

# PC グラウトのブリーディングと収縮の評価方法

辻 幸和\*<sup>1</sup>・李 春鶴\*<sup>2</sup>

ブリーディング性状および収縮性状が優れた高品質な PC グラウトの両性状の関連性を評価する JSCE-F 533 (PC グラウトのブリーディング率および膨張率試験方法) を改良した容器方法による実験結果を報告する。また、円筒型グラウトミキサを用いて、水結合材比および一次水結合材比の異なる分割練混ぜ方法と一括練混ぜ方法により、比表面積の異なる 2 種類の高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントの半分程度併用した高品質な PC グラウトの製造方法とその評価方法についての検討結果も報告する。

キーワード：PC グラウト、ブリーディング率、収縮率、JSCE-F 533 容器方法

## 1. はじめに

シース内に注入した PC グラウトがブリーディングを生じ、また凝結硬化の過程で収縮すると、シースと PC 鋼材との付着が不十分になってしまう。そのため、PC グラウトのブリーディング率と収縮率を抑えることは重要である。

これらの評価方法として、プレストレストコンクリート工学会の「PC グラウトの設計施工指針」の「平成 24 年 12 月改訂版」では鉛直管試験 (JSCE-F 535) と傾斜管試験 (JSCE-F 534) が規定されている。これらの試験方法は、PC グラウトの実際の注入状況を反映した優れたものであるが、試験器具が大規模で、試験後の供試体の廃棄がサステナビリティに問題を生じる場合がある。また、透明な管におけるブリーディング水面と PC グラウト上面の読取りの精度に限界がある。そこで、JSCE-F 533 の容器方法を改良して採用することにより、これらの欠点が軽減されたと考えた。

JSCE-F 533 の試験方法を改良した容器方法により、PC グラウトのブリーディング率と収縮率の読取り精度が向上して、両者の関連が明確になる。そして、高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントの半分程度置換させると、ブリーディング率と収縮率が向上できる場合のあることを実験的に検討した。また、普通ポルトランドセメントよりも塩化物イオン濃度が小さい高炉スラグ微粉末を併用すると、PC グラウトの塩化物イオン含有量を低下させることの利点もある。すなわち、プレミックス材の PC グラウトだけでなく、コンクリートと同等の許容塩化物イオン含有量  $0.30 \text{ kg/m}^3$  以下の PC グラウトを、高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントの半分程度併用して製造することも可能となるのである。

本研究は、ブリーディング性状および収縮性状が優れた高品質な PC グラウトの製造を目指した、製造会社による

基準試験として用いる PC グラウトの品質試験方法として、JSCE-F 533 の試験方法を改良した容器方法により両性状の関連性を評価した結果を報告する。また、円筒型グラウトミキサを用いて、水結合材比および練混ぜ方法を変えて、比表面積の異なる 2 種類の高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントと約 50% 併用した高品質な PC グラウトの製造とその評価について検討を行った結果も報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

PC グラウトは、以下に示す結合材、水、および PC グラウト用混和剤 (以下、混和剤と称する) により製造した。結合材 (B) は、普通ポルトランドセメント (以下、セメントと称する) と高炉スラグ微粉末 (以下、スラグ微粉末と称する) である。表 - 1 に結合材の品質を示す。セメントの比表面積は  $3260 \text{ cm}^2/\text{g}$  である。スラグ微粉末には、比表面積が  $4130 \text{ cm}^2/\text{g}$  のもの (以下、N と称する) と、 $6140 \text{ cm}^2/\text{g}$  のもの (以下、S と称する) の 2 種類を使用した。塩化物イオン量は、セメントでは  $170 \text{ ppm}$  であり、スラグ微粉末では約 1/4 の  $40 \text{ ppm}$  である。なお、セメントに含有される塩化物イオン量は、その許容値が 2003 年 11 月の JIS R 5210 の改正により  $200 \text{ ppm}$  から  $350 \text{ ppm}$  に緩和<sup>1)</sup>されたことに伴い、現在では実験に使用したセメントに比べて増加している。

練混ぜ水は、上水道水を練上がり温度が  $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  になるように、水温を調整して使用した。

混和剤としてはノンブリーディング高粘性タイプである、メラミンスルホン酸系化合物と水溶性高分子エーテル系化合物を主成分とする混和剤 G (以下、混和剤 G と称する)、およびメラミン系高性能減水剤と増粘剤を主成分とする混和剤 C (以下、混和剤 C と称する) の 2 種類を使用した。また、混和剤の添加率を質量で結合材量の 0.4 ~ 1.0% に変化させた。混和剤メーカーの推奨する添加率

\*<sup>1</sup> Yukikazu TSUJI : NPO法人 持続可能な社会基盤研究会 理事長 群馬大学・前橋工科大学 名誉教授 (名誉会員)

\*<sup>2</sup> Chunhe LI : 宮崎大学 工学教育研究部 准教授 (正会員)

表 - 1 結合材の種類と配合シリーズ名

| 配合シリーズ | 結合材の種類       | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g) | 塩化物イオン (ppm) |
|--------|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------|
| CC     | 普通ポルトランドセメント | 3.16                    | 3260                      | 170          |
| CN     | 高炉スラグ微粉末 N   | 2.89                    | 4130                      | 40           |
| CS     | 高炉スラグ微粉末 S   | 2.88                    | 6140                      | 40           |

