

論文 普通強度領域の粉体系中流動コンクリートにおける材料特性及び配(調)合条件に関する研究

小出水 翔平*1・高巢 幸二*2・小山田 英弘*3・陶山 裕樹*3

要旨: 粉体系中流動コンクリートの製造を目的として、細骨材の種類と混和材の外割混合量を変化させたときのフレッシュ性状および強度性状について比較検討を行った。細骨材の材料特性により粗粒率の高い細骨材でもブリーディングが小さくなる場合があった。砕石粉の置換率が4%であれば細骨材の種類に関わらず、SP添加量は概ね1.0%以下であり本実験の配(調)合において中流動コンクリートのSP添加量の条件を満たした。本実験内において、W/C=60%で骨材微粒分の含有率が小さい細骨材を使用し、砕石粉を外割混合4%程度混合すると普通強度領域の中流動コンクリートの製造に容易とした配(調)合であると予想された。

キーワード: 中流動コンクリート, 砕石粉, V漏斗流下試験, 相対漏斗速度比, 余剰水膜厚

1. はじめに

コンクリート用骨材として天然骨材の枯渇に伴い人工骨材の需要が増加している。また、砕石、砕砂を製造する際に1~2%程度の砕石粉が発生するが、そのほとんどが最終処分されており、利用用途の模索が必要とされている。今後、砕石、砕砂と各種スラグ骨材等副産物系材料が主流になり、砕石粉の発生量はさらに増加すると予想される。また、近年、建設工事における施工の省力化、高品質化および建設コストの削減を目的として、軽微な振動締固めにより充填可能であり、高流動コンクリートと比較して粉体量や混和剤量を抑えて低コストで上記性能を満たす中流動コンクリートが注目されている。中流動コンクリートを構造物に適用する場合の施工性として、スランプフローの他に要求性能が存在せず、スランプフローの範囲内において中流動コンクリートの管理を行うこととなる。しかしながら、同程度のスランプフ

ローであっても、構成材料や配(調)合の違いにより施工性能が異なることが、近年の研究により明らかとなっている¹⁾。また、スランプフローを大きくして中流動コンクリートとするために混和材を混合しペースト量を増加させると、混和材の強度寄与の影響で圧縮強度も増大

表-1 使用材料

項目	種類	物性	記号
セメント	普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm ³ 比表面積3390cm ² /g	C
水	上水道水	-	W
細骨材	砕砂A	表乾密度2.71g/cm ³ 吸水率0.75% 粗粒率3.1 実積率65.50%	CSa
	砕砂B	表乾密度2.74g/cm ³ 吸水率1.96% 粗粒率2.7 実積率64.70%	CSb
	海砂	表乾密度2.59g/cm ³ 吸水率0.76% 粗粒率2.4 実積率62.3%	SS
混和材	石灰石微粒粉末	密度2.77g/cm ³ 比表面積5221cm ² /g	LP
	砕石粉	密度2.70g/cm ³ 比表面積4624cm ² /g	CSP
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系	SP

