

硬質水砕スラグを細骨材として利用するための研究

01A3727 北原 敦志

01A3753 中村 勝

指導教員 高山 俊一

1.まえがき

近年、海砂の採取について、環境問題の観点から規制が厳しくなっている。そこで製鉄所から毎日、大量に排出される高炉スラグに着目し、改良水砕スラグを海砂の代替品として使用するために研究を行った。水砕そのものは、針状部分が多く、ワーカビリティに悪い影響を与えているために細骨材としては使用し難い。したがって、粒形改善機によって水砕の針状部分を除去し、海砂に近い形状にしなければ、細骨材として使用できない。本研究では、粒形改善機によって処理を行った硬質水砕スラグと海砂を混合し、実用化のためのコンクリートの諸性質を調べた。

2.実験概要

2.1 使用材料

使用した水砕スラグは、高炉スラグを急冷した後、破碎・粒形改善機(コブキ技研工学㈱)により、針状部分を除去した粒形改善を行ったものである。改善機は、中心より投入

した水砕スラグを遠心力によって破碎する方法で、回転速度によって骨材の粒度を調整できる。回転速度を小さくすれば、粗粒が得られ、大きくすれば細粒が得られる。写真-1 および写真-2 は、水砕(原形)と硬質水砕スラグを示す。改善機に水砕を投入することにより、水砕の針状箇所が除去されたことが分かる。実験に使用した骨



写真-1 水砕スラグ(原形)の形状

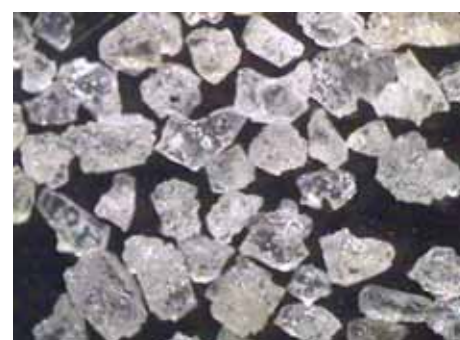


写真-2 粒形改善した硬質水砕スラグの形状

材の物理的性質を表-1 に示す。水砕スラグA、CおよびDは目標粗粒率 2.7とし、水砕スラグBは、目標粗粒率 3.0とした。水砕スラグAとBは同一製鉄所にて同一時期に製造されたものであり、改善機の回転数を変えて製造したものである。水砕スラグC は、A、BおよびDと異なる製鉄所で製造されたものである。また、水砕スラグDは、水砕製造時の冷却温度を若干変えて製造した。水砕スラグの密度は、Cが 2.78g/cm³と最も大きくDが 2.56g/cm³と最も小さい。棒突きによる実積率は、水砕Cが最も大きく、水砕Dが最小である。海砂の実積率が 66.2%であり、他の骨材に比べ最も大きい。粗骨材は門司産の砕石(最大寸法 20 mm)を使用した。

表-1 骨材の物理的性質

表 1 骨材の物理的性質				単位容積質量 (kg/L)		実 積 率 (%)		
種類	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	棒突	ジッキ ング	棒突	ジッキ ング	
海砂	2.57	1.51	2.74	1.675		66.2		
粗骨材	2.66	0.27	6.96	1.617		61.0		
水 砕 ス ラ グ	A	2.66	1.32	2.67	1.519	1.585	57.9	60.4
	B	2.61	1.41	2.99	1.448	1.500	56.3	58.3
	C	2.78	0.94	2.63	1.768	1.811	64.2	65.8
	D	2.56	1.30	2.66	1.350	1.430	53.4	56.6

