

## 論文 銅スラグ砂および低品質砂を用いたコンクリートの諸特性

長瀧重義\*<sup>1</sup>・佐伯竜彦\*<sup>2</sup>

**要旨**：本研究は、骨材資源の有効利用を目的とし、銅スラグ砂と比重が小さく吸水率が大きいため、現在 JIS 等では使用が許されていない低品質砂を混合した砂のコンクリート用細骨材としての適用性について基礎的な検討を行った。混合砂を用いたコンクリートのフレッシュ性状、強度特性および耐久性を検討した結果、銅スラグ砂および低品質砂の両者の混合比率によってはコンクリート用細骨材として十分な品質を持つことが確認された。

**キーワード**：銅スラグ砂、低品質砂、混合細骨材

### 1. はじめに

銅スラグは、銅製錬における副産物であり、これまで主としてセメント材料、プラスト材、埋め立て材料等に利用されてきたが、さらなる有効利用の途としてコンクリート用細骨材への使用が検討されてきた。その結果、平成9年8月に JIS (JIS A 5011-3) が制定され、土木学会および建築学会においても設計・施工指針が制定されている。

一方最近では、骨材資源の枯渇化により良質の天然骨材、特に川砂の入手が困難になってきている。このため所要の品質を満たさない天然骨材に銅スラグ砂を混合して、コンクリート用細骨材として使用することが考えられる。

骨材の比重および吸水率はコンクリートの強度や耐久性に影響を及ぼすため、コンクリート用細骨材として用いることのできるものとして、絶乾比重 2.5 以上および吸水率 3.5% 以下との規定が、JIS A 5308 の付属書 1 に設けられている。また、土木学会コンクリート標準示方書<sup>1)</sup> や建築学会 JASS5<sup>2)</sup> もこの規定に従っている。これらの規格・規準類では、粒度および塩化物量については混合後に規定に適合すれば良いとされているが、それ以外の品質項目につい

ては、それが許されておらず、混合前の個々の骨材が規定に適合する必要があるとしている。しかしながら、比重や吸水率等においても混合後の品質が規定を満たすことにより使用できるようになれば、現在使用できない低品質砂を有効利用できることとなり、さらに銅スラグ砂の需要も増すと考えられる。

そこで本研究では、絶乾比重 2.3 程度の低品質天然砂と銅スラグ砂の混合砂を細骨材として用いたコンクリートのフレッシュ性状、強度特性および耐久性について検討し、低品質砂の有効利用の可能性について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

本研究で用いたセメントは、普通ポルトランドセメントである。また、混和剤としてリグニンスルホン酸化合物を主成分とする AE 減水剤およびアルキルアリルスルホン酸化合物系の AE 助剤を用いた。

細骨材は、銅スラグ砂 1 種類と 2 種類の低比重のダム堆砂を混合して用いた。また比較のために、ブリーディング試験および圧縮強度試験については JIS の規定に合格する川砂を用いた

\* 1 新潟大学教授 工学部建設学科 工博 (正会員)

\* 2 新潟大学助教授 工学部建設学科 工博 (正会員)

表1 細骨材の物理的性質

	絶乾比重	表乾比重	吸水率 (%)
銅スラグ砂	3.56	3.58	0.52
低比重砂A	2.22	2.40	7.90
低比重砂B	2.36	2.48	4.89
川砂	2.58	2.62	1.51

表2 混合骨材の混合比率

銅スラグ砂+低品質砂A	75:25, 50:50, 25:75
銅スラグ砂+低品質砂B	50:50

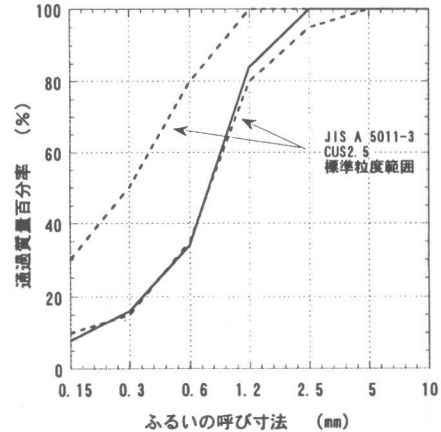


図1 細骨材の粒度分布

表3-1 コンクリートの配合 (銅スラグ砂と低品質砂A)

