

明日への
トビラ

Vol. 18

100年もつコンクリートで
復興支援

日本製紙石巻工場の石炭灰を再利用する

太平洋に面した宮城県石巻市は、東日本大震災で甚大な被害を受けた。日本製紙株式会社（本社・東京都千代田区）の石巻工場にも大津波が直撃し、壊滅的なダメージを受けたものの、完全復興を果たし、新しいプロジェクトが動きだした。工場からの石炭灰を再利用し、100年以上耐えうるコンクリート用の高品質フライアッシュを製造する。まずは被災地の建造物に利用し、強靱な社会基盤づくりを先導する。



日本製紙石巻工場内にある屋内式の貯炭場。広さはサッカーコート約1.5倍ほど。石炭はオーストラリアやインドネシアなどから船で石巻港に運ばれてくる。



新たなフライアッシュ

日本製紙と大分大学の佐藤嘉昭教授、同大学発ベンチャー企業のゼロテクノ（大分市）、東北大学の久田真教授らが取り組んでいるのは、コンクリートの長期耐久性を可能にする高品質フライアッシュ（CfFA[®]）の製造と、それによる被災地の復興支援である。

フライアッシュとは、石炭火力発電のボイラーから出る石炭灰から、電気集塵機で集められるガラス質の微粉末のこと。主な成分は二酸化ケイ素と酸化アルミニウムで、石炭灰全体の約9割を占める。

これをセメントの15～20%程度混ぜると、コンクリートの強度や耐久性が増し、美観まで高

（左）被災からわずか1年半後の2012年8月に復興した日本製紙石巻工場は、同社全体の約3割の生産量を担う基幹工場だ。煙突から立ち上るのはほとんどが水蒸気。

（下）紙の製造には大量のエネルギーを使うため、発電設備は24時間稼働する。集中制御室では、ボイラー内で石炭が燃える様子をモニターで確認できる。



められることが知られている。しかし、これまではあまり有効利用されてこなかった。原因はフライアッシュに含まれる燃え残りの「未燃カーボン」にある。

コンクリートはセメント、水、砂利などの骨材と、混和剤を混ぜてつくられる。混和剤は、コンクリートの単位水量を減らし、凍結抑制のために空気を引き込み、生コンの流動性を上げる効果を出す薬剤だが、未燃カーボンは、この薬剤を吸着し、効果を妨げてしまう。また、フライアッシュ中の未燃カーボンの含有量は発電設備の稼働状況や石炭の産地などによって大きく変動するため、フライアッシュの品質を常に一定に保つことは難しい。そのため、石炭ボイラーから排出されたフライアッシュのままではJIS（日本工業規格）で定められたコンクリート用フライアッシュ（JIS A 6201）の品質を満足できない場合もある。



大分発の技術を被災地で活用

フライアッシュの研究を10年以上続けてきた大分大学の佐藤さんは、加熱改質することで、未燃カーボンの量を1%以下に抑える技術を開発した。事業化するため、2001年にゼロテクノを設立。未燃カーボンをほとんど含まない、高品質フライアッシュを「CfFA（=Carbon-free Fly Ash）」と命名した。

ゼロテクノの岡田秀敏社長は、JSTの復興促進事業に参画したきっかけをこう説明する。「2010年ごろ、CfFAをコンクリートの材料の一部に使うと、強度が従来の1.5倍から2倍に向上することが、実験で確認できました。事業化を本格的に進めようとしていた矢先に東日本大震災が起きたのです」。

佐藤さんもこう語る。「従来のコンクリート建造物の平均寿命はせいぜい50年でした。しかし、高度経済成長期に建てられた大型建造物の劣化が叫ばれ



処理前のフライアッシュ

高品質フライアッシュ「CfFA」



処理前のフライアッシュは、未燃カーボンが多く含まれているため色が黒っぽい。CfFAをつくるには、熱処理の温度管理が重要だ。ボゾラン反応は1,000℃以上で熱すると活性を失い、650℃以下だと未燃カーボンを1%以下にすることができない。発電設備や石炭の種類にばらつきがあるため、そのさじ加減が難しい。そのため、石巻工場で使う複数種類の石炭にそれぞれ適合したCfFAの製造プロセスを開発している。



