

# 真空ポンプを併用した PC グラウト注入技術の現況

河田 洋志\*1・内山 周太郎\*2・野永 健二\*3

## 1. はじめに

PC グラウトの役割は PC 鋼材の防錆と部材コンクリートとの一体性の確保にある。この 2 つの機能を発揮させるには、グラウトが確実に充填されていることが前提である。英国を初めとした欧米諸国においては、PC 鋼材の腐食が起因して、落橋にまで至る橋の事例が報告されており、問題発覚となった 1985 年英国の落橋事故後、各国で対策が活発に展開された。わが国においても、材料、施工方法の改良、チェックの強化を図り対応している。

ここでは、施工に着目し近年研究ならびに開発がなされ、徐々に施工事例の増加してきた真空ポンプ併用式 PC グラウト注入工法（以下、真空グラウトと称す）の現況について報告を行う。真空グラウトとは、従来行われてきた片側から加圧注入し、もう一方から排出する方法に対し、排出側に接続した「真空ポンプユニット / (株) エスイー」または「真空装置 / FKK」（以下、両者共通の名称として「真空ポンプ」と称す）により内部を真空状態にして加圧注入を行う方法である。図 - 1 に従来工法と真空グラウトの概念図を示す。真空ポンプを用いることで空気がきわめて希薄な

ダクト内状態を作り出し、そこへグラウトを注入することにより充填度を向上させることが主目的である。

## 2. 真空グラウトの国内外における現況

真空グラウトのアイデアは古く、欧州で生み出され、1968 年フランスにおいて特許の申請がなされている。以降、本工法が活用されるようになり、とくに筆者らが関連の深い企業のあるフランスでは、S.N.C.F（フランス国有鉄道）が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状況である。一例として TGV（高速鉄道）のために建設された Avignon 高架橋を写真 - 1 に示す。本橋の外ケーブルには 19S15.7 ~ 37S15.7 の大容量ケーブルが使用され、最大ケーブル長は約 280 m にも及んでいる。

そのほか、欧米諸国より過去に発表された技術資料および文献を数件紹介する。1982 年 FIP コンgressにおいて、S.N.C.F の職員が、TGV 構造物において実施した内容の論

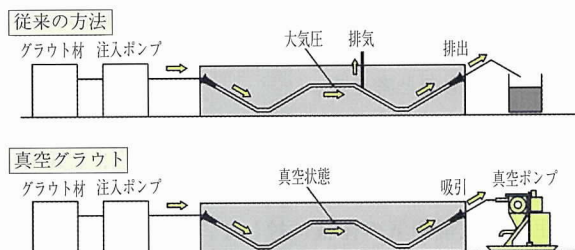


図 - 1 グラウト注入方法比較概念図

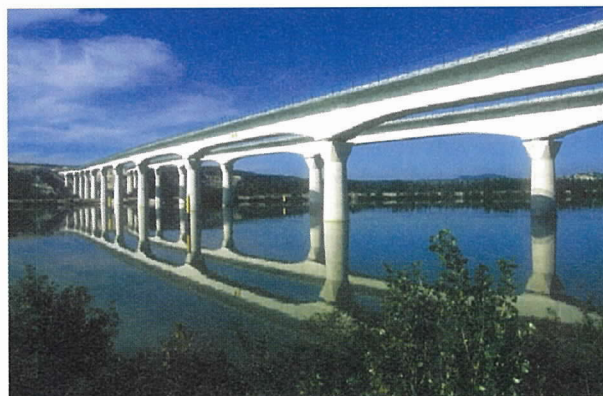


写真 - 1 TGV Avignon 高架橋



\*1 Yoji KAWATA

(株) エスイー 社会インフラ  
事業部 技術第一部



\*2 Shutaro UCHIYAMA

FKK 極東鋼弦コンクリート  
振興 (株) 技術研究所



\*3 Kenji NONAGA

SEEE 協会技術委員会

文により、真空グラウトの利点を発表している<sup>2)</sup>。1996年 FIP シンポジウムで米国から論文が発表され<sup>3)</sup>、同年グラウト禁止令が解除された英国において刊行されたテクニカルレポート 47 にも英国以外の欧州各国で使用されていることが示されている<sup>4)</sup>。近年では、2002年 fib の技術資料 bulletin 20 「Grouting of tendons in prestressed concrete」において留意点等が紹介されている<sup>5)</sup>。このように、欧州においては古くから真空グラウトによるグラウト充填性を評価し現在に至っている。

