

## 論文 実機プラントで製造したFAⅣ種混入コンクリートのフレッシュ性状

石丸 啓輔<sup>\*1</sup>・橋本 親典<sup>\*2</sup>・山地 功二<sup>\*3</sup>・三岩 敬孝<sup>\*4</sup>

**要旨：**フライアッシュ（FA）Ⅳ種を細骨材代替として用いたコンクリートを秋季および冬季において実機プラントで製造し、主としてフレッシュ性状について、普通コンクリートおよびFAⅢ種混入コンクリートと比較・検討した。さらに、秋季実験では、実構造物施工への適用性を検討した。その結果、FAⅣ種は、FAⅢ種と比較して、同一スランプを得るために必要な混和剤の使用量が少なくなり、経過時間に伴うスランプロスの変動が一定であり、品質管理がしやすいことや、強度発現性状で不利になる冬季では、普通コンクリートと同等のセメント量であれば、凝結特性には問題がないことが明らかになった。  
**キーワード：**フライアッシュⅣ種、経時変化、フレッシュ性状、実構造物施工、品質管理

### 1. はじめに

電力需要の堅調な伸びに伴う供給力確保のための電源開発において、石炭火力発電は重要な位置を占めており、全国各地で計画および建設中である。そのため、副産される石炭灰の発生量もより一層増加する傾向にある。また、地球環境保全に関する社会的要請の高まりと“再生資源の利用の促進に関する法律”の制定（指定副産物としての石炭灰の有効利用の促進）等の社会情勢の変化から、フライアッシュのセメント・コンクリート分野への用途を拡大し、その使用量を増加させることが緊急の課題となっている。

一方、他の地域と比較してコンクリート用骨材として海砂への依存が高い瀬戸内海地域は、近年、生態系や環境保全の観点から海砂の枯渇に対する採取規制を強化する自治体が多く、海砂の供給が困難になる傾向にある。そのため、安定的な供給が可能な海砂代替骨材の1つとして、フライアッシュの利用が期待されている。特に、新たにJIS A 6201“コンクリート用フライアッシュ”にフライアッシュⅢ種（以下、Ⅲ種）とフライアッシュⅣ種（以下、Ⅳ種）が規

格された。

筆者らは、Ⅲ種については平成10年度に、細骨材の一部に代替使用したコンクリートについて普通コンクリートとほぼ同等のフレッシュ性状、初期強度の確保、長期材齢に対する強度の増進および耐久性の向上等の優れた品質改善効果を確認し、現場施工への適用性についても検討を行っており、現在、暴露供試体による長期耐久性について検討中である<sup>1),2),3)</sup>。さらに、Ⅳ種についても試験室レベルでのフレッシュ性状や硬化特性を検討してきた<sup>4)</sup>。

本研究では、Ⅳ種混入コンクリートを実機プラントで、秋季および冬季において製造・出荷し、施工現場までの最大運搬時間60分を想定したフレッシュ性状の経時変化について検討し、平成10年度に実施したⅢ種の実験結果と比較して、Ⅳ種を細骨材代替として使用したコンクリートの特性を明確にする。さらに、秋季においては、平成10年度に実施したⅢ種混入コンクリートの現場施工実験と比較するために、同様な現場施工実験を実施する。なお、平成10年度および今回提供していただいた擁壁工事の現場は、いずれも建設省四国地方建設局徳島工事事務所

\*1 徳島大学技官 工学部建設工学科（正会員）

\*2 徳島大学教授 工学部建設工学科 工博（正会員）

\*3 日本興業㈱開発部 工修（正会員）

\*4 和歌山工業高等専門学校助手 環境都市工学科 工修（正会員）

が発注した徳島県阿南市内の国道55号バイパス橋梁工事である。

表-1 フライアッシュの品質

	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	強熱減量 (%)	フロー 値比(%)
Ⅲ種	2.19	4490	6.45	99
Ⅳ種	2.20	1730	1.60	100

## 2. 試験概要

### 2.1 使用材料

#### (1) セメント

セメントは、A社製の普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm<sup>3</sup>)を使用した。

