

# 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

白村 暁\*・鈴木徳行\*\*

本研究は、RCD用コンクリートに石灰石粉、珪石粉、堆砂粉などの混入率を変化した場合に、VC値、圧縮強度、密度などが如何なる特性を示すか明らかにするために行った。その結果、それぞれの石粉により異なるが、最適混入率の場合にVC値は適切で、強度、密度が増大することが明らかとなった。

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

## 1. はじめに

近年、日本で開発されたRCD (Roller Compacted Dam-Concrete) 工法は、わが国の重力式コンクリートダム施工の主流となっている。すでに日本でRCD工法によって建設されたダムは15箇所、建設中のダムも16箇所と多く、今後、益々、普及するものと考えられる。また、アメリカなど世界の多数の諸国で施工されたRCC (Roller Compacted Concrete) ダムは92箇所と多くなっている。施工の多い国はアメリカ、中国、オーストラリア、スペイン、南アフリカ、フランス、モロッコ、アルゼンチンなどである<sup>1), 2), 4)~6)</sup>。

RCC工法によって、初期にアメリカで施工されたWillo Creek ダム、Galesville ダムなどは、結合材料(セメント+フライアッシュ)の少ないものであった。このため堤体から漏水があり、強度も小さいものであった。このような欠点を補うため、最近、施工されるダムは結合材料が多いダムが増加している<sup>3), 7), 8)</sup>。

これに対してRCD工法では結合材料が120~130 kg/m<sup>3</sup>で、この内フライアッシュは結合材料の20~30%である。RCD用コンクリートは温度上昇を少なくする必要上から結合材料を少なくしているため、骨材分離が生じないように注意深い施工が必要である。特に砕砂の形状の悪い場合には骨材分離が生じ易く、施工性の悪いコンクリートになり易い<sup>1), 2)</sup>。

一方、RCD用コンクリートは従来のコンクリートと異なり、細骨材の0.15 mm以下の微粒分がある程度の量が含有されているほうが施工し易く、骨材の分離も少ないことが明らかになっている。このようなことから、一部のダムでは石粉を混入しているダムもある。また、

石粉を混入したRCD用コンクリートの試験も一部で行われている<sup>9)~11)</sup>。

このようなことから、本研究では、珪石粉、石灰石粉、堆砂粉などの材料を混入することにより、RCD用コンクリートの強度の向上と施工性を良好にする目的で実施したものである。実験方法は基本となるセメント量を変化し、それぞれについて珪石粉、石灰石粉、堆砂粉の混入率を変化した場合、VC値、強度、密度などの変化からRCD用コンクリートの特性を明らかにした。また、材齢により如何なる変化をするかについても明らかにした。

この他、RCD用コンクリートのフライアッシュを珪石粉、堆砂粉と置換え率を変化し、VC値、圧縮強度、密度などの変化から、これらの特性も明らかにした。

一方、実験を行うに当り、コンクリートの練混ぜ時間、テストピースの締固め時間については明確になっていない。そこで、コンクリートの練混ぜ時間と強度、テストピースの締固め時間と強度の関係について実験を行い、適切なコンクリート練混ぜ時間、テストピース締固め時間を決定し、これを基に一連の実験を行った。

## 2. 微粒分の必要性

RCD工法では、RCD用コンクリートの配合特性を $\alpha$ 、 $\beta$ 値で示している。 $\alpha$ の値はペースト容積と細骨材の空隙容積との比を示すもので、 $\beta$ の値はモルタルの容積と粗骨材の空隙容積との比を示すものである。ただし、ペースト、モルタルの容積に空気容積を含めないものとしている。したがって $\alpha$ の値が1より大きい場合には、細骨材の空隙を満たす量よりも余分のペーストであることを示している。同様に $\beta$ の値が1より大きい分だけ余分のモルタルが用いられていることを示すものである。この余分のペースト、または、モルタルは全骨材の表面を覆うためにある程度の量が必要である。この余分

\*正会員 工修 愛知県河川工事事務所  
(〒459 名古屋市西区稲生町杖先 2200-29)

\*\*正会員 工博 名城大学教授 理工学部土木工学科

表一 RCD 用コンクリートとダム用コンクリートの配合特性

種別	ダム名	最大寸法	VC 値	フライアッシュ比	細骨材率	単位水量	セメント	$\alpha$	$\beta$
		Gmax mm	sec	F/(F+C) %					
R	Aダム	80	15	20	32	102	120	1.18	1.30
	Bダム	80	20	20	33	103	120	1.17	1.32
C	Cダム	80	20	20	31	100	120	1.08	1.22
	Dダム	80	40	20	32	92	120	1.20	1.43
D	Eダム	80	20	20	30	103	120	1.11	1.26
	Fダム	80	20	20	30	105	120	1.05	1.22
ダ	Gダム	80	15	30	34	105	130	1.23	1.52
	Hダム	80	20	30	32	100	130	1.14	1.58
ム	Iダム	150	20	30	29	95	130	1.08	1.21
従ダ	Jダム	150	—	0	25	115	170	1.27	1.27
来ム	Kダム	150	—	0	27	110	180	1.24	1.32

の量が少ない場合には骨材分離が生じ、施工の困難なコンクリートになっている<sup>11),21,9)</sup>。

表一は RCD 用コンクリートと従来のダム用コンクリートの配合特性を示したものであり、 $\alpha$ 、 $\beta$  は次式により求めたものである。

$$\alpha = \frac{\text{コンクリート } 1\text{m}^3 \text{ 中のペースト容積}}{\text{コンクリート } 1\text{m}^3 \text{ に用いる細骨材の空隙容積}}$$

$$= \frac{W + C/\rho_c + F/\rho_f}{(1000/W_{so} - 1/\rho_s) \cdot S}$$

$$\beta = \frac{\text{コンクリート } 1\text{m}^3 \text{ 中のモルタル容積}}{\text{コンクリート } 1\text{m}^3 \text{ に用いる粗骨材の空隙容積}}$$

$$= \frac{W + C/\rho_c + F/\rho_f + S/\rho_s}{(1000/W_{go} - 1/\rho_c) \cdot G}$$

