

図 - 2 ケーブル形状図

同試験では、従来の注入工法 (CASE - 1) と真空ポンプ併用工法 (CASE - 2) を行い、両者を比較した。

**3.1 試験目的**

本橋の PC グラウト施工前に、以下のことを確認する。

- (1) 真空ポンプ併用工法の作業手順
- (2) 真空ポンプ併用工法の PC グラウト充填性能

**3.2 試験条件**

(1) 試験条件

試験条件を表 - 1 に示す。

(2) ケーブル形状

ケーブル形状を図 - 2 に示す。

**3.3 試験結果**

ケーブル形状の起伏部下り勾配の起点、終点のシーす片を採取し、採取片のシーすを半分に分り、PC グラウト表面を目視し、PC グラウト充填状況を確認する。

(1) 採取位置

硬化した PC グラウト片の採取位置を図 - 3 に示す。

(2) PC グラウト表面の充填状況

PC グラウト片の写真、空隙のスケッチおよび充填状況の評価を表 - 2 に示す。

表 - 1 試験条件

試験 CASE	シーす内気圧	共通事項
CASE - 1 (従来工法)	0.1 MPa	混和剤：ボゾリス GF 1720 (高粘性タイプ) 使用ケーブル：12 S 12.7 B ケーブル長：105 m 定着具取付け (FUT 12 T 13 B) 高密度ポリエチレンシーす $\phi\ 65$
CASE - 2 (真空ポンプ併用工法)	0.01 MPa	

0.1 MPa (N/m<sup>2</sup>) = 1.0 kgf/cm<sup>2</sup>

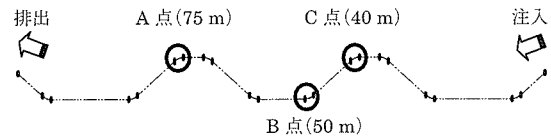


図 - 3 PC グラウト片採取位置

表 - 2 PC グラウト充填評価表

	CASE - 1 (従来工法)	CASE - 2 (真空ポンプ併用工法)
グラウト採取片		
A 点		
B 点		
C 点		
評価	A, B, C ともリブに幅 2 mm ~ 7 mm の空隙が見られた。また、A では、リブ以外の部位に幅 15 mm 程度の空隙が数箇所見られた。従来工法の場合、品質の低下となる空隙は見られないが、ほぼ採取片全長にわたって小さな空隙は見られる。	A, B ではリブに幅 1 mm 程度の空隙が数箇所見られた。C は空隙等は見られなかった。真空ポンプ併用工法の場合、採取片の一部にわずかな空隙は見られるが、従来工法に比べ明らかに空隙は少なく、充填性能は優れている。

## 4. PC グラウト注入計画

### 4.1 真空ポンプ併用工法

真空ポンプ工法は、シース内を減圧して真空状態（真空に近い状態）にし、その後、注入側から注入ポンプによりPCグラウトを加圧注入する。また、注入前の真空状態は、注入中も維持し、シース内の空気がきわめて稀薄な状態でPCグラウトを注入する。

### 4.2 PC グラウト作業手順

真空ポンプ併用工法を採用した場合のPCグラウト作業手順を図-4に示す。

### 4.3 PC グラウト注入経路

PCグラウト注入経路図を図-5に、各設備の規格、数量を表-3に、写真-2に真空ポンプユニット、写真-3に各計測機器を示す。

### 4.4 PC 鋼材形状

PC鋼材形状図を図-6に、PC鋼材長（シース長）を表-4に示す。

表-3 設備数量

品名	規格	単位	数量	備考
真空ポンプユニット		台	1	表-3-1参照
グラウトミキサ	MG-100 200V	ヶ	1	
グラウトポンプ	R35MS	ヶ	1	
グラウト流量計	PFP-100 (チャート式)	台	1	
隔膜式圧力計	MINI75 φ	個	3	
小型圧力変換器	PGM-50	ヶ	3	

表-3-1 真空ポンプユニット諸元

項目	単位	仕様
外形寸法 (高さ, 幅, 長さ)	mm	1 722, 800, 2 300
質量	kg	610
搭載ポンプ	TYPE	BUSCH社製ロータリーベーン式オイル循環型 0063 E

