

## 被覆PC鋼材を用いたPCグラウト実物大試験

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部 正会員 ○北野 勇一  
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部 正会員 市川 成勝  
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部 堀 重伸  
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部 鶴岡 俊明

Abstract : Design and construction using coated PC steel and PE sheath is done with a post tension type PC bridge which requires high durability. However, there are no guidelines on the combination of coated PC steel and PE sheath. In particular, when applying a PE sheath of the same diameter as the ordinary PC steel to the coated PC steel, the void ratio in the sheath decreases and the filling of PC grout may be incomplete. Therefore, the authors conducted PC grout full-sized test using coated PC steel.

Key words : Coated PC steel, PC grout, PE sheath, Void ratio, Full-sized test

### 1. はじめに

東北地方では、そのほとんどが積雪寒冷地であり凍結抑制剤の散布量も多いことからコンクリート構造物の塩害や凍害に対して過酷な環境にあり、これらに起因した構造物の劣化による維持管理費の増大が課題とされている。このような状況を鑑み、東北地方整備局は維持管理の容易性と確実性および耐久性の向上に重点を置き、今後さらに増大する橋梁のストックに対して維持管理の軽減等を図ることを目的に2016年3月に「設計施工マニュアル[道路橋編]」を改訂している<sup>1)</sup>。このマニュアルの改訂において、高い耐久性が求められるポストテンション方式PC橋では、被覆PC鋼材とPEシースを用いて設計施工を行うとされている。普通PC鋼材とPEシースの組合せについては「PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)」<sup>2)</sup>(以下、PEシース指針)が整備されているものの、被覆PC鋼材とPEシースの組合せについての指針類は見あたらない。とくに、普通PC鋼材を用いる場合と同じ径のPEシースを被覆PC鋼材にも適用する場合は、被覆分の断面積が増加することからシース内の空隙率が減少し、PCグラウトの確実な充填が達成できないおそれがある。そこで、一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部(以下、PC建協東北支部)では、被覆PC鋼材12S12.7を用いたPCグラウト実物大試験を実施することにした。本稿では、実験概要(2章)と実験結果(3章)を報告するとともに、既往のPCグラウト実物大試験結果と照し合せながら被覆PC鋼材とPEシースの組合せ(4章)について論じる。なお、本試験は2013年2月にPC建協東北支部内に設立された「PC橋長寿命化委員会」の活動の一環として実施されたものである。

### 2. 実験概要

#### 2.1 実験方針

PC建協東北支部では、PEシース指針を参考に、シース内空隙率を同程度としたPEシース径の暫定仕様を取り決めた(表-1参照)<sup>3)</sup>。実験では被覆PC鋼材12S12.7を用いる場合のPEシース径を暫定仕様であるφ75

表-1 PC鋼材とPEシースの組合せ(12S12.7の場合)

PC鋼材種類, 断面積, シース内に通す時期	シース径 (mm)	空隙率 (%)	備考
普通 12S12.7 A=1185 mm <sup>2</sup>	先通し	φ65	PEシース指針 <sup>2)</sup> の仕様
	後通し	φ70	
被覆 12S12.7 A=1630 mm <sup>2</sup> (=135.8×12)	—	φ70	普通PC鋼材と同径 PC建協東北支部 <sup>3)</sup> の暫定仕様
	先通し	φ75	
	後通し	φ80	

注) シース径は、PEシースの内径を記載。

(先通し)とφ80(後通し)に加え, シース外径が大きくなることによる部材寸法の変更を極力回避するため, 従来の空隙率を若干下回るシース径φ70についても検討した。また, 実験方法は「PCグラウトの設計施工指針」<sup>4)</sup>(以下, グラウト指針)に掲載される【PCグラウトの充填性に関する実物大試験方法】に従った。

