

## 真空ポンプを併用したPCグラウト充填性に及ぼすPCグラウト種類の影響

オリエンタル白石(株) 正会員 工修 ○俵 道和  
 オリエンタル白石(株) 小林 俊秋  
 太平洋マテリアル(株) 中田 学  
 愛知工業大学 都市環境学科 正会員 工博 呉 承寧

Abstract : PC Grout in a prestressed concrete structure is required to protect tendons from corrosion and make the tendons and concrete be a composite. So a positive filling method of PC grout is asked. In order to improve the filling of PC grout, one of the filling methods is used, which is injecting PC grout under vacuum condition. In this research, the cables specimens as actual structures were used to investigate influence of type of PC grout on filling under atmospheric condition or vacuum condition. In experiment, two types of PC grout were used, that are high viscosity PC grout and super-low viscosity PC grout. According to the results of the experiment, when PC grout was injected under vacuum condition, lower ratio of surface air bubble and high ratio of grout filling volume both in the cable and among the PC wires were observed for any types of the PC grout.

Key words : PC grout, Filling, Inject under vacuum condition, Type of PC grout

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物に用いられるPCグラウトには、PC鋼材を腐食から保護する性能、PC鋼材と部材コンクリートの一体性を確保する性能が求められており、より確実な充填方法が求められている。諸外国および近年は国内でも、PCグラウトの注入に真空ポンプを併用する方法（以下、真空グラウトと略称）が実際に使用されており、従来のPCグラウト注入工法を改善する有効な方法であると考えられている。また、PCグラウトは粘性によって高粘性型、低粘性型、超低粘性型に分類されている。しかし、これまでPCグラウトの粘性が異なる条件で真空ポンプを併用したPCグラウトの充填性状について比較検討された事例はほとんどないのが現状である。

よって、本研究では高粘性と超低粘性の2種類のPCグラウトについて、実物大試験体を用いて真空ポンプ併用の有無によるPCグラウトの充填状況を比較検討した。本研究でPCグラウトの充填状況を評価する方法として、硬化後の圧縮強度、PCグラウト表面における空隙面積率、充填体積率およびPC鋼材の素線間に充填されたPCグラウト体積を測定した。

## 2. 実験概要

## 2.1 PCグラウトの使用材料および配合

PCグラウトは、セメント、混和材、収縮低減材、高性能減水剤、増粘剤がプレミックスされたプレミックス材を用いた超低粘性タイプ（密度 $3.07\text{g/cm}^3$ ）とグラウト混和剤を用いた高粘性タイプの2種類を使用した。高粘性タイプには、メラミンスルホン酸系化合物および水溶性高分子エーテル系化合物を主成分とする混和剤と普通ポルトランドセメント（密度 $3.16\text{g/cm}^3$ ）を使用した。PCグラウトの示方配合を表-1に示す。

表-1 PCグラウトの示方配合

| 粘性タイプ | 水材料比 (%) | 単体量 ( $\text{kg/m}^3$ ) |     |       |
|-------|----------|-------------------------|-----|-------|
|       |          | グラウト材<br>または<br>セメント    | 水   | 混和剤   |
| 超低粘性  | 36.0     | 1458                    | 525 | —     |
| 高粘性   | 43.5     | 1332                    | 579 | 13.32 |

2. 2 試験体形状

先流れに伴う残留空気の排出状況に焦点を絞って、連続ケーブルの一部分を取り出した実物大形状とした。下り角度は、張り出し施工を想定した15度とした。ケーブル形状図を図-1に示す。注入方法は、下り勾配によるPCグラウトの先流れを再現するため、図-1の左側からとした。シースは内径75mmとし、シース内部にはPC鋼より線(12S15.2 SWPR7BL)を配置した。シースは注入状況を目視にて確認できるように白濁色のPEシースを用いた。また、シースのジョイント部ではグラウト圧により漏れるおそれがあるためコンクリートを打設しシースを保護した。中間排気口の位置は、

