

[1102] アルカリシリカ反応における内部水分制御と抑制効果について

正会員 ○ 栗原 正 (ショーボンド建設機技術研究所)

正会員 片脇清士 (建設省土木研究所)

1. まえがき

近年アルカリシリカ反応 (以下ASRという) によって損傷を受けたコンクリート構造物の例が多く報告されることから、その補修対策すなわちASR抑制手段についての研究開発が活発化している。主に検討されている抑制手段は、補修部を塗布材で被覆して水分移動を制御し、内部自由水量をあるレベル内に維持してASR進行を低減させようとするものである。これについての実験確認はいくつか報告されているが、補修材の水分移動制御機能によって内部自由水量がどの程度に緩和され、又それがASR抑制にどの程度有効であるかについての定量的確認は、必ずしも十分になされているとは言えない。

本報告では、ASR補修材の促進養生下における内部水分量制御状況を、試験体の平均的自由水量と中心位置の局所的自由水量について調べより詳しく明らかにすると共に、その時に得られる抑制効果を膨張量について調べた (実験-Ⅱ)。又、その促進養生環境 (=乾湿繰り返し条件) では、アルカリを伴った水分移動が生じ、表層部でアルカリの濃縮・拡散が繰り返されてASRが促進される可能性があるため³⁾、必ずしも内部水分制御に応じた抑制効果が発現するわけでないと考えられることから、水分移動が頻繁でない恒湿度下で、予め内部自由水量と膨張量を関連付けておき (実験-Ⅰ)、乾湿下における防水材の抑制効果がその時の内部水分量制御状況をどれだけ反映しているかについても調べた。

2. 実験-Ⅰ

2-1. 実験概要・・・恒湿下にある内部水分分布が一様の試験体では、加熱恒量法による含水率が内部自由水量を表し得ると仮定した上で、反応性モルタルを恒温下の四種湿度環境で養生することによって内部自由水量を外的に調節し、膨張量・含水率の経時変化を測定して両者を関連付けた。(ASRに対する水分の影響については既往文献で調べられているが、ここでは電極法 (実験-Ⅱ) 結果との照合の都合上、自由水量とASRを関連付けておく必要があった。)

2-2. 実験方法・・・

(膨張量測定) 試験体の作製・測定法はモルタルバー法 (建設省暫定案) に従い、重量変化も記録した。(配合 W/C=0.5, S/C=2.25, 全アルカリ1.2% (NaOH 0.5%補填))。骨材は表-1の四種類を使用した。

(含水率測定) 試験体は上記と同配合の4×4×16cmモルタルとし所定材令時に110℃で恒量になるまで加熱しその減量を恒量時重量で除して含水率とした。

(促進養生) 目標相対湿度80・90・100%及び常時湿潤の四種環境を設定した。

80・90・100%RH下養生は各々NH₄Cl飽和水溶液・KNO₃飽和水溶液・水

表-1. 骨材の化学法分析結果

NO	岩 種	Sc *)	Rc *)
A	輝石安山岩	694	165
B	輝石安山岩	237	110
C	チャート	108	15.2
D	硬質砂岩	33.2	13.7

*) Sc: 溶解シリカ量 (mmol/ℓ)
Rc: アルカリ濃度減少量 (mmol/ℓ)

を張った容器内に試験体を密閉し、常時湿潤下養生は試験体を濡れた濾紙で包み一体につき20cc程度の純水を追加してビニル袋内に密閉し、共に40℃・100%RH下の恒温槽内で行った。促進養生は試験体作製後24時間以内に開始した。各飽和溶液によって得られる相対湿度は予め市販の湿度測定器で確認した。

