

フライアッシュのコンクリートへの有効利用（その2）

小山, 智幸
九州大学人間環境学研究院都市・建築学部門

<https://hdl.handle.net/2324/20443>

出版情報：建設物価. 1107, pp.26-29, 2012-01-01. 建設物価調査会
バージョン：
権利関係：



連載 素晴らしいコンクリート⑤

Wonderful Concrete

フライアッシュのコンクリートへの有効利用 (その2)

九州大学大学院 人間環境学研究院 都市・建築学部門 准教授 小山智幸

はじめに

前回は、コンクリートが種々の副産物を大量に受入可能な素晴らしい材料であること、フライアッシュがコンクリート混和材として優れた性能を有する副産物であることを述べた。その2では、フライアッシュのコンクリートへの有効利用の事例について紹介したい。ここでいう有効利用とは、副産物を混合することによりコンクリートの性能をできるだけ低下させずに、可能であれば向上させながら、その副産物のメリットを活かして用いることである。長期間にわたりインフラとしての役割を果たすコンクリートは、当然のことながらゴミ捨て場ではないのであり、不適切な使用により性能が損なわれると将来にわたり禍根を残すことになる。今回はフライアッシュの長所を活かした有効利用の事例を紹介したい。といいながらいきなり余談を述べることをお許しいただきたい。

軍艦島のコンクリート

この原稿を執筆している最中に、日本建築学会材料施工委員会の軍艦島コンクリート構造物劣化調査WG（主査：東京大学野口貴文准教授）の調査に参加する機会を得た。本シリーズの趣旨と関連するので少し紹介したい。軍艦島は佐世保港外から長崎港外にかけての沿海部に分布する西彼杵炭田のほぼ南端に位置する。正式名称は端島である。付近の海上には池島や高島をはじめ多くの炭鉱が存在したが、これらが比較的大きな島であるのに対し、軍艦島は埋立て後でも長径500mに満たない。海底炭鉱の宿命として坑道に水が入ると

大惨事となるが、付近は台風の通過時などで波浪が大きくなることもたびたびであり、軍艦島は採鉱が始まった明治初頭に何度も頓挫し所有者が代わっている¹⁾。防波堤として初めは石が用いられ、さらにコンクリートの使用により海上からの脅威は無くなり、本格的な採炭が行われるようになった。安定な操業が可能になると採炭量も増大し、それに伴って雇用された多数の労働者が狭い島内で居住できるように立体的に構築された集合住宅群により、世界でも有数の人口密度の高い稠密都市が形成されたが、それを実現したのもまたコンクリートであった。採鉱のための防波堤が舷側に、労働者が居住するための建築物が艦橋に見え、軍艦島という名称を不動のものにしている。このようにして採掘された「黒いダイヤ」は近代日本の発展のために無くてはならないエネルギーとして重要な役割を果たしたが、主要エネルギーが石炭から石油へと移行するのに伴って1974年に閉山し、



写真2 軍艦島の30号棟の外観

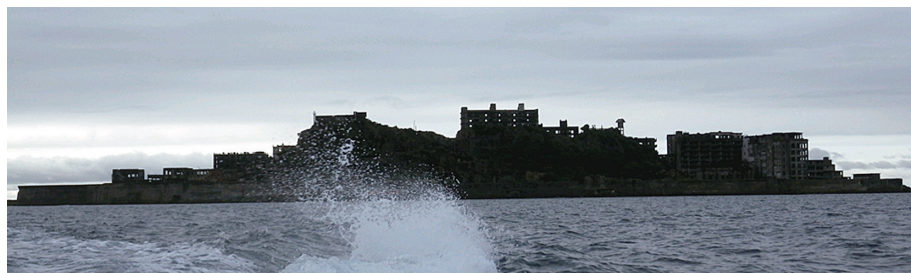


写真1 軍艦島（端島）の外観



写真3 30号棟の内部の損傷状況（いずれの写真も長崎市の特別な許可を得て撮影したものである）

以後島は無人となった。

今回調査対象となった多くの鉄筋コンクリート建築群のうち、筆者が担当した中に日本で最初に建てられた鉄筋コンクリート造集合住宅とされる「30号棟」が含まれる（写真2）。新築時は4階建てであったがすぐに増築されて7階建てとなった²⁾ この建物は、中心部に吹抜けのある口の字型の平面を有している。1916年（大正5年）の竣工であり、100年近くもこの過酷な環境下で存在し続けていることになる。

