

# [32] チャートおよび粘板岩(広島産)のアルカリ骨材反応の可能性について

正会員 ○草野守夫 (五洋建設技術研究所)  
 正会員 小堀光憲 (五洋建設技術研究所)  
 山田正貴 (五洋建設技術研究所)  
 正会員 田澤榮一 (広島大学工学部)

## 1. まえがき

関西地区で輝石安山岩を中心としたアルカリ骨材反応の事例が多い。しかし、最近、広島を中心とする中国地方においても、アルカリ骨材反応の疑いのある被害例が続出している。そこで、事例の1つとして、ある被害コンクリート構造物に使用されている粗骨材と産地が同じ粘板岩、チャート(構成比、7:2:1比率が1のものはホルンフェルスを含むその他の岩種)について、アルカリ骨材反応の判定を試みた。判定に際して実施したものは、(1)岩石学的な分析、(2)化学法、(3)モルタルバー法、(4)セメントの種類が膨張量に及ぼす影響などである。その結果チャートについて有害性が認められたので以下報告する。

## 2. 実験計画

アルカリ骨材反応による膨張量に及ぼす要因には、①岩石中に含まれる反応性鉱物の種類とその量、②コンクリート中のアルカリ含有量、③反応性骨材の混入率、④セメントの種類と品質、⑤コンクリートの配合条件、⑥温度、湿度等の環境条件など種種考えられ、これらのそれぞれの組合せによっても膨張量が大きく変わると言える。ここでは、岩石学的な観点に加え、主として反応性骨材の混入率、アルカリ含有量などの影響因子を考慮しながら、粘板岩、チャートの有害性について検討する。

実験Ⅰ：粘板岩、チャート中に含まれる有害鉱物の有無およびその鉱物名を知るため、X線粉末回折および偏光顕微鏡によって検討する。

実験Ⅱ：ASTM C289(骨材の潜在反応性試験)化学法によって反応性の程度を検討する。

実験Ⅲ：ASTM C227、モルタルバー法によって、粘板岩とチャートに関するアルカリ含有量とベシマム混入率との関係を把握し、このときの膨張量からこの岩種の有害性を検討する。表-1に実験の因子と水準を示す。

実験Ⅳ：実験Ⅲの材令3カ月で得られたベシマム混入率80%およびアルカリ含有量約2.0%(Na<sub>2</sub>O等量)の条件で、セメントの種類、アルカリ添加剤が、アルカリ骨材反応にどのような影響を及ぼすかを検討する。表-2に実験の因子と水準を示す。なお、このときの養生方法は、早期判定の一試案であるTemp=80℃、R.H=100%の高温常圧方法を用いた。この方法の有用性については、図-1にその結果を示す。すなわち、高温常圧方法による最大膨張量と材令17週のモルタルバー法の膨張量との比が、粘板岩で約1.2倍、チャートで約1.4倍になっており、材令とともに1.0近傍に漸近する傾向にある。したがって、この方法が定性的に有効であると言える。

実験Ⅲ、Ⅳに用いた材料、配合および供試体の作製方法はつぎのとおりである。

材料；使用セメントのアルカリ含有量を表-3に示す。もともとセメント中に含まれるアルカリ含有量(Baseと呼ぶ)は普通ポルトランドセメントのNo.2のケースのNa<sub>2</sub>O当量、

0.76%を除き、高炉B種、耐硫酸塩セメントとも0.53~0.58%の範囲であってほとんど差がない。セ

表-1 因子と水準 (ASTM C-227 モルタルバー法)

| 因子         | 水準  |
|------------|---|
| 岩種         | チャート, 粘板岩                                     |
| 反応性骨材混入率   | 20, 40, 60, 80, 100%                          |
| ※1 アルカリ含有量 | ※2 Base, 1.0, 1.5, 2.0%                       |
| 固定因子       | セメントの種類; 普通ポルトランドセメント養生条件; Temp=38℃, R.H=100% |

※1. Na<sub>2</sub>O当量で表わしている。

※2. もともとセメントに含まれるアルカリ量である。ただし、アルカリ添加剤はNaOHを使用した。

表-2 因子と水準 (高温常圧方法)

| 因子      | 水準   |
|---------|--|
| 岩種      | チャート, 粘板岩  |
| セメントの種類 | 普通ポルトランド, 高炉B種, 耐硫酸塩                                       |
| アルカリ添加剤 | NaOH, NaCl   |
| 固定因子    | 反応性骨材混入率; 80%養生条件; Temp=80℃, R.H=100%アルカリ含有量; ※Base+1.3(%) |

