

# PC グラウトに関する非破壊調査システム

問合せ先：国際建設技術研究所

〒 550-0005 大阪市西区西本町 1-7-8 柴田東急ビル 2F  
TEL 06-6539-7641 FAX 06-6539-7670 URL http://www.kokusai-se.co.jp

## 1. 調査システムの概要

PC ケーブルのシース内にグラウト未充てん部分が存在すると、その部分へ雨水や海水あるいは凍結防止剤を含んだ水の侵入により、PC 鋼材が腐食し最終的に破断に至ることがある。グラウト不良が原因でPC 鋼材が腐食し破断する場合は、その破断時の衝撃エネルギーによりコンクリートがはく落する事例も報告されている。このようなケースでは、橋梁の架橋位置によっては重大な第三者災害を引き起こす可能性があるばかりでなく、部材の耐荷性能の低下にも繋がる。PC グラウトの充てん度の把握はPC 構造物の維持管理を行う上で最重要項目のひとつである。

PC グラウトに関する非破壊調査システムは、ポストテンション方式の内ケーブルを対象としており、そのシース内のグラウト充てん度を非破壊検査により評価するものである。本調査システムの概要フローを図-1 に示す。

グラウト不良に起因していると考えられる外観変状が確認されたPC 構造物において、PC 鋼材を傷つけることなく実施できる非破壊調査は次の3 工法である。

- 1) 衝撃弾性波法
- 2) インパクトエコー法
- 3) X 線透過法

各工法の適用にあたっては、適用可能な条件が異なるため、事前に十分な検討が必要である。

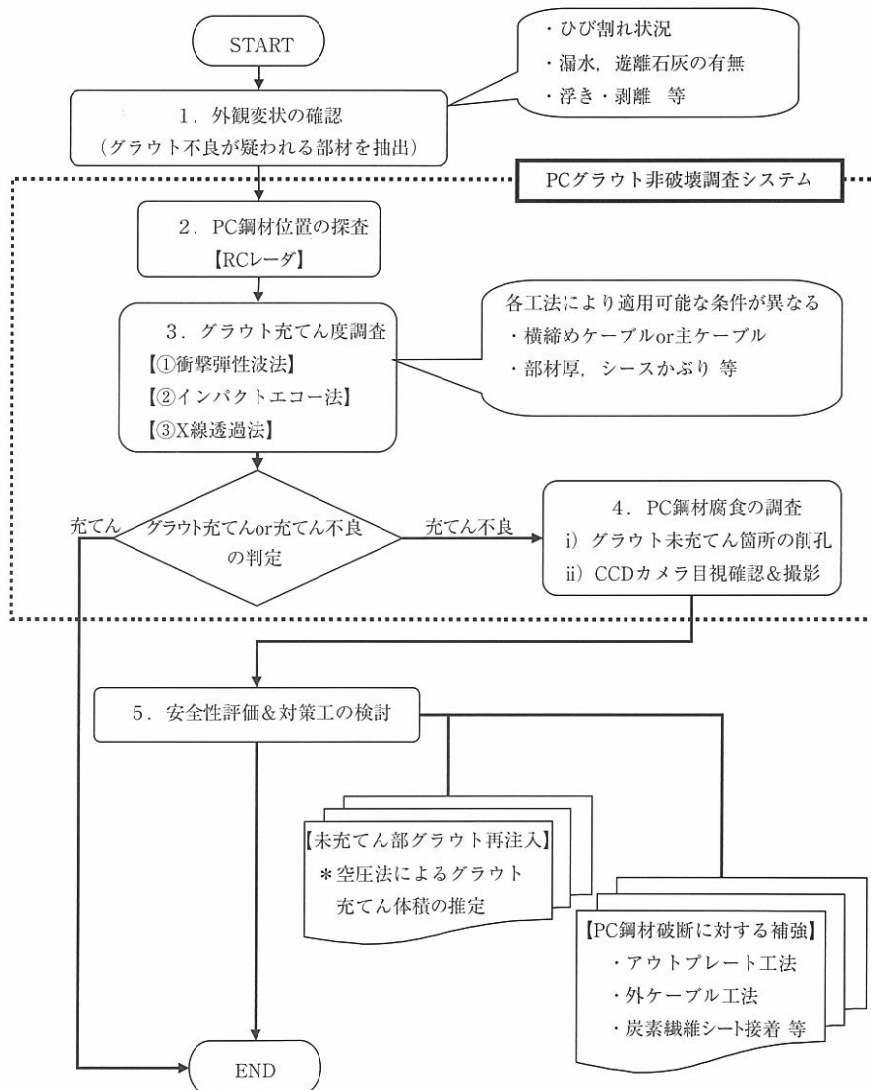


図-1 PC グラウト非破壊調査システムの概要フロー図

## 2. 衝撃弾性波法

### 2.1 測定方法

PC 鋼材の定着部付近のコンクリート表面をハンマーなどで打撃して弾性波を入力し、その近傍の入力信号と伝播した弾性波を反対側の定着部付近で出力信号として AE センサーを用いて受信する方法で、横締めケーブルの 1 本全長に対するグラウト充てんの確認に利用される。グラウト充てん状況によって伝播特性が変化することを利用した非破壊検査手法である。図-2 に測定概要を示す。