表-2 配(調)合および測定結果

記号	単位質量(kg/m ³)					混和剤 [C×%]	V漏斗流下時間[s]	R _m	ブリーディング率[%]			余剰水膜厚 [μm]
	W	C	LP	CSP	S				60	120	240	
N-60SS(CSa/CSb)	265	441	0	0	1362(1425/1440)	0.450(0.450/0.650)			1.37(0.47/0.03)	3.03(0.96/0.18)	3.34(1.47/0.42)	0.31(0.38/0.35)
CSP2-60SS(CSa/CSb)	260	434	0	84	1302(1362/1377)	0.597(0.537/0.896)	3.39(4.44/8.38)	2.95(2.25/1.19)	0.17(0.15/0.00)	0.44(0.44/0.04)	0.67(0.67/0.07)	0.27(0.32/0.28)
CSP4-60SS(CSa/CSb)	256	427	0	166	1243(1301/1315)	0.902(0.902/1.041)	6.13(4.78/15.43)	1.63(2.09/0.61)	0.10(0.03/0.00)	0.26(0.10/0.00)	0.43(0.14/0.00)	0.23(0.27/0.21)
CSP6-60SS(CSa/CSb)	253	421	0	245	1187(1242/1256)	1.266(1.266/1.661)	9.15(9.43/16.43)	1.09(1.06/0.65)	0.04(0.00/0.00)	0.18(0.03/0.00)	0.34(0.07/0.00)	0.24(0.22/0.16)
LP2-60SS(CSa/CSb)	260	434	85	0	1302(1362/1377)	0.598(0.538/0.835)	5.03(3.72/10.38)	1.99(2.69/0.96)	0.66(0.17/0.00)	0.97(0.45/0.07)	1.38(0.58/0.17)	0.22(0.35/0.29)
LP4-60SS(CSa/CSb)	256	427	167	0	1243(1301/1315)	0.626(0.626/0.835)	4.27(4.00/6.80)	2.34(2.50/1.47)	0.26(0.12/0.00)	0.65(0.35/0.05)	0.97(0.35/0.02)	0.27(0.29/0.20)
LP6-60SS(CSa/CSb)	253	421	247	0	1187(1242/1256)	0.714(0.714/0.873)	4.37(4.33/11.50)	2.99(2.31/0.87)	0.28(0.05/0.00)	0.53(0.16/0.08)	0.79(0.17/0.13)	0.36(0.25/0.15)
N-50SS(CSa/CSb)	265	529	0	0	1289(1349/1364)	0.500(0.450/0.700)	3.85(3.42/9.55)	2.60(2.92/1.05)	1.10(0.33/0.00)	1.69(0.66/0.11)	1.92(1.03/0.24)	0.25(0.31/0.29)
CSP2-50SS(CSa/CSb)	260	521	0	84	1231(1288/1302)	0.581(0.523/0.813)	5.19(3.88/6.88)	1.93(2.58/1.45)	0.19(0.10/0.00)	0.52(0.29/0.03)	1.01(0.43/0.09)	0.22(0.27/0.24)
CSP4-50SS(CSa/CSb)	256	512	0	166	1175(1229/1243)	0.794(0.794/1.059)	7.20(6.01/13.78)	1.39(1.66/0.73)	0.09(0.04/0.00)	0.09(0.06/0.01)	0.12(0.08/0.02)	0.15(0.21/0.18)
CSP6-50SS(CSa/CSb)	252	504	0	245	1120(1172/1185)	1.188(1.188/1.634)	14.09(7.81/15.06)	0.71(1.28/0.66)	0.04(0.00/0.00)	0.05(0.00/0.00)	0.07(0.00/0.00)	0.14(0.16/0.13)
LP2-50SS(CSa/CSb)	260	521	85	0	1231(1288/1243)	0.523(0.523/0.581)	5.56(4.18/7.56)	1.80(2.39/1.32)	0.09(0.20/0.00)	0.43(0.46/0.14)	0.93(0.59/0.23)	0.22(0.28/0.23)
LP4-50SS(CSa/CSb)	256	512	167	0	1175(1229/1243)	0.597(0.663/0.729)	6.32(3.88/8.11)	1.58(2.58/1.23)	0.07(0.03/0.00)	0.28(0.10/0.06)	0.44(0.15/0.09)	0.18(0.25/0.18)
LP6-50SS(CSa/CSb)	252	504	247	0	1120(1172/1185)	0.670(0.670/0.893)	6.71(4.82/10.39)	1.49(2.07/0.96)	0.07(0.06/0.00)	0.28(0.16/0.00)	0.43(0.20/0.00)	0.18(0.23/0.15)

* 細骨材は複合混合せず、1基準のW/Cや混和材置換率について1種類を使用した。

*1 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科 環境工学専攻 大学院生 (学生会員)

*2 北九州市立大学 国際環境工学部 教授 工博 (正会員)

*3 北九州市立大学 国際環境工学部 准教授 工博 (正会員)

し過剰強度となる場合がある。

本研究では、粉体系中流動コンクリートの製造を目的として、細骨材の種類と混和材の外割混合量を変化させたときのモルタルのフレッシュ性状および強度性状について比較検討を行った。なお、本研究の中流動コンクリートは、スランプフローを35~50cmの範囲を満足するものとした。

2. 実験概要

表-1に本研究の使用材料、表-2に配(調)合および測定結果を示す。混和材無混合のW/C=50, 60%の配(調)合を基準配(調)合とし、石灰石微粉末、砕石粉の二種の混和材の混入量は各々細骨材代替の容積2, 4, 6%置換とした。なお、本実験では混和材と細骨材の種類の違いが粘性にどのような影響を及ぼすか評価するためにコンクリート中から粗骨材を除いたモルタルで試験を行った。モルタルの練混ぜは、室温20℃の練混ぜ室で20Lモルタルミキサを用いて行った。高流動コンクリートについてモルタルで実験を行う場合、0打フローが250mmを満たすことを基準とするが、本実験では中流動コンクリートを想定し、全ての配(調)合で15打フローが250mm+20mm-10mmの条件を満たすように高性能AE減水剤(SP)を添加し調整した。なお、表-2の灰色部分は所定のフローが得られなかったが、基準配(調)合として各種性状の測定を行った。練混ぜ時間は所定のフローが得られる範囲内で4~6分の間で行った。測定項目はモルタルフロー、V漏斗流下時間、ブリーディング量および圧縮強度とした。V漏斗流下試験はJSCE-F 512「高流動コンクリート漏斗を用いた流下試験方法(案)」に準拠し、モルタル用V漏斗試験機によりモルタルの流下時間を測定した。また、式(1)より粘性指標である相対漏斗速度比(Rm)