目標スランプ (cm)	銅スラグ混合率 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )
				水	セメント	銅スラグ砂	低品質砂	粗骨材	
8	100	55	43.2	153	278	1104	—	1062	2573
8	75	55	44.0	170	308	812	181	1009	2480
8	50	55	43.8	174	316	534	356	1002	2414
8	25	55	43.7	181	329	262	525	1028	2314
8	0	55	43.5	189	344	—	683	972	2117
18	100	55	44.2	170	309	1087	—	1004	2575
18	75	55	45.0	181	329	809	180	965	2454
18	50	55	44.8	194	353	521	349	939	2400
18	25	55	44.7	200	364	256	512	927	2340
18	0	55	44.5	202	367	—	677	925	2241

表3-2 コンクリートの配合 (銅スラグ砂と低品質砂B)

目標スランプ (cm)	銅スラグ混合率 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )
				水	セメント	銅スラグ砂	低品質砂	粗骨材	
8	50	55	44.0	155	282	560	388	1043	2403
8	0	55	43.5	141	256	—	790	1085	2268
18	50	55	45.0	172	313	551	382	985	2432
18	0	55	43.5	170	309	—	741	1017	2282

表3-3 コンクリートの配合 (川砂)

目標スランプ (cm)	銅スラグ混合率 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )
				水	セメント	銅スラグ砂	川砂	粗骨材	
8	0	55	44.4	157	285	—	801	1064	—
18	0	55	44.9	179	325	—	770	1002	—

コンクリートも使用した。各砂の物理的性質を表1に示す。なお、両者の混合比率が変化しても混合砂の粒度が一定となるように、低品質砂はふるい分けを行い銅スラグ砂と同じ粒度分布に調整した。細骨材の粒度分布を図1に示す。なお、混合は体積比率とした。実験に用いた混合率を表2に示す。

粗骨材は、最大寸法 20mm の碎石を用いた。

## 2.2 配合

コンクリートの配合は、水セメント比 55%、目標空気量 4%、目標スランプを 8cm または 18cm とした。得られた配合を表3に示す。

## 2.3 試験方法

### (1) プリーディング試験

プリーディング試験は、JIS A 1123 に準じて行い、プリーディング終了時までの累積量、

即ち最終ブリーディング量を測定した。

### (2) 圧縮強度試験

打設後 24 時間で脱型し、材齢 28 日まで 20℃ の水中養生を行った後、JIS A 1108 に従って圧縮強度を測定した。

### (3) 乾燥収縮試験

圧縮強度試験に用いた供試体と同様に材齢 28 日まで水中養生を行い、その後温度 20℃、相対湿度 60% の環境下に暴露した。

供試体は 10×10×40cm であり、コンタクトチップを相対する両側面に接着し、経時的に供試体重量と長さ変化を測定した。

### (4) 凍結融解試験

供試体は 10×10×40cm であり、ASTM C 666 に準じて水中凍結水中融解試験を行った。30 サイクル毎に一次共鳴振動数を測定し、相対動弾性係数を算出した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 単位水量および単位容積質量

図 2 に、銅スラグ砂混合率と同一のスランブを得るための単位水量の関係を示す。図より、低品質砂 A では銅スラグ砂混合率が大きくなるほど単位水量が減少し、低品質砂 B では若干ではあるが単位水量が増加する傾向が見られる。

図 3 に示すように、コンクリートの単位容積質量は、2100～2600kg/m<sup>3</sup> の範囲にある。また当然のことながら、比重の大きい銅スラグ砂混合率が大きくなるほど単位容積質量も大きくなり、両者はほぼ比例関係にある。しかし混合細骨材コンクリートでは一般のもの比べてもそう大きな違いはなく、単位容積質量に関しては通常のコンクリートと同様と考えてと良いと思われる。

### 3.2 ブリーディング

図 4 に、各コンクリートの銅スラグ砂混合率と最終ブリーディング量の関係を示す。銅スラグ砂は、比重が大きいことからブリーディング量が多くなることが指摘されているが<sup>3)</sup>、本研究においても銅スラグ砂の混合率が大きくなる

