

論文 銅スラグ細骨材による砕砂コンクリートのフレッシュ性状の改善

上野 敦^{*1}・辻本一志^{*2}・鈴木一雄^{*3}・宇治公隆^{*4}

要旨：天然骨材資源の枯渇，採取規制に伴い，今後は主細骨材として砕砂を使用することが想定される。砕砂は岩石を破砕して製造されるため，粒子形状が角張り，単位水量が増加する傾向にある。一方，産業副産物の粒状体をコンクリート用細骨材として使用することも要請されている。本研究は，粒形改善処理を行った銅スラグ細骨材の，砕砂に対する混合用細骨材としての有効性を示すことを目的としたものである。粒形改善した銅スラグ細骨材を混合使用することで，砕砂を主細骨材とするモルタルの流動性およびブリーディングが改善できることが明らかになり，この効果がコンクリートでも有効となることがわかった。

キーワード：銅スラグ細骨材，粒形改善，砕砂，流動性，ブリーディング

1. はじめに

日本各地での天然骨材の本格的な採取規制によって，現在コンクリート用細骨材として天然の砂を使用している地域でも，今後は，主力の細骨材として砕砂を使用することが想定される。砕砂は，岩石を破砕して製造するため，粒子形状が角張ったものとなりやすい。このため，天然の砂と比較するとコンクリートの単位水量が増加する傾向が強い。しかし，硬化後のコンクリートの品質に対する悪影響は小さく，砕砂を用いたコンクリートの品質上の問題は，単位水量の増大とこれに伴う耐久性面での課題に集約されると考えられる。

一方，天然骨材資源の保全や副産物の有効利用の観点から，金属精錬の副産物であるスラグ骨材をコンクリートに使用することが要請されている。コンクリート用スラグ骨材は，その品質が JIS A 5011-1～4 に規定されているが，通常の骨材と比較して密度が大きく，粒子形状が角張る場合が多い。このため，コンクリートの単位水量が増加し，ブリーディングが増加することが懸念される。このようなことから，土木学会および日本建築学会から設計施工指針類が示されており，コンクリートの品質が顕著に変化しないスラグ骨材の標準的な混合率の範囲が示されている。このように，スラグ骨材は，その特徴的な粒子特性から，特段の配慮なしで使用した場合，コンクリートの品質を低下させる要素を含んでいる。しかし，スラグ骨材の粒子特性を理解し，適切な粒度や配合等の使用形態とすることで，コンクリートの品質を向上させることが可能となる¹⁾。

本研究は，粒形改善処理を施した細粒子の銅スラグ細骨材を，砕砂に混合して使用することによって，砕砂を主細骨材とするコンクリートの流動性を向上できる可能

性が高いことに着目したものである。これは，主たる細骨材が，砕砂のように粒子形状が角張ったものの場合，ペースト中での粗な細骨材粒子の粒子間距離を，粒子形状が等方的なものと比較して大きくする必要があるという考え¹⁾に基づいている。そして，ペースト内での細骨材粒子の粒子間距離の増大は，単位水量の増加によるペースト体積の増加，空気連行によるペースト体積の増加に加え，細骨材自体に細粒子（微粒分）を多く含むことによっても達成可能であると考えている。

このような観点から，本研究では，砕砂を用いたコンクリートの流動性が，粒形改善した細粒子の銅スラグ細骨材を用いることで向上することを示すこと，流動性の向上にとまらぬ単位水量の低減によって，密度の大きな銅スラグ細骨材を用いた場合でもブリーディングが顕著とならないこと，そして，主細骨材となる砕砂の特性に応じて，銅スラグ細骨材の効果的な混合率が変化することを示すことを目的としている。

具体的な検討においては，細骨材による影響を明確にするため，はじめに，モルタルを対象として，主細骨材として1種類の砕砂を使用し，銅スラグ細骨材の粒形改善レベルを変化させたときのモルタルの流動性およびブリーディングに対する影響を検討し²⁾，次に，主細骨材の砕砂の特性を変化させたときの銅スラグ細骨材混合のの効果への影響を基礎的に検討した。そして，最終的に銅スラグ細骨材によるフレッシュ性状の改善効果をコンクリートで検証することとした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) セメントと混和剤

