

磨砕した高炉水砕スラグを荒砂として使用するための研究

02A3725 高須賀 翔
02A3746 松本 達典
指導教員 高山 俊一

1. まえがき

近年、海浜および海中での海砂の採取が、海岸の環境保全の立場から禁止ならびに厳しい規制が設けられるようになった。したがって、年々、コンクリート用細骨材としての海砂の確保が厳しい状況になりつつある。また、採取された海砂の粗粒率が小さいため、このまま使用すれば、コンクリート中の単位水量が著しく増加しなければワーカビリティの確保が難しい状況にある。したがって、製鉄所から毎日、多量に排出される高炉水砕スラグに着目し、改良水砕を海砂の代替品として使用するための研究を行なった。水砕スラグは針状部分が多くそのままではワーカビリティに悪い影響を与えるために細骨材としては使用し難い。そのため粒形改善機によって水砕の針状箇所を除去し、実積率が大きい海砂に近い形状にしなければならない。本研究では海砂の現状を考慮し、磨砕した水砕スラグを粗粒率が約3程度の荒砂とし、細砂の海砂との混合細骨材として利用するための諸性質を調べた。

2. 実験方法

2.1 使用材料

使用した水砕スラグは高炉水砕スラグを急冷した後、粒形改善機により、針状部分を除去して粒形改善を行なったものである。実験に使用した骨材の物理的性質を表-1に示す。

水砕スラグは異なる製鉄所で製造された2種類(水砕スラグAおよびB)を使用した。水砕スラグを荒砂として使用することを考えているため、粗粒率が3.1~3.2のものを用いた。海砂の採取地域の制限や採取の規制のため、一般に粗粒率の小さい海砂しか採取できない状況にある。そのため、粗粒率が2.07の細砂の海砂を使用した。コンクリート用細骨材として適当な粗粒率は2.5~2.8だと考えられる。このような状況であるため、水砕スラグの粗粒率を約3程度の荒砂と想定して、海砂と混合することによって細骨材として適したものにしたと考えた。密度は海砂が2.57g/cm³で、水砕スラグのそれは約2.7g/cm³で若干大きくなっている。実積率は海砂が62.9%で、水砕スラグが60~63%であり、若干小さいかほぼ同程度であると言える。水砕スラグは磨砕されているため、実積率が比較的大きくなっている。粗骨材は碎石で、最大寸法が20mmである。

2.2 実験概要

表-2に実験概要を示す。実験はNo.1でモルタルによる各種試験、No.2でコンクリートによる各種試験、さらにNo.3で凍結融解試験をそれぞれ行なった。細骨材は海砂と水砕スラグの混合とし、混合率は水砕スラ

表-1 骨材の物理的性質

種類	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	
海砂	2.57	2.17	2.07	1.583	62.9	
粗骨材	2.66	0.27	6.96	1.617	61.0	
水砕スラ	A	2.74	2.92	3.14	1.682	63.1
	B	2.70	1.44	3.17	1.594	59.9

表-2 実験概要

No	実験項目
1	モルタルによる各種試験 ○フレッシュモルタルのフロー値 ○モルタルの強度 曲げ強度・圧縮強度 (JIS R 5201)
2	コンクリートによる各種試験 ○フレッシュコンクリートの諸性質 スランプ・空気量・ブリーディング (JIS A 1123) ○コンクリートの強度 圧縮強度・引張強度・曲げ強度 (JIS A 1108・1113・1106)
3	凍結融解試験 ○たわみ振動数・質量・細孔径分布の測定

表-3 コンクリートの配合の一例

空気量	水砕混入率	W	C	S		G	A E (g)
				海砂	水砕		
4.5%	0	171	311	792	0	1003	943
	20	166	302	643	170	1014	914
	30	163	296	565	258	1021	886
	40	161	293	487	346	1026	886
	50	161	293	406	433	1026	886
	100	161	293	0	866	1026	886

グの0, 20, 30, 40, 50 および 100%とした。昨年の実験で水砕スラグの海砂の最適な置換比率は20~50%と判断されたため、20~50%を中心に実験を行うことにした。No. 2 のコンクリートの各種試験は、まず、水セメント比 55%, 目標スランプ 10cm および目標空気量 4.5%で混練りを行なった。次に No. 2 および 3 で、水セメント比 52%, 目標スランプ 10cm および目標空気量 5.5%として打設を行なった。表-3 (No. 2) にコンクリートの配合の一例を示す。モルタルの目標フロー値は 220mm とした。モルタルの単位水量は $273\text{kg}/\text{m}^3$ と一定とした。No. 2 および 3 のコンクリートの単位水量は水砕混合率の増加とともに小さくした。これは予備実験において、水砕スラグの混合率が大きくなるにつれてスランプが大きくなる傾向がみられたためである。AE 減水剤は主成分がオキシカルボン酸塩誘導体(チェーポール EX20, 竹本油脂(株))を使用した。No. 3 において、コンクリートの凍結融解性を評価するために水銀圧入式ポロシテイメータにより、細孔径分布を測定した。

