

港湾工事における石炭灰混合材料の
有効利用ガイドライン
(改訂版)

平成 29 年 2 月

一般財団法人石炭エネルギーセンター

一般財団法人石炭エネルギーセンター技術開発部
〒105-0003 東京都港区西新橋三丁目 2-1 Daiwa 西新橋ビル 3 階
TEL 03-6402-6103 FAX 03-6402-6110
<http://www.jcoal.or.jp/ashdb/ashguideline/>

(※) 平成 28 年度 NEDO 委託事業石炭灰調査事業の中で、本ガイドラインの改訂を行っております。

「港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン」の改訂にあたって

我が国のエネルギー政策は、東日本大震災以降大きな転換期を迎え、原子力発電に代わる再生可能エネルギーの導入が急がれています。しかしながら、これまでの実績と安定供給とコストの観点から化石燃料による発電にたよるところは大きく、特に石炭火力発電は、発電コストも安いことから、石炭火力発電は引き続き重要な役割を担い、高い水準で維持されることが予想されます。そして、発電に伴い副生される石炭灰の定常的かつ付加価値の高い有効的な利用をこれまで以上に進めていく必要があります。

そこで、一般財団法人石炭エネルギーセンター（JCOAL）では、石炭灰の土木分野での有効利用用途の拡大と推進をはかることを目的に、平成23年に「港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン」、平成26年に「石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン（震災復興資材編）」、平成27年に「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（高規格道路盛土編）」を発刊し、各方面でご好評を頂き、ご活用して頂いております。

石炭灰混合材料とは、石炭灰にセメント、水、土砂、さらには添加剤等を必要に応じて混合した材料であり、破碎材、造粒材、塑性材、スラリー材の4種類が適用個所に応じて利用されている。また、各材料の施工実績も港湾工事、道路盛土工事を中心に多く利用されており、徐々に社会的な認知度も上がってきている材料であります。しかしながら、石炭灰の排出量を鑑みるとさらなる公共工事等での利用をさらに推し進めることが求められています。

また、震災から6年が過ぎ、これから益々復興材料が必要な東日本大震災の被災地において、石炭灰混合材料の材料優位性を生かしつつ、天然資材に代わる土工材料としての有効利用が期待される場所です。

今回、港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン（改訂版）については、発刊から5年が経過し、また、その後に発刊した2つのガイドラインでの議論を生かしつつ、さらに実務的に活用して頂けるように、図面や写真を多く活用し、具体的な港湾工事例をできるかぎり多く取り上げ、取り纏めました。内容的には、初版同様に港湾工事における石炭灰混合材料を用いるメリット、実際の適用方法、製造方法、材料特性および適用個所ごとの環境安全品質および検査方法について多くの写真・図表を織り交ぜて分かりやすく解説しております。

本ガイドラインが広く活用され、さらなる貴重な事例と知見が蓄積され、石炭灰混合材料の社会基盤整備において有効活用されることを期待いたします。

平成29年2月

福岡大学 教授 佐藤 研一

（一般財団法人石炭エネルギーセンター 石炭灰ガイドライン改訂検討委員会 委員長）

一般財団法人石炭エネルギーセンター
平成 28 年度石炭灰ガイドライン改訂検討委員会 委員構成

委員長 佐藤 研一 (福岡大学 工学部 社会デザイン工学科 教授)
委員 (幹事) 横田 季彦 (日本国土開発株式会社 経営企画室 執行役員)

委員

委員 成田 健 (東北発電工業㈱ 火力部副部長)
委員 井野場誠治 (一般財団法人 電力中央研究所 環境科学研究所 環境化学領域
上席研究員)
委員 肴倉 宏史 (国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センタ
ー 循環利用・適正処理処分技術研究室 室長)
委員 龍原 毅 (パシフィックコンサルタンツ株式会社 環境創造事業本部 地盤技
術部 チーフプロジェクトマネージャー)
委員 門間 聖子 (応用地質株式会社 技術本部 技師長室 (地球環境事業部駐在)
技師長)
委員 坂本 守 (株式会社 安藤・間 技術本部 技術研究所 土木研究部 コンク
リートチーム 主席研究員)

財団法人石炭エネルギーセンター
石炭灰有効利用ガイドライン委員会 委員構成

委員長 河野 広隆 (京都大学 大学院工学研究科 教授)

委員

石川 淳 (電源開発株式会社 火力発電部 石炭灰利用推進グループ グループリーダー)
勝見 武 (京都大学 大学院 地球環境学堂 教授)
菊池 嘉昭 (独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 部長)
貴田 晶子 (一般社団法人 廃棄物資源循環学会 副会長)
佐藤 研一 (福岡大学 工学部 社会デザイン工学科 教授)
今西 肇 (東北工業大学 工学部 都市マネジメント学科 教授)
下垣 久 (財団法人 電力中央研究所 環境科学研究所 環境ソリューションセンター所長)
水谷 聡 (大阪市立大学 大学院 工学研究科 准教授)
山本 修司 (財団法人 沿岸技術研究センター 理事)
横田 季彦 (日本国土開発株式会社 技術センター所長)

※) 平成 23 年度 委員会

財団法人石炭エネルギーセンター
石炭灰有効利用ガイドラインWG委員会 委員構成

委員長 佐藤 研一 (福岡大学 工学部 社会デザイン工学科 教授)
委員(幹事) 横田 季彦 (日本国土開発株式会社 土木本部 技術営業部長兼技術センター所長)

委員

大中 昭 (宇部興産株式会社 エネルギー・環境事業部 技術開発室 石炭開発部 主席部員)
寺前 剛 (出光興産株式会社 販売部 石炭事業室 石炭・環境研究所 チームリーダー)
田中 譲 (株式会社ジェイペック 環境・資源リサイクル事業部資源グループ グループリーダー)
成田 健 (東北電力株式会社 研究開発センター 主幹研究員)
井野場誠治 (財団法人 電力中央研究所 環境科学研究所 環境ソリューションセンター 主任研究員)
肴倉 宏史 (独立行政法人 国立環境研究所 循環型社会・廃棄物センター 物質管理研究室 主任研究員)
山田 理 (独立行政法人 産業技術研究所 エネルギー技術部門 主任研究員)
水谷 崇亮 (独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 地盤研究領域 基礎工研究チーム リーダー)
川口 正人 (清水建設株式会社 技術研究所 生産技術センター 主任研究員)
石井 光裕 (株式会社 四国総合研究所 土木技術部 部長)
陣内 久雄 (九州電力株式会社 技術本部 土木部 技術戦略グループ グループ長)
西川 力 (中部電力株式会社 発電本部 土木建築部 技術・企画グループ グループ長)
吉田 貴昭 (太洋基礎工業株式会社 東京支店 営業部 技術顧問)

※所属・役職は平成23年3月現在

旧委員等

森 憲広 (旧委員：東北電力㈱)
前畠 龍三 (旧委員：九州電力㈱)
堀内 澄夫 (旧オブザーバー：清水建設㈱)
田野崎隆雄 (旧オブザーバー：太平洋セメント㈱)

※所属は当時

目 次

第1章	総則	1
1.1	はじめに	1
1.2	石炭灰有効利用の現状および課題	2
1.3	石炭灰および石炭灰混合材料のメリット	3
1.4	適用と環境安全性の考え方	4
1.5	対象となる石炭灰混合材料	6
1.6	港湾工事における石炭灰混合材料の利用イメージ	8
1.7	ガイドラインの内容	11
1.8	用語の定義	13
1.9	関連法律	15
第2章	港湾工事での適用方法	18
2.1	計画から施工までの流れと適用対象	18
2.2	埋立・裏込め・道路・盛土材料への適用	20
2.2.1	適用イメージと適用時のメリット	20
2.2.2	設計方法	21
2.2.3	施工方法	21
2.2.4	品質管理方法	21
2.3	補強・機能向上への適用	22
2.3.1	適用イメージと適用時のメリット	22
2.3.2	設計方法	22
2.3.3	施工方法	22
2.3.4	品質管理方法	22
2.4	道路・盛土・築堤への適用(塑性材)	24
2.4.1	適用イメージと適用時のメリット	24
2.4.2	設計方法	24
2.4.3	施工方法	24
2.4.4	品質管理方法	24
2.5	二次製品への適用	25
2.5.1	適用イメージと適用時のメリット	25
2.5.2	設計方法	25
2.5.3	製造方法	25
2.5.4	施工方法	25

2.5.5	品質管理方法	26
2.6	適用事例	27
2.6.1	埋立・裏込め・道路・盛土材料	27
2.6.2	補強・機能向上	33
2.6.3	道路・盛土・築堤	37
2.6.4	地盤改良	39
第3章	石炭灰混合材料	46
3.1	石炭灰混合材料の基本的物性	46
3.2	土砂代替材	50
3.2.1	破碎材	50
3.2.2	造粒材	52
3.2.3	塑性材	54
3.3	スラリー材	56
3.4	クリンカアッシュ並びにクリンカアッシュ混合物	58
第4章	環境安全品質および検査方法	60
4.1	はじめに	60
4.2	環境安全品質および検査方法の規定に際しての考え方	60
4.2.1	基本的な考え方	60
4.2.2	最も配慮すべき暴露環境	62
4.2.3	環境安全品質基準と試験方法	62
4.3	環境安全品質基準	64
4.4	試験方法	66
4.4.1	環境安全形式検査における試験方法	68
4.4.2	環境安全受渡検査における試験方法	68
4.5	検査の運用方法	69
4.5.1	検査の実施者	69
4.5.2	検査の頻度	69
4.5.3	検査結果の判定基準	70
4.5.4	再検査	70
4.5.5	ロットの管理	70
4.5.6	検査の記録	70
4.5.7	検査記録の報告および保管	71
4.5.8	その他	71

参考資料	74
1. 石炭灰	74
1.1 原炭について	74
1.2 石炭燃焼プロセスと石炭火力発電所	75
1.3 石炭灰の発生量	76
1.4 石炭灰の種類	78
1.5 石炭灰の物理・化学的特性	79
1.6 石炭灰の利用状況	80
1.7 石炭灰の微量物質含有量と溶出特性	85
1.8 石炭灰混合材料の溶出特性	87
2. 石炭灰混合材料に関する問合せ先	90
3. 関連法律の概要	92

第1章 総則

1.1 はじめに

火力発電所等から発生する石炭灰は図-1.1に示すように、約1,000万tの水準となっている¹⁾。この石炭灰の有効利用に関しては1991年に制定された「資源有効利用促進法（リサイクル法）」において石炭灰が利用を促進すべき指定副産物に定められたこと等から、電力会社を中心に積極的に進められているが、1.2で述べるように有効利用上の課題も少なくない。

そこで、一般財団法人石炭エネルギーセンター（JCOAL）では、石炭火力発電所等から発生する石炭灰の土木分野での用途拡大を目的に、平成23年3月に、石炭灰混合材料の材料的優位性が活用できる港湾工事への適用に関する事項を取り纏めた「港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン」²⁾（港湾工事編）の初版を、平成26年3月に、東北地方太平洋沖大地震で大きな被害を受けた東北地方の太平洋岸の復旧・復興工事にも活用可能な石炭灰混合材料の利用方法を示した「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（震災復興資材編）」³⁾（以下、震災復興資材編ガイドラインと記す）を、更に、平成27年3月には、高規格道路盛土への活用促進を目的に「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（高規格道路盛土編）」⁴⁾を発刊した。このうち港湾編ガイドラインについては、発刊後5年を経て新たな用途も検討されていることから改定版を作成した。

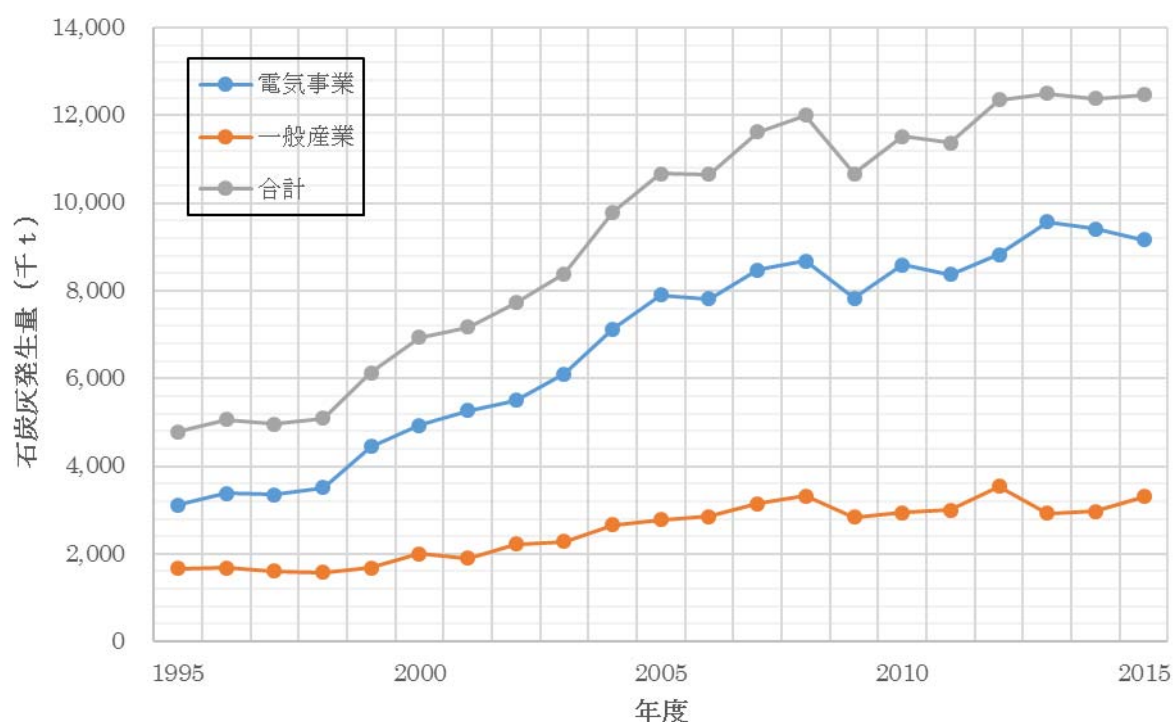


図-1.1 石炭灰の発生量の推移

1.2 石炭灰有効利用の現状および課題

石炭灰の有効利用分野の内訳を図-1.2に示す。同図に示すように、有効利用分野の内訳ではセメント分野(セメント原料としての利用)が65～70%の範囲を占めており、他の利用先を大きく離している。

このセメント分野における利用については、2010年に61.8%となった後、震災復興工事等の増加でセメント生産量が増えたことから、その後は70%前後の水準となっている。しかしながら、東京オリンピック終了後は公共工事の縮減が予測されており、建設工事におけるセメント使用量も低下すると推測されている。このような現状に対して一般財団法人石炭エネルギーセンター(JCOAL)では、現状の利用率が15%に満たない土木分野での有効利用率の拡大を目的に、港湾工事編、震災復興資材編および高規格道路盛土編のガイドラインを発刊した。

石炭灰のセメント分野以外での有効利用技術の開発は石炭灰の主な排出業者である電力会社をはじめ、大学および建設会社等の多岐にわたる部門で進められてきており、既に多くの適用実績も報告されている^{5)、6)、7)、8)}。しかしながら、石炭灰を公共工事等で定常的に使用している事例は少なく、セメント分野以外での利用は停滞している。この理由としては、石炭灰利用時における周辺環境安全性の評価があげられる。即ち、石炭灰を土木分野で使用する場合、石炭灰中に含まれている表-4.4に示す微量成分の溶出に対して環境安全性を確保することが必要となる。

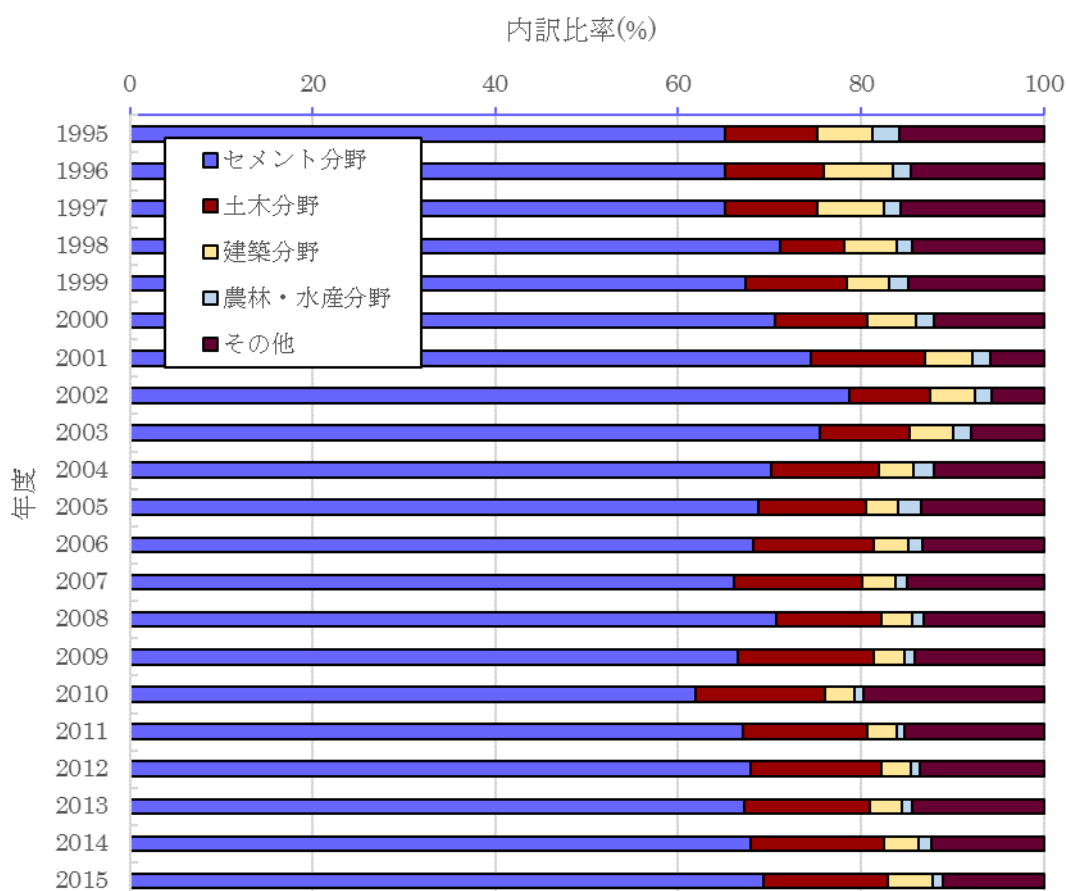


図-1.2 石炭灰の有効利用内訳

1.3 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット

産業副産物である石炭灰を港湾工事で利用することは、以下に示すようにリサイクル材の有効活用促進の観点からも有意義である。

- ① 副産物の有効活用であり、天然資材を利用するのに比べて環境負荷が少ない。
- ② 産業副産物であり材料コストが購入土砂等と比較して安い。
- ③ 石炭灰の発生位置（火力発電所位置）が沿岸域にあるため、船舶での大量輸送が可能で運搬コストの低減が図れる。
- ④ 石炭灰の発生位置（火力発電所位置）が全国に分布しており、供給体制が取りやすい。
- ⑤ 大量に発生する（全国で 1,000 万 t/年以上）ものであり、大規模な工事への供給が可能である。

また、化学的特性および物理的特性の観点からは、石炭灰の特性を活用したメリットも多い。石炭灰の特性を生かした石炭灰混合材料のメリットを表-1.1 に示す。同表に示すように、石炭灰の化学的および物理的特性を生かすことで、石炭灰混合材料は非常に有用な建設資材となり、本ガイドラインの策定により港湾分野の利用が拡大されることが望まれる。

表-1.1 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット

	石炭灰の特性	石炭灰混合材料のメリット
化学的特性	- 原料である石炭は元来自然界に存在していたものであるため、化学組成が一般的な自然の土壌・岩石類に近い。 - 発生箇所（火力発電所）、使用する原炭によって若干性質はことなるが、他の産業副産物に比べると基本性状のばらつきが比較的小さい。 - 他の産業副産物に比べて、塩素含有量が比較的少ない。	- ポゾラン反応を有している場合は、セメント等の固化材の使用量を低減することが可能で、長期的な強度を確保しやすい。 - セメントを添加することで安定し、要求品質が確保しやすくなると共に重金属等の溶出が抑制される。
物理的特性	シルト質で土粒子密度が小さく、軽量埋立資材として優れた性質を有している。	- 比較的軽量であることから、軟弱な地盤上では沈下量を低減することが可能。 - 軽量であり、セメント等で固化させた場合、構造物への土圧、側圧を軽減することが可能。 - スラリー状にした場合、微粒分が多いため流動性が改善され充填性能に優れる。 - 固化させることで海上への吸出しがなく、水質への影響が少ない。

1.4 適用と環境安全性の考え方

初版の港湾工事編ガイドラインでは石炭火力発電所から副産物として発生する石炭灰のうち、微粉炭燃焼ボイラーの燃焼ガスから集じん装置で採取されたフライアッシュのみを対象としていたが、改訂版ではクリンカアッシュも対象とした。また、利用形態はこれらの単体利用ではなく、石炭灰にセメント、水、土砂、添加材料等を必要に応じて混合した石炭灰混合材料としての適用を原則に、港湾工事への適用方法、製造方法および環境安全性評価方法についてとりまとめた。

これは、実際の土木工事においては石炭灰をそのままの状態を使用するよりも品質が安定した石炭灰混合材料の状態で使用されるケースが殆どであること、本ガイドラインの本来の策定趣旨でもある「利用実態に即した評価方法の確立（有姿評価）」を行う上で、石炭灰単体で評価するよりも実際に施工箇所で使用される石炭灰混合材料での評価の方が実用的であると考えられること、によるものである。

また、本ガイドラインの適用範囲を港湾工事における裏込め等の地中利用に限定していることは環境リスクを評価する上でも非常に有効であると考えられる。利用時の環境を考慮した環境安全品質については第4章で詳述するが、石炭灰混合材料を有効利用する際には、影響を受ける大気、土壌、地下水、海水等の環境媒体が当該の環境基準等を満足することが要求される。

即ち、港湾工事での地中利用においては大気が媒体となる飛散・揮散リスク、および土壌が媒体となる接触・付着リスクについては石炭灰混合材料の表層部を舗装等で覆い表面を露出させないことで環境リスクを最小化できるだけでなく、施工後も事業者が管轄・管理するケースが殆どであること、第三者によって掘削・再利用されるケースも殆どないと想定されること等からもこれらのリスクを小さく見積もることが可能である。さらに地下水が媒体となる浸透リスクに関しては、施工箇所を浸透した地下水は途中で利用されることなく海域に流入することから環境リスク対策上問題がないと考えられる。

図-1.3は石炭灰混合材料の適用箇所と環境安全性評価方法との関係を示したものであり、石炭灰混合材料を土工材料として利用する場合、現状では用途に係わらず一律の環境安全性評価方法が用いられるケースが殆どであるが、「摂取の観点からの環境リスク」と「土地利用の観点から見た管理の容易さ」に基づいた環境安全性評価方法を定めることが合理的である。このような観点から本ガイドラインは、有姿での環境安全性評価手法を用いることで港湾工事における石炭灰混合材料の利用拡大を目指したものであり、「摂取の観点からの環境リスク」および「土地利用の観点から見た管理の容易さ」が計画・設計時点の通りとなっていることが条件である。即ち、施工時の検査記録（工事記録等）を定められた期間保管するだけでなく、施工後に掘り返して再利用が行われる場合は土壌環境基準との適合性を検証する必要がある。

図-1.4に石炭灰混合材料の基本的な製造フローを示す。同図に示すように、石炭灰混合材料の製造は予め利用場所と異なる位置（現場外もしくは現場内）で石炭灰（フライアッシュ）にセメント、水、土砂および添加材料等を混合して石炭灰混合材料を製造して、施工場所まで運搬して利用する土砂代替品としての利用方法と、石炭灰とセメント、水、土砂および添加材料等を施工場所まで運搬し原位置で石炭灰混合材料をスラリー状で製造して利用する方法とが考えられる。なお、これらの製造方法の詳細に

については第3章に実例を踏まえて解説する。

なお、火力発電所から副産物として発生し、既に長期間埋立地等に埋め立てられている既成灰に関しては、石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（エージング灰（既成灰）編）⁹⁾にも示されているように、化学的には安定しており重金属等の溶出も少ないとの報告もある¹⁰⁾が、関連法規上の取り扱いにおいて課題も少なくないことから、その利用については関連機関の確認を得た上で可否を決定する必要がある。

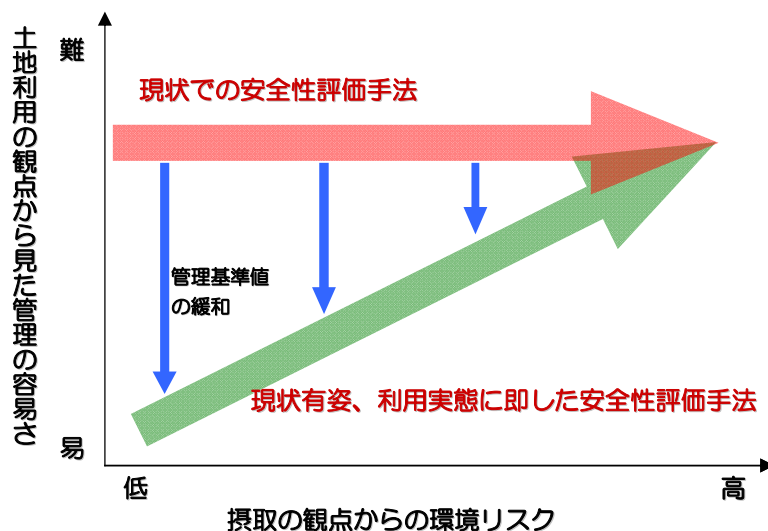


図-1.3 石炭灰混合材料の適用箇所と環境安全性評価方法

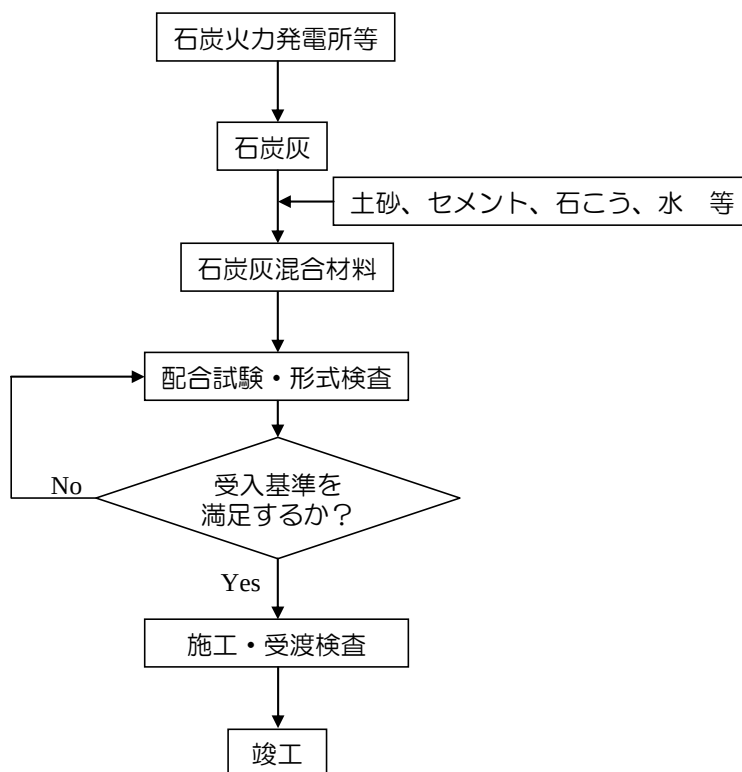


図-1.4 石炭灰混合材料の基本的な製造フロー

1.5 対象とする石炭灰混合材料

石炭灰を用いたリサイクル資材には多くのものがあるが、本ガイドラインでは港湾工事への適用を目的としていることから、表-1.2 および図-1.5 に示す土砂代替材、スラリー材およびクリンカ混合物を対象とする。なお、クリンカアッシュについては混合材料としてではなく、単体での地盤改良材（SCP）への使用実績も少なくない¹¹⁾ ことから、本ガイドラインの対象とした。

