既設橋のPCグラウト充填調査－SIBIE法の実橋への適用－

(株)富士ピー・エス　正会員　○長岡　覚
(株)富士ピー・エス　正会員　博（工）　山田　雅彦
(株)富士ピー・エス　正会員　大野　雅幸
京都大学大学院　工博　大津　政康

キーワード：PCグラウト充填調査，FITSA，SIBIE法，インパクトエコー法

1．はじめに

PCグラウトの充填度を評価する非破壊検査手法のひとつとして，弾性波を利用したSIBIE法がある。これまで筆者らは，SIBIE法を用いたPCグラウト充填調査法「FITSA」について，実用化に向けた精度向上の研究を進めてきた[1)]。FITSAは，高周波で振幅の大きな弾性波を用いて反射波の信号を画像化し，画像によりPCグラウトの充填度を判定するため，技術的判断を要さない利点をもつ手法である。

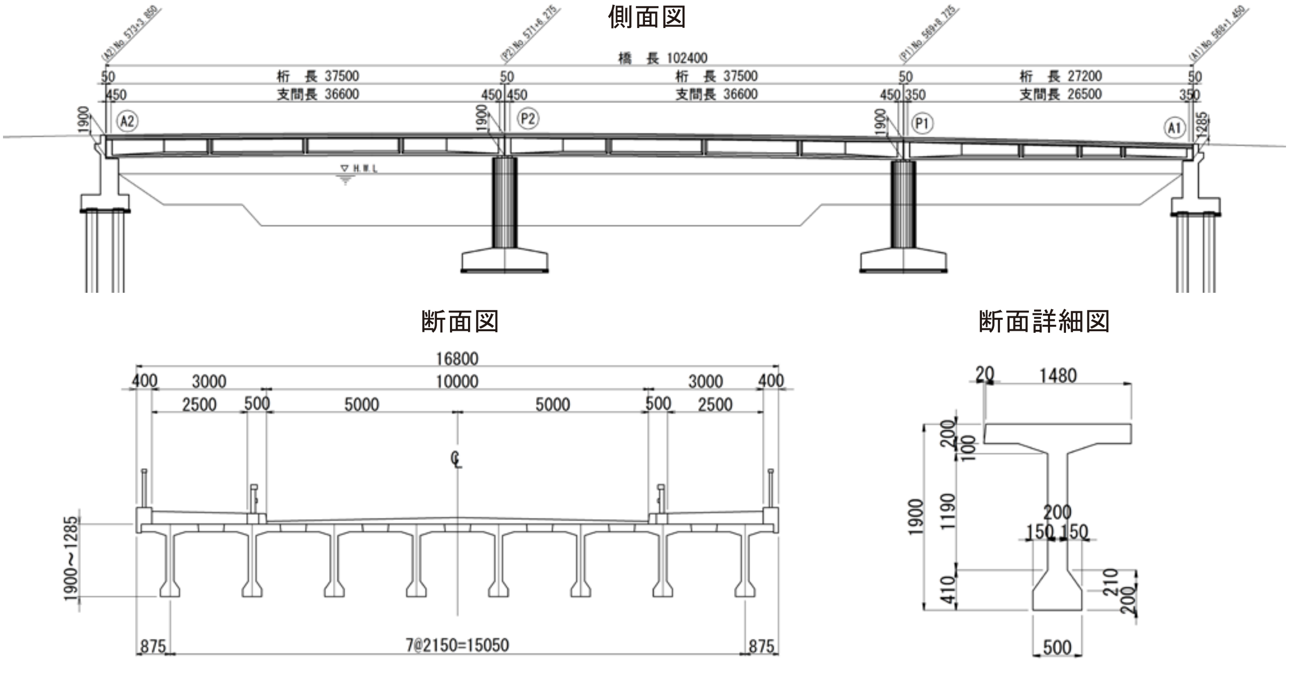
本稿では，架橋後約25年経過した橋梁のPCグラウト充填調査にFITSAを適用し，従来の調査手法であるインパクトエコー法と比較した結果について報告する。