2-3. 実験結果及び考察

経時による膨張量・重量変化率・含水率変化を図-1, 2に示す(図中の記号は1, 2に共通)。又4ws~12ws間の膨張量・重量変化率・含水率変化を表-2で示す。

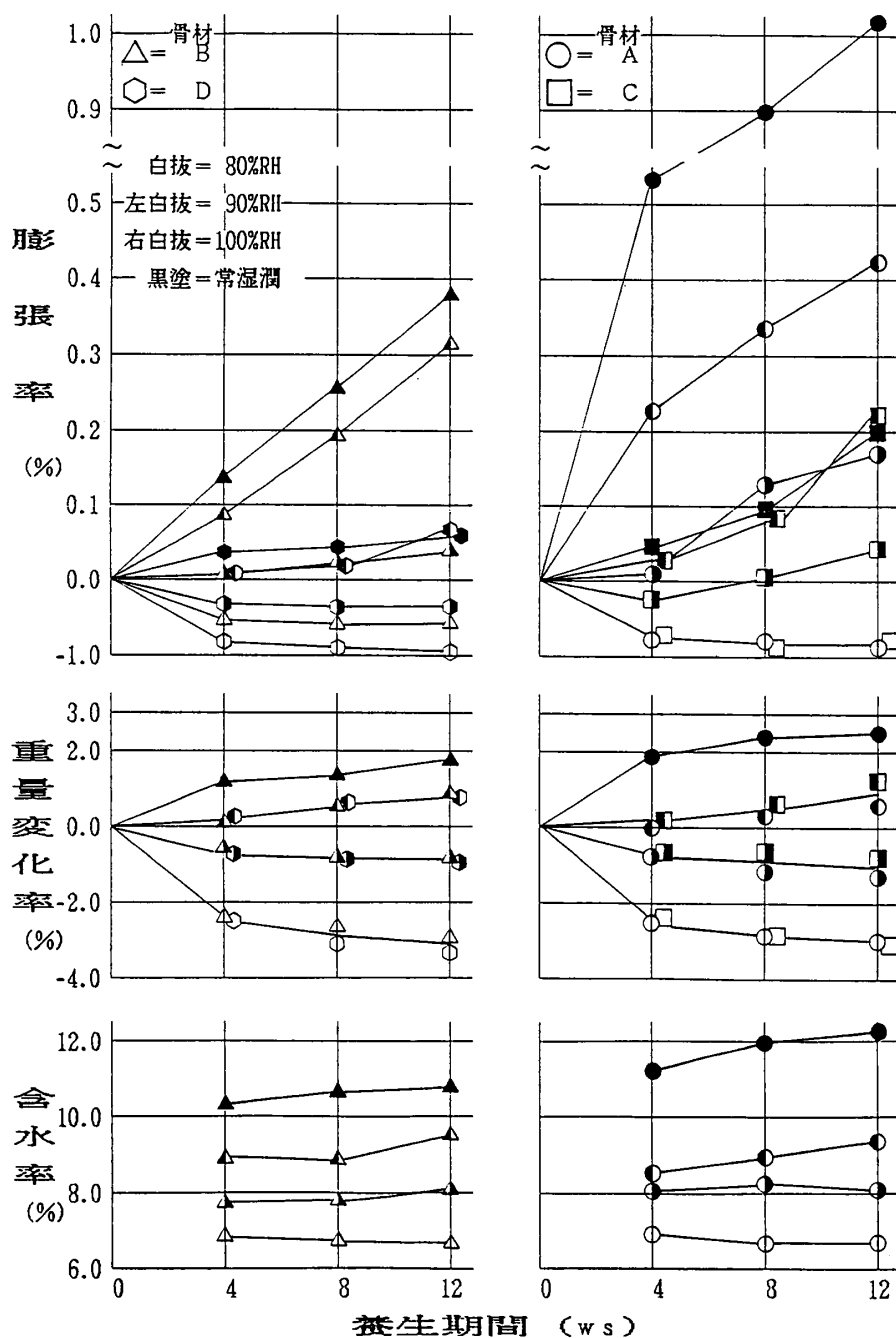


図-1. 膨張量・重量変化率・含水率の経時変化(骨材B, D)

図-2. 膨張量・重量変化率・含水率の経時変化(骨材A, C)

表-2, 膨張量・重量変化率・含水率の変化状況

環境湿度	80 %RH	90 %RH	100 %RH	常時湿潤
骨材 A	^{*)} -91/ (-0.3) (-0.5)	1748/ (0.0) (-0.4)	1964/ (1.2) (0.7)	4658/ (0.7)
骨材 B	-86/ (-0.3) (-0.6)	316/ (0.2) (0.0)	2200/ (0.8) (0.8)	2358/ (0.5) (0.5)

*) (4ws時点の膨張量 - 1.2ws時点の膨張量) / (4ws時点の含水率 - 1.2ws時点の含水率) (%)
括弧内は (4ws時点の重量変化率 - 1.2ws時点の重量変化率) (%)