表 - 1.2 本ガイドラインが対象とする石炭灰混合材料

形態(種別)		概要(製造方法)	写真(例)	商品名※)
土砂代替材	破碎材	石炭灰にセメント、水、必要に応じて土砂、石膏等を混合して一旦固化させた後、掘削・破碎した土砂代替品	 「頑丈土 破碎材」	頑丈土破碎材 J-アッシュ 輝砂 FRC
	造粒材	石炭灰にセメント、添加材および水を加えて造粒して製造した砂質土代替材		Hi ビーズ ゼットサンド 灰テックビーズ フライ・クリーン
	塑性材	工事現場近傍において、石炭灰にセメント、土砂および水を攪拌混合して製造した石炭灰混合材料		アッシュクリート Type II ソマッシュ
スラリー材		施工場所において、石炭灰にセメント、水を混合しスラリー状にしたもの		FC スラリー F スラリー
クリンカ混合物 クリンカアッシュ		クリンカアッシュに建設発生土または浚渫土を混合して製造した土砂代替材 クリンカアッシュ単体での使用も可能		クリンカ混合土 ライトサンド

※) 一部一般名称も含む

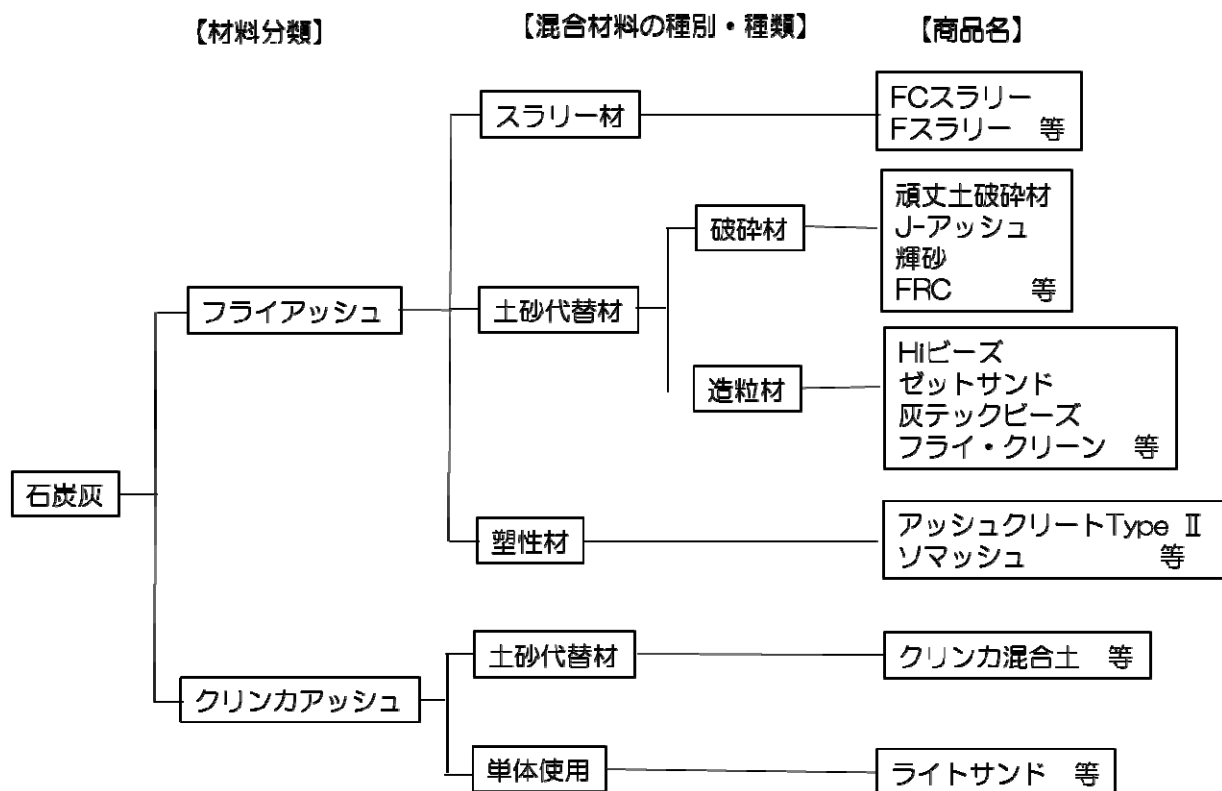


図 - 1.5 本ガイドラインが対象とする石炭灰混合材料

1.6 港湾工事における石炭灰混合材料の利用イメージ

港湾工事で用いられる地盤材料としては、大量に入手可能であり、しかも品質が安定していることが条件となる。さらに、使用する箇所に応じて表-1.3 に示す性質が求められる。

図-1.6 は港湾において石炭灰混合材料の適用が期待される箇所を示したものであり、図-1.7 にそれぞれの箇所での具体的なイメージを、表-1.4 に各利用時における石炭灰混合材料の効果を示す。これらの利用イメージに示されるように、石炭灰の混合材料は表層部を舗装等で覆い表面を露出させない地中利用とするとともに、石炭灰混合材料で施工した個所と他の地盤材料で施工した個所とが混じらないように区分する必要がある。

表-1.3 一般港湾工事用材料に求められる性質

材料	求められる性質	石炭灰混合材料の適用性
地盤改良材（SCP）	砂状のもの。ダイレンシーが大きいもの。固化するものについては議論の余地あり。	○
サンドドレーン材	透水性がよいこと	△
基礎砕石	粒子が大きいものがよい。割れにくいこと。かみ合わせがよいこと。	×
裏込め材	強度が高いこと（特にcがあるとよい）→土圧低減のため。軽いことも有利。	○
埋立て材	軽いこと。圧縮しにくいこと。	○
中詰め材	固まらないこと。	△
カウンターウェイト	重いと有利。海中で用いる場合は粒子が大きいこと。	×

凡例 ○：適用可、△：条件により適用可、×：適用不可

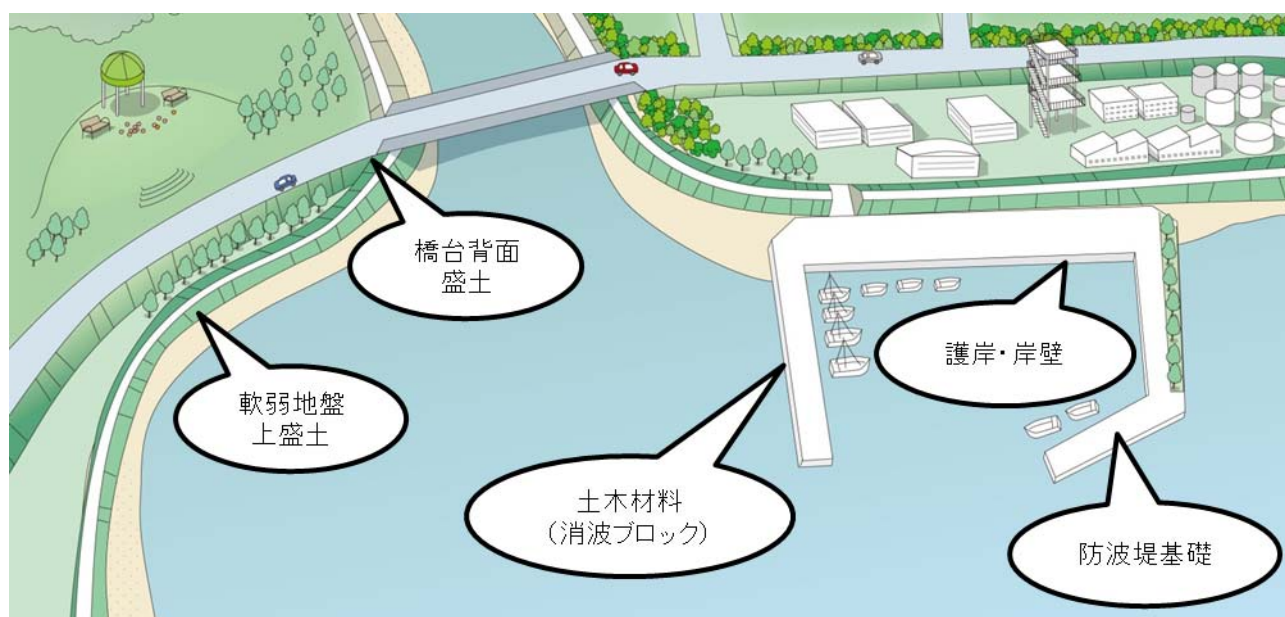
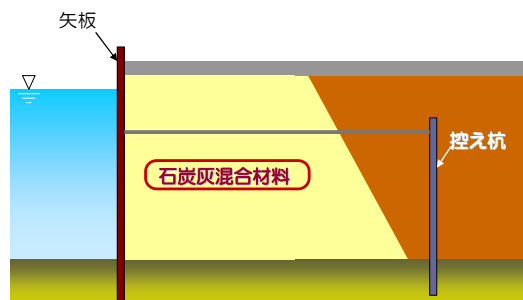


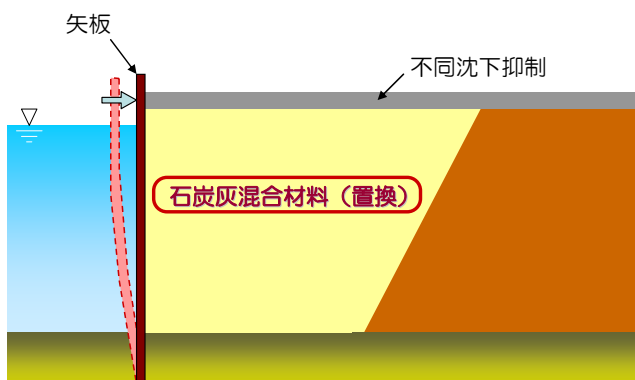
図-1.6 港湾工事における石炭灰混合材料の適用が期待される箇所



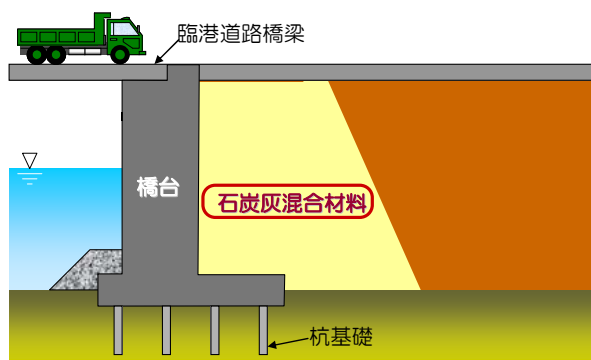
(1) 重力式岸壁（護岸）の裏込め・埋立材料への適用



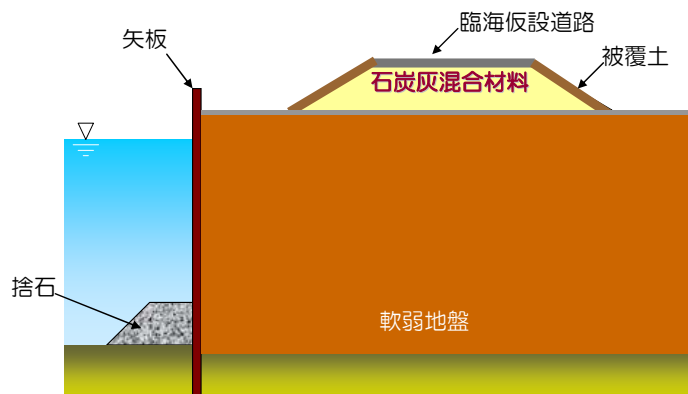
(2) 矢板式岸壁（護岸）の裏込め・埋立材料への適用



(3) 矢板式岸壁（護岸）の機能向上目的での適用



(4) 橋台背面盛土への適用



(5) 軟弱地盤上盛土への適用

図-1.7 港湾工事における石炭灰混合材料の利用イメージ

表-1.4 石炭灰混合材料による効果

適用例	石炭灰による効果
(1) 重力式岸壁(護岸)の裏込め・埋立材料への適用	・土圧低減（堤体断面の縮小、基礎マウンドの縮小、地盤改良範囲の縮小） ・沈下防止（軟弱地盤上の岸壁、背後地） ・液状化防止
(2) 矢板式岸壁(護岸)の裏込め・埋立材料への適用	・土圧低減（堤体断面の縮小、根入れ長の低減、控え構造の低減又は省略、地盤改良範囲の縮小） ・沈下防止（軟弱地盤上の岸壁、背後地） ・液状化防止
(3) 矢板式岸壁(護岸)の利用向上	・側方変位の抑制 ・不同沈下の抑制
(4) 橋台背面盛土への適用	・側方変位の防止 ・沈下による段差の抑制 ・滑り破壊の防止
(5) 軟弱地盤上の盛土	・沈下抑制 ・地盤改良、押え盛土の軽減又は省略 ・滑り破壊の防止

1.7 ガイドラインの内容

本ガイドラインは火力発電所等から発生する石炭灰に、水、セメント、土砂、必要に応じて添加材料を混合して製造した石炭灰混合材料の港湾工事への利活用促進を目的にしたものであり、以下の内容で構成している。

第1章ではガイドラインの作成目的を述べると共に、石炭灰および石炭灰混合材料のメリットを整理し、石炭灰混合材料を港湾工事に適用した場合の有用性を示す。

第2章では実際の港湾工事における石炭灰混合材料の適用事例を示し、計画から施工までの流れを適用用途毎に解説することで、通常の土砂材料を使用する場合との違いを整理し、どのようにすれば石炭灰混合材料を港湾工事に適用できるか、適用した場合、構造上および施工上どのようなメリットがあるかを示す。

第3章では、**第2章**で示した港湾工事に利用する石炭灰混合材料の製造方法、および製造された石炭灰混合材料の基本的物性を、製造方法・利用形態毎に実例をもとに示す。

第4章では、石炭灰混合材料を港湾工事で利用するための環境安全品質および検査方法を示したものであり、スラグ類の有効活用を目的に日本工業規格において導入が検討されている「循環資材を利用する際の、環境安全性の側面から配慮すべき品質の規定とその検査方法」の石炭灰混合材料への適用に関して解説している。即ち、すべてのライフサイクルの中で「最も配慮すべき曝露環境」に注目して環境安全品質を規定し、「環境安全形式検査」および「環境安全受渡検査」を実施することで、石炭灰混合材料の環境安全品質を合理的に保証することを示す。このうち、環境安全形式検査については利用状況の類型分けを行うことで、それぞれの環境安全品質基準を示している。

参考資料では石炭灰の発生フロー、基本的特性および発生量を解説するほか、既往の石炭灰有効利用技術、産業副産物である石炭灰混合材料を港湾工事で利活用する際に遵守すべき法律をとりまとめている。

表-1.5 ガイドラインの目次

第1章 総則

- 1.1 はじめに
- 1.2 石炭灰有効利用の現状および課題
- 1.3 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット
- 1.4 適用と環境安全性の考え方
- 1.5 対象となる石炭灰混合材料
- 1.6 港湾工事における石炭灰混合材料の利用イメージ
- 1.7 ガイドラインの内容
- 1.8 用語の定義
- 1.9 関連法律

第2章 港湾工事での適用方法

- 2.1 計画から施工までの流れと適用対象
- 2.2 埋立・裏込め・道路・盛土材料への適用
- 2.3 補強・機能向上への適用
- 2.4 道路・盛土・築堤への適用(塑性材)
- 2.5 二次製品への適用
- 2.6 適用事例

第3章 石炭灰混合材料

- 3.1 石炭灰混合材料の基本的物性
- 3.2 土砂代替材
- 3.3 スラリー材
- 3.4 クリンカアッシュ並びにクリンカアッシュ混合物

第4章 環境安全品質および検査方法

- 4.1 はじめに
- 4.2 環境安全品質および検査方法の規定に際しての考え方
- 4.3 環境安全品質基準
- 4.4 試験方法
- 4.5 検査の運用方法

参考資料

- 1. 石炭灰
- 2. 石炭灰混合材料に関する問合せ先
- 3. 関連法律の概要

1.8 用語の定義

本ガイドラインに用いる用語を次のように定義する。

石炭灰	: 石炭火力発電所等で微粉炭を燃焼したあとに残渣として副成されるもの
フライアッシュ	: 石炭灰のうち、微粉炭燃焼ボイラーの燃焼ガスから集じん装置で採取されたもの
クリンカアッシュ	: 石炭灰のうち、ボイラー底部で回収される溶結状のものを砕いたもの
既成灰	: 火力発電所から副産物として発生し、既に長期間埋立地等に埋め立てられている石炭灰（掘削すると塊状を呈する）
新生灰	: 新たに火力発電所から発生した石炭灰で、埋め立てがされていないもの、既成灰に相對する用語
石炭灰混合材料	: 石炭灰にセメント、水、必要に応じて土砂、石膏等を混合して固化させた地盤材料
破砕材	: 石炭灰にセメント、水、必要に応じて石膏等を混合して一旦固化させた後、掘削・破砕した土砂代替材。
造粒材	: 石炭灰にセメント、添加材および水を加えて造粒して製造した砂質土代替材。
スラリー材	: 施工場所において、石炭灰にセメント、水を混合してスラリー状にしたもの。以下、スラリーと記す
石炭灰塑性材	: 工事現場近傍において、石炭灰にセメント、土砂および水を混合攪拌して製造した石炭灰混合材料
新素材コンクリート	: 石炭灰にセメント、水、スラグを混合して製造したコンクリート
裏込め	: 重力式岸壁および矢板式岸壁において土圧低減等の効果を期待して背後地盤を埋めること
埋立	: 埋立、裏埋め、中詰め等による地盤造成
土圧	: 土砂による圧力。土砂の物理定数（ c 、 ϕ ）によって異なる
側方変位	: 構造物が側方に移動すること
浚渫土	: 浚渫工事によって発生する土砂
環境安全品質	: 影響を受ける周辺環境が、当該の環境基準やその達成のために適用される対策基準等を達成するために配慮が要求される品質で、溶出量等の具体的数値で示される。
環境安全形式検査	: 施工で使用する材料が環境安全品質を満足するかの判定をするための検査。工場等で製造された石炭灰混合材料を対象に実施する。
環境安全受渡検査	: 実際に利用者へ受渡される、もしくは実際に施工されるものと同じロットの材料を用いて、環境安全品質を満足するかどうかの判定をするための検査。石炭灰混合材料を対象に施工現場で実施する。
ポゾラン反応	: シリカ質物質が水酸化カルシウムと反応して硬化する反応。石炭灰混合材料はこ

の反応により長期強度が増加する。

JIS 試験法 : JIS K 0058-1 および JIS K 0058-2 に定められた試験方法

土対法試験方法 : 平成 15 年環境省告示第 18 号および同第 19 号に定められた試験方法

1.9 関連法律

産業副産物である石炭灰は、一般的には廃棄物としての性格を有することから、港湾分野での利用においては関連法規・基準を遵守し、環境保全上の問題が生じないように対策を講じる必要がある。

わが国における環境保全に関連する法律、および産業副産物を港湾事業で使用する際に関係する法律としては表-1.5 に示すものが考えられる。なお、各法律の概要については参考資料に記している。

表-1.5 港湾工事でのリサイクル材利用に係わる法律一覧

法律名称	制定日
①公有水面埋立法	1935 年 4 月 9 日法律第 57 号
②港湾法	1950 年 5 月 31 日法律第 218 号
③海岸法	1956 年 5 月 12 日法律第 101 号
④廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃棄物処理法)	1970 年 12 月 25 日法律第 137 号
⑤海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律(海防法)	1970 年 12 月 25 日法律第 136 号
⑥資源の有効な利用の促進に関する法律(リサイクル法)	1991 年 4 月 26 日法律第 48 号
⑦環境基本法	1993 年 11 月 19 日法律第 91 号
⑧環境影響評価法	1997 年 6 月 13 日法律第 81 号
⑨国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律(グリーン購入法)	2000 年 5 月 31 日法律第 100 号
⑩建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法)	2000 年 5 月 31 日法律第 104 号
⑪循環型社会形成推進基本法	2000 年 6 月 2 日法律第 110 号
⑫土壌汚染対策法(土対法)	2002 年 5 月 29 日法律第 53 号

表-1.5 に示す法律は、港湾領域の利用に関するもの(①、②、③、⑤)、リサイクル材の有効活用に関するもの(⑥、⑦、⑨、⑩、⑪)、廃棄物の適正処理に関するもの(④、⑩)、および有害物質の拡散防止等の環境保全に関するもの(⑤、⑧、⑫)に大別される。即ち、港湾工事中において石炭灰を有効利用するには、石炭灰の利用形態が廃棄物処理法上適正であることを確認し、海洋環境に悪影響を及ぼさないものであることを示す必要がある。港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針¹²⁾では、産業副産物を海洋工事で利用する場合、海防法上の取り扱いに関しては、以下の項目について整理し、客観的に説明することが望ましいとしている。

(1) 環境保全上の問題がないことの説明

- ・有害物質等の確認。

(2) 積極的に材料として使用することの説明

- ・用途別の材料基準に合致するかの確認。
- ・基準がない場合は基準を作成する。

(3) 施工者側における十分な管理体制の説明

- ・運搬、仮置き、工事施工における管理・配慮が求められる。
- ・管理マニュアル等があると便利。
- ・万が一管理不十分のため異物や材料基準に合致しないものの混入が認められた場合は廃棄物と見なされ海防法の規制を受ける。

一方、石炭灰等の産業副産物を港湾工事に利用する際には、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹³⁾および「港湾工事共通仕様書」¹⁴⁾を準拠して、港湾工事の特性および使用する産業副産物の品質や特性、供給量および環境への影響を十分検討する必要がある。特に、「港湾工事共通仕様書」に関しては各都道府県で独自に策定しているところも少なくなく、検討および計画・設計段階においてはこれらについても準拠することが望まれる。

参考文献

- 1) 財団法人 石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書（平成 28 年度実績），2018.
- 2) 財団法人 石炭エネルギーセンター：港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン，2011.3.
- 3) 一般財団法人 石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン（震災復興資材編），2014.3.
- 4) 一般財団法人 石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン（高規格道路盛土編），2015.3.
- 5) 石原弘一：港湾整備事業における石炭灰の活用について，石炭灰有効利用シンポジウム講演集，pp.1～10，1998.
- 6) 莊司喜博，高橋邦夫，浅井正，角野隆：セメント添加した石炭灰の岸壁裏込め材への利用，土木学会論文集，No.637，pp.137～148，1999.
- 7) 小林仁，田中則和，高橋昌之：石炭灰を用いた水中硬化体の開発，電力土木，No.284，pp.9～13，1999.
- 8) 吉田貴昭，佐々木康裕，木下秀之：石炭灰を利用した水中土工材の埋立事業への適用，電力土木，No.297，pp.125～128，2002.
- 9) 一般財団法人 石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（エージング灰(既成灰)編），2016.3.
- 10) 井野場誠治，下垣久：埋立処分された石炭灰の再資源化に関する研究－既成灰の性状と土工材料としての適用性－，電力中央研究所報告，V08031，2009.
- 11) 例えば，滝英治，中島秀雄，鈴木英治，肥後道憲，仁田尾洋：石炭灰を中詰め材料に利用したコンパクションパイル工法の試験工事，土木学会 54 回年次学術講演会，□，pp.522～523，1999.
- 12) 国土交通省 港湾・空港等リサイクル推進協議会：港湾・空港整備におけるリサイクル技術指針，2012.3
- 13) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 14) (社)日本港湾協会：港湾工事共通仕様書(平成 16 年度版)，2004.

