

[169] 超硬練りフライアッシュ高含有コンクリートの物性実験

正会員 ○藤 江 理 生 (飛鳥建設 土木技術部)
 正 田 敬 博 (飛鳥建設 土木技術部)
 相 馬 達 夫 (飛鳥建設 技術研究所)
 辻 子 雅 則 (飛鳥建設 技術研究所)

1. まえがき

近年、ローラー転圧工法によるコンクリートダムの施工例が増加している。これまでに国内で施工実績のあるRCD(ノースランプの超硬練りコンクリートを振動ローラーで締固め、ダムを構築する工法)コンクリートの結合材量は120~130(kg/m³)程度(フライアッシュ置換率が30%程度)となっている。一方、欧米諸国においては、セメント量に対してフライアッシュ量の多いコンクリートを用いているものもある。フライアッシュ量を増加することは、材料分離の軽減・減水効果・微粉末効果による強度増加等の利点が予想される他、結合材量の少ないローラー転圧コンクリートの空隙充填材として有望ではあるが、この様なコンクリートの物性は明確になっていない点が多い。(結合材量を一定としてフライアッシュ置換率を変化させたものについての報告が数例ある程度)

本報告は、セメント量を一定としてフライアッシュ量を増加させることにより、超硬練りフライアッシュ高含有コンクリートの諸物性について室内試験により検討を行ない、フライアッシュの多量添加がローラー転圧コンクリートの物性に及ぼす影響をまとめたものである。

2. 実験概要

2-1 使用材料

セメント; O社製普通ポルトランドセメント J I S R 5210 適合
 フライアッシュ; D社製フライアッシュ J I S A 6201 適合
 細骨材; 砕砂 (八王子美山産硬質砂岩) 比重 2.64 吸水率 1.77% 粗粒率 2.83
 粗骨材; 碎石 (八王子美山産硬質砂岩) 比重 2.67 吸水率 0.55% 粗粒率 7.94
 混和剤; N社製遅延形 A E 減水剤

2-2 配合条件及び配合

表-1 配合表

- (1)粗骨材最大寸法 $G_{max} = 80\text{mm}$
- (2)VC値(小型) 15 ± 5 (秒)
- (3)空気量 $1.5 \pm 1\%$
- (4)混和剤量 $(C + F) \times 0.25\%$

配合名称	VC値 (秒)	空気量 (%)	S/a (%)	W/C (%)	W/C+F (%)	単 位 量 (kg/m ³)					混和剤
						W	C	F	S	G	
1	15±5	1.5±1	34	113	79.2	95	84	36	760	1492	0.30
2	15±5	1.5±1	32	150	75.0	90	60	60	716	1539	0.30
3	15±5	1.5±1	32	142	47.2	85	60	120	697	1498	0.45
4	15±5	1.5±1	32	142	35.4	85	60	180	674	1448	0.60

VC値: RCDコンクリートのコンシステンシーの指標で、振動を与えたコンクリートが締固まるまでの所要時間で表わす。

表-1に配合を示す。(配合1は既に施工

実績のあるセメント量, フライアッシュ量とし, 配合2~4はセメント量を60(kg/m³)としフライアッシュ量を60~180(kg/m³)の範囲で変化させた。)

2-3 試験項目及び試験方法

表-2に本実験の試験項目及び試験方法を示す。

2-4 供試体作製方法

500×700×450(mm)の木製型枠にローラー転圧コンクリートを打設し, 材令91日にてφ170(mm)のコア供試体を採取し, 圧縮強度試験, 引張強度試験, 静弾性係数の測定, 透水試験に供した。なお, コンクリート試料の縮

表-2 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度試験	JIS A 1108
引張強度試験	JIS A 1113
静弾性係数測定	JIS原案
透水試験	インプット法
水平打継目の曲げ強度試験	JIS A 1106