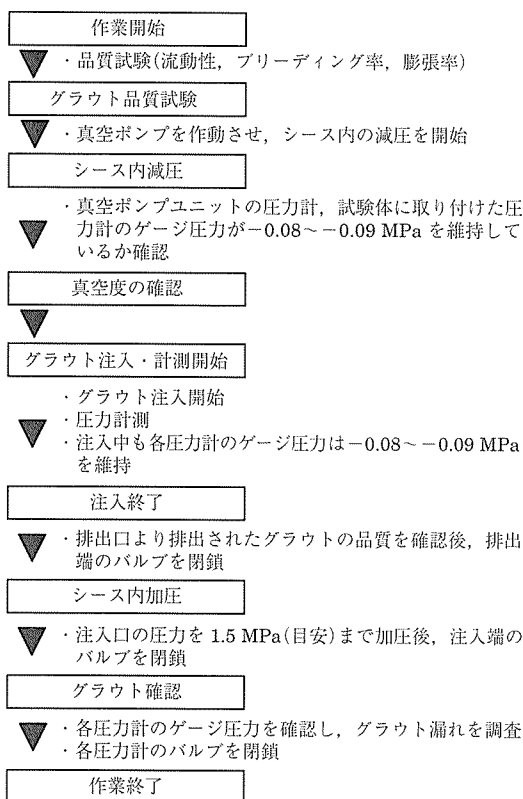


図-4 PC グラウト作業手順

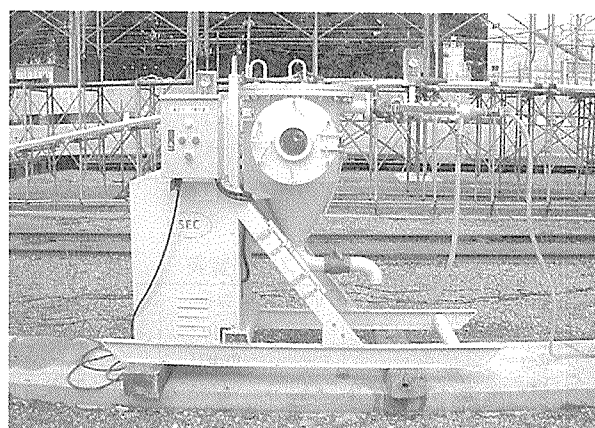


写真-2 真空ポンプユニット

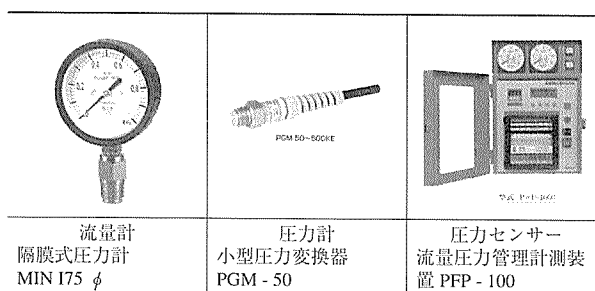


写真-3 計測機器

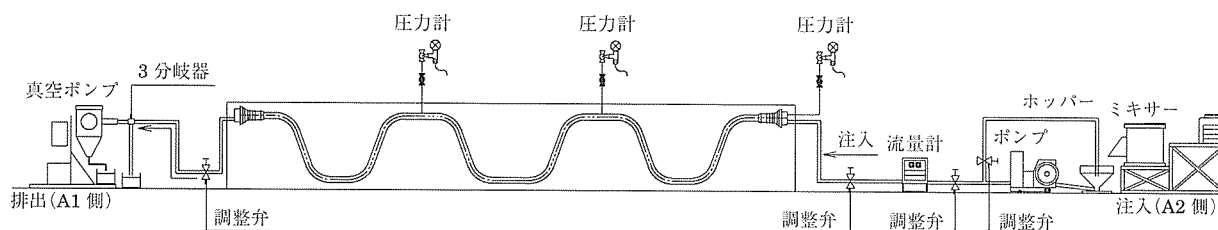


図-5 グラウト注入経路

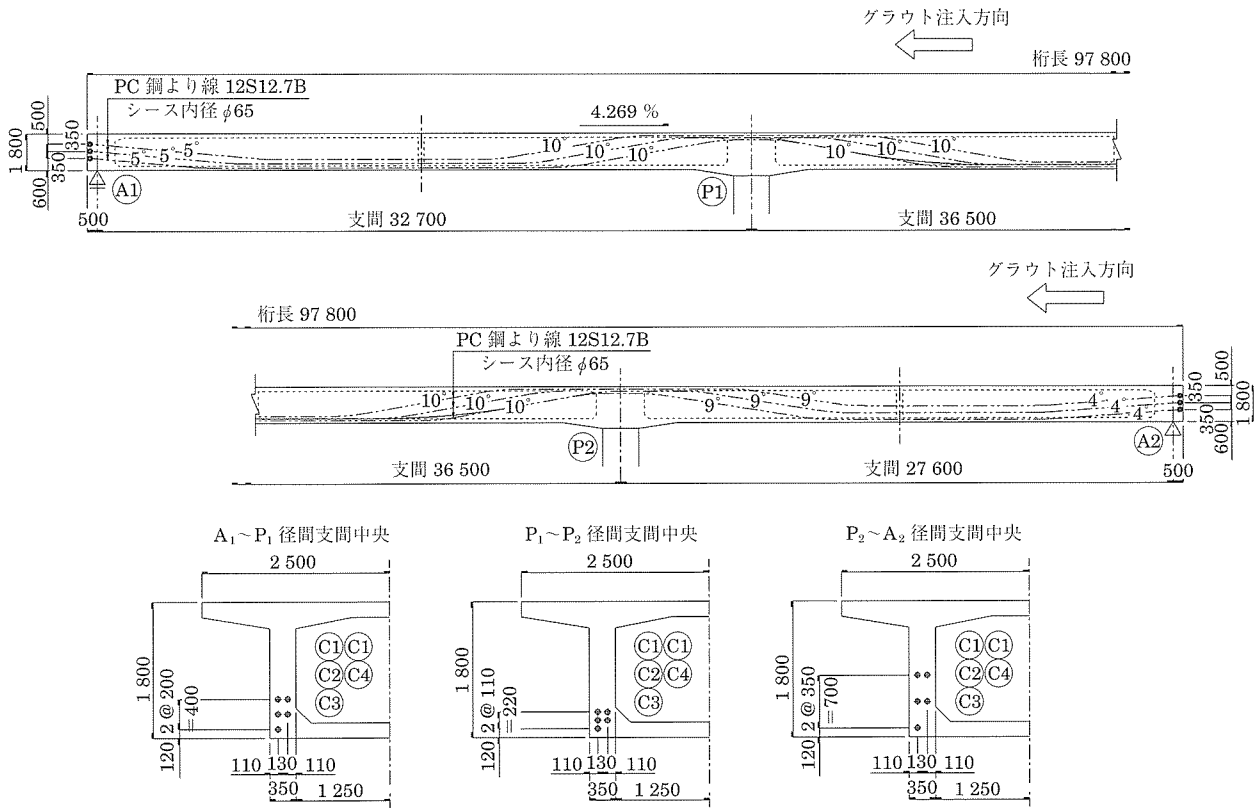


図 - 6 PC 鋼材配置図

表 - 4 シース長一覧表

ケーブル番号	種 別	単 位	数 量	備 考
C 1	12 S 12.7 B	m	98.012	シース内径 φ 65
C 2	〃	〃	98.033	〃
C 3	〃	〃	98.053	〃
C 4	〃	〃	98.033	〃

表 - 5 PC グラウト標準配合表

水セメント比 (%)	GF 1720 (kg)	水 (kg)	セメント (kg)
42.5	1.0	42.5	100

表 - 6 計測機器仕様一覧表

品 名	規 格	仕 様
圧 力 計	隔膜式圧力計	定格容量 1 MPa
	MINI 75 φ	精度 ± 1.6 % FS
圧力センサー	小型圧力変換器 PGM - 50	定格容量 5 MPa
		総合精度 ± 1.0 % RO
		定格出力 1mV/V
