

石炭灰の再資源化への取組み

Utilization works of coal ash to re-resources

山本 健 Ken YAMAMOTO (中国電力株式会社土木部)



中国電力(株)では、事業化・商品化等の実用化を目指した石炭灰の土工材料への有効利用に関する研究を進め、今までに地盤改良用の海砂代替材・土壌改良材・路盤材・軽量盛土材・ブロック用固化体等の開発を行っている。併せて、市場へこれらの商品を供給するために、発電所構内に海砂代替材製造プラントを構築し、流通の整備の一環として島根県東部に石炭灰供給のための中継サイロを設置している。これらの活動を通し、石炭灰を商品として市場価格以下で提供し、ひいては公共工事等のコスト低減を図り、当社として地域貢献を果したいと考えている。本稿では、中国電力(株)が行っている石炭灰の再資源化の取組みと、その研究成果について報告する。

キーワード：石炭灰，リサイクル，産業副産物，海砂代替材，土壌改良材 (IGC：M-0, T-14)

1. まえがき

中国電力(株)の石炭火力発電所では、1999年度に約70万tの石炭灰が発生しており、大崎火力発電所の運転開始に伴い、将来的には約100万tに近い石炭灰が発生することが予想される。全国大においても2005年頃には1000万tを越すものと予想される。

石炭灰の有効利用の現状を電気事業でみると有効利用率は約70%あるものの、残り30%は産業廃棄物処分を行っている。この有効利用も大半をセメント分野が占めている状況にあるが、今後セメント分野を中心とした有効利用の大幅な増加は見込まれない状況である。さらに限りある国土の中で埋立処分場を設置することも限度があり、処分場に搬入する量を削減することが必要である。

また石炭灰は「再生資源の利用の促進に関する法律」に基づく再生資源に該当し、有効利用を促進する必要がある指定副産物に定められている。このため、当社では石炭灰を資材として活用することを目的として、大量の需要が期待される土工系材料への有効利用展開を行っている。これまでに、十数件の特許申請や官庁フィールドでの二十数件の実証試験工事を経て、三十件以上の本工事採用(石炭灰販売)を行うまでに至っている。本稿では、当社石炭灰有効利用への取組みと、その研究成果について紹介する。

2. 推進方針

2.1 商品としての開発

石炭灰有効利用品の開発としては、

- ①大量利用が可能であること
- ②経済性の生じる利用方法であること
- ③広く全国大への展開が可能であること

を前提とし研究・開発に取組み、これまでに表-1に示す項目について研究を進めている。なお、本研究では経

済性を考慮し、石炭灰は主として分級など加工を行わない原料をそのまま使用することとしている。

表-1 商品開発項目

項目	具体的用途
海砂代替材	石炭灰を造粒機械で造粒し、SCP材料等へ活用する。
土壌改良材	軟弱地盤の土壌改良材として、セメントや石灰の代替材として利用。
空洞充填材 軽量盛土材	切欠中のセメント・砂を大量に石炭灰に置き換えて、空洞等にスリ-充填する。
路盤材	石炭灰を主材とし、石膏・セメント等助材を添加して締固め・転圧により路盤を形成する。
石炭灰 固化体	石炭灰固化体に重量骨材を組合せることにより重量を必要とするコンクリートへの適用を図る。
細骨材代替	コンクリートの細骨材代替として活用し、セメント量の低減と併せて活用する。
吹付け材	吹付けコンクリートで使用する、セメント・砂の代替材として利用する。
埋立材料	石炭灰にセメント等の助材を添加し、強度のある土材料として埋立に利用する。

2.2 商品開発に際しての主な課題と内容

これらの開発項目を実用化に結び付け、広く市場開発を行うために、品質の確保と並行し、採算性に関する研究を含めて検討を進めている。なおこれらの研究は、将来の石炭灰のユーザーであるゼネコン各社の参画のもと、各社の持つ保有技術の活用を図る目的で共同研究により進めている。この共同研究で得られた成果については、

官庁による品質認定および大学等の研究機関による品質等の保証へつなげられるよう当社を含む産官学共同で実用化展開を図っている。

現在、建設省をはじめ、山口県と石炭灰のリサイクルに関して委員会等の研究会を設立し、品質確認作業に取りかかっている状況であり、至近年には石炭灰を土木工事の主要材料として供給できる予定である。

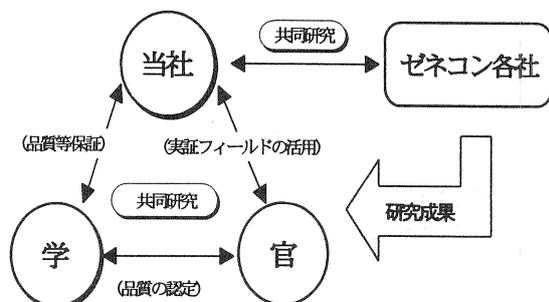


図-1 研究体制

3. 石炭灰を活用した海砂代替材の開発¹⁾

3.1 概要

瀬戸内海地方の海砂採取禁止・規制を受けて、護岸工事等に広く使われてきた海砂の慢性的な不足により、低コストの代替材の開発が求められている情勢のなか、当社では石炭灰を大量に使用した経済的な海砂代替材を製造する技術を開発した。今までに、試験機による造粒試験と室内試験による品質確認を終え、公共工事現場の一部を使用させて頂き実規模大の現場実証試験(陸上試験・海上試験)を行い、その有効性を確認したところである。

3.2 開発経緯

これまでにも、石炭灰を主材料とした海砂代替材の開発は行われているが、従来の技術では石炭灰にセメントを加えて混合した後、造粒機械による造粒過程を経て、所要粒径の石炭灰造粒物を製造する必要があった。当社では、連続式ミキサを使って材料を混合する過程で造粒を同時に行い、石炭灰固化物を製造する技術開発に取り組み、他の海砂代替材の市場価格と同程度で提供ができる代替材を開発した。