表 - 2 PC グラウトの配合の種類

| シリーズ名  | 配合シリーズ | 水結合材比 (W/B) (%) | 一次水結合材比 (W <sub>1</sub> /B) (%) | スラグ微粉末の種類    | スラグ微粉末の置換率 (%) | 混和剤 (Ad) の種類 | 混和剤 (Ad) の添加率 (%)  |
|--------|--------|-----------------|---------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------------|
| シリーズ 1 | CC     | 41, 43, 45      | 30, 36、一括                       | —            | 0              | G            | 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 |
|        | CN     |                 |                                 | 40, (50), 60 |                |              |                    |
|        | CS     |                 |                                 |              |                |              |                    |
| シリーズ 2 | CC     | 45              | 一括                              | —            | 0              | G, C         | 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 |
|        | CN     |                 |                                 | 50           |                |              |                    |
|        | CS     |                 |                                 |              |                |              |                    |
| シリーズ 3 | CC     | 41, 43, 45      | 30                              | —            | 0              | G            | 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 |
|        | CN     |                 |                                 | 40, 60       |                |              |                    |
|        | CS     |                 |                                 |              |                |              |                    |
| シリーズ 4 | CS     | 36              | 一括                              | S            | 40             | G            | 0.5                |

( ): 一括練混ぜのみ、シリーズ 4 には高性能 AE 減水剤を結合材量の 0.8% 添加

はいずれも 1.0% であるが、主にブリーディングの抑制と流動性への影響程度を検討するため、推奨値よりも少量を、レベルを変化させて用いた。

## 2.2 配合

4 シリーズの PC グラウトの配合を、表 - 2 に示す。1 バッチの練混ぜ量は、19.0 L ~ 19.5 L とした。

シリーズ 1 は、2 種類のスラグ微粉末と混和剤 G を用いて、W/B は 3 種類とした<sup>2,3)</sup>。また練混ぜ方法は、一括練混ぜ方法および分割練混ぜ方法を用いた。分割練混ぜ方法における一次水結合材比の W<sub>1</sub>/B は、30% と 36% の 2 種類に変化させた。スラグ微粉末の置換率は、結合材の質量に対して 0%、40%、50% と 60% の 4 種類とした。

シリーズ 2 では、2 種類の混和剤 G と混和剤 C を用いて、混和剤の添加率の及ぼす影響を検討した<sup>4)</sup>。すべての配合は、水結合材比を 45%、スラグ微粉末の置換率は 0%、50% として、スラグ微粉末を N と S の 2 種類に変化した。

シリーズ 3 は、混和剤 G を使用して、主に PC グラウトの高強度化を図ったものである<sup>5,6)</sup>。N と S の 2 種類のスラグ微粉末の置換率はそれぞれ 0%、40% と 60%、水結合材比は 3 種類、混和剤の添加率は 4 種類にした。

またシリーズ 4 は、シリーズ 3 の結果を踏まえて、混和剤のみでなく高性能 AE 減水剤を使用した配合である<sup>6)</sup>。水結合材比が 36%、混和剤の添加率を 0.5%、高性能 AE 減水剤の添加率を 0.8% とし、スラグ微粉末 S を用いてその置換率は 40% とした。

## 2.3 ミキサの仕様

PC グラウトの練混ぜには、容量が 30 L の小型円筒型グラウトミキサを使用した。写真 - 1 に、ミキサの外観および練混ぜ槽内の様子を示す。モーターは水平面に 15 度傾けて、60 mm の偏心をとって配置している。回転数は、1150 rpm である。また内径が 415 mm の練混ぜ槽の内面側壁には、円周方向の流れを制御する抑止板を鉛直方向に 3 箇所設けてある。これらの工夫により、練混ぜ性能が従来の角型ミキサに比べて向上されている。

## 2.4 練混ぜ方法

練混ぜ方法は、一括練混ぜ方法と分割練混ぜ方法とした。練混ぜ時間は 180 秒と一定にし、分割練混ぜ方法は、図 - 1 に示すように、結合材 B に一次水 W<sub>1</sub> と混和剤 Ad を添加した後に 90 秒間の一次練混ぜを行う。その後二次水 W<sub>2</sub> を添加して、さらに 90 秒間の二次練混ぜを行い、合計 180 秒間練り混ぜる方法である。この分割練混ぜ方法によれば、PC グラウトのフレッシュ性状は一括練混ぜ方法に比べて一般に改善されることが多い<sup>7~9)</sup>。

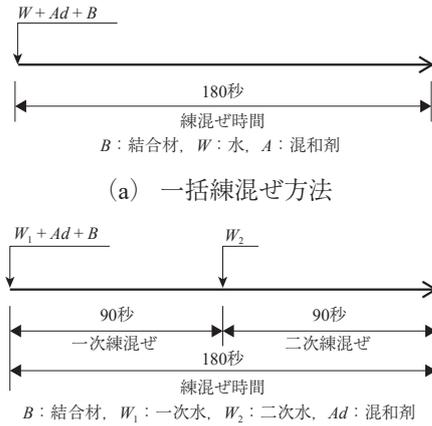
## 2.5 ブリーディング率および収縮率の試験方法

PC グラウトのブリーディング率試験は土木学会規準 JSCE-F 533 に従って行った。そして収縮率試験は、同じく JSCE-F 533 の容器方法に準じた。この方法は、プレストレストコンクリート工学会の「PC グラウトの設計施工指針」の「平成 17 年 12 月制定版」に規定されていた体積変化率試験方法であり、JSCE-F 533 を改良した改良容器方法である。



