

# 微粒粉混入率がRCD用コンクリート・有スランプダム用コンクリートの諸特性に及ぼす影響

白村 暁<sup>1</sup>・鈴木徳行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 愛知県岡崎土木事務所主査(〒444-0860 岡崎市明大寺本町1丁目4)

<sup>2</sup>フェロー会員 工博 名城大学大学院理工学研究科教授(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

本研究は、RCD用コンクリートに3種類の石炭灰の混入率を変化させた場合の特性と、有スランプダム用コンクリートに3種類の石炭灰・フィラーの混入率を変化させた場合の特性とについて明らかにするために行った。その結果、RCD用コンクリートは、適正な混入率の場合にV C値が減少し、圧縮強度が増加し、3種類の石炭灰の混入によるそれぞれの強度が大差ないこと等が明らかとなった。また、有スランプダム用コンクリートは、混入率を増加すると圧縮強度が増加するが、スランプは小さくなることが明らかになった。

*Key Words: RCD concrete, dam construction, fine powder*

## 1. はじめに

ダムコンクリートは、一般に中庸熱ポルトランドセメントにフライアッシュをある程度置換している例が多い。その理由としては、①単位水量の低減 ②水和熱の低減、③長期強度の増進によるワーカビリティの改善などの特性が上げられる<sup>1), 2)</sup>。特にRCD用コンクリートは、単位ペースト量の少ない超硬練り貧配合コンクリートであるため、コンクリートに微粒粉を混入することにより、ワーカビリティの改善効果が高い<sup>3), 4)</sup>ことが知られている。

一方、地球環境保全、資源リサイクルの観点から1991年に「再生資源の利用の促進に関する法律」が制定されたこともあり、石炭火力発電所から発生する石炭灰も、その有効利用の促進をはかるための技術開発や規格・基準の見直し、供給体制の整備など様々な対策が進められている。また、ダムコンクリートの骨材製造は、必要とする粒径になるように破碎し、これを十分に洗浄している。このため、骨材の洗浄水に混入した微粒粉の処理には費用も多く必要で、環境に対する問題も多い。そこで、骨材を乾式で洗浄を行わずに製造すれば、骨材の洗浄と洗浄水処理も必要がなくなる。また、骨材製造時に発生する微粒粉も利用可能であれば廃棄処理の必要<sup>5)~7)</sup>もなくなる。

そこで、本研究ではこのような微粒粉を混入したダムコンクリートの効果と有効利用の観点から、(1)RCD用

コンクリートに石炭灰を混入した場合、(2)有スランプダム用コンクリートに石炭灰・フィラーを混入した場合の基礎的特性について検討を行った。

## 2. 使用材料および配合

結合材は、中庸熱ポルトランドセメントとフライアッシュで、密度は2.82 g/cm<sup>3</sup>である。細骨材、粗骨材は岐阜県山岡町産の花崗岩で、密度はそれぞれ2.51, 2.63 g/cm<sup>3</sup>である。また、実験に使用した微粒粉は、結合材として石炭灰の細粉・粗粉・原粉(石炭の燃焼によって発生した石炭灰を一般に原粉(フライアッシュⅢ種)と呼び、その原粉をふるい細かいものを細粉(フライアッシュⅡ種)、残ったものを粗粉(フライアッシュⅣ種)と呼ぶ)、細骨材としてフィラー(碎石製造の際に洗浄水に含まれる微粒粉を集めて凝縮し、乾燥させたもの)である。

### (1)石炭灰の混入率を変化させた場合の配合

RCD用コンクリートの場合では、表-1に示したように単位水量を一定( $W=110 \text{ kg/m}^3$ )にして、結合材(C+F)量を80, 110 kg/m<sup>3</sup>とし、石炭灰の細粉・粗粉・原粉を0, 50, 100, 170 kg/m<sup>3</sup>に変化させて混入した。

