法
試験体を通過した放射線を蛍光板で可視像に変えて、光学カメラで撮影する方法。
- ③ 透視法
試験体を通過した放射線を蛍光板で可視像に変えて、直接又はテレビモニターで観察する方法。



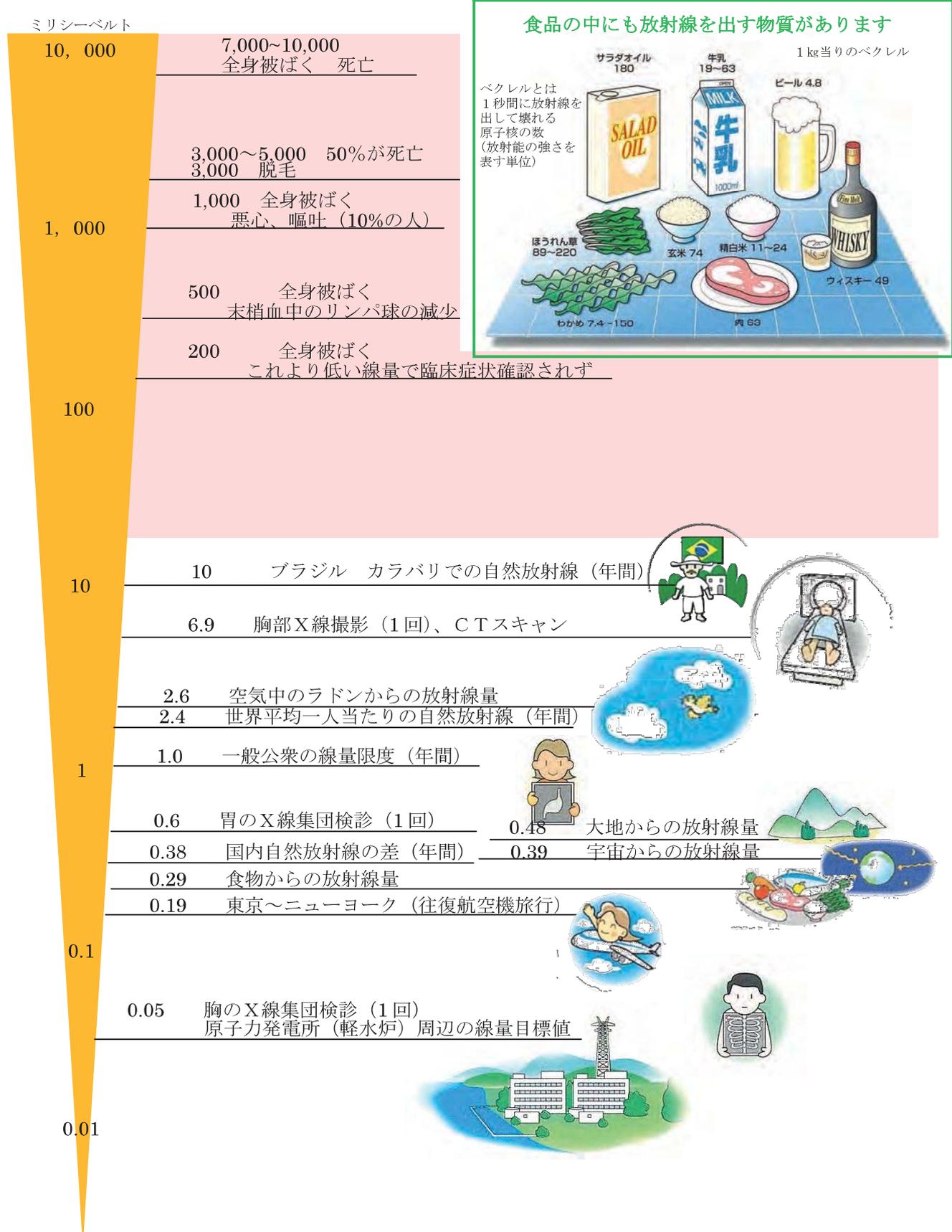
X線透過試験例



放射線の影響

2011年3月11日の東日本大震災以来、放射線の影響が懸念されてきた。これまで各国の専門家が放射線の影響について検討してきたが、現在では、放射線とその量がよくわかってきた。

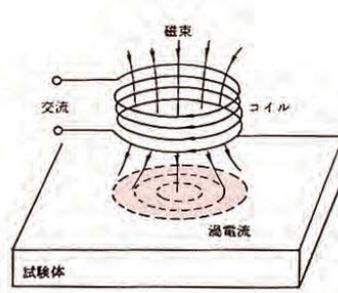
図は日常生活と放射線量の関係である。



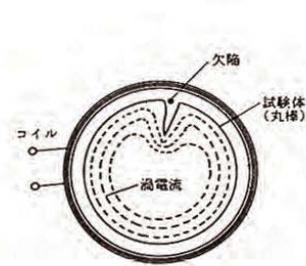
参照資料：日本原子力研究開発機構「放射線ってなんだろう？」より

渦流探傷検査

原理：金属などの導体に交流電流を流したコイルを近づけたとき、コイルの周囲に生じた磁界が導体に作用し、導体には導体を貫く磁束の変化を妨げるような起電力が生じる。導体にはこの起電力によって破線のように渦電流が流れる。もし、導体に欠陥があるならそのコイルのインピーダンスが変化することにより、欠陥を検出することができる。



渦電流の発生



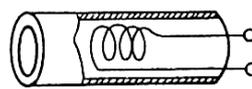
欠陥と渦電流

熱交換チューブ内面の欠陥検出の場合

交流電流の流れているコイルを配管内部に挿入し、欠陥によってインピーダンスの変化から出力を得る。



渦流探傷装置

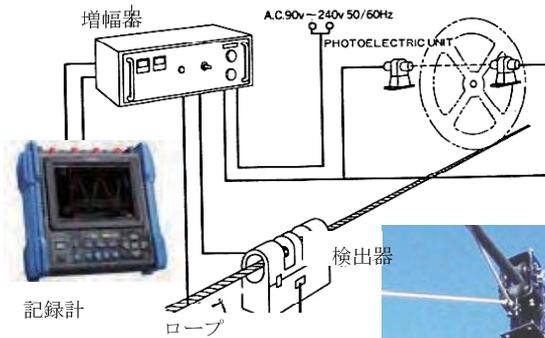
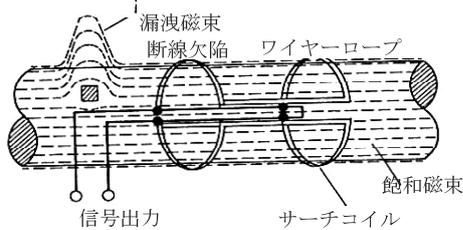


内挿型コイル

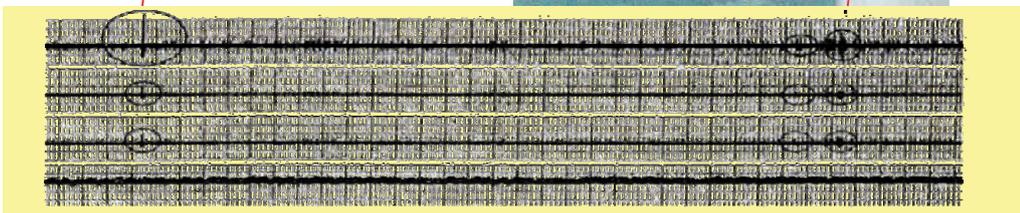
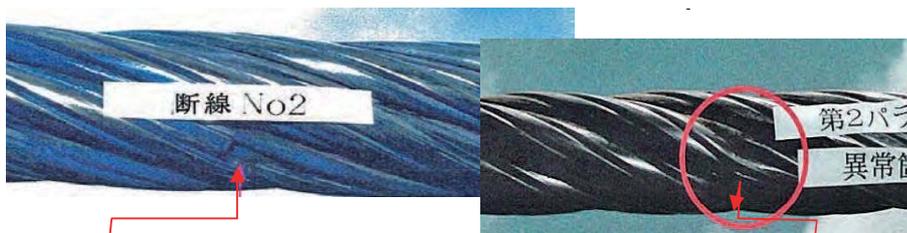


ワイヤーロープの素線断線試験

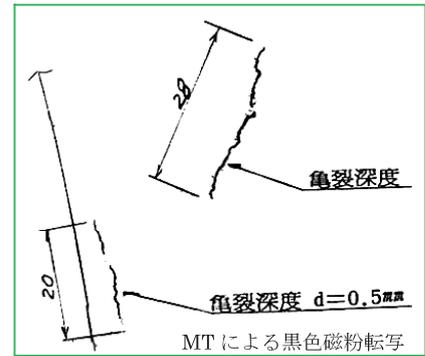
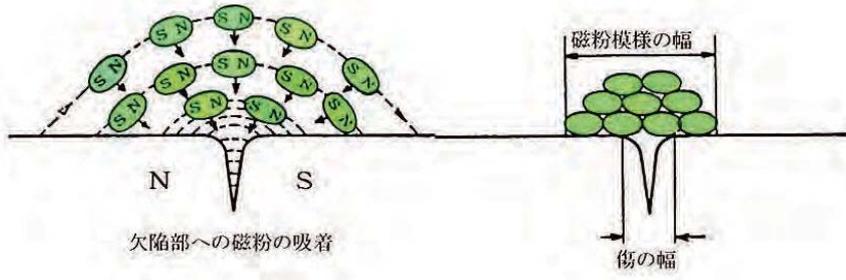
ロープを飽和点まで磁化した場合、もし断線等の欠陥があれば、その部分の磁束は、空气中に漏洩する。そこにコイルを通過させると磁界の変化と同じ状態になり、フレミングの右手の法則に従ってコイルに電流が流れる。



検出器



磁粉探傷検査

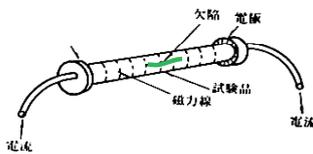


原理：試験材を磁化した場合、試験材の表面又は表面付近に磁束をさえぎるような欠陥があるとき、この部分で磁束が表面に漏洩し、欠陥の表面に磁極が表われる。この部分に一様に分散した微細な鉄粉を振りかけると鉄粉の粒子は、欠陥部に凝集、吸着し、欠陥部に鉄粉の模様ができる。このとき黒色磁粉を用い、その上から紙を当ててその模様を転写すると右の写真のような模様を得ることができる。鉄粉に蛍光塗料を塗膜状に付着させておき、その部分に紫外線ランプを照射しながら観察すると欠陥形状を目視することができる。

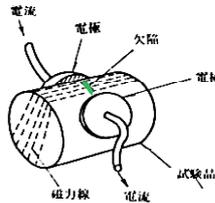
磁化方法：検査部分を磁化するために下記の方法がある。

- ① 軸通電法 試験品の軸方向に直接電流を流して磁化する。
- ② 直角通電法 試験品の軸に対して直角に直接電流を流して磁化する。
- ③ プロット法 試験品の局部に2個の電極をあてて電流を流して磁化する。
- ④ 電流貫通法 試験品の穴などに通した導体に電流を流して磁化する。
- ⑤ コイル法 試験品をコイルの中に入れ、そのコイルに電流を流して磁化する。
- ⑥ 極間法 試験される部位を電磁石又は、永久磁石で磁化する。

①軸通電法



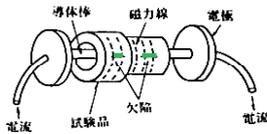
②直角通電法



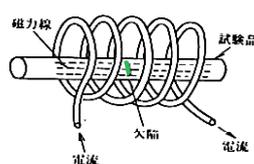
③プロット法



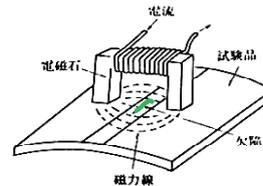
④電流貫通法



⑤コイル法



⑥極間法

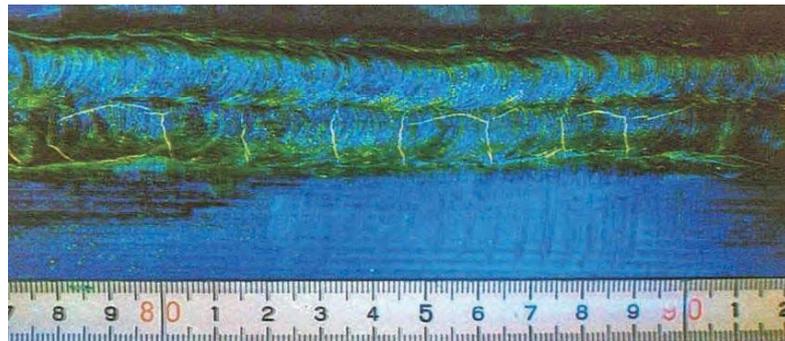


磁粉探傷検査の特徴

- 強磁性体の表層部に存在する欠陥の検出に優れている。
- 割れ及びそれに類する欠陥検出に優れている。
- 割れが表面に開口していなくても表面直下であれば検出できる。



極間法による
磁粉探傷検査



磁粉探傷検査による欠陥指示模様(7 ページ PT 試験体と同一のもの)

財団法人日本非破壊検査協会発行 参考写真集参照

極間法における検査

通常極間法は、ハンドマグナーとブラックライトから構成される。

検査する雰囲気は暗くして、検査体を磁化するためのハンドマグナーに通電しながら、磁粉を流して行く。5秒以上磁化し、そのハンドマグナーの極間にブラックライトで紫外線を照射すると欠陥があれば、欠陥が黄緑色に光る。欠陥に直角に磁界が交差する時に感度が最大になるので、90度ずらした2方向を行う。

欠陥の判定

小さい欠陥はグラインダーで取り除く。欠陥はスンプ法によって欠陥の種類を知ることができる。

スンプ法

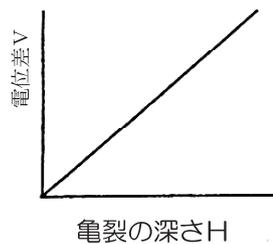
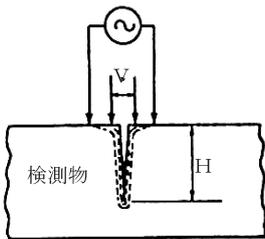
直接顕微鏡で組織を覗くのではなく、その組織表面を清掃後、硝酸（鉄）やシュウ酸（SUSの場合）で表面を腐食させ、その後、腐食液を洗い流しスンプ板（アセチルセルローズ膜）をあてて乾燥させ、腐食部分の組織の形状に転写する。これをはがし取り、この膜を透過形顕微鏡で観察して鋼の性状を判定する試験である。



スンプによるステンレス鋼の応力腐食割れ

欠陥の深さ測定

欠陥の深さは電気抵抗法を用いて測定できる。一般に高い周波数を持った電流が導体を流れる場合、表皮効果によって電流は表面へ偏って流れる。もし、材料中に欠陥があると、電流は亀裂面に沿って迂回して流れるので、亀裂部の両端には電圧降下による電位差が生じる。この電位差は、亀裂の深さに比例するので、その電位差を測定することにより亀裂深さを測定できる。



