

衝撃弾性波法によるPC橋の横締めグラウト充填診断手法

(一財) 首都高速道路技術センター ○繪鳩 武史
 (一財) 首都高速道路技術センター 正会員 佐藤 祐輔
 首都高速道路(株) 永田 佳文
 アイレック技建(株) 伊藤 武文

1. はじめに

PC グラウトは PC 鋼材の防食および部材コンクリートと PC 鋼材を一体化することを目的としてシース管とシース管内に配置された PC 鋼材との狭小な空隙に充填される。この充填度が不十分なことに起因した既設 PC 構造物の PC 鋼材の腐食劣化 (写真-1) が国内外で報告されており、首都高速道路でも端横桁横締め PC 鋼棒が腐食により破断し突出した事例がある。(写真-2)

これまで PC 構造物のグラウト充填診断を行う手法は、削孔による内視鏡カメラを用いた目視による充填状況診断方法のほかに、非破壊検査として X 線透過法や弾性波を用いた診断手法が適用されている。

本稿は、後埋めコンクリートのはつりを必要としない横締めグラウト充填診断手法を用い、実橋でその適用性を検証したものである。現在は、橋梁健全度評価・診断業務として進めている既設 PC 構造物のグラウト充填度調査について報告する。



写真-1 PC 鋼材の腐食状況



写真-2 PC 鋼棒突出事例



写真-3 打撃状況

2. 計測方法の概要

本報告の計測は、横桁を伝播する弾性波の伝播速度と伝播波形前方に存在する高周波波形を評価指標とするグラウトの充填診断である。

本計測システムの概要を図-1に、仕様を表-1に示す。測定方法は、金属ハンマーでコンクリート表面より PC 鋼材の一端を打撃し、鋼材を挟んで打撃面の反対側コンクリート表面に設置した受信用 AE センサーで伝播波形を測定する。金属ハンマーには加速度センサーを取付けて伝播時間の測定および打撃エネルギーの評価を行い、入力波形を確認しながら一定のレベルの打撃強度となるように打撃を行う。

本システムの特徴は、伝播波形の立上り部を詳細に計測するためサンプリングの時間間隔を短くしていることや、鋼板により弾性波の高周波成分を入力すること、コンクリート表面保護の観点から鋼板を介した人力によるハンマー打撃を採用していることである。(写真-3)

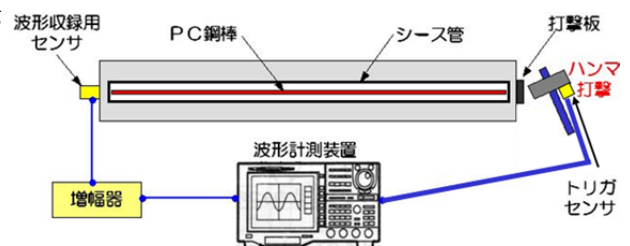


図-1 計測システム概要

表-1 計測システムの仕様

項目	種別	仕様
センサー	受信側: AEセンサー	共振周波数 30KHz
	送信側: 加速度センサー	共振周波数 26KHz
オシロスコープ	サンプリング間隔	0.4 μsec
	サンプリング数	2,500,000
プリアンプ	増幅器	増幅率: 0~60dB
ハンマー	金属ハンマー	1.1Kg
鋼板	縦 60mm × 横 60mm × 厚 8mm	

コンクリート表面からの打撃によって得られた観測波形を図-2、図-3に示す。後埋めコンクリートをはつらない計測が可能であり、図-2のようにコンクリート面上からの打撃でも安定した伝播波形を観測できる。また、図-3に示すような、伝播波の前方、到達時刻付近に高周波振幅波が見られる特徴的な波形（以降、前方高周波振幅波）が観測された場合「未充填あり」として診断する。