ここに、 $\rho_c$ 、 $\rho_f$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_c$ ：セメント，フライアッシュ，細骨材，粗骨材の比重

$W_{so}$ ：振動台で締固めた細骨材の単位容積重量

$W_{go}$ ：振動台で締固めた粗骨材の単位容積重量

$W$ 、 $C$ 、 $F$ 、 $S$ 、 $G$ ：各材料の単位容積重量

表一から、RCD 用コンクリートの  $\alpha$  値は、従来のダム用コンクリートの  $\alpha$  値より小さな値となっている。これは、結合材料を少なくしているためで、 $\alpha$  値の小さい場合には注意深く薄層敷均しを行わないと骨材の分離が生じ、施工性の悪いコンクリートとなっている。D ダムは河床骨材を使用しているので、結合材料が 120 kg/m<sup>3</sup> にもかかわらず、他のダムより  $\alpha$  値が大きく、施工が容易なコンクリートであった。また、G、H ダムは扁平な碎石の骨材のため、結合材料を多くして  $\alpha$  値をわずかに大きくしているが、施工性の悪いコンクリートであった。このように、 $\alpha$  値の小さいコンクリートは施工性の悪いコンクリートとなっている<sup>11),91,111,12)</sup>。そこで、発熱の生じないフライアッシュ、石灰石粉、珪石粉、堆砂粉などの微粒分を混入することにより、圧縮強度の増大と施工性を良好にすることが重要である。

表二 RCC, RCD 用コンクリートの結合材料

ダム名	国名	C	F	C+F	着享年
Willow Creek	USA	47	19	66	1982
Monksville	USA	62	0	62	1986
Upper Stillwater	USA	77	170	247	1987
Los Morales	Spain	81	140	221	1987
Knellpoort	S.Africa	61	142	203	1988
Stagecoach	USA	71	77	148	1988
岩灘	China	55	95	150	1989
水口	China	65	95	160	1990
島地川	Japan	84	36	120	1980
玉川	Japan	91	39	130	1987

一方、RCC 工法では、初期に施工したダムは結合材料が非常に少ないため、強度が小さく漏水もあり施工性の悪いコンクリートであった。その後、この対策として多くの施工経験を基に、フライアッシュを多量に混入し、改善を図るダムが増加している。これらの変化を表している代表的なダムについて示すと表二となる。

初期の RCC 用コンクリートの結合材料は、表二に示すように 62~66 kg/m<sup>3</sup> と非常に小さく品質が良好でなかった。このようなことから、その後の施工では結合材料を増加し、148~247 kg/m<sup>3</sup> も使用するダムもあり、最近のダムはこのようにハイペーストの RCC ダムが多くなってきている。このような状況について、1989 年までに施工されたダムを図一に示した。1991 年に施工された RCC ダムは 17 箇所であるが、このうち、ハイペーストのダムは 11 箇所である。また、1992 年までに施工された RCC ダムは 92 箇所であるが、ハイペーストのダムは、このうち 55% と急激に増加している。この原因は、ハイペーストのため骨材分離が少なく、強度が大きく、水密性の良好なコンクリートとなり、品質が非常に向上したためである。また、強度の必要な高いダ

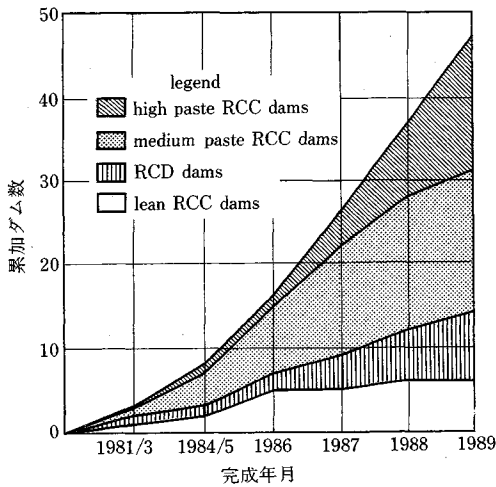


図-1 各タイプの累加ダム数



写真-1 石灰石粉, 珪石粉, 堆砂粉

表-4 骨材の物理的性質

	比重	粗粒率
細骨材	2.62	2.87
粗骨材	2.60	8.00

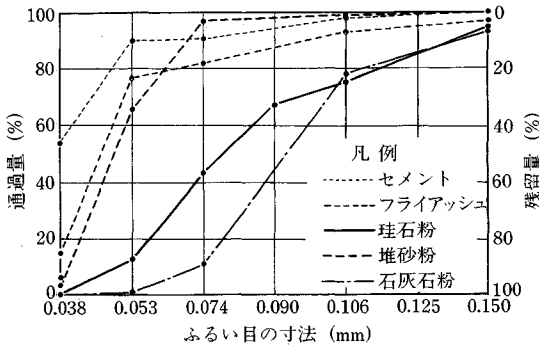


図-2 石灰石粉, 珪石粉, 堆砂粉の粒度分布

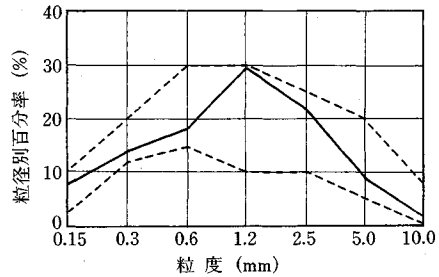


図-3 細骨材粒度 粒度 (mm)

