真空グラウト施工マニュアル

2003 年 11 月

財団法人　土木研究センター

ＳＥＥＥ協会グラウト特別分科会

まえがき

近年、貴重な社会資本である全ての構造物に対し、耐久性向上を期待するニーズが、急速に高まっております。コンクリート構造物では、塩害、コンクリートの品質と中性化、アルカリ骨材反応、コンクリート中の鋼材の錆等の劣化を示す事例も報告され、耐久性向上のために、設計から施工法まで各種の対応対策が進んでおります。

ＰＣ（ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ）構造物に関しては、特にグラウト不良が提起され、グラウト材料・グラウト方法・充填確認方法の改良が大きな技術課題となっております。

SEEE 協会では 2001 年 11 月よりＰＣ構造物に用いるグラウトの品質向上と、より確実な充填技術を確立するとともに、この技術を普及させる目的で、技術委員会（委員長徳良賢一）傘下のグラウト特別分科会で、活動を続けてまいりました。まずグラウトを確実に行える方法として、欧州で実施されていた真空ポンプを併用する方法に注目し、その調査を行いました。さらに関連機材も導入し国内での実用化に向けての検証試験と現場測定を繰り返し実施いたしました。その結果から真空ポンプ併用グラウト施工法が、グラウトの充填性と作業性の改善に大きな効果があることを確認しました。

そして、この成果を踏まえ、実用化に向けてのマニュアル化を進めました。2002 年 10 月から特別委員として参加していただいた財団法人土木研究センター技術研究所長佐伯彰一博士と柴田厚志次長には、マニュアルの作成にあたっての多大なご指導をいただきました。徳良技術委員長にも、活動を終始共にしていただいたお陰で心強い展開ができました。何より、本研究および本マニュアル作成に鋭意ご協力いただいたグラウト特別分科会委員の皆様には、各社の第一線に従事しておられ、ご多忙にもかかわらず多くの時間を費やして協力していただきました。派遣された各関係者のご理解に支えていただいたお陰でもあり、心より感謝申し上げるものであります。

真空ポンプⅠ期試験により、空隙残りを改善する効果があることを確認し、第Ⅱ期試験では、先流れに関する勾配の影響と空隙率の検討を行いました。第Ⅲ期試験では 150 mの長尺グラウト試験体で注入速度と圧力分布のデータを取るなど真空ポンプの効果を検証しました。これらの成果を踏まえ、あたらしい充填技術として提案できるようにして、本マニュアルがまとまりました。

本マニュアルは、あくまで、これまで実施されていたグラウト工法技術を否定するものではなく、真空ポンプを併用することで、さらに充填性を向上させる真空グラウトの考え、取り扱い等をまとめたものです。今後より広く採用され、信頼性を高める実績が増えるとともに、ＰＣ橋の建設技術改善の新しい展開に役立つものになることを期待するものであります。

SEEE 協会　グラウト特別分科会長　野永健二

真空グラウト施工マニュアル　目次

1. 一般

1－1　マニュアルの適用範囲 …… 1

1－2　用語の定義 …… 2

2. 真空グラウト

2－1　真空グラウトの基本 …… 3

2－2　グラウトの先流れ現象と排気 …… 6

3. 真空グラウト計画

3－1　一般 …… 8

3－2　設備の配置 …… 9

3－2－1　確認口 …… 9

3－2－2　注入口･排出口 …… 10

3－3　機械･器具 …… 11

3－3－1　真空ポンプ …… 11

3－3－2　圧力計 …… 15

3－3－3　グラウトホース …… 16

3－4　グラウト材料 …… 18

3－5　注入圧 …… 19

4. 真空グラウト作業

4－1　一般 …… 22

4－2　ダクト内の真空度確認 …… 24

4－3　グラウト注入作業手順 …… 25

4－4　確認事項 …… 28

付録 …… 31

１．一般

１－１　マニュアルの適用範囲

■　**このマニュアルは、真空グラウトに適用する。ここに記述されていない事項については、社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会から発刊されている「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」（以下「PC 建協グラウトマニュアル」）による。**

（解説）

プレストレストコンクリート構造物におけるグラウトは、PC 鋼材とダクトとの空隙を埋め、PC 鋼材とコンクリート部材を一体化するとともに、PC 鋼材の腐食を防ぐ働きをしており、強度や耐久性の面で重要な役割を果たしている。しかし、既存構造物の調査によってグラウトの充填不良が存在することが判明した。このため、PC 構造物の早期劣化が危惧されており、グラウトのより確実な充填方法が求められている。

ここに述べる真空グラウトはその有効な方法の 1 つであると考えられ、諸外国、特にフランスでは、この方法がグラウトに使用されている。

このような状況を踏まえ、SEEE 協会ではグラウト特別分科会を設置し、フランスにおける真空グラウトの実態を調査するとともに、その効果を確認するため、グラウト注入実験を行った。

数回の実験の結果（付録参照）から、グラウトに真空ポンプを併用することにより、グラウトの充填度の向上が図れ、グラウトの品質改善が図られることが分かった。

本マニュアルは、これまでの実験の成果を基に、真空グラウトを新設のプレストレストコンクリート構造物に適用する場合の基本的な考え方、手順、留意点などを取りまとめたものである。

また、本マニュアルは真空グラウトに関連する事項についてのみ記述している。ここに示されていない事項は「PC 建協グラウトマニュアル」によることとした。

１－２　用語の定義

■　本マニュアルで用いる用語の意味は次の通りとする。

真空グラウト……注入ポンプと真空ポンプを併用し、ダクト内を減圧した状態で、グラウト注入を行う工法

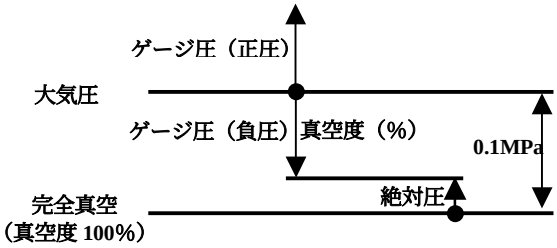
一般グラウト……通常行われている、注入ポンプだけを用いてグラウト注入を行う工法

真空状態……大気圧より低い気圧の状態（JIS における定義を採用している。また、本マニュアルではゲージ圧を基準に大気圧を０とし、圧力計の負の値で示すことを原則とする）

真空度……真空状態の度合い。大気圧（圧力：0MPa）を基準とし、完全真空状態（圧力：-0.1MPa）を 100%とした百分率で表す

圧力（の単位）……MPa（0.1MPa＝1 気圧＝760Torr）

正圧・負圧……大気圧より高い圧力が正圧（ゲージ圧：正）、低い圧力が負圧（ゲージ圧：負）



真空度と圧力の関係

圧力損失……ダクト内をグラウトが通過する際に生じるグラウト圧力の損失（圧力差／距離）

真空ポンプ‥……ダクト内を減圧するためのポンプ

注入流量……注入ポンプより単位時間当りに送り出されるグラウト材の体積（単位：ℓ/min）

空隙率……ダクトの断面積から鋼材の断面積を除いた部分のダクトの断面積に対する割合

充填度……空隙率に対するグラウト充填の度合い（但し、本マニュアルでは数値としては用いず、良否の概念として用いる）

確認口……ダクトに設置された、グラウトの充填状況を確認するホース

盛替え注入……ダクトが長い場合に、途中からグラウトを注入する方法

先流れ現象……ダクト下り勾配部等において、グラウト先端下側が先行して流れる現象

２．真空グラウト

２－１　真空グラウトの基本

■　**真空グラウトを行うにあたっては、開始に先立ちダクト内の気圧を-0.09MPa 以下（真空度 90%以上）に減圧するとともに、グラウト注入時においても、グラウト先端の未充填ダクト部の気圧はこの状態を保つものとする。**
グラウト注入完了後は加圧するとともに、グラウトが硬化するまでグラウト圧が低下しないよう留意しなければならない。

（解説）

真空グラウトは、**図**-2.1 のようにダクト内の気圧を真空度 90%まで低下させ、グラウトを注入する工法である。

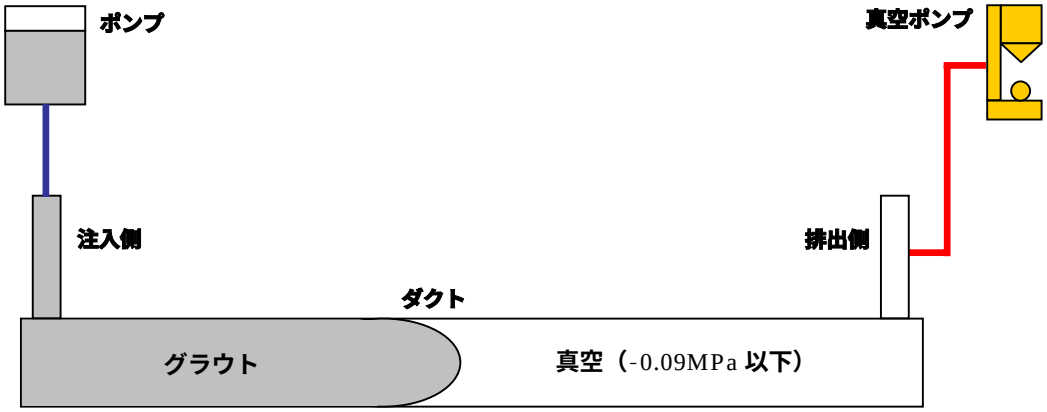


図-2.1　**真空グラウト**

真空グラウトの本来的意義は、ダクト内の空気圧を低くすることによって「残留空気の発生時の圧力を低くし、その後のグラウト圧の上昇によってその体積を縮小させ、空隙の少ない充填度の高いグラウトとすること」にある。

真空グラウトでは、グラウト注入時に発生した残留空気の圧力は、ダクト内の気圧と同じで-0.09MPa である。この残留空気の体積は、グラウトの進行に伴うグラウト圧の上昇およびグラウト注入完了（排出口閉栓）後の加圧によって、その圧力に反比例して小さくなる。

たとえば、真空グラウト（ダクト内空気圧：0.1 気圧）と一般グラウト（ダクト内空気圧：1 気圧）を比較すると、最終加圧による残留空気位置でのグラウト圧をたとえば５気圧とすれば、最終的な残留空気の体積すなわちグラウト中の空隙は、発生時の体積に対して、真空グラウトでは 0.1／5＝1／50、一方一般グラウトでは 1／5 となる。

残留空気の圧力は、上述したように発生時の当該位置での空気圧となる。したがって、開始前は勿論のこと、グラウト注入作業中においても、真空ポンプで排気しダクト未充填部の空気圧を所定の低圧に保つことが重要である。

また、グラウト注入完了後からグラウトが硬化するまでの間にグラウトの漏洩があると、

ダクト内のグラウト圧が低下し、これに伴って残留空気は膨張しグラウト内の空隙が大きくなる。したがって、グラウト終了後もダクトの密閉度を確保し、グラウトが硬化するまでグラウト圧が低下しないようにすることも重要である。

ダクト内の気圧は、低圧にすればするほど(完全真空に近いほど)よい。ここでその気圧を真空度 90%以上（-0.09MPa 以下）としたのは、グラウトに使用する機械・器具等を勘案し、さらに実験結果からこの程度の気圧とすれば十分なグラウト充填度が得られると判断したことによる。

図-2.2 は、真空グラウトにおけるダクト内残留空気の体積変化の状況を示したものである。

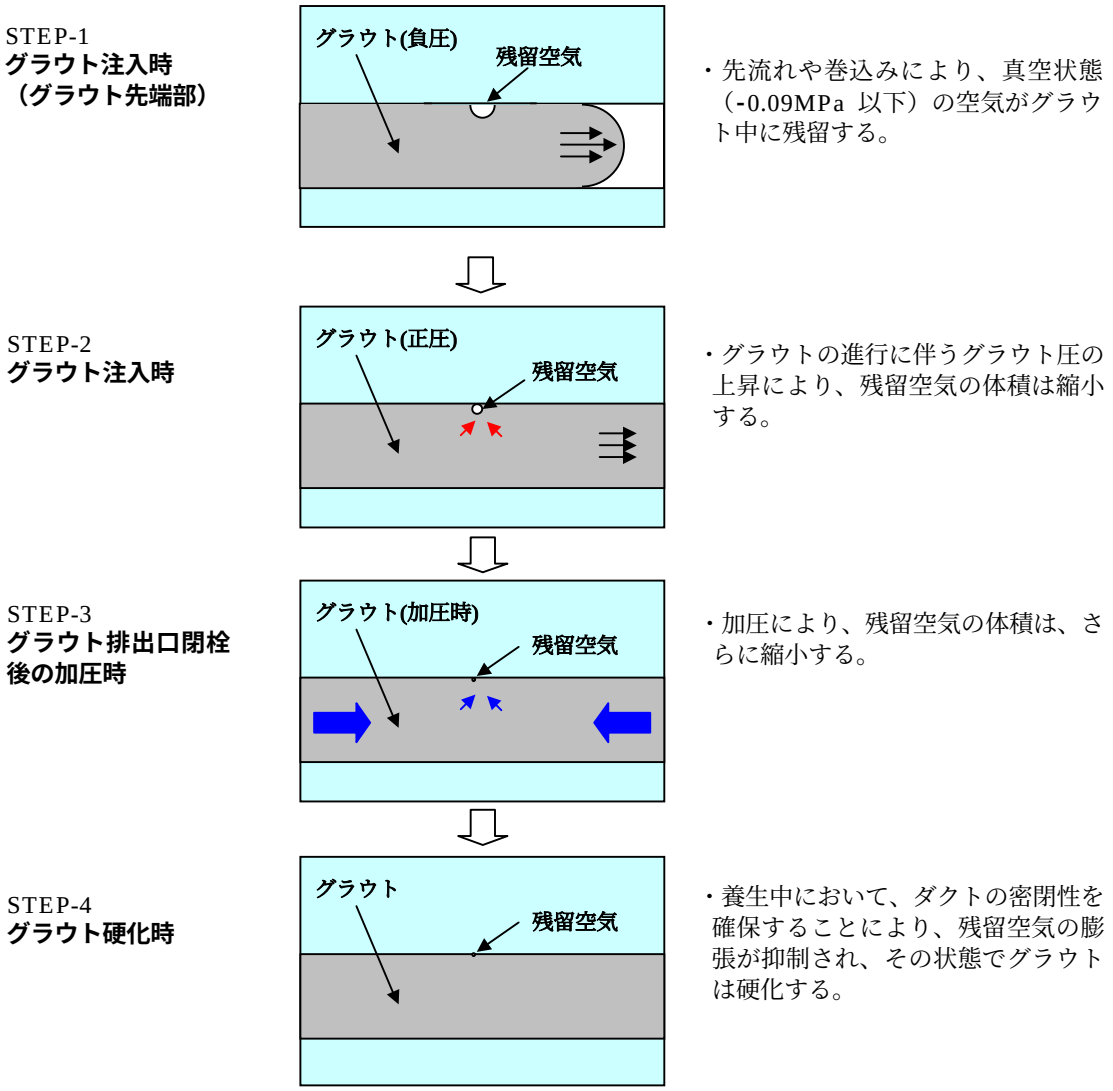


図-2.2　**残留空気の体積変化**

PC 鋼材の素線間の狭隘な空隙に対して、一般グラウトに比較して真空グラウトの方がグラウト先端部において注入され易いとも考えられるが、今回の実験ではそのような現象は確認できていない。しかしながら、PC 鋼材中の残留空気の体積が両者で同じであったとしても、発生時のその空気圧は真空グラウトの方が低く、グラウト圧の上昇に伴う体積の縮小度合いが大きい。すなわち、最終的には残留空気の体積（未充填部）は小さくなり、グラウト充填度はよくなることは、十分に考えられる。**写真**-2.1 に真空グラウトで実施したグラウトの断面充填状況を示す。

写真-2.1　**断面充填状況**

真空グラウトによるその他の改善効果として次のものが挙げられる。

（1）真空グラウトでは、一般グラウトに比べて排気側の圧力は 0.09MPa 低い。
このため、注入圧が同じである場合には、この気圧低下分に相当する圧力損失分だけ　①グラウト長を長くすることできる　あるいは　②単位時間当たりのグラウト量（注入流量）を大きくすることができ、作業時間を短縮できる。

（2）一般グラウトの場合、ダクトの密閉性調査は困難であり、それに起因するトラブルはグラウト作業を開始して判る場合が多い。
これに対し、真空グラウトではグラウト前にダクト内を減圧し負圧にする。これによって、外気圧とダクト内気圧の間に圧力差が生じる。このためダクト内の圧力（真空度）の確認により、ダクトの密閉性およびダクトの途中での閉塞の有無を確認できる。すなわち、グラウト時のグラウトの漏れや閉塞のトラブルを事前に回避できる。

（3）真空グラウトでは、ダクト頂部に確認口としてグラウトホースを設けている。一般グラウトではグラウト作業時にダクト頂部に設けたホースで排気を行うが、後述するように真空グラウトではこの排気は基本的には不要である。このため、排気と同時に生じるグラウトの排出作業がなく、グラウトの橋面上での処理が不要である。

２－２　グラウトの先流れ現象と排気

■　**真空グラウトでは、グラウト中は確認口を閉鎖しておかなければならない。ただし、確認口でグラウト上昇が確認されなかった場合は、その確認口を利用して排気を行う必要がある。**

（解説）

真空グラウトでは、確認口直下のグラウト圧が負圧となる状態がある。この時、確認口を開栓すると、外気がダクト内に入ることになる。したがって、グラウト中は確認口を閉鎖しておかなければならない。

グラウト内に空気が残留する主要な原因はグラウトの先流れである（**図**-2.3）。すなわち、ダクト全断面が充填される以前に、先流れによってグラウトの先端部が閉塞状態になると、中間部の空気がグラウト内に残留することになる。

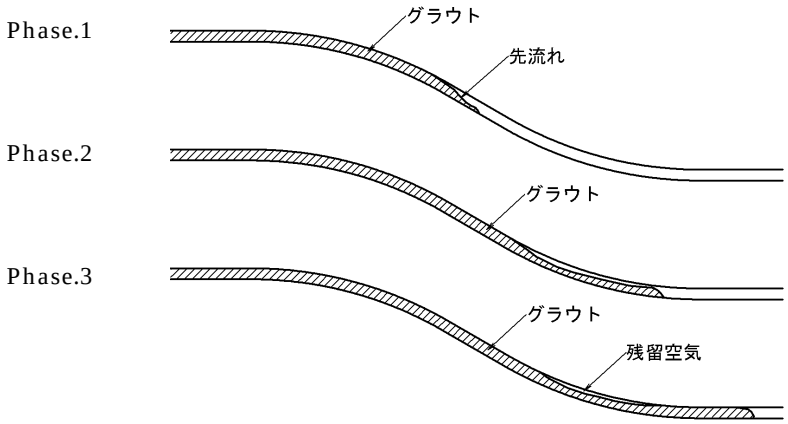


図-2.3　**先流れ現象**

この残留空気はダクト内を上昇し頂部に集まることが多い。真空グラウトでは、頂部に**図**-2.4の確認口を設けており、グラウトの進行および最終加圧によるグラウト圧の上昇により残留空気は圧縮され確認口中を押し上げられる。この場合、残留空気がグラウトとともに上昇していれば（上側空気、下側グラウト）、頂部付近に存在していた残留空気は確認口中に移動したものと考えられる。付録に示す12S15.2に対する実験では、全ての確認口に排気を行わない状態でグラウトが上昇すること、およびダクト内がグラウトで充填されていることを確認した。したがって、このような場合には確認口での排気の必要はないものとした。なお、図-2.5のように確認口にグラウトが上昇しない場合は、頂部付近のダ

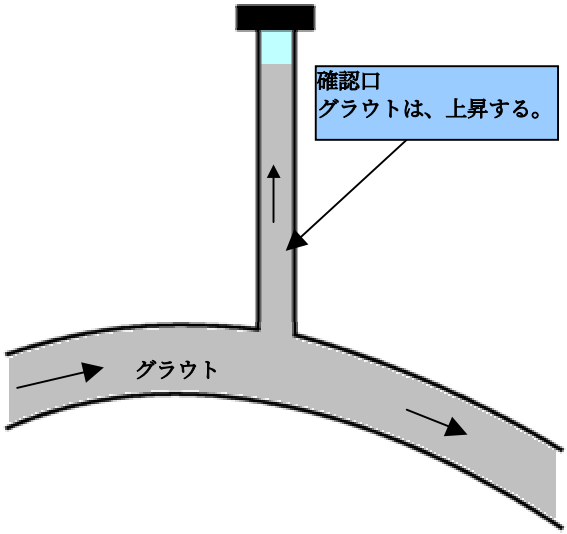


図-2.4　**頂部の確認口**

クトに空気が残留していることを意味しており、確認口を開栓してグラウトが上昇するまで排気する必要がある。また排気後は確認口を閉じ、加圧作業を実施しなければならない。

なお、先流れによって生じた残留空気は、すべてが頂部に集まるとは限らない。残留空気が小さい場合は途中にとどまることがある。これらはグラウト圧の上昇に伴なって微細な気泡となってダクト内表面の凹部に残るが、その大きさは非常に小さくグラウトの性能を損なうものではない。

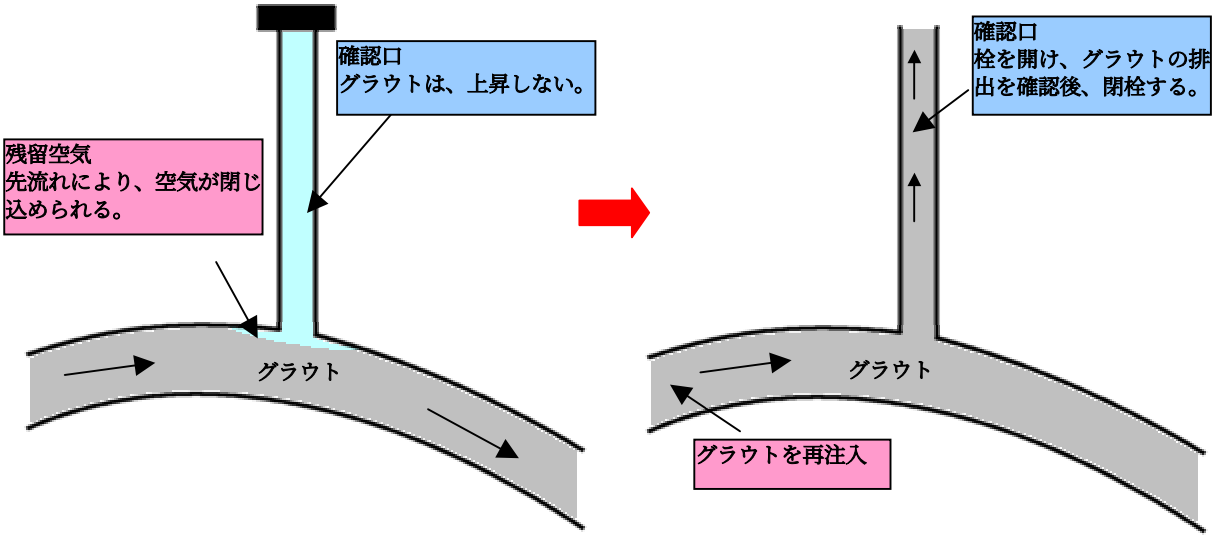


図-2.5　**確認口でグラウト上昇が確認されなかった場合の排気作業**

３．真空グラウト計画

３－１　一般

■　**真空グラウトを施工する前に、ダクト内を所定の減圧状態に維持して確実なグラウト施工が行えるように、「真空グラウト計画」を行う。**

（解説）

真空グラウトの一般的な機材配置を**図**-3.1 に示す。

真空グラウト計画においては、

・　耐圧性のあるダクト、グラウトキャップ、グラウトホースを使用し、ダクトの密閉性を確保して組み立てること

・　真空ポンプを使用し、ダクト内を充填完了まで所定の減圧状態（-0.09MPa）に保つこと

・　確認口やバルブを設置し、ダクト内の充填状況を確認すること

に留意し、確実にグラウト作業が行えるような計画を行うことが基本である。

このため、設備の配置として確認口、注入口・排出口について（**３－２**）、機械器具として真空ポンプ、圧力計、グラウトホースについて（**３－３**）特に留意する。また、グラウト材料（**３－４**）、注入圧の検討（**３－５**）については、基本的に一般グラウトと同様に計画する。