*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科都市基盤環境工学専攻 准教授 工博 (正会員)

*2 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 (正会員)

*3 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 工博 (正会員)

*4 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科都市基盤環境工学専攻 教授 工博 (正会員)

表-1 使用骨材の物理的または幾何学的性質

種類	記号	岩種など	産地	密度(g/cm ³)		吸水率(%)	単位容積質量(kg/L)	実積率(%)	粒形判定実積率(%)	F.M.	0.075mm pass (%)
				表乾	絶乾						
砕砂	CS1	砂岩	京都府	2.64	2.61	1.31	1.59	61.0	52.1	3.24	1
砕砂	CS2	砂岩	津久井	2.70	2.66	1.58	1.72	63.5	54.1	2.70	2
砕砂	CS3	砂岩	相模原	2.64	2.62	0.92	1.69	64.6	55.0	2.46	2
CUS	CUS2	2回磨砕	佐賀関	3.59	3.58	0.12	2.36	65.7	58.3	2.47	6
CUS	CUS3	3回磨砕	佐賀関	3.59	3.58	0.12	2.41	67.2	58.7	2.21	8
CUS	CUS5	5回磨砕	佐賀関	3.59	3.58	0.12	2.42	67.4	59.4	1.96	11
砕石	G	砂岩2005	津久井	2.68	2.65	1.00	1.54	57.9	-	6.81	-

表-2 流動性検討のためのモルタルの配合(変数:CUS)

記号	CUS混合率	W/C	Vp/Vs	単位質量(g/L)			
				W	C	CS	CUS
CS1	0	0.60	1.00	327.3	545.6	1320	0
CUS2-15	0.15	0.60	1.00	327.3	545.6	1122	269.3
CUS2-30	0.30	0.60	1.00	327.3	545.6	924	538.5
CUS2-50	0.50	0.60	1.00	327.3	545.6	660	897.5
CUS3-15	0.15	0.60	1.00	327.3	545.6	1122	269.3
CUS3-30	0.30	0.60	1.00	327.3	545.6	924	538.5
CUS3-50	0.50	0.60	1.00	327.3	545.6	660	897.5
CUS5-15	0.15	0.60	1.00	327.3	545.6	1122	269.3
CUS5-30	0.30	0.60	1.00	327.3	545.6	924	538.5
CUS5-50	0.50	0.60	1.00	327.3	545.6	660	897.5
CUS5-100	1.00	0.60	1.00	327.3	545.6	0	1795.0

セメントは、モルタルおよびコンクリートに共通で、密度 3.16g/cm³ の普通ポルトランドセメントを使用した。また、モルタルを対象とした検討では、細骨材によるフレッシュ性状への影響を顕著とするため、化学混和剤を用いないこととした。コンクリートの検討においては、リグニンスルホン酸とポリオール複合体を主成分とする一般的な AE 減水剤を使用した。

(2) 細骨材

細骨材は、表-1 に示すとおり、粒形および粒度の異なる砕砂 3 種類(記号:CS1, CS2, CS3) と、粒形改善のための磨砕処理回数の異なる銅スラグ細骨材(記号:CUS2, CUS3, CUS5(記号中の数値が磨砕回数を示す))を使用した。磨砕処理回数の増加に伴い、粗粒率が小さくなり、粒形判定実積率が大きくなっている。銅スラグ細骨材の磨砕処理は、回転する装置内で粒子同士をすり合わせることで行われている。以下、砕砂を CS、銅スラグ細骨材を CUS と略す。

モルタルを対象とした検討では、はじめに、CUS の粒子特性(磨砕処理の程度)による流動性およびブリーディングに対する影響を検討する目的で、主細骨材に CS1 を使い、混合用として CUS2, CUS3 および CUS5 を使用した。次に、主細骨材の特性による CUS 混合の効果への影響について検討するため、主細骨材として CS1, CS2 および CS3 を使用し、混合用の細骨材として CUS3 を使用した。

