

報告 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

馬越 唯好*¹・橋本 親典*²・山地 功二*³

要旨：Ⅲ種フライアッシュをコンクリートに有効利用するために、増量材として細骨材の一部に代替使用する研究が進められているが、実構造物への施工報告は皆無に等しい。本研究は、生コン工場の実機プラントでⅢ種フライアッシュを多量に用いたコンクリートを製造・出荷し、現場における実構造物施工を行うとともに、フレッシュおよび硬化コンクリートの品質について検討を行った。その結果、スランプおよび空気量の経時変化による影響を考慮し、生コン工場において使用材料および配合等の品質管理を十分行えば、品質の優れた構造物を施工できることがわかった。

キーワード：Ⅲ種フライアッシュ、多量使用、実構造物施工、フレッシュ性状、圧縮強度

1. はじめに

電力需要の堅調な伸びに伴い、供給力確保のための発電所の建設が推進されている。電源別では、オイルショック以降、電源の多様化が図られ、石炭火力が再び脚光を浴びようになった。総合エネルギー政策の中で、石炭火力は原子力とならぶ石油代替エネルギーの重要な柱として位置づけられており、今後、石炭火力発電所が増設され、それに伴い副産物である石炭灰の発生量が大幅に増大することが予想されている。そこで、石炭灰を大量に有効利用する技術の確立が急務の課題となっている。

一方、良質のコンクリート用骨材の枯渇化が問題となりつつあり、細骨材は川砂よりも劣る海砂、砕砂等が主に使用されている。しかし、海砂の採取に伴う環境問題、採取規制および天然資源の枯渇化等から供給量に限界があり、これらに代わる材料が求められている。

これらの情勢から、石炭火力発電所から排出されるⅢ種フライアッシュを増量材として砂の一部に代替して使用することが考えられ、今後の重要な研究課題となっている^{1)・2)}。

Ⅲ種フライアッシュをコンクリート材料として多量に使用することは、未利用資源の有効利用になるとともに、産業廃棄物の発生量を抑制することにより、環境負荷の軽減に寄与することにもなる。

筆者らは、Ⅲ種フライアッシュを細骨材の一部に代替使用したコンクリートについて室内基礎実験を行い、普通コンクリートよりも高い良好な初期強度の確保、長期強度の増進、耐久性の改善、水密性の向上等の優れた品質改善効果があることを確認している¹⁾。また、フレッシュコンクリート性状の経時変化の傾向についても把握している²⁾。

本研究では、Ⅲ種フライアッシュを多量に用いたコンクリートを生コン工場で製造し、現場施工への適用性を確認した後、道路擁壁工事の施工を行ったので、その結果を報告する。

2. 実施工に適用した構造物

徳島県阿南市において建設省四国地方建設局徳島工事事務所が建設中の道路用擁壁工事に適用し、平成10年10月に約90m³を打設した。

*1 (株)四国総合研究所 土木技術部副主席研究員 工博 (正会員)

*2 徳島大学教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)

*3 徳島大学助手 工学部建設工学科 工修 (正会員)

表-1 使用材料

材 料	種 類	物 性 等
セメント	普通ポルトランドセメント	比重:3.15, 28日圧縮強さ:57.6N/mm ²
粗骨材	玉碎石 4020	徳島県阿南市下大野町産, 比重:2.63, 吸水率:0.75%
	玉碎石 2505	徳島県阿南市下大野町産, 比重:2.63, 吸水率:0.83%
細骨材	川 砂	徳島県阿南市下大野町産, 比重:2.63, 吸水率:1.73%, F.M.:3.11
	海 砂	愛媛県越智郡伯方町産, 比重:2.58, 吸水率:2.20%, F.M.:1.93
フライアッシュ	Ⅲ種フライアッシュ	比重:2.19, 比表面積:4490cm ² /g, 強熱減量:6.45%
混和剤	A E減水剤*	リグニンスルホン酸系
	高性能A E減水剤	ポリカルボン酸系
	A E剤	アルキルカルボン酸系