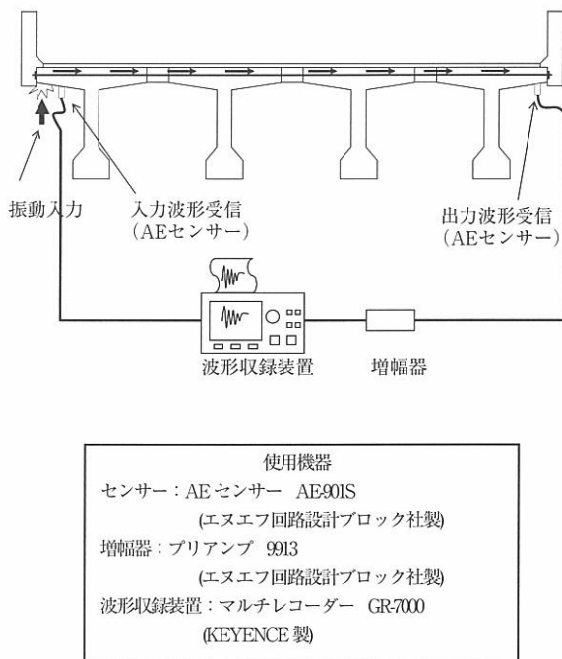


図-2 衝撃弾性波法の測定概要

### 2.2 評価方法

衝撃弾性波法では、PC 鋼材を伝播する弾性波の伝播エネルギーの減衰程度と伝播速度を測定することで、グラウトの充てん度を評価することができる。グラウトが充てんされている場合は、グラウトの拘束によって PC 鋼材を伝播するエネルギーが減衰するために、出力波の振幅が小さくなる。グラウトが充てんされていない場合は、PC 鋼材を拘束するものがないために、伝播エネルギーの減衰が少なくなり、出力波の振幅が減少する程度も少なくなる。また、PC 鋼材を伝播する弾性波伝播速度は、グラウトが充てんされているものの方が充てんされていないものより遅くなる。

測定データの評価は、伝播速度(式(1))と、入力最大振幅と出力最大振幅の比である入出力比(式(2))によって行うことを基本としている。

$$V = L/t_0 \quad (1)$$

ここに、 $V$ : 伝播速度 (m/sec)

$L$ : 測点間距離 (m)

$t_0$ : 入力波到達時間 ( $\mu$  sec)

$$S = a_0/a_i \quad (2)$$

ここに、 $S$ : 入出力比 ( $\times 10^{-2}$ )

$a_0$ : 出力信号の最大振幅 (mV)

$a_i$ : 入力信号の最大振幅 (mV)

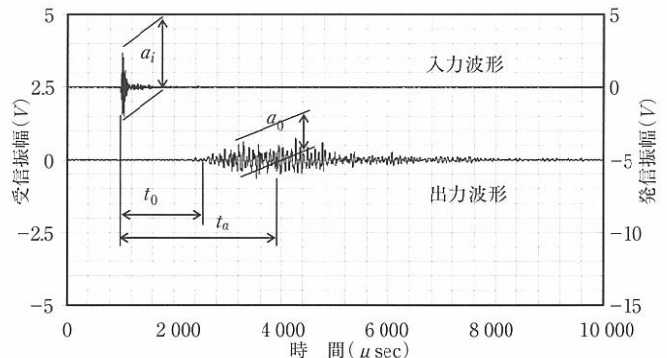
出力側からの弾性波には縦波と横波の 2 種類が含まれており、入出力比を正確に把握するためには、先に出力側に到達する縦波のみを着目する必要がある。そこで、横波が到達する時間 ( $t_a$ ) を算出し、 $t_a$  秒未満の範囲で出力側の最大振幅を設定する必要がある。

