

混和材の種類と置換率がコンクリートの性状に及ぼす影響

独立行政法人土木研究所

金子裕司、山口嘉一、佐々木隆、町田宗久

1. はじめに

近年、地球温暖化防止のために建設分野においても CO₂ 削減技術開発が求められている。コンクリートダム建設において CO₂ 排出量を削減するには、セメント使用量を抑制することが最も効率的である¹⁾。セメント使用量を抑制する手段の一つとして、セメントの一部を混和材に置き換える方法があげられる^{2,3)}。

そこで、本研究では、まず一般のダムコンクリートで使用されているフライアッシュ種を用いてセメント置換率を高めた場合のフレッシュ性状及び強度発現に及ぼす影響を調査した。次に、混和材の種類を3種類（フライアッシュ種、フライアッシュ種、フライアッシュ種「以下、FA₁、FA₂、FA₃と示す」）に設定し、混和材の種類がコンクリートの耐久性に及ぼす影響について調査を行った。コンクリートの耐久性は、ダム堤体の内部コンクリートの環境条件を考慮した凍結融解試験⁴⁾により評価した。

2. 試験概要

2.1 使用材料及び配合

表-1に試験に用いた材料およびその物性値を示す。粗骨材粒度を「コンクリート標準示方書（ダム編）」の標準粒度範囲の平均的な粒度に設定し、表-2、3に示す試験ケースおよび配合で圧縮強度試験および凍結融解試験を行った。本検討では、混和材とセメントを結合材料とした。なお、混和材として FA₁ を使用した場合はその FA 置換率を 0~60% の範囲で変化させているが、FA₂、FA₃ を使用した場合は、既往の検討結果^{2,3)} からセメント使用量の削減が効果的に行える FA 置換率（表-2）を採用した。なお、FA 置換率、混和材料、セメント量はそれぞれ F/(C+F)、F、C を表している。

2.2 試験方法

圧縮強度試験用の供試体（15cm×H30cm）は、1試験ケースにつき3本ずつ製作し、試験開始材令の3日まで20℃の水中養生を行い、圧縮強度試験は JIS A 1132 に基づいて、材令は3日で行った。FA 置換率毎の結合材水比と圧縮強度の関係から、所要の圧縮強度（3日強度_{3d}=3.5N/mm²）を満足する結合材水比を算出し、また、結合材水比と単位ペースト容積の関係から、その結合材水比における単位ペースト容積を求め、このときの単位セメント量について整理した。

コンクリートの耐久性の検討は、凍結融解試験機を JIS A 1127 に準じて試験材令 14 日で実施した。ただしダム堤体内部コンクリートの環境条件を考慮して、供試体をビニール袋で覆った遮水条件下に置いた試験（気中条件）も行った。

表-1 使用材料および物性値

使用材料	種類および物性	
セメント	中庸熱ポルトランドセメント (比重=3.21,比表面積=3,200cm ² /g)	
混和材	フライアッシュ I 種 (比重=2.41,比表面積=5,900cm ² /g, 強熱減量=2.1%)	
	フライアッシュ II 種 (比重=2.27,比表面積=3,630cm ² /g, 強熱減量=1.6%)	
	フライアッシュ IV 種 (比重=2.27,比表面積=3,630cm ² /g, 強熱減量=1.6%)	
混和剤	高性能減水剤、フライアッシュ用 AE 剤	
細骨材	岩種：砂岩（比重=2.58,吸水率=2.14%,粗粒率=2.91）	
粗骨材 (mm)	岩種：砂岩	
	40-30	(比重=2.68,吸水率=0.37%)
	30-20	(比重=2.70,吸水率=0.45%)
	20-10	(比重=2.69,吸水率=0.51%)
	10-05	(比重=2.67,吸水率=0.79%)

表-2 試験ケース

混和材	FA 置換率	結合材水比
F II	0	1.1,1.25,1.4,1.7,2.0
	15	1.25,1.4,1.7,2.0
	30	1.4,1.7,2.0,2.5
	45	1.4,1.7,2.0,2.5
	60	1.7,2.0,2.25,2.5,2.75
F I	60	2.58
F IV	30	1.7

表-3 配合条件

粗骨材最大寸法	40mm
目標スランプ値	4±1cm
目標空気量	4±1%
細骨材率	40%
高性能減水剤	(C+F)×1.0%
フライアッシュ用 AE 剤	目標空気量を満足する量

キーワード：フライアッシュ ダムコンクリート 圧縮強度 凍結融解試験

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 Tel 0298-79-6781 Fax 0298-79-6737

独立行政法人土木研究所 水工研究グループダム構造物チーム

3. 試験結果

3.1 結合材水比と単位ペースト容積の関係

FA を使用した場合に所要のフレッシュ性状が得られる配合における結合材水比と単位ペースト容積の関係を図-1に示す。図によると、結合材水比に比例して単位ペースト容積が増加するがFA置換率が高いほどその増加割合が大きくなる傾向を示している。

3.2 結合材水比と圧縮強度の関係

図-2に結合材水比と3日圧縮強度の関係を示す。図によると、FA置換率に関係なく結合材水比に比例して圧縮強度も増加する傾向を示し、圧縮強度の増加割合はFA置換率の増加とともに小さくなる傾向を示した。図-3に所要の圧縮強度を満足する条件下でのFA置換率とセメント量低減率(フライアッシュ未使用の場合のセメント量からの低減率)の関係について示した。FA, FAの結果は既往の検討^{2,3)}から引用している。FAについてはFA置換率45%の時が最もセメント量低減率が高くなっている。

