

低品質な火山岩碎石をコンクリート骨材へ利用するために

秋田大・工資 今井忠男, 秋田大・工資 杉本文男

1. はじめに

全国の碎石の50%程度は、コンクリートに用いられており¹⁾、道路用より多い。これに対し、秋田県の碎石はコンクリート用骨材としては低品質とされ、コンクリートには10%程度しか用いられず、多くは道路用である¹⁾。このことから、秋田県の碎石産業は特殊な条件下にあるといえる。

この要因は、秋田県内で生産される碎石の岩種構成にある。秋田県で産する碎石のほとんどは、新第三紀から第四紀にかけての比較的若い安山岩および玄武岩からなっている¹⁾。しかし、全国平均では、砂岩の割合が約35%と最も多く、石灰岩も15%程度ある。安山岩は約23%で、秋田県の割合の1/4程度である¹⁾。例えば、アメリカでは碎石として石灰岩および苦灰岩が最も多く生産されており²⁾、安山岩や玄武岩などの火山岩は、ほとんど生産されない傾向にある。このように、アメリカをはじめとし、火山岩は骨材利用に忌避され易い傾向にあり、このことが火山岩碎石がコンクリート利用され難い理由の1つになっていると思われる。

しかし、日本列島の地質条件から、国内では秋田県のように多くの火山岩が分布しており、これらの多くをコンクリート骨材に利用できれば、秋田県および将来の日本において、骨材の安定供給に繋がると考えられる。

本論では、現状においてコンクリートに用いられることが少ない安山岩および玄武岩などの火山岩について、コンクリート骨材への利用可能性を検討した。具体的には、火山岩碎石に対する、次の3つの問題点について議論した。(1)コンクリート用碎石のJIS規格の妥当性、(2)コンクリート強度に影響を及ぼす骨材の強度基準、(3)コンクリートの長期安定性に影響を及ぼす骨材の物性基準。これらの問題点が解決されることで、火山岩碎石の骨材への利用可能性が拓かれると考えられる。

2. コンクリート用骨材のJIS規格

2.1 碎石骨材と軽量骨材のJIS規格の比較

碎石骨材のJIS規格³⁾は、すり減り減量値のように舗装用コンクリートのための規格、安定性値のように凍結融解破壊への耐久性(耐凍害性)の基準値(吸水率も耐凍害性の基準)と、比重や吸水率のなど岩石の基礎物性値からなっている。岩石力学的には、岩石は比重が大きく吸水率(空隙率と関連)が小さいほど、強度が大きい傾向にあるといえるが、比重と吸水率から強度を推定することはできない。したがって、碎石骨材の規格を満たす骨材を用いてもコンクリート強度が保証されるとは限

らない。これに対し、軽量骨材のJIS規格⁴⁾では、ある配合条件でコンクリートを作製したときのコンクリート強度が規格値となっている。コンクリート製品としては、軽量骨材の規格のように、骨材の評価を製品であるコンクリートの強度でおこなう方が、製品の品質を保証するという意味で妥当であると考えられる。

この規格を全ての骨材に用いる場合、人工的な軽量骨材は、物性値が均質化しているので管理し易いが、天然の岩石は採掘場所によって物性値のバラツキが大きいため、採掘ごとに定期的に検査する必要がある。しかし、コンクリートの養生に28日間も要するため、作業上、碎石の出荷の遅れが大きな問題となる。

上述の議論から、碎石骨材の適正な規格値は、軽量骨材の規格のようにコンクリートの強度が保証され、かつ骨材の物性値として定期的に素早く評価できる値が合理的と思われる。

2.2 火山岩碎石の特徴

図1は秋田県工業技術センターが調査した、秋田県内における碎石骨材の評価データ⁵⁾をグラフにまとめたものである。碎石データは全部で38個あり、全て火山岩(安山岩-玄武岩)である。図1にはすり減り減量と吸水率の関係からJIS規格内にある碎石を示した。図より、すり減り減量が40%以上のものは少なく、吸水率によって良否が決まっている。また、文献データのうち、すべての規格を満たす碎石は、全体の40%程度である。

上述の関係から、現状のJIS規格に従えば、火山岩碎石をコンクリートに用いる場合、吸水率3.0%以上の規格値が最もクリアし難い値となっている。火山岩の吸水率が比較的大きい原因は、マグマの急激冷却という火山岩の生成過程にあるため、この規格値を遵守する限り、火山岩のコンクリートへの利用は難しい。