亀裂深さ計

浸透探傷検査

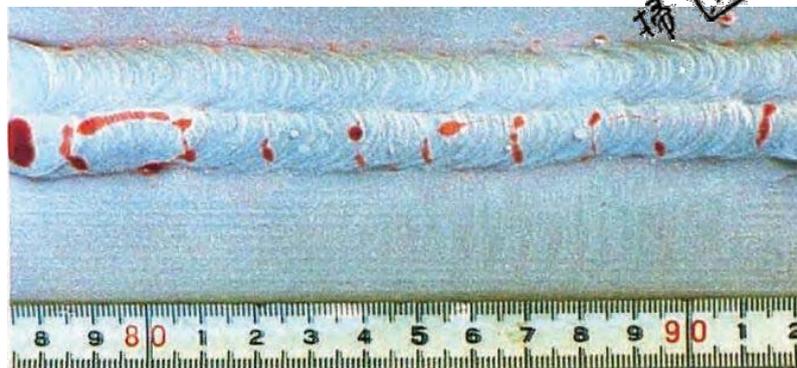
原理：試験体の表面に開口している欠陥を容易に目視できるように浸透液（黄緑色の蛍光浸透液又は、赤色の染色浸透液）により、拡大した像にして欠陥を観察する方法。

鉄などの磁気を用いた磁粉探傷検査ができないステンレスやアルミニウムなどの金属やFRPなどの材質のものの検査に用いられる。

電源等を使用しないで比較的容易に検査ができる。



浸透液 洗浄液 現像液



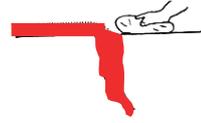
浸透探傷検査による欠陥指示模様(6 ページ MT 試験体と同一のもの)

財団法人日本非破壊検査協会発行 参考写真集参照

①試験品を浸漬するか、表面にスプレー又は刷毛により浸透液を塗布する。



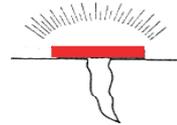
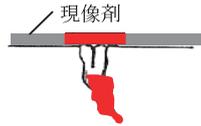
②浸透液が充分傷に染み込んだら表面の付着した液だけを洗浄液で取除く。



③白色の粉末現像液を試験体表面に塗布すると、傷の中に残留している浸透液は、吸い出されて表面に広がり模様を造る。



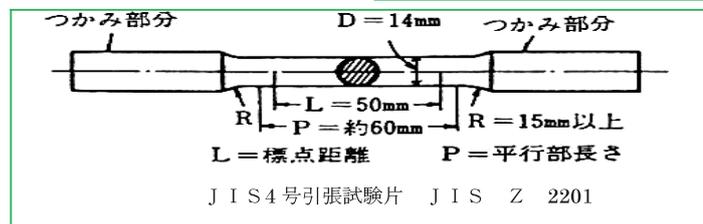
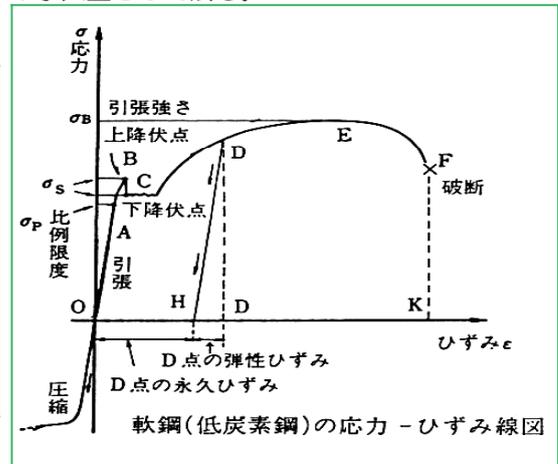
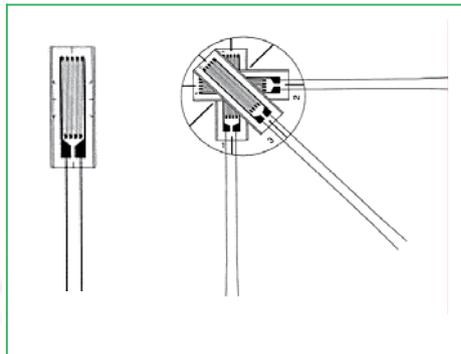
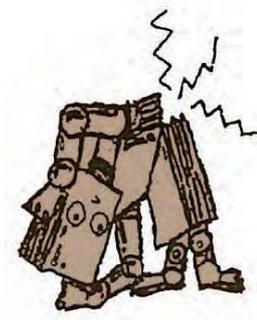
④これを観察することにより、微細な傷も肉眼で発見することができる。



浸透探傷試験の手順

歪測定

機械あるいは、構造物に外力が作用した場合、各部分に生じる歪の大きさ、並びに応力の状態や最大応力がどこに発生し、どれほどの大きさであるかを知って、その部材の寸法、形状、使用材料の適否を判断し、安全でコストの安い経済的設計を可能にするために行うものである。材料の強度を調べるには、JIS規格に従って下の左図のような試験片を造り引張試験を行い、応力と歪の関係をグラフにすると下の右図のような曲線ができる。A点からO点までは直線で、応力と歪は正比例する。このA点を比例限度という。ここから更に応力を増やしていくと荷重を取っても歪が残る。これを永久歪又は、残留歪という。B点の上降伏点に達すると一部分に最も抵抗力の弱いところに急激な滑り現象が生じて伸びが増し応力は不連続的にC点まで降下する。D点で荷重を除去するとOAに平行に直線上にH点に戻り、OHが永久歪として残る。



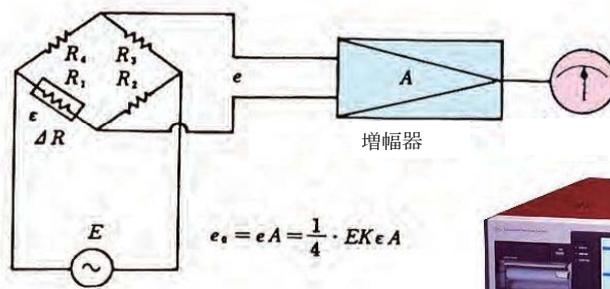
電気抵抗歪測定

測定すべき試験体の測定点に歪ゲージ (gauge) を所定方向に向けて取付け、試験体に加えられた外力その他による応力によって生じた歪を、ゲージの抵抗変化として検出し、歪増幅器により電圧変化として取り出し指示又は記録させる方法である。

動歪計は、物体に生じる動的なひずみを捉えるための測定器。静荷重、水圧など、ひずみ量が非常に遅いか変化しかしないものを静ひずみと呼ぶのに対して、振動や爆発など変化が早く力が短時間のうちに衝撃的に加わる現象が動ひずみである。測定は、歪ゲージをセンサとして試料に貼りつけ、動歪計との間で抵抗ブリッジ回路を構成させてバランス状態に保つ。試料がひずむと、センサの抵抗値に変化を生じ、ブリッジ回路がアンバランスとなって電圧を生じる。この電圧を測定値として取り出す。



多チャンネルデータアナライザ
(動歪測定器)



$$e_s = eA = \frac{1}{4} \cdot EK\epsilon A$$



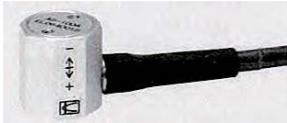
データロガー
(静歪計)



コンクリート亀裂変位計



圧力変換器



加速度変換器



変位変換器



荷重変換器
ロードセル



水位変換器

歪ゲージを応用した各種センサー

温度測定

体温を測ることにより、体の健康を知ることが出来るが、今日では、様々な分野で高度な温度測定が行われ有効利用されている。温度測定には、体温計や寒暖計そして熱電対が従来から使用されてきた。設備の温度測定、特に軸受等から生じる温度管理により、いち早く異常を知ることができる。

接触型温度計

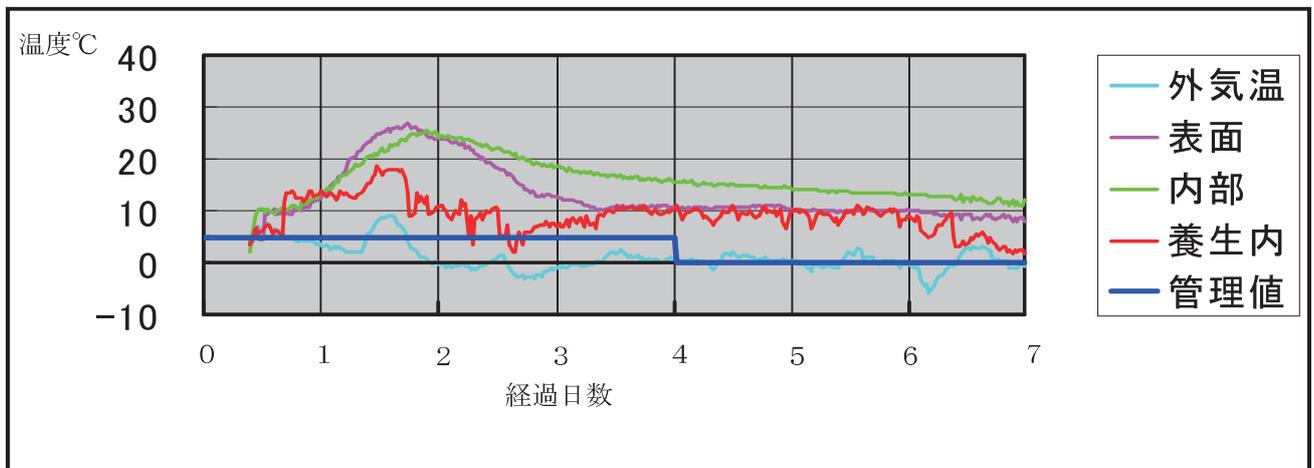
アルコール、水銀等の熱膨張を利用したもの、サーミスターなどの抵抗値変化を利用したもの、異種金属の接触により起電力の生じる熱電対を利用したもの、白金抵抗体などが一般的に用いられている。

デジタルで表示したり、記録を取る場合は、熱電対が安価で便利である。

コンクリート打設時の温度管理

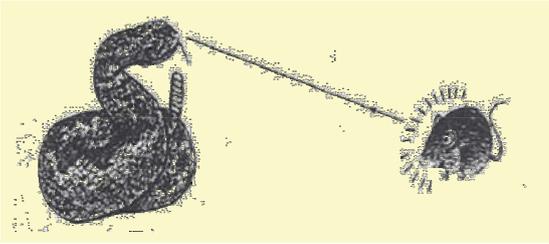
寒中コンクリートを打設する場合、コンクリートの凝結硬化の初期凍結が発生することが懸念される。更に硬化後も凍結融解作用に対し抵抗性をもたせることが必要である。そのためコンクリート打設時より連続で温度計測を行いコンクリートの品質管理を図る。

また温度計測を行うことで、所定材令での積算温度によるコンクリート強度推定も可能となる。



測定方法：①前もってコンクリート内部と外気温計測のために、熱電対を設置しておきデータロガー及びブスキャナーで温度計測を行う。②必要な時間温度は、モニターで確認することに加え、所定時間毎のプリントを行う。③コンクリート打設時からのデータはデータロガー内のHDDに収録する。必要に応じて、パソコンで温度をグラフ化することができる。

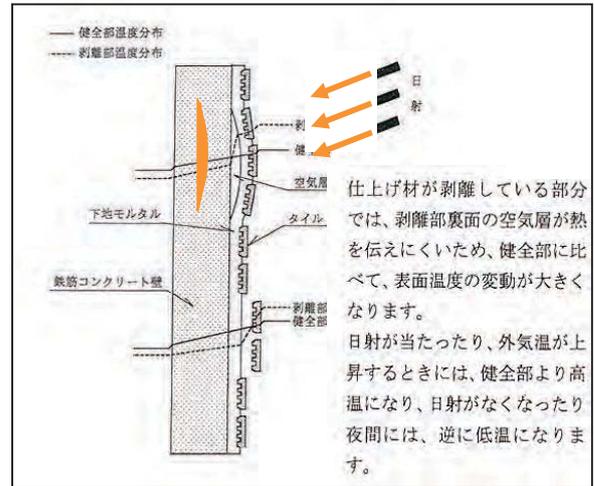
非接触型温度計



最近、触れずに温度が測れる放射温度計の用途は広がっている。ガラガラ蛇は、真っ暗闇の中でも動物が放射するわずかな赤外線を感じ、獲物を捕獲する。放射温度計は、物体から照射される、赤外線を感じ、温度として表示する。ある特定の波長をあらかじめ決めて、その波長の赤外線エネルギーを測定すればその物体の温度を知ることができる。

赤外線診断の原理

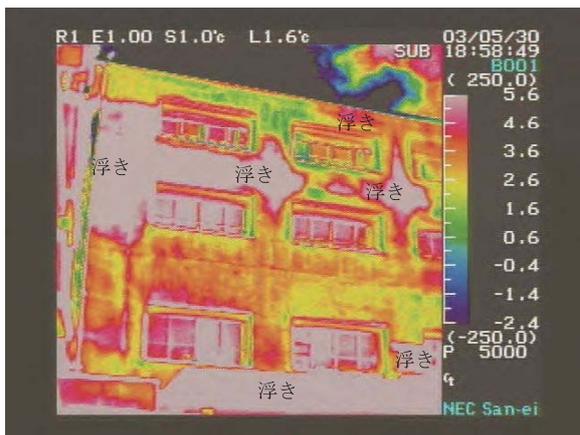
あらゆる物体は表面からその表面温度に応じた輻射エネルギー (=赤外線) を出している。赤外線熱映像装置 (サーモレーサー) は、対象物体の各部分からの赤外線量を検出し面的に映像化するものである。外壁の仕上げたモルタルやタイルが剥離するとその裏面にわずかな空気層が出る。密閉されたその空気層は大きな断熱性を持っている為、仕上げ材が剥離している部分では外壁表面と躯体との間の熱伝導率が小さくなり健全部に比べ温度が上昇することになる。この診断は夜間と日中の温度差が外壁に与える影響により成り立つので、外気の温度が上昇していない時間と温度が上昇して外壁が十分に気温上昇の影響を受けた時間に測定し、その差から判断するものである。



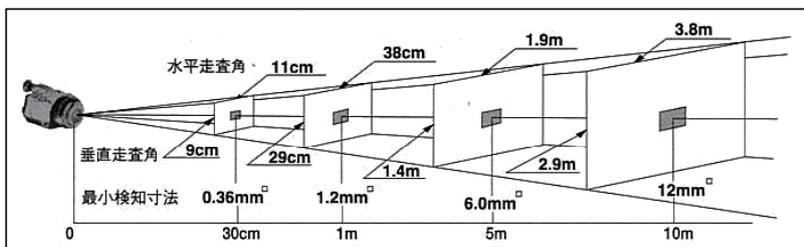
判定方法：同一壁面において日中の最適撮影時間帯の画像及び夜間の剥離部が低温で現れる時間帯の画像をそれぞれ撮影し、温度差画像を作成する。

剥離部及び健全部の温度差が強調されている部分を剥離とみなすことにより判定する。

下の写真は赤外線温度計による外壁剥離箇所の温度差画像写真である。

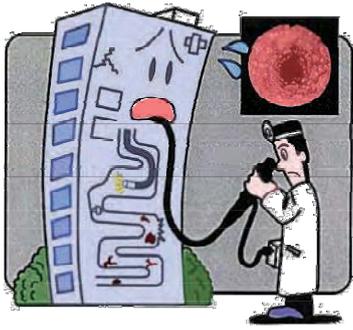


赤外線サーモグラフィ装置



熱画像測定距離と視野の大きさ

ファイバースコープやCCDカメラ



病院での胃の検診で胃カメラが使用されるように、管内の状況等をファイバースコープにより、直接目視しようとする方法。ファイバーの長さは、通常1mから3mがよく用いられるが、6mのものもある。またファイバー径も数ミリと細く細管の観察に向いている。ビデオカメラを用いてモニターしながら内部の状態を写すことができる。最近のファイバースコープは先端にCCDカメラが取り付けられており、明るく広範囲に見ることができ、機種によっては欠陥の位置や面積を計測できるものもある。パイプの内部を奥深く観察したりするためにはパイプカメラを用いる。パイプカメラは普通10m以上の長さがあるので、奥深い部分の状況を観察するのに都合がよい。機種によって水深20m以上の水圧下で撮影できる性能のものや、パイプ内を自走するものもある。