一方、国内のグラウト充填性に対する解決方法を見ると、材料の物性による解決によるものが多い。とくに粘性に着目してグラウト材の物性の改良を行っている。たとえば、空隙が残留する原因は下り勾配におけるグラウトの先流れ現象によるため、先流れ自体を発生させないよう全断面で進行させるための高粘性型グラウトや、水のような流動性を有するグラウトにより、エアが必ず頂部に集まる現象を利用した超低粘性型グラウトが該当する。

真空グラウトは、このような材料面から解決を図ったグラウトを用い、施工面からのさらなる充填性の向上、施工性の改善を目的とした方法である。筆者らが所属する機関などでは、それぞれ積極的に研究および開発を進め、普及に向けた展開を行っている。その結果、それらの改善効果などが認められ、使用実績も増え、広く活用が期待されるようになってきている。本報告は、SEEE 協会と FKK における真空グラウトの技術展開を紹介するものである。

### 3. 真空グラウトの原理と特徴<sup>6) 7)</sup>

真空グラウトの原理と特徴について一部紹介する。真空グラウトはダクト内を真空状態にすることが、従来のグラウトとまったく異なる点である。通常のグラウト注入では、ダクトの片側から加圧することにより注入されるため、ダクト内にある空気を押し出しながら注入が進行する。そのため、一般の起伏を有したケーブル配置ではダクト内に空気が残留し、空隙が発生する可能性が高いと考えられる。それを材料の観点から対応したのが前述の高粘性型グラウトである。これに対し、真空グラウトの本来的意義は、残留空気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。図 - 2 に空隙縮小の原理をイメージした図を示す。

まず、STEP 1 はグラウトの先端をイメージした図である。先流れや巻き込みなどで残留空気が発生する。この残留空気発生時の瞬間の体積は、真空グラウトか否かに関わらず同じ大きさである。ここでは数値として 10 というサイズと仮定する。真空グラウトか否かで異なるのは、発生した 10 という残留空気に含まれる空気分子の量である。たとえばダクト内圧力を 0.1 気圧（真空度 90%）とすると、ここに含まれる空気分子量は、真空グラウトの場合は 10 のうち 1、真空グラウトでない場合は 10 のうち 10 である。次に STEP 2 でグラウトが進行しグラウトの圧力が正圧になった場合、たとえば大気圧（1 気圧）まで上昇したとすれば、真空グラウトの場合、それに伴い STEP 1 の 10 のうち 1 ま

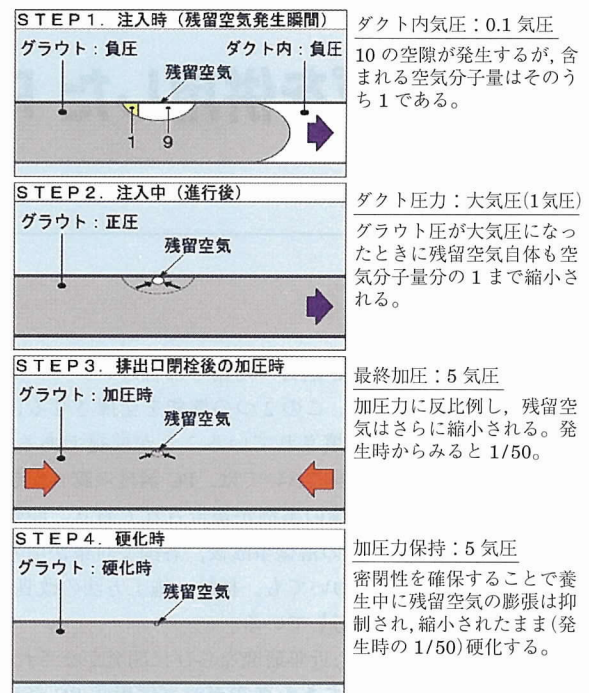


図 - 2 空隙縮小の原理

で残留空気体積は縮小する。次に STEP 3 で排出口を閉栓し最終加圧を行うと、加圧力に反比例しさらに残留空気体積は縮小する。最後に STEP 4 で、養生中において、ダクトの密閉性を確保することにより残留空気の膨張が抑制され、その状態でグラウトは硬化する。STEP 3 の最終加圧および STEP 4 の硬化は、真空グラウト特有ではない。しかし、真空グラウトの場合は、真空状態を作り出すために密閉性が要求され、グラウト注入前に密閉性を確認することになるため、確実にこれらの現象が発生するという点で優位性があるものと考えられる。