2．橋梁諸元

橋梁諸元を表－１に，概略構造図を図－１に示す。

表－１　橋梁諸元

構造形式	3径間PC単純ポストテンションＴ桁橋
橋長	102.4m
幅員	16.8m
架設年次	1991年

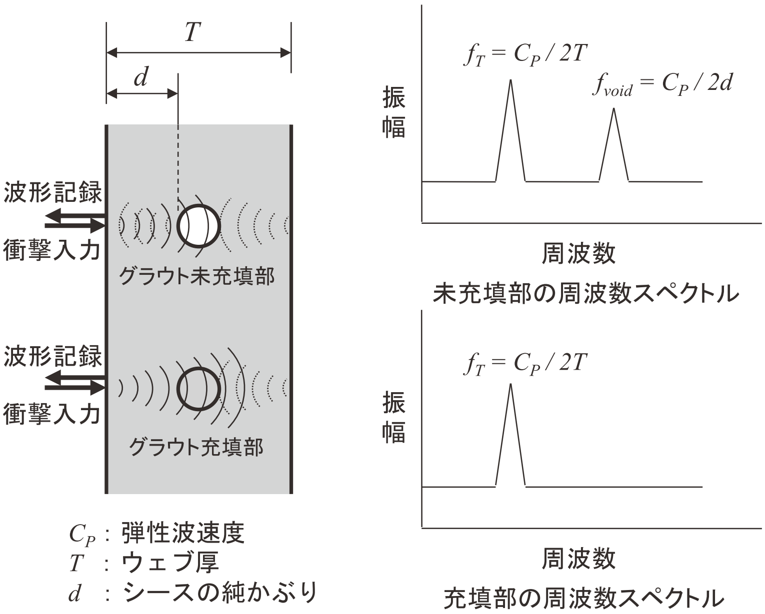


図－１　概略構造図

３．調査方法

３．１　インパクトエコー法

インパクトエコー法によるPCグラウトの充填調査では，弾性的な衝撃力により，調査対象の構造物に入力された弾性波を加速度型センサーで検出記録しFFT処理により周波数スペクトルを求める。得られた周波数スペクトル上には，**図－２**に示すように，入力面と反対面の反射による共振周波数f_T，内部欠陥での反射による共振周波数f_{void}の２つのピーク周波数が出現する。調査対象中を伝わる弾性波の伝播速度をCp，供試体の板厚をT，内部欠陥までの距離をdとすると，出現するピーク周波数は式(1)，式(2)のように表される。



図－２　インパクトエコー法概要図

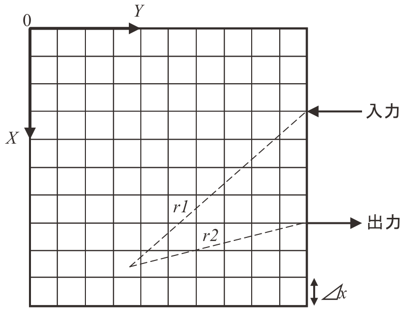
$$f_T = Cp\ /2T \qquad 式(1)$$

$$f_{void} = Cp\ /2d \qquad 式(2)$$

インパクトエコー法は，このf_{void}の有無により，グラウトの充填度を評価する手法である。

３．２　FITSA（SIBIE法）

FITSAの解析手法は，**図－３**に示すように解析対象の断面を正方形要素に分割しモデル化する。解析対象の構造物中を伝わる弾性波の波速をCpとすると，弾性波は入力点から任意要素の中心点を通り，出力点までの伝播経路を通る。その最短伝播経路をRとすると分割された要素の中心で反射することにより生じる共振周波数は，式(3)のように表される。

