ポップアウト発生の物理的条件に関する基礎的検討

住友大阪セメント株式会社　正会員　○佐藤　良恵
住友大阪セメント株式会社　正会員　小田部　裕一
住友大阪セメント株式会社　正会員　岡本　英明

１．目的

コンクリート中に存在する膨張性物質の反応によりポップアウト(PO 略)が生じることは一般的に知られているが，PO 発生時の物理的条件を検討した事例は少ない [1)]．そこで，本実験では生石灰により人工的に PO を発生させ PO 発生条件を確認するとともに PO 再現実験により PO 発生時の膨張圧を測定し，生石灰による PO 発生時の物理的条件を検討した．

２．実験概要

２．１　生石灰による PO 発生条件の確認

本実験では供試体寸法が 250×300×75mm となる木製型枠にコンクリートを打設し，打設面基盤状に生石灰を埋め込んだ．使用したコンクリートの配合を表 1 に示す．PO を人工的に発生させるための生石灰は炭焼石灰を使用した．生石灰をコンクリート打設面に埋め込む際の条件として，生石灰は 5mm 程度の単一粒径のものを用い，埋め込み深さの目安は 5，10，15，20mm とし，それぞれの条件について 5 個の生石灰を埋め込んだ．供試体は打設後 1 日間 20℃恒温室内に存置した後 27 日間 20℃の水中で養生し，PO の発生状況を確認するとともに，PO 発生箇所において生石灰反応前のかぶり深さ(図 1)を測定した．

表1　コンクリートの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m³)				混和剤(C×%)	
	W	C	S	G	AE 減水剤	AE 剤
55	180	327	787	970	0.7	0.002

C：普通ポルトランドセメント，密度3.15g/cm³
S：陸砂，密度2.58 g/cm³，吸水率2.14%
G：砕石，密度2.66 g/cm³，吸水率0.60%

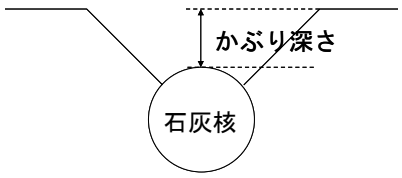

図１　生石灰反応前のかぶり深さ

２．２　PO 再現実験

本実験で使用した試験装置の概要を図 2 に示す．コンクリート表面付近に存在する生石灰の体積膨張は拘束が強い横方向（表面直角方向）より拘束の弱い縦方向（表面方向）に作用すると考えられるが，本実験ではモルタル供試体中にゴムキャップを取り付けた注射器を埋め込み，油圧ポンプでゴム先端に圧力を注入することでゴムキャップ部分において生石灰と同様の体積膨張を生じさせ PO を再現した．試験要因としてゴムキャップのかぶり深さを 2.5，5.0，7.5mm，モルタルの目標圧縮強度を 10，20，30，40N/mm^2 とし，それぞれの条件について 2 個ずつ供試体を作製し，PO 発生時のかぶり深さと油圧ポンプの圧力を測定した．

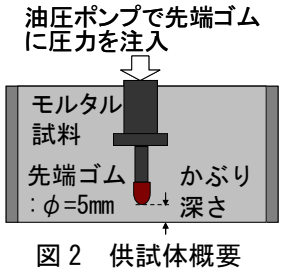

図２　供試体概要

３．実験結果および考察

３．１　生石灰による PO 発生条件

生石灰による PO の発生状況を表 2 に示す．生石灰の埋め込み深さ 5mm および 10mm では PO が発生したが，埋め込み深さ 15mm および 20mm では PO は発生しなかった．PO 発生後の測定結果より，埋め込み深さ 10mm で PO が発生した箇所での生石灰反応前のかぶり深さは 5.19mm であり，今回の実験範囲からは生石灰の PO はかぶり深さ 5.19mm 以上では発生しないものと判断できる．また，PO は打設後 1～5 日の間に生じており，PO 発生時のコンクリートの圧縮強度は 10～35N/mm^2 であった．

キーワード　ポップアウト，生石灰，力学的特性，かぶり厚さ
連絡先　〒274-8601 千葉県船橋市豊富町 585 番地 住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所 TEL 047-457-0091