#### (2) FAおよび骨材

FAの品質と骨材の物理的性質を表-1と表-2に示す。Ⅲ種、Ⅳ種とも四国電力の火力発電所から副産され、Ⅲ種は比表面積がⅡ種と同程度で、強熱減量が5%を越えるもの、Ⅳ種は強熱減量がⅡ種と同程度で、比表面積が小さいものである<sup>5)</sup>。細骨材は、川砂と海砂を7:3の割合で混合したものをを用い、海砂は粒度調整用として使用した。

#### (3) 混和剤

普通コンクリートには実機プラントで使用実績のあるリグニンスルホン酸系のAE減水剤およびAE剤を使用し、Ⅲ種およびⅣ種を用いたコンクリートにはポリカルボン酸系の高性能AE減水剤およびアルキルカルボン酸系のAE剤を使用した。なお、高性能AE減水剤の使用量は、現場到着時でのスランプロスを考慮したプラント製造時の目標スランブを設定し、この目

表-2 骨材の物理的性質

FA種類	骨材種類	産地	最大寸法	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	粗粒率
Ⅲ種	玉碎石	阿南市 下大野町	40mm	2.63	0.75	
	玉碎石		25mm	2.63	0.83	
	川砂		2.63	1.73	3.11	
	海砂	愛媛県越智郡 伯方町東風浜	5mm	2.58	2.20	1.93
Ⅳ種	玉碎石	阿南市 下大野町	40mm	2.63	0.88	6.95
	玉碎石		25mm	2.63	0.83	7.30
	川砂		2.63	1.68	3.19	
	海砂	愛媛県越智郡 伯方町東風浜	5mm	2.58	2.17	1.92

標スランブが得られるように決定した。

### 2.2 コンクリートの配合と製造・運搬方法

#### (1) コンクリートの配合

使用したコンクリートの配合を表-3に示す。なお、種類の「普通」はFAを用いていない普通コンクリートを意味する。「Ⅲ-10%」はⅢ種を全細骨材容積に対し、10%代替使用したものを意味する。以下の表記についても同様である。

呼び強度を保証する材齢を28日とし、コンクリートの呼び強度を18とした。生コンクリート工場で擁壁施工に最も出荷実績の多い普通コンクリートである、粗骨材の最大寸法40mm、目標スランブ8±2.5cm、目標空気量4.5±1.5%の普通コンクリートを基準とし、Ⅲ種混入コン

表-3 コンクリートの配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							高性能 AE 減水剤	AE剤
			水 W	セメント C	細骨材			粗骨材			
					Ⅲ・Ⅳ 種FA	川砂	海砂	25-5 mm	40-20 mm		
普通	62.0	42.7	146	235	0	573	246	775	332	C×1.0%*	4.5A
Ⅲ-10%	66.4	40.7	154	232	65	487	209	794	340	C×1.6%	13A
Ⅲ-20%	66.5	38.7	151	227	124	414	177	826	354	C×2.1%	15A
Ⅳ-10%	66.4	40.7	154	232	65	487	209	794	340	C×0.4%	13A
Ⅳ-20%	66.5	38.7	151	227	124	414	177	826	354	C×1.0%	15A

注)\*印は、AE減水剤

クリートの配合選定を行った。Ⅲ種とⅣ種の代替率は、普通コンクリートを基準に0、10および20%と設定し、最適細骨材率は試験練りで決定した。FAの種別による相違点を検討するため、Ⅳ種混入コンクリートの最適細骨材率はⅢ種混入コンクリートと同じとした。その結果、比表面積と強熱減量がともに小さいⅣ種では、高性能AE減水剤の使用量がⅢ種の約半分程度となる。

なお、秋季と冬季で混和剤の使用量は同じである。

## (2) コンクリートの製造

コンクリートの練混ぜは、強制練り2軸ミキサ（容量 1.0m<sup>3</sup>）を用いて行った。使用材料はコンピューターによる自動計量を行い、25秒間でミキサに投入し、普通コンクリートの練混ぜ時間は、実機プラントで製造する通常のコンクリートと同様に45秒間とした。一方、FA混入コンクリートの練混ぜ時間は、FAによる粉体総量の増加のため、120秒間とした。

