

# 真空ポンプを併用した PC グラウト注入工法について (その2)

SEEE 協会グラウト特別分科会\*

## 1. はじめに

SEEE 協会では、グラウトの充填性を高めるために真空ポンプを併用したグラウト注入工法に関する研究を行ってきており、これまで2回の試験(2001年7月, 2002年5月)を実施し、その結果を本誌(Vol.45, No.1 Jan. 2003)等に発表してきた。

今回、新たに実橋を想定した長さの注入試験を行い、真空ポンプを併用したグラウト注入工法の有効性を確認することができたので、ここに報告する。

## 2. これまでの試験

参考までに前回までの2回の試験の概要を以下に記す。

(以降、大気圧状態を 1.0 bar = 0.1 MPa, 減圧した状態を 0.1 bar = 0.01 MPa とする。)

### 2.1 I 期試験 (2001 年 7 月)

#### 1) 試験目的

- ・真空ポンプの使用法の確認
- ・通常のグラウト方法と真空ポンプ併用式の比較
- ・真空状態でのグラウト注入状況の確認

#### 2) 試験概要

表 - 1 I 期試験 試験条件

ケ 試 ス 験	試験条件			
	ケーブル種類と シース内径	シース内気圧	排気作業 <sup>注)</sup>	その他の共通条件
No. 1	12 S15.2 φ 80 mm	0.1 bar	なし	定着間距離 : 20 m 最大高低差 : 2.0 m 勾配 : 25 度 定着体 : SEEE/FUT シース : 透明シース 混和剤 : GF - 1720
No. 3		大気圧		
No. 5		0.1 bar	有り	
No. 2	19 S15.2 φ 105 mm	0.1 bar	なし	
No. 4		大気圧		
No. 6		0.1 bar	有り	

注) 排気作業とは、注入終了後凸部排気口を開けて加圧により空気を排出し、その後排気口を閉じて再度加圧する作業である。

#### 3) 結果

- ・ケーブルの角度が25度と大きかったため、いずれの試験ケースにおいても先流れ現象が発生し注入作業中に大きな空隙ができた。しかし真空ポンプを併用した場合は、グラウト先端が水平部に達しグラウトによりシースが閉塞した瞬間に空隙は急速に縮小した。
- ・硬化後シースを剥いでグラウトの表面を観察したところ、真空ポンプを併用しない場合は小さな気泡が多数見られたのに対し、併用した場合はほとんど確認できなかった。
- ・注入圧力を一定にして注入したところ、真空ポンプを併用した場合は併用しない場合に比べ、12 S 15.2 のケ

ースで9分40秒から5分50秒へ、19 S 15.2 のケースで20分20秒から14分20秒へ、それぞれ注入時間を短縮することができた。

### 2.2 II 期試験 (2002 年 5 月)

#### 1) 試験目的

- ・I 期試験の結果より 25 度の勾配では先流れが避けられないため緩やかな角度 (10 度, 15 度) でのグラウトの性状の確認を行う
- ・グラウト表面における空隙面積率の測定
- ・グラウト充填体積率の測定
- ・PC 鋼より線の素線間のグラウト重量の測定

#### 2) 試験概要

表 - 2 試験条件

ケ 試 ス 験	試験条件			
	シース内 気圧	勾配 (度)	延長 (m)	その他の共通条件
No. 1	大気圧	15	9.4	最大高低差 : 1.0 m 注入速度 : 10 ℓ/分 鋼材種別 : 12 S15.2 定着体 : なし シース : スプリングホース φ 75 混和剤 : GF - 1720
No. 2	0.1 bar			
No. 3	0.1 bar	10	11.3	

#### 3) 結果

- ・真空ポンプを併用しない場合は、空気抜き作業を行わなかったため大きな空隙を生じた部分もあったが、それ以外の一般部の表面空隙率は、0.7~0.2%以下であった。これに対し、併用した場合は、0.05%以下の表面空隙率であった。
- ・真空ポンプを併用しない場合の充填体積率は、97%程度であった。併用した場合は、97.8~99.0%となった。
- ・真空ポンプを併用した場合は、PC 鋼より線の素線間のグラウト重量の増加が確認された。
- ・グラウト供試体の圧縮強度の差違は見いだせなかった。

## 3. III 期 試験

### 3.1 試験目的

これまでの2回の試験を通して、真空ポンプを併用した場合は、併用しない場合に比べ充填性が向上することが確認できた。しかし、試験では注入長が短いため注入側の注入圧力が高くなる前に充填が完了し、真空ポンプを併用した場合のケーブル長さおよび注入圧への影響が評価できなかった。そこで3回目の試験(III期試験)として、実用化に向けて実橋に相当する150mの長さの注入試験を行った。

### 3.2 シースの接続部の耐圧試験

試験は、150 m のケーブルを外ケーブル状態で行うこととした。ケーブル長が 150 m のため注入圧力がかなり上昇することが予想された。内ケーブルの場合は、シースおよび注入排出ホース接続部がコンクリートで包まれているため耐圧能力がある。一方、本試験では外ケーブルの状態では注入されるため各部の耐圧能力が問題となり、最悪の場合はシースの各継ぎ目からグラウトが漏れ試験不能となるおそれがあった。このためシースの接続方法等が問題となった。

そこでグラウト注入試験に先立ち、水を加圧して注水することによりシースおよび接続部位の耐圧試験を行った。

#### 1) 試験ケース

表 - 3 シース接続部の耐圧試験条件

ケース	シース種別	径	シース接続方法	定着体接続方法
Case - 1	HDPE #9000	φ 75 mm	バット溶着	定着体なし
Case - 2		φ 105 mm		定着体なし
Case - 3		φ 75 mm		二重管モルタル充填
Case - 4		φ 75 mm		熱収縮チューブ
Case - 5	PE 管 100A	φ 114 mm	EF ジョイント <sup>注)</sup>	FUT 用ジョイントシース