表-3 微粒分の物理的性質

種 類	比 重	0.074mmの通過量
セメント	3.22	92.0%
フライアッシュ	2.30	82.0%
珪石粉	2.65	43.0%
堆砂粉	2.71	97.0%
石灰石粉	2.82	12.0%

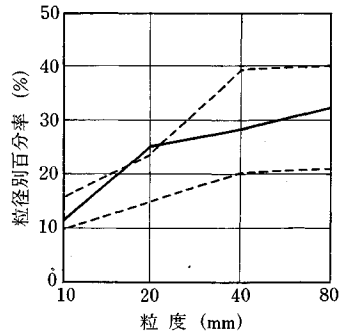


図-4 粗骨材粒度 粒度 (mm)

ムの建設が多くなってきていることにもよるものと考えられる<sup>(2), (7), (8)</sup>。

以上のようなことから, RCD用コンクリートでも微粒分の多いコンクリートの研究開発が必要である。

### 3. 実験概要

#### (1) 使用材料

使用材料は中庸熟セメント, フライアッシュと微粒分として石灰石粉, 珪石粉, 堆砂粉を使用した。混和剤はポゾリス No.8 を使用した。骨材は花崗岩の砕砂, 砕石

を用いた。

セメント, フライアッシュ, 石灰石粉, 珪石粉, 堆砂粉の粒度分布は図-2のようで, 堆砂粉は, フライアッシュに近い粒度であり, 石灰石粉, 珪石粉はある程度大きい粒度である。

これらの物理的性質は表-3に示すとおりである。

また, セメント, 石灰石粉, 珪石粉, 堆砂粉は写真-1のようであり, 外観からは同様の粒度に見える。

堆砂粉は美和ダム(中部地方建設局)の堆砂であって

表-5 VC試験機の性能

名称	性能
変速	無段変速 700~6,000 cpm
電源	3相 200V
出力	AC (60 °/s) 5HP
振動数	600~6,000 cpm
振幅	1.0mm, 0.8mm, 0.3mm
自記式	シンクロナスマータ式 回転数; 2 vpm, 電圧; AV200V
モールド寸法	内径; 24 cm, 48 cm 高さ; 20 cm, 40 cm
形状	60 cm×60 cm

表-6 RCD用コンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)		80	80
空気量 (%)		1.5	1.5
水セメント比 W/(C+F) (%)		87.5	87.5
フライアッシュ比 F/(C+F) (%)		3.0	3.0
細骨材率 S/a (%)		3.4	3.4
単位重量 (kg/m³)	水 W	105	105
	セメント C	84	84
	フライアッシュ F	3.6	1.2
	堆砂粉 SS	0	2.4
	粗骨材 G	1,468	1,468

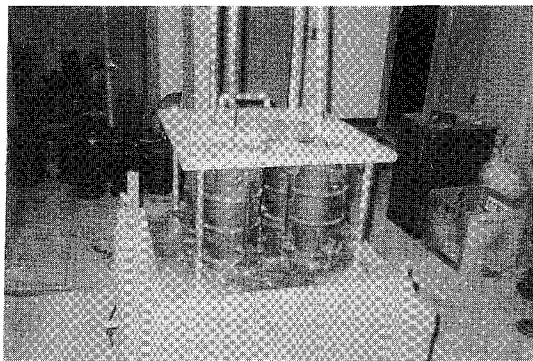


写真-2 VC試験機によるテストピースの作成

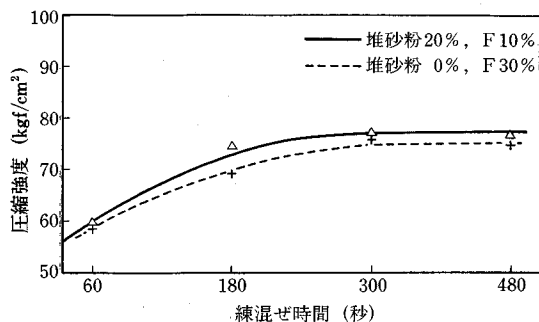


図-5 練混ぜ時間と圧縮強度の関係

約1000万m³の堆砂量の内、約80%が微粒分である。このように多量の堆砂粉がRCD用コンクリートの材料として利用が可能となれば非常に経済的である。

次に、砕砂、碎石の物理的性質は表-4のようであり、粒度分布は図-3、4のようである。この図から明らかなように、一部分が土木学会ダムコンクリート標準示方書による粗骨材の粒度の標準範囲外となっているが、全体的にはほぼ良好である。

(2) 使用機器

使用機器の主なものはVC (Vibrating Compaction) 試験機で、他の機器は一般的なコンクリート実験に用いるものである。実験に用いたVC試験機は、振幅1mm、振動数3000cpm、振動時間制御付である。

このVC試験機の性能を示すと表-5のようである。

(3) 実験方法

RCD用コンクリートの練混ぜは、可傾型動力ミキサにより練混ぜ時間は次に示す実験結果から4分間とした。

VC値の測定は測定用モールド寸法が内径24cm、高さ20cm、載荷重用おもり20kgを載荷した標準試験とした。RCD用コンクリートは40mmふるいでウェットスクリーニングして測定した。

圧縮強度試験のためのテストピースの作成は、VC試

験機の上に直径15cm、高さ30cmの円柱型枠にRCD用コンクリートをウェットスクリーニングし、3層に打込み各層の締固め時間は次に示す実験結果から全て20秒とし作成した。この作成状況を写真-2に示す。

4. 練混ぜ時間、締固め時間について

練混ぜ時間は、RCD用コンクリートの特徴に大きな影響を与える。しかし、練混ぜ時間に関する実験は行われていない。そこで、練混ぜ時間を変化し、これに対する圧縮強度の関係から適切な練混ぜ時間を決定することにした。

