

## 論文 粗骨材最大寸法 40mm の RCD 用コンクリートの特性

加藤俊二<sup>1</sup>・河野広隆<sup>2</sup>・森濱和正<sup>3</sup>・古賀裕久<sup>4</sup>

**要旨:** 原石山に風化・変質岩があると歩留まりが悪いことが知られているが、岩そのものの物理的特性はよくても150mmや80mmといった大粒径の骨材が採れない場合がある。ここでは、大粒径が含まれない骨材をRCD用コンクリートに利用することを目的として、粗骨材最大寸法を40mmとした場合のRCD用コンクリートの配合特性を把握するとともに、その改善のために細骨材中の0.15mm以下の微粒分を活用した場合の効果を実験的に検討を行った。その結果、施工性および強度の改善ができる最適微粒分含有率は、結合材を含めた粉体と0.15mm以上の細骨材を混合したときの実積率で求められることが分かった。

**キーワード:** RCD用コンクリート、粗骨材最大寸法40mm、微粒分、施工性

### 1. はじめに

自然保護地区や岩の風化・変質などの多い地域では、ダムサイト近傍に良質な骨材の採取が可能な原石山の確保が困難になってきている。骨材として高い品質の岩が得られないような場合でも、輸送費等の経済性を考慮すると、ダムサイト近傍の原石山を活用せざるを得ない状況にある。

一方、風化・変質岩などが多い原石山では歩留まりが悪いことは知られているが、岩の物理的特性は良くても150mmや80mmといった大粒径の骨材がほとんど採れない場合がある。このような骨材を有効に利用していくことは重要な課題となりつつある。ここではRCD用コンクリートに利用することを目的として、粗骨材最大寸法（以下、 $G_{max}$ と呼ぶ）を40mmとせざるを得ない場合のコンクリートの特性の検討を行うこととした。

RCD用コンクリートに $G_{max}40mm$ の骨材を用いた場合、一般的なRCD用コンクリートと比して単位水量が大幅に増加することが予想さ

れる。また、 $s/a$ も大きくなることから骨材間の空隙も多くなり、これを充填するために結合材量の増加も考えられる。結合材量の増加は発熱によるひびわれおよび経済性の問題もあることから、その対策としてフライアッシュや骨材の微粒分等を有効に活用していくことが考えられる。このためには、まずその配合特性を知り、単位水量の増加を最小限にして施工性を改善する方策の検討を行っていかなければならない。さらには、ダムの内部用としてのコンクリートに要求される性能の見直しや $G_{max}$ の小さな粗骨材を用いたときの施工性評価の見直しも必要となる。

ここでは、 $G_{max}40mm$ 骨材を用いたRCD用コンクリートの配合特性を把握するとともに、0.15mm以下の微粒分の添加による施工性および強度の改善効果の検討を行った結果を報告する。

### 2. 試験概要

#### 2.1 試料および使用材料

\*1建設省土木研究所 コンクリート研究室研究員（正会員）

\*2 同 室長 工修（正会員）

\*3 同 主任研究員（正会員）

\*4 同 研究員（正会員）

使用した骨材は、Yダム用骨材として検討されている節理が極端に発達したCM級砂質岩および泥質岩(以下、混合したものをCMと呼ぶ)と節理がさらに多いCL級岩(以下、CLと呼ぶ)の3種類とし、試験では、表-1に示す試料調整を行った。また、セメントおよび混和材は次のものを用いた。

- ・中庸熱ポルトランドセメント(比重:3.21, 以下, Mで示す)
- ・普通ポルトランドセメント(比重:3.15, 以下, Nで示す)
- ・フライアッシュ(比重:2.35, 以下FAで示す)

表-1 試料骨材の調整

種類	調整方法
粗骨材	混合 CL:CM=1:1混合 CM砂質:CM泥質=45:55混合
CL	CL単味
細骨材	CL:CM=1:1混合
微粒分 (0.15mm以下)	CMを破砕

注) 混合比率は容積比

## 2.2 試料の物理試験

骨材および微粒分の物理試験として、それぞれの試験を行った。

- ・比重および吸水率試験
- ・ふるい分け試験
- ・単位容積質量および実積率

なお、微粒分のふるい分けはレーザー回折による。また、実積率に関してはコンクリート内の細・粗骨材、微粒分および結合材(本稿では、セメントおよび混和材を意味し、これに微粒分を含めて粉体と呼ぶ)の最適な配合を把握することを目的として、細骨材と粗骨材、細骨材と微粒分、結合材と微粒分の混合量あるいは添加量を変化させて行った。結合材と微粒分の実積率は、セメントの密度測定法に準じて試験を行い、その結果から求めた。

