

北海道開発局土木試験所 正員 今井 益隆

同 上 正員 松尾 徹郎

同 上 大川 守

1 まえがき 製鉄産業の副産物である高炉スラグ碎石は、コンクリート用骨材として利用されて久しいが、その使用範囲は必ずしも一般的ではなく、製鉄所構内工事などごく一部に限られてきたのが実状である。高炉スラグ碎石は、製造過程の諸条件によって品質が著しく変動することが知られており、これが使用上の障壁となっていた。しかし、骨材事情の悪化にともなって積極的な利用に対する関心が高まりつつあり、問題の究明のために多くの研究成果の集積が望まれている。

本文は、産地の異なる高炉スラグ碎石について物理的性状の検討を行なうとともに、寒冷地におけるコンクリート構造物への利用に関する資料を得るために実施した基礎的実験の結果を報告するものである。

2 試験の概要 試験の対象とした高炉スラグ碎石は、道内唯一の製品Aと、一部が本道に移入されているBおよび品質に若干疑問があると推定されたCの3種（いずれも冷却は畑方式による）であり、JISあるいはBS規格にしたがって行なった物理試験とあわせて、吸水性状および凍結融解試験を実施し、コンクリートの強度ならびに凍結融解に対する抵抗性などとの関連を求めた。なお、高炉スラグ碎石のほか、比較のために道内産骨材として平均的な品質を有する川砂利Sと、普通碎石I（いずれも最大寸法25mm）の試験も行なった。

3 試験の方法 1) 骨材試験 搬入された高炉スラグ碎石は、粒度が産地によってかなり異なったため、25～15、15～5mmの2群にふるい分け、粗粒率がほぼ同一となるよう混合比率を求めた上、諸項目について試験を行なった。砂利、碎石の場合も同様の方法を用いた。なお、粗骨材の凍結融解試験はASTM C 666の水中急速方法に準じて行なった。2) コンクリート試験 コンクリートはセメント水比を1:3、1:7、2:1の3種とし、スランプ7±1cm、空気量5±1%のAEコンクリートの配合を決定したが、一部の骨材についてはプレーンコンクリートの試験も行なった。セメントは普通ポルトランドおよび高炉B種の2種、細骨材は良質の海岸砂（比重2.74、吸水率1.07%、粗粒率2.50）、混和剤としてAE剤を使用した。強度試験と併行して弾性的性質についても検討したが、基本的には材令を7、28、91日とし、一部の配合ではこのほか3、14日、6、12ヶ月で試験を行なうこととした。凍結融解試験は前述の水中急速方法によって、すべて材令14日より開始した。

4 試験結果と考察 1) 高炉スラグ碎石の品質

高炉スラグ碎石の粒子の外観は、密実なものとは異なり粗粒率の異なるものが混在しているが、その物理的性状も表-1に示すように産出する工場によって著しく異なる。筆者らが、過去に行なったA工場における品質変動の調査例によると、比重2.47（2.58～2.34）、吸水率4.23（5.86～2.92）であり、標準偏差が0.06、0.98（13試料）と変動が大きかった。しかし、その後の製造設備の改善により品質が改良され、本実験におけるAが普通碎石に劣らない性状を示したことは、冷却処理過程の重要性を示唆するものといえる。

表-1 粗骨材の品質

粗骨材の種別	記号	粒 群 (mm)	表 乾 比 重	吸水率 (%)	単位容積 重量 (kg/m ³)	粗粒判定 実備率 (%)	すり入り 量 (%)	安定性 量損失率 (%)	凍結融解 値 (%)	使用 割合 (%)	粗粒率
高炉スラグ碎石	A	25～15	2.74	1.65	1608	—	15.2	0.6	17.9	60	7.02
		15～5	2.73	2.22						40	
	B	25～15	2.44	2.54	1437	55.6	27.1	1.7	32.2	50	7.07
		15～5	2.44	3.24						50	
	C	25～15	2.50	5.16	1503	56.0	34.0	1.8	34.3	55	6.96
		15～5	2.53	5.71						45	
普通碎石	I	25～15	2.69	1.53	1567	58.5	17.9	3.1	18.6	60	7.00
		15～5	2.68	1.97						40	
砂利	S	25～15	2.75	1.11	1814	63.8	13.9	6.5	10.8	55	6.96
		15～5	2.76	1.14						45	

搬入された試料はいずれも通り粒が多く、とくに25～15mm群では13～22%となったが、粒度組成の変動は品質管理上の課題となろう。本実験では粒度調整を行なったため、碎石中の微粉末がかなり除去されたが、洗い試験の結果、Cでは規格値に近い量が残留した。高炉スラグ碎石は、表面の形状や内部機構が複雑であり、表乾状態

の把握が難しく誤差も免れないが、細粒部分の吸水率が大きくBで3%、Cでは5%を超えた。吸水率はすりへり、破砕値との相関が認められ、また、骨材修正係数もA率の0.9%に対し、Bは2%、Cは6%と大きく多

孔質であることを示している。このことは

吸水率の経時変化を示した図-1でも明らかであり、浸水後10日以降も増加の傾向が認められるが、とくにB、Cでその程度が著しい。粒子内部の気孔の存在は破壊に関連する結晶圧を緩和するが、安定性試験では高炉スラグ碎石の損失量が小さく、耐久性検討のために行なった100回の凍結融解の結果、表-1に示すとおり碎石、砂利で安定性との相関が良く、高炉スラグ碎石では両者の中間の値が得られた。

