

## 真空および大気圧下での遠心作用による練混ぜを付与したPCグラウトの諸特性

(株)安藤・間	博 (工)	○松家 武樹
(株)安藤・間	正会員	田辺 重男
(株)安藤・間		木村 茂昭
(株)安藤・間	工修	坂田 祐介

Abstract : In this study, the influences of the mixing with centrifugal action on fresh properties, strength property and durability of PC grout was examined. From the test results, it can be concluded that (1) when the mixing with centrifugal action under vacuum or atmosphere pressure was conducted, fluidity of the PC grout improved. For this reason, the water-cement ratio of PC grout mixed with centrifugal action under vacuum or atmosphere pressure can be reduced by comparing to that of usual mixing. (2) when the mixing with centrifugal action under vacuum was conducted, the air content of PC grout was 0%. However, when the mixing with centrifugal action under atmosphere pressure was conducted, the air content of PC grout increased. (3) the compressive strength of PC grout mixed with centrifugal action under vacuum or atmosphere pressure increased. (4) the freeze-thaw resistance of PC grout mixed with centrifugal action under atmosphere pressure is same as that of usual mixing.

Key words : PC grout , Mixing with centrifugal action , Vacuum , Atmosphere pressure

## 1. はじめに

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート構造物において、PCグラウトに要求される性能には、PC鋼材の腐食防止、およびシース管内のPC鋼材とコンクリートの一体化がある。これらの要求性能を満足させるために、近年は、PCグラウトの施工方法に関する研究<sup>1)</sup>、および充填管理・検査方法の研究<sup>2)</sup>などが行われている。しかしながら、ノンブリーディング型のPCグラウト開発以降、PCグラウトの品質向上に関する研究<sup>3)</sup>は極めて少ない。李ら<sup>4)</sup>は、PCグラウトが有するポテンシャルを引き出すために、練混ぜ方法がPCグラウトの流動性に及ぼす影響についての研究を行い、分割練混ぜ方法によりPCグラウトの流動性が著しく向上すると報告されている。つまり、このことは現在の一般的な練混ぜ方法<sup>5)</sup>では、PCグラウトの有するポテンシャルを最大限引き出せていないことを意味するものである。一方、PCグラウトの品質項目に関しては、従来よりレオロジー、材料分離抵抗性、ブリーディング、体積変化率、および圧縮強度が検討されている<sup>5,6)</sup>。しかしながら、PCグラウトに含有される空気量については着目されておらず、空気量がPCグラウトのフレッシュ性状、強度特性、および凍結融解抵抗性に及ぼす影響については検討されていない。

そこで本研究では、PCグラウトが有するポテンシャルをさらに引き出すことを目的に、通常の方法で製造されたPCグラウトに、真空下および大気圧下での遠心作用による練混ぜを付与し、それらがPCグラウトのフレッシュ性状、強度特性および凍結融解抵抗性に及ぼす影響について明らかにすることとした。さらに本研究ではPCグラウトに含有される空気量がPCグラウトの諸特性に及ぼす影響についても検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 遠心攪拌装置

図-1に本研究で使用した遠心攪拌装置（以下、攪拌装置と略記）を示す。本装置は大別して3つの機器から構成されている。真空ポンプ、回転容器および滞留槽である。本装置は真空ポンプを起動させることにより、滞留槽の空間内を真空状態にすることができる。写真-1には回転容器の概観を示す。回転容器には2重構造の仕切り板があり、仕切り板は網目状に多数の孔を有している。本実験では、滞留槽の空間内を減圧させる場合の真空度は $-0.096\text{MPa}$ とし、回転容器の回転数は $2000\text{rpm}$ とした。なお本攪拌装置の相対遠心力は約 $450\text{G}$ である。

