

論文

[1041] 高炉スラグ微粉末を用いた PC グラウトの諸性状

正会員 辻 幸和 (群馬大学建設工学科)  
 正会員○浦野真次 (群馬大学大学院)  
 正会員 橋本親典 (群馬大学建設工学科)  
 石川浩子 (オリエンタルコンサルタンツ)

1. はじめに

高性能減水剤を用いた PC グラウトの性状は、練りませ方法、練りませ時間、高性能減水剤の使用量と添加時期などの製造方法の違いによって著しく変化する。著者らはすでに、分割練りませ方法を採用すると、一括練りませ方法で製造したものと比較して、流動性が改善されることを報告した [1]。しかしながら、圧縮強度については、膨張剤であるアルミニウム粉末の水素ガスによる悪影響もあると思われるが、分割練りませ方法による著しい改善は認められず、PC 構造物の高性能化に対応し得る高品質な PC グラウトは得られなかった。

そこで、本研究では、主として PC グラウトの高強度化を目指し、ブレン値が  $9210\text{cm}^2/\text{g}$  という高粉末度の高炉スラグ微粉末をセメントの一部と置換して製造する PC グラウトの諸性状についての実験結果を報告し、高炉スラグ微粉末の置換率が及ぼす影響を主体に検討するものである。なお、練りませ方法は、分割練りませ方法と一括練りませ方法を採用した。

2. 実験概要

(1) 使用材料

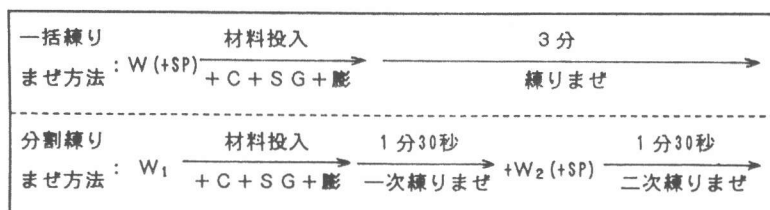
セメントは、比重が 3.16、ブレン値が  $3230\text{cm}^2/\text{g}$  の普通ポルトランドセメント、混和材は、比重が 3.00、ブレン値が  $9210\text{cm}^2/\text{g}$  の高炉スラグ微粉末を使用した。混和剤は、主成分がアリルスルホネートの高性能減水剤と反応遅延性のアルミニウム粉末を主成分とする膨張剤を用いた。練りませ水は上水道水を用いた。

(2) 配合

高炉スラグ微粉末の置換率が、圧縮強度、流動性、ブリージング率および膨張率に及ぼす影響を検討するため、置換率を {0, 30, 50, 70} % の 4 ケースに変化させ、置換後の水 / (セメント + 高炉スラグ微粉末) (以下、水結合材比と称す) を 32% から 44% の範囲で 5 ケースに変化させた。高性能減水剤の添加率は、0% から 3% の範囲で使用し、膨張剤の添加率は、0.008% とした。なお、高性能減水剤および膨張剤の使用量は、結合材に対する重量比の添加率で表す。

(3) 練りませ方法

PC グラウトの練りませには、JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」で用いる練りませ機を使用し、パドルは葉脈状羽、練り鉢はステンレス鋼製で、最



C : セメント SG : 高炉スラグ微粉末 W : 水  
 SP : 高性能減水剤 膨 : 膨張剤  $W_1 / (C + SG) = 22\%$

図-1 練りませ方法

大容量が4.5ℓのものを用いた。

一括練りませ方法と分割練りませ方法を図-1に示す。分割練りませ方法において、高炉スラグ微粉末の置換率が0%の場合、その一次練りませ時における一次水セメント比を、最適とされる22%としたが[2]、置換した場合も、一次水結合材比を22%と統一し、1分30秒練りませた。その後、高性能減水剤を二次水と一緒に混入して二次練りませを1分30秒行った。

#### (4) 試験方法

流動性（Jロート，JAロートによるロート方法）、ブリージング率および膨張率（ポリエチレン袋とメスシリンダーによる方法）、および強度（おもり拘束によるφ5×10cm円柱型枠を用いた材令28日の圧縮強度）の各試験は、土木学会規準「PCグラウト試験方法（JSCE-1986）」に準拠した。