第2章 港湾工事での適用方法

第1章5節で述べたように、石炭灰混合材料利用工法は従来使用してきた材料の有効な代替材料として、盛土・埋立や構造物の裏埋め、埋立材料等に適用することにより、自然由来材料に比べ環境負荷の軽減および、土圧低減、既設護岸・岸壁の補強および機能向上、液状化抑止、軟弱地盤上の盛土等の幅広い用途に用いることができる。本章では、これらの用途に適用される港湾工事の提案または事例を示し、計画から施工までの流れを解説する。また、石炭灰混合材料を用いた二次製品とその利用についても述べる。

2.1 計画から施工までの流れと適用対象

(1) 計画から施工までの流れ

図-2.1～2.2に、各材料における計画から施工までの全体フロー図を示す。

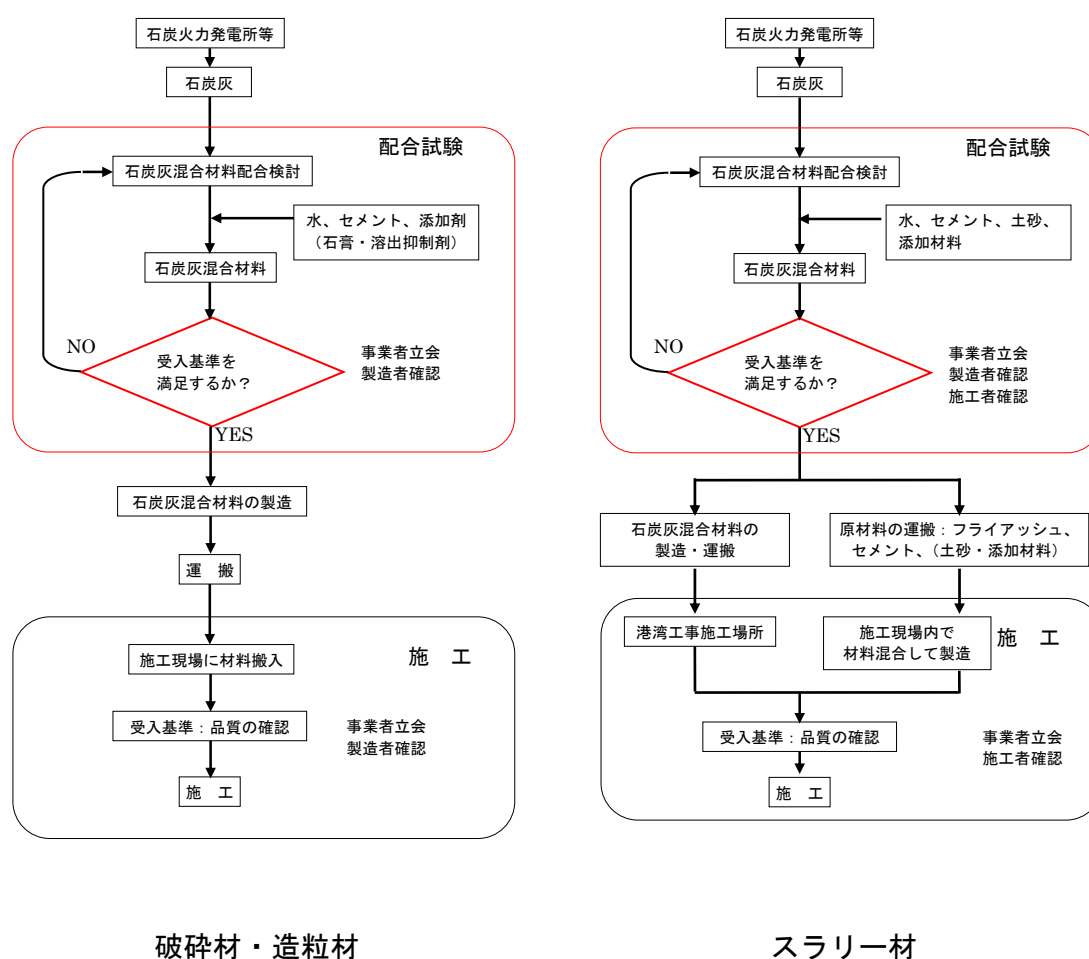
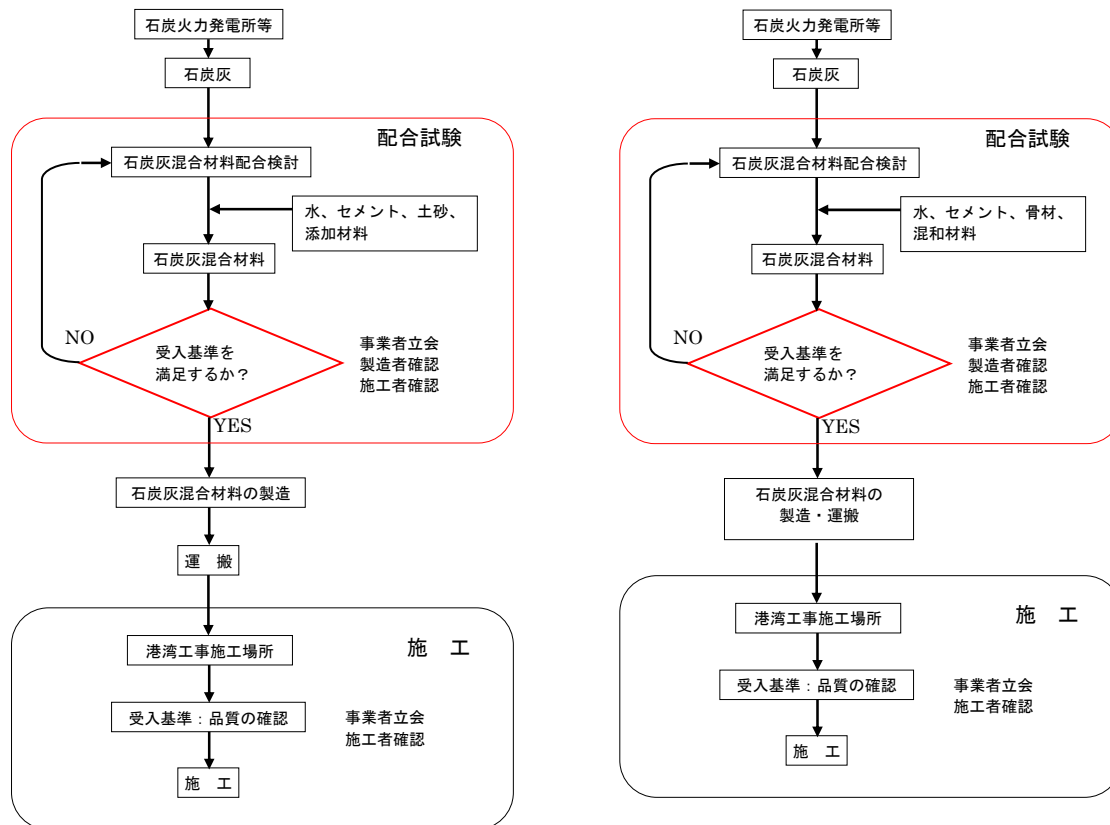


図-2.1 計画から施工までの全体フロー図(1)



塑性材

新素材コンクリート

図-2.2 計画から施工までの全体フロー図(2)

図 2.1～図 2.2 において、基本計画は対象構造物の機能・特性等を踏まえて要求性能を確認する。対象構造物ごとに安定性や沈下・変形量等に対する許容値も構造物の種類や重要性によって大きく異なる。そのため、要求性能の確認では、対象構造物に対する基準に則って設定する。

(2) 想定される適用対象

各材料ごとに想定される適用対象について、表-2.1 に示す。

表-2.1 材料の種類と想定される適用対象

材料の種類	適用対象
破砕材、造粒材	埋立・裏込め・道路・盛土材料、地盤改良
スラリー材	裏込め・腹付け材料、補強・機能向上
塑性材	道路・盛土・築堤材料
新素材コンクリート	二次製品

2.2 埋立・裏込め・道路・盛土材料への適用

2.2.1 適用イメージと適用時のメリット

(a) 破碎材・造粒材

構造物の背面に埋立材料として適用する石炭灰混合材料は軽量の固化体であるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与するとともに、構造物に対し背面土圧を軽減する。また、従来使用してきた自然由来の材料（捨石・購入土砂・砂利等）に比べ採掘・選別等の環境負荷も軽減できる。図-2.3 に対象工事の断面（適用イメージ）を示す。

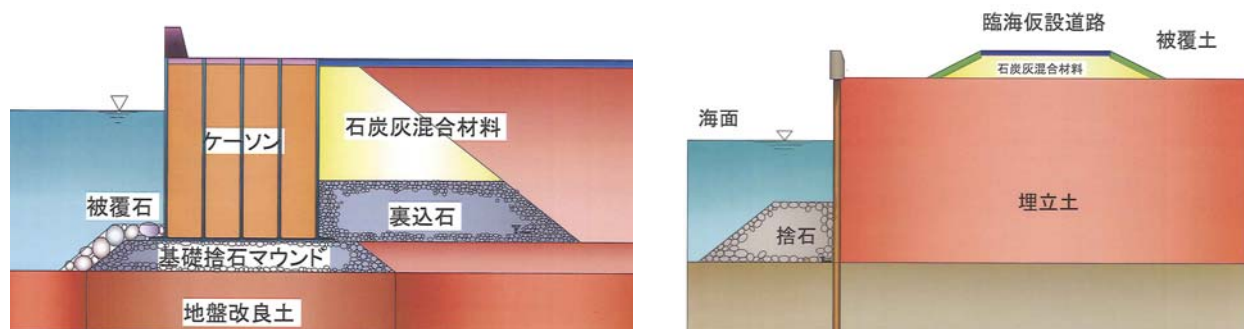


図-2.3 裏込め・道路への適用イメージ

(b) スラリー

既設護岸の背面や岸壁背面の裏込め材料は従来捨石や雑石が採用されてきた。石炭灰混合材料（スラリー）は捨石や土砂よりも密度が低く背面に裏込めした場合に構造物に対し背面土圧を軽減し、護岸・岸壁の背面補強構造となる。ケーソン背面などでは固化体による充填施工となるため、背面を埋立てた土砂の吸出し防止にも効果的である。構造物の背面に裏込め材料として適用する石炭灰混合材料（スラリー）は軽量の固化体となるため、一般土砂による埋立工法に比べ埋立地盤の沈下抑制に寄与する。図-2.4 に対象工事の断面（適用イメージ）を示す。

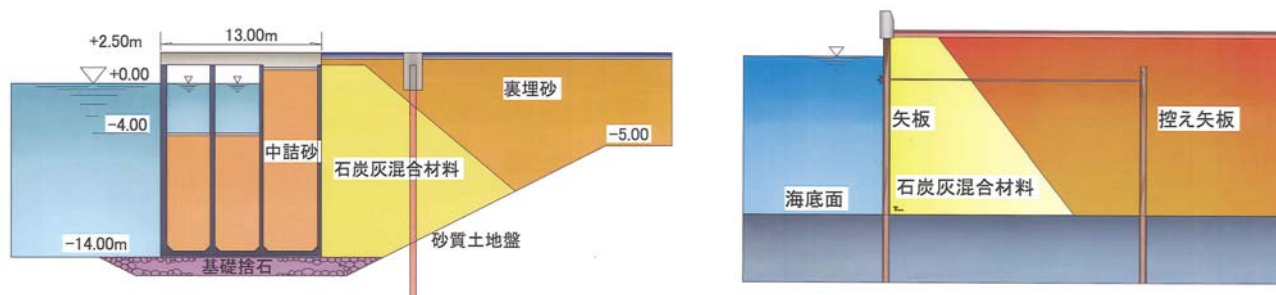


図-2.4 裏込め・腹付け材料への適用イメージ

なお、図-2.4 に示した裏込め・腹付け材料への適用において、注入方式で施工する場合はスラリーを適用するが、ガット船やダンプトラック等による投入方式で施工する場合は塑性材を選定し基本計画を検討する。

2.2.2 設計方法

適用する護岸・岸壁の設計基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾および「港湾工事共通仕様書」²⁾を準拠して、港湾工事の特性および使用する石炭灰混合材料の品質や特性、供給量および環境への影響を十分検討する必要がある。特に「港湾工事共通仕様書」²⁾に関しては各都道府県で独自に策定しているところもあり、設計段階においてこれらに準拠することが望ましい。

2.2.3 施工方法

施工の流れは図-2.1 に示したとおりである。なお、材料の詳細は第3章に示す。

施工上の留意点として、スラリー施工において打設高さは1.0m～1.5m以下とする。これは室内配合試験のブリージング調査や密度試験・施工事例で品質確認を行ったところ、石炭灰混合材料のスラリーは打設後 1.0m～1.5m厚み以上では上層と下層の密度に密度差が発生する場合があるためである。

2.2.4 品質管理方法

石炭灰混合材料の品質管理は、第3章石炭灰混合材料の製造方法で確認されるので、ここでは施工中および施工完了後に適用した石炭灰混合材料の品質管理について記述する。

(a) 破砕材・造粒材

破砕材料は工事現場にて搬入数量 200m³に 1 回程度粒度分布を確認する。粒状材料の場合は製造ロットで確認されており現地での品質管理はミルシート等で確認する。施工完了後の品質確認はチェックボーリング等による。

(b) スラリー

製造された石炭灰混合材料（スラリー）は工事現場にて製造ロット毎または 300m³未満または施工延長 20mに 1 回程度マッドバランスやテーブルフロー値等にて密度や粘度を確認する。

2.3 補強・機能向上への適用

2.3.1 適用イメージと適用時のメリット

修復または劣化した既設護岸・岸壁の補強・機能向上は、既設護岸の背面を石炭灰混合材料（スラリー）で補強・修繕した結果、復元修復より修復費用・工事期間ともに縮減される。背面に軽量で固化体となる石炭灰混合材料（スラリー）を採用することで、背面土圧が軽減されることから同等の護岸構造物を新規に築造する比較設計においても、背面に石炭灰混合材料（スラリー）を使用した護岸・岸壁構造は設計段階で省力化（構造物のスリム化）が可能となることがある。

図-2.5 に対象工事の断面（適用イメージ）を示す。

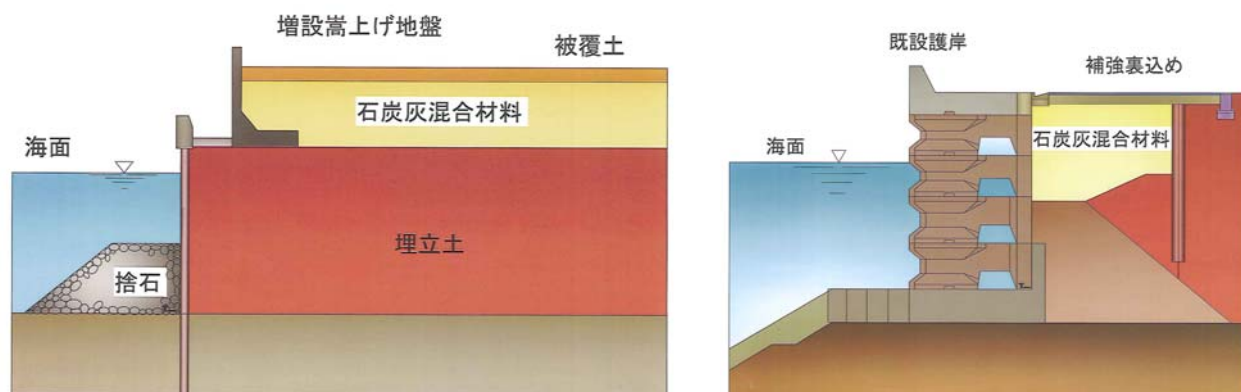


図-2.5 補強・機能向上への適用例

図-2.5 において適用する石炭灰混合材料は、スラリーや土砂代替材で基本計画を検討する。

2.3.2 設計方法

適用する補強・機能向上の設計基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾および「港湾工事共通仕様書」²⁾を準拠して、港湾工事の特性および使用する石炭灰混合材料（スラリー）の品質や特性、供給量および環境への影響を十分検討する必要がある。特に「港湾工事共通仕様書」²⁾に関しては各都道府県で独自に策定しているところもあり、設計段階においてこれらに準拠することが望ましい。

2.3.3 施工方法

計画から施工までの流れは図 2-1 に示したとおりである。なお、材料の詳細は第 3 章に示す。

施工上の留意点として、スラリー投入においては前記事例で述べたように打設高さは 1.0m～1.5 m以内とし、水中においてはトレミー方式で海水を混入させないように投入する。

2.3.4 品質管理方法

施工事例に示す石炭灰混合材料（スラリー）の製造方法で製造時の品質確認と施工中および施工完了後に適用した石炭灰混合材料（スラリー）の品質管理について記述する。製造する石炭灰混合材料（スラリー）は事前に実施する室内配合試験により、目標強度に適応した配合設計が決定され、計量管理されたプラント記録より石炭灰混合材料の材料配合結果を確認する。スラリーは工事現場にて製造された石炭灰混合材料（スラリー）がアジテータにて補充攪拌されるので、圧送前にマッドバランスやテーブルフロー測定装置等を用いて密度や粘性度が設定許容値以内であることを確認する。石炭灰混合材料が塑性状の場合は工事現場にて製造され現場に投入する前に、スランプやテーブルフロー測定装置で施工管理の範囲に入っているかを確認する。

2.4 道路・盛土・築堤への適用（塑性材）

2.4.1 適用イメージと適用時のメリット

盛土・築堤に適用する材料（浚渫土砂や現場発生土砂）に石炭灰を混合することで軽量材料である石炭灰混合材料（塑性材）は、盛土・築堤の支持地盤にかかる荷重を軽減することで沈下量が低減し、盛土・築堤断面を経済的に設計することができる。また、構造物に近接する盛土工事も通常土砂を適用した場合に比べ、石炭灰混合材料（塑性材）は変位量を軽減することができる。

図-2.6 に、機能向上嵩上げや盛土道路イメージ断面図を示す。

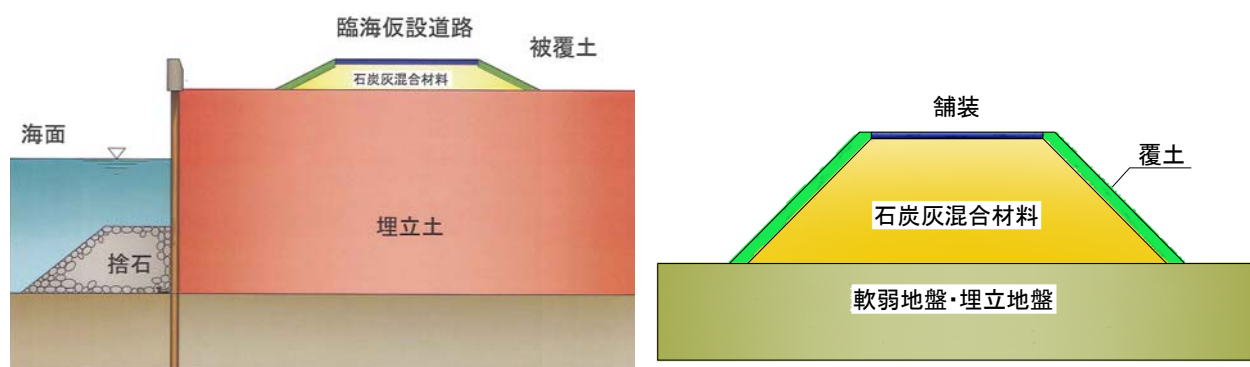


図-2.6 機能向上嵩上げや盛土道路イメージ断面図

2.4.2 設計方法

適用する盛土・築堤の設計基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾および「港湾工事共通仕様書」²⁾を準拠して、港湾工事の特性および使用する石炭灰混合材料（塑性材）の品質や特性、供給量および環境への影響を十分検討する必要がある。特に「港湾工事共通仕様書」²⁾に関しては各都道府県で独自に策定しているところもあり、設計段階においてこれらに準拠することが望ましい。

2.4.3 施工方法

設計から施工までの流れは図 2-2 に示したとおりである。なお、材料の詳細は第 3 章に示す。

2.4.4 品質管理方法

石炭灰混合材料（塑性材）の品質管理は施工現場における石炭灰混合材料（塑性材）の製造過程で確認する。事前に実施した室内配合試験で得られた配合比率で製造されているかを確認し、製造プラント計量装置で印字記録する。製造された石炭灰混合材料（塑性材）は施工現場に搬出する前または施工中にスランプ測定を行い、室内配合試験で設定された許容範囲（数値により水中不分離抵抗性能を発揮する）であることを確認する。確認頻度は 300m^3 に 1 回程度とし、スランプ等にて確認する。目標強度の確認は工事完了後 1～2 ヶ所チェックボーリング等を行い、コアを採取して石炭灰混合材料（塑性材）の品質を確認する。

2.5 二次製品への適用

2.5.1 適用イメージと適用時のメリット

港湾工事における石炭灰を有効利用した土木材料製品としては、消波ブロックや方塊、被覆ブロック等の二次製品が挙げられる。これらの二次製品を製造するコンクリートとして、細骨材の一部に石炭灰原粉を代替利用する新素材コンクリートが適用されている。石炭灰を使用し適切に配合調整することで、施工性やコンクリート品質の向上が期待できる。図-2.7 に防波堤における消波ブロック等の設置例を示す。

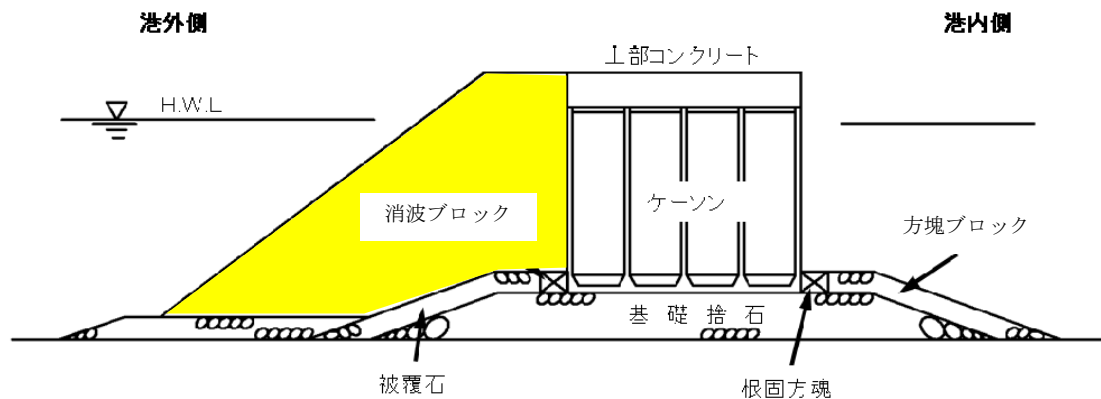


図-2.7 二次製品の適用イメージ図

2.5.2 設計方法

適用する防波堤の設計基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾、「港湾工事共通仕様書」²⁾および「防波堤の耐津波設計ガイドライン」³⁾に準拠して、港湾工事の特性および使用する石炭灰混合材料の品質や特性、供給量および環境への影響を十分検討する必要がある。特に「港湾工事共通仕様書」²⁾に関しては各都道府県で独自に策定しているところもあり、設計段階においてこれらに準拠することが望ましい。

2.5.3 製造方法

新素材アッシュクリートは、通常の生コンクリートプラント等で、混和材料として石炭灰を添加・混合して製造する。練上り後の打設等の取り扱いは通常の生コンクリートとほぼ同等である。製造上の留意点としては、JIS 灰よりも一般的に空気量の変動が大きくなることもあり、石炭灰のロットごとに AE 剤添加量を検討する必要がある。

2.5.4 施工方法

施工の流れは、図-2.2 に示したとおりである。

2.5.5 品質管理方法

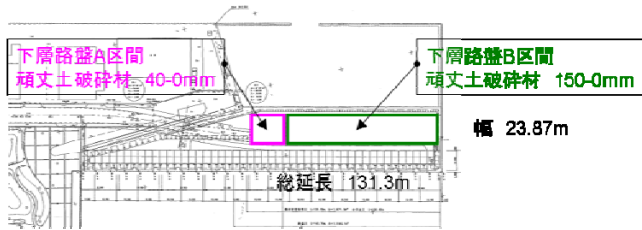
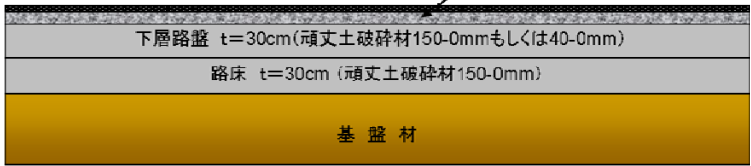
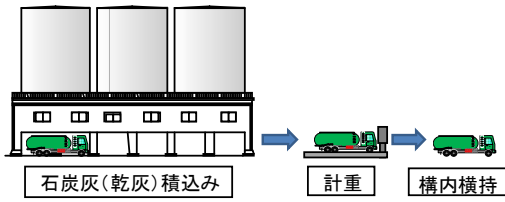
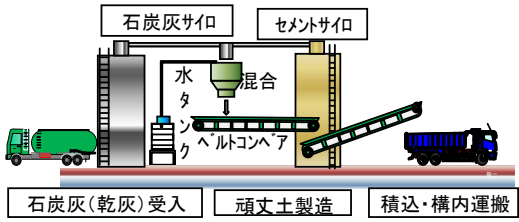
コンクリート系石炭灰混合材料の品質管理項目は、基本的に通常の生コンクリートと同じであり、20～150m³毎に1回受入検査を実施することとなる。

参考文献

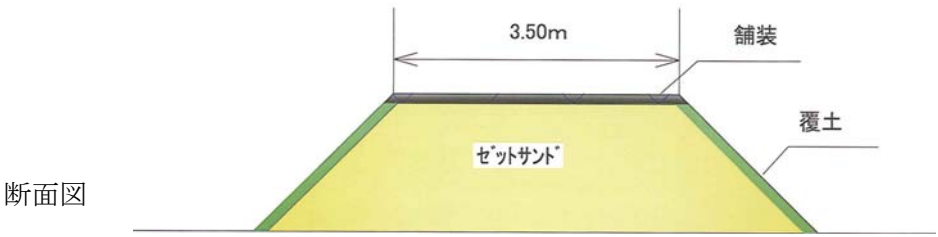
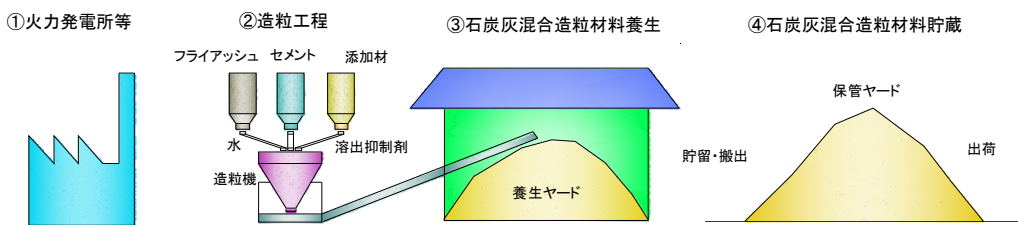
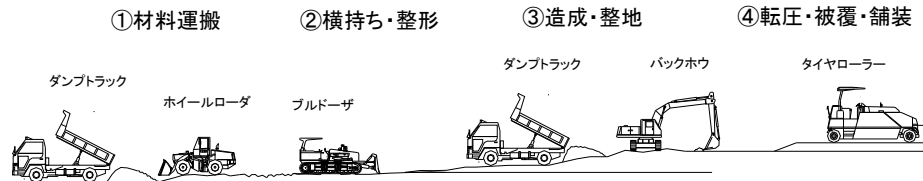
- 1) 公益社団法人日本港湾協会出版，国土交通省港湾局監修：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007年版），2014.7 最終改訂.
- 2) 公益社団法人日本港湾協会：港湾工事共通仕様書，2016.3.
- 3) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，2013.9.

