

# 論文 コンクリートの強度・変形性に及ぼす低品質粗骨材の影響に関する実験的検討

大下昌利\*<sup>1</sup>、永山功\*<sup>2</sup>、渡辺和夫\*<sup>3</sup>、西澤賢太郎\*<sup>4</sup>

要旨：本研究は、熱水変質を受けて軟質化した低品質骨材を用いたコンクリートと通常の規準適合骨材を用いたコンクリートの強度、変形性の比較試験を行ったものである。その結果、低品質骨材を用いたコンクリートは、所要のコンシステンシーを得るために単位水量が若干多くなるが、水セメント比を同一にすれば、規準適合骨材を用いたコンクリートと同程度の強度が得られることがわかった。ただし、水セメント比の小さな高強度のコンクリートでは若干の強度低下が認められた。一方、弾性係数については、規準適合骨材を用いたコンクリートに比べて小さな値を示すことがわかった。

キーワード：低品質骨材、セメント水比、圧縮強度、引張強度、弾性係数

## 1. はじめに

近年、ダムサイト近傍で良好な品質を有する原石山を見いだすことが次第に困難となり、骨材生産の歩留りが低下して骨材単価が上昇するとともに、廃棄岩の処分や原石山の長大法面が環境問題と絡めて重要な問題となりつつある。このため、現行の品質規準から外れて廃棄されている原石の有効利用が強く望まれている。

本研究は、現行の品質規準から外れて廃棄されている骨材のうちフレッシュコンクリートの品質にそれほど大きな影響を及ぼさないと考えられる粗骨材について、これをコンクリートの骨材として利用した場合に、低品質粗骨材がコンクリートの強度、弾性係数などの物性に及ぼす影響を検討した一連の試験結果をとりまとめたものである。

## 2. 試験概要

### 2.1 使用材料

今回の試験に用いた骨材の材料物性値を表-1に示す。このうち、低品質粗骨材は熱水変質を受けた花崗閃緑斑岩（Gダムの廃棄岩）で、その比重、吸水率は平均値としてはダム用コンクリート骨材の品質規準を満足しているが、吸水率5%を超えるものもかなり含まれている。また、低品質粗骨材は吸水すると著しく軟質化し、細粉化するものもある。

図-1、図-2は低品質粗骨材と比較材料として用いた規準適合粗骨

表-1 骨材の物性値

名 称	細骨材	規準適合粗骨材	低品質粗骨材
比 重	2.66	2.67	2.61
吸水率(%)	1.62	0.46	2.83
種 類	砂岩	砂岩	花崗閃緑斑岩

- \*1 清水建設(株)土木本部技術第二部、工修（正会員）
- \*2 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室室長（正会員）
- \*3 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室主任研究員
- \*4 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室研究員、工修

材（笠間産砂岩）の点載荷強度[1]の頻度分布を示したものである。低品質粗骨材の点載荷強度は規準適合粗骨材の60%程度で、その変動係数も85%と大きい。また、吸水率5%を超えるものは点載荷強度が150kgf/cm<sup>2</sup>以下の部分に多く含まれている。

## 2.2 コンクリートの配合

今回の試験に用いた配合を表-2に示す。この配合は、粗骨材の最大寸法を40mm、細骨材率を44%、スランプを5±1.5cm、空気量を4±1%として、水セメント比を40%から90%まで5種類に変化させたものである。なお、いずれの配合とも細骨材には規準適合粗骨材と同じ笠間産砂岩の砕砂を使用した。また、セメントにはダムコンクリートを考慮して中庸熟ポルトランドセメントを使用した。

図-3は、低品質粗骨材および規準適合粗骨材を用いた場合に、同一スランプを得るために必要な単位ペースト量をセメント水比毎に示したものである。粗骨材の粒形や粒度分布の違いなどの要因もあって厳密な比較はできないが、低品質粗骨材を用いることによって所要のスランプを得るための単位ペースト量は5~7%程度増加していることがわかる。

