

(51) 高強度PCグラウトの製造

群馬大学工学部 ○池田 正志
群馬大学工学部 正会員 辻 幸和
群馬大学大学院 浦野 真次
群馬大学工学部 橋本 親典

1. はじめに

PCグラウトは、PC鋼材を腐食から保護し、コンクリートとシーす中のPC鋼材との付着を与えることを目的として使用されている。ところが近年、高強度コンクリートの適用などに代表されるように、PC構造物の高性能化は著しく進んでおり、従来から要求されている品質だけではなく、確実な施工方法も含めたより高品質なPCグラウトが要求されている。このような高性能化に対応するためには、PCグラウトが完全にシーすとPC鋼材との空隙を充てんし、PC鋼材を腐食から保護するという品質を有するだけでは十分とは言えない。そこで、硬化後のPCグラウトの品質を支配する要素として重要な役割を果たす圧縮強度を向上させることによって、コンクリートとPC鋼材との間に確実に十分な付着力を与え、部材の使用性能の向上ならびに破壊に対する安全度を増す必要がある。しかしながら、従来までの練りませ方法や使用材料では、PCグラウトの高強度化は困難であるといえる。

本研究は、PCグラウトの高強度化を主とする高品質化を目的として、高性能減水剤を用いて、一括練りませ方法と分割練りませ方法を採用し、さらに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した場合について、高性能減水剤の添加率、水セメント比、スラグ置換率などがPCグラウトの諸性状に及ぼす影響について、既往の研究の結果^{1)~3)}をもとに、実験的に検討した結果を取りまとめたものである。そして、所要の流動性、ブリージング率、膨張率を満足する配合において、高強度PCグラウトが得られる配合条件を提示したものである。また、膨張剤であるアルミニウム粉末の添加率が圧縮強度に与える影響についても、併せて検討を行った。

2. 実験方法

(1) 実験の概要

本実験でのPCグラウトの基本的な構成材料は、セメント、水、膨張剤および高性能減水剤として、以下の3シリーズの実験を行った。

シリーズI：高性能減水剤を用い、一括練りませ方法により練りませる。高性能減水剤は練りませ水に混入し、添加率は3%以下とする。

シリーズII：高性能減水剤を用い、分割練りませ方法により練りませる。分割練りませ方法の場合、高性能減水剤は一次水に混入するとブリージングの低減に最適との報告があるが⁴⁾、今回の実験では、使用量の低減化を図ることを目的として二次水に混入した。

シリーズIII：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一括練りませ方法と分割練りませ方法によって練りませる。

(2) 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。

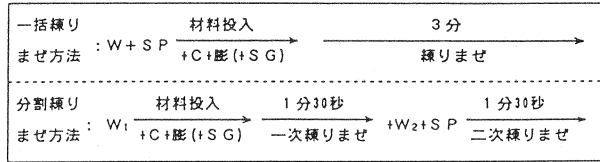
(3) 配合

いずれのシリーズとも、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。シリーズⅠ・Ⅱでは水セメント比を32%から44%の範囲で5ケースとし、シリーズⅢでは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。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。

(4) 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、最大容量が4.5ℓのものを用いた。



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

図-1 練りませ方法

一括練りませ方法と分割練りませ方法を図-1に示す。分割練りませ方法では、一次練りませ時における一次水セメント

比を、ブリージングの低減に効果があるとされる22%として⁵⁾一次練りませを行い、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行った。また、高炉スラグ微粉末で置換した場合も、一次水結合材比を22%と統一した。

(5) 試験方法

流動性(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. 高性能減水剤を用いたPCグラウトの配合条件(シリーズⅠ)

土木学会コンクリート標準示方書では、PCグラウトの品質条件を、表-1のように規定している。高性能減水剤を添加し、一括練りませ方法によって製造したPCグラウトについて、品質条件を満足する配合を表-2に示す。水セメント比が35~41%の範囲で、高性能減水剤の添加率が1~2%の範囲で品質条件を満足していることがわかる。

