

PCグラウトの注入に関する一考察

(社) PC建設業協会 正会員 ○ 細野 宏巳
 日本道路公団 静岡建設局 正会員 青木 圭一
 日本道路公団 技術部 大城 壮司
 (社) PC建設業協会 正会員 高木 康宏

1. はじめに

プレストレストコンクリート(PC)橋のグラウトは、PC鋼材の防錆およびコンクリートとPC鋼材の一体性を確保するために重要な要素である。しかし、グラウトの充填性に関しては、我が国のみならず、世界的に課題となっているのが現状であり、系統立てた詳細な検討や実物大クラスでの注入確認試験により充填性を検証した事例はない。そこで、基礎的実験として、ケーブル定着部付近の充填度に着目した材料適性試験と、ステップバイステップ式注入方法を確立するための中間注入位置特定試験を実施し、その結果を踏まえて、延長100mの実物大グラウト注入実験を実施した。

本報告は、基礎的実験と実物大注入実験の結果を報告するとともに、グラウト充填度の向上に寄与する注入方法などの提案を行うものである。なお、今回の実験で対象にしているケーブル構造は、ドイツの規準¹⁾などから、ウェブ内には配置せず、床版内に直線配置されたケーブル構造である。

2. 基礎的実験

2.1 材料適性試験

試験体種別を表-1に、試験体形状を図-1に示す。試験体は、下り勾配で定着される定着部をモデル化した。注入は、一般的な電動グラウトポンプを使用し、PCグラウトの粘性、シース径および空隙率を変え、注入状況および充填度に及ぼす影響を確認した。

注入状況の代表例として、高粘性および超低粘性タイプを写真-1,2に示す。高・低粘性タイプは、先端に20~50cm程度の勾配区間を保持して充填された。超低粘性タイプは、空隙率の小さい(Φ75)ケースを除いて、定着体に到達するまで先流れし、到達したグラウトが逆流しながら充填された。

高粘性タイプの充填状況を写真-3に示す。高・低粘性タイプは、シースのリップ頂部に若干の空隙が確認されたものの、この高さはシースリップ高さ以内かつシース径の5%以内(TR47規格値)²⁾に収っていた。一方、超低粘性タイプは、一部にシース内径部にまで及ぶ空隙が確認された。

2.2 中間注入位置特定試験

試験体種別を表-2に、試験体形状(TYPE-2)を図-2に示す。ステップバイステップ

表-1 材料適性試験種別

ケーブル		ポリエレンシース		空隙面積	空隙率	PCゲートの種別
種別	断面積 (mm ²)	呼び径 Φ	断面積 (mm ²)	(mm ²)	(%)	種別
12S127	1,184.5	70	3,848.5	2,644.0	69.2	高低
12S15.2	1,664.4	80	5,026.5	3,362.1	66.9	超低粘性
12S15.2	1,664.4	75	4,417.9	2,753.5	62.3	超低粘性

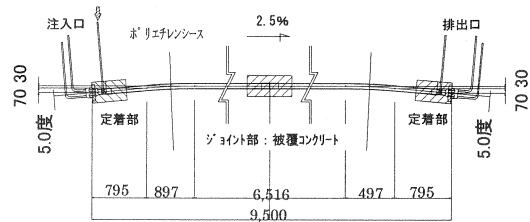


図-1 試験体形状

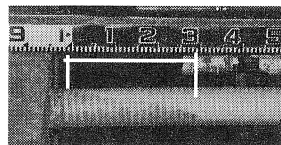


写真-1 高粘性グラウト注入状況

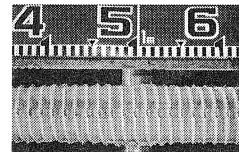


写真-3 高粘性空隙状況

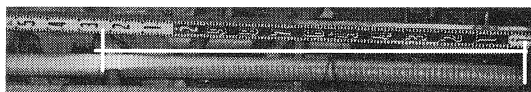


写真-2 超低粘性グラウト注入状況

式注入方法 (グラウト流出が確認された中間排気口を再注入口として段階的に注入していく方式。以下、SbyS方法) を採用する場合、中間排気口位置の設定と再注入時に連行される空気の排出が重要となる。本試験では、中間排気口の位置を 20m 間隔とし、さらに、その 2.0m 先に専用の排気口を設けた。その結果、再注入時の連行空気が 2.0m 先の専用排気口から排出されることを目視により確認した。