コンクリートにおける検討では、主細骨材に CS1 を使

表-3 流動性検討のためのモルタルの配合(変数:砕砂)

記号	砕砂	CUS3混合率(%)	W/C	単位量(g/L)			
				W	C	CS	CUS
CS1-0	CS1	0	0.60	327.3	545.6	1320.0	0
CS1-15		15	0.60	327.3	545.6	1122.0	269.3
CS1-30		30	0.60	327.3	545.6	924.0	538.5
CS1-50		50	0.60	327.3	545.6	660.0	897.5
CS2-0	CS2	0	0.60	306.5	510.8	1436.2	0
CS2-15		15	0.60	306.5	510.8	1220.7	286.4
CS2-30		30	0.60	306.5	510.8	1005.3	572.9
CS2-50		50	0.60	306.5	510.8	718.1	954.8
CS3-0	CS3	0	0.60	319.0	531.6	1353.8	0
CS3-15		15	0.60	319.0	531.6	1150.8	276.2
CS3-30		30	0.60	319.0	531.6	947.7	552.3
CS3-50		50	0.60	319.0	531.6	676.9	920.5

用し、混合用の細骨材として CUS3 を使用した。

(3) 粗骨材

コンクリートの検討においては、表-1 に示すとおり、粗骨材に砕石 2005 を使用した。

2.2 モルタルの配合と試験項目

(1) モルタルの流動性

砕砂を 1 種類とし、CUS を 3 水順に変化させた場合の、モルタルの流動性に関する検討における配合は、表-2 に示すとおりである。また、砕砂を 3 種類とし、CUS を 1 種類としたときの、モルタルの流動性に関する検討における配合は、表-3 のとおりである。

表-2 の配合においては、コンクリート中のモルタルの組成および比較的ブリーディングしやすいペーストの粘性を考慮し、ペースト体積/細骨材絶対容積(Vp/Vs)を 1.00 とし、W/C を 0.6 とした。このときの細骨材の絶対容積を一定とし、各 CUS の混合率を 0, 15, 30, 50% に変化させた。なお、CUS5 については、CUS5 のみを用いた場合についても試験した。

これらのモルタルに対して、JIS R 5201 に規定の 15 打フロー試験および JIS A 1101 に規定のスランブコーンの半分の寸法のスランブコーンを用いたミニスランブ試験を実施した。ミニスランブ試験では、スランブコーン内に試料を 3 層に分けて充填することとし、各層を直径 6mm の突き棒で 10 回突き、コーン上端面まで充填した。

表-3 の配合においては、はじめに、W/C を 0.60 の一

表-4 ブリーディング検討のためのモルタルの配合
(変数：CUS)

記号	CUS 混合率	W/C	単位容積 (g/L)			
			W	C	CS	CUS
CS1	0	0.60	327.3	545.6	1320.0	0
CUS2-15	0.15	0.60	324.0	540.4	1135.2	272.8
CUS2-30	0.30	0.60	324.0	540.4	934.6	545.7
CUS2-50	0.50	0.60	304.0	505.6	707.5	962.1
CUS3-15	0.15	0.60	320.0	534.0	1148.4	276.4
CUS3-30	0.30	0.60	322.0	537.2	939.8	545.7
CUS3-50	0.50	0.60	304.0	505.6	707.5	962.1
CUS5-15	0.15	0.60	326.0	543.5	1127.3	269.3
CUS5-30	0.30	0.60	318.0	530.9	950.4	552.9
CUS5-50	0.50	0.60	304.0	505.6	707.5	962.1
CUS5-100	1.00	0.60	304.0	505.6	0	1924.2

表-5 ブリーディング検討のためのモルタルの配合
(変数：砕砂)

