

[42] 骨材反応の早期判定方法に関する一考察

正会員 ○渡 義治 (五洋建設 技術研究所)  
 正会員 草野守夫 (五洋建設 技術研究所)  
 正会員 片山 一 (五洋建設 技術研究所)  
 徳永 豊 (五洋建設 技術研究所)

1. まえがき

骨材のアルカリ反応性を判定する方法には、骨材中の反応性鉱物の有無を顕微鏡観察、X線粉末回折分析などにより確認する岩石学的分析方法、骨材を微粉砕して化学的処理をほどこすことによりその骨材の潜在的アルカリ反応性を判定する化学的方法、および骨材を用いたモルタルまたはコンクリート供試体を作成し、その膨張挙動を確認する膨張量測定方法などがある。このうち、膨張量測定方法に関しては、わが国で主として問題になっているアルカリ・シリカ反応に対して ASTM C 227 (モルタルバー法)の適用が望ましいとされている。しかし、ASTM C 227についても、結果を得るまでに期間を要すること、6ヶ月以降に急激に膨張する骨材に関しては判断を誤る恐れがあることなどの欠点が指摘されている<sup>1)</sup>。そこで、膨張結果を得るまでの期間を短縮する目的で、アルカリ浸漬法、オートクレーブ法など種々の促進法が提案されているが、再現性が悪い、実構造物中では有害反応を生じない骨材を有害と判定する可能性があることなどを問題点としてあげる声もある<sup>1)</sup>。

このような状況のもと、今回、骨材反応早期判定の一方法としての高温常圧方法(80℃, 100% R. H.), および乾湿くりかえし方法(80℃, 30—100% R. H.)の有用性を確認する目的で、実験的に検討をおこなった。以下、その概要について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験計画

実験に用いた因子とその水準を表-1に示す。本実験は、促進手段として高温常圧法を用いたものと、乾湿くりかえし法を用いたものからなる。両養生条件のもと、岩種を4種類、添加するアルカリを2種類変化させて膨張量の測定実験をおこなった。また、本実験にさきだち、チャート、粘板岩について ASTM C 227 にもとづき予備実験を実施した。図-1、図-2は、そのうち膨張量におよぼす骨材混入率と供試体のアルカリ濃度の影響をそれぞれまとめたものである。

表-1 実験因子と水準

因子	水準
岩種	輝石安山岩(A <sub>n</sub> ), チャート(Ch) 粘板岩(S1), 硬質砂岩(S <sub>s</sub> )
アルカリ種類	NaOH, NaCl
養生方法	高温常圧方法(W), 乾湿くりかえし方法(WD)

その結果、次のようなことがわかった。

- (1) 粘板岩のベシマム混入率は80~100%, チャートについては60~80%程度である。特にチャートではアルカリ濃度の高い場合に混入率が60%以上になると急激に膨張量が増大する。
- (2) アルカリ濃度0.76~2.06%(Na<sub>2</sub>O当量, 対セメント重量比)の範囲ではベシマム現象はみられず、膨張量はアルカリ濃度の増加とともに増大する。

以上の結果にもとづき、本実験では、反応性骨材の混入率80%, アルカリ濃度2.06%を選定した。

本実験における検討項目は、以下に示すとおりである。

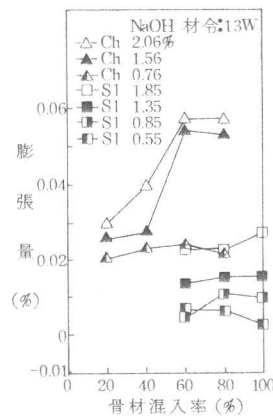


図-1 骨材混入率と膨張量

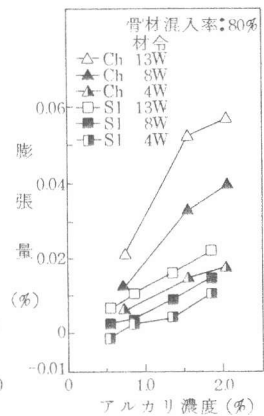


図-2 アルカリ濃度と膨張量

- (1) ASTM C 289 (化学法)による骨材の潜在反応性の判定。
- (2) 高温常圧方法, 乾湿くりかえし方法, およびASTM C 227 (モルタルバー法)のそれぞれの養生条件下での膨張量の測定, 比較検討。
- (3) 走査型電子顕微鏡 (SEM) による析出物の観察。

上記の中でも, 特に(2)の項目に重点をおき, 本実験で用いた2種類の促進判定方法による膨張結果とASTM C 227の結果の定性的, 定量的関係を調査し, ASTM C 227にかわる骨材反応の早期判定方法としての可能性を中心に検討をおこなった。