過去の実験結果<sup>1)</sup>を参考とし、超低粘性PCグラウトはシース高さ最高点から下り区間方向に0m, 0.5mの2箇所とし、高粘性PCグラウトはシース高さ最高点から下り区間方向に3.0m, 5.0mの2箇所とした。真空グラウト注入方法も中間排気口の位置は同じとした。注入速度は15L/minとし、排出確認後の再加圧は0.5MPaを上限とした。試験体の種類を表-2に示し、試験体の計測項目を表-3に示す。空隙面積率、充填体積率およびPC鋼材素線間のPCグラウト体積測定のため、これまでの実績より中間排気口付近でPCグラウトの充填性の違いが生じることが想定されていたため、中間排気口の前後について重点的に調査を行った。排気口から3.443mまでの区間は圧縮強度試験体の採取を行うためにPC鋼材を配置しなかった。圧縮強度試験体採取区間Aには内径50mmの塩ビ管を設置し圧縮強度用の供試体を1ケース3本(φ50×100mm)を採取した。

2. 3 PCグラウト製造方法および使用機器

本試験で使用した使用機器一覧を表-4に示す。超低粘性PCグラウトは、水にプレミックス材を投入完了後に1.5分攪拌した後に排出した。高粘性PCグラウトは、水に混和剤を投入し攪拌した後にセメントを投入し、投入完了後に3分間攪拌した後に排出した。1バッチの練り混ぜ量は、超低粘性は103Lとし、高粘性は113Lとした。

表-2 試験体の種類

| 試験体名    | PCグラウトの種類 | 真空ポンプ併用の有無 | 負圧測定用圧力計示度(MPa) |
|---------|-----------|------------|-----------------|
| CASE1-1 | 超低粘性      | 無し         | 0               |
| CASE1-2 |           | 有り         | -0.08~-0.09     |
| CASE2-1 | 高粘性       | 無し         | 0               |
| CASE2-2 |           | 有り         | -0.08~-0.09     |

表-3 試験体の計測項目

| 検査時期           | 種類                 | 設置および確認場所                     |
|----------------|--------------------|-------------------------------|
| 注入時            | 目視による充填確認          | 全長                            |
|                | 目視による充填確認          | 全長                            |
| 注入後(PCグラウト硬化後) | グラウト表面における空隙面積率    | 試験体採取区間 I, II, III, IV, V, VI |
|                | グラウト充填体積率          |                               |
|                | PC鋼材素線間のPCグラウト体積測定 |                               |
|                | 圧縮強度試験             | 試験体採取区間 A                     |

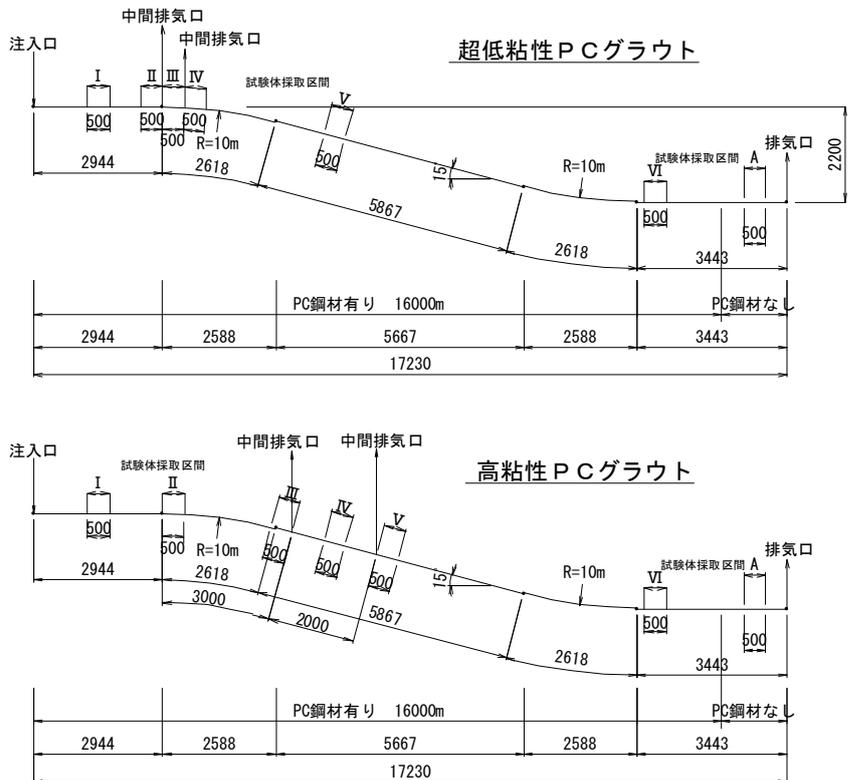


図-1 試験体形状図

### 2. 4 真空グラウトの注入方法

真空グラウト注入は、シース内の気圧を-0.08~-0.09MPa（負圧計圧力示度）に保持させた状態でPCグラウトを圧送するものである。真空グラウト注入手順を図-2、機材配置を図-3に示す。

