

フライアッシュとコンクリート廃材全量を骨材として利用したのり面用吹付けコンクリート

山内 匡¹

¹日本国土開発株式会社 技術センター（〒243-0303 愛甲郡愛川町中津4036-1）



石炭火力発電において副産されるフライアッシュと、回転式破砕機によって破砕したコンクリート廃材全量をのり面用吹付けコンクリートの材料として利用した。これらの材料には多くの微粒分を含むためにコンクリートの粘性は高まり、一般的な湿式吹付け方式では、圧送性などの施工性に大きな影響を与えるが、乾式吹付け方式を採用することにより、良好な施工性が得られることが実工事において確認された。また、コンクリート廃材全量を骨材として利用したコンクリートの場合には、圧縮強度の低下が懸念されるが、フライアッシュを大量に使用することにより、圧縮強度は設計基準強度 15N/mm^2 を十分に満足する結果が得られた。

キーワード フライアッシュ、コンクリート廃材、骨材、吹付けコンクリート、回転式破砕機

1. はじめに

建設工事に伴い発生するコンクリート廃材は、主に路盤材や埋戻し材として再資源化されている。近年では、単純な破砕・粒度調整程度の処理や、中程度あるいは高度処理を加えて、コンクリート用骨材としての利用が進みつつある。更なる用途拡大に向けて、コンクリート廃材全量を骨材として利用したコンクリートの開発が望まれるが、全体の粒度構成や微粒分量の制約から、破砕のみの処理となってしまうため、骨材としての品質は低く、コンクリート強度などの品質に大きく影響を与えることが懸念される。

他方、石炭火力発電において副産されるフライアッシュは、用途拡大に向けた取組みが積極的に行われている。コンクリート混和材として利用した場合には、コンクリートの長期強度増進や、アルカリ骨材反応抑制などの寄与効果があるとされており、コンクリート廃材全量を骨材として利用したコンクリートにフライアッシュを併用することにより、その品質の向上が期待される。

本稿では、のり面用吹付けコンクリートの材料として利用した研究成果について、島根原子力発電所3号機建設における仮設のり面吹付け工事(約 $3,500\text{m}^2$ 、吹付け厚さ 7cm)へ適用した結果を報告する。

なお、本研究は中国電力(株)、中国高圧コンクリート工業(株)、(株)エネルギー・エコ・マテリア、日本国土開発(株)での4社の共同研究として実施したものであり、また、工事の施工は中国高圧コンクリート工業(株)と日

本国土開発(株)で行った。

2. フライアッシュ

フライアッシュはJIS規格のフライアッシュ 種相当の原粉(密度 2.23g/cm^3)を使用した。

3. コンクリート廃材の破砕

コンクリート廃材は発電所内で発生したものとし、回転式破砕機によって破砕して、その全量を骨材として直接使用した。骨材の使用条件は最大寸法を 15mm 以下、 5mm 以下の骨材(細骨材)の割合を $65\sim 75\%$ とした。

(1) 回転式破砕機

コンクリート廃材の破砕には、土質材料と添加材の破砕混合や建物解体に多数の工事实績¹⁾のある回転式破砕(混合)機を使用した。回転式破砕機は鋼製の円筒内で高速回転する複数のチェーンの打撃力を利用したものであり、チェーンの回転数や本数を変えることにより、コンクリート廃材全量を骨材として使用できる条件に破砕することが可能である。また、この破砕機は車載型であり、コンクリート廃材の集積場所に依じて直接破砕できるという利点もある。図-1に回転式破砕機概念図を示す。

コンクリート廃材

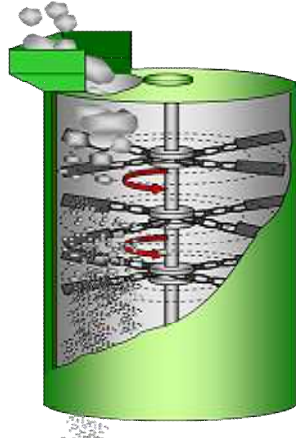


図-1 回転式破砕機概念図

(2) 破砕後の骨材の粒度および物理的性質

破砕量50t毎に行った篩い分け試験結果(青実線)から、破砕後の骨材全体の平均粒度曲線を図-2に示す。5mm以下の骨材(細骨材)の割合は全量を通して概ね65~75%の範囲にあり、平均で70.2%であった。