- 反応性骨材A・B・Cでの膨張量は、いずれの場合でも90%RH以上の湿度環境の時立ち上がる。従って、膨張抑制効果は既往文献と同様に環境湿度80～90%RHの時に発現し、これは内部自由水量（含水率）で7～8wt%の極く狭い範囲（＝膨張量抑制レベル）が相当すると言える。
- 含水率・重量変化率は4ws以後大きく変化しない。これはその時の水和進行が少ないことを意味しており、この範囲では内部自由水量の変化は重量変化で十分知り得るようである。
- 含水率・重量変化率の変化とその時の膨張量変化は表-2に示すように相関が薄く、パーセントオーダーの重量・含水率変化は、ASR進行に伴う内部自由水量の増減状況（e.g.ゲル析出による細孔空隙の減少、ゲルによる自由水の吸水）を検出し得ないようである。

3. 実験-II

3-1. 実験概要・・・養生初期に防水処理した反応性モルタルを乾湿繰り返し環境下に置いて内部自由水量・膨張量の経時変化を測定し、防水材による内部水分量制御状況とそれによるASR抑制効果を調べた。防水材には、遮水機能だけでなく内部水分の揮散を妨げない機能を合わせ持つシラン系浸透性防水材とそれを併用したポリマーセメント系防水材を採用上げた。これは、実構造物の内部は湿潤であることが多く、従ってASR補修については外部からの水分浸入を防ぐだけでなく内部の水分を排出する必要もあろうと考えたからである。又促進養生環境に乾湿繰り返し条件を選んだのは、ASR実験に一般に用いられる40℃・100%の恒温湿条件はASR促進に効果的であっても実際環境の促進再現としては一方的であり、むしろ乾湿繰り返し条件のほうが妥当であると考えたからである。内部水分量制御状況を確認するにあたっては、乾湿条件下では試験体の内部水分量が一樣でないと予想されるため、平均的な内部自由水量を示す加熱恒量法による含水率と共に、試験体中心部等に電極を置いてその付近の局所的な内部自由水量についても調べた。

3-2. 実験方法・・・

(膨張量測定) 実験Iと同様であるが、骨材はB・Dの2種を使用し、アルカリ補填はNaClで行った。

(含水率測定) 実験Iと同様。測定は電極法と共に湿潤工程の最終1時間以内で行った。

(電極法^{1,2)}での測定) 試験体は上記と同配合の4×4×16cmモルタル作製時に所定深さに電極(φ1.5mmステンレス、有効長さ8cm、電極間距離8mm)を埋め込んで作製した。測定時の一次電圧はA.C. 5Vとした。電極法についての基本的実験法は前出の既往文献に準じた。測定される抵抗値と含水率の校正は、同様の試験体を実験Iの恒温湿下に置いて経時的に測定し、その時に得られている加熱恒量法による含水率と対応させて得た。

(防水処理) 上記3種の試験体は、脱型後20℃・湿潤下で7日間養生し、次いで40℃・

18時間の乾燥をした後、4×4の上下面を除き表-3の三種の仕様で防水処理した。処理後は20℃・100%RH下で7日間養生し、以後防水処理条件間の電極法による抵抗値が同程度になった時点で残した面をエポキシシーリング剤を乾湿繰り返し下に移した。（無処理条件の試験体についても同過程を履歴させた。）

（促進養生）乾湿繰り返し条件は、既往文献⁴⁾を参考に若干の変更を加えて設定したが、得られる膨張量が小さくその後二度にわたって変更を加えた。一覧を表-4で示す。

100%RH下の養生は実験-Iと同様に行ったが、それ以外の養生は恒温湿槽で管理した。

表-3, 防水処理仕様

NO	防 水 材	使用量 ^{a)}	
1	反応性シラン系浸透性防水材 ^{b)}	0.37	a)単位 kg/m ²
2	反応性シラン系浸透性防水材	0.74	b)固形分 40 wt%
3	一層) 反応性シラン系浸透性防水材	0.24	標準使用量 0.37 kg/m ²
	二層) 軟質アクリル系ポリマーセメント塗装材 ^{c)}	2.1	c)固形分 83 wt%
	三層) 反応性シラン系浸透性防水材	0.12	標準使用量 2.1 kg/m ²