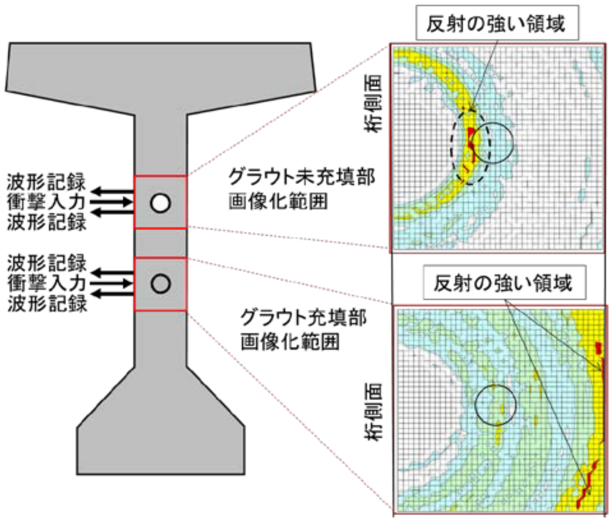


図－３　FITSA 解析イメージモデル

$$F_R = \ Cp\ /R \qquad 式(3)$$

実測した周波数スペクトルにおいて，式(3)で求めた共振周波数における相対振幅値を要素からの反射の強さとして，各要素でこの操作を行い，コンター図を得る。

図－４にFITSAの概要図を示す。図中の黒丸はシースの位置を表しており，コンター図は，調査対象位置での弾性波の反射の強さを表している。シース位置において反射の強い色の濃い領域が現れた場合に，シース内はグラウト未充填であると判定する。衝撃入力した面と反対の側面の左側に色の濃い領域が現れた場合にはシース内はグラウトで充填されていると判定する。

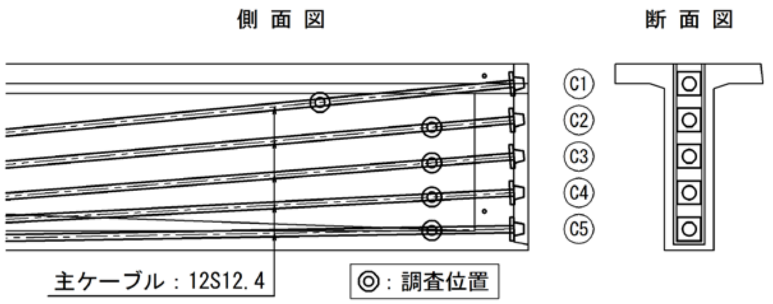


図－４　FITSA 概要図

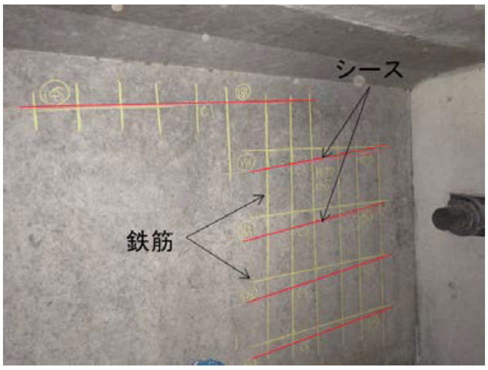
４．PCグラウト充填調査

４．１　調査位置

PCグラウトの充填調査位置は，ブリーディングによる空隙が生じやすい桁端部付近の調査可能な位置とした。既存の資料より，桁端部付近の主ケーブルは5段配置であり，主ケーブルの鋼材種別は12S12.4であることからシース径を直径65mmと想定した。PCグラウト充填調査位置を**図－５**に示す。なお，充填調査は電磁波レーダ法によりシース位置および鉄筋位置を探査したのちに行った。電磁波レーダ法による鋼材探査結果を**写真－１**に示す。



