

報 告

[1182] 石灰石骨材のアルカリ反応性早期判定試験方法の開発に関する研究

松浪良夫*1・田村 博*1・斎藤広志*1・島田 良*2

1. はじめに

我国では、石灰石骨材のアルカリ反応性試験方法は未だ確立されていない。石灰石のコンクリート用骨材としての使用量が近年増大していることから、将来、低品位で不純物を含む石灰石骨材も使用される可能性があり、本邦産の石灰石骨材のアルカリ反応性を判定する試験方法を早急に確立する必要がある。当試験所では1987年からの自主研究、1991年からの石灰石鉱業協会との共同研究により、同試験方法の開発研究を行っている。第一次試験として、カナダ産でアルカリ反応性が既に確認されている石灰石（1試料）と本邦産の一部の地域の石灰石（11試料）の基本的な比較試験を実施し、その結果を報告した¹⁾。同結果を踏まえ、さらに本邦産の石灰石計80試料およびカナダ産の石灰石計7試料、合計87試料を採取し、第二次試験を開始した。本報はこれまでに得られた試験結果について述べたものである。

2. 試験の内容

1) 試験用試料採取

いずれの試料も直接現地で切羽の状況を調査し採取した。本邦産石灰石の試料採取は、日本列島を地質的に大きく4つに分帯し（東北日本型鉱床、西南日本内帯型鉱床、西南日本準内帯型鉱床および西南日本外帯型鉱床）²⁾、かつ生産量が一定数量以上の鉱山を対象とした。その本邦産試料の内、本報告中に示した試料記号：Jの試料は、低品質のドロマイト質石灰石（SiO₂: 8.57%、不溶残分：9.65%、製品化されていない岩層より採取）である。カナダ産のアルカリ反応性が確認されている石灰石の試料採取は、過去のデータ³⁾を基に、カナダ国オンタリオ州のPITTSBURG採石場およびSPRATTS採石場の2カ所より採取した。前者はアルカリ炭酸塩反応を生じるもの（記号：P1～P4）、後者はアルカリシリカ反応を生じるもの（記号：S1～S3）とされている。なお、現在までに終了した試料の化学分析結果を表-1に示す。

表-1 化学分析結果¹⁾ (単位：%)

試料記号	反応性の種類および有害性	岩種 ²⁾	Ig. Loss	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Insol	カナダ産試料の不溶残分(Insol)中の成分および岩石の組織の概要 ³⁾	
カナダ産	P1	ACR	有害	CD	24.5	17.0	10.8	4.64	1.78	36.8	42.7
	P2			DC	39.7	41.4	6.2	1.71	0.71	9.3	10.7
	P3		DC	39.4	45.6	3.0	1.48	0.59	8.9	10.5	
	P4		無害	CD	34.2	24.4	2.2	2.66	1.46	21.7	23.8
	S1	ASR	有害	DC	38.6	46.8	1.7	0.42	0.23	11.6	12.2
	S2			C	40.6	51.1	0.8	0.12	0.11	7.2	7.5
	S3		無害	DC	43.0	51.0	3.0	0.00	0.30	2.4	2.5
本邦産				39.4 ~ 44.2	48.7 ~ 55.6	0.25 ~ 2.32	0.00 ~ 0.56	0.01 ~ 0.37	0.00 ~ 8.57	0.26 ~ 9.65	不溶残分中の成分は、P1～P4がイライトおよび雲母等の粘土鉱物、S1～S3は、ほとんど珪酸物質。組織はいずれも隠微晶質あるいは微晶質で小径のドロマイト、方解石および石英等の結晶を伴う。

註) 1) 試験方法は、主にJIS M 8850「石灰石分析方法」により行った。

2) CD：石灰質ドロマイト DC：ドロマイト質石灰石 C：石灰石

3) 粉末X線回折および偏光顕微鏡による。なお、S1～S3中の珪酸物質の種別・結晶性は確認不能。

*1 (財) 日本建築総合試験所 材料試験室 (正会員)

*2 (財) 日本建築総合試験所 加古川分室

2) 試験項目および試験方法

第一次試験同様、本邦産石灰石とカナダ産石灰石について、以下に示す基本的な比較試験を実施した。ただし、いずれも試験継続中である。

(1) ロックシリンダー法

ASTM C 586「POTENTIAL ALKALI REACTIVITY OF CARBONATE ROCKS FOR CONCRETE AGGREGATES (ROCK CYLINDER METHOD)」により行った。

(2) モルタルバー法

JIS A 5308 附属書 8「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルバー法)」により行った。