グラウトミキサーにより製造されたPCグラウトを攪拌装置に投入した場合の流路を詳述すると、先ず滞留槽の空間内で回転する回転容器にPCグラウトは流れ込む。流れ込んだPCグラウトは遠心作用を受けながら、回転容器の仕切り板に設けられた $\phi 1.5\text{mm}$ の孔を通過して滞留槽内に放出される。滞留槽底部に滞留したPCグラウトは滞留槽外に排出される。なお、PCグラウトが回転容器内を通過する時間および滞留層内に留まる時間は、それぞれ1秒程度および5分程度である。

### 2.2 実験シリーズ

本研究では、通常の方法で製造<sup>5)</sup>された高粘性PCグラウト（以下、標準グラウトと略記）に、真空下および大気圧下での遠心作用による練混ぜを付与した高粘性PCグラウト（以下、遠心グラウトと略記）の基本的特性を把握するため、2つのシリーズの実験を行った。

シリーズIでは、真空下での遠心作用による練混ぜの付与が高粘性PCグラウトのフレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす影響について検討した。なお、本シリーズでは高粘性PCグラウトの温度の影響についても検討している。シリーズIIでは大気圧下での遠心作用による練混ぜの付与が高粘性PCグラウトのフレッシュ性状、圧縮強度および凍結融解抵抗性に及ぼす影響について検討した。

### 2.3 PCグラウトの配合および製造

本研究では高粘性PCグラウトを対象とし、水セメント比(以下、W/Cと略記)を38%から45%の範囲とした。水は上水道水、セメントは普通ポルトランドセメント、混和剤にはGF-1720を使用した。混和剤はセメントに対して1.0%を添加した。

標準グラウトの製造は、主に温度 $20^\circ\text{C}$ の試験室で行い、回転数 $1000\text{rpm}$ 、容量 $50\text{l}$ のグラウトミキサーを用いて行った。練混ぜは、最初に水および混和剤を30秒間練混ぜ、次にセメントを加えて180秒間行った。なお、シリーズIではPCグラウトの温度を調整するために、試験室およびPCグラウトの材料温度を $10^\circ\text{C}$ から $40^\circ\text{C}$ の範囲で調整している。図-2に室温とPCグラウト温度の関係を示す。室温とPCグラウト温度はほぼ一致する値となっている。一方、遠心グラウトの練上がり温度は標準グラウトに比して平均 $2.5^\circ\text{C}$ 小さくなっている。この温度差が流動性に及ぼす影響は小さいが、根拠については後述する。

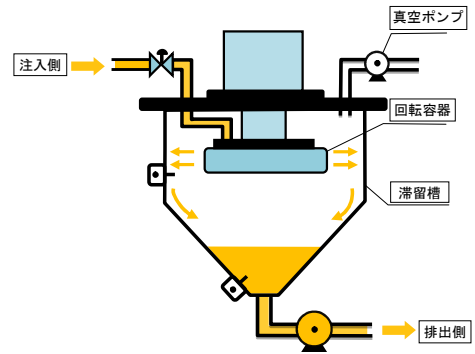


図-1 遠心攪拌装置の模式図



写真-1 回転容器

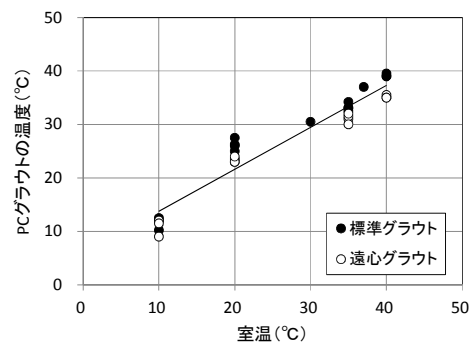


図-2 室温とPCグラウト温度の関係

## 2.4 試験項目および方法

### (1) 流動性, 空気量, および単位容積質量

流動性, 空気量および単位容積質量試験は, それぞれJSCE-F 531, JIS A 1128およびJSCE-F 536に準拠して行った。流動性および単位容積質量試験の結果は, 同一条件でそれぞれ3回および9回の試験の平均値である。なお, 本研究では空気量の影響を評価するために, 空気量試験および単位容積質量試験時におけるタンピングなどの空気を排出させる作業は除外した。