をV漏斗流下時間より計算した。

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (1)$$

ここに、Rm：相対漏斗速度比、t：V漏斗流下時間(s)

簡易ブリーディング試験は文献2を参考に行った。φ100×200mmの鋼製型枠に高さ190mmまでモルタルを打設し、水を吸い取る前に厚さ1cm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。ブリーディングの取水時間は60, 120, 240分とした。セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材に砕砂を2種類、比較用として海砂を使用した。砕石粉はJIS A 5041「コンクリート用砕石粉」に適合

表-3 細骨材のふるい分け試験結果

細骨材	各ふるいに留まる量[%]					
	5.0-2.5 [mm]	2.5-1.2 [mm]	1.2-0.6 [mm]	0.6-0.3 [mm]	0.3-0.15 [mm]	0.15未満 [mm]
海砂	7	4	34	29	24	2
砕砂A	1	42	32	16	8	2
砕砂B	6	28	27	16	13	10

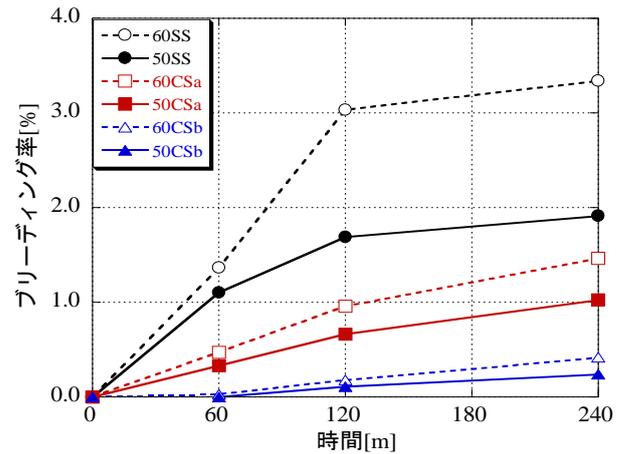


図-1 ブリーディング率の経時変化

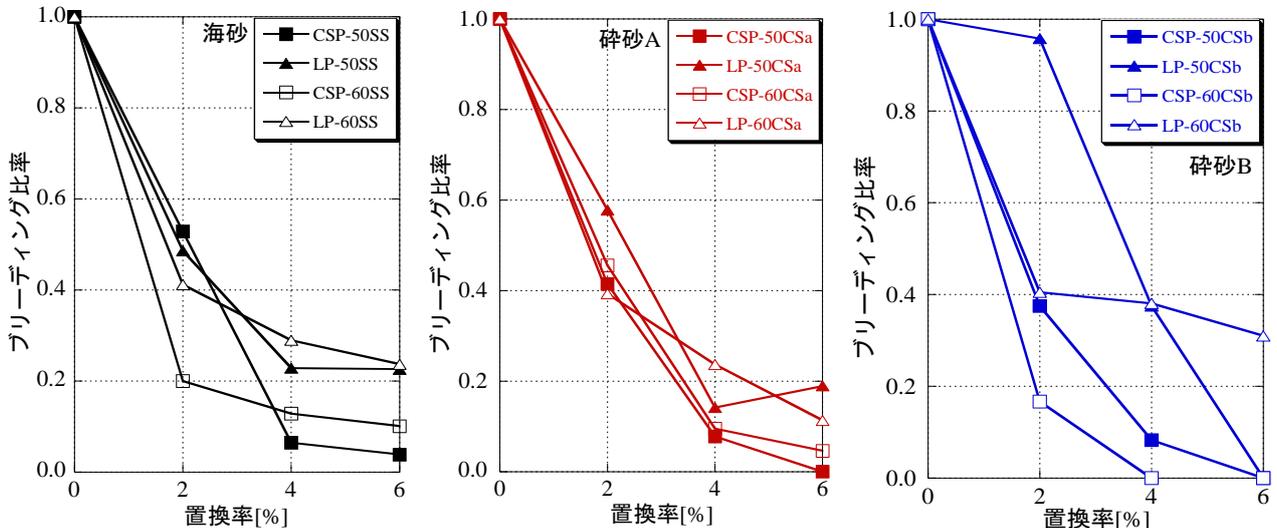


図-2 混和材置換率とブリーディング低減率の関係

するものを使用した。本実験では余剰水膜厚による考察も行った。余剰水膜厚の計算方法は文献3を参考とした。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