注) *印は、普通コンクリートに使用した。

3. 実機プラントを使用した事前試験

3.1 使用材料

使用した材料の種類、物性等を表-1に示す。細骨材は川砂および海砂を7:3の割合で混合したものを用いた。なお、海砂は粒度調整用として使用した。

Ⅲ種フライアッシュは、四国の石炭火力発電所で副産されたものを増量材として細骨材の一部に代替使用した。

3.2 コンクリートの配合と試験方法

(1) コンクリートの配合

実機プラントを使用したコンクリートの配合

は、生コンクリート工場以最も出荷実績の多い配合をベースに呼び強度18および21N/mm²、粗骨材の最大寸法40および25mmとし、目標スランプ8±2.5cm、目標空気量4.5±1.5%と設定した。また、増量材として用いるⅢ種フライアッシュの細骨材の容積に対する代替率は0、10および20%と設定し、それぞれについて最適細骨材率を選定して配合修正を行った。

以下、“呼び強度-スランプ-粗骨材の最大寸法(Ⅲ種フライアッシュの代替率)”と略記する。使用したコンクリートの配合を表-2に示す。

表-2 コンクリートの配合

配合種別	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							高性能 A E 減水剤	A E剤
			水 W	セメント C	細骨材			粗骨材			
					川砂	海砂	Ⅲ種 フライアッシュ	2505	4020		
18-8-40(0)	62.0	42.7	146	235	573	246	0	775	332	C×1.0%*	4.5A
18-8-40(10)	66.4	40.7	154	232	487	209	65	794	340	C×1.6%	13A
18-8-40(20)	66.5	38.7	151	227	414	177	124	826	354	C×2.1%	15A
21-8-25(0)	56.0	43.2	153	273	565	242	0	1069	0	C×1.0%*	3.5A
21-8-25(10)	59.8	40.2	158	264	473	203	63	1122	0	C×1.5%	15A
21-8-25(20)	59.7	40.2	160	268	419	179	125	1117	0	C×2.0%	15A

注) *印は、A E減水剤

(2) コンクリートの製造

コンクリートの練混ぜは、重力式の傾胴2軸ミキサ（容量1.0m³）を用いて行った。使用材料はコンピュータによる自動計量を行い、25秒間でミキサに投入し、Ⅲ種フライアッシュを使用したコンクリートで120秒間、普通コンクリートで45秒間練混ぜて製造した。

(3) 試験項目および試験方法

(a) スランプ・空気量試験

スランプ試験（JIS A 1101）および空気量試験（JIS A 1128）を行い、混和剤の使用量により、スランプおよび空気量を所定の目標値になるよう調節した。その後、スランプ・空気量の経時変化について測定を行った。

(b) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、φ12.5×25cmおよびφ10×20cmの円柱供試体を水中養生し、すべての配合のコンクリートについて材齢7日、28日および91日でJIS A 1108に準拠して行った。

(c) 凍結融解試験

凍結融解試験は、材齢28日まで標準養生を行った供試体を用いて、JSCE-G501-1986に準拠して、水中急速凍結融解試験法により300サイクルまで所定のサイクルで動弾性係数を測定した。

(d) 透水試験

透水試験は、材齢21日まで標準養生を行った後、7日間気中養生したφ15×30cmの中空円筒供試体を用い、アメリカ開拓局のインプット法に準じて実施した。供試体に水圧0.98N/mm²を24時間加えた後、水の平均浸透深さを測定して、コンクリート中の水の拡散係数を求めた。

3.3 試験結果および考察

(1) スランプおよび空気量の経時変化

Ⅲ種フライアッシュを用いた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～図-4に示す。スランプの経時変化において18-8-40は、代替率10%のスランプロスが幾分小さく、21-8-25は代替率10%が幾分大