有スランプダム用コンクリートの場合では、表-2に示したように結合材(C+F)量を180 kg/m<sup>3</sup>とし、配合の段階でスランプが4.0 cmとなるように単位水量を調整して細粉・粗粉・原粉を0, 50, 100, 170 kg/m<sup>3</sup>に変化させて

表-1 RCD用コンクリートに石炭灰を混入した場合の示方配合

粗骨材の 最大寸法 Gmax (mm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/(C+F) (%)	フライアッ シュ比 F/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
					水 W	結合材 C+F	セメント C	フライアッシュ F	石炭灰 V	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤 Ad
80	1.5±1	125	30	32	110	80	56	24	0	689	1531	0.3
80	1.5±1	125	30	32	110	80	56	24	50	668	1489	0.3
80	1.5±1	125	30	32	110	80	56	24	100	649	1447	0.3
80	1.5±1	125	30	32	110	80	56	24	170	623	1388	0.3
80	1.5±1	125	30	32	110	110	77	33	0	678	1511	0.3
80	1.5±1	125	30	32	110	110	77	33	50	659	1469	0.3
80	1.5±1	125	30	32	110	110	77	33	100	640	1427	0.3
80	1.5±1	125	30	32	110	110	77	33	170	614	1368	0.3

表-2 有スランプダム用コンクリートに石炭灰を混入した場合の示方配合

粗骨材の 最大寸法 Gmax (mm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/(C+F) (%)	フライアッ シュ比 F/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
					水 W	結合材 C+F	セメント C	フライアッシュ F	石炭灰 V	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤 Ad
80	3.5±1	77.8	30	34	140	180	126	54	0	664	1351	0.3
80	3.5±1	77.8	30	34	140	180	126	54	50	644	1311	0.3
80	3.5±1	77.8	30	34	140	180	126	54	100	624	1270	0.3
80	3.5±1	77.8	30	34	140	180	126	54	170	596	1213	0.3

表-3 有スランプダム用コンクリートにフィラーを混入した場合の示方配合

粗骨材の 最大寸法 Gmax (mm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/(C+F) (%)	フライアッ シュ比 F/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
					水 W	結合材 C+F	セメント C	フライアッシュ F	フィラー V	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤 Ad
80	1.5±1	70.6	30	34	127	180	126	54	0	687	1351	0.3
80	1.5±1	70.6	30	34	127	180	126	54	50	667	1313	0.3
80	1.5±1	70.6	30	34	127	180	126	54	100	648	1274	0.3
80	1.5±1	70.6	30	34	127	180	126	54	170	620	1219	0.3
80	1.5±1	70.6	30	34	127	180	126	54	270	580	1140	0.3

混入した。

(2) フィラーの混入量を変化させた場合の配合

有スランプダム用コンクリートにフィラーを混入した表-3の場合では、配合の段階でスランプが2.0, 4.0, 6.0 cmとなるように単位水量を調整して、フィラーを0, 50, 100, 170, 270 kg/m<sup>3</sup>に変化させて混入した。表-3は、スランプが2.0 cmの場合の配合で、スランプが4.0, 6.0 cmの場合は、単位水量Wをそれぞれ137, 147kg/m<sup>3</sup>とした。

3. 実験方法

それぞれの配合において、コンクリートを5分間練り混ぜた後、40 mmふるいでウェットスクリーニングを行った。次に、VC値(有スランプダム用コンクリートはスランプ)を測定した後、直径15 cm、高さ30 cmの型枠に3分の1ずつ3層に分けて入れ、各層25回ずつ突いて(RCD用コンクリートはさらにVC試験機に5 kg

の重錘を載せて各層20秒間)締固めを行った。そして、上面をセメントペーストで水平に均し、24時間放置した後、型枠を外して水中養生28日と91日で供試体を作製して表面観察、密度、圧縮強度を測定した。

4. 実験結果及び考察

セメント、石炭灰の細粉・粗粉・原粉の粒度分布は図-1に示したとおりである。石炭灰の細粉・粗粉・原粉の粒径分布は、この図からでは明確ではないが、大差がなく、ブレン値で見ると、細粉は3660 cm<sup>2</sup>/g、粗粉は3250 cm<sup>2</sup>/g、原粉は3420 cm<sup>2</sup>/gである。

