

養生温度と湿度が高炉セメント中のスラグ微粉末の反応に与える影響

芝浦工業大学工学部
新日鐵高炉セメント(株)技術開発センター

○伊代田岳史・松崎晋一郎・藤間祐輔
大塚勇介*

1. まえがき

地球温暖化対策の一つとしてセメント製造時のCO₂ガス排出量を抑制できる高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの需要は、近年さらに増加すると想定される。しかし一方で混合セメントの利用により不具合が発生しているとの報告もあり、養生の重要性に着目されつつある。コンクリート標準示方書ならびにJASS5では普通ポルトランドセメントを用いた場合より養生日数を長くするように環境温度ごとに設定されているが養生時の水分についてはあまり検討されていない。そこで本研究では養生時の温度と湿度を変化させた環境下での水和反応の経過を普通ポルトランドセメントと高炉セメントで比較し、養生時に確保すべき水分についての考察を加えた。これにより養生時に確保すべき湿度環境の下限値を提示するとともに、既設構造物における水和解析の一助となることを望む。

2. 実験概要

普通ポルトランドセメント(N)と石こう無添加の高炉スラグ微粉末(粉末度 4000cm²/g)を40%置換した試製高炉セメントB種(BB)の二種類のセメントでW/C50%のセメントペーストを作成した。試験体は、全断面から均一に養生環境の影響を受ける様、20×30×10mmとした。試験体の作成は20℃に設定された試験室にて行い、24時間後に脱型し、各種養生条件に暴露した。ただし、試験体内の水分逸散により養生箱の設定湿度が変化することを避けるために所定の温湿度環境に暴露する前に2~3時間大気中にて乾燥させた。設定した養生環境は温度7.5, 20, 40℃、湿度RH40, 60, 80%と封緘の組み合わせとした。また湿度環境の設定には大気中の炭酸ガスによる中性化で組織が変化することを防ぐために小型デシケーター内に水酸化ナトリウムを濃度調整して行った。なお、湿度調整誤差は±3%以内とした。

試験体の反応度測定方法として、強熱減量法とサリチル酸アセトンメタノール溶液による選択溶解法を用いた。強熱減量法では高炉スラグ微粉末の結晶化による増量を考慮して700±25℃にて1時間強熱し、2回の測定結果の平均値を試験結果とした。また選択溶解法はCAJS

I-60-1982に基づいて実施し、3回の平均値を試験結果とした。なお、試験は脱径直後と材齢3, 7, 28日で行った。また、20℃で試験をした試料では養生湿度による水和物の解析を実施するために、同一試料を粉碎しCHと炭酸カルシウム量の定量をTG-DTAで、水和解析をTOPASによるRietveld解析で実施し、相組成を算出した。