3. コンクリート骨材の条件

3.1 骨材の基準強度

粗骨材を配合しないセメントペーストおよびモルタルでも、水セメント比によって十分な強度を得ることができ。すなわち、コンクリート製作における粗骨材の主な役割は、充填材としてコンクリートの強度を低下させずに、セメントおよび細骨材の量を減らし、製作コストを低くすることにある。したがって、粗骨材の第一の必要条件是、粗骨材の充填によって、コンクリートの強度をあまり低下させないことである。この条件を満たすためには、粗骨材自体の強度および骨材とセメントの接合強度についての基準が必要となる。

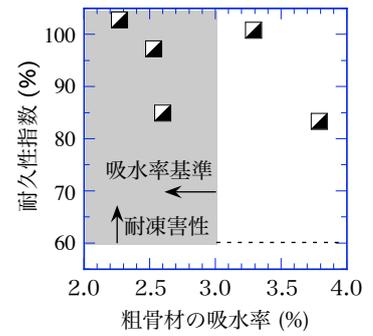
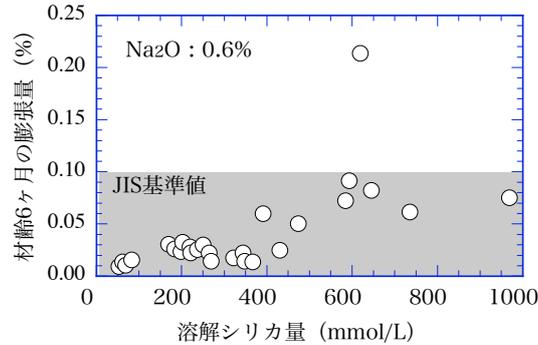
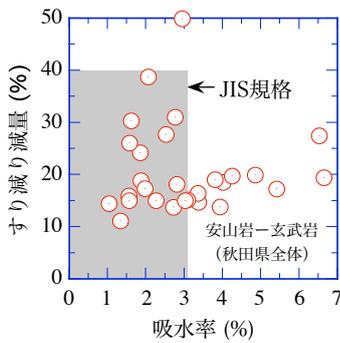


図1 秋田県で生産されている砕石の品質⁵⁾ 図2 材齢6ヶ月の膨張量と溶解シリカ量⁸⁾ 図3 凍結融解試験による耐凍害性評価⁵⁾

本論では、実験によって、コンクリート強度と粗骨材強度との関係を調べ、コンクリート強度を低下させない粗骨材の強度基準について検討した。

3.2 コンクリートの長期安定性

コンクリート構造物を設計・施工する場合、コンクリート完成時の強度だけでなく、長期的な安定性を考慮しなければならない。すなわち、コンクリートおよび鉄筋が、経年によって劣化しないコンクリートを作製する必要がある。これまで知られている経年劣化の要因には、(1)アルカリ骨材反応、(2)凍結融解破壊が知られている。とくに、火山岩砕石を用いる場合にも、これら経年劣化現象への耐性についても、十分に検討しなければならない。

(1) アルカリ骨材反応

多くの火山岩中には、シリカ成分が溶解しやすいクリストバライトやトリジマイト、および火山ガラスが含有されており⁶⁾、骨材利用に際しては、アルカリシリカ反応についての注意が必要である。

JIS規格⁷⁾によれば、骨材によらずコンクリート中のアルカリの総量を規制したり、反応しにくい混合セメントを用いれば、アルカリ骨材反応の防止対策になるとされている。しかしながら、一般にはアルカリシリカ反応を生じない骨材を用いる方がコストを低く押さえられることから、アルカリ骨材反応を生じない骨材しか生産されていない。関本・大塚⁸⁾は、東北6県の砕石を用い、アルカリ骨材反応について、モルタルバー法⁹⁾および化学法¹⁰⁾によって膨張量と溶解シリカ量を調べた。図2は、東北6県の安山岩砕石について、材齢6ヶ月の膨張量と溶解シリカ量との関係を示したものである。ただし、モルタルバー法による膨張データは、セメント中のアルカリ(Na₂O)量を増加させず、セメント中のNa₂O量を0.6%(市販量)として実験した値である。図より、安山岩は溶解シリカ量に比例して膨張量も増加する傾向にあるが、膨張量のJIS規格(0.1%/6ヶ月)を超えたものは55試料中1つであり、安山岩がアルカリ骨材反応を生じる割合は約2%と少ない。しかし、これら安山岩試料を化学法の基準で評価した場合、無害でないものの割合が約53%であると報

