フライアッシュを使用したレディーミクストコンクリートの利用に関する実態調査

INVESTIGATION OF USES OF READY MIXED CONCRETE USING FLY ASH

成田 健 —*1 船本憲治 —*2
小川 浄 —*3 本田靖博 —*4
高田進治 —*5 嵩 英雄 —*6

Takeshi NARITA —*1 Kenji FUNAMOTO —*2
Kiyoshi OGAWA —*3 Yasuhiro HONDA —*4
Shinzi TAKADA —*5 Hideo KASAMI —*6

キーワード：
フライアッシュ, レディーミクストコンクリート, 利用実態調査, 設計, 施工, 流通

Keywords:
Fly-ash, Ready mixed concrete, Investigation of uses, Design, Construction, Distribution

In Japan, approximately 9.24 million tons of coal ash is now produced from thermal power plants, and the amount is estimated to exceed 11.4 million tons in fiscal 2013. But, the uses for concrete mixture are very limited. In this study, in order to understand the obstructive factors, we investigated uses of ready mixed concrete using fly ash. As a result, we obtained the useful information for design, construction and distribution of ready mixed concrete using fly ash.

1. はじめに

石炭灰の発生量は、2002年度が924万トンであり¹⁾、2013年度には約1,140万トンと今後着実に増加することが予想されており²⁾、産業廃棄物の有効利用及び地球環境保全の観点から、石炭灰の更なる有効利用が重要な問題となっている。

石炭灰のセメント・コンクリート分野における有効利用としては、セメント原料材（主に粘土代替利用）が最も多く、セメント混合材（フライアッシュセメント用、普通ポルトランドセメントの少量混合材（5%以下））、コンクリート混和材（レディーミクストコンクリート用混和材料）と続く。しかし、1994年度に全有効利用の82%を占めていたセメント原料材が2000年度には89%以上にも増加しており³⁾、今後のセメント需要の推移を考慮すると、セメント又はコンクリート混合材としての石炭灰の更なる有効利用が求められている。

フライアッシュ（以下、FAと略記）は、フレッシュコンクリートのワーカビリティの改善、単位水量の低減、ポゾラン反応による長期強度の増進、水和熱の低減などが期待できる。さらに、アルカリシリカ反応に関しても、無害と判定されない骨材を使用する場合のアルカリシリカ反応抑制対策としての使用効果も期待されている。

しかし、現在、FAコンクリートは電力関連工事以外ではほとんど使用されていないのが現状である。

そのような状況のなか、電力10社による電力共同研究「FAコンクリートの建築構造物への適用に関する研究」を、2002～2004年度に、(社)日本建築学会「FAコンクリート研究小委員会」（主査：嵩英雄工学院大学教授）が受託実施しており、本報告は、その委員会の中に設置された「事例研究・普及ワーキンググループ」で実施したものである。

図1 FAコンクリートの工場年間出荷量

図2 使用FAの種類

図3 使用セメントの種類

図4 FA置換率

*1 東北電力㈱研究開発センター 主幹研究員
(〒981-0952 宮城県仙台市青葉区中山7-2-1)
*2 九州高圧コンクリート工業㈱技術部 次長・博士(工学)
*3 四国電力㈱土木建築部建築技術グループ
*4 北海道電力㈱土木建築部建築統括グループ 副主幹
*5 日本フライアッシュ協会
*6 工学院大学工学部建築学科 教授・工博

*1 Research & Development Center, Tohoku Electric Power Co., Inc.
*2 Kyushu Kousatsu Concrete Industries Co., Ltd., Dr. Eng.
*3 Shikoku Electric Power Co., Inc.
*4 Hokkaido Electric Power Co., Inc.
*5 Japan Fly Ash Association
*6 Prof., Dept. of Arch., Kogakuin Univ., Dr. Eng.

図5 サイロや配管でのFA閉塞

図6 FAコンクリートの練混ぜ時間

図7 FAによる流動性改善効果

図8 表面仕上り状況

表1 FAコンクリートの品質変動

	変動は無混入と同じ	変動は大きい問題無し	変動が大きい注意が必要	変動が大きい対応が必要
スランプ	56%	13%	31%	0%
空気量	13%	13%	43%	31%
強度	56%	44%	0%	0%

2. アンケート調査の概要

FAコンクリートの利用実態を把握し、FAコンクリートの利用促進に関する阻害要因を抽出する目的で、レディーミクストコンクリート工場・施工会社・設計事務所に対して、文書によるアンケート調査を実施した。なお、レディーミクストコンクリート工場におけるコンクリートは、土木用と建築用の区別はしていない。

レディーミクストコンクリート工場は、FAコンクリートの実績があることを前提とし、四国地区(6社)・中部地区(4社)・九州沖縄地区(4社)・関東地区(1社)・北陸地区(1社)の合計16工場とした。施工会社は、FAコンクリートの実績があることを前提とし、大手・準大手ゼネコンの合計8社とした。また、設計事務所は、一般の大手設計事務所6社とした。なお、回答はすべての30社から回収でき、以下、分析を行った。