(a) 外観 (b) 練混ぜ槽の内部

写真 - 1 ミキサ



(a) 一括練混ぜ方法

(b) 分割練混ぜ方法

図 - 1 練混ぜ方法

ブリーディング試験状況を、写真 - 2 に示す。ブリーディング率は、式(1)および式(2)にて算出した。

$$BR_3 = \frac{B_3}{V} \times 100 \quad (1)$$

$$BR_6 = \frac{B_6}{V} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 $BR_3$ : 3 時間後のブリーディング率 (%),  $BR_6$ : 6 時間後のブリーディング率 (%),  $B_3$ : 3 時間後のブリーディングによる水量 (mL),  $B_6$ : 6 時間後のブリーディングによる水量 (mL),  $V$ : 試料の体積 (mL)) である。

収縮率試験では、図 - 2 に示すように、マイクロメータ (容器方法) だけでなく、レーザー変位計 (改良容器方法) も用いた。収縮率の算出には、式(3)および式(4)を用いた。

$$\varepsilon_M = \frac{B_0 - B_n}{V} \times 100 \quad (3)$$

$$\varepsilon_L = \frac{B'_0 - B'_n}{H} \times 100 \quad (4)$$

ここに、 $\varepsilon_M$ : マイクロメータにより計測された収縮率,  $\varepsilon_L$ : レーザー変位計により計測された収縮率,  $B_0$ : 基長 (mm)  $B_0 = A + t$ ,  $A$ : プリッジ上面から押金物上面までの深さの平均値 (mm),  $t$ : 押金物の厚さ 5 mm (容器方法),  $B_n$ : 材齢  $n$  日におけるプリッジ上面からガラス板上面までの深さの平均値 (mm),  $B'_0$ : 測定開始時のレーザー変位計の測定値 (mm),  $B'_n$ : 材齢  $n$  分・時間・日におけるレーザー変位計の測定値 (mm),  $H$ : 測定開始時の試料の高



(a) 試料の採取 (b) ブリーディング水の採取 (c) 容器とメスシリンダーによる測定

写真 - 2 ブリーディング試験状況

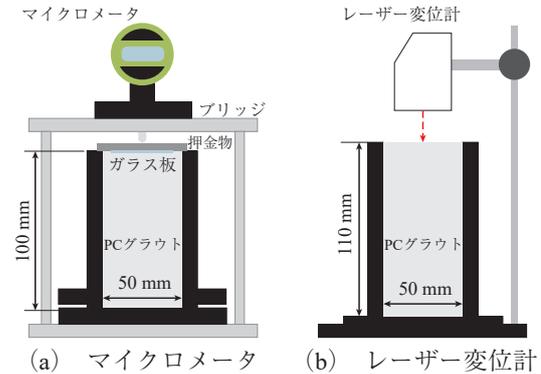


図 - 2 収縮率試験の概要図

さ (mm) である。

### 3. 傾斜管試験と鉛直管試験から改良容器方法への採用理由

製造会社による基準試験として用いる PC グラウトの品質試験方法には、「PC グラウトの設計施工指針」の「平成 17 年 12 月制定版」では、材料分離抵抗性試験として図 - 3 と写真 - 3 に示す傾斜管試験が、ブリーディング率試験と体積変化率試験として図 - 4 に示す鉛直管試験が、ならびに体積変化率試験として改良容器方法が、それぞれ品質検査に用いることができるものと規定されていた。しかしながら、「平成 24 年 12 月改訂版」では、傾斜管試験および鉛直管試験のみがそれぞれ規定されて、改良容器方法は削除されている。

なお、容器方法は、JSCE-F 533 ではそのタイトルが“PC グラウトのブリーディング率および膨張率試験方法 (容器方法)”であり、“ブリーディング率”の試験方法も規定されているが、「平成 17 年 12 月制定版」では、“膨張率試験方法”のみに対応する“体積変化率試験”しか規定されていなかった。容器方法は、JIS A 1123 (コンクリートのブリーディング試験方法), JSCE-F 542 (充てんモルタルのブリーディング率および膨張率試験方法) に準じたものである。