3. 100m実物大注入実験

試験体種別を表-3に示す。試験体の縦断勾配は、注入圧力が高くなり施工性が最も悪くなる5%上り勾配(高粘性タイプ)と最も先流れが生じやすい0%水平配置(超低粘性タイプ)の2種類とした。また、SbyS方法の採用を考慮して、20mピッチで中間排気口と専用排気口を設置した。その結果、両タイプとも、端部1箇所からの1回の注入で100mの注入ができた。また、硬化後の充填状況は、シースリップ高さ以内かつシース径の5%以内の空隙のみであった。

4. ステップバイステップ式注入方法の採用基準について

4.1 検討方法

ここでは、一般的に使用されるグラウト機器の使用を前提に、ステップバイステップ式注入方法の採用基準を検討する。検討にあたっては、本実験の結果のみならず、PC建協マニュアル³⁾に記載されている既存の実験結果を加味することとした。

4.2 グラウト機器の耐圧性能

PC建協マニュアルに掲載されているグラウト機器(ポンプ、流量計、ポンプホースおよび注入グラウトホース)の耐圧力性能より、ポンプホースと注入グラウトホースの許容使用圧力(2.0MPa、0.6MPa)の制約を受けることがわかった。

実物大注入実験における各注入・排気口位置の圧力計の配置位置を図-3に、圧力推移を図-4、5に示す。両タイプとも、各圧力計は注入時間(距離)に比例して増加しており、注入口から遠くなると作用圧力は小さくなっている。ただし、超低粘性タイプの作用圧力は、許容値よりも小さいことから、SbyS方法の採用検討の必要性がないことがわかった。

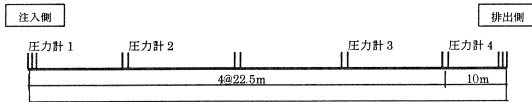


図-3 圧力計配置位置

表-2 中間注入口位置特定試験種別

種別	試験体長 (m)	PC鋼材	シース		空隙率 (%)	縦断勾配 (%)
			種類	呼び径 Φ		
TYPE-1	12.0	12S15.2	ポリエチレン	80	66.9	0.4
TYPE-2	40.0	12S15.2	塩化ビニル	78	65.2	0.0

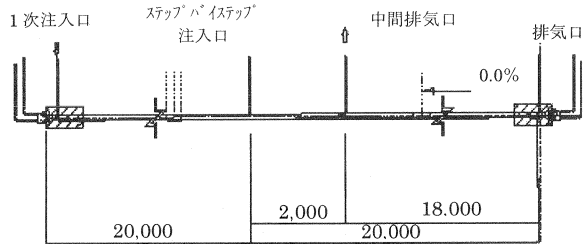


図-2 試験体形状 (TYPE-2)

表-3 実物大試験体種別

粘性	使用鋼材		ポリエチレンシース		空隙率 (%)	縦断勾配 (%)	流動性 ※1 (sec)
	種別	断面積 (mm ²)	呼び径 (mm)	断面積 (mm ²)			
高粘性	12S15.2	1664.4	80	5026.5	66.9	5.0	18.5
超低粘性	12S15.2	1664.4	80	5026.5	66.9	0.0	3.5

※1: JPROトを使用した流動性試験結果。規格値: 高粘性 14~23sec, 超低粘性 4sec以下

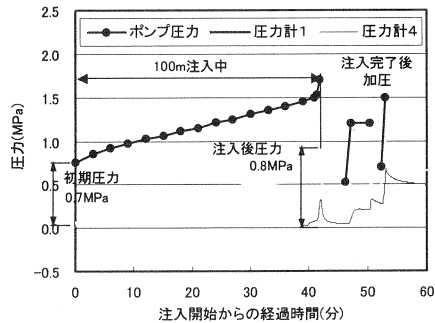


図-4 ポンプおよび排気口の圧力推移 (高粘性)

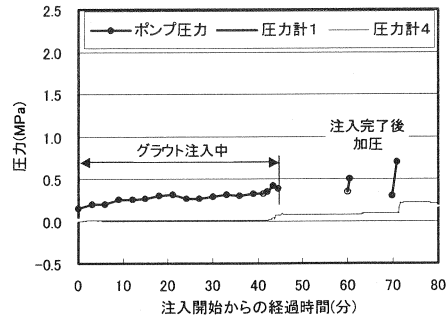


図-5 ポンプおよび排気口の圧力推移 (超低粘性)

