

衝撃弾性波法を用いた PC 橋梁のシースの位置及び充填度の検知

Detection of location and grouting condition of PC-Bridges by Impact-Echo Method

(株)東洋計測サチ 山下健太郎 アプライドサチ(株) 境 友昭

Kentaro Yamashita (Toyo measurement and research Inc.) Tomoaki Sakai (Applied Inc.)

iTECS 技術協会 極檀 邦夫

Kunio Gokudan (iTECS Association)

概 要

衝撃弾性波法によって、PC 橋梁のシースの位置及び充填度の検知可能性を検証するため、まず、供試体を用いた実験を行った。実験の結果、シースの位置で弾性波速度が低下することから、位置の検知が可能であることが分かった。次いで、実橋梁への適用性の検証実験を行った。この結果、検出した弾性波のスペクトル強度の分布（高調波成分の存在）を調べることにより、充填度について、情報が得られることが分かった。以上から衝撃弾性波法が、PC 橋梁におけるシースの位置及び充填度の検知に適用できることが分かったので報告する。

キーワード：衝撃弾性波，シース充填度，PC 橋梁，高調波

1. はじめに

PC 橋梁において、シースのグラウト充填不良を原因とする PC 鋼材の腐食や、破断事故の可能性が懸念されている。

そこで、著者らは PC 橋梁におけるシースの充填度合いの推定方法について、その理論と実橋梁および実大模型橋梁での測定結果を元に実用化の可能性について検討してきた^{1,2)}。本論では、グラウト充填度を段階的に変化させたシースを有するコンクリート供試体および、実橋梁においての実験結果を報告する。衝撃弾性波の測定結果から、シースの位置は弾性波速度の低下を、また、充填度は高調波成分の強さを手がかりとして検知可能であることがわかった。

2. 測定原理

2.1 衝撃弾性波法の理論

衝撃弾性波法は、測定面に入力された弾性波が構造物の厚さ方向に多重反射することを前提としている。図 1 に測定方法の概念を示す。図に示すように、衝撃波動は、鋼球などでコンクリート表面を打撃して入力し、コンクリート内部の波動現象を打撃点近くに設置した高感度加速度計によって測定する。波動が多重反射すると、往復時間を周期とする固有振動数が見られるようになる。すなわち、音響学にいうフラッターエコー現象である。測定されたコンクリート表面の振動の周期 (T)、コンクリートの厚

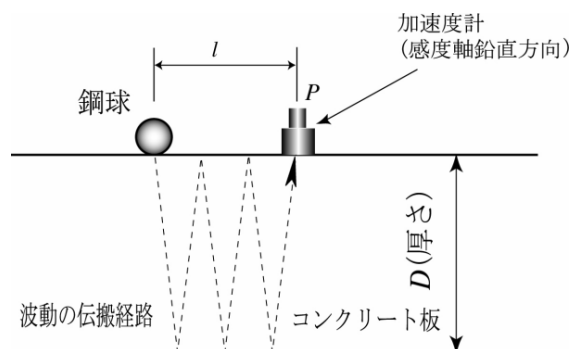


図 1 衝撃弾性波法の測定概念

さ (D) およびコンクリート中の弾性波速度 (V_p) の間には、

$$D = \frac{1}{2} V_p T \quad (1)$$

の関係があり、周期 (T) が得られると、コンクリート板の厚さが測定されることになる。また、周期性を示す測定波形が正弦波に近いような場合には、多重反射の周期をスペクトル分析してピークとなる周波数を (f_0) とすると、

$$D = \frac{1}{2} \frac{V_p}{f_0} \quad (2)$$

とする方法がある。

2.2 シースの位置の検知

衝撃弾性波法では、内部に欠陥や構造的に不均質な部分があると、弾性波のエネルギーの伝達が障害され、相対的な弾性波速度(見掛けの弾性波速度)が低下する。つまり、弾性波速度の設定値を変更せずにスペクトル解析すると、結果的に板厚が「厚くなる」という結果になる。従って、「厚く」観測される部分の空間分布を調べることによって、シースの位置を検知することができる。

2.3 シースの充填度の検知

シース近傍での衝撃弾性波の経路を図2に示す。シースの近傍では、対向反射面での反射波(実線矢印で示す)に、破線矢印で示すようなシースによって反射されてセンサに到達する反射波が混入し、結果的に周波数が2倍となり、厚さの1/2に相当するスペクトル、すなわち、高調波が誘発される。このため、高調波の分布を調べることによって、シースのグラウト充填度についての情報を得ることができる。