(3) 化学法

JIS A 5308 附属書 7「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(化学法)」により行った。

(4) 迅速法

JIS A 1804「コンクリート生産工程管理用試験方法－骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(迅速法)」に準じて行った。ただし、現在は予備試験の段階であり、試料は、カナダ産の P 1～P 3 を混合したもの(記号：P)、S 1 と S 2 を混合したもの(記号：S) および本邦産のドロマイト質石灰石の代表的なもの 5 試料の計 7 試料を用い、添加アルカリ量(2.5%、3.0%、3.5%、4.0% および 4.5%) の違いによる試験結果の変化を検討した。

3. 試験結果

現在までの試験結果の概要を以下に示す。

(1) ロックシリンダー法

試験結果を図-1 に示す(ただし、堆積層に垂直に採取した供試体の測定結果)。現在、合計 87 試料の内、69 試料について材齢 12 週を終了した。この内、試料 J を含む本邦産の石灰石(59 試料)については、規定値(0.1%)を上回っているものはなく、ほとんど膨張は認められなかった(-0.04~0.00%)。カナダ産の試料の内、アルカリ炭酸塩反応性を有する試料 P 1～P 3 は既に規定値を上回っている(0.14~3.23%)。他の試料(試料 P 4 および S 1～S 3)については、ほとんど膨張は認められなかった(-0.01~0.02%)。

(2) モルタルバー法

試験結果を図-2 に示す。現在、合計 87 試料の内、83 試料について材齢 3 カ月あるいは 6 カ月を終了した。この内、本邦産の石灰石(76 試料)については規定値(6 カ月：0.1%)を上回るものはなかった(材齢 6 カ月で 0.005~0.05%) が、その内、試料 J は、他の本邦産の試料に比べ、顕著な膨張を示した。カナダ産の試料の内、アルカリシリカ反応性の試料については、試料 S 1 および S 2 が材齢 2 カ月あるいは 3 カ月で規定値を上回った(材齢 3 カ月で 0.323~0.128%)。試料 S 3 は、現在、材齢 4 カ月を終了した段階であるが、膨張量は約 0.02% である。また、同様にカナダ産の試料の内、アルカリ炭酸塩反応性試料については、試料：P 1～P 4 の内、P 2、P 3 の膨張量が本邦産のものに比べ、大きい傾向(P 1 についても、若干大きな傾向)である。P 4 については、本邦産のものと同程度であった。

(3) 化学法

試験結果を図-3 に示す。現在、合計 87 試料の内、37 試料を終了した。反応性が確認されているカナダ産の試料計 7 試料および試料 J を含む本邦産の試料いずれも『無害』と判定された。このことから、本試験方法で、石灰石のアルカリ反応性を判定することはできないと判断された。