$$t_a = L/V_s (\mu \text{ sec}) \quad (3)$$

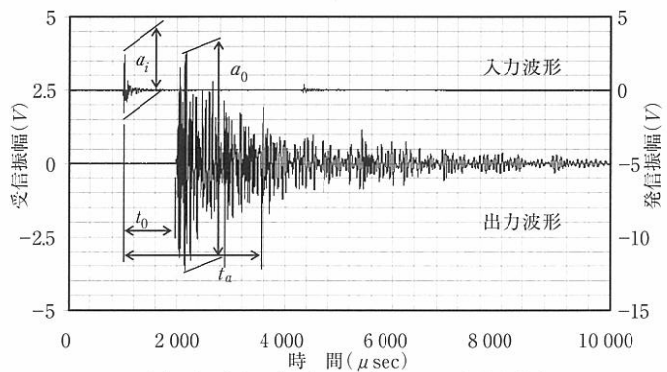
ここに、 $L$ : 測点間距離 (m)

$V_s$ : 横波伝播速度 (2 500m/s)

図-3 に測定波形の例を示す。グラウトが充てんされている場合は、出力波形の振幅が小さく波形の立ち上がりは遅い。逆に充てん不良の場合は、出力波形の振幅は大きく波形の立ち上がりは速い。



(a) 「充てん」：グラウトが充てんされている場合



(b) 「不良」：グラウトの充てんが不十分な場合

$a_i$ : 入力波形最大振幅

$a_0$ : 出力波形最大振幅

$t_0$ : 入力波形到達時間

$t_a$ : 横波到達時間

図-3 衝撃弾性波法の測定波形の例

入出力比と伝播速度とグラウト充てん度との関係のイメージを図-4 に示す。

グラウトの充てん度が低い場合は、入出力比が大きく伝播速度が速い傾向を示す。一方、グラウトの充てん度が高い場合は、入出力比が小さく伝播速度が遅い傾向を示す。これらの現象から、グラウト充てん度は入出力比と伝播速

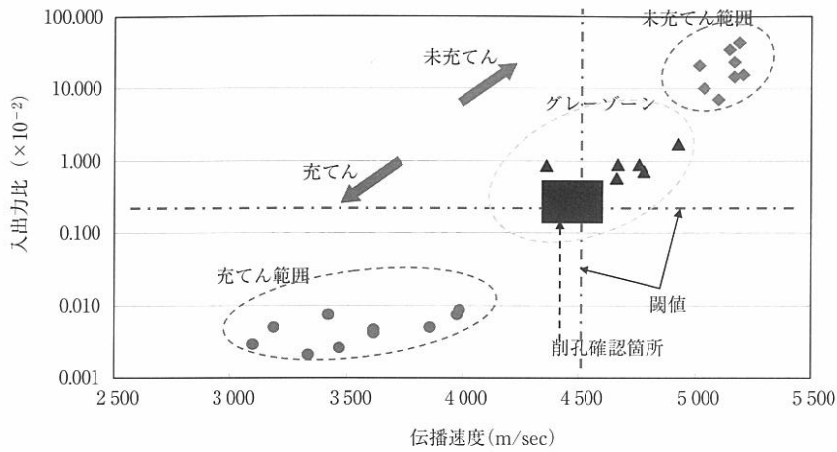


図-4 衝撃弾性波法 入出力比、グラウト充てん度の関係

度に対して閾値を設定して評価できる。閾値は、対象となるPC鋼材や定着具の種類、長さを考慮した既往の実績を基に、測定結果でグレーゾーンと評価されるケーブルについて数本を選定し、これらを削孔・目視確認することにより設定する。