3. 試験結果と考察

3.1 強熱減量法により水和進行調査結果

図1, 2に各養生環境下における結合水率を整理した。いずれのセメント種、温度条件下においても封緘養生で

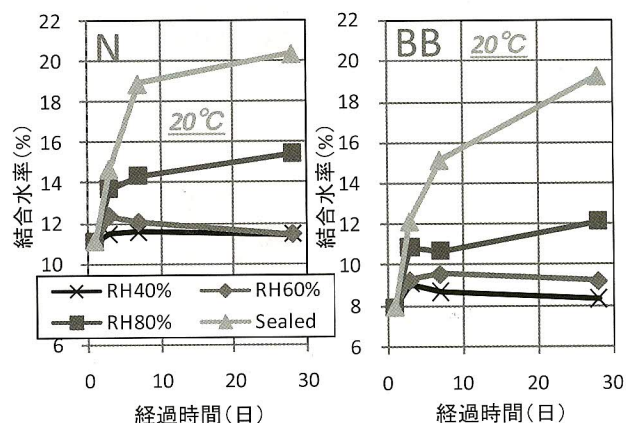


図1 養生条件の相違による結合水率の違い

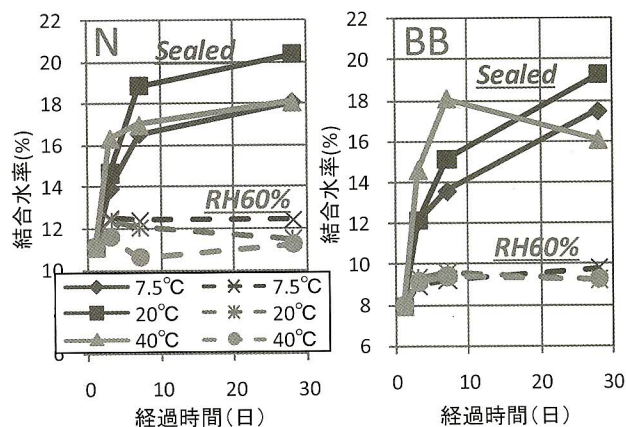


図2 温度の相違による結合水率の違い

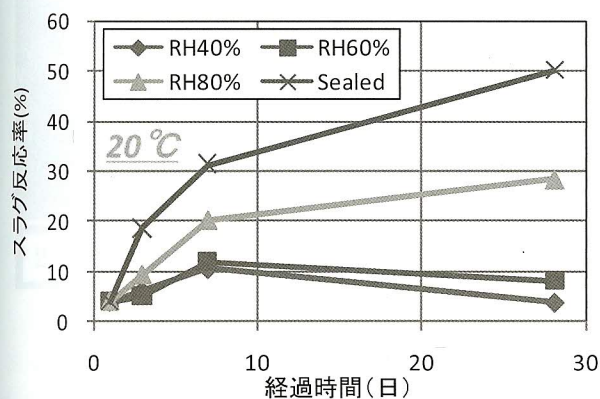


図3 養生条件の相違によるスラグ反応率

は材齢とともに水和反応が進行していることがわかる。また、養生湿度が低くなるほど初期における結合水率が低くなっており、水和が停滞した様子がうかがえる。また、RH60%と RH40%ではその差はほとんど見られないことから、乾燥条件下では水分不足によりが停滞してしまうといえる。一方、RH80%程度であれば結合水率は封緘養生と比較すると低いものの、材齢に応じて水和は進行していることが認められ、水和の進行に必要な養生時水分として RH60%~RH80%の間に下限値が存在するといえる。温度による影響では、低温ほど水和進行が遅延するのに対し、高温環境では初期に水和が進行しその後は停滞してしまう様子がうかがえた。

3.2 選択溶解法による水和進行調査結果

図3,4に選択溶解法で算出した高炉スラグ微粉末の反応率を示す。結合水率と同様、水分が存在すると考えられる封緘養生ほど反応度が大きく、乾燥条件下である RH40%ならびに RH60%では反応が停滞している。温度条件では、低温ほど水和が遅延しており材齢28日における反応度は低くなっている。また低温では RH80%においても反応は停滞し RH60%と同程度であったが、高温では封緘養生の結果に近接しており、高温ほど反応の進行が早く活性化していると推定できる。

3.3 反応生成物調査結果

図5はBB試験体における材齢28日経過時で実施したTG-DTAによる水酸化カルシウム (CH) と炭酸カルシウム (CaCO₃) の定量を試みた結果である。これより、RH40%と RH60%では生成物の量がほとんど同じであり、結合水率ならびにスラグ反応率の結果を裏付けるものとなった。また図6はXRD-Rietveld解析による材齢28日時の硬化体組成を表したものである。これより、未水和鉱物の残量はRH40,60%では同程度に対し、RH80%、封緘養生により残量が減少し、水和進行しているといえる。また、水和生成物の種類にはほとんど差が認められず、水和生成物量に若干相違が認められることから、乾燥により水分が逸散したことで水和が停止したと考えられる。

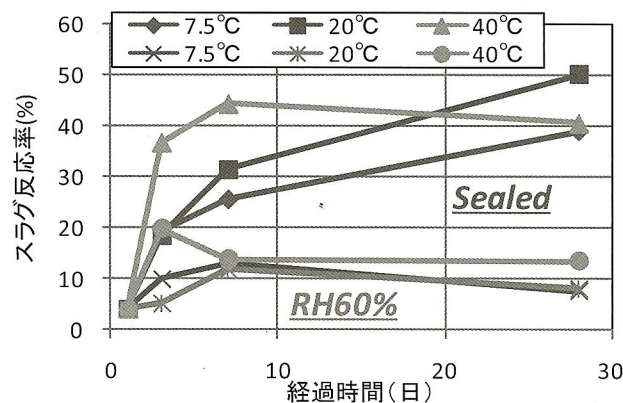


図4 養生温度の相違によるスラグ反応率

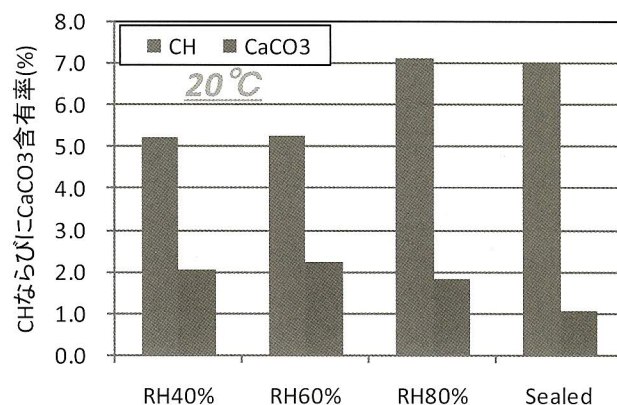
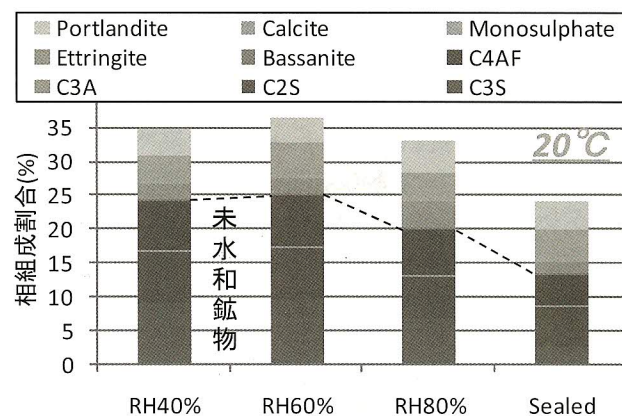
図5 TG-DTAによるCH、CaCO₃含有率

図6 XRD-Rietveldによる硬化体組成

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 養生時の温度ならびに湿度の相違により、結合材の水和反応の相違を定量的化できた。
- (2) 結合材全体として、養生時の温度に関わらず湿度が RH60%では水和は停止し、RH80%程度で水和は進行することがわかった。このことからこの間に水和に必要な最低湿度が存在するといえる。
- (3) 高炉セメントを用いる場合、養生温度と湿度をある程度保つことが水和反応の側面からも重要であることがわかった。