左側がCfFAを混ぜたコンクリート。従来のコンクリート(右)に比べて、表面が滑らかで美しくなる。

る中、私は、耐用年数100年以上の構造物に置き換えていく必要があると考え、研究開発を進めてきました。そんな中、被災地でコンクリート構造物を新設するのであれば、ぜひともCfFAを使って、高強度で長期耐久性を持つ建造物をつくってほしいと思いました。

岡田さんはJST復興促進センター仙台事務所の青山勉マッチングプランナーにCfFAを提案した。被災地企業として共同開発に手を挙げたのが、日本製紙石巻工場だった。青山はこう語る。「CfFAを大分で製造し、各地に輸送するという方法もあります。しかし、それでは輸送コストがかかり採算が合いません。東北地域で事業化するには、「地産地消」が必須条件でした」。そこで、コンクリートの性能評価を専門とする東北大学の久田さんが加わるようになった。強力なメンバーがそろったプロジェクトは、今年7月に「日本製紙ゼロテクノ東北有限責任事業組合」を設立し、いよいよCfFAの普及活動を推進する。

ウムが常温で徐々に化合していき、不溶性の安定した化合物を生成する。これにより、コンクリートをつくる組織が緻密になる。しかも、年がたつほど密度が高くなるため、長期にわたって強度が保たれ、耐久性が増していく。

利点はほかにもある。鉄筋コンクリートが劣化する最大の要因は、骨材の砂などに含まれる塩分によって鉄筋の腐食が早まり、体積が膨張することにある。その結果、ひび割れが発生する。しかし、緻密なコンクリートであれば、塩分の浸透や移動を妨げることができるため、鉄筋の腐食を抑えることができる。

大分大学の佐藤さんは、「大震災による大量の瓦礫のリサイクルにも極めて有用です」と語る。海水に漬かった瓦礫を粉碎すれば、コンクリートの骨材として利用できる。「まずは被災地の復興に貢献することが目標ですが、いずれはCfFAのコンクリートが当たり前の社会をつくっていきたい」と自信と意気込みは強い。

2020年には東京オリンピックも控え、コンクリートの需要は増加の一途をたどる。石巻工場で製造されたフライアッシュは、建設資材の不足解消策としても期待される。

佐藤 嘉昭 さとう・よしあき
大分大学工学部福祉環境工学科
建築コース教授

岡田 秀敏 おかた・ひでとし
株式会社ゼロテクノ代表取締役

佐藤 貴之 さとう・たかゆき
日本製紙株式会社技術本部
技術企画部技術調査役

青山 勉 あおやま・つとむ
JST復興促進センター仙台事務所
マッチングプランナー
(写真左から)

廃棄物から有効資源への転換

石巻工場では、製紙に必要な電力の約半分を工場内の石炭火力発電所で賄っている。石炭ボイラーから出るフライアッシュは年間約4万トンにも上る。これまではセメント会社に廃棄物処理費を払って回収してもらってきた。しかし、東日本大震災後、原子力発電所が停止し、火力発電所の稼働率が高まったことで、全国的に石炭灰の発生量が増加した。そのため、今後の廃棄物処理費の上昇が懸念された。佐藤さんとゼロテクノのフライアッシュの製造技術は、廃棄物を再利用でき、うまくいけば事業化も夢ではない、一石二鳥の提案だった。

取りあえず4万トンのうち、1万トンをCfFAの生産に充てる計画で、2016年までに工場の敷地内にCfFAの製造設備を完成させる。同社技術本部の佐藤貴之さんは、「最初は年間1万トンから始めますが、産業廃棄物のリサイクルは企業の使命でもあるため、事業が軌道に乗れば生産量を増やしていく予定です」と語る。

そもそもフライアッシュがコンクリートの強度や長期耐久性を向上させるのは、「ボゾラン反応」のためだ。フライアッシュに含まれる二酸化ケイ素とセメントが水和する際につくられる水酸化カルシ