図－５　PC グラウト充填調査の概略位置図



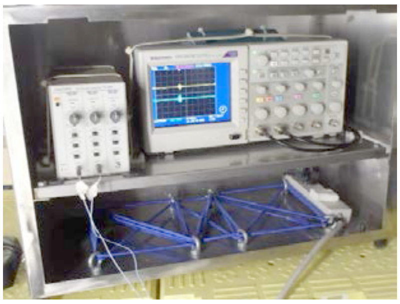
写真－１　鋼材探査結果

４．２　FITSAによるPCグラウト充填調査概要

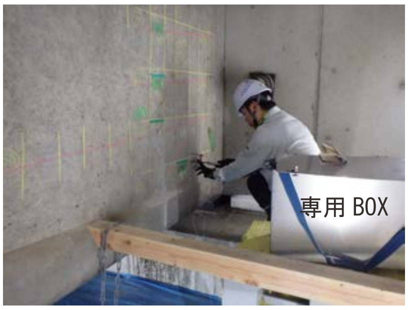
FITSAによるPCグラウト充填調査では，**写真－２**に示す衝撃入力装置，**写真－３**に示す波形記録装置（専用BOX：高さ39cm，横幅55cm，奥行28cmに収納）および100Vの発電機を使用する。調査を始めるにあたり，まずシース上に衝撃入力位置をマーキングする。その際，マーキングする衝撃入力位置は調査精度の向上のため，可能な限り鉄筋から離れた位置に設定する。次に，衝撃入力位置からシースと直角方向の2箇所（衝撃入力点から50mmの位置）に加速度計を設置し，波形記録装置に接続する。その後，衝撃入力装置を用いて衝撃を入力し，コンクリート中を伝播する弾性波の波形の計測する。

今回の調査では同一箇所で5回の計測を行った。計測状況を**写真－４**に示す。計測した波形データをパソコン内の解析用ソフトに読み込み，FITSA解析を行った。解析により得られたコンター図を用いて，PCグラウトの充填評価を行った。

