銅スラグを用いた高比重コンクリートの配合および強度特性

(株)テトラ　正会員　○松田　節男　　住友金属鉱山(株)　正会員　川西　政雄　　(株)テトラ　錦織　和紀郎

１．はじめに

銅スラグ（以下「CUS」と称する）は、銅の溶融製錬の際に副産され、その量は国内では年間約 200 万トン強に達している。1997 年にコンクリート用細骨材として JIS 化され、自然環境保全対策としても有効活用され始めている。また、CUS は絶乾密度が 3.5g/cm³ 程度と大きく、この特徴を重量骨材として消波ブロックの製造などに活用できる材料である。消波ブロックについては、コンクリート比重が高いほどブロックが安定であり、近年では大水深で波浪条件の厳しい防波堤を被覆する消波ブロックに高比重コンクリートを適用するケースが増えてきている。一方、CUS については、これまで細骨材中の使用割合（以下「CUS 混合率」と称する）30%以下とすることが多かったが、CUS 混合率を多くすることがコンクリートの高比重化に有効な手段のひとつであると考えられる。

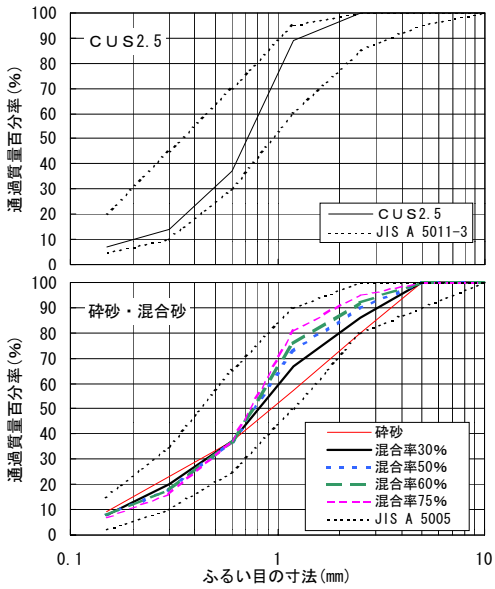
本研究では、工場 JIS を取得した銅スラグ（S 社製，CUS2.5）を用いて、まず基礎的な確認として CUS 混合率を変化させて配合特性および圧縮強度特性について試験を実施した。加えて、さらなる高比重化のため、粗骨材にかんらん岩砕石（表乾密度 3.23g/cm³）を使用したコンクリートついて若干の検討を行った。

２．使用材料

表－２に使用した骨材の試験結果を、図－１に細骨材のふるい分け試験結果を示す。なお、セメントは高炉セメント B 種を用いた。

表－２　骨材試験結果

骨材種別		密度(g/cm³) 絶乾	密度(g/cm³) 表乾	吸水率(%)	単位容積質量(kg/l)	実積率(%)	粗粒率	備考
細骨材	砕砂	2.56	2.59	1.35	1.67	65.3	2.94	愛媛産(砂岩)
	CUS2.5	3.50	3.51	0.41	2.09	59.7	2.53	S社製
粗骨材	砕石2005	2.58	2.61	1.00	1.49	57.8	6.74	愛媛産(砂岩)



図－１　細骨材試験結果

３．試験内容および結果

（１）フレッシュコンクリートの試験

消波ブロックへの適用を考慮し、試験練り目標値はスランプ=8cm，空気量=4.5%とした。試験においては、水セメント比 60%において CUS 混合率を０～100%まで６段階に変化させ、さらに CUS 混合率 50%において水セメント比を 55～65%の範囲で変化させた。表－３に試験配合およびフレッシュコンクリートの試験結果を示す。コンクリートの単位容積質量は砕砂のみ使用の場合では 2.25t/m³ であったのに対して CUS 混合率 50%の場合では 0.15 程度増加した。

図－２に水セメント比 60%での CUS 混合率と単位水量および AE 剤量の関係を示す。単位水量は

表－３　試験配合およびフレッシュコンクリート試験結果

No.	ケース	W/C (%)	S/a (%)	CUS混合率 (%)	単位量(kg/m³) 水	セメント	砕砂	銅ｽﾗｸﾞ	普通砕石	計	AE減水剤	AE剤 1A=C*0.001%	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量(t/m³)
1	C0-60	60.0	46.7	0	180	300	818	0	940	2,238	C×0.25%	5.0A	8.0	4.6	2.246
2	C30-60	60.0	46.7	30	172	287	584	339	958	2,340	C×0.25%	2.0A	6.5	3.9	2.360
3	C50-60	60.0	46.2	50	169	282	414	562	973	2,400	C×0.25%	1.5A	8.5	4.8	2.396
4	C60-60	60.0	46.0	60	168	280	332	674	979	2,433	C×0.25%	1.0A	8.5	5.3	2.428
5	C75-60	60.0	45.7	75	166	277	207	840	990	2,480	C×0.25%	0.5A	8.0	4.5	2.471
6	C100-60	60.0	45.0	100	163	272	0	1,109	1,010	2,554	C×0.25%	0.5A	6.5	4.8	2.523
7	C50-55	55.0	45.2	50	165	300	404	548	990	2,407	C×0.25%	1.5A	9.5	5.0	2.390
8	C50-65	65.0	47.2	50	171	264	426	577	960	2,398	C×0.25%	1.5A	9.5	5.0	2.384