記号	砕砂	CUS3 混合率 (%)	W/C	単位量 (g/L)			
				W	C	CS	CUS
CS1-0	CS1	0	0.60	327.3	545.6	1320.0	0
CS1-15		15	0.60	319.7	532.8	1148.2	275.5
CS1-30		30	0.60	322.0	536.7	939.1	547.3
CS1-50		50	0.60	303.9	506.5	707.3	961.8
CS2-0	CS2	0	0.60	306.5	510.8	1436.2	0
CS2-15		15	0.60	301.5	502.5	1238.1	290.5
CS2-30		30	0.60	299.8	499.7	1024.5	583.8
CS2-50		50	0.60	296.5	494.2	738.6	982.1
CS3-0	CS3	0	0.60	319.0	531.6	1353.8	0
CS3-15		15	0.60	319.0	531.6	1150.8	276.2
CS3-30		30	0.60	307.0	511.7	981.4	572.0
CS3-50		50	0.60	307.0	511.7	701.0	953.3

表-6 流動性検討のためのコンクリートの配合

砕砂	CUS3 混合率 (%)	W/C	Air (%)	s/a	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤
					W	C	CS	CUS	G	
CS1	0	0.60	4.5	0.42	181	302	752	0	1055	C×0.5%
	30	0.60	4.5	0.42	181	302	527	307	1055	C×0.5%
	50	0.60	4.5	0.42	181	302	376	512	1055	C×0.5%

表-7 ブリーディング検討のためのコンクリートの配合

砕砂	CUS3 混合率 (%)	W/C	Air (%)	s/a	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤
					W	C	CS	CUS	G	
CS1	0	0.6	4.5	0.42	181	302	752	0	1055	C×0.5%
	30	0.6	4.5	0.42	176	293	533	310	1067	C×0.5%
	50	0.6	4.5	0.42	174	290	382	520	1071	C×0.5%

定とし、各砕砂ごとに、砕砂のみを用いた場合のミニスランプが、9～10cm程度となるよう単位水量を調整した。そして、各砕砂のみを用いた場合の細骨材の絶対容積を、CUS3で体積置換して混合細骨材モルタルを作製した。CUS3の混合率は、0、15、30および50%とした。これらのモルタルに対して、前述の表-2のモルタルの場合と同様に、15打フロー試験およびミニスランプ試験を実施した。また、試料体積約25Lの内円筒回転型の回転粘度計による降伏値と塑性粘度の測定を、CS1およびCS2を用いたモルタルで実施した。回転粘度計の回転数は5～80rpmの範囲であり、5ないし10rpmごとに回転数を変化させた。このときの、せん断応力と速度勾配の関係において、両者が直線関係と見なせるデータ(7～10点程度)を直線近似し、降伏値と塑性粘度を計算した。

(2) モルタルのブリーディング

異なるCUSを用いた場合の検討でブリーディング試験に供したモルタルの配合は、表-4のとおりである。この配合は、表-2のモルタルの流動性に関する試験結果に基づき、W/Cを0.6の一定とし、ミニスランプが10±1cmとなるよう各配合の単位水量を調整した結果である。

異なる砕砂を用いた場合の検討でブリーディング試験に供したモルタルの配合は、表-5に示すとおりである。

この配合は、表-3のモルタルの流動性試験の結果に基づき、CUS3を用いた場合について、W/C一定の下で単位水量を調整することで、ミニスランプの値を、各砕砂のみを用いたモルタルと同等に調整したものである。

両検討ともに、モルタルのブリーディング試験は、JIS A 1123に準拠し、容量約2Lの容器を用いて実施した。

2.3 コンクリートの配合と試験項目

(1) コンクリートの流動性

コンクリートの流動性について検討するための配合は、表-6に示すとおりである。はじめに、W/Cを0.60、s/aを0.42、空気量を4.5%とし、CS1を単体で使用したときのスランプが8cm程度となるよう単位水量を決定した。そして、砕砂の絶対容積をCUS3で体積置換してコンクリートを構成した。CUS3の混合率は、表-6のとおり、0、30および50%とした。

これらのコンクリートに対して、流動性の試験を実施した。コンクリートの流動性は、スランプ試験および鉛直振動下でのフロー速度によって評価した。フロー速度は、約1.5Gの鉛直加速度が作用する振動台上で、スランプ試験後のコンクリート試料が、400および500mmのフローに到達する時間を測定することで表現した。