したがって、ASTM C 289（化学法）にも記載されているとおり、本試験への石灰石あるいは石灰質岩石の適用は不適当とすべきであると判断する。

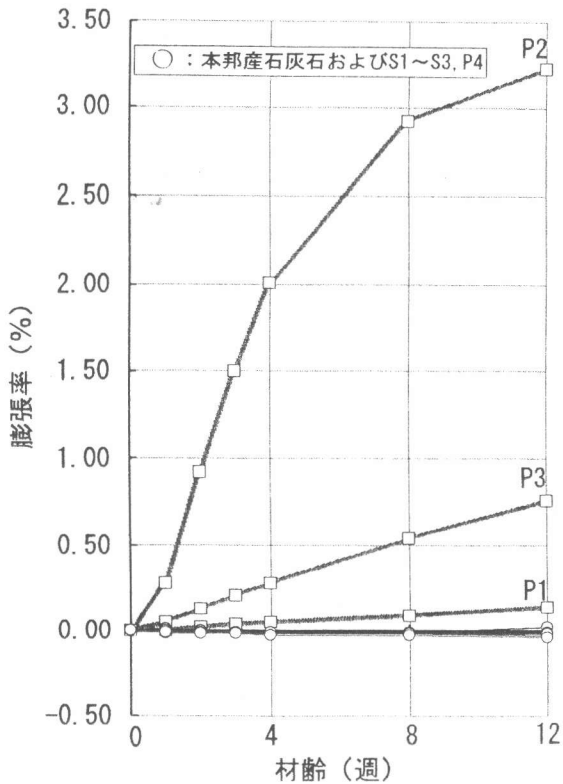


図-1 ロックシリンダー法試験結果

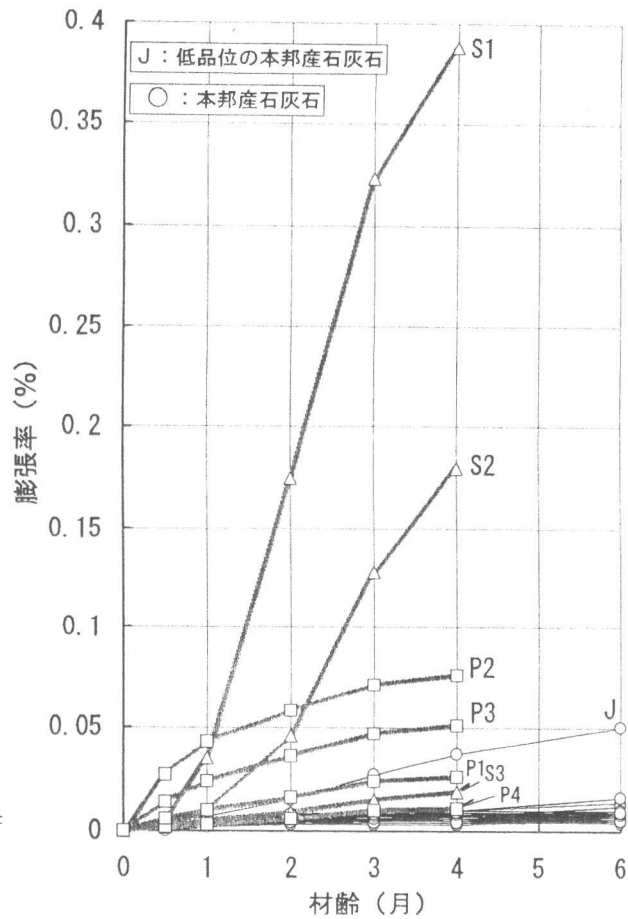


図-2 JISモルタルバー法試験結果

(4) 迅速法

試験結果を図-4に示す。添加アルカリ量が標準添加量（2.5%）の場合、アルカリシリカ反応性を有する混合試料Sは、『無害でない』と判定された。混合試料Pおよび本邦産試料は『無害』と判定されたが、試料Jは比較的高い反応性が認められた。

添加アルカリ量を増大させると、混合試料Sは、他の試料に比べ、より明確にその反応性を評価することができた。

混合試料Pおよび試料Jを含む本邦産試料については、添加アルカリ量を増大させても、試験結果の変化はわずかであった。ただし、混合試料Pおよび試料Jの長さ変化率が、他の本邦産試料に比べ、若干大きな値であった。特に、試料Jについては、JISモルタルバー法においても他の本邦産試料に比べて膨張量が大きく、比較的反応性が高い石灰石であると判断された。