RCD用コンクリートの配合は表-6に示すように、フライアッシュをセメントの30%混入したケースと、このフライアッシュを10%、堆砂粉を20%混入したケースについて実験を行った。圧縮強度試験の材齢は28日とした。

以上の配合により練混ぜ時間を60秒、180秒、300秒、480秒としてテストピースを作成し、圧縮強度試験を行った。その結果を図示すると図-5のようになる。この図から、堆砂粉をフライアッシュと置換えを行ったケースと、行わないケースでは、ほぼ同様の傾向を示している。また、練混ぜ時間が240秒になると強度をほぼ出しきり、これ以上の練混ぜを行っても強度の伸びがないことが明らかとなった。そこで本実験ではRCD用コ

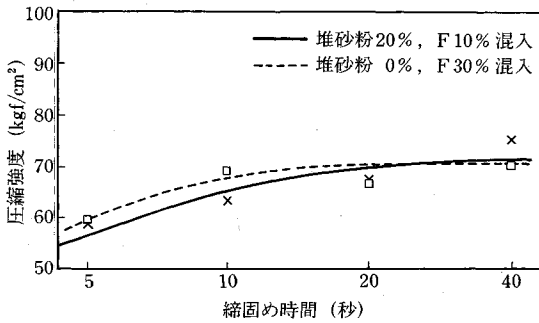


図-6 締固め時間と圧縮強度

表-7 珪石粉を混入した場合の配合

混入率 (珪石粉 / (細骨材+粗骨材)) (%)	0.0	3.5	7.3	11.4	15.8	
粗骨材の最大寸法 (mm)	80	80	80	80	80	
空気量 (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
水セメント比 W / (C+F) (%)	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7	
フライアッシュ比 F / (C+F) (%)	30	30	30	30	30	
細骨材率 S/a (%)	34	34	34	34	34	
単位重量 (kg/a³)	水	110	110	110	110	110
	フライアッシュ					
	セメント C+F	120	120	120	120	120
	細骨材 S	734	660	587	514	440
	粗骨材 G	1,457	1,457	1,457	1,457	1,457
珪石粉	0	75	150	225	300	

ンクリートの練混ぜ時間を 240 秒と決定し、この時間を基に実験を行った。

締固め時間についても練混ぜ時間と同様の表-6の配合とした。VC 試験機による締固めは、テストピースを VC 試験機に乗せ、テストピース内の RCD 用コンクリート上に 5 kg の載荷を行い、締固め時間を 5 秒、10 秒、20 秒、40 秒についてそれぞれ行った。その結果を図示すると図-6 のようになる。この図から、堆砂粉をフライアッシュに置き換えたケースと、置き換えないケースではほぼ同様の傾向を示している。また、締固め時間が 20 秒になると強度を出しきり、これ以上の締固めを行っても強度の伸びが少ないことが明らかとなった。そこで、本実験では圧縮試験用のテストピースの作成のための締固め時間を 20 秒と決定し、この時間を基に実験を行った。

### 5. 微粒分を混入した場合のコンシステンシーと圧縮強度、密度の関係についての考察

微粒分を混入した実験に先立ち、コンシステンシーを如何にすべきか明らかにしておく必要がある。そこで、単位水量を 105, 110, 120 kg/m³ の 3 ケースについて実験を行った。

石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の中で中間的な粒度分布である珪石粉について表-7 に示した配合で行った。なお単位水量 105, 120 kg/m³ については、わずかに細骨材量が変わる以外は同様である。

以上の結果、図-7 に示した混入率と VC 値の関係が

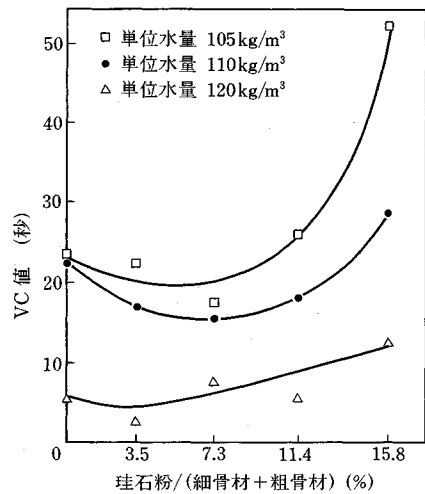


図-7 混入率と VC 値

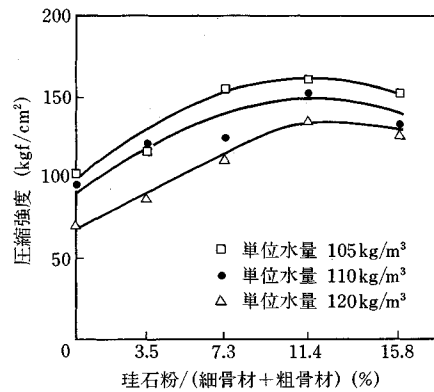


図-8 混入率と圧縮強度

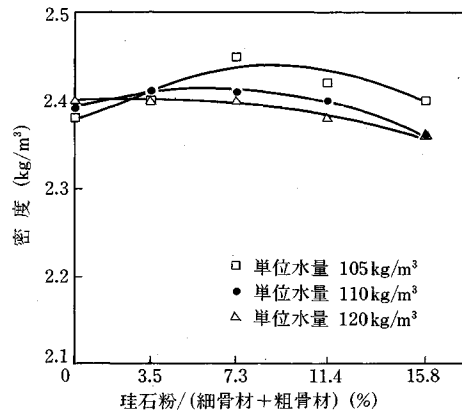


図-9 混入率と密度

ら、単位水量が 120 kg/m³ では VC 値が小さく、105 kg/m³ では珪石粉の混入率 15.8 になると VC 値が急激に大きくなっている。図-8 は混入率と圧縮強度 (材齢 28 日) の関係である。この図から明らかなように、単位水量が少ないほど圧縮強度が大きくなっている。

