

焼却灰溶融スラグを粗骨材として用いたコンクリートの物性と耐凍害性

鳥取県建設技術センター 特別会員 ○松井信作 戸田建設(株) 西川康平
鳥取大学 正会員 黒田 保 鳥取大学 フェロー 井上正一

1. はじめに

鳥取県では二箇所のごみ焼却場で焼却灰を溶融化処理している。平成18年7月の溶融スラグ骨材のJIS化を契機に、より一層の利用促進を図るため県は建設材料への使用基準を制定した。本研究では、県内産溶融スラグをコンクリート用粗骨材として利用するため、コンクリートの配合設計、硬化後の物性および耐凍結融解性に焦点を絞り、品質の異なる溶融スラグ骨材を用いたコンクリートの性状を普通コンクリートのそれと比較・検討した。

2. 実験概要

1) 溶融スラグ粗骨材の品質

溶融スラグ粗骨材(以下、スラグと称す)として2種類のものを用いた(Tスラグ:鳥取県産, Oスラグ:栃木県産)。

図1に示すように製造時のスラグは、土木学会標準粒度範囲から外れるため、両者の粒度分布がほぼ等しくなるよう粒度調整して使用した(F.M.=6.51, 6.78(砕石=6.85))。表1に、粒調したスラグ及び砕石の物理試験結果と砕石2005に対するJIS規格を示す。Oスラグに比べてTスラグの密度が小さいこと、スラグ骨材自体の強度が砕石よりかなり小さいことを除けば物理的性質に大きな差異はなく、Oスラグの微粒分量以外の物性値はJIS規格を満足している。なお、膨張率試験(JISA 5031 付属書I)においてTスラグはJIS規格を満たさない骨材であるといえる。

2) 溶融スラグを用いたコンクリートの配合設計

県内の土木構造用コンクリート($G_{max}=20\text{ mm}$, 高炉B種使用)の配合を対象とし、配合設計では、スランプ $=8\pm1\%$, 空気量 $=6\pm1\%$, s/a には最適 s/a を用いることにし、最適 s/a と単位水量を試練りに基づいて決定した。なお、混和剤にはAE減水剤を用い、空気量はAE助剤量で調節した。実験要因を表2に示す。

3) コンクリートの硬化性状

硬化コンクリートの試験として、圧縮強度、静弾性係数、乾燥収縮、凍結融解試験を行った。

3. 実験結果および考察

1) 最適 s/a と単位水量 1例として、 $W=160\text{ kg/m}^3$, $W/C=55\%$ の下で得られた最適 s/a の結果を図2に示す。図より、いずれのスラグにおける最適 s/a も、スラグ置換率が大きくなるに伴って大きくなり、置換率が100%になると置換率0%の最適 s/a よりも3%程度大きくなる。なお、単位水量は、 W/C が45%から65%の範囲においてはスラグの種類や置換率の多少によらず、 $W=151\sim156\text{ kg/m}^3$ で所定のスランプが得られた。

表1 粗骨材の物理的性質

	表乾密度 (g/cm^3)	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粒形判定 実績率 (%)	安定性 (%)	微粒分量 (%)	膨張率 (%)	BS40t 破砕値 (%)
Tスラグ	2.55	2.53	1.00	60.1	8.3	0.5	3	42.3
Oスラグ	2.80	2.78	0.60	56.4	6.1	1.6	-0.5	39.0
スラグのJIS規格	—	2.5以上	3.0以下	55以上	12以下	1.0以下	2以下	—
砕石2005	2.73	2.72	0.80	58.4	6.2	—	-1	9.7
砕石のJIS規格	—	2.5以上	3.0以下	55以上	12以下	1.0以下	—	—

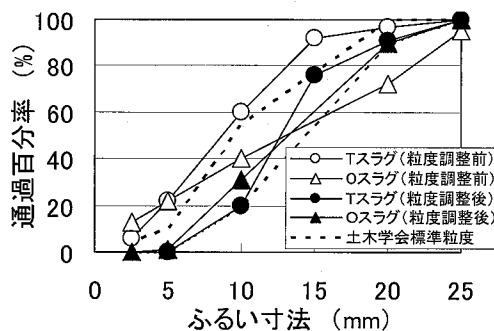


図1 ふるい分け試験結果

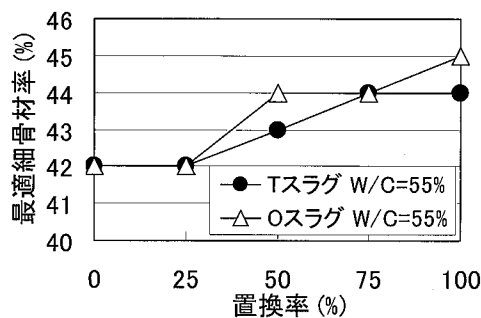


図2 置換率と最適細骨材率の関係

表2 実験要因

要因	水準
粗骨材の種類	Tスラグ, Oスラグ, 砕石
水セメント比(%)	65, 55, 45
溶融スラグの置換率(%)	0, 25, 50, 75, 100

2) 圧縮強度 (図 3) 28

日圧縮強度は、いずれの W/C においても、スラグ置換率が 0 から 25% と 75 から 100% の間での低下がやや大きい、置換率 100% においても普通コンクリートのその 80% 以上の強度を発現しており、スラグ

の置換率の影響はそれほど大きくない。また、同一 W/C の場合、スラグの種類の違いがコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響はほとんどないといえる。

3) 静弾性係数 (図 4) 同一圧縮強度において、熔融スラグを用いたコンクリートの静弾性係数は、普通コンクリートよりもやや小さいが、土木学会が普通コンクリートに対して規定している値でもって概ね予測できる。