4.3 流量と圧力の関係

実物大注入実験結果に、PC建協東北支部施工積算部会(平成7年3月)で実施したグラウト試験結果を加えた、ポンプホースおよびダクトに関する流量と圧力の関係を表-4に示す。両実験では、ダクト種類(Φ80とΦ65)や縦断勾配などの条件の違いがあるにも関わらず、流量と単位長さ(1.0m)あたりの作用圧力の関係は非常によく整合している。よって、今後の採用検討には、PC建協マニュアルに記載されている実験結果を参考にしてもよいと考えられる。

表-4 グラウトホースおよびダクトに関する流量と圧力の関係

ポンプホース径(mm)	流量(l/min)	m当り圧力(Mpa)	流下時間(sec)	使用混和材	備考
Φ25.4	15	0.026~0.029	12.0~18.1	コンベックス208T	平成7年3月 PC建協東北支部
	10	0.021~0.023			
	5	0.013~0.015			
	10	0.023	0.7Mpa/30m	GF-1720	100m実物大実験

ダクト種類(mm)	流量(l/min)	m当り圧力(Mpa)	流下時間(sec)	使用混和材	備考
Φ65 12S12.7	15	0.014~0.016	12.0~18.1	コンベックス208T	平成7年3月 PC建協東北支部
		0.015		GF-1720	
	10	0.010~0.011		コンベックス208T	
		0.008		GF-1720	
Φ80	10	0.008	0.8Mpa/100m	GF-1720	100m実物大実験
		0.007	自重による圧力控除		

4.4 採用基準の設定

4.3までの結果を基にして、高粘性タイプでのSbyS方法の採用基準を以下のように設定する。

100m注入後(42分後)に注入位置の圧力計(圧力計1)で最大圧力:0.8Mpaが確認されているため、注入グラウトホースの許容使用圧力内(0.6Mpa)として注入可能距離を換算すると、

$$100.0m / 0.008 MPa/m \times 0.6 MPa = 75.0 m$$

となる(図-4参照)。同様に、最も単位長さ当りの作用圧力が大きくなるコンベックス208TまたはGF-1720(高粘性タイプ、流量:15L/min)で注入可能距離を換算すると、40.0m(0.6Mpa/0.015Mpa/m)となる。つまり、材料および流量の設定によって注入可能距離が変化するが、上述した材料および流量の設定範囲では、注入延長40m程度を目安としてSbyS方法の採用を検討すればよいことがわかった。

5. 品質管理結果について

実物大注入実験で実施した練混ぜ直後(バッチNo.1)と100m排気側で採取したグラウト(排出口)の品質管理試験結果を表-5に示す。高粘性タイプは、排出口でブリーディング(20時間後)が超微量(計測不能で、光を当てると光沢があると判る程度)観察されているが、流下時間(Jpロート)および粘度(回転粘度計)はほとんど変化しておらず、品質の変化は認められなかった。さらに、12月の実験であったため、注入により排気口のグラウト温度が下がっていたが、品質変化は認められない特徴的な事象が確認できた。

超低粘性タイプは、許容値内ではあるが、排気口でブリーディング(3時間後)が2.0mm(2.0%)計測されている。同様に、流下時間および粘度についても、ブリーディングにより変化している傾向があり、若干の品質変化があったものと考えられる。この原因については、今後解明すべき事項であると考えている。

表-5 品質管理試験結果

粘性	バッチNo.	水セメント比(%)	気温(°C)	水温(°C)	材料温度(°C)	グラウト温度(°C)	流下時間(sec)	粘度(Pa·s)	ブリーディング率		沈下量	
									3HR後	20HR後	3HR後(mm)	20HR後(mm)
高粘性	1	41.0	13.0	14.0	7.0	17.5	22.8	8.2	なし	なし	0.0	2.0(0.24%)
	4	42.0	12.0	15.5	9.0	19.0	17.2	7.0				
	9	42.0	9.0	13.5	10.0	18.0	15.4	6.6				
	排出口		9.0			9.5	23.1	8.6	なし	超微量	0.0	2.0(0.24%)
超低粘性	1	34.0	6.5	13.5	5.0	15.0	3.5	2.5	微量	なし	4.0(0.47%)	4.0(0.47%)
	3	34.0	10.0	14.0	8.0	16.0	3.5	2.1				
	排出口		17.0			6.0	4.1	1.8	2.0(0.24%)	なし	1.0(0.12%)	1.0(0.12%)

※鉛直管試験による許容値 ブリーディング率:0.3%, 沈下量:0.5%(fib規格値)