告されている⁸⁾。現状では、化学法のみで骨材のアルカリ骨材反応が評価されている傾向にあることから、アルカリ骨材反応の評価法には、多くの問題点がある。

(2) 凍結融解

骨材の耐凍害性は、安定性と吸水率、および凍結融解試験による耐久指数によって全国一律の基準値とされている。秋田県工業技術センターでは、秋田県産の吸水率が異なる5種類の砕石を粗骨材に用いたコンクリートに対し、凍結融解試験¹¹⁾をおこなって耐久性を調べている⁵⁾。この結果を図3に示す。土木学会基準¹¹⁾では、耐久性指数60%以上のコンクリートを耐凍害性があるものとし、JIS規格では、吸水率3%以内の骨材を耐凍害性のあるものとしている。図より、コンクリートの耐久性指数は骨材の吸水性にあまり関係しておらず、吸水性がJIS規格を外れたものでも、図中のデータはすべて耐凍害性が認められる。すなわち、火山岩砕石を骨材に用いた場合、コンクリートの耐凍害性に対して粗骨材の影響は小さいことから、粗骨材の耐凍害性を吸水率3%以内によって規制することは、あまり現実的でないと思われる。

また、日本ではコンクリートが凍結融解を繰り返す寒冷な地域は限られており、多くの地域では骨材に耐凍害性は必要ないと思われる。

4. コンクリート強度実験法

4.1 砕石試料

本研究では、表1に示すように、秋田県内の代表的な4つの砕石生産地域から、骨材(A)~(D)の4種類の火山岩を採取し、コンクリート用骨材とした。骨材(B)は玄武岩、他は安山岩である。図4に4つの試料の絶乾比重と吸水率の関係を示した。同岩種においては、概ね比重と空隙率は相関がある。この図から骨材規格に適合するのは骨材(A)のみであり、実際に骨材(A)はコンクリートに用いられている。骨材(B)は吸水率が3%を少し超えており、骨材には不適格となっている。骨材(D)の吸水率が大きくばらつく原因は、安山岩の空隙分布に偏りが大きいためである。したがって、骨材(D)のような岩石の場合、吸水率など物性値の測定にあたっては、十分な平均化が必要である。

表1 試料の岩石分類

試料名	岩種	産地
(A)	安山岩	仙北
(B)	玄武岩	北秋田
(C)	安山岩	秋田
(D)	安山岩	にかほ

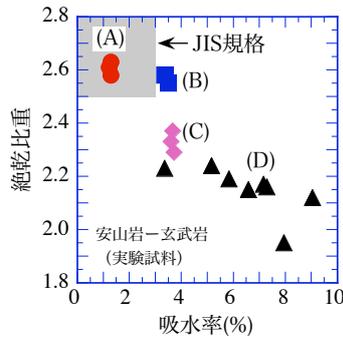


図4 試料岩石の品質

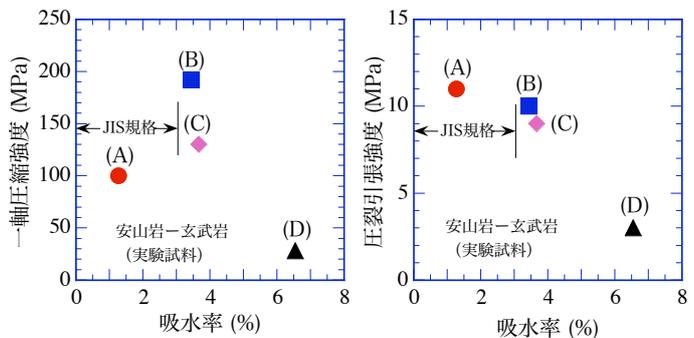


図5 試料岩石の吸水率と強度特性との関係

表2 コンクリートの配合表

水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 S/a (%)	単位水量 kg/m ³
40	2.0	45	185

4.2 コンクリートの圧縮強度試験

(1) コンクリート強度に及ぼす骨材の強度

これら4つの砕石を用い、表2の軽量骨材規格に準じた配合比に基づいて、それぞれコンクリート供試体を作製し、強度試験に供した。なお、細骨材には山砂を共通に用いた。供試体の形状はφ10cm、高さ20cmの円柱形とし、水温20℃前後の水中で28日間養生した。