石炭灰は、その粒度分布からはシルト・粘土にほぼ分類されるが、物理的性質では水分量によって液体状や固体状にならないなど、非常に微細な砂といった特性を持っている。また、粒子形状は球形であることなどから、石炭灰をセメント代替として活用したコンクリートはブリージング量が増加することが知られている。

造粒機械は、低コスト製造が可能となるよう製造能力を重視して図-2に示すような横軸の連続式ミキサを採用した。このミキサは、円筒形のミキサ本体中を数枚の攪拌翼を有した主軸が回転するものであり、この攪拌翼が粉体粒子に均一に水を与える共に、各粒子が接触することにより造粒が可能な構造となっている。ただし、保水性がないうえ水分分離の生じやすい石炭灰にミキサー混合等のエ

ネルギーを与えると、灰粒子間から造粒に必要な水分が逃げ出す状態となって造粒が困難であるため、保水材としてベントナイト等の粘土分を造粒物の材料として微量添加する事で、ミキサ混合時の造粒に必要な水分確保が可能となり、保水粘土分が核となって石炭灰等の粒子が結合し、当ミキサでの造粒が可能となった。

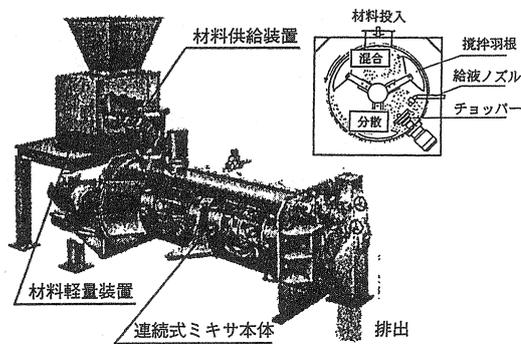


図-2 連続式ミキサ模式図

3.3 代替材の材料特性^{2),3)}

(1) 造粒物の物理特性

石炭灰造粒物の一般的な配合を表-2に、また同配合により製造した造粒物(写真-1)の物理特性を表-3に示す。

表-2 造粒物の基本配合

石炭灰	固化材	保水材	水
新小野田灰 87%	普通ポルトランド 10%	中国ベントナイト 3%	水道水 20~24%*

*すべて重量比, *は粉体総重量に対する比

表-3 造粒物の物理特性

造粒物の形状	球形	平均粒径	7.5mm
自然含水比	11.6%	圧潰強度(7日)	0.6~0.8N/mm ²
単一粒子密度(湿潤)	1.811t/m ³	(28日)	1.2~1.6N/mm ²
6Ec突固密度(湿潤)	1.700t/m ³	内部摩擦角(6Ec)	47.6°
吸水率	16.4%	透水係数(6Ec)	1.34×10 ⁻³
スレーキング率	0.4%		cm/sec

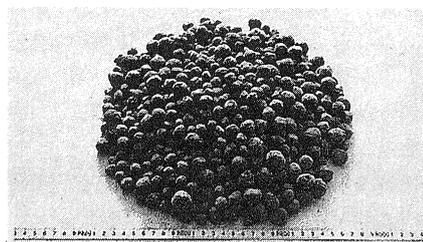


写真-1 石炭灰造粒物

(2) SCP材料としての適用性評価

石炭灰造粒物をSCP材料として利用する場合、SCP施工時の突き固めエネルギーを6Ec(1Ec=5.6cm・kgf/cm²)と仮定し、室内で同様のエネルギーで突き固めた造粒物について、三軸圧縮試験(CD)、粒度試験、透水試験を実施した。

a. 砂杭強度

護岸工事において石炭灰造粒物をSCP等の砂杭に使用する際、砂杭の強度(内部摩擦角 ϕ)が必要となる。現在使われている海砂では $\phi=30^\circ$ の強度が一般的な設計値となっているが、図-3に示すように、この造粒物により造られる砂杭は $\phi=38.7^\circ$ (0Ec)~ 47.6° (6Ec)と高い値を得ることを確認しており、これまでの海砂と同様な設計値を使えば安定上問題とならない。

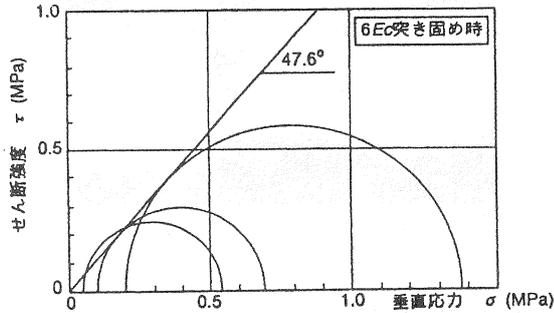


図-3 造粒物の内部摩擦角

b. 排水性能

図-4に突き固めエネルギー毎の粒度分布の変化を示す。粒度分布から突き固めエネルギーの増加により粒径が細粒化する様子が伺えるが、実工事での最も厳しい条件である5~6Ecの突き固めエネルギーを受けても、粒度分布における細粒含有率はSCPの実績範囲外になるほどではない。また、透水係数も 10^{-3} cm/sのオーダーの値を確保しており、護岸工事事用材料として十分活用可能な値となっている。

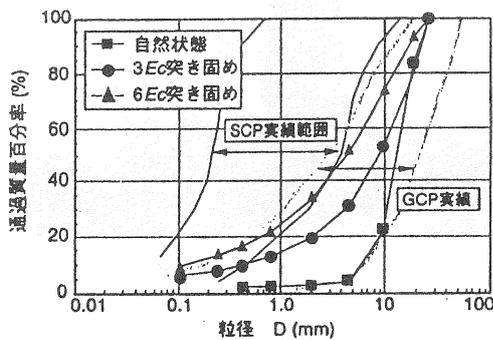


図-4 突き固めによる粒度分布の変化

(c) 長期耐久性

砂杭としての品質を永久構造物の支持構造として長期的に確保する必要があるため、突き固めを行った状態で水浸1年間の長期耐久性評価を行っているが、強度・排水性能および重金属等の溶出について経年的な劣化現象等もなく、永久構造物への適用が十分可能である結果を得ている。

