

論文 高流動コンクリートのブリーディング特性

神代泰道^{*1}・大池 武^{*2}・川口 徹^{*3}

要旨：CFT構造の充填用コンクリートとして用いている粉体量の多い高流動コンクリートであっても、海砂を用いた場合にはブリーディングが多く発生する場合がある。本研究では、細骨材の種類によるブリーディング特性の違いおよび海砂と砕砂を混合した高流動コンクリートのブリーディング特性について検討を行った。細骨材の性質は高性能AE減水剤の添加率とブリーディング特性に影響を及ぼし、海砂では特にブリーディングが多い。ブリーディングを低減するには、0.15mm以下の細粒分に着目して海砂と砕砂の混合比率を設定し、細粒分が少ない場合には微量の増粘剤の添加が有効である。

キーワード：高流動コンクリート、ブリーディング、海砂、細粒分、増粘剤

1. はじめに

高流動コンクリートは高い流動性と分離抵抗性を併せもち、建築分野においては特に鋼管コンクリート(CFT)構造用の充填コンクリートとして近年多く用いられている。CFT構造技術指針¹⁾においてはブリーディング量として0.1cc/cm²以下とする規定がある。筆者らは充填用コンクリートとして、一般的にブリーディングはほとんど発生しないとされる粉体系高流動コンクリートを用いており、これまでの測定事例では0.03～0.05cc/cm²程度以下であった。充填性を向上するためにはできるだけ少ないことが望ましいが、西日本各地において細骨材として用いられている海砂を使用した場合、普通コンクリート²⁾や流動化コンクリート³⁾と同様にブリーディングが多く発生し、充填コンクリートとしての品質低下が懸念された。しかし、高流動コンクリートのブリーディング特性に関する研究事例は少なく、このため、本研究では、細骨材の種類によるブリーディング特性の違いについて海砂、陸砂および砕砂を用いて高流動用に調合したモルタルで検討を行った。さらに細骨材として海砂と砕砂を混合した高流動コンクリートのブリーディング特性について検討を行い、海砂を用いた場合のブリーディングの低減方法について検討を行った。

2. モルタルによる検討

2.1. モルタルの調査

モルタルの調査は、表-1に示した高流動コンクリートの基本調査から粗骨材を抜いたものとし、セメントは高炉B種セメント、高性能AE減水剤はポリカルボン酸系のものを用いた。細骨材は表-2に示す海砂、陸砂、砕砂の3種類とした。それぞれの細骨材は単味で使用し、モルタルフロー値で200, 250, 300mm程度になるように高性能AE減水剤の添加率(セメント重量C×%)で調整した。これはコンクリートのスランプフローでそれぞれ50, 60, 70cm超を想定したものである。モルタルの練り混ぜは高流動コンク

表-1 高流動コンクリートの基本調査

スランプ (cm)	空気量 (%)	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (ℓ/m ³)	粗骨材 (ℓ/m ³)
60±10	3.0	175	500	331	300

セメント(C)：高炉B種セメント(比重3.04、比表面積3880cm²/g)
高性能AE減水剤(SP)：ポリカルボン酸系

表-2 細骨材の性質

種類	表乾 比重	吸水率 (%)	実積 率 (%)	単位容積 質量 (kg/ℓ)	FM	0.15mm 以下 (%)
海砂	2.56	1.95	63.3	1.59	2.75	0.8
陸砂	2.60	1.95	69.2	1.76	2.76	3.0
砕砂	2.58	1.95	65.2	1.65	2.94	6.7

*1 (株)大林組 技術研究所 建築第二研究室 研究員(正会員)
*2 (株)大林組 技術研究所 建築第二研究室 主任研究員(正会員)
*3 (株)大林組 技術研究所 建築第二研究室 室長(正会員)