2.6 適用事例

2.6.1 埋立・裏込め・道路・盛土材料

工事名称	—
発注者(事業者)	—
施工者	—
施工場所	福島県いわき市
施工時期	—
使用材料	固化体破砕材（頑丈土）（フライアッシュ＋水＋セメント）
施工数量	—
工事概要	石炭灰混合材料を発電所構内で締固めて養生し、破砕材を製造・運搬して埠頭の道路の路床および下層路盤に適用した。 平面図  標準断面図 
製造方法	製造：火力発電所施設場内で製造 製造段階は 2 段階あり石炭灰混合材料で製造した固化体を養生し破砕して破砕材として使用する。  図-a 破砕材の一次製造フロー図  図-b 破砕材の製造フロー図
運搬方法	破砕材料として貯蔵された石炭灰混合材料の搬出をダンプトラックで行う。

施工方法	路床の施工  下層路盤の施工 
施工状況写真等	 頑丈土の製造、破砕材の製造  ダンプカーによる材料運搬 ブルドーザ、モータグレーダによる撒きだし状況  完了全景（基盤、頑丈土破砕材下層路盤、上層路盤）

工事名称	－
発注者(事業者)	－
施工者	－
施工場所	山口県宇部市
施工時期	－
使用材料	造粒材（ゼットサンド）（フライアッシュ＋水＋セメント＋溶出抑制剤＋添加材）
施工数量	－
工事概要	埋立地場内に築堤造成のため石炭灰混合材量をダンプ運搬し、ブルドーザやバックホウにて横持・整形し、タイヤローラで転圧・舗装を行うものである。 
製造方法	製造：火力発電所施設場内で製造・貯蔵 
運搬方法	保管ヤードに貯留された石炭灰混合材料（造粒材）は、ペイローダやホイールローダによりダンプトラックに積み込みまれ使用現場に出荷・搬送される。
施工方法	ダンプ運搬された石炭灰混合材料（造粒材）をバックホウで敷き均し、タイヤローラで転圧する一般的な施工形態を示す。粒状形状に大きな差が無いため取り扱いが容易で断面整形はバックホウで実施されることが多い。転圧はマカダムローラやダンデムローラ等も使用する。 

施工状況写真等



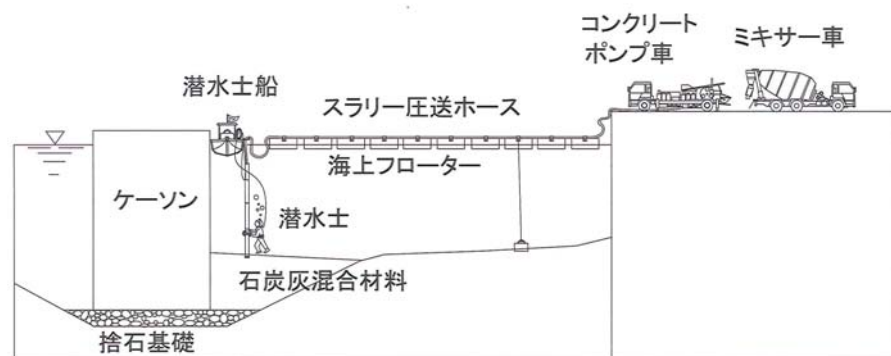
材料巻き出し嵩上げ状況



石炭灰混合材料（造粒材）築堤延長状況

工事名称	—
発注者（事業者）	—
施工者	—
施工場所	酒田港外港地区（-14m）国際ターミナル岸壁
施工時期	—
使用材料	スラリー（フライアッシュ（既成灰）＋海水＋セメント）
施工数量	—
工事概要	新設される消波岸壁の背面に石炭灰混合材料（スラリー）を裏込め材料として投入する。消波機能を持ったケーソン岸壁は軽量なため背面土圧を軽減し、波浪に対する受動にも対応するため石炭灰混合材料（スラリー）を採用して機能向上させる。
製造・運搬方法	製造・運搬方法：火力発電所灰処分場内で製造・トラックミキサーによる搬送 この施工事例はフライアッシュが屋外灰処分場に 3～4 年貯留された既成灰を利用しているため、石炭灰処分場内に設置した溶解槽で海水とフライアッシュを攪拌混合して作液を製造する。事前配合試験で確認した目標強度の配合比率に対応するフライアッシュスラリー液の密度を測定し規定値に調整完了するとトラックミキサー車に設定量を圧送する。 トラックミキサー車に注入されたフライアッシュスラリー液に設定量のセメントを添加し、攪拌混合しながら施工現場まで搬送し、石炭灰混合材料（スラリー）の製造を完了する。既成灰のフライアッシュに対するセメント量は重量比で 5 %～8 %の配合比であった。 フライアッシュの集積・石炭灰混合材料（スラリー）製造・搬出の流れ
施工方法	下図に石炭灰混合材料（スラリー）の運搬・コンクリートポンプ車による圧送・海上配管・潜水土船・潜水夫による裏込め投入施工の流れを示す。コンクリートミキサー車にて搬送された石炭灰混合材料（スラリー）をコンクリートポンプ車にて投入位置まで圧送する。石炭灰混合材料（スラリー）は海上に設置したフロート上に配管された圧送管により、沖合いに設置された潜水土船または投入台船（ポンツーン）に搬送

され、ケーソン背面の投入施工位置へ潜水士によるトレミー管先端誘導操作にて裏込めする。



搬出された石炭灰混合材料（スラリー）の圧送から裏埋め投入施工の流れ

施工状況写真
等



既成灰集積・運搬



溶解・混合・スラリー製造

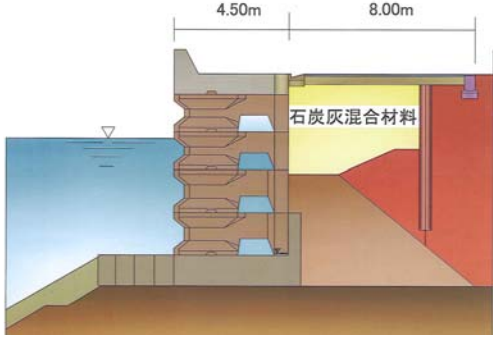


石炭灰混合材料（スラリー）製造・運搬

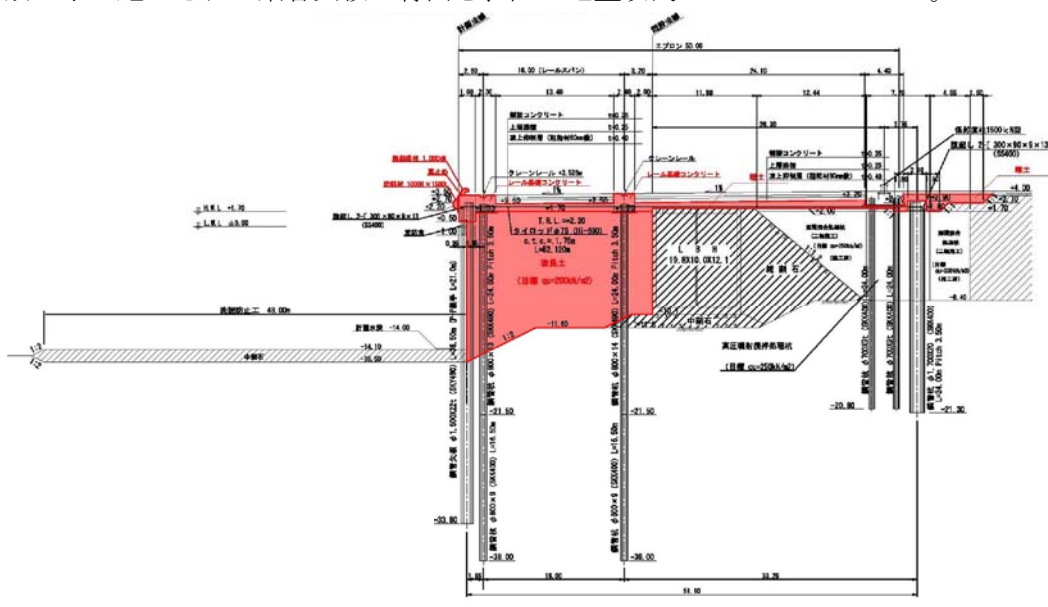


コンクリートポンプ車に投入

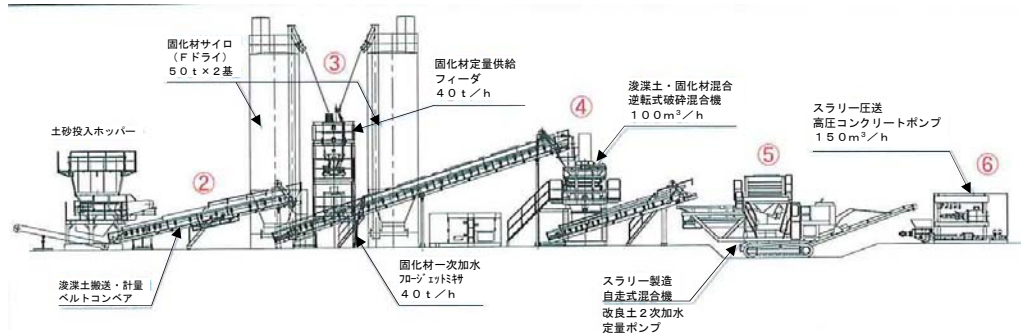
2.6.2 補強・機能向上

工事名称	－
発注者(事業者)	－
施工者	－
施工場所	九州電力・電源開発共用岸壁北側旧護岸修復工事
施工時期	－
使用材料	スラリー（石炭灰＋海水＋セメント）
施工数量	－
工事概要	ブロック式護岸の劣化が進行しているため、護岸背面を掘削撤去し背面に石炭灰混合材料（スラリー）を投入して劣化護岸の補強と背面の安定を目的とした。  断面図
製造方法	火力発電所から現場に石炭灰を搬送し、施工現場に設置されたスラリープラントで水・セメントとともに攪拌混合し製造する。フライアッシュとセメントの配合比は目標とする石炭灰混合材料（スラリー）の強度によって設定されるので、配合比は事前に実施する室内配合試験によって決定する。低強度から高強度までセメント配合比を変動させ目標強度配合を決定するが、一般にフライアッシュに対し重量比で5%～15%で設定されることが多い。
運搬方法	スラリープラントが投入現場に近い場合（100m程度）はグラウトポンプで現場施工箇所まで圧送しトレミー管で投入充填する。この現場では施工延長が100mを超える施工箇所もあるので、近距離は圧送配管による施工と遠距離はトラックミキサー車に搭載して施工位置まで搬送し、グラウトポンプに流し込み圧送してトレミー管で充填投入する2つの方法が採用された。
施工方法	圧送された石炭灰混合材料（スラリー）を作業員がトレミー管先端を操作し、投入施工は作業手順に従った管理高さ及び施工位置で投入する。フライアッシュの生産・運搬・貯蔵から石炭灰混合材料（スラリー）の製造、製造プラントから施工現場までポンプ圧送の場合とトラックミキサーで施工箇所まで搬送する場合等をフロー図に示す。

施工方法	①フライアッシュ生産 石炭火力発電所 ②フライアッシュ運搬 ジェットパック車 ③石炭灰混合材料(スラリー)製造 フライアッシュサイロ セメントサイロ スラリープラント ④圧送・搬送 近距離の場合は直接圧送 グラウトポンプで圧送 遠距離はトラックミキサーで搬送・投入 ⑤施工・投入 トレミー方式で投入 フライアッシュの運搬・石炭灰混合材料（スラリー）の製造・搬送・投入フロー図
施工状況写真等	スラリー製造プラントから積出 スラリー状況・アジテータの内部 護岸背面掘削状況 護岸背面 3・4 段目スラリー投入状況

工事名称	苫小牧港東港区岸壁-12m 埋立外建設工事
発注者(事業者)	国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部
施工者	あおみ建設株式会社
施工場所	苫小牧港 東港区
施工時期	平成 21 年 9 月 1 日～平成 22 年 3 月 30 日
使用材料	スラリー (石炭灰+海水+セメント)
施工数量	水中部 36,700m ³ 、陸上部 3,300m ³
工事概要	別工事で施工された鋼管矢板の背面を、陸上地盤改良工として埋め立てた。  断面図
製造方法	浚渫土(砂質土)に「F ドライ」(石炭灰とセメントとをプレミックスしたりサイクル資材)を混合処理した材料を使用した。改良土 1m³当りの配合は以下の通り。 ・ F ドライ 360kg/m³ (フライアッシュ : 300kg/m³ + 高炉セメント B 種 : 60kg/m³) ・ 海水 268kg/m³ (スラリー施工) ・ 浚渫土 (砂質土) ・ 設計強度 : qu=200kN/m² 以上
運搬方法	スラリープラントが投入現場に近い場合はグラウトポンプで現場施工箇所まで圧送しトレミー管で投入充填する。

施工方法



石炭灰混合材料（スラリー）の製造・搬送・投入フロー図

施工状況写真等



土砂投入

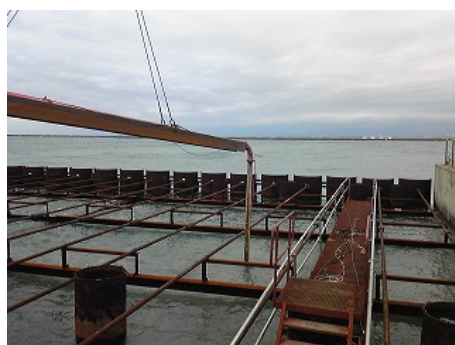
固化材サイロ &
固化材供給設備



回転式破碎混合装置（ツイスター）



スラリー圧送ポンプ



スラリー打設状況

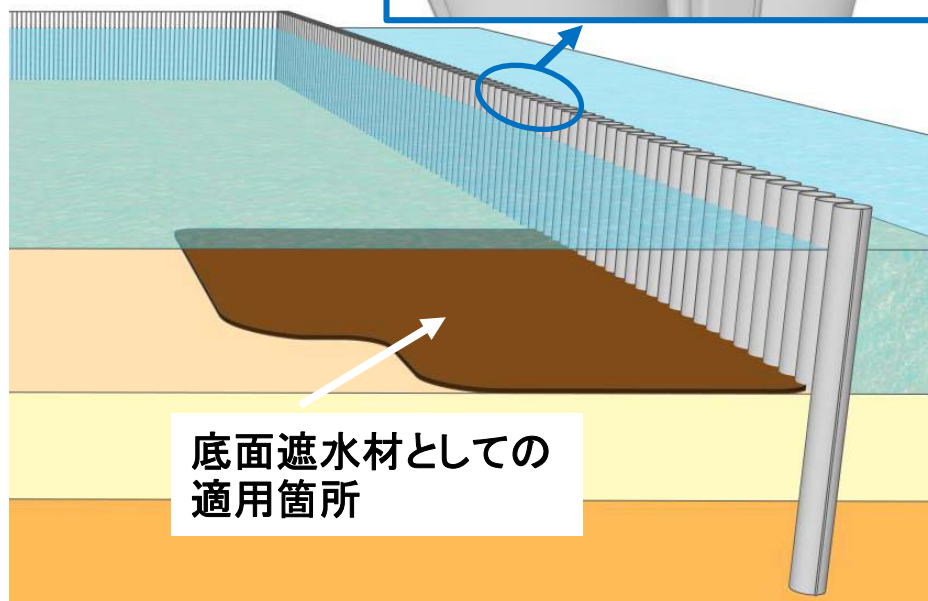
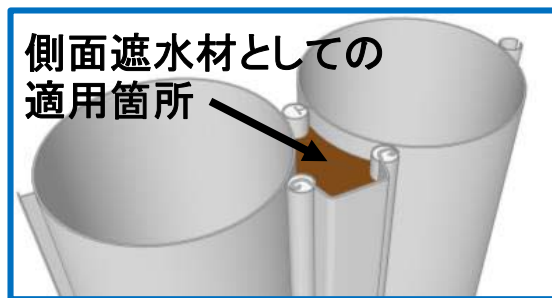
工事名称	富山新港共同火力発電所 灰処分場中仕切鋼矢板設置工事
発注者(事業者)	富山共同火力発電株式会社（現在は北陸電力）
施工業者	東洋建設株式会社
施工場所	富山新港火力発電所内
施工時期	平成 13 年 10 月～14 年 3 月
使用材料	フライアッシュモルタル
施工数量	1,100m ³ （石炭灰混合材料使用量）
工事概要	老朽化した鋼矢板中仕切堤前面に新たに鋼矢板を打設し、間隙をフライアッシュモルタルで充填した。
施工状況写真等	

工事名称	大さん橋ふ頭再整備工事（その２７・地盤改良工）
発注者(事業者)	横浜市港湾局
施工業者	東洋建設株式会社
施工場所	横浜市中区海岸通１丁目
施工時期	平成１１年１２月～１２年３月
使用材料	フライアッシュモルタル
施工数量	1,700 t（セメント：フライアッシュ＝６：４）（石炭灰混合材料使用量）
工事概要	杭式係船岸背面埋立土の強度増加と構造物にかかる土圧軽減を図るための地盤改良工事。低強度改良のためにセメントスラリーにフライアッシュを混合した。
施工状況写真等	

工事名称	稲永ふ頭廃棄物埋立護岸築造工事（その２）（その６）（その８）																	
発注者(事業者)	名古屋港管理組合																	
施工業者	愛知県内の建設会社 ※ 1																	
施工場所	名古屋市港区潮風町地先																	
施工時期	平成 25 年 1 月～27 年 2 月																	
使用材料	土質系遮水材HCB－F（ハイブリッド・クレイ・バリアー・フライアッシュ）※ 2																	
施工数量	約 770m ³ （石炭灰混合材料使用量）																	
工事概要	管理型廃棄物最終処分場の遮水護岸として、箱型矢板および鋼管矢板の継手部（水中部）にフライアッシュを主材とした土質系遮水材を充填した。																	
施工状況写真等	表 HCB-Fの基本配合表 <table><tr><th rowspan="2">W/C (%)</th><th colspan="5">単位量(kg/m³)</th></tr><tr><th>海水 W</th><th>セメント C</th><th>フライアッシュ FA</th><th>ベントナイト B</th><th>繊維材 v</th></tr><tr><td>775</td><td>564.3</td><td>72.8</td><td>699.2</td><td>174.8</td><td>5.4</td></tr></table> 図 側面遮水工の構造と浸透路長 写真 HCB－Fの充填状況	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					海水 W	セメント C	フライアッシュ FA	ベントナイト B	繊維材 v	775	564.3	72.8	699.2	174.8	5.4
W/C (%)	単位量(kg/m ³)																	
	海水 W	セメント C	フライアッシュ FA	ベントナイト B	繊維材 v													
775	564.3	72.8	699.2	174.8	5.4													



写真 土質系遮水材HCB-F

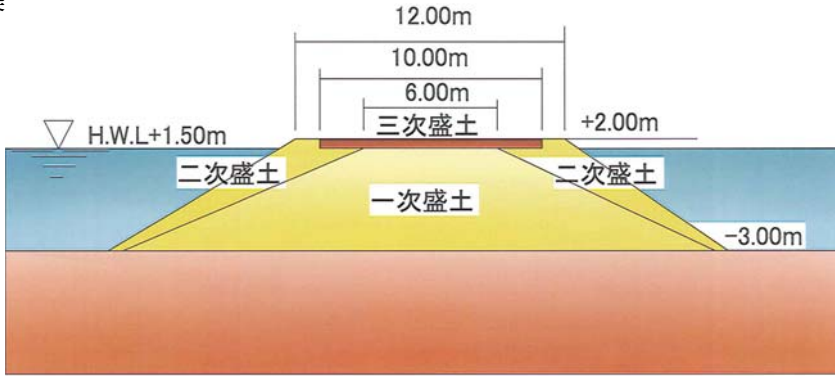
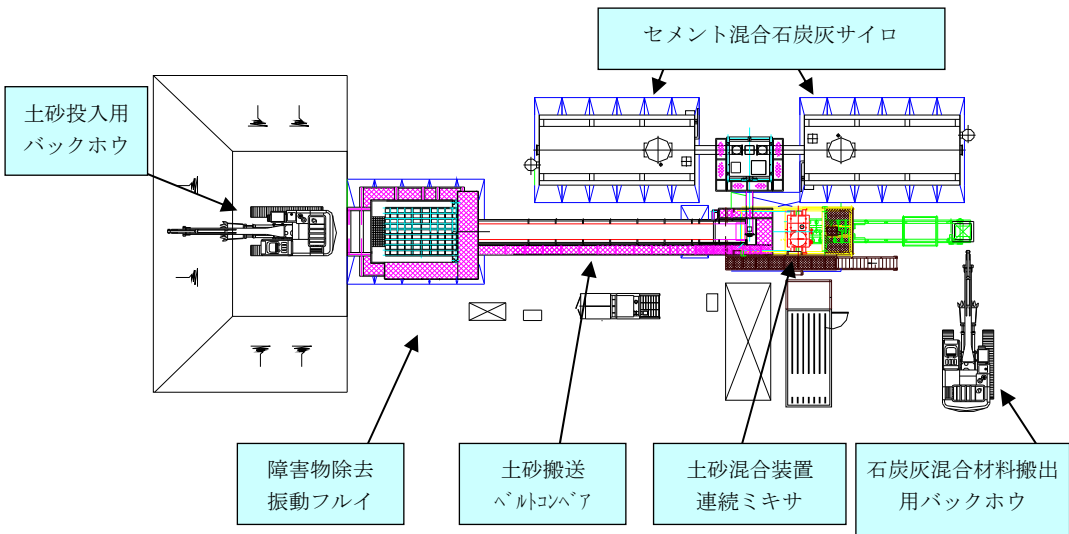


※1 元請：鈴木工業(株)、みらい建設工業(株) ／施工：(株)トマック ／技術：東洋建設(株)

※2 港湾関連民間技術の確認審査・評価事業 評価証の授与(一般財団法人 沿岸技術研究センター)

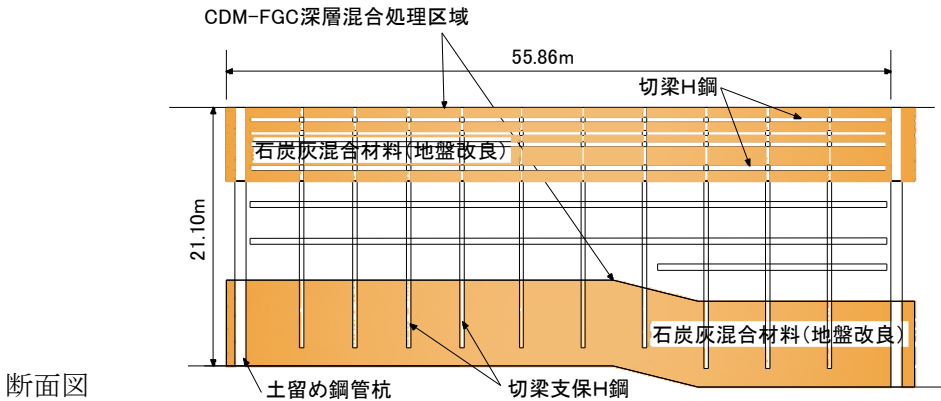
H28.5 技術開発者：東洋建設(株)

2.6.3 道路・盛土・築堤

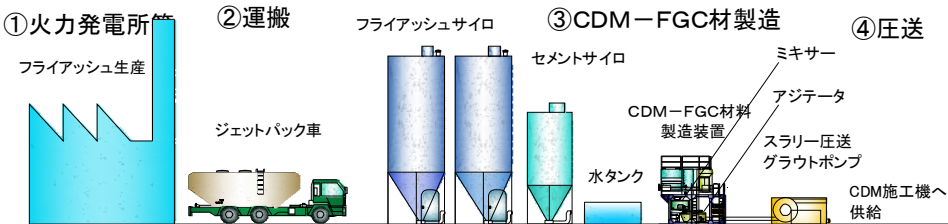
工事名称	—
発注者(事業者)	—
施工者	—
施工場所	北海道苫小牧東港埋立護岸中仕切り堤築造工事
施工時期	—
使用材料	塑性材（石炭灰＋海水＋セメント＋再利用土砂）
施工数量	—
工事概要	浚渫仮置きされている土砂（シルト質砂）に石炭灰とセメントを混合し、水中投入しても分離しない含水比に調整し土砂混合機で攪拌混合した石炭灰混合材料（塑性材）をダンプトラックで運搬し、海中にバックホウにて投入・撒き出しを行い、埋立護岸の中仕切り堤を築造する。  断面図
製造方法	製造方法・運搬：火力発電所で製造したセメント混合石炭灰を搬送し、再利用土砂（現地発生土砂）にセメント混合石炭灰を現地で攪拌混合し、製造された石炭灰混合材料（塑性材）をダンプに積込み投入現場へ搬送する。 

運搬方法	スラリープラントが投入現場に近い場合（100m程度）はグラウトポンプで現場施工箇所まで圧送しトレミー管で投入充填する。この現場では施工延長が100mを超える施工箇所もあるので、近距離は圧送配管による施工と遠距離はトラックミキサー車に搭載して施工位置まで搬送し、グラウトポンプに流し込み圧送してトレミー管で充填投入する2つの方法が採用された。
施工方法	ダンプトラックにより搬送された石炭灰混合材料（塑性材）を施工位置にダンピングし、バックホウによって所定の位置に投入・撒き出しを行う。 ①石炭灰混合材料製造 ②材料運搬 ③三次盛り土 嵩上げ・舗装 ④二次盛り土 撒き出し・拡幅造成 ⑤一次盛り土 海中投入・撒き出し ホイールローダ ダンプトラック 仮置き石炭灰混合材料 バックホウ 海面 盛土・中仕切り築堤施工の手順
施工状況写真等	混合機に土砂・石炭灰・添加材投入状況 石炭灰混合材料（塑性材）のダンプ運搬・バックホウによる築堤撒き出し状況 製造された石炭灰混合材料（塑性材）

