

# 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—

POSSIBILITY OF USING LOW QUALITY AND VOLCANIC ROCK FOR AGGREGATE OF CONCRETE  
— STANDARD FOR MECHANICAL PROPERTIES OF COARSE AGGREGATE —

今井忠男\*・杉本文男\*\*  
by Tadao IMAI and Fumio SUGIMOTO

## 1. はじめに

全国の砕石の50%程度は、コンクリートに用いられており、道路用より多い<sup>1)</sup>。これに対し、秋田県の砕石はコンクリート用骨材には低品質とされ、10%程度しか用いられていない。多くは道路用である<sup>1)</sup>。すなわち、秋田県の砕石産業は、全国と比較し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砕石の岩種にある。全国平均では、砂岩の生産割合が最も多く約35%であり、次いで安山岩が約23%、さらに石灰岩が15%程度生産されている<sup>1)</sup>。これに対し、秋田県で生産される砕石のほとんどは、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<sup>2)</sup>(火山岩)である<sup>1)</sup>。このように、秋田県では火山岩以外の岩石の生産は難しく、またこの火山岩は、コンクリート用骨材に不適とされている。

例えば、アメリカでは、骨材として石灰岩および苦灰岩が最も多く生産されており<sup>3)</sup>、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、欧米では、有害鉱物を含むことが少ないことから、石灰岩等が良い骨材とされており<sup>4)</sup>、逆に、有害鉱物の含有性が高いとされる火山岩等は、骨材利用に忌避され易い傾向にある。

しかし、日本列島の地質条件<sup>2)</sup>を考えると、とくに東日本には、砂岩や石灰岩等は少なく、多くは火山岩が分布している。したがって、将来の日本における骨材の安定供給を考えるならば、これら火山岩をコンクリート骨材に有効に利用することが、重要となると考えられる。

本論では、現状ではコンクリート用の粗骨材に用いられることが少ない低品質な火山岩について、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、多くの火山岩砕石が低品質と評価される骨材

のJIS規格<sup>5)</sup>の妥当性について、実験的に再検討した。さらに、コンクリート強度に影響を及ぼす粗骨材の力学的基準について、実験および理論的に検討をおこない、普通コンクリートにおける粗骨材の力学基準、および高強度コンクリート用の粗骨材の力学基準について提案した。

## 2. コンクリート用骨材のJIS規格と骨材の要件

### 2.1 砕石骨材と軽量骨材のJIS規格の比較

砕石骨材のJIS規格<sup>5)</sup>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、比重や吸水率など岩石の基礎物性値からなっている。これらのJIS規格値を表1(a)に示す。この規格には、強度など骨材の力学物性は含まれていない。骨材の力学物性を考慮しない理由は、45MPa以下の普通コンクリート(JISA5308)<sup>6)</sup>では、モルタル強度より骨材強度の方が十分大きいという仮定が含まれていると思われる。この仮定を保証しているのが、比重 $\geq 2.5$ 、吸水率 $\leq 3.0\%$ の基準値と考えられる。岩石力学的には、

表1 コンクリート用骨材のJIS規格

項目	規格値
比重	$\geq 2.5$
吸水率 (%)	$\leq 3.0$
すり減り減量 (%)	$\leq 40$
安定性 (%)	$\leq 12$

項目	規格値
W/C	0.4
s/a	0.4
スランプ (cm)	8
コンクリート強度 (MPa)	40

\* 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 教授 工学資源学部 地球資源学科

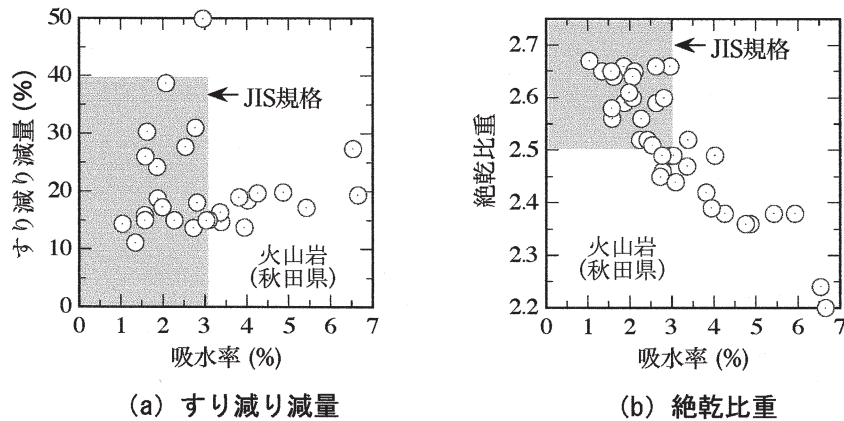


図1 秋田県内で生産されている碎石の吸水率を基とした品質の評価<sup>7)</sup>

吸水率 $\leq 3.0\%$ の岩石の多くは、圧縮強度が40MPaを超えることが知られている<sup>7)</sup>が、吸水率 $\geq 3.0\%$ でも、多くの岩石の強度は40MPa以上である<sup>7)</sup>。よって、吸水率 $\leq 3.0\%$ の基準値は、骨材の力学的基準値としては、過大基準であるといえる。なお、凍結融解試験においては、吸水率が3~4%の火山岩でも十分に耐凍害性があることが実証されている<sup>8)</sup>。

