

## 高炉スラグ微粉末を添加したセメントペースト硬化体の空隙構造に関する一考察

名古屋工業大学 正会員 ○吉田 亮  
 東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治  
 帝京科学大学 正会員 浅賀 喜与志  
 帝京科学大学 伊藤 慎祐

## 1. はじめに

高炉セメント硬化体の内部が暗緑から緑青を呈色することは周知の事実である。その呈色が発生する理由には、高炉セメント硬化体中の雰囲気還元性であり包含される Fe や Mn の酸化状態が変化することなど、化学的要因が挙げられている<sup>1)</sup>。

本研究では、この呈色が養生によることを確認しており、高炉スラグ硬化体における呈色がポズラン反応の進行と関係があると考え、呈色・非呈色部の化学組成と空隙構造について検討を行った。

## 2. 試料諸元および測定方法

## 2.1 試料作製

試料は、高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメント質量の 45% となるように内割で置換したセメントペーストである。W/B は 0.30, 0.45, 0.60 であり、30×60×15 mm の型枠を用いて作製した。打設 1 日後から、水中・封緘・気中の各種養生を行い、材齢 10 箇月の時点で X 線回折および水銀圧入による試験を行った。

養生による呈色の様子は、水中養生でその断面が一律に濃い暗緑色を呈し、気中養生では呈色が全く確認できない。そして封緘養生では図-1 のように、試料の内部に呈色部が分布すると確認できた。

## 2.2 X 線回折

封緘養生をした W/B = 0.45 の試料を図-1 のように、緑青を呈色した部位と非呈色部に分け、水銀圧入試験同様、アセトン浸漬と D-dry による乾燥処理を行い、その後粉末とし、X 線回折による同定分析に用いた。

2.3 水銀漸次繰返し圧入法<sup>2)</sup>

連続空隙とインクボトル空隙を分離抽出する水銀漸次繰返し圧入法を用いて空隙構造の分析を行った。試料サイズは 5mm 程度とした。

## 3. 実験結果

## 3.1 呈色部および非呈色部の化学成分における相違

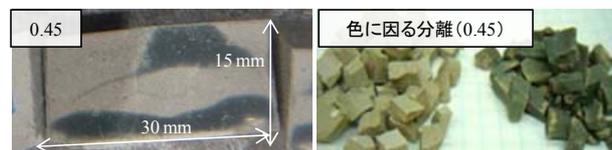


図-1 封緘養生試料断面における呈色部の分布

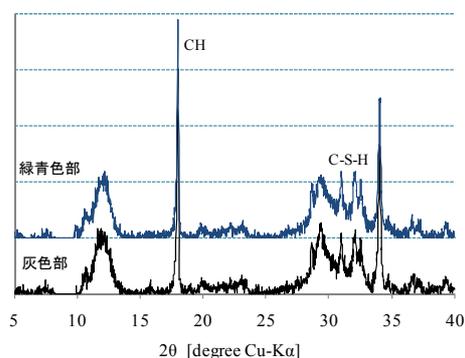


図-2 スラグセメントペーストにおける呈色部と非呈色部の比較 (X 線回折チャート Back ground 処理)

図-2 に封緘試料から得た呈色部と非呈色部の X 線回折チャートを比較する。ピークの位置と大きさがほぼ同じであることから、主成分に相違はないと考えられる。既往研究<sup>1)</sup>に示されるよう、Fe など微量成分の違いによる差異が呈色の要因として考えられる。また、CH や C-S-H の増減に関しては、それぞれのピークに表れる変化が極僅かであり、明確な差異を得ていない。

## 3.2 呈色部および非呈色部の空隙構造における相違

図-3 に各種養生をした試料の累積細孔量曲線を示す。水中養生をした試料のしきい細孔径は 20 nm 程度と非常に緻密である。水中養生、W/C = 0.30 の普通ポルトランドセメントペーストのしきい細孔径が 30~40 nm であることを考慮すると、得られたしきい細孔径はポズラン反応による更なる緻密化で形成されたと考えられる。また、全空隙量は他の養生をした試料と比べて極端に減少しないが、20 nm 以下で観察されるインクボトル空隙量が顕著に増加していると分かる。ポズラン反応に因る緻密化は 20 nm のボトルネック空隙を形成

キーワード：空隙構造，インクボトル，水銀圧入法，高炉スラグ

連絡先：〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 Tel: 052-735-5125

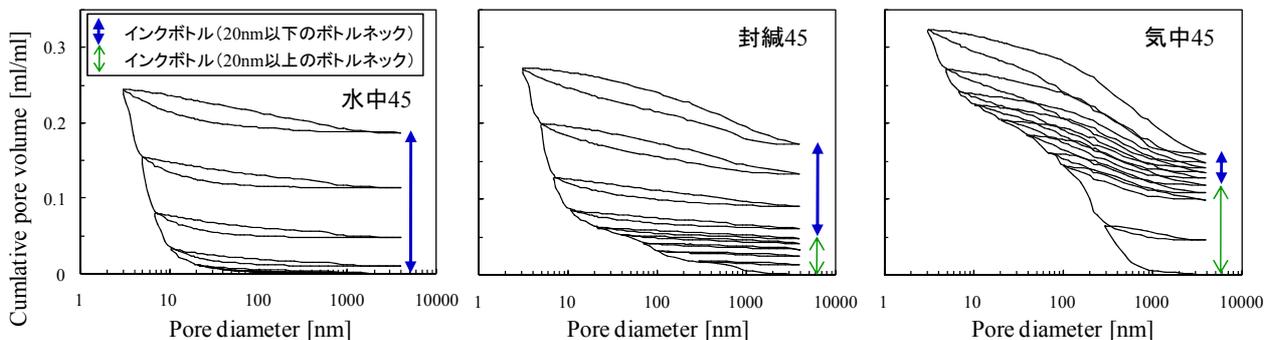


図-3 各種条件下で養生したスラグセメントペーストの空隙構造 (累積細孔量曲線)

