

## 混和材を用いたセメントペーストの空隙分布および水分保持性能の検討

埼玉大学 学生会員 ○加藤 優典

埼玉大学 正会員 浅本 晋吾

埼玉大学 学生会員 辻 貴大

(財)電力中央研究所 正会員 蔵重 勲

### 1. まえがき

近年、産業副産物である高炉スラグまたはフライアッシュをコンクリートの混和材として積極的に利用することが社会的に求められており、これらを混和したコンクリートの諸物性を把握することは肝要である。特にコンクリートの微細空隙内における水分の移動、保持のメカニズムの解明は、収縮をはじめ、中性化などの劣化現象を考慮する上で重要な手がかりとなる。そこで本研究では、各混和材を混和したセメントペーストの空隙分布の情報をもとに、水分保持性能について検討を行った。

### 2. 実験概要

#### (1) 水分測定試験

セメント硬化体の毛細管空隙、ゲル空隙内の液状水と層間空隙内の層間水を分離して測定するために、既往の研究<sup>1)</sup>に倣い、エタノールによる水分抽出法を用いた。親水性のあるエタノールにセメント硬化体を浸漬させ、毛細管空隙、ゲル空隙中の液状水のみがエタノールに溶出されると仮定し、溶出された水分量を計測することで、液状水を求め、総水分から液状水を減じることで層間水を求める方法である。以下に、実験試料の概要および液状水、層間水、総水分の算出方法を示す。

普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を内割質量置換で30%および60%混入したペースト(以下、BS30、BS60)、フライアッシュを内割質量置換で20%混入したペースト(以下、FA)、および混和材無混入(以下、OPC)のペースト試料を作製した。水セメント比および水粉対比はいずれも50%である。水和反応を十分に進行させ、試料内の物性を均等にするため、試料は1cm厚の板状とした。打設1日で脱型後、20℃にて60日間程度水中養生を施した。養生終了後、試料の乾燥を円滑にするため、試料を1cm角に粉砕し、試料表面が乾くまで1時間程度室内で乾燥させ、飽和状態のイニシャル質量を計測した。質量計測後、試料を、温度20℃、調湿剤を用いて相対湿度を約20、60、80%に保ったデシケーター内にそれぞれ質量減少が平衡に達するまで静置した。飽和状態(相対湿度100%)も検討するために、粉砕後水中に浸漬させた試料も用意した。また、液状水と層間水を含めた総水分量を求めるため、飽和状態から105℃絶乾炉内で3日間乾燥させ、絶乾時の質量も計測した。ペーストの単位質量あたりの総水量(ml/g)は、イニシャル質量から絶乾後の質量変化量をイニシャル質量で除し、それを水の密度で割り算出した。

各乾燥条件下で平衡に達した各試料、水中で飽和状態の試料をエタノールに浸漬し容器を密閉し、約35日間20℃に保たれた室内に静置し液状水をエタノールに抽出させた。エタノールに溶出した水分量をカール・フィッシャー電量滴定法による微量水分測定装置で計測し、得られた液状水量をイニシャル質量で除し、水の密度で割ることでペーストの単位質量あたりの液状水量(ml/g)を算出した。ペーストの単位質量あたりの層間水量(ml/g)はペースト単位質量あたりの総水量からペーストの単位質量あたりの液状水量を差し引くことで算出した。

#### (2) 空隙分布測定試験

水分測定試験で使用した試料を用いて水銀圧入試験を行った。エタノール浸漬試験終了後、4~5角に粉砕した試料に120時間D乾燥を施し、水銀圧入式ポロシメータを用いて試料の細孔容積を測定した。水銀の表面張力を0.484N/m、水銀と試料の接触角を130°とした条件の円筒形モデルを用いて、直径3.3nm~360μmの範囲を対象に行った。試験結果は、2回の測定の平均値とした。

キーワード 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 水分保持, 液状水, 層間水, 空隙分布

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 埼玉大学大学院 理工学研究科建設材料工学研究室

### 3. 実験結果および考察

まず、セメント硬化体の水銀圧入法で得られた累積細孔容積とエタノール抽出で得られた飽和状態における各試料の液状水量の関係について考察する。水銀圧入法では直径約 3nm 以上の空隙の計測が可能であるため、その累積細孔容積は毛細管空隙と大部分のゲル空隙の容積に相当すると考えられ、飽和状態でエタノールに抽出される液状水量と概ね一致すると考えたのである。図-1 に、各試料の累積細孔容積と液状水量の比較を示す。累積細孔容積の方が若干大きいものの、混和材添加による液状水の存在する空隙増加の傾向は、累積細孔容積と液状水量で整合がとれている。累積細孔容積が液状水量を上回る理由としては、インクボトル効果による小径空隙の過大評価、水銀圧入における過剰圧入による空隙の破壊などが原因として考えられる。BS30、BS60 に比べ、FA は液状水量が多くなることから、スラグよりフライアッシュを混和した方が液状水の存在する空隙(毛細管空隙、ゲル空隙)が増えることが分かる。また、BS30 に比べ BS60 を比較すると、スラグの混和量が増加するにつれて、毛細管空隙、ゲル空隙が増えることが分かる。