ビデオスコープシステム



パイプカメラシステム

圧力測定

危険物施設において埋設された配管や地下タンクなどは、埋設の状況により電蝕を起こす。配管や地下タンクなど、試験体を閉塞し、そこに一定の圧力を加えて、単位時間当たりどれだけの圧力降下があるかにより漏洩の有無を調べる方法である。地下タンク及び埋設の配管について、この方法で検査を行うことが昭和63年から義務付けられた。試験圧力により、

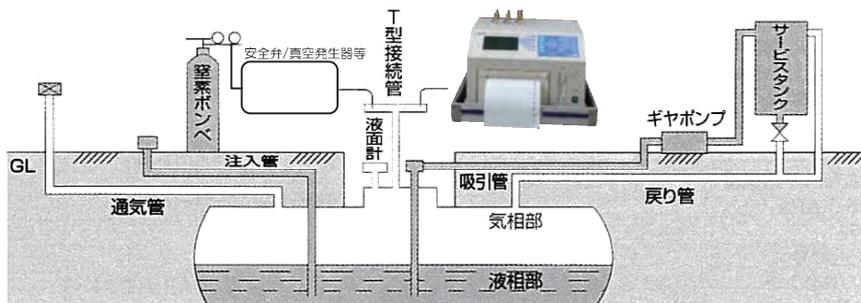
-10kPa -4kPa -2kPaを用いる微減圧法、2kPaを用いる微加圧法、20kPa以上の圧力を用いる加圧法がある。また、2重殻タンク外殻は20kPaの加圧か-20kPaの減圧を用いて検査を行う。



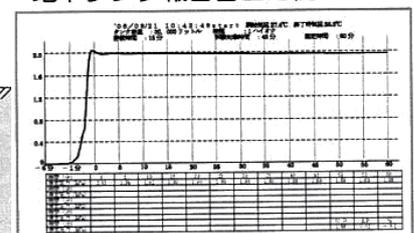
アイベック製pascal IIでの気相



アイベック製タンクリークテスタでの気相部検査



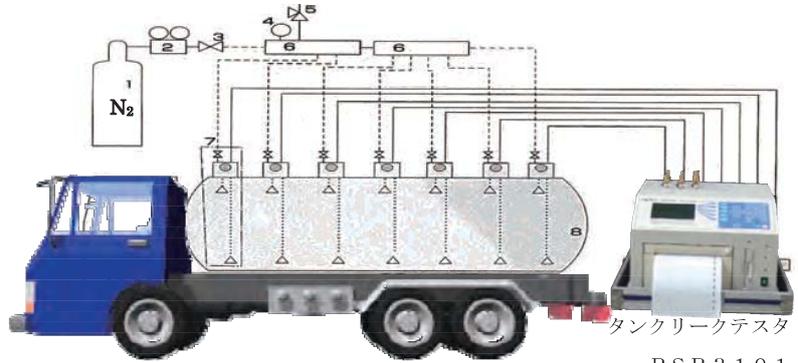
地下タンク報告書出力例 30kLタンク



タンクローリ（移動貯蔵タンク）の漏洩検査は、外気温の影響を受けるので温度補正を行う。

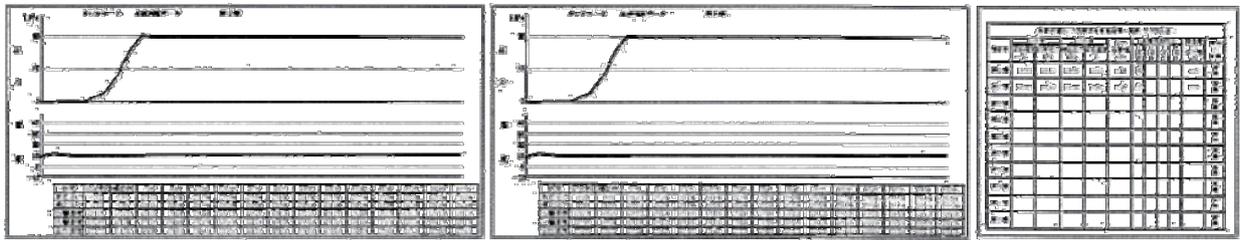


タンク内の上下にそれぞれ白金抵抗体を置き、得られる圧力値にボイラー・シャルルの法則を適用しながら温度補正を行い、且つ隣接する全てのタンクの圧力差および圧力降下量から漏洩の有無を調べる方法を採用している。地下タンク及びタンクローリいずれもφ0.3mm以下の開口部を検出できる性能を有している。



タンクリークテスタ
PSR3101

タンクローリ報告書出力例 (2冊)



危険物地下タンクの液相部の漏洩検査が平成15年4月1日から実施が義務付けられた。

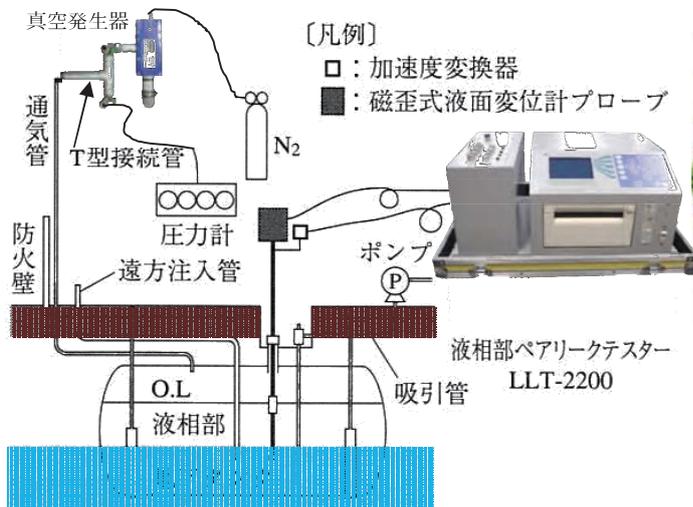
液相部検査は財団法人全国危険物安全協会が行うφ0.3mm以下の開口部を検出できる性能を有する方法として、性能評価に合格した方法が用いられ、アイベックが合格している方法は下記の通りである。

地下水と接触している液相部

地下水と危険物残量により決める最大-20kPaの減圧をすることにより、漏洩孔から浸入する水による液面変位を0.005mmの分解能を有する磁歪式液面変位計で計測し、単位時間当たりの液面上昇から漏洩の有無を確認する方法である。

地下水がなく空気と接触している液相部

地下水と危険物残量により決める最大-20kPaの減圧をすることにより、漏洩孔から浸入する気泡が液面で破裂する時に生じる微弱な振動を、タンク上部の液に没している例えば吸引管の部分に取り付けた加速度変換器で検出し、減圧前と減圧後のレベル差により漏洩の有無を確認する方法である。



報告書貼付カデータサンプル	
LLT-2200	地下タンク液相リークテスト結果
CH-1	油槽 ガソリン 2004.02.15 16:43
検出精度	0.000mm 検出速度: 1.6 3dB
地下タンク容積	10000リットル
液相深さ	1300mm
検出前圧	0.1Pa以上
検出時間	15分間
検出距離	2.0 0.6dB
検出速度	0.400mm
検出感度	0.7dB
判定	
液相部検査判定	漏洩あり
検出感度判定	漏洩あり
備考	

全危協評第 10-2 号 アイベック製 LLT-2200 液相部ペアリークテスタ

振動法による精密診断

原理：回転機器は、回転することにより、回転数、軸受の状態、基礎の状態などにより異なる様々な周波数の振動を発生する。この振動の周波数と大きさを把握することにより、回転設備の状況を正確に知ることができる。

効果：設備の保全が確保できる。

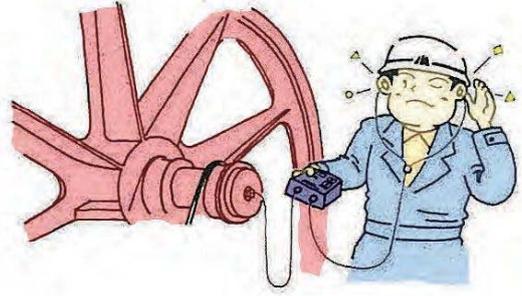
ベテランの五感による優れた技術を定量化できる。

休止損失の減少。

修繕費、設備費の削減。

従来判明不明の故障の原因がつかめる。

保全員の認識が変わる。



振動とは何か

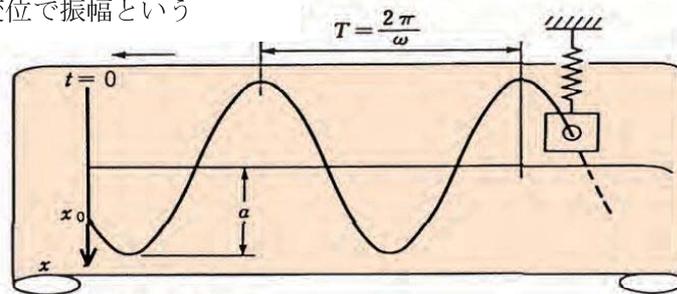
バネにおもりを付けて動かしたときのように、ある点を基準に大きくなったり小さくなったりを交互に繰り返す運動を振動という。抵抗のない理想的な状態を想定したとき、この運動は、下図のように周期運動を繰り返す。この運動は、三角関数の余弦又は正弦で表される。その位置 X を正弦量という。ここでは余弦を用い、釣合点からの距離 X を $X = a \cos \omega t$ と表す。 a は最大変位で振幅という。

図からわかるように、運動は時間が $2\pi/\omega$ ごとに同じ状態を繰り返す。これを周期といい T とすると $T = 2\pi/\omega$ となる。ですから単位時間当りの往復回数を表す振動数は、逆数の $f = \omega/2\pi$ となる。軸が動けば当然、速度や加速度がある。変位の式を一回微分すれば速度が得られ、更にもう一度微分すれば加速度が得られる。

$$\text{速度} = \frac{d a \cos \omega t}{d t} = -a \omega \sin \omega t = a \omega \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\text{加速度} = \frac{d^2 a \cos \omega t}{d t^2} = -a \omega^2 \cos \omega t = a \omega^2 \cos (\omega t + \pi)$$

a は最大変位で振幅という



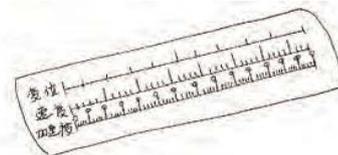
おもりの運動が描く図

振動には、3つのモード（尺度）がある。

振動変位：どれだけ動いたか？

振動速度：どれほどの速さに達したか？

振動加速度：何秒でその速さに達したか？



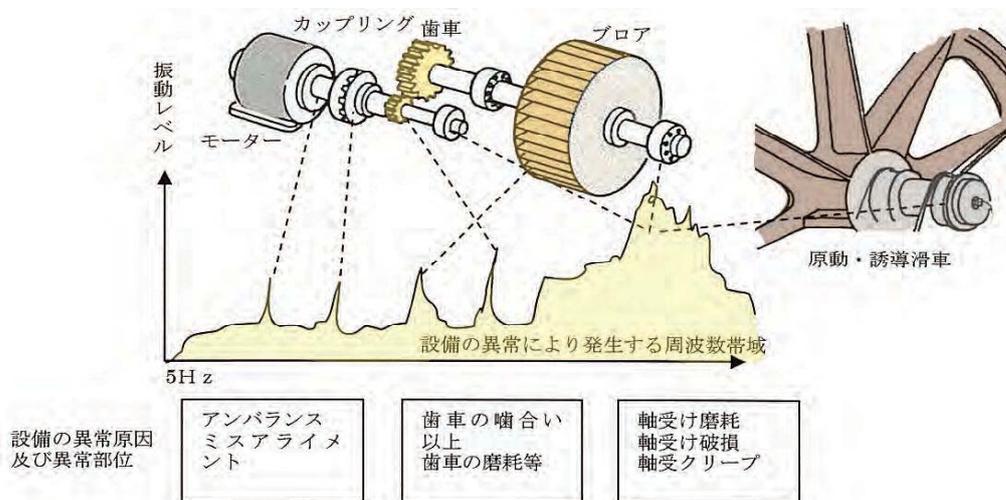
回転機器から生じる振動の周波数帯域

回転機器の場合、機械が回転すれば当然振動が生じるが、モーター回転により 100Hz 程度まで、減速機等からは数 kHz までの振動が、軸受等からは、それ以上の振動が生じる。例えば 1,200rpm のモーターの場合の振動は、 $1,200 \div 60 \text{ 秒} = 20\text{Hz}$ となり、基本的には、この周波数で振動する。更に減速機の場合は、この 20Hz に歯数を掛けたもので表す。歯数 12 であれば $20\text{Hz} \times 12 = 240\text{Hz}$ となる。軸受から生じる周波数は、欠陥にボールが当たるような時に生じる衝撃的な振動であり、数 10kHz にも及ぶ。状況により次のような周波数が生じる。

アンバランス： $f \times 1$ 軸のたわみ： $f \times 1$
 ミスアライメント： $f \times 1, 2, 3, 4, \dots$
 ギアの噛み合わせ： $f \times$ 歯数 プロアー： $f \times$ 羽数
 プーリーベルトのゆるみ： $f \times 1, 3, 5, \dots$
 軸受磨耗： 固有振動 軸受傷： 10KHz~30KHz
 ポンプキャビテーション： 広い周波数幅で周波数と振幅は変化。



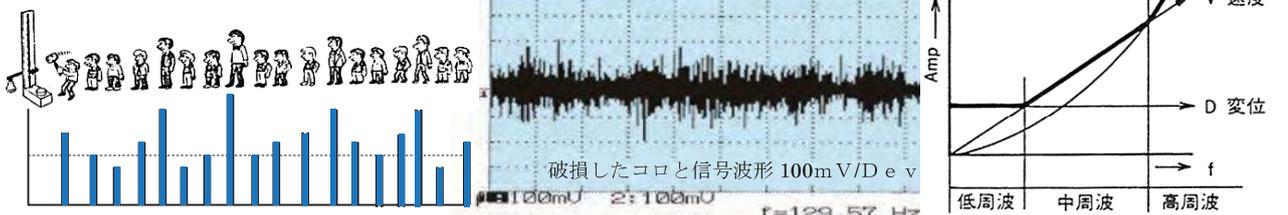
設備診断用振動計



有効な測定

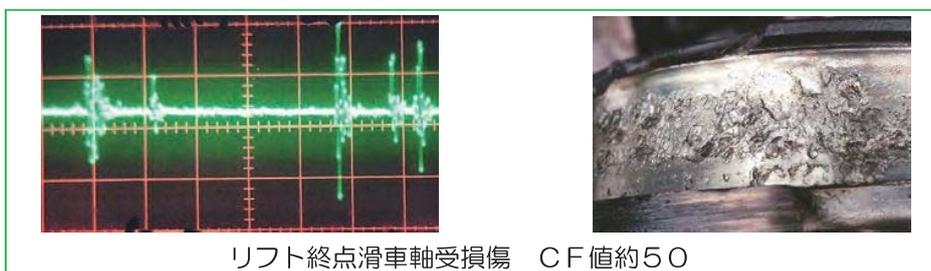
振動のそれぞれのモードから振動変位を基準にすると、振動速度の場合、周波数が2倍になると出力が2倍になり、周波数の高いものを測定するときは、変位測定よりも速度測定の方が有利である。更に振動加速度の場合は、周波数の2乗に比例するので、出力は4倍になり、更に高い周波数の振動、例えば軸受の傷から生じるような振動を測定するのに非常に都合がよい。