め固めはタンパーにてペーストが浮上するまで行なった。

水平打継目の曲げ強度試験は縦型打継用曲げ型枠（2層式）を用い、配合2～4に対しては打継目の処理を全く行わず、旧コンクリートの材令4時間、8時間、24時間にて新コンクリートを打継いだ（養生温度は20℃）。これと同時に打継目を有しない供試体も作製した。配合1は旧コンクリートの材令24時間、96時間にてグリーンカット・敷モルタルを行ない新コンクリートを打設した。試験は材令91日にて行なった。

2-5 使用機器

V C 試験機 …………… 振動数 3000 回 / 分，振幅 1 mm（試料載荷時），上載荷重 20 kg

タンパー …………… 振動数 3000 回 / 分，起振力 140 kg

ミキサー …………… 水平 2 軸ミキサー，容量 100 ℓ

3. 実験結果及び考察

3-1 締め固め度

図-1 にフライアッシュ量と締め固め度の関係を示す。フライアッシュ量を増加させると締め固め度は序々に高くなっている。また、この傾向はフライアッシュ量 60～120 (kg/m³) の範囲で 120～180 (kg/m³) の範囲よりも顕著である。なお、コアの単位容積重量はすべて 2.3 (t/m³) を上回っていた。

3-2 圧縮強度

図-2 にフライアッシュ量と圧縮強度の関係を示す。表-1 に示す様に配合2と配合3では圧縮強度に関与する2つの要因（フライアッシュ量及び単位水量）が変化し、配合3と配合4ではフライアッシュ量のみが変化している。従って、配合2から配合3における強度増加が配合3から配合4における強度増加を上回っているものと思われる。

また、配合3から配合4における圧縮強度の増加が、フライアッシュ量の変化量が等しい配合2から配合3においても同等の増加があるものと仮定すると、フライアッシュ量の変化に起因すると思われる圧縮強度の増加量はフライアッシュ 1 kg 当たり 0.7 kgf/cm² となり、水セメント比の変化に起因すると思われる圧縮強度の増加量は水セメント比 1 多当たり 3 kgf/cm² となる。

次に (C + F) / W が同一であってもフライアッシュの置換率が異なれば圧縮強度が異なるという認識から、添加したフライアッシュの内セメントと同様の作用をしていると推定される割合を次の手法によって試算した。本実験を行なうにあたっての予備実験により、C = 60 kg/m³ (F = 0 kg/m³) の場合の圧縮強度 (σ_c) と C/W の関係は σ_c = 328 × (C/W) - 162、C = 84 kg/m³ (F = 0 kg/m³) の場合は σ_c = 167 × (C/W) - 27 を得た。

この σ_c に本実験で得た圧縮強度を代入し、C/W を算出し、

$$C/W = \frac{C' + k \times F'}{W'}$$

C' : 単位セメント量 W' : 単位水量
F' : 単位フライアッシュ量 k : 実験定数

上式から k を換算した。算出した k 値及び添加したフライアッシュの内圧縮強度に寄与したと思われるフライ

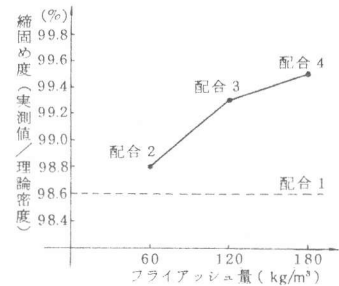


図-1 フライアッシュ量-締め固め度

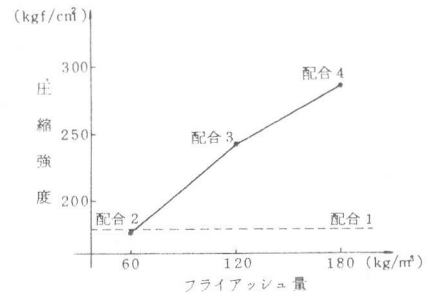


図-2 フライアッシュ量-圧縮強度

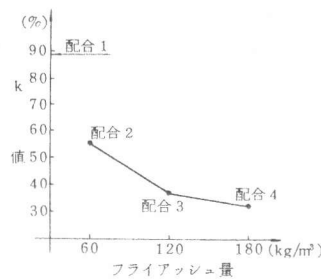


図-3 フライアッシュ量-k 値

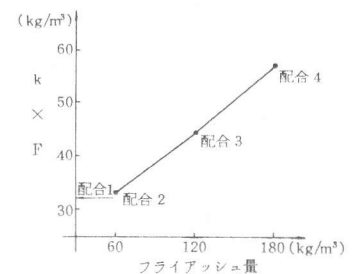


図-4 フライアッシュ量-(k × F)