これに対し、人工軽量骨材のJIS規格<sup>9)</sup>では、一定の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基準値となっている。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。

この基準値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ため管理し易いが、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く、採掘ごとに定期的な検査が必要がある。しかし、この規格ではコンクリートの養生に28日間も要するため、碎石場の操業が困難となる。

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

火山岩碎石の特徴を示すため、秋田県内の碎石データを用いて説明する。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の評価データ<sup>8)</sup>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(a)および(b)には、吸水率とすり減り減量および絶乾比重との関係を示した。また、図中のハッチはJIS規格内を示している。図1(a)より、すり減り減量が40%以上のものは少なく、ほとんどが基準値を満たしており、吸水率 $\leq 3.0\%$ の基準値

が重要となっている。次に、図1(b)では、吸水率と絶乾比重とは負の相関があり、吸水率 $\leq 3.0\%$ ならば、絶乾比重 $\geq 2.5$ であることがわかる。以上のことから、火山岩では、吸水率 $\leq 3.0\%$ の基準値が、骨材としての良否を決定しているといえる。ここで、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。

次に、碎石研究会では、秋田県内の碎石の吸水率、比重および強度特性を調べており<sup>10)</sup>、このデータをもとに、図2(a)および(b)に、火山岩碎石の吸水率と強度特性との関係を示した。図2(a)の一軸圧縮強度および図2(b)の圧裂引張強度とも、吸水率の増加に対し、減少の傾向にあるが、試料ごとのバラツキが大きい。また、図2(a)より、吸水率が3~6%の範囲においては、圧縮強度の低下割合は小さく、ほとんどの岩石試料の圧縮強度は50MPaを超えていることがわかる。よって、火山岩については、吸水率の基準値によって、強度特性を適正に評価することは難しいと考えられる。

また、火山岩は、マグマが急激に冷却し固結する過程で生成されるため、マグマ中のガスが発泡し、岩石内部に気孔を形成し易い。このため、玄武岩や安山岩などの吸水率は、比較的大きいという特徴がある<sup>11)</sup>。したがって、吸水率 $\leq 3.0\%$ の基準値を遵守する限り、火山岩碎石のコンクリート骨材への利用は、あまり進まないと考えられる。

## 2. 3 粗骨材の力学的条件とコンクリートの破壊

### 2. 3. 1 粗骨材の力学的条件

コンクリートにおける粗骨材の主な役割は、充填材であり、コンクリートの強度を低下させずに、セメント量を減らし、作製コストを低くすることにある。さらに、セメントペーストの乾燥収縮を抑制する役目もあり、力学的にも複合的な条件が必要である<sup>12)</sup>。本研究では、粗骨材の充填によって、コンクリート強度をあまり低下させない粗骨材の力学的条