残留空気の体積変化を、真空グラウト（ダクト内気圧：0.1 気圧）と通常のグラウト（ダクト内気圧：1 気圧）と比較する。最終加圧力を 5 気圧（0.5 MPa）と仮定した場合、発生時の残留空気の体積に対して、真空グラウトでは、 $0.1 \text{ (気圧)} / 5 \text{ (気圧)} = 1/50$ 、通常のグラウトでは、 $1 \text{ (気圧)} / 5 \text{ (気圧)} = 1/5$  となる。

このように真空グラウトは「真空」という単純であり不変で安定した原理を用いて充填度を向上させることが可能である。また、PC 鋼材素線間の狭隘な空隙に対しても真空グラウトの方が充填されやすいと考えられる。

真空グラウトのそのほかの改善効果としては次のものがあげられる。

- (1) 排気側の圧力が通常より 0.09 MPa 程度低い。注入圧が同じであればこの圧力に相当する分だけ ①注入延長の延伸、②注入流量 (l/min) の増加、が可能である
- (2) ダクト内の減圧により、ダクトの密閉性を容易に確認することになる。したがって、通常のグラウトで、作業中に判明することの多い密閉性に起因するトラブルを、真空グラウトであれば事前に回避することができる。

(3) 真空グラウトでは、グラウトキャップおよびダクト中間の排気に伴う排出作業がなく、処理が不要である。

ここで、(2)の密閉性(気密性)をチェックすることの重要性を述べる。この確認はリーク(漏れ)テストにより実施する。リークテストとはダクト内部の真空度の変化から、その気密性を確認するテストである。真空グラウトにおいてリーク箇所、すなわち接続不良箇所を有する場合、図-3(b)に示すように、気圧差により空気がダクト内部へ流入しやすくなり、まき込まれるおそれがある。したがってこのような事象を回避し真空グラウトの効果を最大限に発揮させるためには、リークテストによりダクトの気密性を確認する必要がある。一方通常の方法により、同様に接続不良箇所を有するダクトにグラウトを注入すると、図-3(a)に示すようにシースの接続不良箇所よりグラウトが漏れる危険性がある。気密性の確保は、通常のグラウト、真空グラウトともにグラウトの充填性を保証するためにきわめて重要な点である。

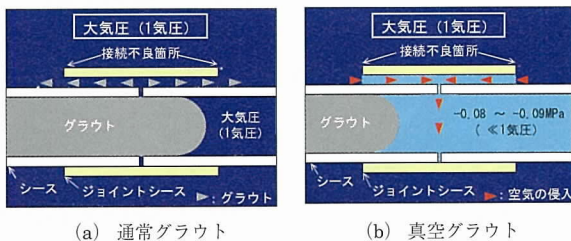


図-3 注入時におけるシース接続不良箇所の概念図

ここで接続不良箇所の大きさに関して、具体的な方法論としての注意点を述べる。ダクトに大きな接続不良箇所が存在する場合には、ダクト内の気圧が目標とする真空度まで達しないため容易に確認できる。しかしながら、接続不良箇所が小さい場合、真空ポンプの作動を長時間続ければ、目標の真空度が確保され見逃すおそれがある。そこで、ダクト内部が所定の真空度まで到達したのち、数分間ダクト内を閉じた状態にして、真空度が著しく低下していないことを確認する方法を推奨する。また、途中の接続不良箇所を確認するために注入側においても真空状態が到達していることを確認する必要がある。これにより、小さな接続不良箇所も見逃さずにダクトの気密性を確認できる。