注入準備として、真空ポンプを作動させシース内部を-0.08~-0.09MPaまで減圧し、真空ポンプ側の切り替えバルブを閉じた状態で2分間保持させ、-0.08MPaまでの真空度の戻りがないことを確認する。所定の減圧状態に達した後、流量15L/minの速度で注入を開始した。注入中は、真空ポンプ側の負圧計が-0.08~-0.09MPaの範囲となるようにバルブ③を調節した。排気口にPCグラウトの到達を確認した後に、真空ポンプおよびPCグラウトの注入を停止した。中間排気口および排気口を開放させ、先流れに生じた残留空気を排出させる。残留空気の排出を確認した後に中間排気口および排気口を閉じて、再加圧を行い終了とした。

表-4 使用機器一覧

| 品名       | 型式                   | 備考                           |
|----------|----------------------|------------------------------|
| グラウトミキサー | MG-150型              | 回転数：1000rpm                  |
| グラウトポンプ  | スクイズ式                | ロータリータイプ                     |
| 流量計      | チャート式                | -                            |
| 真空ポンプ    | FKK-VS型<br>(油水分離機能付) | 吸引能力：<br>670L/min<br>電源：200V |

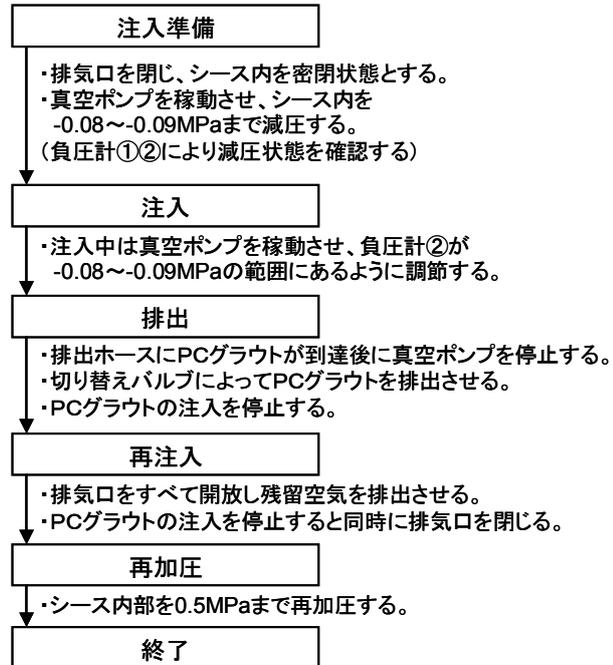


図-2 真空グラウト注入手順

### 3. 試験結果

#### 3. 1 品質管理試験結果

表-5にPCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル<sup>1)</sup>に示される圧縮強度を除く品質管理試験項目および試験結果を示す。ブリーディング率および体積変化率は24時間後の測定結果を示す。超低粘性および高粘性ともにすべての品質管理項目を満足する材料であった。

表-5 品質管理試験結果

| 試験項目                                 | 規格値                                           | PCグラウトの種類                  |                            |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                      |                                               | 超低粘性                       | 高粘性                        |
| グラウト温度                               | -                                             | 24°C                       | 22°C                       |
| レオロジー試験<br>(JP漏斗)                    | 超低粘性：3.5~6秒<br>高粘性：14~23秒                     | 4.4秒                       | 17.7秒                      |
| NEXCO試験法420<br>(鉛直管試験) <sup>2)</sup> | ブリーディング率0.3%以下                                | 0%                         | 0%                         |
|                                      | 体積変化率±0.5%                                    | -0.36%                     | -0.33%                     |
| 単位容積質量測定試験<br>(推定水材料比)               | 超低粘性：32.0~39.0%<br>高粘性：37.5~46.5%             | 34.5%                      | 42.3%                      |
| 塩化物含有量<br>(カンタブ)                     | 超低粘性：0.3kg/m <sup>3</sup> 以下<br>高粘性：C×0.08%以下 | 0.252<br>kg/m <sup>3</sup> | 0.266<br>kg/m <sup>3</sup> |