振動波形分析



設備診断を行う上での基本は、振動波形観察である。波形を観察するのにデジタルストレージオシロスコープを用いることにより高速現象の振動波形を観測することができる。振動波形には、様々な部位から生じる振動が入り乱れて入っており、そのままではどこからのものであるか判断できない。不要な部分の周波数帯域の周波数をカットし、必要な部分の信号だけを取り出すことを、フィルターリングという。軸受の加速度信号を取り出した時、ハイパスフィルターを通過させれば傷による信号を得ることができる。

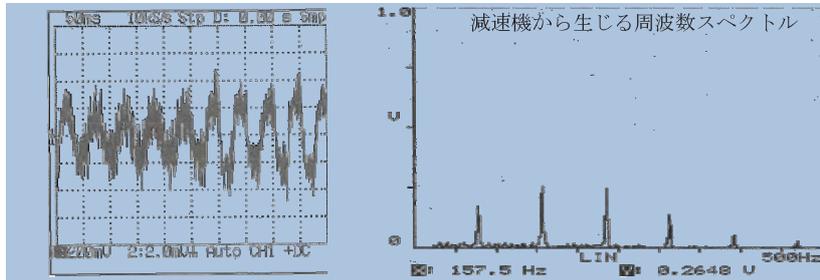
振動ピーク (P) と振動平均値 (Av) と Crest Factor (CF) 異常信号の特徴を表わすものとして、P値、Av値、CF値がある。P値は、振動の振幅を表す。Av値は、みだれを表し、振動の平均的な強さを表す。CF値は、軸受の異常さを判定するのによく使い、P値とAv値の比によって表し判定する。軸受に磨耗がある場合は、CF値は3以下の値を示し、軸受の傷又は破損の場合はCF値は5以上の値を示す。



リフト終点滑車軸受損傷 CF値約50

周波数分析

振動信号は、多くの周波数を含んでいる。診断する場合この信号にどのような周波数の信号がどれほどの大きさで含まれているかを調べることは、非常に大切である。サンプリングされた信号を周波数と、信号の大きさに分解し、座標系に表わすことを周波数スペクトルに分解するという。これを行うのに、数学的なフーリエ変換を行わなければならないが、高速でこの計算を行う装置を、高速フーリエ変換器FFTアナライザという。



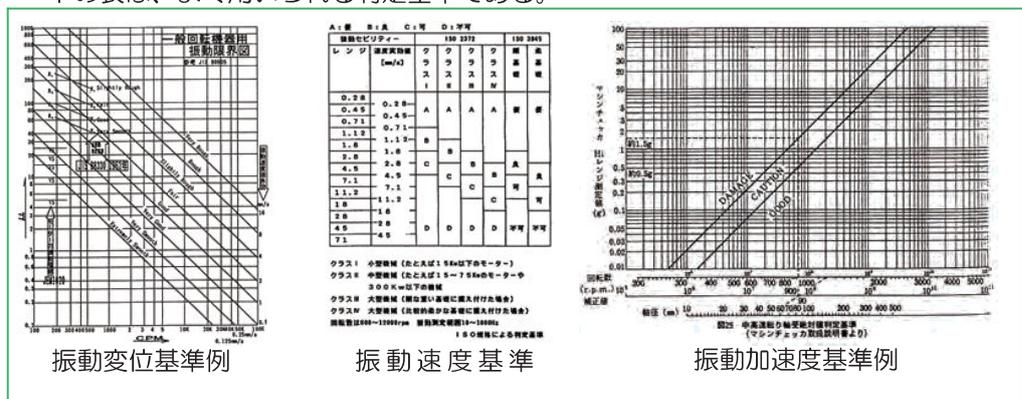
FFTアナライザ

判定基準

簡易的に設備の振動等を測定して判定する方法がある。

簡易判定法：設備の同一位置を定期的に測定して比較する相対判定、同一構造の同一箇所の振動を比較して判定する相互判定、絶対的な基準と比較して判定する絶対判定がある。

下の表は、よく用いられる判定基準である。



振動変位基準例

振動速度基準

振動加速度基準例



騒音・振動

設備が回転したり運転すると、振動だけでなく騒音を発生する。振動と同様に騒音も生じる。この大きさや周波数を把握することにより設備の状態を知ることができる。振動が検出しにくい設備や、騒音が問題になる設備の場合、騒音での診断は、効果的である。例えば機械から60Hzの振動が出ていれば、騒音もその周波数のブーンという音を発生させる。振動と同様に騒音も、レベルを測定し、更に周波数分析を行えば、振動のときと同じようにその騒音の発生している部位を確かめることができる。

騒音は時には公害にもなるもので、工事前後で公害振動計を使用して騒音測定を行う必要がある。

更に、低周波騒音の影響が問題になる場合がある場合には、低周波騒音計を用いなければならない。

振動も大きくなれば公害となる。建物を壊す時、基礎工事を行う時、工場に隣接する住宅などでは決められた一定の限界が定められているので公害振動計を用いて振動測定を行う。



騒音計



記録計

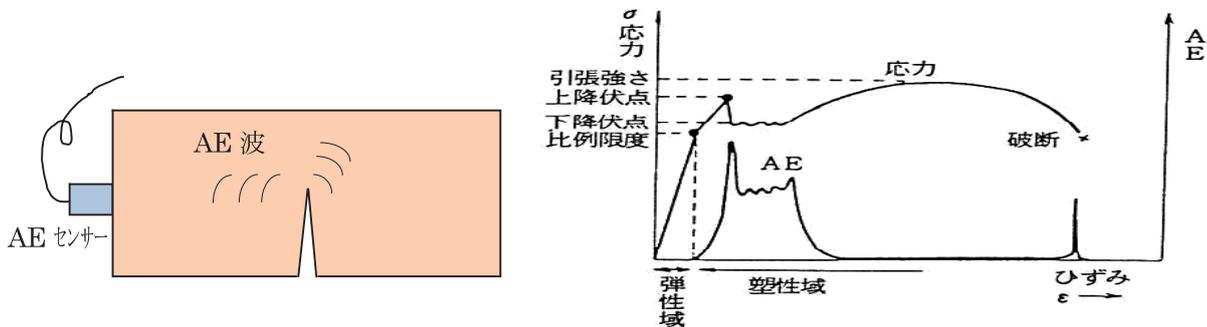
建築物	室用途	部位	適用等級			
			特級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	隣戸間界壁	D-55	D-50	D-45	D-40
		界床				
ホテル	客室	客室間界壁	D-55	D-50	D-45	D-40
		界床				
事務所	業務上プライバシーを要求される室	室間仕切壁	D-50	D-45	D-40	D-35
学校	普通教室	室間仕切壁	D-45	D-40	D-35	D-30
病院	病室(個室)		D-50	D-45	D-40	D-35

建築物の遮音性能基準例

空間平均音圧レベル差に関する適用等級

AE（アコースティックエミッション）

金属の錫（すず）の棒を耳元で曲げたりすると、音を発生する現象は、昔からすずなりとして知られている。固体が変形又は、破壊するとき生じる音（一般には超音波）をAEという。軸受等の診断にも用いることができる。前述の歪のところで、応力-歪曲線について述べたが、AEとの関係は、下図のとおりである。



油分析法

人間の健康管理のためには、血圧や体温また心電図等の測定を行うが、それらは前に説明した圧力法、温度法、振動法等に相当する。糖尿病などは、尿を調べることにより確認できるが、軸受などに使用されているグリースを調べることにより、軸受の状態を知ることができる。

フェログラフィ法

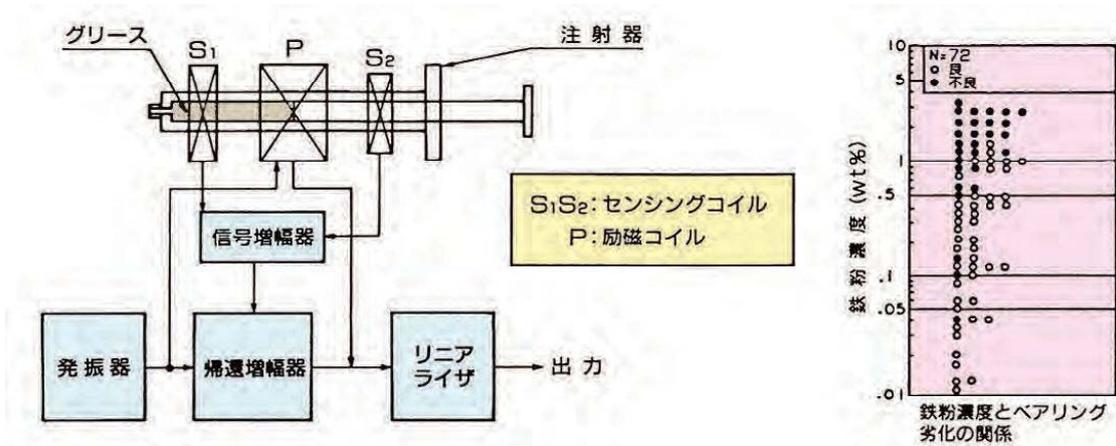
滑り軸受、転がり軸受、ギアなどは、回転によって磨耗していく。それらの摺動面や転動面の磨耗を少なくするために潤滑油を用いるが、磨耗や損傷があれば、そこから磨耗粉として流れ出る。

原理：潤滑油はギア装置、軸受装置、油圧装置等を循環して、それらから出た磨耗分子と共にタンク内に蓄積される。タンク内の潤滑油を50°C程度取り出し、スライド上に流し、強力な磁力を当てると、上流から下流へ大きさの順に配列する。これを顕微鏡で観察し、異常部位、原因究明を行うものである。

グリース鉄粉濃度分析

滑り軸受、転がり軸受などは、回転によって磨耗していく。それらの摺動面や転動面の磨耗を少なくするために通常グリースを用いるが、磨耗や損傷があればグリースの中に鉄粉等が混じる。このグリースをサンプルとして取り出し、鉄粉濃度計で測定する。

原理：このグリースの中に含まれている磨耗粉濃度に電磁誘導法を用いて、グリースの磁気抵抗変化をコイルのインピーダンス変化として検出し、間接的にグリース中の鉄粉濃度を測定するものである。

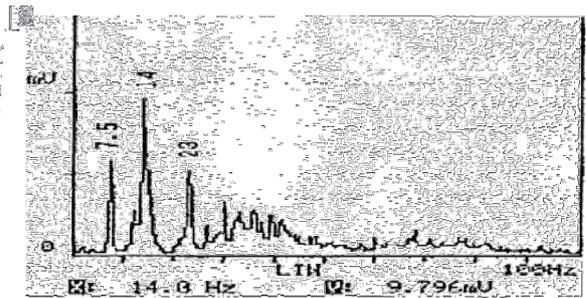
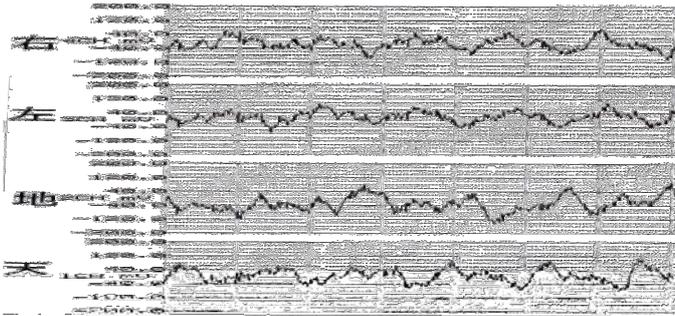
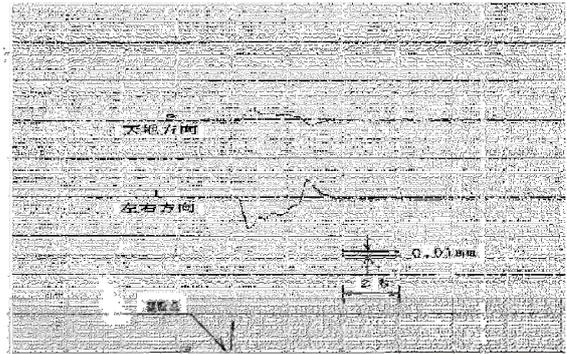


水力発電所における各種計測

水圧鉄管振動測定

水圧鉄管は水車の回転にしたがって振動する。また負荷遮断時には急激な水圧加わり鉄管は大きく膨らむことになる。振動には振動変位・振動速度・振動加速度のモードがあるが、特に水力発電所では一般的に振動変位を計測する場合が多い。振動変位は加速度変換器を用いて2回積分で求めることができるが、周波数が低い（DC成分も含む）水圧鉄管においては、変換することにより、直接振動変位の変換器を用いるほうが正確な数値と周波数を計測できる。

従来、手持ち式の振動記録計などが用いられていたが、ひずみ変換器を用いたセンサーで測定することにより、天地左右の4方向を多断面で同時測定が可能である。



水位測定

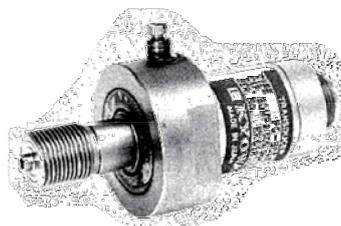
水力発電所では水が流れ込むので水圧の測定が必要である。水圧も時には数百メートルと大きく、これを精度よく測定することが必要である。水槽水位の場合はエレベーション（EL）がミリ単位で表示されているので、それに近づけた精度も要求される。