なお、真空グラウトの作業計画は、「**４．真空グラウト作業**」による。

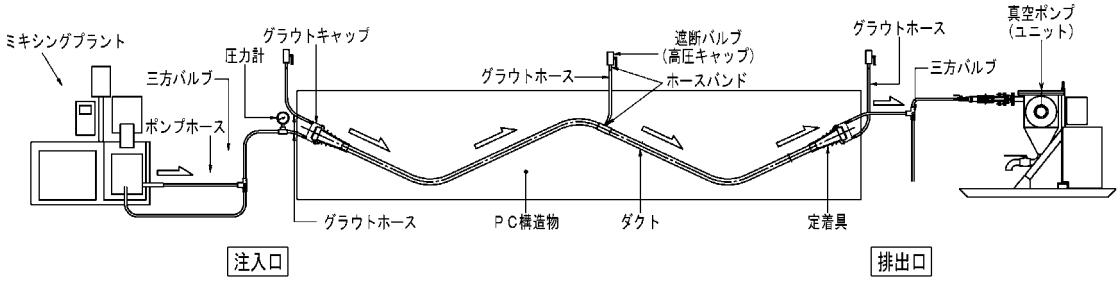


図-3.1　**一般的な資機材配置**

３－２　設備の配置

３－２－１　確認口

■　グラウトの充填状況を確認するために、ダクト頂部に確認口を設ける。

（解説）

グラウトの確認は、確認口へのグラウト上昇があることによって行う（**２－２**参照）。確認口は、ダクトの頂部とグラウトキャップに設ける。ダクト頂部の確認口は、曲げ下げ開始位置より 30～50cm 程度（「PC 建協グラウトマニュアル」に示される排気口位置）に長さ 1.0m以上のグラウトホースを鉛直に設置する。この確認口は、万一の場合の排気口としての機能をもつ。

確認口となるグラウトホースの出口は、グラウト注入時の密閉性を保つため、**３－３－３**に示すホース先端処理部品等で塞栓する。

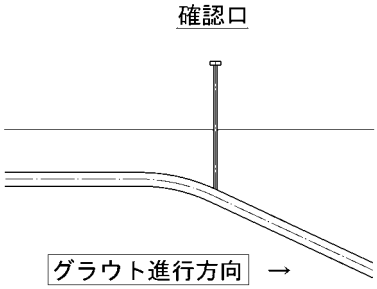


図-3.2　**確認口設置の例**

３－２－２　注入口・排出口

■ **（1）注入口および排出口には、ダクト内を確実に密閉するためにバルブを設ける。**
（2）注入長が長く盛替え注入が必要な場合には、適切な位置に中間注入口を設置する。

（解説）

（1） グラウト注入口、排出口には、グラウト注入前の減圧状態やグラウト注入後の加圧状態を確実に維持するために、バルブを設ける。さらに、注入口には、注入開始時に余分な空気を巻き込まないように、三方バルブを設け、注入前に減圧されないグラウトホース内をグラウトが循環できるように配管する（**図**-3.3）。また、排出口においても、排出グラウトの品質の確認を行うため、真空ポンプ外への排出切り替えができるように三方バルブを設ける。

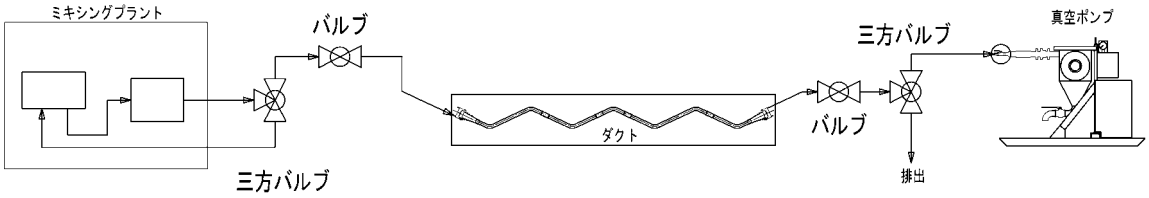


図-3.3　**注入口および排出口の三方バルブの設置例**

（2） ダクト長が長く盛替え注入が必要な場合には、盛替え箇所（ダクト頂部の上り勾配の終点辺り）に中間注入口としてグラウトホースを設置する。中間注入口の端部は確実に遮断できるようバルブを設ける。

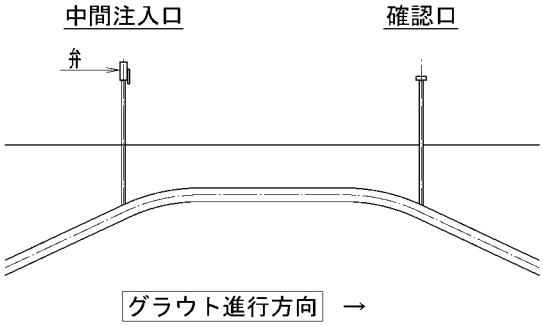


図-3.4　**確認口、中間注入口の設置例**

３－３　機械・器具

３－３－１　真空ポンプ

■　真空ポンプは、ダクト内を所定の真空状態まで減圧できる性能をもつものを使用する。

（解説）

真空ポンプは、ダクト内の空気を吸引し、数分以内で所定の圧力（-0.09MPa 以下）まで減圧できる性能を有したものを使用する。

そのような性能を持つ真空ポンプの一例として、今回の実験で使用した真空ポンプユニット（㈱エスイー製）を**写真** 3-1、**図**-3.5 に示す。この真空ポンプには、排出されたグラウト材を貯留できる容器が付属されている。この真空ポンプユニットについて、その仕様と取り扱いの注意事項を参考として以下に示す。

写真-3.1 **真空ポンプユニット**

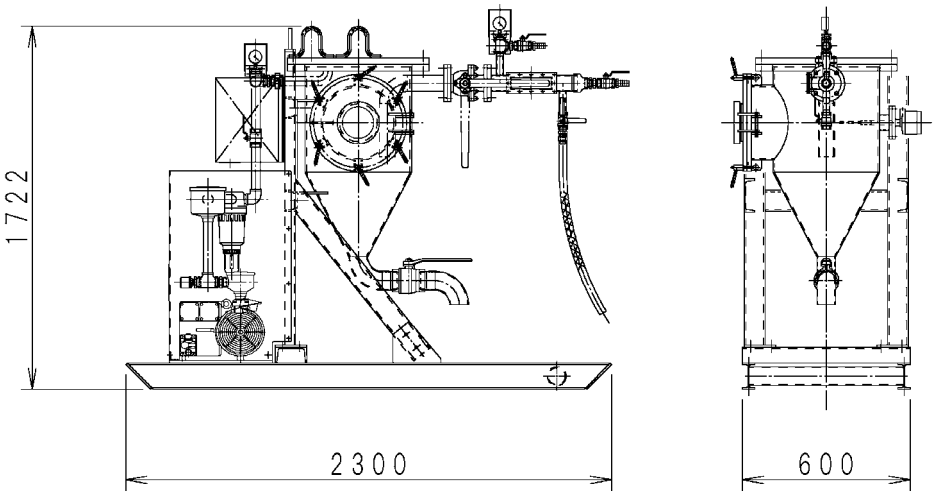


図-3.5 **真空ポンプユニット形状寸法**

【真空ポンプの一例】

（1）真空ポンプユニットの仕様

真空ポンプユニットの諸元を**表**-3.1 に示す。

表-3.1 **真空ポンプユニット諸元**

高さ（吊具までの最大高さ）	mm	1722
幅	mm	800
長さ	mm	2300
質量	kg	610
搭載ポンプ	Type	BUSCH 社製 ロータリベーン式オイル循環型0063E
実効排気速度	m^3/hour	60(60Hz)、50(50Hz)
到達真空度	Pa(Torr)	2660（20）
最大騒音値	dBA	71
電源	―	200V（3 相 50Hz/60Hz）
モーター電力	kW	2.2
モーター回転数	rpm	1450
オイル使用量	ℓ	2
ポンプ本体質量	kg	70

（2）真空ポンプユニットの構成

真空ポンプユニットは**図**-3.6 に示す部品で構成されている。

次ページに各部品の説明を示す。

図-3.6 **真空ポンプユニット部品**

操　作　盤：真空ポンプの操作に使用する。運転・停止・非常停止で構成される。

真　空　計：0MPa（大気圧）～-0.1MPa までのダクト減圧状態を表示する。

カ　バ　ー：真空ポンプ本体およびフィルター類等を風雨から防護する。

サイトグラス：通過するグラウト材を目で確認する。

貯 留 容 器：グラウト材が真空ポンプに浸入しないように貯留する。

洗　浄　口：サイトグラスに付着したグラウト材を洗浄する時に使用する。

液面センサー：貯留容器に貯留するグラウトがこのレベルに達した時に真空ポンプを自動停止させる。（**写真**-3.2）

排　出　口：貯留容器に貯留したグラウト材を排出する時に使用する。

写真-3.2 **ハッチ内部の液面センサー**

（3）真空ポンプユニットの取扱注意事項

真空ポンプ本体は、電動の機材であるため、以下に示す基本的な注意事項に留意し、作業が故障の原因にならないようにする。

① 電源

AC200V3 相を接続し、アースを必ず接続する。

逆相の場合は、作動しない構造となっている。したがって、電源を接続しても作動しない場合は、真空ポンプユニット側の電源コネクターを 180°反転させて差し込み、正相の接続とすることにより運転可能となる。

② 運搬・吊上げ

真空ポンプユニットを運搬および吊上げる場合は、30°以上傾けないようにする。内部に入っているオイルの特定の経路への浸入が故障の原因となる。

③ 暖気運転

冬季における使用は、暖気運転を必ずバルブを閉めた状態で 10 分程度行う。

④ 連続運転について

真空ポンプは、吸気側を開放したまま連続運転を行ってはならない。運転開始後、ダクトからのリークにより、所定の真空状態に達しない場合、運転を停止して、原因を調査し対処する。

（4）真空到達時間の算出

この真空ポンプにより、ダクト内が所定の真空度に達するまでの時間は、ダクト内空気量および目標真空圧により式(3.1)式により算定できる。ここでは、ダクト内圧力-0.09MPa（絶対圧：0.01MPa）を目標圧とする場合について真空到達時間の算出例を示す。

算出条件

排気速度：s ＝60 m^3/hour（1.0 m^3/min）※1

大気圧：P_1 ＝0.10 MPa

ダクト内目標絶対圧：P_2 ＝0.01 MPa

ケーブル長：L（m）
ダクト断面積：A_1（m^2）
PC 鋼材断面積：A_2（m^2）
ユニット内空気量：0.3（m^3）

ダクト内空気量：v ＝（A1－A2）×L ＋ 0.3（m^3）

安全係数：α＝1.3 ※2

※1：周波数 60Hz の場合（50Hz の場合、50 m^3/hour）

※2：経験値より考えられる値

算出式

到達時間：$t = \frac{v}{s} \times 2.3\log_{10}\frac{P_1}{P_2} \times \alpha$ ・・・・・・ (3.1)

算出例

PC 鋼材 12S15.2 のダクトに対して目標絶対圧 0.01MPa（ゲージ圧：-0.09MPa）とした場合の真空到達時間を算出する。

[条件]

- ダクト内径（断面積）：φ75mm（4417.9 mm^2）
- PC 鋼材断面積：1664.4 mm^2（138.7mm^2×12 本）→ 空隙面積：2753.5mm^2
- 大気圧：P1＝0.10MPa
- 目標圧：P2＝0.01MPa

表-3.2　**真空到達時間の算出例**（12S15.2／**ダクト内径φ**75）

ダクト長：L（m）	30	50	100	150
空気量：v（m^3）	0.383	0.438	0.575	0.713
到達時間：t (min)	1.15	1.31	1.72	2.13

３－３－２　圧力計

■　**ダクトあるいはグラウトホース内の圧力を計測する場合には、小型隔膜式圧力計（連成計）を用いるとよい。**

（解説）

真空グラウトにおいて真空状態となったダクト内部の圧力を計測する場合には、大気圧未満の状態も測定できる圧力計（連成計※1）を使用する必要がある。

そのような圧力計の例として、今回の実験および実橋計測で使用した圧力計（連成計）を**図**-3.7 に示す。この圧力計は、隔膜式圧力計の中で「小型隔膜式」に類されるものである。グラウト材が流体から徐々に硬化することを考慮すると、圧力を検知する隔膜が露出しており、洗浄の容易な小型隔膜式が適している。注入グラウトホースに取り付ける場合、実験ではグラウトホースからチーズにより分岐したホースの先端の遮断バルブに取り付けた。

※1：正および負のゲージ圧を測定するもの

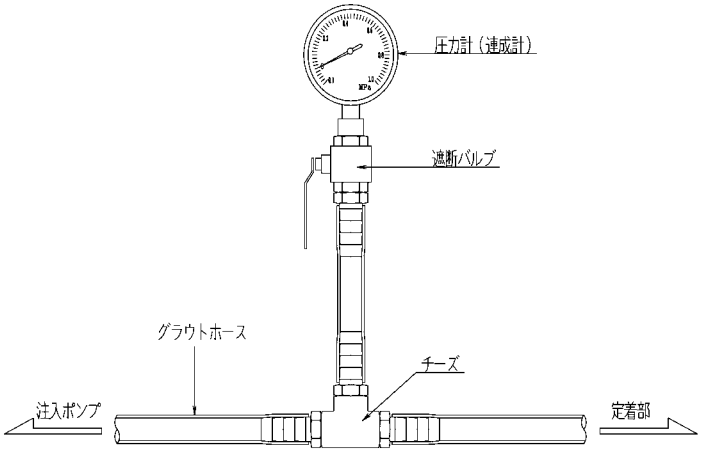


図-3.7 **小型隔膜式圧力計（連成計）と取付けの一例**

３－３－３　グラウトホース

■　**グラウトホースは、耐圧性の高いものを使用し、グラウトホースの接続部や先端部もダクトの密閉性を確保できる構造とする。**

（解説）

（1）グラウトホース本体

グラウトホースは、φ19mm 以上の内径を持ち、グラウト注入前の真空およびグラウト注入後の加圧に耐えるものを使用する。「PC 建協グラウトマニュアル」では、**表**-3.3、**写真**-3.3 に例示するような、テトロンブレードホースが示されている。また、今回の実験では、メーカー規格値を**表**-3.4 に示す**写真**-3.4 のようなスプリングホース（φ25）を使用した。

なお、グラウトホースの耐圧性については、十分な安全率をもたせて使用する。参考までに「PC 建協グラウトマニュアル」では、φ19mm およびφ25mm のテトロンブレードホースについて、最小破裂圧力 2.4MPa に対し、0.6MPa を最大許容使用圧力としている。

表-3.3 **グラウトホースの一例（テトロンブレードホース）**

呼称サイズ	内径（mm）	標準外径（mm）	最小破裂圧力（MPa）	標準質量（g/m）
19	19.0	26.0	2.4	300
25	25.0	33.0	2.4	440
32	32.0	41.0	1.6	620

表-3.4 **グラウトホースの一例（スプリングホース）**

呼称サイズ	内径（mm）	標準外径（mm）	破裂圧力（MPa）	標準質量（g/m）
19	19.0	26.0	2.0	380
25	25.0	31.0	1.7	420
32	32.0	40.0	1.5	700

写真-3.3 **テトロンブレードホース**

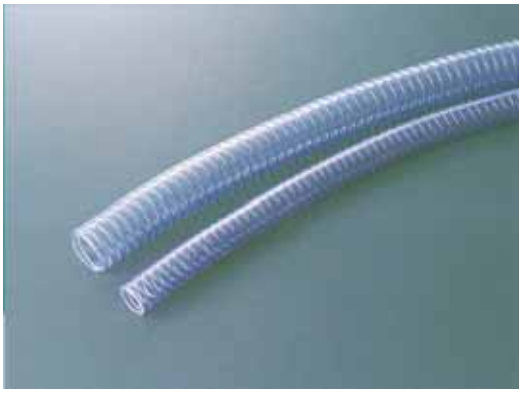


写真-3.4 **スプリングホース**

（2）ホースの接続

グラウトホースとダクトとの接続部は、ダクトの気密性を確保できる構造とする。実験においては、**写真**-3.5 に示すようなホースバンドを使用してグラウトホースをダクトに堅固に固定した。

写真-3.5 **ホースバンドの一例**

（3）ホース先端処理

ダクト中間およびグラウトキャップに設置されるグラウトホースの先端は、外部からの空気の流入がないように塞栓する。従来のようなホースの折り曲げ結束は真空状態に対するダクトの気密性が不完全になりやすいので、機械的に塞栓するのがよい。

実験において用いた確実なグラウトホース先端処理の例を示すと、開栓のない確認口の場合は、グラウトホースの先端にタケノコニップルを取り付け、そのタケノコニップルに「高圧キャップ」を取り付ける。また、中間注入口のように開栓の必要がある場合には、グラウトホースの先端に取り付けたタケノコニップルに「遮断バルブ」を取り付ける。

図-3.8 **ホース先端処理の一例**

写真-3.6 **高圧キャップ（2 種）**

写真-3.7 **遮断バルブ**

３－４　グラウト材料

■　真空グラウトには、「PC 建協グラウトマニュアル」に規定されているノンブリーディング・高粘性型グラウトを使用することを基本とする。

（解説）

真空グラウトに使用するグラウト材料の選定については、フランスで使用されている材料がまず考えられたが、フランスのセメント、混和剤、練り混ぜ方法、練り混ぜ機械等を国内に導入するための検証に多くの時間が必要となるので、国内で一般に使用されているノンブリーディング・高粘性型グラウトを使用して、第Ⅰ期の基礎実験を行った。

その結果、当初フランスの文献調査からは先流れがないと考えられていたが、実験において 25 度という比較的急なダクト勾配では先流れ現象が確認された。そこで、一般グラウトと同様、ダクトの勾配とグラウトの粘性によっては先流れ現象により残留空気が発生しうるものと考え、真空グラウトにおいても先流れの生じにくいノンブリーディング・高粘性型グラウトを使用することとした。

さらに、第Ⅱ期の充填性評価実験および第Ⅲ期の実証実験により、「PC 建協グラウトマニュアル」に規定されるノンブリーディング・高粘性型グラウトを使用し、確認口で排気を行わない本マニュアルの手順によって、真空グラウトによる充填性の向上効果を検証した。したがって、本マニュアルでは、ノンブリーディング・高粘性型グラウトの使用を基本とする。

ただし、今後、ノンブリーディング・高粘性型グラウト材料以外のものでも、真空ポンプ併用の効果が確認された場合には、その使用を制限するものではない。

３－５　注入圧

■　ダクトおよびグラウトホース等の許容圧力以内で注入作業が行えるように、グラウトの注入圧について事前に検討する。

（解説）

グラウトを確実にダクト内に充填させるために、グラウトが通過するダクトおよびホースの圧力損失から注入時の管路内の圧力分布を算定し、管路の許容最大圧力以内で注入可能であることを確認する。管路の圧力損失は、ダクトおよびホースの内径、ダクトの空隙率、および注入流量、グラウトの粘性等の条件により決まる。

（1）注入流量（Q）の設定

グラウトの注入流量は、作業時間およびダクト下り勾配部でのグラウトの先流れに影響するので、注入可能な範囲で大きく設定することが望ましい。一般グラウトでは、内ケーブル（12S12.4～12S15.2）に対しては注入流量を 10～15ℓ/min 程度とする例が多い。

真空グラウトでは、減圧効果によって注入圧が低減できるため、一般グラウトよりも注入流量を大きく設定することが可能である。参考として、12S15.2 に対する真空グラウト実験でのグラウト注入長と注入流量および注入圧力の関係の一例を**図**-3.9 に示す。

（2）注入最大圧力（Pmax）の設定

注入ポンプの能力、ダクトおよびホースの接続部を含む耐圧力から注入最大圧力を決定する。「PC 建協グラウトマニュアル」によれば、内ケーブルの場合、注入最大圧力は一般的には 2.0MPa 以下に設定するとされているが、この値が注入ポンプの圧力計で示される注入圧であることに留意し、ダクト注入口のグラウトホースにおける注入口圧力も過大にならないように注入最大圧を決める。

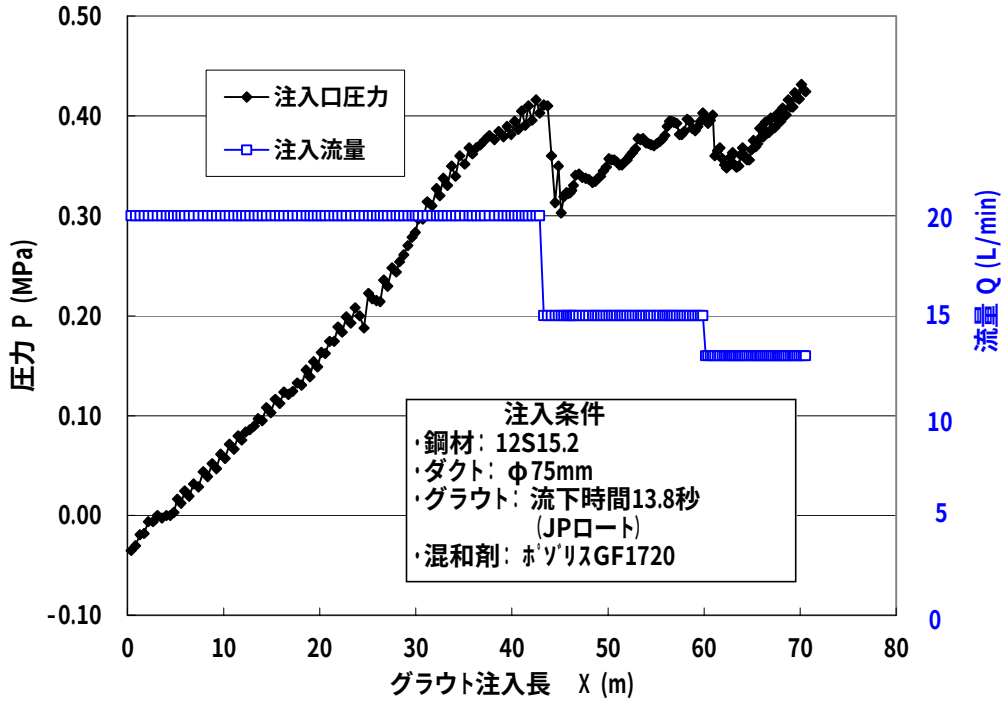


図-3.9 **グラウト注入長と注入流量、注入圧力の関係の一例**

（3）注入圧の算定

ある長さのダクトに対し、注入最大圧力（Pmax）以内で注入が可能かどうかは、ポンプホース、注入グラウトホース、ダクト、排出グラウトホースのグラウトが通過するそれぞれの管の圧力損失と管長から圧力分布を算定することにより、判断できる。ダクト長が長く、注入圧が注入最大圧力を超える場合には、ダクト途中に中間注入口を設け、盛替え注入を計画する。