リートの製造の実情に合わせ、砂、セメント投入後、低速で15秒間練り混ぜ、水および高性能AE減水剤を加えた後、低速のまま90秒間練り混ぜ、90秒間静置した。

2.2 試験項目

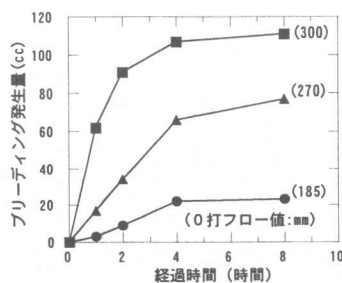
表-3に試験項目を示す。0打フロー値はフローコーンを抜いた後、衝撃を与えずにモルタルの自重のみで変形した場合の広がり測定したものである。ブリーディング試験はφ150×150mmの型枠に高さ140mmまでモルタルを打設した。水を吸い取る前には厚さ20mmの台を容器の底部片側にはさんで容器を傾け、水を吸い取った後、静かに水平に戻した。

ブリーディングの発生は初期においてはほぼ一定速度となるが、後期においては速度が減少する傾向が見られた。このため試験開始から2時間に対してブリーディング速度を算定した。

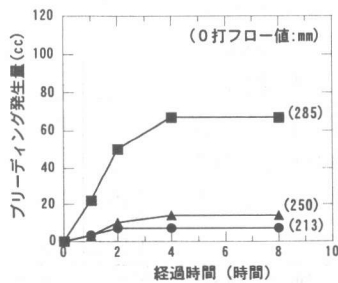
2.3 試験結果および考察

(1) 0打フロー値

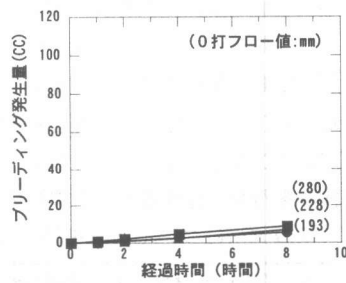
0打フロー値の試験結果を高性能AE減水剤で整理して図-1に示す。同一のフロー値を得るための高性能AE減水剤の添加率は砕砂>海砂>陸砂の順であった。陸砂は0.15mm以下の細粒分が少なく、かつ、単位容積質量と実績率が大きく粒形が良い。このため添加率は小さくなっている。砕砂の場合は0.15mm以下の細粒分を多く含み、かつ、陸砂ほど粒形は良くないため最も添加率が増加した。海砂は陸砂より0.15mm以下の細粒分は少ないが、砕砂と同様に粒形が悪く、陸砂よりも添加率が多くなったと考えられる。



(a) 海砂



(b) 陸砂



(c) 砕砂

図-2 モルタルブリーディング測定結果

表-3 試験項目 (モルタル)

項目	試験方法
0打フロー値	JIS A 5201 セメントの物理試験に準じた衝撃なしのモルタルフロー値(mm)
ブリーディング量	φ150×150mmの軽量型枠に高さ140mmまで、モルタルを打設し、1, 2, 4, 8時間後のブリーディング発生量(cc)を測定する

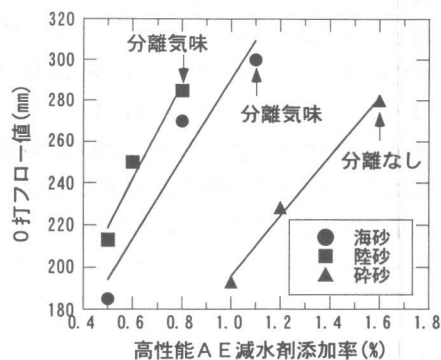


図-1 S P添加率と0打フロー値

最も大きい0打フロー値における広がり状況は陸砂と海砂で分離気味となったが、砕砂では分離してなかった。

(2) ブリーディング試験

ブリーディングの測定結果を細骨材の種類ごとに図-2に示す。海砂は他より全体的にブリーディングが多い。陸砂はフロー値が大きい場合に特に多くなるが、いずれも4時間で終了している。砕砂の場合、発生は非常に緩やでほとんど発生していないが、継続時間が長い。すべての細骨材で共通する傾向としてはフロー値の大きいものほど、すなわち、高性能AE減水剤の添加率が多いほどブリーディングは多くなった。特に海砂や陸砂の場合、その傾向が顕著であった。高性能

減水剤の添加はセメントペーストのブリーディング速度を速める⁴⁾とされ、高性能A E減水剤についても同様の傾向を示したが、モルタルにおいては細骨材の種類によってその傾向が異なる。すなわち、図-3に示すように海砂や陸砂では高性能A E減水剤の添加率の増加によって顕著にブリーディング速度が増加するが、砕砂の場合はその傾向は非常に鈍い。これは、細骨材中の0.15mm以下の細粒分の含有率の違いによるものと思われる。