2.6.4 地盤改良

工事名称	—
発注者(事業者)	—
施工者	—
施工場所	神奈川県磯子火力発電所増設区域
施工時期	—
使用材料	CDM-FGC材（フライアッシュ+水+セメント+（石膏））
施工数量	—
工事概要	適用された工事は低強度で安定した地盤改良を目的に、石炭灰混合材料（CDM-FGC材）を使用して深層混合処理工事を行い、上部H鋼や鋼管杭を打ち込み可能な強度で地盤改良を行い、鋼杭施工後は改良土を掘削撤去し支保鋼材や鋼管杭を残す。  断面図
製造方法	施工現場にて製造する。火力発電所にてフライアッシュとセメントを配合して現場に搬出する場合は、有価物として搬送するので廃棄物処理法には抵触しないで一般道路を運搬し、施工現場に搬入することができる。火力発電所から離れた場所で施工する場合には、フライアッシュ、石膏、セメントを廃棄物処理施設の許可を受けた現場に運搬し、石炭灰混合材料（CDM-FGC材）を製造しなければならない。フライアッシュとセメントの配合比率は事前に採取した現地土砂を持いた室内配合試験にて目標強度を確認した配合比とする。一般的に目標強度 600KN/m² ではフライアッシュ重量比で7%前後を添加する。強度変化は対象土砂の性状やフライアッシュの性状によって変動するので、室内配合試験によって発現強度を確認してセメント添加量やフライアッシュ添加量を決定する
運搬方法	事前混合した場合にはジェットパック車で現場に設置したフライアッシュ・セメント混合材料備蓄サイロに搬送。現地で混合する場合はジェットパック車でフライアッシュをフライアッシュ備蓄サイロに、セメントはローリー車でセメント備蓄サイロに、石膏を添加する場合には石膏備蓄サイロに搬入し、スラリープラントにて設計配合量

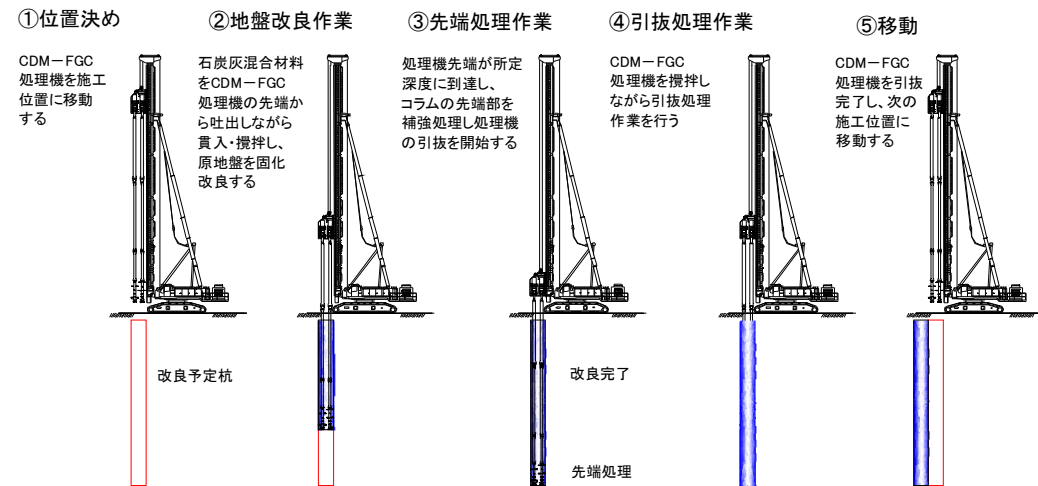
を各々計量して投入し、水（海水）を混合して攪拌し、石炭灰混合材料（CDM-FGC材）を製造する。



地盤改良に適用する石炭灰混合材料（CDM-FGC材）の製造・搬出フロー図

施工方法

製造されたCDM-FGC材はCDM-FGC処理機の先端にグラウトポンプで圧送され、下図に示す標準的なCDM-FGC深層混合処理混合処理工法施工順序図の手順に従い地盤改良材として注入される。



標準的な CDM-FGC 深層混合処理工法施工順序図

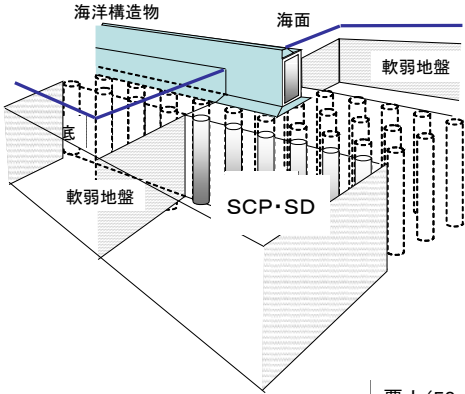
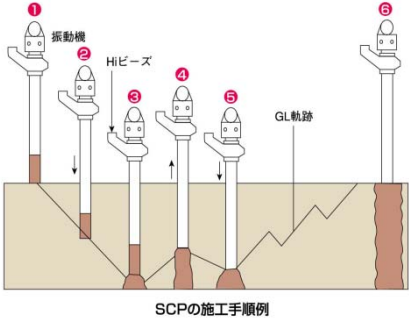
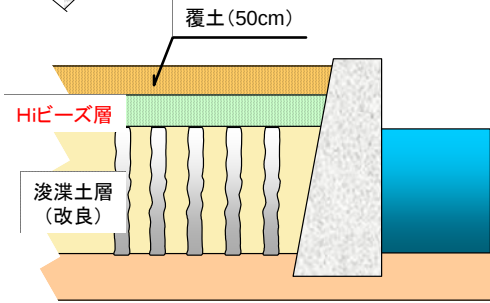
施工状況写真等



CDM-FGC 処理機の地盤改良状況



地盤改良後、切梁施工し底盤まで掘削撤去している状況

工事名称	H i ビーズ（石炭灰造粒物）の地盤改良工事への採用
発注者(事業者)	国土交通省中国地方整備局，中国四国防衛局，広島県，山口県，山陽小野田市
施工業者	建設会社各社
施工場所	中国地方瀬戸内海沿岸域
施工時期	平成 14 年～平成 23 年
使用材料	H i ビーズ（石炭灰造粒物）地盤改良量
施工数量	約 280,000m ³ （石炭灰混合材料）
工事概要	港湾・空港工事における軟弱地盤改良や液状化対策としての地盤改良用の海砂代替材として活用。サンドコンパクションパイル工法，サンドドレーン工法。
施工状況写真等	サンドコンパクションパイル（SCP）材 サンドドレーン（SD）材への活用例  The diagram shows a cross-section of a marine structure (海洋構造物) and the sea surface (海面). Below the surface is a weak ground layer (軟弱地盤). A series of vertical piles, labeled SCP・SD, are shown extending from the surface into the ground. The ground is also labeled 底 (bottom).  This diagram illustrates the construction steps for SCP. It shows a sequence of operations: 1. 振動機 (Vibrator), 2. Hiビーズ (Hi-beads), 3. Hiビーズ (Hi-beads), 4. Hiビーズ (Hi-beads), 5. GL軌跡 (GL track), and 6. GL軌跡 (GL track). The steps are numbered 1 through 6.  This diagram shows a cross-section of the ground improvement layers. From top to bottom, the layers are: 覆土 (50cm) (Cover soil (50cm)), Hiビーズ層 (Hi-beads layer), and 浚渫土層 (改良) (Dredged soil layer (improved)).  The photograph shows the construction site for SCP. A large crane is visible, and the text "SCP 施工状況" (SCP Construction Status) is overlaid on the image.

第3章 石炭灰混合材料

第1章1.5で述べたように、対象とする石炭灰混合材料は土砂代替タイプ、スラリー材タイプおよびクリンカ混合物である。本章では、本ガイドラインにおいて対象とする石炭灰混合材料の基本的物性およびその石炭灰混合材料の製造方法について紹介する。

3.1 石炭灰混合材料の基本的物性

各種石炭灰混合材料の基本物性を表-3.1（その1）～（その3）に示し、以下に要点をまとめる。

（1）物 性

混合材料の種別により異なるが、自然の土より軽量である。

（2）圧縮強度

混合材料や用途により変わるが、圧縮強さは自然の土と同等程度にコントロールできる。

（3）土質定数

破砕材・造粒材については、内部摩擦角が 30° 以上であり、通常の砂、砂質土と同様の内部摩擦角を有している。

（4）透水性

混合材料や用途にもよるが大半の透水係数が $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-7} \text{ m/s}$ であり、砂～微細砂と同程度である。但し、クリンカアッシュは $7.2 \times 10^{-1} \sim 8.8 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ と大きく排水材として適用可能である。

（5）施工性

混合材料の比率にもよるが、従来材料と同様に施工できる。

（6）環境安全性

重金属等の有害物質の溶出試験および含有量試験の結果によれば、溶出量基準および含有量基準にそれぞれ適合している。また、水質環境にも悪影響を及ぼさないことも確認されている。なお、詳細は「第4章 環境安全品質および検査方法」を参照願いたい。

表-3.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その1）

混合材料 種 別	土 砂 代 替 材			
技 術 の 種 類	破砕材 (頑丈土破砕材)	破砕材 (J-アッシュ)	造粒材 (Hiビーズ)	造粒材 (ゼットサンド)
主 原 料	石炭灰+セメント+水 +スラグ、石膏	石炭灰+砕石 +セメント+水	石炭灰+セメント +ベントナイト+水	石炭灰+セメント +水+添加材
物 性	○粒度 細粒分混じりの 土質材料 ○土粒子密度 2.3~2.4g/cm ³ ○最大乾燥密度 1.25g/cm ³ 以下 ○強熱減量 10% ○透水係数 1×10 ⁻⁵ ~ 1×10 ⁻⁴ cm/s	○最大粒径 必要に応じて ○湿潤密度 1.603~1.635g/cm ³ ○最大乾燥密度 1.192~1.198g/cm ³ ○最適含水比 33.9~36.8% ○透水係数 1×10 ⁻⁷ ~ 1×10 ⁻⁵ cm/s	○平均粒径 7.5mm ○形状 ほぼ球状 ○粒の湿潤密度 1.747g/cm ³ ○自然含水比 11.6% ○吸水率 16.4% ○スレーキング率 0.21% ○透水係数 1.34×10 ⁻³ cm/s (6Ec)	○粒度分布は 砂質土と同等 ○最大粒径 4~50mm ○平均粒径 0.3~2mm ○礫分含有率 15~50% ○細粒分含有率 30%以下 ○粒子密度 2.4g/cm ³ 以下 ○透水係数 1×10 ⁻⁴ cm/s以上
強度特性	○せん断抵抗角 30° 以上 ○修正CBR 40%以上 ○圧縮強さ (材齢28日) 300~800kN/m ² ○液状化抵抗比 R _{l20} ≒ 0.3	○内部摩擦角 31.1~34.5° ○90%修正CBR 31.7% ○粘着力 30.6~76.5kN/m ² ○コーン指数 14,989~18,357kN/m ²	○内部摩擦角 47.6° (6Ec) (参 考) ・圧潰強度(粒子強度) (7日) 1,069kN/m ² (28日) 1,606kN/m ²	○内部摩擦角 35° 以上 ○95%修正CBR 20%以上 (参 考) ・粘着力 約48kN/m ² ・圧縮強度(粒子強度) 118~164kN/m ² ・コーン指数(粒子強度) 4,130~8,260kN/m ²
施 工 性	○圧縮性: 透水性があり埋立てと 同時に沈下が収束する。 ○トラフィカビリティー: 陸上部のコーン指数は 1,200N/m ² 以上。 ○粉 塵: 粉塵の発生は少ない。	○通常の施工手順および 建設機械で施工が可能。 ○テールアルメ工法背面 埋戻し材にも利用可能。	○SCP(高置換)材として 十分適用可能な材料で ある。 ○SCP材として使用する 場合の設計値と管理値 を提案している。	○通常の施工手順および 建設機械で施工が可能。 ○粉塵量の発生が少ない。 ○締め固めた後の長期強 度は過大ではなく、容易 に掘削が可能。
用 途	盛土材、埋立材	盛土材、路体材、路床材	盛土材、地盤改良材(SCP)	盛土材、埋立材
証 明 他	技術審査証明取得済	—	NETIS登録済 (SKK-120002-A)	技術審査証明取得済
そ の 他	○開発者 沖縄電力㈱、 日本国土開発㈱ ○出 典 港湾関連民間技術の 確認審査・評価報告書 第06003号 石炭灰を 有効利用した埋立て 材料「頑丈土破砕材」、 財団法人 沿岸技術 研究センター、2006.11 ほか	○開発者 常磐共同火力㈱、 日本国土開発㈱ ○出 典 震災復興資材としての J-アッシュの活用、 2013年石炭灰有効利 用シンポジウム講演集、 (一財)石炭エネルギー センター、2013.11	○開発者 中国電力㈱ ○出 典 Hiビーズによる環境改 善効果について、土木 学会第58回年次学術 講演会講演概要集(VII -314)、2003.9	○開発者 宇部興産㈱、大成建設 ㈱、電源開発㈱ ○出 典 建設技術審査証明報告 書 土木系材料・製品・ 技術(建技審証 第 0410号) 石炭灰を用い た人工地盤材料「ゼット サンド」、(財)土木研究 センター、2004.11

(注) なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

表-3.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その2）

混合材料 種 別	土 砂 代 替 材			
技 術 の 種 類	造粒材 (灰テックビーズ)	造粒材 (フライ・クリーン)	塑性材 (アッシュクリートTypeⅡ)	塑性材 (ソマッシュ)
主 原 料	石炭灰+セメント+水	石炭灰+セメント+水	石炭灰+セメント +石膏+水	石炭灰+セメント +助材+水
物 性	○粒度 礫質土 ○粒子の乾燥密度 $1.3\sim 1.6\text{g/cm}^3$ ○細粒分含有率 15%未満 ○透水係数 $1\times 10^{-4}\sim$ $1\times 10^{-2}\text{cm/s}$ 程度	○粗粒率 6.18 ○密 度 1.82g/cm^3 ○最大乾燥密度 1.277g/cm^3 ○吸水率 23.12% ○最適含水比 23.1%	○外観 振動締固めで 造成する固化地盤 ○単位容積質量 $1.6\sim 1.8\text{g/cm}^3$ ○透水係数 $1\sim 9\times 10^{-5}\text{cm/s}$	○湿潤密度 $1.6\sim 1.9\text{g/cm}^3$ ○最適含水比 20～25% ○透水係数 $1\times 10^{-8}\text{cm/s}$ 以下
強度特性	○せん断抵抗角 35° 程度以上 ○修正CBR 20%以上 ○圧縮強さ(材齢90日) $1,000\text{kN/m}^2$ 程度以下 ○粘着力 50kN/m^2 以上 (参 考) ・コーン指数(材齢90日) $15,000\text{kN/m}^2$ 程度以下	○修正CBR 134.5% (参 考) ・凍上率 13.2% (判定:合格)	○現場CBR 200%程度 ○圧縮強度(材齢28日) $5,000\text{kN/m}^2$ 以上 ○静弾性係数 4～6GPa程度	○圧縮強度(材齢28日) $4,000\sim 8,000\text{kN/m}^2$
施 工 性	○通常の土質材料と同様の施工性を有する。	○軽く、水に浮かず、物理的強度もあり、化学的に安定した材料であることから、構造物に作用する土圧や荷重の軽減、軟弱地盤などにおける盛土材、裏込め材としての適用性が高い。	○プラントで練り混ぜた材料を、専用機器により現地で振動締固めを行う。	○最適含水比になるように自走式土質改良機やプラントで混合した後、ブルドーザーで敷均し、コンパインドローラ等で締固めを行う。
用 途	盛土材、埋立材	下層路盤材、凍上抑制剤、基礎砂利	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材
証 明 他	技術審査証明取得済	NETIS登録済 (HK-100018-A)	建材試験センター 環境主張建設資材の適合証明書 (第CCG0003-4(2)号)省資源型1級、環境保全型1級	NETIS登録済 (TH-150002-A)
そ の 他	○開発者 四国電力(株) ○出 典 建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術(建技審証 第0414号)石炭灰を利用した粒状地盤材料「灰テックビーズ」、(財)土木研究センター、2009.11更新	○開発者 越智建設(株)、北海道電力(株) ○出 典 越智建設(株)ホームページ	○開発者 (株)安藤・間 ○出 典 石炭灰リサイクル建設資材の盛土造成工事への有効利用、地盤工学会九州支部、地盤環境および防災における地域資源の活用に関するシンポジウム発表論文集、2010.1	○開発者 (株)大林組、相馬環境サービス(株) ○出 典 石炭灰を活用した復興工事への取組みー石炭灰を活用した防潮堤盛土実証試験ー、土木施工Vol.54、No.9、2013

(注) なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

表-3.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その3）

混合材料 種 別	ス ラ リ ー 材		ク リ ン カ ア ッ シ ュ	
技 術 の 種 類	スラリー材 (Fスラリー)	スラリー材 (FCスラリー)	クリンカアッシュ混合物 (クリンカ混合土)	クリンカアッシュ単体 (ライトサンド)
主 原 料	石炭灰＋セメント＋水	石炭灰＋セメント＋水	第4種建設発生土、泥土 ＋クリンカアッシュ	クリンカアッシュ
物 性	○フロー値 160～240mm ○単位体積重量 1.6～1.9g/cm ³ 程度	○粒度 礫分0%、 砂分5%程度、 シルト分80%程度、 粘土分15%程度 ○土粒子密度 2.2g/cm ³ 程度 ○湿潤密度 1.6g/cm ³ 程度 ○乾燥密度 1.2g/cm ³ 程度	○建設発生土とクリンカ アッシュの混合比5:5 の場合、所定の強度(qc=400kN/m ²)を確保。 なお、以下の値は混合 比5:5のもの ○単位容積質量 1.60g/cm ³ ○含水比 40%程度 ○透水係数 9×10 ⁻⁶ cm/s	○礫分を10～70%程度、 砂分を30～70%程度含 み礫質土あるいは砂質 土に分類される ○湿潤単位容積質量 1.4g/cm ³ 程度 ○最適含水比 15～60% ○透水係数 8.8×10 ⁻³ ～ 7.2×10 ⁻¹ cm/s
強度特性	○一軸圧縮強さ 300～1,000kN/m ² 以上 (材齢28日)	○一軸圧縮強さ 1,000kN/m ² 以上 (材齢28日) ○コーン貫入抵抗 1,200kN/m ² 以上 (材齢3日)	○内部摩擦角 13° ○CBR 1.1～1.7% ○コーン指数 550～610kN/m ²	○内部摩擦角 35° 以上 ○CBR 20以上 ○コーン指数 1,200 kN/m ² 以上
施 工 性	○フライアッシュを利用す ることで、ベアリング効 果により流動性が高く、 自己充填性を有する。 ○セルフベリングするの で、仕上げ施工が不要。	○流動性に優れポンプ打 設が容易(水中打設可能) ○トラフィカビリティ： 陸上部のコーン貫入抵 抗は1,200N/m ² 以上(材 齢3日)	○適正な含水調整で水 中不分離性能を発揮さ せ、埋戻しや裏込め撤 きだし施工で汚濁低減 が可能となる。	○軽量で、高いせん断 強度と透水性を有して おり、構造物の合理的 な設計に寄与できる。
用 途	裏込め材、充填材	裏込め材、充填材	盛土材、埋立材	盛土材、地盤改良材(SCP)
証 明 他	—	—	—	NETIS登録済 (CG-120029-A)
そ の 他	○開発者 北海道電力㈱ ○出 典 北海道電力㈱ホームペ ージ	○開発者 九州電力㈱ ○出 典 九州電力㈱ホームペ ージ他	○開発者 国土交通省 東北地方 整備局、東北電力㈱ ○出 典 道路盛土における石炭 灰と建設発生土利用ガ イドライン(案)(クリンカ アッシュ編)、国土交通 省東北地方整備局、 2003.3	○開発者 中国電力㈱ ○出 典 クリンカアッシュの有効 利用状況について、 2013年石炭灰有効利 用シンポジウム講演集、 (一財)石炭エネルギー センター、2013.11

(注) なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

3.2 土砂代替材

石炭灰、セメント、水を主原料とし、これに石膏等の添加材料を加えて製造する石炭灰混合材料は、破碎材、造粒材、塑性材に分類される。以下に、それぞれの代表例の製造法、基本物性を示す。

3.2.1 破碎材

(1) 製造法の概要

破碎材の代表例、「頑丈土破碎材（以下、「頑丈土」と記載する）」¹⁾の製造方法の概略を図-3.1に、製品を写真-3.1に示す。

「頑丈土」は、石炭灰に水、セメント、高炉スラグ微粉末や石膏等の添加剤を混合したものを締固めて固化させ、後に掘削・破碎して製造する。また、セメント固化による強度増加と有害物質の不溶化を目指したものである。

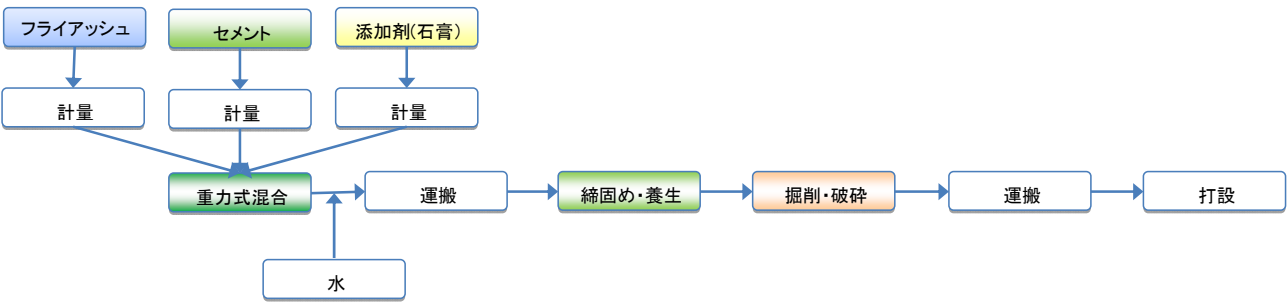


図-3.1 破碎材（頑丈土）の製造フロー



写真-3.1 破碎材（頑丈土）

また、頑丈土の標準的な配合例を表-3.2に示す。

表-3.2 破碎材（頑丈土）の配合例（質量比）¹⁾

石炭灰	高炉セメントB種	水	石膏
100	7 ～ 9	30 ～ 40	0 ～ 10

(2) 基本的物性

破碎材（頑丈土、海域使用の場合）の代表的な物性は表-3.3に示すとおりである。

「頑丈土」は軽量および液状化し難い材料特性を有するため、港湾構造物に使用した場合、地盤沈下減少、地盤改良の省略あるいは改良範囲の縮小および構造物のスリム化等の特徴がある¹⁾。

また、「頑丈土」の陸域使用については通常の地盤材料と同様に設計・施工ができる¹⁾。

表-3.3 破碎材（頑丈土）の物性・性能¹⁾

試 験 項 目		物 性 ・ 性 能
物 性	粒 度	細粒分混じり土質材料～砂質土の粒度範囲 最大粒径は調整可能
	土粒子密度 (g/cm ³)	2.3～2.4
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.25 以下
	強熱減量 (%)	10 以下
	透水係数 (cm/s)	$1 \times 10^{-5} \sim 10^{-4}$
強 度 特 性	せん断抵抗角 (°)	30 以上
	修正 C B R (%)	40 以上
	液状化抵抗比	$R_{l20} \div 0.3$
施 工 性	圧縮性	透水性があり埋立てと同時に沈下が収束する
	トラフィカビリティー	陸上部のコーン貫入抵抗は 1,200kN/m ² 以上
	粉 塵	粉塵の発生は少ない

(3) 同種品

破碎材の同種品に、表-3.1に示した J-アッシュや東北電力が開発した輝砂がある。



写真-3.2 破碎材（J-アッシュ）の養生状況

3.2.2 造粒材

(1) 製造法の概要

造粒材の代表例、「ゼットサンド」の製造方法の概略を図-3.2 に、製品を写真-3.3 に示す。「ゼットサンド」は石炭灰（フライアッシュ）に、セメント、添加材および水を加え造粒して製造する。また、近年枯渇しつつある天然砂質土の代替材として適用することにより、資源の有効活用と環境保全を図るものである。

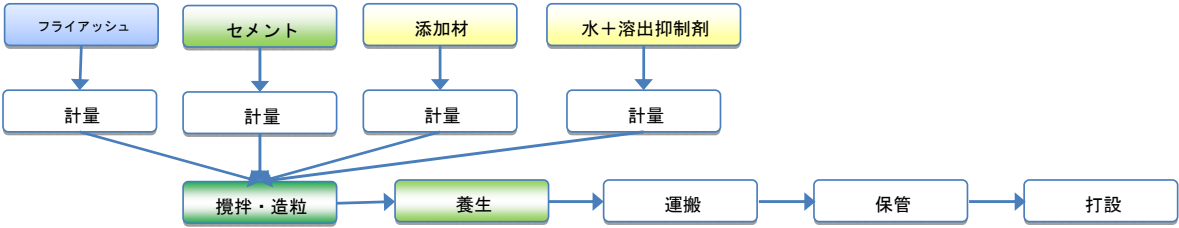


図-3.2 造粒材（ゼットサンド）の製造フロー



写真-3.3 造粒材（ゼットサンド）

ゼットサンドの代表的な配合例を表-3.4 に示す。

表-3.4 造粒材（ゼットサンド）の配合例（重量%）²⁾

石 炭 灰	セメント	添加材（造粒助剤）	水	溶出抑制剤
85	5	10	約 25 ～ 40	0 ～ 1.0 程度

注）供給水量、溶出抑制剤量は粉体材料重量 100%に対する値である。

(2) 基本的物性

造粒材（ゼットサンド）の物性・性能は表-3.5 に示すとおりである。

表-3.5 造粒材（ゼットサンド）の物性・性能²⁾

試 験 項 目		測 定 値	管 理 基 準 値	試 験 方 法
物 性	最大粒径（mm）	9.5～26.5	4～50	JIS A 1204
	平均粒径（mm）	0.35～1.46	0.3～2	JIS A 1204
	礫分含有率（％）	20.9～39.7％	15～50	JIS A 1204
	細粒分含有率（％）	5.1～25.8％	30 以下	JIS A 1204
	粒子密度（g/cm ³ ）	2.308～2.323	2.4 以下	JIS A 1202
	透水係数（cm/s）	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-3}$	1.0×10^{-4} 以上	JIS A 1218
強 度	内部摩擦角（°）	39.0～40.3	35 以下	JGS 0523
	95%修正CBR（％）	33.5～41.0	20 以上	JIS A 1211