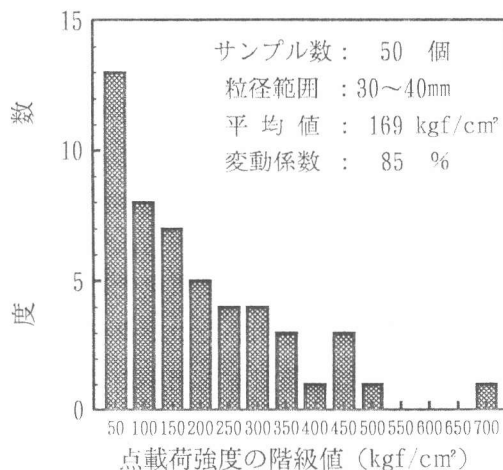


図-1 低品質粗骨材の点載荷強度の頻度分布

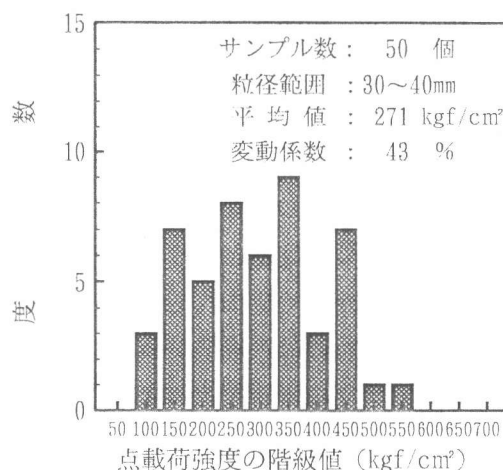


図-2 規準適合粗骨材の点載荷強度の頻度分布

表-2 コンクリートの配合

配合名	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				粗骨材の種類
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
S-1	40	5±1.5	4±1.0	40	44	144	360	824	1052	規準適合
S-2	40	5±1.5	4±1.0	50	44	148	296	842	1075	規準適合
S-3	40	5±1.5	4±1.0	60	44	153	255	852	1086	規準適合
S-4	40	5±1.5	4±1.0	75	44	159	212	860	1099	規準適合
S-5	40	5±1.5	4±1.0	90	44	162	180	868	1108	規準適合
L-1	40	5±1.5	4±1.0	40	44	154	385	803	1003	低品質
L-2	40	5±1.5	4±1.0	50	44	158	316	823	1028	低品質
L-3	40	5±1.5	4±1.0	60	44	162	270	836	1044	低品質
L-4	40	5±1.5	4±1.0	75	44	165	220	850	1062	低品質
L-5	40	5±1.5	4±1.0	90	44	171	190	854	1069	低品質

## 2. 3 試験項目

表-2に示した各配合のコンクリートを傾胴式ミキサーで練り混ぜ、スランプと空気量が所定の範囲にあることを確認した後、圧縮強度試験 (JIS A 1108) と引張強度試験 (JIS A 1113) 用の標準供試体を作製した。また、供試体は20℃の水中で養生を行った。

圧縮強度試験と引張強度試験は、それぞれ材齢7日と材齢28日に行った。また、圧縮強度試験の際には、弾性係数を測定するため、標準供試体表面の軸方向に3枚のひずみゲージを貼り付け、ひずみを測定した。

## 3. 試験結果

### 3. 1 圧縮強度

図-4は、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、セメント水比と材齢7日、材齢28日における圧縮強度の関係を示したものである。材齢7日においては、低品質粗骨材、規準適合粗骨材のいずれを用いた場合も両者の圧縮強度にほとんど差はなく、水セメント比の法則に従ってセメント水比と圧縮強度の関係はともに高い直線性を示している。一方、材齢28日においては、セメント水比が1.1~2.0の範囲では両者の圧縮強度にほとんど差がないのに対し、セメント水比が2.5の場合には低品質粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は規準適合粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度に比べて10%程度小さい値を示している。また、この時の圧縮強度の変動係数は10%で他の場合 (1~5%) に比べてやや大きくなっている。