※ 表-1の※2と同様な考え方で、添加剤はNaOHとNaClの2種類を用いている。

表-3 使用セメントのアルカリ度と物理定数

| 項目                       |            | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | ※1<br>R <sub>2</sub> O | 比重   | 粉末度                      |
|--------------------------|------------|-------------------|------------------|------------------------|------|--------------------------|
| セメントの種類                  |            |                   |                  |                        |      |                          |
| 普通<br>ポルト<br>ランド<br>セメント | ※2<br>No 1 | 0.25%             | 0.46%            | 0.55%                  | 3.16 | 3,240 cm <sup>2</sup> /g |
|                          | No 2       | 0.37%             | 0.59%            | 0.76%                  |      |                          |
| 高炉セメントB種                 |            | 0.20%             | 0.58%            | 0.58%                  | 3.04 | 3,760                    |
| 耐硫酸塩セメント                 |            | 0.14%             | 0.59%            | 0.53%                  | 3.20 | 3,210                    |

※1. R<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>O換算当量, K<sub>2</sub>O×0.658+Na<sub>2</sub>O(%)  
 ※2. 実験ケースⅢの粘板岩についてのみ利用している。

メント中のアルカリ含有量を高める添加剤としてはNaOHを基本に用いた。ただし、実験Ⅳは比較のためNaClも用いた。また、非反応性骨材には豊浦標準砂を用いた。

配合; モルタルの配合は、セメント:水:骨材=1:0.46:2.25とした。

供試体の作製: 供試体の作製は、実験Ⅲ、ⅣともASTM C 227のモルタルバー法の作製方法に準じて各3本作製し、モルタル作製後24hrで脱型した。その後、実験ケースⅢは38℃、100%、実験Ⅳは80℃、100%でそれぞれ養生した。各材令での膨張量の測定は、測定たびごとに23℃の定温状態で16hr保持させた後実施した。

### 3. 実験結果および検討

#### 3.1 岩石学的な分析による有害性の検討

実験に供した粘板岩およびチャートは、地質学的には古生層に属する堆積岩である。

実験Ⅰで行った化学成分分析、X線粉末回折による結果を表-4、5に示す。また、これらの分析と合わせて行った偏光顕微鏡観察による鑑定によれば概ねつぎのようである。これらの岩種はすべて弱い熱変成を受けている。各岩種に共通して含まれる石英は、すべて再結晶のものであり、大部分が0.01~0.1mm程度の微細粒で、石基組織を呈した不定形の隠微晶質のものである。また、この石英はオパールが脱水して変化したものである。

この種の石英は、一般にアルカリ骨材反応に対する有害鉱物クリストバライト、トリジマイト、オパールおよび玉髄などと並び称されるもので、反応生の疑いのある鉱物の1つである。一方、粘板岩、ホルンフェルスに含まれる雲母、長石に関しても、乾湿のくり返しによる膨張、収縮のコンクリートに与える悪影響とか、セメント中のCa(OH)<sub>2</sub>と反応してコンクリート中のアルカリを高めるとかの懸念が考えられるが、これらの影響度についてはまだよく知られていない。<sup>2)</sup>

以上、岩石学的検討では、隠微晶質の石英がアルカリ骨材反応の疑いがあり、この比率が多い順に危険度が高いと推察される。

#### 3.2 化学法の結果

実験Ⅱに基づいて実施して求めたアルカリ濃度減少量と溶解シリカ量との関係をプロットして図-2に示す。チャート

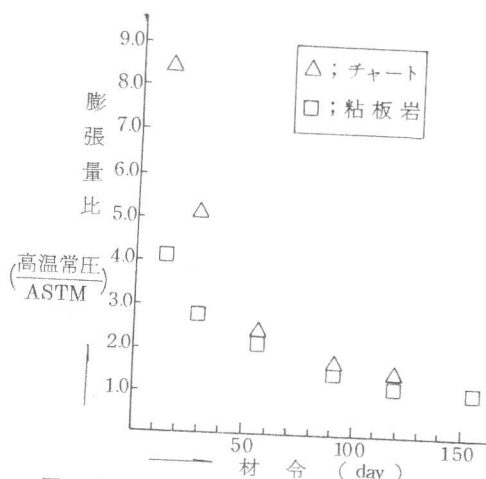


図-1 高温常圧方法とASTMとの膨張量比

表-4 岩石の化学成分分析

単位: %

| 項目   | ig. loss | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Total | S   |
|------|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-------------------|------------------|-------|-----|
| 岩種   |          |                  |                                |                                |     |     |                   |                  |       |     |
| チャート | 1.0      | 88.1             | 5.0                            | 1.8                            | 1.2 | 0.9 | 0.44              | 0.91             | 99.3  | 0.1 |
| 粘板岩  | 2.2      | 65.9             | 16.1                           | 5.0                            | 1.6 | 1.6 | 2.35              | 3.34             | 98.1  | 0.1 |