#### 4. 真空グラウトの施工

図-4に真空グラウト時の資機材配置例を示す。まず準備であるが、真空グラウトの特徴である真空ポンプは排出

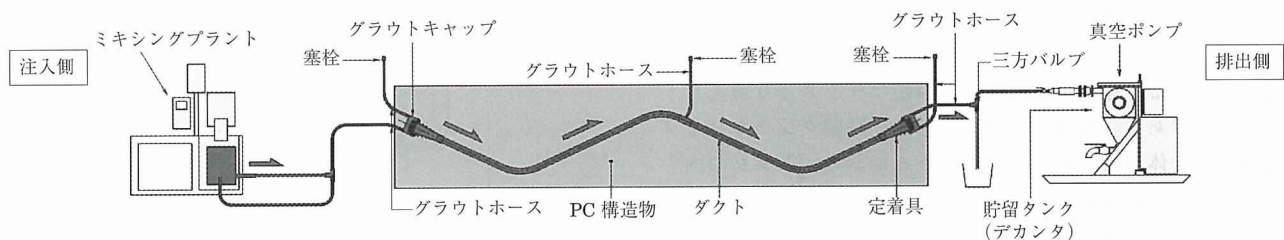


図-4 真空グラウト資機材配置例

側に設置する。真空ポンプ(ユニット)の吸引口とグラウトキャップの排出口をホースで接続する。グラウトキャップや中間に配置された排気および排出用ホースは、先端を塞栓し減圧時に空気の流入のないような措置をとる。そのほかは通常のグラウトと同様に資機材を配置し準備を行う。

注入作業では、まず真空ポンプにより、ダクト内を減圧する。減圧により要求される真空度は90%(圧力計示度:-0.09MPa)程度であり、所定の圧力まで減圧されたこと(真空状態)を確認する。以降はグラウトキャップおよび中間の排気口からの排出作業が不要なこと以外は通常のグラウトと同様の方法である。

ここで真空グラウト特有の作業について述べる。前述のとおり、グラウトキャップおよび中間のホースは塞栓しており排出の必要はない。しかしそれらのホースは設置不要というわけではなく、充填確認用として用いるため、ホース内にグラウトが充填されていることを確認する必要がある。また、排出側におけるコンシステンシーなどのグラウト性状変化の確認はどのような施工方法を用いても必要となる。排出口は真空ポンプユニットに接続されているため、グラウトは貯留タンク(デカンタ)内に入ることになる。そこでグラウト性状確認作業を簡便化するために、図に示すように排出口から出てきたグラウトを三方バルブにより切り替えて排出させることを現場では行っていることが多い。真空グラウトの目的はダクト内のグラウトの充填性向上でありグラウトキャップから排出された時点で真空ポンプの役目は終了するため、切り替えることによる充填性低下は生じない。

#### 5. 真空グラウトの取組み状況その1

##### 5.1 開発の概要<sup>1) 8)</sup>

SEEE協会では、技術部にグラウト特別分科会を設置し、国内のグラウト問題に対応するため、真空グラウトの研究ならびに開発を行った。技術導入はフランスGTM Construction社からであり、同社の用いている真空ポンプユニットも同時に導入した。2000年10月にグラウト特別分科会が発足し、技術検討と確認試験を繰り返し、2002年から(財)土木研究センターの指導を得て、2003年11月の「真空グラウト施工マニュアル」発行に至っている。

ここで実用化に向けて三期に分けて実施した確認試験の概要について述べる。なお試験結果の詳細についてはここでは割愛するため、参考資料1)および8)を参照されたい。

##### (1) 第一期試験

・試験時期：2001年7月

- ・試験目的：真空グラウトの手順と効果を確認する。
- ・供試体：12S 15.2, 19S15.2,  $L = 20\text{ m}$ ,  $\alpha = 25^\circ$
- ・概要：フランスより導入した真空ポンプと技術を用いて、実験により手順と効果を確認する。

(2) 第二期試験

- ・試験時期：2002年5月
- ・試験目的：真空グラウトの効果を定量的に評価する。
- ・供試体：12S 15.2,  $L = 10\text{ m}$ ,  $\alpha = 10^\circ, 15^\circ$
- ・概要：第一期試験で効果の確認された真空グラウトを定量的に評価することを目的とし、充填性をいくつかの観点から比較した。

