

せん断PC鋼棒のグラウト充てん度非破壊検査方法の適用性検証

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 ○竈本 武弘
正会員 野島 昭二

1. はじめに

プレストレストコンクリート橋（以下、PC橋という）のグラウトは、PC鋼材を腐食から保護するために重要な役割を担っている。したがって、施工時の不具合等によりシース内へのグラウトの充てんが完全でない場合、微細なひび割れを通じてシース内に雨水や凍結防止剤を含む路面排水が浸入し、PC鋼材を腐食させることがある。特に、PC鋼棒で破断が生じるとひずみエネルギーが一度に開放されるため、定着具付近のコンクリートに損傷が生じ、第三者に影響を与える懸念がある。

現在、PC鋼棒の破断に伴うコンクリートの損傷対策としては、帯鋼板とアラミド繊維シートなどを貼り付ける方法等により第三者への影響度を低減する方法が取られている。今後、長期に渡ってPC橋の維持管理を行うためには、PC鋼棒のグラウト充てん不良箇所を発見し、必要に応じてグラウトを再注入する必要がある。

本文では、PC箱桁橋のウェブに用いられるせん断補強の鉛直PC鋼材に特化し、PC鋼棒のグラウト充填、未充填を模擬した供試体で各種非破壊検査方法を試し、実橋での適用性を検証したので報告する。

2. 供試体概要

使用した供試体は、せん断鋼棒φ32mmを使用しているPC箱桁橋のウェブをモデル化したものである。供試体は、CASE-1～CASE-3までの3体で、鉄筋の有無・ピッチ、シースまでのかぶり厚、主ケーブルの影響の有無をパラメータとした。供試体の条件を表-1に、代表的な供試体概要図を図-1に示す。

表-1 供試体の条件

		CASE-1		CASE-2		CASE-3		
		A面	B面	A面	B面	A面	B面	
供試体概要	高さ (mm)	2000		2000		2000		
	幅 (mm)	1500		2500		2500		
	厚さ (mm)	475		475		475		
	コンクリート強度 (N/mm ²)	40		40		40		
	せん断鋼棒	せん断補強鋼棒	φ32		φ32		φ32	
		シース径	φ38		φ38		φ38	
		鋼棒ピッチ	@500		@500		@500	
		配置本数	2本		4本		4本	
		グラウト充填条件	充填1本、未充填1本		充填2本、未充填2本		充填2本、未充填2本	
	主ケーブル	主ケーブル	-		-		7×φ15.2PC鋼より線	
		シース径	-		-		φ55	
主ケーブルピッチ		-		-		@300		
配置本数		-		-		3本		
	鉄筋	-		SD295 D16, 19		SD295 D16, 19		
調査条件	せん断補強鋼棒までの距離 (mm)	275	200	275	200	275	200	
	鉄筋ピッチ (mm)	-	-	@125	@250	@125	@250	
	鉄筋の影響	-		中間2本、直下2本		中間4本		
	主ケーブルの影響	-		-		有り	有り	