3. 結果および考察

3.1 モルタルの諸性質

図-1 にモルタルのフロー値と水砕混合率の関係を示す。同図によると水砕混合率が大きくなるに従って、フロー値が向上している。すなわち水砕が多いほどコンシステンシーが向上すると言える。海砂と水砕スラグの混合砂の実積率を測定した結果を図-2 に示す。同図によると、混合砂の実積率は水砕混合率が30~50%で約65%となり、海砂100%のそれは63%であるため約2%大きくなっている。すなわち、細砂の海砂と荒砂の水砕スラグの混合砂は実積率が向上することが分かった。したがって、水砕の混合率が大きくなると実積率の向上により、フロー値が増加したものと考えられる。モルタルの曲げ強度および圧縮強度と水砕混合率の関係を図-3 および図-4 にそれぞれ示す。曲げ強度は、海砂100%の場合に比べ、水砕スラグ20~40%まではほぼ同程度の強度であるが、スラグBで50%で5~9 N/mm^2 の低下がみられる。さらに水砕スラグ100%では両スラグとも強度は減少している。水砕混合率が50%および100%と大きくなると、圧縮強度は曲げ強度と同様に低下傾向が認められた。したがって、モルタルの強度に関

し、海砂に荒砂としての水砕スラグを20~40%混合しても何ら支障はないものと判断される。実積率およびフレッシュモルタルに関しては、水砕スラグと海砂の混合砂が優れた性質を有するものと考えられる。