ダクトの圧力損失は、ダクトおよびホースの内径、ダクトの空隙率、注入流量、特にグラウトの粘性（流下時間）の影響を受けて変化する。既往の真空グラウト実験の結果では、圧力損失について一般化してここに示すほどのデータが得られていないが、一般グラウトとの顕著な差はなく、グラウト計画においては「PC 建協グラウトマニュアル」に示されている圧力損失を用いて計画すればよい。

表-3.5 に、「PC 建協グラウトマニュアル」に示された圧力損失を用いて、真空グラウト注入時の圧力を算定した例を示す。なお、ポンプホースおよびグラウトホースの圧力損失についても「PC 建協グラウトマニュアル」に示された値を用いた。

表-3.5　**注入時の圧力概算例**

ダクト・管路	内径（mm）	長さ（m）	圧力損失（MPa/m）	注入圧力（MPa）		備考
				管全長	累計	
（グラウト先端）					-0.090	計算条件
排出グラウトホース	19.0	0.50	0.075	0.038	-0.052	・PC 鋼材：12S12.7
ダクト	65.0	35.00	0.015	0.525	0.473	・注入流量：15ℓ/min
注入グラウトホース	19.0	0.50	0.075	0.038	0.511	・注入時最大圧力：1.8MPa
ポンプホース	25.4	15.00	0.028	0.420	0.931	・混和剤：ポゾリス GF1720

また、**図**-3.10 に、**表**-3.5 に示した算定例を元に、真空グラウトにおける注入時のダクトおよびホース内の圧力分布を一般グラウトと比較した模式図を示す。**図**-3.10 に図示するように、真空グラウトではグラウト前面の減圧効果により、次の効果がある。

① 同じ注入流量の場合、同じ注入長のダクトを小さい注入圧で注入できる。

② 同じ注入圧の場合、同じ注入長のダクトに対し、大きい注入流量（大きい圧力損失）で注入でき、注入作業時間を短くできる。

③ 同じ注入流量の場合、同じ注入圧で注入可能長さを大きくできる。

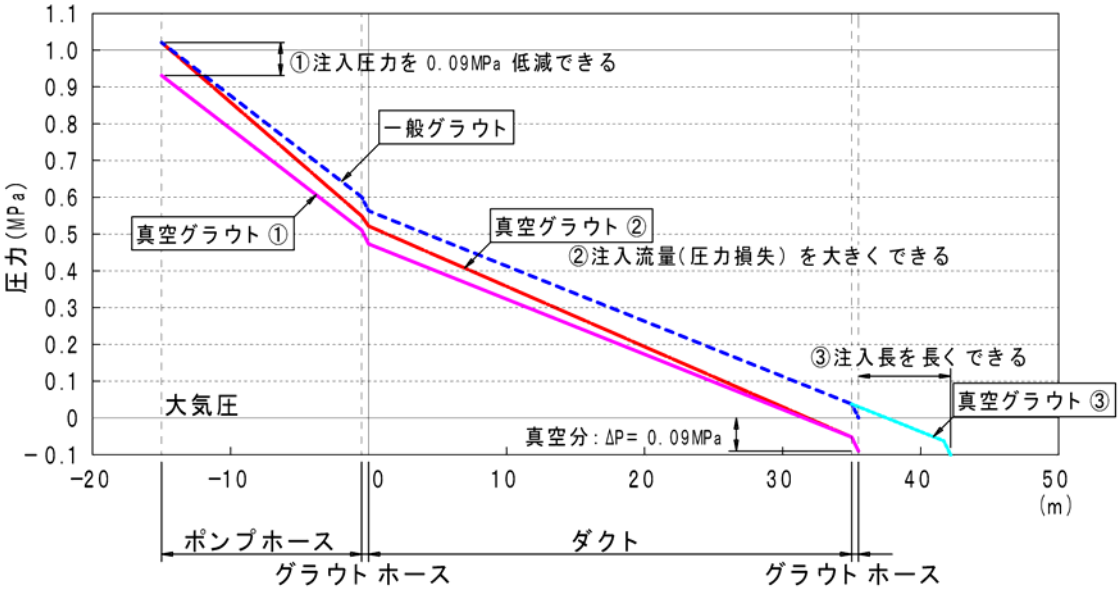


図-3.10　**注入時の圧力分布比較**

４．真空グラウト作業

４－１ 一般

■　**真空グラウトは、図-4.1 に示す作業フローにより作業を行うことを基本とする。**

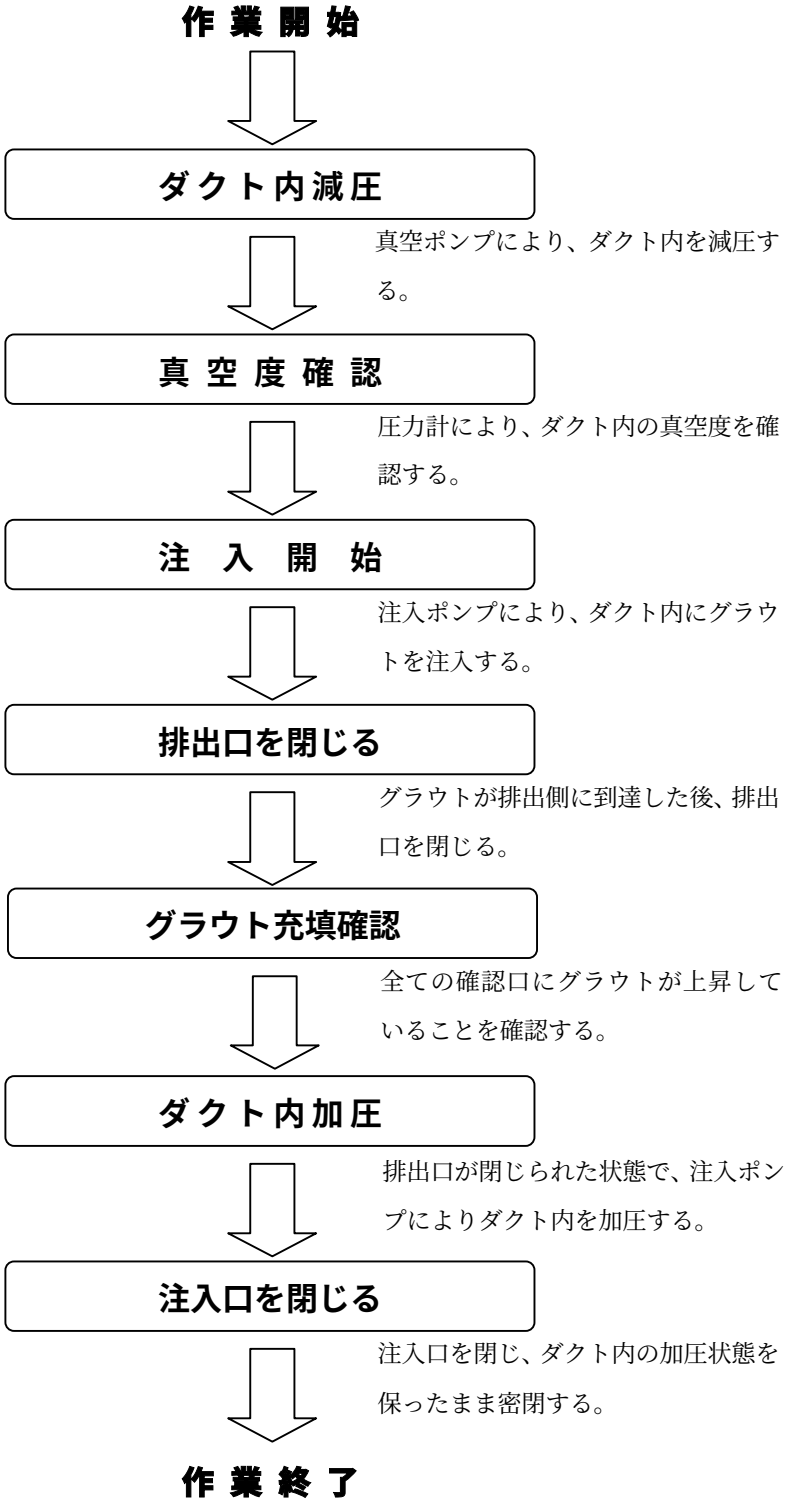


図-4.1　真空グラウト作業フロー

（解説）

真空グラウトにおいても、「PC 建協グラウトマニュアル」に記載されている項目、方法に従った確実なグラウト作業を行わなければならない。ただし、真空グラウトにおいては、グラウトを確実に充填するために、注入前の減圧および注入後の再加圧等、ダクト内の圧力状態に特に注意する必要があり、**図**-4.1 に示す作業フローに従って作業を行うことを基本とする。真空グラウトにおけるダクト内の圧力変化の計測事例を参考として**図**-4.2 に示す。この事例では、ＰＣ鋼材 12S12.7 の内径φ65mm のダクト（延長 105m）に、比較的粘性が高いグラウト（JP ロート流下時間が 16.9 秒）を注入した。なお、グラウト注入流量は、グラウト先端位置が 48.0mと 69.5mのときは 10ℓ/min であるが、105.2mのときは 5ℓ/min であり、注入流量の変化によりダクトの圧力損失が変化している。再加圧後の値は注入ポンプ停止後６分の値である。

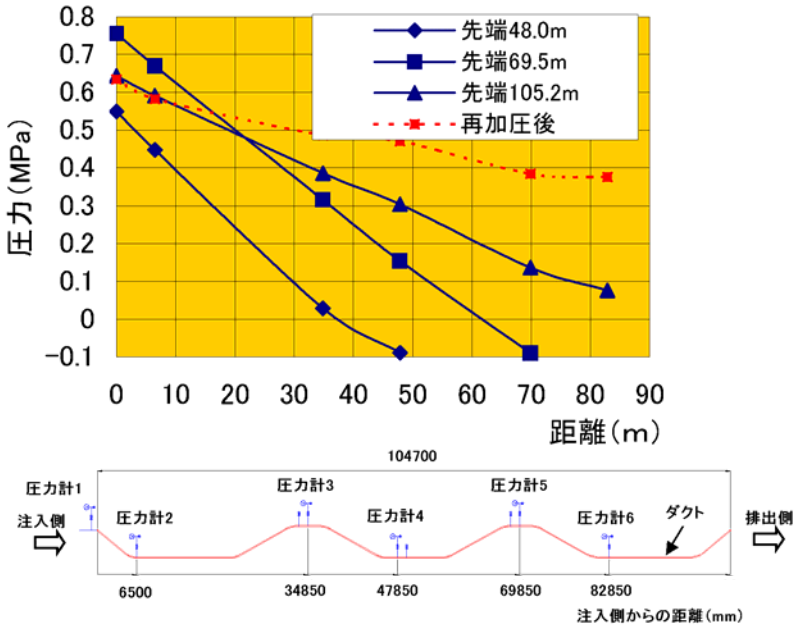


図-4.2 **ダクト内のグラウト圧分布の例**

作業フローの中で、真空グラウトに特有な真空度確認の手順について注意事項を **4－2** に示す。また、作業フローに従った、真空グラウトの標準的な注入作業手順を **4－3** に、真空グラウトの施工管理のために各作業段階で必要な確認事項を **4－4** に示す。

４－２　ダクト内の真空度確認

■　**真空グラウトでは、ダクト内にグラウトを注入する前にダクト内の真空度確認試験を行う。**

（解説）

真空グラウトではグラウトを注入する前に、ダクト内気圧を所定値（ゲージ圧：-0.09MPa 以下）まで低下させて、所定の真空度までの到達時間と真空ポンプを停止しても真空度が保持されることの確認を行う。

真空ポンプを使用した真空度確認試験の手順は以下の通りである。

① **真空ポンプの設置：**排出口のグラウトホースに真空ポンプを接続する。
② **確認口ホースの塞栓**：定着部グラウトキャップおよびダクト途中に設けた確認口ホースの先端を**３－３－３**の方法に従い塞栓する。さらに、注入口のバルブを閉栓し、ダクト内を密閉する。
③ **真空ポンプの作動**：真空ポンプを**３－３－１**の注意事項に留意して作動させ、密閉されたダクト内の空気を排出する。真空到達時間を計測するため、真空ポンプの作動し始めた時刻を記録する。
④ **真空度の確認**：真空ポンプユニットの真空計示度が低下するのを確認し、所定の圧力になるまでの時間を計測する。真空到達時間が**３－３－１**に示した計算値と比較して大幅に異なる場合もしくは所定の真空度に達しない場合は、ダクトからの漏れが想定されるため、原因を調査し是正を行う。
⑤ **真空保持の確認**：所定の真空度を達成後、真空ポンプを停止し、ダクトからの漏れが無く、所定の真空度が保持されることを確認する。

真空度確認試験では、真空ポンプの圧力計のみでダクト内の真空度確認を行えるが、真空保持確認の間に、注入口あるいは確認口のグラウトホースの変形状況からダクト内各位置での真空状況を確認することが望ましい。もちろん、各グラウトホースに圧力計を設置して圧力を直接確認してもよい。

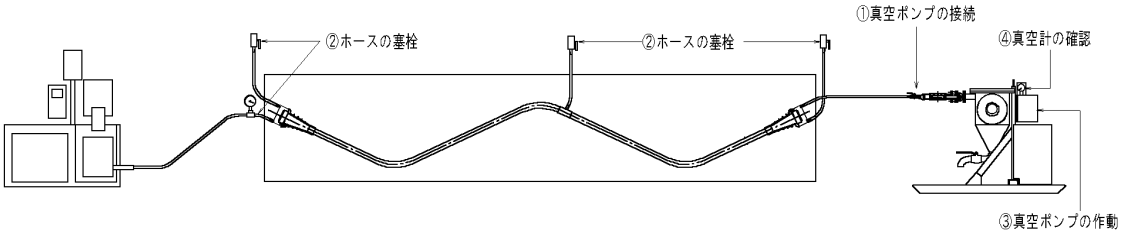


図-4.3 **真空度の確認手順図**

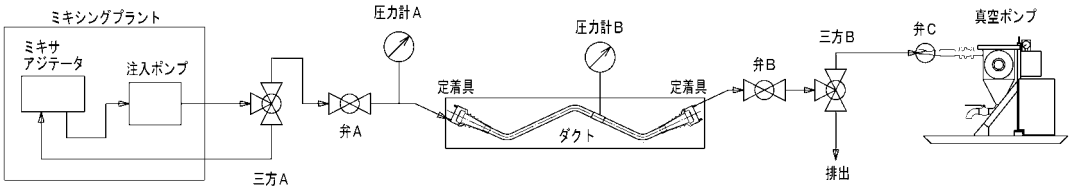
４－３　グラウト注入作業手順

■　グラウト注入時には、ダクト内を適切な圧力とするため、真空ポンプの作動、バルブの開閉等の手順に留意して作業する。

（解説）

真空グラウトにおける標準的なグラウト注入作業手順（盛替え注入がない場合、盛替え注入がある場合）と、グラウト確認において確認口にグラウトが上昇しない場合の排気作業の手順について以下に示す。なお、作業手順の記述の中では、遮断バルブを弁、三方バルブを三方と略称する。

（1）盛替え注入がない場合の標準作業手順



※　圧力計は必要に応じて設置すればよい。

図-4.4 グラウト設備・機器配置例（注入盛替えのない場合）

表-4.1　各種バルブ（弁）の初期状態

注入側三方 A	注入口弁 A	排出口弁 B	真空ポンプ弁 C	排出側三方 B
戻り側	閉	開	開	ポンプ

＜ダクト内減圧＞

① 真空ポンプを作動し、ダクト内気圧を所定値まで低下させる。真空ポンプユニットの圧力計により、ゲージ圧：-0.09MPa 以下が維持されることを確認する。

＜グラウト注入＞

② 弁 A を開けて、三方 A までを真空状態にした後、 三方 A を送出し側に切り替え、グラウトをダクト内に進行させる。

③ 注入中も真空ポンプを適宜作動させ、ダクト内をゲージ圧：-0.09MPa 以下に維持する。

④ 確認口ホースへのグラウトの上昇により、グラウトの進行状況を逐次確認する。

⑤ グラウトがダクト内に充填され、三方 B に達したら、弁Ｃを閉じ、三方 B を真空ポンプ側から排出側に切替える。その後真空ポンプを停止する。

⑥ 排出されるグラウトの質が安定してきたら、弁Ｂを閉じる。

⑦ 全ての確認口でグラウトが上昇していることを確認する。万が一グラウトが上昇してい

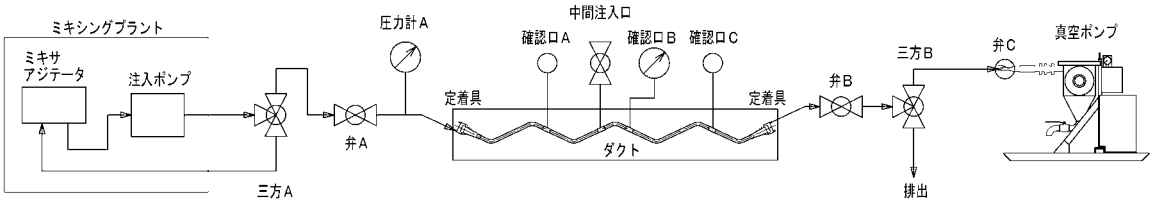
ない場合には（3）に示す手順により排気を行う。

＜ダクト内加圧＞

⑧ 注入ポンプを再操作することにより、ダクト内を加圧する。

⑨ ダクト内を加圧後、注入口弁Ａを閉じ、注入作業を終了する。

（2）盛替え注入がある場合の標準手順



※　圧力計は必要に応じて設置すればよい。

※　中間注入口の設置については**３－２－２**を参照。

図-4.5　**グラウト設備・機器配置例（盛替え注入を行う場合）**

＜ダクト内減圧＞

① 真空ポンプを作動し、ダクト内気圧を所定値まで低下させる。真空ポンプユニットの圧力計により、ゲージ圧：-0.09MPa 以下が維持されることを確認する。

＜グラウト注入＞

② 弁 A を開けて、三方 A までを真空状態にした後、 三方 A を送出し側に切り替え、グラウトをダクト内に進行させる。

③ 注入中も真空ポンプを適宜作動させ、ダクト内をゲージ圧：-0.09MPa 以下に維持する。

④ 確認口ホースへのグラウトの上昇により、グラウトの進行状況を逐次確認する。

＜盛り替え＞

⑤ グラウトが中間注入口まで到達したら、他の弁はそのままで（ダクト内の真空を維持したままで）、注入側の弁Ａを閉じ、三方Ａを戻り側に切り替えて注入ポンプを停止する。

⑥ 注入ポンプからのグラウト圧送ホースを、弁 A より中間注入口に付け替える。
（距離が長い場合は、**図**-4.5 のように中継の注入ポンプを設置するとよい。）
この時、中間注入口からダクト内への空気の流入を少なくするため、グラウト圧送ホースを、ホース先端までグラウトが充填された状態で中間注入口に付け替えるようにする。

⑦ 中間注入口の弁を開け、注入ポンプを作動し、グラウトをダクト内に進行させる。

⑧ グラウトがダクト内に充填され、三方 B に達したら、弁Ｃを閉じ、三方 B を真空ポンプ側から排出側に切替える。その後真空ポンプを停止する。

⑨ 排出されるグラウトの質が安定してきたら、弁Ｂを閉じる。

⑩ 全ての確認口でグラウトが上昇していることを確認する（万が一上昇していない場合には（3）に示す手順により排気を行う）。

＜ダクト内加圧＞

⑪ 注入ポンプを再操作することにより、ダクト内を加圧する。

⑫ ダクト内を加圧後、注入口弁Ａを閉じ、注入作業を終了する。

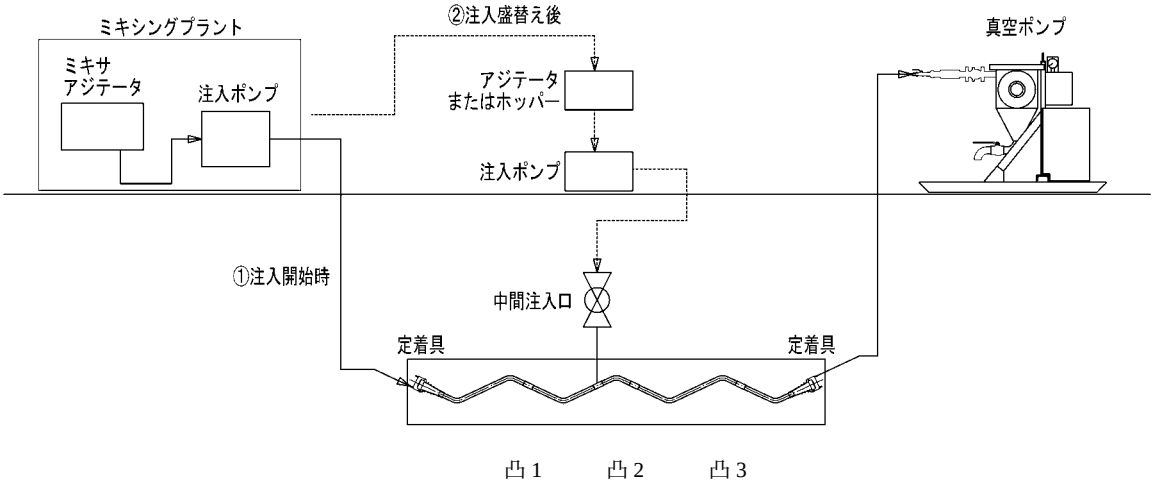


図-4.6 **中間注入ポンプの設置例**

（3）確認口にグラウトが上昇しない場合の作業手順

万一、確認口にグラウトが上昇していない場合には、ダクト内にかなりの残留空気が存在しているので、以下の手順により確認口を開放し、グラウト上昇を妨げている残留空気をグラウトと一緒に排出する。なお、この排気作業は、注入中の減圧されたダクト内へ外気を引き込まないように、グラウトが排出口まで到達し、排出口を閉じた後に行うことを基本とする。また、排気処置後は確認口を再度塞栓し、ダクト内の加圧作業を必ず行う。

＜確認口排気手順＞

① グラウトが上昇していない確認口の塞栓を開放する。塞栓の開放は、この段階ではグラウトが加圧されているため、徐々に行うことが望ましい。高圧キャップで塞栓されている場合には、栓の手前でホースを折り曲げ、栓撤去後に徐々に折り曲げを緩めて開放するのがよい。

② 残留空気が排出グラウトにより押し出され、確認口ホースがグラウトで充填されるのを確認して、再度確認口を塞栓する。ここでは、従来行われているホースの折り曲げ結束で止めてもよい。