(3) 同種品

造粒材の同種品に、表-3.1 に示したH i ビーズ、灰テックビーズ、フライ・クリーン等がある。

灰テックビーズの製品写真を写真-3.4 に示す。



写真-3.4 造粒材（灰テックビーズ）

3.2.3 塑性材

(1) 製造法の概要

塑性材の製造方法の一例を図-3.3に示す。製造時と施工の状況を写真-3.5、3.6に示す。

塑性材は、石炭灰（フライアッシュ）にセメント、助剤（石膏）、最適含水比となるために必要な水を加えて、プラント等で混合して作製する。作製した塑性材は、ダンプトラック等で運搬し、敷均しと締固めを行う。助剤は、セメント固化における強度増加と有害物質の不溶化を目的としている。塑性材の配合例を表-3.6に示す。

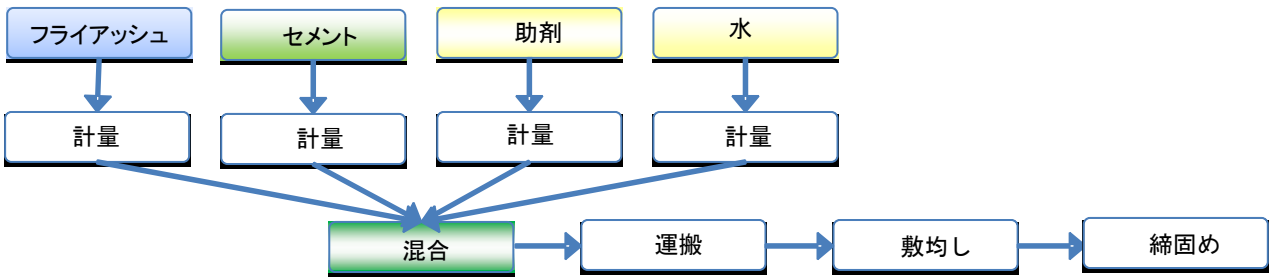


図-3.3 塑性材の製造・施工のフロー

表-3.6 塑性材（アッシュクリート Type II）の配合例³⁾

フライアッシュ (kg)	セメント (kg)	助剤 (石膏) (kg)	水 (kg)
1250	50～100	25	350



写真-3.5 塑性材の製造プラントの攪拌混合の状況



写真-3.6 塑性材の運搬と締固めの状況

(2) 基本的物性

塑性材の代表的な物性値は表-3.7 に示すとおりである。

表-3.7 塑性材（アッシュクリート Type II）の物性・性能³⁾

試 験 項 目		特 性 値
物 性	単位容積質量 (g/cm ³)	1.6 ～ 1.8
	透水係数 (cm/s)	1×10^{-5} ～ 9×10^{-5}
強 度	現場 C B R (%)	200 程度
	圧縮強さ (材齢 28 日、kN/m ²)	5,000 以上
	静弾性係数 (GPa)	4 ～ 6

(3) 同種品

塑性材の同種品に、表-3.1 に示したソマッシュがある。

3.3 スラリー材

石炭灰、セメント、水等を主原料とし、これに添加材料等を加えてスラリー材を製造する。以下に、それぞれの代表例の製造法、基本物性を示す。

(1) 製造法の概要

石炭灰スラリーは、フライアッシュにセメントを少量添加し、水を加えてスラリー状にしたものである。特徴としては、石炭灰スラリーが硬化して固化体となり、構造物に対する背面土圧が低減され安定性が向上する。

製造上の特徴は、重力式混合プラントを使用した点である。具体的には、重力式混合プラントに石炭灰とセメントをベルトフィーダ等により定量・連続供給し、重力式混合装置により自由落下させ、装置内の衝撃ダンパーとせん断バーによって粉体として混合するもので、混合した粉体を攪拌用鋼製水槽に投入し、水を加え、浅層混合用攪拌機（ツインヘッダー）により攪拌しスラリー化させ製造した⁴⁾。

スラリー材の代表例、「F Cスラリー」の製造方法の概略を図-3.4 に示す。

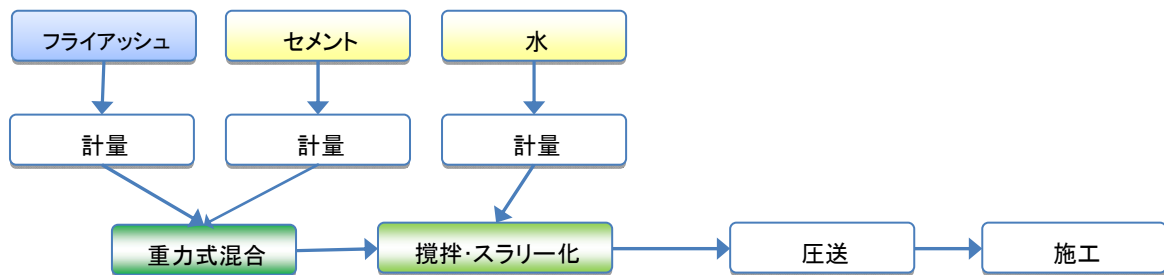


図-3.4 スラリー材（F Cスラリー）の製造フロー



写真-3.7 スラリー材（F Cスラリー）

F C スラリーの代表的な配合例を表-3.8 に示す。

表-3.8 スラリー材（F C スラリー）の配合例

配合量 (kg/m ³)			セメント 混合量 C/F (%)	水粉体比 W/(C+F) (%)	シリンダ フロー管理 値 (mm)
石炭灰 F	セメント C	水 W			
955	57	557	6.0	55	250±30

(2) 基本的物性

スラリー材料（F C スラリー）の代表的な物性・性能は表-3.9 に示すとおりである。

表-3.9 スラリー材（F C スラリー）の物性・性能

項 目	特 性 値
湿潤密度 (g/cm ³)	1.6 程度
乾燥密度 (g/cm ³)	1.2 程度
コーン貫入抵抗 (材齢 3 日、kN/m ²)	1,200 以上
圧縮強さ (材齢 28 日、kN/m ²)	1,000 以上

(3) 同種品

スラリー材料の同種品に、表-3.1 に示した F スラリーがある。

3.4 クリンカアッシュ並びにクリンカアッシュ混合物

石炭灰混合材料として前項までは、石炭灰、特にフライアッシュを加工する混合材料について紹介してきた。ここではフライアッシュ以外のクリンカアッシュの利用方法について紹介する。

(1) 利用方法と混合方法

クリンカアッシュを写真-3.8 に、混合方法の概略図を図-3.5 に示す。

クリンカアッシュは、石炭火力発電所のボイラ底部の水槽に落下した石炭灰を破砕機で粉砕したものである。これを高含水土とおよそ 5 対 5 の割合で混合することで、高い土質改良効果を発揮することを確認した^{5,6)}。混合方法もバックホウによる混合で十分施工が可能で、混合土は転圧後の放置で強度が大幅に増加する。



写真-3.8 クリンカアッシュ

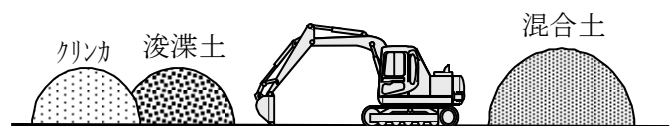


図-3.5 混合方法

(2) 改良効果

不良土の土質改良効果は、時間の経過と共にコーン指数が増加し、良質土（第3種建設発生土）相当に改良できることを確認している。施工状況を写真-3.9 に、施工後のコーン指数変化を図-3.6 に示す。



写真-3.9 混合盛土の施工例

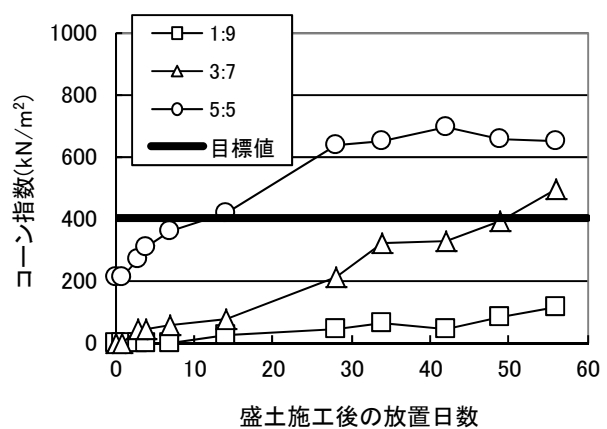


図-3.6 混合盛土の施工後のコーン指数変化⁶⁾

(3) 類似使用例

クリンカアッシュは、軽量で、高いせん断強度と透水性を有しており、単独で盛土材としても多数活用されている（写真-3.10）。



写真-3.10 クリンカアッシュ使用例（軽量盛土工）

参考資料

- 1) 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第06003号 石炭灰を有効利用した埋立て材料「頑丈土破砕材」、財団法人 沿岸技術研究センター、2006.11
- 2) 建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術（建技審証 第0401号） 石炭灰を用いた人工地盤材料「ゼットサンド」、財団法人 土木研究センター、2004.11
- 3) 小林仁、田中則和、高橋昌之：石炭灰を用いた水中硬化体の開発、電力土木、No.284、pp.9-13、1999.11
- 4) 前川文誓，飯干信幸，小川信行：塩害及び化学的侵食により劣化した護岸（直立型消波ブロック式）の補修対策，電力土木，No.303，pp.66-70，2003.1
- 5) 東北電力株式会社 <http://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2003/30729a.htm>
- 6) 大高昌彦、荒川高而、井上博泰：クリンカアッシュ混合による建設発生土の土質改良特性について、土木学会第58回年次学術講演会講演梗概集、pp.1163-1164、2003.9

第4章 環境安全品質および検査方法

4.1 はじめに

本章では、石炭灰混合材料が確保すべき環境安全性品質および検査方法を規定する。すなわち、本ガイドラインは、平成13年環境省通知「土壌の汚染に係る環境基準についての一部改正について」（環水土第44号）に記述される「再利用物の利用の促進と安全性確保の観点から、再利用物の利用実態に即したリサイクルガイドライン」の一つに該当し、本章は、環境安全品質確保の方法を具体的に示すものである。

まず、具体化のための基本的な考え方は、日本工業標準調査会による「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」（2011年7月）¹⁾の第2章に示される「循環資材^{1※1}の環境安全品質及び検査方法に関する基本的考え方」^{※2}に基づくこととする。次に、この考え方にに基づき、各用途における環境安全品質を規定する。そのための考え方は、先行して公表されたガイドラインやマニュアル^{2), 3), 4)}を参考としている。

なお、石炭灰混合材料は、平成23年環境省通知「土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について」（環水大土発第110706001号）に示されるように、「非鉄製錬業や鉄鋼業の製錬・製鋼プロセスで副生成物として得られるスラグ等や石炭火力発電に伴い排出される石炭灰等が土木用・道路用資材等として用いられ、かつ、周辺土壌と区別して用いられる場合は、そもそも土壌とはみなされない」ことから、この限りにおいては土壌環境基準は適用されず、かつ、「土壌汚染対策法の調査の命令対象とはならない」。したがって、周辺の土壌と区別して用いる場合は、土壌環境基準や土壌汚染対策法の調査命令の対象外となるため、別途、適切な環境安全品質を確保するための検査方法や管理方法などのルールが必要である。また、対象外であるという条件が将来にわたって適用されるためには、その検査結果や利用区域を施工図面等に正確に記録・保管し、将来、所有者が変更される際には情報を確実に伝達することが必要である。また、情報の記録・保管が困難な用途^{※3}については、一般土壌への再利用を前提とし、それと同等の環境安全品質の確保が必要である。

4.2 環境安全品質および検査方法の規定に際しての考え方

4.2.1 基本的な考え方

「循環資材の環境安全品質及び検査方法に関する基本的考え方」¹⁾に示されるように、検査は、「環境安全形式検査」と「環境安全受渡検査」の2段階によって行う。検査の流れを図-4.1に示す。

(1) 環境安全形式検査

※1 環境基本法の定める循環資源¹のうち、建設資材に利用されるものをいう。

※2 スラグ類に関する日本工業規格（A5011-1, A5011-2, A5011-3, A5011-4, A5015, A5031, A5032）は、この考え方に基づく環境安全品質の導入が進められている。

http://www.jisc.go.jp/newstopics/2012/201203slag_hokokusho.htm

※3 建築資材などが想定される。

環境安全形式検査では、所定の方法で調製された石炭灰混合材料が、すべての検査項目について環境安全品質基準を満足することを検査する。そのための環境安全品質基準と試験方法は、先出の「基本的考え方」¹⁾に基づき規定する。すなわち、石炭灰混合材料を利用する際には、その出荷から、施工、利用を経て、利用終了後の再利用または処分も含めたすべてのライフサイクルにおいて、影響を受ける大気、土壌、地下水、海水等（環境媒体という）が当該の環境基準等を満足できるように配慮しなければならない。そこで、それぞれの用途（もしくは工事※¹）ごとに、そのライフサイクルの中で「最も配慮すべき曝露環境」を選定する。環境安全形式検査において参照する基準（“環境安全品質基準”）は、「最も配慮すべき曝露環境」において、石炭灰混合材料を取り囲む環境媒体が環境基準等を満足できるように規定する。環境安全形式検査における試験項目は、微量物質の放出経路を踏まえて、溶出量試験と含有量試験の実施の有無、ならびに実施する場合はその試験方法を規定する。

(2) 環境安全受渡検査

環境安全受渡検査は、実際に施工または販売される予定の石炭灰混合材料が、環境安全品質基準に合格したものと同一品質であることを確認するために、石炭灰混合材料に含まれる特に注目すべき微量物質に絞り込み、製造ロットごとに、必要と思われる基準項目について、環境安全品質基準を満足することを検査する。

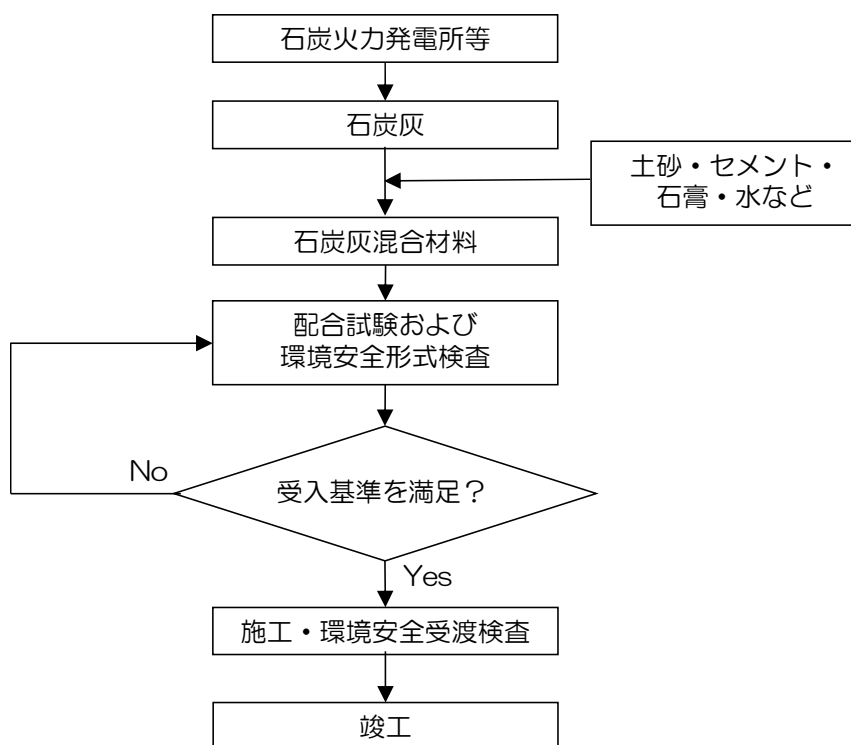


図-4.1 環境安全品質に関する検査の流れ

※1 用途によっては、再利用の可能性が工事ごとに異なる場合が考えられるため、工事ごとに、当事者間で協議し、決定する必要がある。

4.2.2 最も配慮すべき暴露環境

着目する用途の「最も配慮すべき暴露環境」を表-4.1のように規定する。

盛土材や裏込め材のように、施工後はほぼ永久的に利用され再利用が想定されない用途では、その用途における環境を「最も配慮すべき暴露環境」とする。

仮設盛土や下層路盤材のように、利用後に撤去され、別の用途で再利用がなされることが想定される場合は、その用途と再利用用途とを比較し、石炭灰混合材料の露出や粒状化等の観点から「最も配慮すべき暴露環境」を選定する。

表-4.1 「最も配慮すべき暴露環境」選定の考え方

	「最も配慮すべき暴露環境」
再利用が想定されない用途（工事）	その用途（工事）
再利用が想定される用途（工事）	その用途（工事）と再利用用途を比較し選定する。

4.2.3 環境安全品質基準と試験方法

環境安全品質基準は、「最も配慮すべき暴露環境」において、石炭灰混合材料を取り囲む環境媒体（石炭灰混合材料と接する土壌や地下水等）が環境基準等を満足できるように規定する。試験方法は、「最も配慮すべき暴露環境」における微量物質の放出経路を踏まえて、溶出量試験と含有量試験の実施の有無を含めて規定する。より具体的には、土壌汚染対策法の適用可能性（もしくは土壌汚染対策法と同等の環境安全品質の必要性）、直接摂取の可能性、および、溶出経路に基づき、図-4.2 のフローチャートに従い、表-4.2 に示す類型A～Eのいずれかを選定することとなる。

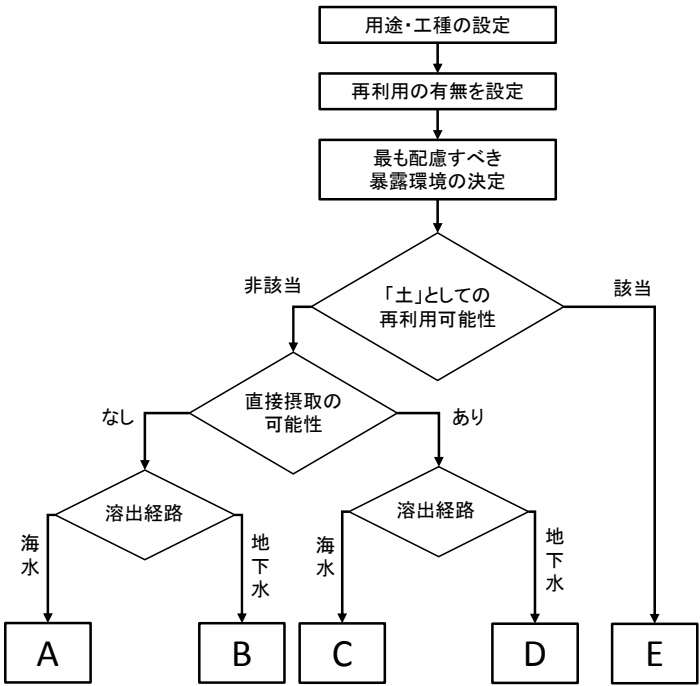


図-4.2 環境安全形式検査の類型判断フローチャート

表-4.2 各類型の試験方法と環境安全品質基準

類型				試験項目	試験方法	環境安全品質基準
	「土」としての 再利用可能性	直接摂取 可能性	溶出経路			
A	非該当	なし	海水	溶出量試験	JIS K 0058-1 の 5.	港湾用途溶出量基準
B	非該当	なし	地下水	溶出量試験	JIS K 0058-1 の 5.	一般用途溶出量基準
C	非該当	あり	海水	溶出量試験	JIS K 0058-1 の 5.	港湾用途溶出量基準
				含有量試験	JIS K 0058-2	含有量基準
D	非該当	あり	地下水	溶出量試験	JIS K 0058-1 の 5.	一般用途溶出量基準
				含有量試験	JIS K 0058-2	含有量基準
E	該当	あり	—	溶出量試験	H15 環告 18 号	一般用途溶出量基準
				含有量試験	H15 環告 19 号	含有量基準

以上を踏まえて、各用途における「最も配慮すべき曝露環境」と試験項目を表-4.3 に示す。なお、用途ごとの環境安全形式検査および受渡検査の項目は表-4.6 を参照のこと。

表-4.3 用途ごとの試験方法と環境安全品質基準

用途 (【 】内に、図-4.2 による類型を記す) ※2			最も配慮 すべき曝 露環境	試験項目 (カッコ内に、試験方法と環境安全品質基準※1 を順に記す)
再利用が 想定され る用途	舗装工	路床材、凍上抑制材、路盤材、 アスファルト舗装骨材、舗装用 ブロック【類型 C または D】	再生路盤 の状態	溶出量試験 (JIS K0058-1 の 5.、港湾用途溶出量 基準 (類型 C)、一般用途溶出量基準 (類型 D)) 含有量試験 (JIS K0058-2、含有量基準)
再利用が 想定され ない用途	土工	覆土材、盛土材、埋戻材 (資材 が露出する恐れ※3 のある場合) 【類型 E】	最初の用 途の状態	溶出量試験 (平成 15 年環告 18 号、一般用途溶出 量基準) 含有量試験 (平成 15 年環告 19 号、含有量基準)
		盛土材、埋戻材 (資材が露出 する恐れ※3 のない場合)【類型 A または B】		溶出量試験 (JIS K0058-1 の 5.、港湾用途溶出量 基準 (類型 A)、一般用途溶出量基準 (類型 B))
	裏込め 工	裏込め材【類型 A または B】		溶出量試験 (JIS K0058-1 の 5.、港湾用途溶出量 基準 (類型 A)、一般用途溶出量基準 (類型 B))
	地盤改 良工	バーチカルドレーンおよびサ ンドマット材、サンドコンパ クション (SCP) 用材、深層混合処 理固化材【類型 A または B】		溶出量試験 (JIS K0058-1 の 5.、港湾用途溶出量 基準 (類型 A)、一般用途溶出量基準 (類型 B))
		浅層混合処理固化材【類型 E】		溶出量試験 (平成 15 年環告 18 号、一般用途溶出 量基準) 含有量試験 (平成 15 年環告 19 号、含有量基準)

※1 環境安全品質基準値は表-4.4 に示す。

※2 港湾工事においては、類型 B または D が適用される可能性は低い。

※3 資材が露出する恐れとは、他の材料で被覆した場合であっても、雨水等の浸食により被覆した材料が流出する可能性のある場合を言う。

4.3 環境安全品質基準

表-4.2 に示した用途ごとに、環境安全品質基準を「港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル(案)」(一般財団法人沿岸技術研究センター、2012 年 3 月)³⁾を参考に、表-4.4 に示すとおり規定する。ここで、石炭灰は石炭燃焼後の残渣であることから、評価対象物質は重金属等の無機物質に限定した。なお、表-4.4 に示す一般用途溶出量基準と含有量基準は土壤汚染対策法の指定基準と同等である。港湾用途溶出量基準の設定の考え方は、表-4.5 に示すとおりである。

環境安全形式検査では、表-4.4 のうち該当する項目をすべて検査する。環境安全受渡検査では、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素の溶出量は必ず測定し、他の項目の測定については環境安全形式検査の結果をもとに石炭灰混合材料製造業者と利用者との合意の上、省略できるものとする。具体的には、表-4.6 のとおりとする。

表-4.4 環境安全品質基準

(a) 溶出量基準

項目	一般用途溶出量基準 (mg/L)	港湾用途溶出量基準 (mg/L)
カドミウム	0.003 以下	0.009 以下
鉛	0.01 以下	0.03 以下
六価クロム	0.05 以下	0.15 以下
砒素	0.01 以下	0.03 以下
水銀	0.0005 以下	0.0015 以下
セレン	0.01 以下	0.03 以下
ふっ素	0.8 以下	15 以下
ほう素	1 以下	20 以下

(b) 含有量基準

項目	含有量基準 (mg/kg)
カドミウム	150 以下
鉛	150 以下
六価クロム	250 以下
砒素	150 以下
水銀	15 以下
セレン	150 以下
ふっ素	4000 以下
ほう素	4000 以下

表-4.5 港湾用途溶出量基準の考え方

本ガイドラインの適用範囲とする港湾施設の供用期間は数十年規模の長期的（半永久的）なものであり、且つ、自治体等の港湾施設管理者は、使用した石炭灰混合材料の検査記録や施工記録を残すこととしている。また、仮に撤去された場合、海水に長期間曝露され塩濃度が高い等の理由のために他の用途への再利用は難しいと考えられる。以上のことから、石炭灰混合材料のライフサイクルを通じた環境への影響を検討するに際して「最も配慮すべき曝露環境」は、再利用を考慮しない港湾施設としての利用環境とした。

このような港湾施設に使用される石炭灰混合材料が備えるべき環境安全品質基準の参考となる値として、日本工業標準調査会による「コンクリート用スラグ骨材に環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」における港湾用途の環境安全品質基準がある。この基準の適用の対象となる港湾用途とは、海水と接する環境で、かつ、再利用しない用途（岸壁、防波堤、砂防堤、護岸、堤防、突堤等が挙げられる）に限定したものである。このような設備からの直接摂取、あるいは周囲の地下水の飲用は考えられず、海水に対する影響を考慮する。港湾施設構造物の表面から海水への溶出による湾内の化学物質濃度上昇を計算した結果からは、この基準を満たす資材による濃度上昇への寄与はほとんど無視できるレベルであることが考察された。しかしながら、水産物への濃縮を介しての人への影響等の観点から科学的知見をさらに蓄積することの必要性を言及するとともに、港湾用途におけるコンクリート用スラグ骨材の当面の間の基準として環境安全品質基準（表-4.4 港湾用途溶出量基準と同等の値）が設定された。基準値は、海水による過大な希釈効果に期待せず、水底土砂基準や排水基準ではなく、より環境基準に近い値としてふっ素とほう素を除いて土壤環境基準の3倍が設定され、ふっ素とほう素については、海域でのバックグラウンド値が高く、水質環境基準が海域に対して適用されていないことも考慮して、土壤環境基準の20倍程度が設定されている。

本ガイドラインで対象とする港湾施設用石炭灰混合材料は、港湾内を回流する海水に対してはコンクリート製の擁壁等の構造物等を介し、また、上部は舗装や覆土を行い露出させないように施工することとしている。このような点から、石炭灰混合材料はコンクリート用骨材よりも、港湾内の海水や地上部への影響は小さい利用法であると考えられる。しかしながら、生態系保全や科学的知見の蓄積必要性等の上記の観点を踏まえて、当面の基準として、コンクリート用骨材と同等レベルの基準として表-4.4のように設定することとした。

なお、コンクリート用骨材の指針においても、港湾用途以外に関しては、人体への直接摂取等の可能性を考慮して道路用骨材と同様に土壤環境基準と同値の基準の適用としており、このガイドラインにおいても資材を域外に持ち出す場合には、土壤環境基準の適用を検証することとしている。