外からも劣化が窺えるが、中に入ると（かなりの勇気がいるが）さらに損傷が甚だしいことがわかる。鉄筋の露出は軽微な方で、かぶりコンクリートが剥落し鉄筋が無くなっているもの、1階から7階にかけて床スラブが崩落して「吹抜け」が新たに形成された箇所もある（写真3右）。これらと比較して屋上や外壁など外回りはそれほど劣化していないように見受けられる。精査していない段階での勝手な想像であるが、窓を閉める、もしくは浸水に対処する人間がいなくなると、もともと対策されていない室内は急激に劣化する。コンクリートが人を支えてきたように、人もコンクリートを守ってきたように思える。いずれにしても本来の役割を終えてなお、我々にRC建物はどのように朽ちていくのか示してくれる稀少かつ貴重な教材である。そのような意味でも「素晴らしき」コンクリート建造物の林立する同島が世界遺産に指定され、適切に管理・保存されることを期待するものである。余談が長くなってしまったが、そろそろ石炭ではなく燃焼後の石炭灰のはなしに戻ることにする。

フライアッシュの有効利用の実例

1) 須田貝ダム

東京電力が1955年に竣工させた、堤高72m、堤頂長194m、日本初の地下式水力発電所をもつ発電専用重力式コンクリートダムであり、利根川の



写真4 須田貝ダム

源流部（群馬県）に位置する（写真4）。フライアッシュを混合したセメントでつくられたコンクリート建造物としても我が国で最初のものである³⁾。フライアッシュの使用目的は、当時高額であったセメントの使用量を低減することが第一であったが³⁾（もちろん安価であることも性能の項目である）、マスコンクリートとしての温度ひび割れ低減にも効果があったと考えられる。単位セメント量 196kg/m^3 （表面）、 126kg/m^3 （中央）に対し、単位フライアッシュ量はそれぞれ、49、 54kg/m^3 となっている。6,000トンのフライアッシュが使用されている³⁾。

2) 横浜ランドマークタワー

横浜みなとみらい地区の文字通りランドマークとなっているこの建築物は、地下3階、地上70階、高さ296mと、超高層ビルとして現在も日本一の高さを誇り、上部の構造は鉄骨造であるが、建物全体を支える「基礎マット部」が超大断面の鉄筋コンクリート造であり、その上部で鉄骨を定着するための「マット立上り部」は高さ6.5mの鉄筋コンクリート造、さらに上の地下階から8階までが壁厚1.6mの鉄骨鉄筋コンクリート造となっている⁴⁾。これらコンクリート系構造部分に約6万 m^3 のコンクリートが使用されている⁵⁾。この基礎マット部のマスコンクリートの施工においては、



写真5 横浜ランドマークタワー

打ち継ぎ目のない、一体構造を実現するため、40時間連続で約2万4,000m³のコンクリートを一括大量打設する分岐管工法が採用されている。この方法を可能にするためには温度ひび割れ抑制が重要であり、低発熱型高炉セメントB種に、さらに20%のフライアッシュを混合した「超低発熱セメント」が使用されている^{4) 5)}。フライアッシュの混合により、材齢48時間における水和発熱量は低発熱高炉セメントよりも13%抑制され、普通ポルトランドセメントと比べると45%にまで低減できている⁴⁾。コンクリート1m³あたりの使用量を調査から推定すると50kg/m³強となる。フライアッシュの総使用量は約9,000トン⁵⁾。(1993年竣工)

博多駅ビル

同駅ビルの工事の特徴は、1日あたりの列車運行数1,000本、利用者数35万人にもおよぶ同駅を通常通りに運行しながら旧ビルを建て替えることである。しかも旧ビルにおける鉄道がビル外に位置していたのに対し、新ビルは駅を内包するように設計された。終電から始発までの短い時間内のみ実施できる工事も多く、駅周辺は交通量が非常に多いことなども考慮し、現場練りコンクリートが採用されている。加えて、環境負荷低減を目的としてフライアッシュを使用している⁶⁾。石炭燃焼時に発生するCO₂は発電のためのものであると位置づけると、副産物としてのフライアッシュ製造時のCO₂排出量は分級に伴うものだけであり、表1に示すように骨材と同程度である。したがって、基礎およびコンクリート充填鋼管柱(CFT)でフライアッシュを用いたことにより、CO₂排出量を工事全体と通じて約3,000トン削減できている。またフライアッシュの使用は、基礎においてはマスコンクリートとしての温度ひび割れの低減を、杭およびCFTでは圧入時などの流動性の向上を目的としている。なお、フライアッシュのポ



写真6 工事中の博多駅ビル

表1 使用材料のインベントリデータ⁶⁾
(単位: CO₂/t)

ポルトランドセメント	フライアッシュ	細骨材	粗骨材
798.1	6.0	3.7	2.9

表2 調 合⁶⁾

	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	FA	S	G
杭	42.8	174	285	122	771	911
基礎	42.8	159	260	111	728	1029
CFT	36.9	170	369	92	833	860
	28.6	175	490	122	689	860

ゾラン反応により長期強度の増進が大きいため、CFT 充填コンクリートにおいてはダイヤフラムの影響による低減を7 N/mm²としても構造体強度の補正值(S 値)を0 N/mm²とすることができている⁶⁾。工事全体で5,000トンを超えるフライアッシュが使用された(2011年竣工)。

