

石炭灰を主材料とする遮水材(フライアッシュモルタル)の製造プラント開発

—響灘埋立工事1号地2期管理型および揚灰岸壁他工事—

井関晴夫・鷲尾朝昭・緒方哲治

石炭火力発電所の副産物である石炭灰の有効利用と灰捨場容量の増加を図るため、フライアッシュ(石炭灰)に少量のセメントを添加し、海水と練混ぜた新遮水材フライアッシュモルタルを開発し、電源開発(株)若松総合事業所前面海域で国内初の管理型護岸の遮水材として採用した。また、遮水材を捨石式傾斜堤護岸の法面に打設する際、微量の硬化促進剤を添加することにより、型枠を用いずに所定の勾配を形成した。

本報文では、石炭の産地や燃焼状況により成分性状が異なるフライアッシュを大量に使用するフライアッシュモルタルについて、安定した製造と安定した品質を確保するために開発したフライアッシュモルタル専用製造プラントと、施工概要を紹介する。

キーワード；フライアッシュ(石炭灰)、連続製造プラント、水粉体比、遮水材

1. はじめに

電源開発株式会社若松総合事業所は福岡県北九州市若松区に位置し(図-1参照)、電源開発株式会社が所有する石炭火力発電所から排出される石炭灰のうち、有効利用しない石炭灰を用いて埋立を実施している。

今般、新たに海面産業廃棄物管理型最終処分場を建設するに当たり、従来工法(遮水シートと腹付け土砂による工法)と比較検討した結果、フライアッシュモルタルを遮水材として使用する工法を採用した。

フライアッシュモルタルは、遮水性の高い材料(透水係数 10^{-7} cm/sオーダー)であり、構造上必要となる強度を有している。また、水質試験・溶出試験を実施して、土壤環境基準を遵守する安全な材料であることを確認している。

フライアッシュは、嫌水性という水と混ぜにくい性質を持っている。また、フライアッシュモルタルは全粉体(フライアッシュとセメント)に対するセメントの添加率が極めて少ない(3~10%)ことより、材料混合を均質に行うことが品質を安定させるために重要となる。

