

## 広帯域超音波探査法を用いたPCグラウトの充填度測定

- (株)日本ピーエス 技術管理部 正会員 原 幹夫  
日本道路公団 静岡建設局 正会員 本間 淳史  
日本道路公団 静岡建設局 正会員 青木 圭一  
(株)エッチアンドビーシステム 廣瀬 正行

### 1. はじめに

PCケーブルのグラウトは、PC鋼材の防錆及びコンクリートとPC鋼材の一体性を確保するために重要な要素である。近年、このグラウトに関わる問題が顕著化し、特に充填性の確認に関しては大きな課題となっている。

内ケーブルはコンクリートに覆われていることから、充填性の確認は非破壊で行う必要がある。現在、新設時の充填性の確認方法として、透明のシースを用いた目視、ファイバースコープによる観測や、シースに取り付けたセンサーによる充填確認を試行している状態にある。しかし、これらの方法では精度は比較的高いが、確認できる箇所が限定されることからケーブル全体の担保とはならないため、任意の箇所でも確認できる方法が望まれている。

任意の箇所での確認方法の代表にX線撮影が挙げられるが、計測時間やコンクリートの部材形状に制限を受けることから、適用範囲に限界がある。また、電磁波レーダや衝撃弾性波による探査も試みてはいるが、その判定精度は未だ実用に至ってはいない状況にある。

これらの現状を踏まえ、本報告では超音波を利用したコンクリート内部探査法により、内ケーブルのグラウト充填状況の確認を行った結果を基にその判定精度の可能性を検討した。従来、弾性波や超音波などの振動工学（音響工学）的な非破壊検査手法は、鉄筋や骨材が入ったコンクリートの内部探査には不向きとされてきたが、本手法ではこれらを解消するため、広範な周波数領域を使用する広帯域超音波を用いた。

### 2. 広帯域超音波探査法によるグラウト探査の原理と特徴

広帯域超音波によるPCケーブル内のグラウト探査は以下の方法により行う。

- 1) 探査目的物のコンクリートの音速を計測する。
- 2) コンクリート内に高強度で広帯域の周波数の超音波を入力する。
- 3) 鉄筋・骨材・シースからの反射波及びコンクリートの表面波等を含む起生波を全て収録する。
- 4) 収録した起生波をフィルタリングし、探査対象物（シース）からの反射波を特定する。
- 5) 特定したシースからの反射波の特性（共振・後方散乱など）を分析して、グラウトの充填状況を判断する。

この探査法では、従来の単一周波数超音波による探傷法と異なり、先に計測した音速を基準に起生波をフィルター処理し、目的物（シース）からの情報を特定する技術を使用する。そのため、5kHz～約700kHzと帯域の広い周波数が必要であり、情報量を多く得ることにより正確な判断ができるようになる。これら多くの情報を解析する方法は現在7つあり、使い分けにより判定精度を確保している。

広帯域超音波探査法は以下の特徴を持つ。

- 1) 解析方法を変えることで、シースの材質・径、かぶり深さ、配筋状況などの変化に対応できる。
- 2) 部材厚の影響を受けないため、透過法では対応できない箇所でも計測できる可能性が高い。
- 3) シースの平面位置やかぶり厚を正確に測定できる。
- 4) グラウトの充填判定時間が早い。（ソフトの整備状況次第ではリアルタイムの判定が可能）

図-1 に広帯域超音波探査装置の概要を示す。広帯域の超音波を発信器(2a)から入力し、シーすからの反射波をある距離を隔てた位置に据え付けた受信器(2b)により受信する。

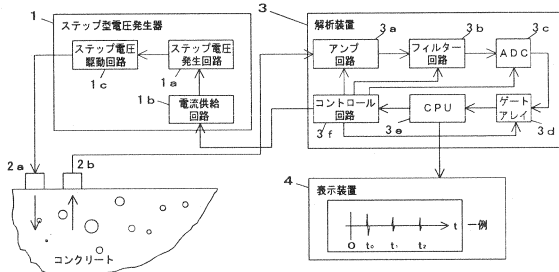


図-1 広帯域超音波探知装置



写真-1 広帯域超音波探知装置

### 3. 新設橋での検討

新設構造物ではグラウト施工前の状況の計測が可能であることから、充填前のデータを一時的にインisialとして比較計測ができる。この場合、事前に供試体により完全に充填されている状況を確認することで、充填後の判定の確実性を確保した。

