

金沢大学 正員 川村 満紀 同 正員 鳥居 和之
同 正員 竹本 邦夫 同 正員 柳場 重正
川崎製鉄 正員 二町 宣洋

1. まえがき

転炉スラグの有効利用は、高炉スラグの場合ほど活発に行われていないようである。このことは、とくに転炉スラグ中に含まれる遊離石灰($fCaO$)及び BC_2S の長期にわたる安定性が明らかにされていないため、一定期間屋外に放置した転炉スラグを骨材として使用したコンクリートに関する実験結果によると、材令6ヶ月までは屋外放置の有無にかかわらず水中養生した円柱供試体にはひびわれ及びポップアウト等の劣化が生じなかった¹⁾。しかし、その後材令1年の転炉スラグコンクリート供試体表面にポップアウトの発生が認められた。本報告は、転炉スラグの屋外放置(エージング期間)が長期材令の転炉スラグコンクリートに生ずるポップアウトの発生に及ぼす影響及びポップアウトの発生機構について、3の実験的検討を加えたものである。

2. 実験概要

本実験において、コンクリート用骨材として使用した2種類の転炉スラグの化学組成及び鉱物相を表1に示す。製鉄所より供給された最大寸法25mmの転炉スラグを5mmふるいによって細粗骨材に区分した。実際にコンクリート用骨材として使用したスラグは、供給された直後のもの(エージング期間0)及びエージング期間1, 3, 6ヶ月のものである。使用セメントは普通ポルトランドセメントで、天然骨材は川砂及び砕石である。コンクリートの配合は単位セメント量300kg、水セメント比60%及び細粗骨材率45%と一定にし、細粗骨材の組合せは川砂・砕石、転炉砕石、川砂・転炉、川砂・転炉・砕石の4種類である。ポップアウトの発生機構を解明するために強度試験用の円柱供試体(直径10cm、高さ20cm)に発生したポップアウト部分から採取したスラグ粒子及び製鉄所より供給された直後のスラグ粒子に対して、走査型電子顕微鏡による観察、X線回折及び示差熱分析によって鉱物組成及び反応生成物の特徴を調べた。

3. 実験結果及び考察

転炉スラグコンクリートにおけるポップアウトの発生は、スラグの種類、エージング期間(6ヶ月)及び細粗骨材の組合せにかかわらず材令1年の水中養生を行った供試体の表面に認められた。ポップアウトは、材令6ヶ月と12ヶ月の間に発生したものと推測される。一方、水中養生条件下よりも水分の供給量が少なく、乾湿のくり返しを受ける屋外放置供試体にはポップアウトに観察されなかった。図1は、スラグ骨材のエージング期間とコンクリートに発生したポップアウトによる劣化度(ポップアウトの平均径から求めた容積)の関係を示す。スラグのエージング期間が長くなるにしたがってポップアウトによる劣化度は著しく減少する傾向が認められる。また、全体としてスラグBの方がスラグAより大きい劣化度を示す。図2は、各転炉スラグコンクリートの圧縮強度と材令の関係を示す。ポップアウトが発生しない6ヶ月材令までは、スラグのエー

表1 使用した転炉スラグの化学組成と鉱物相

	スラグA	スラグB
$f\text{-CaO}$	8.05	7.69
$Ca(OH)_2$	1.69	1.52
$CaCO_3$	5.33	3.75
FeO	11.72	12.59
Fe_2O_3	12.44	13.11
SiO_2	9.90	8.96
Al_2O_3	1.03	1.18
$T\text{-CaO}$	42.90	42.10
MgO	7.90	7.96
MnO	4.40	4.76
P_2O_5	2.40	2.77
鉱物相	CaF , $\beta\text{-CaS}$, CaO Wustite, Fe_2O_3 Calcite, $Ca(OH)_2$	