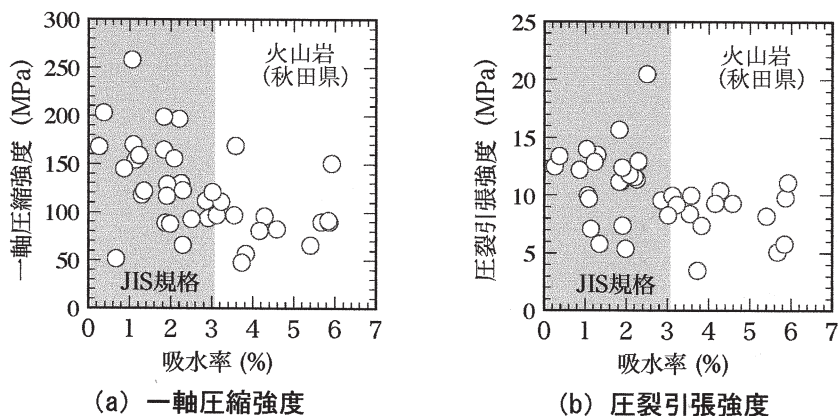


図2 秋田県内の砕石の吸水率と強度特性との関係<sup>10)</sup>

件について検討する。

### 2. 3. 2 コンクリートの破壊機構

コンクリートの破壊は、粗骨材の破壊、モルタルの破壊および粗骨材との接合面におけるモルタルの破壊との3つに分類することができる<sup>12)</sup>。

一般に、普通コンクリートの破壊過程では、接合面に多くの亀裂が発生し、さらにモルタルにも亀裂が発生し破壊することが多く<sup>12)</sup>、この領域のコンクリート強度は、モルタルの強度に近い<sup>13)</sup>。結合面が破壊されやすい要因は、接合面に形成されるセメント層(遷移層)の力学的物性が弱い<sup>14)</sup>ためと考えられている。この遷移層の形成には、粗骨材の表面形状や鉱物組成の影響が考えられるが、未だ詳しくは解明されていない。よって、弱い接合面で発生した亀裂が、どのようにモルタル破壊に影響を及ぼすかについても、検討する必要がある。

粗骨材に破壊が見られるのは、モルタルに比較し粗骨材の強度が低い場合である<sup>15)</sup>。この場合、モルタルの強度を増してもコンクリートの強度はあまり増加しないが、粗骨材の強度よりは大きくなる傾向にある<sup>14)</sup>。また、モルタルより粗骨材の強度を大きくした場合、コンクリート強度は、モルタル強度より低くなる傾向になると報告されている<sup>16)</sup>。

さらに、コンクリート強度に及ぼす粗骨材のヤング率の影響についての報告では、普通コンクリートの強度領域では影響は無いが、コンクリート強度が50MPa以上の領域では、粗骨材のヤング率が大きいと、コンクリート強度が低下する傾向にあることを示している<sup>13)</sup>。すなわち、高応力領域では、ヤング率が大きい粗骨材は、応力の集中が大きく、破壊され易いと推察される。

上述のコンクリート強度に関する研究結果を整理し、重要と思われる点を、以下の3つにまとめた。

(a) モルタル強度より粗骨材強度が低く、粗骨材が破壊される場合、モルタル強度を増加しても、コ

ンクリート強度は増加しない。

(b) 粗骨材が破壊されない場合、コンクリート強度は接合面の強度とモルタル強度によって決まる。

(c) 高強度コンクリートの領域では、粗骨材のヤング率が大きいと、コンクリート強度は低くなる傾向にある。

以上のことから、粗骨材の力学的基準値には、普通コンクリートの領域では強度、高強度コンクリートの領域では強度およびヤング率が重要と考えられることから、本研究では、これらの値について実験的に検討した。

## 3. 実験方法

### 3. 1 試料岩石および力学試験試験

#### 3. 1. 1 試料岩石の特徴

本研究では、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、コンクリート用の粗骨材とした。表2にその岩種と吸水率を示した。骨材(B)は玄武岩、他は安山岩であり、骨材(A)のみ吸水率 $\geq 3.0\%$ を満たしており、その他は骨材JISの規格外である。ここで、試料岩石について、吸水率と乾燥比重の測定値のバラツキを図3に示す。吸水率が比較的小さい(A)～(C)の試料は、乾燥比重と吸水率のバラツキは小さいが、試料(D)は吸水率のバラツキが大きいことがわかる。この原因は、安山岩の気孔分布に偏りが大きいためである。したがって、骨材(D)のような吸水

表2 粗骨材試料の岩石分類

試料名	岩種	吸水率(%)
(A)	安山岩	1.27
(B)	玄武岩	3.44
(C)	安山岩	3.67
(D)	安山岩	6.55

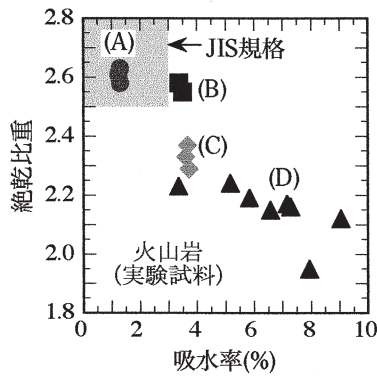


図3 試料岩石の品質の評価

率の大きい火山岩の場合、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。

### 3. 1. 2 粗骨材の力学試験法

力学物性の測定にあたっては、寸法効果を考慮し、粗骨材の最大径程度の大きさの試験片を作製した。一軸圧縮試験では、試験片寸法を直径20mm、長さ40mmの円柱形とし、圧縮強度およびヤング率を測定した。また、圧裂引張試験では、試験片寸法を直径20mm、厚み10mmの円盤形とし、引張強度を測定した。試験片は、それぞれ3~5個用意し、全て試験をおこなった。