４－４　確認事項

■　注入前、注入時、注入後の各作業段階において、真空グラウト特有の資機材およびダクト内の圧力等について確認し、グラウトが確実に充填されるように施工管理を行う。

（解説）

真空グラウトの施工管理における、注入前、注入時、注入後の確認事項をそれぞれ**表**-4.2、**表**-4.3、**表** 4-4 に示す。これらの表にはないが、グラウト材の試験等のグラウト施工に関する基本的な確認事項は、「PC 建協グラウトマニュアル」に従うものとする。

表-4.2 **注入前の確認事項**

№	項目・資機材名	留　意　点	備　考
1	確認口ホース	ダクトとの接続、端部処理（塞栓）	3-3-3 参照
2	グラウトキャップ	取付状態（コンクリートのろ・ボルト）	
3	真空ポンプユニット	電源、暖気運転、バルブ開コック	3-3-1 参照
4	圧力計	取付け（シール）、ゼロ点確認	3-3-2 参照
5	バルブ	各個所の切り替え状況（必要以外は閉）	4-3 参照
6	ダクト内真空度	真空到達時間・真空度保持、 漏出箇所の是正	4-2 参照

表-4.3 **注入時の確認事項**

№	項　　目	留　意　点	備　考
1	注入ポンプ	注入圧（異常な上昇をしていないか）	
2	真空ポンプ	真空度（所定の値を維持しているか）	
3	グラウトの進行	流量計、確認口へのグラウト上昇	
4	排出グラウト	グラウト濃度（注入口の濃度と同一か）	
5	確認口への グラウト上昇	全ての確認口へのグラウト上昇 （不全の場合、排気作業）	
6	ダクト内加圧	排出口バルブを閉じた後の加圧の実施 （ホース接続部等からの漏れはないか）	

表-4.4 注入後の確認事項

№	項　　目	留　意　点	備　考
1	グラウト漏れ	グラウトキャップ、グラウトホース接続部等 （ダクト内の加圧状態が保持されているか）	
2	機械・器具の 後片付け	圧力計、真空ポンプユニット等 （グラウト硬化前に取り外し、清掃）	

付 録

真空グラウトに関する発表論文集

真空ポンプを併用した PC グラウト注入工法について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
プレストレストコンクリート Vol.45,No.1,Jan. 2003，pp.97～104

真空ポンプを併用した PC グラウト注入（Ⅰ，Ⅱ期試験）について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
土木学会　第 58 回年次学術講演会概要集，pp.639～640

真空ポンプを併用した PC グラウト注入（Ⅲ期試験）について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
土木学会　第 58 回年次学術講演会概要集，pp.641～642

PC グラウトにおける真空ポンプ併用の効果について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
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，pp.41～44

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） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 50
プレストレストコンクリート（投稿中）

研究報告

真空ポンプを併用した PC グラウト注入工法について

SEEE 協会グラウト特別分科会*

1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物におけるグラウトには，PC 鋼材を腐食から保護する，PC 鋼材と部材コンクリート間の一体性を確保するといった性能が求められ，より確実な充填方法が求められている。

諸外国では，PC グラウトに真空ポンプを併用する方法が実際に使用されており，従来のグラウトを改善する有効な方法であると考えられる。そこで，SEEE 協会ではグラウト特別分科会を設置し，フランスにおける真空ポンプ併用注入の実際を調査するとともに，その効果を検討するために注入試験を行っている。

調査は，フランスにおける真空ポンプ併用注入に関する文献を収集するとともに，現地に人員を派遣し，作業状況を視察した。

注入試験は，現在までに，Ⅰ期，Ⅱ期の 2 回実施した。Ⅰ期試験は，注入方法を確認することを目的とし，フランスで実際に使用されている真空ポンプを用いた注入作業を行い，注入状況を観察した。Ⅱ期試験は，真空ポンプを併用する効果を明確にすることを目的として行った。ここでは，グラウトの充填状況を直接評価する方法としてグラウト表面における空隙面積率，硬化後のグラウト充填体積率という新たな指標を用い，測定を試みた。

以下に，これまでの活動結果を報告する。

2. 真空ポンプ併用注入工法とフランスでの現状

2.1 真空ポンプ併用注入の原理 [2)]

プレストレストコンクリートのグラウト注入において，従来行われてきた通常の注入方法ではシースの片側からグラウト材が加圧されることにより注入され，シース内にある空気を押出しながら注入が進行する。一般の起伏を有したケーブル配置では，シース内に空気が残留し，空隙が発生してしまう可能性が高いと考えられる。その対応策として，日本では高粘性型のグラウト材が開発され，シース内を全断面でグラウトが流れていく現象を生じさせようとしている。これに対し，真空ポンプを併用した注入工法は，発生する空隙自体を縮小させ，充填率を向上させることを目的としている。

真空ポンプ併用注入工法では，シース内を密閉し，グラウト注入の前に，排出側の端部から真空ポンプによってシース内を減圧して真空状態にする。その後，注入側から注入ポンプにより，グラウトを加圧注入する。注入前の真空状態（現実的に完全真空状態を作り出すことは不可能）は，注入中も維持し，シース内部の空気がきわめて稀薄な状態でグラウトを注入する。さらに，注入が終了すれば，排出側バルブを閉じ，シース内グラウトを加圧する。

これにより，充填完了後の空気の残留量を格段に少なくできると考えられる。シース内をグラウトが流れている時，空気を巻き込むような現象が想像されるが，真空状態では空気自体が稀薄であり，残留する空気量自体がきわめて少なくできる。また，仮に未充填部が生じたとしても，従来のシース内が大気圧の状態で注入されたものに比べれば，未充填部を縮小できると考えられる。

一方，注入作業における「注入しやすさ」という点では，従来の方法が注入側からの「押す力」だけで注入が行なわれていたのに対し，つねに真空ポンプによる「引く力」を付加して注入が行われるという効果が期待できる。すなわち，長尺ケーブルにおける，注入圧の低減効果が期待できる。

また，シース内部に水分があったとしても，減圧により水分の気化が促進され，注入時の水分の影響が減少することも期待できる。

真空ポンプを併用したグラウト注入には，以上のような効果が期待でき，従来のグラウト注入を改善できると考え，本技術の研究に着手した。

2.2 フランスでの現状

真空ポンプを併用したグラウト注入工法は，欧州にて開発されたものであり，当協会で研究している技術は，フランス GTM Construction 社より真空ポンプと共に導入したものである。

フランスにおいて，真空ポンプ併用注入はとくに PC 鉄道橋で用いられ，現在 S.N.C.F（フランス国有鉄道）では，プレストレストコンクリート橋のグラウト型 PC ケーブル，すべてにこの工法の採用を義務付けている。

当協会で調査したところ，近年では T.G.V（新幹線のよ

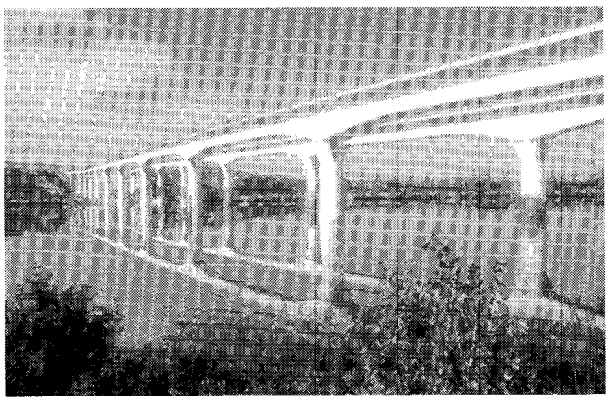


写真 - 1　TGV Avignon 高架橋

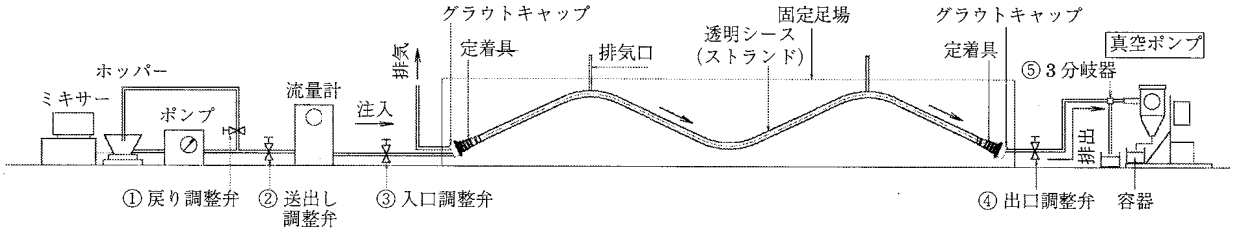


図-1　真空ポンプ併用注入グラウト試験回路図

うな高速鉄道）のために建設されたAvignon高架橋（写真-1）において，大容量ケーブルに対してこの工法が使用されたのを確認している。本橋では12S15.7（ϕ15.7はSuper strandと呼ばれϕ15.2より引張荷重が高い欧州では一般的な7本よりPC鋼より線）の内ケーブルと，19S15.7，27S15.7および最大で37S15.7の外ケーブルで使用され，最大ケーブル長は約280 mにも及んでいる。

2.3　真空ポンプ注入回路と作業方法

本試験の特徴である真空ポンプは排出側に設置する。図-1に本試験の回路図を示す。

真空ポンプユニットは前述のとおり，フランスのGTM Construction社より工法技術と共に導入したもので，真空ポンプにタンクやフィルター，センサー等を組み合わせたものである。真空ポンプを用いないケースのものに関しては真空ポンプに接続する回路を排出口として，注入後にグラウト材を排出させた。写真-2に真空ポンプユニットを示す。

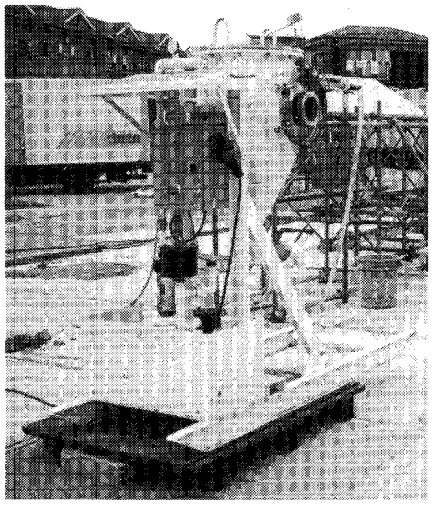


写真-2　真空ポンプユニット

図-1に示すように，回路には①②③④⑤の5つの弁類を設置してあり，実験進行と共にその弁の開閉を行い，真空状態でのグラウト充填を行う。

本試験で用いた，グラウト注入時のシース内気圧は0.1barである。

各種弁の初期状態と，グラウト注入時の操作手順は以下のように行っている。

(1) 各種切替え弁の初期状態

表-1　切替え弁の初期状態

①戻り調整弁	②送出し調整弁	③入口調整弁	④出口調整弁	⑤3分岐器
開	閉	閉	開	真空ポンプ側

(2) グラウト充填時の弁操作

a) 真空ポンプを作動させ，シース内気圧を所定の気圧まで低下させる。真空度の確認は，真空ポンプユニットの圧力計により行う。

b) ③入口調整弁を開け，②送出し調整弁を開け，①戻り調整弁を閉じる。グラウトをシース内に進行させ，グラウトの流動状況を観察・記録する。

c) グラウトがシース内に充填され，真空ポンプの観察用のぞき窓まで到達したら，⑤3分岐器を真空ポンプ側から排出側に切替える。真空ポンプを停止する。

d) 排出されるグラウトの質が一定してきたら，④出口調整弁を閉する。その後，充填ポンプを操作することにより，グラウトを加圧する。

e) ③入口調整弁を閉じ，①戻り調整弁を開け，②送出し調整弁を閉じる。

3. 注入試験

3.1　試験概要

本試験はこれまでに2回実施し，Ⅰ期試験，Ⅱ期試験と呼んでいる。

Ⅰ期試験は，本邦初の真空ポンプ併用注入であり，フランスで実施されている注入作業を再現し，注入状況を観察することを目的として実施した。また，通常行われている真空ポンプを用いない注入も実施し，その違いを観察し比較した。

Ⅱ期試験は，グラウトに真空ポンプを併用することの違いを明確にするため，硬化後のグラウトから試験体を採取し，空隙率等を計測し，真空ポンプを併用するグラウトの充填性評価を行うことを目的として実施した。Ⅰ期試験では，注入状況，グラウトの流れ方などに違いは見られたものの，その効果を定量的に把握する必要があると考えたものである。

3.2　Ⅰ期試験

3.2.1　試験方法

Ⅰ期試験は，真空ポンプの使用方法の確認と共に通常のグラウト注入と比較して，真空状態でのグラウト注入状況，

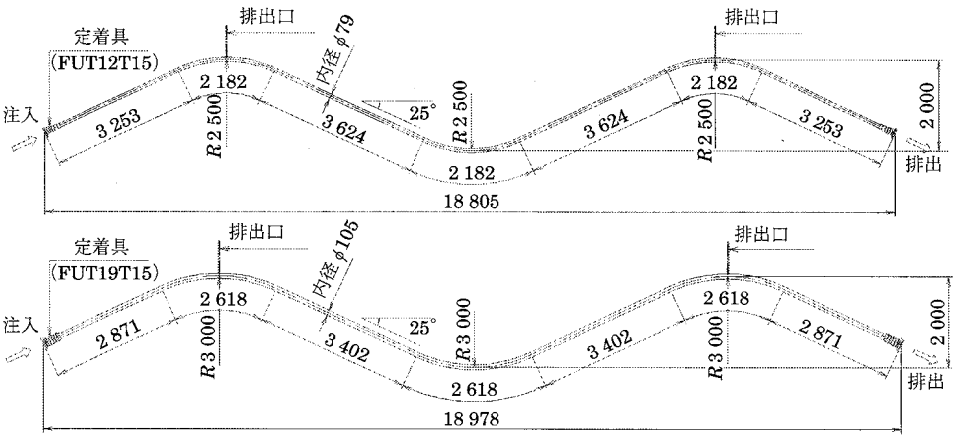


図 - 2　試験体形状図

充填状況を比較する目的として行った。

シースは透明のものを用い，グラウト注入中のグラウトの流れる状況を観察した。シース内には所定のPC鋼材を配置し，定着具も実際と同様に組み立てた。

シースについては，事前に耐圧試験を行い，シース内を真空にしても潰れないことを確認している。また，耐圧試験により，グラウトホースはスプリングホースを用いた。

シース形状を図 - 2 に示す。とくに下り勾配での充填状況を確認するために凸部を2つ配置した。シースの勾配は，真空グラウトの違いがより明確になると考え，25°と比較的急なものとした。凸部の頂部には排気管を設置したが，バルブ，圧力計を取り付け，グラウト注入中は真空ポンプの有無にかかわらずすべて無排気で行うこととした。

グラウト充填作業については，真空ポンプ使用に関する事項以外は，PC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（以下，「グラウトマニュアル」）」で記述されている事項を基本とした。

試験における観察項目は，以下のとおりである。

①グラウト充填前
- a）各種グラウト品質管理試験（流動性試験，ブリーディング率，膨張率）
- b）ケーブル形状の測定および接続状況の確認

②グラウト充填時
- a）シース内のグラウト充填状況（グラウト先端面の傾斜角，充填速度）
- b）定着部－シース，シース同士でのグラウト漏れの有無
- c）シース内の空気の残留状況
- d）グラウトポンプ，真空ポンプの圧力

③グラウト硬化後：試験体の切断，目視による。
- a）ケーブル（偏向部および定着具付近）内グラウト充填状況
- b）グラウトキャップ内グラウト充填状況

3.2.2　試験ケース

試験ケースは，鋼材種類（12S15.2，19S15.2）と真空ポンプ使用の有無で条件を振り分けた。試験ケースを表 - 2 に示す。

表 - 2　試験ケース

試験名	試験条件		
	ケーブルとシース	シース内気圧	その他の条件<共通>
No.1	12S15.2	0.1 bar	定着間距離：20 m 最大高低差：2.0 m 最大勾配：25 deg 定着具：SEEE/FUT シース：透明シース グラウト：ノンブリーディング高粘性型
No.3	φ 90 mm	1.0 bar	
No.5	t = 5 mm	0.1 bar	
No.2	19S15.2	0.1 bar	
No.4	φ 115 mm	1.0 bar	
No.6	t = 5 mm	0.1 bar	

3.2.3　試験結果

以下に試験結果を示す。

①真空ポンプは日本のグラウト材にも使用可能であることが確認された。

②真空ポンプを使用した12S15.2の場合，下り勾配にかかわらずグラウトがPC鋼材の中および上側を引っ張られていくかのように流れる現象が見られた。この状況を図 - 3 に示す。

③19S15.2の場合には，②のような現象は見られなかった。

④真空ポンプ有無にかかわらず，下り勾配を25°と急な勾配としたこともあり，先流れ現象が発生し，大きな空隙ができた。しかし，真空ポンプを用いた場合，グラウト先端が水平部に達し，シースがグラウトにより閉塞した瞬間，空隙は急速に縮小した。グラウト注入後に確認のため頂部で排気を行ったが，空気の排出が見られた。

⑤グラウト硬化後，シースを剥いでグラウト表面を観察した。真空ポンプを使用した場合，気泡はほとんど確認できなかった。真空ポンプを使用しない場合，小さな気泡が多数確認できた。しかしながら，注入状況としては，おおむね良好であった。

⑥注入ポンプ圧力を同一として注入したが，真空ポンプを使用した場合，注入速度を上げることとなり，注入時間が約半分であった。

3.2.4　考　　察

①真空ポンプの使用の有無により，グラウトの充填状況は違っていた。また，鋼材の種類によっても違いが見られた。これはグラウト充填に注入速度，真空度と

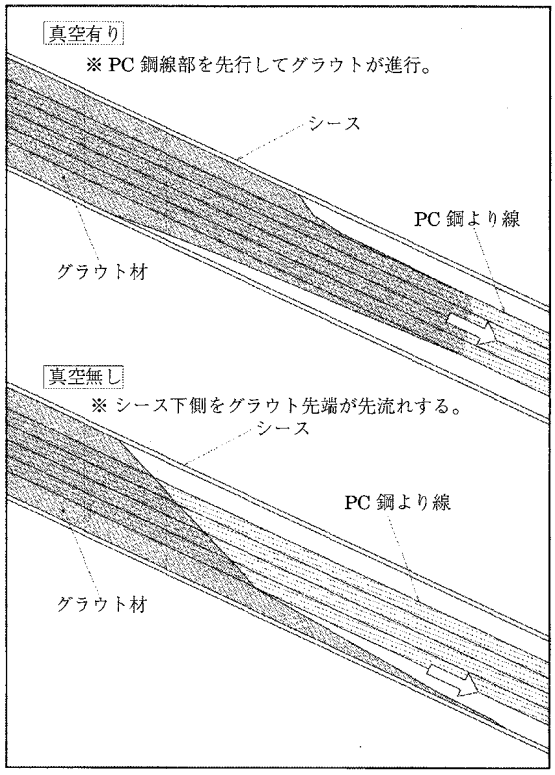


図 - 3　注入時性状概念図

空隙率に相関関係があるものと推測される。

②真空ポンプを使用した 12S15.2 の試験体では，空隙部（シース上側）および PC 鋼材の中をグラウトが先走る傾向が見られた。グラウトの挙動はシースと鋼材，もしくは鋼材と鋼材の空きが影響し空隙の大きさも影響すると考えられる。

③真空ポンプを使用したものは内部にエアのきわめて少ない状態でグラウトを注入するため，充填完了後のエア残留・エア溜りの量は確実に少なくなるものと考えられる。

④注入時間を短縮できるため，グラウト材のコンシステンシーも損なわれず，長大ケーブルへの適用が可能となると考えられる。

3.3　Ⅱ期試験

3.3.1　試験方法

Ⅱ期試験では，ケーブル容量 12S15.2 を対象とし，シースとしては，グラウトの注入状況を確認するため ϕ75 mm の透明シース（スプリングホース）を用いた。ケース 1～3 では，試験体延長を約 10 m とし，山数は一山＋水平部とした。勾配は 15°および 10°とした。図 - 4 に試験体形状および試験条件を示す。また，写真 - 3 に試験体全景を示す。

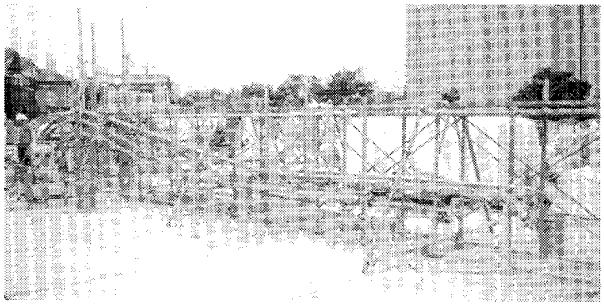


写真 - 3　試験体全景

また，注入は無排気で行い，注入後も一切排気は行わないこととした。

硬化後のグラウト試験体の試験項目を以下に示す。

①グラウト表面における空隙面積率

②グラウト充填体積率

③圧縮強度試験

④ PC 鋼線素線間のグラウト重量測定

硬化後の試験体測定部位を図 - 5 に示す。

上り勾配部をⅠ，ケーブル凸部をⅡ，下り勾配部をⅢ，下り勾配部の直線変化部を，とし，上述の各ケースについてⅠ～Ⅳ部位から約 450 mm のグラウト試験体を採取した。

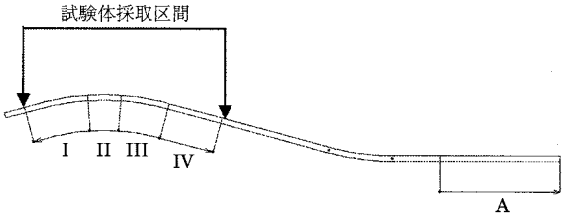


図 - 5　硬化後の試験体測定部位

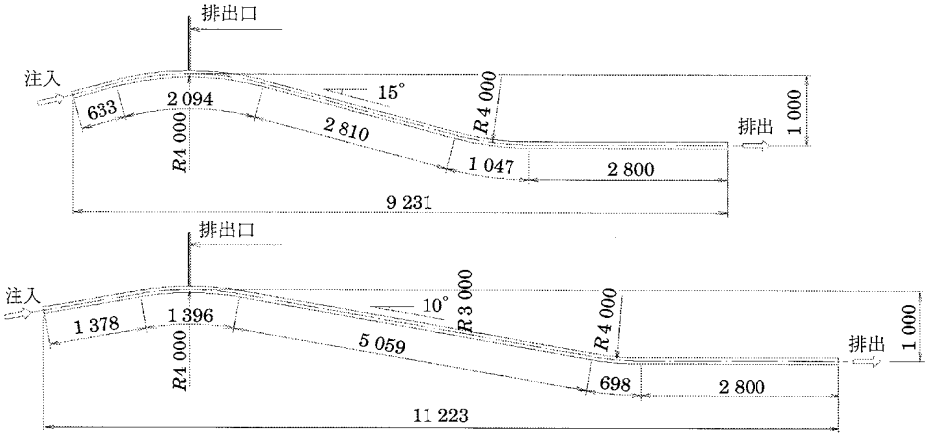


図 - 4　試験体形状図

また，水平区間部Aには PC 鋼材を配置せず，この部位から真空状態によって成形されたグラウト圧縮強度用供試体を3本採取した。

3.3.2 試験ケース

試験ケースを**表 - 3** に示す。グラウト材（混和剤）は，ノンブリーディングタイプ高粘性型の「ポゾリス GF1720」を使用し，水セメント比は *W/C*=43 %とした。また，使用した PC 鋼より線は 12S15.2（ϕ 15.2 mm × 12 本）とした。試験は，ケース2のシース内気圧 0.1bar，下り勾配 15°を基本とし，シース内気圧を 1.0 bar（真空なし）のものをケース1，下り勾配 10°をケース3とした。