表-1 品質条件

項目	土木学会規準
コンシステンシー	施工に適した値 (参考:JAロート 15~30秒)
膨張率	10%以下
ブリージング率	3%以下
圧縮強度	200kgf/cm ² 以上 (材令28日)
水セメント比	45%以下

表-2 品質条件を満たす配合(シリーズⅠ)
(一括練りませ方法)

W/C \ SP/C	32	35	38	41	44
0.0					
0.5					
1.0			◇	◇	
2.0		▽	△		

△:圧縮強度300kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下
◇:圧縮強度300kgf/cm²以上、ブリージング率1~3%
▽:圧縮強度200kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下

一括練りませ方法によると、水セメント比が大きいとブリージングも増大し、逆に水セメント比の小さい配合で高性能減水剤の添加量を増大させても、流動性の改善には限界がある。さらに、高性能減水剤の過剰な添加は、圧縮強度などの性状にも悪影響を及ぼすなどの制約が多いために、このように品質条件を満たす配合の範囲が狭いものとなった。また、表-2に示す配合のように、品質条件を満足しても、圧縮強度にお

いては、高性能減水剤を添加することによる改善効果はほとんど認められず、200~350kgf/cm²程度であった。

すなわち、高性能減水剤の使用は品質条件を満足する配合を得るのに効果的であるが、一括練りませ方法によると、圧縮強度においては改善効果は認められなかった。

4. 分割練りませ方法で製造したPCグラウトの配合条件(シリーズII)

分割練りませ方法は、最適とされる一次水セメント比で練りませを行うとブリージングの低減に効果があることは広く知られている。シリーズIIでは、PCグラウトの要求品質を満たす配合の範囲を、シリーズIよりもさらに拡張することを目的として、分割練りませ方法によってPCグラウトを製造した。

図-2には、分割練りませ方法と一括練りませ方法によって製造したPCグラウトの、高性能減水剤の添加率と、JAロートの流下時間の関係の一例を示す。分割練りませ方法により、流下時間は著しく減少し、高性能減水剤の添加率の少ない配合においても所要の流動性を得ることが可能である。

図-3は、高性能減水剤添加率とブリージング率の関係の一例を示す。本実験では、高性能減水剤は二次水に混入しているが、高性能減水剤を過剰に添加しない限り、ブリージング率は一括練りませ方法の場合と比較して減少する。製造方法の簡略化の点を考慮すると、高性能減水剤は過剰に添加しない限り、二次水に混入しても十分に分割練りませの効果を得ることができる。