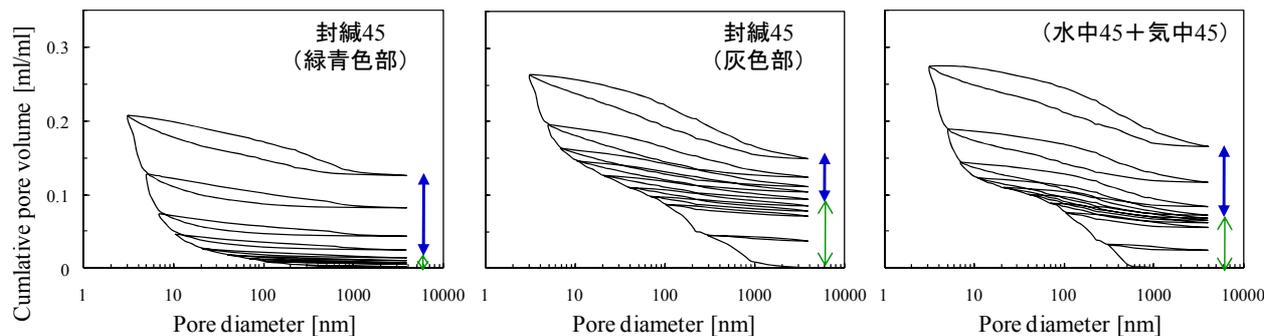


図-4 封緘養生試料における呈色部・非呈色部の空隙構造, 水中養生試料+気中養生試料の累積細孔量曲線

しインクボトル空隙とすることで、硬化体内の物質移動抵抗性を特段に向上させると考えられる。一方、気中養生試料のしきい細孔径は  $1000\text{ nm}$  であり、インクボトル空隙のほとんどが  $100\text{ nm}$  以上に表れる特徴をもつ。また、封緘養生試料の累積細孔量曲線は  $20\text{ nm}$  以下において水中養生の特徴を、そして  $20\text{ nm}$  以上で気中養生の特徴を観察できる。

図-4 左・中央には封緘養生試料を緑青色部と灰色部に分け、それぞれの累積細孔量曲線を示す。緑青色部の累積空隙量曲線では、 $20\text{ nm}$  以下において著しい量のインクボトル空隙が観察され、そのしきい細孔径も小さくなり、曲線全体の形状も水中養生試料の曲線に近づく。一方、灰色部の累積細孔量曲線では、しきい細孔径が  $1000\text{ nm}$  である特徴、そしてインクボトル空隙のほとんどが  $100\text{ nm}$  以上に表れる特徴と、分離することで気中養生の特徴が明確になり、曲線全体の形状も気中養生試料の形状に近づくと分かる。このように、緑青色部では水中養生、灰色部では気中養生の特徴が観察されることには、高炉スラグ硬化体の色が養生の良悪を判断する材料になると示唆される。

水中および気中養生の特性を併せ持つ封緘養生試料の累積細孔量曲線を、それぞれの養生をした試料を足し合わせて試験を行い、疑似的に表現した曲線が図-4 右である。 $20\text{ nm}$  以下に表れる水中養生試料の特徴、そして  $100\text{ nm}$  以上における気中養生の特徴が保存されて

おり、曲線全体の形状も図-3 中央に示した本当の封緘養生試料における累積細孔量曲線に近い。ただし疑似曲線では  $20\sim 100\text{ nm}$  の範囲においてインクボトル空隙が本当の封緘養生試料と比較して少ない。これは、本当の封緘養生試料では、 $20\text{ nm}$  程度の緻密なボトルネック空隙が水中養生試料ほど綿密に形成されず、キャピラリー空隙の分断が進行しないことを示唆していると考えられる。

#### 4. まとめ

高炉スラグ微粉末を添加したセメントペースト硬化体が有する呈色および非呈色部の空隙構造を分析した。封緘養生試料に分布する呈色部では水中養生をした試料における空隙構造の特徴、そして非呈色部では気中養生をした試料の空隙構造の特徴をもつと示唆された。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤研究(A) 21246069)により実施致しました。ここに記し深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 依田彰彦：高炉セメントコンクリートの内部が青く見えるわけ，C & Cエンサイクロペディア，セメント協会，ppt.186, 1991.
- 2) 吉田亮，岸利治：水銀の漸次繰返し圧入による空隙の連続性抽出と有効圧力範囲に関する研究，東大生研研究速報，60巻，5号，pp.126-129, 2008.