## 2.3 コンクリート試験

コンクリートの配合は、表-2に示す配合条件から単位水量および最適細骨材率を求めて基本配合として試験を行うこととした。なお、基

本配合の目標VC値は単位水量の低減を目的として30秒とし、結合材量は骨材中の空隙の増加を考慮して140kg/m<sup>3</sup>とし、セメント量の増加による発熱を考慮してFA置換率を50%とした。

表-2 コンクリートの基本配合条件

目標VC値	セメント種類	結合材量	F A置換率	粗骨材種
30秒	M	140kg/m <sup>3</sup>	50%	混合

試験は、細骨材中の微粒分含有率(pw/s)の影響を見るため、細骨材中の0.15mm以上を容積比で0, 2.5, 5, 10, 20%微粒分と置換した場合および細骨材中の0.15mm以下の微粒分を0, 50, 100%カットした場合について、VC試験および圧縮強度試験を実施した。また、基本配合の結合材量を120および160kg/m<sup>3</sup>とした場合、粗骨材種をCL単味として微粒分含有率を変化させた場合についても同様の試験を行った。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 試料の物理試験結果

試料の基本的な物性値は表-3に示す通りである。また、図-1に粗骨材、図-2に細骨材、図-3に粉体の粒度分布を示す。使用した骨材は節理がある他は、特に物理的性状に問題がないものである。試料細骨材中には、13.5%の微粒分が含まれている。また、製造した微粒分の粒度分布は使用した結合材の粒度分布とほぼ等しいものである。

表-3 試料の物性試験結果

	表 乾 比重	吸水率 (%)	実積率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	FM
粗骨材	2.64	1.35	61.1 (68.4)	1.52 (1.78)	6.76
CL	2.62	1.10	61.3	1.59	6.75
細骨材	2.62	1.26	67.3	1.75	2.54

