

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# PC 橋りょうの内部を診断する

PC 橋りょうは、比較的スパンの長い鉄道橋に多く用いられています。近年、PC 橋りょうの内部に配置されたPC鋼材の破断が報告されていますが、調査の結果、PC鋼材の周囲のグラウトが施工や品質の影響によって充てん不良となっており、その結果、PC鋼材が腐食したことが主な要因として考えられます。ここでは、PC 橋りょう内部の状況を非破壊検査によって診断する方法について、最近の取り組みを紹介します。

## PC 橋りょうとは

鉄筋コンクリート構造物は、引張力に弱いコンクリートに対して、鉄筋を配置することで引張力を負担させる構造となっています。荷重によって発生する引張力が大きくなるとコンクリートにはひび割れが生じます。一方、プレストレストコンクリート（以下、PC）構造物は、あらかじめコンクリートに圧縮力を与えておき、荷重によって発生する引張力を打ち消すことによって、コンクリートにひび割れを生じないようにすることができます。

あらかじめコンクリートに与える応力をプレストレスといい、プレストレスを与えるために用いる高強度の鋼材をPC鋼材といいます。

PC構造物を用いた橋りょうは、比較的スパンの長い橋りょうに用いられています。鉄道ではこれまで、10,000連以上のPC橋りょうが建設されています（図1）。

## PC 橋りょうの維持管理における問題点

PC 橋りょうでは、PC鋼材によっ



**堀 慎一**  
Shinichi Hori  
前 構造物技術研究部  
コンクリート構造研究室  
研究員  
[専門分野] コンクリート工学



**渡辺 健**  
Ken Watanabe  
構造物技術研究部  
コンクリート構造研究室  
副主任研究員  
[専門分野] コンクリート工学



**田所 敏弥**  
Toshiya Tadokoro  
構造物技術研究部  
コンクリート構造研究室  
主任研究員  
[専門分野] コンクリート工学



図1 PC 橋りょう



図2 グラウト充てん不良

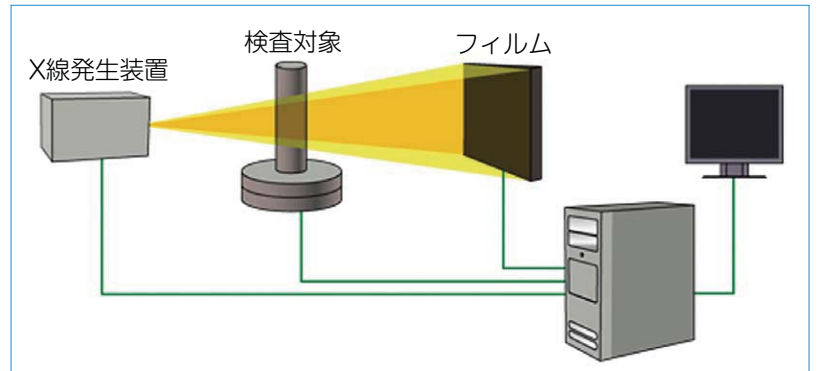


図4 X線透過装置の概要



図3 腐食して破断したPC鋼材

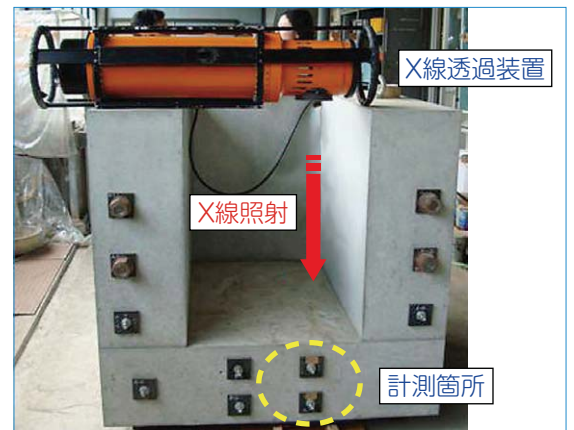


図5 X線透過法による測定

てプレストレスを与えますが、PC鋼材の腐食などの劣化を防止するために、シーす (☞参照) とPC鋼材の隙間をグラウトで充てんします。ところが、過去に建設されたPC橋りょうでは、図2のようなグラウトの充てん不良が生じる事例が見つかっています。その結果、図3のようにPC鋼材が腐食し、やがて破断する可能性があります。PC鋼材が破断すると、PC橋りょうの耐力が失われ、最悪の場合落橋することも考えられます<sup>1)</sup>。