表-4, 乾湿繰り返し条件

No	期間(ws)	湿 潤 条 件	乾 燥 条 件	
1	1~8	40℃・100%RH・22Hs	40℃・60%RH : 4Hs + 20℃・60%RH : 22Hs	
2	9~12	純水降雨 5mins + 40℃・100%RH・18Hs	20℃・60%RH・6Hs	⇐ (湿潤強化)
3	13~16	純水降雨 5mins + 40℃・100%RH・18Hs	40℃・30%RH・6Hs	⇐ (乾燥強化)

3-3. 実験結果及び考察

経時による膨張量・重量変化率・加熱恒量法による含水率及び2cm深さ位置での電極法による含水率変化を各々図-3, 4で示す。又防水仕様NO1・無処理についての乾燥条件NO3乾湿工程間における水分移動状況を、0.5, 1.0, 2.0cm 深さ位置での電極法による含水率・重量変化率の変化によって図-5に示す。（図中の記号は3~5で共通）

○水分量の長期的変化（図-3, 4）及び短期的変化（図-5）から、防水材の遮水性による内部自由水量増加抑制効果が認められ、16wsの重量変化では無処理の約1/3にまで抑制されている。

○防水処理した場合での加熱恒量法による内部平均的な含水率と電極法による2cm深さ位置での含水率（図-4）を比較すると、前者が絶えずコンマ数%低い値をとっており、遮水機能によって浸水が妨げられていると共に、内部水分の揮散を妨げない機能によって表層水分を揮散していることが示されている。

しかし中心位置での含水率は漸増傾向にあり、今回の乾燥工程条件が緩く（無処理の場合でも短期間の水分移動は0.5cm深さ付近の表層でしか行われぬ（図-5））、又長期的には湿潤条件が勝る傾向にあったため、内部水分の揮散を妨げない機能による効果は十分に発現されていないと思われる。

○防水処理による内部水分量制御効果によって、内部自由水量は膨張量抑制レベル（cf. 実

験-I)をやや上回る8wt%(含水率)程度に安定化される。これに応じて膨張量も抑制されるが、その抑制程度はこの水分量レベルから予想される以上である。これは、前記したように表層部でより水分量が低いこと、環境条件の促進効果が小さいことによると思われる。

○無処理の場合の乾湿条件下での膨張量は、同含水率状態の恒温湿条件下のそれよりも小さい。さらに、乾燥程度の強いNO3条件においては、図-5で明らかなように、0.5cm深さ付近で水分移動がありアルカリ濃縮も進行していると思われるのに、それによる促進効果は特に認められない。今回の乾湿条件の促進効果は恒温湿条件のそれよりも小さいと言える。

○防水仕様1・2間の内部水分量制御効果は使用量の差ほどに顕著ではなく、この材料の防水性に一定の限界値があることを示している。仕様3はひびわれ発生した時でも本来の防水性を保持する機能をもつよう設計されているが、今回の実験では養生初期に防水処理したためひびわれ発生することがなくこの機能について確認することができなかった。