### 3. インパクトエコー法

#### 3.1 測定方法

コンクリート表面に打撃などにより弾性波が入力された場合、弾性波の縦波成分は、コンクリート内部の欠陥あるいは異なる材料の境界面において反射を起しコンクリート表面と欠陥あるいは異なる材料の境界面との間に往復する定常な波が生じる（縦波共振現象）。インパクトエコー法は、この現象を利用して入力点付近で計測された波形の周波数スペクトルのピーク位置からコンクリートの内部状況を推定する方法である。PCグラウト充てん度を調査する場合は、PC鋼材が配置されている部分のコンクリート表面に弾性波を入力し、反射波をセンサーで受信することにより、PCケーブル内部に生じた空隙の有無からグラウトの充てん、未充てんが判断できる。インパクトエコー法はPCケーブルの部分的なグラウト充てん状況を確認できる手法であり、横締めケーブルおよび主ケーブルに適用可能である。

インパクトエコー法の測定には打撃入力装置、受振子、信号増幅アンプ、およびデータの記録と信号の解析のためのパソコンを使用する（図-5）。インパクトエコー法によるグラウト充てん状況の調査は、まず設計図書を基に電磁波レーダ法によりシース位置を確認し、シース直上のコンクリート表面に小型の鋼球を用いて打撃により弾性波を入力する。弾性波の受振は、入力点付近に設置した広帯域変位測定型AEセンサーにより行う。受振された信号はアンプで増幅した後、波形収集システムにおいて高速フーリエ変換（FFT）を施して周波数スペクトルを算出する。



図-5 インパクトエコー法の測定装置

#### 3.2 評価方法

インパクトエコー法によるグラウト充てん状況の評価方法を以下に示す。図-6のようにグラウトが充てんされている場合は、得られた周波数スペクトルはコンクリートの版厚によるピーク周波数 $f_T$ が出現する。これに対して、グラウトが未充てんの場合は、シース内部の空隙での反射によるピーク周波数 $f_{void}$ が出現する。これらのピーク周波数はコンクリートの縦波伝播速度を $V$ とすると、図中の式(4)、式(5)で表される。ここで、 $V$ は縦波伝播速度、 $T$ は部材の厚さ、 $d$ はシースまでのかぶり厚さである。