注) EF ジョイント：斜張橋斜材・外ケーブル用外套管ジョイント

#### 2) 試験結果

- case - 1 注排出口より漏水，バット溶着部は変状なし，0.6 MPa まで加圧
- case - 2 注排出口より漏水，バット溶着部は変状なし，0.6 MPa まで加圧  
その後，0.75 MPa までの加圧の途中でシース母材が破断

- case - 3 二重管モルタル式の定着体とシースのジョイント部より漏水  
1.0 MPa まで加圧，この時点でバット溶着部で水が霧状に噴出
- case - 4 定着体とシースのジョイント部より漏水  
熱収縮チューブの定着体とシースのジョイント部より漏水  
漏水のため 0.5 MPa までしか加圧できなかった
- case - 5 定着体とシースのジョイント部より漏水，1.1 MPa まで加圧  
EF ジョイント部に漏水はなし

耐圧試験により，バット溶着部は十分な耐圧性能を有していることが確認できた。また，注入排出口の取付け方法が非常に重要であることが再確認された。

### 3.3 試験方法

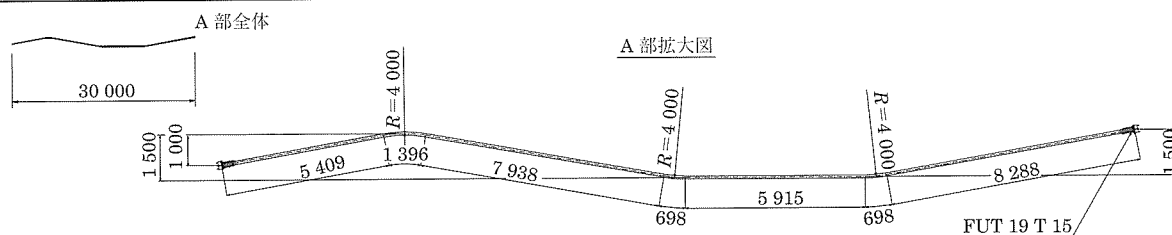
注入試験として，次の 3 試験を行った。

II 期試験では，φ 75 mm のシースのみを用いて緩勾配下での性状の確認試験を行っている。これに対し，大容量ケーブル（19 S 15.2 シース径 105 mm）の緩勾配における注入性状の確認を II 期試験の補足試験として行った。

内ケーブル方式の桁長 150 m の 4 径間連続桁を想定した本試験 1 本と，これに先立ち長さ類似条件で 30 m の予備試験を行った。

試験体の形状は，図 - 1 および表 - 4 に示すとおりである。

補足試験—19 S 15.2 / 長さ 30 m / 最大角度 10 度 / 高低差 1.5 m / 曲げ半径 4.0 m



予備試験—12 S 15.2 / 長さ 30 m / 最大角度 15 度 / 高低差 1.7 m / 曲げ半径 10.0 m



本試験—12 S 15.2 / 長さ 150 m / 最大角度 15 度 / 高低差 1.7 m / 曲げ半径 10.0 m

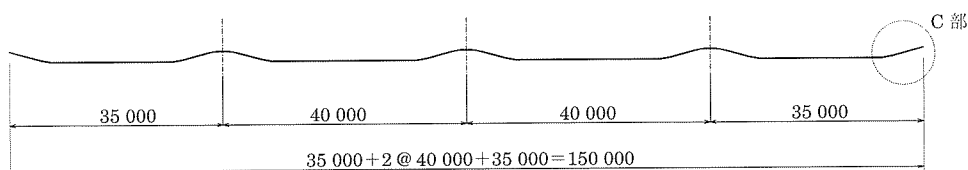


図 - 1 試験体ケーブル形状図

表 - 4 Ⅲ期試験条件

Case	ケーブル長	ケーブル種類	最大勾配(度)	高低差(m)	注入速度(ℓ/分)	シース内気圧	混和剤
補足試験	30 m	19 S 15.2	10	1.5	15	0.1 bar	GF-1720
予備試験	30 m	12 S 15.2	15	1.7			
本試験	150 m						

補足試験は、外ケーブルを想定したケーブル容量（19 S 15.2）とした。また、偏向部の曲げ半径を他の試験より小さい4.0 mとし、勾配も10度と緩くした。

予備試験は、ケーブル長以外の条件を本試験と同一とした。

注入速度は、15 ℓ/分を基本とするが、注入圧の上昇次第で適宜調整することとした。

混和剤は、高粘性グラウトということで一般的に使用されているGF-1720を用いた。

外ケーブルの形態であるため注入圧力の上限値を0.45 MPaとし、これを越えた場合は、盛替え注入方法を用いることとした。

シースは、補足試験（19 S 15.2）に対しては、φ 105 mmの透明シースを用い、本試験・予備試験（12 S 15.2）では長尺ケーブルへの注入の確認試験という見地からポリエチレンシースからカーボンブラックを抜いたφ 75 mmの半濁PEシースを用いた。これは詳細な注入状況を確認できないもののグラウトの先端位置は確認できる程度の光の透過度を有する。シースの接続は、φ 105 mmの透明シースは機械式接続具を用い、φ 75 mmの半濁PEシースには、事前の耐圧試験よりバット溶着方法を用いた。

写真-1に試験の全景を、写真-2に今回使用した真空ポンプを示す。

図-2に本試験における注入排出口および中間確認口（従来方式でいうところの中間排気口）と圧力計の位置を示す。

中間確認口（排気口）は、真空ポンプ併用であるため、盛替え注入時以外閉じたままとした。

注入作業全般に関しては、（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会の「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」（以降「グラウトマニュアル」と記す）に準じた。