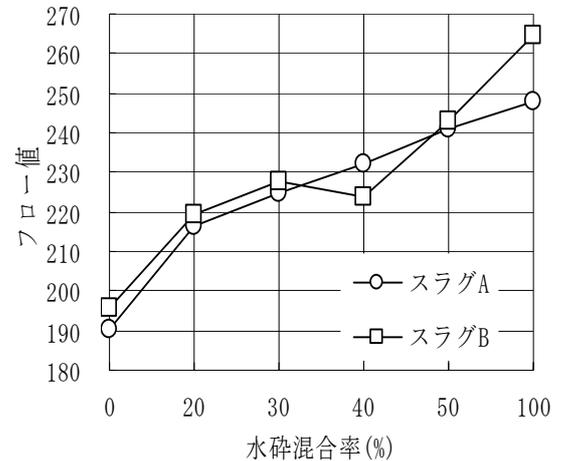


図-1 モルタルのフロー値と水砕混合率

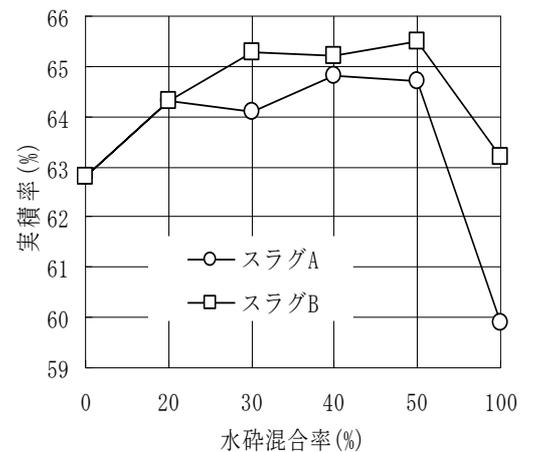


図-2 実積率と水砕混合

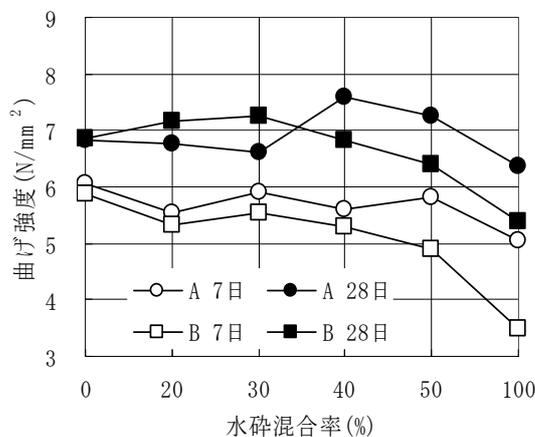


図-3 曲げ強度と水砕混合率

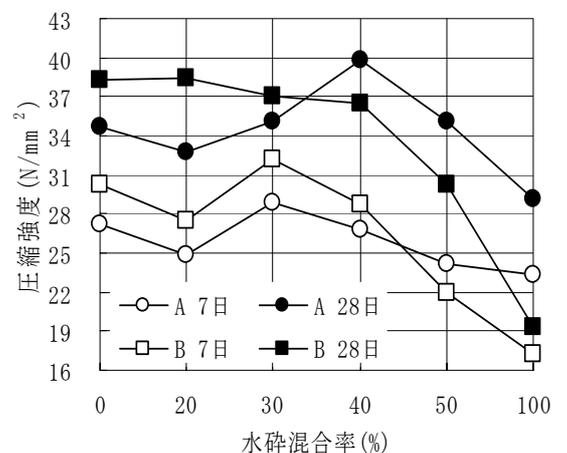


図-4 圧縮強度と水砕混合率

3.2 水砕混合率とフレッシュコンクリートの諸性質

(1) スランプおよび空気量

モルタルのフロー値および予備実験から、コンクリート中の単位水量を 171kg/m^3 を基準とし、目標スランプを 10cm とするため、水砕混合率が大きくなるにしたがって単位水量(表-4)を若干小さくした。スランプの測定結果を図-5 に示す。同図によると、測定値のばらつきはみられるが、目標スランプ $10\pm 2\text{cm}$ の範囲にほぼ納まっているものと考えられる。図-6 は水砕混合率と空気量の関係を示す。同図によると、空気量は水砕の混合率が大きくなるに従って漸次増加する傾向が認められる。ただし、水砕スラグ B のスラグ 100% の場合は約 10% と著しく大きな空気量となった。水砕スラグ自体が若干ではあるが、空気連行をしやすい性質を有しているものとも考えられる。

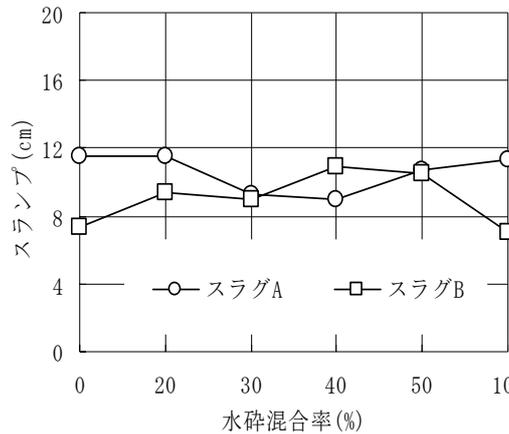


図-5 スランプと水砕混合率

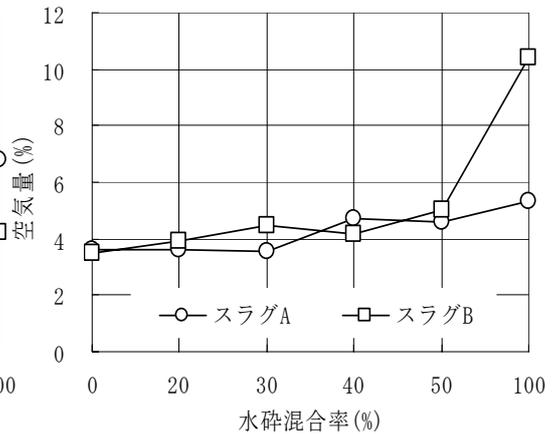


図-6 空気量と水砕混合率

3.3 水砕混合率と硬化コンクリートの諸性質

(1) 圧縮強度

図-7 に材齢 7 日、28 日の圧縮強度と水砕混合率の関係を示す。

両水砕とも圧縮強度は材齢が大きくなるにしたがって増加している。

水砕混合率 20~50% での圧縮強度は、海砂 100% のそれとほぼ同程度である。したがって、水砕混合率 20~50% を海砂と置換して使用しても、強度に関して何ら問題はないものと考えられる。

(2) 圧縮強度、引張強度および曲げ強度

図-8 は水セメント比 52%、材齢 28 日の圧縮、引張および曲げの各強度を示す。同図は図-7 と同様に、圧縮、引張および曲げの各強度は水砕混合率 0~50% でほぼ同程度である。水砕 100% の強度は引張および曲げの各強度とも $0.2\sim 0.5\text{N/mm}^2$ ほど減少している。