8時間後のブリーディング発生量を細骨材の種類ごとに0打フロー値で整理して図-4に示す。同一フロー値とした場合には、海砂の発生量が最も多い。これは海砂の細粒分が最も少ないことと高性能A E減水剤の添加率が陸砂より多いことの相乗効果で、ブリーディング速度が速かつその継続時間が長くなった結果であると考えられる。陸砂は海砂と同様にブリーディング速度は速いが、添加率が少ないためブリーディングが早く終了し、海砂より発生量は少ない。しかし、添加率が多い場合には海砂と同様にブリーディングは多く発生する。砕砂の場合、ブリーディング速度が遅いため、ブリーディングの発生量は少ない。

2.4 ブリーディングの低減効果

ここでは、同一の高流動モルタルを用いて増粘剤および石灰石微粉末によるブリーディング低減効果を調べた。細骨材は海砂と砕砂を80:20の割合で混合したものを用いた。増粘剤はセルローズ系とし、コンクリート換算で25, 50, 100, 200g/m³混入した。石灰石微粉末(比重2.70, 比表面積5,520cm²/g)はコンクリート換算で25および100kg/m³細骨材の一部に外割で置換して混入した。

その結果として、無混入に対するブリーディング速度およびブリーディング量の低減効果を図-5に示す。増粘剤を用いた場合、50~100g/m³のわずかな使用量でブリーディング速度およびブリーディング量を無混入の場合の半減することができ、石灰石微粉末の場合では100kg/m³の混入で無混入の半減となる効果があった。

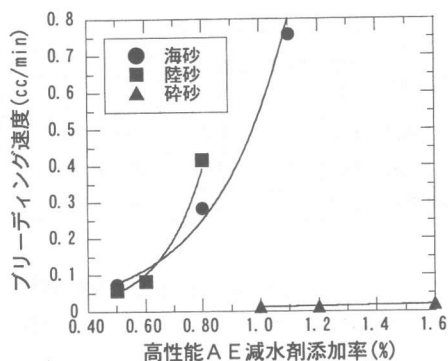


図-3 S P添加率とブリーディング速度

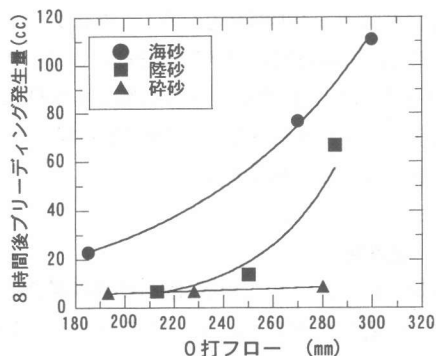


図-4 0打フロー値とブリーディング発生量

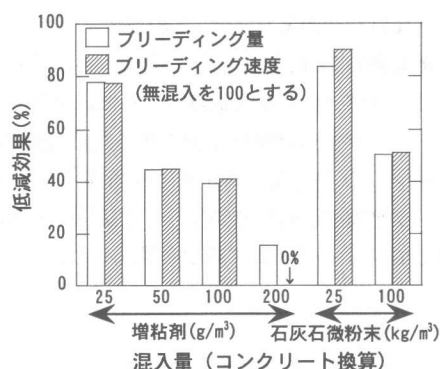


図-5 ブリーディング低減効果

3. コンクリートによる検討

3.1. コンクリートの調合

ブリーディングの発生量が多い海砂を用いる場合、発生量の少ない砕砂を有効に混合してブリーディングを低減することが考えられる。ここでは、海砂と砕砂の混合比率を変えた場合の高流動コンクリートのブリーディング特性について検討を行った。高流動コンクリートとしては、表-1で示した調合とし、高性能A E減水剤の添加率は

表-4 骨材の性質

分類	種類	表乾比重	吸水率 (%)	実練率 (%)	単位容積質量 (kg/ℓ)	FM	0.15mm以下 (%)
細骨材	海砂	2.56	1.95	63.3	1.59	2.64	1.1
	砕砂	2.64	1.68	65.2	1.65	2.94	6.7
粗骨材	碎石	2.64	0.79	59.5	1.54	6.74	-