3.4 現地実証試験(陸上SCP試験)工事の概要^{4),5)}

(1) 試験内容

試験工事は、山口県阿知須干拓地内において図-5に示すとおり、護岸下の強度増加を主目的とした低置換(改良率10%)の試験打設を行い、表-4に示す品質確認を行った。(写真-2)

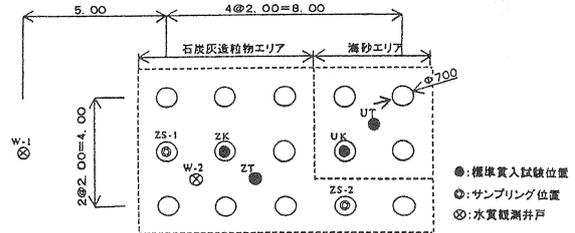


図-5 試験打設配置図(杭長: 9.5 m)

表-4 品質確認試験項目

	項目
SCP改良効果の確認	杭芯・杭間のN値分布, 不攪乱試料の3軸圧縮試験
施工性評価	平均造成時間, 材料割り増し率
周辺環境評価	pH測定, 重金属等の溶出試験

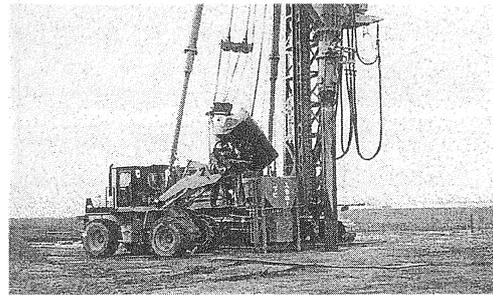


写真-2 陸上実証試験工事

(2) 試験結果

a. SCP改良効果

杭間の改良効果は、図-6に示す杭間のN値分布で判定した。この結果からも明らかとなっており、杭間N値は通常の高砂と同等の改良効果を示すことがわかる。砂杭の強度は、杭芯N値および表-5に示す不攪乱試料による三軸圧縮試験結果により判定した。石炭灰造粒材は粒径が大きく標準貫入試験では重錐落下時に粒子がおどるため過小評価となり、通常の高砂と比較して小さな値を示すが、不攪乱試料の三軸圧縮試験結果をみても明らかとなっており、内部摩擦角 $\phi=40^\circ$ 程度で評価することが可能である。

表-5 三軸圧縮試験結果

砂杭 No.	採取深度(GL-m)	粘着力Cd(N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
造粒材砂杭①	0.0~3.0m	0.013	39.9
	3.0~6.0m	0.020	40.1
	6.0~9.0m	0.054	40.9
造粒材砂杭②	0.0~3.0m	0.014	43.4
	3.0~6.0m	0.029	43.8
	6.0~9.0m	0.040	46.3
平均値		0.028	42.4

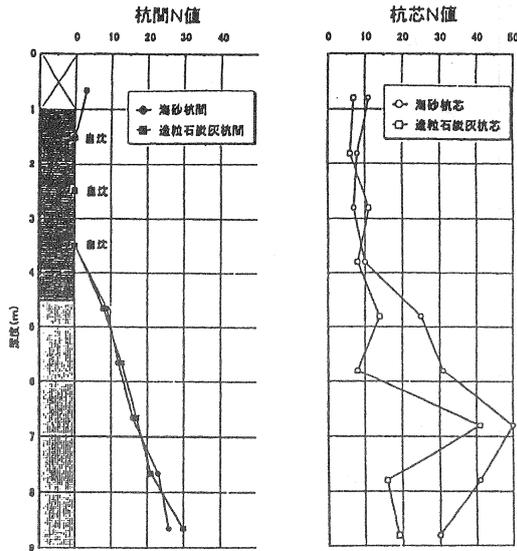


図-6 杭芯・杭間のN値分布

b. 施工性評価

海砂と造粒物の施工性の対比を表-6に示す。造粒物ではケーシング内からの抜け不良等が多少見受けられたが、施工サイクルに及ぼす影響もなく、施工性は同等であると判断できる。

表-6 施工性の評価

材 料	平均造成時間	材料割り増し率
海 砂	12分43秒	1.4
造粒石炭灰	12分20秒	1.3

c. 周辺環境評価

現地に設置した観測井戸における測定結果から、造粒物の成分である石炭灰・セメントに起因するpHの変動はみられない。また、水質中からの重金属等の溶出もみられなかった。

3.5 現地実証試験工事総括

造粒試験・室内試験～現地実証試験を通じて以下の点が明らかとなり、当社の開発した石炭灰造粒物は、護岸工事等へ十分採用できるものであるとわかった。

- ①石炭灰を90%大量使用して、低コストで造粒物を製造できる。
- ②造粒物のSCP材料としての品質は、圧潰強度1.2～1.6N/mm²を確保することで満足できる。
- ③現在使われている海砂と同等の改良効果を得ることができる。
- ④SCP打設も通常海砂と同等に施工できる。
- ⑤造粒物による周辺環境への影響はない。

この陸上でのSCP試験の結果を踏まえ、SCP材として多くの需要が見込まれる海洋工事での適用性を検証

する目的として、本年7月に小野田港沖において海上SCP打設試験を行った。現在詳細のデータについては、取りまとめを行っているところであるが、施工状況として良好な結果を得ている。試験結果については、別の機会に報告したいと考えている。

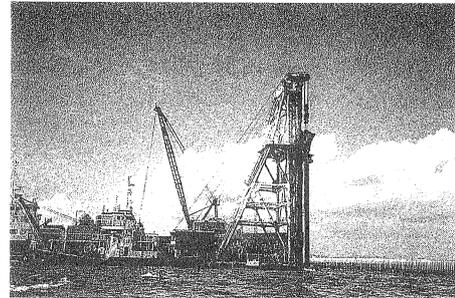


写真-3 海上SCP試験工事

3.6 現在の取組み状況

これらの一連の研究開発結果を受けて、当社では写真-4に示すとおり、現在小野田市に位置する新小野田発電所(50万kw×2基)に石炭灰造粒物の製造設備を構築中である。この設備構築により、瀬戸内海の大きな環境問題である海砂採取禁止・規制に当社が貢献することができるものである。この設備は、年間15万m³の製造能力を持っており、新小野田発電所から発生する石炭灰の約60%を使用するもので、平成12年10月からの製品製造・販売を実施する。