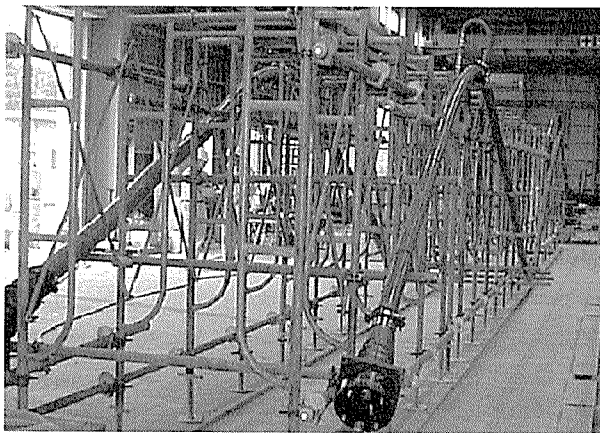


写真-2 第一期試験状況 / SEEE 協会

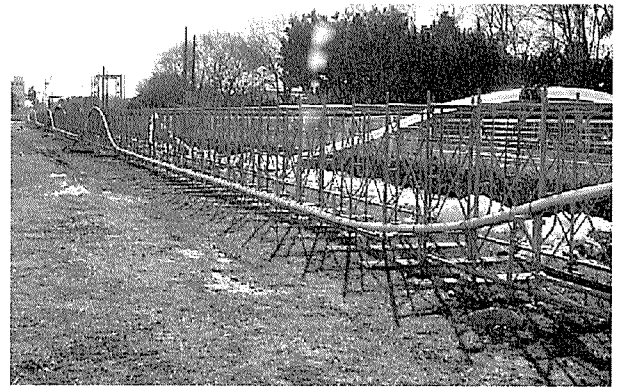


写真-3 第三期試験状況 / SEEE 協会



写真-4 リブ部における充填状況

・測定項目

- 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（注入後の試料を使用）
- ④PC鋼材素線間のグラウト体積

(3) 第三期試験

- ・試験時期：2002年12月
- ・試験目的：実橋を想定した注入試験
- ・供試体：12S 15.2,  $L = 150\text{ m}$ ,  $\alpha = 15^\circ$
- ・概要：第二期試験で定量的にも効果の確認された真空グラウトを、実橋レベルで適用可能なことを確認するための試験である。 $L = 150\text{ m}$ の供試体を製作し、実施工同様にグラウト注入を実施した。本試験では内部に凹凸を有するシースのリブ部にまでグラウトが充填されることが確認できた（写真-4）。

5.2 真空ポンプユニット

SEEE 協会が真空グラウトを実施するために、(株) エスイーが提供した真空ポンプ（ここでは真空ポンプユニット）は、フランス GTM Construction 社から導入したタイプ（輸入型）である。写真-5 に示すものがフランスより導入した輸入型である。真空ポンプ本体および貯留タンクなどを搭載した一体型（ユニット型）となっており、タンクの内部にグラウトの液面感知センサーを有する。このセンサーは真空ポンプ本体の故障防止用である。万一引き込まれたグラウトが貯留タンク内で満杯になった場合に、真空ポン

プ本体にグラウトが浸入しないよう、ある程度の量でセンサーが液面を感知し自動的に電源が停止する仕様である。

その後、フランスで考案されたタイプを用いて実験および実施工を数件行い、国内の現場事情や現場の利便性に配慮された改良型を製作した。写真-6 に改良型ユニットを示す。主な改良点は、大幅な軽量化とキャスタータイプによるハンドリング性能、電源をリモコン化したことにより離れた位置での操作が可能となる点、作動時にパトランプが点灯し離れた位置から作動の確認が可能となる点などである。なお、搭載する真空ポンプ本体はフランスから導入したものと改良型と同一機種であり真空度への影響に相違はない。

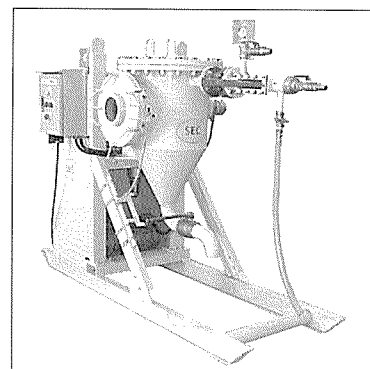


写真-5 輸入型真空ポンプユニット

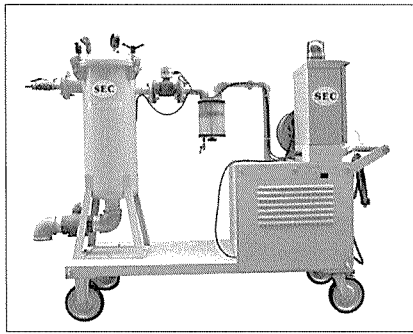


写真-6 改良型真空ポンプユニット

### 5.3 施工実績の例示<sup>9)</sup>

2002年11月に実施した丹波綾部道路八田川橋（国土交通省近畿地方整備局発注／銭高組施工）の実施工を初めに、2005年12月の段階で30橋程度の実績がある。ケーブル種類としては内ケーブル、外ケーブル問わず使用されている。ここでは初めて実施された八田川橋の施工概要を紹介する。写真-7に八田川橋の全景を示す。また、図-5にケーブルおよび資機材配置図を示す。八田川橋は、PC4径間連続箱桁橋の内外ケーブル併用のPCケーブル構造である。外ケーブルは最大のもので3径間区間194mに及ぶ長尺ケーブルであり、充填性確保と施工性改善を目的に真空グラウトを実施することとなった。結果的に194mという長尺ケーブルを、最大圧力0.5MPaで盛り替え注入を行うことなく、72分の注入時間で施工を行い良好な成果を得た。