表 2　生石灰による PO 発生状況

埋め込み深さ	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	PO 発生時期	かぶり深さ (mm)	PO 発生時期	かぶり深さ (mm)	PO 発生時期	かぶり深さ (mm)	PO 発生時期	かぶり深さ (mm)	PO 発生時期	かぶり深さ (mm)
5.0	2	0.60	1	2.15	1	2.24	5	1.25	2	0.25
10.0	5	5.19	PO 発生なし							

＊ PO 発生時期は打設からの日数，埋め込み深さ 15.0mm および 20.0mm では PO 発生なし

３．２　PO 再現実験

PO 再現試験における PO 発生時のかぶり深さ実測値とポンプ圧力の関係を図 3 に示す. 図 3 から，モルタル強度が高いほど PO 発生時のポンプ圧力は高く, モルタル強度が同一の場合には, かぶり深さが大きくなるほどポンプ圧力が高くなる傾向が見られた．また，かぶり深さ 2.5mm 付近ではモルタル強度にかかわらず PO 発生時のポンプ圧力は約 20MPa であった．つまり，PO 発生をもたらす膨張成分が表層付近にある場合にはその膨張圧は周囲の硬化体強度に依存しないと考えられる.

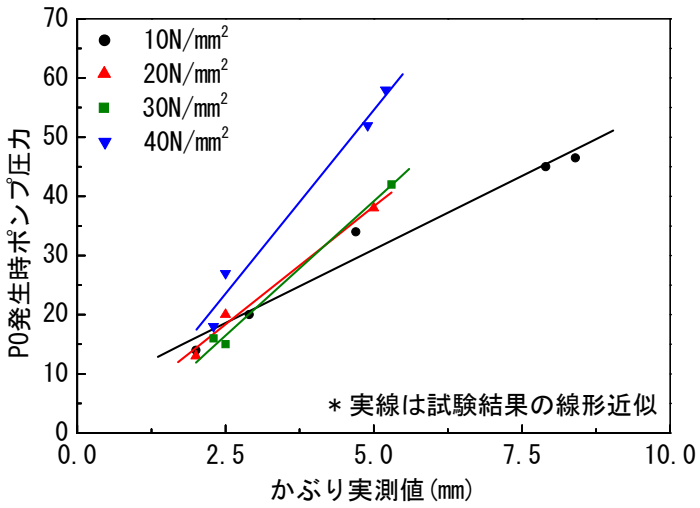

図 3　PO 発生時のかぶり深さとポンプ圧力

更に，これら結果から，ポンプ圧力を従属変数, モルタル強度およびかぶり深さを独立変数とした重回帰式は式(1)のように示されることが分かった.

$$P=6.8D+0.54\,f_m-9.89 \qquad R^2=0.8504 \tag{1}$$

ここで，P はポンプ圧力(Mpa)，f_m はモルタル強度(N/mm^2)，D はかぶり深さ(mm)である.

生石灰による PO 実験においては，コンクリートの圧縮強度 35N/mm^2，生石灰反応前のかぶり深さ 5.19mm が PO 発生の限界条件であった．この条件における生石灰の膨張圧を PO 再現実験のポンプ圧力に置き換えた場合，式(1)より 44(=6.8×5.19+0.54×35-9.89)MPa であると算出される．つまり，PO 発生時の生石灰の膨張圧は一つの目安として 44Mpa 程度であると推察される.

また，生石灰による PO 発生時の膨張圧が上記数値であると仮定した場合，式(1)を用いることにより，PO 発生が予想される箇所の補修材の強度および部材厚さの設計が可能となる.

４．結論

本実験では生石灰により人工的に PO を発生させ，PO の発生状況を確認するとともに，特殊な装置を使用して PO 再現実験を行った．両者の試験結果を関連付けることにより，PO 発生時の生石灰の膨張圧を推定することができた．また，PO 再現実験から得られたモルタル強度およびかぶり深さをパラメータとしたポンプ圧力（生石灰の膨張圧を想定）の算定式より PO 発生予想箇所における補修材の強度および部材厚さの設計が可能となった.

参考文献

1) 池田尚治，石川寿秋，原田修輔，菊池雅史：溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの安全性に関する評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，2009