2. 2 実験ケース

実験ケースを表-2に示す。H70~L80の実験ケースは, 過去に実施された普通PC鋼材12S12.7の実物大試験にて“完全充填”が確認されている中でもっとも先流れが生じる下り勾配15°(直線区間4.0m)の条件とし, シース径(φ70, φ75, φ80)およびグラウト種別(高粘性, 超低粘性)を変化させた。L70-5は実工事の計画で想定されている実験ケース(φ70, 下り勾配5.86°, 超低粘性)である。

ケーブル形状を図-1に示す。H70~L80のケーブル形状および中間排気口の位置はグラウト指針に掲載される過去の実物大試験の実績(普通PC鋼材)に合わせた。

2. 3 使用材料

PC鋼材は内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線<sup>5)</sup>の付着型12.7mm, シースはPEシース指針の品質基準に適合するPEシース(半透明)を用いた。PCグラウトに用いる材料は, グラウト指針に規定された条件を満足するもの(非膨張タイプかつノンブリーディングタイプ)を選定した。

PCグラウト配合を表-3に示す。水セメント比W/C(水粉体比W/P)は, 製造会社の推奨範囲で所要の流動性状が得られるよう, 高粘性W/C=42.5%, 超低粘性W/P=36.0%に決定した。

2. 4 PCグラウト注入

PCグラウトはグラウトミキサ(容量100L, 回転数1000rpm)にて練り混ぜ(高粘性180秒, 超低粘性120秒), 1.2mmのふるいを通し, スクイズ式グラウトポンプを用いてシース端部より片押しにより注入した。注入速度は高粘性で毎分10L(ポンプ圧力0.95~1.15MPa), 超低粘性で毎分15L(ポンプ圧力0.15~0.4MPa)とし, 排出確認後は高粘性で1.2MPa, 超低粘性で0.9MPaの加圧を行った。

表-2 実験ケース

ケーブル番号	鋼材種類	シース径(mm)	空隙率(%)	シース長(m)	下り勾配(°)	グラウト種別
H70	被覆 12S12.7	φ70	57.7	13.0	15	高粘性
H75		φ75	63.1			
H80		φ80	67.6			
L70	被覆 12S12.7	φ70	57.7	13.0	15	超低粘性
L75		φ75	63.1			
L80		φ80	67.6			
L70-5		φ70	57.7	15.067	5.86	

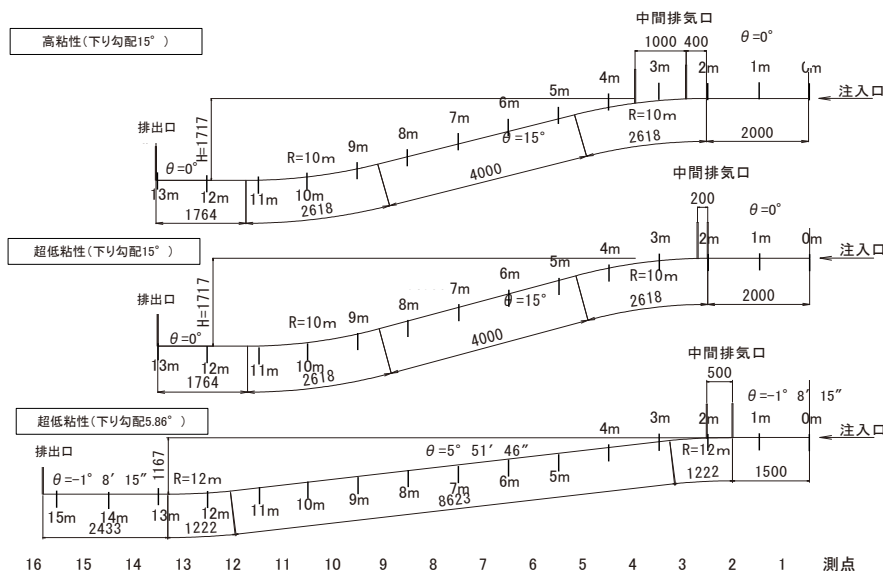


図-1 ケーブル形状

表-3 PCグラウト配合

グラウト種別 (混和タイプ)	W/C (W/P) (%)	単位量(上段:kg/m <sup>3</sup> , 下段:kg/ハッチ)		
		セメント (粉体)	水	混和剤
高粘性 (混和剤)	42.5	1341	563	13.41
		76.605*	32.2	0.75
超低粘性 (プレミックス)	36.0	1465	527	-
		75	27	

