

[48] 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

正会員 ○神 山 行 男 (竹中技術研究所)
 正会員 吉 岡 保 彦 (竹中技術研究所)
 米 田 正 剛 (竹中技術研究所)
 小 嶋 平 三 (竹中技術研究所)

1. はじめに

近年、環境保全や省資源の目的で産業副産物を有効に利用する技術や方法に関心が高まって来ている。本報告では、混和材としてRCDコンクリートへの産業副産物の有効利用に関する一連の研究のうち、主としてフレッシュコンクリートの性状について報告するものである。また、材料評価に先立ち締固め効果等の基本的な試験方法に関して整理検討しておく必要があり、最初に検討を加えた。

2. 試験方法に関する実験

2-1 実験の目的

フレッシュコンクリートの品質管理試験にはVC試験方法が用いられるが、現行の指針ではその試験条件がある巾をもって規定されており、混和材の性能を評価するのに最適な条件を検討する必要がある。また、練りまぜ直後のVC値で、2~3時間後に行なわれる最終振動締固め時のRCDコンクリートを管理していることから、経過時間の影響について検討する。同時に、従来よりかならずしも明確にされていなかったVC値と密度と締固め性状について仕事量の尺度を用いて明らかにする。

2-2 使用材料

セメントはN社製普通ポルトランドセメントを、フライアッシュはD社製JIS規格品を用い、粗骨材は碎石 ($\rho=2.66, P=0.71\%, FM=7.09$) を、細骨材は砕砂と川砂の混合砂 ($\rho=2.60, P=1.31\%, FM=2.78$) を用いた。なお、混和剤はP社製AE減水剤を結合材量の0.25% 使用した。

2-3 実験方法

通常RCDコンクリートで使用される表-2の配合を基本配合とし、表-1に示す様に試験条件については振動数、振幅を組合せ、経過時間の影響については5時間後まで検討した。この時、各配合要因の影響をみるために各々を2水準変化させた。

実験は、40mmウェットスクリーニングに相当する配合を用い、1バッチを45 L とした。練りまぜは強制練りミキサ(容量50 L)を使用し、あらかじめ20 $^{\circ}\text{C}$ とした材料を同時投入して3分間練りまぜた後、2往復の切り返しを行って、ただちにVC試験に供した。試験はVC値測定と併せて沈下グラフを記録し、試験終了後に密度を測定した。

2-4 実験の結果及び考察

VC試験の試験条件は、振動数・振幅の組み合わせとなっているが、本検討においてはこれを谷本の修正式を用いて単位時間当りの仕事量に換算して使用した。

まず、VC

粗骨材の 最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C + F (%)	細骨材率 S/a (%)	セメントとの置換え率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
					水 W	セメント C	混和材 F	細骨材 S	粗 骨 材 G			混和剤
									80mm~40	40mm~20	20mm~5	
80	1.5	75	30	30	90	84	36	665	634	528	423	0.3

の関係を示したのが図-1

表-1 実験の要因と水準

要 因	水 準	
機 械 的	振動数 (rpm)	2000, 3000, 4000
	振 幅 (mm)	0.6, 0.8, 1.0
配	単位セメント量 (kg/m ³)	90, 120
	単 位 水 量 (kg/m ³)	90, 100
合	細骨材率 (%)	30, 36
	セメントとの置換え率 (%)	30, 50
時 間	経過時間 (h)	0, 1, 2, 3, 4, 5