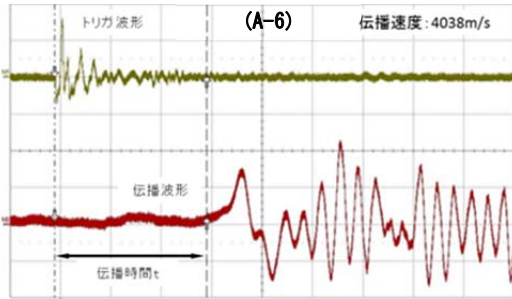


図-2 観測波形

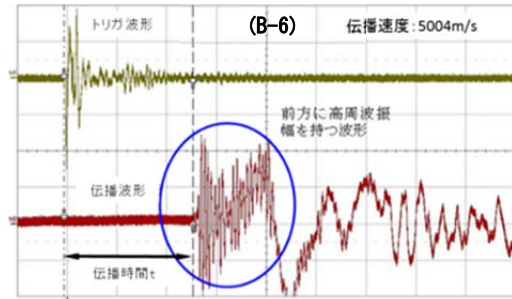


図-3 前方高周波振幅波が見られた観測波形

3. 実橋における計測

PC 鋼線と PC 鋼棒の 2 タイプの既設 PC 構造物で計測を行った。

I 橋梁〔PC 鋼線〕は PC ポストテンション単純 T 桁橋で幅員 14.25m、径間長 27.25m である。測定は 2 径間(上り A 径間, 下り B 径間)について行い、計 14 本の診断を行った。(シース管径 ϕ 45mm, 鋼線 ϕ 7mm \times 12 本)。(図-4)

II 橋梁〔PC 鋼棒〕は、PC ポストテンション 3 径間連結単純 I 桁橋で、幅員 7.6m、径間長 45.1m である。各径間には端支点横桁、中間横桁、中間支点には中間支点横桁と間詰め部があり、2 径間の上下線延べ 88 本の横締め PC 鋼棒について診断を行った。(シース管径 ϕ 34 mm, 鋼棒 ϕ 25 mm) (図-5)

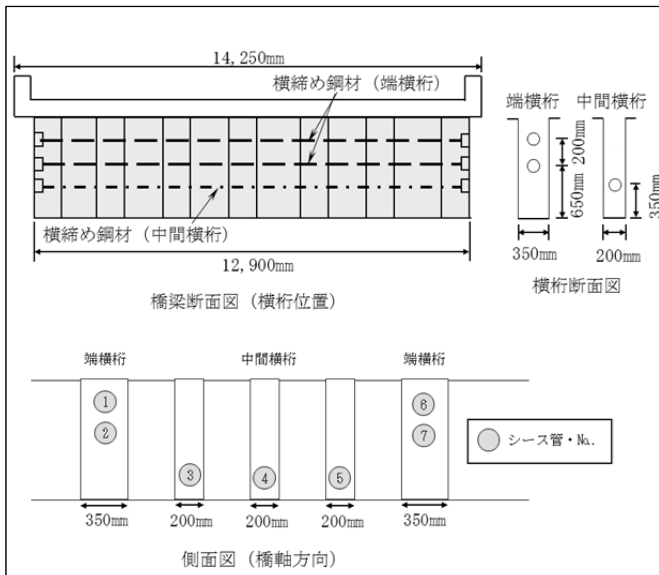


図-4 I 橋梁概要図(横締め PC 鋼線)

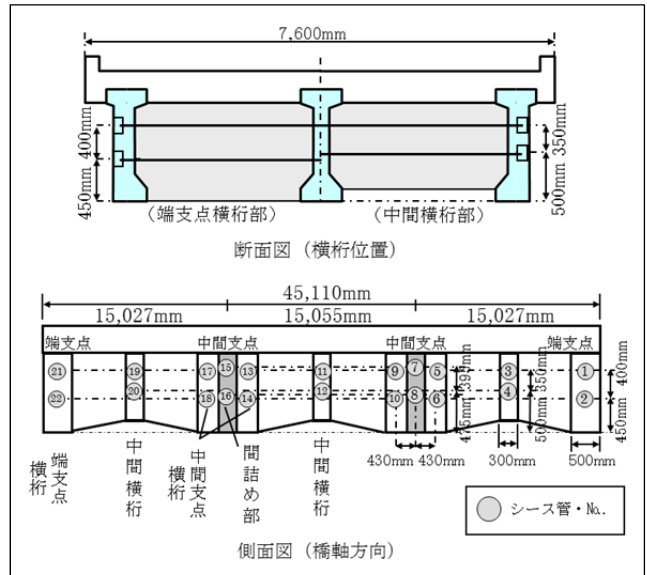


図-5 II 橋梁概要図(横締め PC 鋼棒)

4. 計測結果と目視確認による検証

衝撃弾性波法により計測した後、充填・未充填の判定結果の整合性を検証するため、X 線調査とはつり・削孔と内視鏡カメラ観察による目視確認を実施した。各調査の結果のうち、PC 鋼線について充填状況の診断を行った結果を表-2に、前方高周波振幅波が観測された PC 鋼棒について、伝播速度、目視確認による充填度調査結果をまとめたものを表-3に示す。なお、目視確認による充填形態は、表-4に示すパターンのように分類した。