表-5 岩石のX, R, D結果

| 鉱物の種類    | 石英 | 長石 | 方解石 | 雲母 | カオリン |
|----------|----|----|-----|----|------|
| チャート     | 84 | —  | 5   | 6  | 5    |
| 粘板岩      | 32 | 15 | —   | 48 | 5    |
| ホルンフェルス※ | 30 | 17 |     | 53 |      |

※ 構成比率としては1割未満である。

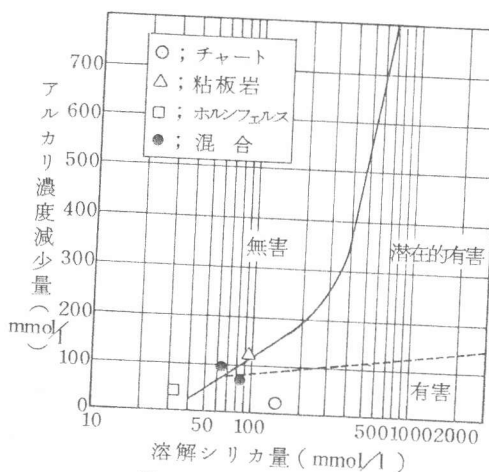


図-2 化学法の結果

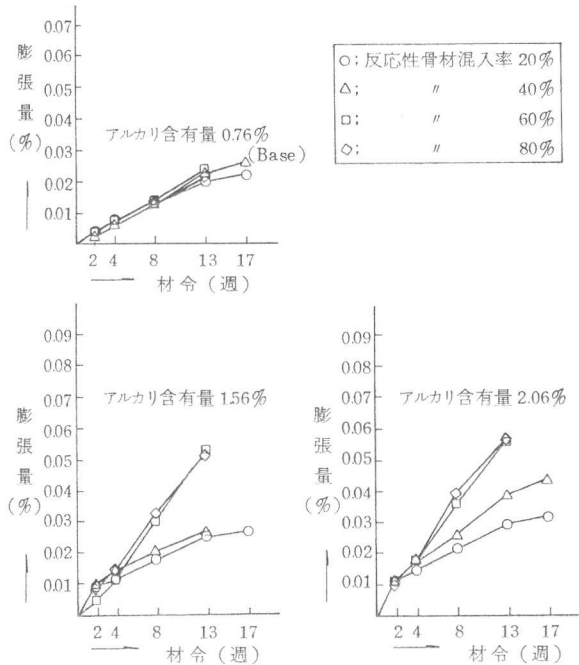


図-3 チャートに関する膨張量と材令との関係 (モルタルバー法)

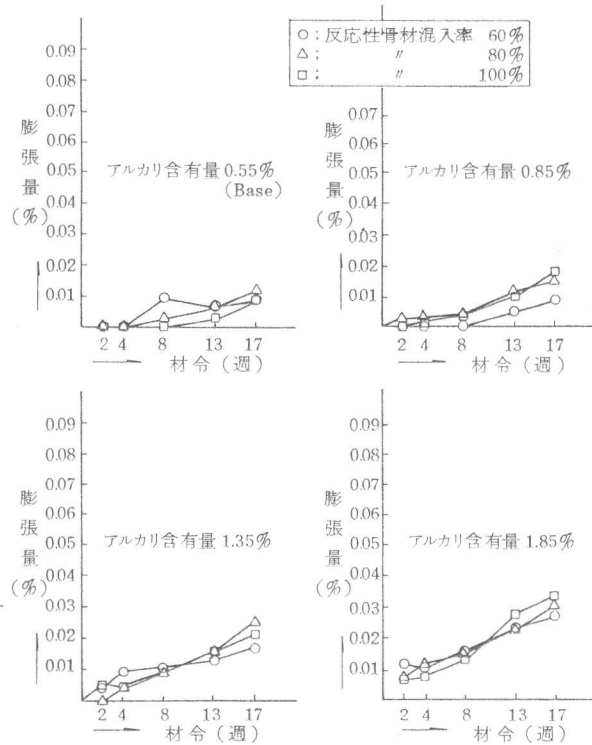


図-4 粘板岩に関する膨張量と材令との関係 (モルタルバー法)

