

## 衝撃弾性波法によるコンクリートの剥離検査に関する研究

東日本旅客鉄道（株） 正会員 ○ 久保木 利明  
 東日本旅客鉄道（株） 広瀬 角雄  
 東日本旅客鉄道（株） 田之脇 逸朗

### 1. はじめに

コンクリート建造物(トンネルを除く)からの剥離・剥落に関わる特別検査では、建造物に出来る限り接近した目視検査 及び打音検査を実施することとなっている。しかし、都市部の高架橋等では検査時のアプローチに多大な労力を要しており、目視検査の代替 及び打音検査を補完する効率的な検査手法の確立が求められている。本研究では、低周波弾性波によるコンクリート診断装置を用いて、RC建造物における剥離の検出性能を評価し、対象建造物を全面連続的に移動計測するツールとして検査業務への適用性を述べる。

### 2. 試験装置の概要

試験装置は、衝撃加振によって生じた振動のうち低周波の振動応答が内部欠陥と強い相関関係にあることを利用した三菱電機（株）の『コンクリート構造物診断テスト』（以後、「診断テスト」）である。

検出原理は、電磁式ハンマで一定の衝撃力を計測面に与え、剥離や空隙などの異常部が存在する場合に発生する低周波領域に特徴のある衝撃振動を、センサにより直接検出し、振動レベルに応じた出力値(4段階評価)を表示するというものである。また、ローラ式センサによる移動計測機構を採用しており、対象計測面を連続的、且つ面状に測定することが可能となっている。装置の構成を写真-1に示す。テスト本体とバッテリー、地上面から高架橋等の計測を可能とする延長ロッドで構成されている。



写真-1 試験装置

### 3. 試験概要

かぶり部分のコンクリートに鉄筋腐食に起因する剥離が発生しているRC建造物を対象に、打音検査と診断テストによる計測を実施し、判定結果のばらつきや剥離の補足率から検出性能の比較をおこなった。検出性能の確認にあたっては、はつり試験を実施し、実際の剥離領域を明らかにして、真値と各手法による判定結果を比較することとした。なお、今回は診断テストの持つ基本的性能を確認するため、操作性に関わる誤差要因が考えられる延長ロッドは使用せず、診断テスト本体を検査者が直接支持して計測することとした。測定状況を写真-2に示す。



写真-2 測定状況

表-1 判定結果

### 4. 試験結果

#### 4-1 静止計測による判定差異

診断テスト 及び打音検査による判定結果の一例を表-1に示す。診断テストは、検査者が任意に打撃周波数(0.5Hz, 1Hz, 2Hz, 3Hz)を選択することが可能となっているが、静止計測結果と打撃周波数による判定結果の差異はほとんど見られなかった。

計測速度	診断テスト					打音検査	はつり試験	
	1Hz	3Hz	3Hz	3Hz	3Hz		剥離の真値	剥離深さ
各ポイント静止打撃	各ポイント	各ポイント	低速 2.0~3.0 (cm/s)	中速 5.0~7.0 (cm/s)	高速 15.0~20.0 (cm/s)			
判定結果 及び 測定結果	●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●●	○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●●	○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●● ○●●●●●●●	13mm 20.4mm 2.5mm

【診断テスト】 健全 ← 異常  
判定レベル ●●●●

【打音検査・はつり試験】  
○ : 健全  
● : 剥離 有り

キーワード 構造物診断, 非破壊検査, 衝撃弾性波法, コンクリート, 打音検査, RC 構造物

連絡先 〒220-0023 神奈川県横浜市西区平沼1-40-26 東日本旅客鉄道(株) 横浜支社 設備部 土木課 TEL. 045-320-2091

## 4-2 移動計測による判定差異

ローラ上に設置された移動計測機構は、欠陥部の広がりや面状に容易に計測できる効果があることを確認した。さらに、構造物全面の広域計測への適用を図るため、移動計測による判定差異を評価した。移動計測では、検査者の感覚を基に低速(2.0~3.0cm/s)、中速(5.0~7.0cm/s)、高速(15.0~20.0cm/s)の3ケースについて測定した。試験対象とした浅い面に剥離を有するRC構造物においては計測速度に依らず異常部の判定結果に大きな差異は見られなかった。しかし、計測速度が上がるにつれ健全部であるにもかかわらず、異常部として判定されるケースがあることが確認された。