今回、粉体の混合方法と加水・混練方法につい

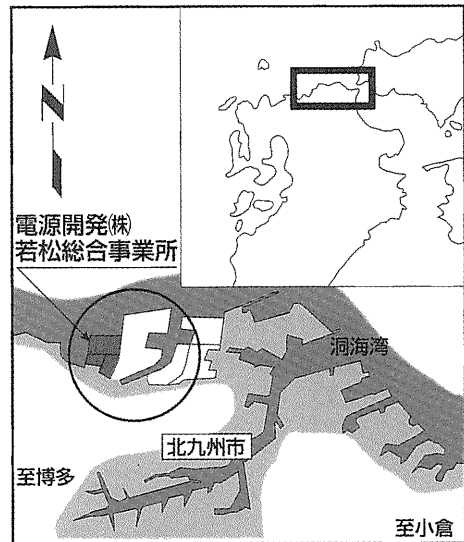


図-1 電源開発株式会社若松総合事業所の位置

て新技術を導入した専用製造プラントを開発することにより、フライアッシュモルタルの安定製造と安定品質、大量製造を実現することができたので、以下に紹介する。

2. プラントの特徴

本プラントの最大の特徴は連続製造にある。通常のバッチ方式では粉体混合に時間を要すること

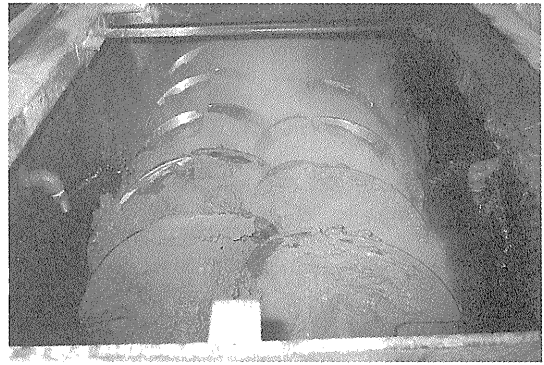
から、連続製造によって施工効率を向上させることとした。

連続製造は、各材料の切出しコンベヤ下部に計量機を設置し連続計量しながら、連続的に混練を行う方法である。

計量は、フライアッシュ切出しコンベヤで計量されたフライアッシュ量に対し、セメントのロータリフィーダやコンベヤの回転速度を連動させて配合率の精度を維持した。

混合は3方式で行った。今回開発したフライアッシュモルタルの配合は、全粉体量に対してフライアッシュ90%以上、セメント10%未満であり、通常のコンクリートと比較して極めてセメント添加量が少ない。そこで、これらの粉体同士を事前に混合することでばらつきを抑え、品質を安定させることとした。粉体混合には連続式ミキサのマイ・ボックス（前田建設工業株式会社製）を採用した。コンベヤを介してバケットエレベータから連続的に供給される粉体が、マイ・ボックス内を自由落下する際に層状の分散を繰返すことから粉体同士が均質に混合される。

次に、連続ペーストミキサ（写真—2、図—2参照）で一次混練を行う。今回開発した連続ペーストミキサは2軸型のスクリュウ押しタイプを用いた。この連続ペーストミキサは、練混ぜ効果を促進するため、スクリュウ羽根で粉体を送り、パドル羽根を設けることで混練を行う併用構造とし



写真—2 連続ペーストミキサ

た。また、胴長を長く（ $L=4.0\text{ m}$ ）することで混練効果を促進させた。

連続ペーストミキサで粉体に混練水を添加して初めてモルタル状となる。混練水の添加位置を連続ペーストミキサ間の3箇所に分散させたことが嫌水性のフライアッシュには有効であった。

さらに、強制2軸ミキサにて最終混練を行い安定した材料に整える。強制2軸ミキサは 3 m^3 タイプを用い、標準のブレード面積を小さく改造することにより、フライアッシュモルタルの張付きをなくし、混練が十分にできる構造に改良した。

この強制2軸ミキサで連続製造からバッチ製造へと変わる。強制2軸ミキサでの3分間混練でスランプロスやブリージングの少ない安定したフライアッシュモルタルとなる。

3. 製造サイクル

製造サイクルの決定には、試験練りを繰返した。フライアッシュモルタルのスランプを安定させるには3分間の混練時間を要した。

本プラントでの製造サイクルは約 3 m^3 を3分間で混練する。これは、強制2軸ミキサでの混練時間である。さらに、トラックミキサ車への積み込みに1分間を要し、計4分間で約 3 m^3 を製造する。時間当たり製造量は $45\text{ m}^3/\text{h}$ となる。



写真—1 プラント全景

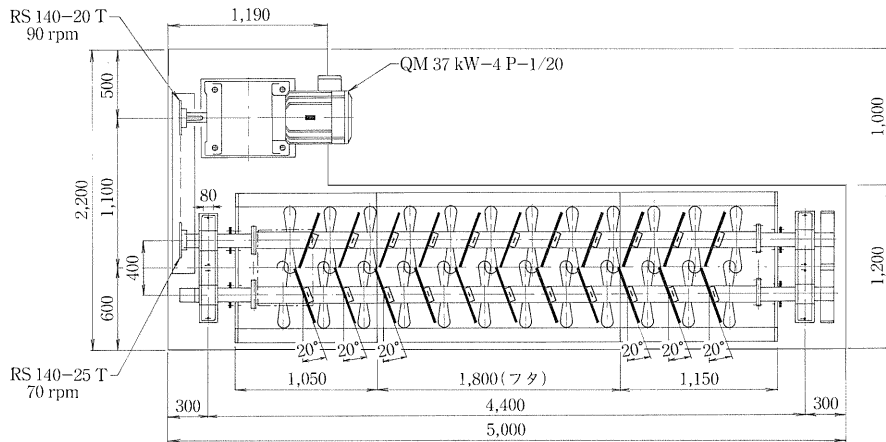


図-2 連続ペーストミキサ

4. 製造システムとフロー

製造システムフローを図-3に示す。

フライアッシュモルタルを構成する材料は、フライアッシュとセメントと海水である。フライアッシュは電源開発株式会社が所有する石炭火力発電所から乾灰輸送船にて海上運搬し、空気圧送によりフライアッシュサイロ (1,000 t×2基) に搬入・貯蔵した。セメントは、セメントローリ車により陸上運搬し、空気圧送によりセメントサイ

ロ (100 t×1基) へ搬入・貯蔵した。また、海水はプラント近傍海面より給水ポンプにて供給した。

以下に製造工程を説明する。

- ① フライアッシュとセメントを各サイロからロータリフィーダにより切出す。連続計量機付きベルトコンベヤで連続計量しながら BC-1 ベルトコンベヤへ搬送する。
- ② 全粉体をバケットエレベータにより地上約 30 m まで汲上げてマイ・ボックスを通過させ、フライアッシュとセメントを均質に混合する。