### (2) 圧縮強度および凍結融解

PCグラウトの圧縮強度および凍結融解試験は, それぞれJSCE-G 531-2007およびJIS A 1148に準拠して行った。圧縮強度および凍結融解試験の結果は, 同一条件でそれぞれ3個および2個の供試体の結果を平均した値である。なお, 前述の通り, 供試体はタンピングなどの空気を排出させる作業は除外し作成した。シリーズIおよびIIのPCグラウトの圧縮強度試験に用いた供試体は, 打設1日後に脱型し, 24時間の水中養生後に食品用ラップフィルムおよびポリエチレン袋で覆い, 所定の材齢まで封緘養生した。なお, 養生温度は供試体作成時の室温と同じであり, 10°Cから40°Cの範囲である。シリーズIIの凍結融解に用いた供試体は, 所定の材齢まで20°Cの水中養生とした。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 シリーズ I

#### (1) 流動性

図-3および図-4に室温別のW/Cと流下時間の関係を示す。各グラウトの流下時間はW/Cの増加およびグラウト温度が高くなると共に短くなっており, これは既報<sup>5)</sup>の結果と同様である。なお, W/Cが43%におけるグラウト温度1°Cあたりの流下時間の差異は0.3秒程度である。一方, 同一W/Cにおける標準グラウトと遠心グラウトの流下時間を比較した場合, 遠心グラウトの流下時間が短くなっている。これは遠心作用による練混ぜの付与により, セメント粒子の分散が流動性に寄与したものと推察できる。同図には高粘性PCグラウトの流下時間の規格値を示す<sup>7)</sup>。本実験結果における規格流下時間内のW/Cは, 標準グラウトでは41.2%~45.2%の範囲であり, 遠心グラウトでは39.6%~43.8%の範囲である。規格流下時間14sおよび23sにおけるW/Cを比較した場合, 遠心グラウトは標準グラウトより1.2%から1.9%の範囲で小さくできる。

#### (2) 空気量

図-5にW/Cと空気量の関係を示す。一般にコンクリートセクターでは, 単位セメント量が多い場合およびコンクリート温度が高い場合の空気量は減少すると報告<sup>8)</sup>されている。しかしながら, 本実験結果における室温30°C以上で練混ぜられたPCグラウトの空気量の挙動は, 上述したものと相反する結果となった。この原因は, 単位セメント量, 混和剤量, PCグラウトの温度および粘性度などが起因していると考えられるが, 判然としない。一方, 本実験結果における標準グラウトの空気量は0.3%から4.4%の範囲で含有されているが, 遠心グ

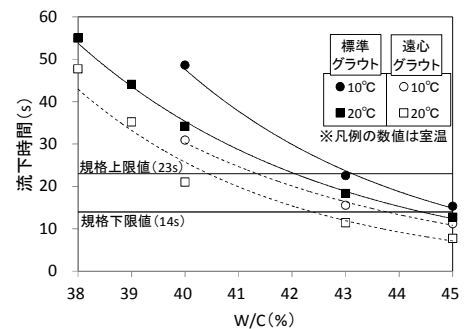


図-3 W/Cと流下時間の関係 (室温 10°Cおよび 20°Cの場合)

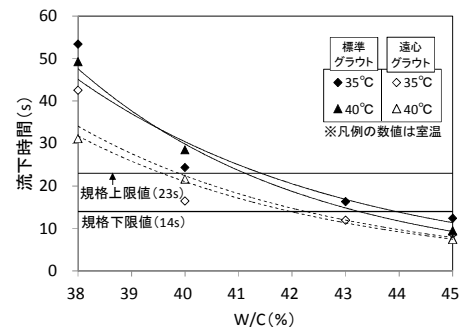


図-4 W/Cと流下時間の関係 (室温 35°Cおよび 40°Cの場合)