## (3) トラックアジテータ車による運搬

経過時間に伴うフレッシュ性状の品質変化を検討するために、現場施工に要する運搬時間を考慮して、生コンプラントで製造したコンクリートをトラックアジテータ車で30分間市中運搬し、別の生コンプラント内の実験室まで運搬しフレッシュ性状を測定し、到着後さらに30分間攪拌した。その後、フレッシュ性状を測定し試験用試料を採取した。

実構造物の施工実験では、生コンプラントで練り上がったコンクリートを20数秒で運搬車へ積み込み、生コンプラントから施工現場までトラックアジテータ車によって運搬した。現場までの運搬時間は約60分を要した。現場到着後、攪拌を行い、コンクリートを排出し、現場擁壁への打ち込みおよび試験用の試料を採取した。

## (4) 施工期間および条件

経過時間に伴うフレッシュ性状変化の実験日とコンクリート温度および現場擁壁の施工期間を表-4にまとめて示す。Ⅲ種混入コンクリー

表-4 実験実施日一覧

種類	時期	フレッシュ性状変化実験		現場擁壁の施工実験
		実施日	C-T* (°C)	
普通	秋季	H.10/9/17	26.0~26.0	H.10/10/2 ~23
Ⅲ-10%		H.10/9/9	26.5~26.5	
Ⅲ-20%		H.10/9/11	27.5~29.0	H.12/10/16 ~17
Ⅳ-10%		H.12/10/6	24.0~25.0	
Ⅳ-20%	H.12/10/10	25.0~26.0		
普通	冬季	H.11/2/18	9.5~11.0	
Ⅲ-10%		H.11/2/10	9.0~11.0	
Ⅳ-10%		H.12/12/14	10.0~11.5	

注) \*印は、練上り直後から60分経過時点の最大と最小を意味する。

トの現場擁壁への打設は、Ⅲ-10%を75m<sup>3</sup>、Ⅲ-20%を3m<sup>3</sup>打設した。アジテータ車の出荷台数は、Ⅲ-10%で13台、Ⅲ-20%で2台であった。Ⅳ種混入コンクリートの現場擁壁への打設は、Ⅳ-10%を14m<sup>3</sup>、Ⅳ-20%を1m<sup>3</sup>打設した。アジテータ車の出荷台数は、Ⅳ-10%で7台、Ⅳ-20%で1台であった。

## 2.3 試験項目および試験方法

### (1) フレッシュ性状に関する試験

生コンプラントでの練り上がり直後および所定の経過時間において、スランプ試験（JIS A 1101）、空気量試験（JIS A 1128）およびコンクリート温度測定を行った。経過時間に伴う品質変化の検討では、ブリーディング試験（JIS A 1123）と、貫入抵抗試験装置を用いたコンクリートの凝結時間試験（コンクリート用化学混和剤（JIS A 6204）付属書1）を行った。

### (2) 圧縮強度試験および引張強度試験

圧縮強度試験は、φ12.5×25cm円柱供試体を20℃標準養生し、すべての配合のコンクリートについて材齢7日および28日でJIS A 1108に準拠して行った。引張強度試験においても圧縮強度試験同様、JIS A 1113によって行った。

### (3) 乾燥収縮試験

コンクリートの乾燥収縮の測定は、15×15×53cmはり供試体を用い、JIS A 1129“モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法”に準拠して行った。材齢7日まで20±1℃の水中養生を行い、以後気中養生（温度20±1℃、相対湿度60±5%）に移し、所定の材齢までの乾燥収縮による長さ変化率（%）を測定した。