### 3.4 試験結果

#### (1) 試験

試験は、2002年12月17日に東京都青梅市内で行った。

グラウトの配合を表-5に、練り上がり時の性状および圧縮試験結果を表-6に示す。

#### (2) 注入状況

##### 1) 補足試験（19 S 15.2）

比較的フロー値が小さかった今回のグラウトでは、下り勾配で先流れが生じグラウト先端が水平部に達した時点で下り勾配全体にわたっておおきな空隙が発生した。この空隙は、注入が進むに従い縮小したが、注入終了後も中間確認（排気）口を開かなかつたため、比較的大きな空隙が残った。

このときのグラウトの流速は、注入量とシースの空隙面



写真-1 試験全景写真

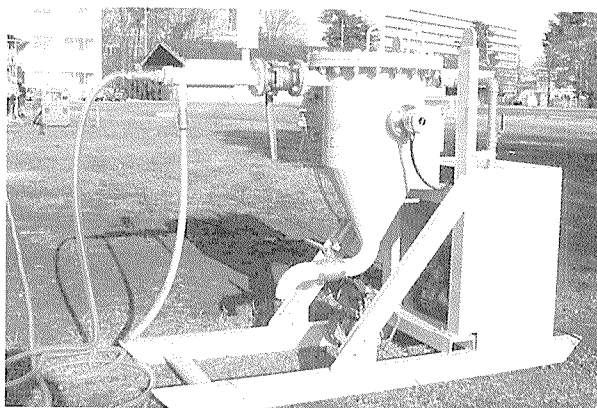


写真-2 真空ポンプ

積から算定すると2.5m/分程度となる。

#### 2) 予備試験および本試験（12 S 15.2）

##### ・注入部下り勾配

補足試験と同様に比較的フロー値が小さかった今回のグラウトでは、注入口直後の下り勾配から先流れし（写真-3）、グラウトが水平部分に達したあとグラウトが満たされていない部分が残った。この大きさは注入中には20~30 cm程度に縮小したものの消失しなかった。しかし注入完了後加圧した後は消失し、シースのリップに若干の気泡が残る程度となった。

##### ・凸部

下り勾配では先流れし、グラウトが満たされていない部分が生じた（写真-4）。この部分は、注入の進行に従い縮小し、最終的にはシースのリップに若干の気泡を残し消失した。