(1) 石炭灰(細粉・粗粉・原粉)の混入量を変化させた場合

RCD用コンクリートの場合ではVC値、圧縮強度、密度の関係について実験を行った。結果を図-2~5に示した。図-2は石炭灰混入量とVC値の関係であるが、いずれの石炭灰でも混入量が50kg/m<sup>3</sup>程度まではVC値が

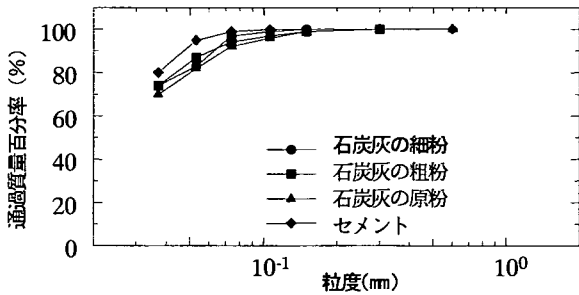


図-1 粒度分布

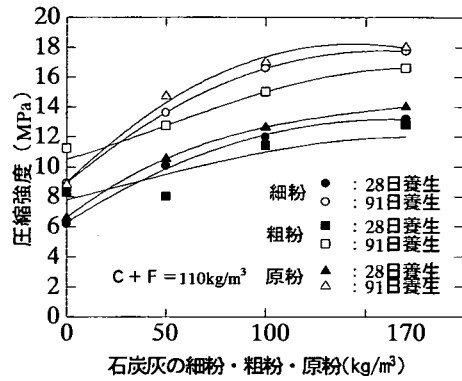


図-3 石炭灰混入量と圧縮強度

(-28日・91日養生- RCD用コンクリート)

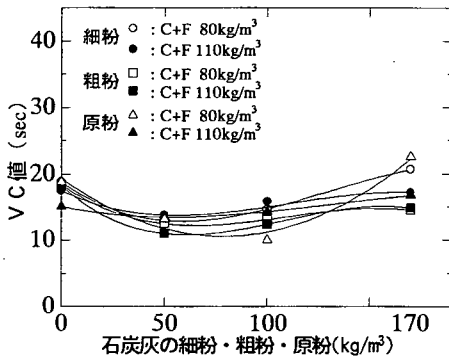


図-2 石炭灰混入量とVC値

(-28日養生- RCD用コンクリート)

減少し、締固めやすくなっているが、混入量が100, 170 kg/m<sup>3</sup>と増加するにつれてVC値が増大している。これらは、いずれも石炭灰の混入により単位水量が減少し、また、振動締固めによって密になりワーカビリティを改善してVC値が減少し、石炭灰を増加するに従い微粒粉の表面積が大きくなり、粒子表面に保持される水量、ペーストの流動化に関する水量が不足して、VC値が増大したものと思われる。また、全体的に見ると、細粉・粗粉・原粉による大きな傾向は明らかでない。

石炭灰混入量と圧縮強度の関係については図-3に示すように、石炭灰の各々について見てみると原粉、細粉、粗粉の順に圧縮強度が大きくなった。しかし、全体的に見るとあまり大きな差が見られないが、わずかに粗粉が小さな値を示している。また、石炭灰混入量が50, 100 kg/m<sup>3</sup>と増すごとに強度上昇勾配が比較的急であり、混入量が170 kg/m<sup>3</sup>までは緩やかな上昇勾配となっている。この結果から、石炭灰混入量は170 kg/m<sup>3</sup>程度まで混入しても問題がないものと考えられる。なお、RCD用コンクリートの必要強度は、ダム高さによるが材齢91日強度で10~20 MPa程度である。