写真-7 八田川橋全景

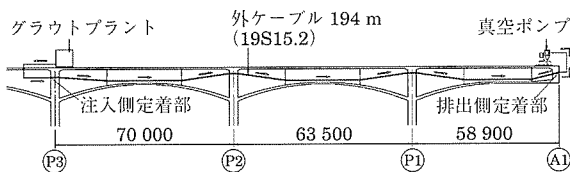


図-5 八田川橋ケーブルおよび機材配置図

## 6. 真空グラウトの取組み状況その2

### 6.1 開発の概要<sup>9)</sup>

FKKはグラウトをダクトに確実に充填させる注入方法の確立を目指して真空グラウトに着目し、FI社（フレシネーインターナショナル）よりフランス製の真空ポンプおよびデカンタを導入した。以降、2002年～2004年の約3年間

にわたって写真-8のような試験体ダクトを用いて真空グラウトに関する基礎試験を繰り返して行い、真空グラウトに関する施工マニュアルを作成した。その結果、前述された真空グラウトのダクト内部の圧力低減、狭隘部におけるグラウト充填性の向上効果、リークテストによるダクトの気密性チェックの重要性、真空度が高い状況下での真空グラウト状況、などを確認した。

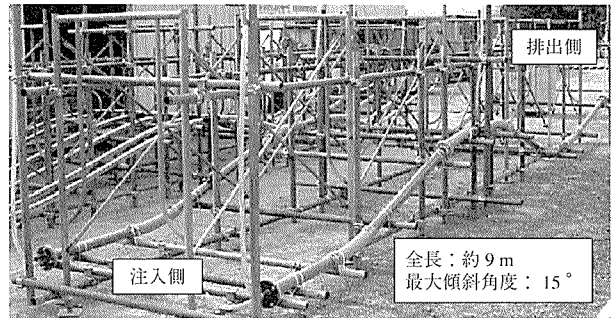
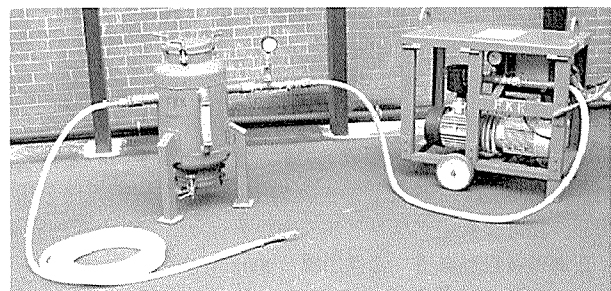


写真-8 試験体ダクトの一例

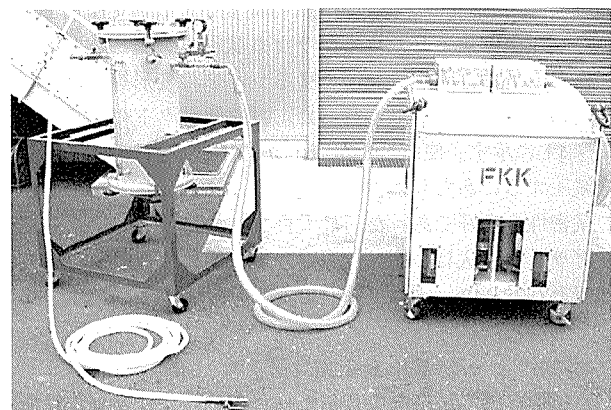
### 6.2 真空装置

真空グラウトでは通常グラウトと比べて真空ポンプ、デカンタ、負圧測定計器等の資機材が増える。ただし、それらの操作および設置の作業は熟練者でなくても容易に行える。

現時点での真空ポンプには写真-9に示すフランス製（F-V型）と、試験用に製作した日本製（FKK-V型）の2種



(a) F-V型 (左：デカンタ, 右：真空ポンプ)



(b) FKK-V型 (左：デカンタ, 右：真空ポンプ)