流 量 計	流量圧力管理測定装置 PFP - 1000	定格流量 30 ℓ /min
		圧力 3 MPa
		精度 ± 0.8 % FS
		積算流量 0 ~ 9999.9

#### 4.5 PC グラウト配合

セメントは、普通ポルトランドセメント、混和剤はポゾリス GF1720（ノンブリーディング高粘性非膨張タイプ）を使用する。水セメント比は 42.5 % とし、PC グラウト標準配合を表 - 5 に示す。

#### 4.6 使用計測機器

計測は、圧力計、圧力センサーにより、シース内の PC グラウト注入圧力を、また、流量計により各ケーブルの PC グラウト注入量を計測する。各計測機器の仕様を表 - 6 に示す。

#### 4.7 注入計画

「PC グラウト & プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル」に従って、注入流量、最大注入圧力の計画値は、次のとおりとする。

計画値の決定に関する諸条件

PC 鋼材 12 S 12.7 B シース径 φ 65

注入長 = シース延長 + 2 m ≒ 100 m

実績値より、

注入流量  $Q = 15 \text{ ℓ /min}$

注入流量を 15 ℓ /min とした場合、シース径 φ 65 の単位長さあたりの摩擦は 0.015 MPa/m（実績値）として、桁端部の注入口での最大注入圧力は、

