異なる湿度環境下における高炉スラグ微粉末を用いたセメントペースト硬化体の透気性状に関する研究

名古屋工業大学大学院　学生会員　○落合　昂雄
名古屋工業大学大学院　正会員　吉田　亮
東京大学生産技術研究所　正会員　岸　利治
名古屋工業大学大学院　フェロー　梅原　秀哲

1　はじめに

高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートでは、高炉スラグ微粉末の置換によりセメント量が減少するため、水和生成物である水酸化カルシウムの量が低下する。これに加え、高炉スラグの有する潜在水硬性により水酸化カルシウムが消費されるために pH が低下する。そのために無混和と比較して中性化の進行が早いとされる。高炉スラグ微粉末を混和した供試体に対して促進中性化試験および自然暴露による中性化試験をそれぞれ行うと、置換率の増大に伴い試験結果に相違が生じるとの報告がある[1)]。これは、一定の相対湿度下で行う促進中性化試験と異なり、自然暴露では季節や天候等により生じる温度・湿度環境の変化に起因すると考えられている。

本研究では気体の透過性を透気試験により評価することで、中性化試験の代替とした。そして混和材種の異なるセメントペースト硬化体を作製し、異なる外部相対湿度環境下において調湿した後に透気試験を実施することで、湿度変化が透気性状に与える影響について検討を行った。

2　実験概要

2．1　使用材料・配合

セメントは普通ポルトランドセメント(O)を使用し、混和材として高炉スラグ微粉末(B)およびフライアッシュ(F)をそれぞれ内割で 45%、25%置換した。供試体はセメントペースト硬化体とし、水結合材比(W/B)を 30%、45%、60%の 3 水準としてセメントペーストを 30×60×15 mm の型枠を用いて作製した。供試体は打設した翌日に脱枠し、材齢 2 年 9 カ月まで水中養生(W)を行った。また本研究では、供試体の識別を OW30 のように結合材種類、養生条件、W/B の順に記号で表す。

2．2　透気試験

透気試験の供試体は、上記の試料を割裂し、湿式の研磨機を用いて約 30×20×15 mm の直方体に整形し、アセトン中で超音波洗浄を行った。その後、恒温恒湿槽(20℃、R.H.= 60%)内で試料質量が安定するまで静置し、透気面以外の 4 面にエポキシを塗布した。そして供試体の周囲にエポキシ樹脂を流し込み、供試体を中心とした直径 50 mm、厚さ約 15 mm の円盤状に加工した。透気試験は負荷圧力を 0.2～0.6 MPa の範囲で行い、試験体内部を透過した空気の流量が定常となった後、水上置換法により透過量を求めた。また本研究では、供試体を静置する湿度環境を変化させて測定を行った。まず恒温恒湿槽(20℃、R.H.= 60%)内で静置した供試体に対して 1 ヶ月程度の期間を空けて 2 回の透気試験を行った。その後、20℃、R.H.= 90%のデシケータ内で 4 日間、そして 20℃、R.H.= 80%のデシケータ内で 3 日間静置して再度透気試験を行った。

3　実験結果および考察

図 1(a)～(c)に結合材種別に湿度環境変化による透気係数の変化を示す。本研究では供試体を静置する湿度環境を変化させたが、**図 1(a)、(b)**に示した普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュを用いた供試体の透気係数では、湿度環境による透気係数の大きな変化は確認できない。また FW45 をはじめとして、高湿度環境下での静置後に透気係数が大きくなった供試体があり、これは測定誤差とも考え得るが、供試体内部に残存する水分が移動することで閉塞されていた移動経路が開孔したことに起因すると考えられる。つづいて**図 1(c)**に示す高炉スラグ微粉末を用いた供試体では、湿度変化による透気係数への影響が顕著であることが確認でき、R.H.= 60%内で 1 ヶ月程度静置したことでいずれも透気係数は大きくなり、高湿度環境下に静置後では透気係数が小さくなる傾向を確認

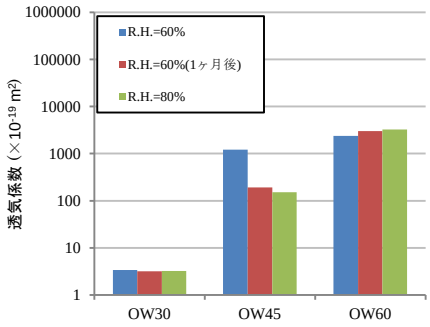

図 1(a)：透気係数(OPC)

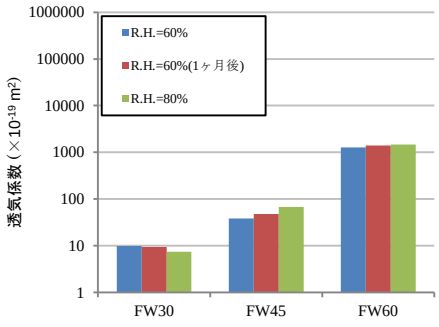

図 1(b)：透気係数(FA)