圧縮強度と引張強度のぜい度係数は $10\sim 12$ であり、通常のコンクリートとほぼ同程度であった。また曲げ強度と圧縮強度の関係は $1/6\sim 1/7.5$ であった。曲げ強度/引張強度は $1.5\sim 1.8$ であり、通常コンクリートとほぼ同程度であった。したがって圧縮強度に対する引張および曲げの各強度の関係は、海砂 100% の通常のコンクリートとほぼ同程度であると考えられる。

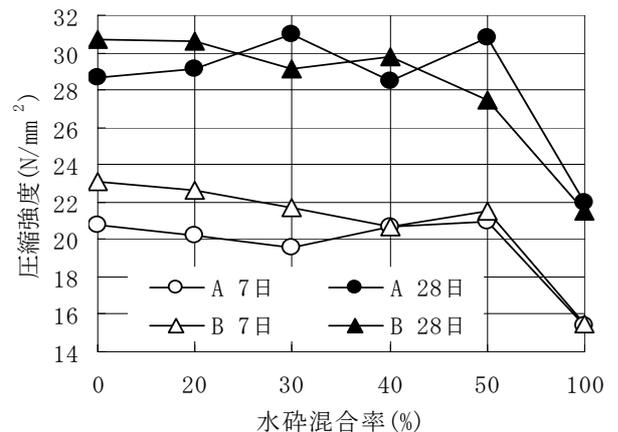


図-7 圧縮強度と水砕混合率

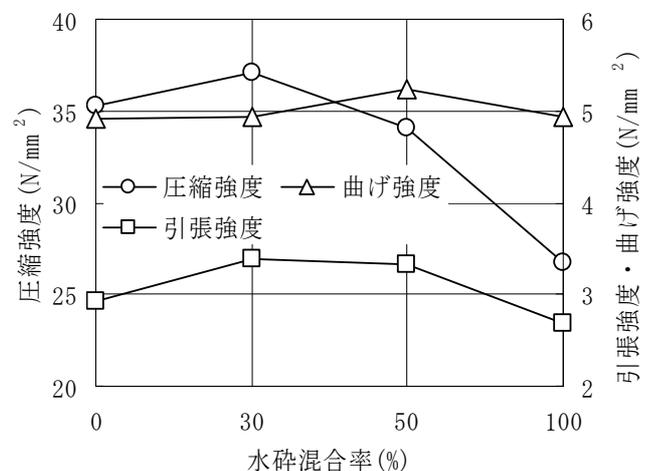


図-8 圧縮・曲げ・引張強度と水砕混合率

3.4 凍結融解性

図-9 は凍結融解試験の相対動弾性係数の測定結果を示す。同図によると、相対動弾性係数は比較的ばらつきがみられる。水砕混合率 0~50% でのコンクリート

の相対動弾性係数は210 および 300 サイクルで 98~102%と実験開始とほぼ同程度を示している。凍結融解 300 サイクルで水砕 100%の相対動弾性係数が約 9%の低下傾向を示している。図-10 は細孔径分布の水砕混合比 30%および 100%の測定結果を示す。同図によると、細孔直径の小さい箇所では水砕 30%の場合の細孔体積は約 $200 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{g}$ に対し、水砕 100%の場合は約 $150 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{g}$ と少ないことが顕著である。さらに、細孔直径の大きい 4300 Å以上の細孔体積は、水砕 30%の場合が約 $25 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{g}$ 以下に対し、水砕 100%の場合は約 $40 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{g}$ と大きくなっている。図-11 は耐久性指数と 4300 Å以上および 24000 Å以上の各々の累計細孔体積を示す。水砕 100%の場合は 4300 Å以上で約 $180 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{g}$ 、24000 Å以上で $75 \times 10^{-4} \text{cm}^3/\text{g}$ と他の混合率に比べて大きい空げき体積量であると考えられる。同図によると、水砕混合率が增加するにしたがって耐久性指数は低下傾向を示した。また、累計細孔体積は水砕混合率が多くなるにしたがってわずかであるが増加傾向がみられた。水砕混合率 100%以外の耐久性指数が 98~102%と大きく、水砕混合率 30~50%のコンクリートが凍結融解性に優れていると言える。