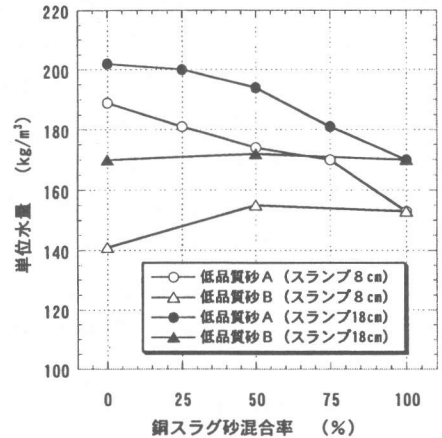


図 2 銅スラグ砂混合率と単位水量の関係

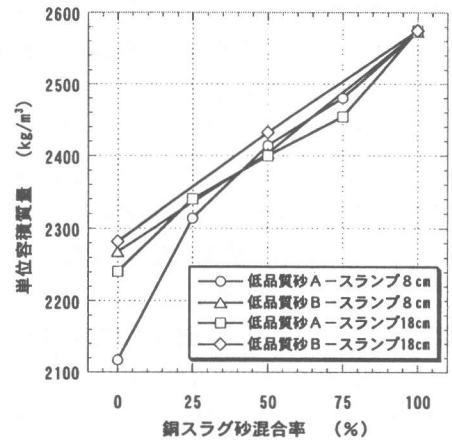


図 3 銅スラグ砂混合率と単位容積質量の関係

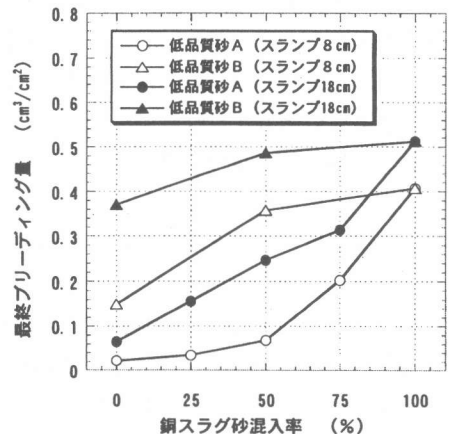


図 4 銅スラグ砂混合率とブリーディング量の関係

ほどブリーディング量が増加した。また低品質砂Aにおいては、銅スラグ砂混合率が低下するほどブリーディング量は減少し、混合率 50%では 100%の場合の半分程度以下となった。これに対して、低品質砂Bでは、混合率 50%と 100%でほとんど変わらない結果となった。低品質砂を単独で用いた場合のブリーディング量は、Aに比べてBが著しく大きいことが原因と考えられる。このことから、銅スラグ砂を細骨材の一部として用いるコンクリートにおいては、混合する相手の砂自体のブリーディング特性に十分注意する必要があると考えられる。

### 3.3 圧縮強度

図5および図6に、銅スラグ砂混合比率と圧縮強度の関係を示す。低品質砂のみを用いたコンクリートは、短期的にも長期的にも強度が低く、コンクリート用細骨材として適していないことが確認できる。一方、銅スラグ砂のみを用いたコンクリートは、既往の研究においても指摘されている通り<sup>3)</sup>、材齢初期において強度が低く、長期的には高強度となる傾向が見られた。混合細骨材コンクリートは、混合比率に応じて銅スラグ砂および低品質砂の特徴が現れている。即ち、銅スラグ砂混合比率が高いものは、初期強度が低く、長期強度が高くなっており、低品質砂の混合比率が高いものは、初期および長期材齢とも強度が低い。また、混合比率 50%において初期強度が最大となり、長期的にも高い強度を示した。したがって、この程度の混合比率において強度そのものと強度発現性の双方を満足するものと考えられる。

なお、銅スラグ混合比率の増加とともにブリーディング量が増加することから、圧縮強度にも悪影響を及ぼすことが懸念されたが、目標スランプ 8 cm の配合では、そのような傾向は見られなかった。しかしながら、目標スランプ 18 cm のものは、材齢 91 日においても銅スラグ砂 100%のコンクリートの強度が川砂を用いたものに及ばなかった。

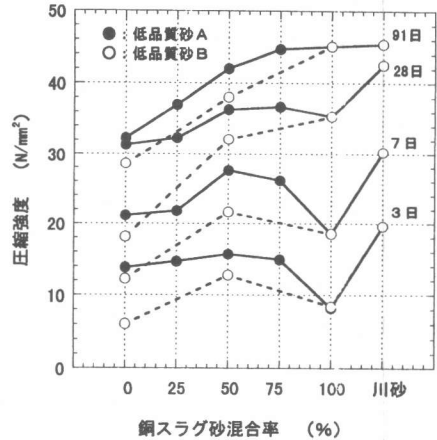


図5 銅スラグ砂混合率と圧縮強度の関係 (スランプ 8 cm)