以上のことから、低品質粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、設計強度がそれほど高くない配合では特に問題とならないが、設計強度が高い配合では規準適合粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度よりも低くなるといえる。

### 3. 2 引張強度

図-5は、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、セメント水比と材齢7日、材齢28日における引張強度の関係を示したものである。材齢7日においては、低品質粗骨材、規準適合粗骨材のいずれを用いた場合も両者の引張強度にほ

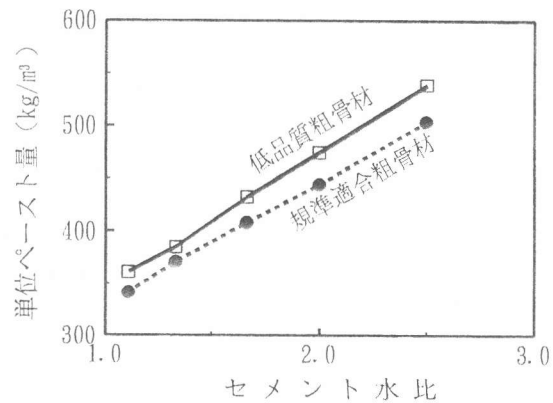


図-3 所要スランプを得るために必要な単位ペースト量

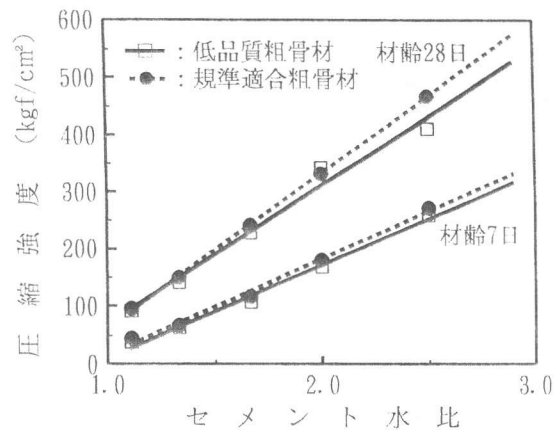


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係

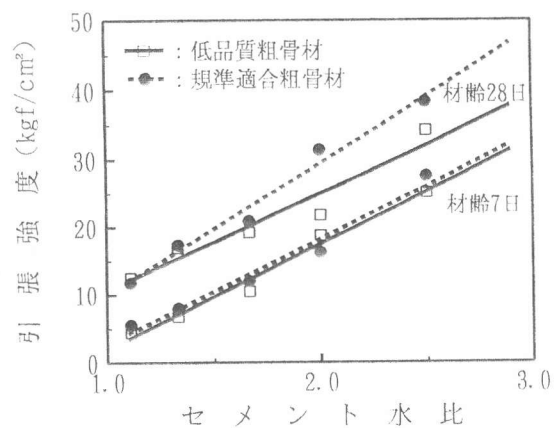


図-5 セメント水比と引張強度の関係

とんど差はなく、水セメント比の法則に従ってセメント水比と引張強度の関係はともに高い直線性を示している。一方、材齢28日においては、セメント水比が1.1~1.7の範囲では両者の引張強度にほとんど差がないのに対し、セメント水比が2.0と2.5の場合には、低品質粗骨材を用いたコンクリートの引張強度は規準適合粗骨材を用いたコンクリートの引張強度に比べてそれぞれ30%と10%程度小さな値を示している。また、この時の引張強度の変動係数は12%と他の場合(8~9%)に比べてやや大きくなっている。なお、供試体の破断面を観察した結果、規準適合粗骨材を用いたコンクリートではほとんどが粗骨材とモルタルの境界で破断を生じていたが、低品質粗骨材を用いたコンクリートではほとんどが低品質粗骨材内で破断を生じていた。