表 - 3　Ⅱ期試験ケース

試験名	試験条件			
	シース内気圧	勾配 (deg)	延長 (m)	その他の条件 <共通>
No.1	1.0 bar	15	9.4	定着具・緊張：なし 最大高低差：1.0 m 注入流量：10 ℓ/min シース：スプリングホース ϕ 75 グラウト：ノンブリーディング高粘性型
No.2	0.1 bar			
No.3		10	11.3	

3.3.3 試験結果

(1) 注入状況の観察結果

注入状況を観察した結果，真空ポンプを併用したケース2，3と真空ポンプを使用しないケース1において，グラウト注入の進行状況に大きな差異が観察された。真空ポンプを用いないケースでは通常の高粘性型グラウト材注入状況のように，進行グラウト材先端がシース断面全体で押すように注入されていた。ただし，本試験においては，シース内部の PC 鋼より線束の周囲を伝い，PC 鋼より線の内部（素線間）は比較的遅れて充填されていた。

一方，真空ポンプを併用したケース2，3では，真空ポンプにより，PC 鋼より線の内部（素線間）のグラウト先端が引っ張られるように進行する。また細部を観察すると，PC より線束の内部から外に向かい素線間からグラウト材がにじみ出て，その周りの空隙部より先に PC 鋼より線内部からグラウト材が進行していくことが観察された。

(2) グラウト供試体の圧縮強度

ケーブル水平区間部Aから採取された供試体（ϕ 75 mm）のグラウト圧縮強度（材齢 28 日）を**表 - 4** に示す。真空ポンプの使用の有無に関わらず，すべての供試体で 63N/mm² 以上の強度が確認できた。しかしながら，各強度値のばらつきも大きく，真空ポンプ使用のによる差違は見いだせなかった。

表 - 4　グラウト供試体の圧縮強度結果

単位（N/mm²）

	1	2	3	平　均
ケース1	63.0	68.8	67.3	66.4
ケース2	63.8	66.4	70.8	67.0
ケース3	66.8	72.5	73.5	70.9

(3) グラウト表面における空隙面積率

グラウト表面における空隙面積率の測定は，グラウト試験体の透明シースを剥ぎ取り，表面に生じた空隙の面積をスケッチした。この表面に生じた空隙の面積をグラウト全周の表面積で除した値を，グラウト表面における空隙面積率とした。

グラウト試験体の一例として，ケース1－Ⅳのグラウト試験体を**写真 - 4** に示す。

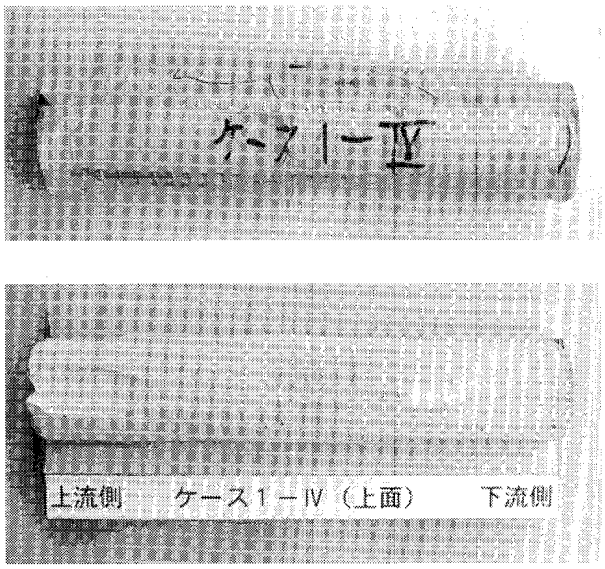


写真 - 4　グラウト試験体（ケース1－Ⅳ）
（下は透明シースを剥ぎ取ったもの）

ケース1～3の全スケッチおよび表面空隙面積率を**図 - 6～図 - 8** に示す。

真空ポンプを使用しないケース1のグラウト表面空隙率において，今回の試験ではエア抜き作業を行っていないため，下り勾配直線部（Ⅳ）で 6.62 %と比較的大きな表面空隙率が生じたと考えられる。その他の部位（Ⅰ～Ⅲ）においては 0.7～0.2 %と非常に小さい表面空隙率となり良好な充填が確認できた。

真空ポンプを使用すると，シースの凹凸のすみずみまでグラウトが行きわたっており，ケーブル形状のどの部位においても（Ⅰ～Ⅳ），0.05 %以下の表面空隙率となった。

(4) 硬化後のグラウト充填体積率

グラウト硬化物はグラウトおよび空隙により構成されると考え，グラウト，および空隙の体積をグラウト硬化物全体の体積で除した値を，グラウト充填体積率，グラウト空隙体積率とした。

測定は，**図 - 9** に示すように，グラウト試験体から，グラウト片を洗い流すことで，透明シース，PC 鋼材の質量および体積を測定し，下式により算出した。

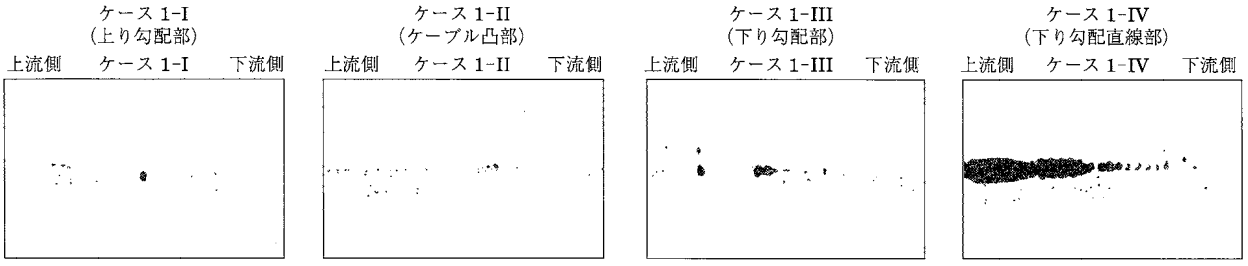
グラウト空隙体積率を α とすると，

$$\alpha = Vvoid / (Vg + Vvoid)$$

ここで，

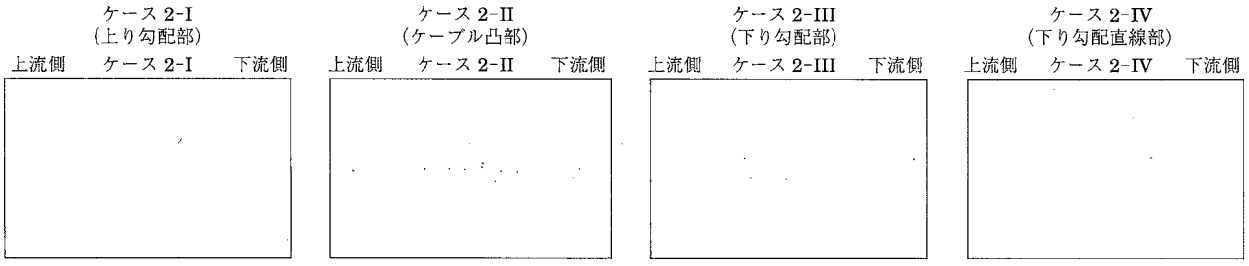
$Vvoid$：グラウト試験体の空隙体積（cm³）

$$= Vall - Vs - Vpc - Vg$$



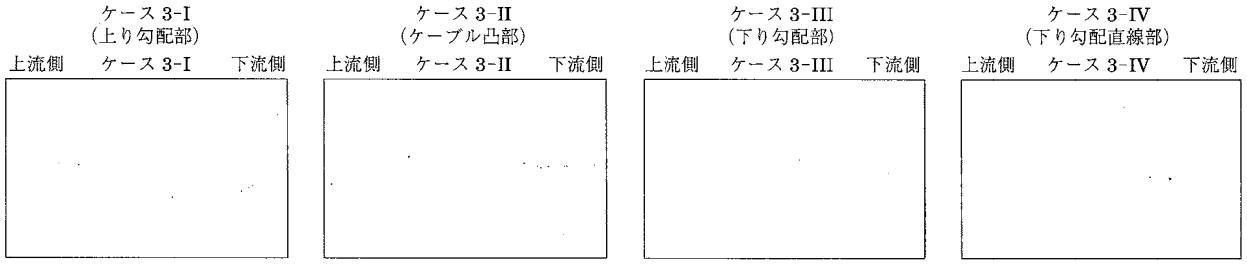
表面空隙面積率 0.20 % 0.16 % 0.73 % 6.62 %

図 - 6 グラウト表面における空隙面積率（ケース 1）



表面空隙面積率 0.00 % 0.05 % 0.01 % 0.01 %

図 - 7 グラウト表面における空隙面積率（ケース 2）



表面空隙面積率 0.30 % 0.04 % 0.00 % 0.01 %

図 - 8 グラウト表面における空隙面積率（ケース 3）

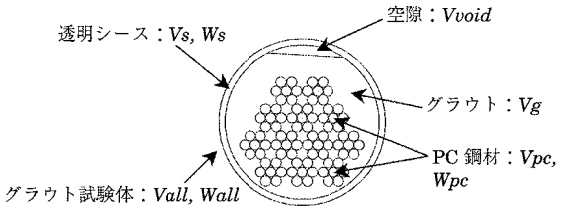


図 - 9 グラウト充填体積率の測定

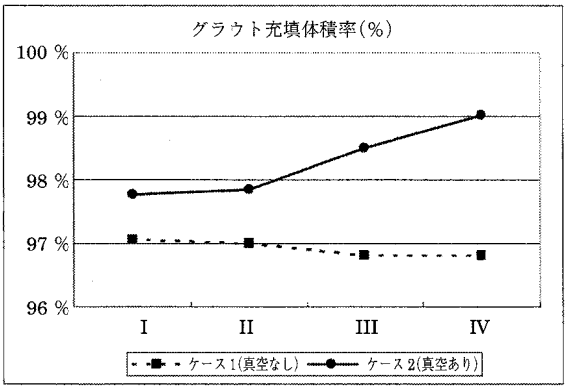
Vg ：グラウト体積（cm³）
　　＝（$Wall - Ws - Wpc$）／γg
$Vall$ ：グラウト試験体の全体積（cm³）
Vs ：グラウト試験体の透明シースの体積（cm³）
Vpc ：グラウト試験体の PC 鋼材の体積（cm³）
$Wall$ ：グラウト試験体の全質量（kg）
Ws ：グラウト試験体の透明シースの質量（kg）
Wpc ：グラウト試験体の PC 鋼材の質量（kg）
γg ：グラウトの単位体積質量（kg／m³）
　　：グラウト試験体から採取されたグラウト片の実測値とした。

これから，グラウト充填体積率を β とすると

$\beta = 1 - \alpha$

となる。

単位長さ 1 m あたりのグラウト体積測定結果およびグラウト充填体積率一覧を表 - 5 に示す。また，真空ポンプの効果を見るためケース 1 とケース 2 の充填体積率を比較し



ケーブル形状図

図 - 10 グラウト充填体積率の比較（真空ポンプの効果）

表 - 5　グラウト体積測定結果およびグラウト充填体積率一覧（単位長さ 1 m 当り）

		グラウト試験体全体積 (cm³) *Vall*	透明シース体積 (cm³) *Vs*	PC 鋼材体積 (cm³) *Vpc*	グラウト体積 (cm³) *Vg*	空隙体積 (cm³) *Vvoid*	グラウト単位体積質量 (kg/m³) γg	グラウト空隙体積率 (%) α	グラウト充填体積率 (%) $1-\alpha$
ケース1	Ⅰ	6 632.4	1 946.8	1 686.6	2 910.8	88.2	1.931	2.94	97.06
	Ⅱ	7 576.4	2 987.3	1 692.3	2 809.7	87.1	1.928	3.01	96.99
	Ⅲ	6 719.0	2 012.8	1 680.5	2 929.4	96.4	1.929	3.19	96.81
	Ⅳ	6 692.4	2 061.5	1 670.4	2 866.2	94.3	1.926	3.19	96.81
ケース2	Ⅰ	6 678.2	1 932.4	1 684.7	2 993.0	68.1	1.940	2.22	97.78
	Ⅱ	7 644.8	2 942.6	1 682.9	2 954.2	65.1	1.938	2.16	97.84
	Ⅲ	6 760.2	2 003.4	1 691.6	3 019.3	45.9	1.941	1.50	98.50
	Ⅳ	6 775.4	2 003.9	1 683.4	3 057.9	30.1	1.937	0.98	99.02
ケース3	Ⅰ	6 711.5	1 999.7	1 692.8	2 952.9	66.1	1.947	2.19	97.81
	Ⅱ	7 608.0	2 987.1	1 698.7	2 855.6	66.6	1.945	2.28	97.72
	Ⅲ	6 699.8	2 030.0	1 679.5	2 936.6	53.6	1.941	1.79	98.21
	Ⅳ	6 634.3	2 008.4	1 665.3	2 891.5	69.2	1.941	2.34	97.66

PC 鋼材素線間のグラウト体積とし，単位長さ 1 m 当たり

た結果を図 - 10 に示す。

真空ポンプを使用しないケース 1 においても充填体積率は 97 %程度で充填は良好と思われる。しかしながら，真空ポンプを使用することで充填体積率は 97.8 %～99.0 %まで増加する傾向になった。

(5) PC 鋼材素線間のグラウト体積

グラウト試験体から 7 本より PC 鋼より線 15.2 mm を 12 本採取し（**写真 - 5**），体積（*Vpc*1）を測定した後，それぞれをほどいて素線状態にし（**写真 - 6**），再び体積（Vpc2）を測定した。その体積差（*Vpc*1 － *Vpc*2）を PC 鋼材素線間のグラウト体積とし，単位長さ 1 m あたりの体積一覧を**表 - 6** に示す。また，真空ポンプの効果を確認するため，ケース 1 とケース 2 の PC　鋼材素線間のグラウト体積を**図 - 11** に示す。

ケーブル形状のどの部位（Ⅰ～Ⅳ）においても PC 鋼材素線間のグラウト体積は真空ポンプを使用した場合の方が大きくなった。これは前述した真空ポンプを使用することにより，狭小な PC 鋼材素線間にグラウトが充填されたためであると考えられる。

3.3.4　考　　察

本試験では，高粘性タイプのグラウト注入において，真

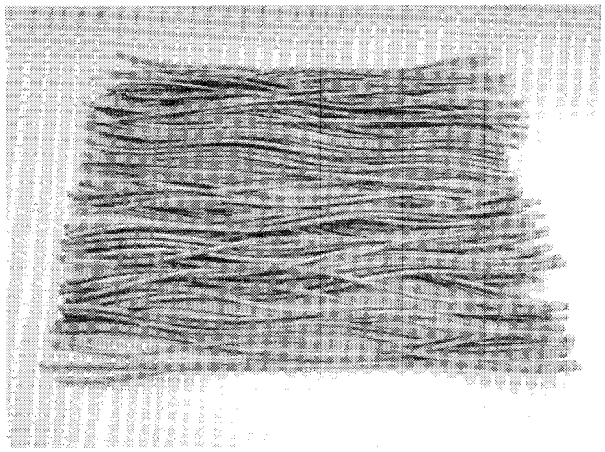


写真 - 6　PC 鋼材素線採取

表 - 6　PC 鋼材素線間のグラウト体積一覧
（単位長さ 1 m当り）　　単位 (cm²)

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	平均
ケース 1	91.9	93.6	85.5	80.0	87.8
ケース 2	96.0	96.3	89.1	86.9	92.1
ケース 3	93.3	93.8	92.5	87.0	91.7

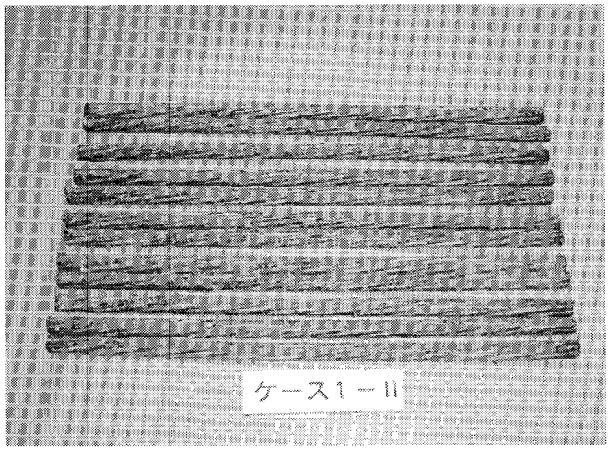


写真 - 5　PC 鋼材採取（15.2mm－12 本）

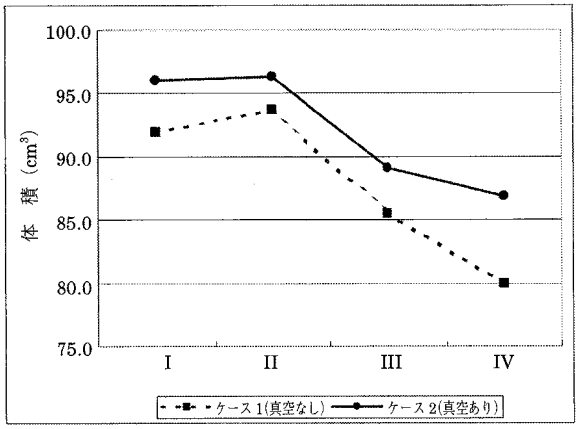


図 - 11　PC 鋼材素線間のグラウト体積

空ポンプを併用した場合のグラウトの注入充填状況を観察し以下のことがわかった。

①真空ポンプを使用しない場合，無排気で注入したにもかかわらず，頂部排気管付近まで完全に充填されており，高粘性タイプグラウトの効果が確認された。しかし，下り勾配部支点付近に比較的大きな気泡が見られた。

②真空ポンプを用いた場合，上記のような気泡はまったく見られず，このような気泡の発生をほぼ完全に防止できると思われる。

③真空ポンプを使用することによって，グラウト表面における空隙面積率は，0.05 %以下となった。グラウト充填体積率においては，97.8～99.0 %となった。これより，ほぼ100 %に近いグラウト充填が可能であると考えられる。また，真空ポンプを使用しない場合においても，グラウト充填体積率は97 %であった。

④真空ポンプを併用したグラウト注入では，グラウトはPC鋼材の素線間が先行して充填される様子が観察された。この注入状態の概念を，図 - 12 に示す。PC鋼線素線間にも多くのグラウトが入っており，真空ポンプを併用することの効果であると考えられる。

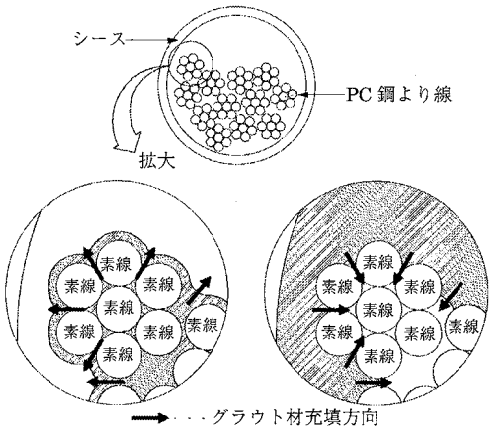


図 - 12　グラウト注入状況概念図

4. ま と め

Ⅰ期，Ⅱ期試験の結果，真空ポンプを用いない場合，PC建協グラウトマニュアルに従って行ったグラウト注入は，とくに大きな未充填区間が残ることもなく，おおむね良好な充填状態であった。ただし，本実験の中では排気口によるエア抜き作業を行わなかったためPC鋼材が露出するほどではないが，比較的大きな気泡が残留する場合が見られた。

真空ポンプを併用すると，このような気泡の残留はまったく見られなかった。グラウト表面における空隙面積率，硬化後のグラウト充填体積率という新たな指標を用い測定を試みた結果，グラウト充填率も向上し，PC鋼材の素線間にもより多くのグラウトが充填できることが確認できた。真空ポンプの併用はPCグラウトをより確実に充填するための有力な手法であると考えられる。

5. あ と が き

SEEE協会グラウト特別分科会は，平成12年末に組織され，PCグラウト技術の改善を目標としている。メンバーは主にSEEE協会会員各社の若手技術者により構成され，参加各位の積極的な関与と，活発な議論により活動している。

これまでに2回の試験を実施し，ようやく本報告を提出することができたが，これは各自の仕事の合間を縫って行った結果であり，本報告が今後のPCグラウト技術の向上に役立てば幸いである。

なお，本研究はこれで終了するものではなく，現在長大ケーブルを想定した第Ⅲ期試験を計画している。本活動をより充実したものとするためにも，多くの方々からご意見，ご指導を頂ければと思っている。

最後に，メンバーを派遣して頂いているSEEE協会会員各社とこのような場を提供いただいた(株)エスイー，SEEE協会の皆様に感謝の意を表する次第である。

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，1999

2) Injection sous vide des gains des ouvrages en beton precontrain de la Ligne Nouvelle a Grande Vitesse Paris-Sud-Est (TGV)，C.Trufandier, S.N.C.F／GTM Construction 社よりの入手資料

*記：SEEE協会グラウト特別分科会・真空ポンプWG
川浦　順一（住友建設㈱土木本部 技術部）
多田　友也（日本高圧コンクリート㈱ PC事業部東京支社 技術部）
西須　稔　（オリエンタル建設㈱東京支店 技術部）
藤井　祐紀（大成建設㈱土木本部 土木設計第一部 橋梁設計室）
河田　洋志（㈱ エスイー 技術本部 工務部）

【2002年11月21日受付】

真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入試験（Ⅰ，Ⅱ期試験）について

ＳＥＥＥ協会（ﾋﾟｰｼｰ橋梁）正会員　○牧　　大樹　（ﾋﾟｰｴｽ三菱）正会員　前田　文男
ＳＥＥＥ協会（安部工業所）正会員　　今尾　勝治　（日本高圧ｺﾝｸﾘｰﾄ）　　都倉　幹男

１．はじめに

プレストレストコンクリート構造物におけるグラウトには，PC 鋼材を腐食から保護する，PC 鋼材と部材コンクリート間の一体性を確保するといった性能が求められ，より確実な充填方法が求められている．諸外国では，PC グラウトに真空ポンプを併用する方法が実際に使用されており，従来のグラウトを改善する有効な方法であると考えられる．SEEE 協会ではグラウト特別分科会を設置し，諸外国における真空ポンプ併用注入工法の効果を検討するために注入試験を行っている．今回は，注入方法を確認したⅠ期試験，真空ポンプを併用する効果を明確にすることを目的として行ったⅡ期試験について報告する．