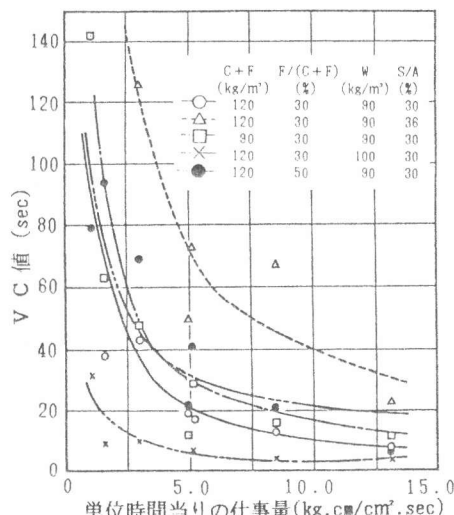


図-1 VC値と単位時間当りの仕事量の関係

である。VC値は、いづれの配合においても単位時間当りの仕事量の逆数の一次式で良い相関をもっている。この式を $(VC - b)E = a$ と表わすと、VC値と単位時間当りの仕事量を乗じたものは仕事量を表わしているといえる。つまり、VC値すなわちフラッシュする点は、ある配合のコンクリートを仕事量で評価しているといえることから試験条件はいづれでもよく、上記回帰式よりVC値は推定できる。

ところで、VC値のときの密度はいづれの試験条件においても配合密度の99%前後になっており、VC値と密度の関係において終局値を表わしているといえる。

また、図-1において、VC値は単位時間当りの仕事量は $5 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ 程度までは急速に減少し、それ以上になると次第に安定し、 $12.5 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ 以上になるとほぼ一定の値に落ちついている。この試験結果を、混和材の性能評価の面からみると試験条件としては、材料の差が明瞭に現われ、かつ、バラツキの少ない $5.0 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ (振動数3000rpm, 振幅1.0mm 相当) が適当であると判断された。

次に図-2は沈下グラフを解析した結果である。締固め時間を対数にとると沈下量(密度)はいづれにおいても直線的に増加し、ある時点で変曲点が現われ、以後は初期と締固め速度が異っている。また、試験条件によってグラフが凸型凹型のものに分かれている。この凸型凹型は $2.5 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ 程度を境に分かれ、締固め状態の異なる2つの領域があることが分った。

ここで、変曲点の時間を VC_1 値と定めて単位時間当りの仕事量との関係を示すと図-3となる。 VC_1 値もVC値と同様の関係が成立し、締固め性能を示す一つの指標であるといえる。

しかし、締固め密度からみるとVC値は前述した様にいづれの試験条件においてもほぼ一定の密度になるのに対して、 VC_1 値は91~97%と一定にならないが、 $2.5 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ 以上の領域を考えると95~97%とほぼ一定の値になる。したがって、締固め速度を考慮すると試験条件は、 $2.5 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ (振動数3000rpm, 振幅0.8mm 相当) 以上とする必要があることが明らかになった。

以上の結果より、試験条件として、VC値が密度の終局値であることに注目すればいづれの試験条件でもかまわないが、締固め速度を考慮して同一条件とするためには $2.5 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ 以上にする必要があり、さらにバラツキの問題や締固め性能の評価し易さを考慮すると $5.0 \text{ kg/cm}^2\text{sec}$ (振動数3000rpm, 振幅1.0mm 相当) が妥当であることが分った。

次に、経過時間の影響について、表-2の基本配合を用いてここでは検討を加える。

実施工において練りませより2~3時間後に、9~10G程度の加速度で最終振動締固めを行うので、経時変化の影響をみ

表-3 重回帰分析結果

	T	T ²	E	R
時間 T (min)		0.967	-0.100	0.898
時間 T ²	0.967		-0.087	0.872
単位時間当りの仕事量 E	-0.100	-0.087		0.240
偏相関係数 R	0.898	0.872	0.240	

相関係数 $R = 0.958$
 回帰式 $VC = 0.355T + 1.0 \times 10^{-4} T^2 + 146.05E^{-1} - 13.89$