改質フライアッシュの適用事例

最後に、フライアッシュの未燃カーボンを低減するなどの改質を行ったフライアッシュの有効利用の実例を示す。未燃カーボンについてはその1で述べたが、含有量が多いフライアッシュを用いるとコンクリートの流動性や空気連行性が悪くなる。JIS A 6201(コンクリート用フライアッシュ)では、一般的に用いられるフライアッシュ(Ⅱ種)の未燃カーボン含有量を5%以下に制限しているが、生コンを製造する側からするとJISの範囲内であっても、フライアッシュの種類が変わるごとに調合を微調整するのは煩雑であるため品質変動が小さいことが望まれる。以下に実用化されている二つの方法を紹介する。

1) C-CAS (Controlled Coal Ash Slurry)

本方法は、フライアッシュを水と混合してスラリー化し、添加した界面活性剤に吸着された未燃カーボンを槽内で発生させたマイクロバブルで効率的に浮上させ分離する、一種の浮遊選鉱により未燃カーボンを分離する方法である⁷⁾。実用化プラントを写真7に示す。未燃カーボン含有率7%のフライアッシュを10分以内の処理時間で1%以下にすることができる。スラリー化されたフライアッシュは、乾燥させることなくそのまま用いられる。これにより乾燥させるのに必要なエネルギーとコストを削減することができる。加えて、スラリー化によって粒子が水中で適度に分散されることによる流動性の向上効果が期待でき、コンクリートに用いるときの化学混和剤の使用量を低減でき⁸⁾、コンクリートに有害な膨脹を生じさせる遊離石灰(CaO)がフライアッシュに含有されていた場合、その処理が同時に行えるなどのメリットがある。開発者等はフライアッシュを前回は述べた外割でコンクリートに混合することを前提としており、JIS 灰を用いた施工実績は生コン7,500m³、フライアッシュ量1,000トンに達する。

写真7

C-CAS プラント



2) CfFA

高品質フライアッシュ(CfFA)は、フライアッシュを専用のキルン内で再加熱し、未燃カーボンを燃焼させる方法で製造される。本方法によるとコンクリート用フライアッシュのJIS II種の規格を満足しないような未燃カーボン量が5%以上のフライアッシュから強熱減量値で1%以下のJIS規格を満足するCfFAを安定して製造することができる。次いで風力式の粉碎・分級装置に通すことで、灰同士を互いに衝突させながら同時に粉碎、分級を行い、粒径ごとに分けて回収することもできる。得られた灰は、JIS I種、II種およびIV種に相当し、I種は高品質が求められるコンクリート用混和材として、II種はセメント代替の混和材として、IV種は細骨材代替材料として、用



写真8

CfFAを用いた住宅

途に応じて細かな対応も可能としている。写真8はCfFAコンクリート打ち放しの住宅である。この住宅では、セメントに対するCfFA混入率が15%の生コンが82m³使用されている。現在の施工実績は、累計生コン約8,500m³、フライアッシュ量500トンに達する。

【参考文献】

- 1) 端島(長崎県), フリー百科事典『ウィキペディア(Wikipedia)』, 2011.10
- 2) 伊藤千行, 阿久井喜孝, 軍艦島 海上産業都市に住む, 岩波書店, 2010
- 3) 生方利明, 特集/コンクリートなんでも1番?・2. 国内編 フライアッシュー須田貝ダム(旧称: 櫛俣ダム)ー, コンクリート工学, Vol.40, No.9, pp.154, 2002.9
- 4) 山崎真司, 石川泰正, 岡本修一, 川北雅章, 工事記録 みなとみらい21・25街区ランドマークタワー(仮称)における超低発熱コンクリートの施工, コンクリート工学, Vol.29, No.4, pp.50~58, 1991.4
- 5) 岡本修一, 特集/20世紀のコンクリート工学発展史 横浜ランドマークタワーでのコンクリート施工, コンクリート工学, Vol.40, No.1, pp.127~130, 2002.1
- 6) 黒田泰弘, 西田朗, 長澤達朗, 中川邦光, 博多駅ビル(仮称)新築工事における現場練りコンクリートの製造・施工, コンクリート工学, Vol.48, No.12, pp.32~38, 2010.12
- 7) 森山伸智, 高巢幸二, 松藤泰典, 三浦和侑, 浮遊選鉱法によるフライアッシュ中の未燃カーボン除去に関する実験的研究, その1 中型未燃カーボン除去装置の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010年, A-1分冊, pp.753-754, など
- 8) 小山智幸, 松本尚樹, 伊藤是清, 小山田英弘, 松藤泰典, 無機粉体スラリーを用いたコンクリートの流動性向上効果に関する研究 スラリーのゼータ電位とコンクリートの流動性に関する検討, 都市・建築学研究, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第10号, pp.103-109, 2006.7
- 9) 李相培, 佐藤嘉昭, 岡田秀敏, 清原千鶴: 焼成工程を備えた風力微粉碎処理システムによる石炭灰の改質, コンクリート工学年次論文集, 第29巻, 第1号, 2007.6, p.183-188