図-3には、細骨材と粗骨材に分けた、それぞれの平均粒度曲線と、再生粗骨材L1505および再生細骨材Lの粒度範囲を実線で示す。また、表-1にはそれぞれの骨材の物理的性質を示す。使用した骨材はJIS A 5023の再生骨材Lの区分に属していることが分かる。

3. のり面吹付けコンクリート

(1) コンクリート配合

コンクリート配合を表-2に示す。標準的なのり面用吹付けコンクリートの配合条件である水セメント比60%、単位セメント量 400kg/m^3 を基本にした。フライアッシュは、事前の検討結果から、セメント置換で 80kg/m^3 、骨材置換で 160kg/m^3 の計 240kg/m^3 として、セメントとプレミックスして使用した。

(2) 吹付け方法

のり面用コンクリート吹付け工では、一般に、すべての材料を練り混ぜたコンクリートを圧縮空気で吹付ける湿式吹付け方式が採用されている²⁾。しかし、骨材とフライアッシュに多く含まれる微粒分はコンクリートの粘性を大きくし、吹付けコンクリートの圧送性に影響を与えるため、吹付け方式はドライミックスした材料を圧縮空気により圧送して、別系統で送られてくる水をノズル手前で混ぜ合わせる乾式吹付け方式を採用した。

水は電磁流量計を通して所定量を送水ポンプで送り、その量(l/min)は事前に行ったコンクリート吹付け試験結果によって吐出量 $3.4\text{m}^3/\text{hr}$ を基に設定し、吹付けたコ

ンクリートの性状に合わせて微調整を行った。

コンクリートの1バッチ当りの練混ぜ量は、プレミックス材料(セメント+フライアッシュ)の計量値 80kg /バッチから 0.143m^3 ($80\text{kg}/560\text{kg/m}^3$)とした。なお、圧送ホースは1.75インチを使用した。

吹付けプラントの概略平面図を図-4に示す。

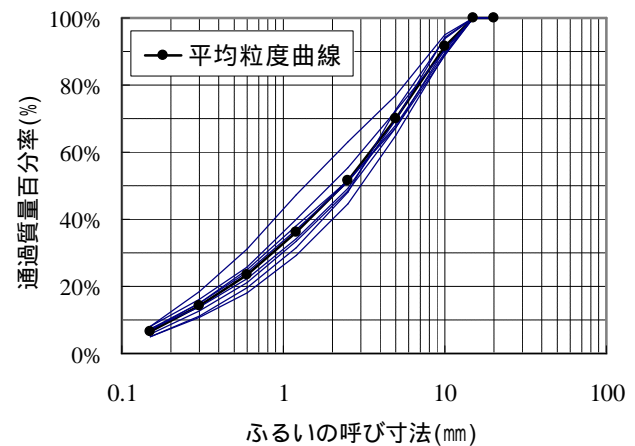


図-2 骨材全体の平均粒度曲線

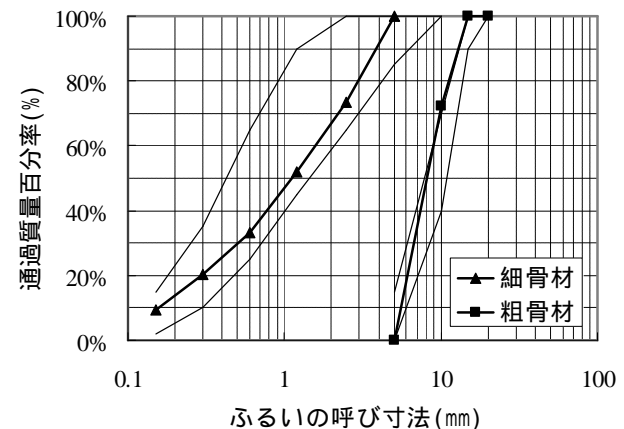


図-3 細骨材と粗骨材に分けた平均粒度曲線

表-1 骨材の物理的性質

	粗骨材	細骨材
表乾密度 (g/cm^3)	2.54 (-)	2.41 (-)
吸水率 (%)	3.6 (7.0以下)	5.7 (13.0以下)
微粒分量 (%)	0.3 (2.0以下)	8.4 (10.0以下)