電子式圧力キャリブレーター



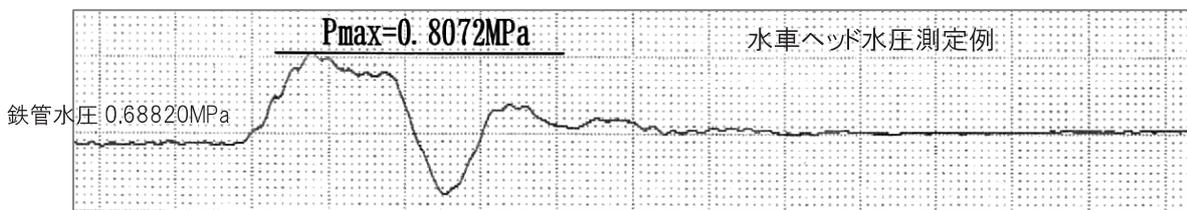
重錘式圧力計



ひずみ式圧力変換器

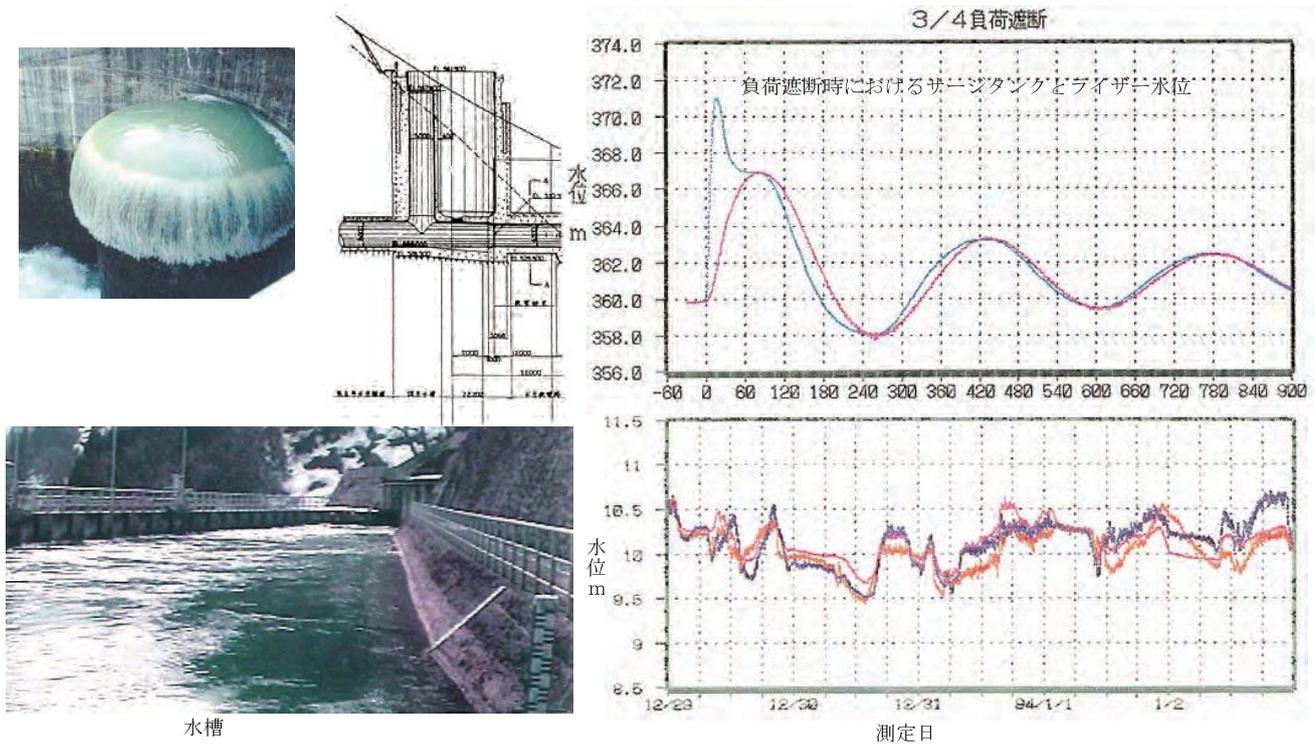


水車水圧：水車のヘッドにひずみ式圧力変換器を取り付けて計測する。



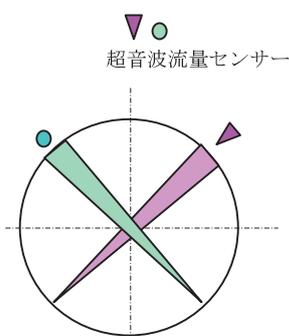
変換器は取り付け前に高性能の圧力校正器で校正したものを用いる。校正器は携帯用重錘式圧力計や電子式の圧力キャリブレーターを使用するが、最近では精度や重量の面で後者が用いられるようになっている。

水槽・サージタンク水位：センサーはフルスール電圧出力が1Vから10V程度の投げ込み式水位計を使用する。記録計は入カインピーダンスが1MΩ程度あれば水位計のケーブルを数百メートル程度引き回しても、誤差は圧力キャリブレーターの誤差範囲内に収まる。この水位計も前もってキャリブレーターで校正し、錘をつけて沈めるか、水槽に固定させて使用する。水槽のLWL以下に水位計が設置されるようにする。サージタンクなどで水位レンジが大きい場合、微小な水位変動を把握するために水槽上部に圧力レンジの低い水位計を取り付けることにより、精度を上げることもできる。



ガイドベーン開度：ガイドベーン開度はワイヤー式の歪式変位計で測定を行う。

流量測定：水圧鉄管や冷却水の流量は超音波式の流量計で測定する。超音波流量計とは超音波で振動するセンサーを配管の2箇所に密接させた上で、一方のセンサーから超音波を発信させ、他方で受信するという送受信機である。



送信信号が配管内の流体の速度により影響を受け、ドップラー効果を用いて受信信号の変化として検出される。その変化値を演算して流速を表示する。

配管の外側にセンサーを設置するだけで使えるので、計測は比較的楽に行えるが流速分布の影響を避けるため、できるだけ直管部分の長い場所に設置することが必要である。

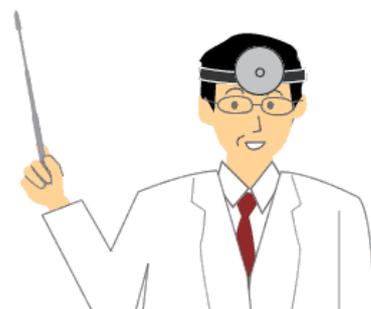
特に水圧鉄管の場合、大きいものになるとその径が5m程度に達するので、大型のセンサーを用いて行わなければならない。ガバナ試験の場合は精度も要求されるので、2軸の超音波流量計を用いることになる。



ワイヤー式変位変換器

建造物の健康診断

我が国の現在使用されている建造物は、その多くが、1960年代から1980年代に建造され、人間で言うともまさに成人病検診が必要な時期にきているといえる。アメリカでは1980年代に「荒廃するアメリカ」ということで、予算削減のために維持管理を怠り、結果橋の落橋等の事故が多発した。日本は、アメリカに比し20年から30年遅れて事態がやってくると言われており、この事態を避けるためにも何らかの方策が必要である。



建造物の診断の手法にも、大きく分けて、人間の問診にもあたる「近接目視」と、検査診断器材を使用した「詳細点検」がある。

コンクリートはさまざまな構造物で使われているが、その耐久性や施工方法における問題点などから、コンクリートの劣化状況・施工状況などを知ることが必要である。金属の非破壊検査と比較するとコンクリートの各種検査と評価はわずかに遅れているといえる。

以下に現在行われているコンクリートの検査方法のいくつかを紹介する。

近接目視の手法は以下の通りであり、「見るものをみる」方法である。

一般的に実施されている建造物の調査手法とその内容 「見えるものをみる」	
手法	概要
目視	破損・変形の有無。異常な変色部分の有無などの観察。 ひび割れ、塗装劣化、剥離などがあるか否かの判定、塩害や凍害、珪酸骨材反応の兆候の判定、および構造安全性の観点から部材の著しい、たわみ変形、接合部の異常、変形等が生じていないかを調査する。
打診	劣化していると思われる部分と、明らかに健全な部分を点検ハンマー等で叩き、音を聞き比べることによって劣化の判定を行なう。
触診	疑わしい部位は手で触って確認、判定する。

これらは、病状が明確な場合や、軽微な場合には有効であるが、疑問点が見つかった場合には、機材を使った詳細点検が必要となる。建造物も人間の体と同様に、詳細点検を行う場合においても、その体を傷つけないことが理想である。つまり「非破壊検査」の必要が生じてくる。しかし、その体はコンクリートや鋼材によって覆われているためになかなか簡単にはいかず、まさに「見えないものをみる」技術が求められることになるのである。しかし、近年技術革新により「見えないものをみる」技術が進歩してきた。本資料においては、それをわかりやすく解説する。

たとえば、何を見たいかにより様々な検査法があるが、より詳しく調べるには複数の検査方法の併用も必要となる。詳しくは、病院に気軽に行くのと同じく、気軽に相談していただきたい。

機材を使用した点検方法「見えないものをみる」-例：コンクリート構造-

項目	調査方法
空洞・剥離	赤外線診断
	超音探傷検査
	電磁波レーダー法
	打音検査
ひびわれ	超音波探傷検査
	衝撃弾性波法
	アコースティックエミッション
鉄筋・かぶり	電磁波レーダー法
充填状況	衝撃弾性波法
	放射線透過検査



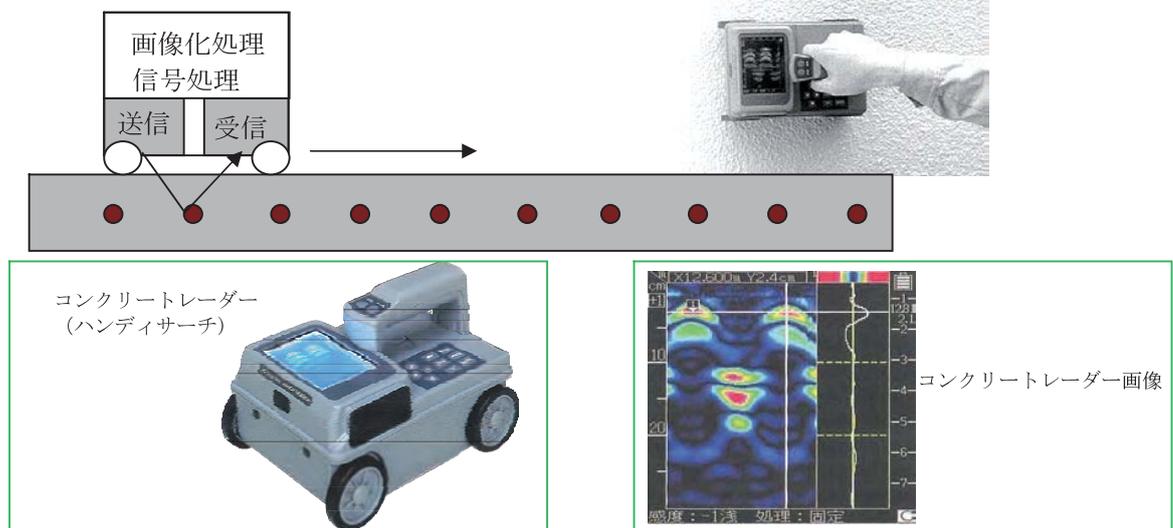
鉄筋の調査

コンクリートレーダー

原理：コンクリート表面からコンクリート内部に、約 1GHz 前後の周波数の電磁波パルスを送信すると、コンクリートと誘電率の異なる物質、例えば鉄筋や空洞があると電磁波はその境界で反射して戻ってくる。戻ってきた反射波信号を受信し、信号処理することで目標物の位置が検出できる。

現在市販されているレーダーは、メーカーや機種により差はあるものの約 15cm から 30cm 程度の深さまでのものの探査が可能である。

電磁波の送信時より受信時までの時間 (T) とコンクリート内の電波の速度 (V) より、目標物までの距離 (D) は、 $D=V \times T / 2$ として計算される。



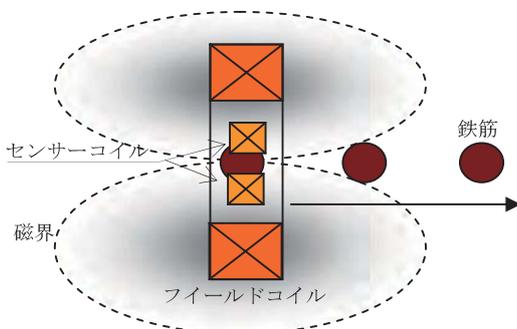
電磁誘導法

コンクリート内部の鉄筋は磁力に反応することを利用し、内部の鉄筋の位置を探査する方法である。

探査の能力はかぶり深さ 15cm から 20 センチメートル程度である。

レーダーによる方法はコンクリートの誘電率に大きく影響されることがあるが、電磁誘導はそれに比べて多少影響が少ないので、鉄筋のコンクリートかぶり厚さ測定などにも応用されている。

原理：スキャナー部に内蔵されたインパルス誘導で作動するもので、インパルスコイルが探査するコンクリート構造物に磁界を励起する。これによりその磁界中の鉄筋中に 2 次磁界が励起される。スキャナーをコンクリート表面上を移動させると磁気パルスが変化し、2 次磁界を衰弱させる。この変化がセンサーコイルのインピーダンス変化として誘導され検出される。



コンクリートの中性化試験

コンクリートは強アルカリ (12~13PH) でありこれを維持していれば問題はないが、コンクリート中の PH 値が 11.5 を下回ると鉄筋に腐食が生じ始めるといわれている。

コンクリートが中性化する主な原因は、大気中に存在する炭酸ガスによるものである。炭酸ガスはコンクリート中の余剰水の中に溶解込み、炭酸 (H_2CO_3) となる。これが H^+ の供給源となり、中性化が進行する。

(H⁺とOH⁻が結合(中和)される事により水(H₂O)を生成する。加えて、酸性雨(NO_x、SO_xの水和物)に長年さらされる環境にある場合にも中性化は促進される。

中性化が進むと鉄筋を腐食から保護する雰囲気(炭酸ガス)を失い鉄筋腐食を生じさせ錆びによるコンクリート膨張による破壊を生じさせる。

中性化を判断するのにフェノールフタレイン1%を用いて着色していない部分が中性化している部分と判定する。フェノールフタレイン1%でPH8.2~10以下で着色しなくなるが、前述したとおり中性化が影響するのはPH11以下であるので、あくまでも簡易的な方法である。

コンクリートコアによる中性化試験

コアとして採取した断面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、表面からの距離を計測する。

はつり部分での中性化試験

中性化の状態を試験する部分をはつって、ブローなどでコンクリート粉を吹き払った後フェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、着色されていない部分を確認する。

ドリルによる中性化試験

対象深さごとに、ドリルでコンクリートに孔を開けた時に出るコンクリート粉末をフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し湿潤させた紙で受け止めて、着色されていない深さを確認する。



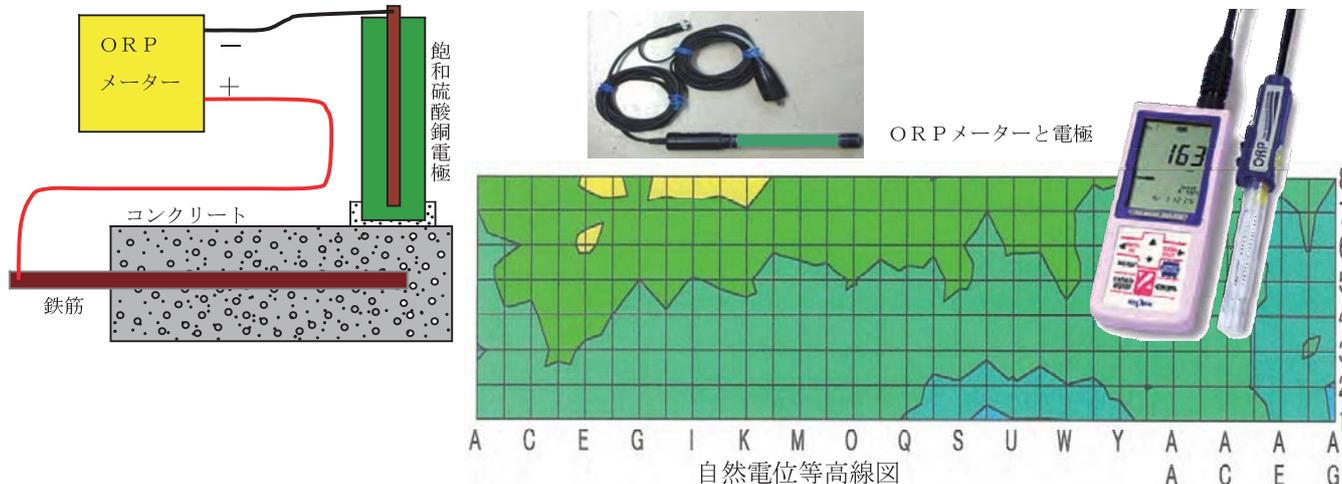
鉄筋腐食度調査

鉄筋は、健全な(中性化していない強アルカリ環境)コンクリート中では錆が発生する事はない。しかしながら、OH⁻が減少するとCl⁻(塩素イオン)が不動態被膜(新しい鉄筋の表面についている青黒い被膜)を破壊し、鉄筋の錆が発生する。

鉄筋が腐食する場合腐食電池が形成され、アノード反応(腐食部)が形成される部分とカソード反応(非腐食部)が形成される部分に分かれる。この間の電位を計測することにより、コンクリート中の鉄筋腐食の有無を判定する方法である。