4) 乾燥収縮 (図 5) $W/C=65\%$ 、スラグ置換率 100% のコンクリート角柱供試体 ($10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$) に対して、恒温槽 (20°C , R. H. 60%) で測定した乾燥収縮ひずみ (試験開始材齢 2 日) を図 5 に示す。他の W/C も含めて、熔融スラグを用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみは普通コンクリートのそれよりも小さく、スラグ置換がコンクリートの乾燥収縮に悪影響を及ぼすことはない。なお、同一 W/C のコンクリートでは、粗骨材の絶対容積、単位水量およびモルタル量はほぼ同一である。

5) 耐凍結融解性 (図 6~8) $W/C=65\%$ に限定すると、図 6 より、空気量 $6 \pm 1\%$ においては、スラグの相違に拘わらず、置換率が 100% であっても 300 サイクル後の相対動弾性係数 60% を確保できる。一方、空気量が $3 \pm 1\%$ になると、図 7 より、スラグを用いたコンクリートの相対動弾性係数の低下は普通コンクリートのそれよりも著しく、空気量の多少が耐凍結融解性に与える影響がより大きいことがわかる。このことは、生コンにおいては、空気量の下限か上限値かによって耐久性が大きく変わるので、やや大きめの空気量を設定してやる必要がある。図 8 に、空気量 $3 \pm 1\%$ とし、 $W/C=65\%$ と 55% の結果を示す。スラグを用いたコンクリートは普通コンクリートと同様に、 W/C を小さくすることにより耐凍結融解性が改善される。耐凍結融解性を確保するには、 $W/C=65\%$ では空気量を $6 \pm 1\%$ に、空気量 $3 \pm 1\%$ では W/C を 55% 程度とするか置換率を小さくすることが必要であるといえる。

4. 結論

熔融スラグを粗骨材に用いたコンクリートにおいては、配合設計は通常のコンクリートと同様に行え、この場合に適正な s/a を選定すれば、単位水量を増やすことなく配合設計できる。28 日圧縮強度は、スラグの置換率の増加に伴ってやや低下するが、普通コンクリートの 80% 以上は確保できる。なお、耐凍結融解性は低くなるが、空気量を多くする、あるいは W/C を小さくすることで対処できることが明らかになった。

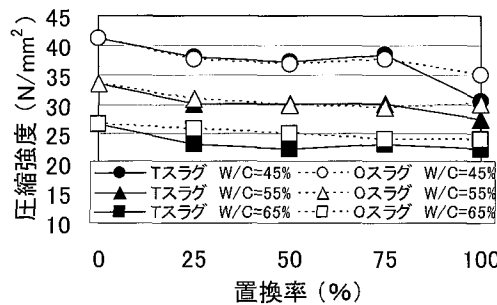


図3 置換率と圧縮強度の関係

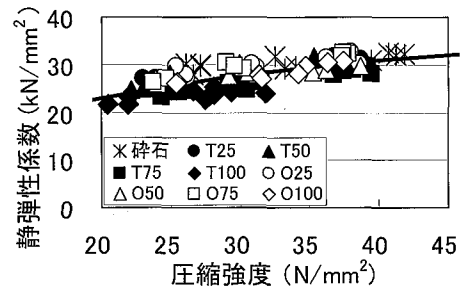


図4 圧縮強度と静弾性係数の関係

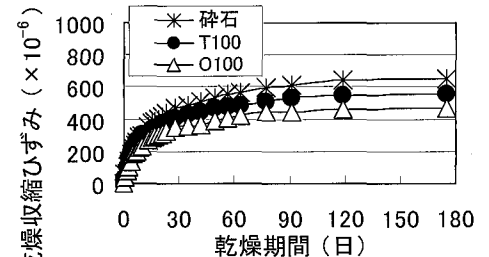


図5 乾燥収縮 ($W/C=65\%$)

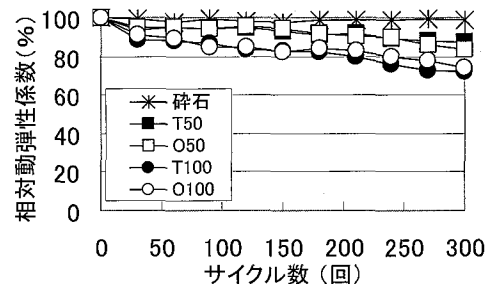


図6 凍結融解抵抗性 ($W/C=65\%$)

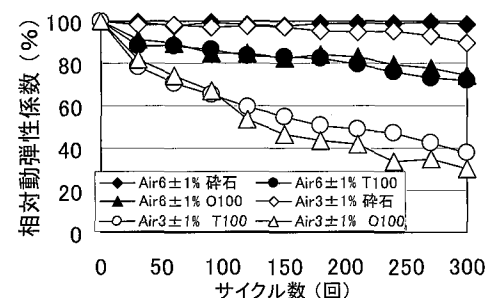


図7 凍結融解抵抗性 ($W/C=65\%$)

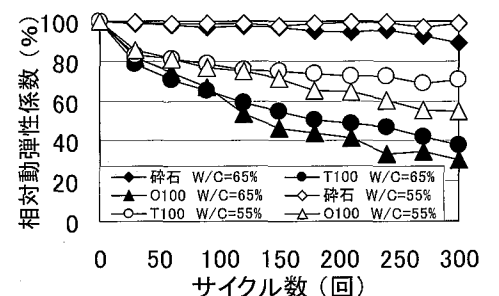


図8 凍結融解抵抗性 (空気量 $3 \pm 1\%$)