

砕石による骨材の必要な粒度特性とその一貫的な生産法

THE REQUIREMENTS OF GRANULARITY CHARACTERISTIC OF AGGREGATE BY CRUSHED STONEITS AND ITS INTEGRATED PRODUCTION METHOD

今井忠男*, 平澤祐介**, 杉本文男***

by Tadao IMAI, Yusuke HIRASAWA and Fumio SUGIMOTO

1. はじめに

以前のコンクリートの製法では、天然砂(細骨材)と天然砂利(粗骨材)とを一定の割合(細骨材率)で配合し、コンクリートの骨材としてきた。日本のように、天然の砂と砂利に恵まれた地域では、このような天然資源をそのまま骨材に用いる手法が、これまでは最も合理的であった。

しかしながら、国土の環境保全の観点から河川砂利の開発規制が厳しくなり、粗骨材は天然砂利から砕石へと変遷してきた。また、近年では、瀬戸内海での天然砂の採取が全面禁止となり、関西地方では細骨材の確保が困難になってきている¹⁾。今後は全国規模で、細骨材も天然砂から砕砂へと代替させ、細骨材の安定供給を進めなければならない。

すなわち、将来的には砕石業において、砕砂から砕石まで、コンクリート骨材を一貫的に生産し、供給しなければならない。今後の砕石業は総合的な骨材メーカーとして、骨材の性能を評価し、品質を管理していかなければならない。

本研究では、砕石と砕砂によってコンクリート骨材を生産する場合、品質管理に必要となる骨材の粒度特性およびその基準値について検討し、最も性能の良い骨材の粒度分布を明らかとした。さらに、細骨材から粗骨材まで一貫的に、分級・調合せずに効率よく骨材を生産する手法について提案した。また、その一貫生産の骨材を用いたコンクリートの性能も評価し、その実用性について議論した。

2. 骨材の性能と最適な粒度特性

2.1 骨材に要求される性能

コンクリートにおける骨材の主な役割は、充填材として、コンクリートの強度を低下させずに長期に強度を保つとともに、セメント量を減らし、コンク

表1 骨材に必要な性能とその物性

骨材の性能	骨材物性の基準
コンクリート強度の保障	強度特性
乾燥収縮の抑制	乾燥収縮ひずみ量
耐凍害性	強度・吸水率
充填率を最大化	粒度分布
骨材分離の抑制	粒度分布
流動性の確保	球形度・円磨度
化学的な安定性	耐アルカリシリカ反応

リートの価格を低くすることにある²⁾。すなわち、骨材の基本性能として、①コンクリートの設計強度を保ち、②乾燥収縮を抑制し、③凍害等に対する耐性などの力学的特性が必要であることを、これまで著者らは検討してきた³⁾。さらに骨材の性能として、④コンクリート中の骨材の充填率(実積率)が大きく、フレッシュコンクリートのワーカビリティを考慮するなら、⑤粗骨材の分離が生じずに、⑥流動性が良い等の粒度特性が求められる⁴⁾。これらに加え、骨材にはアルカリ骨材反応等、⑦コンクリートの長期安定性に対し、有害な化学反応が生じない鉱物特性も重要である。

以上、骨材の性能に関する主要な項目を、表1にまとめた。表1の骨材物性の基準値として、適切な数値を示すことが、骨材の品質管理にとって重要なこととなる。

2.2 骨材の最適な粒度特性の検討

本論では、上述の骨材の性能のうち、④～⑥の骨材の性能と粒度分布および形状などの粒度特性との関係について検討する。

(1) 実積率

はじめに骨材に必要なとされる実積率について、理論的に検討する。コンクリートは、セメントと水および骨材と空気が、ある一定の体積割合で構成されており、このときの骨材および空気の占有割合が、それぞれ実積率 G および空気量 v_a である。また、セメントと水の占有割合は単位水量 W および水セメント比 W/C で決まる。したがって、単位水量 W および

* 秋田大学 准教授 工学資源学部 地球資源学科

(〒010-0852 秋田市手形学園町1-1)、** 秋田大学 大学院生 工学資源学研究科、*** 秋田大学 教授 工学資源学部 地球資源学科

水セメント比 W/C によって、コンクリート中に必要とされる実積率 G' は、次式のように決定される。

$$(1-G') = \frac{W}{\rho_w} \left(1 + \frac{C}{W} \frac{\rho_w}{\rho_c} \right) + v_a \quad \dots (1)$$