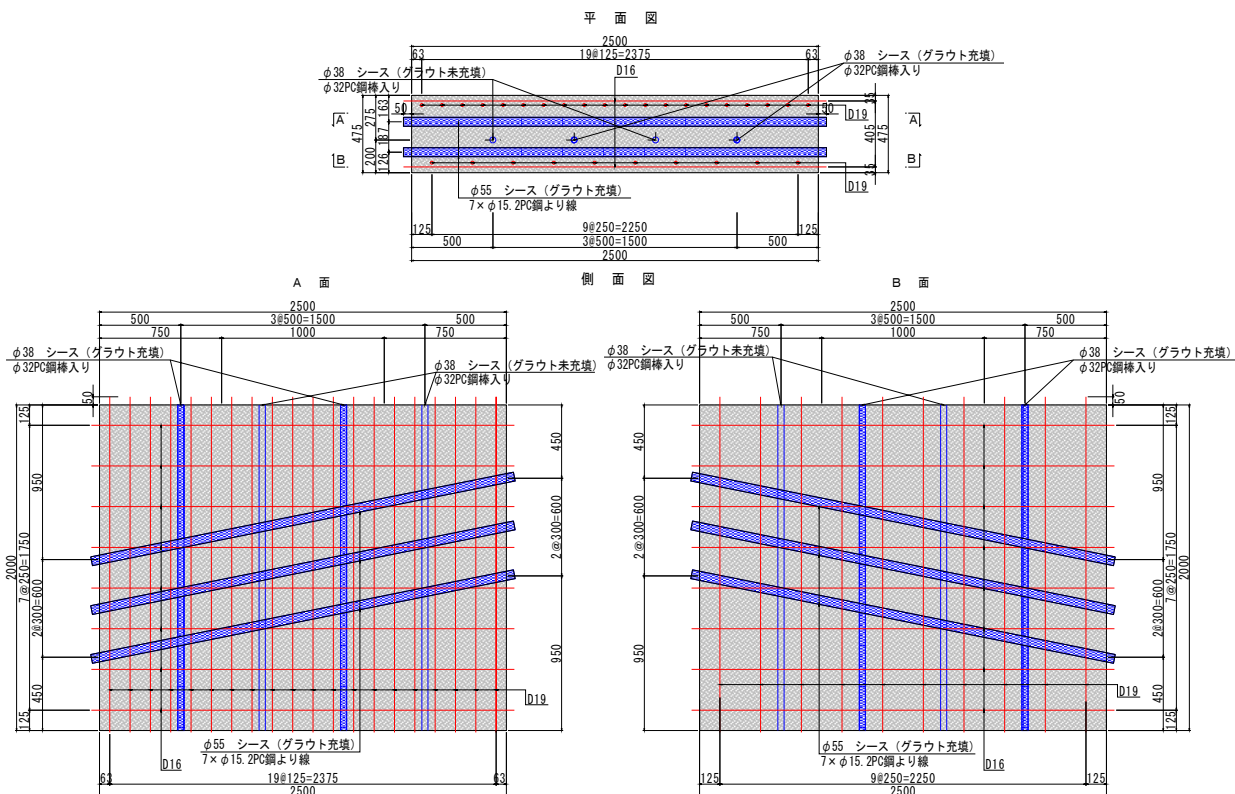


図-1 供試体概要図 (CASE3)

3. 実験方法

3. 1 検証した非破壊検査方法

検証を行った非破壊検査方法は、表-2に示す4手法であり、いずれも弾性波を利用するものである。

表-2 検証した非破壊検査方法

No	非破壊検査の名称	非破壊検査の概要
1	広帯域超音波法 ¹⁾	PC鋼材直近のコンクリート面に接触探子を配し、発信子から弾性波を入射し、シースの反射波を解析することによってグラウト充填を判断する方法
2	インパクトエコー法 ²⁾	PC鋼材側面のコンクリート上からハンマーなどにより弾性波を入力し、シースからの反射波の周波数応答を解析してグラウト充填を判断する方法
3	スペクトルイメージング法 ³⁾	衝撃弾性波法の一つであり、インパクトエコー法よりさらに高周波数で大きな弾性波を入力して、シース反射波の信号を画像化する方法によってグラウト充填を判断する方法
4	時間領域信号判定法	衝撃弾性波法の一つであり、BB弾でPC構造物に弾性波を入力して、コンクリート表面への第一反射波が引張波であるか、圧縮波であるかでグラウト充填を判定する方法

3. 2 実験条件

実験は、以下の条件で実施した。

- ① 鉄筋、PC鋼材の位置・かぶり、グラウトの充填・未充填は既知とする。
- ② 探査は非破壊により実施するものとし、微破壊または局所破壊は行わない。
- ③ 探査は実際の構造物条件を想定し、供試体前面 (片面のみ) から行い上下・側面は使用しない。

4. 実験結果

4. 1 広帯域超音波法

代表的な実験結果として、CASE-2 (A 面 : 275mm) と CASE-3 (A 面 : 275mm) の解析結果をそれぞれ図-2 と図-3 に示す。CASE-1, CASE-2 および CASE-3 の全ての供試体で、せん断 PC 鋼棒のグラウト充填度の判定が可能であった。