### 3. 2 コンクリートの配合条件および圧縮試験法

#### 3. 2. 1 配合試料

粗骨材には、試料岩石(A)~(D)を用い、それぞれの試料を破碎・分級し、5~25mmの粒度に整えたものを使用した。細骨材には、秋田県産の陸砂(平均粒径0.47mm、表乾密度2650kg/m<sup>3</sup>)を用い、セメントには市販の普通ポルトランドセメント(密度 $\rho_c=3160\text{kg/m}^3$ )を使用した。また、単位水量 $W$ は185g/m<sup>3</sup>とした。なお、コンクリートは手練りとし、AE剤は用いず、空気量 $v_a$ は0.02と推定した。

#### 3. 2. 2 人工軽量骨材のJIS規格相当の試験

ここでは、碎石骨材のJIS規格を外れた火山岩碎石について、普通コンクリート用粗骨材としての使用可能性を調べるため、以下の試験をおこなった。

JIS規格内骨材(A)および規格外骨材(B)~(D)の4つの粗骨材試料を用い、表3の軽量骨材規格に準じた配合比(細骨材比 $s/a$ が0.05多い)に基づいて、コンクリートを作製した。 $s/a=0.45$ としたのは、骨材

表3 コンクリートの配合表

水セメント比	空気量	細骨材率	単位水量
W/C	$v_a$	s/a	(kg/m <sup>3</sup> )
0.4	0.02	0.45	185

の充填率を最大にするためである。なお、比較データのため、 $W/C=0.4$ および $W=295\text{kg/m}^3$ の配合条件で、コンクリート中のモルタルと同等のモルタルを作製し、コンクリートと同様に試験した。

手練りしたコンクリートは、内径100mm、高さ200mmのモールドに1日間入れて円柱形に成形し、セメントペーストでキャッピングを施した後、水温約20℃の水中で28日間養生した。試験片は、それぞれ原則3本作製し、すべて圧縮試験をおこなった。圧縮試験は、試験片の変位速度を0.02mm/sとし、一定速度で載荷した。

#### 3. 2. 3 粗骨材が破壊に至るコンクリート試験

次に、粗骨材の破壊条件を調べるため、以下の実験をおこなった。JIS規格内の骨材(A)と最も強度の小さい骨材(D)の2種類を用い、 $s/a=0.45$ および $W=185\text{kg/m}^3$ の条件で、水セメント比 $W/C$ を0.92~0.33の範囲で段階ごとに変化させ、強度の異なるコンクリートを作製した。なお、 $W/C$ の上下限界は、コンクリートの練り上がり限界とした。ここでは、圧縮試験をおこなった後、試験片の破壊状態を観察し、骨材の破壊の有無を調べた。

## 4. 実験結果

### 4. 1 粗骨材試料の力学的特性

表4に粗骨材試料4種についての基礎物性値の一覧を示した。試料(A)が最も絶乾比重が大きく、吸水率が小さい高品質な骨材である。これに対し、(B)(C)(D)の順に絶乾比重が小さく、吸水率が大きい低品質な骨材となる。このうち、試料(D)は他の試料と比較し、圧縮強度、引張強度およびヤング率とも、著しく低いことがわかる。他の3つの試料に関しては、引張強度は同程度であるが、圧縮強度とヤング率は試料(B)が比較的大きく、(A)と(C)は同程度である。この結果から、力学的には、試料(B)が最も高品質で、次いで試料(C)(A)の品位が良く、

表4 骨材試料の基礎物性値

試料名	絶乾比重	吸水率 (%)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)
(A)	2.61	1.27	100	11.1	32.4
(B)	2.57	3.44	192	9.6	52.6
(C)	2.33	3.67	130	9.4	35.0
(D)	2.15	6.55	28	2.9	8.5

試料(D)は極めて低品質であることがわかった。さらに、これらの力学的評価を、絶乾比重や吸水率でおこなうことは難しいことも確認された。

#### 4. 2 低品質骨材を用いたコンクリートの強度

図4は、粗骨材試料(A)～(D)をそれぞれ用い、表3の配合条件で作製したコンクリートの圧縮強度と骨材の吸水率との関係である。図中には、人工軽量骨材のコンクリート強度基準値 $\geq 40\text{MPa}$ をハッチで示した。ここで、骨材(A)以外は吸水率 $\geq 3.0\%$ の低品質骨材である。図より、骨材(A)～(D)のどの骨材を用いたコンクリートの強度も、人工軽量骨材の基準値を満たしており、普通コンクリートの強度上限値以上である。

次に、コンクリートの圧縮強度に及ぼす粗骨材強度の影響を検討するため、図5(a)(b)に、コンクリート強度と粗骨材の圧縮強度および引張強度との関係を示した。図5(a)中には、モルタル強度(61MPa)をハッチで示した。図5(a)より、骨材(A)(B)(C)のコンクリート強度はほぼ同程度であるのに対し、骨材(D)のコンクリート強度は20%程度低いことがわかる。この原因の1つは、骨材(D)の強度のみが、モルタル強度を下回っているためと推察される。また、図5(b)では、骨材の引張強度とコンクリート強度とが直線関係にあり、良い相関を示していることがわかる。このことは、コンクリート内で粗骨材が圧裂破壊することを示唆している。