ここで、 ρ_w および ρ_c は、それぞれ水とセメントの密度である。なお、コンクリートの配合条件を $W=175\text{kg/m}^3$ 、 $W/C=0.4$ (40%)、 $v_a=0.03$ (3%)および $\rho_c=3.16\text{g/cm}^3$ とすると、式(1)より、 $G'=0.66$ (66%)となる。よって、通常の骨材の実積率は、66%程度を確保する必要がある。

次に、粒子群の充填率(実積率)を最大化させるには、粒子同士の間隙にちょうど埋まる粒子を最密の状態に詰めていくと良いことが知られている⁵⁾。つまり、粒子群がある粒度分布で充填されたとき、実積率は最大となると考えられる。

従来、骨材は、経験的に実積率が最大となるような粒度分布を、粗骨材(25-5mm)と細骨材(5-0.1mm)を一定割合(細骨材率)で調合作製してきた。しかし、骨材の実積率が最大となる粒度分布については、理論的には知られておらず、砕石の実積率と破碎効率との関係も知られていない。

著者らは、岩石が破碎されると、その粒度分布はフラクタル的になることを利用し、砕石の粒径 ϕ と累積質量の割合 $R(\phi)$ との関係が、次のような粒度分布式で近似できることを明らかとした⁶⁾。

$$R(\phi) = 1 - \frac{\alpha k \rho_R}{(3/D-1)W_0} \phi^{3-D} \quad \dots (2)$$

ここで、 W_0 は骨材の総質量、 ρ_R は岩石の密度、 k は体積係数で約0.63である。また、 D はフラクタル次元、 a は粒子の総個数に関する定数である。砕石の粒度分布の特性は D 値によって表現され、 a はあまり関与しない。

砕石の粒度分布が、広い範囲で本式にしたがい、かつフラクタル次元 D が大きくなると、砕石の実積

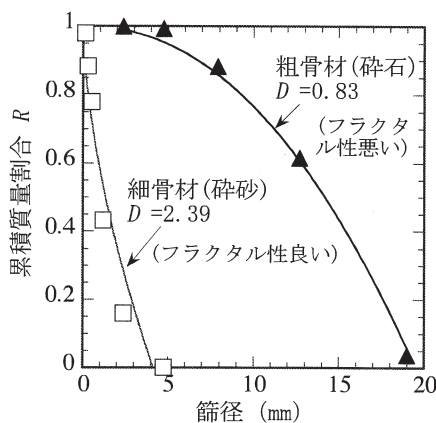


図1 細骨材および粗骨材のフラクタル粒度分布

率が高くなる。とくに、分級および粒度の調整をせずに、原石を破碎するだけで、砕石の実積率を70%程度にすることが可能である⁶⁾。よって、砕石の生産効率を上げ、かつ実積率を向上させることが可能である。

(2) 骨材分離

骨材分離とは、フレッシュコンクリート中において、粒径の大きな粗骨材の沈降速度が速く、モルタル部と粗骨材とが分離する現象である。ストークスの式によれば、粒子の終末沈降速度は、粒子の径と密度および流体の密度と粘性によって決まる⁵⁾。セメントペーストの密度と粘性は、水セメント比で決まり、さらに、細骨材の多くはセメントペースト中で浮遊すると仮定すると、モルタルの密度と粘性は、セメントペーストの密度と粘性および細骨材の量(細骨材率)で決まると考えられる。

すなわち、フレッシュコンクリート中で骨材分離を生じさせないためには、モルタルの密度と粘性を大きくする必要があり、粗骨材の径および水セメント比に応じた細骨材率を求める必要がある。

(3) 流動性

フレッシュコンクリートの流動性は、セメントペーストの粘性と骨材の流動性によって決まると考えられる。骨材の流動性は、形状の球形度⁷⁾と表面の円磨度⁷⁾が重要である。また、骨材はセメントペースト中で分散されずに、粒子同士が接触しているため、粒子間に水の表面張力が発生し、粒子は凝集して流動し難くなる。ここで発生する負圧は、粒子間の隙間が小さくなるほど増大し、粒子径に反比例することが知られている⁸⁾。よって、セメントペースト中では細粒の骨材は凝集し流動し難いため、フレッシュコンクリートの流動性を増加させるには、細骨材率を、骨材分離しない程度に、できるだけ少なくした方がよい。

2. 3 骨材の性能と粒度分布に関する実験方法

(1) 骨材試料

表2に示す基礎物性の安山岩の砕石および砕砂を用いて、骨材の性能評価に関する実験をおこなった。これら骨材は、砕石プラントで生産されたものである。これらの粒度分布を式(2)で近似した結果