## 4-3 剥離の検出精度比較

表-2に計測条件別 剥離検出精度、図-1に計測速度による精度の変化を示す。今回は、4段階(R, O, Y, G)で表示される判定レベルの内、R-Oを剥離部、Y-Gを健全部として判定の正答率から精度を算出した。その結果、計測速度が中速程度までは高い精度が確認された。しかし、計測速度が上がるにつれ精度低下が見られるようになり、概ね10cm/sを超えると低下傾向が顕著になることが分かった。高架橋等への適用においては、全面連続的な移動作業が基本であり、検査効率上は高速で測定できるのが望ましい。ここでは、検査者がストレスなく測定可能なレベルの計測速度(概ね10cm/s~20cm/s)を目標値とすると、前述の精度算出結果をふまえ、移動計測での精度向上が必要であり、高速計測に向けた改良を今後検討する。

## 5. 診断テスト 判定レベルの信頼性

判定出力結果より、計測対象としたRC構造物における判定レベルの信頼性を確認した。出力結果を図-2に示す。診断テストは欠陥の有無を4段階の判定レベルで表示するため、出力された判定レベルから見落としとしてはならない剥離を検出するための運用上の基準を設ける必要がある。判定基準は、剥離部におけるRの出力比率や健全部におけるGの出力比率を勘案して、要求される剥離の検出精度を満たすよう設定される。今回の計測対象では、R-Oを剥離部、Y-Gを健全部とすると85%の検出信頼性を持つこととなり、非破壊検査装置の検出精度として妥当なレベルを満たすと考えられる。また、判定誤差については、移動計測に伴うばらつきや計測対象構造物の欠陥モードの特徴等が考えられる。診断テストの判定閾値は広い面状剥離を対象として設定されているため、かぶり面を主体に小径剥離を有する計測面では剥離を捉えられなかったものと考えられる。

## 6. まとめ

- ・静止計測では、診断テストの打撃周波数に依らず打音検査と同等の剥離検出精度を有することを確認した。
- ・移動計測の精度は、中速程度までは静止計測と同等であるが、計測速度を上げるほど検出精度の低下が見受けられ、概ね10cm/sを超えると低下傾向が顕著になる。
- ・かぶり面を主体に小径剥離を有する計測面における判定レベルの信頼性を評価した。
- ・移動計測における検出精度の向上を図り、見落としとしてはならない剥離サイズに対する判定レベルの「運用上の基準」を設けることで、高架橋等の全面連続的な検査へ適用の可能性はある。

表-2 計測条件別 精度比較

打撃周波数	1Hz	3Hz	3Hz	3Hz	3Hz
計測速度	各ポイント 静止打撃	各ポイント 静止打撃	低速 2.0~3.0 (cm/s)	中速 5.0~7.0 (cm/s)	高速 15.0~20.0 (cm/s)
検出精度	95%	95%	95%	86%	59%

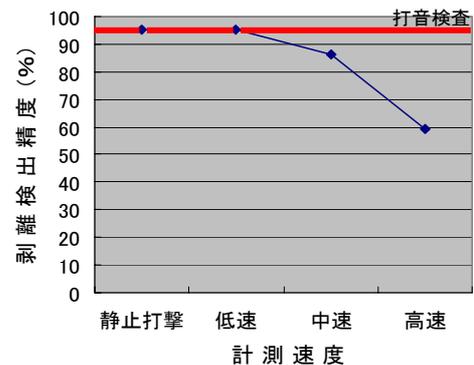


図-1 計測条件別 精度の推移

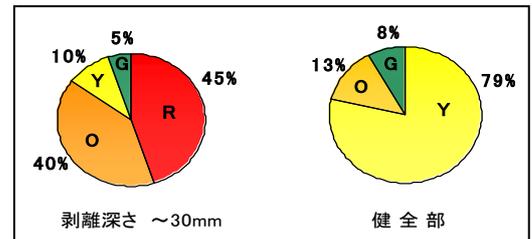


図-2 剥離部 健全部における判定出力