図-1 に基準配(調)合のブリーディング率の経時変化を示す。細骨材ごとに比較すると、測定開始後2時間までのブリーディング率の上昇が海砂を使用した場合に最も大きくなっていることが確認された。同一細骨材種類であれば粗粒率が大きく微粒分量が少ないほどブリーディング発生量は多くなるが、細骨材の拘束水比や表面水率もブリーディングには影響するため⁴⁾、細骨材種類によって顕著に差が表れたと考えられる。砕砂や粗粒率の大きい細骨材を使用するとブリーディングの発生量が大きいとされるが、砕砂を使用するとブリーディング発生量が大きくなるとは一概に言えない可能性がある。砕砂Aと砕砂Bを比較すると、砕砂Bを使用したものが砕砂Aよりもブリーディング率が小さいことが確認された。いずれの細骨材も粒度分布はJISの範囲内ではあるが、表-3に示したように骨材のふるい分け試験結果に着目すると、砕砂Bの0.15mm以下の割合が他の細骨材と比較して極めて大きいことが分かる。特に砕砂の微粒分はフレッシュ性状やブリーディング、SP添加量に大きく影響するため⁵⁾、砕砂Aと砕砂Bに含有される微粒分量の違いがブリーディング性状の違いに影響したと考えられる。図-2に混和材置換率と混和材無混合を1とした時のブリーディング低減率の関係を示す。混和材の種類に関わらず、置換率2%でブリーディング率を半分程度まで低減している。海砂を使用した場合、混和材無混合ではW/Cが大きくなるとブリーディングは極端に増加したが、W/Cが大きい配(調)合でも混和材を使用す

ることによりブリーディングを抑制させることが可能であると考えられる。混和材の違いに着目すると置換率が4%以上になると砕砂粉を混合した方がブリーディング率は小さな値になっており、細骨材種類に関わらず、砕砂粉を混合することで大幅にブリーディングを抑制することが可能であると考えられる。砕砂Bを使用した場合、混和材無混合の場合でも他の細骨材を使用した場合と比べてブリーディング発生量は極めて低く、混和材置換率2%程度でほとんどブリーディングは確認されなかった。いずれの細骨材を使用したものでも、置換率4%以上でブリーディングを大幅に抑制することが可能であり、その傾向は砕砂粉の方が顕著であると考えられる。

3.2 相対漏斗速度比

図-3に混和材置換率と相対漏斗速度比(Rm)の関係を示す。W/C=60%において、混和材無混合の場合、全細骨材において15打フローが250mmを満たす前に著しい材料分離を引き起こし、所定のフロー値を得られず、なおかつ試料が全て流下せず漏斗が閉塞したため図から除外した。混和材種類で比較すると、置換率2%においては砕砂粉、石灰石微粉末の差は小さいが置換率4%以降に砕砂粉を用いた配(調)合では大きな粘性の増加が見られた。これは、砕砂粉の粒子形状、微粒分量、吸着水率などによる影響が置換率4%以上で顕著に表れたと考えられる。W/C=60%で海砂、砕砂Bを使用した場合、石灰石微粉末の置換率が増加するに伴いRmの増加(粘性が低下する)が確認された。石灰石微粉末は高性能AE減水剤に対する吸着量が極めて低く、石灰石微粉末を混合することによりフレッシュ性状が良好になることが報告されている⁶⁾。本実験においても一部の配(調)合でRmに対して同様の現象を引き起こしたと考えられる。図-4にブリーディング率とRmの関係を示す。細骨材ごとに比