表2 試料岩石の基礎物性

岩種	絶乾比重	表乾比重	吸水率(%)
安山岩	2.63	2.67	1.32

表3 細骨材率を替えたコンクリートの配合表

水セメント比(%)	空気量(%)	細骨材率(%)	水量(kg/m ³)
40	3	30-55	175

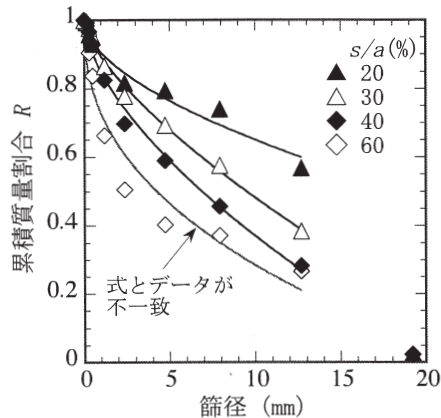


図2 細骨材率と骨材のフラクタル粒度分布

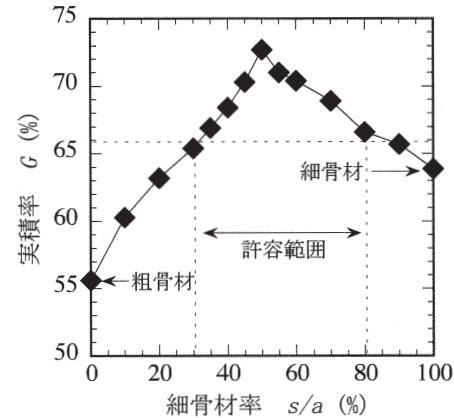


図3 細骨材率と骨材の実積率

(a) $s/a=30\%$ (b) $s/a=40\%$ (c) $s/a=55\%$

写真1 細骨材率とコンクリートのスランプ

を図1に示す。図より、粗骨材の粒度分布は D 値が低く、フラクタル性が全くない。この原因は、粗骨材は破碎後の分級によって、5～10mmの粒径が極めて少なくなっているためである。これに対し、細骨材の粒度分布は D 値が大きく、良いフラクタル性を示している。細骨材の生産にあたっては、分級の回数が少ないため、分級しない場合の砕砂の分布に近いものと思われる。

(2) 骨材の粒度調整法

上述の粗骨材および細骨材を用い、細骨材率 s/a を変化させて骨材を作製し、その粒度分布および実積率を測定した。骨材の実積率 G は、みかけの容積 V_0 をメスシリンダによって測定し、次式によって算定した。

$$G = W_0 / (\rho_R V_0) \quad \dots (3)$$

ここで、 W_0 は碎石の初期質量である。実積率を測定した後、骨材は篩で分級し、各篩径 ϕ ごとの質量を測定することで、粒度分布を解析し、 $R=0.5$ のときの粒径を平均粒度として算定した。

(3) コンクリートの作製および試験法

次に、細骨材率を30～55%まで5%ずつ6段階に変化させた6種の骨材を用い、表3に示す配合によって細骨材率の異なる6つのコンクリートを作製した。単位水量は $175\text{kg}/\text{m}^3$ 、空気量は調整せずに自然状態

の3%を仮定し、手練りによってコンクリートを作製した。これらフレッシュコンクリートのスランプおよび空気量は、それぞれ日本工業規格(JISA1101:2005)⁹⁾および(JISA1128:2005)¹⁰⁾に基づいて測定した。なお、空気量の測定にはワシントン型エアメータを用いた。

2. 4 実験結果および考察

(1) 骨材の実積率

図2は、細骨材率を変化させたときの骨材の粒度分布を、式(2)で近似した結果である。図より、細骨材率が20%および60%の領域では、分布式との近似が悪く、粒度分布にフラクタル性が成り立ち難いことがわかる。また、細骨材率が30～40%程度で最も分布式との近似が良いことから、フラクタル性は最良といえる。次に、図3に細骨材率と実積率との関係を示す。粗骨材のみの場合、実積率は55%と低く、粒度分布にフラクタル性が成り立たないこと(図1)と対応している。また、細骨材率を増加させるにしたがい、はじめ骨材全体の実積率は増加し、細骨材率が50%のとき実積率は最大値73%を示している。さらに細骨材率を増加させると、実積率は低下していくことがわかる。したがって、図2および図3の結果から、骨材は、フラクタル性の良い粒度分布のとき、実積率が大きくなることがわかった。さらに、図3より骨材の実積率を66%以上にすると

表4 細骨材率とフレッシュコンクリートの性状

細骨材率 (%)	平均粒径 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	練り状態
30	9.6	11.5	0.7	骨材分離
35	8.3	4.0	0.6	ほぼ良好
40	6.9	2.0	1.1	良好
45	6.4	1.5	2.6	良好
50	5.4	2.0	2.7	流動少な
55	4.8	0.0	7.8	流動無し