スランブフローで60±10cmとなるように調整した。細骨材は表-4に示した海砂と砕砂を混合して用い、粗骨材には碎石を用いた。調合は細骨材の混合比率(重量比)をパラメーターとし、表-5に示すNo.1~6の調合とした。コンクリートの製造方法は細骨材とセメントを投入して空練りを15秒間行い、高性能A E減水剤と水を投入し60秒間、粗骨材を投入して90秒間練り混ぜた。5分間静置してから排出した。

3.2. 試験項目

試験項目を表-6に示す。凝結試験は混合比率を80:20とした調合No.2について行った。高流動コンクリートのブリーディング曲線のモデルを図-6に示す。初期には全くブリーディングが観察されない期間があり、このため最終ブリーディング発生量の5%に相当するブリーディングが認められた時間(t1)を開始時間とした。また、ブリーディング速度は後期に低下するため、最終ブリーディング発生量の50%に相当するブリーディングが確認された時間(t2)と開始時間の期間に対してブリーディング速度を算出した。

3.3. 試験結果

(1) 高性能A E減水剤の添加率

図-7に砕砂の混合比率と高性能A E減水剤の添加率の関係を示す。砕砂の含有率が高くなるほど高性能A E減水剤の添加率は多くなった。

(2) Oロート流下時間

図-8にOロート流下時間の試験結果を示す。砕砂の混合比率を高くした場合、Oロート流下時間は長くなり、砕砂を100%とした場合は閉塞した。Oロート流下時間は高流動コンクリートの粘性を評価するものであり、筆者らは、CFT構造の充

表-5 コンクリートの調合

調合No.	水 (kg/m³)	セメント (kg/m³)	粗骨材 (ℓ/m³)	細骨材 合成比率 (%)		FM	0.15mm以下 (%)
				海砂	砕砂		
1	175	500	300	100	0	2.64	1.1
2				80	20	2.70	2.2
3				65	35	2.74	3.1
4				50	50	2.79	3.9
5				20	80	2.88	5.6
6				0	100	2.94	6.7

表-6 試験項目 (コンクリート)

試験項目	方法
スランブフロー試験	JASS5T-505
分離抵抗性	スランブフロー-広がり状況を目視
Oロート流下試験	高流動コンクリート(増付5)
ブリーディング試験	JIS A 1123 容器: φ250×高さ285(mm)
凝結試験	JIS A 6204

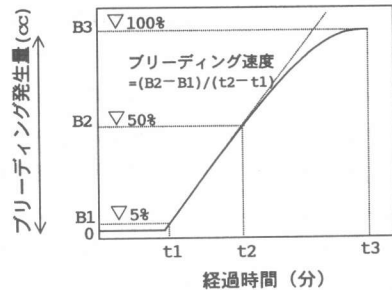


図-6 ブリーディング曲線のモデル

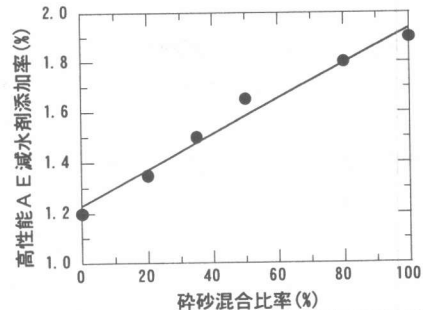


図-7 砕砂混合比率とS P添加率の関係

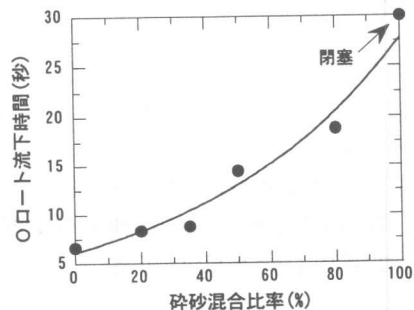


図-8 砕砂混合比率とOロート流下時間の関係

填コンクリートとしてポンプで圧入施工する場合には、圧送抵抗の増大を懸念して、Oロート流下時間は15秒以下を目安としている⁶⁾が、極端に砕砂の含有率を高めると粘性の増加を招くため、今回の場合、砕砂の混合比率の上限として50%が適切であると考える。