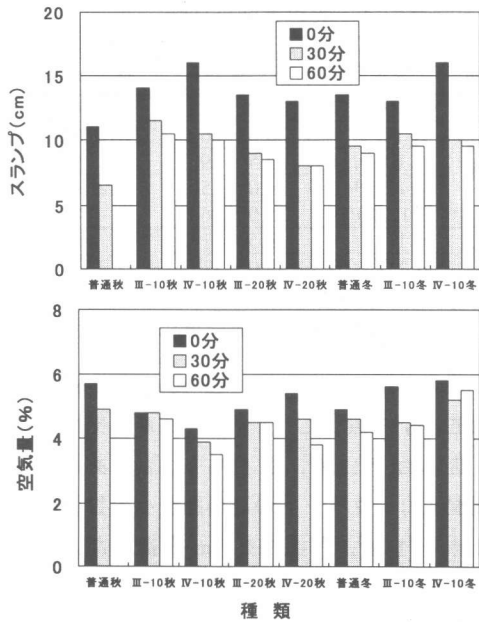


図-1 フレッシュ性状の経時変化

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 フレッシュ性状

各種コンクリートのスランプおよび空気量の0~60分までの経時変化を図-1に示す。なお、普通コンクリート秋の60分の実験データは無い。

IV-10%冬の30分のスランプロスが最も大きい。FAの種類・代替率に関係なく、普通コンクリートとほぼ同程度のスランプロス量である。空気量の経時変化においては、IV-20%秋とIII-10%冬は低下が他よりも大きい傾向にあるが、FAの種類・代替率に関係なく、すべて目標空気量  $4.5 \pm 1.5\%$  を満足する。また、60分間のトラックアジテータ車によるコンクリートの運搬には今回の配合であれば何ら問題はないと思われる。

図-2に、冬季のコンクリートに関するブリーディング試験結果を示す。普通コンクリートと比較して、FA粒子の保水性の影響で、FA混入コンクリートはブリーディング量が少ないが、IV種よりIII種の方が比表面積が大きいため保水能力が高くブリーディング量がより少ない。表面ならし等の作業性はIV種の方が有利である。

図-3に、冬季のコンクリートに関する凝結

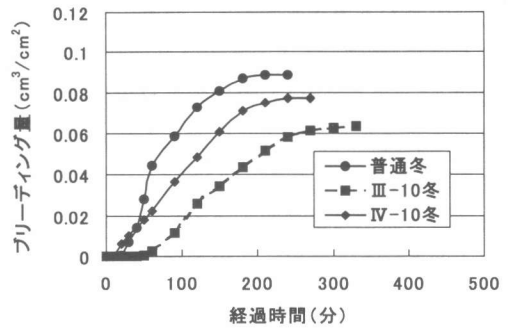


図-2 ブリーディング試験結果

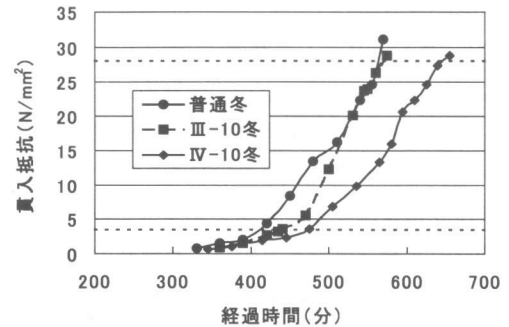


図-3 凝結特性の試験結果

特性の試験結果を示す。冬季の打込みに不利とされるFA混入コンクリートではあるが、普通コンクリートと同等のセメント量を用いれば、凝結特性は普通コンクリートとほぼ同程度であり、冬季打設も十分可能である。

#### 3.2 硬化特性

20℃標準養生下での材齢7日、28日および91日における圧縮強度と引張強度を図-4に示す。FA混入コンクリートの強度は、普通コンクリートと比較して、代替率および材齢の増加に伴い高い強度発現性を示す。FAの微粉末効果による強度増加であり、材齢が長期になるにつれてポゾラン反応の進行による強度増進が確認できる。FAの種類による強度発現の差はない。また、季節による違いもほとんどなく、III-10%、IV-10%ともに冬季のコンクリートは、呼び強度18を満足する。