\*普通ポルトランドセメント10袋平均25.535kgの3体分を記載した。

2. 5 確認項目

PCグラウトの品質試験項目を表-4に示す。また、PCグラウト注入に際しては、先流れの有無や空隙の発生状況を目視にて確認した。

PCグラウト硬化後にはシースを撤去し、注入口より1.0mごとの範囲を1測点（前出図-1参照）としてグラウト充填状況を確認し、表-5に従い「有害な残留空気」の判定を行った。ただし、余長部分（注入口～中間排気口と下り勾配の終点～排出口の水平区間）は判定の対象外とした。注入結果は、全測点で有害な残留空気が確認されない場合を「完全充填」、1測点でも有害な残留空気が認められる場合を「不完全」と評価した。

表-4 PC グラウト品質試験項目

項目	試験方法	規格値	
レオロジー試験	JSCE-F531 (JP 漏斗)	高粘性	14～23 秒
		超低粘性	3.5～6 秒
ブリーディング率試験	JSCE-F 535 (鉛直管試験)	0.3%以下	
膨張率試験		±0.5%	
単位容積質量試験	JSCE-F 536	推奨範囲の±1.5%	
圧縮強度試験	JSCE-G 531	σ <sub>28</sub> 30N/mm <sup>2</sup> 以上	

※1) レオロジー試験 (JP 漏斗) はバッチごとに測定を行う。  
 ※2) 材齢 28 日まで現場封緘したφ50×100の供試体を用いる。

表-5 「有害な残留空気」の判定基準

目視状況	残留空気が リブ内に収まる	残留空気がリブ断面程度以上 (リブを跨ぐ残留空気がある)	
判定	○ 有害な残留空気：無	×	×× 有害な残留空気：有

3. 実験結果

3. 1 PCグラウト品質

試験結果を表-6に示す。高粘性および超低粘性のPCグラウトとも、所要の品質を満たした。なお、実験時の天候は晴れ、外気温1℃、実験場所（テント養生）温度5℃であった。

表-6 PC グラウト品質試験結果

項目	高粘性	超低粘性
グラウト温度 (℃)	20～23	19～20
JP 漏斗流下時間 (秒)	14.7～20.5	3.9～4.1
ブリーディング率 (%)	0.0	0.0
24 時間後膨張率 (%)	-0.35	-0.37
単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> )	1.889	1.976
推定 W/P,W/C	W/C=45.2%	W/P=37.1%
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	53.8	82.0

3. 2 PCグラウト注入時の挙動

注入時の観察結果を図-2～4に示す。

高粘性（下り勾配15°，図-2）：いずれのシース径においても、下り勾配の途中から先流れが生じ（写真-1参照），シース上部に1～2割程度の空隙が発生した。この先流れにより傾斜部に一時的に生じた空隙は、PCグラウトが排出口に達すると傾斜位置全体が充填されていくが、傾斜部のシ