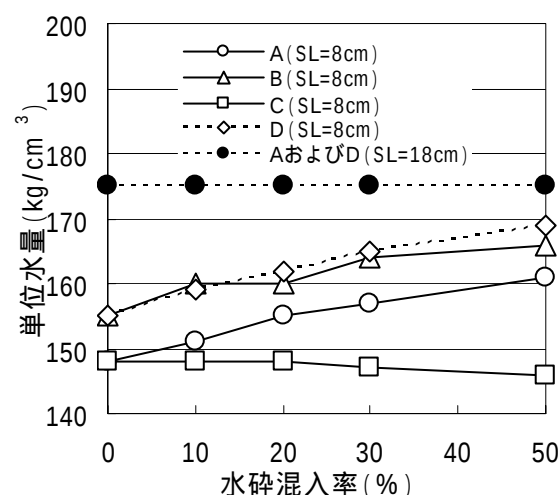


図-1 水砕混入率と単位水量

2.2 試験方法

実験項目は、フレッシュコンクリートについてスランプ、空気量およびブリーディング、硬化コンクリートについて圧縮強度および弾性係数である。細骨材は海砂と水砕スラグの混合とし、水砕混入率は0、10、20、30 および 50%であり、コンクリートの水セメント比は55%、目標スランプは8cm および 18cm とした。AE 減水剤は、主成分がリグニンスルホン酸塩系のものを使用し、目標空気量は4%とした。ブリーディング試験は、コンクリートのブリーディング試験方法(JIS A 1123)に従って行った。圧縮強度試験は、材齢7、28 および 91 日で測定した。

ブリーディング率は次の式で計算した。

$$\text{ブリーディング率 (\%)} = \frac{B}{C} \times 100 \quad B: \text{浮水量 (kg)} \quad C: \text{試料中の水量 (kg)}$$

3. 試験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性質

図-1に水砕混入率と単位水量の関係を示す。コンクリートの単位水量は目標スランプ8cmで148～169kg/m³とし、水砕混入率が多くなるにしたがって水量を増加した。これは、予備実験により、水砕混入率が増加すると、スランプが低下する傾向が見られるためである。また、目標スランプ18cmでは単位水量を一定とした。これも、予備実験により、水砕混入率が増加しても、スランプはさほど変わらないことが分かったためである。図-2 はスランプ8cm、図-3 はスランプ18cmの水砕混入率とスランプおよび空気量の関係を示す。図-2によると、スランプは水砕混入率が変化してもほぼ同一の値を示した。しかし、Dのスランプは水砕混入率が大きくなるに従い、低下する傾向を示した。空気量はCおよびDではほぼ一定であった。しかしながら、AおよびBでは水砕混入率が増加するにつれて大きくなった。図-3によると、図-2同様、スランプは、Aは水砕混入率が変化してもほぼ同一の値を示したが、Dは水砕混入率が大きくなるに従い、

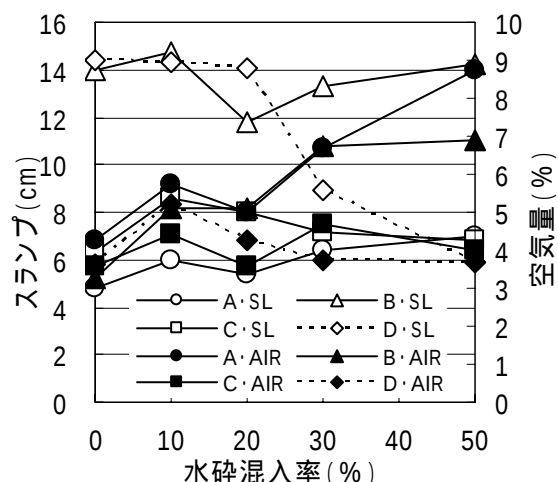


図-2 水砕混入率とスランプ・空気量 (SL=8cm)

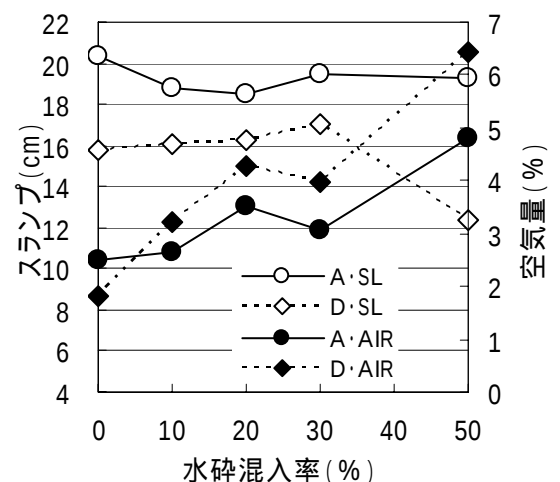


図-3 水砕混入率とスランプ・空気量 (SL=18cm)