表—8 珪石粉（石灰石粉，堆砂粉）を混入した場合の配合

混入率〔石粉/(細骨材+粗骨材)〕 (%)		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0
粗骨材の最大寸法 (mm)		80	80	80	80	80
空気量 (%)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
水セメント比 W/(C+F) (%)		87.5	87.5	87.5	87.5	87.5
フライアッシュ比 F/(C+F) (%)		30	30	30	30	30
細骨材率 S/a (%)		32	32	32	32	32
単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )	水 W	105	105	105	105	105
	フライアッシュセメント C+F	120	120	120	120	120
	細骨材 S	703	686	670	655	640
	粗骨材 G	1,482	1,446	1,413	1,380	1,349
	珪石粉（石灰石粉，堆砂粉）	0	53	104	153	199
配合特性	$\alpha$	1.19	1.39	1.59	1.79	1.99
	$\beta$	1.39	1.48	1.56	1.65	1.73

また、珪石粉を11.4%混入した場合が、単位水量の3ケースとも最高の圧縮強度を示している。

次に、図—9は混入率と密度について示したものである。

この図から単位水量の変化による密度は、大きな差がないが、単位水量の少ない105 kg/m<sup>3</sup>のケースの場合に一部を除き大きな密度となっている。

以上の結果から考察すると、VC値からは、20秒程度が最適であるので、単位水量は105~110 kg/m<sup>3</sup>となり、強度からは、単位水量が105 kg/m<sup>3</sup>が良く、密度も単位水量105 kg/m<sup>3</sup>が大きくなっている。そこで、石粉を混入した実験の単位水量は105 kg/m<sup>3</sup>として実験を行うこととした。

## 6. 微粒分を変化させた場合（その1）の考察

### (1) 微粒分の混入率を変化させた場合の考察

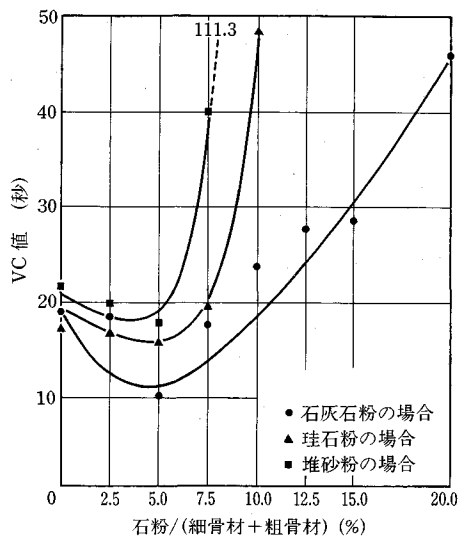
本実験は、石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の混入率を変化させ、これに対してVC値、圧縮強度、密度についての変化を検討したものである。また、フライアッシュを珪石粉、堆砂粉で置換えを行った場合のVC値、圧縮強度、密度の変化についても実験を行った。

次に、珪石粉（石灰石粉、堆砂粉）を混入した場合の配合について表—8に示した。混入率は、珪石粉/(細骨材+粗骨材)%で粗骨材はG<sub>80</sub>、G<sub>40</sub>、G<sub>20</sub>を514:440:514の比率に配分した。その他、混和剤としてポゾリスNo.8を0.3 kg/m<sup>3</sup>用いた。なお、圧縮強度試験の材齢は28日とした。

以上の配合で実験した結果について述べる。

#### a) VC値について

図—10は石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の変化とVC値の変化を示したものである。この図から明らかなように、



図—10 混入率とVC値

多少の変動はあるが一定の特性を示しており、この特性について述べる。①石灰石粉、珪石粉、堆砂粉のすべてについて5.0%までの混入率であれば、VC値が低下傾向を示している。これ以上の混入率になると、急激にVC値が増大している。②石粉混入率によるVC値の上昇は、堆砂粉、珪石粉、石灰石粉の順位となっている。③実際のダム施工ではVC値が20秒程度でないとは締固めが困難であるから、石粉の混入率が堆砂粉では5.0%以下、珪石粉では7.5%以下、石灰石粉では12.5%以下でないとは施工が困難となるので、この混入率以下にすべきである。

#### b) 圧縮強度について

図—11は石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の変化と圧縮強

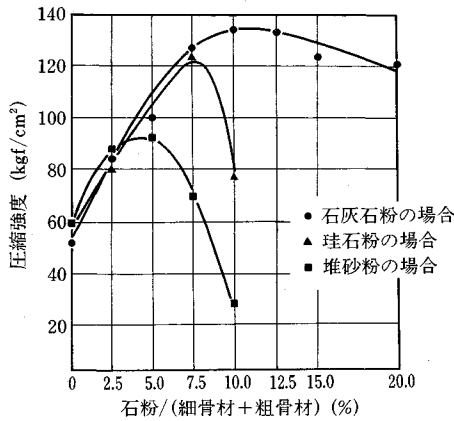


図-11 混入率と圧縮強度

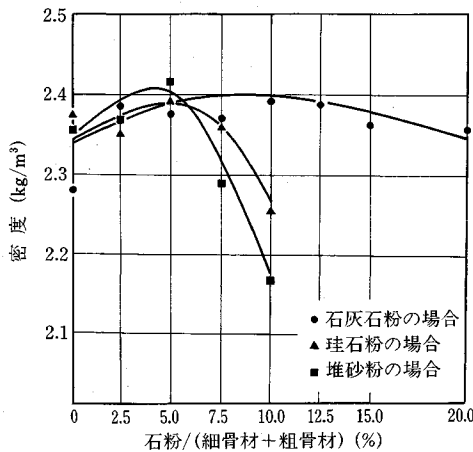


図-12 混入率と密度

度の変化を示したものである。この図から、次のような特性がある。①石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の混入により圧縮強度が増大している。堆砂粉は混入率5.0%、珪石粉は混入率7.5%、石灰石粉は混入率10%以上になると圧縮強度が低下している。②圧縮強度は堆砂粉が5.0%混入した場合に1.5倍、珪石粉が7.5%混入した場合に2.0倍、石灰石粉が10%混入した場合に2.2倍を示している。この強度の増加は予想以上に大きな値となったが、テストピース内のコンクリートのため横方向の移動がないことによるものと考えられる。堤体上での施工ではRCD用コンクリートが締固めにより横方向の移動があるため、本実験と同様の圧縮強度の増加はないと考えられる。しかし、石粉の混入により実際の施工でも相当に強度が増加するものと考えられる。