したがって、PC橋りょうを今後も安全に使い続けるためには、PC橋りょうの内部を診断する技術が必要となります。

### PC橋りょうの診断技術 削孔・目視による診断

PC橋りょうの診断では、シーす内部のグラウトの充てん状況を把握することがポイントとなります。これまでの診断では、PC橋りょうに孔をあけて、直接目視で確認する削孔調査が主に行われてきました。削孔調査は、直接目で見て判断できるため正確な判定が可能ですが、孔をあけた場所しか確認できない点や、孔をあける作業でPC橋りょうを損傷させる可能性があります。

### 非破壊による診断

PC桁の内部を診断する際、PC橋

りょうを損傷させることなく、非破壊で検査する方法 (以下、非破壊検査) が求められています。ここでは、非破壊検査によってPC橋りょうを診断する方法について、いくつかの事例を紹介します。

#### (1) X線透過法

X線透過法は、図4に示すように、検査対象とするPC橋りょうに放射線 (X線) を一定時間照射し、フィルムを感光させることで、空洞の有無を判定する手法です。X線の透過性は物質の密度に応じて変化するという性質があります。つまり、PC橋りょうのシーす内に空洞がある場合、X線が透過しやすくなります。透過度が高い部分は画像が濃く、透過度が低い部分は画像が薄くなることから、画像の濃淡で内部の空洞の有無を診断する方法です。

図5のような試験体で測定したところ、X線が透過するコンクリート

#### ☞ シーす

PC橋りょうにおいて、PC鋼材を収容するための「さや」のことです。シーすは、コンクリート打設中に破損することの無いよう、十分に強固なものを用いる必要があります。従来は、鋼製のシーすが多く使われてきましたが、最近では、耐久性の観点から、プラスチック製のシーすが使われる場合もあります。