低下する傾向を示した。空気量はAおよびDのどちらとも、水砕混入率が大きくなるに従って大きくなった。

図-4 にスランプ8cm、図-5 にスランプ18cmの水砕混入率とブリーディング率の

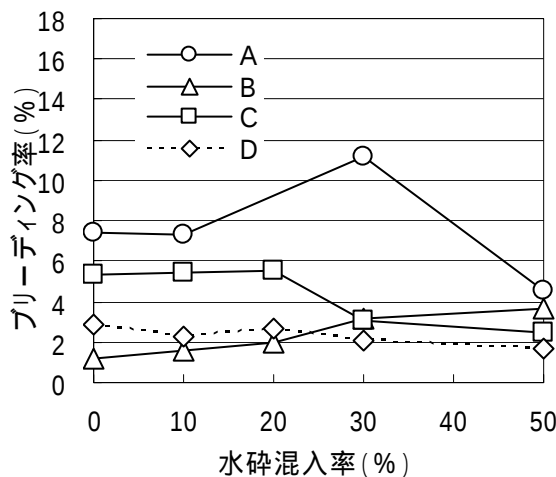


図-4 水砕混入率とブリーディング率 (SL=8cm)

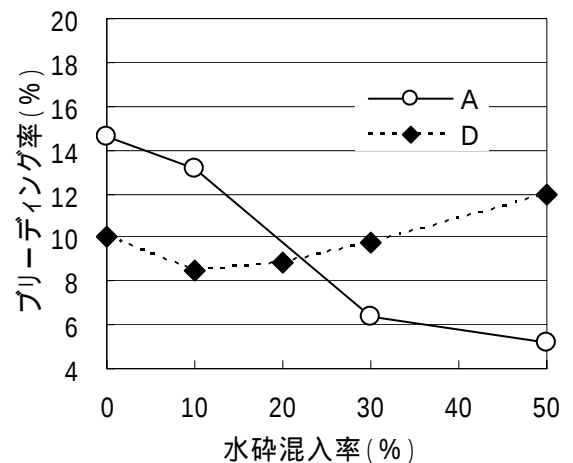


図-5 水砕混入率とブリーディング率 (SL=18cm)

関係を示す。図-4 によると、若干のばらつきは見られるが、水砕混入率によってブリーディングが大きく変化することはなかった。水砕混入率が多いほど単位水量を約 10kg/m^3 大きくしたが、その影響は認められないものと考えられる。図-5 によると、Dはほぼ一定の値を示したが、Aは水砕混入率が大きくなるに従い、低下する傾向が見られる。

3.2 単位質量、圧縮強度および弾性係数

図-6 にスランプ 8cm、材齢 7 日の水砕混入率と単位質量の関係を示す。同図によると、水砕混入率が大きくなるに従って多少ばらつきは見られるが、海砂 100%と同等の単位質量が得られた。単位質量は使用される骨材の密度に大きく関係するものである。したがって、海砂の密度に比べ、水砕の密度はほとんど変わらないが、水砕 A と C のように、若干大きくなっている。したがって、水砕混入率が大きくなるほど、単位質量が増加するものとするのが一般的である。

図-7 はスランプ 8cm、図-8 はスランプ 18cmの水砕混入率と圧縮強度の関係を示す。図-7 は材齢 28 日および 91 日(一部)の圧縮強度を示す。同図によると、水砕混入率 0%すなわち海砂使用の強度と比べ、水砕混入率が大きくなっても、強度に大きな変動は見られない。密度が最も小さい水砕Dの強度は、水砕混入率が増加することにより若干低下を示している。特に、水砕Dの密度が 2.56g/cm^3 と小さかったため、当初強度に大きく影響することを懸念していた。図-8 は水砕Aについての強度変化である。図-7 と同様に、水砕混入率が 10～50%と変化しても、海砂 100%での強度とほとんど変わらない。