表-2 充填度調査結果 (PC 鋼線)

測定箇所	平均音速 (m/s)	前方高周波振幅波の有無	X線調査結果	はつり調査結果 (表-4参照)	充填状況判定結果
A-1	4,621	有	----	case-4	未充填
A-2	4,567	有	----	case-5	未充填
A-3	3,552	無	異常なし	case-1	充填
A-4	3,425	無	異常なし	case-1	充填
A-5	4,051	有	未充填あり	case-5	未充填
A-6	4,038	無	----	----	充填
B-4	3,871	有	----	case-4	未充填
B-5	3,642	有	----	case-2	未充填
B-6	5,004	有	----	case-5	未充填
B-7	4,829	有	----	case-4	未充填

表-3 充填度調査結果 (PC 鋼棒)

測定箇所	平均音速 (m/s)	前方高周波振幅波の有無	X線調査結果	はつり調査結果 (表-4参照)	充填状況判定結果
上りNo.23	5,709	有	-----	case-6	未充填
上りNo.30	4,924	有	-----	-----	-----
上りNo.35	5,135	有	-----	case-5	未充填
下りNo.25	5,113	有	未充填あり	case-4	未充填
下りNo.30	5,332	有	-----	-----	-----
下りNo.39	5,262	有	-----	-----	-----
下りNo.42	4,565	有	-----	case-4	未充填

表-4 充填形態判定パターン表

想定	概略図	状況	判定
case -1		完全充填	再注入無し
case -2		上部に空隙があるが全区間鋼材を保護している	再注入無し
case -3		シース内半分程度空隙があり尚且つ鋼材上部も露出している	再注入
case -4		初めは充填されているが途中から徐々に完全未充填に変化する	再注入
case -5		両端部は注入されているが、中央部が未充填	再注入
case -6		完全未充填	再注入

(1) 伝播速度と前方高周波振幅波の観察

既往の研究¹⁾では、弾性波がPC鋼材とグラウトが一体となった複合部材中を伝播すると分散するため、速度の遅いものは「充填」であることが確認されている。

伝播速度は、図-2に示すように入力したトリガ波形の観測開始時点と受信側での伝播波形の観測開始時点との伝播時間 (t) を測定し、伝播距離から伝播速度に変換して求めた。

伝播速度の測定結果を図-6, 7に示す。伝播速度を比較するとPC鋼棒はPC鋼線より伝播速度が速い。これはPC鋼棒がPC鋼線よりも表面積比率は小さく、グラウトにより拘束され、減衰度が相対的に小さくなることに起因する。また前方高周波振幅波「有」と「無」の平均速度を比較すると、前方高周波振幅波が観察される「有」の方が速いことが明白である。

(2) 測定結果と目視確認による検証

PC鋼線では、X線調査で「未充填あり」と判定したA-5鋼線の調査画像を写真-4に、はつり調査により「未充填あり」と判定したB-7鋼線を写真-5に示す。

今回、鋼線または鋼棒の伝播速度および前方高周波振幅波の有無による診断結果と目視確認(X線調査、はつり調査)との比較により、速度の速いものは「未充填あり」であることが再確認できた。

一方、表-2のA-5, B-4, B-5では、伝播速度は3642~4051m/sとなり上述した伝播速度のみの評価では「充填」と診断されるところを、前方高周波振幅波の有無により評価することにより、「未充填あり」の診断となり、より診断結果の精度を上げている。

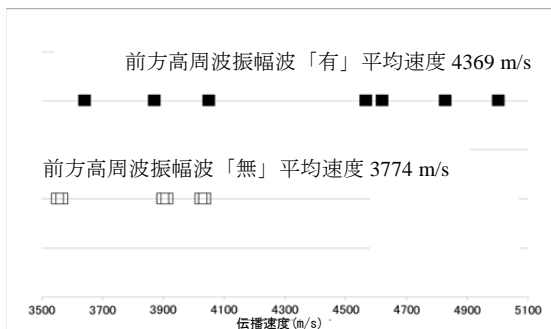


図-6 伝搬速度の計測結果 (PC 鋼線)

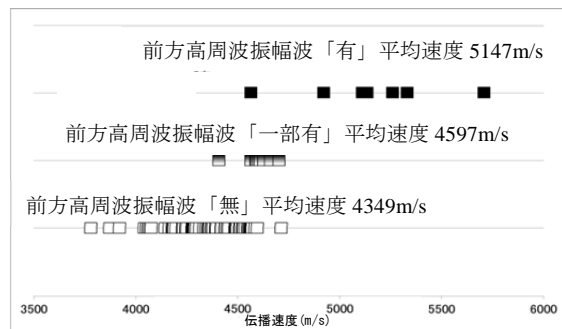


図-7 伝搬速度の計測結果 (PC 鋼棒)

