

超音波を用いた既設PCケーブル健全度の確認手法の検討

(株)日本ピーエス 正会員 工博 ○濱岡 弘二
 西日本高速道路(株) 福永 靖雄
 西日本高速道路(株) 茂利 優一
 (株)日本ピーエス 正会員 原 幹夫

1. はじめに

PC 構造物を適切に維持管理するためには、PC ケーブルの健全度を精度よく把握することが重要となる。そのためには、深度のケーブル位置の特定技術、PC 鋼材に負荷を与えることのないグラウト充填確認やPC 鋼材の状態確認技術が必要となる。

本検討では、これら一連の要素技術を組み合わせることで既設 PC ケーブルの健全度を確認するシステムを構築し、既設橋梁でその効果を確認した。使用した手法は電磁波レーダによる PC 鋼材位置探査、広帯域超音波法によるグラウト充填判定、超音波ドリルによる削孔調査での PC 鋼材観察であり、これらの調査手法から得られた結果を総合して既設 PC ケーブルの健全度を確認するシステムを検討した。

2. システムの概要

2.1 調査方法

構築したシステムによる調査のフローチャートを図-1に示す。既設 PC ケーブルの健全度確認システムは、①調査計画の立案、②設計図面上の位置出し、③電磁波レーダによる鉄筋および PC 鋼材の位置出し、④広帯域超音波法によるグラウト充填探査、⑤超音波ドリルによる削孔調査、⑥グラウト充填判定の手順で実施する。

2.1.1 調査計画の立案

広帯域超音波法を用いた PC グラウト充填調査では、対象ケーブルのかぶり深さ、配筋状況、断面形状などが調査の精度結果に大きく影響する。そのため事前に、設計図書から PC 鋼材および鉄筋の配置状況（かぶり厚、ピッチ、本数、シース径等）の調査を行い計画を立案する。

2.1.2 設計図面上の位置出し

対象ケーブルのおおよその位置を把握するため、設計図面上の PC 鋼材の位置、かぶり深さを野書く。

2.1.3 電磁波レーダによる鉄筋およびPC鋼材の位置出し

既設構造物の場合、PC 鋼材の位置は他の鋼材との干渉など施工上の理由や、施工誤差の影響により、設計図書に表示されている位置に配置されていない可能性がある。広帯域超音波法を用いて PC グラウト充填調査を行うためには、PC 鋼材の正確な位置を把握することが探査精度に大きく影響することから、電磁波レーダを用いて PC 鋼材および鉄筋の位置探査を行う（写真-1参照）。

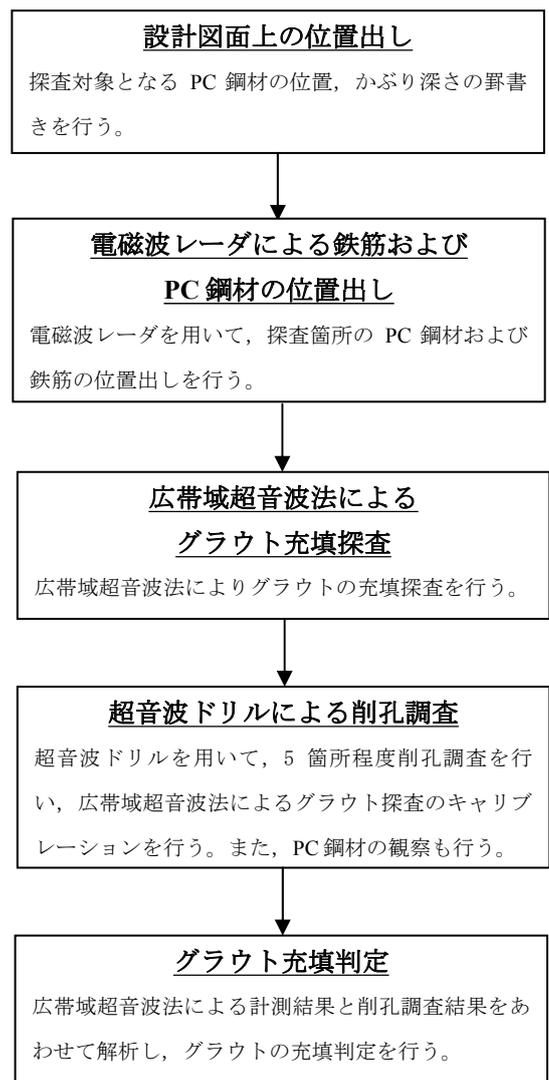


図-1 調査のフローチャート



写真-1 位置探査状況



写真-2 グラウト探査状況



写真-3 削孔調査状況

2.1.4 広帯域超音波法によるグラウト充填探査

広帯域超音波法を用いたグラウト充填探査を行う (写真-2 参照)。

2.1.5 超音波ドリルによる削孔調査

削孔調査は、広帯域超音波法を用いたグラウト充填探査結果のキャリブレーション、グラウト充填不良と判定された PC 鋼材の状態観察を目的として実施する (写真-3 参照)。