最大注入圧力  $P = 0.015 \times 100 = 1.5 \text{ MPa}$

注入流量  $Q = 15 \text{ ℓ /min}$ 、最大注入圧力  $P_{\text{max}} = 1.5 \text{ MPa}$  を管理上の目安値とする。

### 5. PC グラウト品質試験

使用材料及び配合を表 - 7 に、午前と午後の 2 回の流動性試験結果を表 - 8 に、品質管理試験状況を写真 - 4 に示す。

PC グラウト温度を 35 °C 以下に抑えるため、ポリタンクの水道水は、氷を使用して水温 15 °C 程度を維持した。

表 - 7 使用材料及び配合

	セメント (C) (kg)	水 (W) (kg)	混和剤 (kg)	W/C (%)
規格または名称	普通ポルトランドセメント	水道水	GF 1720	—
1 m <sup>3</sup> あたり	1304	554.2	13.04	42.5
1 パッチあたり	75	31.88	0.75	42.5

表 - 8 流動性試験

No	温度 (°C)				流下時間 (秒)	
	気温	セメント	水	グラウト	個別	平均
1	18	23	16	24	19.2	19.0
2					18.7	
3					19.0	
4	24	24	15	25	18.2	18.3
5					18.7	
6					17.9	

※練り時間はすべて 180 秒とした  
 ※ No.1 ~ 3 は午前, 4 ~ 6 は午後の計測値  
 ※漏斗は JP 漏斗を使用



写真 - 4 品質管理試験

## 6. PC グラウト注入圧力管理

PC グラウト注入圧力の管理として、圧力計および圧力センサーを設置し、シース内の注入圧力を計測管理する。圧力計①～③の計測管理状況を写真 - 5 ～ 7 に示す。

### 6.1 経過時間と注入圧力

各ケーブルの経過時間とシース内の PC グラウト注入圧力の関係を図 - 7, 8 に示す。これらの図より次のことがわかる。

- 1) 各ケーブルの注入圧力は、経過時間とともに緩やかに上昇し、急激な変化は無く、注入作業はスムーズに進んでいることを示している。
- 2) C - 1LL は、注入開始時に注入流量の調整に時間 (約 7 分) を要したため、注入圧力の上昇は他のケーブルにより遅れている。
- 3) C - 1LL を除いては、開始から 9 分前後とそれ以降では、圧力勾配が異なる。これは、注入流量を 15 ℓ/min に上げるまで要した時間が 9 分前後であった。それ以降は一定流量であった。前者の圧力勾配は急で、

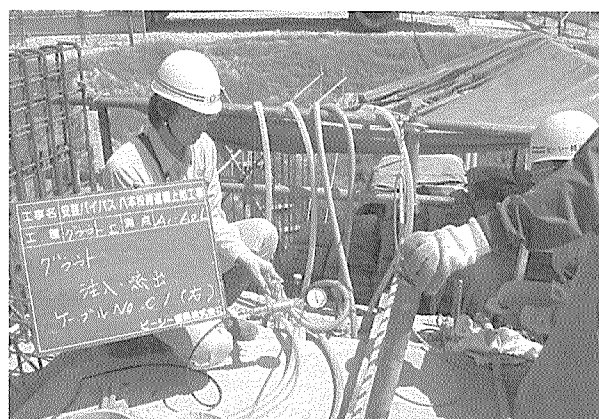


写真 - 5 計測管理状況 (圧力計①, A2)

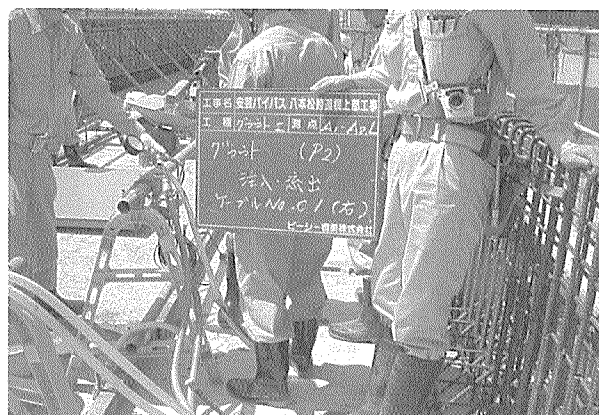


写真 - 6 計測管理状況 (圧力計②, P2)