6. 排気口取付け位置と再加圧について

注入は低いところから高いところに向けて行われるため、一般的には、排気・排出口は低い位置から順次閉塞すればよいことになる。ただし、端部定着部付近においては、手前の排気口を閉じた時に、急激にポンプ圧力が上昇することによる不具合を除くために、最終排出口は、グラウトキャップ部を避け、定着具背面に設定した。また、超低粘性タイプは、到達したグラウトが逆流して充填されることが基礎実験において確

認められているため、定着部付近最頂部に排気口を追加し、その排気口を最終排気口とした。

実物大注入実験においては、上記の排気・排出口を設置し、さらに、注入完了後、すべての排気・排出口を閉塞し、適切な圧力で再加圧を実施した。これは、注入時の圧力を保証することを目的としており、再加圧力は、高粘性タイプは最終注入圧力に、超低粘性性は注入圧力が小さいため、最終注入圧力より 0.3~0.5 MPa 程度大きな圧力に設定した (図-4, 5 参照)。

グラウト硬化後の粘性に着目した空隙高さ測定結果を図-6 に、定着部付近切断面状況を写真-4 に、ホース内グラウト沈下概念および切断面状況を図-7 に示す。すべての空隙高さは、シースリップ高さ以内かつシース径の 5% 以内に収っていた。また、定着部付近の充填度とグラウトホース内の沈下量を確認した結果、定着具付近やグラウトキャップ内部にまで完全にグラウトが充填されており、ホース内も非常に小さな沈下量 (5.0mm/1.0m) であった。

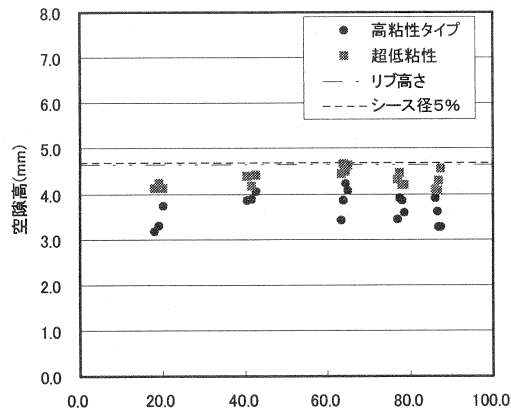


図-6 粘性に着目した空隙高さ測定結果

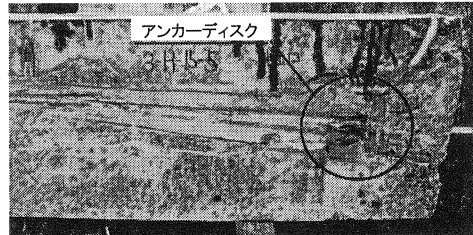


写真-4 定着部付近切断状況

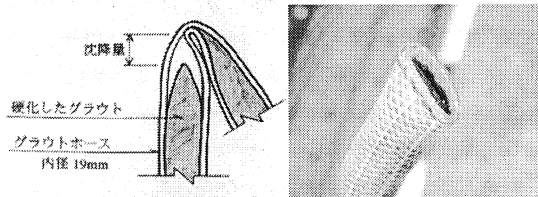


図-7 ホース内グラウト沈下概念および切断面状況

7. まとめ

今回実施した一連のグラウト注入実験において、得られた知見を下記に列挙する。

- ① 今回の実験で定めた注入方法を実施すれば、すべての粘性のグラウト材料は、シース径に関わらず、グラウトが充填できる。
- ② 注入完了後、圧力保証のための再加圧を実施すると、定着部およびグラウトホースにまでグラウトが充填できる。
- ③ ステップバイステップ式グラウト注入方法を採用する場合、中間注入口の 2.0m 先に専用の排気を設ければ、残存するエアを排出することができる。
- ④ 超低粘性タイプは、通常配置される排気口に加え、シース形状が凸部となる箇所にも排気口を設置すればグラウトが充填できる。
- ⑤ 1 箇所からの 1 回の注入で、100m の試験体にグラウト注入、充填ができた。
- ⑥ 練混ぜ直後と 100m 排出後のグラウトの品質については、高粘性タイプでは、変化しないことが確認できた。超低粘性タイプでは、若干の変化が見られたが、許容値内であった。また、温度が下がっても、品質変化が認められない特徴的な事象が確認できた。

参考文献

- 1) 青木ら：ドイツの外ケーブルを使用したコンクリート橋に関する指針，プレストレストコンクリート，Vol.42, No.5, pp81-88, 2000, 9
- 2) The Concrete Society(UK): Concrete Society Technical Report 47, Second Edition, durable post-tensioned concrete bridge 1996 2002
- 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル (改訂版) 2002, 2002