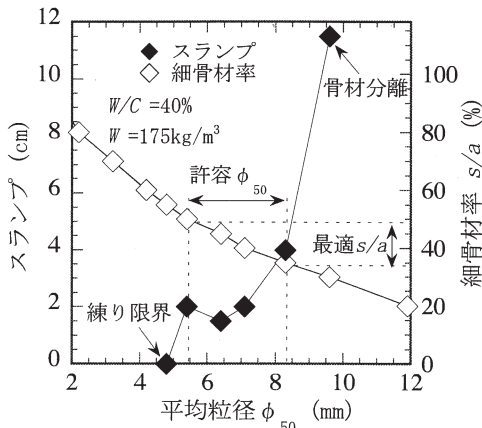


図4 スランプに対する骨材の平均粒径の影響

表5 骨材粒度の必要条件

細骨材率 (%)	平均粒径 (mm)	実積率 (%)
35-50	5.4-8.3	> 66

めの細骨材率は、30～80%程度と範囲が広いことがわかった。

(2) コンクリートの流動性

写真1は、異なる細骨材率のコンクリート試料におけるスランプ試験の結果を示している。写真より、細骨材率が30%では粗骨材が分離しており、また細骨材率が55%では全く流動性を示していないことがわかる。これらの結果をまとめて表4に示した。コンクリートの状態が良いのは、細骨材率が35～45%の試料であり、その他の試料は、流動性が無い、骨材が分離することがわかった。

図4は、表4のスランプと骨材の平均粒径との関係を示したものである。また、図中には細骨材率と平均粒径との関係も示した。図より、平均粒径が増加するとスランプは増大する傾向がわかる。また、本実験の配合条件では、平均粒径が約4.8mmで全く流動性を失い、約9.6mmで骨材分離が生じることから、骨材の適切な平均粒径は5.4～8.3mmの範囲内と推定される。これらの値を、骨材の粒度特性の必要条件として表5にまとめた。これらの値が、骨材を生産し品質管理する場合の基準値として、有効になると考えられる。

表6 基礎破碎試験用の岩石試料サイズ

初期粒径 (mm)	質量 (kg)
79.8	0.54
89.7	0.99
99.5	2.10
165.0	5.50

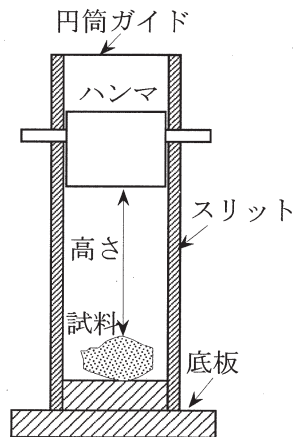


図5 岩石の衝撃破碎試験機

3. 骨材の一貫生産法

3.1 岩石の破碎理論

(1) リッチンガーの破碎式

リッチンガーの破碎式では、破碎エネルギーは、碎石の比表面積と岩石の表面エネルギーによって決まるとされており、初期粒径 ϕ_0 の原石を平均粒径 ϕ_{50} まで破碎するときのエネルギー ΔE (J/kg)は、次式で表すことができる¹¹⁾。

$$\Delta E = C_R \left(\frac{1}{\phi_{50}} - \frac{1}{\phi_0} \right) \dots (4)$$

ただし、 C_R は岩石に固有な比例定数(Jm/kg)であり、基礎破碎実験によって求めることができる。また、 ϕ_{50} が ϕ_0 より十分小さい領域ならば、 $1/\phi_0$ の項は無視でき、式は簡略化される。上式は、著者らによって、衝撃破碎による碎石の生産によく適合することが確かめられている¹²⁾。