評価は人為的な誤差を排除するため波形解析ソフトを用

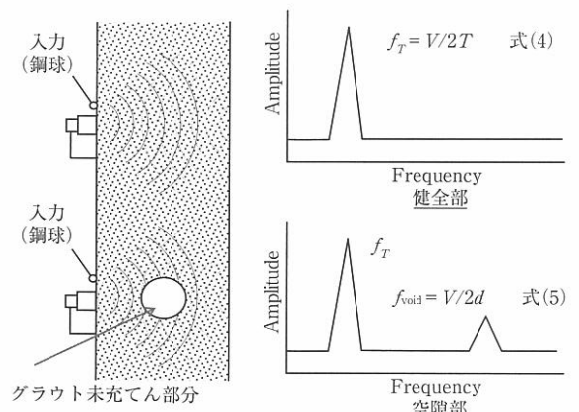


図-6 インパクトエコー法 周波数応答特性の概念

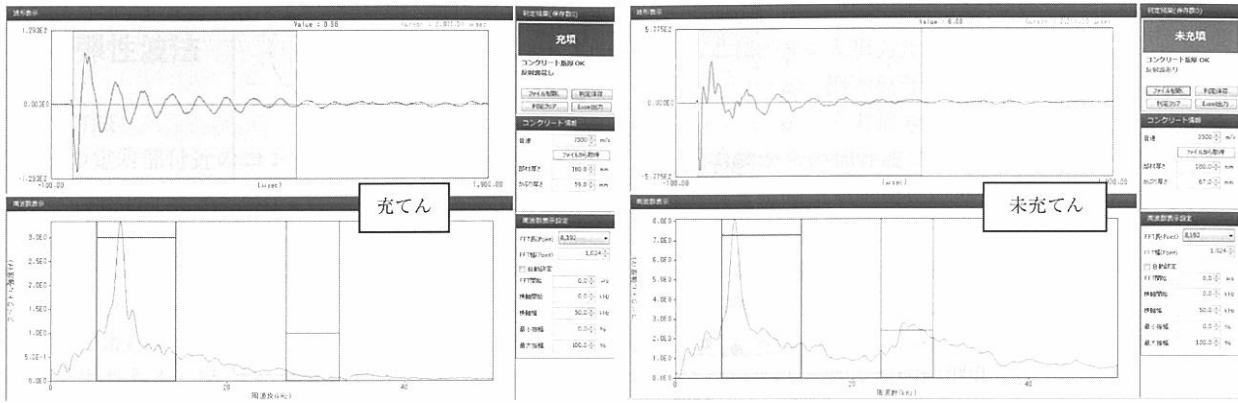


図-7 インパクトエコー法 波形解析ソフトによる判定事例

いて行うことができる。図-7にインパクトエコー法により測定したデータの波形解析ソフトによる判定事例を示す。

## 4. X線透過法

### 4.1 測定方法

グラウト調査対象箇所の裏側に X 線検出媒体である IP. (イメージングプレート) を設置し、X 線発生装置により X 線をコンクリート部材に透過させ IP. (イメージングプレート) に撮影する。撮影された透過画面からグラウト充てん状況を判定する。図-8 に測定概念を示す。

### 4.2 判定方法

X 線は、物質を透過する性質および放射線がフィルムなどの感光材料に当たった時に感光させる性質をもっている。感光材料に当たる放射線が強いほど濃度(感光材料の黒化度)が増す。感光材料に到達する放射線の強さは透過する試験体の厚さ、材質に大きく影響され、鉄鋼材料は放射線を透過しにくく、空洞等の気体は放射線を透過しやすい。したがって、コンクリート内の鋼材(鉄筋や PC 鋼材等)は周囲に比べて白く写り、グラウト未充てん部分の空隙は黒く写る。この撮影された画像のコントラストの違いによってグラウト充てん状況を識別することができる(図-9)。

X 線透過法は、部材を挟み込んで撮影することが基本となる。撮影可能なコンクリート部材厚は 500mm 以下であ

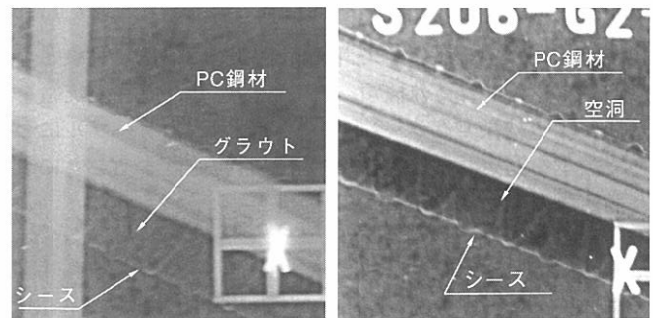


図-9 X線透過法撮影事例

るが、部材厚により X 線照射時間は大きく異なる。一般に、X 線照射時間は部材厚 200mm では 5 分未満であるが、部材厚が 500mm のものでは 120 分程度必要となる。

## 5. PC 鋼材腐食の調査

グラウト未充てんと判定された PC ケーブルに対して削孔を行い直接腐食状況を確認する。削孔はあらかじめ電磁波レーダ法により削孔位置周囲の鉄筋や PC 鋼材の配置状態を確認した上で行う。PC 鋼材を傷つけないように削孔を行う必要があるため、ドリルはシースに接触すると自動的に電源を遮断するコントローラを取り付けたものを使用する。削孔後、孔内をペンライト等で照らして、目視によってシース内部のグラウト充てん状況や PC 鋼材の腐食状況を確認するとともに、CCD カメラを用いて撮影を行う(図-10)。

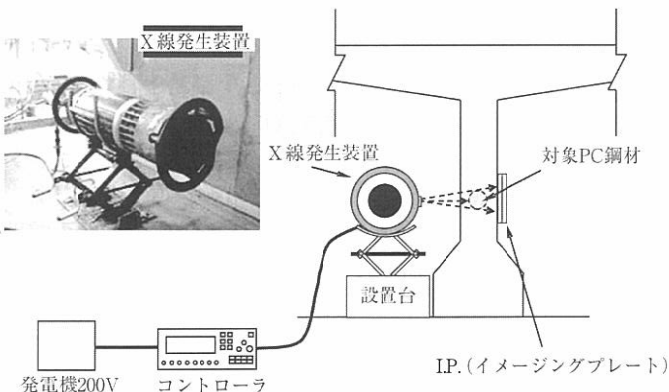


図-8 X線透過法撮影概念



図-10 CCD カメラによる削孔内撮影事例