

V-213 環境湿度がアルカリ・シリカ反応の進行に及ぼす影響

鹿島建設(株)技術研究所 古澤靖彦
 東京大学生産技術研究所 魚本健人

1. はじめに

アルカリ・シリカ反応(ASR)の進行には、温度・湿度の環境条件の変化が大きな影響を与えることが知られている。筆者はすでに、拡散律速理論に基づきASRの進行を予測するモデルを提案し、温度の影響がアルカリの骨材内における拡散係数の依存性としてアレニウスの関係に定量化されることを明かした。本研究では、上述のモデルを用いて湿度の影響を定量的に評価する解析的な手法を提案する。

2. 拡散律速理論に基づくモデル

筆者らは、ASRの進行速度が骨材表面からのアルカリの拡散速度に支配されるとした、拡散律速理論に基づくモデルを提案した¹⁾。本モデルでは、骨材表面からの完全反応層の厚さ x が次式のステファン問題の解として求められる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_a \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) + f(C; x, t) \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 C ;アルカリ濃度(mol/l), t ;時間(hr), x ;骨材表面からの距離(cm)であり、アルカリは間隙水を介して骨材表面から内部に進入する。

3. 環境湿度の影響を定量化する手法

ASRは典型的な固液系の化学反応であり、被反応物質であるアルカリが液体(間隙水)を介して骨材中に供給されることで反応が開始・継続される。また、ASRによる実構造物の被害は、反応生成物が周囲の水分(間隙水)を吸収して膨張することで生じる。つまり、間隙水は①反応の開始・継続、②反応生成物の膨張、の両方の段階でASRの進行に密接に関連しており、当然のことながら間隙水量が多いほど双方の段階でASRを助長する。

一方、環境湿度はコンクリート表面を介してコンクリートから逸散、あるいはコンクリート中に供給される水分量を決定する因子である。したがって、環境湿度のASRへの影響は下記の手順によって検討される。

I. 環境湿度の相違によるコンクリート内部の間隙水量の経時変化の把握

II. 間隙水量とASRの進捗度との関係の把握

このうちIについては、環境湿度の変化に伴うコンクリート内部の相対湿度分布および間隙水量を計算するモデルが数多く提案されており、本研究では任意の材令、温度におけるコンクリート中の間隙水量の変化を求めることのできるSackiらのモデルを用いることとした²⁾。

IIについては、前述した間隙水のASRへの関与形態のうち、①の反応の開始・継続段階での関与に着目して、新たに間隙水と骨材表面との接触の程度を示す「接触率」の概念を導入してモデル化することを試みた。つまり、コンクリートが飽水状態の時は骨材の全表面が間隙水と接触している(接触率100%)ので全表面からアルカリが供給され、逆にコンクリートが完全に乾燥している場合は、骨材と間隙水が接触している部分がなく(接触率0%), アルカリは全く供給されないと考える。ここで接触率は、Sackiらの示した飽水率(コンクリート内部の相対湿度が100%の時の間隙水量に対する実際の間隙水量の比率)に等しいものと仮定した。

解析は(1)式を2次元に展開し、境界条件である骨材の表面にアルカリの供給節点を設定して骨材内部方向に完全反応層の広がり方を計算していく。この時図-1に示すように、境界条件の全節点数とアルカリが供給される節点の数の比率が接触率に等しくなるように、経時的にアルカリ供給節点の数を変化させる。次に、計算された完全反応層の厚さ、および配合条件から筆者らが示した方法¹⁾によって単位モルタル・コンクリート中の反応生成物総量を計算する。

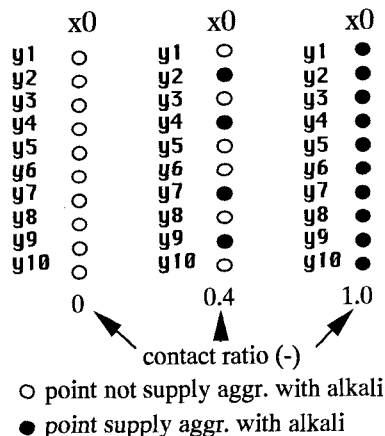


Fig.1 Supply Point of Alkali

4. 解析結果

解析対象は断面寸法 4×4 cmのモルタル供試体とし、骨材量、アルカリ量などの配合はモルタルバー試験条件と同一とした。骨材の反応性は化学法試験結果でScが 800 mmol/l 、Rcが 300 mmol/l のものを想定し、暴露環境条件は温度 40°C 、湿度40, 60, 80, 100%とした。図-2に解析結果の一例として、それぞれの環境湿度条件に暴露された供試体について表面から10mmの距離での接触率の経時変化を示す。これより、環境湿度が高いほど乾燥の影響を受けにくく、接触率が高く維持されることがわかる。次に、それぞれの環境湿度に暴露された供試体内部の反応生成物量の経時変化を図-3に示す。

これより、環境湿度が大きくなるほど反応生成物量が増加する傾向は認められるものの、接触率に見られたほどの大きな差は観察されない。つまり接触率が低下してアルカリが供給される骨材表面積が小さくなっても、供給点からの2次元的なアルカリの拡散速度が十分大きく、反応速度はさほど低下しないことを示す。これより、環境湿度の変化に伴う間隙水量の変化は、ASRの化学反応そのものにはさほど大きく影響せず、反応終了後の生成物の吸水過程に大きな影響を及ぼすものと推察される。Lentznerらも³⁾、様々な環境湿度条件に暴露したモルタルバーの膨張量の測定を通じて、かなり低湿度条件下に置かれたモルタル中でも化学反応過程は進行することを推察しており、本研究における解析結果と一致する。

5. まとめ

化学反応の媒体としての間隙水の役割に注目して、環境湿度がASRの進行に及ぼす影響について解析的に検討した。その結果、環境湿度の低下に伴う間隙水量の低下は、ASRの化学反応速度にはさほど影響しないと予測される計算結果を得た。したがって、今後は生成物の吸水過程における環境湿度の影響を評価することが重要と思われる。

<参考文献>

- 1) 古澤, 魚本, コンクリート工学論文集, vol.3, No.2, pp.18-25, (1992)
- 2) T.Sacki, H.Ohga, S.Nagataki, Transaction of JSCE, vol.414/V-12, (1990)
- 3) Lanzner.D and V.Ludwig, 4th Int. Conf. on Effects of Alkali in Concr., pp.11-34, (1978)

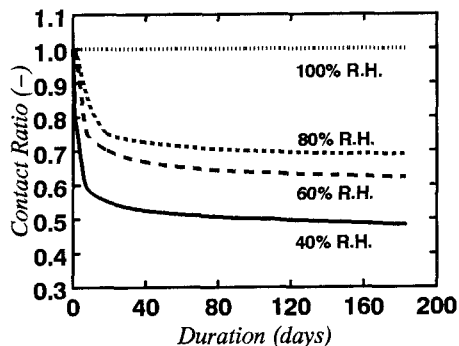


Fig.2 Change of Contact Ratio

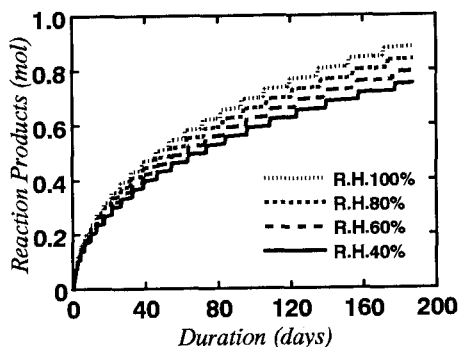


Fig.3 Amount of Reaction Products