写真－２　衝撃入力装置



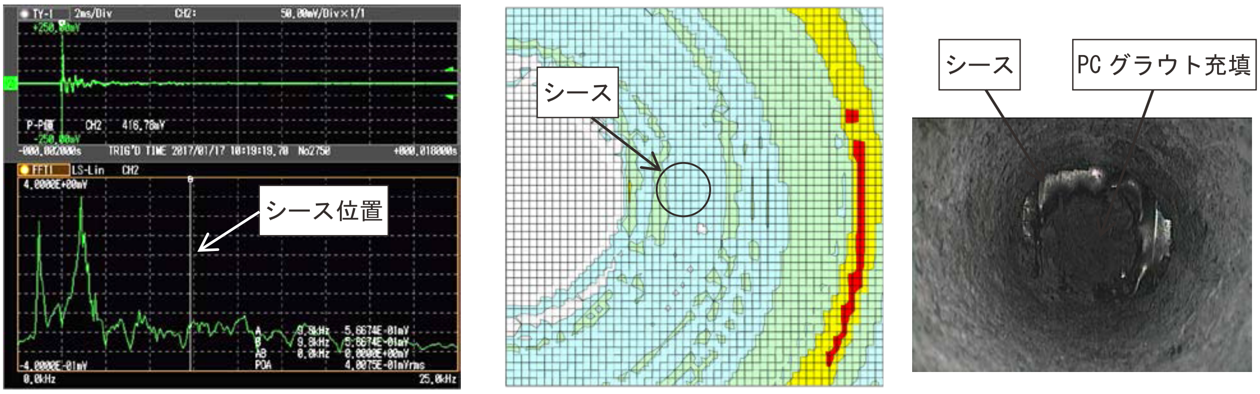
写真－３　波形記録装置



写真－４　計測状況

４．３　調査結果

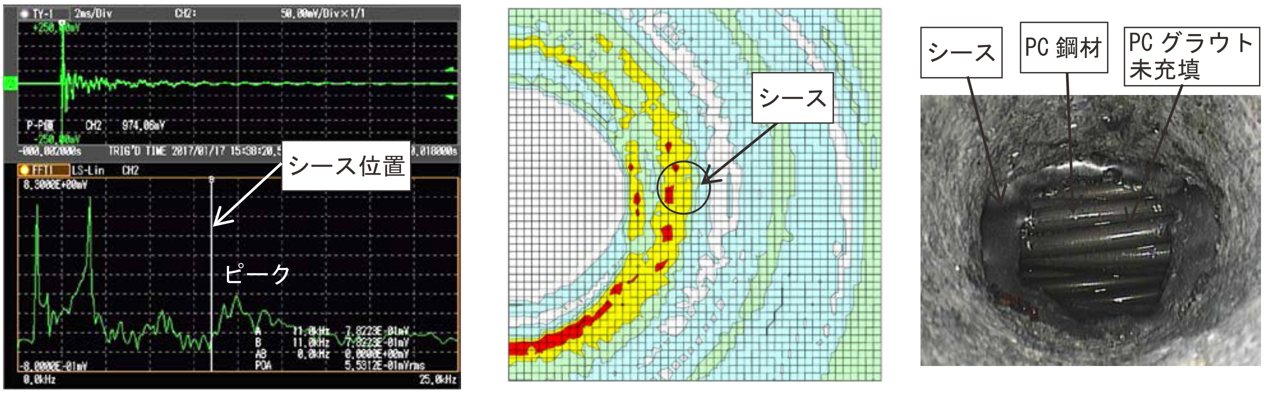
P1-P2径間G5桁C3ケーブルの調査結果を**図－６**に示す。インパクトエコー法の調査結果では，図中に示す白線（シース位置）でスペクトルピークの出現が確認されなかったことからPCグラウトは充填されていると判定した。FITSAの調査結果図は，弾性波は図の左側から入力したものとなっている。調査結果は，衝撃入力面と反対の側面の右側に色の濃い領域が現れており，シース内はPCグラウトで充填されていると判定した。今回は調査結果の確認のため削孔し，CCDカメラでシース内を確認したところ，PCグラウトの充填を確認した。なお，シースのかぶりは電磁波レーダ法の測定結果で約165mmであった。



インパクトエコー法結果　　FITSA 結果　　CCD カメラ画像

図－６　調査結果（PC グラウト充填）

P1-P2径間G5桁C4ケーブルの調査結果を**図－７**に示す。インパクトエコー法の結果では，図中に示す白線近傍（シース位置）でスペクトルピークの出現が確認されたことから，PCグラウトは未充填の可能性ありと判定した。FITSAの調査結果では，シース位置およびその左側において，色の濃い領域が現れていることから，シース内のPCグラウトは未充填であると判定した。その後，削孔による目視調査（CCDカメラ）より，PCグラウトは未充填であることが明らかとなった。なお，シースのかぶりは電磁波レーダ法の測定結果で約173mmであった。PCグラウトが未充填のケーブルについては，PCグラウトの再注入を行い，再注入後，再度充填調査を実施しPCグラウトが充填されていることを確認した。



インパクトエコー法結果　　FITSA 結果　　CCD カメラ画像

図－７　調査結果（PC グラウト未充填）

５．まとめ

既設橋のPCグラウト充填調査にFITSAを適用し，従来の調査手法であるインパクトエコー法と調査結果の比較を行った。その結果，FITSAとインパクトエコー法はともに，PCグラウトが充填されたケーブルについては充填と評価し，PCグラウトが未充填のケーブルについては未充填と評価した。以上より，今回のPCグラウト充填調査においては，FITSAとインパクトエコー法のPCグラウト充填度の評価精度は同程度であり，FITSAは画像評価により確認できるため，FITSAはPCグラウト充填調査の手法の一つとして有効であると考えられる。今後は，計測装置のコンパクト化およびバッテリーの使用（発電機不要），解析作業の効率化を検討する予定である。

謝辞：既設橋にFITSAを適用するにあたり，発注者である大阪府土木事務所のご担当者さまには，ご理解とご協力をいただきました。ここに厚くお礼を申し上げます。

参考文献

1) 山田雅彦, 大津政康, 友田祐一, 徳光卓：改良SIBIE法を用いた新設橋梁におけるPCグラウト充填度の評価, 第24回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.365-370, 2015.10