##### ・その他の部位

水平部分・上り勾配部分ともグラウトの先端面はある角度を保ちながらシースの全断面同時に充填していった（写真-5）。

頂部に設けた確認口には、シース内のグラウト先端位置

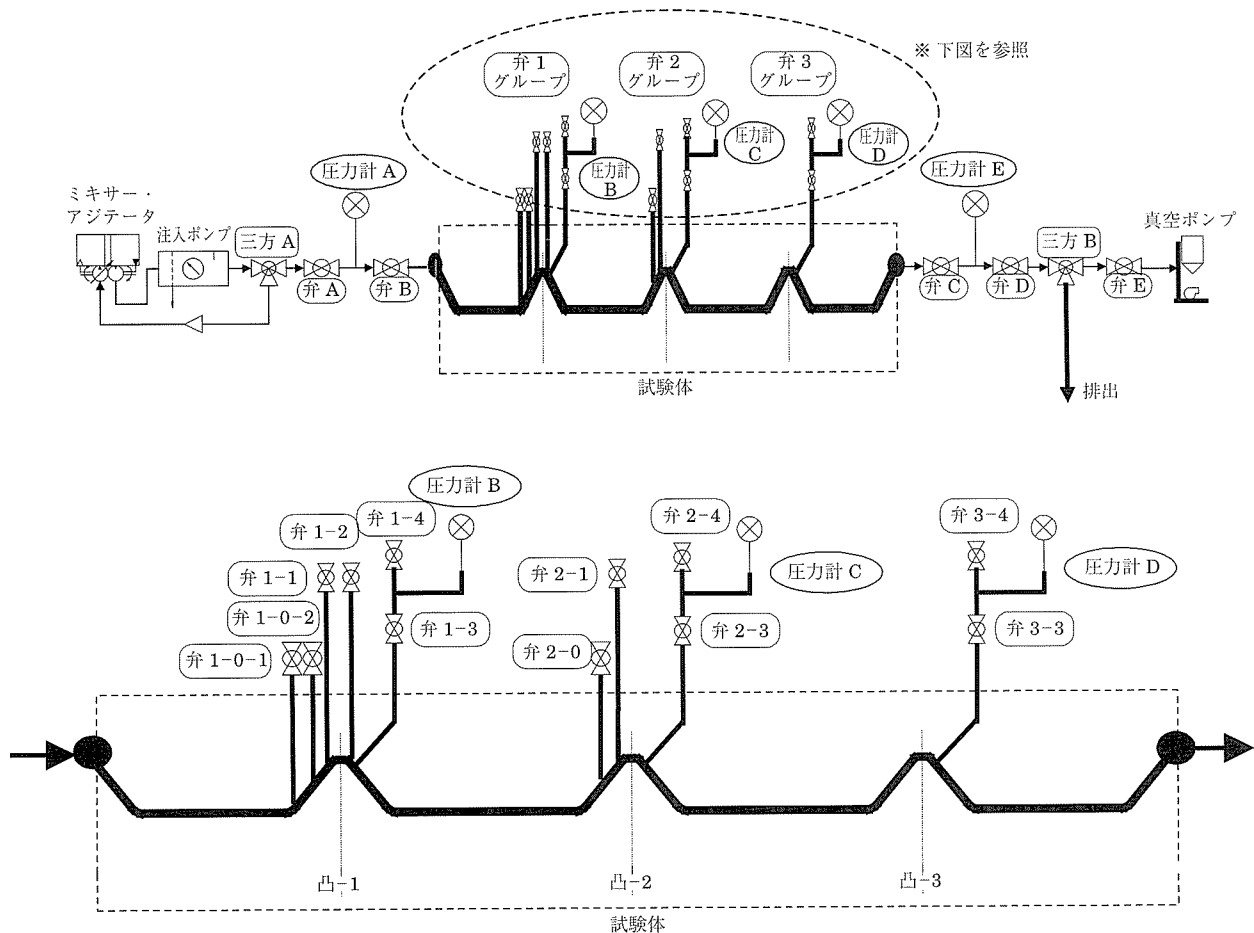


図-2 注入排出口，確認口の配置

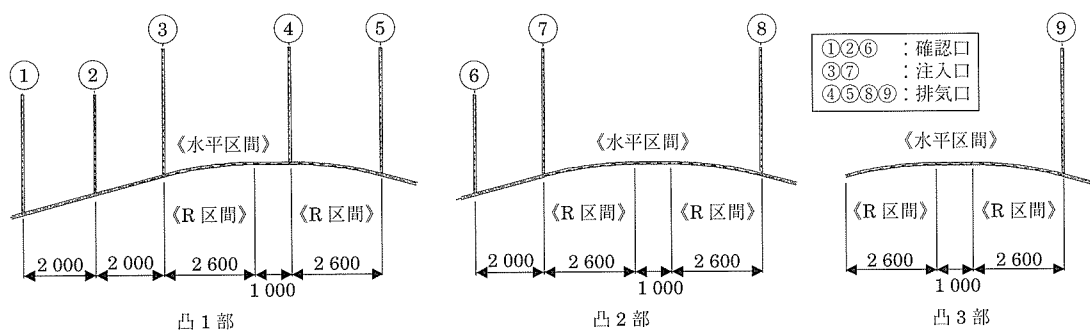


図-3 確認口の詳細位置

表-5 配合表 (1バッチあたり)

水セメント比 W/C	セメント量 C	水 W	混和剤 (GF-1720)	練り上がり量
43.0 %	75 kg	32.3 kg	0.75 kg	56.0 ℓ

表-6 練り上がり時の性状

		補足試験	予備試験	本試験
温度 (°C)	外気温	8	—	—
	水温	12	—	—
	セメント温度	15	—	—
	練り上がり温度	17	18	18
フロー値 (秒) (JPルート)	1	13.0	13.1	13.2
	2	14.1	14.1	13.8
	3	13.5	14.4	14.2
	平均	13.5	13.9	13.7
圧縮強度の 平均値 (MPa)	7日	50.8	50.9	50.0
	28日	73.7	74.8	69.6
見掛けの密度 <sup>注)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )		1978	1990	1992

注) 見掛けの密度は、28日の圧縮試験の供試体による



写真-3 注入口直後の先流れ (本試験)



写真-4 第一凸部付近の先流れ (本試験)



写真-5 水平部分の注入状況

の移動に従いグラウトが上昇してきた。

グラウトが確認口位置を通過した直後における確認口ホース内のグラウトの上昇は最大でシース上面より 10 cm 程度であった。この部分は、内ケーブル方式では、コンクリートのかぶり内であり注入時にグラウトの先端位置を確認できない場合がある。しかし注入終了時に確認したところ、

確認口ホース内はほとんど充填されていた。

#### ・盛替え注入

あらかじめ、端部より注入したグラウトの 1 バッチ目には、着色剤を混入し、盛替え注入後のグラウトとの混ざり方が検証できるように配慮した。

グラウトの注入に伴い注入圧力は上昇した。0.45 MPa を目途に注入速度を毎分 15 ℓ から 10 ℓ, 8 ℓ と低減したが、グラウト先端が第二凸部を越えたところで、注入口を端部から第二凸部に盛替えた。なお、盛替え後のグラウトは、着色された端部より注入したグラウトの上を流れてゆき、着色されたグラウトを押し続けることはなかった。

切替えバルブの操作により、真空ポンプを併用した場合でも併用しない場合と同様に盛替え注入ができることが確認できた。

#### (3) 注入時の圧力

配置した各圧力計のデータ、注入速度、注入量と注入時間の関係を図-4 から図-6 に示す。

補足試験 (図-4) では、注入速度を 20 ℓ/分の一定速度で注入した。それに伴い注入量も一定の勾配で増加している。9 分後に注入速度を 10 ℓ/分に下げ、9 分 30 秒後に一旦注入を停止した。その後 10 分経過後にシース内加圧のために 10 秒程度 10 ℓ/分の注入を行っている。

圧力に関しては、注入口の圧力は注入直後からなだらかな上昇を示している。凸部に設けた圧力計はグラウトの通過後やや時間をおいて上昇した。排出口の圧力計は最後まで 0.01 MPa を示していたが、排出口にグラウトが到達するとすぐに上昇した。また、充填後加圧すると、3 箇所 の圧力がほぼ均一化されることが確認できた。凸部の圧力計は、グラウト通過後も暫く低い値を示し続けた理由としては、グラウト通過後も減圧状態のグラウトが流れていたためと推測される。

予備試験 (図-5) においても、ほぼ補足試験と同様の傾向を示した。注入開始後 6 分過ぎに注入口の圧力が 0.4 MPa 程度に上昇したため、注入速度を 15 ℓ/分から 5 ℓ/分へと 1/3 に下げた。これと同調して注入口と凸部の圧力は低下したが、その後の圧力の上昇勾配は、それ以前の勾配の 1/3 よりも小さく一定または低下していることが観測された。このことより注入速度は、圧力に対して大きな影響があると推測される。