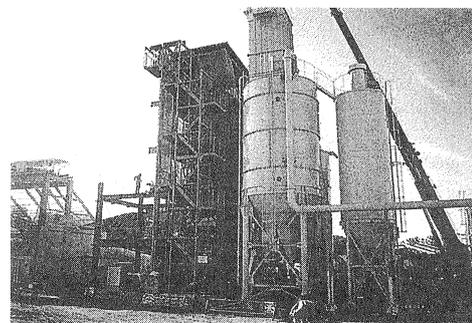


写真-4 海砂代替材製造プラント構築工事状況写真

4. 石炭灰を活用した土壌改良材の改良特性

4.1 目的

浚渫土の埋立や陸上の後背低湿地などの軟弱地盤対策としてセメントや石灰などを改良材とした土壌改良が広く実施されている。当社では、石炭灰の改良材への適用性について室内試験はもちろんのこと、図-7に示すように多くの地点で、実規模大の実証試験を実施している。

これらの多くの地点で実施した試験結果より、石炭灰の改良材としての効果は、通常使われるセメント等の固化材にない特徴をもっていることがわかった。その特性を以下に示すと、

- ①液性・塑性指数がNPである微細な砂の特性を持つ石炭灰を軟弱土に適量配合することにより、土の物

性が砂質土系に改善され、施工上の取扱い性が優れた改良材となる。

②石炭灰単独では強度を得ることはできないが、セメント等の固化材と併用することで、初期のトラフィカビリティを改善する等、セメント改良の欠点を補うことができる。

この石炭灰を改良材として使用した場合、その改良効果はもとより、発電の副産物として発生する安価な石炭灰を使用することから、公共工事の工事費低減に大きく貢献でき、実際に多くの本工事に採用されている。この章では、実際の工事で使用した事例について幾つか紹介する。

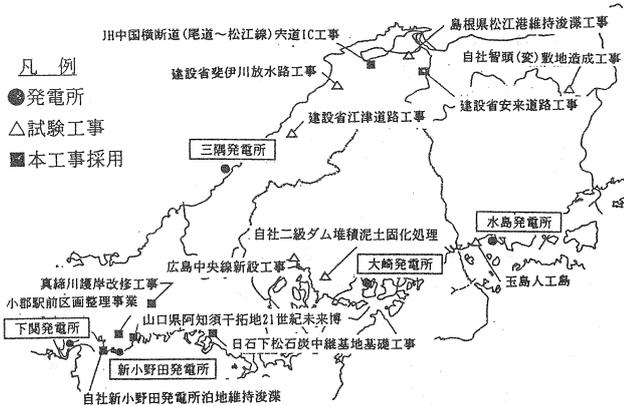


図-7 石炭灰を活用した土壌改良実施場所

4.2 埋立浚渫シルトの土壌改良試験 (写真-5) ⑥

対象土は、平成13年に博覧会の開催が予定され、現在その準備工事が進められている山口県阿知須町の阿知須干拓地の浚渫シルトを対象に改良後盛土材への適用性について確認する試験を行った。試験の方法としては、掘削した粘性土を事前混合処理方式で実証試験を行った。その結果、以下に示す石炭灰改良効果が確認された。なお、図-8~10中の凡例は、C(総添加量%)-(セメント添加量%)を示す。

- ①石炭灰による含水比低下と物性改善により若材令でのトラフィカビリティが確保できる(図-8)。
- ②基準材令(28日)での一軸圧縮試験結果から、石炭灰の物性改善(締固め性向上等)効果による強度増加が期待できる(図-9)。
- ③盛土工事の施工手順(掘削→改良→盛土)を想定した試験として、セメント改良に対して石炭灰を多く配合したものについては強度低下が少ない(図-10)。

また、土の物性傾向を把握する目的で三軸圧縮試験を実施した(図-11)。この結果、セメントによる改良は粘着力の向上の形となり硬化が改良の主要な要素である一方、石炭灰による改良効果は締固め性能の良い砂質土への物性改善の形で表されている。