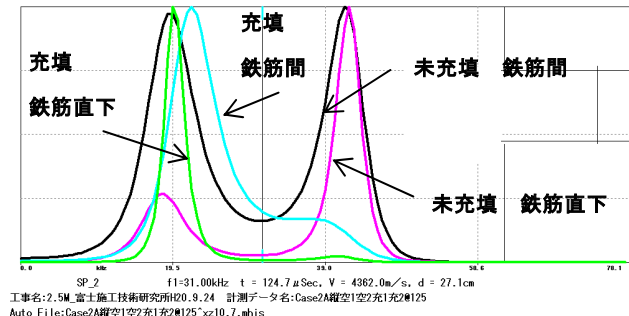


図-2 分析結果 (CASE-2 A 面:275mm)

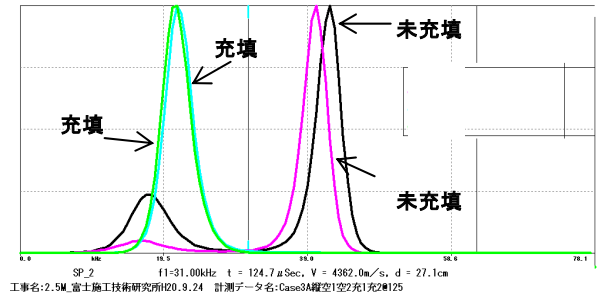
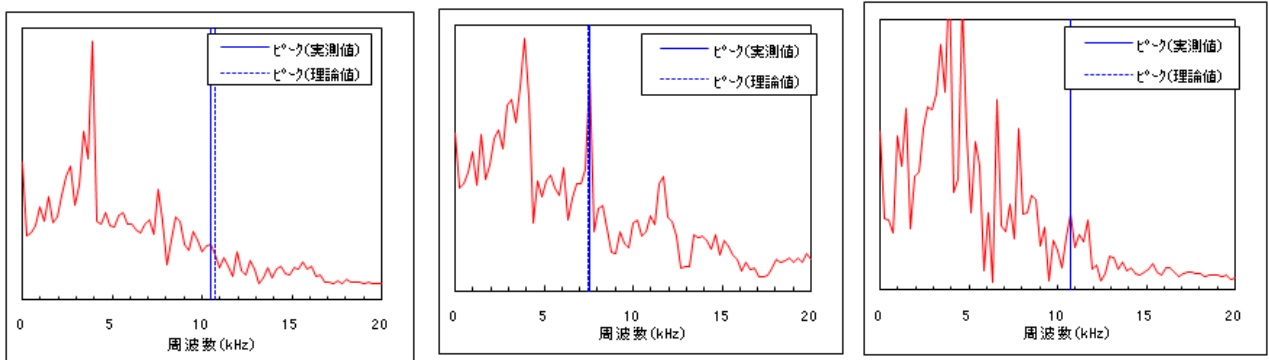


図-3 分析結果 (CASE-3 A 面:275mm)

4. 2 インパクトエコー法

グラウト充填, 未充填, 判定困難の代表的な波形を図-4 に示す。グラウト充填シースの波形 (図-4(a)) では、シースからのエコーに相当する周波数のピークがなく、グラウト未充填シースの波形 (図-4(b)) では、シースからのエコーに相当する周波数に明瞭なピークが見られた。また、判定困難なシースの波形 (図-4(c)) では、シースからのエコーに相当する周波数に不明瞭だがピークが見られた。本実験の結果では、全般的にかぶりの大きな鋼棒の方が正解率は低い傾向となった。また、未充填鋼棒では、判定困難という結果が多かった。これはノイズ成分となる非定常波が原因と考えられ、これを除外することができれば、判定精度を上げられると考えられる。一方、充填鋼棒でもシースエコーに相当する周波数に未充填のもののような明瞭なピークが現れることがあった。この原因は現時点では不明であり、原因の追究は今後の課題である。



(a) 代表的な充填シースの波形 (b) 代表的な未充填シースの波形 (c) 代表的な判定困難シースの波形

図-4 インパクトエコー法による代表的な波形

4. 3 スペクトルイメージング法

グラウト充填, 未充填の代表的な判定結果を図-5 に示す。本実験の結果では、未充填箇所はかぶり深さ, 鉄筋の直上・鉄筋間, 主ケーブルの有無に関係なく、約70%程度の成功率で未充填として検出できた。しかし、充填箇所については、裏面での反射強さと上限周波数の兼ね合いで、判断できない場合が多くみられた。イメージング図の5段階表示方法も含めて再検討の必要があると考えられる。