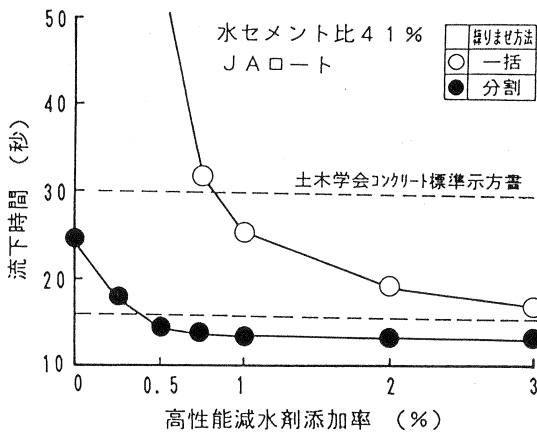


図-2 高性能減水剤添加率と流下時間の関係

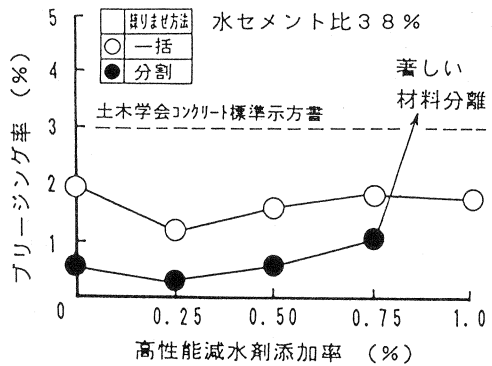


図-3 高性能減水剤添加率とブリージング率の関係

分割練りませ方法により製造したPCグラウトについて、表-1の品質条件を満足する配合を表-3に示す。水セメント比が41、44%と大きい場合は高性能減水剤を添加することなく、また32%と小さい場合でも添加率が1%以下の配合において品質条件を満足した。しかしながら、分割練りませ方法は高性能減水剤の使用量を減少させたが、圧縮強度については改善効果は認められず、シリーズIと同様、品質条件を満足しても200~400kgf/cm²程度であった。

PCグラウトの圧縮強度は、シリーズI・IIのように、高性能減水剤を用い、一括および分割練りま

表-3 品質条件を満たす配合(シリーズII)(分割練りませ方法)

W/C \ SP/C	32	35	38	41	44
0.0				○	△
0.5		▽	▽	◇	
1.0	▽	▽			
2.0					

○: 圧縮強度400kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下
 △: 圧縮強度300kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下
 ◇: 圧縮強度300kgf/cm²以上、ブリージング率1~3%
 ▽: 圧縮強度200kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下

ぜ方法を採用しても、所要の流動性、ブリージング率、膨張率を満足した上で、セメントだけでは圧縮強度が500kgf/cm²を超えるような高強度P Cグラウトの製造は非常に困難であると推測され、混和材料の併用が必要であると思われる。

5. 高炉スラグ微粉末を用いた高強度P Cグラウトの製造(シリーズⅢ)

図-4は、高性能減水剤を1%添加し、分割練りませ方法によって製造した場合の、スラグ置換率と圧縮強度の関係を示す。スラグで置換しない配合は、分割練りませ方法によると、高性能減水剤添加率1%では材料分離が著しく、圧縮強度は200kgf/cm²以下となるものも多い。しかしながら、スラグ置換率30%では圧縮強度は著しく改善され、500kgf/cm²程度まで増加し、その後スラグ置換率を大きくしても圧縮強度は増加しない。これは、高炉スラグ微粉末の置換率が30%では、セメントと緻密な構造を形成することによって強度が増加するが、置換率を増加させると、強度が低下するほどではないが未反応のスラグが残るため⁶⁾と思われる。この傾向は一括練りませ方法で製造した供試体においても同様であった。

また、高炉スラグ微粉末で置換した供試体の圧縮強度は、水結合材比の影響はあまり受けないものの、高性能減水剤の添加率が大きくなるほど一般に強度は低下した³⁾。

図-5は、一括練りませ方法と分割練りませ方法による、水結合材比41%の場合の、スラグ置換率とJ A ロートの流下時間の関係を示す。練りませ方法に関わらず、スラグで置換し、置換率が大きくなるにしたがって流下時間は増大している。一般的には高炉スラグ微粉末の粉末度が9210cm²/gと非常に高いために、P Cグラウト流動性は低下すると考えられる。しかしながら、シリーズⅡと同様に、分割練りませ方法で製造することにより、流動性は改善される。スラグ置換率が30%程度では、水結合材比にもよるが高性能減水剤を適量添加することにより、0%の場合とほぼ同様の流動性を維持する。

ブリージング率、膨張率については、高粉末度の高炉スラグ微粉末と置換することによってセメントは緻密な構造を形成するために、高性能減水剤を過剰に添加しないかぎり、ブリージングが減少し、膨張率も0~4%と安定する³⁾。

以上の各性状を考慮すると、高炉スラグ微粉末の置換率が30%の場合、500kgf/cm²程度の圧縮強度が得られ、良好な流動性を維持しながらブリージングを低減することが可能となり、最も改善効果が得られる。