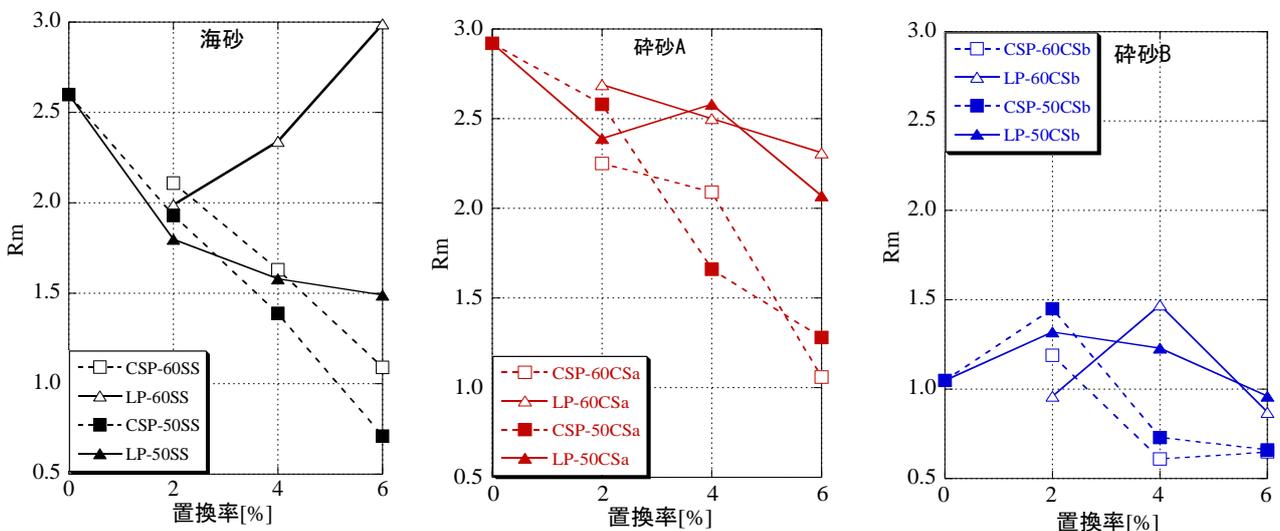


図-3 混和材置換率と相対漏斗速度比 (Rm) の関係

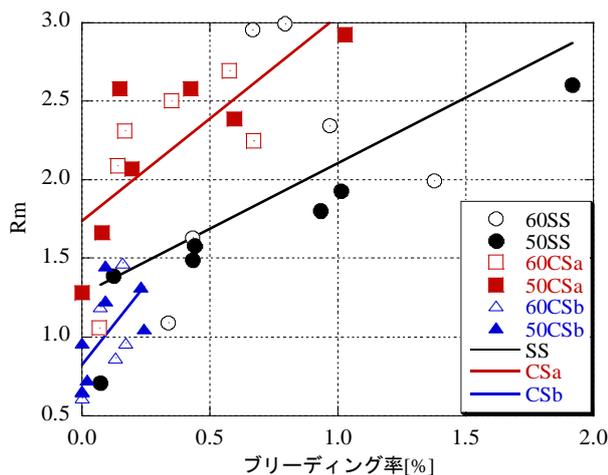


図-4 ブリーディング率と Rm の関係

較すると、混和材種類に関わらず概ね Rm とブリーディング率は相関があることが確認された。細骨材ごとの特徴に着目すると、海砂を使用した場合比較的ブリーディング率が大きく Rm は小さいが、砕砂 A を使用した場合はブリーディング率は小さく Rm が大きい。砕砂 B はブリーディング、Rm と共に極端に小さな値を示した。砕砂 A のような粗粒率が大きく微粒分が適量含まれる細骨材では、ブリーディングを低減させると共に Rm も増加させる傾向があると考えられる。一方で砕砂 B のように粗粒率が大きく微粒分量が極端に多いと、ブリーディングを大きく低減させるが Rm も小さくさせると考えられる。良好な充填性能を得るには、ブリーディング率が低く、適当な粘性を持つコンクリートが必要であり、Rm が 1.0~2.0、0 打フローが 180~200mm 程度のモルタルで構成されるコンクリートが、良好な充填性を持つ中流動コンクリートであるという報告がある⁷⁾。本実験では砕石粉を混合した場合、W/C=60%で混和材置換率が 4%、W/C=50%で混和材置換率が 2%程度でこれらの条件を満たす、またはそれに近いモルタルの流動性であり、中流動コンクリートの配(調)合に適用可能であると考えられる。石灰石微粉末を混合した場合、W/C=60%で海砂および砕砂 B を使用すると、混和材置換率の増加とともに Rm が増加するものが見られるため、粘性が低くブリーディング率の小さい中流動コンクリートや、砕砂 B のように流動性を低下させる傾向のある細骨材を使用したコンクリートのフレッシュ性状を改善し、中流動コンクリートに適用できる可能性がある。

3.3 SP 添加量

図-5 に SP 添加量と混和材置換率の関係を示す。一定値以上のフローを得るために添加した高性能 AE 減水剤添加量は石灰石微粉末、砕石粉ともに混入量の増加に伴い多くなっている。砕石粉混入時の SP 添加量は石灰石微粉末混入時に比べると大きな値を示した。既往の研究⁸⁾