* () 内：再生骨材Lの要求品質

表-2 コンクリート配合

W/P (%)	FA/C (%)	単位量 (kg/m^3)			
		水	セメント	フライアッシュ	骨材
43	75	240	320	240	1,251

* P=C+FA

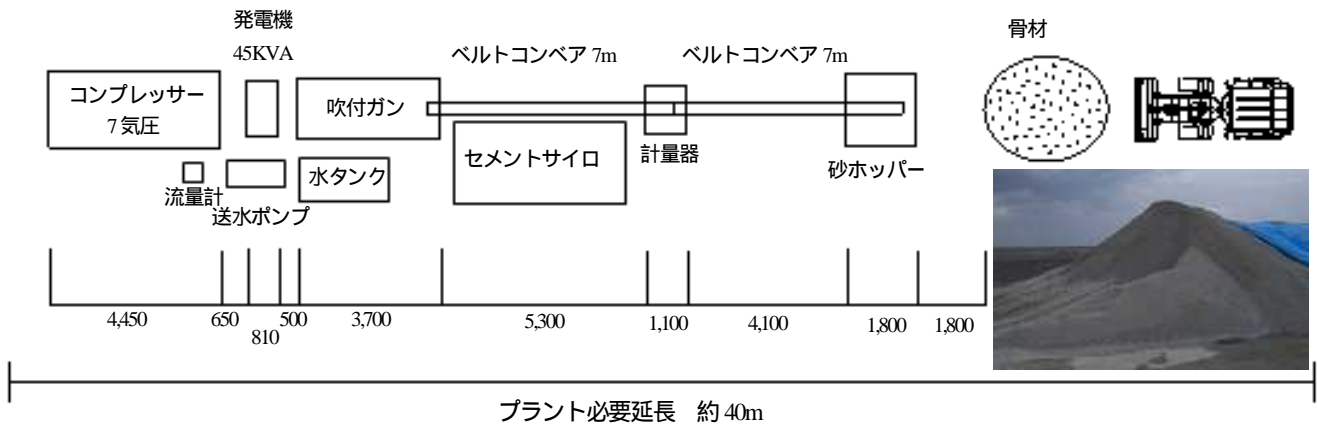


図4 吹付けプラント外略平面図

(3) 吐出量 (m³/hr) 測定

施工中に実施した吐出量測定結果を表-3に示す。吐出量の測定は、練混ぜたコンクリートの量を吹付けに要した時間で商した値である。水量はコンクリート吹付け吐出量を3.4m³/hrとして設定しているが、概ね近い測定結果であった。

表-3 吐出量測定結果

練混ぜ数量		吐出時間 (S)	吐出量 (m ³ /hr)
バッチ数	m ³		
2	0.286	324	3.2
1	0.143	173	3.0
2	0.286	310	3.3



写真-1 吹付け施工状況

(4) 施工性

吹付けの施工性は、圧送作業時において脈動が少なく、吹付け機や圧送ホースの閉塞も1日に最大3回と良好であった。吹付けの施工状況を写真-1に示す。

吹付け機の製造バッチ数から算定した吹付け面積(厚さ7cm)と、計測による実際の吹付け面積から求めたロス率は18.7%であった。また、計測による平均吹付け厚さは8cmであったことを考慮すると、はね返りの発生は少ないものと判断される。1日の最大吹付け量は18.3m³であり、海砂を用いた一般的な湿式吹付け方式の場合と同等の施工能力が得られた。



写真-2 採取したコアの状態

(5) 圧縮強度

吹付けコンクリートの圧縮強度の確認は、供試体採取用型枠に吹付けて採取したコアについて行った。採取したコアの状態を写真-2に示す。

供試体の寸法はφ50×100mmとし、供試体の数はそれぞれの試験実施日について3個以上とした。材齢7日および材齢28日における吹付けコアの圧縮強度および見掛け密度を表-4に示す。材齢28日の圧縮強度は設計基準強度

15N/mm²を満足しており、また、充填性も良好であり、見掛け密度にも大きなばらつきはみられなかった。のり面用吹付けコンクリートの場合、圧縮強度の変動係数は、一般に、25%程度を見込むことが多いが、材齢28日の圧縮強度全体(供試体数22本)の変動係数は9.5%であった。施工条件やサンプル数の違いはあるが、フライアッシュとコンクリート廃材全量を骨材としたのり面

用吹付けコンクリートの品質は安定しており良好であったといえる。

また図-5には、事前に行ったコンクリート吹付け試験結果から、フライアッシュをセメント置換量80kg/m³で固定して、骨材置換で0, 80, 160kg/m³に変化させた場合のコア圧縮強度との関係を示す。フライアッシュを多く使用することにより、圧縮強度は向上し、設計基準強度15N/mm²を十分に満足する結果が得られることが分かる。