### 3. 圧縮強度

一括練りませ方法と分割練りませ方法により製造したPCグラウトにおいて、高性能減水剤を1%添加した場合の、圧縮強度とスラグ置換率との関係を図-2に示す。スラグ置換率が0%の場合、分割練りませ方法で製造すると、高性能減水剤の添加率が1%では材料分離が著しく、一括練りませ方法で製造したものよりも強度は低下した。また、その圧縮強度自体も、一括練りませ方法で製造したものでも350kgf/cm<sup>2</sup>程度となっている。しかしながら、練りませ方法にかかわらず、高炉スラグ微粉末で置換すると、圧縮強度は500kgf/cm<sup>2</sup>前後まで増加しており、著しく改善されている。特に、スラグ置換率が0%から30%に増加すると、分割練りませ方法で製造したものの方が、スラグの置換による圧縮強度の改善効果が大きく、400kgf/cm<sup>2</sup>以上増加している。

分割練りませ方法における、高性能減水剤添加率1%の場合の、圧縮強度と水結合材比との関係を図-3に示す。スラグ置換率が0%では、水結合材比が大きくなるにともな

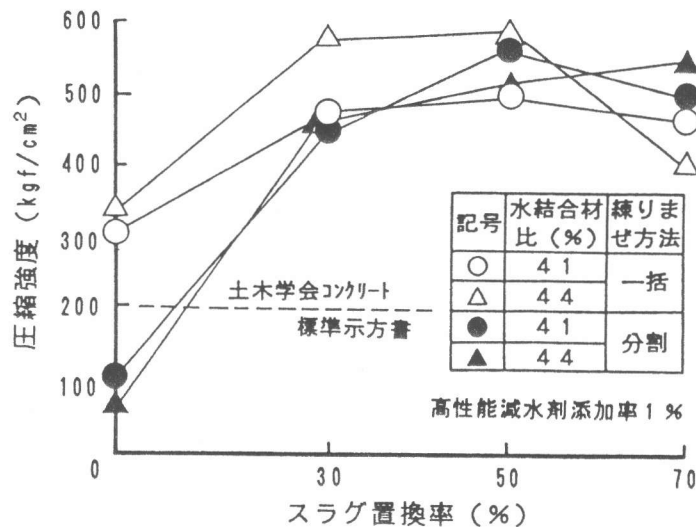


図-2 スラグ置換率と圧縮強度の関係

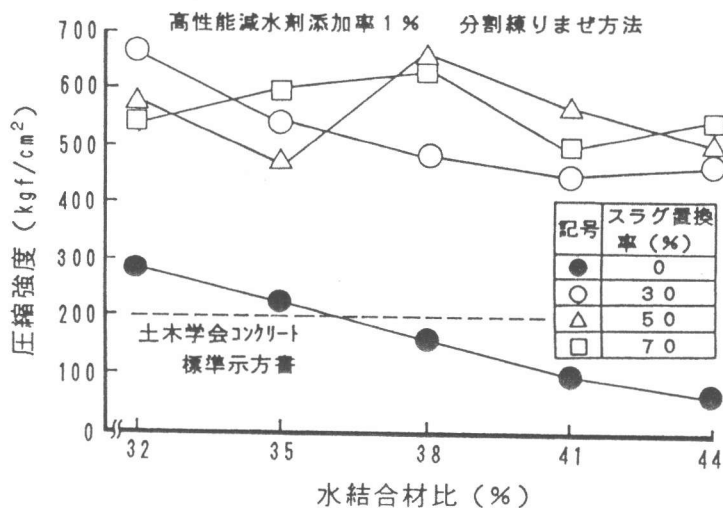


図-3 水結合材比と圧縮強度の関係

って、強度は低下しており、また、先述のように、ほとんどの配合が材料分離が著しいため、水結合材比が32%でも300kgf/cm<sup>2</sup>程度の圧縮強度である。しかしながら、いずれの配合においてもスラグと置換することにより強度は著しく増加しており、450kgf/cm<sup>2</sup>以上の圧縮強度を安定して得られるものとなっている。