なお、「PC グラウトの設計施工指針」の「平成 24 年 12 月改訂版」には、体積変化率試験として改良容器方法が採用されなかった理由は、明確に示されていない。

#### 3.1 鉛直管試験と傾斜管試験ならびに改良容器方法における測定精度

鉛直管試験によるブリーディング率と体積変化率は、グ

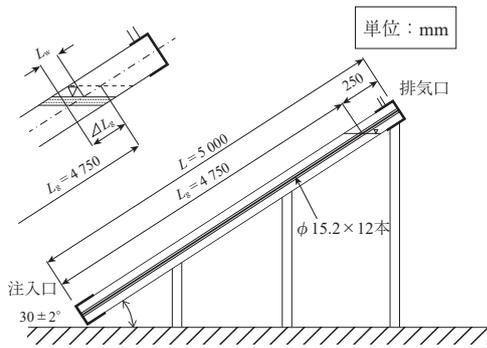


図 - 3 傾斜管試験の概要図

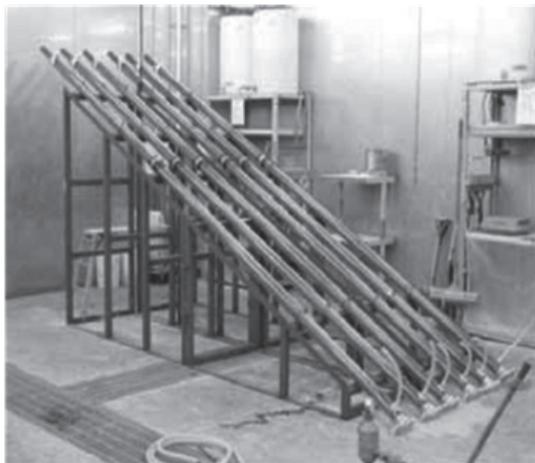


写真 - 3 傾斜管試験の状況

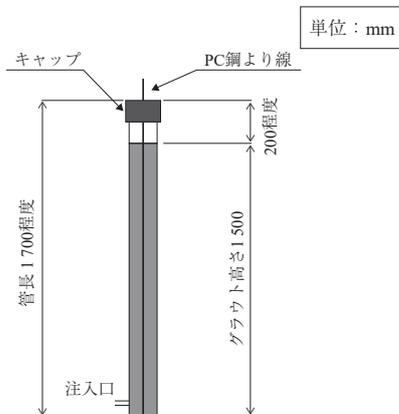


図 - 4 鉛直管試験の概要図

ラウト注入長が約 1500 mm に対し、0.5 mm 単位で読み取って測定するため、0.5 mm/1500 mm と約 0.03 % の読取り精度でしかない。判定基準が、ブリーディング率では 0.3 % 以下、24 時間後に 0.0 % で、体積変化率では -0.5 % ~ 0.5 % で、それぞれ規定されているため、もう少し精度の良い測定方法が必要である。この判定には、写真 - 5 に示すような水面および PC グラウトの上面の位置を判定するには、0.5 mm より小さい目盛りの精度は求められないと考えられる。

これに対して、容器方法では、ブリーディング率は、容



写真 - 5 鉛直管試験における体積変化率測定時の PC グラウトの上面

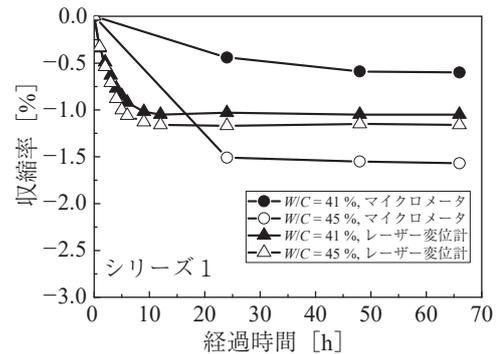


図 - 5 測定方法の違いによる収縮率 (シリーズ 1, CC シリーズ)

積が 1000 mL 以上の PC グラウトについて容量が 20 mL または 10 mL メスシリンダーを用いて 1/10 mL まで読み取り、(1/10) mL/1000 mL = 0.01 % より小さい精度で測定できる。また体積変化率では、高さが 100 mm の PC グラウトをマイクロメータまたはレーザー変位計を用いて 1/100 mm まで読み取り、(1/100) mm/100 mm の精度で測定できるので、0.01 % の精度は確保される。

### 3.2 容器方法における異なる測定方法による収縮性状

図 - 5 には、容器方法における測定方法の違いによる収縮性状を示す。セメントのみを用いて、W/C が 41 % と 45 % について、混和剤の添加率を 0.4 % とし、W<sub>1</sub>C が 36 % のシリーズ 1 の分割練混ぜを行った場合である。

レーザー変位計を用いた試験結果によると、測定開始から 10 時間ほどまで大きく増加し、その後の増加傾向は小さくなっている。マイクロメータによると、押金物を取り除いた材齢 1 日を経て、2 日まで収縮が継続し、その後はほぼ一定となっている。

また、測定方法の違いによって収縮率の値が異なっていることが認められる。マイクロメータを使用した試験では、試料上面にガラス板を載せ、その上に材齢 1 日まで押金物を設置しているため、W/C が 41 % の PC グラウトの場合はブリーディング水が蒸発しにくいので、レーザー変位計を用いた収縮率の絶対値に比べて小さい値となっている。しかしながら、W/C が 45 % と大きい配合では、41 % の配合に比べてガラス板の重みの影響が著しくなってブリーディング水が発生しやすくなり、押金物のブリーディング水の蒸発