注) 実積率、単位容積質量の( )内の数字は振動を30秒間かけたときの値

RCD用コンクリートの強度は、締固めの状態すなわちコンクリートの締固め率が大きく影響し、締固め率が大きいものほど強度が高くな

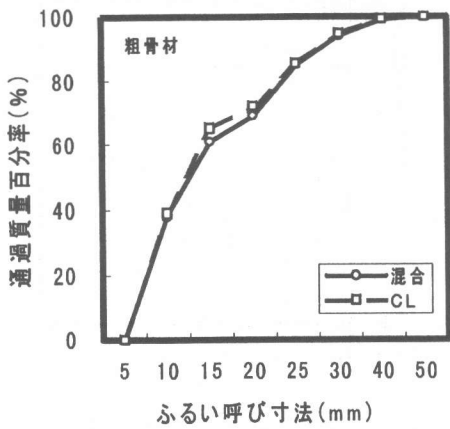


図-1 粗骨材の粒度分布

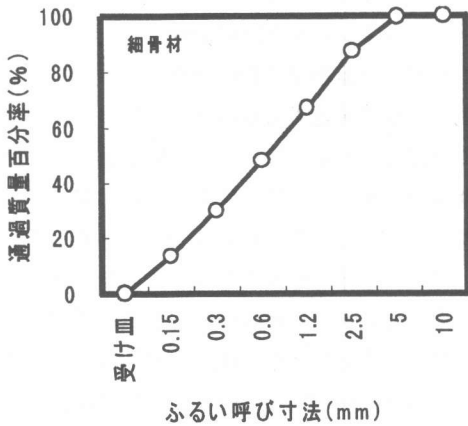


図-2 細骨材の粒度分布

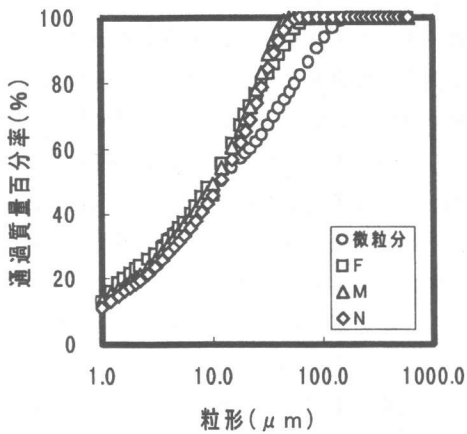


図-3 微粒分の粒度分布

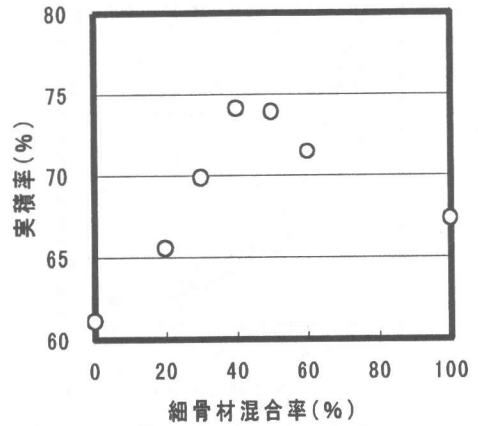


図-4 細・粗骨材の混合割合と実積率の関係

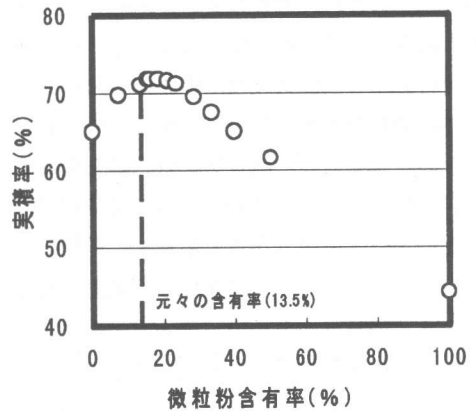


図-5 細骨材の微粒分含有率と実積率の関係

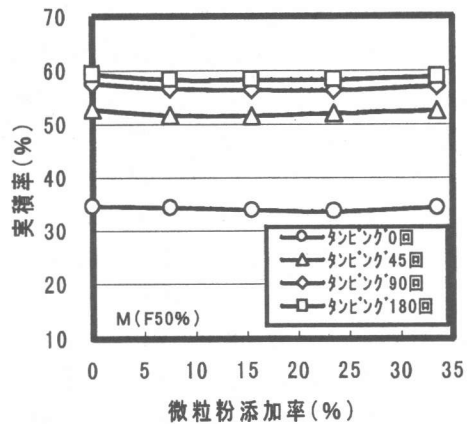


図-6 粉体の実積率と微粒分添加率の関係

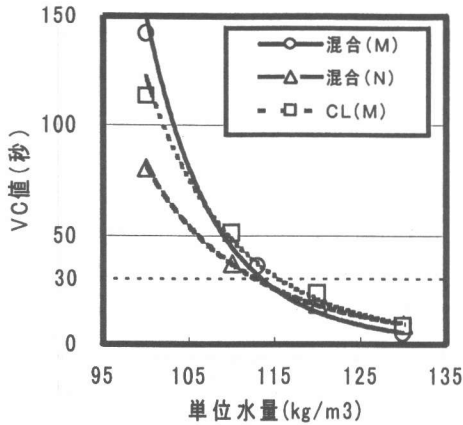


図-7 単位水量とVC値の関係

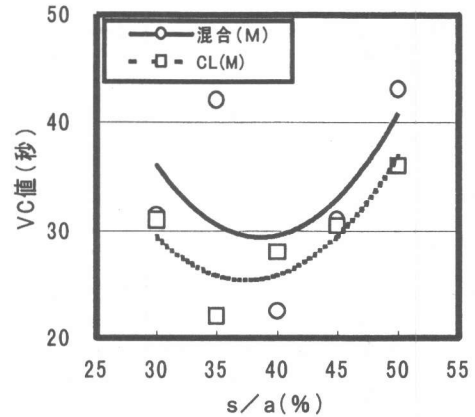


図-8 細骨材率とVC値の関係

る。RCD用コンクリートの締固め率を大きくするには、細骨材、粗骨材および粉体がバランスよく配合されている必要がある。図-4に細・粗骨材の混合割合と実積率の関係、図-5に細骨材と微粒分の混合割合と実積率の関係を示す。今回試験で用いた細骨材と粗骨材を混合した場合、細骨材の比率が40%付近で実積率が最大となっているのが分かる。細骨材と微粒分の関係も同様で、20%付近に実積率が最大となる点がある。細骨材と微粒分の関係は、細骨材と粗骨材の関係と同様に一般的なRCD用コンクリートの配合設計を行う際にも、一つの指標となると考える。