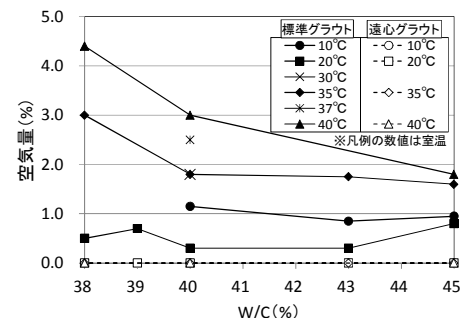


図-5 W/Cと空気量の関係

ラウトの空気量は0%となった。これは、真空下での遠心作用による練混ぜの付与によるものである。具体的には前記図-1の攪拌装置の滞留槽を減圧することにより、PCグラウトに含有される空気が膨張し、回転容器に設けられているφ1.5mmの孔を通過する際に破泡したためであると考えられる。

(3) 単位容積質量

図-6にW/Cと単位容積質量の関係を示す。各グラウトの単位容積質量はW/Cの増加と共に小さくなっている。一方、同一W/Cにおける標準グラウトと遠心グラウトを比較した場合、遠心グラウトの単位容積質量は標準グラウトに比して大きい。これは遠心グラウトでは空気量がゼロであるのに対し、標準グラウトでは前記図-5に示す値の空気量が含有されていることに起因する。なお、同一W/Cにおける標準グラウトの単位容積質量は、室温によりその値に差異がある。しかしながら、遠心グラウトでは室温に関係なくその値はほぼ同等である。これらの結果は、空気量の差異が単位容積質量の結果に直結するものとなっている。

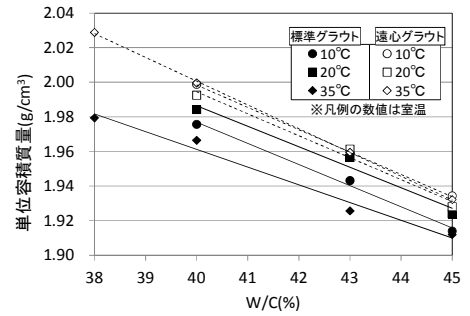


図-6 W/Cと単位容積質量の関係

(4) 圧縮強度

図-7に室温別のW/Cと圧縮強度の関係を示す。W/Cの増加と共に各グラウトの圧縮強度は小さくなっている。一方、同一W/Cにおける標準グラウトと遠心グラウトを比較した場合、遠心グラウトの圧縮強度は標準グラウトに比して大きくなっており、遠心グラウトの圧縮強度は標準グラウトより1.5%から19.5%の範囲で大きい。これは遠心グラウトの空気量がゼロであること、およびPCグラウトを構成する材料が分散したことに起因するものと推察される。なお、既往の文献<sup>7)</sup>では材齢7日で30N/mm<sup>2</sup>以上を標準的な管理基準値としており、本実験結果は室温に関係なく、基準値を満足するものとなっている。図-8には標準および遠心グラウトの規格流下時間における室温ごとの圧縮強度を示す。具体的には、規格流下時間14sおよび23sにおける各グラウトのW/Cを前記図-3および図-4から算定し、それぞれのW/Cに相当する圧縮強度を前記図-7の結果から算定したものである。なお、凡例に