測定方法は、内部抵抗の大きい電位計(ORPメーター)のプラス(+極)を鉄筋に、マイナス(-極)を照合電極に接続し測定する。照合電極には一般的に飽和硫酸銅電極等を用いる。

事前に、コンクリートレーダー等により縦横の鉄筋交点をマーキングし、コンクリート面を湿潤状態にした後、各点の電位を自然電位として読み取り等高線図として表すことにより、腐食部等を面積的に表すことができる。判定は、ASTMやBS規格があり電位差によってランク付されている。



鉄筋腐食度による調査においては以下のような規格が参考となる。

腐食ランク	自然電位E(mV)	ASTM規格	BS規格
		腐食確率%	腐食確率%
I	$E > -200$	90%以上の確率で腐食無	5%以下の確率で腐食有
II	$-200 > E > -350$	不確定	50%
III	$-350 > E > -500$	90%以上の確率で腐食有	90%以上の確率で腐食
IV	$-500 > E$	約半数の供試体に亀裂発生	—



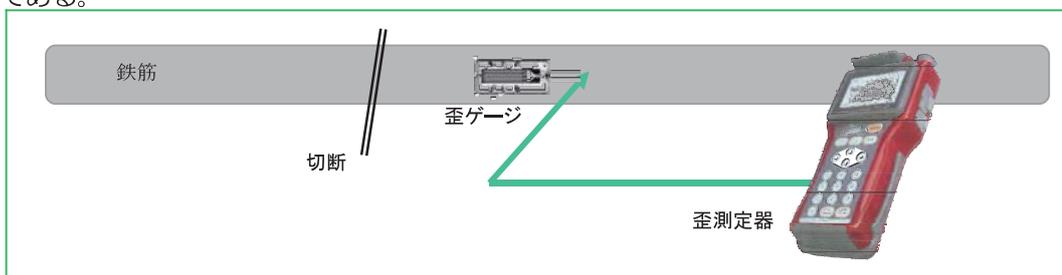
鉄筋の状態



鉄筋腐食例

アルカリ骨材反応による鉄筋の応力

アルカリ骨材反応によりコンクリートが膨張し、鉄筋が引張られると時には鉄筋の破断も生じる。現在どれほどの応力が加わっているかを把握するために、鉄筋を露出させ歪ゲージを張り付けてから歪測定器に取り付ける。この状態で0点調整をし、鉄筋の一部を切断すると引張られていた応力が外れて圧縮の応力値が表示される。この数値がアルカリ骨材反応により鉄筋に影響していた応力である。



コンクリート中の塩分濃度測定

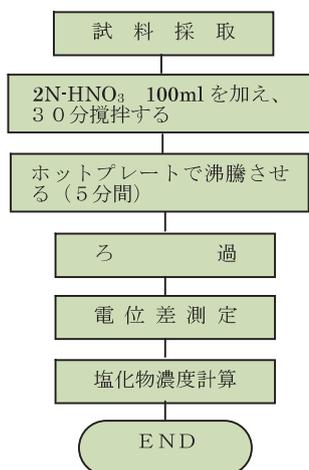


含有塩分量調査とは、コンクリート中の塩分の深さ方向における分布を調べるために、ドリルにて試料採取を行い、JIS A 1154『硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法』に基づき硝酸銀を用いた電位差滴定法で濃度を分析する方法である。ドリルサンプリングは、深さ2cm毎のサンプリングで10cm程度まで削孔する。採取資料は1サンプルを平均化するため、同一箇所からではなく、近傍の数箇所から直径約20mm程度のドリルを用い資料採取する。採取資料は分析のために1から10グラムの範囲で使用するが、多めに採取採取し、近傍から採取したコンクリート粉末をよくかき混ぜて平均化した資料とする。

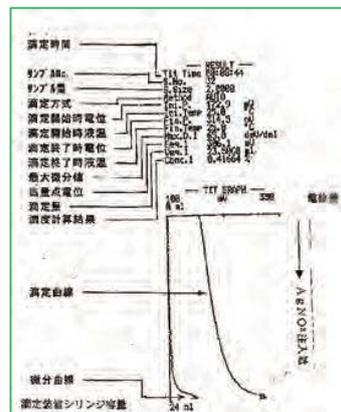
資料採取した粉末は、ミルで微粉碎し0.15mm以下にしたものを用いることが必要である。

微粉末の資料を0.01グラムまでの精度を持つ電子天秤を用いてはかりとる。

分析はJIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠し、電位差滴定法で分析する。



自動滴定装置による塩分濃度分析



分析記録例

圧縮強度

コンクリート構造物はコンクリートの強度に基づき設計されている。それでコンクリートの診断において強度を把握することはきわめて重要な要素である。この強度を調べるためにコンクリートコアの強度試験による方法と表面の反発度から強度を推定する方法がある。



コンクリートコア採取



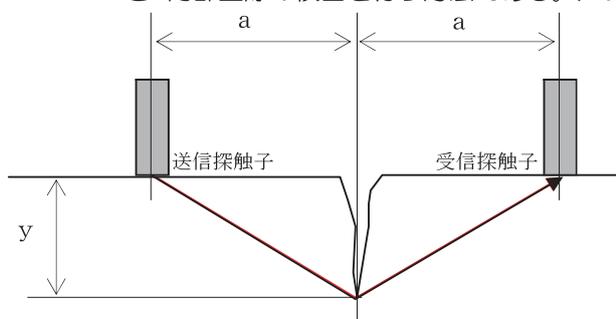
コンクリートコア圧縮試験

コンクリートコアによる圧縮強度

ひび割れやコールドジョイント等の欠陥部分や鉄筋配管部分 avoiding コア採取する。一般的には採取するコアの直径は10cmとすることが望ましい。この圧縮試験は「JIS A 1108 1999 コンクリート圧縮試験方法」等に準拠して実施する。

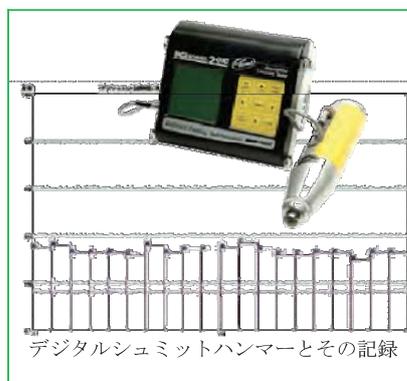
コンクリート亀裂深さ

低い周波数の超音波や可聴音波を用いて、コンクリート構造物の音速・版厚・ひび割れ深さ・かぶり厚さ・内部空隙の検出を行う方法である。下の場合 $y = a$ の位置を探して亀裂深さを求めることができる。



ディコを用いてのひび割れ調査

反発度法による強度



デジタルシュミットハンマーとその記録



シュミットハンマー

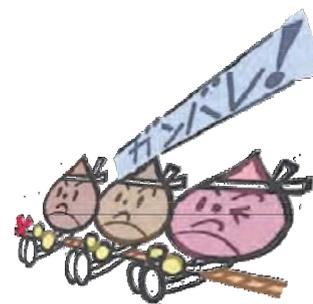
コンクリート表面をテストハンマーで打撃し、その反発硬度により圧縮強度を求める。コンクリート材齢による強度増進を確かめたり、多点の強度分布調査やコア採取に、強さが一定のエネルギーでコンクリート表面を打撃した時、反発度と硬さの相関関係から圧縮強度を推定するものである。

測定：凸凹・塗膜・付着物等を砥石などで取除き、打撃するポイント20点のマーキングをした後、測定を行う。また、明らかに他と異なる数値が出た場合は計算から除外する。

アンカーの引張強度測定

耐震補強を行うためにコンクリートアンカーが施工されたり、コンクリートに設備等を取り付けるに当たり、後アンカー施工する場合にその引張強度が問題になる。

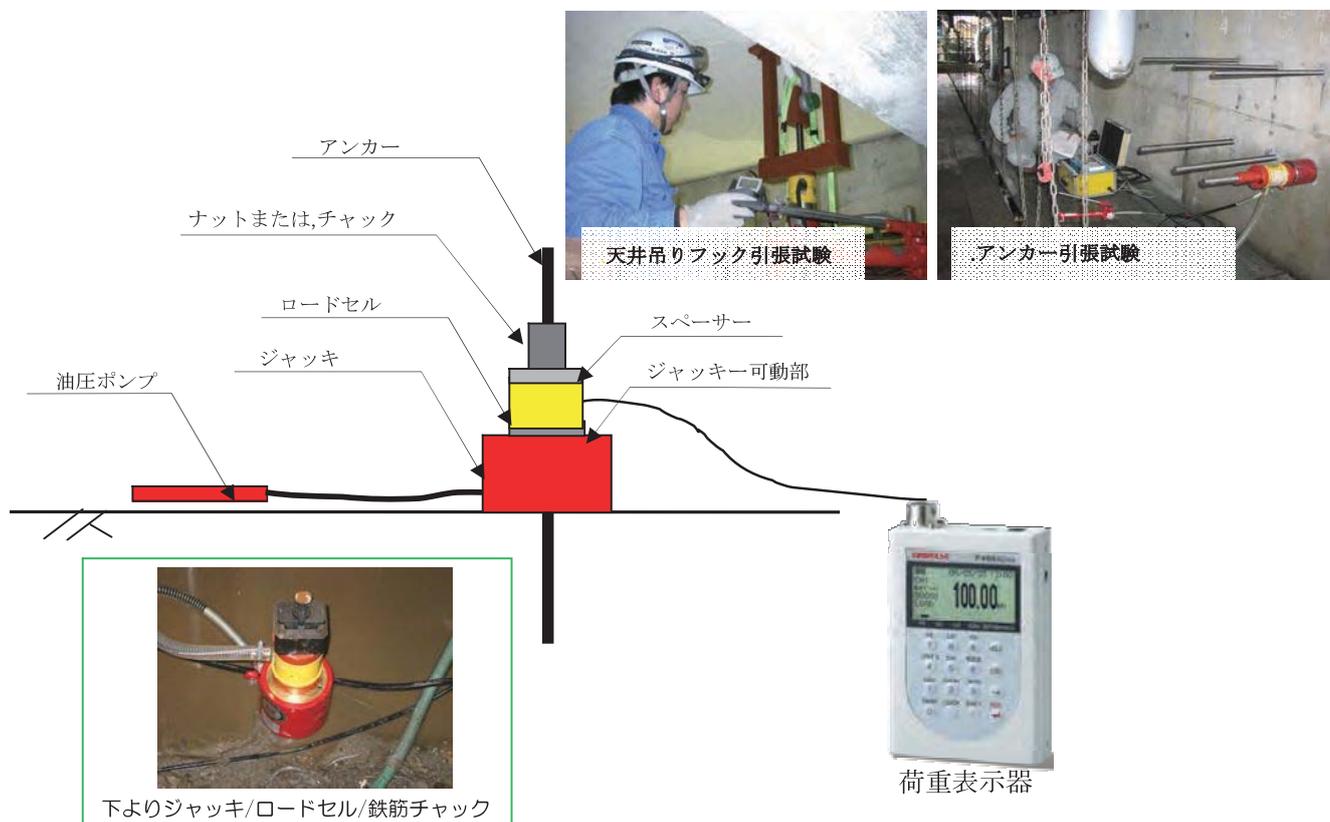
アンカーにセンターホール荷重計とジャッキを取り付けて荷重を加えて、引張強度の試験ができる。



荷重計はロードセルが用いられ、ロードセルに加わる荷重を読むことにより、加わった力を計測できる。コンクリート内から立ち上がっている鉄筋、アンカーボルト、ケミカルアンカー等に、センターホールジャッキ、センターホールロードセル（荷重変換器）を用いて、下図のように引張り荷重を載荷し試験を行なう。尚、載荷荷重は引張り試験器の画面にデジタル表示される。載荷荷重を加えた後、1分程度経過し安定した時点を載荷荷重とする。

下の写真で用いているアイパック製の試験器は、照明灯具の取付アンカー等の10kN未満の引張り試験から、耐震補強の1000kN(1MN)までの引張り試験が容易にできる。

また、アンカーだけでなく、天井吊りフックなども治具を合わせれば可能である。



建築物の耐震診断

日本における現行の耐震規定は、1981年に施工され現在に至っている。1923年9月1日の関東大震災を契機に、日本初の耐震規定が誕生して以来、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震などで一部が改定された。新潟地震では地盤の液状化がクローズアップされ、十勝沖地震ではRC柱のせん断破壊により帯筋ピッチが30cmから15cm（柱頭、柱脚は10cm）に補強された。阪神大震災では、ほぼ現行基準の妥当性が証明されたが、反面、旧基準の建物の倒壊が目立った。旧基準では震度法によって地震力を静的外力に置き換えて一律に作用させていたため、地盤の悪い場所や、建物の固有周期によっては、設計地震力を大きく超えた建物があったと考えられ強度不足で倒壊したと想定できる。最近では、阪神大震災、中越地震、能登沖地震、中越沖地震、東日本大震災と大きな被害の出た地震が続き、被害を出している。「備えあれば憂いなし」のことわざの通り、万全の備えをしたいものである。

マグニチュード

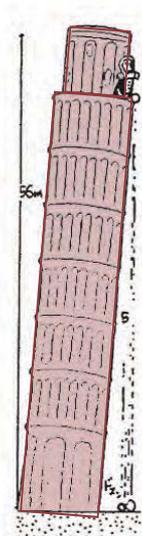
マグニチュードは震源における地震の規模を表わし、震源から放出されたエネルギーと関連している。日本では下記の式で表わす。

$$M = \log_{10} A + 1.73 \log_{10} \Delta - 0.83$$

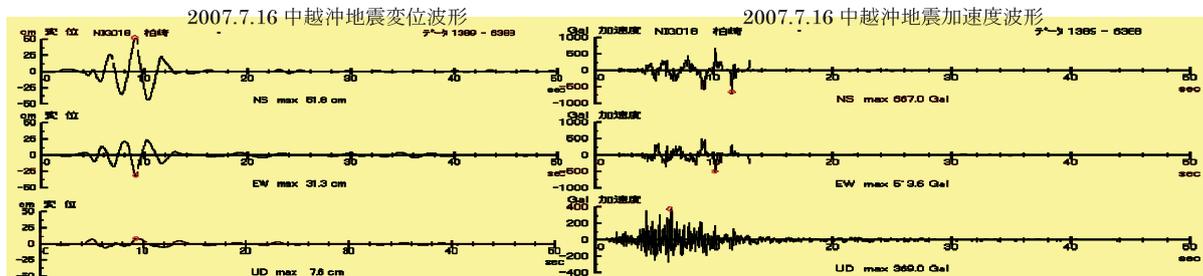
A : 地震計の振幅 (マイクロン)
 Δ : 震央までの距離 (km)



カイン（速度）とガル（加速度）



地球上では物体と自由落下させると、空気の抵抗がない時、落下する速度は毎秒980カインずつ増していく。(1kine=1cm/sec) これにより重力の加速度1Gは980ガルとなる。(1gal=1cm/sec²) 地震解析で用いる時計の大きさの指標として、以前は最大加速度を用いることが多かったが、最大加速度が大きくても建物の被害は少なかったり、またその逆だったりするのに対し、最大速度で見ると被害状況とほぼ一致することが経験的に知られるようになった。ちなみに阪神大震災では最大92カイン、818ガルであった。