図-5は、秋季の乾燥収縮試験結果を示す。若干ではあるが、単位水量が  $146 \text{kg/m}^3$  で最も少ない普通コンクリートよりも、FA混入コン

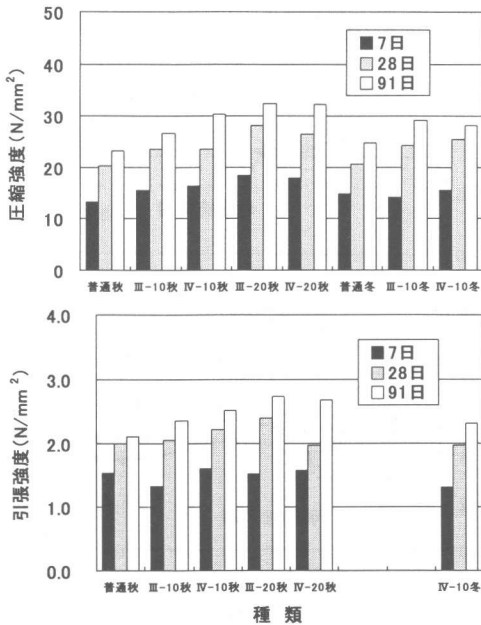


図-4 強度試験結果

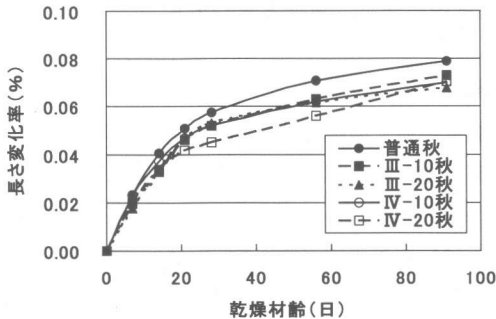


図-5 乾燥収縮試験結果

リートの方が収縮量が小さい。ポゾラン反応による緻密化のためと思われる。FAの種別の影響はほとんど見られない。

### 3.3 秋季の現場施工実験におけるコンクリートの品質変動

FAを10%代替使用したコンクリートのスランプおよび空気量の経時変化としてプラント製造時と現場施工時における値を図-6に示す。ただし、図中の横線は目標値(中心線)および許容値(上下の点線)を表す。

FAの種別に関係なく、現場施工時におけるスランプのばらつきは $8 \pm 2.5$ cmの範囲内である。III種はスランプロスが各バッチで大きく変動す

る。これに対して、IV種は各バッチ間のスランプロスの変動が小さく、スランプの経時変化による低下量が常に一定である。また、空気量では、III種はプラント製造時と現場施工時の差がほとんどないのに対し、IV種は現場施工時で0.5~1%程度の低下が認められる。したがって、IV種の場合、低下する空気量を見込んでプラント製造時の目標空気量を設定する必要がある。

図-7に、FAを10%代替使用したコンクリートの圧縮強度の変動状態を示す。ただし、図中の横線は平均値(中心線)、 $3\sigma$ 限界(上下点線)と $2\sigma$ 限界(上下破線)を表す。なお、 $\sigma$ は試験値の標準偏差である。

III種よりもIV種の方が、変動係数が小さく、すべての測定値が $3\sigma$ 管理限界内にあり良好である。III種の場合、空気量の変動が大きいため、変動係数が大きくなったと考えられる。しかし、FAの種別に関係なく、圧縮強度の試験結果は品質条件(呼び強度18)を満足している。

## 4. まとめ

秋季と冬季において、FA III種およびIV種混入コンクリートを実機プラントで製造・出荷し、実構造物施工実験を行い、FAの種別がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響について検討した。その結果、同一スランプを得るために必要な高性能AE減水剤の使用量がIV種はIII種の半分程度になり、IV種混入コンクリートは、スランプロスの変動が一定で、空気量の変動も抑制され、現場施工において品質管理がしやすいことが明らかになった。また、初期強度発現性状で不利になる冬季でも、セメント量を確保することにより普通コンクリートと同等の凝結特性を示すことが明らかになった。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、建設省四国地方建設局の技術活用パイロット事業の一環として現場施工の提供を受けました。四国技術事務所ならびに徳島工事事務所に対し、深く感謝の意