凸部の圧力計は、グラウトの通過にあまり遅れることなく上昇を示している。このことは、補足試験と異なる。理由としてはシース ( $\phi 105$  mm,  $\phi 75$  mm) の空隙面積の差に起因するものと推測される。また、注入完了後の各計測点の圧力の均一化も補足試験と比べると均一化の度合いが小さい。この点も空隙面積に起因するものと推測される。

補足試験および予備試験とも注入完了後の注入口の圧力が高い理由としては、先に述べたグラウトの粘性によるものと他に、ケーブル形状によるグラウトの圧力差 (グラウトの比重を 2.0 g/cm<sup>3</sup> と仮定すると、補足試験で約 0.02 MPa, 予備試験で約 0.034 MPa) の影響や、シース本体から計測点 (圧力計取付け位置) までの確認ホースの長さも影響を及ぼしていると考えられる。

補足試験—19 S 15.2 / 長さ 30 m / 最大角度 10 度 / 高低差 1.5 m / 曲げ半径 4.0 m

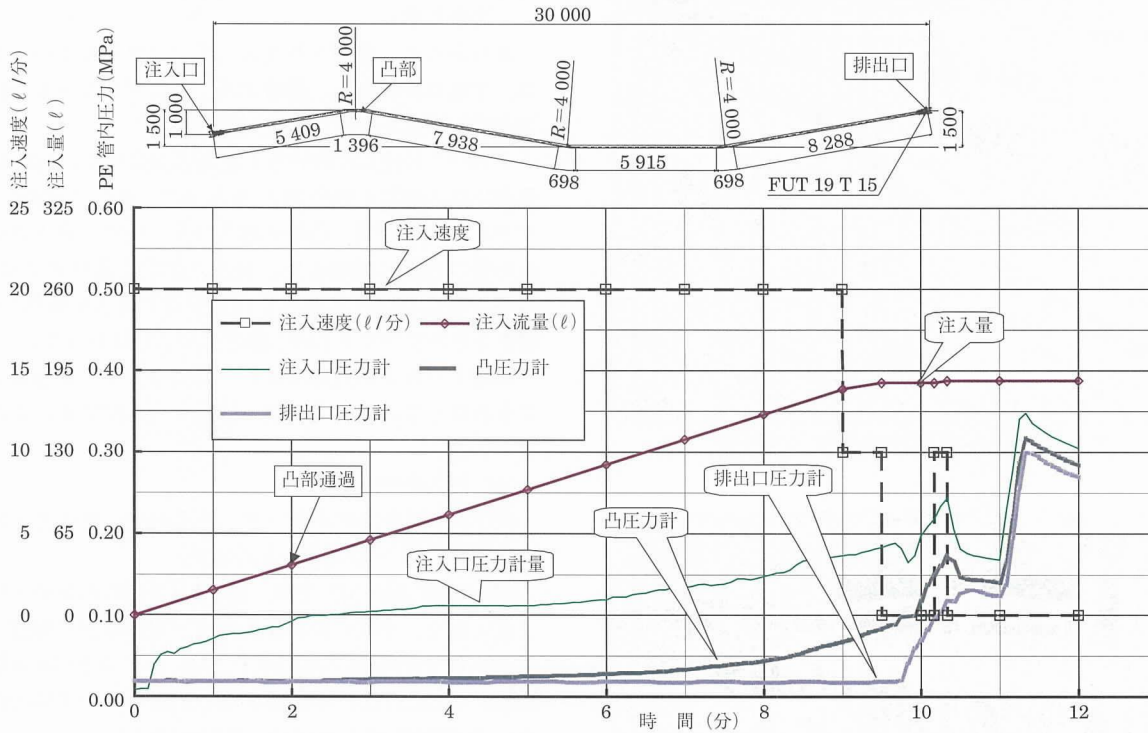


図 - 4 補足試験

予備試験—12 S 15.2 / 長さ 30 m / 最大角度 15 度 / 高低差 1.7 m / 曲げ半径 10.0 m