図-2および図-3より、練りませ方法、水結合材比にかかわらず、スラグ置換率が30%では改善効果が大いだが、50%あるいは70%と置換率を増加させても30%の

時の強度と比較して、横ばいとなっているものが多い。これは、置換率が30%では、使用した高炉スラグ微粉末が9210cm<sup>2</sup>/gと高粉末度のために、セメントと緻密な構造を形成し強度が増加するものの、それ以上置換率を増加しても、未反応の高炉スラグ微粉末が残ってしまうため[3]、強度が改善されなかったものと思われる。

分割練りませ方法による、スラグ置換率が30%の場合の、圧縮強度と高性能減水剤添加率の関係を示した図-4より、高性能減水剤の添加率の増加にともない、強度は低下していることが認められる。すなわち、高炉スラグ微粉末と置換することにより、強度は増加するものの、高性能減水剤の添加率の増加はこのように強度を低下させるので、その使用量は必要最小限度にしなければならない。

#### 4. 流動性

図-5は、一括練りませ方法と分割練りませ方法における、水結合材比が41%、高性能減水剤の添加率が0.5%および2.0%の場合の、Jロートの流下時間とスラグ置換率の関係を示している。練りませ方法にかかわらず、スラグ置換率が大きくなるほど流下時間が増加している。高粉末度の高炉スラグ微粉末と置換し、その置換率が大きくなるにしたがってセメントペーストの粘性が増すことにより、流動性が悪くなったものと思われる。1. で述べたように、分割練りませ方法を採用すると、スラグ置換率0%の場合、流動性が改

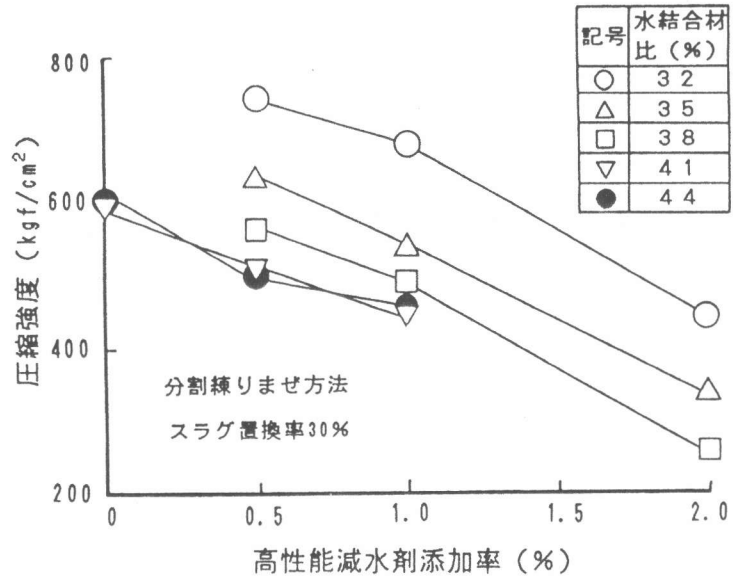


図-4 高性能減水剤添加率と圧縮強度の関係

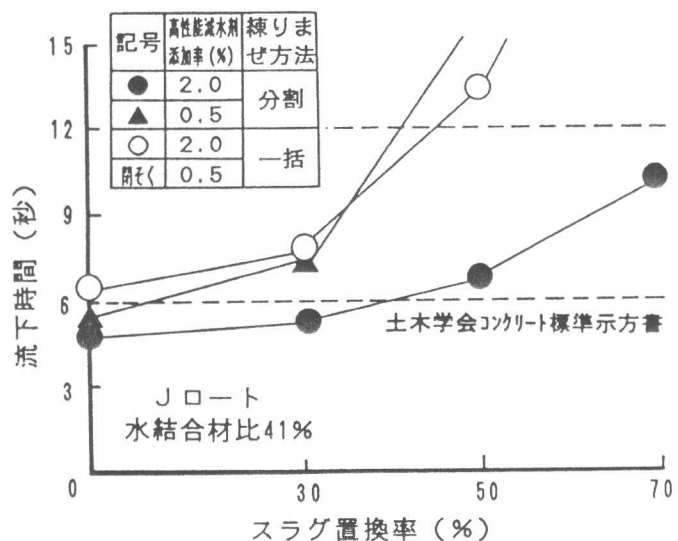


図-5 流下時間とスラグ置換率の関係 (Jロート)