(2) コンクリートのブリーディング

コンクリートのブリーディングについて検討するための配合は、表-7のとおりである。試験対象のコンクリートは、CS1を単体で使用したコンクリート、およびCUS3を用いた場合、W/Cおよびs/aを一定として、スランプがCS1のみを用いた場合と同等となるよう単位水量を調整したコンクリートである。試験は、JIS A 1123に従った。

3. 結果および考察

3.1 CUSによるモルタルの流動性への影響

(1) 異なるCUSの混入によるモルタルの流動性変化

CUSの混合率とモルタルの15打フローの関係を図-1に示す。いずれのCUSを用いた場合でも、CUS混合率が50%までの範囲では、混合率の増加にともなって、15打フローが顕著に大きくなるのがわかる。そして、CUSの混合率が100%の場合は、15打フローの増加の効果は減少し、混合率50%の場合と同等となった。この傾向は、ミニスランプの場合も同様であった。

(2) 異なる砕砂に対するCUSの混合効果

異なる砕砂を使用したときの、CUS混合率とモルタルのミニスランプおよび15打フローの関係を図-2および図-3に示す。一般に、CUSの混合率の増加にともない、モルタルのミニスランプおよび15打フローが増加することがわかる。粗目かつ粒形判定実積率の低いCS1に対するCUSの流動性改善効果が最も明確である。CS2およびCS3については、CUSの混入によって、モルタルのミニスランプおよび15打フローは大きくなるが、CS1の場合ほどの効果はない。そして、CS2とCS3の差も小さい結果となっている。これらのことは、CS2やCS3の粒子形状および粒度分布、そして、これら両者の影響を受ける実積率による影響と考えられる。

図-4に、各砕砂の粒形判定実積率とCUS3混合率が50%のときのモルタルの15打フローの変化率の関係を示す。15打フローの変化率は、各砕砂のみを用いた場合の15打フローに対するCUS3混合率50%のときの15打フローの割合で表している。図-4からは、砕砂の粒形判定実積率が大きくなると、モルタルの15打フローの変化率が小さくなるのがわかる。また、砕砂の粗粒率が大きい場合、および、砕砂の実積率が小さい場合、CUS混合による15打フローの変化率が大きくなる結果となった。すなわち、主細骨材として、粒子形状が等方的でないもの、粒度が粗いもの、または、実積率が小さいものを用いた場合、粒形改善したCUSを用いることによる15打フローの増大効果が高いことが示されている。

CUS混合率とモルタルの塑性粘度または降伏値の関係は、図-5および図-6に示すとおりである。回転粘度計によるモルタルの塑性粘度は、CUSの混合率が変化してもほぼ同じ値となるのがわかる。図-3のとおり、モ