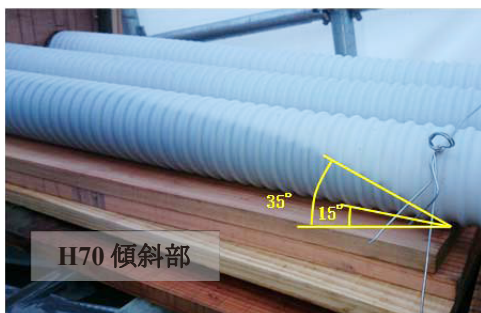
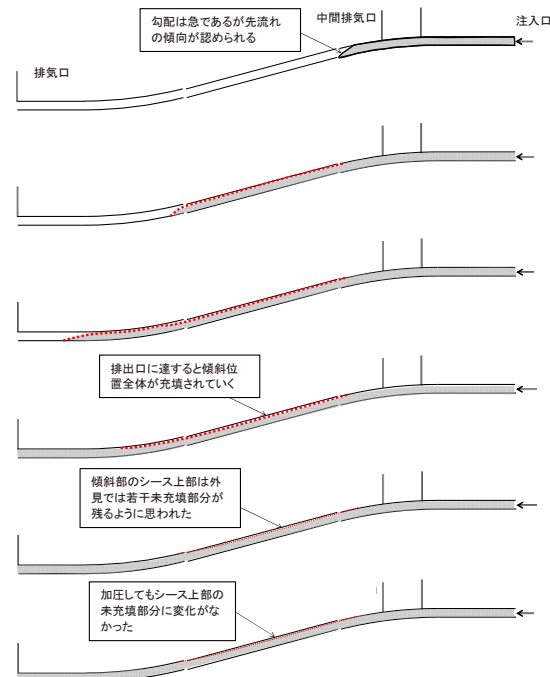