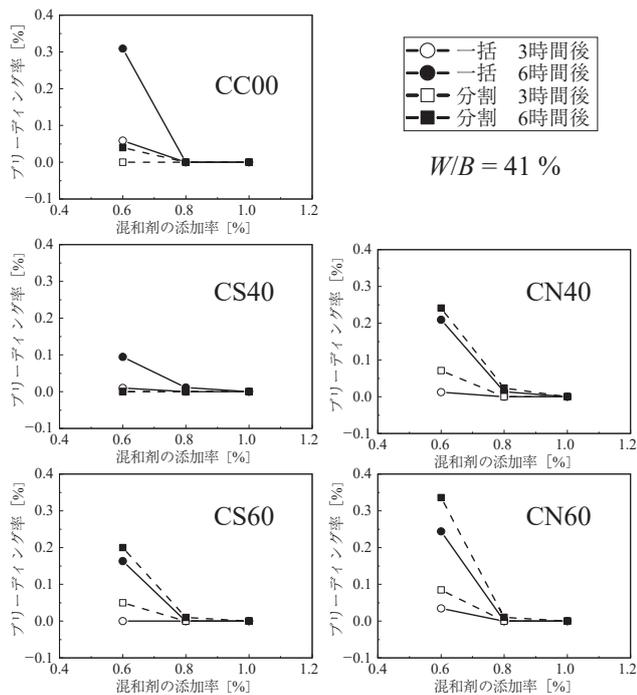


図 - 6 練混ぜ方法の違いによるブリーディング率

を抑える効果が低減して、レーザー変位計を用いた収縮率の絶対値に比べて大きな値となっている。これに対し、試料上面に厚さ 2～3 mm のプラスチック板を載せてレーザー変位計を用いて測定する方法は、板の質量の影響がガラス板ほど大きくない。

すなわち、マイクロメータを使用した収縮率の絶対値は、 $W/C$  の影響を大きく受けて、 $W/C$  が 41 % に比べ 45 % の PC グラウトはガラス板の重みの影響を大きく受けて、大きく測定されている。これに対し、試料上面に厚さ 2～3 mm のプラスチック板を載せてレーザー変位計を用いて測定した収縮率は、板の質量の影響がガラス板ほど大きくないものの、 $W/C$  が 41 % に比べて 45 % の PC グラウトのほうが絶対値で少し大きくなっており、その差はマイクロメータを使用したものより小さい。したがって、以下に示す収縮率は、改良容器方法によるレーザー変位計で測定した値を使用する。

#### 4. ブリーディング性状

図 - 6 には、PC グラウトの練上がり 3 時間後および 6 時間後のブリーディング率と混和剤の添加率との関係について、シリーズ 1 のスラグ微粉末の置換率と練混ぜ方法を変化させて示す。

混和剤の添加率が減少すると、ブリーディング率が増加している。すなわち、混和剤の添加率が 1.0 % の配合は、すべての配合について、3 時間後および 6 時間後のブリーディング率が 0 % になっている。また、混和剤の添加率が 0.8 % のすべての配合でも、3 時間後のブリーディング率が 0 % になり、6 時間後のブリーディング率も非常に小さくなっている。

混和剤の添加率が 0.6 % の配合では、セメントのみを用

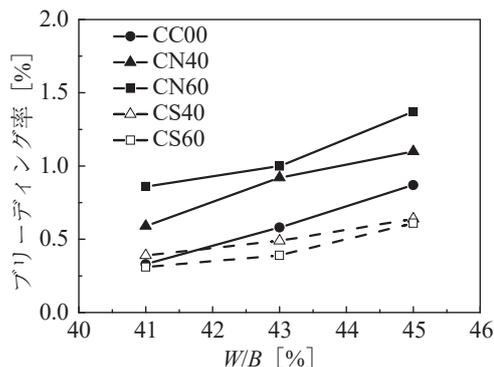


図 - 7 ブリーディング率と  $W/B$  の関係 ( $Ad = 0.4 %$ )

いた CC シリーズは分割練混ぜ方法のほうが、ブリーディング率は抑えられているが、それ以外の配合は、一括練混ぜ方法と同程度か少し大きい結果となっている。分割練混ぜにより、流動性が大きくなったためである。

混和剤の添加率が 1.0 %、0.8 % では、スラグ微粉末の置換率による変化はほとんど認められない。そして混和剤の添加率が 0.6 % の配合では、スラグ微粉末の置換率が 40 % よりも 60 % の配合のほうがブリーディング率が大きくなっている。また、粉末度が大きいスラグ微粉末 S を用いた CS シリーズが、ブリーディング率が小さくなっている。

図 - 7 は、シリーズ 1 について  $W/B$  が 36 % の分割練混ぜを行い、練上がり 6 時間後のブリーディング率と  $W/B$  の関係を示している。ブリーディング率の値が大きい混和剤の添加率が 0.4 % の配合である。すべての配合で、 $W/B$  が大きいほど、ブリーディング率は大きくなっている。これは、 $W/B$  が増加するに従い、PC グラウト中の単位水量が増加するためである。

スラグ微粉末の種類と置換率で比較すると、一般に  $CN60 > CN40 > CC \geq CS60 \approx CS40$  の順で、ブリーディングが少なくなっている。そして粉末度の小さいスラグ微粉末 N を用いた CN シリーズでは、置換率が 60 % の配合のほうがブリーディングは多く発生している。

しかし、粉末度の大きなスラグ微粉末 S を用いた CS シリーズでは、ブリーディング率がセメントのみの配合よりも減少している。これは、スラグ微粉末 S を使用したことにより、CC シリーズに比べて比表面積が増加して、結合材の粒子表面に水が多く吸着したためである。