ここでは、同一条件で作製および養生された、粗骨材が異なるコンクリート供試体を用いて、一軸圧縮試験をおこなった。この結果から、コンクリートの発現強度に及ぼす粗骨材の強度特性の影響について調べ、骨材の強度基準を検討した。

なお、骨材として適する骨材(A)を用いて、コンクリート供試体の作製および養生管理に関する精度試験をおこなった。その結果、コンクリート供試体の強度誤差は5%以内であることを確認した。

(2) 低強度の骨材(D)を用いたコンクリートの強度

次に、低強度な骨材を用いた場合の発現可能なコンクリート強度について検討するため、骨材(D)を用いて、表3に示すセメント水比(5段階)の異なるコンクリート供試体を作製し、セメント水比とコンクリート発現強度との関係を調べた。

5. 実験結果および考察

5.1 砕石試料の吸水率と強度特性

はじめに、試料岩石の吸水率と強度特性との関係について調べた。図5(a)に吸水率と一軸圧縮強度、図5(b)に吸水率と圧裂引張強度との関係を示す。図5(a)より圧縮強度は粗骨材の亀裂や空隙構造には鈍感なため、吸水率が小さい岩石では相関はないが、骨材(D)のように吸水率が極めて大きい岩石では、圧縮強度は低くなる。これに対し、引張強度は粗骨材の亀裂や空隙構造に敏感であるため、吸水率が大きくなると引張強度は低下する傾向

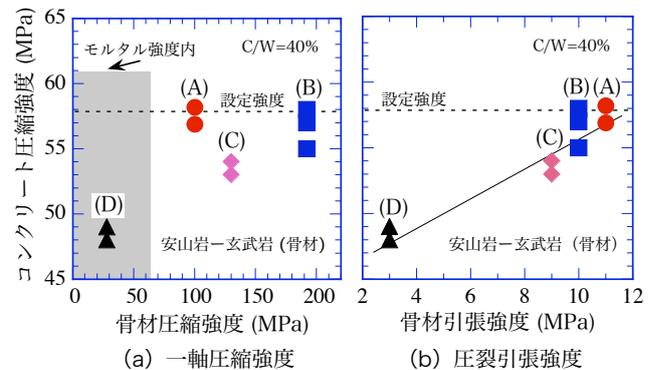


図6 コンクリート強度に及ぼす骨材の強度特性の影響

が見られる。

これらの結果から、火山岩において、吸水率は引張強度をある程度評価できる物性値であるが、圧縮強度とはあまり相関がないことがわかった。

5.2 コンクリート強度と骨材強度との関係

次に、コンクリートの発現強度に及ぼす粗骨材の強度特性の影響について調べた。図6(a)および(b)に、コンクリート供試体の一軸圧強度と骨材の圧縮強度および引張強度との関係を示す。図中には、表3の配合条件においてS/aを100%としたモルタルの強度および骨材(A)のコンクリートから予測される強度(設定強度)も示した。

図6(a)より、骨材(A)~(C)のように、モルタルの圧縮強度に対し骨材の圧縮強度が十分大きい場合、骨材はコンクリート強度にあまり影響を及ぼさないが、骨材(D)のようにモルタルの圧縮強度より骨材の圧縮強度が小さくなった場合には、コンクリート強度が著しく低下することがわかった。ただし、骨材(D)においてさえ、軽量骨材の規格 (W/C=40%, 圧縮強度40MPa以上)を十分満たしている。このことから、骨材の圧縮強度がコンクリートの設定強度以上であると、コンクリート強度は骨材によってあまり低下しないといえる。また、モルタル強度に比較し、どのコンクリート供試体の強度も低下していることから、コンクリートの強度は、粗骨材の混入によって多少低下することがわかる。

次に、図6(b)より、コンクリート強度は骨材の引張強

表3 コンクリートのセメント水比

セメント水比 水セメント比	
C/W (-)	W/C (%)
1.1	92
1.4	72
1.7	60
2.0	51
2.3	44
2.5	40



図7 コンクリート試験片の破壊面 (骨料A)