アッシュ量 ($k \times F$) を図-3及び図-4に示す。図-3によると、フライアッシュが最も効率的に圧縮強度に寄与しているのが配合1であり、フライアッシュ量が増加するに従って効率は低下している。但し、図-4よりセメント量が一定であっても圧縮強度に寄与したフライアッシュ量は添加量が多くなるに従い増加している。

3-3 引張強度

図-5にフライアッシュ添加量と引張強度の関係を示す。圧縮強度と同様にフライアッシュ添加量が多くなるに従って引張強度も増加している。

図-6に圧縮強度と(引張強度/圧縮強度)(以後引張強度比と呼ぶ)の関係を示した。実線はスランブのある普通コンクリートの引張強度比(1/10~1/13)¹⁾を示したものであるが、この傾向と比較してフライアッシュ高含有コンクリートの引張強度比も普通コンクリートとほぼ同程度と思われる。従って同一圧縮強度の普通コンクリートと同等の引張強度を有するものと考えられる。

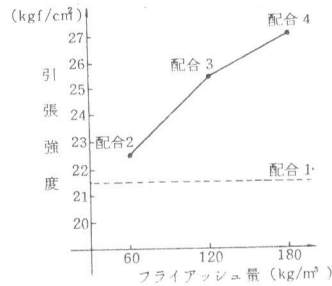


図-5 フライアッシュ量-引張強度

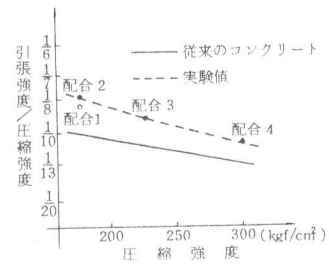


図-6 圧縮強度-引張強度比

3-4 静弾性係数

図-7にフライアッシュ量と静弾性係数の関係を示した。図-2に示した様に圧縮強度はフライアッシュ量の増加に伴い増大しているが、静弾性係数は配合3と配合4でほぼ同一の値を示している。この要因の1つとして、フライアッシュ量増加による骨材に対するセメントペースト量の比率の増加の影響が考えられる。

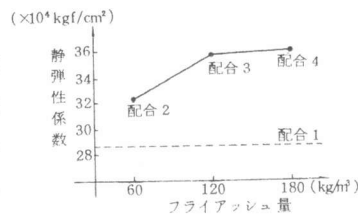


図-7 フライアッシュ量-静弾性係数

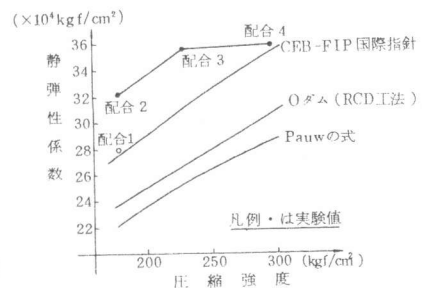


図-8 圧縮強度-静弾性係数

図-8に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。この図より本実験結果は普通コンクリートの静弾性係数算定式、RCDコンクリートの実績(Oダム)²⁾と比較して全般に高い値が得られていることがわかる。これは骨材の相違と同時にフライアッシュ添加によるペーストの硬さの相違等が要因と考えられる。

3-5 拡散係数

図-9にフライアッシュ量と拡散係数の関係を示す。この図に示す様に配合2~配合4は従来のRCDコンクリートに準拠した配合1と比較して高い水密性が得られており、ダムの内部コンクリートとして水密性に関して問題はないものと思われる。また、水セメント比は表-1に示した様に配合1が本実験の中で最も小さいにもかかわらず拡散係数は最も大きくなっており、フライアッシュの添加が水密性の改善に寄与している。ただし、配合3と配合4はほぼ同一の拡散係数を示しており、一定量以上にフライアッシュを増加しても水密性の改善にはつながらないものと思われる。