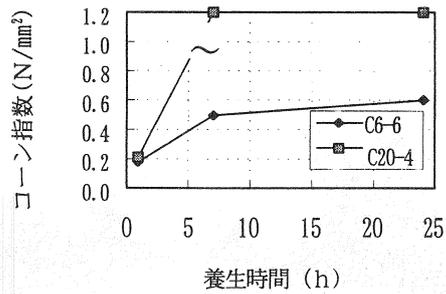


図-8 若材令でのコーン指数

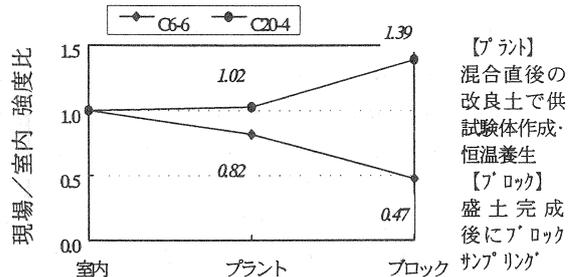


図-9 改良過程と強度比率の関係

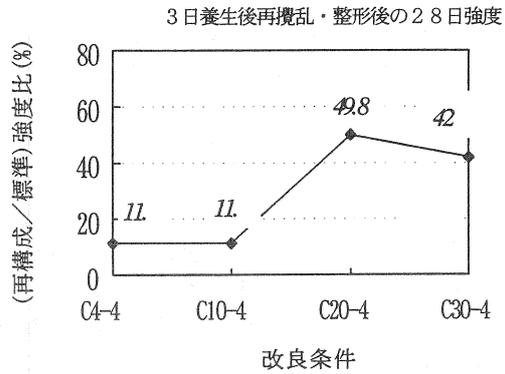


図-10 再構成後の強度低下比

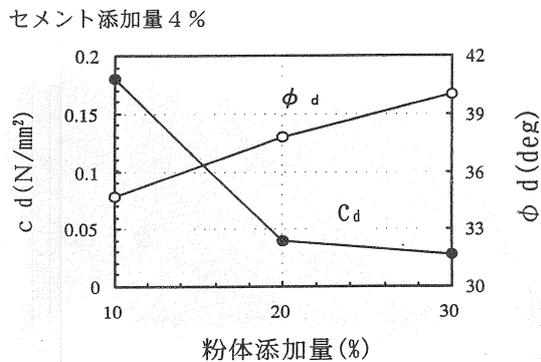


図-11 三軸圧縮強度試験結果(物性改善)

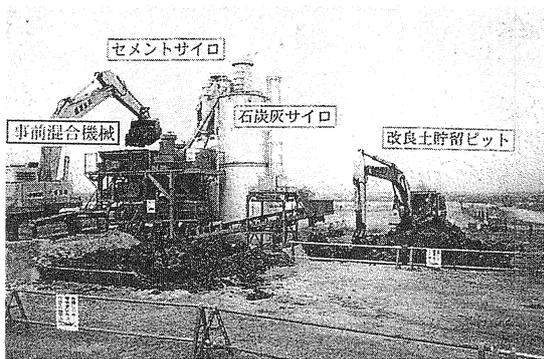


写真-5 事前混合処理機械による改良状況

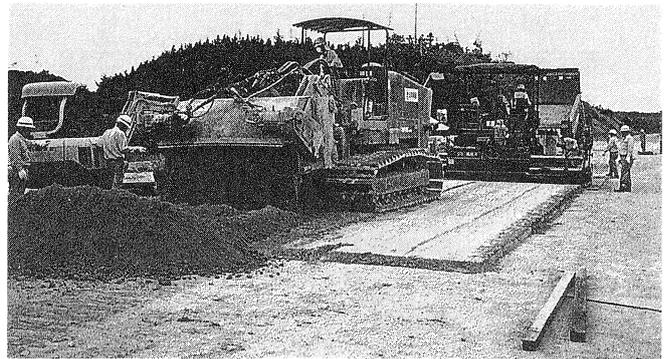


写真-7 石炭灰改良材混合

4.3 路床改良材としての活用（写真-6, 7）⁷⁾

建設省安来道路は、山陰地方の主要都市を通る一般国道9号の交通混雑緩和と高速交通ネットワークと連携し、地域間時間距離短縮を目的とした、延長18.7kmの高規格道路である。この工事現場の土質は全線に亘り高含水比粘土であり、重機走行時、掘削時および降雨時等に泥濘化が著しく、何らかの安定処理が必要であった。

このため、当社と建設省(松江国道工事事務所)は共同で、軟弱地盤の改良材に石炭灰を活用に向けた技術開発に取り組み、公共工事での路床改良材として、国内で初めて本工事に採用された。

石炭灰を陸上の改良材として使用する場合、散布量がセメント等の固化材に対し、増大するため非効率的であったが、石炭灰に最低限の水量を加湿することで、取扱い性を向上させ、通常の施工機械を使い高速施工を可能とした。併せて、粉じんの発生も抑制されることから、民家に近傍する場所でも工事を行うことが可能となった。

この加湿改良材の技術により、舗装工事で一般的に使用されているアスファルトの敷き均し機械(アスファルトフィニッシャー)による高速散布が可能となり、材料費の低減と併せて工事全体の効率化図れ、コストダウンに大きく貢献するものとなった。

この技術は、陸上で石炭灰を使用する場合の問題点を大きく改善するものであり、適用範囲の拡大に大きく寄与するものである。

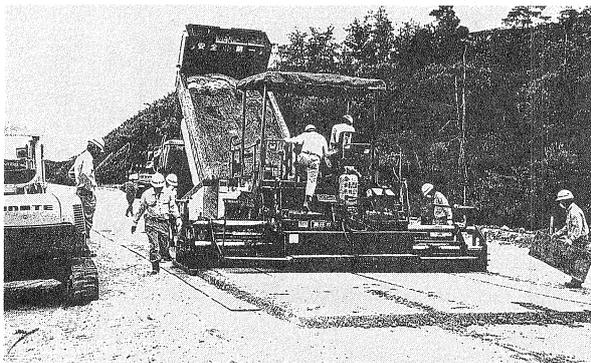


写真-6 石炭灰改良材散布状況

4.4 深層混合処理へ活用（写真-8）^{8),9)}

山口県下松市に建設中の当社専用の石炭中継基地の建設工事において、石炭灰をセメントに添加したスラリーを用いた深層混合処理工法を採用し、約18万 m^3 の地盤改良工事を行った。建設中の石炭中継基地(貯炭能力30万t)は、軟弱な埋立地に計画され、ストックヤード(積付け)に高さ34.4mまで山積みする。山積みされた石炭は必要に応じて地中に設置した洞道内払出装置を用いて搬出する構造となっている。

改良の仕様については、将来石炭が積付けされる範囲と、地下構造物構築時の山留めとして必要な範囲の2種類に設定する必要があるが、それぞれ、低強度の杭形式部分改良(積付け部)と無支保工形式で施工が可能となるブロック形式(洞道部)での地盤改良工法を採用している。

設定強度は積付け部で低強度の $qu=0.49N/mm^2$ 、洞道部で $qu=1.47N/mm^2$ とした。通常セメントによる深層混合処理の場合、品質を確保するのに必要な最低スラリー量を確保するために必要以上にセメント量が増え、低強度に設定した場合、設計以上の強度発現があり、改良後の掘削・杭打ちについて配慮する必要があるが、石炭灰を使用した深層混合処理は、セメント量の一部を石炭灰に置き換え、最低スラリー量を確保することで、低強度の均一な改良となった。同一強度発現についても、セメント量を低減することができることが確認された。この結果を踏まえ、石炭中継基地の本工事に石炭灰を活用したFC(フライッシュセメント)深層混合処理工法を採用したものである。