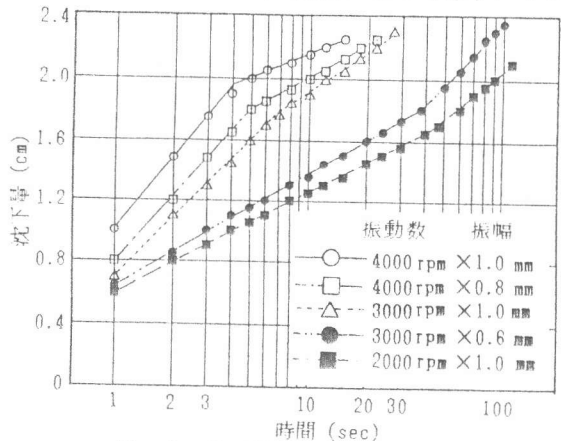


図-2 沈下量と締固め時間の関係

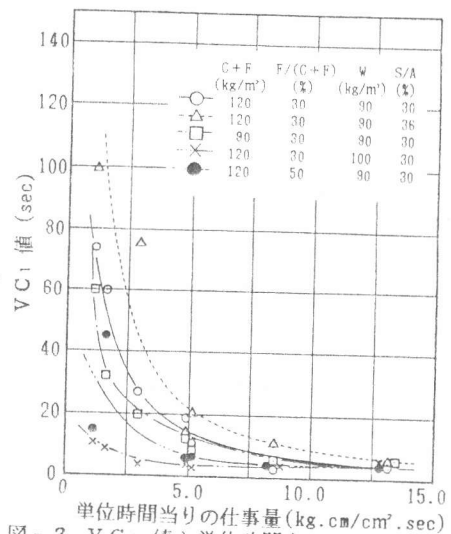


図-3 VC₁ 値と単位時間当りの仕事量の関係

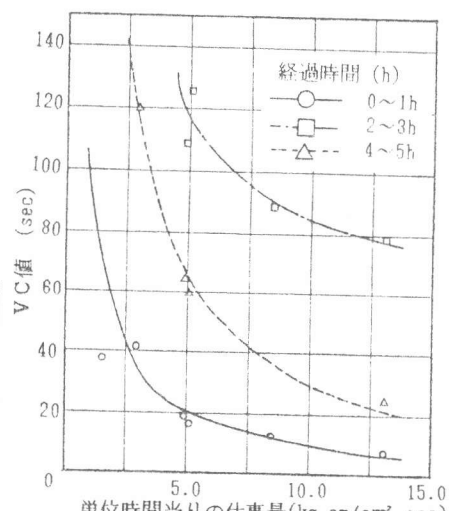


図-4 VC 値と単位時間当りの仕事量の関係

るために、施工時の加速度に相当する振動数 4000rpm、振幅 1.0mmでVC試験を行った。

図-4に示す様に時間が経過しても、VC値と単位時間当りの仕事量の関係は直後と同様に成立するので、VC値と単位時間当りの仕事量と経過時間の関係を重回帰分析を行うと表-3の結果がえられた。

これより、2~3時間後の最終振動締め時の単位時間当りの仕事量をVC値を一定として直後の試験条件になおしてやると、単位時間当りの仕事量が約 2.0~2.7 kgcm/cm²sec(振動数3000rpm,振幅0.8mm 相当)になることが分った。

3. 産業副産物の混和材としての有効利用に関する実験

3-1 実験の目的

実施工されたRCDコンクリート(通常のダムコンクリートにおいても同じである)は、混和材としてフライアッシュをセメントの内割りで30%程度使用しているのが通例である。しかし、より低コスト化する目的や、産業副産物を有効利用するためには、フライアッシュ以外の産業副産物で利用可能なものや、その置換え率について検討する必要がある。

混和材としての性能の評価は、強度、水和熱、締固め性能、水密性等の色々な要因から総合的に判断すべきであるが、ここでは普通コンクリートに使用しても問題がないといわれている石粉、高炉スラグ、フライアッシュの3種類を選んで締固め性能の面から評価を行う。

3-2 使用材料

セメント、骨材、混和剤については、前述した試験方法に関する実験と同じものを使用している。混和材については表-5に示す様に、種類については石粉、高炉スラグ、フライアッシュの3種類を用いた。また、粒度の影響をみるために高炉スラグについてはブレン値を調整した3種類のものを用い、フライアッシュについては産地によって性能が異なるといわれているのでJIS規格品で産地が違う2種類と、また、JIS規格品として分級する前の原粉の1種類の計2種類を使用した。石粉については、砕石を製造する過程で出てくるものを0.3mmフルイで分級したものである。なお、CFMはセメント粒度係数である。

