

[1056] 粉体の保水性におよぼす分散構造の影響

正会員○遠藤 裕悦（日曹マスタービルダーズ）

正会員 前川 宏一（東京大学工学部）

正会員 小沢 一雅（東京大学工学部）

1. まえがき

フレッシュコンクリート、モルタルおよびペーストの力学的性状は、練り混ぜ方法、特に練り混ぜ水を分割することにより、ブリージング率が大きく変化したり、硬化後の強度も影響を受けることが報告されている。これらの現象は未だ統一された見解のもとに説明されているわけではない。また、セメントー水系のブリージングについては物理および化学的な面からの検討が多数行われているが、他の粉体を用いた場合の性状と比較検討したものは少ない。そこで本研究は、各種粉体を用い、練り混ぜ方法を変えて作製したペーストを直接顕微鏡で観察することにより、分散構造を明らかにし、粉体の保水性との関係について検討を加えることを目的とした。

2. 実験概要

実験に用いた粉体は、普通および中庸熱ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの4類、練り混ぜ水として水道水および灯油水を用いた。混和剤として高縮合トリアジン系化合物を主成分とする高性能減水剤を用いた。粉体の物性を表-1に示す。練り混ぜには容量5ℓのモルタルミキサを用いた。練り混ぜ方法は、水の投入方法を変えた以下の2通りとした。

〔一括練り混ぜ〕： 粉体 + 練り混ぜ水 → 5分間振盪(140 rpm)練り混ぜ

〔分割練り混ぜ〕： 粉体 + 1次水 W_1 → 2分間振盪 → 2次水 W_2 → 3分間振盪

粉体の保水性の評価には、ブリージング試験($\phi 5 \times 10 \text{ cm}$ の容器を用いてJIS A 1123に準じて行った)および遠心脱水試験(遠心力脱水機(作用遠心力240G)を用い、試料の重量変化より計算し脱水率を求めた)で評価した。また、光学顕微鏡を用いてセメントペーストの分散状況を写真撮影した。

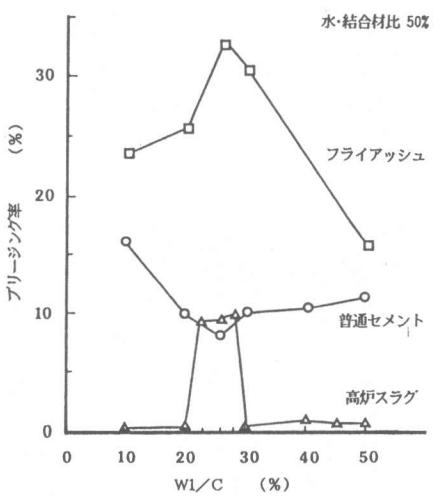
3. 実験結果および考察

3.1 各種粉体とブリージング率の関係

図-1に普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末(以下高炉スラグと略す)およびフライアッシュを単味で用いたペースト(水・結合材比=50%)の練り混ぜ1次水とブリージング率の関係を示す。これによると普通ポルトランドセメントは、 $W_1/C=26\%$ 付近にブリージング率が最小となる1次水が存在しており、

表-1 粉体の物性

	比重	プレーンcm ² /g
普通セメント	3.15	3260
中庸熱セメント	3.21	3380
高炉スラグ微粉末	2.90	3290
フライアッシュ	2.19	3000

図-1 W_1/C とブリージング率の関係 (水道水)

従来より言われている様に、分割練りによる効果⁽¹⁾を示している。ところが、高炉スラグおよびフライアッシュ単味のものにおいては、普通セメントにおける最小ブリージング率に相当するW1/Cの時に逆に最大のブリージング率を示している。すなわち、分割練り混ぜをすることにより、普通セメントでは一括練り混ぜよりもブリージング率が小さくなるのに対し、高炉スラグ、フライアッシュでは逆に増加の傾向を示す。とくに高炉スラグにおいては、W1/C=23-28%以外ではほとんどブリージングが発生しておらず、極めて敏感な性状を示している。なお、田澤氏らは、水・結合材比が70%になると分割練りによるブリージング率の変化

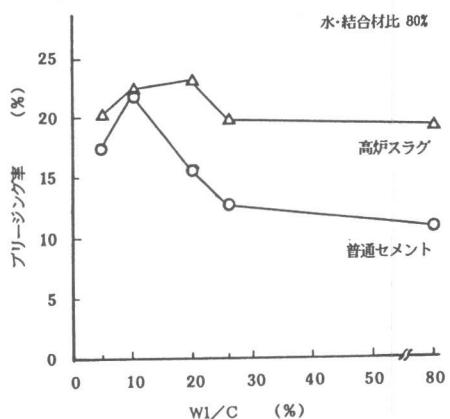


図-2 W1/Cとブリージング率の関係 (灯油)