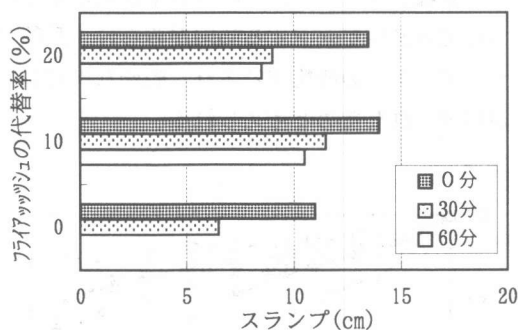


図-1 配合18-8-40のスランプの経時変化

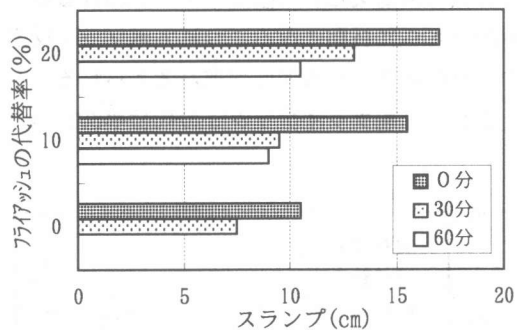


図-2 配合21-8-25のスランプの経時変化

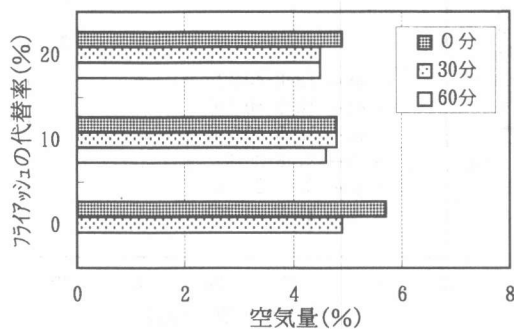


図-3 配合18-8-40の空気量の経時変化

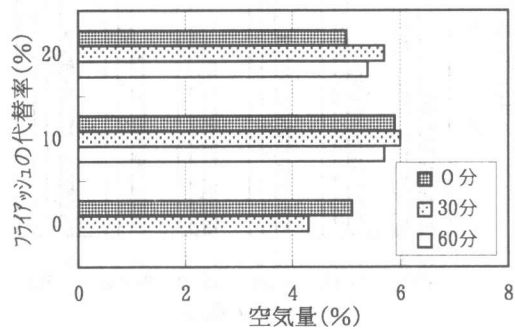


図-4 配合21-8-25の空気量の経時変化

きいが、代替率0%と20%は大差なく、Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートは普通コンクリートとほぼ同程度の経時変化を示すといえる。また、空気量の経時変化については、普通コンクリートと同様に空気量の低下傾向はほとんどなく、逆に21-8-25(10, 20)の配合のコンクリートでは、多少増加する結果となった。練混ぜ性能の良好なミキサで120秒間練混ぜを行ったが、AE剤の効果の発現が多少遅延したものと考えられる。なお、今回の配合であれば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問題はないと思われた。

(2) 圧縮強度

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を図-5に示す。

Ⅲ種フライアッシュを使用したコンクリートの圧縮強度は、普通コンクリート(18-8-40(0), 21-8-25(0))と比較して、代替率および材齢の増加に伴い非常に高い強度発現を示しており、強度増進率も非常に良好である。フライアッシュの微粉末効果による強度増加と思われるが、材齢がさらに長期になるにつれてポゾラン反応の進行による一層の強度増進が考えられる。

また、Ⅲ種フライアッシュの代替率20%のコ

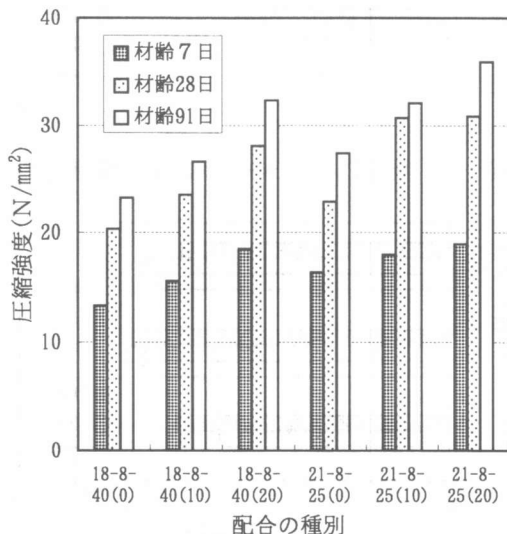


図-5 配合の種類と圧縮強度との関係

ンクリートにおいては、呼び強度の約1.5倍の強度発現があり、経済性を考慮すると単位セメント量を低減することが可能である。

(3) 耐凍害性

凍結融解試験の結果について、各サイクル時の相対動弾性係数を図-6に示す。

300サイクル終了時における相対動弾性係数は、Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートの方が普通コンクリートよりも高い値となる傾向がみられた。この結果より、Ⅲ種フライアッシュを細骨材の一部に代替して多量に使用することにより、コンクリートの耐凍害性は改善されることを確認した。

(4) 水密性

透水試験を行った結果として、コンクリート中の水の拡散係数を求めて配合の種別との関係を図-7に示す。

これより、Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートは普通コンクリートよりも拡散係数が小さく、水密性が高くなることを確認した。また、Ⅲ種フライアッシュの代替率が増加するにつれて水密性が向上する傾向がみられ、Ⅲ種フライアッシュの微粉末により、緻密な内部組織が形成されたためと考えられる。