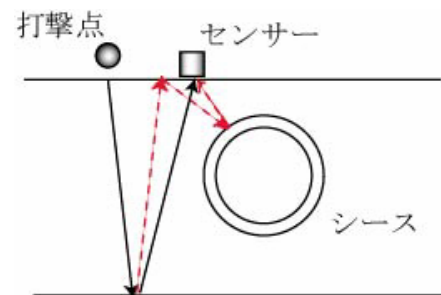


図2 シース近傍での波動の経路

また、シースは円形断面をしていることから、高調波成分はシースの真上より側方の近傍で生起する可能性が高い。

3. 実験概要

3.1 供試体

供試体は、厚さ 0.35m、幅 1.0m、長さ 2.5m で、測定面から 0.2m の深さに、0~100%まで段階的に充填度を変えた 93mm のポリエチレンシースが埋められている。図3に測定を行った供試体を示す。なお、コンクリートはPC構造用の高強度コンクリートを使用し、無筋である。

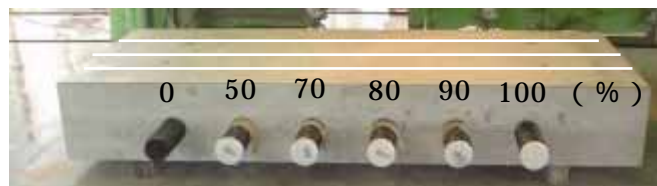


図3 供試体

3.2 測定・打撃方法

測定には、衝撃弾性波法の測定装置 (iTECS) を用い、図3の白線に示すように供試体の長手方向に手前から 0.25m、0.5m、および 0.75m の3本の測定線を設け、50mm 間隔で測定を行った。打撃には鋼球 30mm (約 100g) を使用した。また、測定に先立って供試体の縦弾性波速度を測定した。

3.3 実橋梁

図4に測定を行ったPC桁の断面形状と測定範囲を示す。この道路橋は、架設後約40年が経過しており、凍結融解によるものと思われる劣化(剥落等)やシースに沿

って発生したと思われるクラックの補修跡も見られた。なお、桁の両端は、単純支持されている。

3.4 測定・打撃方法

供試体と同じ装置を用い、桁の側面の0.8m×2.2mのエリアについて、50mm×50mmのメッシュに区切り、それぞれの交点で測定を行った。打撃には鋼球15mm(約14g)を使用した。測定は、クラックの補修跡がある桁(1番桁)と、目視検査において最も健全であると思われる桁(3番桁)について行った。

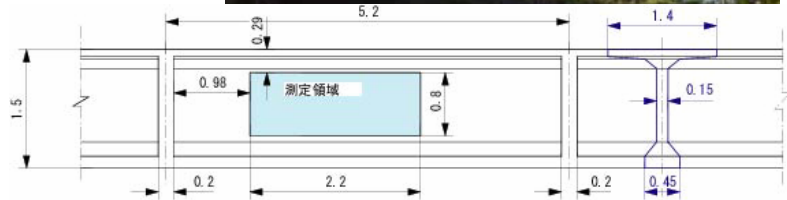


図4 実橋梁の形状と測定範囲

1番桁と3番桁の測定平面位置は同じである。

4. 測定結果

4.1 供試体を用いたシースの位置検知

衝撃弾性波法による測定結果(最大エントロピー法〔MEM〕によるランニングスペクトルを測定時間8ms間で平均したもの、「MEM詳細法」と呼称)を図5に示す。図は、測定された周波数から式(2)に従って、「深さ」に変換したものである。図中の色相は、スペクトルの強度を示し、赤色が最も強いスペクトル、紺色はスペクトルが非常に弱いことを示している。シースの位置は図中白印で示している。また、その上の数字はシースの充填率(%)である。図より、シースの位置では、実際の深さ(厚さ0.35m,図中白実線で表示)よりも厚い値として観測されていることがわかる。解析ではあらかじめ測定した弾性波速度4,500m/sを一定値としていることから、シースの位置では見掛けの弾性波速度が低下していることがわかる。

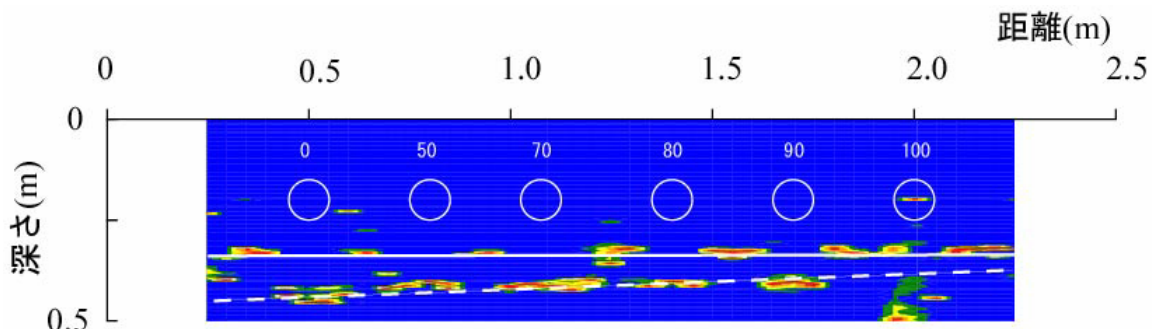


図5 供試体スペクトル強度分布(MEM詳細法,鋼球30mm)