は有害域に入り、粘板岩は潜在的有害域と無害域との境界であり、反応性かどうか微妙である。

### 3.3 モルタルバー法 (実験Ⅲ)

チャート、粘板岩について、反応性骨材混入率、アルカリ含有量を変化させたときのモルタルバー法による膨張量と材令との関係を図-3、4に示す。

チャート、粘板岩ともにアルカリ含有量が増えるにつれてベシマム混入率が大きくなる傾向を示している。チャートは1.56%以上の高アルカリ含有量において、混入率が60、80%のとき、材令3カ月の膨張量が0.055~0.058%になっている。この値は、ASTMのモルタルバー法の基準値(0.05%)を越えており、有害の可能性はある。粘板岩は、1.85%の最大アルカリ含有量においても材令3カ月での最大膨張量が0.03%程度と小さく、ASTMの基準では無害になる。(6カ月も継続中) 図-3、4より、混入率80%のときの膨張量とアルカリ含有量との関係を取り出して図-5に示す。チャートは、アルカリ含有量0.76と1.56%との間で急激な膨張量の増大があり、アルカリ含有量と膨張量とが単に比例関係でないことを示唆している。粘板岩は、アルカリ含有量と膨張量とがほぼ比例関係にある。

### 3.4 高温常圧方法 (実験Ⅳ)

実験Ⅲで得られた結果に基づき、反応性骨材混入率80%、アルカリ含有量2.0%前後の条件を一定にして、セメントの種類、アルカリ添加剤を変化させたときの膨張量と材令との関係を図-6、7に示す。なお実験は、前述したTemp=80℃、R、H=100%の養生条件で実施している。

アルカリ添加剤NaOHの場合の最終膨張量は、材令9日でチャートの場合0.092%、粘板岩の場合0.04%である。この値は、モルタルバー法の17週の結果(図-3、4)と比べて大きな値であるが、これは図-3、図-4の膨張曲線がまだ上向きであるためで、今後の追跡が必要である。

セメントの種類による膨張量の差は、チャート、粘板岩ともに顕著に現れている。ここで、興味のある点は

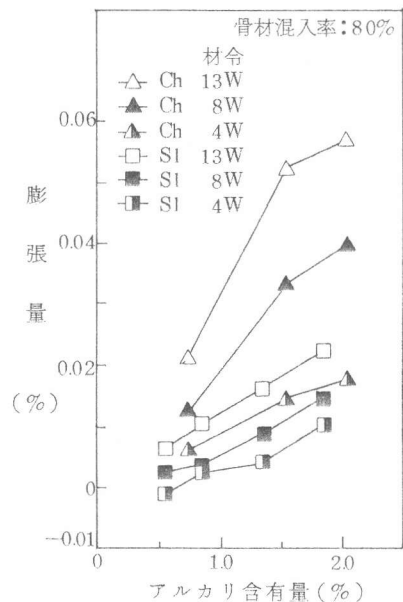


図-5 膨張量とアルカリ含有量との関係

普通ポルトランドセメント、高炉B種、耐硫酸塩セメントともそれぞれNaOH、NaCl添加後のアルカリ含有量が2.06%、1.88%、1.83%と大差ないにもかかわらず、チャートに対する普通ポルトランドの最終膨張量0.092%に対して、高炉B種、耐硫酸塩のそれは0.055%、0.048%と約1/2になっていることである。(図-6参照)このことは全体に膨張量が小さい粘板岩についても同様であり、高炉B種、耐硫酸塩セメントが骨材反応の抑止に有効であることを示している。セメントの種類が骨材反応に及ぼす影響はよく知られている。例えば、高炉B種セメント(スラグ量50%以上含)は、セメント中のBaseのアルカリがスラグで置換されるため膨張量が小さくなると一部で報告されている。<sup>3)</sup>しかし、今回の実験による高炉B種、耐硫酸塩セメントの骨材反応に対する抑止効果は、単なるアルカリ含有量の増減だけでは説明がつかないことを示唆している。この理由については、高炉B種の場合、骨材反応に関わるアルカリ成分が全アルカリ量とは異なるとか、または、アルカリ成分がポゾラン反応などにより一部消費されている可能性があるなどが考えられる。また、耐硫酸塩セメントについては、上記以外の原因がありそうであるが、よくわからないので今後十分に検討する必要がある。