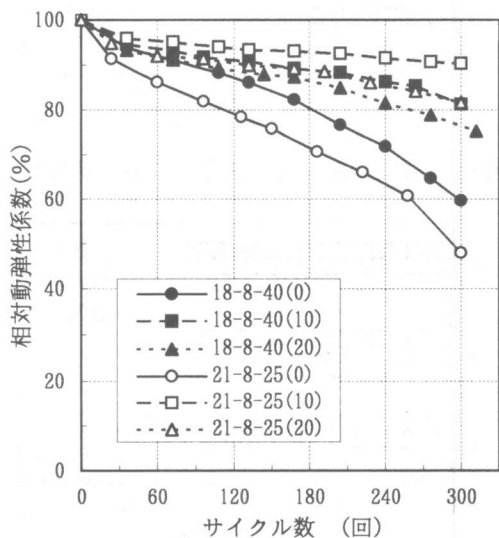


図-6 凍結融解サイクルと相対動弾性係数との関係

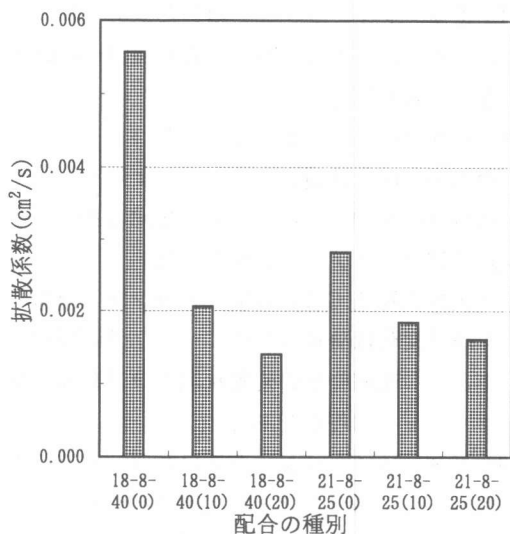


図-7 配合の種別と拡散係数との関係

4. 実施工

実施工では、表-2の配合のうち、18-8-40(10)と18-8-40(20)を用いた。

4.1 フレッシュコンクリートの品質

Ⅲ種フライアッシュを10%代替使用したコンクリートの打設に関しては、ほぼ普通コンクリートと同様に容易に施工することが可能であった。また、表面仕上げについては、ブリーディング水はやや少ないものの円滑に行えた。一方、Ⅲ種フライアッシュを20%代替使用したコンクリートについては、ブリーディング水がほとんどなく、表面仕上げがやや困難であった。

Ⅲ種フライアッシュを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普通コンクリートとともに図-8と図-9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。

Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートは、スランプのばらつきが少なく、スランプの経時変化による低下が平均で5.3cm程度となった。

また、空気量は平均で0.3%とあまり低下しない結果となった。これは、今回使用した高性能AE減水剤およびAE剤とⅢ種フライアッシュ

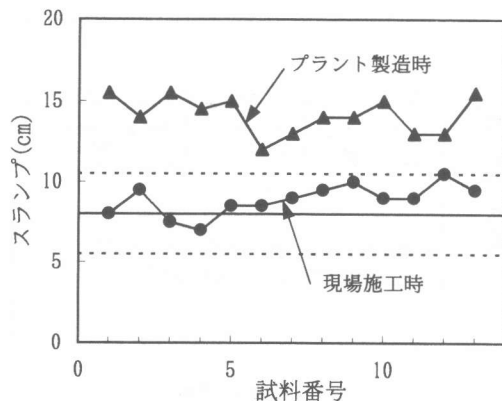


図-8 18-8-40(10)のスランプの変動状況

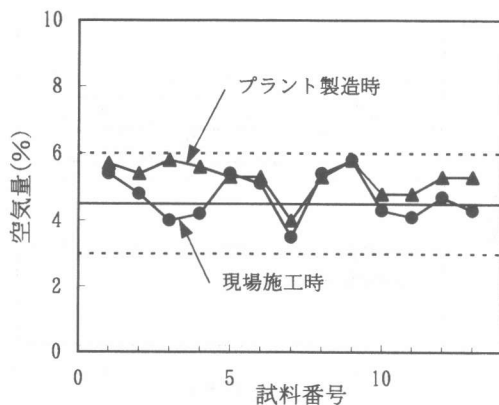


図-9 18-8-40(10)の空気量の変動状況

の相性が良いためであったと考えられる。また、Ⅲ種コンクリートを20%代替使用したコンクリートにおいてもほぼ同様の結果であった。

4.2 硬化コンクリートの品質

Ⅲ種コンクリートを10%代替使用したコンクリートおよび普通コンクリートの圧縮強度の変動状況を図-10および図-11に示す。ただし、図中の横線は平均値（中心線）、3σ限界（上下点線）および2σ限界（上下破線）を表す。

Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートは、普通コンクリートよりも変動係数はやや小さく、管理限界値内に入っており、普通コンクリートとほぼ同程度の管理で十分であることがわかった。また、圧縮強度の試験結果は品質条件を満足している。

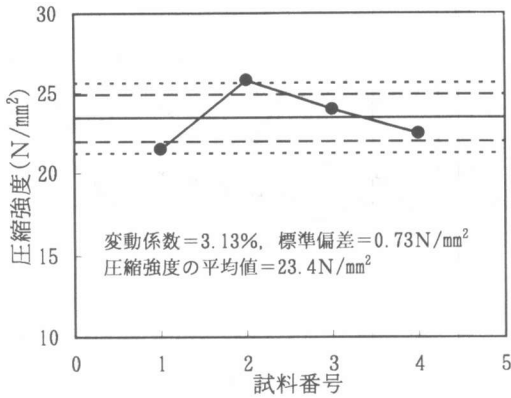


図-10 18-8-40(10)の圧縮強度の変動状況

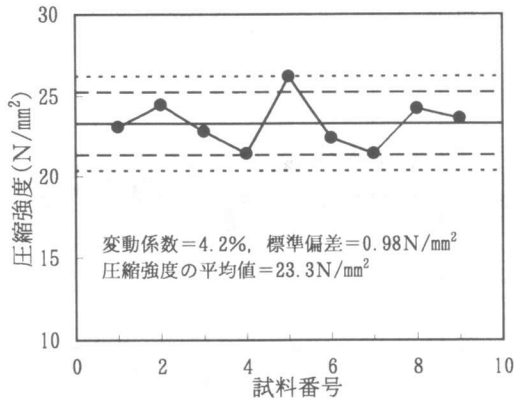


図-11 18-8-40(0)の圧縮強度の変動状況

5. まとめ

Ⅲ種フライアッシュのコンクリートへの有効利用を目的に、生コン工場の実機プラントでⅢ種フライアッシュを主に細骨材の置換材として多量に用いたコンクリートを製造し、フレッシュおよび硬化コンクリートの品質について確認した後、実構造物として道路擁壁の現場施工を行った結果について次のことがいえる。

- (1) Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートのスランプおよび空気量の経時変化は、普通コンクリートとほぼ同程度であり、管理に特別の配慮を必要としない。
- (2) Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度は、代替率および材齢が増加するにつれて高い強度発現を示す。

- (3) Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートは、普通コンクリートよりも耐凍害性は改善される傾向にある。
- (4) Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートの水密性は、普通コンクリートよりも高く、代替率の増加に伴い向上する傾向にある。
- (5) 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において、スランプ・空気量の経時変化は普通コンクリートとほぼ同程度であり、圧縮強度の変動状況もほぼ普通コンクリートと同程度である。
- (6) Ⅲ種フライアッシュを用いたコンクリートの施工は、スランプ・空気量の経時変化による影響を考慮し、生コン工場において使用材料および配合の品質管理を十分行えば、普通コンクリートと同様に行うことができる。

以上の本研究で得られた成果が、今後、同種の現場施工に対して多少なりとも参考になればと考える。

謝辞

本研究の一部は、(社)四国建設弘済会の建設事業の技術開発に関する平成9年度助成「石炭灰、特に非J I S灰を多量に有効利用したコンクリートの実構造物施工」(助成番号H9-02)により行われたものである。現場施工に関しては、建設省四国地方建設局徳島工事事務所ならびに四国技術事務所には、多大なご協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 馬越唯好, 河野 清, 山地功二, 川崎真治 : 非J I S灰を細骨材の一部に代替したコンクリートの耐久性, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19, No.1, pp.349~354, 1997.6
- 2) 馬越唯好, 濱崎 修 : 非J I S灰を細骨材の一部に代替したコンクリートの性質, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20, No.2, pp.133~138, 1998.6