3. アンケート調査結果

3.1 レディーミクストコンクリート工場に対するアンケート

(1) 製造設備及びコンクリートの仕様

平成14～15年度におけるFAコンクリートの一工場当りの年間出荷量を図1に示す。FAコンクリートの工場年間出荷量は、今回、FAコンクリートの実績がある工場だけのデータであるが、全コンクリート出荷量の約10%程度となっている。

工場に設置されているサイロの数は、3基が33%、4基が54%、5基以上が13%となっており、常時貯蔵しているセメントの種類は、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメントB種がほとんどである。

FAの供給方法は、ジェットバック車が93%、袋詰めが7%であり、貯蔵方法としては、専用サイロが79%、セメントサイロ仮使用が7%、直接投入が14%となっている。

FAコンクリートの使用材料及び仕様に関する結果を図2～図4に示す。

使用FAは、JISⅡ種が62%と多く、次いで、Ⅰ種が25%、Ⅳ種が13%となっており、Ⅲ種及びJIS外は使用されていない。

図9 利用されない理由

図10 実績が伸びない理由

工場で使用したセメントは、普通ポルトランドセメントが48%、高炉セメントB種が24%と多く、次いで、早強ポルトランドセメント及びFAセメントB種が12%、FAセメントA種が4%となっている。また、工場で使用したセメントのFA置換率は、10～20%が59%、5～10%が26%と多く、その他はわずかとなっている。

呼び強度は、24N/mm²が20%、27N/mm²が19%、18N/mm²・21N/mm²・30N/mm²が各20%とばらついており、最大40N/mm²となっている。一方、水結合材比は、50～55%が30%、55～60%が25%、45～50%が16%、40～45%が11%となっている。

なお、FA使用がセメントの内割か、外割かの設問に対しては、内割使用63%、外割使用31%、併用6%となったが、これは、今回の調査対象が四国地区の割合が多く、同地区の土木分野において外割で解説した文献⁴⁾が普及しつつあることが影響していると思われる。

(2) コンクリートの製造

コンクリートの製造における結果を図5～図7に示す。

FAのサイロや配管での閉塞に関しては、無しが60%、時々あったが即対応できたが20%と多かったが、一方で、時々あったが13%、多々あったが7%存在した。

FAコンクリートの練混ぜ時間に関しては、無混入と同じが81%、長い問題無しが19%で、特に問題とはなっていない。また、FAの流動性改善効果に関しては、68%が効果があると回答している。

(3) コンクリートの品質

FAコンクリートの品質変動に関する結果を表1に、表面仕上り状況に関する結果を図8に示す。

スランプの変動に関しては、無混入と同じが56%、変動は大きい問題無しが13%となっているが、一方で、変動が大きい注意が必要も31%存在している。

空気量の変動に関しては、変動が大きい注意が必要が43%と最

図 11 FAによる流動性改善効果

図 12 FAコンクリートのポンプ圧送性

図 13 打込み・締固め施工性

図 14 初期強度遅延の問題

図 15 FAコンクリートの色合い

図 16 FAコンクリートのブリーディング量

図 17 表面仕上り状況

図 18 実績が伸びない理由

表 2 FAコンクリートの品質変動

	変動は無混入と同じ	変動は大きい問題無し	変動が大きく注意が必要	変動が大きく対応が必要
スランプ	62%	25%	13%	0%
空気量	37%	38%	25%	0%
強度	38%	62%	0%	0%

3.2 施工会社に対するアンケート

(1) コンクリートの施工

コンクリートの施工に関する結果を図 11～図 14 に示す。

FA による流動性改善効果は、効果があるが 100% となっており、ポンプ圧送性も、無混入より良いが 13%、多少良いが 38% と、FA の効果が認識されている。

また、FA コンクリートの打込み・締固め施工性も、無混入より良いが 25%、多少良いが 25% と、多少悪いの 13% より良い評価が得られている。

一方、初期強度遅延の問題に関しては、無いとの回答が 67% あったものの、脱型時期を遅らせたが 22%、コテ押さえ時間を遅らせたが 11% あり、問題点が浮き彫りにされた。

(2) コンクリートの品質

コンクリートの品質に関する結果を表 2、図 15～図 17 に示す。

スランプの変動に関しては、無混入と同じが 62%、変動は大きい問題無しが 25% となっており、ほぼ前述のレディーミクストコンクリート工場のアンケート結果と同様であるが、変動が大きく注意が必要は 13% と少なかった。

空気量の変動に関しては、無混入と同じが 37%、変動は大きい問題無しも 38% となっており、前述のレディーミクストコンクリート工場のアンケート結果と異なっているが、変動が大きく注意が必要は 25% であった。