そこで、置換率30%の場合において、分割練りませ方法によって練りませた場合の、表-1に示す品質条件を満足する配合を、表-4に示す。高

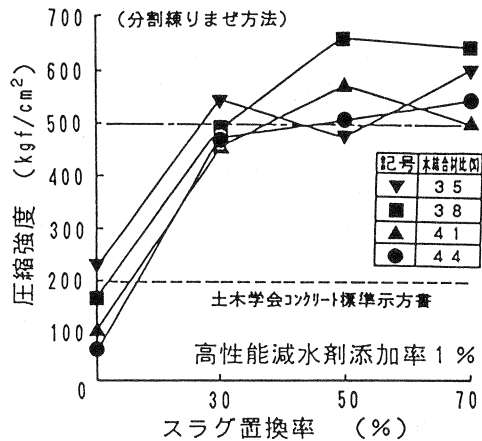


図-4 スラグ置換率と圧縮強度の関係

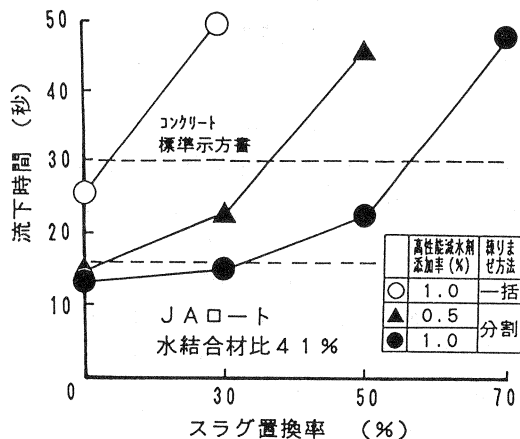


図-5 スラグ置換率と流下時間の関係

粉末度の高炉スラグ微粉末で置換したことにより流動性が多少低下し、品質条件を満足する配合の範囲は広くはないが、◎印で示したように、圧縮強度が500kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下という高品質なものが得られた。特に、水結合材比が41%あるいは44%の場合、高性能減水剤の添加率は0~0.5%と非常に少なく、経済的である。

スラグ置換率50%においても、圧縮強度が500kgf/cm²以上のものが得られるが、ブリージング率も少ない反面、流動性が著しく低下したため、表-5に示すように、品質条件を満足する配合は非常に少なかった。スラグ置換率70%でも同様の理由により、さらに品質条件を満足する配合が少なくなった。

6. 膨張剤の添加率が圧縮強度に及ぼす影響

膨張剤である反応遅延性のアルミニウム粉末は、アルカリと反応し水素ガスを発生し、その気泡によってPCグラウトを膨張させ、沈下収縮を防止する。しかしながら、アルミニウム粉末の添加量を多くすると、気泡が必要以上に発生し、圧縮強度に悪影響を及ぼすものと思われる。そこで、分割練りませ方法で製造した場合について、膨張剤の添加率を{0, 0.004, 0.008, 0.012} %の4ケースに変化させ、添加率が圧縮強度におよぼす影響について検討した。

図-6は、分割練りませ方法による、高性能減水剤の添加率が0.5%の場合の、膨張剤の添加率と圧縮強度の関係を示す。高炉スラグ微粉末の置換率0%、水結合材比41%の配合は、膨張剤を添加することによって圧縮強度が100kgf/cm²程度低下するが、添加率が0.004%~0.012%では、一定の値となる。膨張剤添加率にしたがって圧縮強度が低下しない理由としては、PCグラウトが膨張率測定の場合の自由膨張と異なり、拘束型枠中で抑制されて膨張するためと思われる。

また高炉スラグ微粉末で置換した場合は、膨張剤を添加しても、強度がほとんど低下しない配合もあり、アルミニウム粉末とアルカリの反応の仕方が多少異なるのではないかと推測される。