4. まとめ

本研究から得られたことをまとめて示す。

- (1) 細砂の海砂と荒砂の水砕スラグを 20~50%混合した細骨材は、実積率およびモルタルの流動性のいずれも向上し、優れた性質を有するようになったものと考えられる、またモルタルの曲げ強度および圧縮強度は、水砕混合率 20~40%であれば、海砂 100%のそれと同程度であり、混合砂として何ら支障はないものと考えられる。
- (2) コンクリートの圧縮強度は、水砕混合率 20~50%の場合、海砂 100%のそれと同程度であった。引張強度および曲げ強度は水砕混合率 30%および 50%の場合、海砂 100%のコンクリートのそれとほぼ同程度であった。
- (3) 水砕 100%のコンクリートの場合の耐久性指数は、他のコンクリートに比べて耐久性小さいことが認められた。しかしながら、重量減少率は全てのコンクリートでほぼ同一の値を示している。

終わりに、凍結融解試験にご協力戴いた新日鉄高炉セメント（株）に謝意を表します。

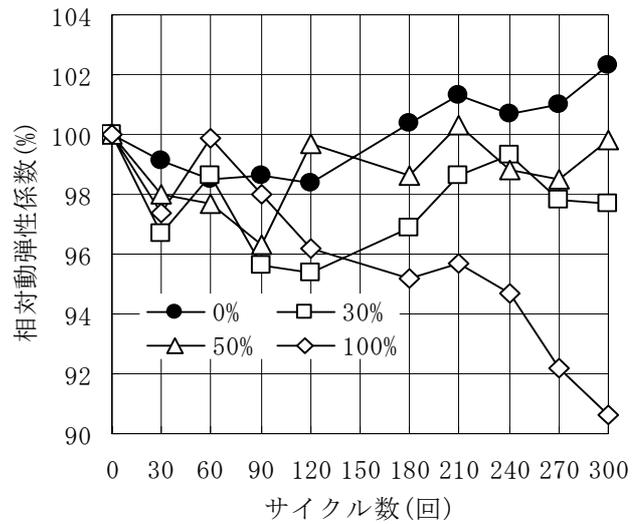


図-9 相対動弾性係数とサイクル数

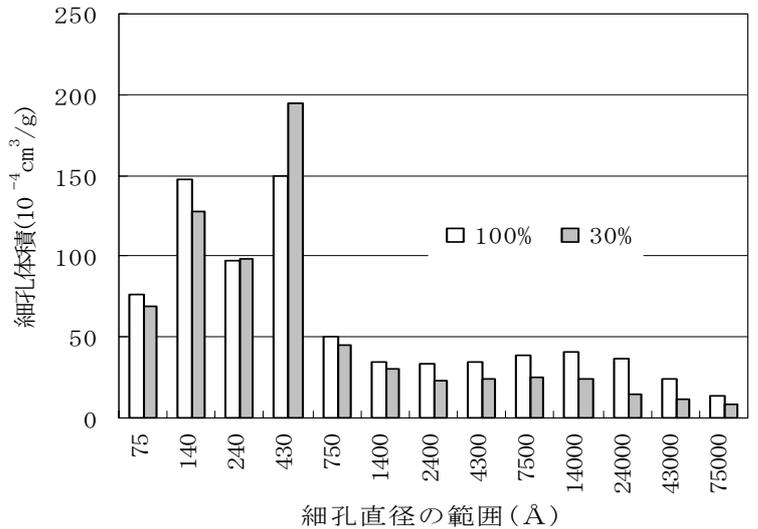


図-10 細孔体積と細孔直径の範囲

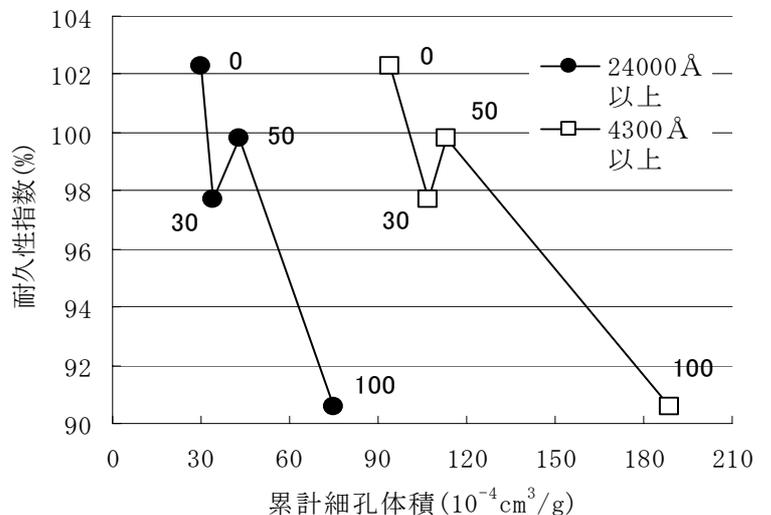


図-11 耐久性指数と累計細孔体積