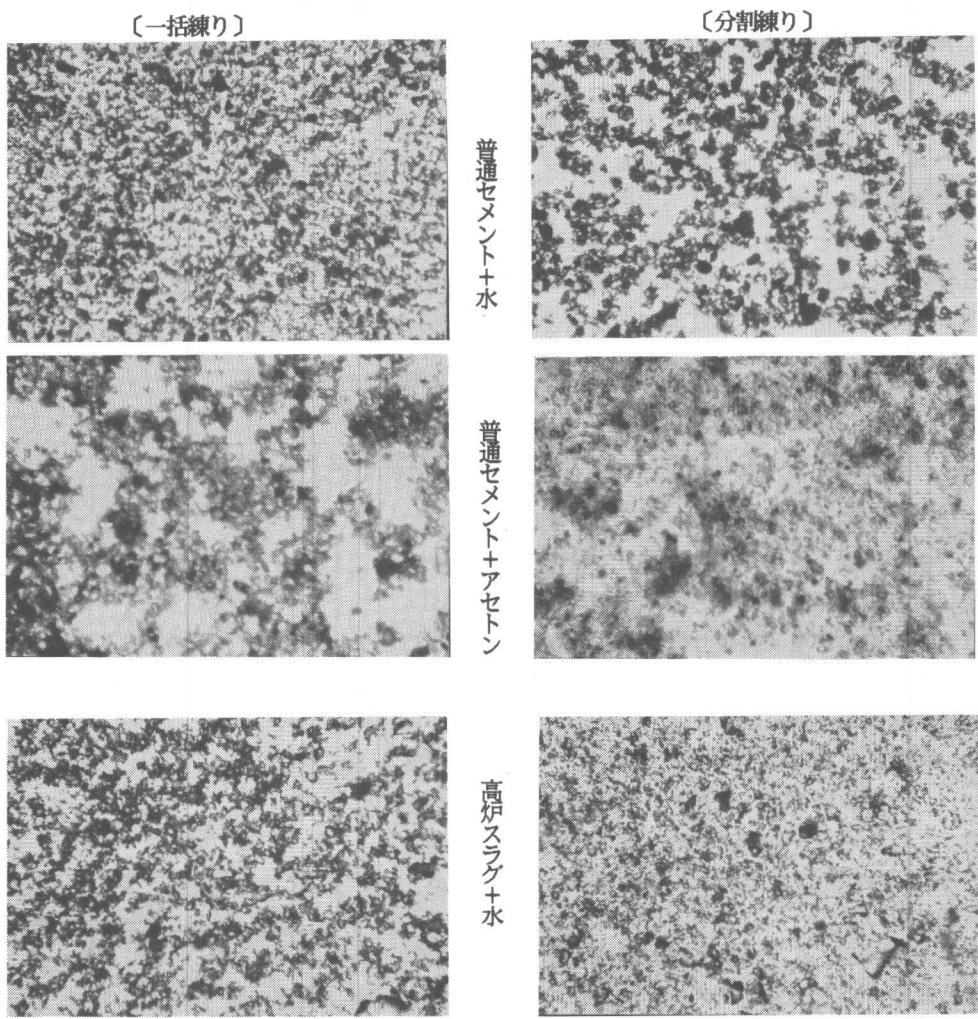


図-8 顕微鏡写真

— 100 μm

は小さく、ダブルミキシング効果は見られないと報告している。

3.2 灯油によるブリージング

普通セメントと高炉スラグおよびフライアッシュの、ブリージングの特性が異なった理由として、粉体と水との反応性に一因があるのではないかと考え、練り混ぜ水を水の代りにセメントと水和反応を起こさない灯油を用いて、同様のブリージング試験を行った結果が図-2である。灯油を用いた場合、水を用いた時と逆に高炉スラグのみならず、普通セメントも分割練りにおいてブリージング率が増大し、ピークを持つことが分かる。普通セメントではW1/C=10%、高炉スラグではW1/C=20%付近である。このことは、普通セメントと水によるペーストでは、分割練りによるブリージングに水和反応が何らかの影響を与えており、ブリージングが減少あるいは増加する状態が共に起こり得ることが分かった。