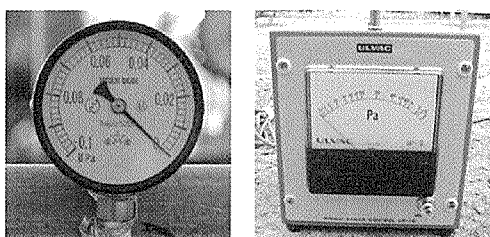
写真-9 真空ポンプおよびデカンタ

類がある。両真空ポンプとも空冷・油回転式でダクト内部を $-0.09$  MPa以下まで減圧できる能力を有し、作動時の音も静かである。

FKK-V型には2台の真空ポンプを内蔵しており、そのうちの1台には油水分離機を接続している。これは減圧時に吸引される水分と真空ポンプの油を分離するもので、油交換の頻度を大きく低減できる。

デカンタは真空ポンプへのグラウト流入を防止するグラウト貯蔵用タンクとして使用している。デカンタに設けた竹の子ニップル付きボールバルブの開閉により容易にダクト内部の真空度を一定に保持することができる。FKK-V型のデカンタにはバルブを5箇所にかけているため、排出側に加えて複数の充填確認ホースからもダクト内部を減圧することができる。

一般にダクト内部の真空度の測定には写真-10(a)に示すブルドン管タイプの負圧測定用圧力計を使用することが多い。この圧力計示度は大気圧(1気圧)をゼロとし、負の値で真空度を表示する。また、高い真空度の測定を対象とした写真-14(b)に示すピラニー真空計もある。



(a) ブルドン管タイプ (b) ピラニー真空計

写真-10 負圧測定計器の一例

### 6.3 施工実績の例示<sup>10) 11) 12) 13)</sup>

現在までの真空グラウトの施工実績の中から2例を紹介する。ともに実施工を想定した試験体ダクトを用いて真空グラウトの効果を確認した。実施工においても同方法を採用し、良好な真空グラウト注入作業を行うことができた。

#### 東海環状自動車道 津保川橋(2002年9月)

東海環状津保川橋は橋長266mの3径間連続PC箱桁ラーメン橋である(国土交通省中部地方整備局発注/錢高組施工)。グラウトの充填性向上と作業能率の改善を図って外ケーブルを対象とした真空グラウト試験を実施した。真空グラウトの作業手順、減圧によるシースの変形等を確認するため、基礎的な試験も行った。試験体ダクトの全景を写真-11に示す。使用した真空ポンプF-V型はダクト内部を減圧するにあたり能力的に問題はなく、シース接続箇所気密性も良好であった。最大長266mの外ケーブルの真空グラウト注入は、2回の盛り換えにより、最大シース内部圧力0.28MPa、注入時間135分、最大連続注入長は110mを実現した。

#### 北陸幹(上・糸)姫川B上部工他工事(2004年11月)

姫川橋梁は、新潟県糸魚川市に位置し一級河川姫川を渡河する橋長462mの7径間連続PCフィンバック橋である(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北陸新幹線第二



写真-11 試験体ダクトの全景

建設局発注/ピーエス三菱・興和・常磐JV施工)。本橋の主ケーブルの下り勾配は $19^\circ$ と急傾斜であり、グラウトの先流れおよび終了後の下方からの気泡上昇によるエア溜りが懸念された。そこでその部分においても所定の真空度を確保するように排出側に加えて、図-6に示す充填確認ホースD、Eの頂部2箇所からも真空吸引を行った。又、充填完了から約1時間後、エア溜りが残存しそうな充填確認ホースEからグラウトを手動ポンプにより再注入し、充填確認ホースDから排出を行った。複数箇所から減圧した真空グラウトと再注入の併用により、急傾斜なダクトにおいてもグラウト充填を確実に行うことができた。