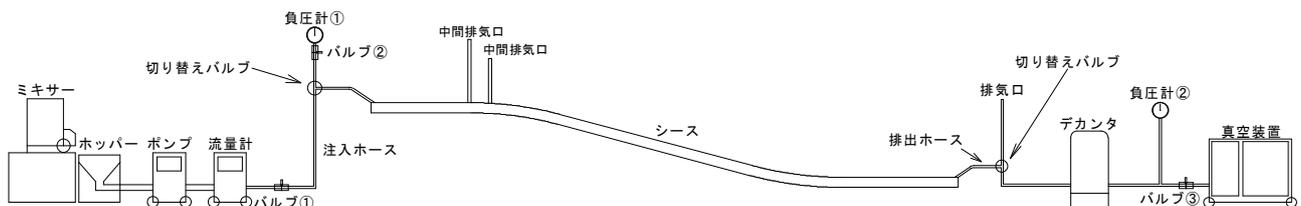


図-3 真空グラウト注入の機材配置

### 3. 2 圧縮強度試験結果

材齢 28 日後に実物大試験体から切り出した試験体について圧縮強度を測定した結果を図-4に示す。試験体の形状はφ50×100mmとした。

実物大試験体から切り出した試験体の圧縮強度は、真空ポンプ無しのものと比較して、超低粘性+真空ポンプ有りの中は約 10%、高粘性+真空ポンプ有りの中は約 15%の強度増加が確認された。真空ポンプを使用したものの圧縮強度が増加した理由は、真空ポンプ無しに比べて真空ポンプを使用した方がPCグラウトの充填性が向上したためと考えられる。

### 3. 3 注入時の目視による充填確認

本試験に使用したシー스는白濁色であるため、PCグラウトの充填状況を目視により確認した。PCグラウトの種類および真空ポンプの有無にかかわらず、注入口背後の直線までは、先端が水平となりながらもシースの全断面に満ちた状態で流れた。その後の最高点（中間排気口設置位置付近）からの下り勾配では先流れによりシース断面上方に空隙が生じたが、排出口からの排出と同時にPCグラウトが空隙を逆方向に流れ、残留空気は最高点の中間排気口から排出された。超低粘性には残留空気は見られず良好な充填状況であったが、高粘性は上部の中間排気口の最高点側に先流れにより発生した残留空気の確認された。残留空気を除去するための対策方法は図-5に示すように、中間排気口の位置を最高点側に1m移動することにより残留空気を排出することが可能であると考えられる。

### 3. 4 硬化後の充填調査

#### (1) PCグラウト表面における空隙面積率

PCグラウト表面における空隙面積率は、実物大試験体のPEシースを剥ぎ取り、表面に生じた空隙の面積を上面から撮影し、撮影した空隙の平面面積をシース全体の平面面積で除した値とした。代表値として区間VIのPCグラウトの表面空隙と空隙面積率を表-6に示し、試験区間と空隙面積率の関係を図-6に示す。

区間I～VIの表面空隙率平均値は高粘性グラウトの先流れにより生じた残留空気を除いた場合、高粘性+真空ポンプ有り(2.2%) < 超低粘性+真空ポンプ有り(3.4%) < 超低粘性+真空ポンプ無し(4.9%) < 高粘性+真空ポンプ無し(5.3%)の順になり、PCグラウトの種類にかかわらず、表面空隙率は真空ポンプを使用したものが小さくなった。これより、真空ポンプを使用することにより、PCグラウトの種類にかかわらずPCグラウトの上部に発生する表面空隙を