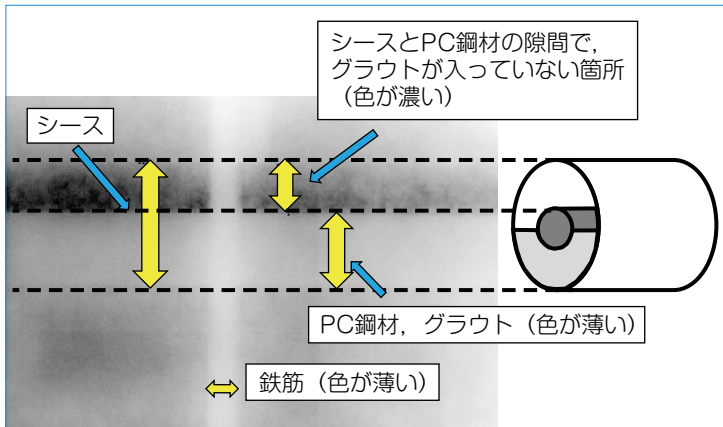


図6 X線透過法の実験結果



図8 インパクトエコー法による測定

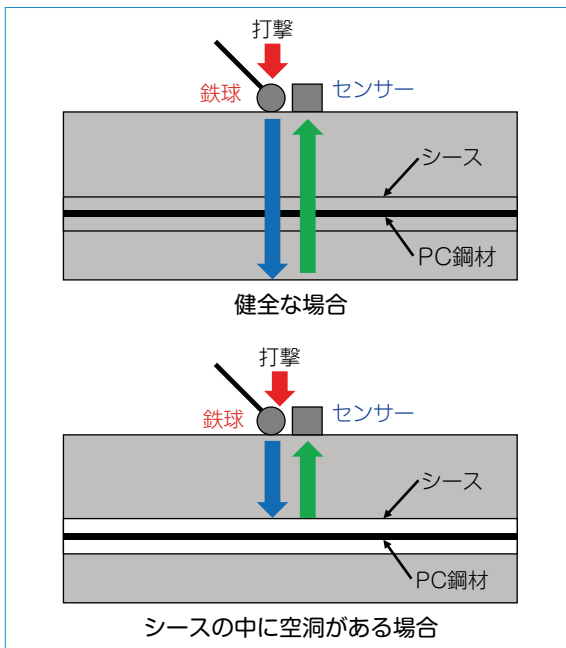


図7 インパクトエコー法の概要

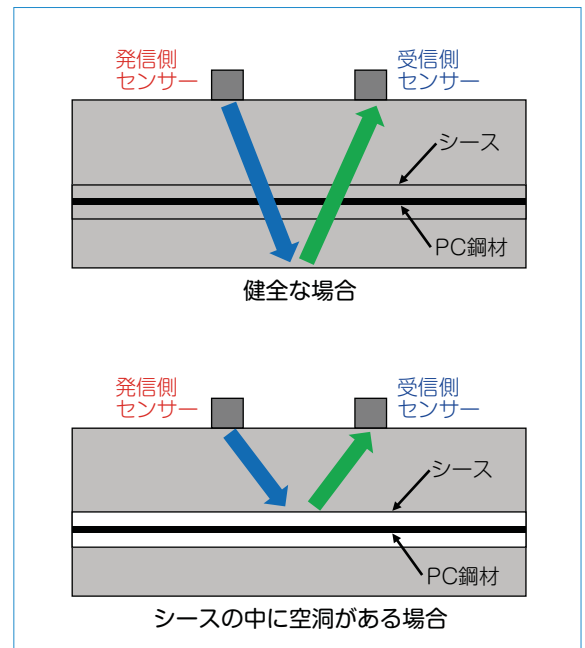


図9 超音波法の概要

の厚さが300～400mm程度であれば、**図6**のような濃淡が確認できますが、500mmを超えてくると、濃淡の判別が難しくなる場合があります。

また、放射線を用いるため十分な安全管理が必要となり、道路と交差する箇所にあるPC橋りょうなどでは、道路の通行止め等の手続きが必要となります。

### (2) インパクトエコー法

インパクトエコーを用いた非破壊検査法は、**図7**、**図8**に示すようにPC橋りょうの表面に加速度センサーを設置し、その近くで鋼球により打撃し、反射波を受信することで弾性波の反射深さを測定します。測定結果と部材厚お

よびシース位置を比較することにより、シース内部の空洞の有無を判定する手法です。

ただし、シースが鉄筋に近い表面付近に配置された場合、シースからの反射波と別の鉄筋からの反射波が重なり、判定精度を低下させる可能性があるため注意が必要です。

### (3) 超音波法

超音波法は、**図9**、**図10**に示すように発信側センサーから超音波を入力し、シースから得られた反射波をもう一方の受信側センサーで計測することで、この反射波の卓越振動数を用いてPCグラウトの充てんの有無を判定す

る手法です(**図11**)。この手法では測定する箇所の厚さに依存せず、短時間での測定が可能になります。

ここで、入力波に対して得られる反射波には、鉄筋や骨材からの反射波やコンクリート表面を伝わる波も含まれているため、得られた反射波から、シースからの反射波のみを抽出することが重要となります。

これまでの超音波法では、測定方法や波形の分析の場面で測定者の経験に依存した判定になることが多かったのですが、最近の取り組み<sup>2)</sup>では、それらのルールを体系化することで、計測精度を向上することができました。



