

溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートにおけるポップアウトの発生に関する検討

A study on the Occurrence of Pop-Out in Concrete Using Molten Slag Fine Aggregate

串田真基¹, 中田善久², 斉藤丈士³, 大塚秀三⁴, 藤巻慶太¹

Masaki Kushida¹, Yoshihisa Nakata², Takeshi Saito³, Shuzo Otsuka⁴, Keita Fujimaki¹

Abstract: The Experiment was Examined about The Outdoor Exposure the Concrete Specimen with a Molten Slag Fine Aggregate, We Investigated the Effects of Outdoor Exposure Period on the Occurrence of Pop-Out. In Addition, We Examined and Compared Occurrence Behavior of Pop-Out in the Mortar Specimens were Examined Already about whether to Match the Concrete Specimen.

1. はじめに

2008年に建築基準法では使用が認められていない溶融スラグ細骨材がレディーミクストコンクリートに混入し、これを用いたコンクリート構造物において構造物において多量のポップアウトが発生し¹⁾, 社会的な問題となった。その後の調査によると、このポップアウト(以下、POと省略する)の原因は溶融スラグ骨材に混入した酸化カルシウム(生石灰:CaO)であることがほぼ断定されており²⁾, 市販のCaO(以下、硬焼生石灰という)を混入させたPO試験方法が提案²⁾されている。しかし、この方法では、POの発生時期については不明な点が残る。また、モルタル供試体におけるPOの発生挙動がコンクリート供試体と一致するかも不明である。

そこで本研究は、POの発生時期を明らかにするために、硬焼生石灰を混入させた溶融スラグコンクリート供試体について屋外暴露を行い、POの発生に関する実験を行ったものであり、既報³⁾で述べたモルタル供試体との比較により検討を行っている。また、硬焼生石灰の粒子径とPO深さの関係を検討するために、硬焼生石灰には粒径の異なる2種類を用い、POの発生が終了した後にPOの核までの深さを調べた。

2. 実験概要

2.1 使用材料

試験に使用した材料は、普通ポルトランドセメント、水、山砂(君津市産)、溶融スラグ細骨材(C県N市)、砕石2005(青梅市産)、高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)ならびに市販品の硬焼生石灰(焼成温度:約1400℃, 焼成時間:約4時間)を粉碎・分級(0.6~1.2mmおよび1.2~2.5mm)したものである。

2.2 コンクリートの調合条件および供試体の概要

コンクリートの調合条件は、水セメント比50%、単位水量170kg/m³、単位粗骨材かさ容積0.56m³/m³、スランプ18±2.5cm、空気量4.5±1.5%とした。供試体は寸法を100×100×100(mm)とし、プラ版で仕切りを設けた鋼製型枠(100×100×400mm)を用いて1調合につき3個作製し

た。また、打込み後は温度20℃の湿気箱中(相対湿度90%以上)で24時間養生した後に脱型し、さらに温度20℃水中で24時間前養生した後に屋外暴露を行った。

2.3 実験の要因と水準

実験の要因と水準をTable 1に示す。溶融スラグ細骨材の置換率は、細骨材に対し体積比の割合とし、硬焼生石灰の混入率は、細骨材の質量に対する外割りとした。

2.4 供試体の屋外暴露方法

作製した供試体は、千葉県浦安市に2点支持で打設面を下にし、雨掛かりのある場所に設置した。各供試体の日射条件は同一になるように配置し、屋外暴露期間は26週とした。

2.5 試験方法

本実験における試験項目は、外観観察およびPO深さとした。外観観察は、コンクリート供試体を作製する際に鋼製型枠(長手方向)と接した両側面を対象とし、各屋外暴露期間(養生期間1, 4, 8, 13および26週)において、供試体表面がはく離し、はく離部分の中心部に核が認められた部分および目視または触診のいずれかにより凸状となっている部分をPOと判断し、そのPO数を記録した。POの核までの深さは、屋外暴露26週を経た供試体の測定面を0.5mmずつPOの核がなくなるまで研磨したときの研磨深さとした。

3. 結果および考察

3.1 ポップアウトの発生時期に関する検討

屋外暴露期間と単位面積当たりのPO個数の関係をFigure 1に示す。ここでは、細骨材に対する溶融スラグ

Table 1. Level Factors and Experiment

Factor of the Experiment	Change Factor
Replacement Ratio of Fine Aggregate to the Molten Slag	0%
	25%
	50%
Mixing Rate of Quicklime Baked Hard	0%
	0.03% 0.10%
Particle Size of Quicklime Baked Hard	0.6 ~ 1.2mm
	1.2 ~ 2.5mm