3.3 顕微鏡観察による分散状況と沈降状態

練り混ぜ方法とブリージングとの関係は、普通セメントと高炉スラグに水と灯油を用いた組合せの中で、分割練りによりブリージングの減少が認められたのは普通セメント-水の系だけであった。そこでブリージングと練り上がり直後のペーストの分散状態との関係について検討するため、普通セメント-水および水和反応を起こさないものとしてセメント-アセトンの系および高炉スラグ-水の系について、練り混ぜ方法の違いによる練り上がり直後の粒子の状態を顕微鏡で観察したのが図-3である。撮影方法は、メノウの練り鉢に試料の粉体を1gとり、水あるいはアセトンを3mL投入し、攪拌した後少量をプレパラートに採り、光学顕微鏡にて150倍で観察した。分割練りのときは、3mLの内少量を初めに投入し、練り棒で十分練り合わせた後、残りの練り水を投入した。ブリージングは、水と粉体が練り上がり時の懸濁状態から時間の経過とともに、比重の大きい粒子が沈殿し始め、水と分離した状態であるといえる。従って、粉体の粒子がより密に沈降すればするほど、ブリージング率は大きくなる。練り混ぜ直後のペースト中の個々の粒子が凝集を起こさず、均一にちらばっている状態を分散が良いとするならば、分散の良いものの方がより密に沈降し、ブリージング率が大きくなる。これは図-3における写真の中で分散が良いものは、普通セメント-水では一括練りのもの、アセトン系では逆に分割、また高炉スラグでも分割練りの方でありブリージング試験の結果と符号している。反対に粒子がランダムに分散せず、凝集して構造を作っているものは、沈降したものの中に多くの水を抱え込むことになり、図-1、2の結果からもブリージングは小さくなっている。図-4、5⁽⁷⁾の経過時間とブリージング率の関係によると、Powersのいう2種類の沈降状態が水道水と灯油の場合に認められる。水道水の場合には約1時間後を境にして、直線的な自由沈降からゆるやかな凝集沈降へ移行しているが、灯油の場合にはブリージングの大半が30分以内の自由沈降によって終了しており、凝集沈降はごくわずかであることが認められる。また、同じ自由沈降であっても、個々の粒子とある程度の大きさを持つ團粒の沈降では前者の方がより早く進行し、その結果ブリージング率も大きいはずである。このことを考えると水道水の場合普通セメントは一括、高炉スラグは分割

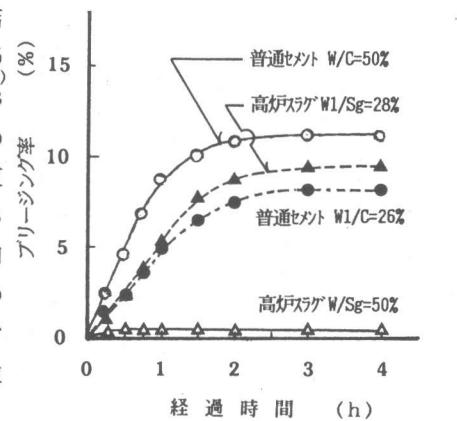


図-4 経過時間とブリージング率の関係 (水道水)

練りのものの方が、同じく灯油の場合には普通セメント、高炉スラグとも分割練りの方がより急激に沈降しており、写真の分散状態と一致している。

3.4 高性能減水剤を用いた場合

沈降状態に自由沈降と凝集沈降の2種類があるが、この沈降が個々の粒子であるかあるいは団粒であるかによよって沈降体積が異なり、これがブリージング率の違いに現われる。そこで図-6に示す高性能減水剤を用いた場合のブリージング試験を実施した。これによると、高炉スラグの場合には高性能減水剤を用いたものの方が、プレーンよりもブリージング率が大きい。とくに分割練りの2次水に高性能減水剤を入れた場合が非常に大きい。このことは、分割練りの場合には練り混ぜ直後の個々の粒子の分散が良く、これを高性能減水剤がさらに良好なものにしているといえる。ところが、普通セメントに高性能減水剤を用いた一括練りと、分割練りの1次水のもののブリージング率は、プレーンを下回っている。これは普通セメントにおける練り混ぜ直後の初期水和と何らかの関係があるものと思われる。この理由に対して、分割練りの1次水に高性能減水剤を用いた場合、高性能減水剤を用いたことにより練り混ぜ直後には良好な分散がなされたが、同時に水和反応により再び粒子が集まりフロックを形成する「再凝集」という現象が起こったとすると理解できる。さらに再凝集は、プレーンのセメントペーストにおいて、一括練りよりも分散の良い分割練りのブリージング率が小さいことも説明できる。