#### 5. 収縮率とブリーディング率

図 - 8 には、練上がり 3 時間後および 6 時間後のブリーディング率と収縮率との関係について、シリーズ 1 のセメントのみ (CC シリーズ) を用い、 $W/C$  を 41 % と一定にして分割練混ぜ方法を用いて混和剤の添加率を変化させて示している。

混和剤の添加率  $Ad$  が 1.0 % と 0.8 % から 0.6 % に減少すると、ブリーディングが生じていることが認められる。また、0.6 % の添加率では 3 時間後から 6 時間後にブリーディング率と収縮率はともに増加している。そして、混和

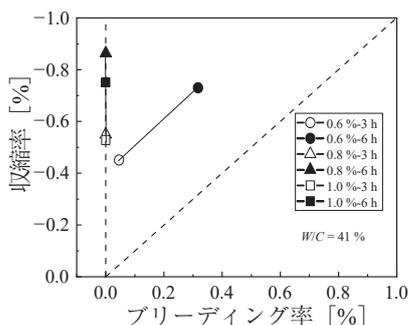


図 - 8 プリーディング率と収縮率の関係（混和剤の添加率を変化，CC シリーズ）

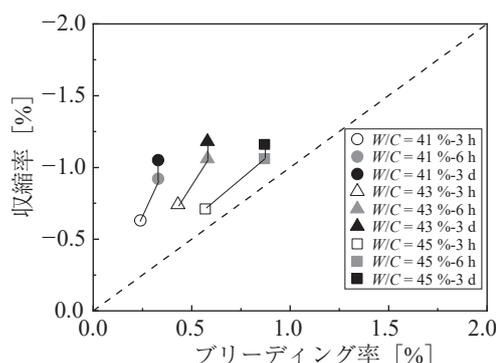


図 - 9 各経過時間・日におけるプリーディング率と収縮率の関係（W/C を変化，CC シリーズ）

剤の添加率が 1.0% と 0.8% の配合では、3 時間後の収縮率は規定値である  $\pm 0.5\%$  をほぼ満たしているが、6 時間経過後の収縮率は増加して規定値を満たしていない。

図 - 9 には、シリーズ 1 について練上がり 3 時間後および 6 時間後だけでなく、3 日後の各経過時間・日におけるプリーディング率と収縮率の関係、セメントのみ（CC シリーズ）を用い、W/C を要因にとって、それぞれ実線で結んで示す。なお、3 日後のプリーディング率は、6 時間後のプリーディング率を最終プリーディング率とし、その値を用いている。混和剤の添加率は 0.6% の配合である。

W/C を変化したいずれの配合でも、練上がり 6 時間後までにおいてもプリーディング率よりも収縮率の絶対値が大きくなっている。

練上がり 3 時間から 6 時間後の直線の傾きは、一般に W/C が大きいほど緩やかになり、プリーディング率と収縮率が等しい等価線の傾きに近くなっている。これらのことは、W/C の増加に伴い、プリーディングの継続時間が 3 時間後を超えて長くなるとともに、水和反応が遅くなり、水和収縮が遅くなったことの影響が大きく現われたためと考えられる<sup>10)</sup>。

なお、プリーディング率と収縮率の関係を図 - 8 と図 - 9 のようにプロットできるのは、レーザー変位計を用いて改良した容器方法により収縮率を、また容器方法によりプリーディング率をそれぞれ 0.01% より良い精度で測定できたからである。これらの図により、プリーディング率と収縮率の経時変化と両者の発生のメカニズムが推測できる。鉛直管試験により得られるプリーディング率と体積変化率では、前述した測定精度の制約により図 - 8 と図 - 9 のように明確に描くことができない<sup>10)</sup>。

## 6. 流動性

流動性試験は、JSCE-F 531（PC グラウトの流動性試験方法）に従って行った。すなわち、流出口の長さが 30 mm の JP 漏斗を使用し、それによる流下時間を測定した。流動性試験に使用した PC グラウトは、シリーズ 2 の一括練混ぜを行った 1.2 mm のふるいを通じたものである。

練混ぜ直後の流下時間と混和剤の添加率の関係を図 - 10 に示す。流下時間は、混和剤の添加率を増加させると、長くなる傾向が認められる。これは、混和剤の添加率の増

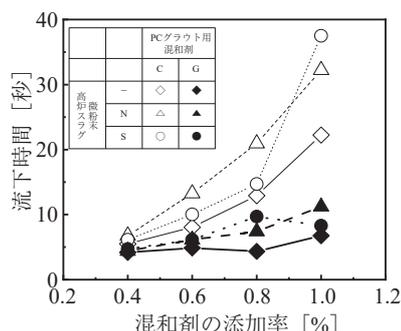


図 - 10 流動性（流下時間，シリーズ 2）

加に伴い PC グラウトの粘性が増したためである。また、混和剤 C を用いた配合は、混和剤 G を用いた配合に比べて、流下時間が長くなるとともに、混和剤の添加率が流下時間に及ぼす影響が著しいことも認められる。

セメントのみを使用した CC シリーズは、スラグ微粉末を置換した配合に比べて、混和剤の添加率に関わらず流下時間ももっとも短い結果となった。これは、セメントよりも比表面積の大きいスラグ微粉末をセメントの 50% 置換することにより、PC グラウトの粘性が増したためである。ただし、混和剤の添加率が小さい配合は、スラグ微粉末を 50% 置換したことによっても、PC グラウトの流動性を低下させる影響が顕著ではない配合もあった。また、スラグ微粉末 N で置換した CN シリーズとスラグ微粉末 S で置換した CS シリーズでは、流動性に大きな変化は無く、スラグ微粉末の比表面積が流動性に及ぼす影響は小さくなっている。