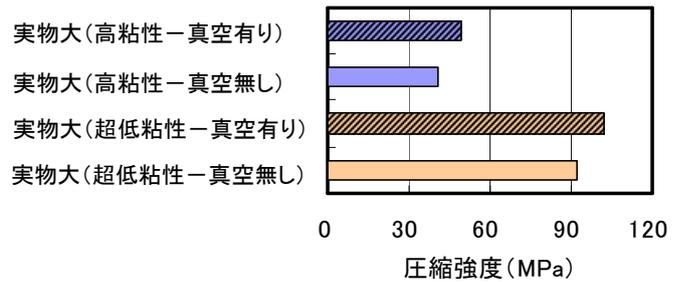


図-4 圧縮強度測定結果

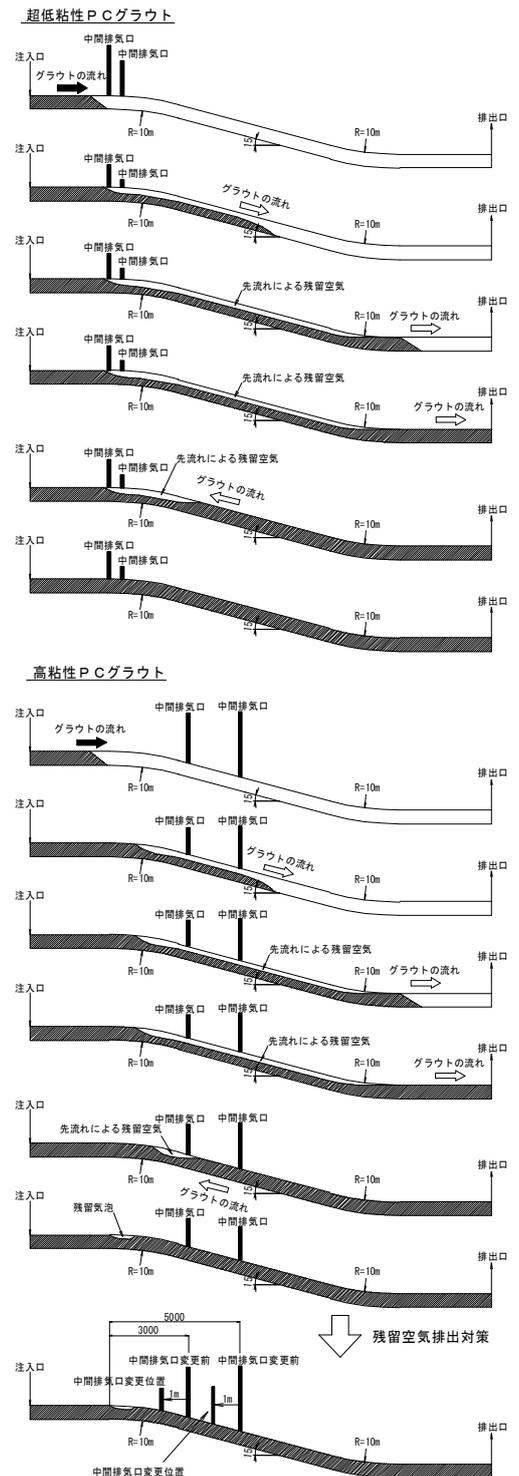
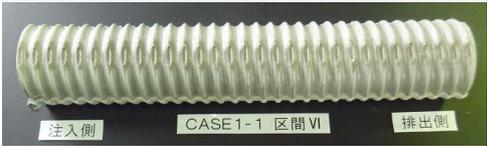
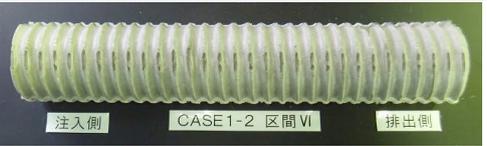


図-5 PCグラウト充填状況

表-6 PCグラウトの表面空隙 (区間VI)

| 真空ポンプの有無 | 真空ポンプ無し                                                                           | 真空ポンプ有り                                                                            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験CASE   | CASE1-1                                                                           | CASE1-2                                                                            |
| 超低粘性     |  |  |
| 空隙面積率(%) | 4.6                                                                               | 4.6                                                                                |
| 試験CASE   | CASE2-1                                                                           | CASE2-2                                                                            |
| 高粘性      |  |  |
| 空隙面積率(%) | 3.3                                                                               | 0.0                                                                                |