写真-1 高粘性グラウトの先流れ現象

図-2 高粘性、下り勾配 15° の注入状況

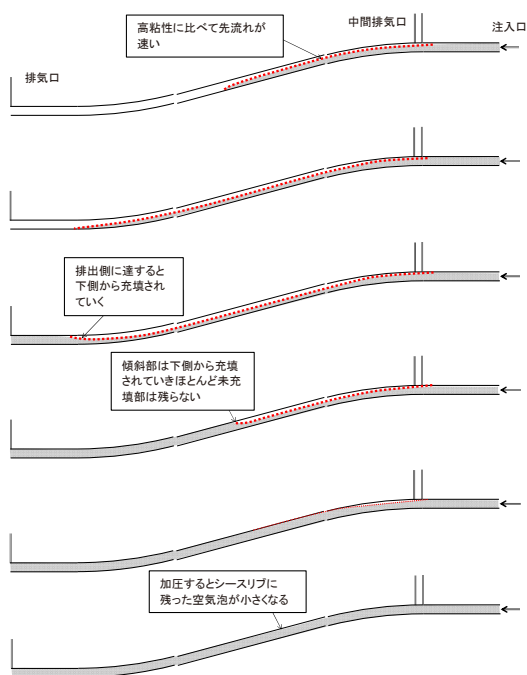


図-3 超低粘性, 下り勾配 15° の注入状況

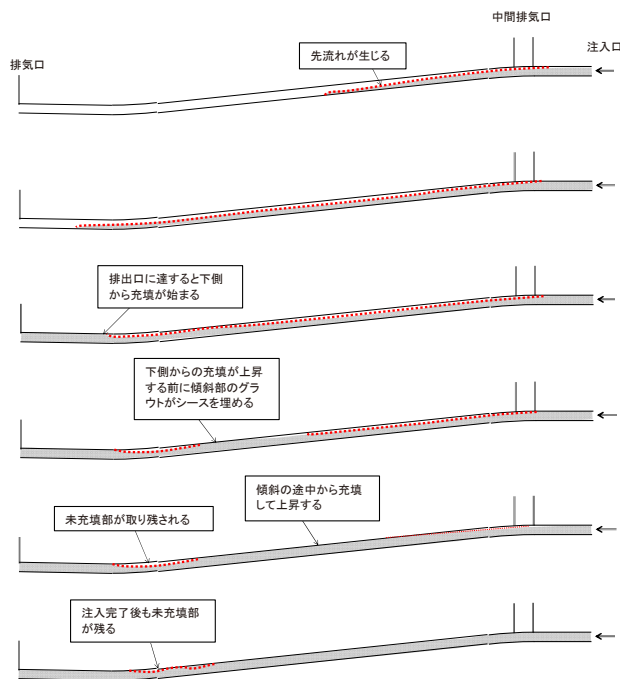


図-4 超低粘性, 下り勾配 5.86° の注入状況

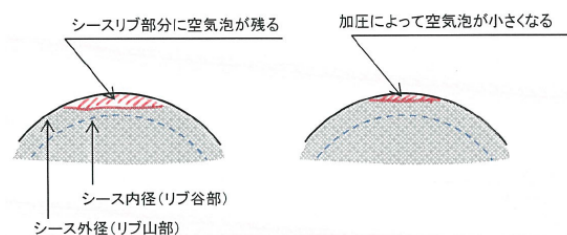


図-5 加圧による空気泡の変化

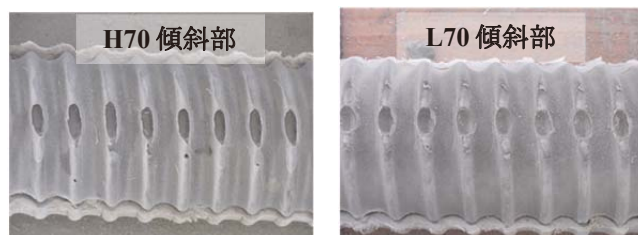


写真-2 リブに残留した空気泡の大きさの比較

ース上部は外見上, 若干空隙が残った。また, 加圧しても空隙の大きさには変化がなく, 外見上, シース上部に部分的に空隙が残った。

**超低粘性 (下り勾配15°, 図-3)** : いずれのシース径においても, 下り勾配の開始位置より先流れが生じ, ほぼ傾斜角度 (15°) に沿ってPCグラウトが流下し, 一時的にシース断面の5割程度以上の空隙が発生した。この先流れにより傾斜部に生じた空隙は, PCグラウトが排出側に達すると下側から充填されていき, 最終的には傾斜部の空隙は残らなかった。また, 加圧するとシースリブに残った空気泡が1/2~1/3に小さくなり (図-5参照), 外見上, 概ね充填した。

**超低粘性 (下り勾配5.86°, 図-4)** : 下り勾配15° の場合と同様に傾斜の開始より先流れが生じ, ほぼ傾斜角度 (5.86°) に沿ってPCグラウトが流下し, 一時的にシース断面の2~3割程度の空隙が発生した。この先流れにより傾斜部に生じた空隙は, 下り勾配15° の場合と同様に排出側に達すると下側から充填が始まるものの, 下側が充填する前に傾斜部のグラウトがシースを埋め, 外見上, 傾斜部の低い側に空隙が取り残された。加圧によりシースリブに残った空気泡は小さくなるが, 傾斜部の低い側に取り残された空隙部は, 外見上, 注入完了後も残った。

なお, 加圧による空気泡の変化が超低粘性タイプで見られたのに対し高粘性では見られなかった理由は, グラウトの粘性の違いによって加圧された圧力が作用する範囲が異なる (高粘性タイプではグラウトの粘性抵抗により加圧された圧力がシース全体に行き渡らない) ことが考えられる。実際, 硬化後に観察した空気泡の大きさは超低粘性タイプの方が小さい傾向にあった (写真-2)。



### 3. 3 硬化後充填確認

PCグラウト注入結果を表-7に示す。  
高粘性 (下り勾配15°) : いずれのシース径においても、大半の部分はグラウトが充填されていた(写真-3a)。しかし、傾斜部の一部に複数のリブを跨ぐ残留空気が認められたH70およびH75については、充填結果を「不完全」と評価した。

残留空気は傾斜の高い側に広く、低い側に向かって細くなっていた(写真-3b)。このような形状より、注入時に残留した空気が時間に伴って傾斜上方に移動しようとしたものの、グラウトの粘性が高いことから途中で空隙の移動が停止して残留したと推察される。