善されている。また、図-5からも明らかなように、高炉スラグ微粉末で置換しても、分割練りませ方法で製造したものが流動性が改善されているのである。

分割練りませ方法における、JAロートの流下時間とスラグ置換率の関係の1例を図-6に示す。水結合材比が41、44%と大きい場合、高性能減水剤を1%添加すると、スラグ置換率が大きくなっても、土木学会コンクリート標準示方書で示されている15~30秒の施工に適した範囲に入っている。水結合材比が35%と小さい場合は、

高性能減水剤を2%添加しても、スラグ置換率が50%を超えると、流下時間が著しく増加する。しかしながら、いずれの配合についても、スラグ置換率が30%では0%の時より流下時間はわずかに増加するだけで、良好な流動性を維持している。これは、一次練りませ後のセメントペーストの状態が、スラグ置換率が50%あるいは70%ではぼそぼそした不均一な状態であるのに対し、30%では0%の場合と同様に、粒子が均一に分散していたためと思われる。

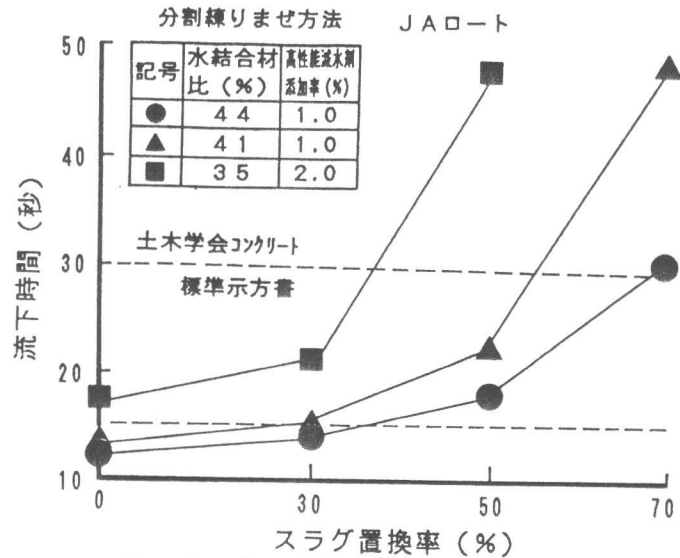


図-6 流下時間とスラグ置換率の関係 (JAロート)

### 5. 膨張性状

高炉スラグ微粉末を置換しない配合においては、練りませ方法にかかわらず、膨張剤の影響により、高性能減水剤の添加率が1%以下の範囲で約6%以上と高い膨張率を示し、それ以上高性能減水剤を添加すると、分割練りませ方法においては著しい材料分離を起こすにともない、沈下収縮した[1]。しかしながら、図-7に示すように、高炉スラグ微粉末を30%以上置換すると、膨張率は0~4%の安定した値

となっている。この場合、結合材に対する重量比で0.008%と一定にして添加した膨張剤が、どのような影響を及ぼしているかは明らかでないが、製造した供試体を観察すると、著しい材料分離を起こさないいずれの配合においても、スラグで置換していないものの方が、気泡が多く存在していることが確認された。この適度な膨張率と気泡の減少は、実際のPC構造物において、PC鋼材の防食およびP