表-4.6 用途ごとの検査項目

用途		試験の種類	環境安全形式検査	環境安全受渡検査		
				必須 ^{※1}	省略可 ^{※2}	省略 ^{※3}
舗装工	路床材、凍上抑制材、路盤材、アスファルト舗装骨材、舗装用ブロック	溶出量試験	表-4.4 (a) の全項目	六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、鉛、水銀	—
		含有量試験	表-4.4 (a) の全項目	—	鉛、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、水銀
土工	覆土材、盛土材、埋戻材（資材が露出する恐れ ^{※4} のある場合）	溶出量試験	表-4.4 (a) の全項目	六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、鉛、水銀	—
		含有量試験	表-4.4 (b) の全項目	—	鉛、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、水銀
	盛土材、埋戻材（資材が露出する恐れ ^{※4} のない場合）	溶出量試験	表-4.4 (a) の全項目	六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、鉛、水銀	—
裏込め工	裏込め材	溶出量試験	表-4.4 (a) の全項目	六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、鉛、水銀	—
地盤改良工	バーチカルドレーンおよびサンドマット材、SCP 用材、深層混合処理固化材	溶出量試験	表-4.4 (a) の全項目	六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、鉛、水銀	—
	浅層混合処理固化材	溶出量試験	表-4.4 (a) の全項目	六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、鉛、水銀	—
		含有量試験	表-4.4 (b) の全項目	—	鉛、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素	カドミウム、水銀

※1 参考表 4 および 5 より検出される可能性のあるものとして、これらの項目は測定を必須とする。

※2 参考表 4 および 5 より検出される可能性が極めて低いものとして、これらの項目は環境安全形式検査の結果を参考にして、石炭灰混合材料製造業者と利用者との合意の上、省略できるものとする。

※3 参考表 4 よりカドミウムと水銀の全含有量は、含有量基準と比較しても十分に低いことから、環境安全受渡検査では検査を省略するものとする。

※4 資材が露出する恐れとは、他の材料で被覆した場合であっても、雨水等の浸食により被覆した材料が流出する可能性のある場合を言う。

4.4 試験方法

図-4.3 に試験の流れを示す。

表-4.2 に示したように、溶出量試験は、類型 A～D については利用有姿の状態で実施が可能な JIS K 0058-1 の 5.（図-4.4 参照）とし、類型 E については平成 15 年環境省告示第 18 号溶出量試験とした。

含有量試験は、類型 C と D については JIS K 0058-2 とし、類型 E については平成 15 年環境省告示第 19 号含有量試験とした。いずれも、次に述べる方法で試料の採取と調製を行い、実施する。

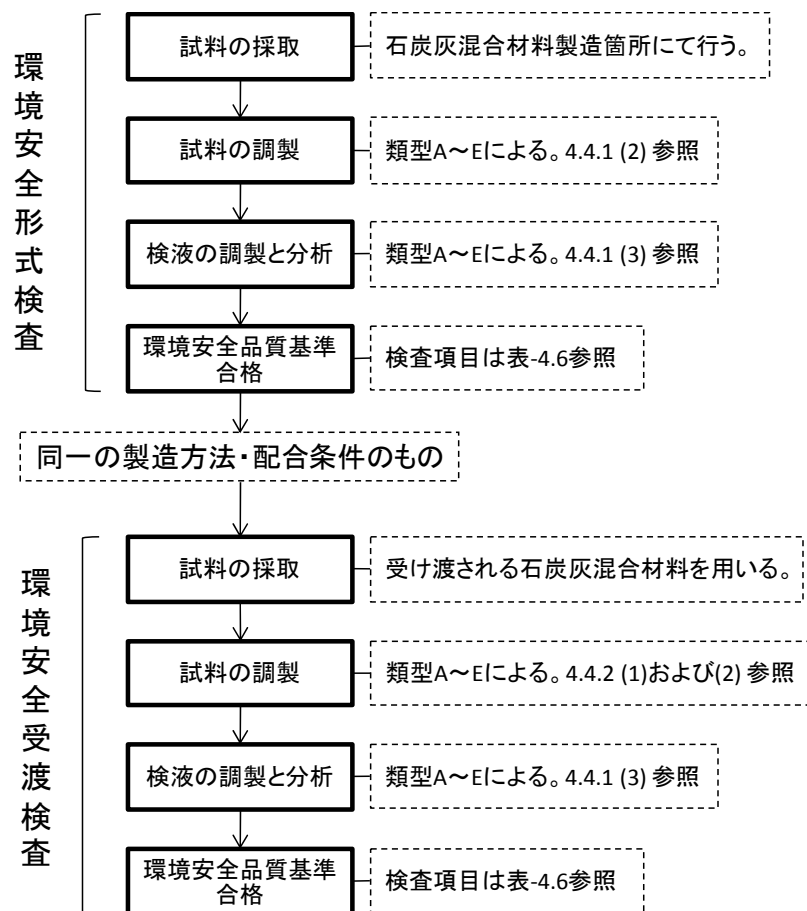


図-4.3 試験の流れ



図-4.4 JIS K 0058-1 の 5. 利用有姿による試験の実施状況

4.4.1 環境安全形式検査における試験方法

(1) 試料の採取

試料の採取は、石炭灰混合材料の製造実態、品質管理実態等を考慮し、石炭灰混合材料を代表し、かつ、再検査を実施する場合に備えて十分な量を確保できる合理的な採取方法を定めて行う。

(2) 試料の調製

試料の調製は、あらかじめ決定した「最も配慮すべき暴露環境」における石炭灰混合材料の状態に基づき、次のいずれかを選択する。ただし、次に述べる「検液の調製方法」によっては、各方法の規定に基づき、試料をさらに破碎して用いなければならない。

(a) 類型 A、B

破碎材・造粒材・クリンカ：JIS K 0058 -1 の 5.3.2 の粉塊状の試料による。

塑性材・スラリー材：50 mmφ×100 mm のモールドを用い、JIS A 1132（コンクリート強度試験用供試体の作り方）の 4.（圧縮強度試験用供試体）によりキャッピングまでを行う。養生は封かん養生とし、7 日間養生したものを検液の調製に用いる。再検査に備えて 3 本作製する。なお、原位置攪拌工法の場合は別途協議する。

(b) 類型 C、D

破碎材・造粒材・クリンカを破碎し、もしくは塑性材・スラリー材は成形体を作成後に破碎し、溶出量試験においては、スラグ指針¹⁾ 付録 A2 表 3 の粒度区分に調整する。また、含有量試験においては、スラグ指針¹⁾ 付録 A2 表 4 の粒度区分に調整する。

(c) 類型 E

スラグ指針¹⁾に基づき、破碎材・造粒材・クリンカを破碎し、もしくは塑性材・スラリー材は成形体を作成後に破碎して、溶出量試験と含有量試験のいずれについても、スラグ指針¹⁾ 付録 A2 表 4 の粒度区分に調整する。

(3) 検液の調製と分析

表-4.6 に示した用途や周辺環境に基づき、表-4.3 に示す試験を行う。参考として、各試験方法の概要を表-4.7 に示す。

4.4.2 環境安全受渡検査における試験方法

(1) 試料の採取と調製

(a) 破碎材・造粒材・クリンカ

試料は、現地で受渡しが行われる石炭灰混合材料を代表し、かつ、再検査を実施する場合に備えて十分な量を確保できる合理的な採取方法を定め、それに基づいて採取する。再検査を実施する場合に備えて十分な量を確保しておかなければならない。

(b) 塑性材・スラリー材

試料は、現地で施工時に未固結の状態の材料を 50 mmφ×100 mm のモールド等で 7 日間養生

したもの、現地で施工された材料のコア抜き供試体、もしくは、現地でなるべく乱さないように採取した不定形の試料を用いる。再検査に備えて3検体分用意する。ただし、原位置攪拌工法の場合は別途協議する。

(2) 試料の室内調製

類型 A、B については、(1)採取・調製した試料をそのまま用いる。類型 C、D、E については、4.4.1 (2)と同様に行う。

(3) 検液の調製と分析

4.4.1 (3)と同様に行う。

表-4.7 各試験方法の概要

	溶出量試験		含有量試験	
	JIS K 0058-1 の 5.	H15 環境省 告示第 18 号	JIS K 0058-2	H15 環境省 告示第 19 号
試料形状	有姿のまま	風乾し団粒 ^{※1} を 2 mm 以下に 粗砕	風乾し、 <u>すべての粒 子を 2 mm 以下に粗 砕</u>	風乾し団粒 ^{※1} を 2 mm 以下に 粗砕
溶媒	純水	純水	1 mol/L 塩酸 ^{※2}	1 mol/L 塩酸 ^{※2}
液固比	10L/kg	10L/kg	約 33 (200 mL/6 g)	約 33 (200 mL/6 g)
攪拌方法	プロペラ攪拌 200 rpm	反復振とう 毎分 200 回	反復振とう 毎分 200 回	反復振とう 毎分 200 回
溶出時間	6 時間	6 時間	2 時間	2 時間
固液分離方法	必要に応じて遠心分 離後にろ過	遠心分離後に ろ過	必要に応じて遠心分 離後にろ過	遠心分離後に ろ過

※1 本ガイドラインではすべての粒子とする。

※2 六価クロムは炭酸ナトリウムと炭酸水素ナトリウムの混合溶液を用いる。

4.5 検査の運用方法

4.5.1 検査の実施者

環境安全形式検査および環境安全受渡検査のいずれの場合も、次のとおりとする。

- (1) 試料の採取は、製造者、または発注仕様書や施工計画書等に定める者が実施する。
- (2) 検液の調製は、石炭灰混合材料製造業者から委託を受けた ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に適合している試験事業所または計量証明事業所が実施する。

4.5.2 検査の頻度

(1) 環境安全形式検査

工事ごとに、施工前に 1 回以上実施する。同一の工事内であっても、以下に該当する場合は、その都度実施する。

- 石炭灰混合材料の原料として供給される石炭灰の品質が大きく変化し、環境安全品質を定め

る微量物質の増加が生じる可能性がある場合。

- － 石炭灰混合材料製造設備の改良、製造プロセスの変更等の要因にともなって、環境安全品質を定める微量物質の増加が生じる可能性がある場合。
- － 配合条件を新たに定める都度。ただし、石炭灰と他の材料との配合率だけを変える場合で、石炭灰の配合率を少なくするときは、省略できる。

(2) 環境安全受渡検査

受渡当事者間の協議によって定めた頻度で実施する。ロット単位で実施することが望ましい。

なお、ロットの大きさおよびサンプリングの個数は工事仕様に定める。

注記 5000m³につき1回以上の頻度とすることが望ましい。

4.5.3 検査結果の判定基準

環境安全形式検査および環境安全受渡検査は、いずれも **4.3 節**の環境安全品質基準に適合したものを合格とする。

4.5.4 再検査

4.5.3 で不合格となった場合は、材料等の検査で一般的に行われている次の方法で再検査を実施する。すなわち、当該ロットについて、新たに2回の検査を行い、そのいずれもが適合した場合は、当該ロットは合格とする。新たに行った検査結果のうち、1回以上不適合となった場合は、当該ロットは不合格とする。

注記 上記の再検査のスキームは JIS Z8402-6 ²⁾の5.に示される考え方によるもので、JISにおけるスラグ類の環境安全品質検査にも採用されている。

4.5.5 ロットの管理

石炭灰混合材料の品質を確保するために、石炭灰の成分を把握するとともに、石炭灰混合材料の製造プロセスを管理し、環境安全品質をロットごとに管理できるようにしなければならない。

4.5.6 検査の記録

検査記録には、次の事項を記載しなければならない。

- a) 製造業者名、施工業者名またはそれぞれの略号
- b) 製造年月日、製造年月、製造期間またはこれらのいずれかの略号^{※1, ※2}
- c) 製造番号または製造ロット番号 ²⁾
- d) 使用材料および配合
- e) 検査年月日
- f) 試験事業者名および検査員名
- g) 環境安全形式検査結果

h) 環境安全受渡検査結果

i) 検査結果の判定

※1 製造年月日または製造年月の略号は一般に分かりやすい方法とする。

※2 b)とc)はいずれか1つ以上を記載すればよい。

4.5.7 検査記録の報告および保管

石炭灰混合材料の製造業者は、石炭灰混合材料の出荷時に（または先だって）次の項目を記載した検査報告書を利用者に提出しなければならない。製造業者は、その検査報告書（または写し）を5年間保管しなければならない。また、利用者は、その検査報告書（または写し）を、施設を供用している間、保管しなければならない。

a) 4.5.6のa)～i)の検査記録

b) その他必要な事項

4.5.8 その他

a) 施工後に長期モニタリングを行うことが望ましい。

b) 環境安全品質の保証の範囲は、環境安全形式検査に利用模擬試料を用いた場合は石炭灰混合材料の配合量が環境安全形式検査における配合量以下の場合に限定される。

参考文献

- 1) 日本工業標準調査会：コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書，2012.
- 2) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン，2011.
- 3) 一般財団法人沿岸技術研究センター：港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（案），2012.
- 4) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（震災復興資材編），2014.

付表 1 石炭灰混合材料 環境安全形式検査・受渡検査成績書(類型 A の例)

平成 年 月 日

製造業者 _____

施工業者 _____

環境安全形式検査

製造年月日、製造年月、製造期間 又はこれらのいずれかの略号				製造番号または製造ロット番 号				
使用材料及び配合								
検査年月日				試験事業者名および検査員名				
検査項目（全項目）	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	水銀	セレン	ふっ素	ほう素
環境安全形式検査値（mg/L）								
環境安全品質基準値（mg/L）	0.03 以下	0.03 以下	0.15 以下	0.03 以下	0.0015 以下	0.03 以下	15 以下	20 以下

環境安全受渡検査

製造年月日、製造年月、製造期間 又はこれらのいずれかの略号				製造番号または製造ロット番号				
使用材料及び配合								
検査年月日				試験事業者名および検査員名				
検査項目	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	水銀	セレン	ふっ素	ほう素
	※1	※1	必須	必須	※1	必須	必須	必須
環境安全受渡検査値 (mg/L)								
環境安全品質基準値 (mg/L)	0.03 以下	0.03 以下	0.15 以下	0.03 以下	0.0015 以下	0.03 以下	15 以下	20 以下

※1 製造業者と利用者の合意により省略可。

付表 2 石炭灰混合材料 環境安全形式検査・受渡検査成績書(類型 C, E の例)

平成 年 月 日

製造業者 _____

施工業者 _____

環境安全形式検査

製造年月日、製造年月、製造期間 又はこれらのいずれかの略号					製造番号または製造ロット番 号				
使用材料及び配合									
検査年月日					試験事業者名および検査員名				
検査項目（全項目）		カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	水銀	セレン	ふっ素	ほう素
溶出量試験	検査値（mg/L）								
	基準値（mg/L）	0.03 以下	0.03 以下	0.15 以下	0.03 以下	0.0015 以下	0.03 以下	15 以下	20 以下
含有量試験	検査値（mg/kg）								
	基準値（mg/kg）	150 以下	150 以下	250 以下	150 以下	15 以下	150 以下	4000 以下	4000 以下

環境安全受渡検査

製造年月日、製造年月、製造期間 又はこれらのいずれかの略号					製造番号または製造ロット番号				
使用材料及び配合									
検査年月日					試験事業者名および検査員名				
検査項目		カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	水銀	セレン	ふっ素	ほう素
溶出量試験		※1	※1	必須	必須	※1	必須	必須	必須
	検査値 (mg/L)								
	基準値 (mg/L)	0.03 以下	0.03 以下	0.15 以下	0.03 以下	0.0015 以下	0.03 以下	15 以下	20 以下
含有量試験			※1	※1	※1		※1	※1	※1
	検査値 (mg/kg)								
	基準値 (mg/kg)		150 以下	250 以下	150 以下		150 以下	4000 以下	4000 以下

※1 製造業者と利用者の合意により省略可。

参考資料

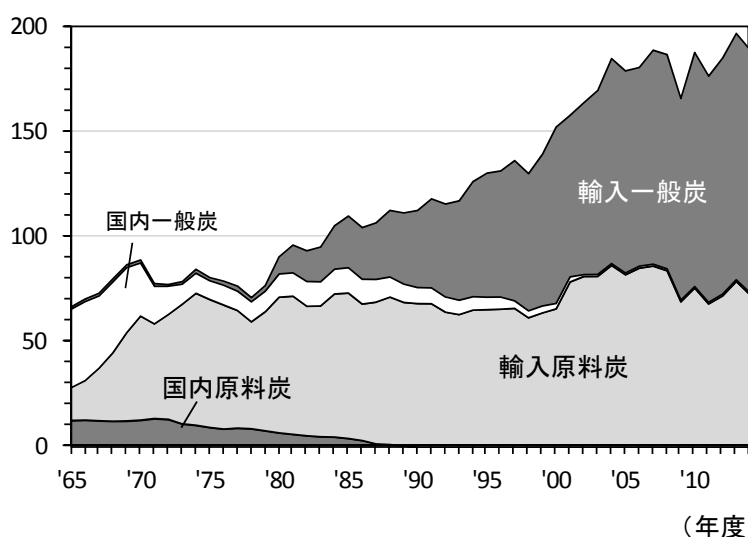
1.石炭灰

1.1 原炭について

石炭は、他の化石燃料と異なり世界的に広く存在し、その可採年数は石油、天然ガスに比べ長く、かつ、カロリー単価が安価な資源である。現在、我が国は、一次エネルギー供給の90%以上を化石燃料が占め、そのほとんどを輸入に依存していることから¹⁾、調達安定性と経済性に優れた石炭の有効利用は、エネルギー政策上、極めて重要なものとなっている。

参考図1に日本の国内炭・輸入炭供給量の推移を示す¹⁾。主に燃料として用いられる一般炭は、1960年代まで国内炭が使われていたが、その後進んだエネルギー革命により石油への転換が進むと、その供給量は大きく減少した。しかし、1979年の第2次石油危機以降、石油代替政策の一環として石炭火力発電所の新設・増設が進むと、一般炭の輸入量は年々増加し、2013年度には過去最高となる1億1,695万tに達した。2014年度現在、一般炭の輸入先は、オーストラリアが74.3%と最も多く、インドネシア(12.9%)、ロシア(8.7%)とカナダ(1.7%)の順となっている(参考図2)¹⁾。

(百万トン)



原料炭

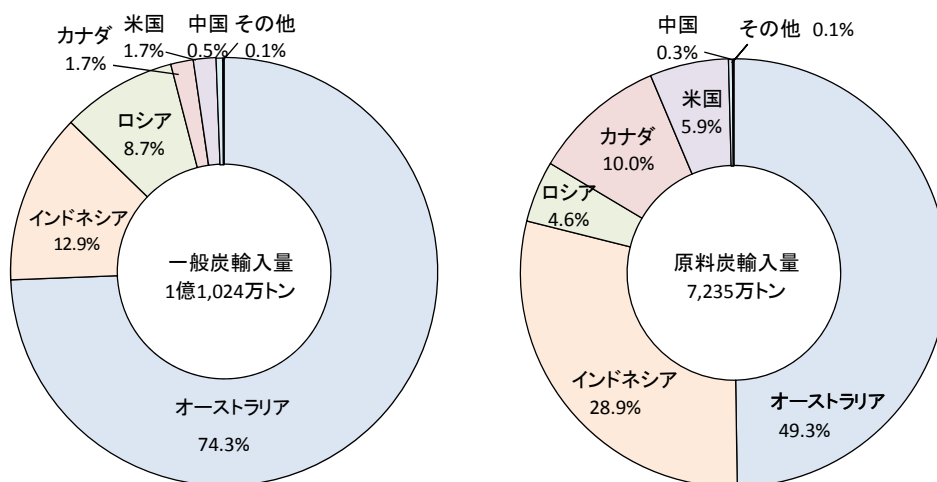
主に高炉製鉄用コークス原料として用いられる

一般炭

主に燃料として、電気事業、窯業・土石産業、紙・パルプ産業に用いられる。

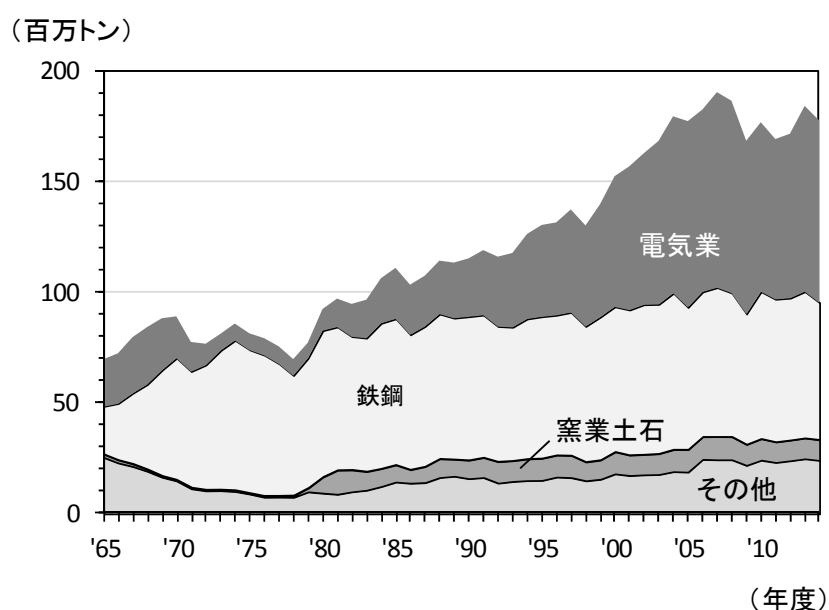
※同図では、無煙炭を一般炭に含めている

参考図1 国内炭・輸入炭の供給量推移 (輸入一般炭に無煙炭を含む)¹⁾



参考図2 石炭輸入先（2014年度）¹⁾

我が国の石炭の用途別消費量の推移を参考図3に示す。電気業における石炭消費量は、1960年代は2,000万tを上回っていたが、石油への転換が進み1975年前後は757万tにまで低下した¹⁾。しかし、第2次石油ショック以降、石油代替政策の一環としての石炭火力発電所の新設及び増設に伴い、石炭消費量は再び増加し、現在では最大の石炭消費者となっている。



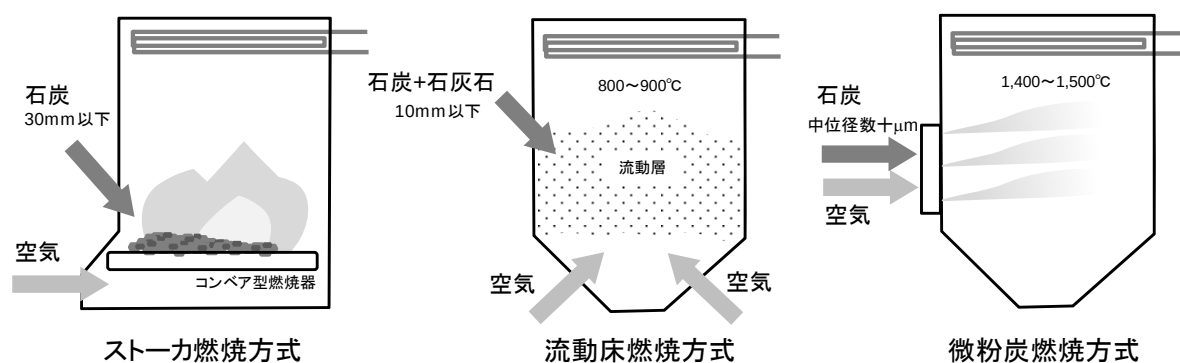
参考図3 石炭の用途別消費量の推移¹⁾

1.2 石炭燃焼プロセスと石炭火力発電所

石炭の燃焼方式は、固定床、流動床、噴流床に大別される（参考図4）。この内、固定床燃焼方式は、塊状の石炭をコンベア型燃焼器で移動させながら燃焼させるストーカ燃焼方式が最も多く用いられるが、大型化が困難なため、発電用途にはほとんど使われていない。流動床燃焼方式は、気流により浮遊、流動化している石灰石や珪砂層に、粒状の石炭を投入して燃焼する方式で、熱伝導性が高く、ボイラを小型化できるとともに、ボイラ内で硫黄酸化物を除去できるため、設備をコンパクト化できる利点を持つ。噴流床燃焼方式と

して代表的な微粉炭燃焼方式は、バーナにより中位径数十 μm の微粉炭を空気とともに噴出して燃焼させるもので、燃焼性が良く大型化にも対応する。その他、石炭をガス化し燃焼させるガス化炉方式があり、2013年から商用運転が始まっている。

国内の主な石炭火力発電所を参考図5に示す。2017年1月現在、臨海部を中心に38か所^{※1}の石炭火力発電所（休止中を含む）があるが、その大部分は微粉炭燃焼方式を採用している。



参考図4 石炭燃焼方式の概略

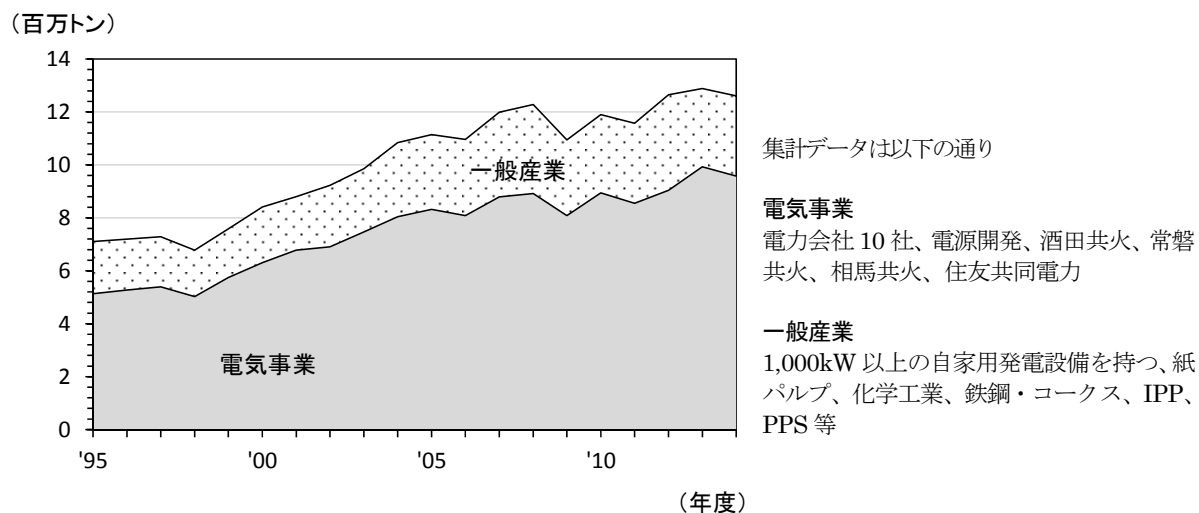
1.3 石炭灰の発生量

石炭には5~30%程度の灰分が含有されており、燃焼に伴い石炭灰が副産物として発生する。参考図6に示すように、国内で発生する石炭灰は、2004年度以降1,000万tを超えており、2014年度では、鉄鋼、化学工業、製紙・パルプ工業といった一般産業から生成される石炭灰は303万t、電気事業から生成される石炭灰は958万tとなっている²⁾。電源としての石炭火力は、「安定性・経済性に優れたベースロード電源」に位置づけられ、2015年度では発電電力量の約32%を占めるに至っている³⁾。国が示す長期エネルギー需給見通しでは、2030年においても現状と同程度の発電量が見込まれており、今後も石炭灰発生量が大きく減少することはないと予想されている。