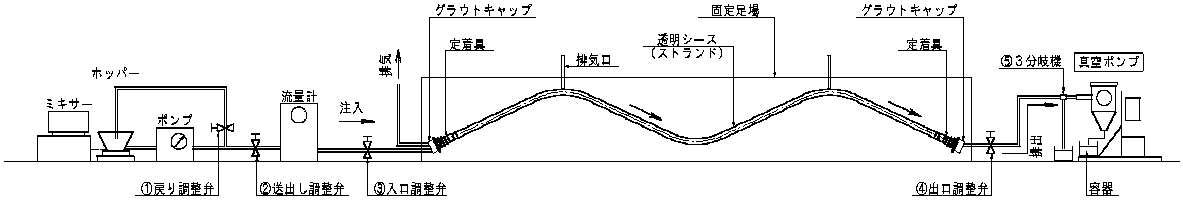


図-1 真空ポンプ併用注入グラウト試験回路図

２．Ⅰ期試験

１）試験概要

Ⅰ期試験は，真空ポンプの使用方法の確認と共に通常のグラウト注入と比較して，真空状態でのグラウト注入状況，充填状況を比較する目的として行った．シースは透明のものを用い，グラウト注入中のグラウトの流れる状況を観察した．シース内には所定の PC 鋼材（12S15.2, 19S15.2）を配置し，定着具も実際と同様に組み立てた．シースについては，事前に耐圧試験を行い，シース内を真空にしても潰れないことを確認している．また，耐圧試験により，グラウトホースはスプリングホースを用いた．シース形状を図-2 に示す．特に下り勾配での充填状況を確認するために凸部を２つ配置した．シースの勾配は，真空グラウトの違いがより明確になると考え，25°と比較的急なものとした．凸部の頂部には排気管を設置したが，バルブ，圧力計を取り付け，グラウト注入中は真空ポンプの有無に係わらず全て無排気で行うこととした．

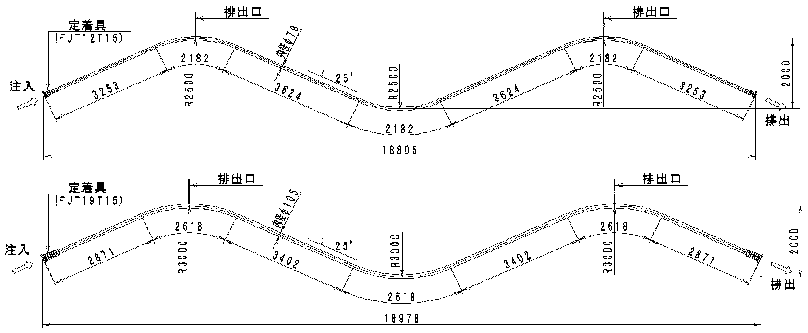


図-2 試験体形状図

２）試験結果・考察

①真空ポンプの使用の有無により，グラウトの充填状況は違っていた．また，鋼材の種類によっても違いが見られた．これはグラウト充填に注入速度，真空度と空隙率に相関関係があるものと推測される．

キーワード：　真空ポンプ　真空ポンプ併用グラウト　素線間先行充填　充填体積率
連絡先　　〒160-0023　東京都新宿区西新宿 6-3-1　㈱エスイー内 SEEE 協会事務局　03-3340-5500

②真空ポンプを使用した 12S15.2 の試験体では，空隙部（シース上側）および PC 鋼材の中をグラウトが先走る傾向が見られた．グラウトの挙動はシースと鋼材，もしくは鋼材と鋼材の空きが影響し空隙の大きさも影響すると考えられる．

③真空ポンプを使用したものは内部にエアの極めて少ない状態でグラウトを注入するため，充填完了後のエア残留・エア溜りの量は確実に少なくなるものと考えられる．

④注入時間を短縮できるため，グラウト材のコンシステンシーも損なわれず，長大ケーブルへの適用が可能となると考えられる．

３．Ⅱ期試験

１）試験概要

Ⅱ期試験では，ケーブル容量 12S15.2 を対象とし，シースは，グラウトの注入状況を確認するため φ75mm の透明シース（スプリングホース）を用いた．試験体ケースは，延長を約 10m，山数は一山＋水平部，勾配は 15°および 10°とした．写真-1 に試験体全景を示す．また，注入は無排気で行い，注入後も一切排気は行わないこととした．

写真-1 試験体全景

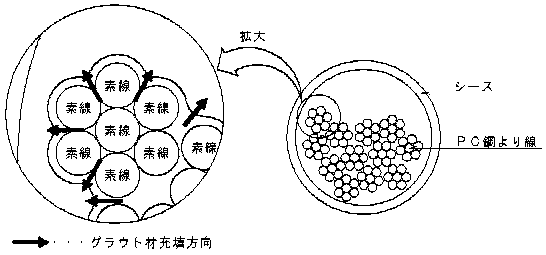


図-3 グラウト注入状況概念図

２）試験結果・考察

真空ポンプを使用しない場合，無排気で注入したにも係わらず，頂部排気管付近まで完全に充填されており，高粘性タイプグラウトの効果が確認された．しかし，下り勾配部支点付近に比較的大きな気泡が見られた．真空ポンプを用いた場合，前述のような気泡は全く見られず，このような気泡の発生をほぼ完全に防止できると思われる．真空ポンプを使用することによって，グラウト表面における空隙面積率は，0.05%以下となった．グラウト充填体積率においては，97.8～99.0%となった．これより，ほぼ 100%に近いグラウト充填が可能であると考えられる．また，真空ポンプを使用しない場合においても，グラウト充填体積率は 97%であった．真空ポンプを併用したグラウト注入では，図-3 のようにグラウトが PC 鋼材の素線間に先行して充填される様子が観察された．PC 鋼線素線間にも多くのグラウトが入っており，真空ポンプを併用することの効果であると考えられる．

４．まとめ

Ⅰ期，Ⅱ期試験の結果，真空ポンプを用いない場合，PC 建協グラウトマニュアルに従って行ったグラウト注入は，特に大きな未充填区間が残ることもなく，概ね良好な充填状態であった．ただし，本実験の中では排気口によるエア抜き作業を行わなかったため PC 鋼材が露出するほどではないが，比較的大きな気泡が残留する場合が見られた．真空ポンプを併用すると，このような気泡の残留は全く見られなかった．グラウト表面における空隙面積率，硬化後のグラウト充填体積率という新たな指標を用い測定を試みた結果，グラウト充填率も向上し，PC 鋼材の素線間にもより多くのグラウトが充填できることが確認できた．真空ポンプの併用は PC グラウトをより確実に充填するための有力な手法であると考えられる．

参考文献

・PC グラウト＆プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル　（社）PC 建設業協会, 2002

・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，Jan．2003

真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入試験（Ⅲ期試験）について

ＳＥＥＥ協会　(鹿島建設)　正会員　○大岡　隆　　(鉄建建設)　藤ノ木　勉
ＳＥＥＥ協会　(錢 高 組)　正会員　　野永　健二　　(エスイー)　平山　晃

１．はじめに

本試験は前述の，Ⅰ期試験，Ⅱ期試験の試験結果をもとに、Ⅲ期試験として，真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入工法を実橋に適用するにあたり，ＰＣグラウトのシース内への充填性の確認を目的として，ＳＥＥＥ協会特別分科会に於いて実施した試験である．あわせて，実橋の外ケーブルにおいて，真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入を行なったのでその結果を報告する．

２．試験概要

Ⅲ期試験は，シース形状を実橋に近似させた試験体で行なった．試験体は４径間連続桁（図-1 参照）を想定し長さ，150m の長大ケーブルとした．グラウト材はⅠ期試験，Ⅱ期試験の結果を踏まえて，高粘性タイプ（ポゾリス GF-1720：W/C=45%）を使用した．ケーブルは 12S15.2，シース内径Φ75mm とした．シースは定尺 5.0m の半濁ポリエチレンシース（鋼弦器材製）をバット溶着し 150m 一体化した．シース接合部については事前に耐圧試験を行い，想定したグラウト注入圧力(0.5MPa)に充分耐えられることを確認した．定着体は SEEE/FUT12T15.2B を使用し，シースと定着体の接合部は熱収縮チューブを使用し，気密性及び耐圧性を確保した．定着体にはグラウトキャップを取付け，それに内径Φ19mm のスプリングホースを取付け，グラウトの注入・排出・シース内の減圧等を行なった．シース内は，真空ポンプ（写真-2 参照）を使用し-0.09MPa（ここで圧力は，大気圧を 0 とした管内ゲージ圧力とする）まで減圧してからグラウトの注入を行なった．グラウト注入中は，シース内のグラウト未通過部の圧力を-0.09MPa 一定となるように，真空ポンプを操作しながら，グラウト注入を行なった．さらに，ステップバイステップ式グラウト注入方法を採用する可能性があることを考慮し中間注入口を設けた．

３．試験体

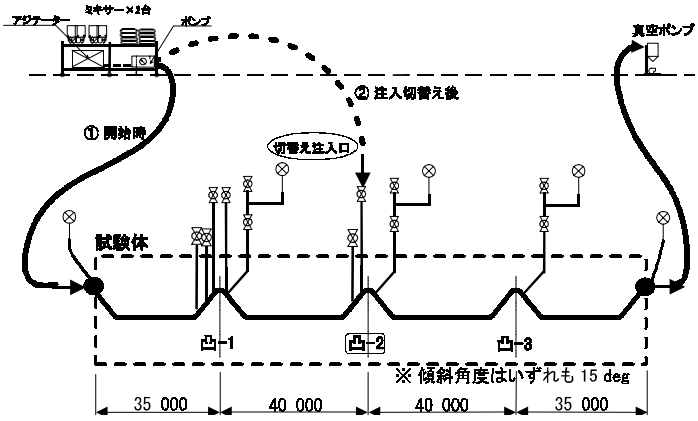


写真-1　試験体全体写真

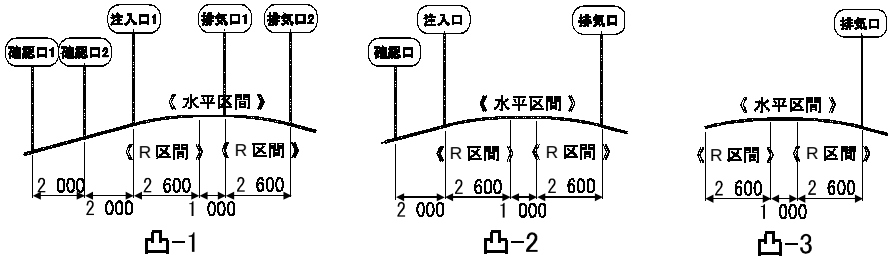


図-1　試験体全体図

写真-2　真空ポンプユニット

キーワード　：真空ポンプ　真空ポンプ併用グラウト　ＳＥＥＥ工法　半濁ポリエチレンシース

連絡先　　〒160-0023　東京都新宿区西新宿 6-3-1　（株）エスイー内 SEEE 協会事務局　TEL03-3340-5500

４．試験結果

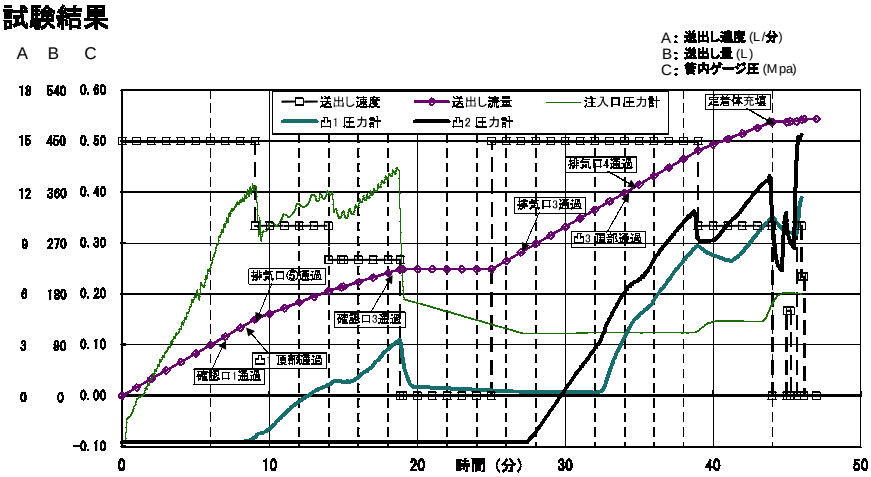


図-2　送出し量（単位時間、累計）ー管内圧力グラフ

写真-3　グラウト試験体

グラウト注入開始から9分まで15L/分,14分まで10L/分,19分まで8L/分と流量を変え,注入口圧力を0.5MPa以下となるように制御しながら注入した.19 分で中間注入口付近にグラウト先端が達したので,注入口を中間注入口に移した（ステップバイステップ式）.25 分から注入を再開し,39 分まで 15L/分,44 分で排出口に達するまで 10L/分で注入した.注入中はシース下り勾配部で先流れが起こり,排気を行なわないため空気溜りが発生した.しかし,注入が終わり排出口を閉じてから 0.5MPa まで再加圧を行なった時点で空気溜りは消滅していた.グラウト硬化後,グラウト試験体を切断しシースを撤去して充填状況を確認したところ,空隙は無くシースのリブ部分まで完全に充填されていた（写真-3 参照）.注入量,注入圧力については図-2 参照.

５．実橋（八田川橋）での施工結果

2002 年 11 月,実橋において真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入工法を採用し,良好な成果を得たので以下にその概要を示す.

写真-4　八田川橋全景

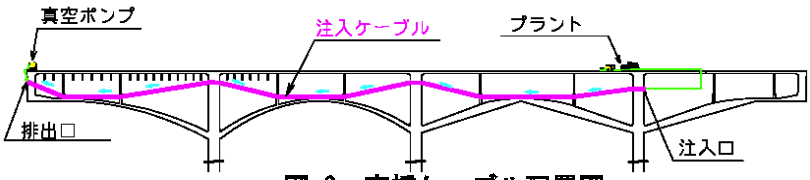


図-3　実橋ケーブル配置図

丹波綾部道路八田川橋　概要

- 発注者：国土交通省近畿地方整備局
- 施工者：株式会社　銭高組
- 施工場所：京都府綾部市安国寺地先
- 構造形式：4 径間連続 PC 箱桁ﾗｰﾒﾝ橋
  橋長 245.5m　幅員 9.5～17.9m

注入結果

- ケーブル：19S15.2(外ケーブル)
- 定着装置：SEEE/FUT 19T15.2
- ケーブル長：194m
- 最大注入圧力：0.5MPa
- 注入時間:72分　・最大連続注入長:194m

６．まとめ

今回のⅢ期試験結果および実橋での施工結果より,ＰＣグラウト施工にあたり真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入工法を採用すれば 150m～200m の長大ケーブルでも低圧力で安全に効率的な注入ができ,注入時間の短縮が可能であることが確認できた.真空ポンプ併用効果で,空隙が生じても最終加圧で空隙は縮小し有害な空隙は無くなることが確認でき,充填性を改善する効果を確認した.以上の結果より,真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入工法により確実性と信頼性の高いＰＣグラウトの施工が可能である.

参考文献

- 真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入工法について　ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ Vol.45,No.1,Jan.2003
- ＰＣグラウト＆プレグラウトＰＣ鋼材施工マニュアル　（社）ＰＣ建設業協会，2002

ＰＣグラウトにおける真空ポンプ併用の効果について

ＳＥＥＥ協会　(三井住友建設)　正会員　○田村多佳志
ＳＥＥＥ協会　(川田建設)　正会員　吉松　秀和
ＳＥＥＥ協会　(オリエンタル建設)　正会員　西須　稔
ＳＥＥＥ協会　(エスイー)　正会員　河田　洋志

１．はじめに

プレストレストコンクリート構造物におけるグラウト（以下，ＰＣグラウトという）には，ＰＣ鋼材と部材コンクリートとを一体化するとともにＰＣ鋼材を腐食から保護する機能があり，特に部材の耐久性向上の面から，より確実な充填方法が求められている。ＳＥＥＥ協会では，諸外国で行われているＰＣグラウトに真空ポンプを併用する方法（以下，真空グラウトという）の有効性に着目し，グラウト特別分科会を設置して，注入試験等の実施により真空グラウトの効果について検証してきた[1)2)3)]。本文では，実橋規模の試験体を用いた真空グラウト注入試験の結果と真空グラウトの効果に関する考察について報告する。

２．真空グラウト注入試験の概要

1）注入試験体

真空グラウト注入試験体は，内ケーブル12S15.2が配置されている4径間連続桁を想定し，図-1，写真-1に示すように，水平長を150mとして中間に高低差1.7mの山を3カ所設けた。ダクトは内径φ75mmの半濁ポリエチレンシースを使用し，定着体はSEEE/FUT12T15を用い，ダクト内に鋼線を配置した。定着体とシースおよびシース相互の接合部は事前に耐圧試験を行い，-0.09 MPaの真空と1.0 MPaの加圧に耐えることを確認した。

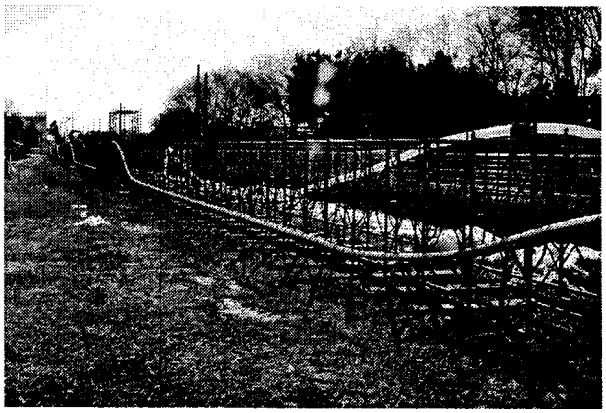


写真-1　試験体全体写真

注入試験では，ノンブリーディング高粘性タイプのグラウト材を使用した。

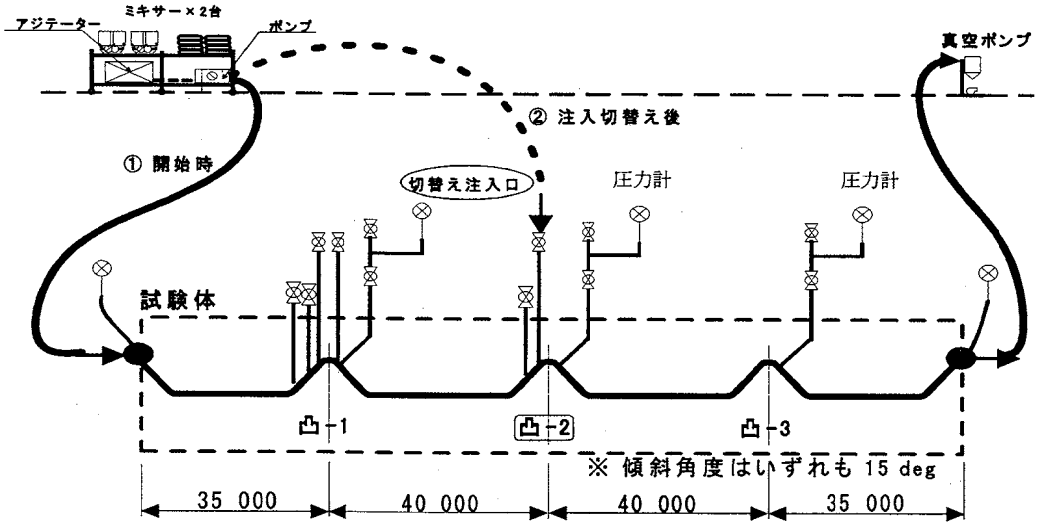


図-1　試験体全体概要図

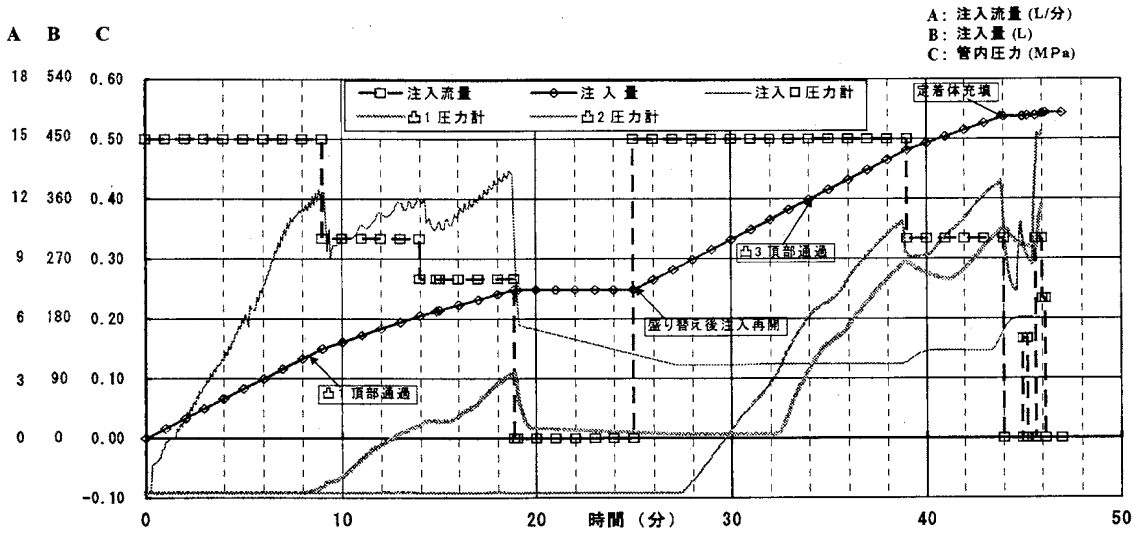


図-2　注入量（単位時間，累計）ー管内圧力グラフ

2) グラウト注入方法

真空グラウトは，排出側に設置した真空ポンプにより，密閉したダクト内を -0.09 MPa（ここで圧力は，大気圧を0としたゲージ圧力で示す）まで減圧し，これを維持しながら注入ポンプによりグラウトを注入する。本試験では，実施工を考慮し，図-1に示す凸-2に中間注入口を設け，ステップバイステップ方式で注入を実施した。なお，ダクトには圧力計の設置と充填状況の確認のために数本のホースを設置したが，ホース端部は機械的に閉栓し，ここからの排気作業は全く行っていない。

3) 注入状況

グラウト注入流量とダクト内圧力の測定結果を図-2に示す。注入は，ダクトの耐圧性を考慮し，注入口圧力が0.5 MPa以下となるように流量を変化させながら行った。ダクト長150mの試験体に対し，盛り替え時間6分を含み44分で注入を完了した。正味の注入時間38分間の平均注入流量は12.8L/分であり，真空ポンプの併用により，比較的大きな注入流量で安定した注入が行えた。

3．真空グラウトの充填性状

1) グラウト先端部性状

真空グラウトにおいては，比較的急な下り勾配においても，図-3に示すように，ＰＣ鋼材の中及びダクト内上部をグラウトが先走る傾向があり(鋼線内先充填)，既往の試験においてＰＣ鋼材素線間に注入されるグラウト量が増加する結果が確認されている[1)]。本試験でもグラウト先端部でこのような性状が確認された。