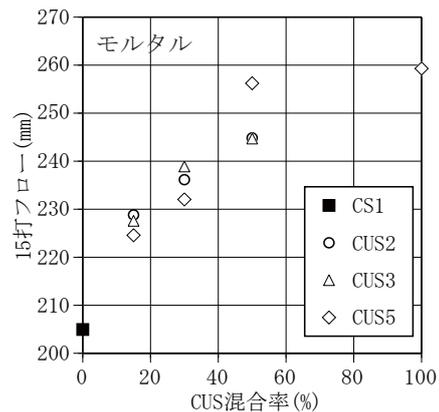


図-1 CUS混合率と15打フローの関係

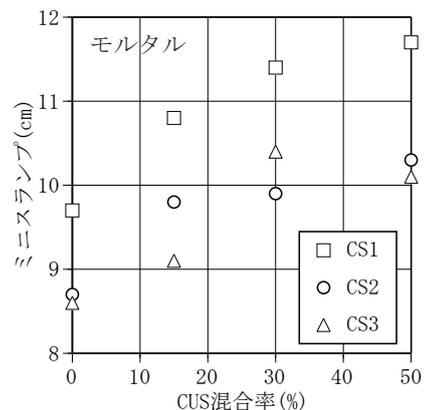


図-2 CUS混合率とミニスランプの関係

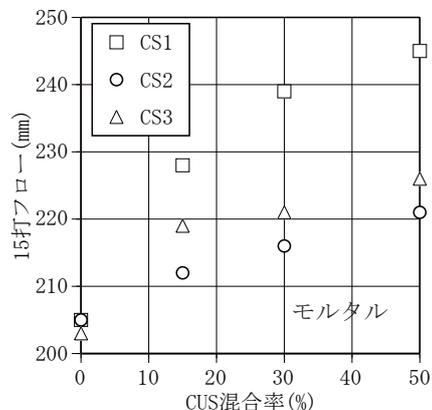


図-3 CUS混合率と15打フローの関係

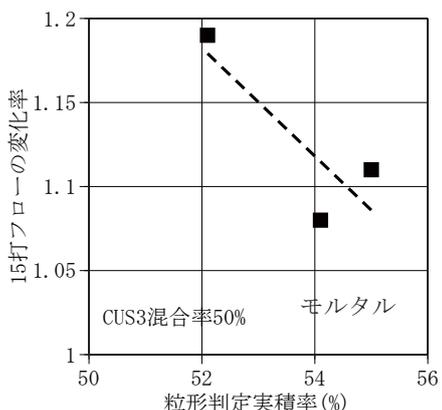


図-4 砕砂の粒形判定実積率とフローの変化率の関係

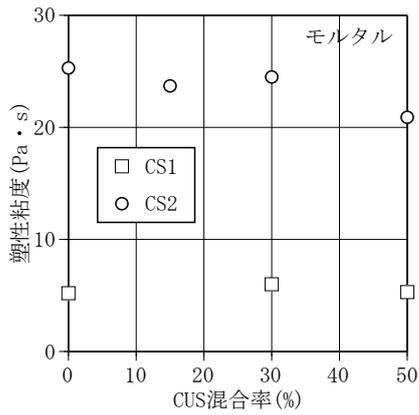


図-5 CUS 混合率と塑性粘度の関係

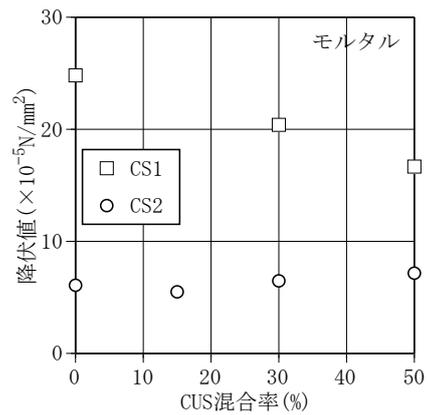


図-6 CUS 混合率と降伏値の関係

ルタルの15打フローはCUS混合率の増加にともなって増大したが、塑性粘度には変化が見られない結果となっている。15打フローは瞬間的に衝撃加速度が作用する系であり、粘性による影響が卓越するものと考えられるが、回転粘度計は瞬間の加速度が作用する系ではないため、結果には、密度が大きなCUS粒子の慣性力や、混合細骨材中の粗な粒子の干渉作用の影響が複雑に含まれるものと考えられる。回転粘度計によるモルタルの降伏値は、砕砂別に、CUS混合率の増加により減少する傾向を示す場合と、ほぼ一定の値となる場合に分かれた。CUS混合率の増加によって降伏値が減少するものについては、粗な細骨材粒子の干渉が軽減されたものと考えられる。

(3) CUS 混合による単位水量の低減効果

異なるCUSを用いた場合、混合率が50%までの範囲では、CUSの種類に関わらず、混合率の増加にともなって単位水量が減少し、その減少率は最大で約7%となった。

砕砂を変化させた場合、用いる砕砂の特性によって、CUS混合による流動性の向上の程度、すなわち、単位水量の低減の程度が異なった。前述のとおり、CUS3の混入によって最も流動性の改善効果が高かったCS1の場合は、単位水量の減少率が約7%であり、この単位水量の低減率が、CS2では約3.3%、CS3では約3.8%となった。