(2) 破碎比と実積率との関係

次に、著者らは、破碎したままの碎石の実積率G

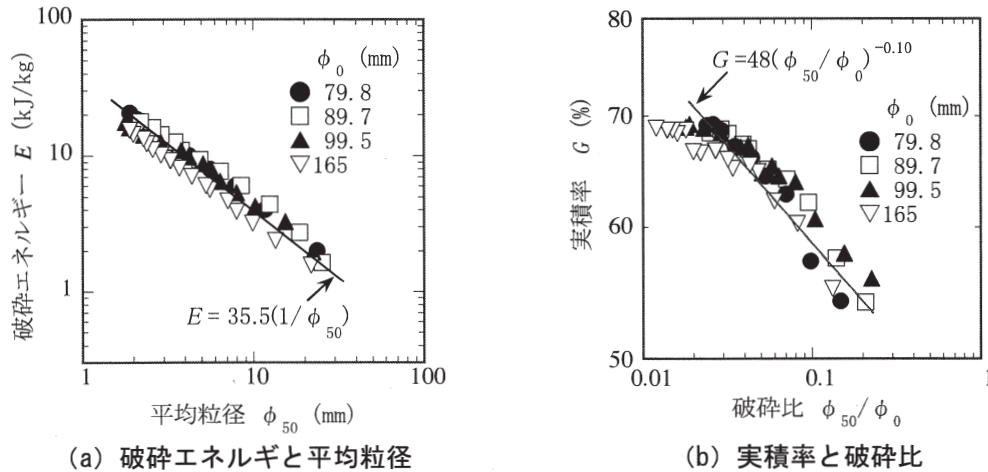


図6 岩石試料の基礎破碎試験結果

を、次のような破碎比 ϕ_{50}/ϕ_0 のべき関数で定義し、破碎特性式として提案した。本式は、著者らによって実験式としての適合性が実証されている¹²⁾。

$$G = \alpha_G \left(\frac{\phi_{50}}{\phi_0} \right)^{\beta_G} \dots (5)$$

ここで、 α_G および β_G は岩石固有の破碎特性を示す定数であり、基礎破碎試験によって、簡便に求めることができる。

3.2 岩石の基礎破碎試験法

(1) 岩石試料

基礎破碎試験においても、表2の安山岩を用いた。試験には、初期粒径(短径) ϕ_0 が79.8~165mmの範囲で異なる4つの試料を用い、それぞれ試験に供した。破碎試料の初期粒径と質量を表6に示す。試料の初期粒径を変えることで、岩石の破碎特性に対する初期粒径の影響も調べた。

(2) 衝撃破碎試験法

図5に本研究で用いた岩石の衝撃破碎試験機を示す。試験機は、衝撃ハンマ(質量15.7kg、直径150mm)、鋼鉄製の底板および落下するハンマの円筒ガイド(スリット付き)からなっている。衝撃破碎試験では、ハンマを高さ0.70mから繰返し垂直落下させ、底板上の岩石試料を破碎させた。ここで、ハンマ質量を L (kg)、重力加速度を g (m/s²)、落下高さを h (m)、試料質量を W_0 (kg)とし、落下回数を m とすると、岩石試料に与えられた衝撃エネルギー E (J/kg)は次式のように定義される。

$$E = Lihm/W_0 \dots (6)$$

(3) 実積率および粒度分布の測定法

本実験では、一定の破碎エネルギーごとに碎石の実積率と粒度分布を測定し、その変化を調べた。碎石の実積率および粒度分布は、「2.3」と同様の方法で測定した。

3.3 一貫的な骨材の生産法

上述の破碎理論から、実積率が高く適切な平均粒度の骨材を生産するために、次のような①~④のステップで、一貫的な碎石の破碎設計および生産をおこなった。

①岩石の破碎特性である C_R 、 α_G および β_G を基礎破碎試験によって求める。

②表4の骨材粒度の必要条件値を基に、目標とする骨材の実積率 G および平均粒径 ϕ_{50} を設定する。

③式(5)および式(4)を用いて、原石の初期粒径 ϕ_0 および破碎エネルギー ΔE 決定する。

④初期粒径 ϕ_0 の原石を破碎エネルギー ΔE で破碎し、実積率と粒度分布を測定する。

以上の工程によって、一貫的に骨材を生産し、この手法の有効性について検討した。

3.4 実験結果および考察

3.4.1 基礎破碎試験の結果

図6(a)(b)は、本試料岩石の基礎破碎試験の結果であり、各シンボルは各試料の初期粒径の違いを示している。図6(a)は破碎エネルギーと破碎後の試料の平均粒径との関係を示しており、図中の直線は $(1/\phi_0)$ の項を無視したリッチンガーの破碎式をあてはめたものである。図より、初期粒径の影響は見られず、リッチンガーの破碎式に良く一致している。この結果より、リッチンガー破碎式の比例定数を $C_R=35.5$ と算定した。

また、図6(b)は、実積率と破碎比との関係を示しており、図中の直線は破碎特性式をあてはめたものである。図より、初期粒径の影響は見られず、破碎特性式に良く一致していることがわかる。ただし、破碎比 ϕ_{50}/ϕ_0 が0.03以下では、実積率 G は70%程度で一定となる傾向にあることから、この破碎式の適用範囲は、 $\phi_{50}/\phi_0 > 0.03$ および $G < 70\%$ であると考えられる。この結果より、破碎特性式の比例定数をそ