本稿では、本施工の改良杭確認のために行ったコアボーリングによる試験結果について紹介する。

改良対象地盤は砂質土と粘性土が互層になっている部分が多いため、コアの観察結果と含水比から総合的に判断して砂質土、砂質粘性土、粘性土に3分類して試験結果を整理した。以下に結果を示す(図-12・13)。

- ①含水比と現地改良土の平均強度の関係から、粘性土と砂質粘性土の間には現地改良土の強度に大きな差がないのに対し、砂質土は粘性土に対して現地改良土の強度が大きく発現していた。
- ②現地改良土の強度は改良土含水比が20%付近で急激に変化しており、強度が含水比に及ぼす影響が大き

いことがわかる。

なお、現地改良土の強度の変動係数は19~36%の範囲であり、通常のセメント系の改良土の変動係数25~35%と同等以上に良好な結果が得られている。

石炭灰を活用したFC深層混合処理工事を通じて、FCスラリーによって施工された改良地盤は、品質のバラツキも少なく、深層混合処理工法での最低スラリー量を確保するために、石炭灰がセメントの代替材として十分機能することを確認した。

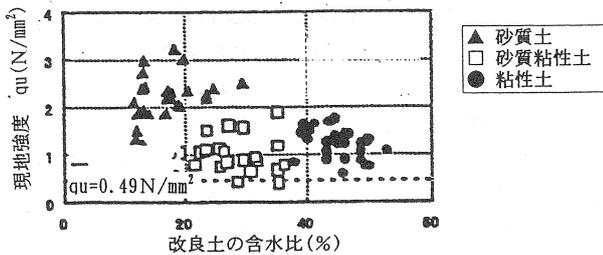


図-12 積付け部の強度試験結果

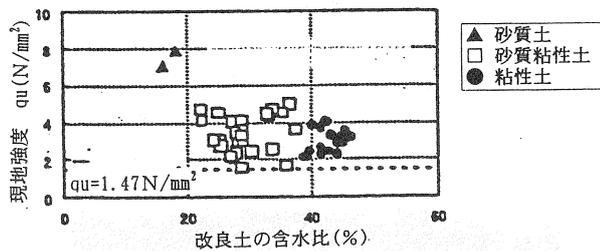


図-13 洞道部の強度

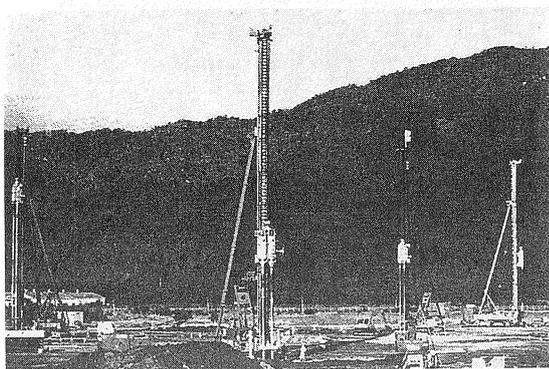


写真-8 FC深層混合処理施工状況

4.5 吹込み浚渫土の管中混合処理 (写真-9)

浚渫土の吹込みに際しては、埋立地の利用方法が決まらない場合、吹込み時の浚渫土の改良は実施されないケースが多く、浚渫埋立後に地盤改良等が行われている。この浚渫土吹込み時に石炭灰を添加すれば、セメント

等の安定材による固化処理よりも広範囲な強度レベル、特に低強度レベルの均一な安定処理土となるため、埋立後の掘削・杭打等も容易となり、扱い易い土地が形成される。本稿では、新小野田泊地維持浚渫工事で発生する浚渫土を対象に管中混合固化処理工法(Pipe Mixing工法)で固化埋立処理した事例について紹介する。

管中混合など浚渫土の含水比のバラツキが300~400%の幅を持って大きく生じる場合、セメントのような水固化材比により強度が大きく変動する固化材を活用すると均一な地盤強度が得られない。

石炭灰を固化材として活用すると、図-14に示すとおり石炭灰の添加量に応じて緩やかな強度増進効果を得ることができるため、含水比の変動に対して安定した強度発現性を確保することができる。

図-15は、添加材量を一定にして管中混合を行った結果であるが、現場目標強度0.1N/mm²(室内目標強度0.2N/mm²)に対して、0.08~0.38N/mm²のバラツキ範囲に収まっている。この結果を受けて、浚渫土の含水比のバラツキに応じて添加材量を変化させた。図-16に示すとおり、固化材添加量は含水比に応じて高い精度で添加できることがわかる。更に、石炭灰を使った改良材は、含水比変動に伴う強度発現性が緩やかであることから、均一な改良地盤の形成が可能であるものと考えられる。

また、固化処理プラントは、既存の固化処理船の固化材添加量の制御を改造するだけで対応が可能であり、固化材料費の低減などを勘案すれば、総合的に工事費の大幅なコスト低減につなげることが可能である。

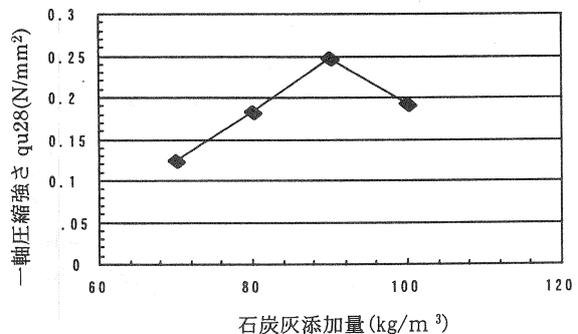


図-14 石炭灰添加による強度改善効果

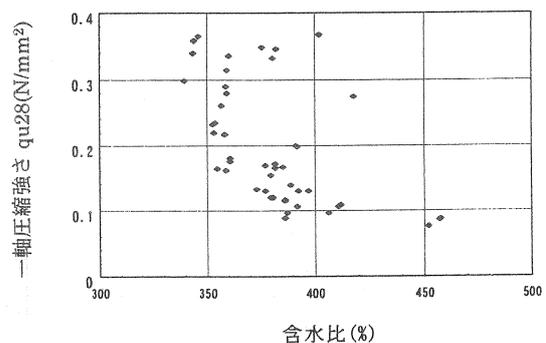


図-15 含水比と強度の関係(固化材添加量一定)