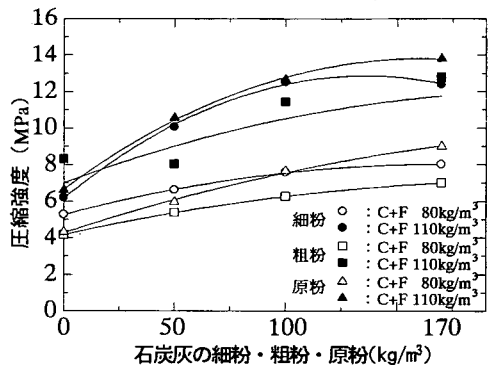


図-4 石炭灰混入量と圧縮強度

(-28日養生- RCD用コンクリート)

図-4は結合材量(C+F=80, 110 kg/m<sup>3</sup>)を変えた場合の石炭灰混入量と圧縮強度の関係である。全体的に見ると、結合材量が多い場合の方が圧縮強度は大きくなり、石炭灰混入量170 kg/m<sup>3</sup>まで圧縮強度が増加している。

図-5は石炭灰混入量と密度の関係である。実験によるバラツキが大きく、細粉・粗粉の結合材を80 kg/m<sup>3</sup>使用したケースでは異なっているが、他のケースから石炭灰50 kg/m<sup>3</sup>混入までは密度が増加し、100 kg/m<sup>3</sup>では低下している。この原因は、微粒粉が多すぎて単位水量が少なく粒子表面に保持される水量、ペーストの流動化に関する水量が不足して、十分に締固まらないために空隙が多くなったためと考えられる。

有スランプダム用コンクリートの場合ではスランプ、圧縮強度、密度の関係について実験を行った。結果を図-6~9に示した。図-6は石炭灰混入量とスランプの関係であるが、いずれの石炭灰についても、混入量が50, 100, 170 kg/m<sup>3</sup>と増すごとにスランプが小さくなっている。これは、石炭灰の混入量が増加することによって粒子の表面積が増加し、粒子表面に保持される水量が不足してワーカビリティが悪くなり、スランプが小さくなったも

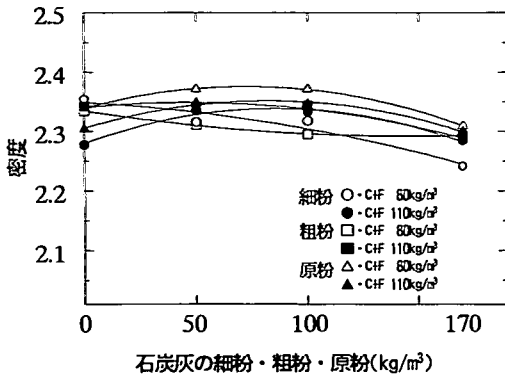


図-5 石炭灰混入量と密度  
(-28日養生- RCD用コンクリート)

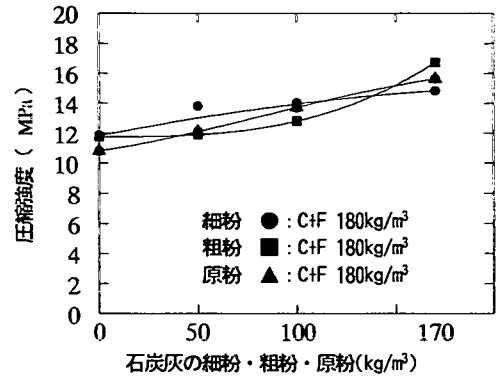


図-7 石炭灰混入量と圧縮強度  
(-28日養生- 有スランプ用コンクリート)

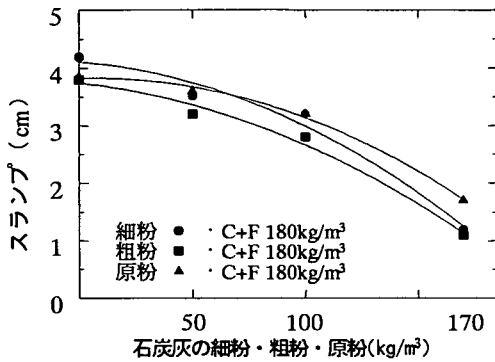


図-6 石炭灰混入量とスランプ  
(-28日養生- 有スランプダム用コンクリート)