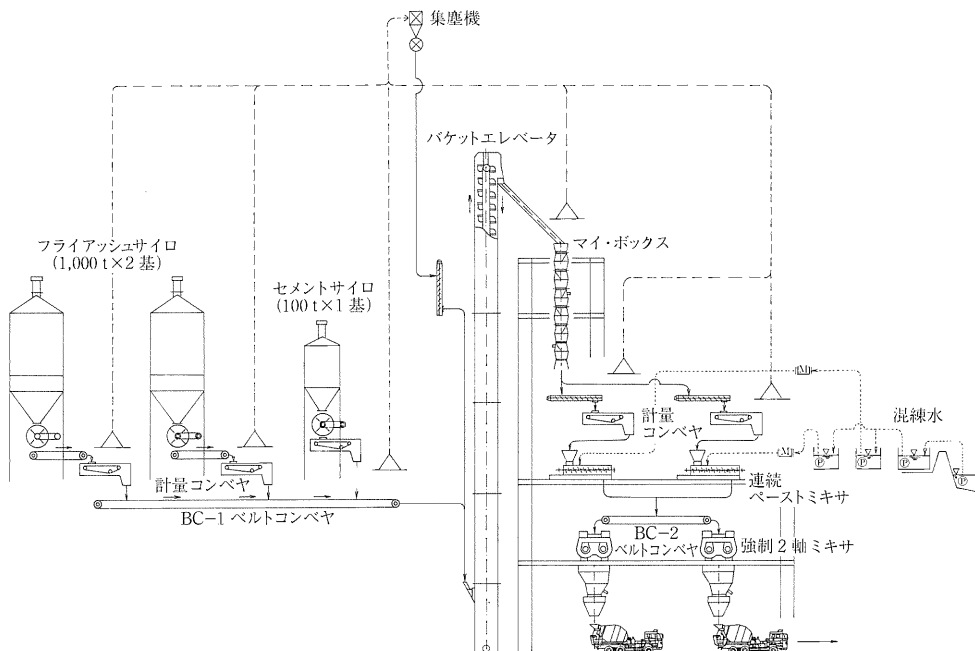


図-3 製造システムフロー

- ③ マイ・ボックス下部で2分割させた混合粉体をスクリュウコンベヤによって再度連続計量機付きベルトコンベヤへ搬送させ最終計量を行う。その計量値により混練水を自動計量する。
 - ④ 計量された混練水を、連続ペーストミキサ部で添加する。ここで初めて乾燥粉体に注水される。連続ペーストミキサで1次混練されたフライアッシュモルタルを、その下部のBC-2ベルトコンベヤにより強制2軸ミキサに投入する。BC-2ベルトコンベヤは3分間で正・反転を繰返す。
 - ⑤ 強制2軸ミキサで3分間最終混練を行う。十分混練されたフライアッシュモルタルをトラックミキサ車へ積み込み、打設現場まで運搬する。
- 製造フローを図-4に示す。

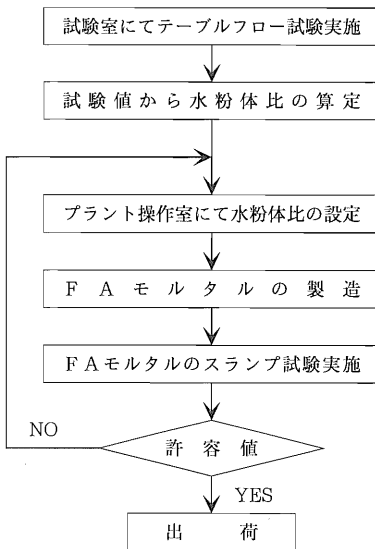


図-4 製造フロー

5. 品質管理

フライアッシュモルタルを製造する際には、的確な水粉体比の設定が最も重要である。図-5に示した水粉体比ヒストグラムでも分かるように、フライアッシュの成分による性状は入荷ごとに大きくばらつく。この成分の性状に応じて水粉体比をコントロールすることが安定した製造へのポイ

ントであった。

諸試験より、フライアッシュには水粉体比を一定とした場合のスランプとテーブルフローの値に相関があることをつきとめ(図-6参照)、テーブルフロー試験により水粉体比を容易に設定できるようになった。