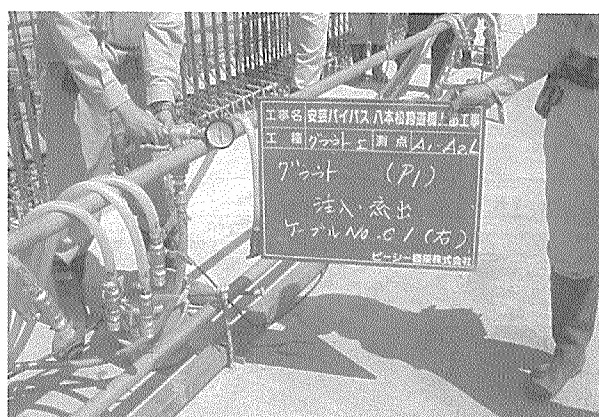


写真 - 7 計測管理状況 (圧力計③, P1)

後者は緩やかになったと思われる。

### 6.2 最大注入圧力, 圧力勾配, 平均先端注入速度および注入所要時間

各ケーブルの注入圧力の計測結果より、最大注入圧力, 圧力勾配, 先端注入速度および注入所要時間の一覧を表 - 9 に示す。この表より次のことがわかる。

- 1) 最大注入圧力は、各ケーブルとも管理値 1.5 MPa 以下であった。
- 2) 圧力勾配 (単位長さ当りの圧力) は、マニュアル掲載の実績値とほぼ同様な値となっている。

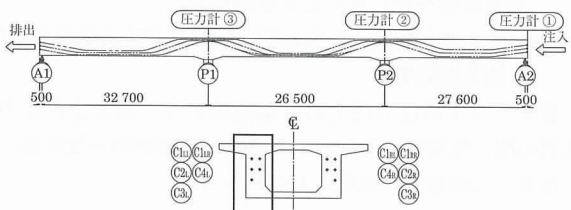
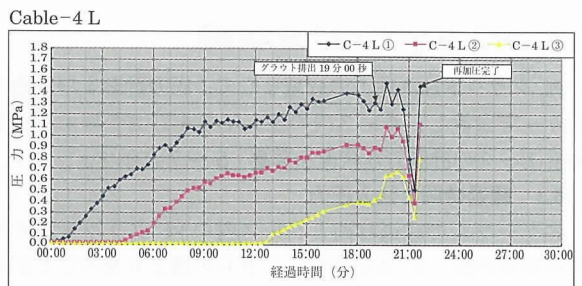
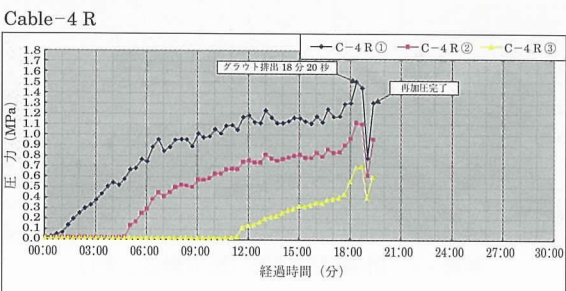
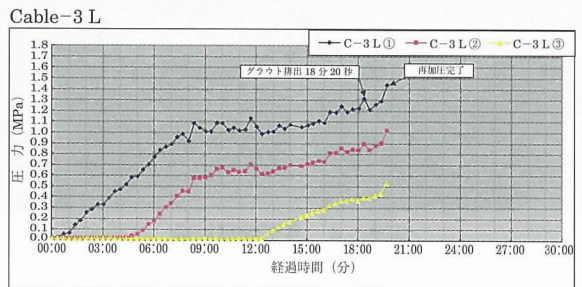
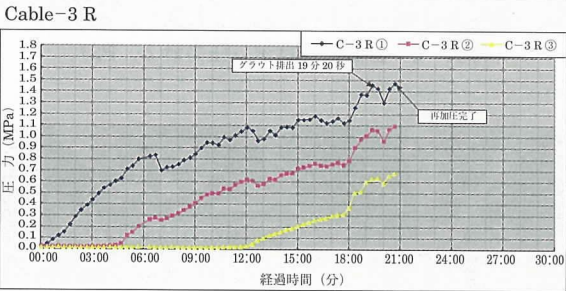
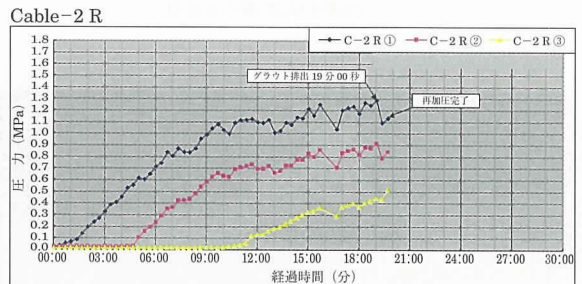
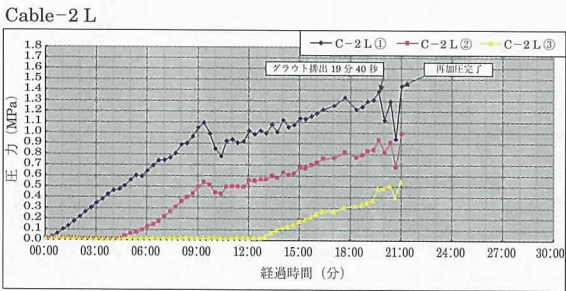
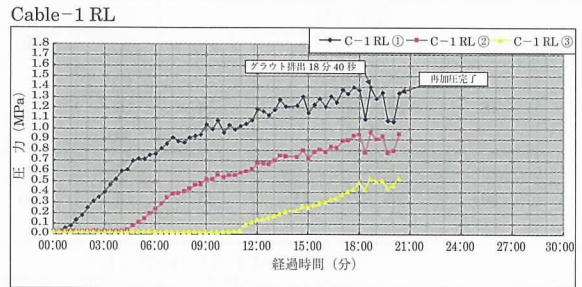
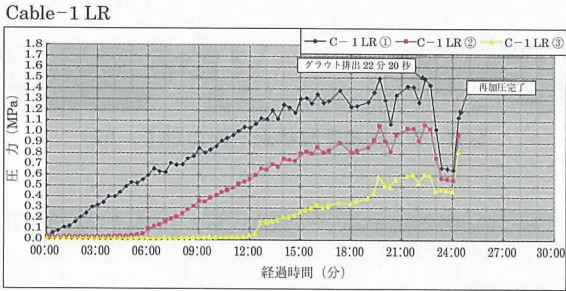
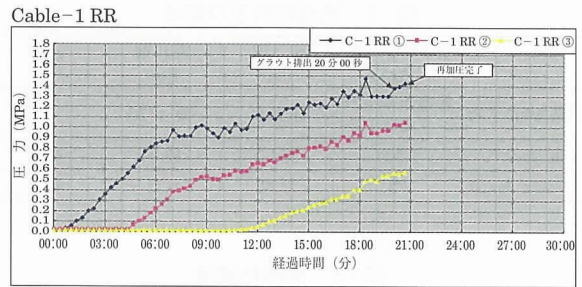
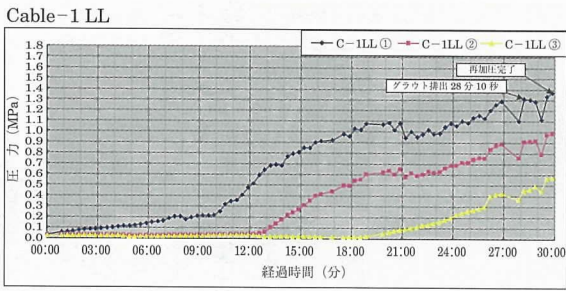