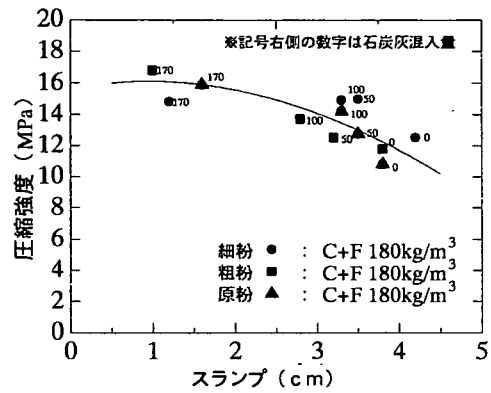


図-8 スランプと圧縮強度  
(-28日養生- 有スランプダム用コンクリート)

のと思われる。

図-7は石炭灰混入量と圧縮強度の関係である。圧縮強度はいずれも石炭灰混入量 170 kg/m³まで増加しているが、これもRCD用コンクリートと同様に石炭灰の各々にあまり顕著な差は見られなかった。

スランプと圧縮強度の関係については図-8に示したように、石炭灰混入量とスランプの変化による関係では、石炭灰の種類に関係なく一つの曲線上に分布している。

また、スランプが低下すると圧縮強度が増加する傾向にある。この理由は、石炭灰による効果と、石炭灰の粒子表面積が増加して粒子表面に保持される水量が増加するため、単位水量を減少したと同様の効果によるものと考えられる。ダム施工上からスランプを3 cmまでと考えると、この配合の場合には石炭灰混入量は 100 kg/m³程度までと考えられる。

石炭灰と密度の関係は、図-9に示したように、石炭灰混入量が増加するに従って密度は多少低下する傾向を示しているが、石炭灰混入による顕著な差は見られなかった。また、RCD用コンクリートの場合と比較してみる

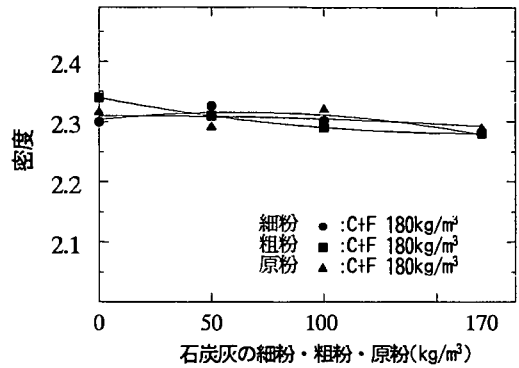


図-9 石炭灰混入量と密度  
(-28日養生- 有スランプダム用コンクリート)

と、有スランプダム用コンクリートの方が、密度の変動が小さくほぼ一直線上に現れている。この原因として、有スランプダム用コンクリートはRCD用コンクリートに比べて水分が多いため、石炭灰混入量を増加しても粒子表面に保持される水量があり、十分に混合され、密になっていることによるものと考えられる。

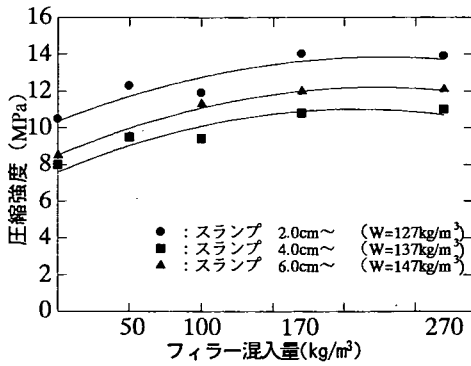


図-10 フィラー混入量と圧縮強度

(-28日養生- 有スランプダム用コンクリート)