#### 3-1 注入作業時の確認

注入作業の充填確認の測定方法は、計測地点をグラウトが通過する前から5秒毎に手で受信波を計測し、計20の波のスペクトルを重ねて表示する方法とした。同一地点を連続して計測した場合、未硬化グラウトが充填されていく過程での音響インピーダンスの変化に着目し、スペクトル値が変動する現象を利用したもので、完全に充填されるとスペクトル強度がほぼ一定値に集束する。図-2に計測状態の模式図を、図-3に計測結果の表示で、白い帯の中にスペクトルの最大値が集束した状態を示す。これらの手法により作業中に充填の確認を行うことができた。

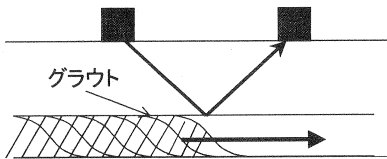


図-2 グラウト充填中の計測模式図

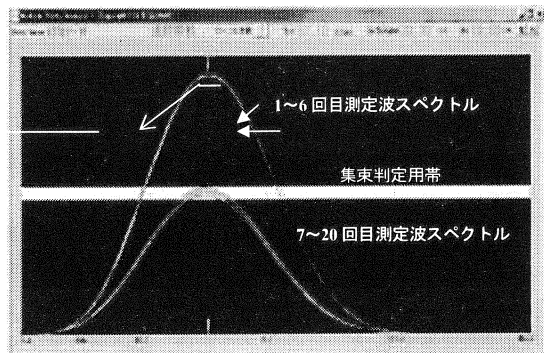


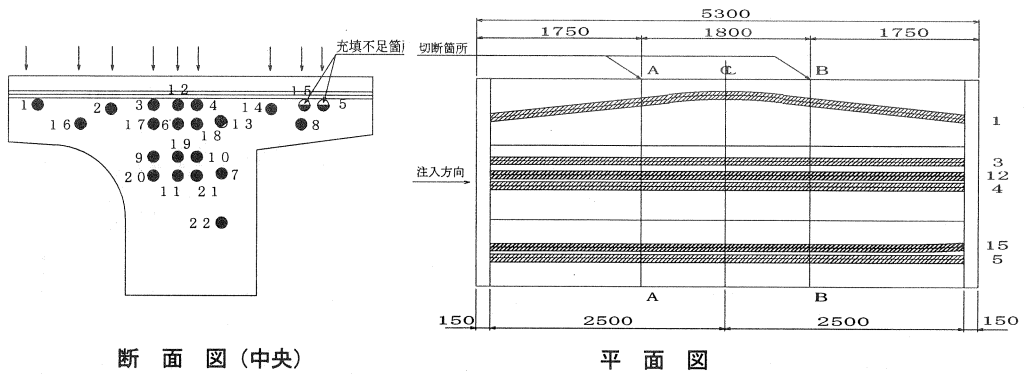
図-3 グラウト注入時充填度リアルタイム探知結果

#### 3-2 注入後（グラウト硬化後）の確認

グラウト充填後の確認は張出施工を想定した大型供試体にグラウトを充填し、充填状況を変えて判定の確認を行った。実験に用いた供試体のケーブル配置を図-4に示す。鉄筋は橋軸直角方向に床版部でD16を125mm間隔とし、ウェブ上ではD25、2本を125mm間隔とした。また、橋軸方向にはD25を125mm間隔とし、それぞれ実橋を再現した形状とした。

グラウトの充填は2次に分けて行い、充填済みの箇所と未充填の箇所が混在する状態で判定を行った後、最終的に注入を意図的に中断したケーブルを作成し計測した。注入を中断したケーブルは供試体製作者も探査担当者も充填状況は判らないため、充填探査が終了後計測箇所を切断し、計測結果と照合した。

この探査では、密に配された鉄筋からの干渉と隣接するケーブルからの影響を大きく受ける。そのため、空のシースはPCグラウトが充填されたシースに比べ反射波強度が大きい性質を利用し、ある距離を置いて重複反射波を捕らえ、それを重ね合わせて強調するために重畳波を表現に用いた。判定は画像処理によりシース内の空洞を輝円で表し、完全に充填されている場合の表示は現れない状態となる。



断面図 (中央)