表7 一貫生産骨材の生産設計値

初期粒径 (mm)	破碎エネルギー (kJ/kg)	平均粒径 (mm)	実積率 (%)
200	5.29	6.5	68.5

表8 一貫生産骨材の生産結果

初期粒径 (mm)	破碎エネルギー (kJ/kg)	平均粒径 (mm)	実積率 (%)
192-200	7.21	6.7	69.5

れぞれ $\alpha_G=48$ および $\beta_G=-0.10$ と算定した。

3. 4. 2 一貫的な骨材生産結果

次に、前述の基礎破碎試験の結果を用いて、実際に一貫的な骨材の生産を試みた。表7に一貫生産骨材の生産設計値を示す。表5の骨材粒度の必要条件から、生産する骨材の平均粒径を6.5mm、実積率を68.5%と設定し、式(3)および式(4)を用いて、原石の初期短径 ϕ_0 を200mm、破碎エネルギー ΔE を5.29kJ/kgと算定した。ここで、生産目標とした粒度特性値は、細骨材率が40~45%の骨材の値である。

実際の生産にあたっては、原石の短径が192mmおよび200mmの2つの試料を用い、実積率が68.5%に近づくまで破碎し続け、その時の破碎エネルギーと平均粒径および実積率を測定した。この生産結果を表8に示す。表より、骨材を目標とする平均粒径と実積率に近づけるには、設計値より約1.36倍のエネルギーを使用する結果となった。この原因は、図6(a)(b)における試料ごとのデータのバラツキにあると考えられる。よって、骨材生産にあたっては、多くの原石を破碎し、破碎エネルギーのデータを平均化すると、より設計値に近づくものと考えられる。

図7に一貫的に生産した骨材と細骨材率が40%の骨材の粒度分布を示す。図より、両者の分布は良く一致しており、分級および調合をしなくても、岩石は破碎工程だけで、理想的な粒度分布が得られることがわかった。

ただし、実際のインパクトクラッシャー等で骨材を生産する場合は、ローターの回転速度、回転半径および運転時間等を用いて、衝撃破碎エネルギーを推定するか、インパクトクラッシャーによって基礎破碎試験をおこない、衝撃破碎エネルギーを運転時間に置き換えて、生産設計をする必要がある。

4. 各種骨材の性能評価

4. 1 コンクリートの試験法

(1) 使用骨材

本研究で作製した一貫生産骨材の性能を従来の骨材の性能と比較・検討するため、表9に示す5種類の骨材を用いて、それぞれコンクリートを作製した。一貫生産骨材は前章で生産したのを用い、その他

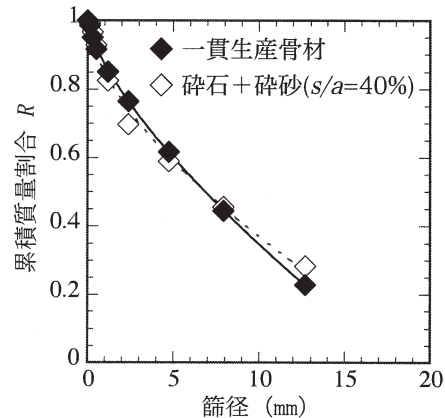


図7 一貫生産骨材のフラクタル粒度分布

の骨材では、「2.3」の碎石と碎砂および天然砂を用いた。細骨材に碎砂を用いたものは、細骨材率を30、40および50%の3種を用い、細骨材に天然砂を用いたものは、細骨材率を40%とした。ここで表9より、一貫生産骨材の細骨材率を求めると39%であり、細骨材率が約40%の3つの骨材は、平均粒径が約7mm程度を示していることがわかる。これら細骨材率が約40%の3つの骨材を写真2に示す。写真より、一貫生産骨材と碎砂を用いた骨材は似通っているが、天然砂を用いた骨材では、細骨材が細粒のものに偏っていることがわかる。表9より、この天然砂を用いた骨材の実積率は64.5%であり、他の2つの骨材より低い。現在では、粗粒な砂を含む理想的な粒度分布の天然砂は、少なくなっている¹³⁾。

(2) 各種骨材を用いたコンクリートの作製

上述のような5種類の骨材を用い、水セメント比を40%としてコンクリートを作製した。その配合を表10に示す。コンクリートの作製法は「2.3」と同様とした。作製したコンクリートは、一軸圧縮試験

表9 使用骨材の種類

使用細骨材	平均粒径 (mm)	実積率 (%)	細骨材率 (%)
一貫生産	6.7	69.5	39
碎砂	9.6	65.4	30
碎砂	6.9	68.4	40
碎砂	5.4	72.7	50
天然砂	7.3	64.5	40