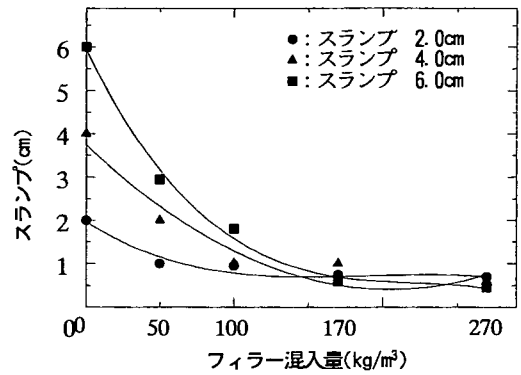


図-12 フィラー混入量と密度

(-28日養生- 有スランプダム用コンクリート)

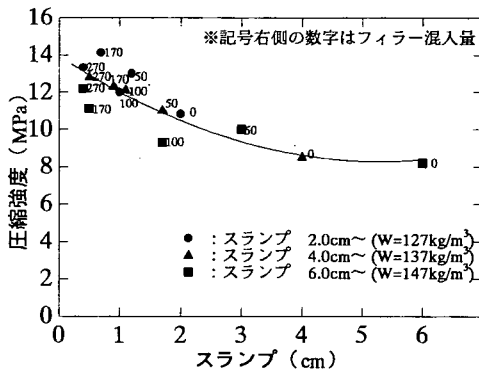


図-11 スランプと圧縮強度

(-28日養生- 有スランプダム用コンクリート)

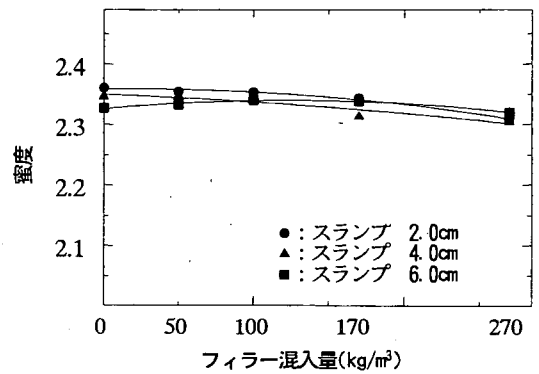


図-13 フィラー混入量と密度

(-28日養生- 有スランプダム用コンクリート)

## (2) フィラーの混入量を変化させた場合

フィラーは、廃棄処理問題や環境問題もあり、また粒径も 0.075 mm 以下であるので、微粉粉として利用できないか検討を行った。また、骨材にフィラーを混入して混合することで、洗浄しない骨材に近づけた場合についても検討を行った。スランプ 2.0, 4.0, 6.0 cm の有スランプダム用コンクリートに、フィラー混入量を変化させて混合した場合の圧縮強度は図-10 となる。この図から圧縮強度は、スランプが小さい場合(単位水量が少ない場合)の方が大きくなっている。また、フィラー混入量 170 kg/m³ 程度までは圧縮強度は増加し、フィラー混入量 270 kg/m³ では 170 kg/m³ と同程度で圧縮強度が増加していない。フィラー混入による圧縮強度の増加原因は、山崎<sup>8)</sup>、<sup>9)</sup>が明らかにした微粉末効果と、粒子表面に水分が保持され単位水量を減少したと同様の効果によるものと考えられる。

スランプと圧縮強度の関係については図-11 に示すように、フィラー混入量とスランプの変化による点は一つの曲線上に分布する。ここで、圧縮強度はフィラー混入

量よりスランプによる影響の方が大きいと考えられ、スランプが低下すると圧縮強度が増加する傾向にある。

フィラー混入量とスランプの関係は図-12 に示したように、混入量を増すごとにスランプが小さくなっている。また、スランプの大きい場合の配合ほどスランプの低下量が大きくなっているが、フィラーを 170 kg/m³ 以上混入したものでは、配合時のスランプの大小に関わらずほとんど同程度のスランプとなっている。この原因は、粒子表面に保持される水量不足によるスランプの低下量を、フィラー混入量の増加によりワーカビリティが改善したことによるものと考えられる。