図-7 経過時間と注入圧力 (左側ウェブ)

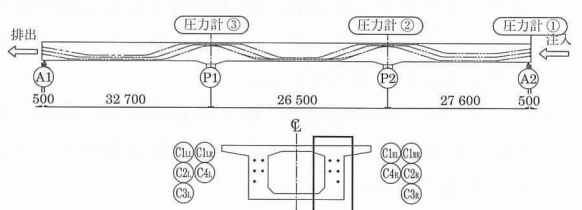


図-8 経過時間と注入圧力 (右側ウェブ)

3) 先端注入速度の平均値は、約 5 m/min となり、C - 1 LL を除いて、各ケーブルのばらつきは小さい。

6.3 排出口到達時の圧力分布

各ケーブルの排出口到達時点（最大注入圧力）での圧力計①～③の設置位置と示度の読みを図 - 9 に示す。この図より次のことがわかる。

1) 圧力計①～③の示度の読みは、ほぼ直線分布となっている。これは、シース内の単位長さあたりの圧力（圧力損失）は、ほぼ一定値であることを示している。同時に、ケーブル全長にわたってシース内の空隙率等が一定で、閉塞、漏れ等がないことを示している。

7. 適用性の評価

真空ポンプ併用工法の現場への適用性を評価する。

7.1 作業性の改善

(1) 注入圧力の低下

注入流量が同一の場合、注入圧力は真空ポンプ併用工法が従来工法よりほぼ減圧分（約 0.1 MPa）だけ低くなるのが既往の試験で確認されている。一般に、注入流量を多くすると注入圧力は高くなる。それゆえ、注入圧力を同一