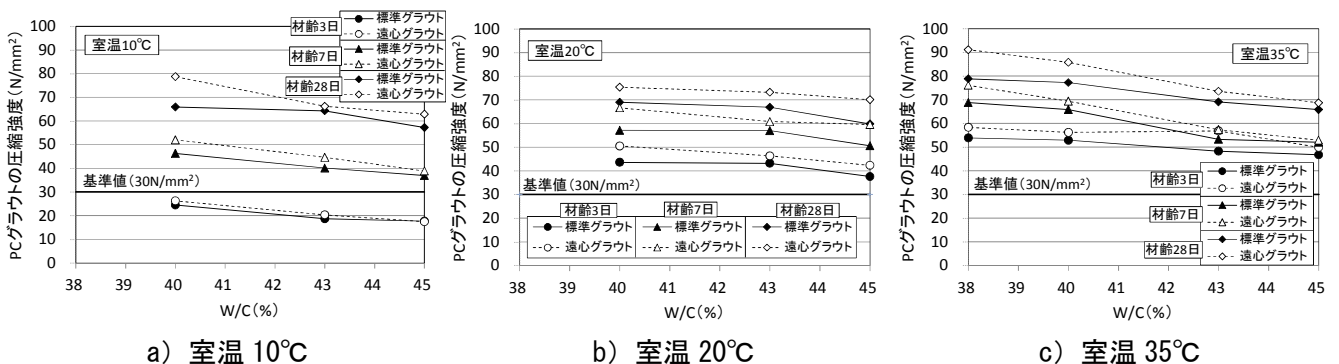


図-7 W/CとPCグラウトの圧縮強度

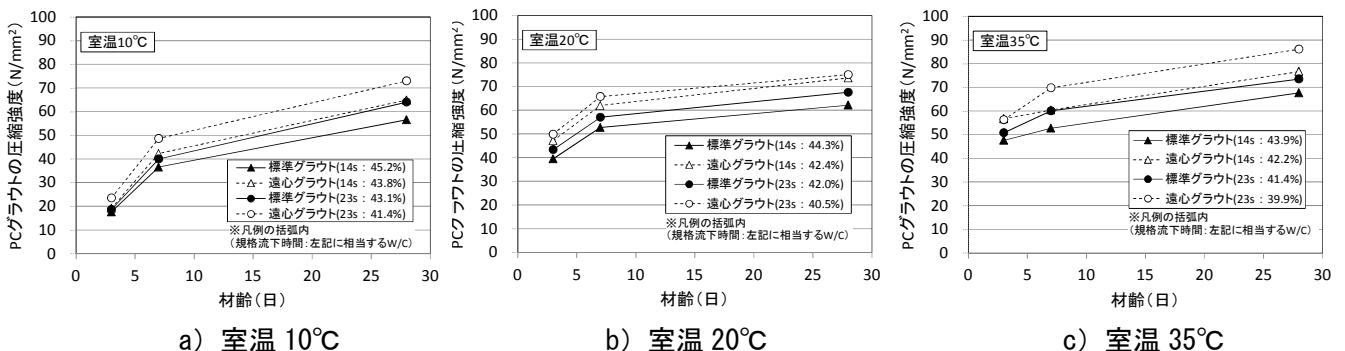


図-8 規格流下時間におけるPCグラウトの圧縮強度

は規格流下時間とその規格流下時間に相当するW/Cを示す。同一齢7日および28日の遠心グラウトの圧縮強度は標準グラウトに比して、14.5%から21.6%および11.0%から18.5%の範囲で大きくなっている。前述した同一W/Cの結果に比して、遠心グラウトの圧縮強度は確実に増加する結果となっている。これは主としてW/Cが小さいこと、さらに前述した空気量や材料の分散性などの効果に起因するものである。

### 3.2 シリーズ II

#### (1) 流動性

図-9にW/Cと流下時間の関係を示す。同図にはシリーズIの結果も併せて示す。いずれのシリーズにおいてもW/Cの増加と共に流下時間は短くなっており、遠心グラウトの流下時間は標準グラウトに比して短くなっている。一方、シリーズIIとシリーズIの遠心グラウトの流下時間を比較すると若干の差異がある。これについては今後、更なるデータを蓄積しそれぞれの挙動について詳細な検討が必要である。同図には高粘性PCグラウトの流下時間の規格値も示す。本シリーズにおける規格流下時間内のW/Cは、標準グラウトでは42.5%~44.8%の範囲であり、遠心グラウトでは41.2%~43.5%の範囲である。規格流下時間14sおよび23sにおけるW/Cを比較した場合、遠心グラウトは標準グラウトより1.3%小さくできる。