水砕Aの強度は材齢が経つに従って順調に伸びていることが認められる。水砕混入率の大きい30% および 50% での強度が、特に大きく伸びることもなかった。図-9 にスランプ 8cmの水砕スラグA、図-10 にスランプ 18cmの水砕スラグAの圧縮強度と材齢の関係を示す。図-9 を見ると、材齢が経つに従って強度も大きくなっていることが分かる。また、水砕混入率 20%のとき、海砂 100%より強度が大きくなっている。図-10 によると、図-9 同様、材齢が経つにつれて強度も大

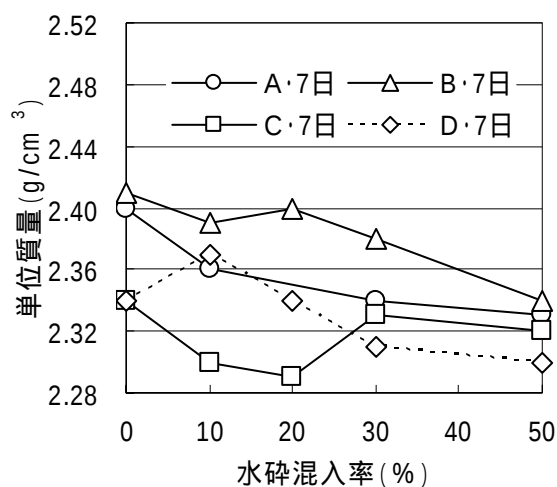


図-6 水砕混入率と単位質量

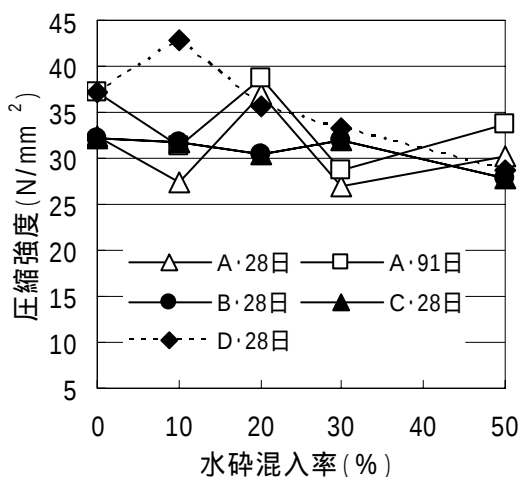


図-7 水砕混入率と圧縮強度 (SL=8cm)

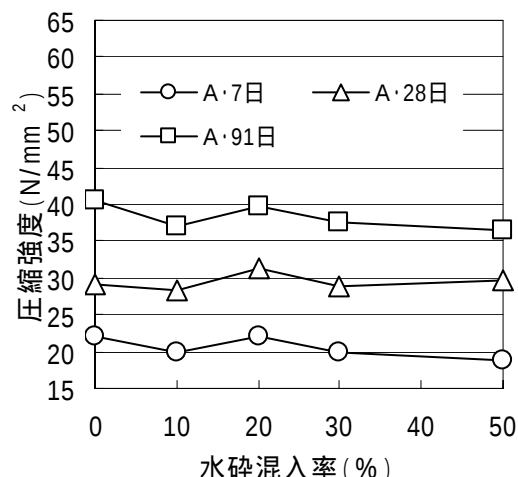


図-8 水砕混入率と圧縮強度 (SL=18cm)