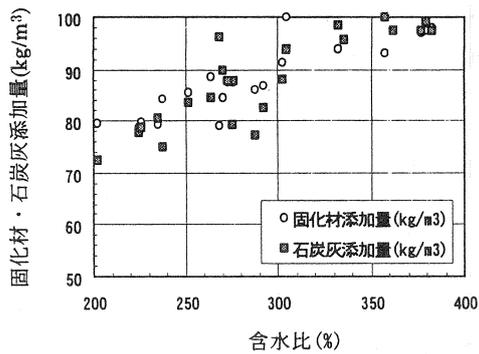


図-16 含水比と添加材量の関係

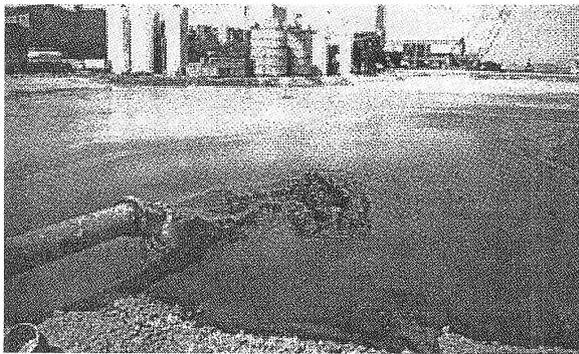


写真-9 固化処理土の状況

5. 石炭灰を活用した充填材・軽量盛土材への適用

5.1 目的

石炭灰は微細粒子で球形をしているため、石炭灰を混合したコンクリートやモルタルは流動性が增大することが知られている。また、橋台背面や擁壁の裏込めなど荷重軽減を目的として、気泡モルタル等が採用される例があるが、砂に比べて比重の軽い石炭灰の特性を活かし、気泡モルタル中の細骨材代替として石炭灰を使用することができる。この特性を活かした実際に現場に適用した事例として、ガス管のトンネル充填材・建設省苦田ダム管理道路盛土材等があるが、本稿ではこのうち、トンネル充填材として活用した例について紹介する。

5.2 配合と品質管理項目

表-7に配合と品質管理項目を示す。今回の配合は、骨材(砂)を全量石炭灰に置換したものにしている。比重の軽い石炭灰を活用することで、起泡剤量およびセメント量の低減が図れ、材料費の削減できるものである。

表-7 配合と品質管理項目

	配合					品質	
	w/C (%)	セメント (kg)	骨材 (kg)	水 (kg)	起泡剤 (L)	比重 (kg/L)	強度 (N/mm ²)
石炭灰モルタル	130	230	230(FA)	299	1.08	0.79	0.98
砂モルタル	56	270	270(砂)	151	1.28		

5.3 試験結果

圧送距離は主材となる砂の摩擦抵抗による約1000mが限界であったが、石炭灰の活用により摩擦抵抗が低減され、大きく流動性が向上し、今回の約2000mの施工については通常の圧送プラント(圧力2Mpa)で送り流量が減少することもなかった。

品質についても、所要の値を満足していることを確認している。このように、気泡モルタルの細骨材に替えて石炭灰を使う場合、長距離打設が可能になる他、起泡材量・セメント量の低減が図れることで、コスト削減にもつながる材料である。

6. 石炭灰(PFBC灰)を活用した路盤材(写真-12)

大崎発電所で採用している加圧流動床複合発電(PFBC)方式では、燃焼により発生する硫黄酸化物(Sox)を除去するため、燃料の石炭とともに石灰石をボイラー内に投入している。このため、この発電方式により発生する石炭灰(PFBC灰)は、カルシウム分を多く含んでおり、水と配合することにより固化する性質がある。

このPFBC灰が水と配合することにより固化する性質を活かし、これを道路工事における路盤材として実用化するため、固化に必要な水量の最適配合の把握、および、施工法の開発した。この技術を採用し、材料費の低減が図れるほか、高強度の路盤形成が可能となるためメンテナンスが少なくすむ材料である。工事に際しても汎用機械の使用が可能なることから、大幅なコスト低減が期待できる。このことから、大崎発電所構内道路にPFBC灰路盤を採用し、大きくコストダウンに貢献している。

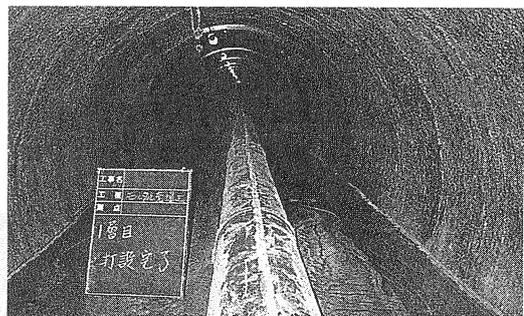


写真-10 ガス管トンネル充填

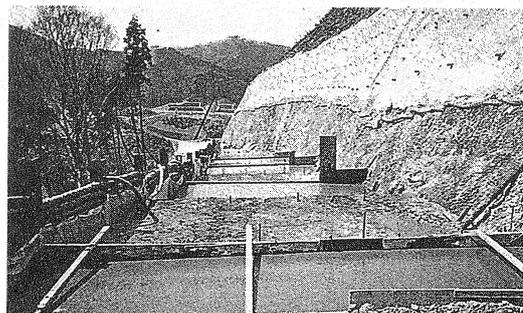


写真-11 軽量盛土打設状況

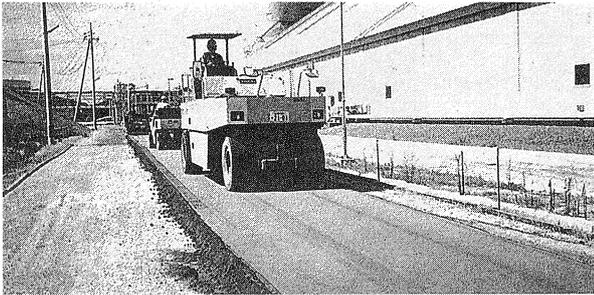


写真-12 石炭灰路盤材施工状況(構内道路)