3.5 中庸熱セメントのブリージング

普通セメントー水系のブリージングが粉体として的一般的な沈降状態とは異なる性状を示していることを指摘し、その原因がセメントの水和反応によるものであろうと考えてきたが、さらにセメントのどの成分によるものかを推定するために、表-2に示すような普通セメントと対象的な成分をもつ中庸熱セメントを用いたブリージング試験を行った。図-7によると、中庸熱セメントは普通セメントとはまったく異なる結果となった。すなわち中庸熱セメントは、高炉スラグやフライアッシュと同様に、分割練りにおいて最大のブリージング率を呈する1次水のあることがいえる。普通セメントのブリージングは、水和反応のなかでとくに3.4で述べた様に初期の段階での変化が大きいことより、初期水和生成物の量が一番大きく影響しているのではないかと思われる。す

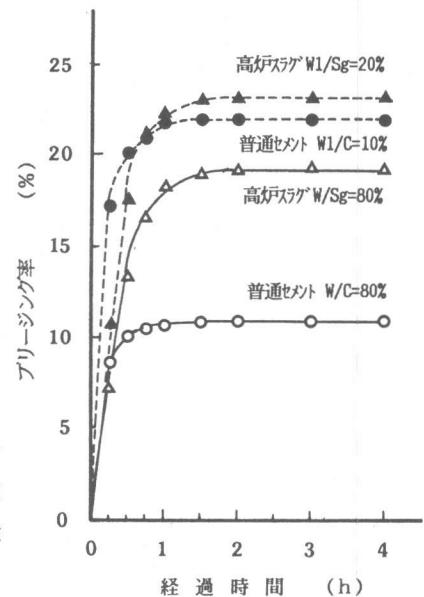


図-5 経過時間とブリージング率の関係 (灯油)

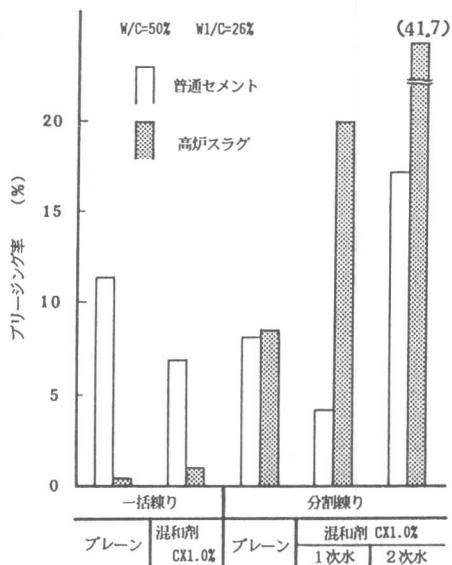


図-6 高性能減水剤を用いたペーストのブリージング率

なわち、水とセメントが接触し初期の水和反応が始まると、エトリンガイト等のセメントゲルが粒子の表面を覆う。そしてエトリンガイトは水分を多量に吸収し膨張を始め、粒子同志がファンデルワース力に近い物理的吸着力により水分をとりこんだ粒状の凝集を始める。従って、水と接する粒子が多い程、より堅固な力で結びつくと考えられる。ただし、中庸熱セメントのブリージングが分割練りにおいて増大していることより、初期水和による再凝集もその粉体の化学成分により異なるといえ、その成分量とブリージングについて詳しい検討が必要である。なお、この初期水和と凝集について、名和氏らはペーストの流動性と関連させた報告をしている。⁽⁸⁾⁽⁹⁾

表-2 粉体の化学成分

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
普通セメント	21.58	5.08	2.72	62.8	2.08	47.6	26.0	8.9	8.3
中庸熱セメント	23.3	5.0	3.7	61.9	2.2	29.7	44.5	7.0	11.2
高炉スラグ微粉末	33.2	15.1	0.5	42.5	0.1	—	—	—	—
フライアッシュ	52.3	26.0	5.4	9.0	0.4	—	—	—	—