c) 密度について

図-12は石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の変化と密度の変化について示したものである。この密度についても石粉の変化により、圧縮強度とある程度同様の傾向がある。この図から次のような特性が見られる。①堆砂粉、珪石

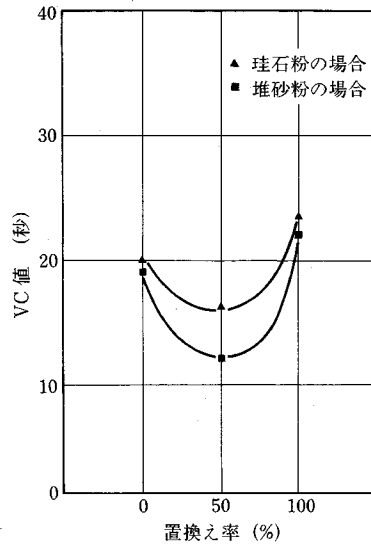


図-13 置換え率とVC値

粉、石灰石粉の混入率の増加により、それぞれの比重が増大し、堆砂粉、珪石粉は5.0%、石灰石粉は10%でピークを示し、これ以上の混入率の増加と共に密度は低下している。この原因は、石粉の増加と共に密になり空隙が減少し密度が増大するが、単位水量が一定であるので、石粉量が適量を越えると、急激にワーカビリティが悪くなり、締固めが十分に行われず空隙が多くなり、密度が小さくなるものと考えられる。②堆砂粉、珪石粉、石灰石粉の混入によるそれぞれのピーク値は2.4 kg/m³で同程度であり、圧縮強度の石粉の種類によるピーク値の変化より小さな値となっている。

(2) フライアッシュを石粉に置き換えた場合の考察

RCD用コンクリートは、一般にコンクリートの温度上昇を小さくする目的でセメント量を少なくして、フライアッシュを20~30%混入し、強度の向上、施工性の向上を図っている。このフライアッシュを珪石粉、堆砂粉で置換えを行った場合に如何なる特性を示すか実験を行った。その結果を示すと次のようである。

a) VC値について

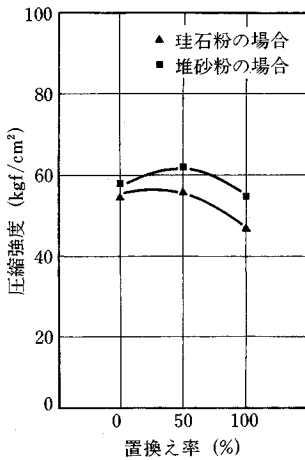
図-13はフライアッシュを珪石粉、堆砂粉に置き換えた比率とVC値の関係である。この図から、VC値は置換え率50%で低下し、100%で上昇している。このように置換え率が大きい場合にはVC値がわずかに大きくなるものと考えられる。

b) 圧縮強度について

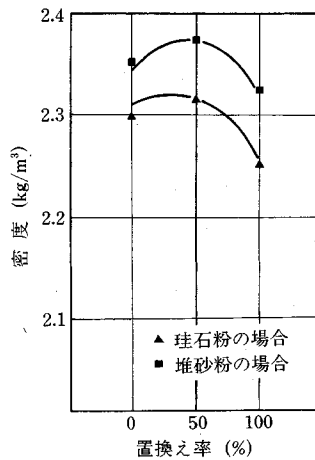
図-14はフライアッシュを珪石粉、堆砂粉に置き換えた比率と圧縮強度材齢28日の関係である。この図から、圧縮強度は置換え率50%では同程度であり、100%になるとわずかに低下している。このように石粉の置換え率が大きくなると圧縮強度も低下するものと考えられ

表—9 堆砂粉（石灰石粉，珪石粉）を混入した場合の配合

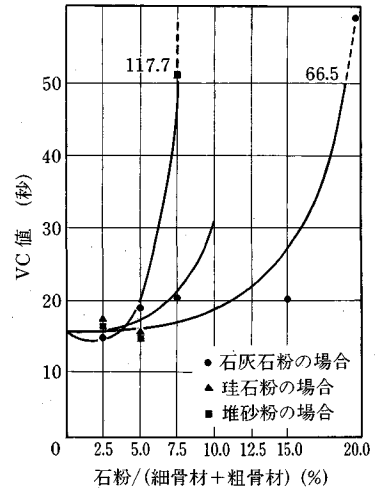
混入率〔石粉/(細骨材+粗骨材)〕 (%)	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	
粗骨材の最大寸法 (mm)	80	80	80	80	80	
空気量 (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
水セメント比 W/(C+F) (%)	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8	
フライアッシュ比 F/(C+F) (%)	30	30	30	30	30	
細骨材率 S/a (%)	32	32	32	32	32	
単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )	水 W	105	105	105	105	
	フライアッシュセメント C+F	130	130	130	130	130
	細骨材 S	700	684	668	653	639
	粗骨材 G	1,487	1,452	1,420	1,388	1,358
	珪石粉（石灰石粉，堆砂粉）	0	53	104	153	200
配合特性	$\alpha$	1.23	1.43	1.63	1.83	2.02
	$\beta$	1.40	1.48	1.56	1.65	1.73