一方、細骨材中の微粒分の一部は粉体として取り扱うことが適当と考えられている [I]。

RCD用コンクリートの場合、粉体のほとんどは締固められた骨材の間隙を埋めるものであり、微粒分の影響により粉体の実積率が大幅に小さくなることは望ましくない。図-6に粉体の実積率と微粒分の添加率の関係を示すが、微粒分の添加率が増加しても、粉体の実積率はほとんど変化しなかった。この傾向はタンピング回数に関わらない。図-5で示したように、細骨材の実積率が最大となる微粒分含有率があり、この関係は、今回用いた微粒分は結合材と粒度がほぼ等しいためにほとんど変化しなかったもので、図-5の横軸を結合材を加えた粉体と

しても成り立つものと考えられる。

### 3. 2 コンクリート試験結果

#### (1) 単位水量および細骨材率

まず、単位水量および細骨材率について検討した結果を述べる。図-7に単位水量とVC値の関係を示す。混合粗骨材を使用した場合、目標VC値が得られる単位水量は113kg/m<sup>3</sup>であった。セメントをNに変えた場合も同様の単位水量となった。また、粗骨材をCL単味で用いた場合には116kg/m<sup>3</sup>となった。一般的なRCD用コンクリートの単位水量は100kg/m<sup>3</sup>前後であり、目標VC値を30秒としたことを考慮するとG<sub>max</sub>40mmの場合には2割程度の水量の増加があると考えられる。

図-8に細骨材率とVC値の関係を示す。この関係から混合およびCL単味のどちらも細骨材率を38%とした。この値も、一般的なRCD用コンクリートと比べると、若干大きくなっている。図-4の関係から今回用いた試料では細骨材と粗骨材を混合した際に、細骨材の混合率が40%付近で実積率が最大となることが分かっている。このことは、図-8の関係から求めた細骨材率とほぼ一致している。すなわち、図-4の関係を求めることにより、配合上の最適細骨材率にほぼ近い値を求めることが可能であると考えられる。