7. おわりに

PCグラウトの高強度化を主とする高品質化を目的として、高性能減水剤を用いて、一括練りま

表-4 品質条件を満たす配合(シリーズIII)
(スラグ置換率30%・分割練りませ方法)

W/C SP/C	3 2	3 5	3 8	4 1	4 4
0. 0					◎
0. 5				◎	◎
1. 0		◎	○	○	△
2. 0					

◎: 圧縮強度500kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下
○: 圧縮強度400kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下
△: 圧縮強度400kgf/cm²以上、ブリージング率1~3%

表-5 品質条件を満たす配合(シリーズIII)
(スラグ置換率50%・分割練りませ方法)

W/C SP/C	3 2	3 5	3 8	4 1	4 4
0. 0					
0. 5					●
1. 0			◎	●	●
2. 0					

◎: 圧縮強度500kgf/cm²以上、ブリージング率1%以下
●: 圧縮強度500kgf/cm²以上、ブリージング率1~3%

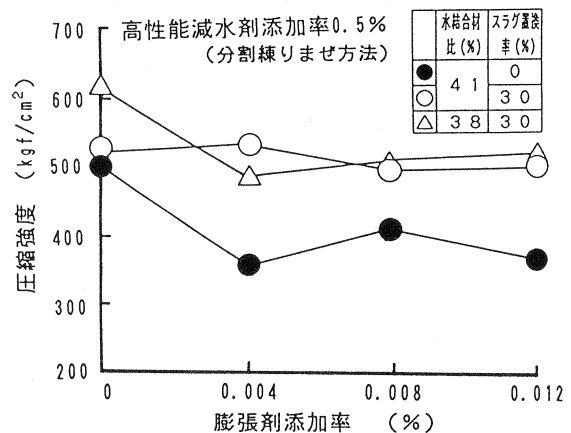


図-6 膨張剤添加率と圧縮強度の関係

ぜ方法と分割練りませ方法により製造し、さらに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P Cグラウトを製造し、それぞれ実験的に検討した結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 一括練りませ方法によると、高性能減水剤の使用は効果的であるが、要求品質を満足しても、その配合の範囲は狭く、高品質なものとは言えない。

(2) 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、流動性が著しく改善し、高性能減水剤を過剰に添加しない限りブリージングを低減させる。そのため、要求品質を満足するP Cグラウトを製造するにあたり、水セメント比の減少、高性能減水剤の使用量の減少をそれぞれ図ることができる。しかしながら、圧縮強度についてはほとんど改善効果が認められない。

(3) 高粉末度の高炉スラグ微粉末をセメントの一部と置換することにより、セメントと緻密な構造を形成し、圧縮強度は著しく改善され、 500kgf/cm^2 程度を安定して得ることができる。

(4) スラグ置換率30%では、分割練りませ方法を採用すると、0%の場合と同様の良好な流動性を有し、かつ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、ブリージングも減少する。

(5) P C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、所要の品質を満足し、圧縮強度が 500kgf/cm^2 程度の高強度なP Cグラウトを得ることができる。その配合は、水結合材比が41%に対し高性能減水剤添加率が0.5%、水結合材比44%に対しては0~0.5%であった。

参考文献

- 1) 辻 幸和・池田正志・高野秀理：高品質P Cグラウトの配合条件、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.237~240、1990.
- 2) 辻 浦野・橋本・池田：分割練りませ方法による高品質P C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.
- 3) 辻 浦野・橋本・石川：高炉スラグ微粉末を用いたP Cグラウトの諸性状：コンクリート工学年次論文報告集、第14巻、第1号、pp.257~262、1992.
- 4) 田澤栄一・笠井哲郎：フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果、土木学会論文集、第396号/v-9、pp.135~142、1988.
- 5) 岸谷孝一・伊東靖郎・加賀秀治・山本康弘：S E Cコンクリート工法、建築技術、NO.380、pp.1~18、1983.
- 6) 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.