#### (2) 空気量

図-10にW/Cと空気量の関係を示す。本シリーズにおける遠心グラウトの空気量は標準グラウトに比して多い。本シリーズにおける標準グラウトの空気量は0.2%から0.5%の範囲であり、遠心グラウトの空気量は1.0%から2.2%の範囲である。これは大気圧下での遠心作用による練混ぜによりエントラップトエアを巻き込んだためと考えられる。

#### (3) 単位容積質量

図-11にW/Cと単位容積質量の関係を示す。各グラウトの単位容積質量はW/Cの増加と共に小さくなっている。一方、本シリーズにおける標準グラウトおよび遠心グラウトの単位容積質量を比較した場合、遠心グラウトの単位容積質量は標準グラウトに比して小さくなっている。同図にはシリーズIの真空下における練混ぜを付与した結果も示すが、単位容積質量は空気量の差異に直結するものとなっている。

#### (4) 圧縮強度

図-12にW/Cと圧縮強度の関係を示す。W/Cの増加と共に各グラウトの圧縮強度は小さくなっている。一方、同一W/Cにおける標準グラウトと遠心グラウトを比較した場合、それぞれの圧縮強度はほぼ同程度である。図-13には標準および遠心グラウトの規格流下時間における圧縮強度を示す。なお、凡例