3.2 CUSによるモルタルのブリーディングへの影響

(1) CUSが異なる場合のブリーディング

図-7のとおり、CS1に対して3種類のCUSを混合した場合、CUS混合率が50%までの範囲では、モルタルのミニスランプ増大にともなう単位水量の低減効果が卓越し、モルタルのブリーディング量の最大値（以下、最大ブリーディング量）はCS1のみを用いた場合とほぼ同程度となった。しかし、CUS混合率が100%となると、単位水量の低減効果と比較して、密度の大きなCUSの存在の影響が卓越し、最大ブリーディング量はCS1のみを用いた場合と比較して、約1.5倍に増加する結果となった。

(2) 砕砂が異なる場合のブリーディング

異なる砕砂を用いたときの、CUS3の混合率とモルタル

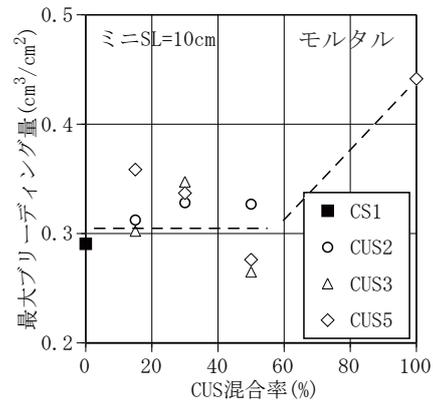


図-7 CUS 混合率と最大ブリーディング量の関係

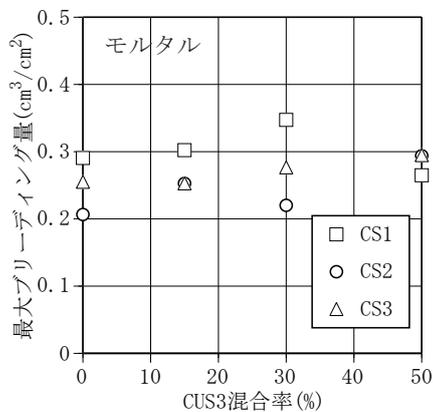


図-8 CUS3 混合率と最大ブリーディング量

の最大ブリーディング量の関係は、図-8に示すとおりである。いずれの砕砂を用いた場合でも、CUS3の混合率が増加しても、概ね、ブリーディング量は砕砂のみを用いた場合と同程度に抑制されていることがわかる。

3.3 コンクリートにおけるCUSの使用効果の検証

(1) コンクリートの流動性

砕砂にCS1を用い、CUS3の混合率のみを変化させた場合の、CUS混合率とコンクリートのスランプとの関係は、図-9に示すとおりである。CUS混合率の増加にともなうスランプの増加が明確となっている。この傾向は、モルタルのミニスランプの場合とほぼ同様であることから、