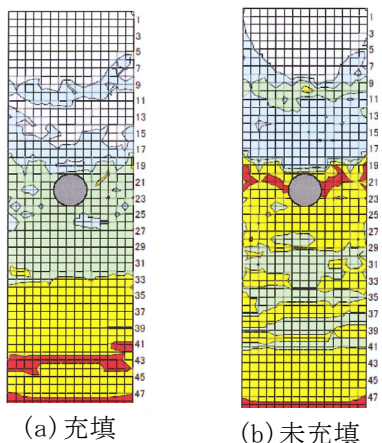
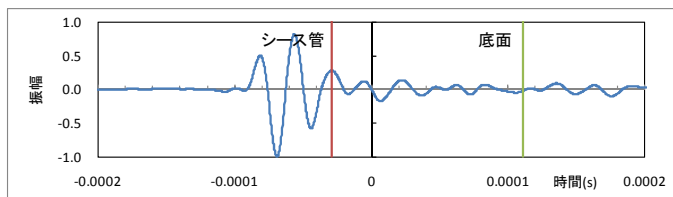
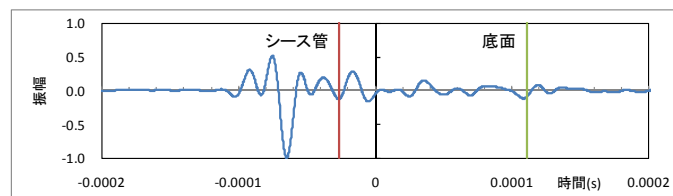


図-5 スペクトルイメージング法による代表的な判定結果



(a) グラウト充填の場合



(b) グラウト未充填の場合

図-6 時間領域信号判定法による代表的な判定結果

4. 4 時間領域信号判定法

CASE-2 のB 面における反射波の解析結果を図-6に示す。グラウト充填のものはシース位置で凸変形となっており、グラウト未充填のものはシース位置で凹変形となっている。

この結果から、本手法によりグラウト充填判定は可能であると考えられる。しかし、今回の実験では、CASE-2 のB 面の1 ケースのみの結果であるため、他のケースについても確認を行う必要がある。

5. まとめ

今回の実験結果による各非破壊検査方法の評価を表-3に示す。現時点では、広帯域超音波法が最も精度、作業性などから有効な手法であることがわかった。しかし、計測に掛かる時間に改善の必要がある。また、他の手法においても改善の余地があり、今後の開発に期待するものである。

表-3 今回の実験による各非破壊検査方法の評価

非破壊検査法	供試体断面	供試体実験による評価					現場適用性の評価			総合評価
		CASE-1	CASE-2		CASE-3	評価	作業性	探査時間	現地での判定可否	
		無筋	鉄筋間	鉄筋直上	鉄筋間					
広帯域超音波法	A面	a	a	a	a	a	a	b	a	a
	B面	a	a	a	a	a				
インパクトエコー法	A面	b	b	b	c	b	a	b	b	b
	B面	a	b	b	b	b				
スペクトルイメージング法	A面	c	c	c	c	c	c	c	b	c
	B面	c	c	c	c	c				
時間領域信号判定法	A面	—	—	—	—	—	c	c	b	c
	B面	—	—	a	—	—				

【供試体実験の評価基準】

- a: 判定可能
- b: 改良すれば, 判定できる可能性あり
- c: 現時点では, 判定が難しい
- : 実験結果無し

【現場適用性の評価基準】

- a: 適用可能
- b: 改良すれば, 適用できる可能性あり
- c: 現時点では, 適用が難しい

参考文献

- 1) 原幹夫他：広帯域超音波探査法を用いたPCグラウトの充填度測定, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp61-64, 2003
- 2) 中根基之他：インパクトエコー法によるコンクリート内部空隙の評価に与える弾性波の入力周波数の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp643-648, 2007
- 3) 中居陽子他：SIBIEによるPCグラウト未充填部検出に関する考察, 第2回弾性波によるコンクリートの非破壊検査に関するシンポジウム, 2007