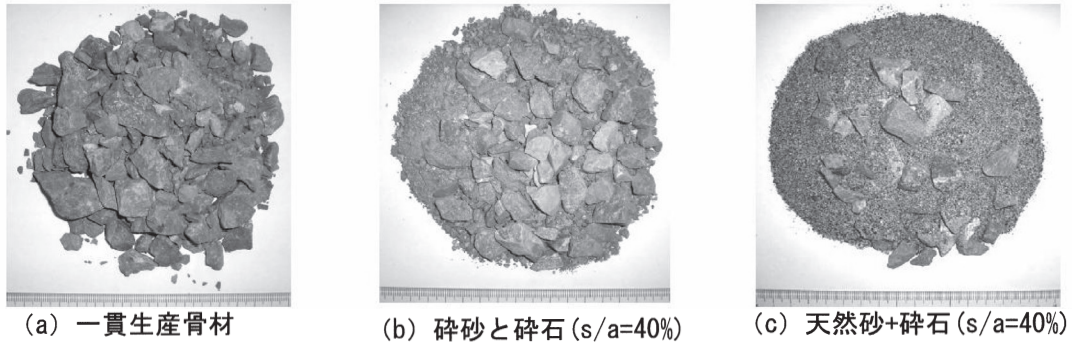


写真2 コンクリート試験片への使用骨材

表10 骨材別コンクリート試験片の配合表

使用細骨材	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
				水量	セメント量	細骨材量	粗骨材量
一貫生産	40	3	39	175	438	1715	
砕砂	40	3	30	175	438	514	1200
砕砂	40	3	40	175	438	686	1029
砕砂	40	3	50	175	438	857	857
天然砂	40	3	40	175	438	681	1029

用のモールド(φ10×20cm)内で24時間成形したのち、20±2℃の水中で28日間養生し試験に供した。

(3) 試験方法

作製した各フレッシュコンクリートは、日本工業規格^{9) 10)}に基づいて、スランプおよび空気量を測定した。28日間養生したコンクリート試験片は、サーボコントロール式圧縮試験機によって、ひずみ速度を $5 \times 10^{-5}/s$ で制御しながら圧縮破壊させ、一軸圧縮強度を求めた。それぞれの試料について、コンクリート試験片を3本用意し、強度はそれらの平均値とした。

4. 2 実験結果および考察

表11にこれら試験結果をまとめて示す。

写真3に示すように、フレッシュコンクリートは、一貫生産の骨材では全く流動しないが、ほぼ同じ粒度分布の砕砂と碎石($s/a=40\%$)による骨材では、多少の流動性を示している。この原因は、実際のプラントで生産された砕砂および碎石は、破碎後に整粒されているため、破碎しただけの一貫生産骨材とは、円磨度に違いが生じているためと考えられ

る。さらに、球形度および円磨度が最も良い天然砂を用いたコンクリートが、最も流動性が良いことがわかった。よって、一貫生産および砕砂による骨材を用いてコンクリートの流動性を向上させるには、整粒装置等で、骨材の球形度および円磨度を向上させる必要がある。

図8には、表11の骨材種別ごとのコンクリートの一軸圧縮強度を示す。コンクリートの一軸圧縮強度は、骨材分離した細骨材率が30%の砕砂によるコンクリートだけ約50MPaと低く、他の骨材のコンクリートでは55MPa前後の値を示している。すなわち、コンクリート強度は、フレッシュコンクリートが骨材分離しない限り、コンクリートの流動性に関係がなく、同じ水セメント比ならば一定となることがわかった。また、骨材の分離現象は、コンクリートの圧縮強度を低下させることも明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、碎石によってコンクリート骨材を生産する場合、品質管理に必要となる性能の良い骨材

表11 骨材別コンクリートの性能

使用細骨材	平均粒径 (mm)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	28日強度 (MPa)
一貫生産	6.7	39	0.0	2.8	57.5
砕砂	9.6	30	8.5	0.5	49.7
砕砂	6.9	40	2.0	2.1	54.6
砕砂	5.4	50	2.0	2.7	54.2
天然砂	7.3	40	5.0	2.4	54.0