超低粘性 (下り勾配15°) : いずれのシース径においても、グラウトの完全充填が確認された(写真-4)。

超低粘性 (下り勾配5.86°) : 注入側(高い側)でPC鋼材の露出が確認され、注入結果は不完全と評価された(写真-5a)。注入直後に傾斜部の低い側で観察された空隙は、硬化後の段階では確認できなかった(写真-5b)。実施工に際しては、排気口の位置や注入速度等の検討を要する。

### 4. 被覆PC鋼材とPEシースの組合せ

既往の被覆PC鋼材12S12.7の注入試験(表-8参照)<sup>6)</sup>と普通PC鋼材(12S12.4, 12S12.7, 12S15.2)の注入試験<sup>4)</sup>を含め、空隙率と下り勾配をパラメータに取り注入結果を整理したものを図-6に示す。

超低粘性タイプ : 普通PC鋼材に着目すると、空隙率62%以上のすべてのケースで完全充填となっている。被覆PC鋼材に着目すると、空隙率62%以上のすべてのケースで完全充填となっているが、被覆PC鋼材12S12.7とPEシースφ70(空隙率57.6%)で実施された試験の下り勾配5.86°で注入

表-7 PCグラウト注入結果

測点	高粘性			超低粘性			
	H70	H75	H80	L70	L75	L80	L70-5
1	(○)	(○)	(○)	(×)	(○)	(×)	(×)
2	○	○	○	○	○	○	×
3	○	○	○	○	○	○	××
4	○	○	○	○	○	○	××
5	○	○	○	○	○	○	×
6	○	○	○	○	○	○	○
7	○	×	○	○	○	○	○
8	○	×	○	○	○	○	○
9	×	×	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○	○
13	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(×)	○
14	—	—	—	—	—	—	○
15	—	—	—	—	—	—	(○)
注入結果	不完全	不完全	完全充填	完全充填	完全充填	完全充填	不完全

○ : 残留空気がリブ内に収まる, × : 残留空気がリブ断面程度以上, ×× : 残留空気により PC 鋼材の露出。( ) の測点は評価対象外。



写真-3 高粘性タイプ (15°) のグラウト充填状況

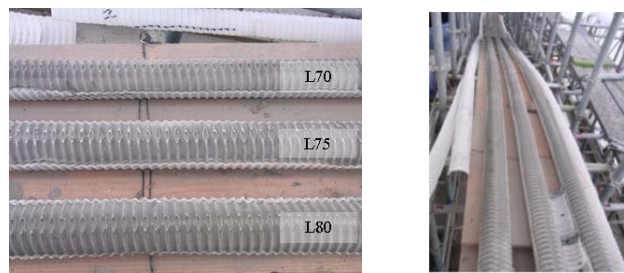


写真-4 超低粘性タイプ (15°) のグラウト充填状況

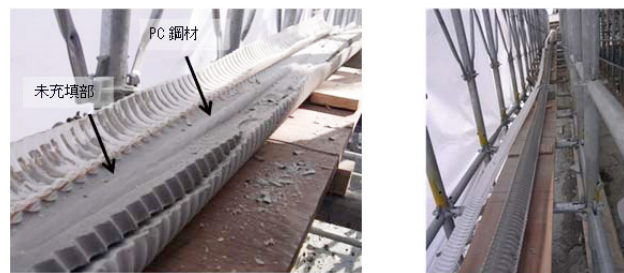


写真-5 超低粘性タイプ (5.86°) のグラウト充填状況

結果が不完全となっている。

高粘性タイプ：普通PC鋼材に着目すると、空隙率62%以上の場合でも注入結果が不完全となるケースがあった。被覆PC鋼材の注入結果と合わせ完全充填が得られる閾値は式(1)～(2)として推定された。

$$V = 0.0567s^2 - 0.688s + 65.2 \quad (7 \leq s \leq 15) \quad (1)$$

$$V = 63.1 \quad (s \leq 7) \quad (2)$$

ここで、V：空隙率(%), s：下り勾配(°)