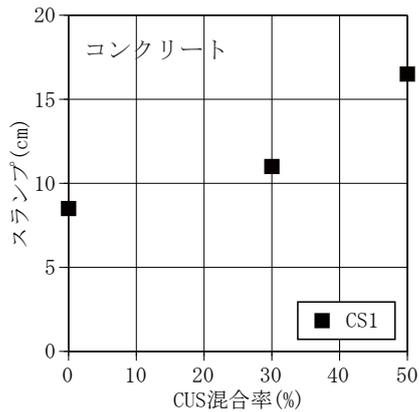


図-9 CUS 混合率とスランプの関係

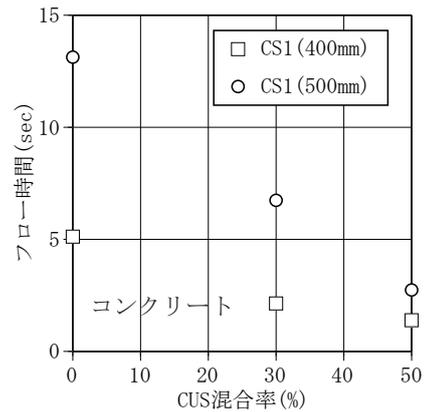


図-10 CUS 混合率とフロー時間の関係

モルタルでの基礎検討による CUS によるスランプ増大効果が、コンクリートでも有効となっていることがわかる。

CUS 混合率とコンクリートが振動条件下で所定のフローに到達するための時間との関係は、図-10のとおりとなる。CUS 混合率の増加にともない、フロー到達時間が直線的に減少することがわかる。この結果も、スランプの場合と同様に、モルタルでの基礎検討の結果とほぼ整合しており、モルタルでの粗目の砕砂に対する CUS の 15 打フロー増大効果が、コンクリートでも有効に機能しているものと考えられる。

(2) コンクリートのブリーディング

CUS 混合率とコンクリートの最大ブリーディング量の関係を図-11 に示す。CUS 混合率の増加に伴い、最大ブリーディング量が漸増傾向にあるが、顕著な増加量ではない。すなわち、CUS 混合率 30% で単位水量が 5kg、混合率 50% で単位水量が 7kg 低減できることが影響し、コンクリートのブリーディング量も、モルタルの場合と同様に、砕砂のみを用いた場合とほぼ同等になると言える。

4. まとめ

本研究では、砕砂を主細骨材とするコンクリートの流動性が、粒形改善した銅スラグ細骨材の混合により改善できる可能性が高いことに着目し、モルタルを対象とした基礎検討およびコンクリートを対象とした検証試験を行った。本研究の範囲で、以下のことが明らかになった。

(1) 粒形改善した銅スラグ細骨材の混合率が 50% までの範囲では、混合率の増大にともない、砕砂を用いたモルタルのミニスランプおよび 15 打フローが大きくなる。この傾向は、砕砂の粒度が比較的粗く、形状が等方的でないほど顕著である。

(2) 混合率 50% までの範囲で、ミニスランプを一定にするよう単位水量を調整した場合、密度の大きな銅スラグ細骨材を用いても、モルタルの最大ブリーディング量は、砕砂のみを用いた場合と同等となる。

(3) 銅スラグ細骨材のみを使用すると、単位水量の減少

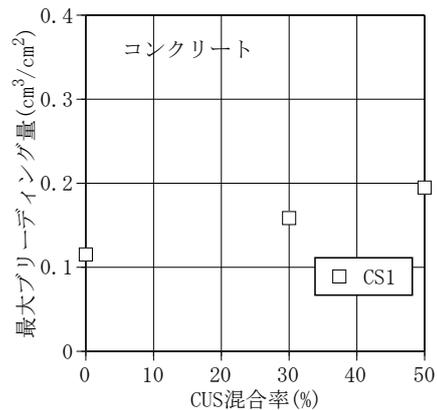


図-11 CUS 混合率と最大ブリーディング量の関係

によるモルタルのブリーディング抑制効果は失われる。

(4) 粒形改善した CUS の混合率が増加すると、粒度が粗く、形状が等方的でない砕砂を用いたコンクリートのスランプは増加する。また、振動条件下での所定フロー到達時間も、CUS 混合によって顕著に減少する。

(5) CUS の混合によって、コンクリートの単位水量が低減できている場合、コンクリートのブリーディングは、砕砂のみを用いたコンクリートと同程度に抑制される。

謝辞: 本研究は、日本鉱業協会の非鉄スラグ骨材委員会の活動の一環として実施した。研究の遂行にあたり、日本鉱業協会から研究費の助成、試料提供をいただいた。また、実験の遂行にあたり、首都大学東京学部 4 年生（当時）の中嶋香織氏ならびに小西悠輝氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 上野敦, 國府勝郎, 宇治公隆: スラグ細骨材を用いたコンクリートの品質向上に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol. 62, No. 2, pp. 462-476, 2006. 6
- 2) 上野敦, 中嶋香織, 宇治公隆: 銅スラグ細骨材による砕砂モルタルのフレッシュ性状の改善に関する検討, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, 第 5 部, pp. 729-730, 2008. 9