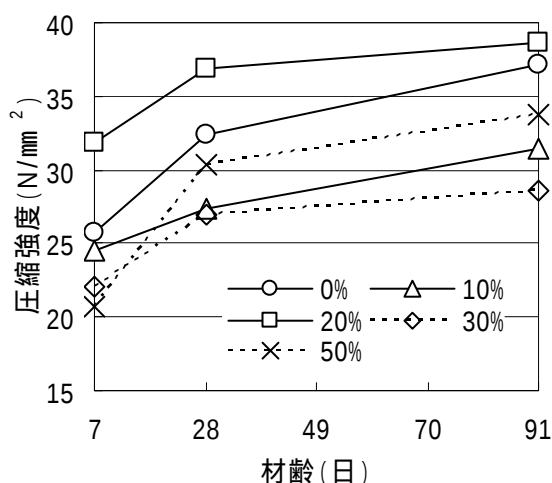


図-9 材齢と圧縮強度 (水砕A・SL=8cm)

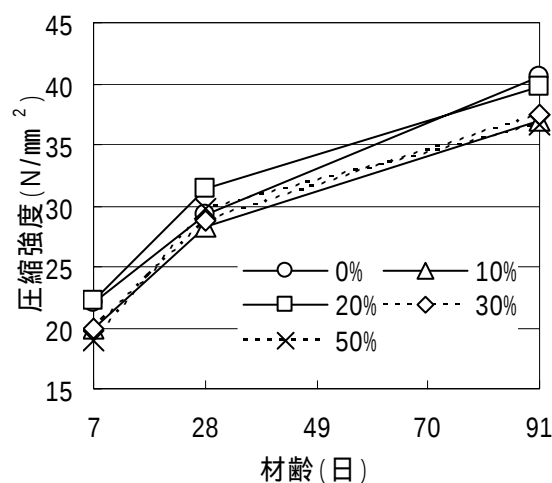


図-10 材齢と圧縮強度 (水砕A・SL=18cm)

きくなっている。また、水砕混入率を変えても強度に影響はないと考えられる。

図-11 はスランブ 8cm、図-12 はスランブ 18cm の水砕混入率と弾性係数の関係を示す。弾性係数はスランブ 8cm、18cm のどちらとも、強度と同様に、水砕混入率によって大きく変化することはない。図-13 は、本研究において得られた全ての弾性係数と圧縮強度の関係である。図中の直線は、最小二乗法によって求めた回帰直線である。回帰直線の相関係数は、 $R=0.89$ と極めておおきいと言える。したがって、水砕スラグを混入したコンクリートは、海砂使用コンクリートの強度と

弾性係数の関係と同様であると考えられる。

3.3 実積率

海砂と水砕スラグの棒突きによって単位容積質量試験を行った。図-14 は実積率と水砕混入率の関係である。同図によると、水砕 C 以外の他の 3 種

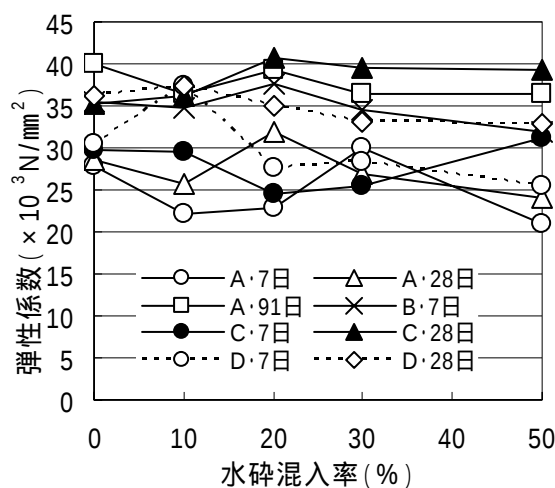


図-11 水砕混入率と弾性係数 (SL=8cm)