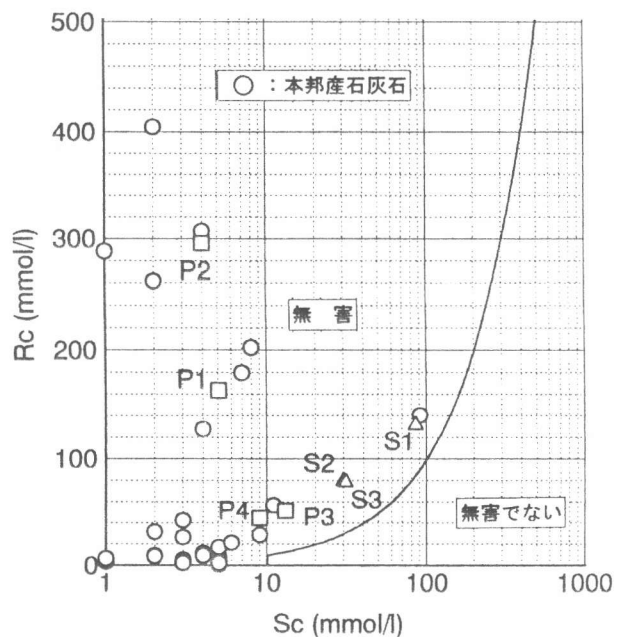


図-3 JIS化学法試験結果

4. まとめ

これまでの試験結果から、次のような事項が明らかとなった。

- ① J I S 化学法では、石灰石のアルカリ炭酸塩反応性およびアルカリシリカ反応性のいずれも判定することはできない。
- ② ロックシリンダー法では、石灰石のアルカリ炭酸塩反応性を確認することはできるが、アルカリシリカ反応性を判定することはできない。
- ③ J I S モルタルバー法では、石灰石のアルカリシリカ反応性を確認することはできるが、アルカリ炭酸塩反応性を判定することはできない。
- ④ J I S 迅速法では、J I S モルタルバー法同様、石灰石のアルカリシリカ反応性を確認することはできるが、アルカリ炭酸塩反応性を判定することはできない。ただし、アルカリシリカ反応性についても、試料Sが混合試料であったことから、今後、単独試料の試験を実施し、試験条件あるいは規定値を再確認する必要がある。
- ⑤ アルカリ炭酸塩反応性については、現段階ではロックシリンダー法により確認することが望ましいが、同試験方法は供試体の製作あるいは測定期間等非常に手間のかかる試験である。従って、同反応性については、J I S 迅速法をベースにした試験方法を確立すべく、さらに同試験方法について試験条件あるいは判定基準の検討を加える必要がある。

- ⑥ 本邦産試料の内、反応性が懸念される低品質のドロマイト質石灰石試料Jについては、迅速法で、添加アルカリ量3%以上の場合に、長さ変化率で『無害でない』と判定され、また、モルタルバー法においても他の本邦産試料に比べ顕著に大きな膨張を示したことから、比較的反応性が高い石灰石であると判断された。

最後に、本研究を実施するに際し、石灰石試料の採取に関して多大なるご協力をいただいた石灰石鉱業協会および関係各位に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 斎藤広志・田村 博・松浪良夫：石灰石骨材のアルカリ反応性早期判定試験方法の開発に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1 pp.905-910、1993.6
- 2) 石灰石鉱業協会：日本の石灰石、pp.39-42、1983
- 3) Rogers C.A., General Information on Standard Alkali-Reactive Aggregates from Ontario, Canada, 1988

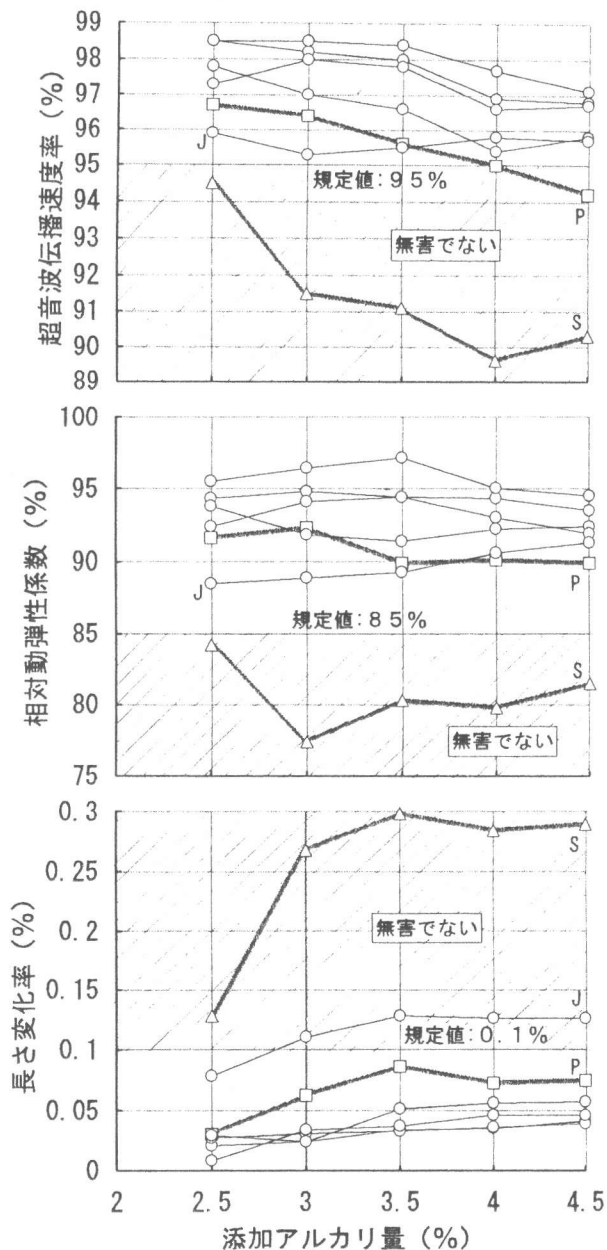


図-4 迅速法試験結果

註) ○：本邦産石灰石