以上のことから、低品質粗骨材を用いたコンクリートの引張強度は、設計強度がそれほど高くない配合では特に問題とならないが、設計強度が高い配合では規準適合粗骨材を用いたコンクリートの引張強度よりも低くなるといえる。

### 3.3 圧縮強度と引張強度の関係

図-6は、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、圧縮強度と引張強度の関係を示したものである。図によれば、規準適合粗骨材を用いたコンクリートでは圧縮強度と引張強度の間に線形な関係が認められる。一方、低品質粗骨材を用いたコンクリートでは、特に強度の高いコンクリートで試験値のばらつきが大きくなっているため、規準適合粗骨材を用いた場合ほど圧縮強度と引張強度の間に高い相関性は見られないが、強度があまり高くない範囲においては、規準適合粗骨材を用いたコンクリートとほぼ等しい関係が得られている。

### 3.4 弾性係数

図-7、図-8は、低品質粗骨材を用いた材齢28日のコンクリートと規準適合粗骨材を用いた材齢28日のコンクリートについて、圧縮領域における応力とひずみの関係を示したものである。図によれば、低品質粗骨材を用いたコンクリートでは、規準適合粗骨材を用いたコンクリ

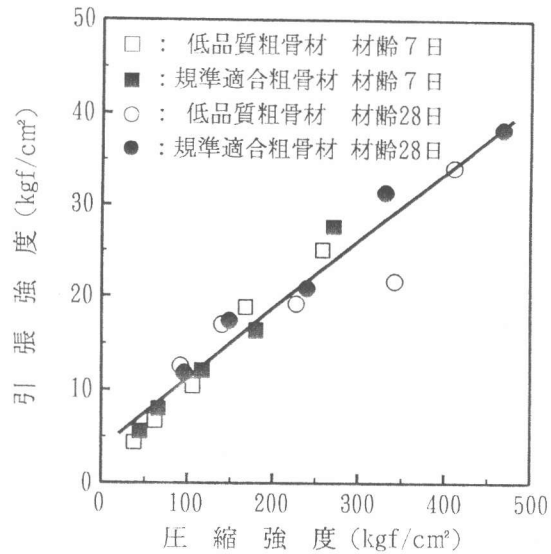


図-6 圧縮強度と引張強度の関係

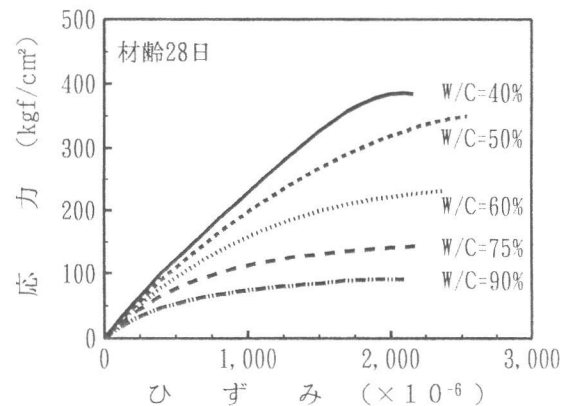


図-7 低品質粗骨材を用いたコンクリートの応力-ひずみ曲線

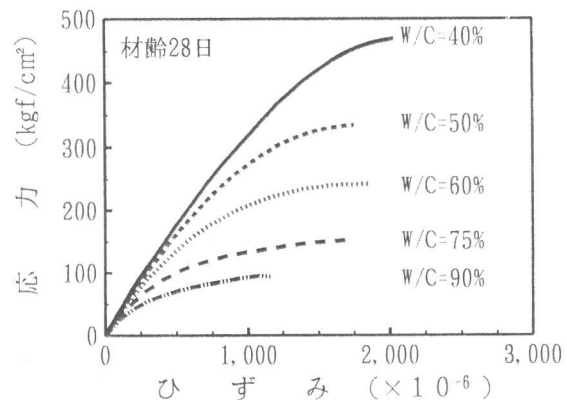


図-8 規準適合粗骨材を用いたコンクリートの応力-ひずみ曲線

ートに比べて圧縮強度は小さくなっているが、圧縮破壊時の破壊ひずみはやや大きくなっていることがわかる。また、それぞれの応力-ひずみ曲線の形状を比較するため、応力を圧縮破壊時の応力で除した値（応力比と呼ぶ）とひずみを圧縮破壊時のひずみで除した値（ひずみ比と呼ぶ）の関係を、水セメント比40%と90%の場合について示した結果が図-9である。図によれば、水セメント比が小さく強度が大きいコンクリートにおいて応力-ひずみ曲線はより直線的になるが、低品質粗骨材を用いたコンクリートの応力-ひずみ曲線と規準適合粗骨材を用いたコンクリートの応力-ひずみ曲線の間には有意な差は認められない。

次に、これらの試験結果からコンクリートの弾性係数Eを式(1)によって算出した。[2]