## 2.2 材料

セメントは, O社製普通ポルトランドセメントを使用した。セメントの保有アルカリ量と物理定数を表-2に示す。反応性骨材としては, 瀬戸内産輝石安山岩(比重: 2.53), 中国地方産のチャート(比重: 2.63), 粘板岩(比重: 2.66), および関東地方産硬質砂岩(比重: 2.69)を, 混合する非反応性骨材には豊浦標準砂(比重: 2.63)をそれぞれ用いた。表-3に, 骨材の光学顕微鏡観察とX線粉末回折分析による鑑定結果を示す。添加するアルカリは, NaOH, NaCl試薬特級を使用した。また, 混練水には純水を用いた。

## 2.3 実験方法

供試体の寸法, 反応性骨材の粒度分布, およびセメント・骨材重量比はASTM C 227に準じた。また, 水セメント比は46%とした。アルカリ濃度の調整は, NaCl, NaOHを混練水に添加することによりおこなった。モルタルは, 打設後24時間 $23 \pm 1.7$  °Cで養生した後脱型し, 各促進養生に供した。高温常圧方法, 乾湿くりかえし方法のタイムテーブルをそれぞれ, 図-3, 4に示す。促進養生には, プログラム機能を持ち, 全自動で温湿度のくりかえし制御可能なT社製超低恒温恒湿器を用いた。なお, 乾湿くりかえし方法において相対湿度を30%に保持する時間を10時間に設定した理由

は, モルタル供試体の重量変化を測定した結果, 10時間程度で重量減少勾配がおちついたためである。そのとき, 供試体重量は, 100%湿度時のほぼ0.97程度の値であった。なお, 絶乾時における供試体重量は, 100%湿度時の約0.93である。

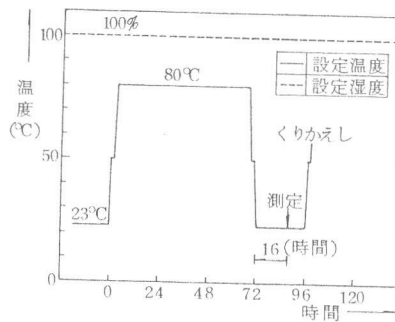


図-3 高温常圧方法タイムテーブル

表-2 セメントの分析結果

アルカリ量(%)			比重	比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O当量		
0.37	0.59	0.76	3.16	3240

\*) 対セメント重量比

表-3 岩石の鑑定結果

岩種	記号	顕微鏡観察	X線粉末回折分析
安山岩	An	K, Pl, Bi, Opx, G	F, Q, Cr
チャート	Ch	Q, Pl, Mv, Ca	Q, Mi, Ca, K
粘板岩	Sl	Q, Pl, Bi, Mv	Q, F, Mi, K
硬質砂岩	Ss	Q, K, Pl, Bi	Q, F, Mi

顕微鏡観察  
 Q: 石英 K: カリ長石  
 Pl: 斜長石 Bi: 黒雲母  
 Mv: 白雲母 Opx: 斜方輝石  
 Ca: 方解石 G: ガラス質(石)

X線粉末回折分析  
 Q: 石英 F: 長石類 Mi: 雲母類  
 Ca: 方解石 K: カオリン  
 Cr: クリソプライド

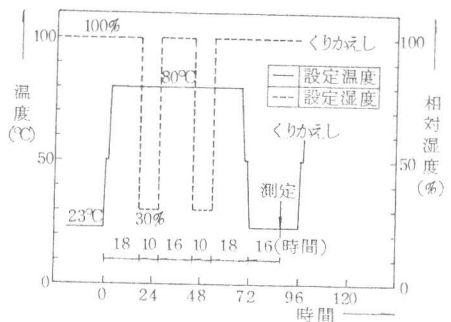


図-4 乾湿くりかえし方法タイムテーブル

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 ASTM C 289 (化学法)による反応性の判定

4種類の骨材の化学法による反応性の判定結果を図-5に示す。安山岩とチャートは有害, 粘板岩と硬質砂岩については無害と判定された。このうち安山岩は, 溶解シリカ量( $S_c$ )の値も $974 \text{ mmol/l}$ と大きく, 溶解シリカ量とアルカリ濃度減少量の比( $S_c/R_c$ )も7.95と4種の骨材中最大できわめて反応性の疑いが大きい。また,

チャートについても  $S_c/R_c$  は 6.10 で、有害の可能性が高い。それに対して、粘板岩、硬質砂岩は  $S_c/R_c$  がそれぞれ、0.78, 0.88 と無害の領域に属したが、図からも明らかなように測定値は潜在的有害域との境界付近にあり、この結果のみで判定をくだすことは不可能である。