#### 4. 3 コンクリート内での粗骨材の破壊限界

図6は、水セメント比を増加させたときのコンクリート強度の変化を示したものである。図6(a)は骨材(A)、図6(b)は骨材(D)を用いた場合である。図中の直線は、粗骨材の破壊が顕著になるまでのデータを用いた、コンクリート強度 $F_c$ とセメント水 $C/W$ との関係式である。よって次式は、粗骨材破壊前のコンクリート強度を示す式である。

$$F_c = 37.5(C/W) - 35.1 \quad \dots (1)$$

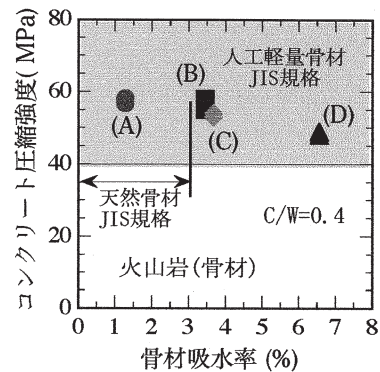


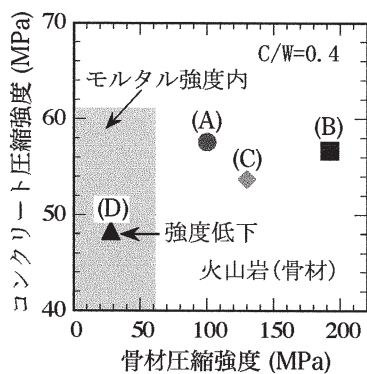
図4 コンクリート強度と骨材の吸水率との関係

図6(a)(b)より、両図とも同じ直線で近似でき、骨材の破壊が顕著となるデータは、直線からずれて、強度があまり増加しなくなることがわかる。また、強度の大きい骨材を用いた方が、コンクリート内で粗骨材は破壊し難く、コンクリートの強度を増加させることがわかった。

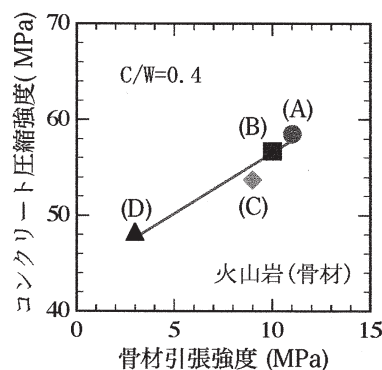
写真1(a)(b)は、図6(a)のデータにおいて、あまり粗骨材が破壊していない試験片①および、粗骨材の破壊が顕著となった試験片②の破断面の状態を示している。試験片①の破断面では、モルタルが破壊しており、粗骨材の表面にはセメントが付着し、粗骨材が破壊した様子はあまりない。これに対し、試験片②では、多くの粗骨材がコンクリート破断面で破壊し、分割されていることがわかった。このことから、コンクリートの破壊は、ある応力を境にモルタル破壊から粗骨材破壊へと変化し、粗骨材の破壊領域では、セメント水比を大きくしても、コンクリート強度が増加し難くなることがわかった。なお、 $W/C=0.4$ あたりから、骨材は多少破壊していると推測される。