$$E = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}} \quad (1)$$

ここに、 $S_1$  : 圧縮強度の1/3に相当する応力

$S_2$  : ひずみ $50 \times 10^{-6}$ のときの応力

$\varepsilon_1$  : 応力 $S_1$ のときのひずみ

図-10は、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、セメント水比と材齢7日、材齢28日における弾性係数の関係を示したものである。図によれば、まず、セメント水比と弾性係数の間にはセメント水比と圧縮強度の関係のような直線性がないことがわかる。また、圧縮強度の場合には、低品質粗骨材を用いたコンクリート、規準適合粗骨材を用いたコンクリートのいずれであってもセメント水比が同一であれば同一の値を示す（ただし、圧縮強度の高い配合は除く）のに対して、弾性係数の場合には、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートではその値が大きく異なり、低品質粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数は、材齢7日では規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数の50~60%、材齢28日では規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数の60~70%の値を示している。これは低品質粗骨材の変形性の影響が強く現れているためと考えられる。

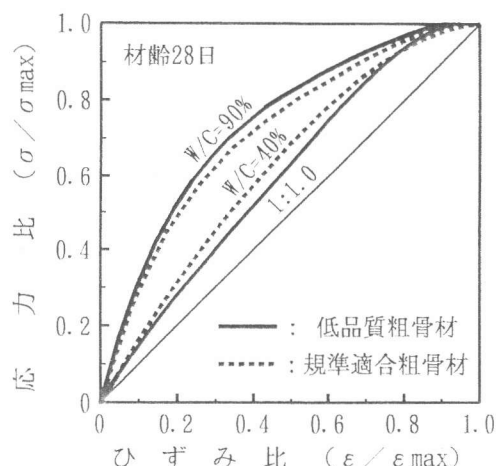


図-9 低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートの応力比-ひずみ比曲線の比較

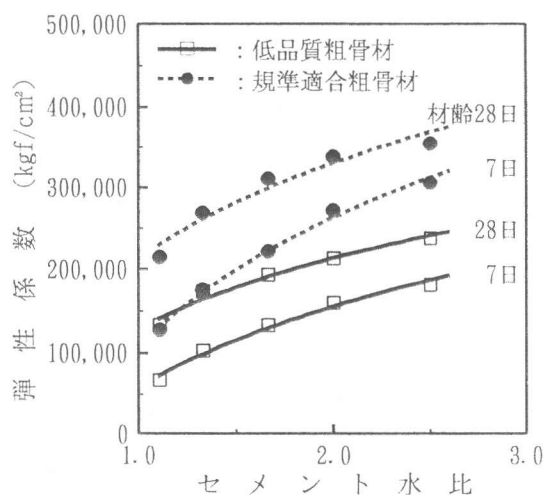


図-10 セメント水比と弾性係数の関係

### 3. 5 圧縮強度と弾性係数の関係

図-11は、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートについて、圧縮強度と弾性係数の関係を示したものである。図によれば、低品質粗骨材を用いたコンク