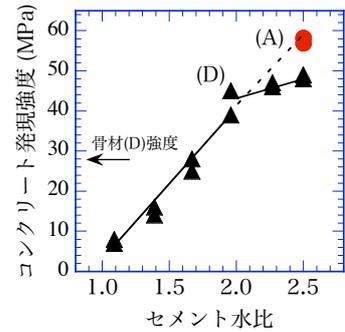


図8 骨料(D)のコンクリート強度とセメント水比

度と良い相関があることがわかる。このことから、コンクリート強度には、骨材の引張強度が最も影響を及ぼしていると推察される。

コンクリートの破壊は、骨材の引張破壊か、あるいは骨材とモルタルの接合面での破壊に起因するものと推察される。図7に骨料(A)を用いたコンクリート試験片の破断面を示す。破断面に露出している粗骨材の多くは、破壊している。また、破壊した骨材の破面は擦れておらず、モルタルが付着したものはほとんどない。このことから、コンクリート供試体内の粗骨材は、引張破壊を生じていると推察される。

このようなコンクリートの圧縮過程における骨材の引張破壊の影響については、今後の検討課題である。このメカニズムが明らかとなれば、骨材の引張強度が最も良い骨材評価の基準になると思われる。

5.3 低強度骨材(D)で発現可能なコンクリート強度

図8に低強度の骨材(D)を用いたコンクリートとセメント水比との関係を示す。図中には、参考のため骨料(A)のデータも示した。一般にコンクリート強度とセメント水比は直線の関係になることが知られている。図より、骨材(D)を用いたコンクリートの強度は、セメント水比が約2までは、セメント水比の増加に対し比例的に増加しているが、セメント水比が約2以上では、増加の割合が小さくなっていることがわかる。セメント水比が約2のコンクリート強度は約40MPaであり、骨材(D)の平均圧縮強度は28MPaの約1.4倍である。したがって、低強度骨材を用いても、コンクリート強度は骨材の圧縮強度以上が期待できることがわかった。

6. まとめと今後の課題

本論では、秋田県の砕石を一例として、コンクリート骨材に用いられることが少ない火山岩に対し、骨材への利用可能性について検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

(1) 岩石の成因上、空隙率が比較的大きい火山岩は、砕石骨材のJIS規格において吸水率3.0%以下の条件を満たすことは難しい。

(2) 骨材の吸水率とコンクリートの強度および耐凍害

性には、相関性が低い。

(3) コンクリートの設定強度程度の骨材であれば、コンクリート強度に影響を与えない。

(4) コンクリート内の粗骨材は引張破壊していることから、骨材の強度基準は引張強度が妥当である。

(5) モルタルバー法によれば、火山岩砕石のアルカリ骨材反応発生率は2%程度である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、実験に協力してくれた本学元学生の艾純一君に感謝します。また、コンクリートの作製および試験法について御指導いただいた、本学土木環境工学科教授加賀谷誠先生に感謝いたします。さらに、若松コンクリート(株)様をはじめ、ご協力いただいた秋田県内の各砕石企業の方々に御礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 経済産業省製造産業局住宅産業業建材課編 (2005): 平成17年砕石統計年報, 経済産業統計協会, pp. 8-28.
- 2) スキンナー, B. J. (1990): 地球資源学入門, 共立出版, pp. 145-155.
- 3) 日本工業規格 (1993): コンクリート用砕石及び砕砂, JIS A 5005, 日本規格協会.
- 4) 日本工業規格 (2003): 構造用軽量コンクリート骨材, JIS A 5002, 日本規格協会.
- 5) 秋田県工業技術センタ (1990): 県内産骨材の有効活用に関する研究, 秋田県工業技術センタ調査・研究報告書, p. 4.
- 6) 長野伸泰ほか (1991): 北海道産砕石のアルカリシリカ反応性と岩石・鉱物学的特徴, 北海道立工業試験場報告, No. 290, pp. 7-17.
- 7) 日本工業規格 (2003): レディーミクストコンクリート, JIS A 5308, 日本規格協会.
- 8) 関本善則・大塚尚寛(1992): 東北6県産砕石のアルカリ反応性に関する調査・研究, 砕石の研究, 第8巻, 第1号, pp. 1-21.
- 9) 日本工業規格 (2001): 骨材のアルカリシリカ反応試験法 (モルタルバー法), JIS A 1146, 日本規格協会.
- 10) 日本工業規格 (2001): 骨材のアルカリシリカ反応試験法 (化学法), JIS A 1145, 日本規格協会.
- 11) 土木学会 (1986): コンクリートの凍結融解試験方法, JSCE-G-501, 土木学会.