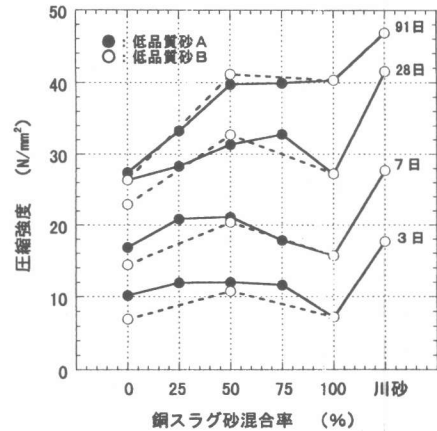


図6 銅スラグ砂混合率と圧縮強度の関係 (スランプ 18 cm)

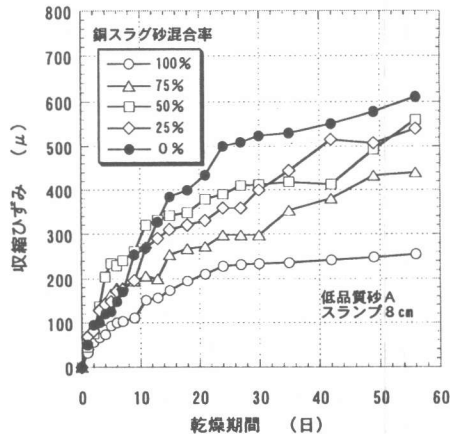


図7 乾燥収縮ひずみの経時変化

### 3. 4 乾燥収縮

図7に、乾燥収縮ひずみの経時変化の一例を示す。図より、銅スラグ砂混合率が大きいほど、同じ乾燥期間における収縮ひずみが小さくなることからわかる。これは、他の配合についても同様であった。したがって、乾燥収縮の低減に関しては、銅スラグ砂の混合比率を大きくすることが有効であると言える。ただし乾燥収縮量そのものは、図8に示されるように低品質砂の影響を受けるため、混合細骨材コンクリートの乾燥収縮特性については混合する砂の個々の性質を十分把握する必要があると考えられる。

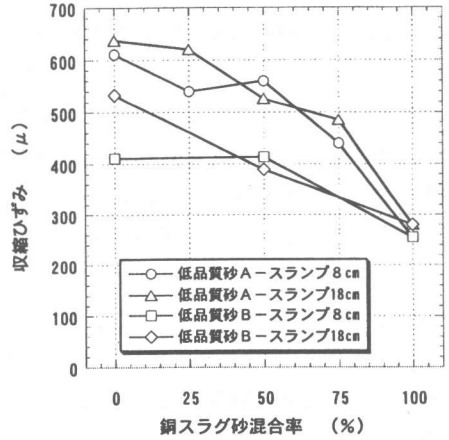


図8 乾燥8週目における乾燥収縮ひずみ

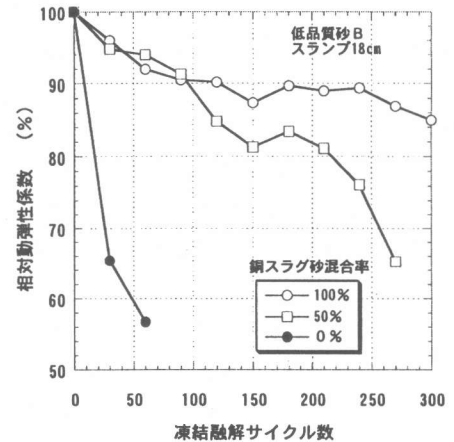
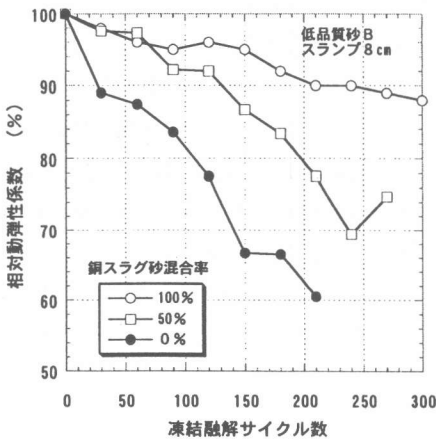
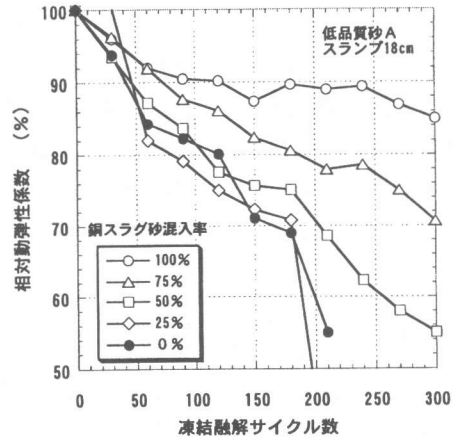
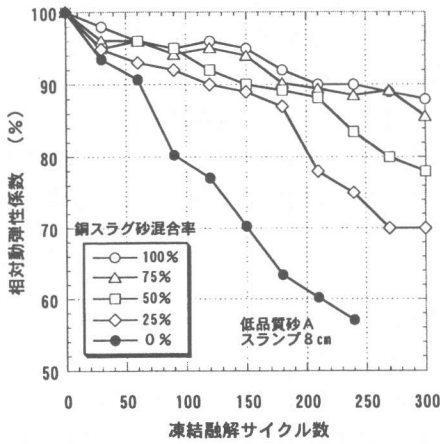