2.1.6 グラウト充填判定

広帯域超音波法によるグラウト充填探査結果と削孔調査結果によるキャリブレーションから、探査箇所でのグラウト充填判定を行う。

2.2 使用機器

本システムで使用する探査機器の一覧を表-1に、各探査機器の詳細を2.2.1~2.2.3に示す。

表-1 使用機器の一覧

探査機器	調査項目
電磁波レーダ	鉄筋・シースの位置出し
広帯域超音波装置	グラウト充填探査
超音波ドリル	削孔調査

2.2.1 電磁波レーダ

(1) 使用機器の概要

シースおよび鉄筋の探査に用いる電磁波レーダは、写真-4に示す高性能・高精度レーダシステムであるGSSI社製のストラクチャスキャンを使用する。

(2) 探査原理

アンテナをコンクリート表面で走査すると、電磁波が断続的に発受信される。コンクリート内に入力された電磁波は半球状に伝播し、鋼材があると電磁波は反射し、その反射波は受信アンテナによって受信される。鋼材と交差するようにアンテナを走査すると、アンテナが鋼材に近づくにしたがって鋼材からの反射波の起生時刻は、アンテナ-鋼材間の距離が短くなるため早くなる。アンテナが鋼材の直下に来た時に反射波の起生時刻は最も早くなり、アンテナが鋼材より離れていくにしたがって反射波の起生時刻も遅くなる。この現象より、画像表示された双曲線状の影の頂点の位置に鋼材があることが分かる。図-2に測定結果例を示す。



写真-4 電磁波レーダ

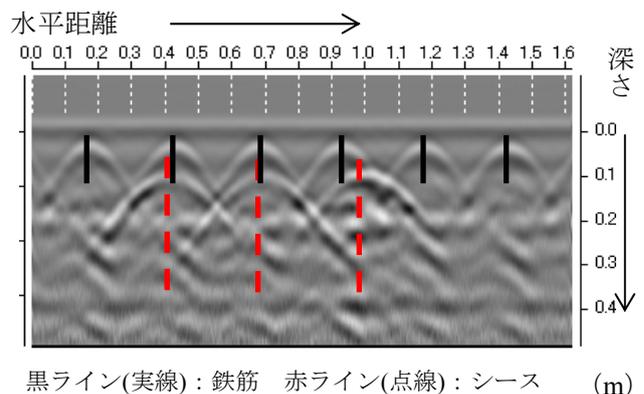


図-2 測定結果の一例

2.2.2 広帯域超音波装置

(1) 使用機器の概要

グラウト充填探査は、写真-5に示す広帯域超音波測定器と充填解析ソフトを使用する。

(2) 探査原理

広帯域超音波法によるグラウト充填探査は、コンクリート上に探触子を配置し、シーすからの反射波を受信して、その特性値の差でグラウトの充填を判定するものである。未充填のシーすは充填シーすに比べ反射波の強度が大きくなる性質があり、この反射波の特性値の差を利用している。

広帯域超音波法による解析結果例を図-3に示す。グラウト充填不良の場合(a図)は、グラウトが充填されている場合(b図)に比べて、大きい周波数帯域でピークが発生しやすい傾向があり、このパターンの差異によりグラウトの充填判定を行う。充填判定の閾値(振動数)はコンクリートの強度、かぶり厚、シーす径などにより若干変化するため、削孔調査との照合によって探査精度の向上を図る。



写真-5 広帯域超音波装置

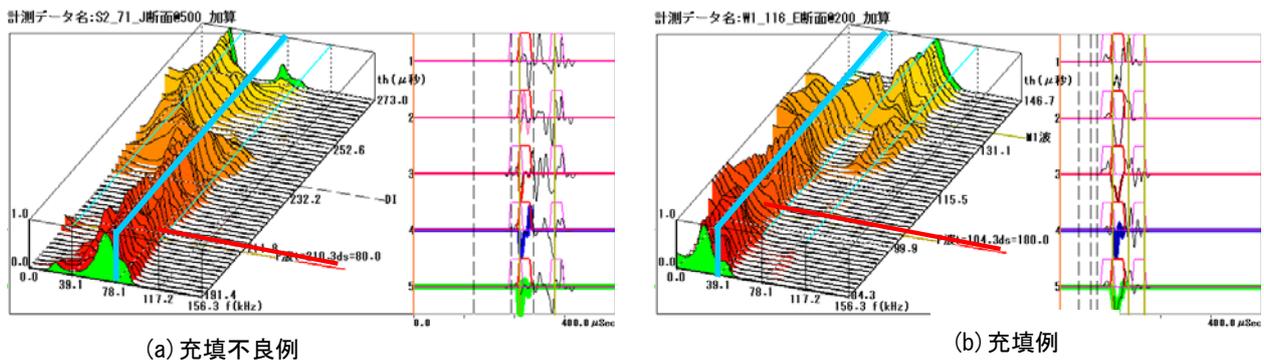


図-3 広帯域超音波法による解析結果例

2.2.3 超音波ドリル

超音波ドリルを写真-6に、削孔後のシーす表層部の状況を写真-7に示す。超音波ドリルは、超音波振動をドリルの刃先に与え、切削抵抗低減効果の働きを利用して切削する構造になっており、その振動特性はコンクリートの削孔に適した周波数振動が加わるように設計されている。よって、鋼材に対しては極端に切削能力が低下(コンクリートと異なる振動および削孔音が発生)し、コンクリート内部の鉄筋やPC鋼材を傷つけることなく削孔が可能である。