以上のことは、スラグ微粉末をセメントの 50% 置換しても、流動性の低下は大きくなく、混和剤を適切に添加することで、比較的良好な流動性を確保できると考えられる。

## 7. 圧縮強度の高強度化

圧縮強度試験は、JSCE-G 531（PC グラウトの圧縮強度試験方法）に準じて、材齢 28 日について行った。養生中の平均気温は  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  であった。シリーズ 2 の圧縮強度と混和剤の添加率との関係を、図 - 11 に示す。

いずれの配合についても、30 N/mm<sup>2</sup> 以上の圧縮強度を

示している。そして、セメントのみを使用した配合である CC シリーズは、混和剤の種類と添加率に関わらずほぼ一定の強度を示している。

スラグ微粉末で 50% 置換した CS、CN シリーズでは、混和剤の添加率が増加すると、混和剤 G を用いた場合は、圧縮強度も増加する傾向が認められるが、混和剤 C の場合は、圧縮強度が小さくなる傾向が認められる。また混和剤 G を添加した場合は、混和剤の添加率に関わらず CC シリーズ、CN シリーズ、CS シリーズの順に圧縮強度が大きくなるが、混和剤 C を添加した場合は、CC シリーズ、CN シリーズ、CS シリーズの順に逆に小さくなる傾向が認められる。

混和剤を 1.0% 添加した場合のシリーズ 3 の圧縮強度と水結合材比の関係を図 - 12 に示す。セメントをスラグ微粉末 S とスラグ微粉末 N で 40% 置換した場合の圧縮強度を比較すると、同程度の強度となる。また、スラグ微粉末の種類を N から S に変えると、同程度以上の強度となる傾向がある。置換率を 40% から 60% に増やすと、同程度あるいは少し減少する傾向がある。すなわち、PC グラウトの高強度化のためには、比表面積が大きいスラグ微粉末 S を置換したほうが、また置換率は 40% 程度に抑えたほうが、それぞれ効果的であると考えられる。

なお、圧縮強度と水結合材比の関係から認められるが、混和剤を 1.0% 添加した場合は、水結合材比を小さくすることによる圧縮強度の増加は顕著ではない。これは、現在一般に用いられている混和剤の品質の範囲では、圧縮強度の増進には限界があると考えられる。

また、水結合材比を極端に下げると、粘性が急激に上昇し、充填性が悪くなる。そして、現在の円筒型ミキサの能力制限条件により、水結合材比を極端に下げるとは、練混ぜが十分にできない場合がある。したがって、現在の練混ぜ条件で、流動性を確保し、ブリーディングを抑制し、収縮率を増加させず、また塩化物イオンの含有量を抑制しながら、PC グラウトの更なる高強度化を実現するためには、材料の工夫が必要である。

高性能 AE 減水剤は、減水の効果が高いため、収縮率の改善効果がある。また、高性能 AE 減水剤は PC グラウトの流動性も向上させることが確認されている<sup>12)</sup>。したがって、PC グラウトの圧縮強度を高めるために、水結合材比を下げ、低下する流動性は混和剤の使用量を低減するという、混和剤と高性能 AE 減水剤を効率的に組み合わせることが考えられる。

図 - 13 には、流動性が品質基準を満たすシリーズ 3 ならびに混和剤を 0.5% および高性能 AE 減水剤を 0.8% 添加したシリーズ 4 の圧縮強度の比較を示す。供試体名の配合シリーズ名の最後の数値は水結合材比を表す。

図に示すように、高性能 AE 減水剤と混和剤を有効に組み合わせることによって、水結合材比を 36% まで下げて、圧縮強度を 60 N/mm<sup>2</sup> 以上まで増加させることができています。シリーズ 4 の場合は流下時間が 12 秒であり、ほぼ流動性の品質基準を満たす。またブリーディング率は 0 で、収縮率は -0.11% であり、ブリーディング率と収縮率に関