図—14 置換え率と圧縮強度



図—15 置換え率と密度



図—16 混入率とVC値

る。しかし、圧縮強度の低下は小さい。

c) 密度について

図—15はフライアッシュを珪石粉，堆砂粉に置き換えた比率と密度の関係である。この図から、密度は置換え率50%では同程度であり、100%になると低下している。密度も圧縮強度と同様に置換え率が大きくなると低下するものと考えられる。

7. 微粒分を変化させた場合（その2）の考察

本実験は、結合材料（C+F）が変化した場合、材齢が長くなった時に、石粉を混入した場合に如何なる特性を示すか検討を行った。前述の6. 微粒分を変化させた場合（その1）と異なるのは、結合材料C+F=130 kg/m<sup>3</sup>，材齢91日とした点である。また、（その1）の実験に近い実験を行うことにより信頼度の向上を図ったものである。

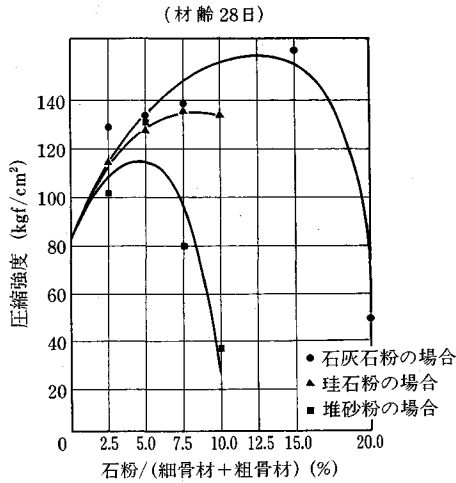
(1) 微粒分の混入率を変化させた場合の考察

本実験も前述（その1）と同様に石灰石粉，珪石粉，堆砂粉の混入率を変化させ、これに対してVC値，圧縮強度，密度についての変化を検討したものである。また、堆砂粉（石灰石粉，珪石粉）を混入した場合の配合について表—9に示した。堆砂粉の混入率は、堆砂粉/（細骨材+粗骨材）%とした。粗骨材の配分，混和剤の混入などは（その1）と同様とした。以上の配合で実験した結果について述べる。

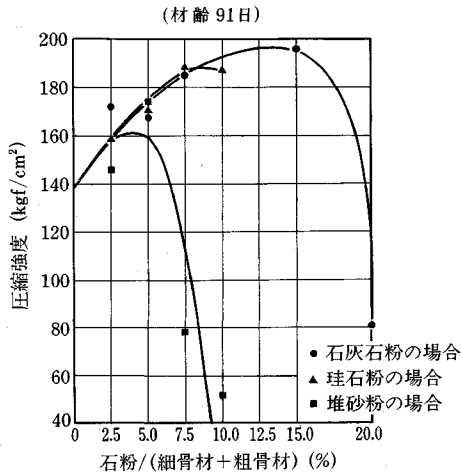
a) VC値について

図—16は、石灰石粉，珪石粉，堆砂粉の混入率とVC値の変化を示したものであり、（その1）と同様の特性を示している。その特性は、①石灰石粉，珪石粉，堆砂粉の混入率が5%程度であればVC値は低下または同程度となっている。②石粉混入率によるVC値の





図一七 混入率と圧縮強度

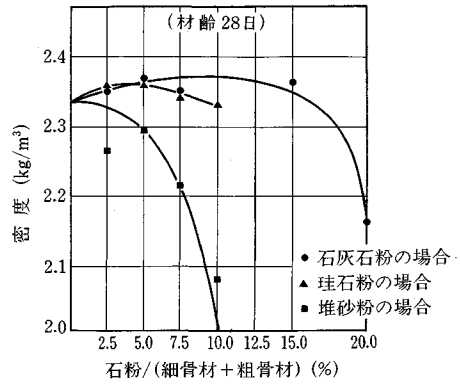


図一八 混入率と圧縮強度

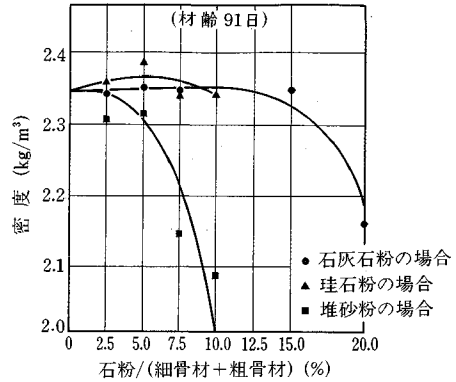
上昇は、堆砂粉、珪石粉、石灰石粉の順序となっている。  
 ③VC値が20秒程度にするためには、堆砂粉の混入率5.0%以下、珪石粉7.5%以下、石灰石粉12.5%以下にすべきである。

b) 圧縮強度について

図一七は石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の混入率と圧縮強度の関係で、材齢は28日、 $C+F=130 \text{ kg/m}^3$ である。この図から、次のような特性がある。  
 ① $C+F=130 \text{ kg/m}^3$ としたため、(その1)の実験結果より圧縮強度が大きくなっている。  
 ②石粉の混入により強度が増加している。堆砂粉は5.0%、珪石粉は7.5%、石灰石粉は12.5%で圧縮強度がピークを示し、これ以上の混入率になると強度が低下している。  
 ③圧縮強度の増加は堆砂粉1.4倍、珪石粉1.7倍、石灰石粉1.9倍で、この順に大きな値を示している。特に石灰石粉は圧縮強度の増加が大きく値となっている。