耐震診断基準

既存、中低層鉄筋コンクリート造建物（以下RC建物）の耐震診断には略算レベルの異なる段階の診断法、すなわち第1次診断法、第2次診断法、第3次診断法がある。構造耐震指標（ I_s ）は建物の各階に梁間及び桁方向について下記の式により算出する。

$$I_s = E_o \times S_d \times T$$

E_o ：保有性能基本指標 S_d ：形状指標 T ：経年指標

第1次診断法

E_o 指標は延床面積壁率ならびに柱率により略算される建物の終局強度により算出される。 S_d 指標ならびに T 指標も、 E_o 指標略算法のレベルに見合った簡便法により算出される。この方法は、壁の多い建物に適した簡便法で壁の少ない建物に用いると E_o 指標が過小評価される傾向がある。

第2次診断法

E_o 指標は梁の強度は十分大きいとの仮定により、第1次診断法よりやや詳細な略算法によって求められる。柱、壁の終局強度、破壊形式および靱性能などから算出される。 S_d 指標ならびに T 指標についても第1次診断法よりやや詳細な検討法を適用する。鉛直部材の強度の他に靱性能も E_o 指標に反映されるので、靱性の高いラーメン構造をもつ建物などでは第1次診断法と比べ E_o 指標が大きくなる傾向がある。一般的にはこの2次診断が用いられることが多い。

第3次診断法

E_o 指標はフレームの降伏形、壁の基礎回転なども考慮して算出される。 S_d 指標ならびに T 指標は第2次診断法と同様に算出する。建物の特性が第2次診断法より更に詳細に検討され、その結果、信頼性は上昇する。

耐震性の判定

建物の耐震性の判定は、構造体、非構造部材のそれぞれについて行い、全体としてはそれらを総合的に考慮して判定する。構造体の耐震性の判定は、構造耐震指標（ I_s ）とこれに対する構造耐震判定指標（ I_{s0} ）を用いて行い、 $I_s \geq I_{s0}$ であれば安全、 $I_s < I_{s0}$ は疑問ありとなる。判定に際しては、診断結果の各指標とその算出根拠、および判定指標と判定結果、これらに対する所見を記し、診断表を作成する。



構造耐震判定指標（ I_{s0} ）

I_{s0} 指標は下式で求められる。 $I_{s0} = E_s \times Z \times G \times U$

E_s ：第1次診断では0.8 第2～第3次診断では0.6を基準とする。

Z ：地域指標でその地域の地震活動や想定する地震動の強さによる補正係数。

G ：地盤指標で地層地盤の増幅特性、地形特性、地形効果、地盤と建物の相互作用等による補正係数

U ：用途指標で建物の用途などによる補正係数

現場詳細調査

外観目視検査

主に亀裂や変形及び変質、老朽化の程度と範囲を部材別に調査し、梁伏図、軸組図に記入し、損傷のある部材の割合を梁、柱、壁、床スラブごとに算出する。亀裂については、その長さや幅等を調査する。

コンクリート圧縮強度

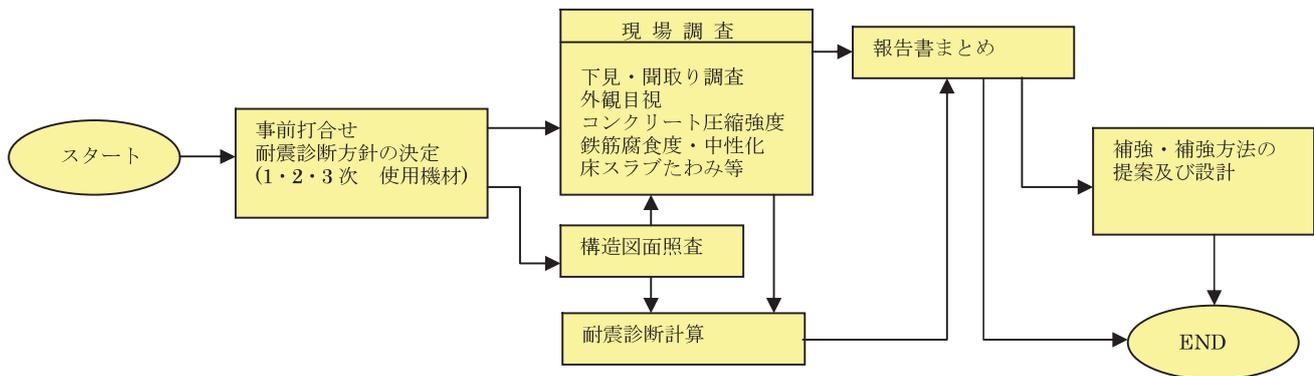
原則として、各フロアから3本ずつコアを採取し、圧縮強度試験を行い、耐震診断計算に使用する。コア抜きに際しては、鉄筋部分を避けるため、コンクリートレーダーを用いる。

鉄筋腐食度・コンクリート中性化調査

柱・梁の一部を研り取り、鉄筋の腐食具合、径等を調査確認する。コンクリート中性化調査は、鉄筋腐食度の調査位置にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、コンクリート表面から赤紅色に呈色した位置までの距離を測定し、中性化深さとする。4から8箇所測定し、耐震診断の変質・老朽化項目の減点対象とする。一般的に2次診断では、中性化深さはコアの測面または、割裂によりコア内部で調査を実施する。

不同沈下、床スラブたわみ

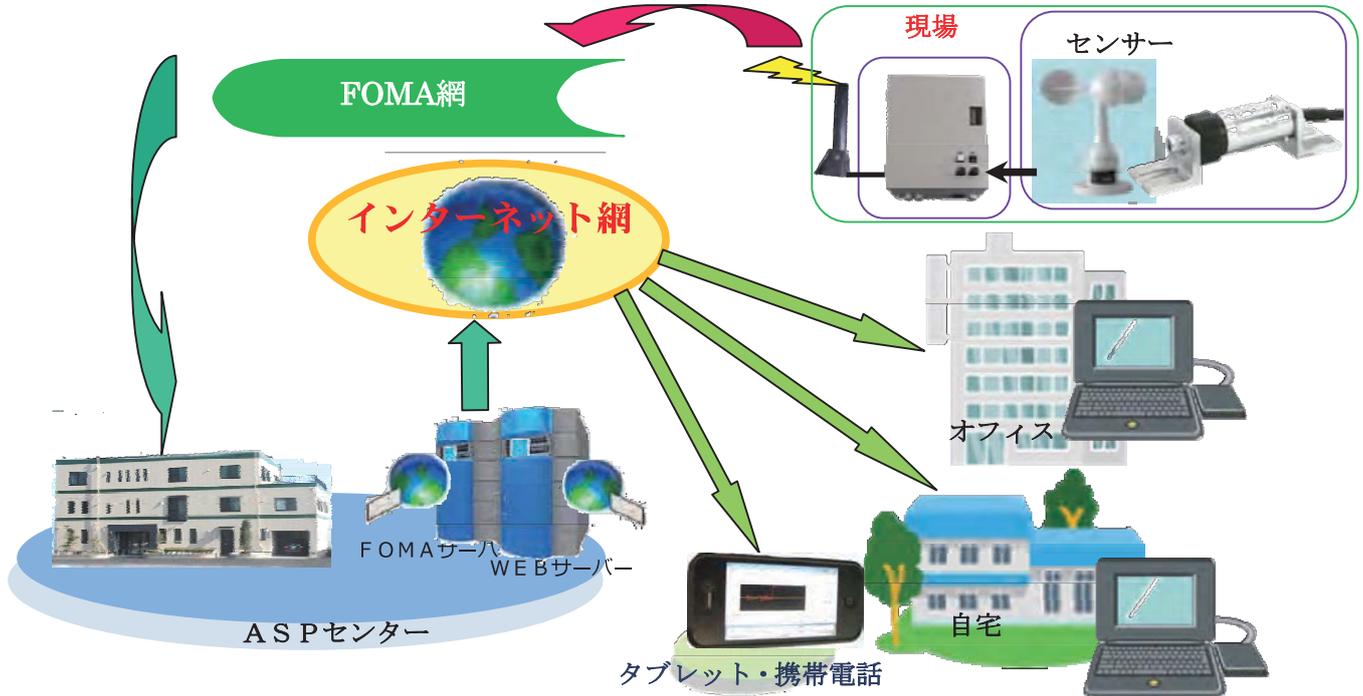
レベル計で測定する。不同沈下は各階の柱の付近で、床スラブたわみはスラブのメッシュ状の位置で測定し、沈下・変形具合を検討する。



モニタリングシステム

近年インターネットの普及により、遠方にある必要な計測データなどが簡単にモニタリング出来るようになってきた。特に 40 年以上が経過し、コンクリートの劣化や鋼材の亀裂と問題が多発している。以下に今後そのような問題に対応してどのようなものをモニタリング出来るかを説明する。

これまで現場でしか見る事のできなかった情報を、複数の任意の場所で監視できる特徴がある。



コンクリート亀裂や鋼床版亀裂のモニタリング

定期的に現場で亀裂の寸法を計測し管理することは非常に面倒なことである。また、データを取っても時間的なずれがあるなら、前回データとの比較を行うことができない。

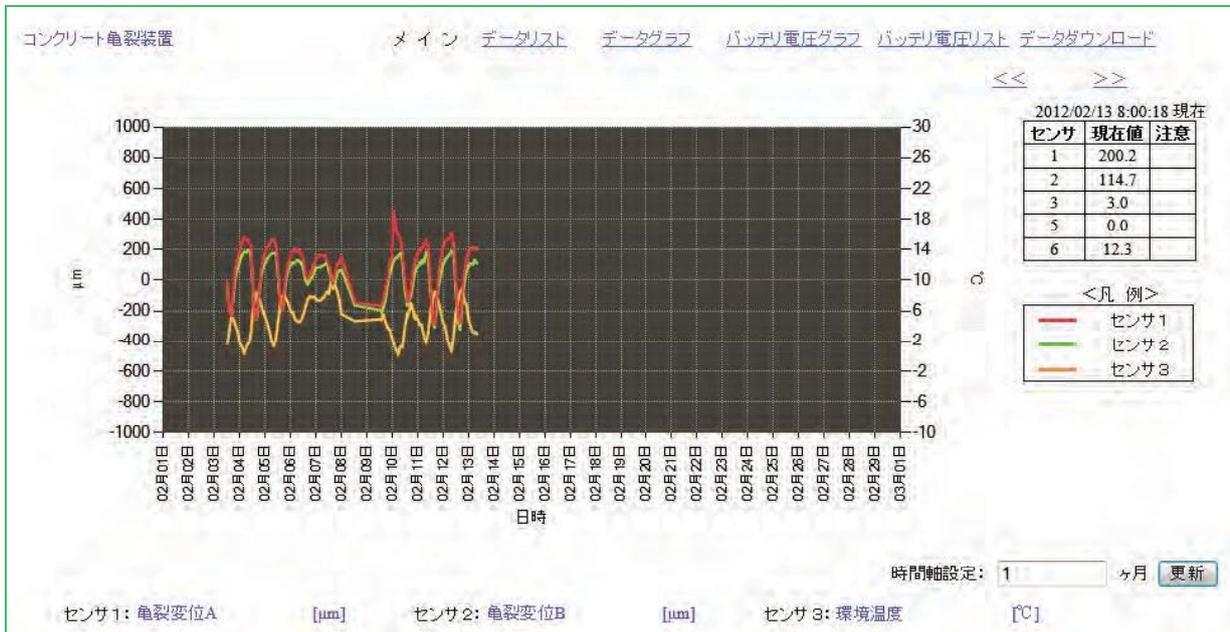
弊社 IMS-2000 は (IMS:インターネット対応モニタリングシステム) コンクリート亀裂部や橋梁鋼床版亀裂部に変位変換器を固定し、その出力をインターネット上でモニタリングするシステムである。

鋼床版に生じた亀裂のモニタリング画面の一例を下に記す。

赤と緑が亀裂変位の変化で黄色が鋼床版の温度である。温度と亀裂変位が連動していることが分かる。

このグラフは現場より 2 時間に 1 回のデータ送信によるものである。

現場には太陽光パネルが取り付けられ、商用電源は不要である。

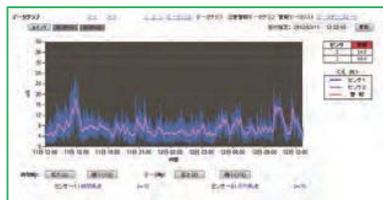
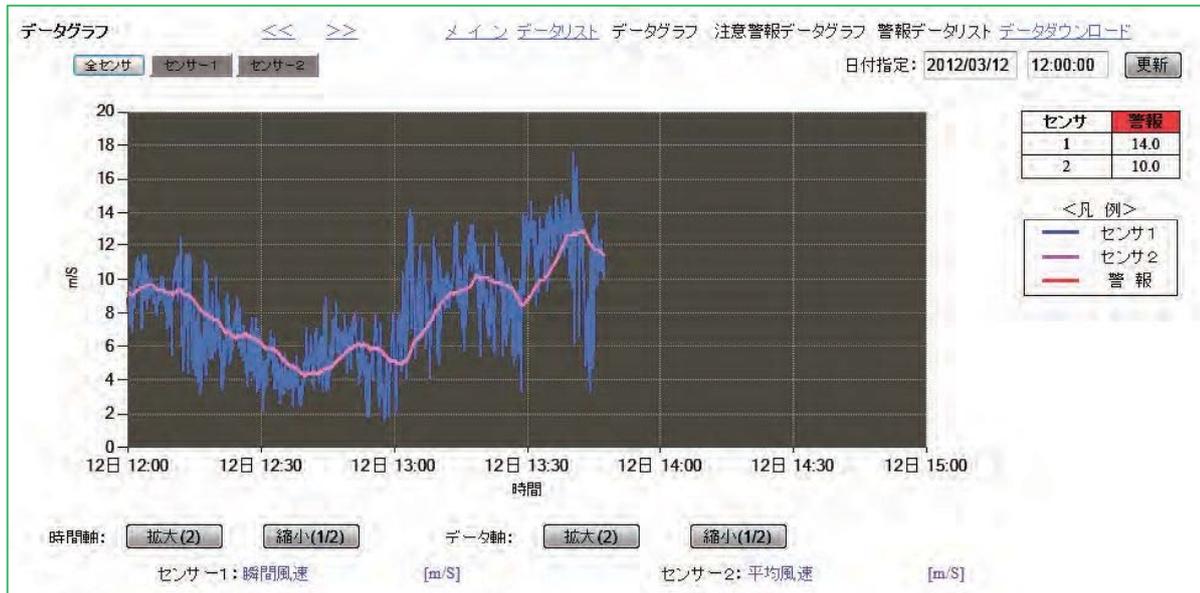


風速等気象観測モニタリング

橋梁などでは時には大きな風が吹き、車両が倒れたり工事中に人身事故が生じることもある。IMS-3000 は、現場に設置した気象観測データを FOMA 回線に乗せサーバーを経由してインターネット上でモニタリング出来るようにしたものである。モニター側のパソコンから、しきい値を設定することにより登録した複数台の携帯電話や E-mail に警報を出すことができる。

工事現場での風速モニタリング画面の一例を下に記す。

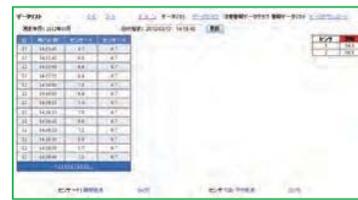
10 分間平均風速(ピンク)と瞬間風速(青)がリアルタイムで現場発信機より送信される。