次に、混和材を用いたペーストの層間水量について述べる。図-2 に、飽和時における各試料の総水量の内訳を示す。OPC と比較し、混和材を混入したペーストはいずれも層間水量が大きくなった。特に、BS60 の層間水量は多く、スラグの混和量の増加とともに層間水量が増加した。

最後に、各ペーストの相対湿度約 20、60、80%における液状水の保持量について検討する。図-3 に、各試料の相対湿度に対する液状水保持量を、図-4 に各試料の累積細孔容積を示す。相対湿度が低くなるにつれ、BS30 および FA の液状水保持量が OPC の液状水保持量と同等かそれより小さいことが観察される。図-4 より、BS30、FA は径 10nm~100nm 付近における空隙が多く存在しており、この空隙に存在する液状水が相対湿度の低下に伴い多く逸散しているために、飽和状態の液状水量は OPC より多いものの、乾燥時には OPC とあまり変わらない液状水保持量になったと考えられる。BS60 は、水銀圧入法で計測されなかったゲル空隙を含め、他の試料より空隙が緻密であるために、各乾燥環境下で液状水の保持量が高くなったと推察される。

### 4. まとめ

- (1) エタノール抽出によって得られる飽和時の液状水量は、水銀圧入法によって得られる累積細孔容積と概ね一致し、各混和材による毛細管空隙、ゲル空隙の増大の傾向を捉えることができた。
- (2) 混和材を用いたペーストは、混和材無混入のペーストに比べ層間水量が大きくなった。
- (3) 液状水相対湿度の低下に伴い、空隙径 10nm~100nm に存在する液状水が多く逸散することが示唆された。

### 参考文献

- 1) 石田哲也ほか：温湿度履歴に関するセメント硬化体中の水分平衡・移動モデルの高度化，土木学会論文集，No.795/V-68，pp.39-54，2005.8

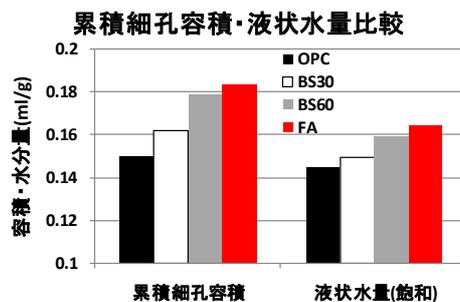


図-1 累積細孔量と液状水量の比較

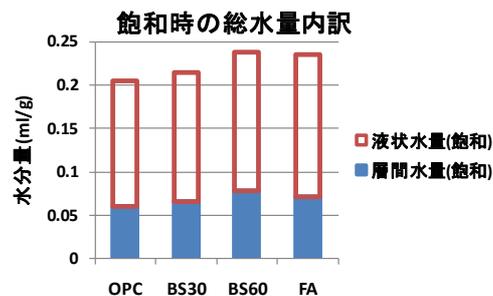


図-2 総水分保持量の内訳

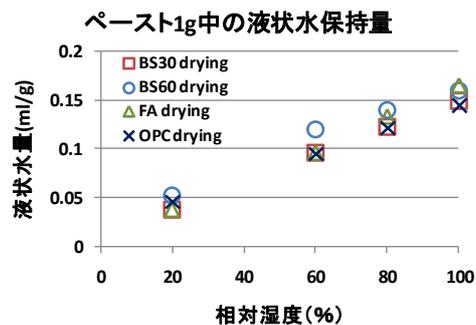


図-3 各相対湿度における液状水保持量

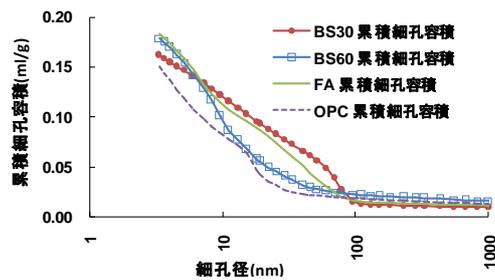


図-4 累積細孔容積分布