とした場合、真空ポンプ併用工法は従来工法より注入流量を多くすることができる。作業時間は注入流量を多くすることで短縮できる。したがって、真空ポンプ併用工法の作業時間は従来工法より、圧力差分の注入量に相当する時間短くなる。

今回のケースで試算すると次のようになる。

圧力差 0.1 MPa に相当するシース長は、表 - 9 の圧力勾配の平均値 0.014 MPa/m を使って次のように計算できる。

$$\text{シース長} = 0.1 / 0.014 = 7.14 \text{ m}$$

先端注入速度の平均値 4.93 m/min より、注入所要時間は、次のようになる。

$$\text{注入所要時間} = 7.14 / 4.93 = 1.5 \text{ min}$$

真空ポンプ併用工法は、従来工法に比べて、作業時間を 1 本あたり 1 分 30 秒短縮していることになる。

(2) シースの密閉度確認

注入前にシース内を減圧し、シース内の真空度を確認する。この作業により、注入前に、シース内の密閉性、途中で閉塞していないかを確実に確認することができ、注入時の PC グラウトの漏れや閉塞のトラブルを回避することができる。

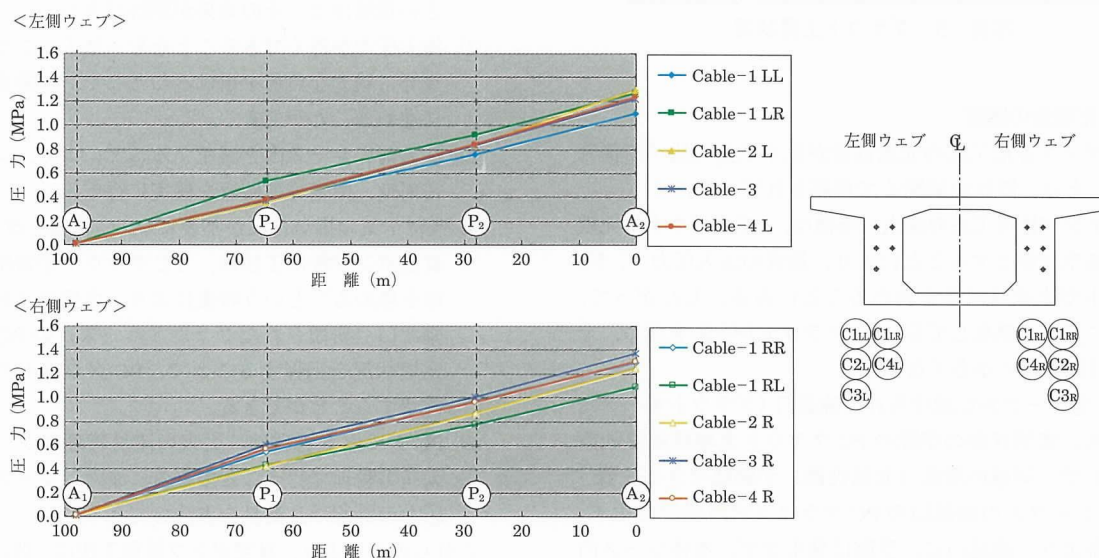


図 - 9 圧力分布図（排出口到達時）

表 - 9 各ケーブルの最大注入圧力、圧力勾配、平均先端注入速度および注入所要時間

ケーブル番号	注入順番	最大注入圧力 (MPa)	圧力勾配 (MPa/m)	先端注入速度 平均値 (m/分)	注入所要時間	
左ウェブ	C - 1 LL	1	1.31	0.013	3.55	28 分 10 秒
	C - 1 LR	2	1.49	0.015	4.48	22 分 20 秒
	C - 2 LR	3	1.38	0.014	5.08	19 分 40 秒
	C - 3 LR	4	1.31	0.013	5.46	18 分 20 秒
	C - 4 LR	5	1.39	0.013	5.26	19 分 00 秒
右ウェブ	C - 1 RR	6	1.47	0.015	5.00	20 分 10 秒
	C - 1 RL	7	1.39	0.014	5.36	18 分 40 秒
	C - 2 RR	8	1.28	0.013	5.26	19 分 00 秒
	C - 3 RR	9	1.45	0.015	5.17	19 分 20 秒
	C - 4 RR	10	1.50	0.015	5.46	18 分 20 秒
平均値	-	1.40	0.014	4.93	20 分 17 秒	