図-7は、アルカリ添加剤にNaClを用いた場合の膨張量と材令との関係を示している。図-6のNaOHの場合と比べると、もともと膨張量が少ない粘板岩の高炉B種と耐硫酸塩セメントの場合、添加剤の違いによる差はないが、その他のケースについては顕著な差が認められる。そこで、NaOH/NaClの膨張量比をとると、耐硫酸塩で約2.3倍、普通ポルトランドで約1.8倍、高炉Bで約1.6倍、それぞれNaOHが膨張量を増大させていることがわかる。骨材反応による膨張量はアルカリ化合物に影響されると言われている。そして、NaOHとNaClとの比較実験において、NaClが膨張量を増大させるという報告もある。<sup>4)</sup>しかし、筆者等の結果は、これと全く逆の現象を示している。この理由については、岩種の差異によるものか、あるいは高温常圧方法の養生条件に起因するものかはっきりしない。

#### 4 まとめ

本研究で得られた結果をまとめるとつぎのようになる。

- ①チャート、粘板岩ともにアルカリ骨材反応を起こす可能性のある岩種である。チャートは、1.56%以上のアルカリ含有量の下で、材令3カ月のとき0.05%以上の膨張量を示し有害の可能性がある。
- ②高炉セメントB種および耐硫酸塩セメントは、アルカリ骨材反応に対して、添加剤に関係なくかなりの抑止効果を発揮する。
- ③アルカリ添加剤NaOHはNaClに比べてアルカリ骨材反応による膨張量を増大させる働きをする。

#### 参考文献

- 1) 渡, 他3名: "骨材反応の早期判定方法に関する一考察" 第7回コンクリート工学年次講演集 2) セメント協会: セメント化学専門委員会報告C-2, アルカリ骨材反応に関する文献調査, 59. 5. 3) BY C. EB TASK GROUP DURABILITY: DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES. 耐久性研究委員会抄訳資料, コンクリート工学, VOL. 22, NO. 1, JAN. 1984. 4) 中野, 他3名: 反応性骨材の膨張に及ぼすアルカリ化合物の影響. セメントコンクリート, NO. 446, APR. 1984.

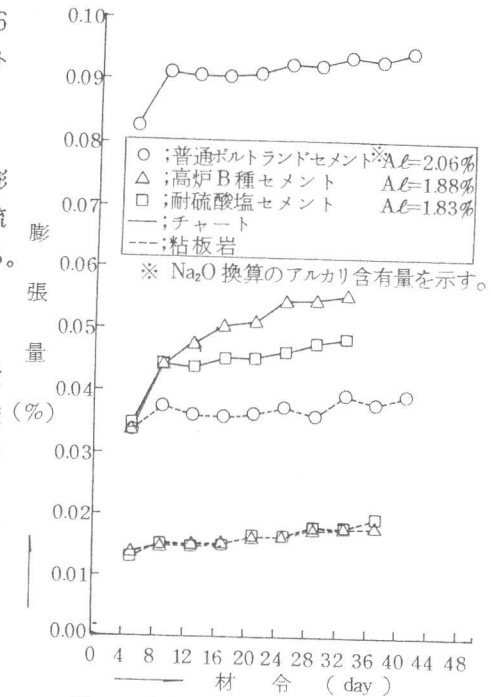


図-6 膨張量と材令との関係 (高温常圧養生, NaOHのケース)

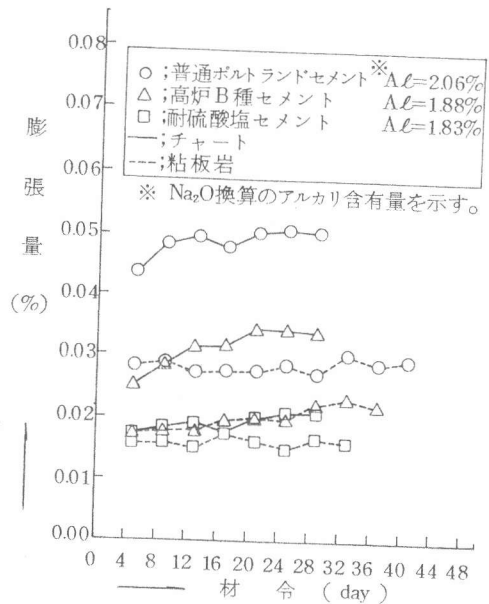


図-7 膨張量と材令との関係 (高温常圧養生, NaClのケース)