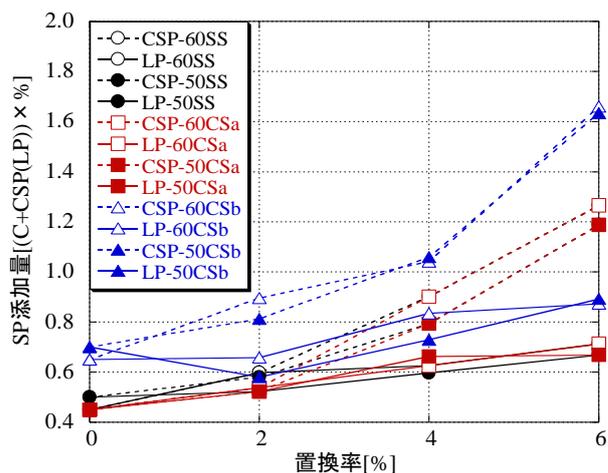


図-5 混和材置換率と SP 添加量の関係

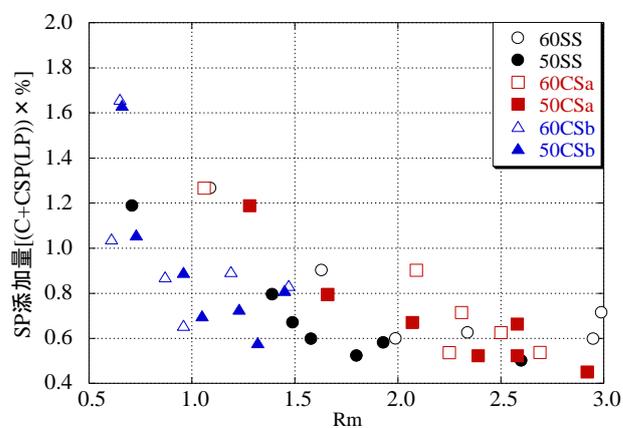


図-6 Rm と SP 添加量の関係

において、砕石粉の表面は微細な凹凸の多い粒子形状をしており BET 比表面積が大きく、SP の吸着量が多いことが報告されている。これより、本実験においても砕石粉により SP が吸着されたため SP の効果が弱くなり添加量が石灰石微粉末に比べ多くなったと推測できる。細骨材ごとに比較すると、海砂と比較して砕砂 A は SP 添加量が減少していることに対し、砕砂 B を使用した場合の SP 添加量は増加している。砕砂 B は微粒分の含有率が非常に高い特徴があり、所定のフローを満たすために必要な SP 添加量が増加したと考えられる。中流動コンクリートのように普通コンクリートより高い流動性が必要なコンクリートを製造する場合、減水剤の添加量が多くなることはコンクリートを製造する際のコストアップの大きな要因と成り得るため、砕砂を使用する際は微粒分量に十分に注意を払う必要がある。図-6 に Rm と SP 添加量の関係を示す。SP 添加量が同程度の値であっても、混和材種類に関わらず砕砂 A を用いたモルタルの方が比較的 Rm は大きい値であることが確認された。砕砂 A は総じて Rm が高く、SP 添加量が他の細骨材と比較して少なくとも粘性が低くなると考えられる。砕砂 B は粗粒率は大きい、Rm は海砂を使用したものと比べてやや小

さくなっており、これは砕砂 B に多く含まれている骨材微粒分による影響であると考えられる。Rm が大きくなった砕砂 A 程度の粒度および微粒分の細骨材が、中流動コンクリートを製造する際に使用が容易であると考えられる。中流動コンクリートへの SP 添加量の推奨値は 0.8~1.2% 程度であることが多いとされており、本実験では砕砂粉の置換率が 4% までであれば細骨材種類に関わらず、SP 添加量は概ね 1.0% 以下であり、本実験の配（調）合において中流動コンクリートの SP 添加量の条件を満たしていると考えられる。

3.4 余剰水膜厚による評価

余剰水膜厚理論¹⁰⁾は、液相を水、固相を粉体および細骨材としてとらえており、余剰水が各粒子に均一に水膜を構成しているという考えである。この余剰水膜厚は、球と仮定した時の細骨材および粉体の比表面積、セメントおよび細骨材混合物の実積率を用いて算出している。本研究において、余剰水膜厚による評価を試みた。図-7 に水膜厚とブリーディング率の関係、図-8 に余剰水膜厚と相対漏斗速度比 (Rm) の関係、図-9 に余剰水膜厚と SP 添加量の関係を示す。図-7 より、W/C、細骨材種類が同じであれば砕砂粉や石灰石微粉末を混合しても一定の相関は見られるが、細骨材の違いや混和材の違いを一義的に表現出来ていないと言える。図-8 より、余剰水膜厚が増加すると Rm が増加傾向を示すことが確認された。海砂と砕砂 A を使用したものは、余剰水膜厚と Rm の関係は概ね線形関係を示しており、余剰水膜厚を算定することで Rm の値を概ね予測できると考えられる。砕砂 B を使用した場合、余剰水膜厚の増加に比べて Rm の増加は小さく、線形関係が認められなかった。これは骨材微粒分の影響により、著しく粘性が低下しているためであると考えられる。図-9 より、W/C と細骨材種類ごとに比較すると、余剰水膜厚と SP 添加量の関係は概ね双曲線関係を示したが、一部双曲線関係が得られないものがあつた。したがって、余剰水膜厚理論に基づいた評価方法では、W/C や細骨材種類を限定することによりブリーディング率、Rm、SP 添加量を概ね推定することが可能であるが、粉体量の増加に伴い変化するペースト性状や細骨材と粉体の粒子形状が加味されていないため余剰水膜厚による詳細な予測が困難であると考えられる。今後は、余剰水膜厚理論に基づいた評価方法を確立するための与条件を検討していく必要がある。