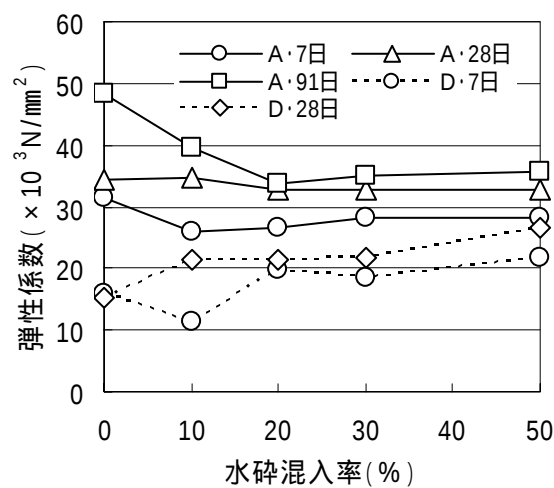


図-12 水砕混入率と弾性係数 (SL=18cm)

類の水砕はほぼ同様な傾向を示している。すなわち、水砕混入率が大きいほど、実積率が減少傾向を示した。水砕 C の場合は海砂のみの実積率と大きく変わっていない。ただ、水砕 C が 100% になると実積率は約 2.5% 小さくなった。水砕 C の混入率が大きくなっても実積率が低下しなかった理由は、水砕 C の実積率が大きかったためと考える。また図-1 において水砕 A、B および D の場合では目標スランブを得るために、単位水量を大きくしたが、図-14 の実積率の傾向を考慮すると、正当であったものと考えられる。混合骨材のフレッシュコンクリートを知るためには、まず、骨材のみの単位容積質量試験を行うことは極めて有効の方法と考える。

4.まとめ

本研究から得られたことを次に示す。

- (1) 目標スランブを確保するために、水砕混入率によって、単位水量を変化させることは適した方法と考える。この場合、混合骨材の実積率を調べることは、単位水量を増減するために、必要であるものとする。水砕スラグは、製造時の冷却温度によってスラグの密度が変化するために、必ず密度を確認して使用することが望ましいものとする。
- (2) 圧縮強度は、水砕混入率が 10～50% の範囲であれば、大きな違いはないものと考えられる。この傾向は材齢 91 日の長期強度も材齢 7 日と同様な結果であった。また、弾性係数も海砂使用コンクリートとほとんど変わらないものと考えられる。したがって、弾性係数と強度の関係は、これまでの海砂使用コンクリートと同様に考えてよいものと判断する。

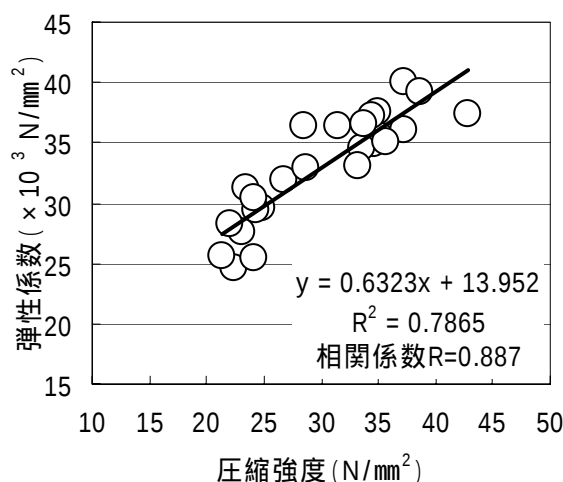


図-13 圧縮強度と弾性係数

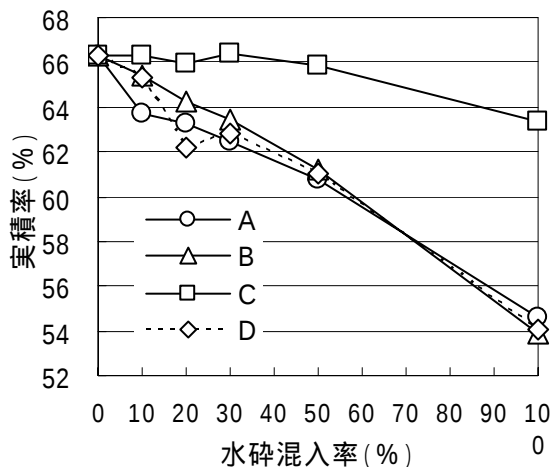


図-14 水砕混入率と実積率