### 5. 考察

#### 5. 1 コンクリート内の骨材応力モデル



(a) 骨材の一軸圧縮強度



(b) 骨材の圧裂引張強度

図5 コンクリート強度に及ぼす骨材の強度特性の影響

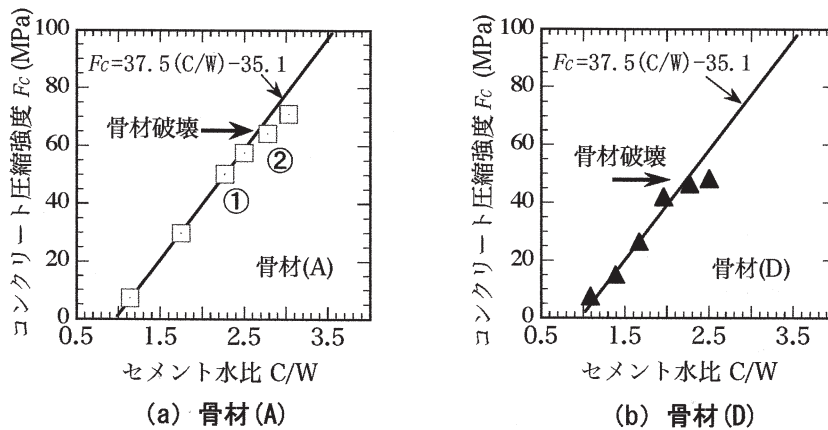


図6 コンクリート強度における骨材破壊の影響

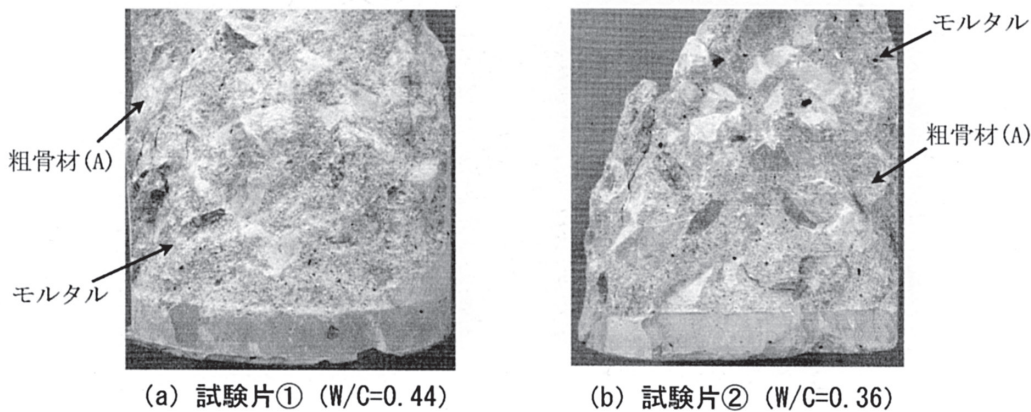


写真1 コンクリート試験片の破壊面（骨材(A)）

5. 1. 1 コンクリート内部の粗骨材構造モデル

ここまでの実験および観察結果から、コンクリート内における粗骨材の破壊挙動が、コンクリートの上限強度を決めていると考えられる。したがって、コンクリートの平均応力と、コンクリート内で粗骨材に作用する応力との関係がわかれば、粗骨材の力学基準値が明確になると思われる。

著者らは、図7(a)(b)に示すような、コンクリート試験片内の粗骨材構造モデルを用いて、コンクリートの平均応力に対する骨材の応力について検討した。このモデルは、図7(a)正面図のように、球でモデル化した粗骨材が、上端から下端まで噛合っており、その空隙をモルタルが埋めている。よって、粗骨材が構成する構造体内で、上下方向に荷重を伝えることができる。また、図7(b)上面図のように、コンクリート試験片断面を、モルタルと粗骨材が一定の面積割合で構成している。この図は、粗骨材の面積割合  $A_G = 0.36$  を表現している。ここでは、この面に作用する荷重は、モルタルと粗骨材の面積割合およびヤング率の割合で、それぞれに分担されると仮定する。

5. 1. 2 粗骨材応力算定式

コンクリート容積中に占める細および粗骨材全体の体積割合  $V_A$  は、次式で示される<sup>17)</sup>。

$$V_A = \{1 - (C/\rho_c + W/\rho_w + v_a)\} \dots (2)$$

さらに、粗骨材のみの体積割合  $V_G$  は次式となる。

$$V_G = V_A(1 - s/a) \dots (3)$$

ただし、 $C$  は単位セメント量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) である。

また、粗骨材の体積割合  $V_G$  は、次式で、断面における面積割合  $A_G$  に変換することができる<sup>18)</sup>。

$$A_G = (16V_G - 1)/13 \dots (4)$$

例えば、 $W/C = 0.4$  では  $A_G = 0.362$  であり、図7(a)のモデル図のイメージ程度である。

ここで、モルタルのヤング率を  $E_M$  および粗骨材のヤング率を  $E_G$  とすると、コンクリート応力が  $\sigma_c$  のときの、粗骨材の平均応力  $\sigma_G$  は、次式で示すことができる。

$$\sigma_G = \sigma_c \left( \frac{E_G}{A_G E_G + (1 - A_G) E_M} \right) \dots (5)$$

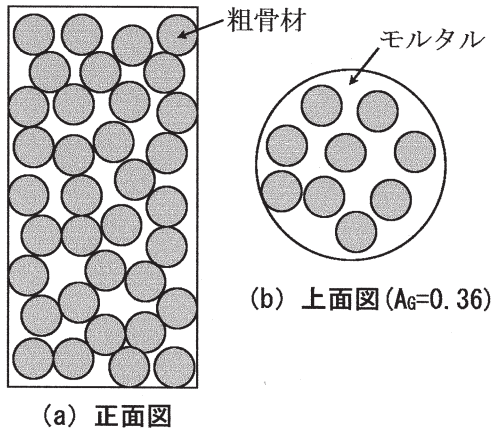


図7 コンクリート試験片内の粗骨材構造モデル

同様に、モルタル応力 $\sigma_M$ も次式で算定できる。

$$\sigma_M = \sigma_c \left( \frac{E_M}{A_G E_G + (1 - A_G) E_M} \right) \dots (6)$$