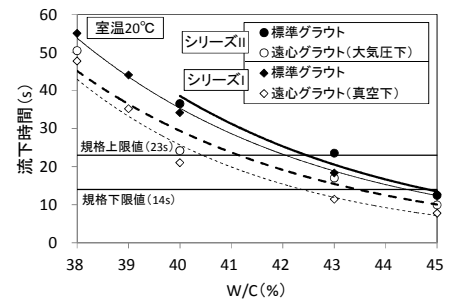


図-9 W/Cと流下時間の関係

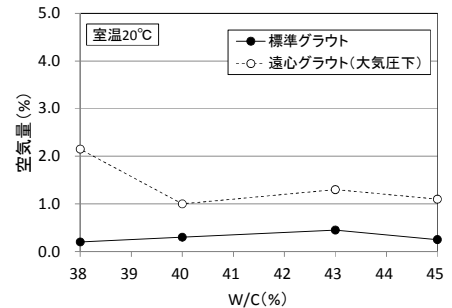


図-10 W/Cと空気量の関係

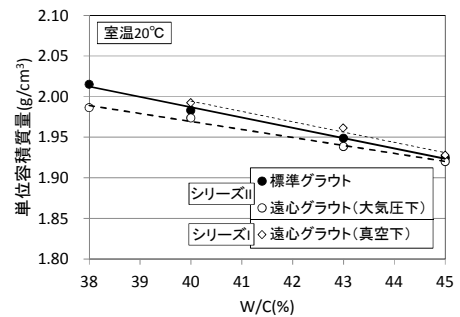


図-11 W/Cと単位容積質量の関係

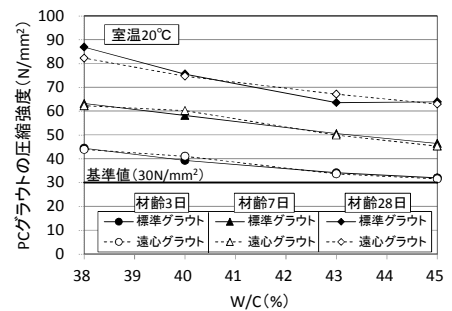


図-12 W/Cと圧縮強度の関係

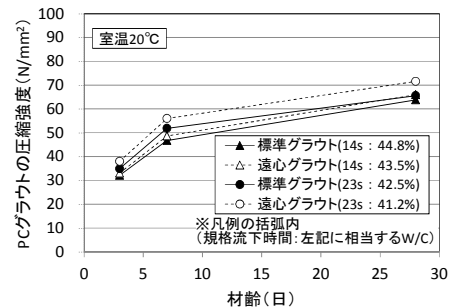


図-13 規格流下時間におけるPCグラウトの圧縮強度

には規格流下時間とその規格流下時間に相当するW/Cを示す。同一の規格流下時間で比較した場合、材齢7日および28日の遠心グラウトの圧縮強度は標準グラウトに比して、4.2%から8.0%および3.3%から9.1%の範囲で大きくなっている。前述したシリーズIの結果に比して圧縮強度の増加率は小さくなっている。これは遠心グラウトを構成する材料が分散したことによるプラス作用と遠心グラウトの空気量の増大によるマイナス作用がトレードオフしたことに起因するものと推察される。

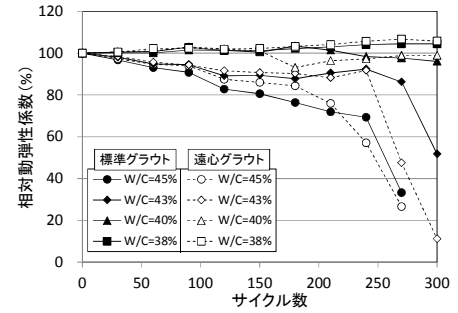


図-1 4 相対動弾性係数

(5) 凍結融解

一般にコンクリートの耐凍害性は、空気量ときわめて密接に関係すると報告<sup>8)</sup>されており、耐凍害性を向上させる最も重要な要素はエントレインドエアを連行することであると記されている。図-1 4に相対動弾性係数の結果を示す。本シリーズにおける遠心グラウトは標準グラウトに比して空気量は多いもののエントラップトエアであることから、耐凍害性を向上させる結果とはなっていない。なお、W/Cが38%および40%の各グラウトの相対動弾性係数は80%以上確保される結果となった。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 真空下および大気圧下での遠心作用による練混ぜの付与は、流動性を向上させる。このため遠心作用を付与したPCグラウトの水セメント比は通常の練混ぜ方法で製造されたものより小さくできる。
- (2) 真空下での遠心作用による練混ぜを付与することにより空気量を0%にできるが、大気圧下での遠心作用による練混ぜの付与は空気量を増大させる。
- (3) 真空下での遠心作用による練混ぜを付与したPCグラウトの圧縮強度は、通常の練混ぜ方法で製造されるものに対し11.0%から21.6%の範囲で大きくなる。一方、大気圧下での遠心作用による練混ぜを付与した場合の圧縮強度は3.3%から9.1%の範囲で大きくなる。
- (4) 大気圧下での遠心作用による練混ぜの付与が凍結融解抵抗性に及ぼす影響はほとんどない。

5. 参考文献

- 1) 俵道和, 小林俊秋, 中田学, 呉承寧: 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, プレストレストコンクリート工学会第21回シンポジウム論文集, pp.453-458, 2012.
- 2) 中村敏之, 高井英和, 尻子大輔, 高畑政行: PCグラウトの充てん管理における加圧検査方法の提案, プレストレストコンクリート工学会第21回シンポジウム論文集, pp.449-452, 2012.
- 3) 出雲淳一: PCグラウトの品質改善に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.641/V-46, pp.133-151, 2000.
- 4) 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, Cement Science and Concrete Technology, No.61, pp.148-152, 2007.
- 5) 一般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2013改訂版), 2013.
- 6) 吉松秀和, 山口隆裕, 野島昭二, 呉承寧: PCグラウトのフレッシュ性状確認に関する統一試験 (室内試験1), プレストレストコンクリート工学会第21回シンポジウム論文集, pp.597-600, 2012.
- 7) 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.
- 8) 公益社団法人日本コンクリート工学会: コンクリート技術の要点, 2012.