図9 凍結融解試験における相対動弾性係数の経時変化

### 3. 5 耐凍害性

図9は、凍結融解試験における相対動弾性係数の経時変化を示したものである。図より、吸水率の大きな低品質砂を単独で用いたコンクリートは、空気量を4%程度にしても耐凍害性が確保できないことが確認できる。また、銅スラグ砂混合率が増加するほど相対動弾性係数は大きくなる傾向が見られるが、混合率50%では一部低下する例が見られる。したがって、耐凍害性を重視するなら、銅スラグ混合率は75%程度以上とするのが望ましいと考えられる。

低品質砂AとBを単独で用いたものを比較すると、ブリーディング量の多いBの方が耐凍害性が低い。同様に、目標スランプ18cmの方が、目標スランプ8cmのコンクリートより耐凍害性が低い。したがって、ブリーディングは耐凍害性に悪影響を及ぼすことは間違いないが、本研究の範囲では銅スラグ砂混合率を大きくすることによるブリーディング量の増加は、耐凍害性に悪影響を及ぼさない結果となった。

### 4. 結論

本研究は、現在のJIS等では使用の許されていない低品質砂と銅スラグ砂を混合し、コンクリート用細骨材として使用することの適否についての基礎的知見を得るため、両者の混合比率を変化させたコンクリート供試体を作製し、単位水量、ブリーディング量、圧縮強度、乾燥収縮特性、耐凍害性について検討した。本研究の範囲で得られた結論は、以下の通りである。

(1) 銅スラグ砂混合率が大きくなるほど、ブリーディング量は増加する。また、ブリーディング量そのものは、混合相手の砂の性質にも依存する。

(2) 銅スラグ砂の混合は、低品質砂を用いたコンクリートの強度改善に有効である。特に、長期強度を重視するなら、銅スラグ混合率を大きくすることが有効であり、初期、長期ともある程度の強度を期待するなら、銅スラグ砂50%程度の混合が推奨される。

(3) 銅スラグ砂の混合は、低品質砂を用いたコンクリートの乾燥収縮量を低減することに有効である。

(4) 銅スラグ砂の混合は、低品質砂を用いたコンクリートの耐凍害性を向上させることに有効である。特に、耐凍害性を重視するなら、銅スラグ砂混合率は75%程度以上が望ましい。

### 謝 辞

本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「ライフサイクルを考慮した建設材料の新しいリサイクル方法の開発」(研究代表者：長瀧重義，研究プロジェクト番号：96R07601)の一環として行ったものである。また研究の実施に当たっては、日本鉱業協会の梶原敏孝氏(当時理事)、全国生コンクリート工業組合の武山信氏(当時技術部長)のご援助をいただくとともに、実験の実施にあたっては、当時新潟大学4年生であった、岩井嘉隆君、山田武史君のご助力を得た。ここに謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 土木学会：平成8年度制定 コンクリート標準示方書・施工編，1996.8
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説5，1997.1
- 3) 仁木孟伯・長瀧重義・友沢史紀・梶原敏孝：銅スラグ砂を使用したコンクリートの基礎性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp.399-404，1995.6
- 4) S. Nagataki, F. Tomosawa, T. Kajiwarra and W. Yokoyama: Properties of Nonferrous Metal Slag Used as Aggregate for Concrete International Conference on Engineering Materials, Vol.1, pp733-743, 1997.6