### 3.2 各促進条件下での膨張量の測定

ASTM C 227, 高温常圧方法, 乾湿くりかえし方法, 各養生条件下でのモルタル供試体の膨張量と材令の関係を図-6に示す。材令22週までの結果ではあるが、膨張量の大きい順に安山岩, チャート, 粘板岩, 硬質砂岩となった ASTM C 227 の結果を、高温常圧方法では材令13日程度の短期間で定性的によく再現している。それに対して乾湿くりかえし方法では、安山岩の膨張量が4骨材中3番目の大きさとなり、ASTM C 227 と異なった結果を呈している。また、高温常圧方法では膨張量のピークが材令9~13日程度で発現し、安定するのに対し、乾湿くりかえし方法では最大膨張量の発現に20日以上を要するケースもあり、その後の膨張量の変動も大きい傾向がある。

また、実験当初、乾湿くりかえし方法における乾燥時の供試体中のアルカリの一時的な濃縮、湿潤時の浸透拡散による膨張促進効果を予測していたが、今回の実験条件では高温常圧方法と比較して、そのような効果はチャート-NaCl添加、粘板岩-NaOH添加のケースについてのみ認められ、その他のケースでは確認されなかった。これは、20°C・水中、20°C・50% R. H. の養生条件での供試体が膨張、収縮をくりかえしながら収縮量が徐々に増加した例もあるように<sup>2)</sup>、設定温度、湿度、くりかえしのタイムパターンにより膨張促進効果に差があること、および岩種、添加するアルカリの種類の違いによる影響などが、その原因と考えられる。

次に、ASTM C 227 における膨張量と促進養生における膨張量の定量的な検討をおこなう目的で、両者の比と材令の関係をまとめた。その結果を、図-7に示す。ここで、粘板岩についてはアルカリ濃度 2.06% 時の ASTM C 227 による膨張量として、図-2から推定した値を用いた。図より明らかなように、ASTM C 227 と促進養生の膨張量の比は、岩種、養生方法により材令17週で、1.18~1.83 に分布しているが、各ケースともそれぞれ一定値に収束する傾向がみられる。しかし、ASTM C 227 における供試体ははまだ膨張過程にあるため、