横軸圧縮画面



警報しきい値設定画面

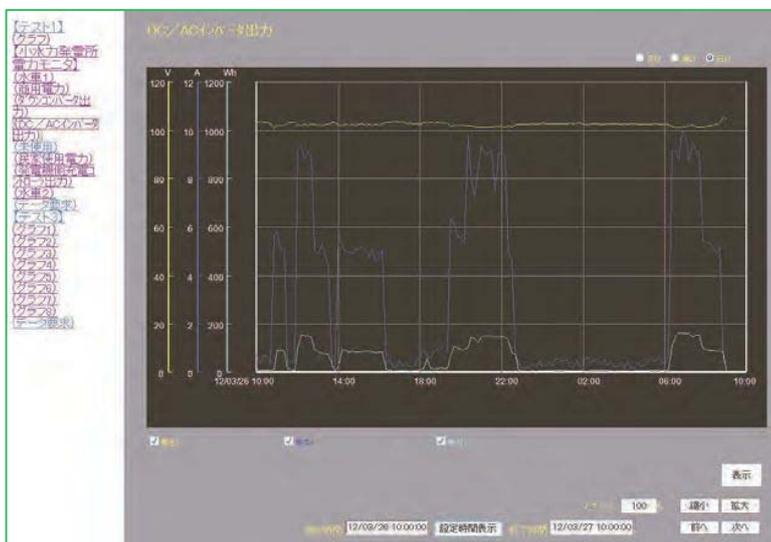


データ表示画面

スマートグリッドにおけるモニタリング

最近の電力不足による電力の確保のため、また環境に配慮して、さまざまな形態の発電施設が開所している。しかしながら小さい発電所は、発電電力量や電流電圧、消費電力などの監視はその設置場所の条件により放置されることが多い。IMS-1000 は小型発電用のモニタリングシステムである。

小水力発電所での電力モニタリング画面の一例を左下に記す。この場合 12 系統の電流・電圧・電力をモニタリングできる。



小水力発電

その他のモニタリング

3つのモニタリングについて説明したが、そのほかにもセンサーを用い電気的な信号が得られれば、さまざまなもののモニタリングが可能である。

放射能のモニタリング(市販されている測定器を用いたものや、シンチレーション放射能測定器等)

危険物地下タンクの使用量及び漏れ検知、海洋ブイのデーター、交通量監視、アンダーパスの水位測定、ダムや水力発電所の水位測定、振動や騒音測定、危険場所のガス濃度測定、水質測定、流量測定、コンクリートの自然電位測定、道路照明の球切れ監視、傾斜計、スキー場の人工降雪機のための気象モニター等列挙すると限りがない。

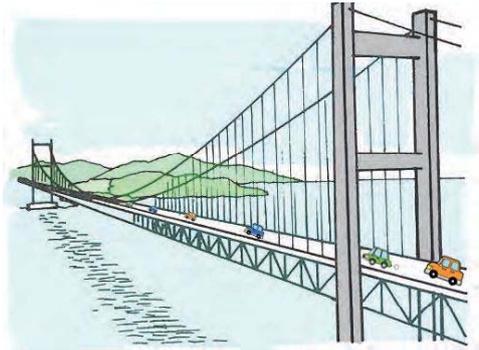
橋梁における検査・計測・診断技術

高度成長時代に建設された橋梁の多くはすでに40年以上が経過し、先述したがコンクリートの劣化や鋼材の亀裂と問題が多発している。以下に橋梁における検査・計測・診断等の技術について紹介する。

下の図は特にコンクリートについての調査に関して一般的に用いられている手法を分類したものである下表が示しているように、非破壊と微破壊の調査等に分類できる。

赤で囲った方法は弊社が行っているものである。

様々な、調査法が考えられ、より精度を上げるために複数の検査法を併用することも重要である。



RC橋・PC橋・鋼橋

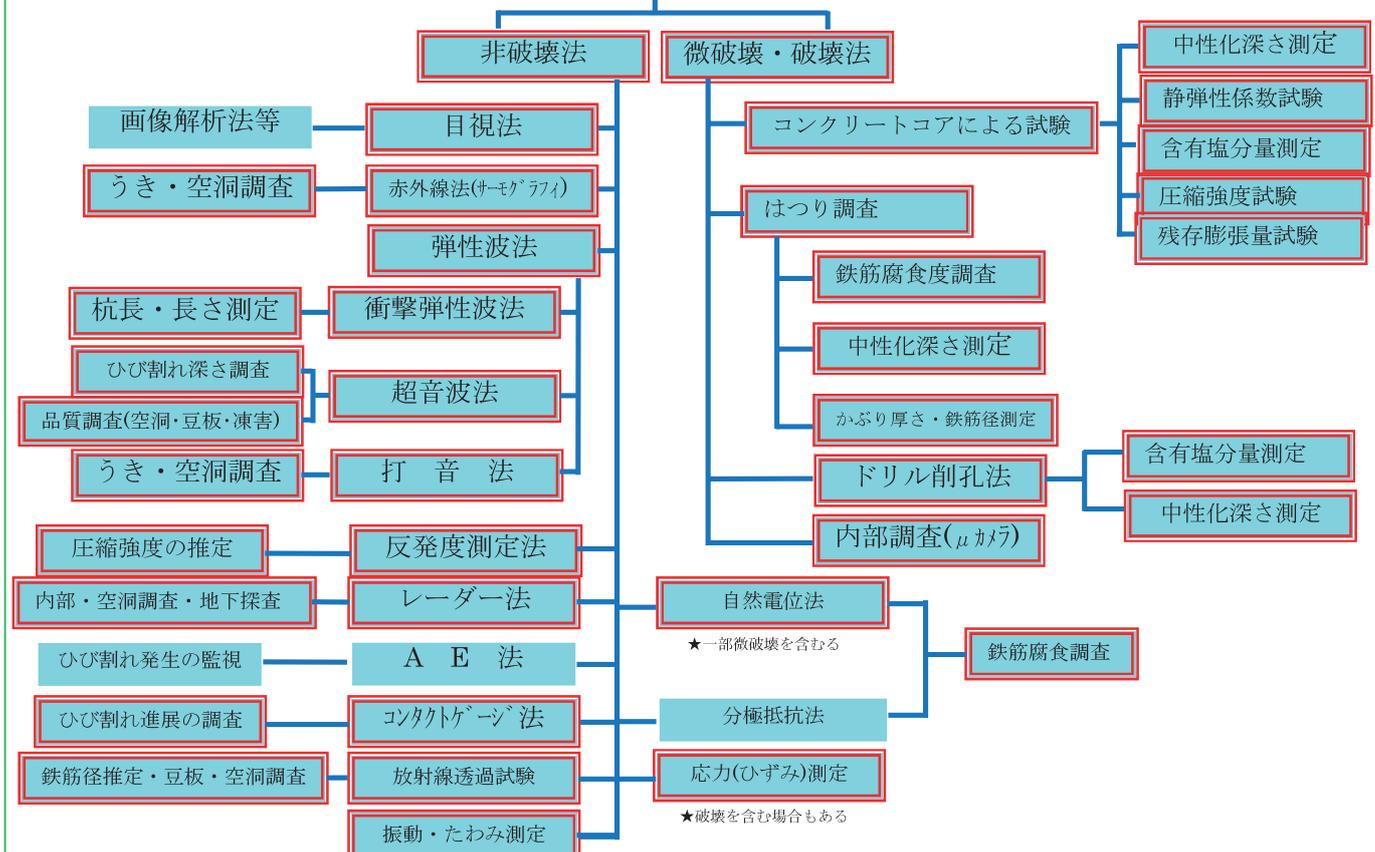
調査診断業務の種類

凡例

■ 弊社で可能な調査

診断の業務

コンクリート調査診断





高欄
PT
MT



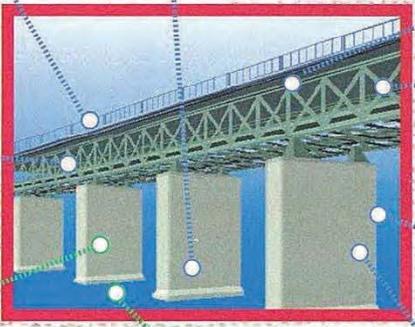
鉄筋腐食
自然電位測定



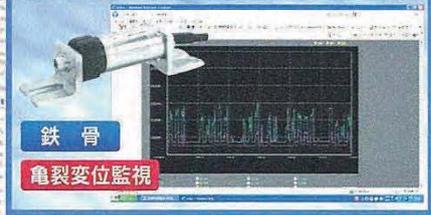
橋桁・水管橋
UT・肉厚測定



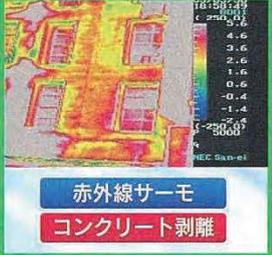
橋梁鉄骨 UT



弊社販売
検査診断機器



鉄骨
亀裂変位監視



赤外線サーモ
コンクリート剥離



基礎鉄筋・鋼管杭 MT・PT・RT
衝撃弾性波試験



耐震補強
アンカー引抜強度



橋脚函桁コンクリート
MT・ガス圧接 UT



橋梁
たわみ・応力・応力頻度測定

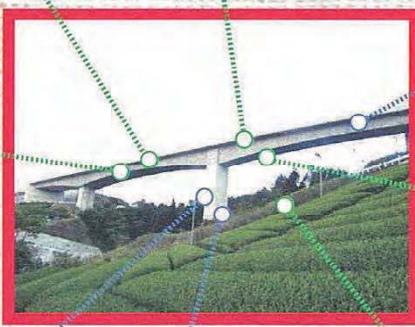


コンクリート
硬化時温度管理

外気温	表面	内部	養生内	電圧値
-----	----	----	-----	-----



コンクリート
インターネット対応
コンクリート亀裂変位
監視システム





アルカリ骨材反応
鉄筋の応力測定

略号説明
MT:磁粉探傷検査
PT:浸透探傷検査
RT:X線透過検査
UT:超音波探傷検査
AE:アコースティックエミッション



コンクリート構造物
電磁波レーダーによる
鉄筋探査



コンクリート構造物
電磁誘導方式による
鉄筋探査・かぶり厚
鉄筋径測定



地下探査
地中埋没物調査



内部調査
μカメラ
ファイバースコープ



木 橋

木橋等の木造構造物の調査手法は、鋼やコンクリートに比べ、調査方法や判断基準といった調査技術に関しても明確に確立されておらず、目視や打診に頼る方法が実施されているのが現状である。

木橋は点検が重要であるにもかかわらず、「わからない。」といふ方が多い。点検の結果の判断も点検者により異なり、画一化されていない。なぜかという、材料が「木材」という厄介な自然素材であるからである。さらに、過去の点検のデータが十分に管理されておらず、点検後の劣化状況の比較が容易にできない状況にある。近年、やっと機材を使用した調査方法も考案されるに到った。その例を示す。

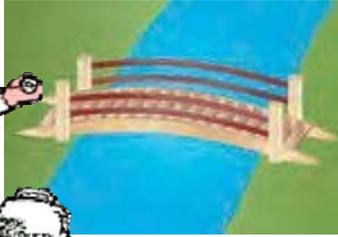


機材を使用した木橋の検査法の例

機 材	概 要
含水率計	木材の含水率を測定し、腐朽発生の予測やその兆候を確認する。
ドリル穿孔 (レジストグラフ)	特殊形状のドリル、木ネジ等により穿孔したときの切削抵抗（トルク）を測定し、劣化の状況（場所・深さ等）を確認する。
超音波伝播速度	木製電柱等の非破壊検査方法等に用いられている超音波伝播速度の測定により、腐朽部の発生具合を調査する。腐朽部分では伝播速度が遅くなる傾向が見られる。

含水率測定

木橋や木造構造物は建造後、カビ、腐朽菌およびキノコが木質部材欠陥の主な要因となる。いずれも適度な水分が大きく関与する。よって含水率を測定することで腐朽菌発生の予測や、腐朽の兆候が確認できる。



含水率の測定は含水率計を使用し、携帯用として電気抵抗式と高周波式の含水率計が市販されている。下記にそれぞれの特性を説明する。

• 電気抵抗式含水計

繊維飽和点以上の含水率は測定できない。電気力線の浸透が浅く平均含水率の測定が困難、樹種や比重の影響は小さいが、温度補正が必要であるなどの特徴がある。

• 高周波式含水計

繊維飽和点以上の含水率でも測定できる。電気力線の浸透が大きいので、平均含水率の測定に便利である。温度の影響は少ないが比重に対する補正が必要などの特徴を有する。



含水率測定



含水率測定



含水率計

腐朽菌は、木材中に菌糸を伸ばし、酵素により木材成分を分解して生育している。菌の種類によって傾向は多少異なるが、腐朽菌による木材成分の分解により、木材の強度低下、材面の変色を引き起こし、建物の倒壊や事故、トラブルの原因となる。

含水率は、平衡含水率および繊維飽和点が判定の目安となり、常時平衡含水率以下にあれば、その部分は生物劣化を受けにくいと判断される。また長い期間にわたって繊維飽和点以上の数値を示している場合は、すでに何らかの劣化が生じている可能性が高く、追加調査が望まれる。

ドリル穿孔測定

ドリルの刃を穿孔させ、先端にかかる木材の内部抵抗により、表面から見えない部分の内部欠陥およびその兆候を推定する方法で、目視・触診・打診あるいは超音波検査等、他の検査を実施後、内部欠陥の疑いがあると認められた場合に用いられる。

レジストグラフは、直径 1.5 mm のドリルシャフトが先端に向かって先細り状に平たくなりながら 3 mm 幅の平板状のニードルになっていて、この先端が定められた速度で木材の中に入っていく過程で、木材の内部抵抗を波形グラフに変換し記録していく測定装置である。

補修を前提に市販の電動スクリュードリルを使用する場合は、抵抗だけではなくニードルの進入で生じた切り屑やきり粉の状態から、腐朽の状況や兆候を観察することができる。またサンプリングを実験室に持ち込むことで腐朽の原因を追求することも可能である。



レジストグラフ





ドリルによる穿孔作業



レジストグラフを使った点検

超音波伝搬速度測定

測定点を2点設け、発振子より超音波を発生させ受振子で受け、その透過時間を測定することで木材内部の欠損を予想する非破壊試験方法であり、一般には測定した2点間距離を透過時間で割り算出された速度が判定のパラメータとなる。木材の樹種、密度、含水率の影響により数値は変化するため、判定にあたってはその都度基準値の設定が不可欠になる。

発振子・受振子であるトランスジューサーは設置面が平らであるものと尖型タイプのものであり、前者は表面が凹凸である場合、後者は表面割れの影響により測定値が得にくい場合がある。パンジットは、操作や読み取りに高度な専門知識を必要とした従来の超音波試験機に比べ取り扱いが簡便化されていて、経験のない人でも容易に個人差なく測定値を得ることができる。また軽量・小型であるため現場での試験が可能である。シルバテストはより小型化した測定器で携帯に便利で、公園遊具や木造住宅の維持管理に広く用いられている。この検査方法は、木製電柱の非破壊検査として利用されてきた。



超音波測定器(左:パンジット、右:シルバテスト)

編集後記

「見えないものをみる」方法は電子技術の進歩とともに日々大きく躍進している。また、見えないものをみたいという要求は、時代の流れの中で日一日大きくなっている。

しかし、現在技術がいくら向上したとしても、大事なはその技術を用いて、ものを少しでも安全に保とうとする一人一人の努力であると思う。

編集著者
株式会社アイペック

2013. 4. 1 第4版 (初版1995)



株式会社 アイペック
URL : <http://www.ipec-com.jp>
E-mail : info@ipec-com.jp

本	社	〒931-8326 富山県富山市上野新町5番4号 TEL(076)438-0808/FAX(076)438-0833
分	室	〒931-8326 富山県富山市上野新町7番57号 TEL(076)438-4116/FAX(076)438-4301