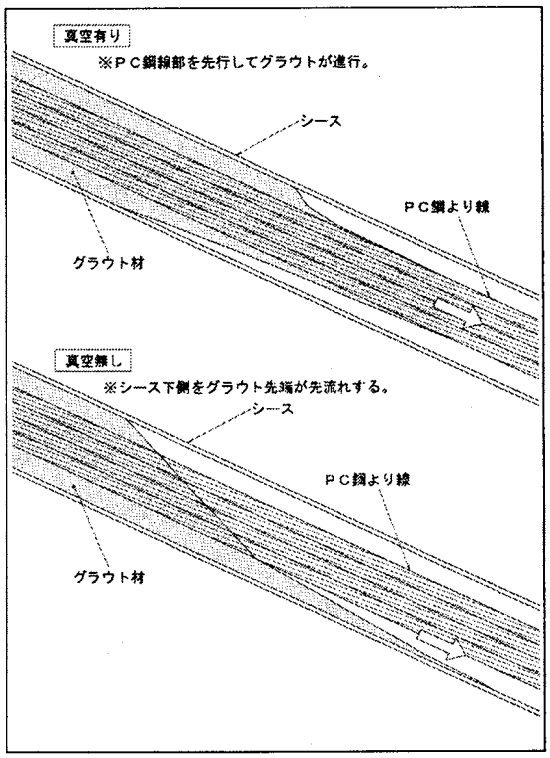


図-3　注入時グラウト性状概念図

2) 未充填部の縮減性状

試験では，真空グラウトの注入中に，1)に示した鋼線内先充填の傾向から，特にダクト下り勾配でグラウ

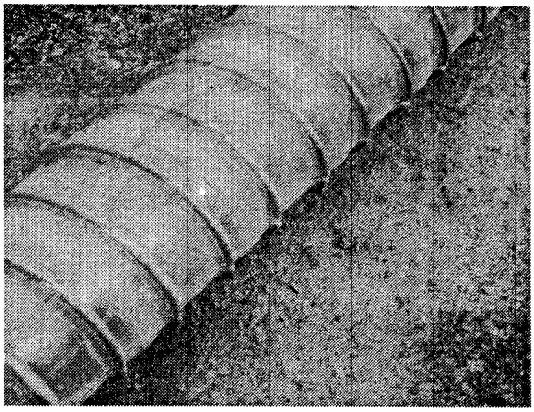


写真-2　ダクト内充填状況（シース剥取り後）

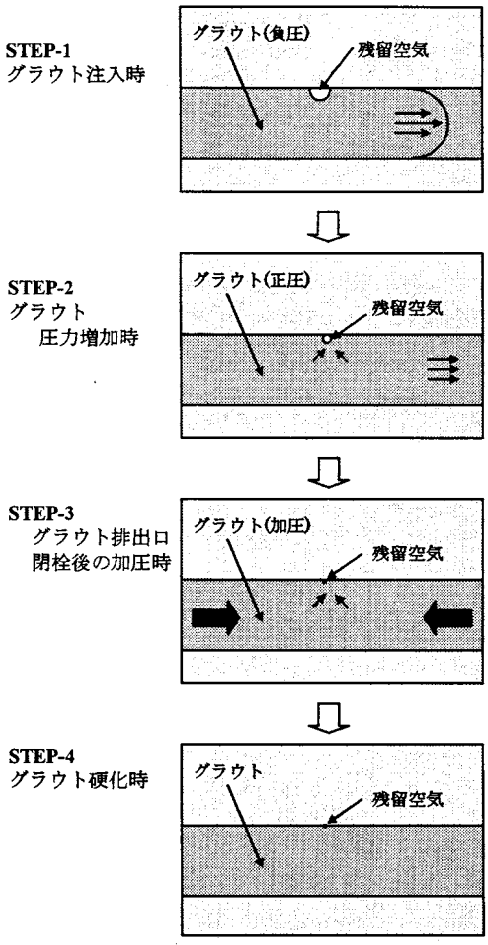


図-4　未充填部の体積変化

トが断面内を充満して流れず，排気作業も行わないため，ダクト内に真空状態の残留空気による未充填部が確認された。しかし，図-4 に示すように，真空状態の空気が未充填部として残留しても，グラウト圧力の増加に反比例して，その体積は著しく縮小される（-0.09 MPa の真空状態で残留した未充填部は，注入途中で大気圧 0.0 MPa に戻った状態で既に体積は 1/10 になっている）。したがって，グラウト排出口閉栓後に 0.5 MPa まで再加圧を行った時点の観察では未充填部は消滅していた。

さらに，加圧完了後もダクト内を密閉し，圧力を維持することによって，残留した未充填部の体積が縮小した状態でグラウトが硬化する。グラウト硬化後に，試験体を切断しシースを剥取り充填状況を確認したところ，未充填部は認められず，シースのリブ内部までよく充填されている状況が確認された（写真-2）。

4．真空グラウト注入時のダクト内圧力

1）グラウト圧力の変化状況

真空グラウト注入時のダクト内圧力の変化状況を流量変化と合わせて図-2 に示したが，凸-1 に設置した圧力計について，圧力計設置位置をグラウト先端が通過した後の圧力の変化状況を拡大して図-5 に示す。このとき，グラフの横軸は圧力計設置位置からグラウト先端までの距離とした。ダクト内の圧力は，グラウト先端が数m進んでからゆっくりと増加し始め，全体的に下に凸の形状から上に凸に形状変化しながら，ゆるやかに増加している。

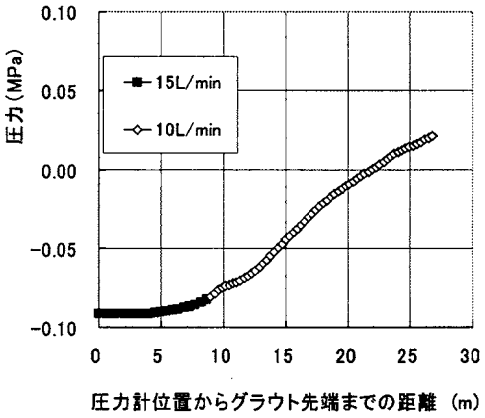


図-5　グラウト先端通過後の圧力の変化

2）グラウトのダクト内圧力損失の推定

図-6 に示すように，圧力の観測時刻 T_i から T_{i+1} の時間でグラウトの注入流量（Q）が一定であれば，その間（$\Delta t = T_{i+1} - T_i$）における圧力計示度の変化（$\Delta P = P_{i+1} - P_i$）をグラウトが進む距離（L）で割ることによ

って，ダクトの単位長さあたりの圧力損失（α）を推定することができる。すなわち，

$$\alpha = \Delta P / L$$
$$= \Delta P / [(Q/A) \cdot \Delta t]$$
$$= \Delta P \cdot A / (Q \cdot \Delta t) \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

ここに，A：ダクト内空隙断面積

図-5 に示した凸１の圧力計測結果から，(1)式により算出したダクトの圧力損失を図-7 に示す。ダクト内の圧力損失は，グラウト通過後数mは非常に小さく，その後直線的に増加し，流量が 15L/min から 10L/min へ変化する箇所で V 字型に変動し，その後は 8000 Pa/m 程度から漸減している。なお，ダクト内圧力損失はグラウト計画において注入可能最大長を算出する上で非常に重要な要素であるが既往の研究例は少なく，今後実験等により，ダクト径や流量条件等の変化に対する実用的な値を確認していく必要がある。

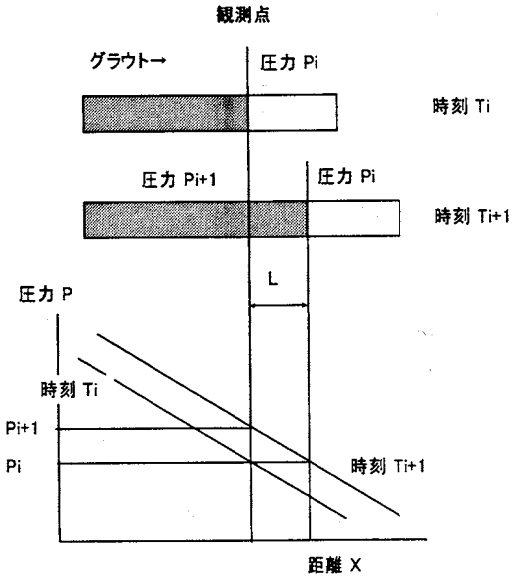


図-6　圧力損失の推定方法

3) 長大ケーブルへの適用性

真空グラウトでは，グラウト先端と注入口の相対的な圧力差の増大とダクトの摩擦損失の低下によって，注入圧の増加が緩やかになるため，今回の試験でも，長さ 150m の内ケーブル 12S15.2 のダクトに対し，１回の盛り換えにより短時間での注入が可能であった。また，外ケーブル 19S15.2 に対して，実橋施工試験において 194m のダクトの一括注入を実施しており [3]，特に長大ケーブルに対して，真空グラウトは作業性の向上を図ることができる有効な方法と考えられる。

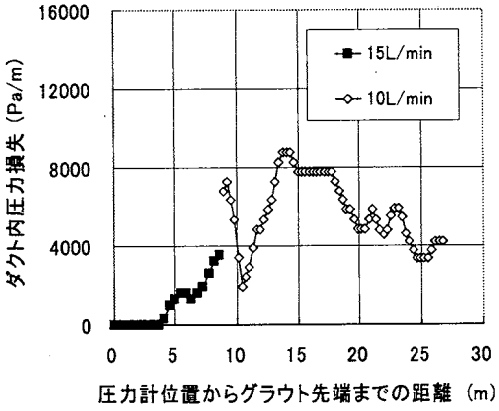


図-7　ダクト内圧力損失の変化

5．まとめ

以上に示したように，真空グラウトには，鋼線内先充填と未充填部の加圧縮小によるグラウト充填度の向上効果，およびグラウト先端と注入口の間の相対的圧力差の増大とダクト内圧力損失の低減による注入作業性の向上効果が期待されることが本研究の範囲内で確認された。

ＳＥＥＥ協会グラウト特別分科会では，現在，今までの研究の結果より得られた留意点をまとめて「真空グラウト施工マニュアル」を作成中である。今後，真空グラウトの活用，普及がＰＣグラウトの品質向上の一助になれば幸いである。

参考文献

1) 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，Jan.2003

2) 牧，前田，今尾，都倉：真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入試験（Ⅰ，Ⅱ期試験）について，土木学会第 58 回年次学術講演会，2003.9

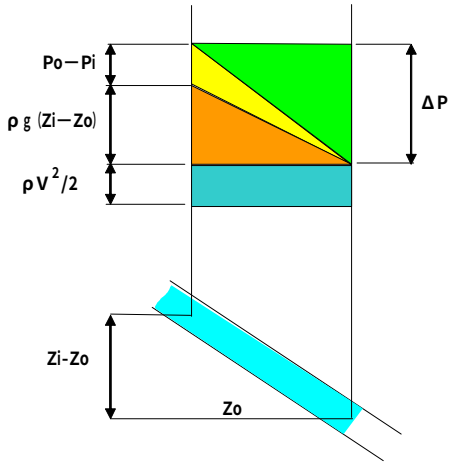
3) 大岡，藤ノ木，野永，平山：真空ポンプを併用したＰＣグラウト注入試験（Ⅲ期試験）について，土木学会第 58 回年次学術講演会，2003.9

ＰＣグラウトにおける真空ポンプ併用の効果について（追加資料）

「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」において発表した「ＰＣグラウトにおける真空ポンプ併用の効果について」（以下、本論文と表示）については、ダクト内圧力損失の推定の際にグラウト先端と圧力計測点間の高さの差を補正する必要があることに気づいたため、論文投稿後に追加検討を行い、シンポジウムではその検討結果を合わせて発表した。以下に検討の概要を追加資料として示す。

1) 圧力損失の推定における高さ補正について

グラウトのダクト内圧力損失は本論文(1)式で推定できるが、その際にグラウト先端と圧力計測点の高さの差を考慮する必要がある。すなわち、図-6'に示すように、グラウト先端と圧力計測点でベルヌーイの定理を適用すると、両者に高さの差がある場合、ダクト内の圧力損失ΔＰを推定する際には、グラウト先端の真空を基準として計測される圧力差(Ｐo－Ｐi）に高さの差による圧力差（ρｇ（Ｚi－Ｚo））を加えた有効圧力として圧力計測値を評価しなければならない。



$$Po + \rho \cdot g \cdot Zo + \rho \cdot V^2/2 = Pi + \rho \cdot g \cdot Zi + \rho \cdot V^2/2 + \Delta P$$

図-6＇圧力損失の推定における高さ補正

2) 圧力損失推定例の補正

本論文で示したグラウト先端通過後の圧力の変化(図-5)は上記の高さ補正を加えると図-5' に示すようになる。圧力は、グラウト先端通過後に下に凸の形状でゆるやかに増加しているようにみられたが､圧力計通過後にダクトが下り勾配になっていることの影響を高さ補正すると、有効圧力はほぼ直線的な勾配で増加していたことがわかる。

また、その圧力計測結果から算出したダクトの圧力損失（図-7）についても高さ補正を行うと図-7' に示すようになる。グラウト通過直後はデータが安定していないが、すぐに 7000Pa/m 程度となり、グラウト先端が通過直後の真空に近い圧力下において圧力損失が小さかったわけではないことがわかる。

本論文でも述べているように、グラウトのダクト内圧力損失に関しては既往の研究例が少なく、今後実験等を重ねて、ダクト径や流量、グラウトの粘性等の条件の変化に対してその値を確認していく必要がある。

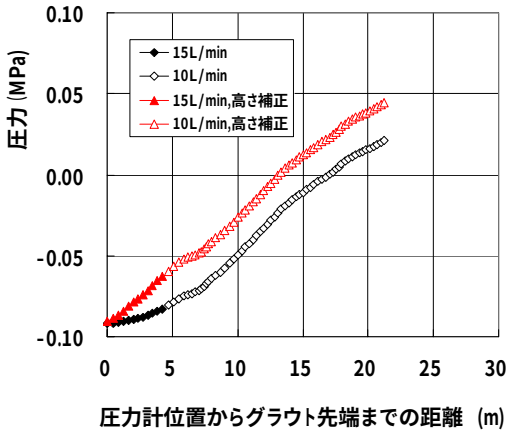


図-5＇グラウト先端通過後の圧力の変化

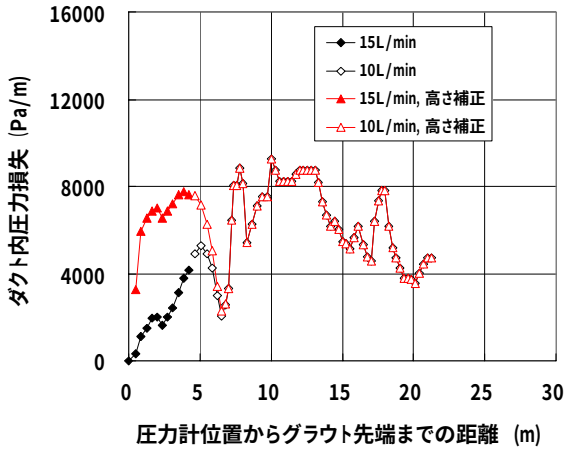


図-7＇ダクト内圧力損失の変化

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 1.0bar=0.1MPa、減圧した状態を 0.1bar=0.01MPa とする。）

I 期試験(2001 年 7 月)

- 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
- 試験概要

表-1 I 期試験 試験条件

試験ケース	試験条件			
	ケーブル種類とシース内径	シース内気圧	排気作業注)	その他の共通条件
No.1	12S15.2 φ80mm	0.1 bar	なし	定着間距離 : 20m 最大高低差 : 2.0m 勾配 : 25 deg 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	19S15.2 φ105mm	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。

- 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、併用した場合は殆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、12S15.2 のケースで 9 分 40 秒から 5 分 50 秒へ、19S15.2 のケースで 20 分 20 秒から 14 分 20 秒へ、それぞれ短縮することができた。

II 期試験(2002 年 5 月)

・ 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

・ 試験概要

表-2 試験条件

試験ケース	試験条件			
	シース内気圧	勾配 (deg)	延長 (m)	その他の共通条件
No.1	大気圧	15	9.4	最大高低差 : 1.0m 注入速度 : 10 ﾘｯﾄﾙ/min 鋼材種別 : 12S15.2 定着体 : なし シース : スプリングホースφ75 混和剤 : GF-1720
No.2	0.1 bar			
No.3	0.1 bar	10	11.3	

・ 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、150m 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 150m のため注入圧力がかなり上昇することが予想される。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の包まれているため耐圧能力がある。一方、試験では外ケーブルの状態で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部の継ぎ目からグラウトが漏れ試験不能となる恐れがある。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。

・ 試験ケース

表-3 シース接続部の耐圧試験条件

	シース種別	径	シース接続方法	定着体接続方法
Case-1	HDPE #9000	φ75mm	バット溶着	定着体なし
Case-2		φ105mm		定着体なし
Case-3		φ75mm		二重管モルタル充填
Case-4		φ75mm		熱収縮チューブ
Case-5	PE 管 100A	φ114mm	EF ジョイント注)	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

・ 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、0.6MPa 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、0.6MPa まで加圧
  0.75MPa 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
  1.0MPa 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 0.5MPa 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、1.1MPa 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有していることが確認できた。また、注入排出口の取り付け方法が非常に重要であると再確認した。

3.3 試験方法

注入試験は、次の 3 試験を行った。

II 期試験では、φ75 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(19S15.2 シース径 105mm)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 150m 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 30m の予備試験を行った。

試験体の形状は、**表-4** および**図-1** に示す通りである。

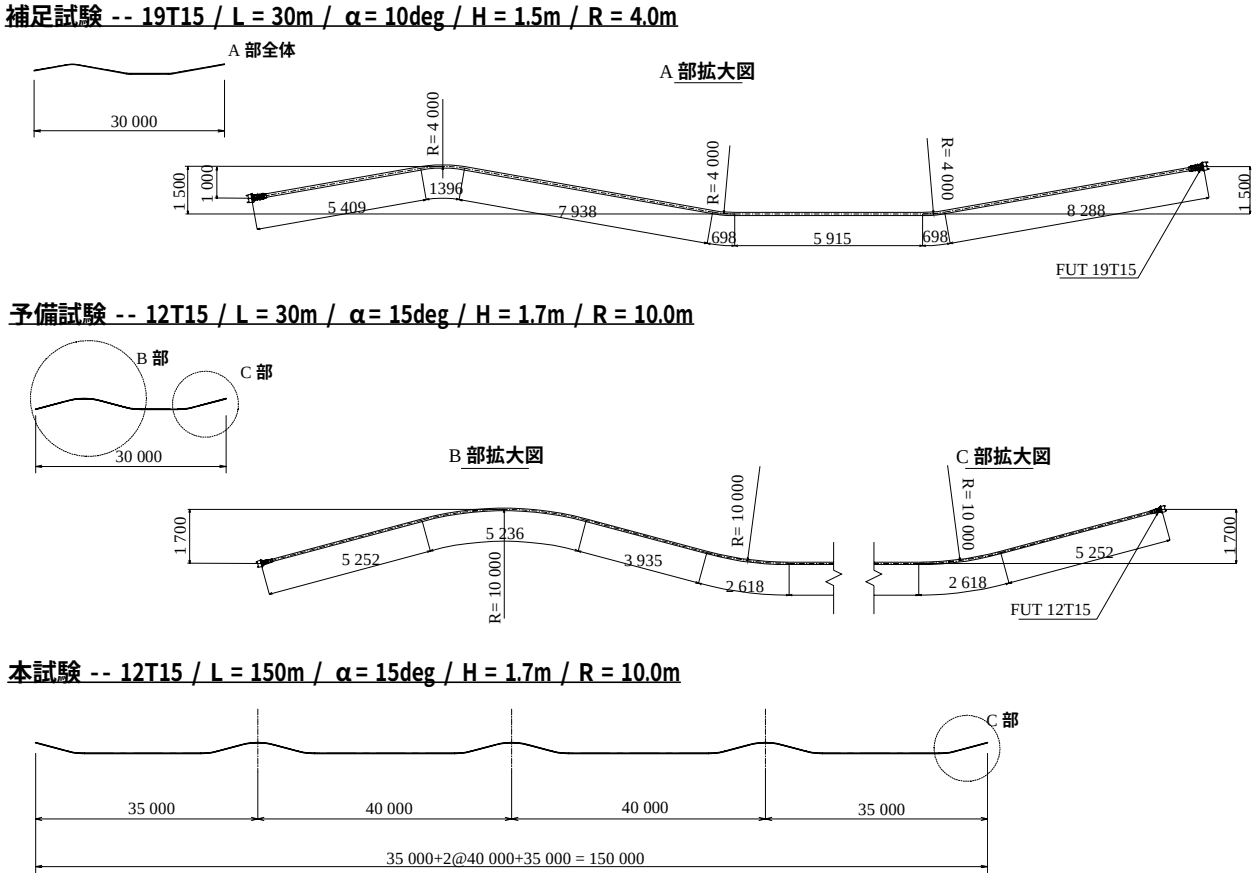


図-1 試験体ケーブル形状図

表-4 III 期試験条件

Case	ケーブル長	ケーブル種類	最大勾配 (deg)	高低差 (m)	注入速度 (リットル/min)	シース内気圧	混和剤
補足試験	30 m	19S15.2	10	1.5	15	0.1 bar	GF-1720
予備試験	30 m	12S15.2	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(19S15.2)とした。また、偏向部の曲げ半径を他の試験より小さい 4.0m 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は本試験と同一とした。

注入速度は、15 ﾘｯﾄﾙ/min 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 0.45MPa とし、これを越えた場合は、盛替え注入(Step by Step 方法)を用いることとした。

シースは、補足試験(19S15.2)に対しては、呼び径φ105 の透明シースを用い、本試験・予備試験(12S15.2)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φ75 の半濁 PE シースを用いた。これは詳細な注入状況は確認できないも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、φ105 の透明シースは機械式接続具を用い、φ75 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。