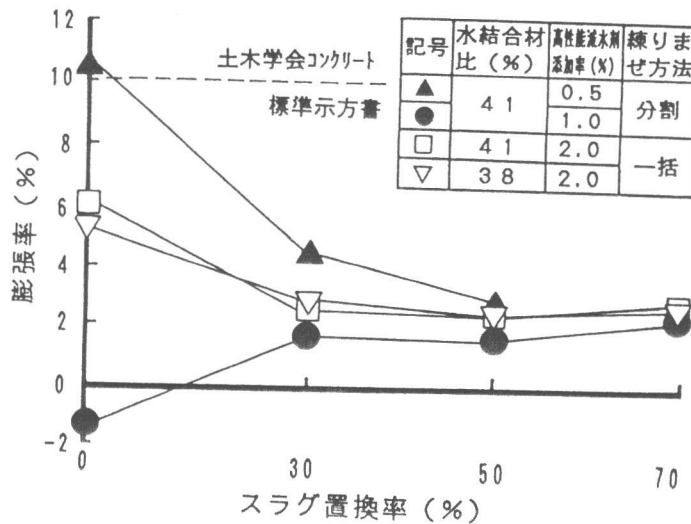


図-7 膨張率とスラグ置換率の関係

C鋼材とコンクリートとの一体化に十分に効果的であるものと思われる。

### 6. ブリージング性状

一括練りませ方法と分割練りませ方法における、ブリージング率とスラグ置換率の関係の1例を、それぞれ図-8および図-9に示す。まず、図-8に示すように、一括練りませ方法においては、高性能減水剤の添加率が2%あるいは3%と多いにもかかわらず、スラグ置換率の増加とともにブリージングは減少する。これは、一括練りませ方法では、スラグが高粉末度のために、スラグ置換率が大きくなると、粒子数そのものの増加によって粒子への吸着水がわずかに増加するためと思われる。なお、スラグ置換率の増加にともなってロートによる流下時間も増加し、流動性とブリージングという相反する性状を示している。

これに対して、分割練りませ方法の場合は、スラグ置換率が0%の場合は、高性能減水剤の添加率が約1%を超えると著しい材料分離を起こした[1]。しかしながら、図-9のように、スラグ置換率が30%では、著しい材料分離も起こらず、流動性もスラグ置換率が0%とほぼ同様であることから、わずかではあるがブリージングの改善効果があるものと思われる。スラグ置換率が50%あるいは70%では一括練りませ方法と同様に、流動性とブリージングという相反する性状を示す。また、図-10のように、水結合材比が41%、高性能減水剤添加率が1%、スラグ置換率が0%の配合においては、材料分離による凝結遅延のため、24時間後でもブリージングは生じて増加しているが、スラグ置換率が30%あるいは50%ではブリージングは減少している。すなわち、高性能減水剤を過剰添加しない限り、分割練りませ方法による場合、粉体粒子の分散あるいは凝集状態の改善によって、材料分離を軽減し、ブリージングを低減させるものと思われる。特に、高炉スラグ微粉

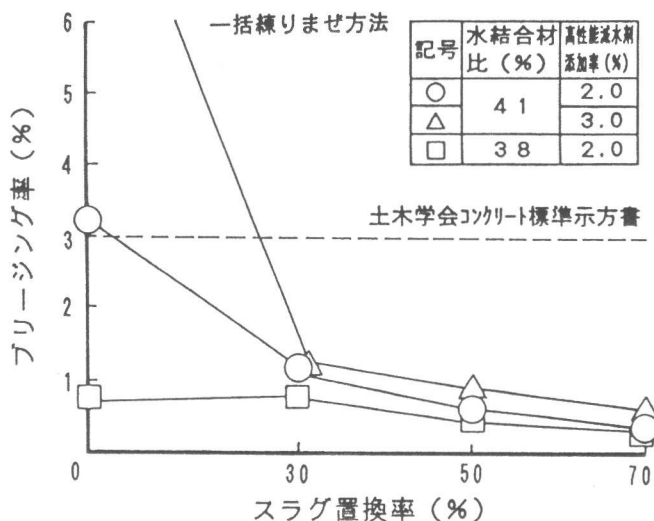


図-8 ブリージング率とスラグ置換率の関係 (一括練りませ方法)