フライアッシュモルタルは、フライアッシュの成分の性状に柔軟に対応するために、水粉体比を固定しない。品質を満足させる範囲内で逐次、水粉体比を変化させることにより、一定のスランプを保ち、ワーカビリティを確保することが施工効率を向上させる。

(1) 試験

フライアッシュおよびフライアッシュモルタルの品質管理試験を、以下の項目について実施した。

- ① フライアッシュ
 - ・比重
 - ・テーブルフロー

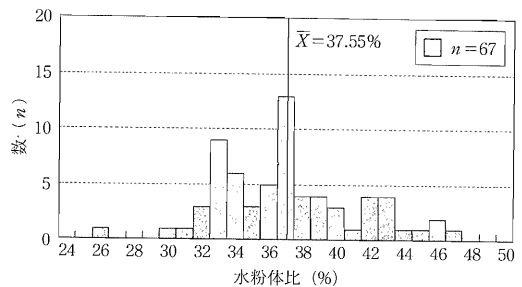


図-5 フライアッシュモルタルの水粉体比ヒストグラム

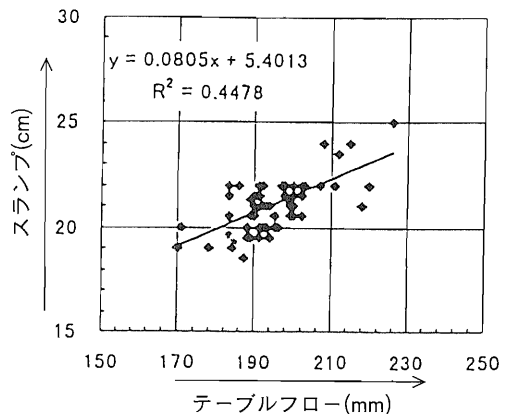


図-6 テーブルフローとスランプの関係

- ・強熱減量
- ・含水比
- ・ブレン比表面積

② フライアッシュモルタル

- ・テーブルフロー
- ・スランプ
- ・空気量
- ・単位体積重量
- ・一軸圧縮強度
- ・透水係数

(2) 諸元

今回の工事において、フライアッシュモルタルを二重鋼矢板式岸壁の中詰め材としても使用している(施工概要については6章で示す)。以下に、各々のフライアッシュモルタルの諸元を表一に示す。

表一 フライアッシュモルタルの諸元

	揚灰岸壁	管理型護岸(Ⅰ)
セメント添加率	3~4%	8~10%
硬化促進剤	-	0.5%
水紛体比	30~50%	30~50%
スランプ(プラント出荷時)		約20 cm
スランプ(打設時)	約20 cm	約10 cm
材令28日強度	1.0 N/mm ²	2.1 N/mm ²

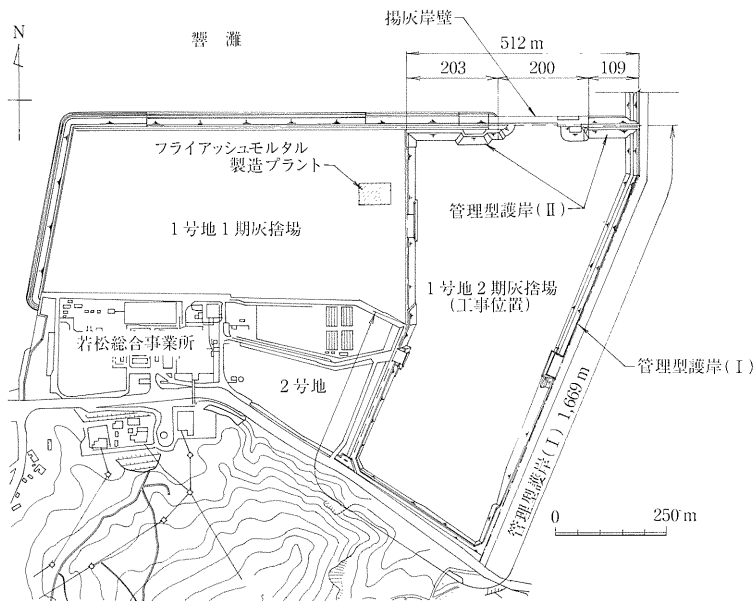
6. 施工概要

(1) 工事内容

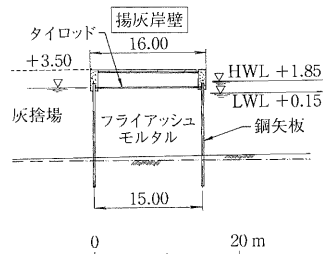
- ・揚灰岸壁工事
形式：二重鋼矢板式岸壁
延長：200 m
フライアッシュモルタル：38,300 m³
 - ・管理型護岸遮水工事
遮水材料：フライアッシュモルタル
延長：1,980 m
フライアッシュモルタル：89,300 m³
- 施工平面を図一7に示す。