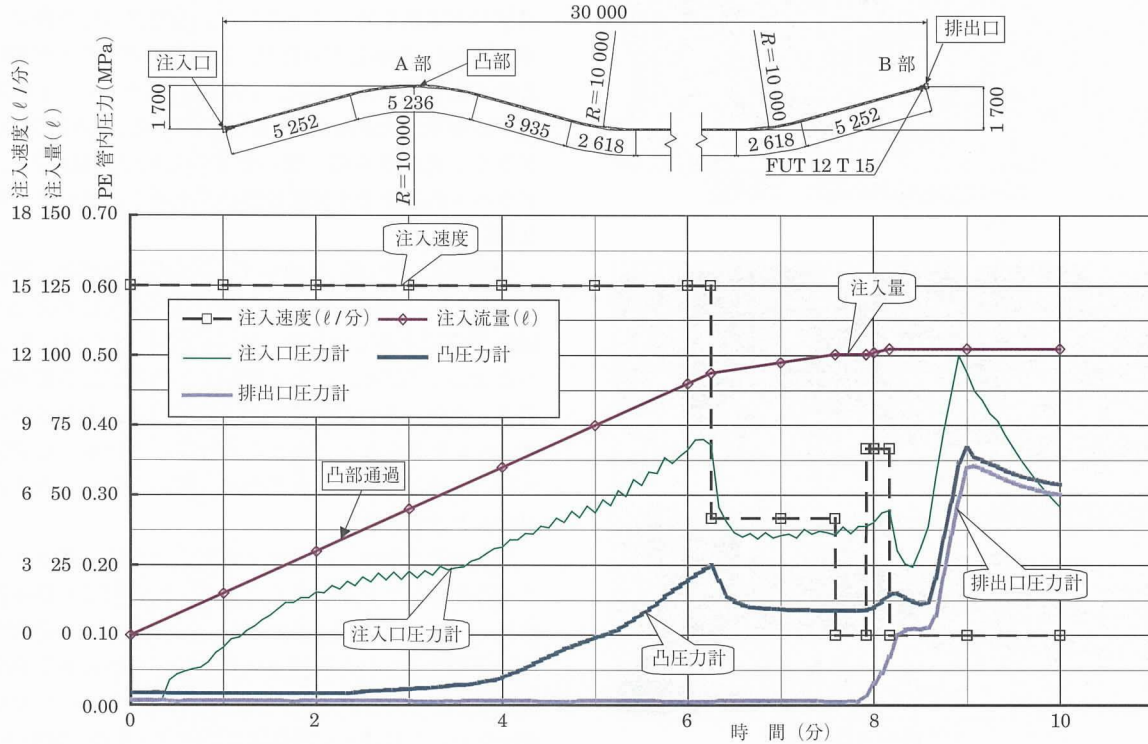


図 - 5 予備試験

本試験 (図 - 6) においては、注入口の圧力に応じて注入速度を 15 l/分 から 10 および 8 l/分 へと漸減した。また、注入開始後 17 分から 8 分間かけて注入位置を凸 2 部へ移動し、25 分経過後から注入を再開した。

注入口の圧力は、注入速度を下げる度に低下するもの

再び上昇しノコギリ状の圧力履歴となった。また、盛替え作業中は徐々に圧力が低下し、注入再開後も注入終了後の加圧の時を除いて圧力は上昇しなかった。

凸 1 部および凸 2 部の圧力は、グラウトの通過にあまり遅れることなく上昇を示している。この点は、同じシース

本試験—12 S 15.2 / 長さ 150 m / 最大角度 15 度 / 高低差 1.7 m / 曲げ半径 10.0 m

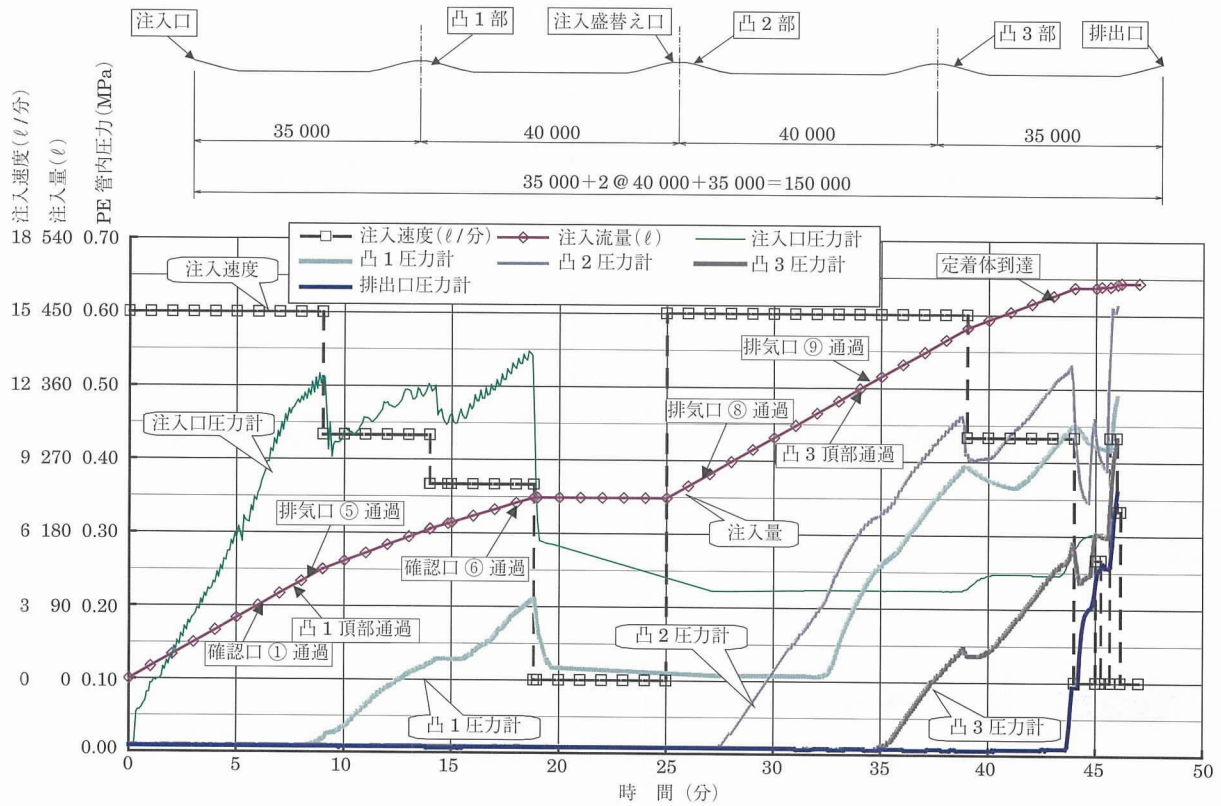


図 - 6 本試験

(同じ空隙面積) を使用している予備試験と同様である。凸 1 部の圧力は盛替え作業に伴い一旦低下したものの、盛替え注入後に再び上昇に転じた。この時期が盛替え後の注入位置から同程度の距離にある凸 3 部の圧力上昇と前後していることが興味深い。