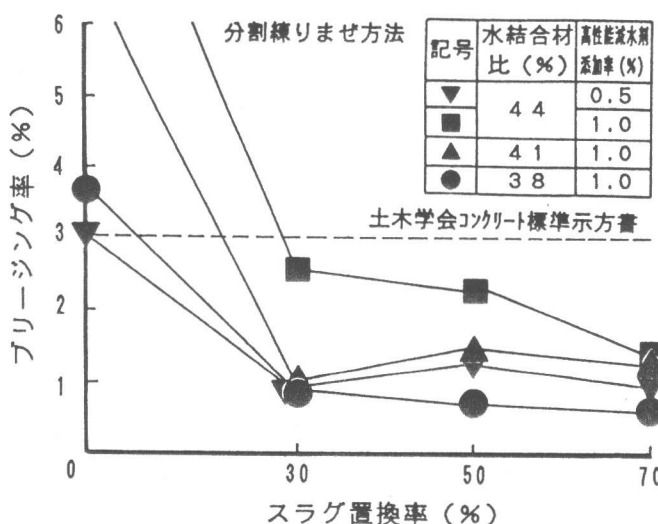


図-9 ブリージング率とスラグ置換率の関係 (分割練りませ方法)

末の置換率が30%の時は、0%の時とほぼ同様の流動性であることを考慮すると、ブリージングの改善効果が最も大きいと思われる。なお、高炉スラグ微粉末を置換したペーストに対して、分割練りませ方法による場合、最適な一次水結合材比によってブリージングが低減するという報告もあり [4]、さらに高品質なPCグラウトを製造するためには、一次水結合材比を考慮すると同時に、高性能減水剤の添加時期、練りませ時間などについて検討していく必要があると思われる。

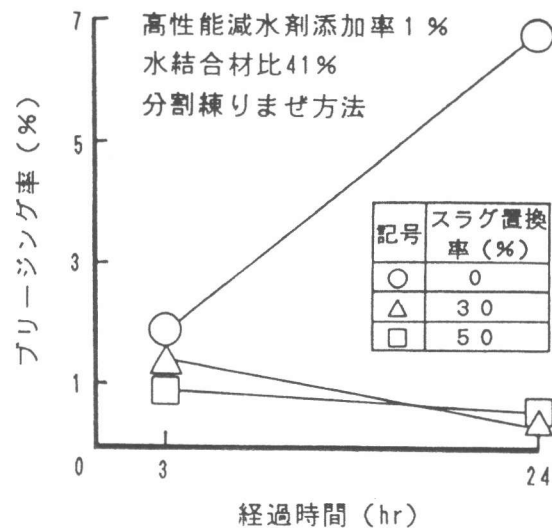


図-10 経過時間とブリージング率の関係

## 7. おわりに

PCグラウトを製造するにあたり、一括練りませ方法と分割練りませ方法を採用して、高粉末の高炉スラグ微粉末をセメントの一部と置換した実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 高炉スラグ微粉末を30%置換することにより、圧縮強度は著しく改善され、高性能減水剤の添加率が1%程度では、450kgf/cm<sup>2</sup>以上を安定して得ることが出来る。しかしながら、それ以上スラグ置換率を増加しても、圧縮強度はほとんど改善されない。

(2) スラグ置換率が大きくなると、粘性が増し、ロートによる流下時間は増加するが、分割練りませ方法を採用すると、スラグ置換率が30%では、0%と同様の良好な流動性が得られ、かつブリージングも減少する。

(3) 高性能減水剤の過剰添加による著しい材料分離を生じさせない限り、高炉スラグ微粉末を置換することにより、膨張率は0%~4%と安定する。

(4) PCグラウトの各性状を考慮すると、高炉スラグ微粉末を30%置換し、分割練りませ方法で製造することにより、PCグラウトに要求される品質を満足し、圧縮強度が500kgf/cm<sup>2</sup>程度の高強度な配合を得ることが出来るものと思われる。

## 参考文献

- 1) 辻 幸和・浦野真次ほか：分割練りませ方法による高品質PCグラウトの性状、第2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. 321~324、1991.
- 2) 岸谷孝一・伊東靖郎・加賀秀治・山本康弘：SECコンクリート工法、建築技術、NO. 380、pp. 1~18、1983.
- 3) 西川直宏・鈴木政広・高津 學：微粉末高炉スラグを用いたセメントペーストの組織と疲労特性、第45回セメント技術大会講演集、pp. 178~183、1991.
- 4) 笠井哲郎・田澤栄一：三成分系のダブルミキシング効果、土木学会論文集、第402号/V-10、pp. 43~51、1989.