強度の変動に関しては、無混入と同じが 38%、変動は大きい問題無しが 62% と特に問題は生じていない。

コンクリートの色合いに関しては、常に気にしているが 13%、時々気にしているが 38% となっており、かなり意識が高い。

ブリーディング量に関しては、多いと言う意見と少ないと言う意見がほぼ半数であった。

一方、表面仕上り状況に関しては、無混入より良いが 14% と多少良い評価となっている。

(3) FA コンクリート普及の問題点

FA コンクリートの実績が伸びない理由を図 18 に示す。

も多く、また、変動が大きく対応が必要も 31% になっており、FA の AE 剤吸着等に伴う空気量の変動に注意を要している実態が浮き彫りにされた。

強度の変動に関しては、無混入と同じが 56%、変動は大きい問題無しが 44% と特に問題は生じていない。

一方、表面仕上り状況に関しては、無混入より良いが 38% あり、無混入より劣るの 8% より良い評価が得られている。

(3) FA コンクリート普及の問題点

FA コンクリートが利用されない理由及び実績が伸びない理由を図 9 及び図 10 に示す。

利用されない理由は、実績が少なく認知度が低い 25%、FA が入手困難が 17% が多く、また、コンクリートの品質として、中性化に不利が 17%、初期強度が低い 8%、空気量管理が難しい 8% と続いている。また、実績が伸びない理由は、仕様書に明記されていないが 43% と最も多く、次いで、指針が整備されていないが 25% となっており、さらに、品質変動の情報がない 13%、サイロが無い 13%、管理コスト高が 6% と多岐に亘っている。

図 20 FAの流通に関する問題点

図 21 FAコンクリートの中性化

図 22 FAコンクリートの色合い

図 22 表面仕上り状況

図 19 FAコンクリートに対する考え

仕様書に明記されていないが62%となっており、今後のFAコンクリートの普及の為に、設計時におけるFAの仕様書への明記が不可欠と考えられる。また、材料が高いが38%も存在している。

3.3 設計事務所に対するアンケート

(1) FAコンクリートに対する考え

FAコンクリートに対する考えを図19に、また、FAの流通に関する問題点を図20に示す。

FAコンクリートに対する考えは、情報が少なく使おうと思わないが34%となっており、FA普及の問題点としては、情報の欠如が一番の原因になっている。また、価格が高く流通が整備されていないが17%、流通が整備され価格が安ければ使うが17%となっており、今後、FAの流通の整備及び価格が重要な課題となっていることが明らかになった。

また、FAの流通に関する問題点としては、レディーミクストコンクリート工場にサイロが無いが50%、発電所からの中継サイロが無いが25%、営業が無いため流通が不明が25%となっており、FAの安定供給に向けたサイロの問題が指摘されている。

(2) コンクリートの品質

FAによるコンクリート品質改善効果に関する結果を表3に、コンクリートの品質に関する結果を図21～図23に示す。

FAコンクリートの品質改善効果(表3)としては、流動性改善、水和熱低減、アルカリシリカ反応抑制、塩分遮蔽すべてにおいて効果があるとの評価が得られている。しかし、FAによって効果が異なるとの意見も多く、特に、水和熱低減や流動性改善においてその効

表 3 FAによるコンクリート品質改善効果

	効果大	効果少々	FAで異なる	効果無
流動性改善	33%	34%	33%	0%
水和熱低減	33%	17%	50%	0%
アルカリシリカ反応抑制	50%	25%	25%	0%
塩分遮蔽	25%	50%	25%	0%

果にバラツキが大きいとの考えが明らかになった。

中性化に関しては、調査で対応可能が34%、調査と養生で対応可能が33%となっているが、一方で、FAコンクリートは使いたくないとの意見も33%あり、今後、中性化に対して的確な対応策をユーザーに提示していく必要があることが明らかになった。

コンクリートの色合いに関しては、常に気にしているが17%、時々気になるが17%となっており、かなり意識が高い。

表面仕上げ状況に関しては、無混入の方が良いが25%、無混入より良いが13%とFAコンクリートの方が多少悪い評価となった。

4. まとめ

今回、レディーミクストコンクリート工場・施工会社・設計事務所を対象としたアンケート調査により、FAコンクリートの利用促進に関する阻害要因を抽出でき、今後のFAの普及に向けた対策に対する貴重な知見が得られた。

今後のFAコンクリートの普及のためには、まず、FA生産者が各ユーザーに情報提供をきめ細やかに行い、FAを安定した品質で大量に安定供給できる体制を構築することが必要であり、現在、地域による供給アンバランス解消のための全国的な供給体制整備も進められている。また、FAをユーザーが使用しやすい指針整備等の技術支援も不可欠であり、現在、日本建築学会においてもFAコンクリート指針改定委員会が活動中である。

参考文献

- (財)石炭利用総合センター:石炭灰全国実態調査報告書(平成16年3月)
- (財)石炭利用総合センター:石炭利用総合センター資料2004年
- (財)石炭利用総合センター:石炭灰全国実態調査報告書(平成14年3月)
- 土木学会四国支部:FAを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針(案),2003.9

[2005年10月19日原稿受理 2006年2月20日採用決定]