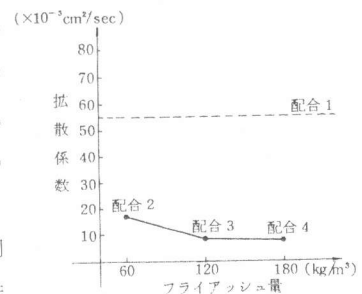


図-9 フライアッシュ量-拡散係数

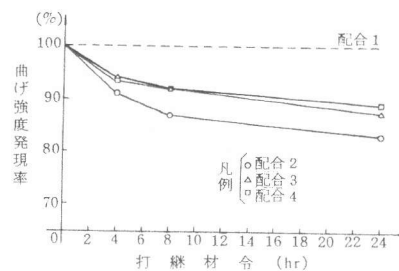
3-6 水平打継目の曲げ強度

図-10に打継材令と打継目の作製による曲げ強度の発現率(水平打継目を有する供試体の曲げ強度/打継目を有しない供試体の曲げ強度)を示す。この結果によると、旧コンクリートの材令24時間以内に打継ぎを行なった場合、打継目の曲げ強度は打継目を有しない供試体のそれと比較して80%~95%の範囲にあることがわかる。普通コンクリート(スランブ10cm, W/C=0.5~0.6)を用いた既往の研究³⁾において、打継目に全く処理を施さない場合、打継目の引張強度は打継目を有しないものと比較して約45%(旧コンクリートの材令1日で打継)との報

告がある。この報告と比較すると本実験の打継部の強度低下は非常に小さいものと考えられる。これは、本実験において供試体の打継目におけるブリージング量が少なく、それに対応してレイタンスも減少し条件の良い打継目を得られた為と推察する。この様にブリージング量が減少した要因としては、

- (1) コンクリートが超硬練りである事。
- (2) フライアッシュという微粉末を添加している事。

等が考えられる。しかし、配合1（グリーンカット及び敷モルタルの実施）においては打継による曲げ強度の低下が全く認められない事から、配合2から配合4に対しての打継手法には今後検討の余地がある。



図一 10 打継材令-曲げ強度発現率

4. まとめ

以上の試験によりフライアッシュ高含有コンクリートの物性をまとめると次の通りである。

- (1) フライアッシュ量を増加することによって締固め度は高くなる。
- (2) セメント量を一定とし、フライアッシュ量を多くすることにより圧縮強度は増加し、これに対応して引張強度も増加する。また、引張強度比（引張強度/圧縮強度）は普通コンクリートと同程度の値を示す。従って、同一圧縮強度の普通コンクリートと同等の引張強度を有するものと考えられる。
- (3) 本実験の範囲で、静弾性係数はフライアッシュ量を増加すると、圧縮強度との相関性は普通コンクリートと比較して低くなるものと思われる。この要因としては、フライアッシュ量の増加により骨材に対してペースト量の比率が大きくなった事が考えられる。
- (4) フライアッシュ量を増加すると水密性は改善される。しかし、一定量を越えるとその効果は小さくなる。
- (5) 水平打継目の曲げ強度は、旧コンクリートの材令24時間以内に打継いた場合、レイタンス処理・敷モルタルを行なわなくても打継目を有しない供試体の曲げ強度の80~95%得られており、普通コンクリートにおける無処理の水平打継目の付着性状と比較して良好な結果を得た。

5. おわりに

今回の実験によって、フライアッシュ高含有コンクリートの物性は従来のRCDコンクリートと比較して同等またはそれ以上の結果が得られることがわかった。今後はこの結果をもとに、実際の振動ローラーを使用して締固めた場合の締固め性状および強度特性・フライアッシュ高含有コンクリートの発熱特性等施工性に対応した研究を進めてゆきたい。

〔参考文献〕

- 1) 樋口・村田・小林著「コンクリート工学(I) 施工」
- 2) (財)国土開発技術センター「RCD工法によるダム施工」
- 3) 国分正胤「国分正胤博士論文選集」