図一十九 混入率と密度



図一二十 混入率と密度

次に、材齢が91日の場合について石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の混入率と圧縮強度の関係について実験を行った結果は図一八となる。この結果から次のような特性が見られる。  
 ①前述の材齢28日と比較して、ほぼ同様の傾向を示している。  
 ②材齢28日と91日の圧縮強度の増加率は、混入しない場合1.6倍、堆砂粉の場合1.4倍、珪石粉の場合1.4倍、石灰石粉の場合1.2倍となっている。この結果からでは、石粉の混入しない場合より、混入した場合には圧縮強度の増加率が小さくなっている。特に石灰石粉を混入した場合には増加率が小さいが、この原因は、材齢28日の強度が大きな値を示していたからであると考えられる。  
 ③圧縮強度の最大値は、混入率が堆砂粉5.0%、珪石粉7.5%、石灰石粉12.5%の場合で、前述の材齢28日強度の場合と同様である。

c) 密度について

図一十九、二十は、それぞれ材齢28日、91日のテストピースについて、石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の変化と密度の関係を示したものである。これらの図から次のような特性が見られる。  
 ①材齢が変わっても密度が変化するものではなく、材齢28日、材齢91日の密度の関係は、同様の傾向を示している。このことから、材齢28日と材齢91日のテストピースは同様に製作されていたものと考えられ

る。②堆砂粉混入による密度は2.5%, 5.0%の混入でも密度が低下している。この点が(その1)の場合と異なっているが、珪石粉7.5%, 石灰石粉12.5%以下の混入であれば、(その1)の傾向と同様であり、これ以上の混入では密度が低下している。

## 8. 結 論

以上、石灰石粉、珪石粉、堆砂粉の変化によるRCD用コンクリートの特性、フライアッシュを珪石粉、堆砂粉と置き換えた場合のRCD用コンクリートの特性について述べてきた。それらを要約すると以下のようである。

(1) 堆砂粉5.0%, 珪石粉7.5%, 石灰石粉12.5%までの混入であれば、VC値は低下、または同程度の値を示している。これ以上を混入すると急激にVC値が上昇している。このように適量の石粉の混入はRCD用コンクリートの締固めに効果的であると考えられる。

(2) 結合材料120 kg/m<sup>3</sup>と130 kg/m<sup>3</sup>に石粉を混入した場合に、最適石粉の混入有無に対するVC値は、結合材料の少ない120 kg/m<sup>3</sup>の場合のほうが低下している。

(3) 圧縮強度は、石粉の混入により増加し、石灰石粉が最大で堆砂粉が最小であり、堆砂粉5.0%, 珪石粉7.5%, 石灰石粉12.5%の混入率でピークを示している。

(4) 結合材料120 kg/m<sup>3</sup>と130 kg/m<sup>3</sup>に石粉を混入した場合の圧縮強度の増加率は、結合材料の少ない120 kg/m<sup>3</sup>のほうが大きくなっている。

(5) 材齢28日と91日の圧縮強度の増加率は、石粉を混入した場合のほうが、わずかに低下している。これは石粉の混入により28日強度が大きくなっているからであると考えられる。

(6) 密度は、堆砂粉5.0%, 珪石粉7.5%, 石灰石粉12.5%までの混入率であれば、わずかに上昇している。

(7) フライアッシュを珪石粉、堆砂粉で置き換えた場合は、両石粉ともに同様の傾向を示している。石粉の置換え率50%では、VC値は低下傾向を示し、圧縮強度、密度は同程度を示している。置換え率100%では、VC

値が増大し、圧縮強度、密度が低下している。

以上のことから、最適混入率は堆砂粉5.0%, 珪石粉7.5%, 石灰石粉12.5%程度で、これらを混入したRCD用コンクリートは、施工性、品質の向上が図れるものと考えられる。また、堆砂粉の利用は排砂対策にも効果的である。

## 参 考 文 献

- 1) 鈴木徳行・志水茂明：RCD工法とRCC工法との特性について、土木学会論文集，第403号／VI-10，pp.93～102，1989.3.
- 2) 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.
- 3) 鈴木徳行・呉 偉剛：中国のRCD工法について，ダム技術，No.67，pp.3～15，1992.4.
- 4) International Symposium on RCC dams Water Power & Dam Construction，pp.10～13，February 1992.
- 5) Department of Science and Technology，CEC:RCC DAMS IN CHINA pp.1～78，July 1991.
- 6) Chinese Society of Hydroelectric Engineering and ICOLD:International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams，pp.1～526，November 1991.
- 7) M.R.H. Dunstan:A review of roller compacted concrete dams in the 1980 s，Water Power & Dam Construction，pp.43～45，May 1990.
- 8) M.R.H.Dunstan : Recent developments in roller compacted concrete dam construction，Water Power & Dam Construction Handbook，pp.39～47，1989.
- 9) 鈴木徳行・飯坂武雄・白村 暁：微粒子の变化によるRCDコンクリートの特性(その2)，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，pp.588～589，1992.
- 10) 神山行男・吉岡保彦・米田正剛・小嶋平三：産業副産物のRCDコンクリートへの有効利用に関する検討，第7回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.189～192，1985.
- 11) 建設省玉川ダム工事事務所：細骨材の粒度が品質に及ぼす影響についての試験，玉川ダムのRCD工法，pp.3028～3030，1990年3月.
- 12) 鈴木徳行・飯坂武雄・平間昭信：微粒分の変化によるRCDコンクリートの特性，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，pp.548～549，1991年9月.

(1993.6.14 受付)

## EFFECTS OF CHANGING THE MIXING RATIO OF FINE POWDERS ON CHARACTERISTICS OF RCD CONCRETE

Satoru SHIRAMURA and Noriyuki SUZUKI

In this study, we investigated the characteristics of the RCD concrete such as The VC value, compressive strength and density in varying the mixing ratio of lime stone powder, silica stone powder, and deposited silt powder. We obtained the most efficient mixing ratio of each stone powder, in which the VC value was proper, and the compressive strength and density was highest.