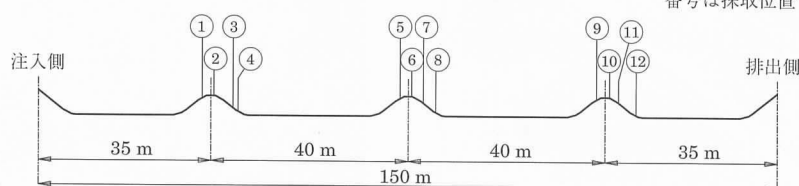
圧力勾配に関しては、注入開始後 37 分経過時点の凸 2

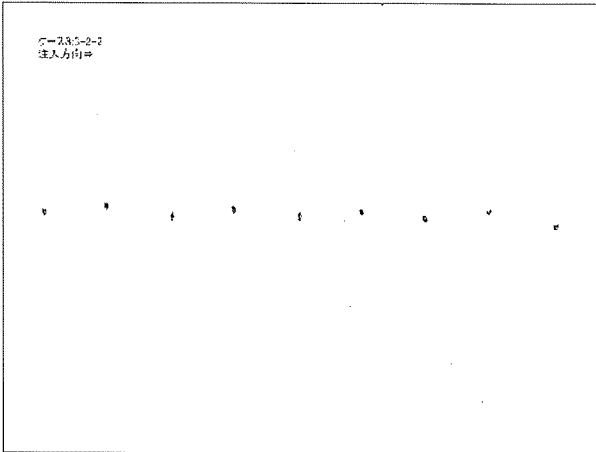
部と凸 3 部の圧力差を 0.32 MPa とすれば圧力勾配は、0.008 MPa/m となる。これを前述の「グラウトマニュアル」(p 90) の 0.015 MPa/m (流量 15 l/分) と比較すると、シース径の相違 ( $\phi 65$  mm,  $\phi 75$  mm) があるものかなり小さい値となった。この理由としては、今回使用したグラウトが比較的低フロー値が小さかった点が影響したものと考え

表 - 7 硬化後の気泡の面積比

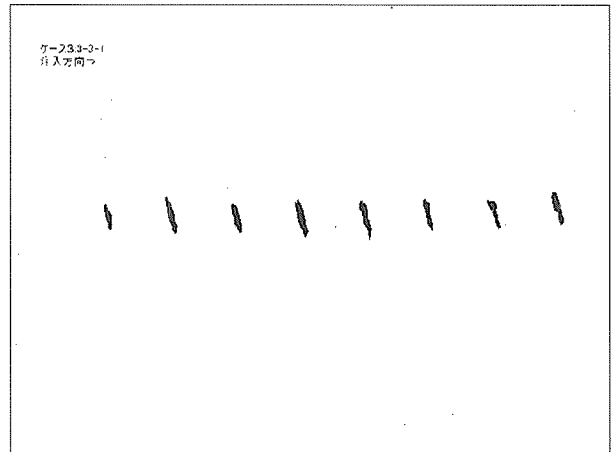
採取位置	スケッチ番号	気泡面積比 (%)	採取位置	スケッチ番号	気泡面積比 (%)
1	1 - A	0.1	7	7 - A	0.6
	1 - B	0.4		7 - B	2.2
2	2 - A	0.5	8	8 - A	0.5
	2 - B	0.3		8 - B	0.0
3	3 - A	0.8	9	9 - A	0.4
	3 - B	1.0		9 - B	0.5
4	4 - A	0.0	10	10 - A	0.6
	4 - B	0.0		10 - B	0.4
5	5 - A	0.9	11	11 - A	0.4
	5 - B	0.0		11 - B	0.5
6	6 - A	0.6	12	12 - A	0.0
	6 - B	0.5		12 - B	0.4