3.3 凍結融解試験結果

図-5にFAにおいて結合材水比2.0における各置換率毎の凍結融解試験の結果を示す。FA置換率0%以外のものについてはビニール袋で供試体を覆ったもの(凡例では気中)についての結果も示した。ビニールで覆ってないもの(水中)に比べ、気中のものは全て耐久性が保たれる結果となった。

図-4にFA, FA, FAを用いた場合に最も効果的にセメント量低減がなされるFA置換率で凍結融解試験を実施した結果を示す。水中ではFAにおいては高い耐久性を有しているが、FA, FAは初期段階から低下している。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると次の通りとなる。
 結合材水比に比例して所要のフレッシュ性状を得るための単位ペースト容積が増加する。
 結合材水比に比例して3日材令の圧縮強度も増加するが、FA置換率の増加とともに圧縮強度の増加割合が小さくなる。

FAにおいては高い耐久性を有しているが、FA, FAでは十分な強度をもっているが耐久性が低くなった。しかし、FAのどの置換率においても内部コンクリートを想定しビニールで覆うことによって耐久性を維持することが出来る。

【参考文献】

- 1) 永山功, 宮内茂行: コンクリートダム建設に伴って発生する二酸化炭素量の分析, 土木技術資料, Vol.41, No.11, 1999.11.
- 2) 吉田等, 佐々木隆, 市原裕之, 金子裕司: 混和材がコンクリートダム建設におけるCO₂削減効果に与える影響, 土木学会第56回年次学術講演会, 2001.10.
- 3) 吉田等, 佐々木隆, 町田宗久, 大滝嘉孝: フライアッシュ種置換によるダムコンクリートのCO₂削減効果, ダム技術, No.171, 2000.10.
- 4) 永山ほか: 凍結融解条件がコンクリートの耐久性評価に及ぼす影響, 土木技術資料, 第40-7, pp.5-10, 1998.7.

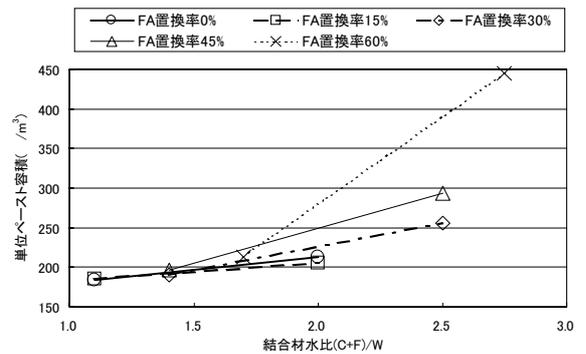


図-1 結合材水比と単位ペースト容積の関係(FA II)

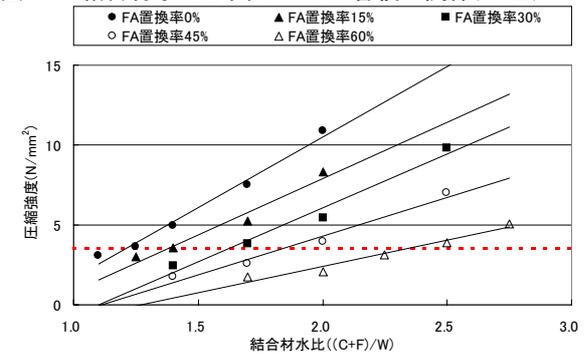


図-2 結合材水比と圧縮強度の関係(FA II)

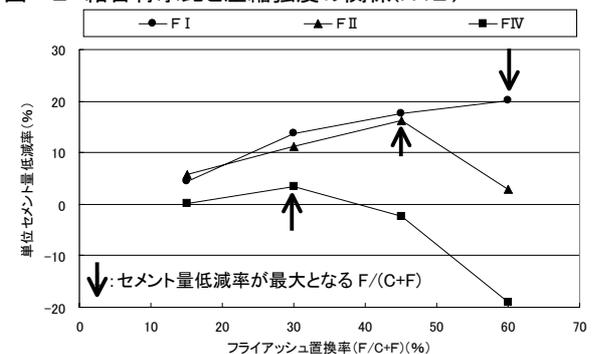


図-3 FA置換率とセメント量低減率の関係

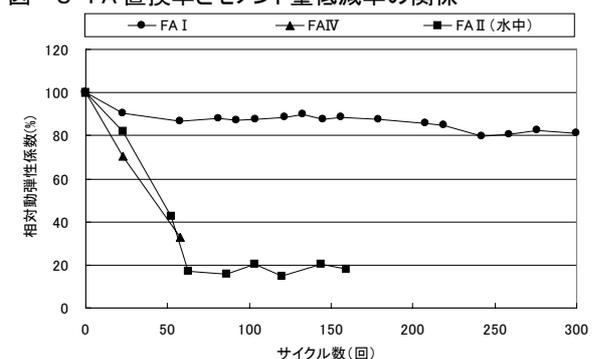


図-4 セメント量低減時の凍結融解試験結果

(セメント量低減率最大の場合)

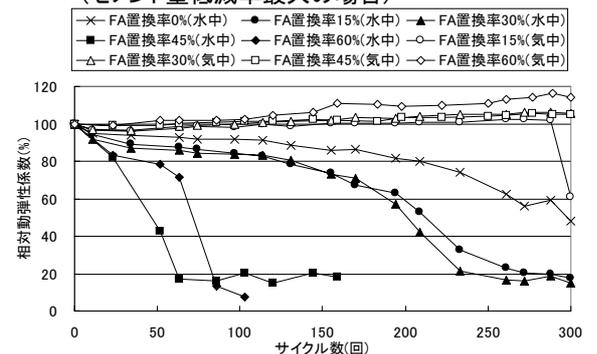


図-5 FA IIにおける凍結融解試験結果((C+F)/W)=2.0