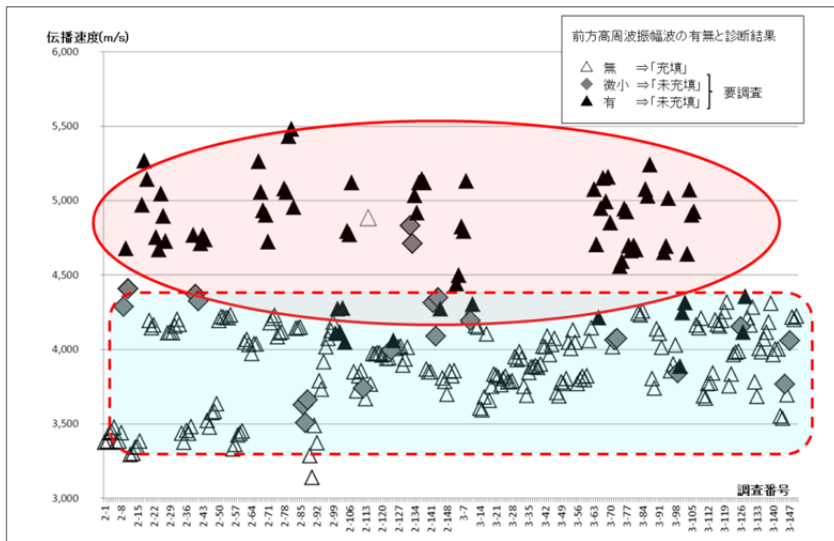


図-8 伝播速度と診断結果 (PC 鋼棒)

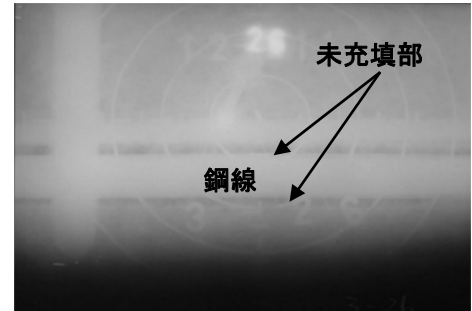


写真-4 X線調査結果 (A-5)



写真-5 ハツリ調査結果 (B-7)

5. 調査状況

これらの実橋における検討からグラウト充填の調査手法として適用した既設PC構造物の横締めグラウト充填診断は、約1800本の診断実績がある。

図-8は、診断業務として実施した診断結果と伝播速度をグラフにした例である。一般的に言われている伝播速度が速い結果が「未充填」となる傾向がみられたとともに、伝播速度が比較的遅い場合でも、前方高周波振幅波が確認され、「未充填」となる診断結果があった。また、微小な高周波を含んでいる場合には、安全側の診断として「未充填」とし、明確に前方高周波振幅波が確認された箇所とあわせて、今後対応が必要となる「要調査」としている。

「要調査」となった箇所は、横桁側面から削孔して内視鏡カメラにより目視確認がなされ、空洞が確認された場合にグラウト再注入工が実施されている。

6. おわりに

今後の課題として、評価指標の変動を少なくするため入力または出力装置改善により入力エネルギーを一定化することや、立ち上がり時間に着目するなど新しい評価指標を導入することにより、より明確な判断基準を確立することなどがある。

本手法はコンクリート表面から診断を行うことから後埋めコンクリートのはつり・補修などが不要でPCグラウトの充填診断が可能であるため、工期、費用などの面で大きなメリットをもたらす技術であると思われる。さらに、再注入を行った場合には品質検査にも適用できる。

蓄積された社会資本の老朽化が進む中で、構造物の健全度を的確に診断し、適切な措置を講じて構造物の長寿命化を図るため、積極的に本技術の改善を進めていく方針である。

参考文献

- 1) 鎌田敏郎, 浅野雅則, 内田慎也, 六郷恵哲: 弾性波による PC グラウト充填評価手法の実構造物の適用, 土木学会論文集, Vol. 62, No.3, pp. 569-586, 2006. 9
- 2) 永田佳文, 白鳥 明, 伊藤武文, 植木 博: 衝撃弾性波法による PC 橋の横締めグラウト充填診断手法の開発, コンクリート工学論文集第 25 巻, 57-64, 2014 年