(3) ブリーディング曲線

一例として調合No. 2のブリーディング試験結果を図-9に示す。図-6に示したブリーディング曲線と同様に、測定を開始してから1時間程度はブリーディングはほとんど発生せず、その後、ほぼ直線的に発生し、後期でやや減速して、約8時間後に終了した。ブリーディングの終了時間は凝結の始発時間とほぼ同じであった。

(4) ブリーディング時間

ブリーディングの開始時間、終了時間およびこれらの差であるブリーディングの継続時間を高性能AE減水剤の添加率で整理して図-10に示す。高性能AE減水剤の添加率の増加に伴い、ブリーディングは長く継続する傾向であった。

(5) ブリーディング速度

細骨材中の0.15mm以下の細粒分に着目して、ブリーディング速度との関係を図-11に示す。細粒分が増加するとブリーディング速度は遅くなる傾向であった。ここで、ブリーディングが一定速度で8時間(=480分)継続すると仮定すると、ブリーディング量として0.1cc/cm²(発生量49cc)以下とするにはブリーディング速度は0.10cc/min以下、これまでの充填コンクリートと同程度の0.05cc/cm²(発生量25cc)以下とするには同0.05cc/min以下となり、図-11より、それぞれに対応する細粒分の含有率の目安としては2.5%および4.0%である。

(6) ブリーディング量

図-12に細骨材中の0.15mm以下の細粒分とブリーディング量の関係を示す。細粒分の増加によってブリーディング速度が遅くなるため、最終的な発生量は少なくなる。なお、細粒分の多い領域

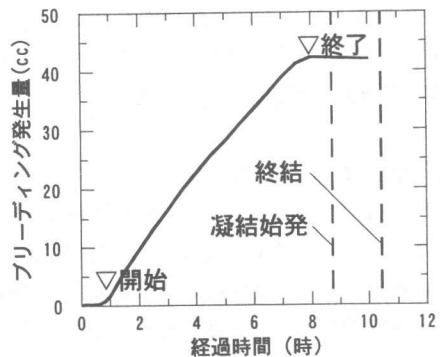


図-9 ブリーディング測定結果(調合No. 2)