平面図

図4 供試体ケーブル配置図

各切断箇所の探査結果を図-5及び図-6に示す。さらに切断した結果を写真-2及び写真-3に示す。

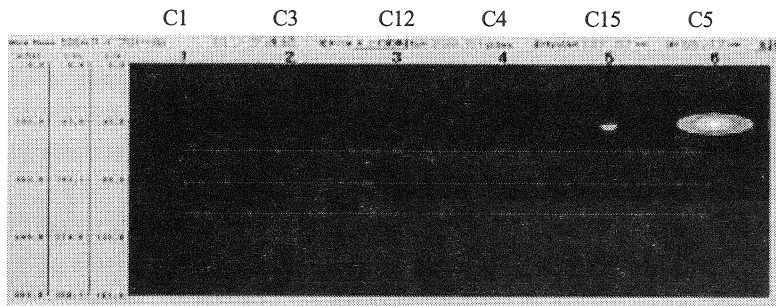


図-5 切断箇所Aの探査結果

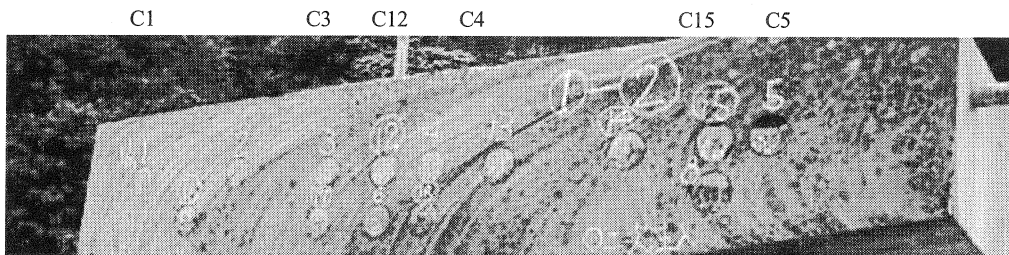


写真-2 切断箇所Aの切断状況

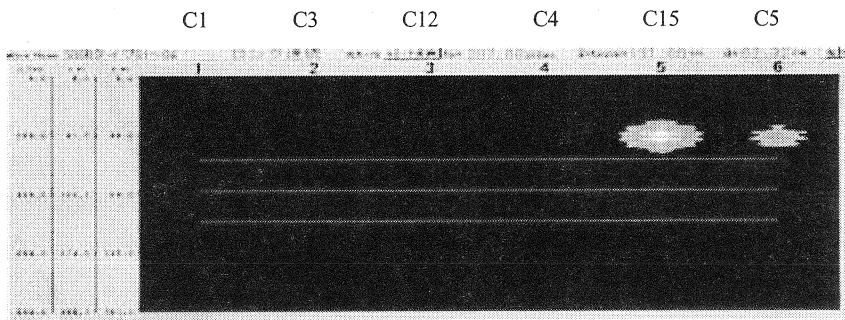


図-6 切断箇所Bの探査結果

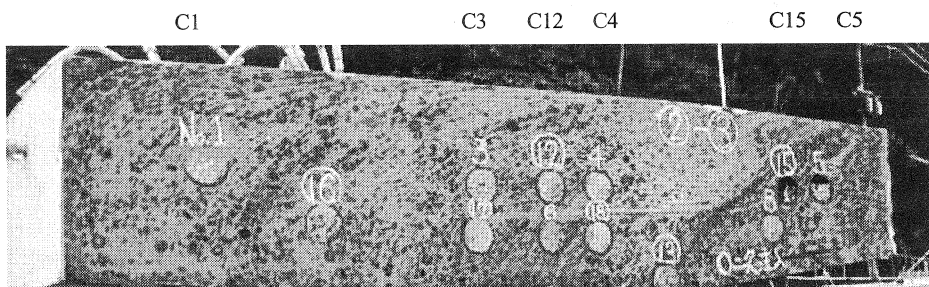


写真-3 切断箇所Bの切断状況

これらの結果から、広帯域超音波によるシース内のグラウト充填度の判定は充分実用域にあると判断できる。

#### 4. おわりに

本検討では、実構造物をモデル化した供試体を用いて、広帯域超音波探査法によるグラウト充填度の計測を行った。実験結果はグラウト欠陥の有無を判定できるものであり、実施工の中で床版部に配置されたPCケーブルのグラウト充填確認を行うには十分有効であると判断できる。

今回の判定方法は基本的に新設の橋梁を対象としていることから、充填前の状況が確認でき、その信頼性は高いと思われる。今後、充填度合いの明確な判定や、シースが重なっている場合の判定方法などさらなる課題はあるが、グラウトの確実性を高める有効な一手段であると考えられる。