2) コンクリートの品質 Q フレッシュコンクリート コンクリートの配合は、単位粗骨材容積を碎石、高炉スラグ碎石では0.67、砂利では0.69として求めた。所要のコンシステンシーを得るための単位水量は図-2に示すように高炉スラグ碎石の場合、砂利に比較して10~16kg大きくなったが、普通碎石とAでは殆んど差がなかった。また、プレーン

コンクリートではA Eコンクリートに比較して16~18kgの増加が必要となった。b 硬化コンクリート 破壊強度の σ_c における割線ヤング係数は、図-3に示すとおり骨材の品質による差異が明らかであり、普通碎石では標準的な値に対し10%程度小さくなった。図-4によると、圧縮強度は高炉スラグ碎石の比重とは関係なく、材令14日以降はB、CがAを上回った。セメント水比と強度との関係は、いずれも図-5のように一次式で示されるが、高炉スラグ碎石の性状との関係は明らかとはならなかった。なお、引張強度は圧縮強度の σ_c の $\frac{1}{2}$ 、曲げ強度は同じく σ_c の $\frac{1}{3}$ と一般的な値が得られた。

凍結融解試験の結果を図-6、7に示したが、A E割混和による耐久性改善の効果が明らかであり、セメント水比1.3の場合でも耐久性指数はすべて60%以上となった。とくにBが他の骨材に比較して耐久であったことについては、今後内部機構などの検討により明らかにしたい。

5 むすび 高炉スラグ碎石の性状 図-6 骨材の吸水率とAEコンクリートの耐久性指数の関係 図-7 凍結融解試験開始時の強度と耐久性指数の関係

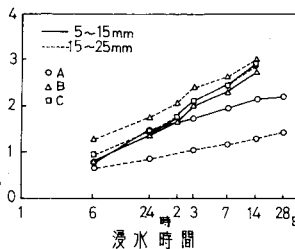


図-1 時間の経過による吸水率の変化

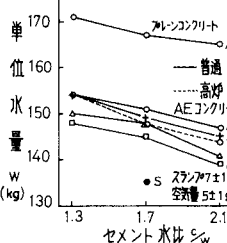


図-2 使用骨材と単位水量の関係

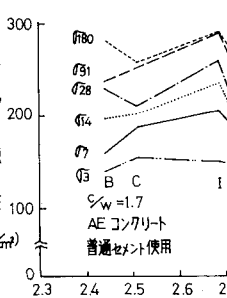


図-4 骨材の比重とコンクリートの圧縮強度の関係

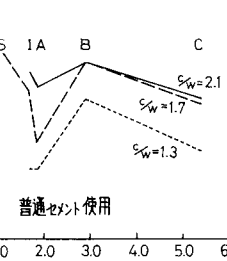


図-6 骨材の吸水率とAEコンクリートの耐久性指数の関係

表-2 凍結融解による骨材の損失量

粗骨材の種別	骨材の粒径 (mm)	骨材の重量 (g)	凍結融解後の重量 (g)	骨材の損失率 (%)	骨材の損失率 (%)	骨材の損失率 (%)	計 (100回)
高炉スラグ碎石	5~10	18	0.1	0.1	0.4		6.7
	10~20	62	0.5	0.9	6.1		
	20~40	20	0.1	0.2	0.2		
普通碎石	5~10	11	0.2	0.4	1.0		6.0
	10~20	70	1.6	3.3	4.1		
	20~40	19	0.7	0.8	0.9		
川砂利	5~10	21	0.2	0.4	0.8		4.6
	10~20	61	0.3	1.0	3.1		
	20~40	18	0.4	0.4	0.7		
普通砂利	5~10	16	0.3	0.8	1.2		3.7
	10~20	67	0.8	1.3	2.0		
	20~40	17	0.3	0.4	0.5		
川砂利	5~10	25	0.7	1.7	2.3		7.2
	10~20	51	2.0	3.0	3.9		
	20~40	24	0.3	0.3	1.0		

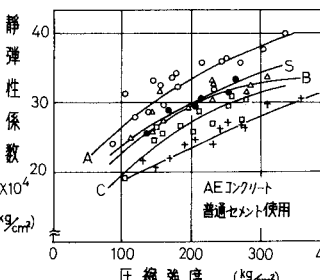


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

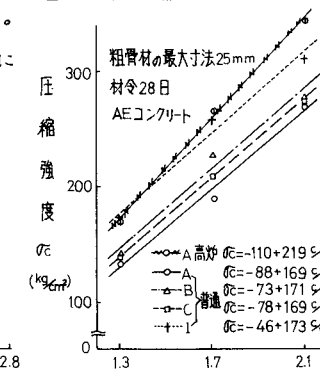


図-5 セメント水比と圧縮強度の関係

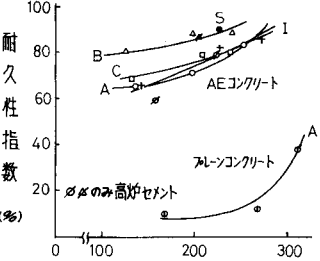


図-7 凍結融解試験開始時の強度と耐久性指数の関係