

石灰石骨材中の含有不純物の形態とアルカリシリカ反応性の評価

金沢大学自然科学研究科 学生員 中島 隆甫
 金沢大学理工研究域 正会員 山戸 博晃
 金沢大学自然科学研究科 広野 真一
 金沢大学理工研究域 正会員 鳥居 和之

1. はじめに

近年、コンクリートの乾燥収縮とアルカリシリカ反応(ASR)との両抑制対策の観点から、全国的に石灰石骨材の使用が注目されている。実際、北陸地方の一部の地域、例えば能登地方などでも、糸魚川市の近辺で産出する石灰石がコンクリート用骨材として次第に使用されてきている。しかし、アメリカやカナダでの ASR による劣化事例から明らかなように、不純物を含む石灰石の一部は、反応性鉱物として隠微晶質石英を含有することがあり、このような石灰石を用いたコンクリートは遅延膨張型の ASR が発生することが知られている。一方、石灰石骨材の ASR は、現行の化学法(JIS A1145)やモルタルバー法(JIS A1146)により適切に評価できないことも良く知られている。

そこで本研究では、石灰石骨材の含有不純物の形態を主に偏光顕微鏡による薄片研磨試料の観察によって明らかにするとともに、その不純物の含有形態が ASR の発生に対してどのような影響を与えるのかを実験的に検討した¹⁾。

2. 実験概要 2. 1 使用材料 本研究に使用した石灰石骨材は、中部地方、近畿地方及び東北地方から収集した、9種類の石灰石骨材(コンクリート用骨材として使用されているもの(路盤採石用(F)の1種類を含む))である。石灰石骨材 A(密度: 2.62g/cm³、吸水率: 1.5%)と石灰石骨材 B(密度: 2.70g/cm³、吸水率: 0.6%)は同一の産地のものであり、純度の高い石灰岩から製造されている。石灰石骨材 C(密度: 2.64g/cm³、吸水率: 1.2%)と石灰石 D(密度: 2.67g/cm³、吸水率: 1.4%)は石灰石骨材 A 及び B と同一の産地であるが、製造会社が異なるものである。また、石灰石骨材 E(密度: 2.71g/cm³、吸水率: 0.5%)と石灰石骨材 F(密度: 2.71g/cm³、吸水率: 0.4%)は岐阜県と三重県とで近接する産地であり、この採掘場では石灰岩に頁岩やチャートなどのほさが存在しているのが特徴である。同様に、石灰石骨材 G(密度: 2.66g/cm³、吸水率: 1.5%)にも若干のほさが存在する。さらに、石灰石骨材 H(密度: 2.70g/cm³、吸水率: 0.3%)は純度の高い石灰岩から製造されている。石灰石骨材 I(密度: 2.69g/cm³、吸水率: 0.4%)はシリカ質の不純物を石灰岩中に比較的多く含有するのが特徴である。一方、骨材の ASR 試験(ASTM C1260)に使用したセメントは普通ポルトランドセメント(セメント協会、密度: 3.16g/cm³等価アルカリ: 0.68%)である。

2. 2 骨材の ASR 試験法 骨材のアルカリシリカ反応性を促進モルタルバー法(ASTM C1260, 温度 80℃の 1N・NaOH 溶液への浸せき)により調べた。その一方で、現行のモルタルバー法(JIS A1146)ではこれらの石灰石骨材はまったく膨張しないことを確認している。また、石灰石骨材の岩石・鉱物学的試験として、薄片の偏光顕微鏡による観察、粉末試料の蛍光 X 線分析(化学成分)及び X 線回折分析(鉱物組成)を実施した。

3. 実験結果及び考察 3. 1 石灰石骨材の岩石・鉱物学的特徴 石灰石骨材の化学成分分析の結果を表-1に示す。純粋な石灰石骨材はカルサイト(CaCO₃)のみで構成されているが、岩体にはほさが混入してくると、シリカやアルミナ、鉄などの不純物が増加する。このため、カナダなどで実施しているドロマイト化(MgCO₃)の判定だけでなく、骨材の ASR 試験の 1 次スクリーニングとして、化学成分分析値から求めたシリカ質の不純物(SiO₂)の量を目安にすることが有効であり、その閾値は化学成分分析結果より 5%とすることが適切であると考えている。

キーワード: アルカリシリカ反応性, 石灰石骨材, 促進モルタルバー法(ASTM C1260)

連絡先: 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 〒920-1192 金沢市角間町 Tel & Fax 076-264-6365

表-1 石灰石骨材の化学成分分析値(%)

石灰石	lg.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
A	43.62	0.28	0.10	0.10	55.31	0.43	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
B	43.64	0.06	0.04	0.16	55.48	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
C	43.54	0.15	0.12	0.50	54.96	0.67	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04
D	44.47	1.55	0.15	0.93	42.86	10.27	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03
E	43.09	1.17	0.15	0.08	53.60	1.52	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06	0.03
F	35.31	15.95	2.67	0.66	41.46	2.76	0.02	0.23	0.64	0.09	0.04	0.03
G	40.89	5.20	0.77	0.58	50.42	1.88	0.01	0.05	0.11	0.06	0.02	0.02
H	43.63	0.06	0.05	0.06	55.62	0.44	0.00	0.00	0.01	0.00	0.14	0.01
I	39.68	6.02	1.60	1.15	48.31	2.34	0.69	0.12	0.14	0.08	0.02	0.04