(3) 排気作業を不要とすることによる作業性の改善

真空ポンプ併用式工法では、PC グラウトの進行状況を把握するため、シース頂部に確認口としてPC グラウトホースを設けている。確認口は、密閉状態で、真空状態となっている。PC グラウトがその箇所を通過した後、PC グラウト圧力の上昇にともない、排気しなくても、PC グラウト圧力のみで、PC グラウトはホース内部を上昇する(写真-8)。それゆえ、真空ポンプ併用式工法では排気作業は行わない。したがって、排気作業を不要とすることで、排気とともに排出されるPC グラウトを橋面上で処理することもなく、作業を改善できる。



写真-8 グラウト上昇状況

7.2 充填性の確認

真空ポンプ併用式工法の充填性能が従来工法に比べて優れていることは、既往の試験<sup>2)</sup>で確認されている。

真空ポンプ併用式工法の最大の特徴は、PC グラウト未充填部分を真空状態とすることにより、通常の注入圧力で、PC グラウトが未充填部分を埋めることにある。したがって、注入中に空隙が発生しても、PC グラウトが空隙を埋め、その空隙は限りなく小さくなる。

今回、各ケーブルに設けられた確認口(グラウトホース)、すなわち、密閉状態の空隙のPC グラウト充填状況を観察することで、同様の現象(充填性能)が確認できる。表-10に各ケーブルの確認口のPC グラウト充填状況を示す。この結果より、確認口に、空隙は発生せず、本体シース内のPC グラウトは確実に充填されたと判断できる。

7.3 適用する管理手法

真空ポンプ併用式工法の管理として、圧力計および圧力センサーを設置し、シース内の注入圧力を計測管理した。前項

6.1～6.3より、同管理手法を適用することで十分な管理を行うことができると考えられる。

また、図-9に示すように、注入中の圧力計①～③の示度の読みは、ほぼ設置間距離に比例している。計測箇所数については、今回3点の注入圧力を計測したが、2点以上の注入圧力を計測することで、シース内の注入圧力を十分把握することができ、圧力管理は可能である。

8. まとめ

真空ポンプ併用式工法の現場への適用性を考察した結果をまとめると次のようになる。

表-10 PC グラウト充填一覧表

確認口位置	ケーブル番号	ホース高(m)	グラウト高(m)	空隙率(%)	
左ウエブ	P1	C-1LL	1200	1200	0
		C-1LR	1200	1200	0
		C-2L	1300	1300	0
		C-3L	1300	1300	0
		C-4L	1250	1250	0
	P2	C-1LL	1200	1200	0
		C-1LR	1200	1200	0
		C-2L	1300	1300	0
		C-3L	1200	1200	0
		C-4L	1200	1200	0
右ウエブ	P1	C-1RL	1200	1200	0
		C-1RR	1200	1200	0
		C-2R	1300	1300	0
		C-3R	1400	1400	0
		C-4R	1350	1350	0
	P2	C-1RL	1250	1250	0
		C-1RR	1250	1250	0
		C-2R	1250	1250	0
		C-3R	1200	1200	0
		C-4R	1250	1250	0

- 1) 注入作業時間の短縮は図ることができるが、規模の大きい現場ほど、その効果が期待できる。
  - 2) 注入圧力を低くできることから、注入ポンプ、ホース類等に過大な負荷を掛けることなく、作業をスムーズに進めることができる。
  - 3) 注入前にシース内を減圧することにより、シース内の密閉性、閉塞等の確認を確実にできる。
  - 4) 残留空気等の排気作業が不要になり、作業を改善できる。
  - 5) 真空ポンプ併用式工法は、“PC グラウトが密閉された空隙を埋める”という特徴により、中間部に設けられた確認口(密閉されたグラウトホース)のPC グラウト充填状況を把握することで、PC グラウトの充填性を確認することができる。
  - 6) PC グラウト管理は、従来の流量管理とシース内の注入圧力管理で行うことができる。また、シース内の注入圧力の計測は、簡易な方法でできる。
- これらのことより、真空ポンプ併用式工法は、既往の試験<sup>2)</sup>でPC グラウトの充填性能の優位性は確認されており、現場への適用性も高いことが確認された。

9. おわりに

本紙では、PC グラウトの確実な充填を目的とした新工法について報告した。本報告が、PC グラウト技術向上の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会, 2003
- 2) SEEE 協会グラウト特別分科会: 真空ポンプを併用したPC グラウト注入工法について, プレストレストコンクリート, Vol. 45, No. 1, pp.97-104, 2003.1

【2003年11月6日受付】