よって、粗骨材およびモルタルの圧縮強度をそれぞれ $F_G$ および $F_M$ とすると、コンクリートの強度 $F_C$ は、次のいずれかの条件のときの $\sigma_c$ となる。

$$\sigma_G \geq F_G \text{ or } \sigma_M \geq F_M \dots (7)$$

ここで、骨材は圧縮破壊すると単純に仮定し、骨材の破壊基準に圧縮強度を用いた。

5. 2 骨材破壊によるコンクリート強度の限界

図8に、朴ら<sup>15)</sup>によるモルタルのヤング率 $E_M$ と水セメント比 $C/W$ との関係を示す。なお、このモルタルは $W=295 \pm 15 \text{ kg/m}^3$ である。図より、 $E_M$ と $C/W$ は直線で近似可能であることから、次式を求めた。

$$E_M = 4.32(C/W) - 9.18 \dots (8)$$

さらに、モルタルの強度 $F_M$ は、粗骨材が破壊するまではコンクリート強度 $F_C$ と一致する( $F_C = F_M$ )と仮定し、式(6)および式(7)を用いて、図6(a)(b)の実験に対応するシミュレーションをおこなった。なお、計算には、コンクリートの応力 $\sigma_c$ に強度 $F_C$ を代

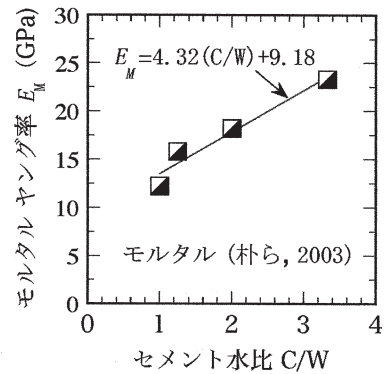


図8 モルタルのヤング率とセメント水比との関係

入し、コンクリート破壊時の応力状態を求めた。

図9に、 $C/W$ の増加に伴うコンクリートの強度と、この応力時の骨材応力およびモルタル応力の計算結果を示した。図9(a)は骨材(A)、図9(b)は骨材(D)を用いた場合である。図のハッチ内は骨材破壊が想定される領域である。

図9(a)では、モルタルに比較し骨材(A)のヤング率が大きいので、コンクリート強度に対し、粗骨材応力が大きく、モルタル応力が小さくなっている。ここで、骨材応力が骨材強度に達するときの、コンクリート強度は約80MPaである。実験結果(約58-64MPa)よりも、25%程度大きく算定されているが、ある程度現象を模擬していると思われる。

しかし、コンクリート強度がこの応力以下では、モルタルが破壊しなければならないが、モルタル応力はコンクリート強度より低い値を示している。よって、モルタル応力がコンクリート強度まで増加するためには、次のようなメカニズムを考える必要がある。すなわち、低応力下においても、モルタルと粗骨材との結合境界の弱層には、多くの亀裂が発達し、局所的に粗骨材は容易にずれて、大きく変位すると考えられる。この変位は、局所的には、粗骨材のヤング率が見掛上小さくなったように作用し、

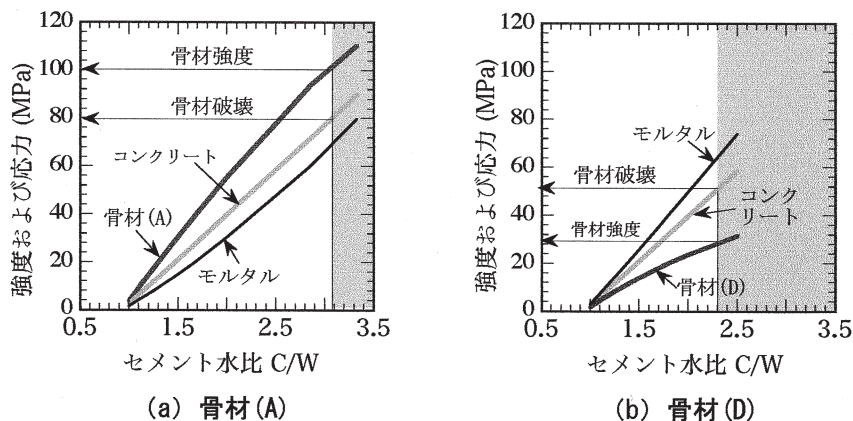


図9 モデル計算によるコンクリート内の骨材応力と骨材の破壊強度

モルタル側の応力が大きくなる。このように骨材の変位が引き続くことで、コンクリート強度と同程度の応力がモルタルに作用し、モルタル部分が破壊に至ると考えられる。

図9(b)では、モルタルに比較し骨材(D)のヤング率が小さく、モルタル応力がコンクリート強度より20%程度大きくなっている。このような、骨材のヤング率がモルタルより十分小さい場合、接合面のずれの影響はほとんどないと考えられる。よって、モルタル応力とコンクリート強度はほぼ一致すべきで、本図の差は算定誤差と考えられる。また、骨材応力が骨材強度に達するときの、コンクリート強度は約50MPaとなり、実験結果(約42-47MPa)とほぼ一致する。