3-3 実験の方法

コンクリートの配合は、表-2を基本配合として、表-4に示す様に配合要因としては混和材の種類と置換え率を各々組み合わせて変化させた。

VC試験方法については、前述した様に試験方法に関する実験の結果より、直後の評価については振動数3000rpm,振幅1.0mmで行い、経過時間の評価については振動数4000rpm,振幅1.0mmで実施した。

3-4 実験の結果及び考察

直後のVC試験の結果を、セメントとの置換え率との関係で整理すると図-5となる。これより、全体的な傾向でみると、石粉については他と異っていて最適置換え率が10~20%に存在するが、高炉スラグとフライアッシュについては置換え率を増す程VC値は小さくなっている。個々について検討してみると、石粉は他のものと性状が異なっているが、粒度が他の混和材に比べて極端に大きく、また、石粉を細骨材の置換えとして使用したときワーカビリティの改善効果があるという報告もあることより、混和材の置換え効果より細骨材の置換え効果に近いことが考えられる。次に、高炉スラグよりフライアッシュの方が改善効果が大きい

表-4 実験の要因と水準

要因	水準
配 混和材の種類	F I J, F M, F T BB3800, BB3200, BB2800 S P
合 セメントとの置換え率 (%)	0, 10, 20, 25, 30, 50, 70, 90
時間 経過時間 (h)	0, 1, 2, 3, 4, 5

表-5 混和材の種類

記号	混和材の種類	産地 他	比重	ブレン値 cm ³ /g	CFM
	普通ポルトランドセメント	N社製	3.15	3370	1.20
F I J	フライアッシュ	D社製 JIS規格品	2.20	2780	1.33
F M	フライアッシュ	K社製 JIS規格品	2.20	4360	0.84
F T	フライアッシュ	D社製 JIS規格外品	2.20	—	1.06
BB3800	高炉スラグ	S社製 JIS規格品	2.91	3780	0.90
BB3200	高炉スラグ	〃	2.91	3270	1.08
BB2800	高炉スラグ	〃	2.91	2820	1.25
S P	石粉	硬質砂岩 0.3mmフルイで分級	2.78	—	2.40

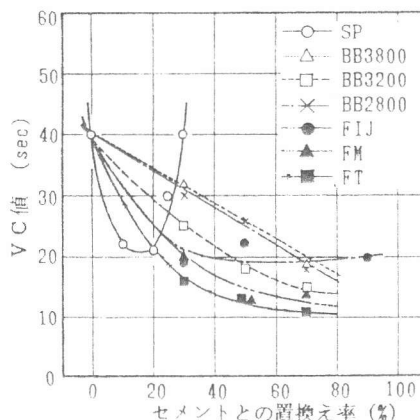


図-5 VC値と置換え率の関係

は、粒度に差がないことから粒形の影響が考えられる。粒度の影響について高炉スラグには認められないが、フライアッシュにおいては若干認められる。この理由については、フライアッシュは粒子が球状であるが、高炉スラグでは、粒形が悪いために粒度の影響が出にくいと考えられる。

ワーカビリティの改善効果を置換え率で検討すると、セメント単味のときと比較すると石粉の30%以上を除くと、いずれの種類及び置換え率においても改善される。通常のRCDコンクリートではフライアッシュを置換え率30%で使用するの、これと比較すると、石粉では、最適値でほぼ同等である。高炉スラグについてはBB3200で50%以上、BB2800, BB3800については70%以上の置換えで効果が現れる。フライアッシュについては30%以上で、いずれも改善効果が認められる。

次に、前述した締固め性能を示す指標としての VC_1 値を用いて、セメントとの置換え率の関係を示すと図-6となる。これより、石粉は他のものとは異っているが、高炉スラグ、フライアッシュについては種類及び置換え率について傾向が認められず、直後の結果では、石粉をのぞいて他の混和材の種類及び置換え率について締固め速度に傾向がないことが分った。