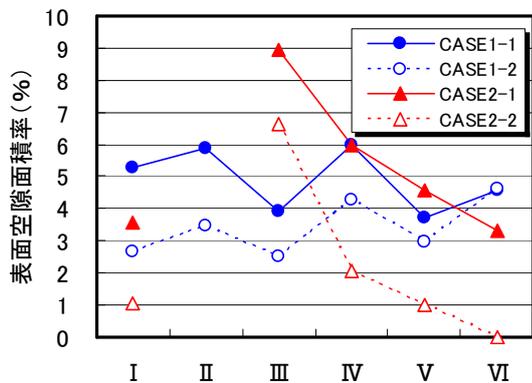


図-6 表面空隙面積率の比較

低減させる効果が確認された。表面空隙率について評価を行った気泡は、すべてPEシースのリブ断面内に収まるものでありPC鋼材の腐食や部材との一体化に対して有害な影響を及ぼす可能性は少ないと考えられている気泡である<sup>3)</sup>。

(2) PCグラウト充填体積率

PCグラウト硬化物はPCグラウトおよび空隙により構成されていると考え、PCグラウトおよび空隙の体積をPCグラウト硬化物全体の体積で除した値を、PC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-7に示すように、PCグラウト試験体から、PCグラウト片を取り除くこと

で、PCグラウトの質量およびPC鋼より線の質量を測定し、グラウト空隙体積率を $\alpha$ とし式(1)により算出した。単位長さ当たりの充填体積率の比較を図-8に示す。PCグラウト充填体積率は高粘性グラウトの先流れにより生じた残留空気を除いた場合、超低粘性+真空ポンプ無し<高粘性+真空ポンプ無し<超低粘性+真空ポンプ有り<高粘性+真空ポンプ有りの順になり、超低粘性<高粘性、真空ポンプ無し<真空ポンプ有りとなった。これより、真空ポンプを使用することによりPCグラウトの充填体積率を向上させる効果が確認された。

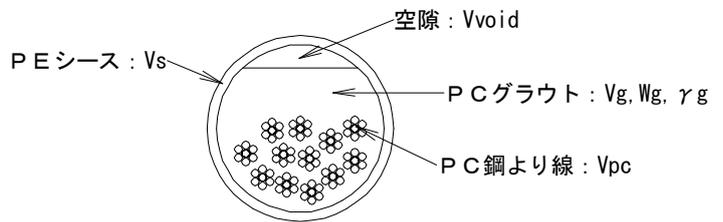


図-7 PCグラウト充填体積率の測定

PCグラウト空隙体積率

$$\alpha = V_{void} / (V_g + V_{void}) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

$V_{void}$  : グラウト試験体の空隙体積 (cm<sup>3</sup>)

$$= V_s - V_{pc} - V_g$$

$V_s$  : シース内空の単位長さ1m当たりの体積設計値

$V_{pc}$  : PC鋼より線の単位長さ1m当たりの体積設計値

$V_g$  : PCグラウト体積 (cm<sup>3</sup>) =  $W_g / \gamma_g$

$W_g$  : グラウト試験体から採取したグラウトの質量 (kg)

$\gamma_g$  : グラウト試験体から採取された圧縮強度供試体の単位体積質量 (kg/cm<sup>3</sup>)

これから、PCグラウト充填体積率を $\beta$ とすると

$$\beta = 1 - \alpha$$

(3) PC鋼より線素線間のPCグラウト体積

グラウト試験体から7本よりPC鋼より線15.2mmを12本採取し、PC鋼より線の質量設計値との質量差をPC鋼より線間のPCグラウトの質量とし、実物大試験体から採取された圧縮強度供試体の単位容積質量の実測値で除することによりPC鋼より線中のPCグラウトの体積とした。単位長さ1m当たりのPC鋼より線間のPCグラウト体積を図-9に示す。

PC鋼より線素線内のPCグラウト充填体積平均値は、測定区間でのバラツキがあるものの高粘性+真空ポンプ無し<超低粘性+真空ポンプ無し<高粘性+真空ポンプ有り<超低粘性+真空ポンプ有りの順になり、高粘性<超低粘性、真空ポンプ無し<真空ポンプ有りとなった。真空ポンプを使用することによりPC鋼より線素線間のPCグラウト充填性を向上させる効果が確認された。

4. まとめ

- (1) 目視観察による注入状況は、PCグラウト種類にかかわらず真空ポンプによる影響は確認されなかった。
- (2) 実物大試験体から採取した試験体について圧縮強度を行った結果、真空ポンプを用いることにより超低粘性は約10%、高粘性は約15%の強度増加が確認された。
- (3) PCグラウトの粘性種類にかかわらず真空ポンプを使用することにより表面空隙率を低減させ、PCグラウトの充填体積率およびPC鋼より線素線間の充填性を向上させる効果が確認された。
- (4) PCグラウトの粘性種類に関わらず、真空ポンプを使用することによる充填性向上効果が得られた。