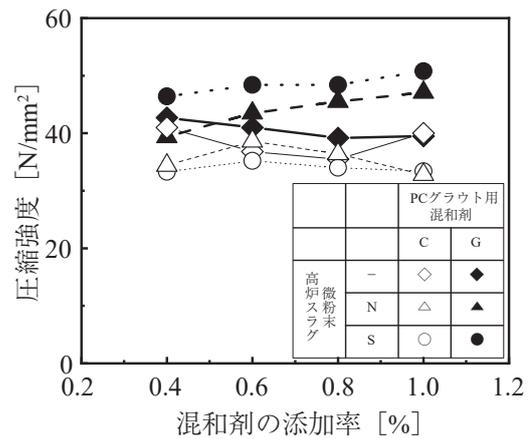


図 - 11 混和剤の添加率が異なる圧縮強度

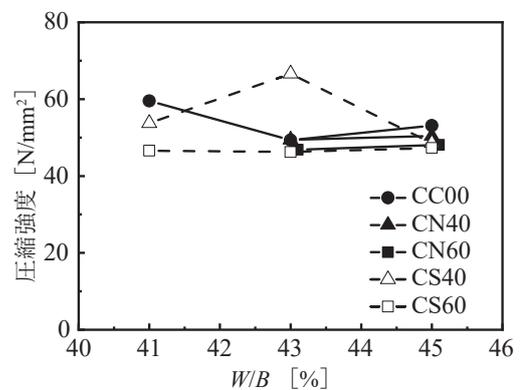


図 - 12 圧縮強度と水結合材比の関係

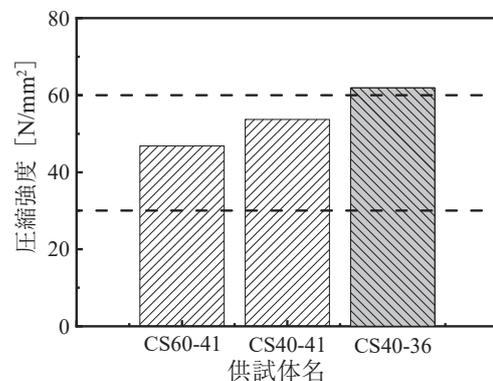


図 - 13 高強度 PC グラウト

する品質標準<sup>13)</sup>を満たしている。

練混ぜは、一括練混ぜ方法を使用している。今後は、ミキサの性能を向上させて、小さい一次水結合材比での一次練混ぜを行う分割練混ぜ方法を採用することにより、更なる高強度化が期待できる。

## 8. おわりに

本研究では、ブリーディング性状および収縮性状の高品質化を主体にし、また塩化物イオン含有量を低減した PC グラウトを製造するための基礎実験結果を報告した。すな

わち、比表面積の異なる高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントに対して50%程度置換し、PCグラウト用混和剤と高性能AE減水剤を適宜組み合わせることによって、ブリーディング率および収縮率が少なく、60 N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度をもつPCグラウトを製造できた。そして、製造会社による基準試験として用いるPCグラウトの品質試験方法には、ブリーディング性状および収縮性状の実験に、測定精度の良いJSCE-F 533の容器方法を用い、“膨張率試験方法”にはマイクロメータではなくレーザー変位計を用いる方法についても推奨した。

## 謝 辞

本研究の実施には、群馬大学工学系技術部技術専門職員の池田正志氏、当時コンクリート研究室の院生と学部学生であった諸氏に多大なご援助をいただいた。付記して、厚くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本産業規格：JIS R 5210:2003, pp.2, 2003.11.20
- 2) 池田正志, 辻 幸和, 李 春鶴, 藤本見輔：高炉スラグ微粉末を併用したPCグラウトの収縮およびブリーディング, 第17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.403-408, 2008
- 3) 池田正志, 山口光俊, 李 春鶴, 辻 幸和：PCグラウトのブリーディングおよび収縮性状, コンクリート工学年次論文集, 第31巻, No.1, pp.787-792, 2009.7
- 4) 山口光俊, 李 春鶴, 辻 幸和, 池田正志：高炉スラグ微粉末の併用により塩化物イオン量を低減したPCグラウトの製造, コンクリート工学年次論文集, 第31巻, No.1, pp.769-774, 2009.7.
- 5) 李 春鶴, 辻 幸和, 半井健一郎, 青木文良：粒度の異なる高炉スラグ微粉末を用いたPCグラウトの高強度化, セメント・コンクリート論文集, No.61, pp.148-153, 2008.2.
- 6) 李 春鶴, 山口光俊, 池田正志, 辻 幸和：高炉スラグ微粉末の併用による高品質なPCグラウトの製造, 第18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.379-384, 2009.10.
- 7) 辻 幸和, 池田正志, 谷口友一, 杉山隆文：高炉スラグ微粉末を用いたPCグラウトの流動性および強度, 土木学会コンクリート・PC構造物の現状の問題点とその対策に関する研究小委員会, PC構造物の現状の問題点とその対策, 土木学会コンクリート技術シリーズ 52, pp.285-292, 2003.6
- 8) 藤本謙太郎, 辻 幸和, 池田正志, 谷口友一：高炉スラグ微粉末を用いたPCグラウトのフレッシュおよび強度性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.129-134, 2004.
- 9) 池田正志, 辻 幸和, 杉山隆文, 広瀬晴次：高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュを併用したPCグラウトのフレッシュおよび強度性状, 第13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, pp.145-150, 2004.10
- 10) 野口康成, 原田 宏, 大門正機：ポルトランドセメントペーストの水和収縮に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.48, pp.52-57, 1994
- 11) 細野宏巳, 岩永豊司, 呉 承寧, 辻 幸和：PCグラウトのブリーディングと体積変化に関する基礎的研究, プレストレストコンクリート, Vol.59, No.5, pp.65-72, 2017.9
- 12) 辻 幸和, 池田正志, 橋本親典, 浦野真次：高強度PCグラウトの製造に関する基礎研究, プレストレストコンクリート, Vol.36, No.3, pp.47-56, 1994
- 13) 公益社団法人プレストレストコンクリート工学会：PCグラウトの設計施工指針－改訂版－, 2012.12

【2020年12月24日受付】



刊行物案内

# PC グラウトの設計施工指針 —改訂版—

平成24年12月

定 価 3,666 円(税込)／送料 300 円

会員特価 3,000 円(税込)／送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会