キーワード：銅スラグ，高比重コンクリート

連絡先：〒300-0006　土浦市東中貫町２－７　TEL 029-831-7411　FAX 029-831-7693

CUS 混合率の増大に伴い減少した。また、AE 剤量は CUS 混合率の増大に伴い減少した。この原因としては砕砂の微粒分による AE 剤の吸着などが考えられる。

図－３に CUS･砕砂混合砂の粗粒率と試験練りにおける最適細骨材率との関係を示す。なお、図中の普通細骨材は海砂 60%，砕砂 40%の条件での標準的な配合の値であり、参考値である。参考値と比較すると、砕砂 100%使用の場合では、最適細骨材率は１%程度大きめであり、FM 補正を考慮しても 0.5%程度大きめであった。また、CUS 混合率 30%では砕砂 100%の場合と同程度の細骨材率であったが、CUS 混合率 30%以上に関しては粗粒率の減少に伴い最適細骨材率も減少しており、CUS 混合率 30%を基準に FM 補正が成り立つことが確認された。

図－４は水セメント比と単位水量および最適細骨材率の関係である。W/C の増加に伴い細骨材率は増加し、一般的な W/C 補正が成り立つことが確認された。また、単位水量は W/C の減少に伴い大きく低減された。CUS 混合率 50%以外で W/C を変化させたケースを実施していないので明確にはならないが、これは W/C の増加により、セメントを含む粉体量が不足するためではないかと考えられる。

（２）圧縮強度試験

図－５に CUS 混合率ごとの材齢７日および 28 日圧縮強度を示す。材齢７日,28 日とも CUS 混合率によらず概ね同等の強度であった。詳細には CUS 混合率 75%以上で若干圧縮強度が小さめであった。この要因として、ガラス質であるためコンクリート中のペースト部分との付着性状が違う事などが考えられるが、CUS 細骨材を用いたコンクリートは CUS を用いないコンクリートに比べて長期強度が大きくなると言われており、材齢７，28 日だけでは評価し難い。

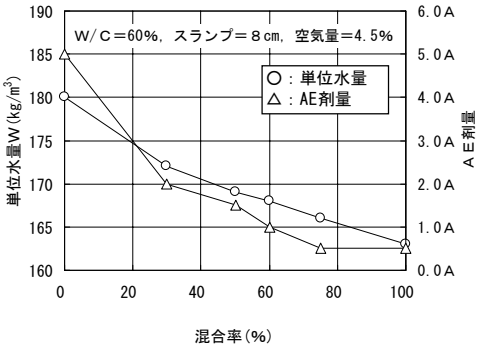
図－６にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。材齢７日，28 日とも圧縮強度はセメント水比の増加に対してほぼ直線的に増加し、一般的な傾向を示すことが確認された。

（３）かんらん岩砕石との組み合わせに関する検討

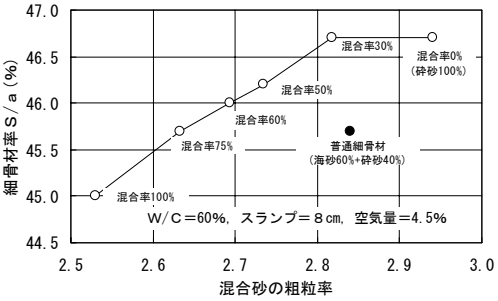
図－６には粗骨材にかんらん岩を使用した場合のセメント水比と圧縮強度の関係も示した。このとき CUS 混合率は 50%である。粗骨材にかんらん岩を使用した場合でも一般的な傾向を示すことが確認された。なお、このときの単位容積質量は 2.67t/m^3 であった。以上により CUS とかんらん岩の併用でさらに高比重とすることが可能であることが確認された。

４．まとめ

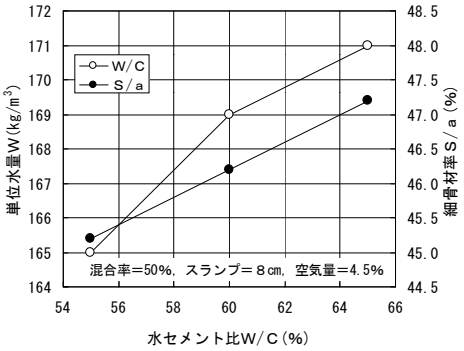
CUS を使用したコンクリートにおいて、CUS 混合率の変化による配合および圧縮強度について系統的にその特性を得た。また、粗骨材にかんらん岩を組み合わせることによりさらに高比重とすることが可能であることを確認した。



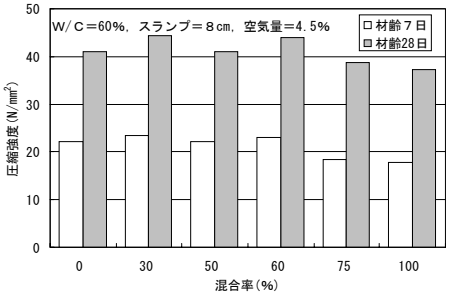
図－２　CUS 混合率と単位水量および AE 剤量



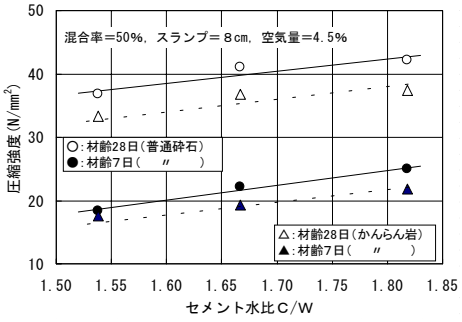
図－３　混合砂の粗粒率と細骨材率



図－４　W/C と単位水量および細骨材率



図－５　CUS 使用コンクリートの圧縮強度



図－６　セメント水比と圧縮強度