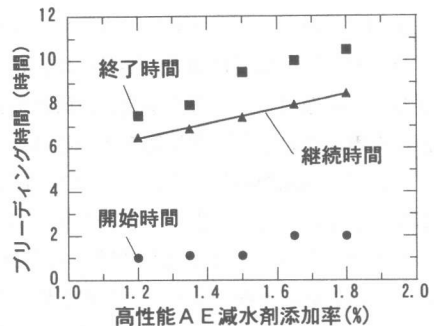


図-10 SP添加率とブリーディング時間

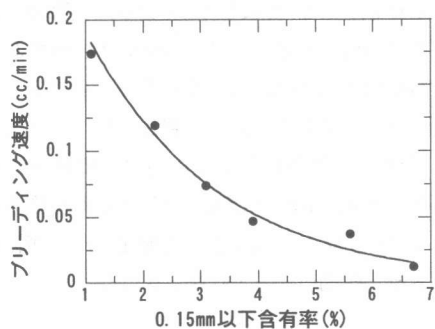


図-11 細粒分とブリーディング速度の関係

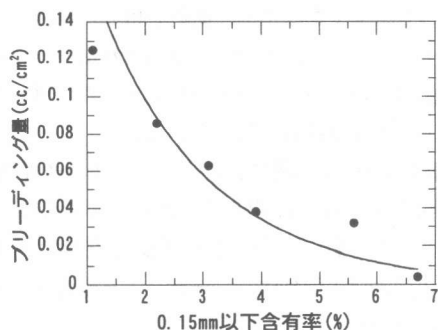


図-12 細粒分とブリーディング量の関係

では高性能A E減水剤の添加率も多く、ブリーディングは長く継続する傾向であるがブリーディング量に与える影響は小さかった。

3.4 低減方法について

ブリーディング量を $0.1\text{cc}/\text{cm}^2$ 以下とするには 0.15mm 以下の細粒分の含有率として 2.5% 以上、また、 $0.05\text{cc}/\text{cm}^2$ 以下とするには 4.0% 以上となるように海砂と砕砂の混合比率を設定することが有効である。しかし、現実には細粒分がこれより少ない領域においても確実にブリーディングを低減する方法が望まれる。このため、微量でもモルタルのブリーディング低減に効果のあった増粘剤をコンクリートに適用した。この場合、石灰石微粉末の使用も考えられるが、増粘剤を用いる利点として、微量でも効果があり、コンクリートの調合条件を変更することなく、生コン工場のサイロや設備もそのまま使用できることが挙げられる。また、微量のため、他の出荷コンクリートの品質への影響は少ない。増粘剤の混入によるブリーディングの低減効果を図-13に示す。これは、 0.15mm 以下の細粒分が 2.2% および 3.8% とした実際の生コン工場における試験結果であるが、細粒分が 2.2% でも増粘剤を $100\text{g}/\text{m}^3$ 混入することによりブリーディングは低減できた。この場合、Oロート流下時間はほとんど変わらず、粘性への影響はなかった。細粒分が 3.8% の場合では増粘剤の混入によりブリーディングはほとんど発生しないが、Oロート流下時間は $2\sim 5$ 秒長くなった。

4. まとめ

単位セメント量を $500\text{kg}/\text{m}^3$ とした粉体系高流動コンクリートであっても、海砂を用いた場合にはブリーディングが多く発生する場合があります、CFT構造の充填コンクリートとして充填性が懸念される。検討結果を以下にまとめる。

- (1) 細骨材の性質 (特に粒形と 0.15mm 以下の細粒分の含有率) は高性能A E減水剤の添加率とブリーディング特性に影響を及ぼし、高性能A E減水剤の添加率の増加はブリーディング量を増大させる要因となる。
- (2) 海砂は陸砂に比べて細粒分が少なくまた、高

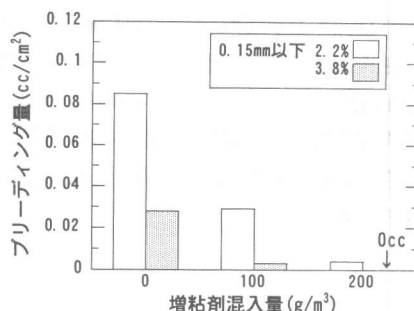


図-13 増粘剤混入量とブリーディング量

性能A E減水剤の添加率が多いことにより、ブリーディングは最も発生しやすい。砕砂は細粒分が多く、高性能A E減水剤の添加率は増加するがブリーディングの発生量は少ない。

(3) 海砂と砕砂を混合して用いた高流動コンクリートにおいて、ブリーディングを低減するには、 0.15mm 以下の細粒分に着目して海砂と砕砂の混合比率を設定することが有効である。

(4) 今回検討した調合条件の場合では、 0.15mm 以下の細粒分の含有率はブリーディング量 $0.1\text{cc}/\text{cm}^2$ 以下に対しては 2.5% 以上、 $0.05\text{cc}/\text{cm}^2$ 以下に対しては 4.0% 以上の細粒分が必要である。細粒分を確保できない場合には微量の増粘剤の添加が有効である。以上の対策により、ブリーディングは低減でき良好な充填性が期待できる。

参考文献

- 1) 新都市ハウジング協会：CFT構造技術指針・同解説，1996
- 2) 田村・高橋：砕石粉が高性能A E減水剤使用コンクリートの性能に及ぼす影響に関する実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 14，No. 1，p223～228，1992
- 3) 米倉・宮沢：流動化剤を添加したモルタルのブリーディング特性，セメント技術年報，No. 37，p171～174，1983
- 4) 大下・魚本：ブリーディング挙動に対する高性能減水剤の影響，第48回セメント技術大会講演集，p380～385，1994
- 5) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説，1997
- 6) 大池・時野野・神代他：高流動コンクリートを用いた鋼管柱中詰めコンクリートのポンプ圧入施工，コンクリート工学年次論文報告集，Vol18，NO. 1，P207-212，1996