3. 2 石灰石骨材のアルカリシリカ反応性の評価 促進モルタルバー法(ASTM C1260)における膨張挙動を図-1に示す。化学成分分析の結果より、不純物を含有しない石灰石骨材 A、B、C、D、E 及び H はまったく膨張しなかった。それに対して、石灰石骨材 F、G 及び I は膨張が発生し、その中で石灰石骨材 F は「不明確」と判定された。石灰石骨材 F、G 及び I は化学成分分析より他の石灰石に比べてシリカ(SiO₂)を多く含んでおり、シリカの含有量とモルタルの膨張量との間には比例関係が認められた。また、石灰石骨材 D は化学成分分析により MgO を多く含んでおり、石灰石骨材の偏光顕微鏡の薄片研磨試料の観察によりドロマイト質石灰石であることが判明した。一方、偏光顕微鏡による石灰石骨材の薄片研磨試料(石灰石骨材 F、G 及び I)の観察結果(写真-1)より、石灰石骨材 F 及び G にはチャートや頁岩などの堆積岩がはさみとして混入している事が判明した。一部のチャートの中には隠微晶質石英が同定でき、ASTM C1260 の終了後のモルタルの薄片研磨試料を観察してみると、この隠微晶質石英が反応し、粒子の周囲に ASR ゲルが生じているのが確認された。また、石灰石骨材 I においてははさみとして泥質岩が確認され、ASTMC1260 終了後のモルタルの薄片研磨試料の観察により、それに含まれる隠微晶質石英が ASR 反応を発生していた。

5. まとめ 本研究で得られた主要な結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 促進モルタルバー法(ASTM C1260)において、不純物を含む石灰石骨材は膨張が発生し、シリカ含有量と膨張量との間には正比例の関係があった。また、ASR 判定の閾値は化学成分分析結果より、5%にすることで適切な1次スクリーニングが可能であった。

(2) 偏光顕微鏡観察より、ASTM C1260 終了後に石灰石骨材に含有していたチャートや頁岩から ASR の発生が確認された。また、石灰石骨材に混入した泥質岩に含まれていた隠微晶質石英による ASR も観察された。これにより、石灰石骨材の不純物による ASR に2種類の反応形態が確認された。

参考文献

- 1) 山戸博晃, 広野真一, 中島隆甫, 鳥居和之: わが国の石灰石骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリシリカ反応性の評価, コンクリート工学年次論文集(掲載確定)

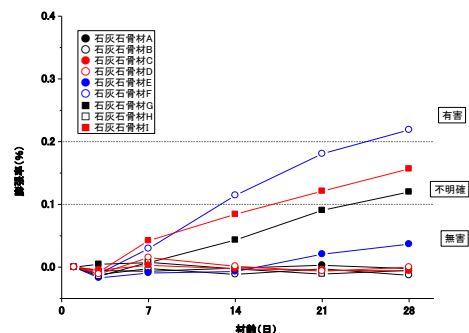


図-1 促進モルタルバー法(ASTM C1260)における膨張挙動

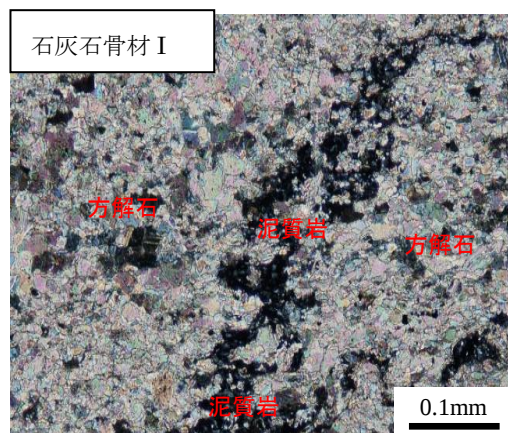
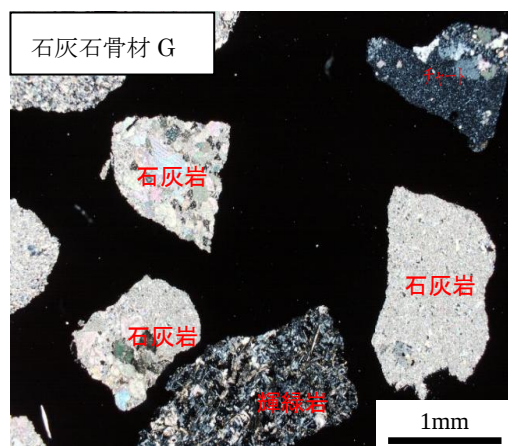
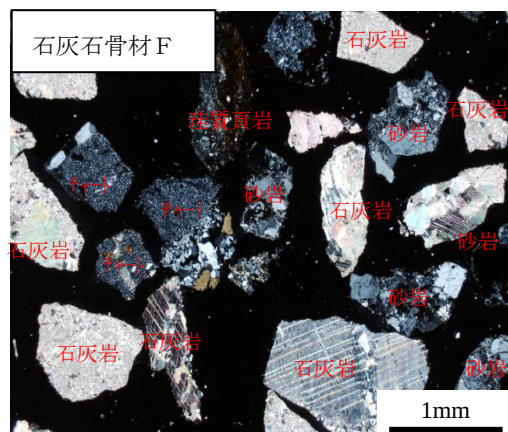


写真-1 偏光顕微鏡による薄片研磨試料の観察結果