7. 石炭灰を商品として販売(図-17)

以上一部ではあるが、石炭灰を活用した土工材料を紹介した。これらの商品を本格販売するにあたっては、市場製品との競合が想定される。以前より石炭灰の利用技術の研究が進められていたものの、流通が弊害となり、そのためコストが上昇し市場に浸透してこなかった。当社では、石炭灰および海砂代替材のような加工品を一つの商品として位置づけ、陸上・海上での輸送方法を自ら調査・検討し、流通を整備しているところである。その一環として、現在島根県平田市の河下港に2000tの石炭灰専用のサイロを構築し、平成12年10月から供給開始する予定である(図-18)。このサイロは、三隅発電所(島根県西部)から発生する石炭灰専用のもので、島根県東部地域の石炭灰販売の拠点となる。山陽地方にも順次同様な石炭灰中継サイロを計画しており、将来的に中国地方全体に供給できるようにする計画である。

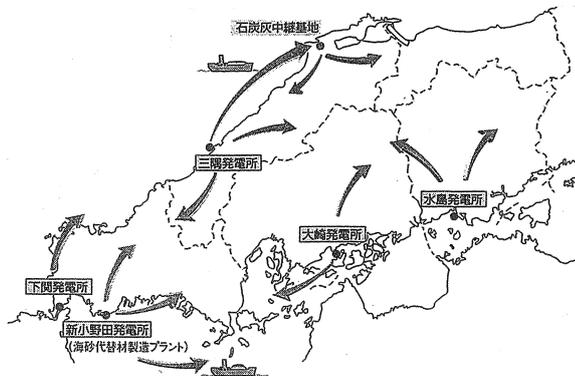


図-17 供給体制概念図

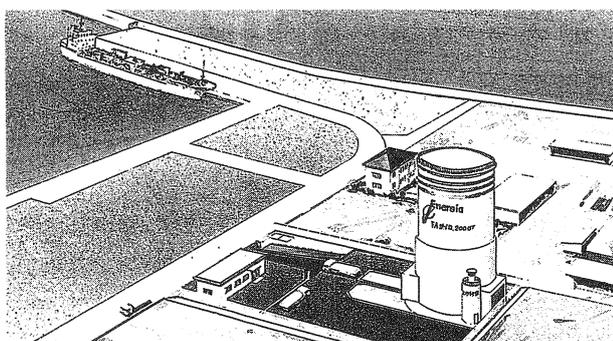


図-18 石炭灰中継基地(2000tサイロ:河下港)

8. むすび

これらの活動は、平成10年度から本格的に始動したものであるが、全て実用化を前提としており、今後も多数の実証試験工事を実施すると共に、海砂代替材をはじめ石炭灰商品の製造・販売および新製品の開発を行う予定である。また、これらの取組みは共同研究先である建設省ならびに山口大学浜田教授・兵動教授・中田助教授、岡山大学阪田教授、広島大学佐藤教授・河合助教授、元松江高専鈴鹿教授およびゼネコン各社のご協力のもと着実に前進している。当社の取組みは、石炭灰に限らず廃棄物のリサイクルに対して一石を投じるものであり、今後この活動が全国大に広がることを期待している。

なお、本稿で紹介した技術については、当社ホームページ(http://www.energiaj.com_fre.html)に登録し幅広い理解の促進に取り組んでいるので、機会があれば是非ご覧になって頂きたい。

参考文献

- 1) 斉藤直・樋野和俊・新谷登：石炭灰を使った海砂代替材の開発と取組み状況，電力土木技術協会，No. 287，pp67-71，2000.
- 2) 斉藤直・新谷登・樋野和俊・車田佳範・名越聖治：石炭灰を活用した海砂代替材の開発とその特性，土木学会第54回年次学術講演会，Ⅲ-B，pp526-527，1999.
- 3) 車田佳範・浜田純夫・斉藤直・樋野和俊・新谷登：石炭灰を活用した海砂代替材の品質特性，土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ-B，pp. 466-467，2000.
- 4) 樋野和俊・斉藤直・兵動正幸・中田幸男・村田基治：石炭灰造粒物のSCP打設試験における改良特性(その1)，土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ-B，pp. 468-469，2000.
- 5) 村田基治・斉藤直・樋野和俊・新谷登・内田裕二：石炭灰造粒物のSCP打設試験における改良特性(その2)，土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ-B，pp. 470-471，2000.
- 6) 斉藤直・樋野和俊・浜田純夫・松尾栄治・田中敦之：石炭灰を使った地盤改良材の改良特性，第34回地盤工学研究発表会，pp. 931-932，1999.
- 7) 斉藤直・飯國卓・西村修一・三次健夫・樋野和俊：石炭灰原粉による高含水比軟弱粘性土の改良特性(安来道路での試験施工)，土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ-B，pp. 478-479，2000.
- 8) 田村博邦・斉藤直・斉藤聡・樋野和俊・新谷登：FC深層混合処理工法による石炭中継基地の地盤改良(その1室内配合試験)，土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ-B，pp. 460-461，2000.
- 9) 津國正一・中下明文・鶴川稔・樋野和俊・斉藤直：FC深層混合処理工法による石炭中継基地の地盤改良(その2現地施工)，土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ-B，pp. 462-463，2000.