ンクリート、規準適合粗骨材を用いたコンクリートとも圧縮強度の伸びに対して弾性係数の伸びは頭打ちになっていることがわかる。また、圧縮強度を同一とした場合、低品質粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数は規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数の50~70%程度となっている。なお、図-12は、低品質粗骨材を用いたコンクリートとコンクリートから粗骨材を除去したモルタルについて、圧縮強度と弾性係数の関係を示したものである。図によれば、低品質粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係はモルタルの圧縮強度と弾性係数の関係とほぼ等しくなっている。ただし、同じ水セメント比の配合で比較すると、低品質粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度、弾性係数はモルタルの圧縮強度、弾性係数よりも10~30%程度小さな値を示した。

#### 4. まとめ

本研究では、低品質粗骨材を用いたコンクリートと規準適合粗骨材を用いたコンクリートの強度、変形性を比較検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 強度がそれほど高くないコンクリートにおいては、低品質粗骨材を用いた場合と規準適合粗骨材を用いた場合で、両者の圧縮強度に差は生じなかった。しかし、強度の高いコンクリートにおいては低品質粗骨材を用いたコンクリートの強度は低下する傾向が認められた。
- (2) 弾性係数については、水セメント比の大小（圧縮強度の大小）に関係なく、低品質粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数が規準適合粗骨材を用いたコンクリートの弾性係数よりも低い値を示した。

今回の試験結果によれば、コンクリートに低品質粗骨材を用いた影響は、コンクリートの圧縮強度よりも弾性係数により大きく現れることが明らかになった。低品質骨材をダムに適用する場合、重力ダムがその対象になると考えられるが、重力ダムの構造設計では弾性係数が重要な設計要素とならないため、現行の品質規準を下回る低品質骨材を重力ダムの内部コンクリートに使用することは十分可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 岩盤力学委員会：軟岩の調査・試験の指針（案）、土木学会、pp. 60-63、1991
- 2) 土木学会コンクリート委員会：コンクリートの標準示方書【平成3年度版】規準編、土木学会、pp. 286-289、1991

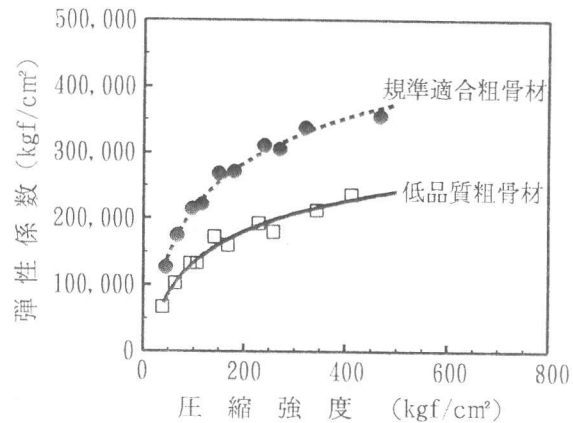


図-11 弾性係数と圧縮強度の関係(1)

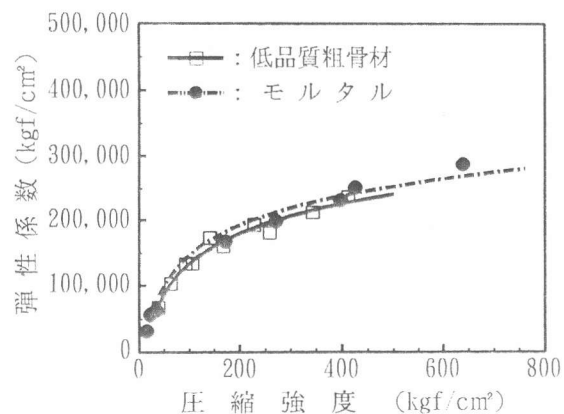


図-12 弾性係数と圧縮強度の関係(2)