3.5 圧縮強度

図-10 に材齢 28 日における全供試体の圧縮強度試験結果を示す。混和材ごとに比較した場合、石灰石微粉末は砕砂粉よりも混和材による強度増進効果大きい。また、細骨材ごとに比較した場合、砕砂使用時の圧縮強度は海砂使用時よりも大きくなっており、砕砂の付着微粒

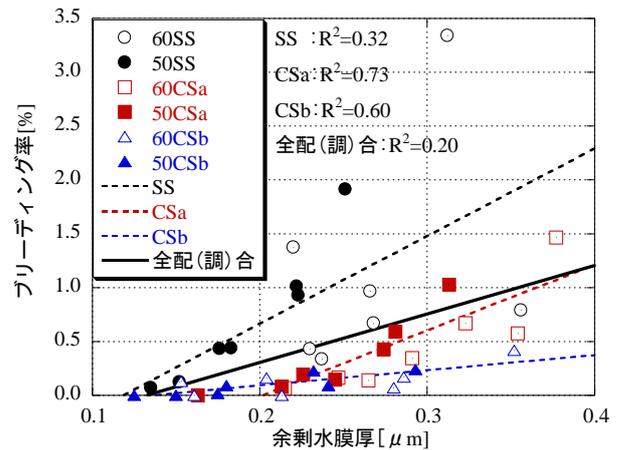


図-7 余剰水膜厚とブリーディング率の関係

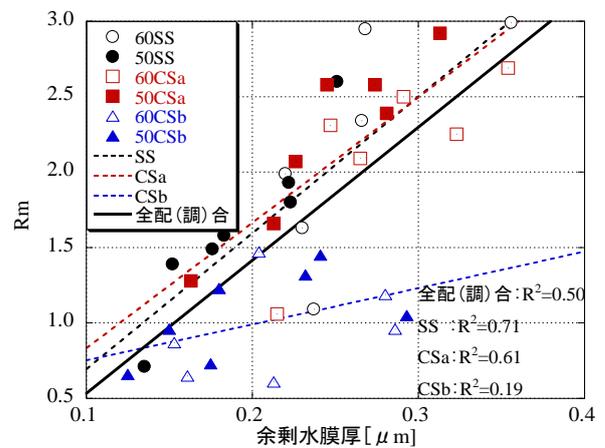


図-8 余剰水膜厚と相対漏斗速度比 (Rm) の関係

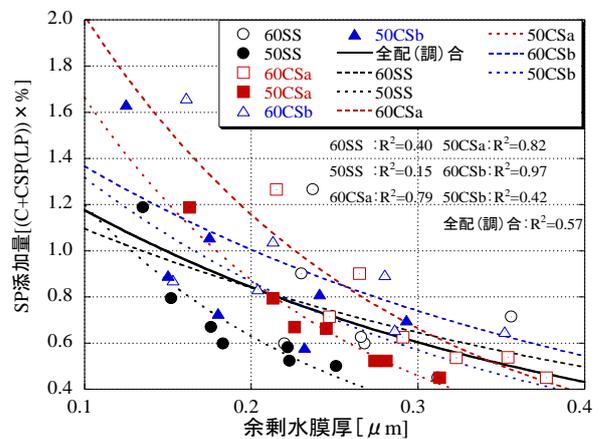


図-9 余剰水膜厚と SP 添加量の関係

分によりモルタル内部が緻密化されていることが推察される。本実験において、W/C=60%で砕砂粉を混合することで、普通強度領域の中流動コンクリートの製造が容易になると予想される。今後の検討課題としてコンクリートで実験を行って検証する必要がある。