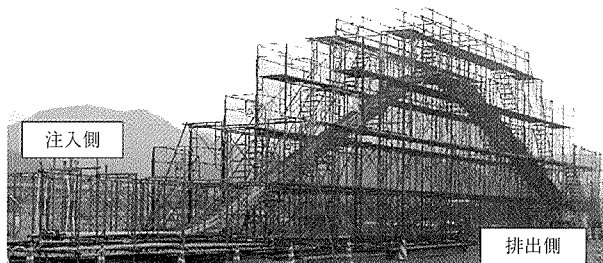


写真-12 試験体ダクトの全景

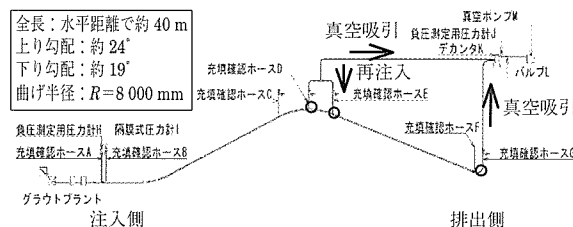


図-6 試験体ダクトの形状および機材配置図

## 7. ま と め

真空グラウトの充填性向上の効果は、きわめて単純な原理を用いているために非常にわかりやすいものである。ただし、注入対象の密閉性が損なわれている場合はしるべき効果が期待できない。しかし通常のグラウトにおいても密閉性が確保されていなければ漏れのおそれや加圧保持が不可能という点から充填度は比べて劣るものになることは間違いない。真空ポンプを用いるという作業は、容易に密閉性の点検ができるという点から見ても将来的に推奨したい事項である。

本報告は、真空グラウトに取り組んでいる機関の中で施工実績の多いSEEE協会とFKKの共著とした。これら2つの機関で実施している真空グラウトは基本的に原理として同じである。効果としても真空ポンプを用いることによる充填性の向上を主目的としており同じである。今後は、普及に向けて密閉性を保持するための管理法とともに、最適な真空度に関する課題等についても双方向連携してさらに研究内容を検証して見直しを行っていくようにしていきたい。

2005年4月1日、「品確法（公共工事の品質確保の促進に関する法律）」が施行された。これにより発注者には、コストと品質を評価し選定する責務が求められることになった。すなわち受注者である民間企業に対してはコストと品質を追及した技術を提供する責務が課せられたことになる。このような時代背景にある昨今において、公共事業の目的は「建設する」ことから、社会のニーズに応え「使われる」ためのものへと変わってきているようである。真空グラウトという一施工方法が、より高品質が要求される社会に対して保障できるようなPC構造物を供給することへの一助になればと考える。

#### 参考文献

- 1) SEEE協会特別分科会：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
- 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 社よりの資料
- 3) R.D.Lapsley : Grouting of Post-Tensioned Structures-Recent Advances in Vacuum Grouting Techniques and Grout Mix Design, FIP Symposium on Post-Tensioned Concrete Structures 1996
- 4) The Concrete Society (UK) : Durable Post-Tensioned Concrete Bridges, Technical Report47, 1996
- 5) fib : Grouting of tendons in prestressed concrete, bulletin20, p.24, 2002
- 6) 財団法人土木研究センター, SEEE協会グラウト特別分科会：真空グラウト施工マニュアル, 2003
- 7) FKK極東鋼弦コンクリート振興(株), FKK真空ポンプ併用グラウト施工マニュアル, 2005
- 8) 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（その2）、プレストレストコンクリート、Vol.46, No.3, pp.37～45, 2004
- 9) 山口, 広瀬, 成沢, 島根：「PCグラウト施工に関する技術開発への一つの取り組み」、プレストレストコンクリート、Vol.45, No.5, pp.46～52, 2003
- 10) 野永, 橋本, 上田中：真空ポンプを併用したPCグラウト新工法による長大外ケーブルの施工、プレストレストコンクリート技術協会、第12回シンポジウム論文集, pp.421～424, 2003
- 11) 内山, 野永, 山口：PCグラウト注入における真空ポンプと注入ポンプ併用の効果、第25回コンクリート工学講演会, 2003
- 12) 布下, 服田, 堀場, 野永：真空ポンプを併用した長大外ケーブルのグラウト実物大試験と施工（東海環状自動車道 津保川橋）、プレストレストコンクリート技術協会、第12回シンポジウム論文集, pp.417～420, 2003
- 13) 武田, 綿貫, 清田, 吉田：PCフィンバック橋の施工－北陸新幹線 姫川橋りょう－、プレストレストコンクリート技術協会、第14回シンポジウム論文集, 2005

【2006年1月17日受付】



刊行物案内

## プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン（案）

（平成15年11月）

頒布価格 会員特価 : 4 000 円（送料 500 円）

非会員価格 : 5 000 円（送料 500 円）

（参考資料 CD-ROM 共）

## 高強度鉄筋 PPC 構造設計指針

（平成15年11月）

頒布価格 会員特価 : 4 000 円（送料 400 円）

非会員価格 : 5 000 円（送料 400 円）