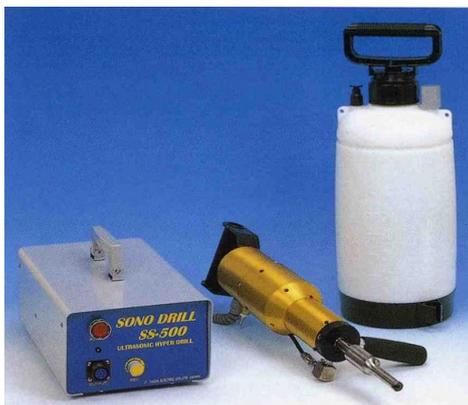


写真-6 超音波ドリル



写真-7 シース表層部

3. 既設PC橋における検証結果

表-2 調査結果一覧表

3.1 広帯域超音波法による探査結果

広帯域超音波法 による結果		削孔調査による結果		精度 (%)
		充填	充填不良	
充填	34	34	0	70.4
充填不良	37	21	16	

既設 PC 橋 5 橋の主ケーブルを対象として、PC グラウト充填調査を実施し、広帯域超音波法によるグラウト充填探査の検証を行った。

調査結果の一覧を表-2に示す。調査を実施した主ケーブルのPC鋼材種類は、PC鋼より線 12S12.4、PC鋼線 12φ7およびPC鋼棒φ32である。

広帯域超音波法による探査結果で「充填」と判定した 34 箇所は、削孔調査でも全て「充填」であった。一方、広帯域超音波法による探査結果で「充填不良」と判定した 37 箇所の中、削孔調査では 21 箇所が「充填」であり、16 箇所が「充填不良」という結果であった。これは、非破壊手法による PC グラウト充填調査で、「充填不良」と判定したものが「充填」の場合は、その橋梁に対して安全側の誤判定となるのに対し、「充填」と判定したものが「充填不良」の場合は、危険側の誤判定となることから、完全に「充填」と判定できたもの以外は全て「充填不良」という判定にしたためである。

上述した理由により、広帯域超音波法による探査結果と削孔調査による結果との整合率は、70.4%という結果になった。

3.2 超音波ドリルによる削孔調査結果

シース開削後の一例を写真-8に示す。写真(a)はグラウトが充填されているもの、写真(b)はグラウトは充填されているがシース表面に錆が認められるもの、写真(c)はグラウト充填不良のものである。超音波ドリルを使用することで、PC鋼材を傷つけることなく削孔ができ、PCグラウトやPC鋼材の状態観察、水分の供給の有無等の確認が可能となる。

また、超音波ドリルを使用して削孔調査する場合、シースの位置を正確に把握する必要があるが、上述した電磁波レーダを使用することで、正確にシースの位置を探査できることが判明した。

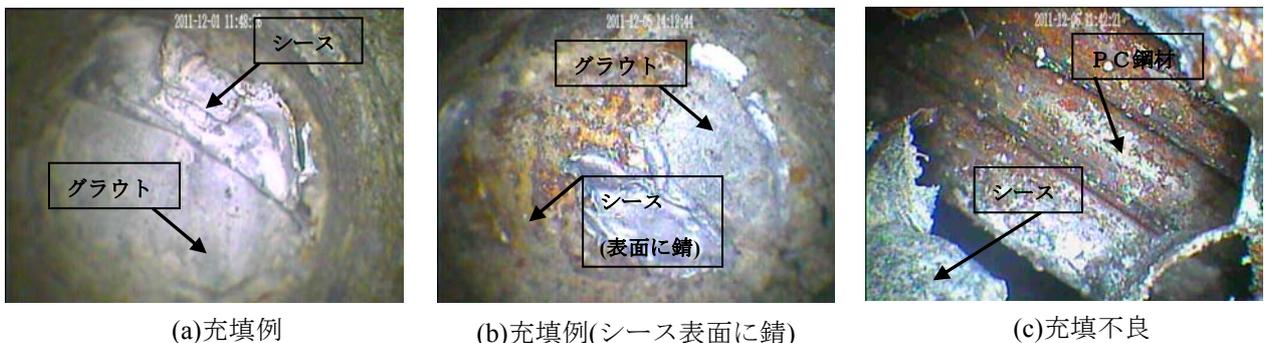


写真-8 シース開削後の状況の一例

4. おわりに

PCケーブルの健全度を精度よく把握することが、PC構造物の維持管理には重要であり、今回構築したシステムを既設PC橋で検討した結果、PCケーブルの健全度を確認する手法として有効であることが確認できた。

今後の課題として、広帯域超音波法による探査精度の更なる向上、PCグラウトが充填不良の場合のグラウト再注入システムの確立、PC鋼材破断の有無の確認技術の開発などが挙げられる。これらの課題の解決および確立した技術を本システムと組み合わせることによって、より成熟したPCケーブルの健全度確認手法になるとと思われる。