番号は採取位置を示す

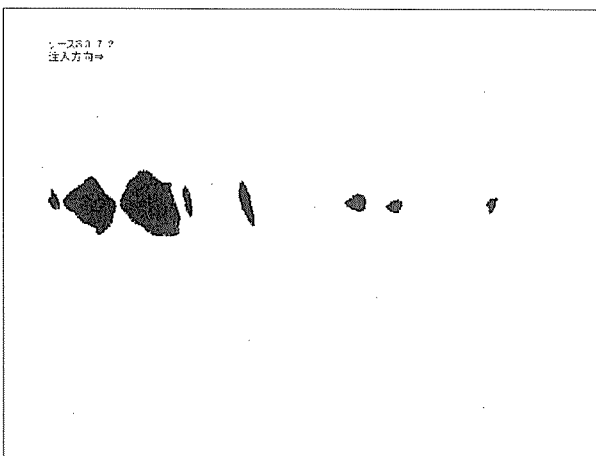




スケッチ番号 2-B



スケッチ番号 3-A



スケッチ番号 7-B

図-7 気泡のスケッチ図

られる。

(4) 硬化後のグラウトの状態

各試験体の凸部より硬化したグラウト表面の状況を調査した。

シースを剥ぎ取り気泡の状態を着目断面1箇所あたり2枚(AおよびBと表示)スケッチし、表面積に対する気泡

の面積比を調べた。

表-7に示す気泡面積比は、シースの全周(下面も含む)に対する百分率であり、図-7に示すスケッチ図は、シースの上側半周分である。

7-Bにおける大きな気泡は、盛替え注入時における注入ホースの中の空気が一旦前方に押し出されたものの注入終



写真-6 硬化後の切断確認状況

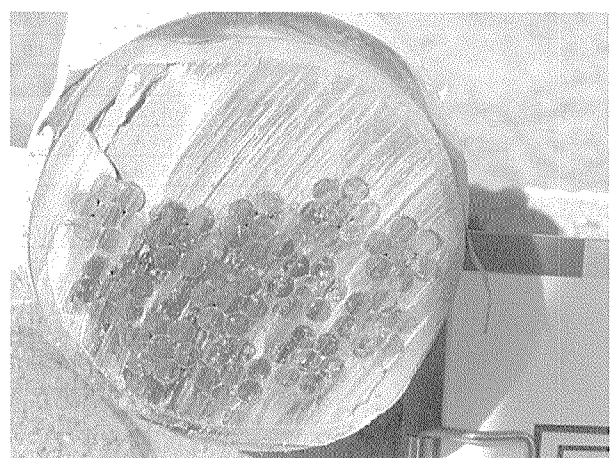


写真-7 採取位置7~8間の切断面



了後凸部方向に移動し残存したものと推測される。その他の気泡は、ほとんどシースのリップ部に生じているものである。このように非常に良好な注入結果が得られた。

写真 - 6, 7 に硬化後の充填確認状況およびシースの切断面を示す。

### 3.5 考 察

今回の一連の試験では、高粘性グラウトを使用したが、そのフロー値は小さく粘性はやや低かったように思われる。また、圧力勾配に関してもこれまでの試験結果より小さい値を示した。

φ 105 mm のシース (19 S 15.2) では、曲げ角度が 10 度、注入速度 15 ℓ/分 (流速 2.5 m/分) であったが先流れを生じ大きな空隙が最後まで残ってしまった。グラウトの先端を崩壊しない角度に保つためには、より高い粘度のグラウトと速い注入速度が必要と考えられる。

φ 75 mm のシース (12 S 15.2) では、やはり先流れはしたものの、硬化後の空隙は小さくリップの部分に若干残る程度で全体的に非常に良好な注入となった。

150 m の長いケーブル (12 S 15.2) においては、途中で盛替えたものの真空ポンプを併用することにより最大 0.45 MPa 程度の注入圧でグラウト注入ができることを確認することができた。注入時間は、盛替え作業も含めて 47 分程度であった。

盛替え注入の際、若干注入ホース内の空気が混入したが、これは、切替えバルブの位置や注入方法の工夫で改善できると思われる。

## 4. ま と め

これまでの 3 回の真空ポンプを併用したグラウトの注入試験を通して以下のことが得られた。

1. 下り勾配部のグラウトの先流れ防止に対し、真空ポンプ併用式の有効性は見いだせなかった。真空ポンプを併用するしないにかかわらず、グラウトは PC 鋼材と

シース内面の接触面を先行して流れることが観察された。

2. 真空ポンプを併用した場合は、先流れによる空隙を消失もしくはきわめて小さくすることができる。
3. 真空ポンプを併用した場合は、グラウトの充填体積率を併用しないものに比べて高くすることができる。
4. PC 鋼材を緊張せずに行った試験のもとではあるが、真空ポンプを併用した場合は、素線間のグラウトの量が増加することが確認できた。
5. 真空ポンプを併用した場合は、注入圧を低減することができる。このため注入圧を一定にした場合、使用する注入ポンプの能力に依存するが、注入時間を短縮することができる可能性がある。

内ケーブル方式の場合は、注入圧力を 1.0~1.5 MPa まで高く設定することが可能であるが、外ケーブル方式の場合はシースの接続の関係から 0.5 MPa 程度に抑える必要がある。圧力勾配を一定と仮定すれば、注入距離と注入口側の圧力の関係は模式的に図 - 8 のように示すことができる。この図でわかるように真空ポンプを併用し注入圧を下げ注入可能距離を延長できるという効果は、内ケーブル方式に比べ外ケーブル方式の方が大きい。

## 5. あとがき

真空ポンプを併用したグラウト注入工法は、真空ポンプを始めバルブ等の資機材が増えるが、従来工法に比べ品質的には向上することが確認でき、作業に必要な人員も大差ない。

注入作業自体については、従来工法にない作業があり確実な注入のためには作業手順の習熟が欠かせない。当協会では、この点に関して「真空グラウト施工マニュアル」を制作し、技術の普及に努めている。

また、一連の試験は、高粘性グラウト材とを組み合わせで行ったが、低粘性や超低粘性グラウト材と真空ポンプの組み合わせに関しては今後の研究に期待したい。

最後に、本研究に協力頂いた関係各位に感謝する次第である。

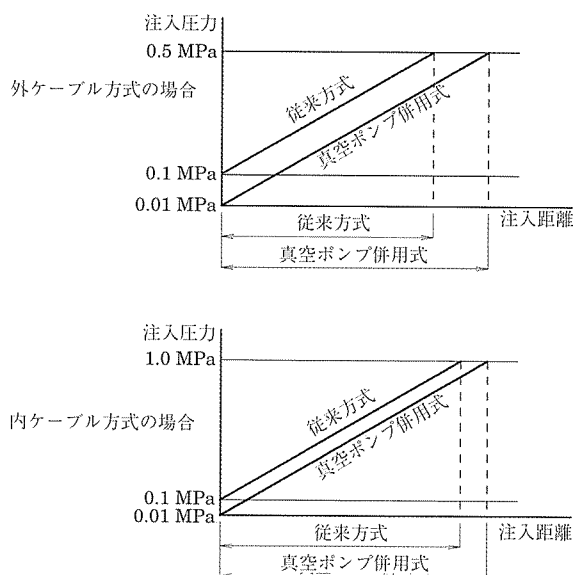


図 - 8 注入側圧力と注入可能距離の関係

\*記：SEEE 協会グラウト特別分科会・真空ポンプ WG

藤ノ木 勉 (鉄建建設(株))  
前田 文男 (㈱ピーエス三菱)  
西須 稔 (オリエンタル建設(株))  
牧 大樹 (ピーシー橋梁(株))  
大岡 隆 (鹿島建設(株))  
都倉 幹男 (日本高圧コンクリート(株))  
今尾 勝治 (㈱安部工業所)  
平山 晃 (㈱エスイー)

【2003年12月22日受付】