以上の考察から、理想的な粗骨材の力学物性は、モルタルに比較し、圧縮強度は多少大きく、ヤング率は同程度が良いことがわかる。このことは、高強度コンクリートでは、粗骨材のヤング率が大きいと強度が低下する傾向にあることと<sup>16)</sup>、調和的であると考えられる。

式(5)より、粗骨材の力学的基準値を提案する。普通コンクリートでは、ヤング率が20GPa程度(モルタル並み)なら、圧縮強度が45MPa以上で十分であり、ヤング率が大きく40GPa程度あっても、圧縮強度は65MPa程度あれば十分である。また、高強度コンクリートでは、モルタルの強度とヤング率を求めてから、粗骨材に必要な力学物性値を算定し、これに見合った粗骨材を選定すればよいと思われる。

## 6. まとめ

本研究では、現在のJIS規格において、粗骨材として低品質に分類される火山岩砕石について、粗骨材としての利用可能性を実験的に検討した。とくに、粗骨材の力学的基準値について理論的に明らかとした。本研究結果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) 火山岩においては、吸水率と力学的物性値の相関は悪く、吸水率 $\geq 3.0\%$ であっても、力学的に優良な火山岩は多い。
- (2) コンクリート内の粗骨材の破壊条件について、力学的なモデル式を提案した。
- (3) 普通コンクリート用の粗骨材なら、本モデル式より、圧縮強度が65MPa程度で十分である。
- (4) 高強度コンクリートでは、モルタルの強度とヤング率から、本モデル式を用いて粗骨材に必要な強度とヤング率を算定し、これに見合った岩石を選定すればよい。

## 引用文献

- 1) 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課編：平成17年砕石統計年報、経済産業統計協会、pp. 8-28 (2005)
- 2) 衣笠善博・山崎晴雄・大沢穰：秋田-山形地域活構造図、地質調査所 (1981)
- 3) スキンナー、B. J.：地球資源学入門、共立出版、pp. 145-155 (1990)
- 4) L. ドラー マントアニ：コンクリート骨材ハンドブック、技術書院、pp. 75-101 (1978)
- 5) 日本工業規格：コンクリート用砕石及び砕砂、JIS A 5005、日本規格協会 (1993)
- 6) 日本工業規格：レディーミクストコンクリート、JIS A 5308、日本規格協会 (2003)
- 7) 地盤工学会編：土質基礎工学ライブラリー30 堆積軟岩の工学的性質とその応用、地盤工学、pp. 43-68 (1987)
- 8) 秋田県工業技術センタ：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 (1990)
- 9) 日本工業規格：構造用軽量コンクリート骨材、JIS A 5002、日本規格協会 (2003)
- 10) 砕石研究会編：東北地方の砕石山の現状に関する調査研究-山形県・秋田県(平成9年度版)-、砕石研究会、pp. 51-52 (1997)
- 11) 久城育夫・荒牧重雄・青木謙一郎編：日本の火成岩、岩波書店、pp. 25-84 (1989)
- 12) 小阪義夫・谷口恭雄：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)
- 13) 渡邊悟士・黒岩秀介・陣内浩・並木哲：高強度コンクリートの圧縮強度に影響を及ぼす粗骨材物性に関する研究、日本建築学会論文報告集、No. 558、pp. 21-27 (2005)
- 14) 星野政幸・苦米地司：微視的観察に基づくセメントペーストと骨材の界面の形成過程と強度的欠陥の形成について、材料、Vol. 32、No. 358、pp. 12-18 (1982)
- 15) 朴相俊・谷川恭雄・森博嗣・平岩陸：コンクリートの破壊挙動に及ぼす粗骨材の影響に関する解析的・実験的研究、日本建築学会論文報告集、No. 570、pp. 1-6 (2003)
- 16) 山田順治・有泉昌編：わかりやすいセメントとコンクリートの知識、鹿島出版、pp. 113-157 (1978)
- 17) 小林一輔：最新コンクリート工学、森北出版、pp. 113-128 (2002)
- 18) 奥山喜久夫・増田弘昭・諸岡成治：微粒子工学、オーム社、pp. 42-47 (1981)