4.2 実橋梁におけるシースの位置検知

目視によりシースの位置が確認できる1番桁において、供試体と同様のスペクトル解析を行い、実際の躯体厚よりも厚く観測される部分のスペクトルの累積値の空間分布を図6に示す。図中の細線はシースの位置を示すが、スペクトルの分布とほとんど一致していることからシースの位置で弾性波速度が低下していることが確認された。3番桁についても同様の結果が得られた。

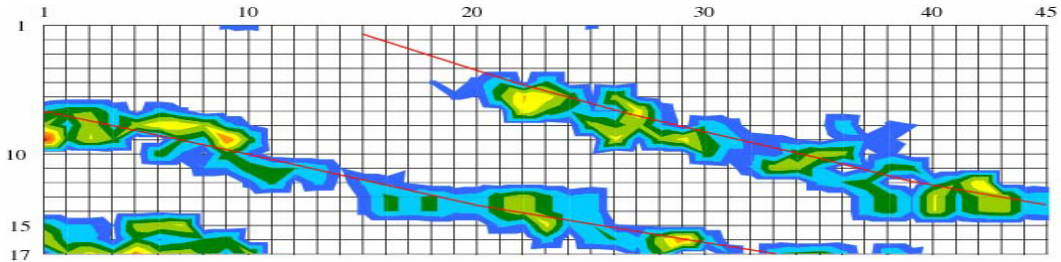


図6 1番桁 200mm 以深のスペクトル強度分布 (MEM 詳細法, 15mm 鋼球)

4.3 実橋梁におけるシースの充填度

75mm より浅いスペクトルの累積値の空間分布を図7に示す．本論では3番桁について示す．図よりシースの位置近傍に高調波成分が検出されていることがわかる．

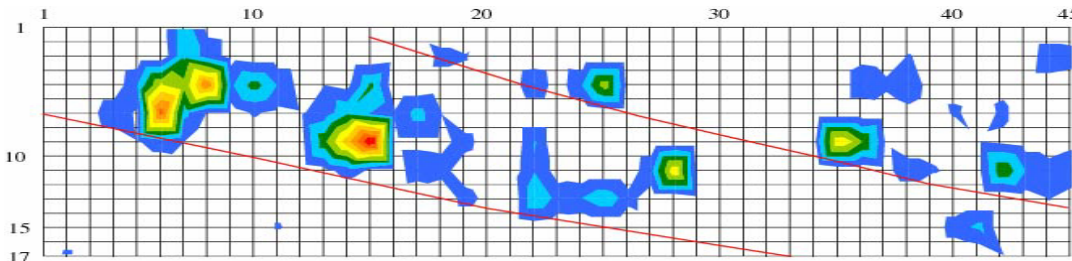


図7 3番桁 75mm 以浅のスペクトル強度分布 (MEM 詳細法, 15mm 鋼球)

5. まとめ

PC 橋梁におけるシースの位置は，弾性波速度が低下する部分の分布を調べることにより検知可能であり，さらに，シース近傍での高調波成分の分布を調べることにより充填度についての情報も得られることがわかった．以上から，測定されるスペクトル強度の分布は表1に示す4つのパターンに分類できる．これは，PC 橋梁の健全性の概観的な評価基準として活用することができる．

なお，図5に示す実験結果から弾性波速度を計算したものを図8に示す．図から充填率が100%であれば健全部の弾性波速度(4,500m/s)とほぼ同じであり，充填率が低くなるに従って弾性波速度が低下する傾向が見られた．今後は，弾性波速度の低下率と充填率の相関を調べ，より定量的な判断基準の構築に努めたい．

表1 測定結果の分類

弾性波速度の低下 高調波	弾性波速度の低下	
	有	無
有	×	
無		

;健全 ×;要再検査 ;現象について要検討

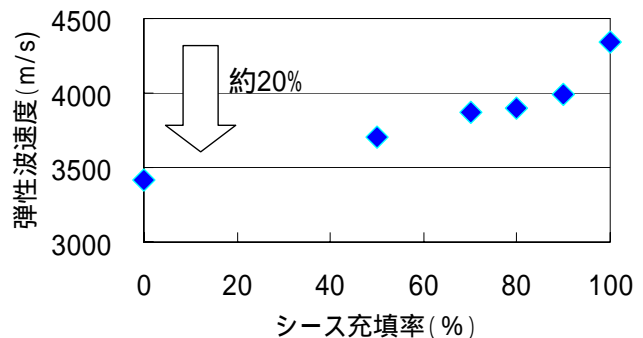


図8 充填率と見掛けの弾性波速度の関係

参考文献

- 1)極壇邦夫，境友昭；衝撃弾性波法による橋梁シーソ間の充填度の測定，2002年コンクリート工学年次大会，2002
- 2)極壇邦夫，菅野匡，境友昭；衝撃弾性波法による大型供試体シーソ菅のグラウト充填度の測定 2002年コンクリート工学年次大会，2003