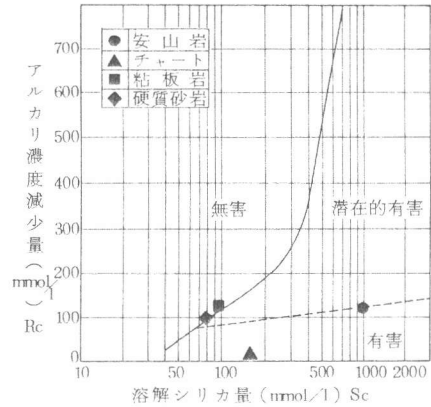


図-5 ASTM C 289による判定結果

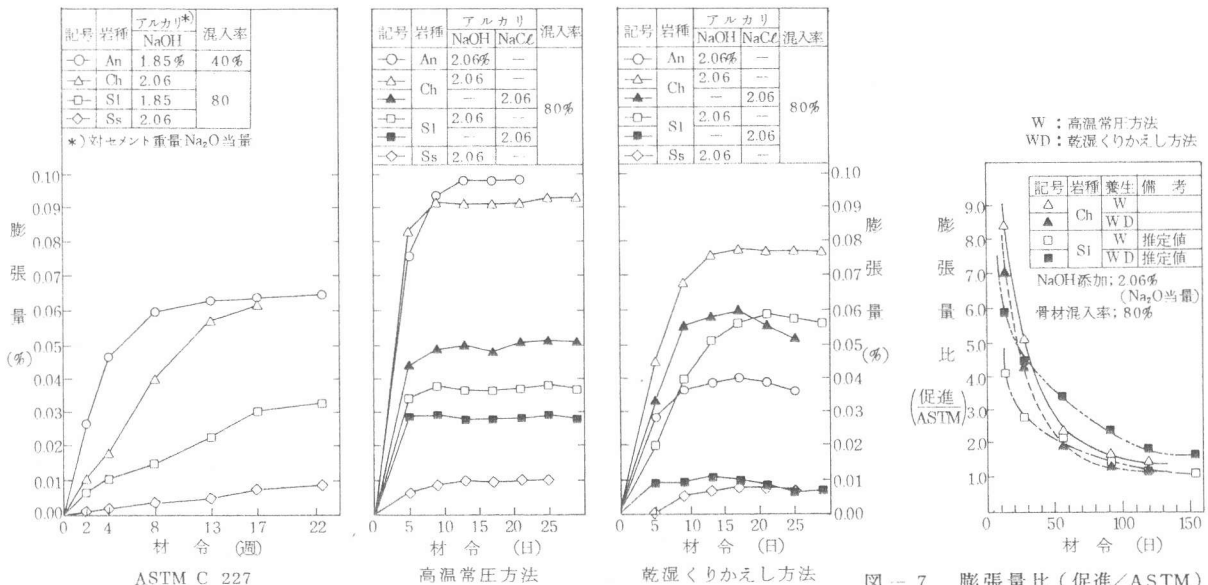


図-6 各養生条件下における膨張量と材令の関係

図-7 膨張量比(促進/ASTM)と材令の関係

今後も測定を継続し、最終膨張量比におよぼす岩種、養生方法などの影響について検討する必要がある。

なお、今回の両促進養生条件のもとでは、膨張促進のためのアルカリ添加剤としてNaOHの方がNaClに比較して効果が大きいという結果が得られた。

### 3.3 走査型電子顕微鏡 (SEM) による析出物の観察

各養生条件下の反応形態を徹視的に観察、比較検討する目的で、SEMによる析出物の観察をおこなった。写真-1にチャートのASTM C 227、高温常圧方法、乾湿くりかえし方法による各供試体の反応生成物の形態を示す。また、写真-2は乾湿くりかえし方法において供試体の骨材周辺に観察された反応生成物を示したものである。定量的な検討は実施していないが、3養生方法による供試体のいずれにも同様の反応生成物が観察された。また、高温常圧、乾湿くりかえしによって、骨材反応以外の膨張現象が生じた形跡は認められなかった。

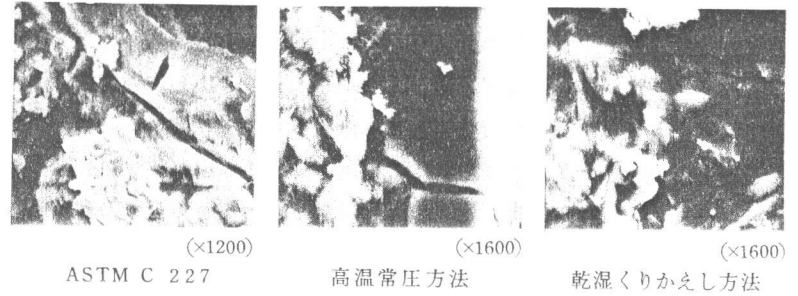


写真-1 各養生条件における反応生成物

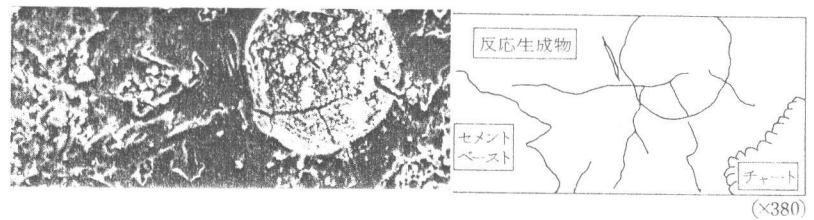


写真-2 骨材周辺部の反応生成物

## 4. まとめ

4種類の骨材について、高温常圧方法、乾湿くりかえし方法によるモルタル供試体の膨張量測定実験をおこなった。ASTM C 227 (モルタルバー法)、ASTM C 289 (化学法)による検討、走査型電子顕微鏡による析出物の観察もあわせて実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 高温常圧方法 (80℃, 100% R. H.) は、ASTM C 227における供試体の膨張傾向を材令13日程度の短期間に定性的によく再現する。
- (2) 高温常圧および乾湿くりかえし両促進養生方法による膨張量と、ASTM C 227による膨張量の比は、材令とともに一定値に漸近する傾向がある。しかし、その収束値は、岩種、養生方法などにより異なるようである。
- (3) 今回の促進養生条件のもとでは、NaOHの方がNaClに比較して膨張促進効果が大きい。
- (4) SEMによる観察の結果、両促進方法、ASTM C 227いずれの供試体にも同様の反応生成物が認められる。

以上の点より、高温常圧方法は、骨材反応早期判定の一方法として有用であると考えられる。特に、本方法は、長期間の測定を要するASTM C 227による判定を実施する前の段階で、骨材の岩石学的分析、ASTM C 289などと組み合わせることにより、骨材反応の危険性を短期間に所要の精度をもって判定する一手段として利用できると考えている。

しかし、ASTM C 227と高温常圧方法の最終膨張量の比におよぼす岩種、養生温度、湿度の影響、およびそれともなう有害と判定する限界膨張量の設定の問題など未解明な点も多い。今後、前述の項目を中心に検討をおこない、骨材反応早期判定方法としての有用性を検証していく必要がある。

〔謝辞〕 本研究の実施にあたり、御指導をいただきました広島大学田澤教授に感謝の意を表します。

〔参考文献〕 1) 川村満紀, 榎場重正: アルカリ・シリカ反応とその防止対策, 土木学会論文報告集, 第348号/V-1, 1984. 8

2) 仕入豊和, 森永 繁: JASS・5NT-201骨材反応性試験方法(案)の設定の背景, 日本材料学会関東支部第9回シンポジウムテキスト, 1985. 1