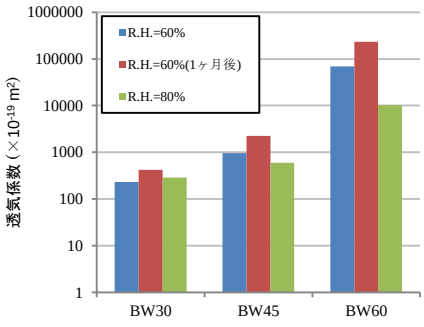

図 1(c)：透気係数(BFS)

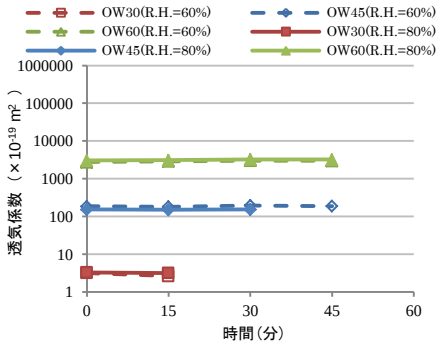

図 2(a)：透気係数の経時変化(OPC)

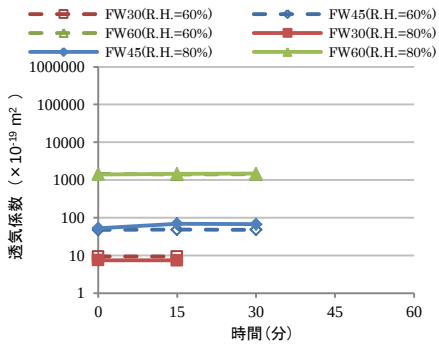

図 2(b)：透気係数の経時変化(FA)

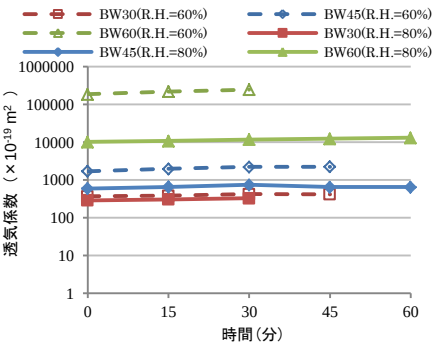

図 2(c)：透気係数の経時変化(BFS)

できる。つぎに**図 2(a)～(c)**に供試体を透過した空気の流量が安定するまでの透気係数の経時変化を結合材種別に示す。本研究における透気試験では、透過した流量が安定するまで 15 分間隔で測定を数回行った。**図 2(a)、(b)**に示すように普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュを用いた供試体では、湿度環境を変化させたことによる大きな影響は確認されない。しかし**図 2(c)**に示す高炉スラグ微粉末を用いた供試体では、高湿度環境に静置したことで透気係数が小さくなり、また透気試験を行った際に供試体を透過した空気の流量が安定するまでに要する時間が長くなるといった供試体内部における湿度環境の変化による影響を確認できる。**図 1、図 2** から確認できるこれらの傾向は、いずれも W/B が高い程に顕著である。既往の研究において、高炉スラグ微粉末を混和した場合、しきい空隙径の狭小化、インクボトル空隙量の増加などが報告されている [2)]。この報告から普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュを用いた供試体と比較し、高炉スラグ微粉末を用いた供試体にはボトルネック空隙が多数存在することが考えられる。本研究における結果と合わせて考えると、R.H.= 60%内に静置した期間に乾燥が進行し、ボトルネック空隙が開孔され物質移動経路が増えることで透気係数が大きくなり、高湿度環境下(R.H.= 80～90%)における静置後はボトルネック空隙に水分が凝縮され閉塞することにより物質移動経路が減ることで透気係数が小さくなったと推測される。この湿度変化に大きく影響される透気係数の変化は、高炉スラグ微粉末を混合した供試体のボトルネック空隙が物質移動経路に多数存在することを示唆している。今後、湿度環境の変化に伴う透気係数の変化とインクボトル空隙量との関係を詳細に検証する必要がある。

4 まとめ

混和材種の異なるセメントペースト硬化体に対し、湿度環境を変化させ調湿した後に透気試験を行った。高炉スラグ微粉末を混和した供試体では、湿度環境の変化による透気係数に対する影響が顕著であることが確認できた。この透気性状における湿度依存性には、高炉スラグ微粉末を混和した供試体は多くのボトルネック空隙を有するため、実環境などの高湿度環境下では気体の移動経路の大半が閉塞されていることが示唆される。

参考文献: 1) 中本純次, 戸川一夫: 自然環境条件下における高炉スラグ高含有コンクリートの中性化に関する研究, 土木学会第 49 回年次学術講演会, pp388-389, 1994.9

2) 吉田亮, 岸利治：水銀漸次繰返し圧入法によって観察される OPC・BFS ペースト硬化体の空隙構造の相違, 第 65 回セメント技術大会, 社団法人セメント協会, pp.38-39, 2011.5