フィラー混入量と密度の関係は図-13 に示したように、混入量 270 kg/m³ で密度は多少小さくなる傾向も見られるが、ほぼ一直線上に現れている。

## 5. 結論

微粉粉混入によるコンクリートの VC 値、スランプ、圧縮強度、密度などの変化について検討し、次のよう

な結論が得られた。

- (1) RCD用コンクリートに適量の石炭灰を混入すると、ワーカビリティを改善し、また振動締固め、流動化などによりVC値が減少し締固めやすくなることが明らかになった。
- (2) RCD用コンクリートに石炭灰を適量混入した場合には、RCD用コンクリートのワーカビリティを改善し、結合材として水和反応を促進し、また、振動締固めにより流動化を助長し、締固めが十分に行われて、単位体積重量も増加することなどによって、RCD用コンクリートの圧縮強度が増加することが明らかになった。
- (3) 一般的には、石炭灰の細粉をフライアッシュとして利用しているが、利用していない粗粉や原粉でもVC値、スランプ、圧縮強度、密度ともに大差ない値を示した。この結果、RCD用コンクリートにおける石炭灰の細粉・粗粉・原粉の使用は、有効であると考えられる。
- (4) フィラーを有スランプダム用コンクリートに混入した場合でも、ある程度の混入量であれば圧縮強度は増加する。また、フィラーを混入してもスランプが同じであれば、圧縮強度も同程度であり、フィラー混入による強度の低下は起こらないことが明らかになった。この結果により、フィラーを混入しても良好な特性を示しているので、洗浄しない碎石の利用も可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 白村 暁, 鈴木徳行: 微粒粉混入によるRCD用

コンクリートの強度増強の要因に関する研究, 土木学会論文集, No.634/V-45, pp.1-10, 1999.11.

- 2) 白村 暁, 鈴木徳行: 微粒分混入率がRCD用コンクリートの諸特性に及ぼす影響, 土木学会論文集, No.484/V-22, pp.77-86, 1994.2.
- 3) 白村 暁, 鈴木徳行: RCC工法に関する考察, ダム工学論文集, No.14, pp.68-80, 1994.6.
- 4) 鈴木徳行, 白村 暁: コンクリートダムの合理化施工と世界の動向, 月刊ダム日本, No.575, pp.57-71, 1992.9.
- 5) 松本孝一, 白村 暁, 鈴木徳行, 飯坂武男: 微粒珪砂の粒径によるRCD用コンクリートの特性について, 土木学会第50回年次学術講演会概要集, pp.634-644, 1995.9.
- 6) Suzuki, N., Iisaka, T., Umehara, H. and Shiramura, S.: Research on Methods to Improve Durability of RCD Concrete, FOURTH CANMET/ACI, INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF CONCRETE, pp.1467-1486, 1997.8.
- 7) 鈴木徳行, 白村 暁: 微粒分混入率がRCD用コンクリートの諸特性に及ぼす影響, 土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp.77-86, 1993.
- 8) 山崎寛司: 鉱物質微粒粉末がコンクリートのワーカビリティにおよぼす効果に関する基礎研究, 土木学会論文集, 第84号, pp.96-120, 1962.
- 9) 山崎寛司: 鉱物質微粒粉末がコンクリートの強度におよぼす効果に関する基礎研究, 土木学会論文集, 第85号, pp.15-46, 1962.

(2001. 7. 10 受付)

## THE COMPARISON OF RCD CONCRETE AND SLUMP DAM CONCRETE: THE EFFECTS OF THE RATIO OF FINE POWDERS

Satoru SHIRAMURA and Noriyuki SUZUKI

In this paper, our purpose is to make it clear as follows: the characteristics of RCD concrete in the case of varying the mixing ratio of each kind of three coal powders; the characteristics of Slump Dam Concrete in the case of the mixing ratio of each kind of three coal powders and filler.

We found some interesting results as follows: in RCD concrete, the VC value became lower, the compressive strength became higher at the most efficient mixing ratios in the case of any three coal powders; in Slump Dam Concrete, the compressive strength became higher, whereas slump decreases in the case of increasing the mixing ratio of each kind of three coal powders and filler.