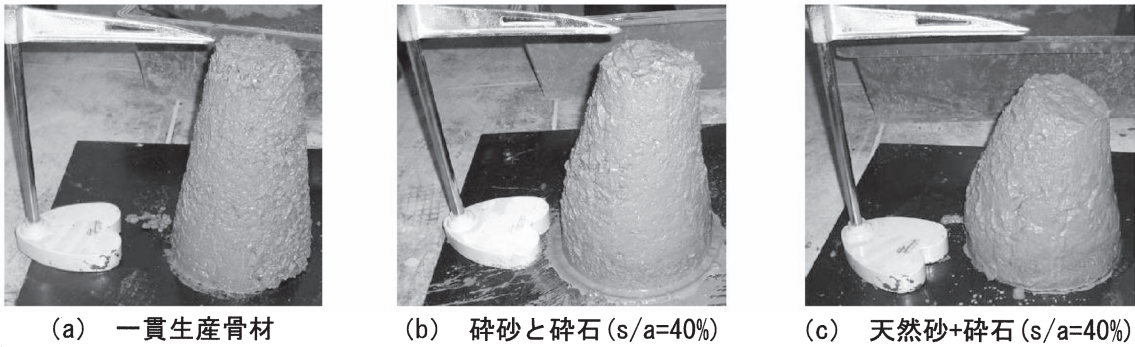


写真3 骨材種別フレッシュコンクリートのスランプ試験結果

の粒度特性を明らかにした。また、細骨材から粗骨材まで、一貫的に最適な粒度特性の骨材を生産する手法について提案し、その骨材を用いたコンクリートの性能を評価した。

本研究結果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) 単位水量を $175\text{kg}/\text{m}^3$ 以下にし、骨材分離せずコンクリートの流動性が適切な骨材の必要条件は、実積率が66%以上で、平均粒度が $5.4\sim 8.3\text{mm}$ の範囲内である。
- (2) 衝撃破碎によって、粗骨材から細骨材まで砕石を分級・調合せずに一貫的に生産すると、実積率が66%以上の骨材が得られる。
- (3) 一貫的に生産した骨材によるコンクリートは、砕石と天然砂による従来の骨材によるものと比較し、コンクリートの圧縮強度は同程度であるが、骨材の球形度および円磨度が低く、コンクリートの流動性が極めて低い。

今後は、砕石による骨材について、球形度および円磨度とコンクリートの流動性との関係を明らかにし、適切な整粒状態を提案したい。

引用文献

- 1) 須藤定久:骨材需給のゆくえ-経緯と現状・今後の展開-, 資源・素材2009(札幌)、Vol. 1、pp. 259-262 (2009)
- 2) 小阪義夫・谷川恭雄:コンクリートの力学的性質と骨材、セメント・コンクリート、No. 331、pp. 56-64 (1974)
- 3) 今井忠男・杉本文男:低品質な火山岩砕石のコンクリート用骨材への利用可能性 -粗骨材の力学的基準について-, 建設用原材料、Vol. 17、No. 1、pp. 7-14 (2009)
- 4) 吉兼亨:よいコンクリートの原点、セメントジャーナル社、pp. 10-33 (2004)
- 5) 奥山喜久夫・増田弘昭・諸岡成治:微粒子工学、

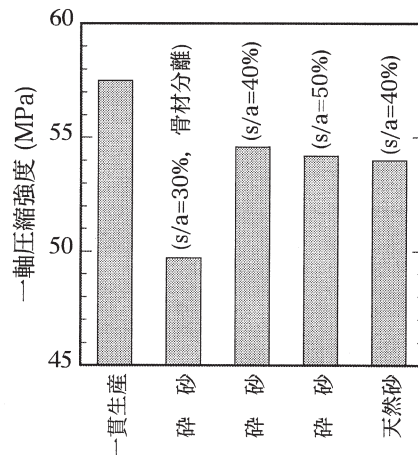


図8 骨材別コンクリートの一軸圧縮強度

オーム社、pp. 43、pp. 94 (1992)

- 6) 今井忠男・平澤祐介・杉本文男:フラクタル次元を用いた砕石・砕砂の新たな粒度分布の指標、砕石の研究、第23巻、第1号、pp. 1-12 (2008)
- 7) 碎屑性堆積物研究会編:堆積物の研究法、地学団体研究会、pp. 130-136 (1992)
- 8) 中野政詩・宮崎毅・塩沢昌・西村拓:土壤物理環境測定法、東京大学出版、pp. 65-87 (1995)
- 9) 日本工業規格:コンクリートのスランプ試験方法、JIS A 1101、日本規格協会 (2005)
- 10) 日本工業規格:フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法、JIS A 1128、日本規格協会 (2005)
- 11) 粉体工学会編:粉体の生成、日刊工業社、pp. 16-26 (2005)
- 12) 今井忠男・馬場将行・杉本文男:実積率の高いクラッシュラン砕石の生産法とその路盤性能、砕石の研究、第24巻、第1号、pp. 1-12 (2009)
- 13) 高山俊一:枯渇する海砂を補うため熔融スラグ細骨材を利用した混合細骨材としての適用、建設用原材料、Vol. 17、No. 1、pp. 1-6 (2009)

(2009年9月14日受付 2010年1月22日受理)