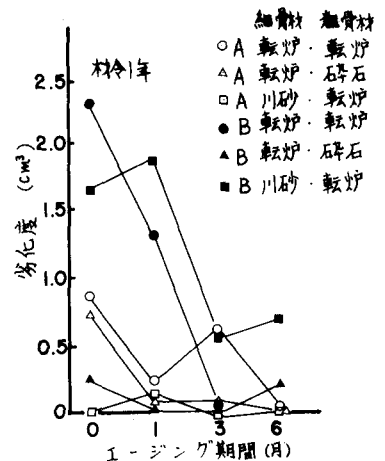


図1 劣化度とエージング期間の関係

エージング期間が長い程、エージング期間中にスラグ表面に生じた反応生成物による骨材セメントペースト間の付着力の低下に起因するコンクリート強度の低下が認められる。一方、一部の場合供試体上下面の欠損を除きポップアウト発生による強度の減少は認められない。また、水浸膨張試験では転炉スラグコンクリートは、天然骨材コンクリートと同様にとくに大きな膨張は認められなかった。図3は、同一供試体中の健全な黒色のスラグ粒子とポップアウト部分から採取したスラグ粒子のX線回折図形を示す。ポップアウト部分から採取したスラグ粒子は、黒色スラグ粒子よりも大きな $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の回折ピークを示している。示差熱分析でも同様の結果を得ている。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成は、スラグの鉱物組成から判断して fCaO と H_2O の水和反応によると考えられる。しかし、転炉スラグ中の $\beta\text{-CaS}$ の水和反応は活発でないで、ポップアウト部分のスラグ粒子に存在する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は fCaO の水和反応によって生じたものと考えられる。したがって、転炉スラグコンクリートに生じたポップアウトはスラグ中の fCaO の水和反応による体積膨張によると考えてよいようである。ポップアウトの原因がスラグ粒子中の fCaO の水和反応によると考えて、エージング期間が長くなるとコンクリートの劣化が減少するのは、エージング期間中スラグの fCaO の水和反応の進行によるスラグの安定化によると思われる。

本実験で使用したスラグの大部分を占める黒色スラグ粒子はコンクリート中で健全である。そこで、製鉄所より供給された転炉スラグ粒子の色調から黒色粒子と暗灰色粒子に区分し、それらの fCaO 量をエチレングリコール法によって求めた結果、黒色粒子の fCaO 量は7~8%であり、暗灰色粒子の fCaO 量は14%程度であった。写真1及び2は各々黒色及び暗灰色のスラグ粒子表面のSEM像を示す。これらの写真より暗灰色のスラグ表面上には多数のひびわれがみられる。コンクリート用骨材として使用した転炉スラグのうち fCaO 量が多く、表面組織の粗な暗灰色のスラグ粒子がポップアウトを生起させるようである。しかし、その含有量が少ないので広範囲にわたるひびわれ及び供試体の膨張が生じなかったものと推測される。

4. まとめ 転炉スラグコンクリートにおいて生じたポップアウトは、スラグ中の fCaO の水和反応による膨張によって生じたことが確認できた。さらに、全ての転炉スラグ粒子がポップアウトを生起させるのではなく fCaO 量の多いスラグ粒子のみによってポップアウトが生じることが明らかになった。

参考文献 1) 川村・鳥居・二町;セメント, 36, pp.136~139, 昭57.

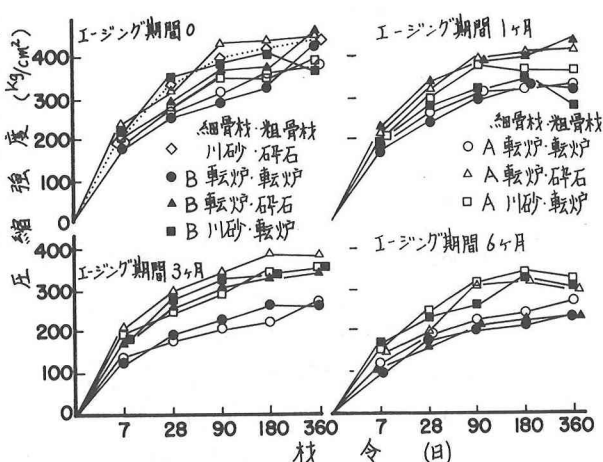


図2 圧縮強度と材令の関係

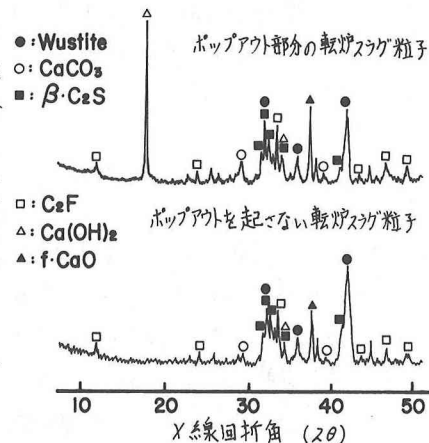


図3 X線回折図

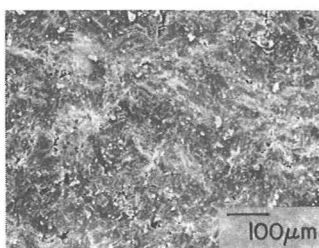


写真1 黒色スラグ粒子のSEM像

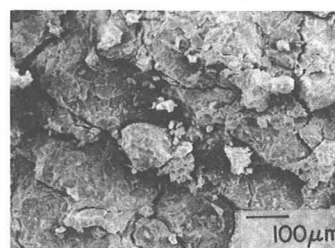


写真2 暗灰色スラグ粒子のSEM像