完全充填が得られるシース空隙率：超低粘性タイプのPCグラウトを用いる場合は、普通PC鋼材と同程度の空隙率(62%以上)を確保すべきと考える。高粘性タイプでは、下り勾配が小さい(7°程度以下)場合で空隙率63%以上を確保し、下り勾配が大きくなるほど空隙率を大きく取る(下り勾配15°で空隙率68%以上を確保する)べきと考える。

なお、PC建協東北支部で取り決めたPEシース径の暫定仕様のうち、被覆PC鋼材12S15.2の実物大試験が未実施であること、被覆PC鋼材12S12.7についてもシース径φ80で完全充填が確認されたのが下り勾配15°のみであることは今後の課題とする。

表-8 被覆PC鋼材を用いた既往の注入試験結果<sup>6)</sup>

ケーブル番号	PC鋼材シース径(mm)	グラウト種別	下り勾配(°)	注入結果
1	被覆 12S12.7 φ 70	高粘性	7	完全充填
2			0	完全充填
3		超低粘性	7	完全充填
4			0	完全充填

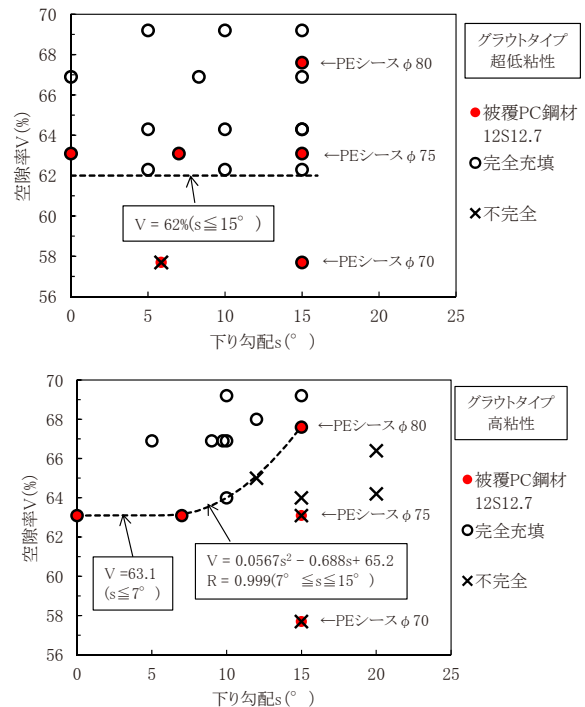


図-6 PCグラウト注入試験結果(既往含む)

### 5. まとめ

被覆PC鋼材を用いたグラウト実物大試験を行った結果、本実験範囲において次のことが確認された。

- 1) 高粘性タイプのPCグラウトを用いた実験では、下り勾配15°の場合、PEシース径φ80を確保し、「PCグラウト設計施工指針」に基づいて行えばシース内を充填できた。ただし、PEシース径φ70とφ75mmの場合は、シース内を完全に充填することができなかった。
- 2) 超低粘性タイプのPCグラウトを用いた実験では、下り勾配15°の場合、PEシース径φ70、φ75、φ80mmを確保し、「PCグラウト設計施工指針」に基づいて行えばシース内を充填できた。
- 3) 超低粘性タイプのPCグラウトを用い、下り勾配5.86°、PEシース径φ70とした実験では、部分的に残留空隙が生じた。

**【参考文献】** 1)東北地方整備局：設計施工マニュアル(案)[道路橋編](2016.3), 2)プレストレストコンクリート工学会：PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)(2015.8), 3)プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部PC橋長寿命化委員会：東北地方の凍結抑制剤散布地域におけるポストテンション橋げた施工のポイント(2017.3), 4)プレストレストコンクリート工学会：PCグラウトの設計施工指針—改訂版—(2012.12), 5)土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)(2010.10), 6)東北地方整備局南三陸国道事務所, IHIインフラ建設：大沢第3橋外PC上部工工事グラウト実物大試験報告書(2015.8)