経時変化の影響について、 VC 値の直後の試験値に対する増加量と置換え率の関係が整理を行い、最終振動締固めまでの一般的な経過時間限度である3時間後の関係を図-7に示す。これより3時間後の関係は直後の結果と大きく異っている。個々に検討すると、石粉は直後と同じ傾向を示し最適値もほぼ同じである。フライアッシュのFIJとFTも直後同様に置換え率を増す程改善されるが、FIJは50%以上では改善効果は小さい。フライアッシュFMと高炉スラグの3種類については直後と異なり、石粉と同様に最適値が存在する。この最適値は、フライアッシュFMで40%程度であり、高炉スラグBB3800で40%程度BB3200, BB2800で50%程度である。

次に VC_1 値を用いて、 VC_1 値の直後の試験値に対する増加量と置換え率の関係について3時間後の結果を図-8に示す。これより、直後ではほとんど傾向が出なかったが、3時間後では VC 値とほぼ同じ傾向を示し、その最適値についてもほとんど同じである。締固め速度の面からも直後と3時間後では締固め状態が異なっていることが分った。

以上の結果より、この7種類の混和材について、石粉にはワーカビリティの改善効果はなかったが、高炉スラグ、フライアッシュには改善効果が認められ、その最適置換え率が存在することが分った。また VC 値及び締固め性能の2つの面から、直後と3時間で締固め状態が異なっていることが分った。しかし、この理由について、粒度、水和反応、ペーストの粘性、高炉スラグではアルカリの反応等が考えられ、今後明らかにしたい。

4. おすびに

以上の検討において、混和材の性能評価する上での最適な試験方法を選択し、その試験方法を用いて、7種類の産業副産物の混和材としての性能評価を行った。結果は、石粉をのぞいて、高炉スラグとフライアッシュには改善効果があり、その最適置換え率が存在することが分った。しかし、さらに検討すべき問題が残されている。なお、硬化コンクリートの性状については追って報告する予定である。

<参考文献>鈴木徳行「RCD工法に関する研究」

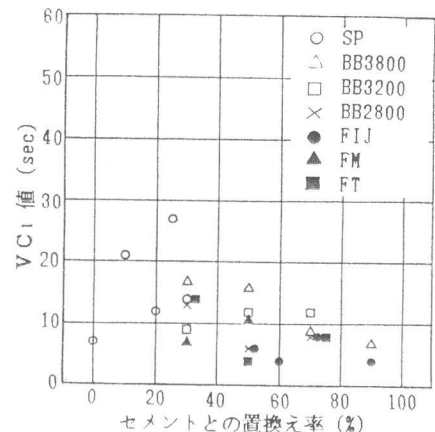


図-6 VC_1 値とセメントの置換え率の関係

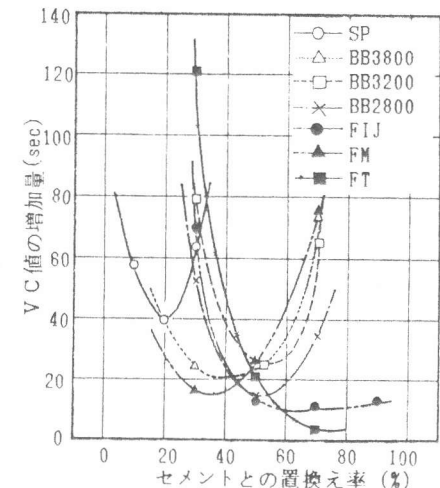


図-7 VC 値の増加量と置換え率の関係

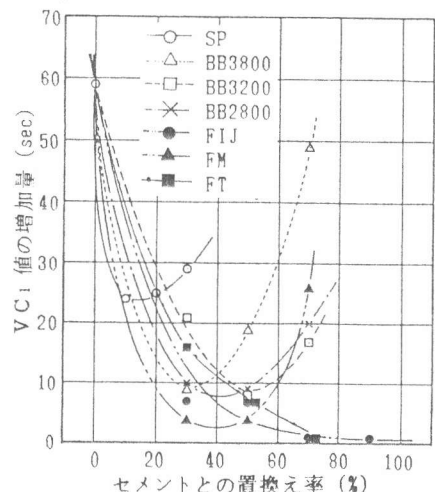


図-8 VC_1 値の増加量と置換え率の関係