(2) 揚灰岸壁工事

二重鋼矢板式岸壁(新設)の中詰め材にフライアッシュモルタルを用いた(図一7, 図一8参照)。新設岸壁は、全長200 mにわたり二重鋼矢板を海底に打設したのちに、16ブロックに分割してフライアッシュモルタルを打設した。打設は、コンクリートポンプ車より配管打設した。配管先端にフレキシブルホースを取付け、海底面からリフトアップした。打設に際しては、フライアッシュモルタルのセルフレベリング性を利用して、パイプレータ等を



図一7 施工平面



図一8 揚灰岸壁標準断面

使用せずに打設面に十分に行きわたるようにホースを調整しながら打設した。

フライアッシュモルタルは、遮水性に優れており、また比重が軽いため側圧を軽減できることから、経済的かつ理想的な中詰め材であることが分かった。

(3) 管理型護岸遮水工事

既設護岸を管理型護岸とするためフライアッシュモルタルを遮水材として用いた(図-9参照)。

遮水工事は、まず捨石式傾斜堤護岸部の整形・目詰めを行い、トラックミキサ車にて運搬されたフライアッシュモルタルをコンクリートポンプ車により型枠を使用せずに海底面から斜面に沿って打設した。

水中部は、潜水士によりコンクリートポンプ車のブーム先端を持って打設する。ホースから出てくる練り歯磨き粉状のフライアッシュモルタルを0.5~1.0mづつリフトアップする。気中部は、ポンプ作業員により同様に行う。

フライアッシュモルタルの施工効率を上げるためには、製造・運搬工程においては適度な流動性が必要であり、一方、打設時には流動しないようにすることが、型枠を用いなくて水中自立壁を構築するためには不可欠である。

そこで、打設直前に微量の硬化促進剤を添加することで、フライアッシュモルタルを短時間に硬化させながら打設した。

硬化促進剤は、全粉体量の0.5%以下を使用する。硬化促進剤をコンクリートポンプ車のホッパー部にフライアッシュモルタルと同時に投入すると、ブーム先端部に搬送されるまでに硬化し、スランプ20cmのフライアッシュモルタルは10cmに変化して、ブーム先端部から排出される。

7. おわりに

建設副産物としての処理が必要となる石炭灰を大量に利用する新遮水材フライアッシュモルタルを開発して、新設岸壁の中詰め材や管理型遮水工に国内で初めて適用した。

いまだ未知数であるフライアッシュの特性に苦慮しながら、製造方法と施工方法を確立したが、今後はより合理的な工法への発展と多様な活用方法の確立を目指していきたいと考えている。

最後に、本工事に協力していただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。

[筆者紹介]

井関 晴夫 (いせき はるお)
電源開発株式会社
若松総合事業所
土木グループ
グループリーダー



鷺尾 朝昭 (わしお ともあき)
電源開発株式会社
建設部エンジニアリング室
火力・原子力グループ



緒方 哲治 (おがた てつじ)
開発工事株式会社
土木本部
土木部

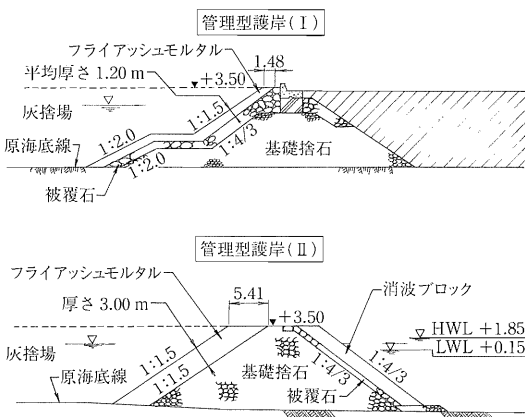


図-9 管理型護岸標準断面