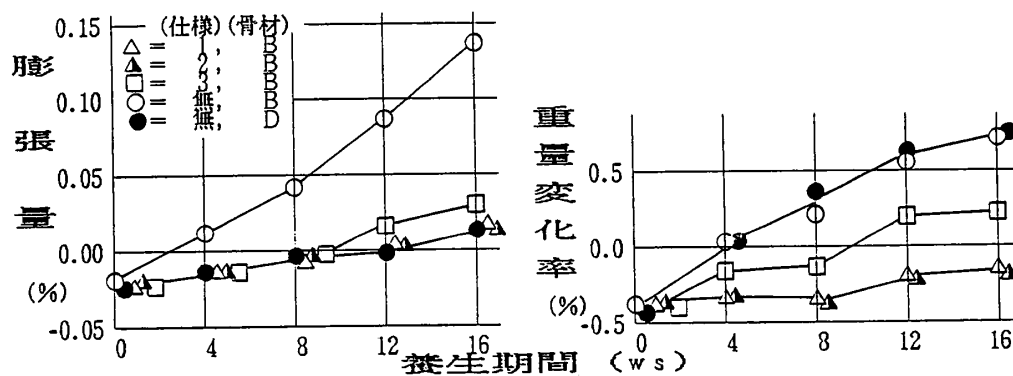


図-3. 膨張量・重量変化率の経時変化

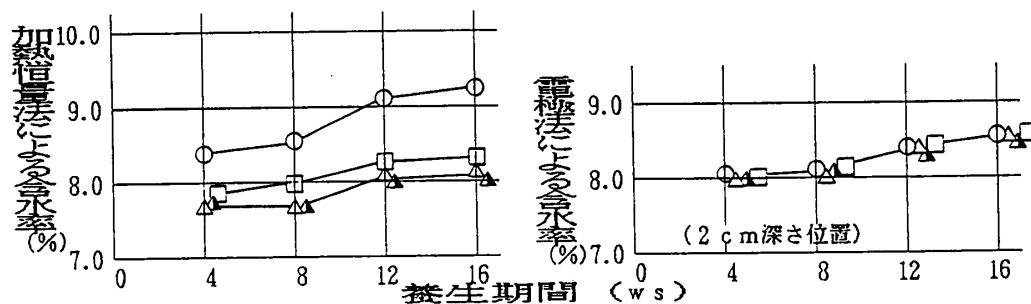


図-4. 加熱恒量法・電極法による含水率の経時変化

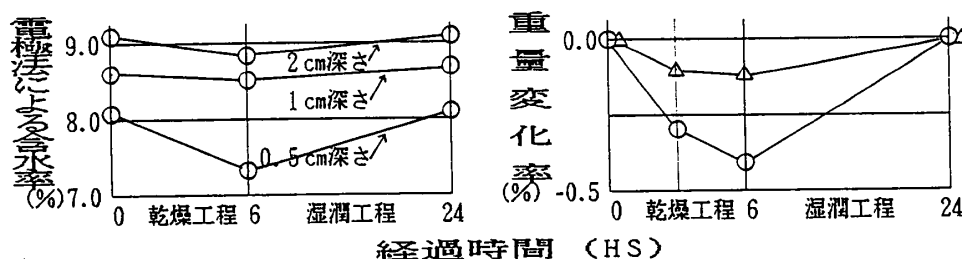


図-5. 乾湿一工程間の電極法による含水率・重量変化率の経時変化

4. 結論

- 内部自由水量の制御によりASR抑制は可能であり、 $S/C=2.25$ ・アルカリ量 1.2%の反応性モルタルでは、内部自由水量が7wt%程度以下に制御された時（＝膨張量抑制レベル）、膨張性が抑制される。
- 今回の促進養生環境下では、防水材の遮水機能及び内部水分の揮散を妨げない機能による内部水分量制御効果によって、自由水量は膨張量抑制レベル近くまで制御され得る。又その時の膨張量はその水分量レベルに対応した範囲にまで抑制されると思われ、乾燥環境による影響によって抑制効果が低減することはないようである。

5. 今後の課題

乾湿繰り返し環境下では、試験体の骨材岩種によって膨張量促進傾向に差のあることが報告されてもおり、今後試験体については、岩種を拡大すると共により実地的なコンクリート配合に移行していくことが必要である。又促進養生条件については、今回の設定が実際環境の促進再現を十分に満足していない可能性があり、今後多様化させていくことが必要である。その上で、それらのもとでの防水材の内部水分量制御状況を、今回のように各部分の局所水分量の測定によって水分分布の遷移として調べ、それが抑制効果にどう反映されるかについての基礎データを収集・分析していくことが必要である。このことによって、内部水分量制御によるASR抑制効果が確認されていくと思われる。

6. 参考文献

- 1) 鎌田英治, 田畑雅幸 他: コンクリート内部の含水量の測定, セメント技術年報XXX, pp.288~292, 1976
- 2) 中根 淳, 長尾覚博 他: コンクリート構造体の含水率測定, セメントコンクリートNo473, pp.8~14, 1986
- 3) P J Nixon, R J Collins : THE CONCENTRATION OF ALKALIES BY MOISTURE MIGRATION IN CONCRETE, CEMENT and CONCRETE RESEARCH. vol19, pp.417~423, 1979
- 4) 岡田 清, 小林和夫 他: アルカリ骨材反応による損傷と補修について, 土木学会講演概要集, pp.V-3-1~V-3-2, 1986

なお、この報告は建設省土木研究所化学研究室における昭和61年度部外研究員としての実験内容の一部をとりまとめたものである。