参考文献

- 1) 社団法人プレストレストコンクリート建設業協会, PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版), pp.122~123, 2006.6
- 2) 東日本, 中日本, 西日本高速道路株式会社, 構造物施工管理要領, pp.2-148, 2011.7
- 3) 社団法人プレストレストコンクリート技術協会, PCグラウトの設計施工指針, pp.I-20, 2005.12
- 4) 真空グラウト施工マニュアル, 財団法人土木研究センター, SEEE協会グラウト特別分科会, 2003年11月
- 5) FKK真空ポンプ併用グラウト施工マニュアル, FKK極東鋼弦コンクリート振興株式会社, 2007年2月

|      |         |         | 単位(%) |      |      |      |      |      |      |
|------|---------|---------|-------|------|------|------|------|------|------|
|      |         |         | I     | II   | III  | IV   | V    | VI   | 平均   |
| 超低粘性 | 真空ポンプ無し | CASE1-1 | 97.3  | 95.8 | 95.2 | 95.2 | 96.1 | 95.4 | 95.8 |
|      | 真空ポンプ有り | CASE1-2 | 97.5  | 96.8 | 96.6 | 96.5 | 97.3 | 97.0 | 96.9 |
| 高粘性  | 真空ポンプ無し | CASE2-1 | 96.0  |      | 95.0 | 96.0 | 95.5 | 97.3 | 95.9 |
|      | 真空ポンプ有り | CASE2-2 | 96.9  |      | 96.9 | 98.0 | 96.8 | 97.6 | 97.2 |

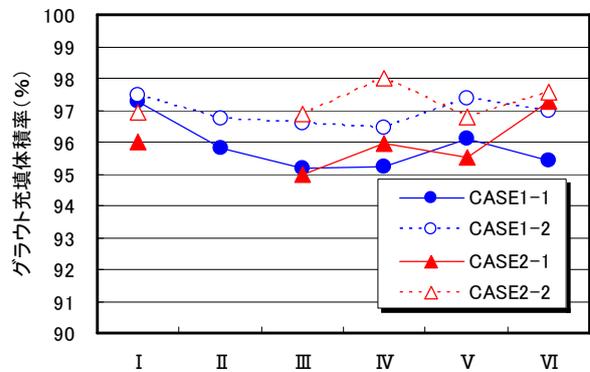


図-8 PCグラウト充填体積率の比較

|      |         |         | 単位(cm <sup>3</sup> ) |       |       |       |       |       |       |
|------|---------|---------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |         |         | I                    | II    | III   | IV    | V     | VI    | 平均    |
| 超低粘性 | 真空ポンプ無し | CASE1-1 | 127.9                | 116.1 | 116.8 | 127.2 | 104.7 | 120.1 | 118.8 |
|      | 真空ポンプ有り | CASE1-2 | 126.7                | 104.6 | 117.3 | 143.3 | 129.2 | 138.5 | 126.6 |
| 高粘性  | 真空ポンプ無し | CASE2-1 | 124.1                | 104.7 | 134.2 | 113.4 | 117.9 | 112.5 | 117.8 |
|      | 真空ポンプ有り | CASE2-2 | 131.3                | 113.3 | 119.8 | 136.0 | 121.0 | 115.6 | 122.8 |

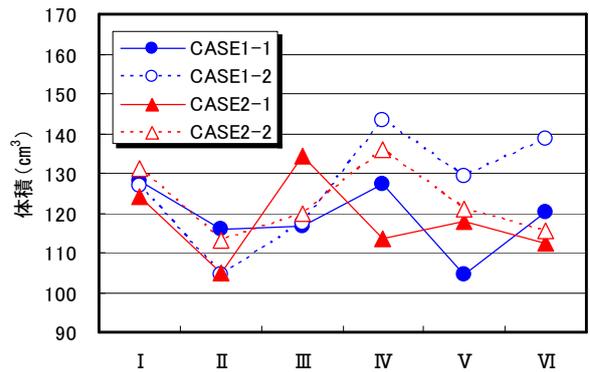


図-9 PC鋼より線素線間のPCグラウト体積