4. まとめ

細骨材の材料特性により、砕砂 A、B のように粗粒率が高い細骨材でも、ブリーディングは小さくなる場合が

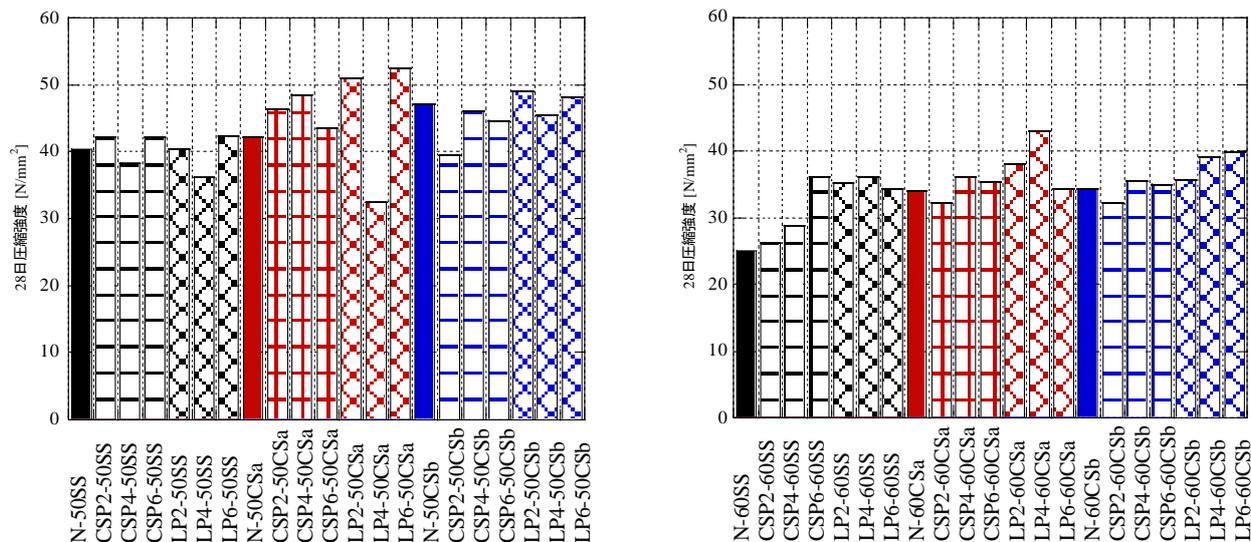


図-10 圧縮強度 (左 : W/C=50 右 : W/C=60)

あると考えられる。混和材を混合することでブリーディングを大幅に抑制でき、特に砕石粉はその傾向が顕著である。砕砂 A のように粗粒率が大きく微粒分が適量含まれる細骨材は、ブリーディング発生量を低減させると共に Rm も増加させる傾向がある。SP 添加量は細骨材の微粒分量が高い細骨材を使用した配 (調) 合で総じて多くなる傾向がある。砕石粉の置換率が 4% までであれば細骨材の種類に関わらず、SP 添加量は概ね 1.0% 以下であり、本実験の配 (調) 合において中流動コンクリートの SP 添加量の条件を満たす。W/C=60% で砕石粉を混合することで普通強度領域のコンクリートを製造できる可能性がある。余剰水膜厚による評価方法は W/C や細骨材種類を限定することによりフレッシュ性状や SP 添加量を概ね推定することは可能ではあるもののペースト性状や細骨材と粉体の粒子形状が加味されていないため現状では配 (調) 合設計に適用するのは困難である。

本実験の範囲内において、W/C=60% で砕砂 A のような材料特性を持つ細骨材を使用し、砕石粉を外割混合 4% 程度混合することで、普通強度領域の中流動コンクリートの製造を容易とする配 (調) 合であることが予想された。今後、コンクリートでの実験および種類の異なる砕石粉を用いた時の検証実験を行い、粉体系中流動コンクリートの製造確認を行う必要がある。

謝辞

実験に際して本学 EA 板並沙織氏、三倉英史氏、修論生・入江輝君(現:鹿島建設(株))、高木祐希君から協力を得た。末尾に記して謝意を示す。

参考文献

1) 黒木健一, 橋本紳一郎, 伊達重之, 橋本親典: 各種配合条件における中流動コンクリートのフレッシュ性状に関する検討, コンクリート工学論文集, Vol.34, No.1, pp.1216~1221, 2012

2) 石黒朝也, 早川光敬: フェロニッケルスラグ細骨材を用いたモルタルの研究, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.111~112, 2016

3) 三宅淳一, 松下博通, 取違剛: ペースト濃度および粉体種別の異なるモルタルのフレッシュ時性状に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.997~1002, 2005

4) 伊藤重之, 長谷川聖史, 池田正志, 辻幸和: 分割練混ぜにより製造したモルタルのブリーディングに及ぼす細骨材特性の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.615~620, 2004

5) 橋本勝由, 藤本郷史, 賀谷隆人, 長原雄一: 製造プロセスの物質収支を考慮した調製乾式砕砂における微粒・細粒分がコンクリートの諸物性に与える影響, Vol.33, No.1, pp.161~166, 2011

6) 呉承寧, 今井昌文: 高流動モルタルの特性に及ぼす混和材の影響, プレストレストコンクリート技術協会, 第 8 回シンポジウム論文集, pp.499~504, 1998

7) 桜井邦昭, 近松竜一: 加振併用型の高流動コンクリートの材料分離抵抗性の評価に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1180~1185, 2012

8) 福山知広, 麓隆行, 石野梨紗, 山田優: 砕石粉の高流動コンクリート用混和材としての利用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.977~982, 2003

9) 桜井邦昭, 近松竜一: 中流動コンクリートの合理的な配合設計方法に関する一提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1225~1230, 2013

10) 松下博通, 近田孝夫, 前田悦孝: コンクリートの配合設計への余剰ペースト理論の適用に関する基礎的研究, 土木学会論文集, Vol.37, No.578, pp.57~70, 1997