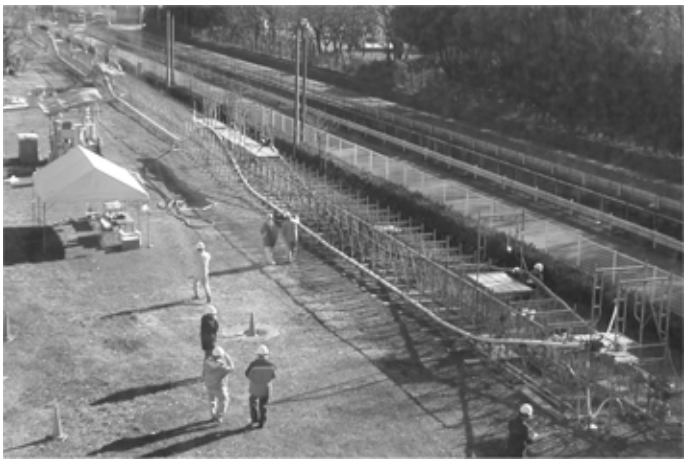


写真-1 試験全景写真

写真-2 真空ポンプ

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」に準じた。

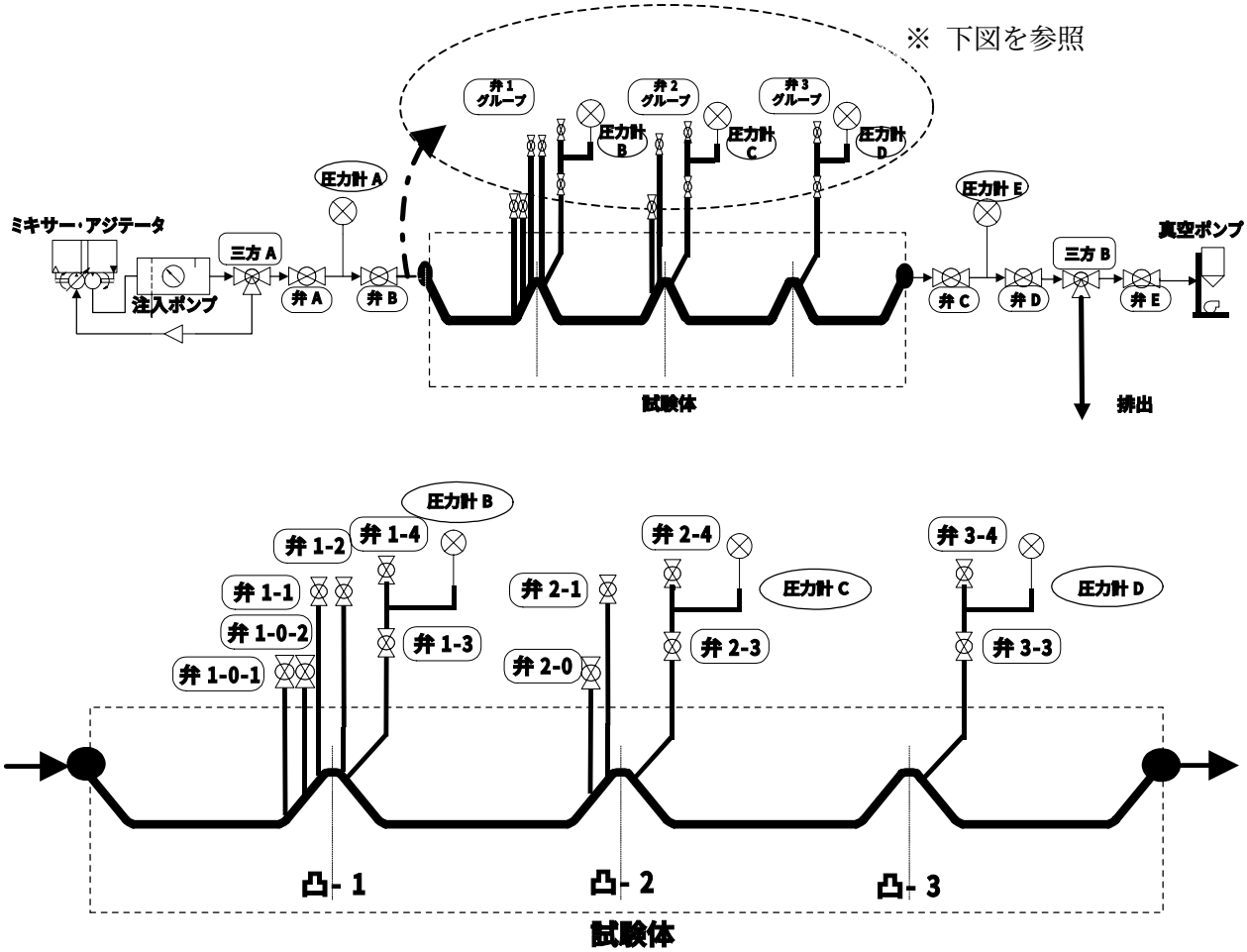


図-2 注入排出口、確認口の配置

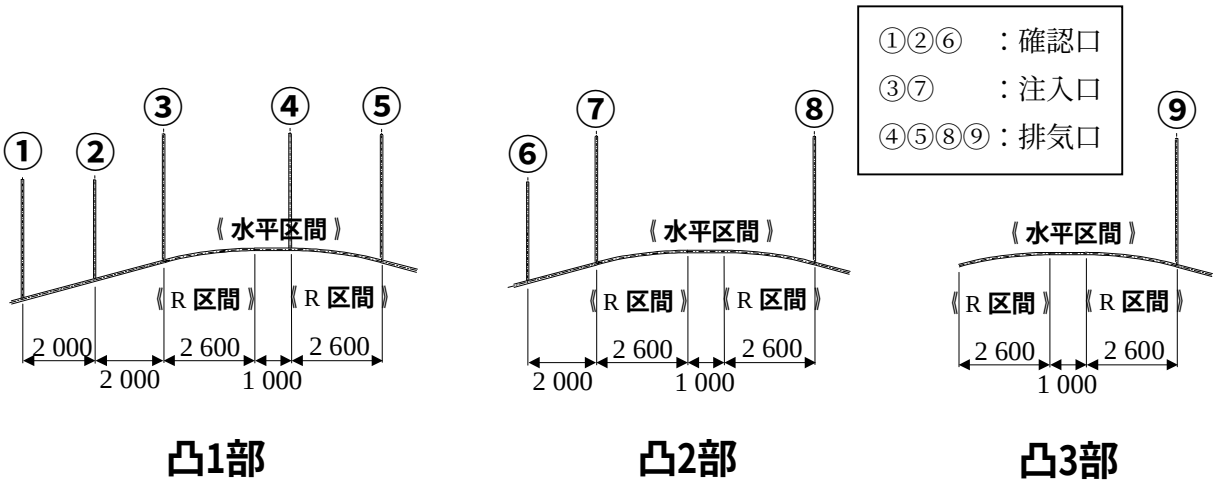


図-3 確認口の詳細位置

3.4 試験結果

(1) 試験

試験は、2002 年 12 月 17 日に東京都青梅市の銭高組技術研究所の敷地内で行った。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。

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-720)	練り上がり量
43.0%	75 kg	32.3 kg	0.75 kg	56.0 リットル

表-6 練り上がり時の性状

		補足試験	予備試験	本試験
温度 (℃)	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 (sec) (JP ロート)	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
見掛けの密度注) (kg/m³)		1,978	1,990	1,992

注) 見掛けの密度は、28 日の圧縮試験の供試体による

(2) 注入状況

・ 補足試験(19S15.2)

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)口を開かなかったため、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積から算定すると2.5m/min 程度となる。

・ 予備試験および本試験(12S15.2)

➢ 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**)、注入中は 20～30cm 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には消失し、シースのリブに若干の気泡が残る程度となった。

写真-3 注入口直後の先流れ(本試験)

➢ 凸部

下り勾配では先流れし、空隙が生じた。この空隙は、注入の進行に従い縮小し、最終的にはシースのリブに若干の気泡を残し消失した(**写真-4,5**)。

写真-4 第一凸部付近の先流れ(本試験)

写真-5 第二凸部付近の先流れ(本試験)

➢ 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-6**)。

写真-6 水平部分の注入状況

頂部に設けた確認口には、シース内のグラウト先端位置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 10cm 程度であった。これは、内ケーブル方式の場合は、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は、確認口ホース内は殆ど充填されていた。

- 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。0.45MPa 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換えた。

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。

切り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 -- 19T15 / L = 30m / α = 10deg / H = 1.5m / R = 4.0m

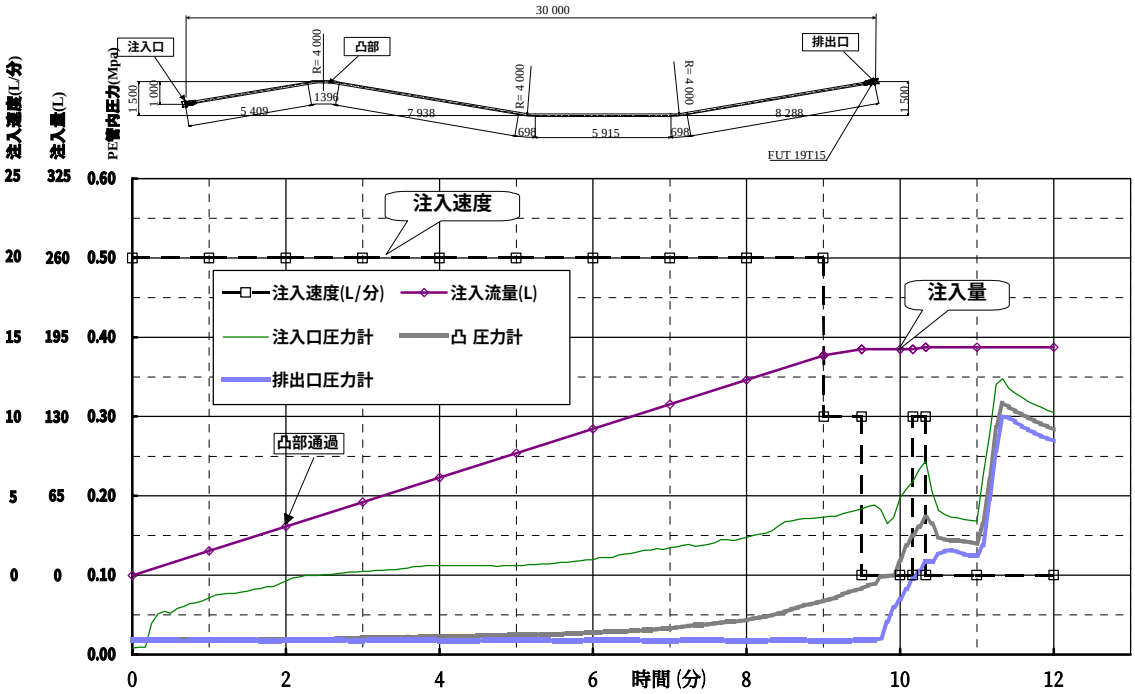


図-4 補足試験

予備試験 -- 12T15 / L = 30m / α = 15deg / H = 1.7m / R = 10.0m

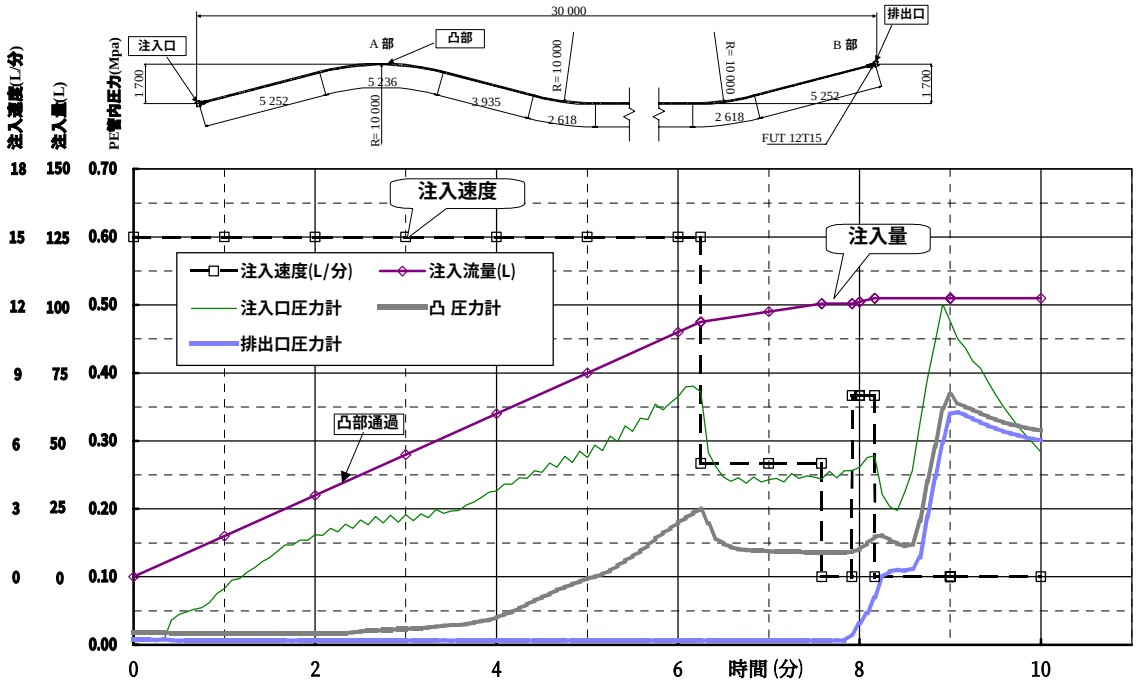


図-5 予備試験

本試験 -- 12T15 / L = 150m / α = 15deg / H = 1.7m / R = 10.0m

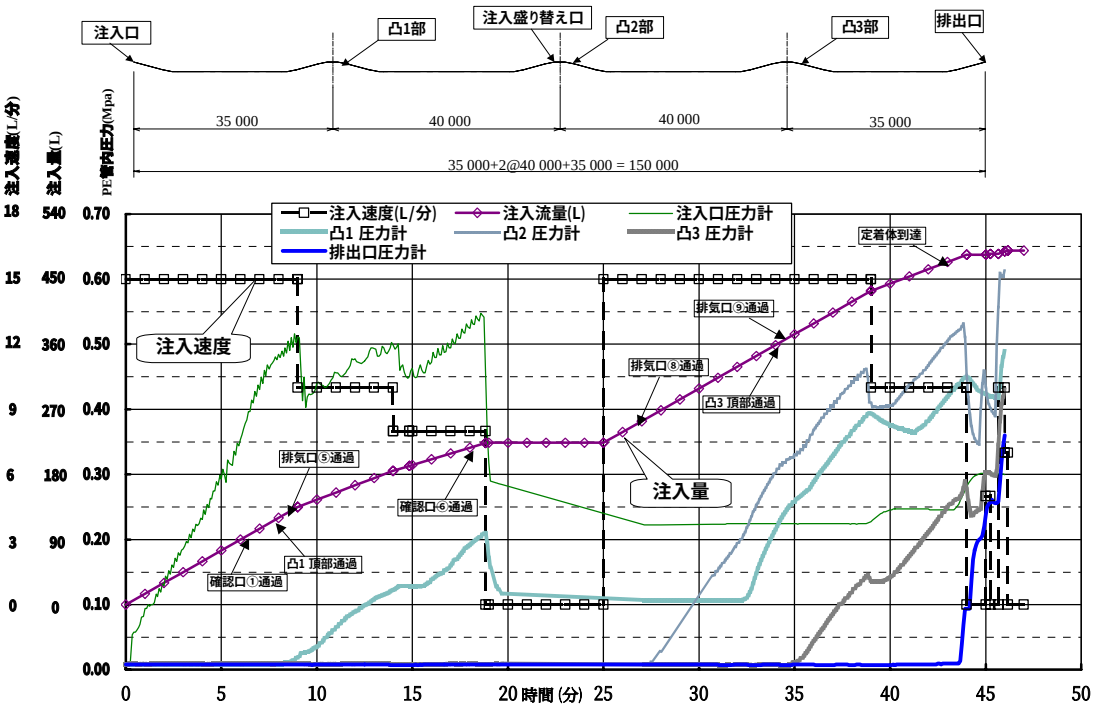


図-6 本試験

補足試験(図-4)では、注入速度を 20 ﾘｯﾄﾙ/min 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 ﾘｯﾄﾙ/min に下げ、9 分 30 秒後に一旦注入を停止した。その後 10 分過ぎにシース内加圧のために 10 秒程度 10 ﾘｯﾄﾙ/min 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上昇し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 0.01MPa 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、グラウト通過後でも減圧状態のグラウトが流れていたものと推測される。

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 0.4MPa 近くに上昇したため、注入速度を 15 ﾘｯﾄﾙ/min から 5 ﾘｯﾄﾙ/min 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(φ105mm、φ75mm)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ヘッド差(グラウ

トの比重を 2.0g/cm³ と仮定すると、補足試験で約 0.02MPa、予備試験で約 0.034MPa)の影響や、シース本体から計測点(圧力計取り付け位置)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。

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 ﾘｯﾄﾙ/min から 10 および 8 ﾘｯﾄﾙ/min 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の再び上昇しノコギリ状の圧力履歴となった。また、盛り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 部の圧力は盛り替え作業に伴い一旦低下したものの、盛り替え注入後に再び上昇に転じた。この時期が盛り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 0.32MPa とすれば圧力勾配は、0.008MPa/m となる。これを「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」(p90)の 0.015MPa/m(流量 15 ﾘｯﾄﾙ/min)と比較すると、シース径の相違(φ65、φ75)があるもの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フロー値が小さかった点が影響したものと考えられる。

(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。

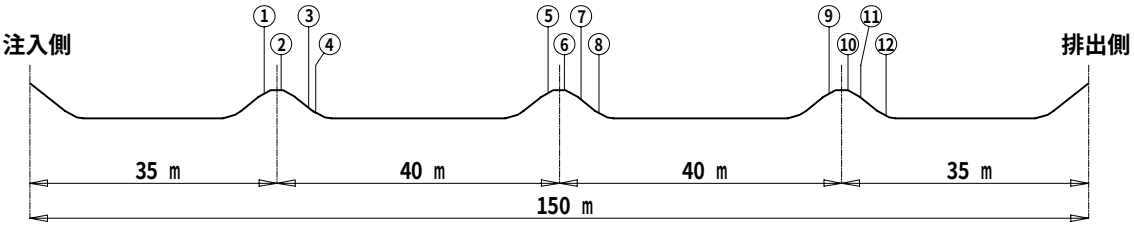
シースを剥ぎ取り気泡の状態をスケッチし、表面積に対する気泡の面積比を調べた。

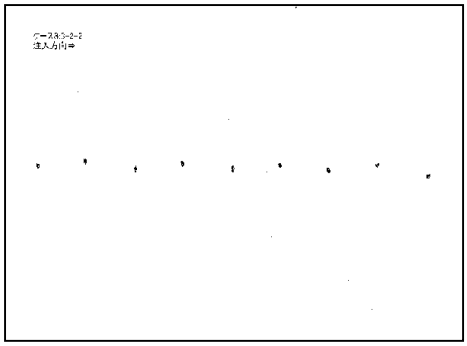
表-7 に示す気泡面積比は、シースの全周(下面も含む)に対する百分率であり、**図-7** に示すスケッチ図は、シースの上側半周分である。

表-7 硬化後の気泡の面積比

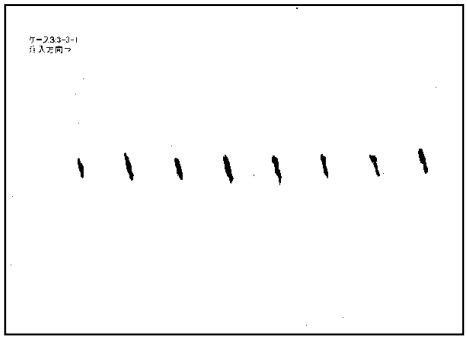
採取位置	スケッチ番号	気泡面積比 (%)	採取位置	スケッチ番号	気泡面積比 (%)
1	1-A	0.1	7	7-A	0.6
	1-B	0.4		7-B	2.2
2	2-A	0.5	8	8-A	0.5
	2-B	0.3		8-B	0.0
3	3-A	0.8	9	9-A	0.4
	3-B	1.0		9-B	0.5
4	4-A	0.0	10	10-A	0.6
	4-B	0.0		10-B	0.4
5	5-A	0.9	11	11-A	0.4
	5-B	0.0		11-B	0.5
6	6-A	0.6	12	12-A	0.0
	6-B	0.5		12-B	0.4

番号は採取位置を示す

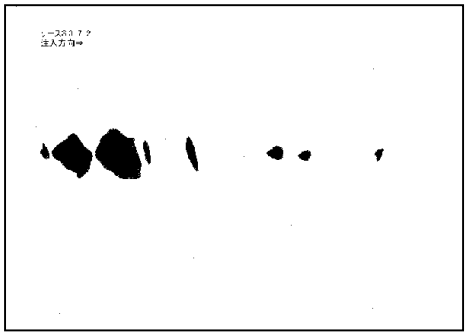




スケッチ番号 2-B



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

写真-7 硬化後の切断確認状況

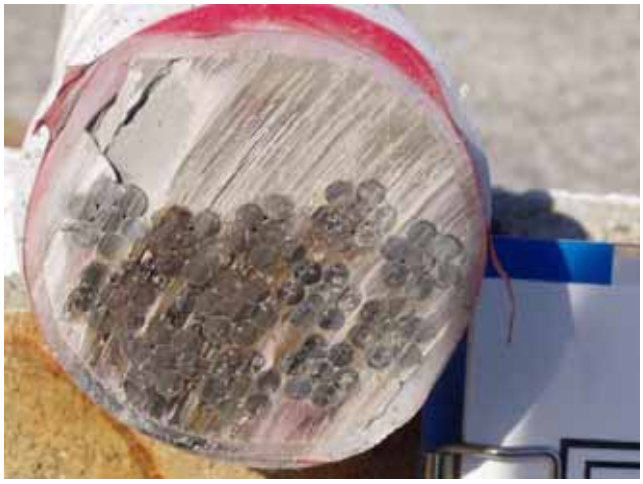


写真-8 採取位置 7～8 間の切断面

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、殆どシースのリブ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-7,8 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。

φ105 のシース(19S15.2)では、曲げ角度が 10 度、注入速度 15 ﾘｯﾄﾙ/min(流速 2.5m/min)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。

φ75 のシース(12S15.2)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ブ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。

150m の長いケーブル(12S15.2)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 0.45MPa 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、切り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。

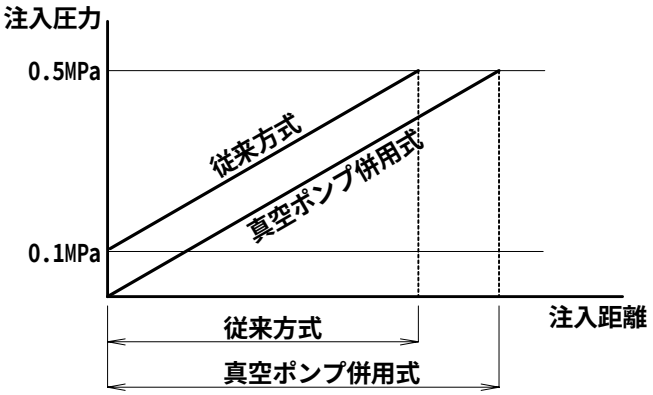
4. まとめ

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拘わらず、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極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下ではあるが、真空ポンプ併用式した場合は、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。

内ケーブル方式の場合は、注入圧力を 1.0～1.5MPa 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 0.5MPa 程度に抑える必要がある。このため真空ポンプを併用し注入圧を低減できるという効果は、**図-8** に示すように外ケーブル方式に対して影響が大きい。

外ケーブル方式の場合



内ケーブル方式の場合

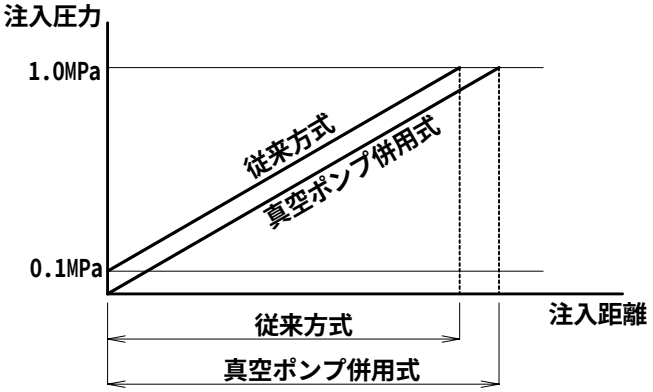


図-8 注入側圧力と注入可能距離の関係

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て行ったが、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。