#### (2) 施工性と微粒分

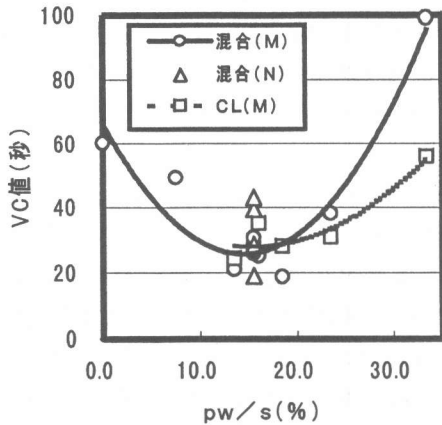


図-9 微粒分含有率とVC値の関係

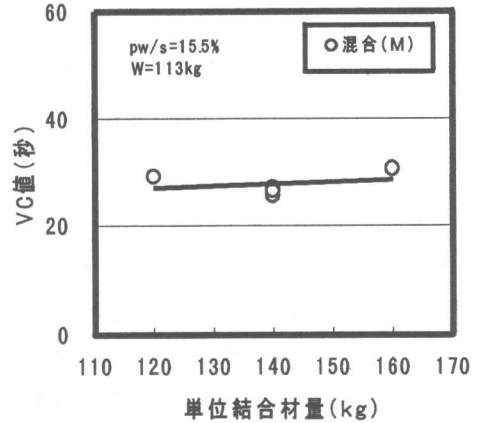


図-10 単位結合材量とVC値の関係

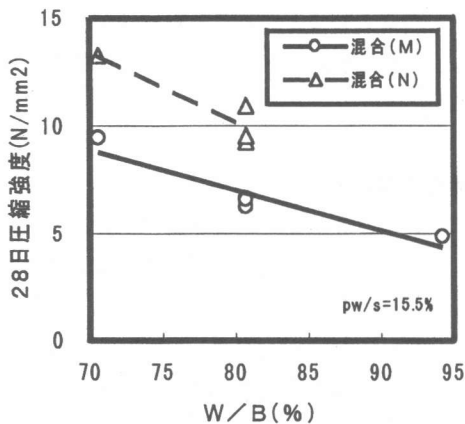


図-11 水結合材比と圧縮強度の関係

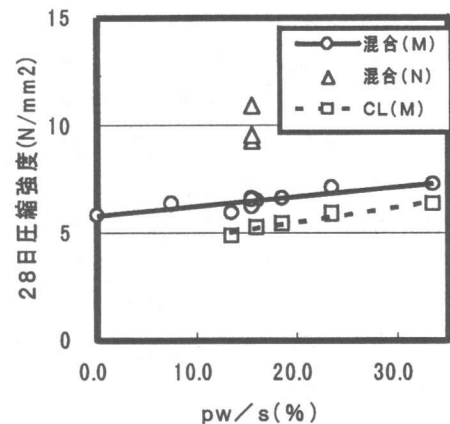


図-12 微粒分含有率と圧縮強度の関係

次に、施工性に着目して微粒分の効果を含めた配合の検討を行った結果を述べる。図-9に微粒分含有率とVC値の関係を示す。微粒分を全てカットした場合、VC値は大幅に増加している。細骨材中の微粒分含有率が増加するにつれてVC値は減少するが、ある値を境に再び増加に転じている。この傾向は、細骨材率とVC値の関係に類似しており、細骨材中の微粒分にも最適な含有率があるといえる。このことは、微粒分の調整によりワーカビリティの改善が図れ、単位水量の低減につながる可能性があると考えられる。

今回用いた試料では、微粒分含有率が15%程度でVC値が最小となっている。結合材もあわせた場合には20%程度と考えられ、この値は、

図-5で示した細骨材の実積率が最大となる含有率とほぼ一致していることが分かる。すなわち、細骨材の実積率が最大となる微粒分含有率をあらかじめ求めて微粒分量を調整することで、必要なワーカビリティが得られる最適な配合を得ることができると思われる。

また、図-10に示すように、今回の試験では単位結合材量を変化させてもVC値にはほとんど影響はなかった。これは、図-9の微粒分に結合材を含めた場合、ここでの単位結合材量20kgの増減は、pw/sで±2~3%の範囲にあり、VC値がほとんど変動しない範囲にあるためである。

このように、RCD用コンクリートの施工性は粗骨材、細骨材、粉体の量をコントロールす

ることによって最適な締固めが可能となる。

### (3) 圧縮強度と微粒分

次に、コンクリート強度に着目して微粒分の効果を含めた配合の検討を行った結果を述べる。

図-11に水結合材比と圧縮強度の関係を示す。一般のコンクリートと同様に水結合材比が大きくなるにつれて強度が低下している。

一方、前述のように細骨材中の微粒分の一部は粉体の一部として取り扱うことが適当と考えられており、細骨材中の微粒分含有率を調整することで効果が得られることが期待される。図-12に微粒分含有率と圧縮強度の関係を示す。骨材中の微粒分含有率が増加するにつれて、圧縮強度が増加しているのが分かる。微粒分含有率を増加させることで、細骨材の実積率が大きくなり、密実なコンクリートとなり強度の増加は期待される。しかしながら、図-5で示したように、微粒分含有率がある値に達すると実積率は小さくなり逆効果となる。今回の試料では約20%を超えると細骨材の実積率は小さくなっている。一方、図-12では微粒分含有率が20%を超えても強度は増加している。このことは、明らかに微粒分の一部が微粉末効果として強度改善していると考ええる。

しかし、微粒分含有率を大幅に増加させることは図-9で示したように、施工性の確保の妨げとなることから適量を把握して適切な配合調整が重要である。今回の試料では、細骨材の実積率から考えると20%程度である。

## 4. まとめ

今回の検討結果をまとめると、以下のことが分かった。

(1)  $G_{max40mm}$ 骨材を用いた、RCD用コンクリートの単位水量は $G_{max80mm}$ や $150mm$ のものに比して2割程度増加する。

(2) 最適細骨材率は細骨材および粗骨材の混合骨材の最大実積率となる細骨材率とほぼ等しい。

(3) 微粒分含有率を調整することで、ワーカビリティの改善が図れ、理想的な含有率は細骨材の実積率がほぼ最大となる時である。

(4) 微粒分含有率を調整することで強度改善が図れる。

今回の検討は、限られた試料で行っておりあくまでも一例にすぎないが、粗骨材および細骨材の混合骨材の実積率と細骨材率の関係(図-4)、細骨材の微粒分含有率と実積率の関係(図-5)、微粒分含有率とVC値の関係(図-9)、微粒分含有率と圧縮強度の関係(図-12)は、 $G_{max80mm}$ や $150mm$ のものも含めたRCD用コンクリートの配合設計を行う上での、指標の一つとなりうる可能性があり、今後も引き続き検討を行っていく必要があると考ええる。

### 【参考文献】

- [I] 日本コンクリート工学協会：フレッシュコンクリートの力学モデル研究委員会報告書，pp. 23, 1996. 4
- [II] 村田二郎・岩崎訓明・児玉和巳：コンクリートの科学と技術，山海堂，pp. 78~94, 1996