表4 コア圧縮強度および見掛け密度

実施NO	圧縮強度 (N/mm ²)		見掛け密度 (kg/m ³)	
	7日	28日	7日	28日
	24.0	30.0	1,998	2,028
	19.1	27.7	1,984	2,017
	24.2	33.9	2,029	2,039
	20.5	28.0	2,045	2,073
平均	21.9	29.9	2,014	2,039

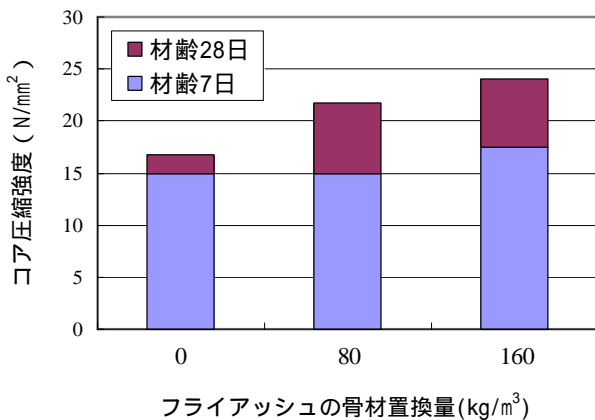


図-5 フライアッシュの骨材置換量と圧縮強度の関係

4. 費用効果

吹付け面積(m²)と材工単価(円/m²)の関係を図-6に示す。図中には島根県における市場単価として、厚さ10cmのコンクリート吹付けの材工単価(4,500円/m²)を示す。なお、吹付け面積はロス率を30%とした場合である。

コンクリート廃材の産廃費用を計上できない場合には、通常の湿式空気圧送方式による吹付けコンクリート(市場単価)と同等の材工単価とするには、吹付け面積は6,000m²程度が必要となる。

一方、コンクリート廃材の産廃費用を計上できる場合においては、吹付け面積が2,000m²程度で同等、それ以上の場合にはコスト削減も可能と試算される。

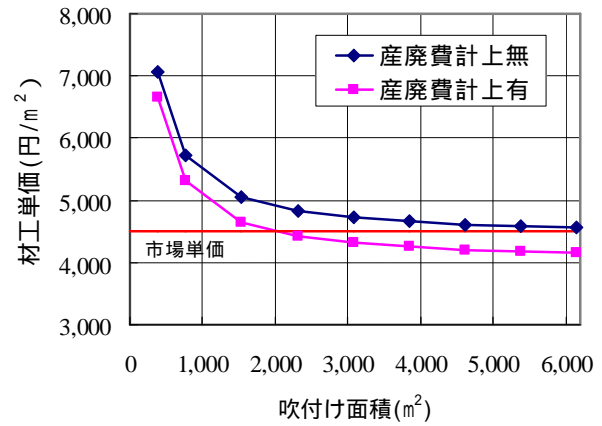


図-6 フライアッシュの骨材置換量と圧縮強度の関係

5. 課題

湿式方式に比べて、乾式方式による吹付けは、使用する骨材の表面水が多い場合、圧送ホースが閉塞する危険性が高くなるため、雨水に対する養生対策が重要となる。また、天候による施工への影響が大きく、特に梅雨時期には、高い湿度による吹付け機の釜内部の湿気や、ベルトコンベアーなどの表面の状態によって閉塞する危険性が高くなることが懸念される。

6. まとめ

フライアッシュと、コンクリート廃材を破碎して、その全量を骨材として利用したのり面吹付けコンクリートは、乾式吹付け方式を採用することにより、良好な施工性を得られることが実工事において確認された。コンクリート廃材全量を骨材として利用したコンクリートの場合、圧縮強度の低下が懸念されるが、フライアッシュを大量に使用することにより、圧縮強度は設計基準強度15N/mm²を十分満足する結果が得られた。

謝辞：島根原子力発電所における仮設のり面吹付け工事の施工にあたっては、フィールドを提供いただいた中国電力(株)島根原子力建設所、また、鹿島・清水・奥村・大林・大成JV工事事務所の方々には、多大なる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) 土木学会：土木学会第 60 回年次学術講演会 コンクリート廃材のリサイクルへの取組み(その 1) 大西, 横田ほか
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー122 吹付けコンクリート指針(案)[のり面編]