図10 超音波法による実験

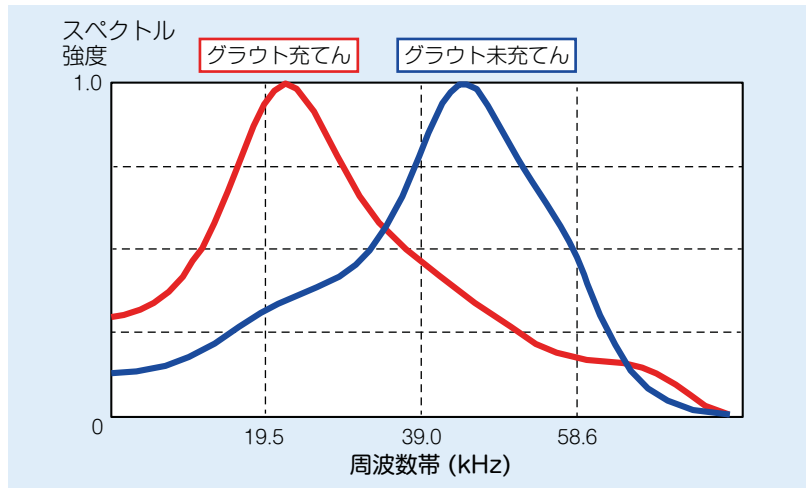


図11 超音波法の結果を用いた充てん判定

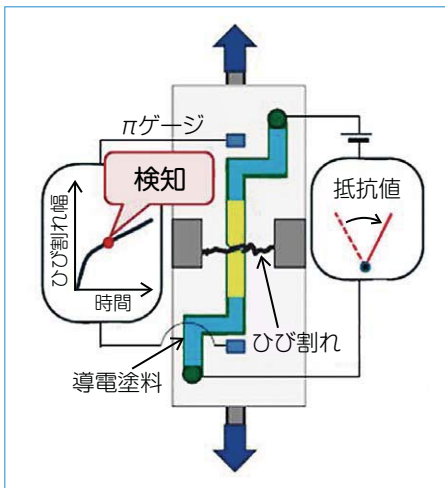


図12 導電塗料によるひび割れ検知実験

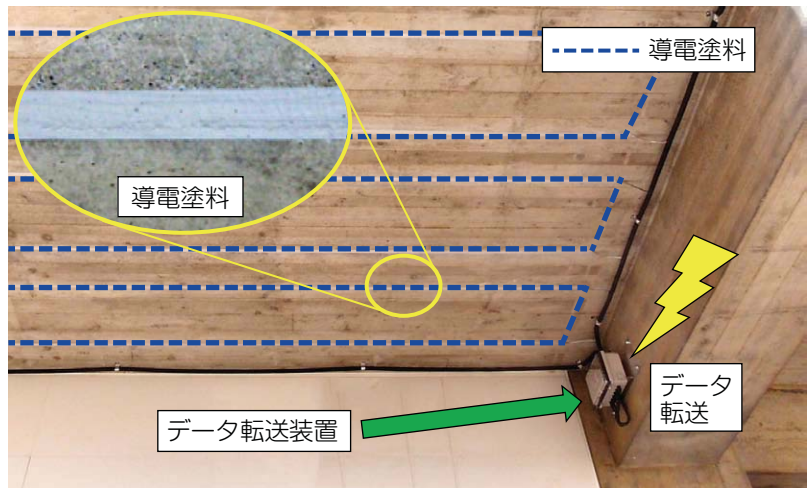


図13 構造物におけるひび割れモニタリングの状況

#### (4) 導電塗料を用いた方法

導電塗料とは、通電可能な塗料のことで、図12のような実験でひび割れの有無と通電の関係について検証しました<sup>3)</sup>。

PC橋りょうはひび割れの発生を許容していませんが、PC鋼材の破断などの影響によりプレストレスが低下し、ひび割れが発生する可能性があります。導電塗料をPC橋りょうの表面に塗布することにより、通電の有無によりひび割れの有無を検知することができます。

また、(1)～(3)の方法でPC橋りょうの変状を診断する場合、検査した時の変状しか確認することができません。

鉄道総研では導電塗料とデータ転送

装置を用いて、24時間体制で構造物の変状を確認(モニタリング)する手法についても開発しています(図13)。

#### おわりに

ここでは、PC橋りょうの内部を診断する技術について紹介しました。最近、PC橋りょうに限らず、老朽化した鉄道土木構造物の維持管理は非常に注目されています。鉄道土木構造物を長期間活用していくためには、構造物がどのような状態にあるかを適切に判断する必要があります。その際、今回紹介したような非破壊による診断技術が活用されればと思います。

なお、本研究の一部は国土交通省の

鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。RRR

#### 文献

- 1) 渡辺健, 谷村幸裕: グラウト充填不良PC桁の維持管理, 日本鉄道施設協会誌, 2013年第2号, pp.13-15, 2013
- 2) 堀慎一, 後藤恵一, 渡辺健, 谷村幸裕: 実構造物への適用を想定した超音波法によるPCグラウトの充てん判定方法の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013
- 3) 大石健太郎, 仁平達也, 谷村幸裕, 曾我部正道: 導電塗料を用いたRC構造物のモニタリングシステムの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1642-1647, 2012