3.6 遠心脱水試験

一定の遠心力をかけて、ペーストを脱水した場合の脱水率を表したのが図-8である。試験は練り上がり10分後に240Gの遠心力を30分間作用させた。これによると普通セメント、中庸熱セメントおよび高炉スラグのいずれも、分割練りの方が脱水率が大きい、すなわち粉体の保水率が小さいことがいえる。保水率が小さいということは粒子の表面あるいは粒子と粒子の間に保有する水が少ないとあるから、粒子同志が密に締め固まつた状態といえる。分割練りのブリージングでは保水率の大きな普通セメントが、遠心力をかけた場合には個々の粒子の分散のよい分割練りの方が一括練りより密に締め固まり、保水率が小さくなっている。これは分割練りの再凝集による結合力と、一括練りにおけるフロックの結合力を比べると、240Gという遠心力に対しては前者の方が弱く、団塊から引き離される粒子の数が多いことが考えられる。

4. まとめ

各種粉体を用いたペーストの、練り混ぜ方法とブリージング率の関係について、実験ならびに顕微鏡観察を行った結果、ペーストのブリージングは、練り上がり直後の粒子の分散の状態によって異なる。すなわち、練り上がり直後の個々粒子の分散が良いもの程、粒子が密に沈降するためブリージング率は大きくなる。逆に、粒子が凝集し内部に多くの水を抱え込んだもの

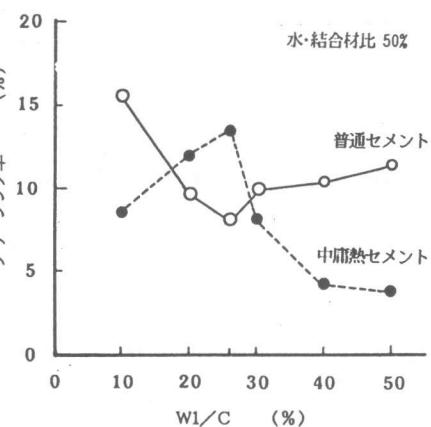


図-7 中庸熱セメントのブリージング率

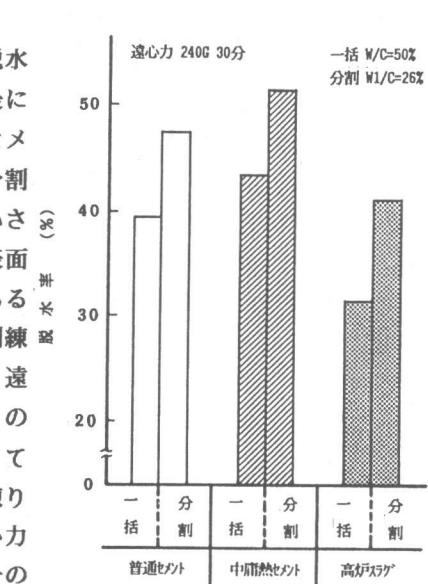


図-8 遠心脱水試験結果

はブリージング率は小さくなる。また、練り混ぜ方法と各種粉体のペーストの粒子の分散の関係では、分割練りにしたものの方が、一括練りよりも練り上がり直後の粒子の分散は良好である。従って、ブリージング率は大きくなる傾向を示す。ただし、普通セメントー水系においては、初期の水和反応による「再凝集」という現象により、分割練りの方が一括練りのものよりブリージングが小さくなるという他の粉体とは異なるブリージング特性を示す。再凝集の起こる理由として、セメントの中の初期水和成分の量に起因するという考え方有力である。また、普通セメントー水系の一括練りにおいて、粒子は規則性を増した構造となっていることが顕微鏡観察により確かめられた。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金（試験(1)61850090）を受けて行ったものである。

〔参考文献〕

- (1) 伊東靖郎：「骨材の表面状態がコンクリートに及ぼす影響に関する研究」 東京大学学位論文 昭和57年
- (2) 田澤、松岡、金子、伊東：「ダブルミキシングで作製したセメントペーストの諸性質について」1982、第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集
- (3) 魚本：「分割方式によるコンクリートの練り混ぜ方法に関する基礎的研究」1982、コンクリート工学論文No.82, 9-2 Vol.20, No.9
- (4) 長滝、氏家、戸矢：「分割混練したセメントペーストの内部組織」1983、第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集
- (5) 田澤、丹：「ダブルミキシング効果に関する2、3の実験と考察」 昭和58、セメント技術年報
- (6) 田澤、丹、江川：「ダブルミキシング機構に関する実験的研究」1985、第7回コンクリート工学年次講演会講演論文集
- (7) T.C.Powers : 「The Properties of Fresh Concrete」 Jhon Wiley & Sons 1968.
- (8) 名和、江口：「セメント粒子の分散性状と流動性に関する一考察」1985、セメント技術年報、39
- (9) 名和、江口、大島：「セメントの初期水和と流動性に関する一考察」 1986、セメント技術年報、40