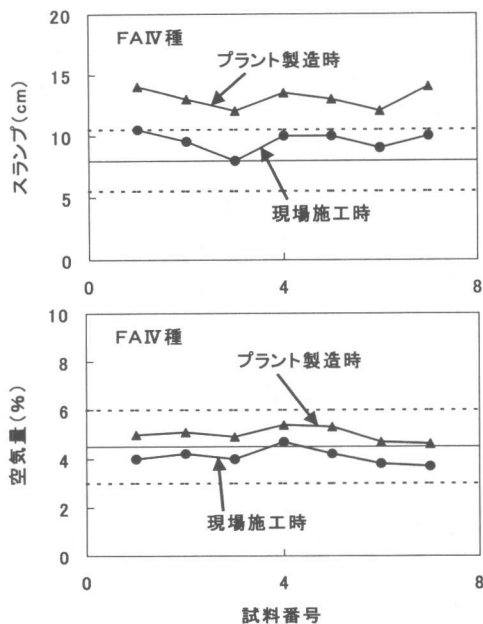
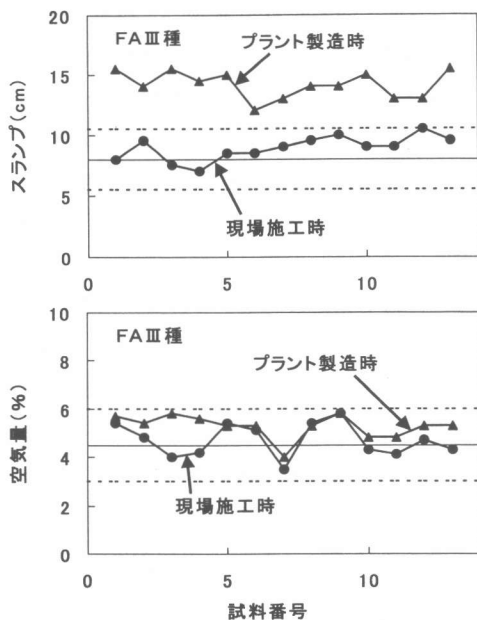


図-6 フレッシュ性状の品質変動

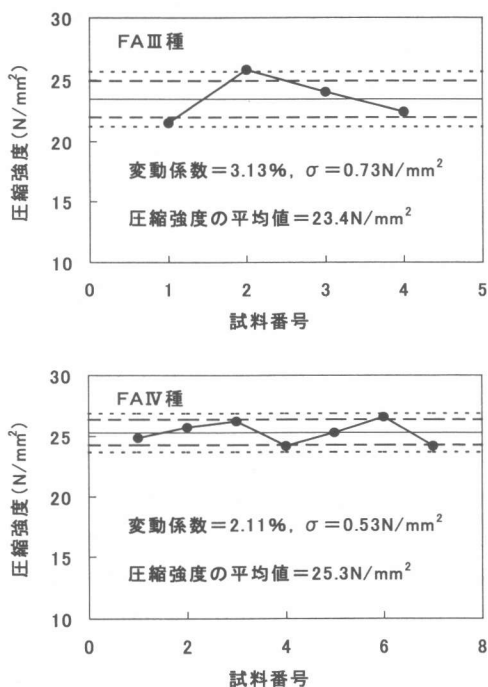


図-7 強度特性の品質変動

を表します。また、生コンクリート製造の実機プラントの提供に関しては、徳島県生コンクリート工業組合・阿南生コンクリート工業(株)の横手晋一郎氏、黒田 力氏らのご協力を受けまし

たことを付記し、謝辞と致します。

参考文献

- 1) 橋本親典, 加藤誠三, 黒田 力: 生コン工場に製造したⅢ種フライアッシュ混入コンクリートの諸性質, 第10回(1999年)生コン技術大会研究発表論文集, pp. 17-22, 1999. 4
- 2) 橋本親典, 山地功二, 横手晋一郎: Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートの実構造物施工, 第10回(1999年)生コン技術大会研究発表論文集, pp. 23-28, 1999. 4
- 3) 馬越唯好, 橋本親典, 山地功二: Ⅲ種フライアッシュを多量に用いたコンクリートの実構造物施工, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, pp. 139-144, 1999. 6
- 4) 山地功二, 橋本親典, 水口裕之, 石丸啓輔: Ⅲ種およびⅣ種フライアッシュの性状がコンクリートの諸性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 103-108, 2000. 6
- 5) 土木学会: フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案), コンクリートライブラリー-94, pp. 3-6, 1999. 4