1: 日大理工・院(前)・建築 2: 日大理工・教員・建築 3: 日大生物資源・教員 4: ものづくり大・教員

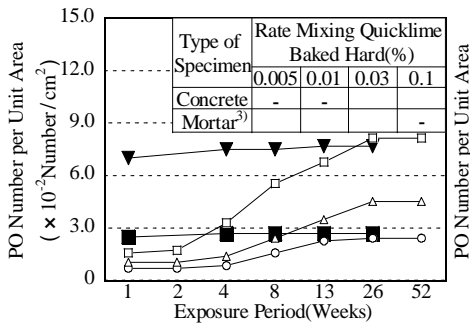


Figure 1. Relationship of Exposure Period and PO Number Per Unit Area

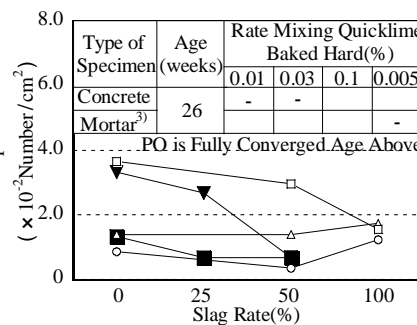


Figure 2. Relationship of Slag Rate and PO Number Per Unit Area

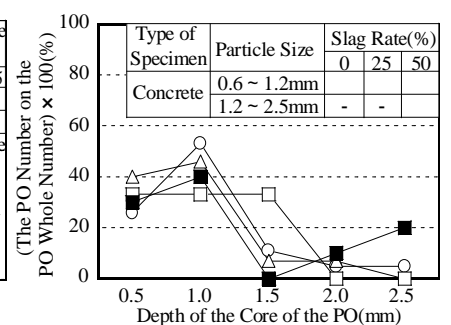


Figure 3. Relationship of Depth of the Core of the PO and PO Incidence

の置換率は考慮せず、全供試体に発生した PO の総数について検討している。なお、図中には既報におけるモルタル供試体の結果³⁾を併せて示している。単位面積あたりの PO 個数は、硬焼生石灰の混入率に関わらず、暴露開始 1 週で多く発生した。その後、暴露 13 週まで緩やかに増加し、暴露 13 週以降の増加は認められなかった。それに対して、既報のモルタル供試体における単位面積あたりの PO 個数は、硬焼生石灰の混入率が多い場合、暴露期間に伴い徐々に増加する傾向を示した。これより、PO 個数の暴露期間に伴う推移には、粗骨材の存在あるいは溶融スラグ以外の細骨材の種類(モルタル供試体の細骨材には標準砂を使用している)が影響した可能性がある。

3.2 溶融スラグの細骨材への置換率と単位面積当たりの PO 個数

溶融スラグの細骨材への置換率と単位面積当たりの PO 個数の関係を Figure 2 に示す。PO 個数は、硬焼生石灰の混入率が 0.1% の場合には溶融スラグの置換率の増加に伴い PO 個数が著しく減少したが、硬焼生石灰の混入率が 0.03% の場合は全体に PO 個数が少なく、溶融スラグ置換率の増加に伴う PO 個数の減少傾向も緩やかであった。また、溶融スラグ置換率が 50% の場合における PO 個数は、硬焼生石灰の混入率が 0.1% の場合と 0.03% の場合でほぼ同等であった。これは、既報におけるモルタル供試体において硬焼生石灰の混入率が高い場合に溶融スラグ置換率の増加に伴い PO 個数が減少し硬焼生石灰の混入率が低い場合に溶融スラグ置換率による影響があまり見られなかったこと、ならびに溶融スラグを 100% 使用した場合に硬焼生石灰の混入率による PO 個数の差が小さかったことと同様の傾向である。これより、硬焼生石灰混入率が多い場合、溶融スラグを使用すると PO 発生数を抑制できる可能性がある。

3.3 PO 深さに関する検討

屋外暴露期間 26 週における PO 深さと全 PO 発生数に対する各深さにおける PO 発生数の割合の関係を Figure 3 に示す。PO の核までの深さが 1.5mm までは硬焼生石灰の

粒子径による明確な傾向は見られなかった。これは、PO の発生が硬焼生石灰の分布状態に依存してしまうためと考えられる。しかし、PO 深さが 2.0mm および 2.5mm の場合、硬焼生石灰の粒子径が大きい場合、粒子径が小さい場合より PO 発生割合は大きくなる傾向を示した。これは、PO の発生に至る硬焼生石灰の吸水による膨張圧は核が供試体表面から深いほど大きくなると考えられるが、硬焼生石灰の粒子が小さい場合には反応量が少ないため膨張圧がそれ以上に高まらないことを示す結果と考えられる。

4. まとめ

溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート供試体を屋外暴露養生し、PO の発生時期および硬焼生石灰の粒子径と PO 深さの関係について検討を行った。この結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリート供試体における PO の発生は、屋外暴露期間 13 週で収束した。この期間は、モルタル供試体の 26 週よりも短かった。
- (2) 硬焼生石灰の混入率が高い場合、溶融スラグを使用すると PO 発生数が少なくなる傾向にあった。
- (3) 核までの深さが 2.0mm 以上の PO は、硬焼生石灰の粒子径が大きい場合にその発生割合が多かった。

5. 参考文献

- [1] 北辻政文: 溶融スラグの free-CaO に起因するコンクリートのポップアウト現象に及ぼす石灰石粒径および溶融時間の影響, 第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文, pp.401-402, 2010 年
- [2] 鈴木澄江, 真野孝次, 阿部道彦: 溶融スラグ骨材のポップアウトの確認試験方法に関する検討(その 1. モルタル供試体による促進試験方法), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.693-694, 2010 年 9 月
- [3] 藤巻慶太, 中田善久, 斉藤丈士, 大塚秀三, 串田真基: 溶融スラグ骨材を用いたモルタルにおけるポップアウトの発生に関する検討(その 3. 養生方法がポップアウトの発生に及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.485-486, 2013 年 8 月