※1 一般電気事業者、卸電気事業者及び旧みなし卸電気事業者の石炭火力発電所



参考図 5 国内の主な石炭火力発電所（電力 10 社、電源開発、共同火力、共同電力： 2017 年 1 月時点）



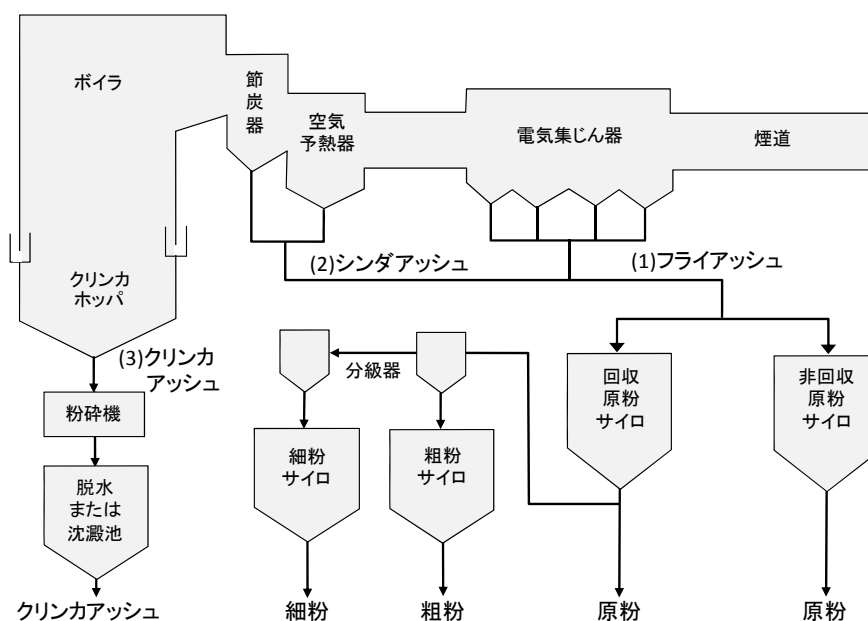
参考図 6 石炭灰発生量の推移²⁾

1.4 石炭灰の種類

石炭灰は燃焼方式や回収位置によって性状が異なる。なお、後述する FBC 灰は、本ガイドラインで対象とする石炭灰に含まない。

1.4.1 微粉炭燃焼により生成する石炭灰

微粉炭燃焼方式における石炭灰の発生工程の例を参考図 7 に示す。ボイラ内は $1,200\sim 1,600^{\circ}\text{C}$ に加熱されており、一部の石炭灰粒子はボイラ内で溶解して相互に凝集し、炉底（クリンカホッパ）に落下する。これがクリンカアッシュと呼ばれる石炭灰で、風冷（乾式法）または水冷（湿式法）された後、クリンクラッシャー（粉砕機）により粉砕されるため、砂状もしくは粉体状を呈する。一方、燃焼ガスとともに煙道下流に移行し、電気集じん器（EP）で回収される石炭灰をフライアッシュと呼ぶ。粒径は、概ね 90%以上が $0.1\mu\text{m}$ 以下であり、 $0.05\mu\text{m}$ 以下の粒子を「細粉」、 $0.1\sim 0.05\mu\text{m}$ の粒子を「粗粉」と称することがある。その他に、燃焼ガスが空気予熱器・節炭器等を通過する際に落下採取された、比較的目の粗い石炭灰であるシンダアッシュがあるが、発生量はわずかであり、フライアッシュに含める場合もある。大まかな発生比率は、フライアッシュ：クリンカアッシュ＝9：1 程度である。



参考図 7 石炭灰の発生工程の例（微粉炭燃焼方式）

1.4.2 流動床燃焼により生成する石炭灰

本方式では、 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ の低温で燃焼が行われる。ボイラ底部で回収される石炭灰をボトムアッシュ、電気集じん器で回収される石炭灰をフライアッシュと呼び、発生比率は、フライアッシュ：ボトムアッシュ＝85:15 程度である。ボイラ内に石灰石を投入するため、ボイラ内で脱硫が可能であるが、生成する石炭灰には石灰や石膏等が混入するため、微粉炭燃焼で生成する石炭灰よりも Ca と SO_3 含有量が高いという特徴を持つ。

つ。そのため、水に対する活性が高く自硬性を持つ等、微粉炭燃焼灰と異なる性状を有する。このため、流動床燃焼方式による石炭灰は、FBC 灰（加圧流動床燃焼方式の場合は PFBC 灰）と称し、微粉炭燃焼により生成する石炭灰と区別することが多い。

1.4.3 既成灰（エージング灰）

「用語の定義」に記したように、火力発電所から副生され、既に長期間埋立地等に埋め立てられている石炭灰である。飛散防止のために加湿した石炭灰を「湿灰」と呼ぶこともあるが、その状態で一定期間貯蔵された石炭灰も既成灰（エージング灰）と似た性状を有すると考えられる。その取扱い、性状等については、石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（エージング灰（既成灰）編）にて記載している。

1.5 石炭灰の物理・化学的特性

微粉炭燃焼により生成したフライアッシュとクリンカアッシュの主な性状を以下に示す。

a. 色

多くの場合、灰白色を呈しているが、灰中に含まれる未燃炭素の量によっては黒味を帯び、鉄分が多いとわずかに黄～褐色を帯びる。

b. 姿形

フライアッシュは平均粒径が $25\mu\text{m}$ 程度の粒子であり、多くは球状を呈している。一方、クリンカアッシュは、細礫～粗砂を中心とした粒径分布を持ち、多孔質のことが多い。

c. 粒子密度

フライアッシュ、クリンカアッシュともに $1.9\sim 2.3\text{ g/cm}^3$ の範囲に入っており、山砂等(2.6 g/cm^3)よりも軽量である。

d. 成分

α -クォーツ(SiO_2)やムライト($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$)、マグネタイト(Fe_3O_4)といった結晶質鉱物と、非晶質鉱物(ガラス質)から構成される。化学成分組成は炭種の違いによって多少の差異はあるが、二酸化けい素(SiO_2)と酸化アルミニウム(Al_2O_3)で全体の 70～80%を占める。その他に Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O および SO_3 等を含んでおり、天然土壤に近い化学成分組成を有している(参考表 1)⁴⁾。なお、微量成分については 1.7 節に示す。

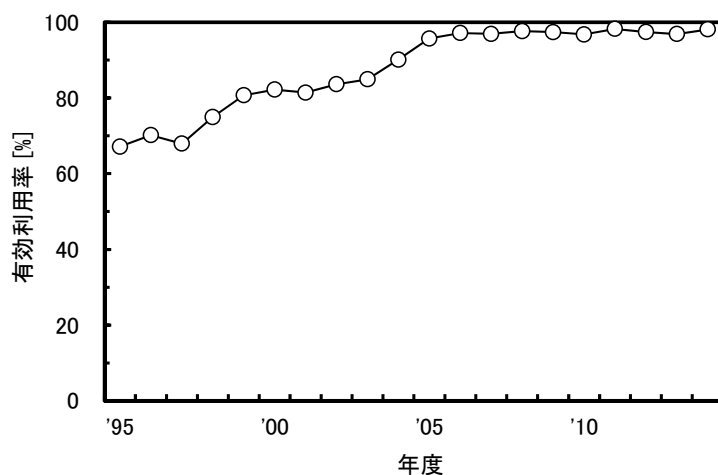
参考表 1 石炭灰の化学組成⁴⁾

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
フライアッシュ	40.1～74.4	15.7～35.2	1.4～17.5	0.3～7.4	0.2～7.4
クリンカアッシュ	51.6～64.0	17.3～26.9	4.2～10.9	2.3～8.8	1.0～2.6
土壤 (山土の一例)	62.8	24.0	1.6	0	0.3

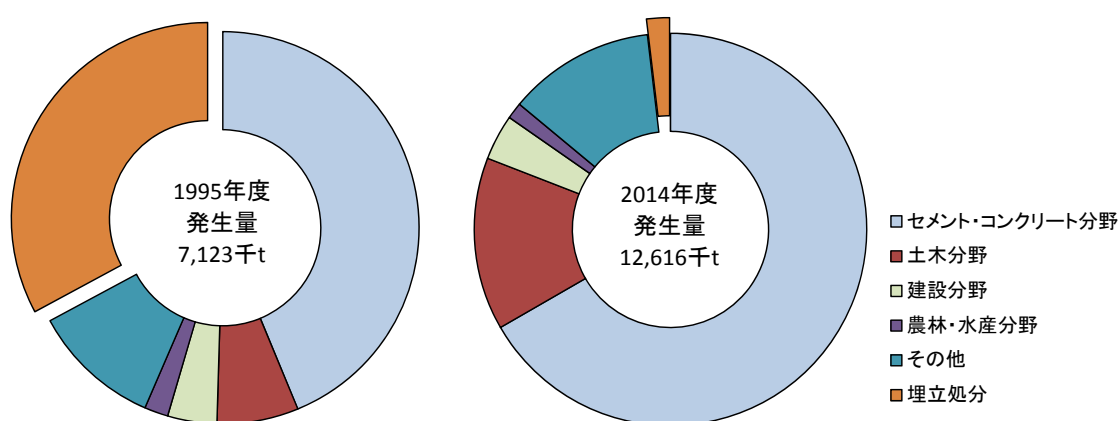
単位(%)

1.6 石炭灰の利用状況

石炭灰の有効利用率の推移を参考図 8 に示す。電気事業から発生した石炭灰の有効利用率は、1995 年度 67.1%であったが、2006 年度になると 95%を越えるようになり、その後は 96～98%で推移している。利用・処分の内訳は参考図 9 に示すとおりであり、利用先としてはセメント・コンクリート分野が最も多く、1995 年度では 44%、2014 年度では 67%を占め、次いで土木分野、建築分野と続く。石炭灰の主な利用用途を参考表 2 にまとめる。



参考図 8 石炭灰の有効利用率の推移²⁾



参考図 9 石炭灰の利用・処分の内訳（電気事業+一般産業）²⁾

参考表 2 石炭灰利用技術の分類⁴⁾

利用分野・項目	用途
○セメント分野 セメント原料 セメント混合材	粘土代替 フライアッシュセメント
○コンクリート分野 コンクリート混和材	ダムコンクリート、吹付けコンクリート、海洋コンクリート、プレパックドコンクリート、グラウト、高流動コンクリート、中流動コンクリート、FEC コンクリート、コンクリート二次製品
○土木分野 道路材料 埋戻し材 充填材 地盤改良材 盛土材 地盤補強材	アスファルトフィラー材、路盤材、路床材 管路等埋戻し材 スラリー材、流動化埋戻し材(CLSM)、高流動埋戻し材 浅層改良工法、深層混合処理工法、固化盤 軽量盛土、気泡混合軽量土 FGC 深層混合処理工法
○建築分野 人工骨材 建築材	軽量骨材 瓦、セラミックス（粘土瓦、レンガ、タイル）、コンクリート二次製品、内外壁材、フロア・パネル材
○農林・水産分野 農業用資材 海洋構造物	肥料（特殊肥料、けい酸加里肥料）、土壌改良材、パドック改良、人工培土、屋上緑化材、融雪促進材 人工漁礁、人工藻礁、人工湧昇流用海底構造物
○その他 吸収材・吸着灰 環境浄化材 その他	石炭灰ゼオライト 水質・底質浄化材、覆砂材 乾式用脱硫剤、ゴム・プラスチック充填材、水処理剤、トイレ用汚水処理材

1.6.1 セメント・コンクリート分野

セメント粘土代替、コンクリート混和材およびセメント混合材に大別される。

(1) セメント粘土代替

参考表 1 に示したように、山砂と似た化学成分組成を有していることから、セメントを製造する際の粘

土原料代替として利用されている。

現在、セメント・コンクリート分野に有効利用される石炭灰の98%がセメント粘土代替利用であり、最大の有効利用先となっている。しかし、近年、大型公共工事の減少にともないセメント生産量は減少しており、最盛期(1996年)に9,927万tあったセメント生産量は、2010年度には5,600万tまで落ち込んでいる。2011年度以降、震災復旧・復興需要や都市再開発需要により増産傾向にあるが、長くは続かないとの見方もある。

(2) コンクリート混和材

フライアッシュは、コンクリートに混和させることで以下に示す効果を発揮することが知られている。

a. 長期強度の増進

セメントやコンクリートにフライアッシュを混合した場合、ポズラン反応²⁾が長期間継続するため、セメントだけの場合よりも長期強度が増進し、耐久性に富んだ構造物ができる。これにより、セメントの使用量の節減を図ることができる。

b. 作業性の向上

フライアッシュは微細な球形粒子を多く含み、これを混合することにより、コンクリートの流動性が著しく改善されるので打設作業を効率的に施工できる。また、同一スランプを得るための所要水量は、フライアッシュ代替量に比例して減少し、単位水量の低減効果が得られる。

c. 水密性・化学抵抗性の向上

初期材齢では、水密性がやや低下するが、長期材齢の水密性は著しく増加する。これは、ポズラン反応で生成したカルシウムシリケート水和物により、組織が緻密化するためである。これにより化学抵抗性が高まり、更に海洋コンクリートとして使用される場合は、水密性が向上することで塩分の浸透が減少し、塩害による構造物の崩壊を防止する効果も期待される。

d. 水和熱の減少

フライアッシュを混和することでコンクリートの水和に伴う熱の発生を緩和するのに有効である。フライアッシュの置換率が増加するほど温度上昇を抑制することができ、マスコンクリートの場合、フライアッシュを用いないものに比べ7日材齢で6℃程度温度上昇が少なくなる。したがって、マスコンクリート工事、特にダム工事に極めて効果を発揮する。

e. アルカリシリカ反応の抑制

フライアッシュの混和によりアルカリシリカ反応の抑制に寄与する。

f. その他の効果

コンクリートの単位水量を減らすことができるため、硬化後の乾燥収縮率が小さく、ひび割れしにく

²⁾ ポズラン反応

フライアッシュ中のガラス状の二酸化けい素 (SiO_2) や酸化アルミニウム (Al_2O_3) が、セメントの水和によって発生される水酸化カルシウム (Ca(OH)_2) と徐々に反応して、カルシウムシリケート水和物を生成する。この反応をポズラン反応と呼び、生成された水和物はセメントの水和生成物と類似した化合物となり、コンクリートの耐久性や水密性を高める。

い。また、耐熱性の向上といった効果がある。

コンクリート混和材・セメント混合材に使用されるフライアッシュは、「コンクリート用フライアッシュ（JIS A 6201）」により品質が規定されており（参考表 3）、コンクリートの要求性能に応じて幅広い性状のフライアッシュの中から適切なものを選択使用できる。

フライアッシュⅠ種

流動性付与効果等の混和材としての性能の高いものと位置づけフロー値比および活性度指数も他種に比べ高目に設定された。減水効果が大きいことから高流動コンクリート、高強度コンクリートへの適用が考えられている。

フライアッシュⅡ種

標準的なフライアッシュに位置づけられ、最も流通量が多い。

フライアッシュⅢ種

Ⅱ種と粉末度は同等であるが、強熱減量が高目ものと位置づけ強熱減量の上限値を8.0%と設定された。（現状、全国的にⅢ種については販売されていない状況である。）強熱減量が大きいことから減水効果の程度、所要空気量を確保するためにA E 剤の種類、使用量等の配慮が必要とされている。

フライアッシュⅣ種

Ⅱ種と強熱減量は同等であるが、粉末度が低目のものと位置づけ、ブレン比表面積の下限は1500cm²/gに設定された。粒度が粗く、減水効果があまり期待できないことから、強度発現にやや時間を要することに配慮が必要とされている。

参考表3 コンクリート用フライアッシュの品質

種 類		フライアッシュⅠ種	フライアッシュⅡ種	フライアッシュⅢ種	フライアッシュⅣ種
項 目					
二酸化けい素	%	45.0 以上			
湿分	%	1.0 以下			
強熱減量（注 1）	%	3.0 以下	5.0 以下	8.0 以下	5.0 以下
密度	g/cm ³	1.95 以上			
粉 末 度 （注 3）	45 μ m ふるい残分 （網ふるい方法）（注 2） %	10 以下	40 以下	40 以下	70 以下
	比表面積（ブレン方法） cm ² /g	5,000 以上	2,500 以上	2,500 以上	1,500 以上
フロー値比		105 以上	95 以上	85 以上	75 以上
活性度指数 %	材齢 28 日	90 以上	80 以上	80 以上	60 以上
	材齢 91 日	100 以上	90 以上	90 以上	70 以上

（注 1）強熱減量に代えて、未燃炭素含有率の測定を JIS M 8819 又は JIS R 1603 に規定する方法で行い、その結果に対し強熱減量の規定値を適用してもよい。

（注 2）粉末度は、網ふるい方法またはブレン方法による。

（注 3）粉末度を網ふるい方法による場合は、ブレン方法による比表面積の試験結果を参考値として併記する。

なお、秋田県能代・山本地域では、2010年4月より、県の発注する公共事業にフライアッシュコンクリートが標準使用されているほか、北陸地方でも産官学の連携による利用促進が進められている。

1.6.2 土木分野

フライアッシュについては、利用場所の要求仕様に応じて石炭灰混合材料として加工され、本ガイドラインで示した港湾用途以外にも、道路盛土、土地造成等に利用されている。一方、クリンカアッシュは砂に近い粒度分布を持っていることから、そのままの状態で軽量盛土材や埋戻材として利用されている。また、その粒径が0.2~20mmで排水性、通気性、保水性等に優れていることから、ゴルフ場、道路の下層路盤材、グラウンド・野球場の中層材等として利用されている。

1.6.3 建築分野

石炭灰の持つ断熱性、遮音性、不燃性等の特徴を活かして、内外壁材等の原料として使用されている。

1.6.4 農林水産分野

肥料としてはフライアッシュ、クリンカアッシュともに特殊肥料の指定を受けており、ケイ酸カリ肥料の原料として利用されている。また、クリンカアッシュの持つ通気性、透水性、保水性、保肥性を活かして、土壤改良材や人工培土としても利用されている。その他にも、家畜パドックにクリンカアッシュを敷設することで、泥濘化による作業性の悪化や病気の誘発の防止に役立っている。

1.6.5 その他

(1) 環境浄化材

フライアッシュに水熱化学処理を施し、NaP1を主体とするゼオライト鉱物を形成させた石炭灰ゼオライトは、天然ゼオライト以上の陽イオン交換能やH₂Sガス吸着能を有するだけでなく、リンやアンモニアといった栄養塩類の収着機能も有する。また、粒状の石炭灰混合材料もH₂Sガス吸着能やリン・アンモニアといった栄養塩類の収着機能を有していることから、水質・底質浄化材、覆砂材といった環境修復材として使用されている⁵⁾。

(2) 土地造成材

海面埋立処分されている石炭灰は、土地造成材として扱われる。これは、「地方公共団体又は地域振興整備公団等その他これに類するものが実施する土地造成事業又は土地整備事業であって法律に基づいて行われるものに対して供給される石炭灰」は土地造成材とされ、港湾法上の重要港湾及び地方港の港湾計画に基づいて行われる公有水面埋立において電気業に属する事業者が供給する石炭灰はこれに該当するとの解釈⁶⁾による。また、埋立終了後の跡地利用として、事業用の電気工作物やその他これに付属するものを設置することが予定されている場合も同様であり、陸上埋立されている石炭灰についても、この条件を

満たせば土地造成材に該当する⁷⁾。

1.7 石炭灰の微量物質含有量と溶出特性

石炭は、石炭紀から新第三紀にかけて地中に堆積した植物が地熱や圧力を受けて変質、炭化したものである。そのため、植物体が生育期間中に吸収、貯蓄した微量成分や、現地の地質的条件に由来する微量成分を含んでいる⁸⁾。発電所において、高温下の火炉に投入された石炭は、有機成分が燃焼するとともに、無機成分は熱分解あるいは酸化を受けながら、一部が石炭灰粒子を形成する。微量成分についても、燃焼に伴って一部は石炭灰粒子を形成したり、石炭灰の表面に付着したりすると考えられている⁹⁾。

国内の発電所から発生した石炭灰中の微量成分全含有量の測定結果例を**参考表 4**に示す。同表には、参考として土壤汚染対策法に基づく含有量基準を併記した。前者が全分解法による含有量なのに対し、後者は1N塩酸（六価クロムについては0.015N炭酸ナトリウム緩衝液）抽出量であることに注意が必要であるが、石炭灰中の微量成分全含有量の平均値は、土壤汚染対策法に基づく含有量基準と比較しても低値にあることが分かる。

参考表 5は、国内の発電所から発生した石炭灰を対象に、環告 46 号試験もしくは環告 13 号試験を行った結果をまとめたものである。溶出濃度は灰によってまちまちではあるが、溶出する可能性のある元素としては、六価クロム、砒素、セレン、ほう素およびふっ素が挙げられる。

参考表 4 石炭灰中の微量成分全含有量の測定結果例¹⁰⁾

成分	範囲 (mg/kg)	平均値 (mg/kg)	対象 試料数	【参考】 含有量基準 ^{※1} (mg/kg)
水銀	≤0.001 ～ 1.46	0.17	84	15
カドミウム	≤0.03 ～ 8.86	1.41	84	150
鉛	2.78 ～ 210	53.1	75	150
クロム ^{※2}	28 ～ 160	78.5	38	250 (六価クロム)
砒素	≤0.01 ～ 91	15.0	99	150
セレン	≤0.5 ～ 54	8.1	97	150
ほう素	23 ～ 1330	428	36	4,000

注：定量下限未満は定量下限値を測定値として平均値を算出した。

※1：土壤汚染対策法に基づく含有量基準。

※2：測定結果は全クロムの値。

参考表 5 石炭灰の溶出試験結果例

項目	平均濃度 [mg/L]	標準偏差	n
総水銀	<0.0005	—	21
カドミウム	<0.01	—	25
鉛	<0.01	—	33
六価クロム	0.08	0.12	56
砒素	0.028	0.055	47
セレン	0.092	0.110	54
ほう素	5.0	7.9	56
ふっ素	1.4	1.8	34

2000 年～2008 年度に公開された報告書・論文 24 編を対象に、国内の発電所から発生した石炭灰について環告 46 号または環告 13 号試験をおこなった結果を抽出し、まとめたもの

石炭灰の微量物質の溶出特性は、灰分組成、燃焼条件、電気集じん装置の設定条件等の影響を受けていると考えられ、一般化は難しい。ここでは、これまでに報告されている内容の要点についてまとめた。

(1) 砒素

砒素は石炭灰の表面付近での確認例があり^{11),12)}、アルミノシリケート化合物や鉄酸化物に収着した形、もしくは砒酸カルシウムとして存在することが報告されている¹³⁾⁻¹⁶⁾。液相には砒酸イオン(AsO_4^{3-})または亜砒酸イオン(AsO_3^{3-})として溶出する。アルカリ性を示す石炭灰では溶出率が低くなる傾向がみられ、pH10 以上のカルシウム塩基性下では、砒酸カルシウムの溶解度が溶出濃度を決定する条件の一つになっている可能性が報告されている¹⁶⁾。

(2) セレン

砒素と同様に、石炭灰表面で存在が確認された例がある¹¹⁾。セレンの主な形態として、6 価、4 価、0 価、-2 価があることが知られている。石炭灰中における存在形態は良く分かっていないが、石炭灰から接触したばかりの水からは、主に 4 価セレンである亜セレン酸イオン(SeO_3^{2-})が検出される¹⁶⁾。砒素と異なり、セレンの溶出濃度を決定するようなセレン化合物は確認されておらず、石炭灰中のセレン含有量と溶出量に正の相関があることが報告されている¹⁷⁾。

(3) 六価クロム

石炭灰中のクロムは、XAFS(X 線吸収微細構造)分光法や溶解平衡試験結果から、主に 3 価クロムとして存在する可能性が報告されている¹³⁾。一方、溶出水中では主に 6 価の酸化物イオン(CrO_4^{2-})として存在し、3 価クロムイオン(Cr^{3+})の溶出濃度は非常に低い。また、石炭灰と水が接触することで生成する水和物の消長が 6 価クロムの溶出に影響を与えている可能性も指摘されている¹⁸⁾。

(4) ほう素

SIMS(二次イオン質量分析)による分析結果から、石炭灰表面部分に比較的高濃度で存在することが報告

されている¹⁹⁾。石炭灰から溶出するほう素は、ホウ酸イオン(B(OH)₄)の形態をとり、2成分モデルで溶出を表現できることが経験的に知られている²⁰⁾。この2成分モデルでは、石炭灰中のほう素が比較的溶解性の高い形態で存在するほう素と、溶解性の低い形態で存在するほう素とで構成されると仮定し、それぞれの含有量と溶出速度から溶出量を求める。また、pHが高く、カルシウム溶出濃度の高い灰ではほう素が溶出しにくい傾向も観察されており、石炭灰中のカルシウムがほう素の溶出性に影響を与えている可能性も指摘されている¹⁷⁾。

(5) ふっ素

ふっ素は揮発温度が低いため、電気集じん装置の操作温度が高い条件下では石炭灰には濃集せず、より後段で除去される²¹⁾が、操作温度が低ければ石炭灰への移行量が多くなることが予想される。坪内らは亜瀝青微粉炭燃焼灰を対象に分析を行った結果、ふっ素の大部分は石炭灰中の未燃炭素と結合した状態で存在していると推定している²²⁾。また、石炭灰から溶出するふっ素は大部分がフッ化物イオン(F⁻)として存在し、高pH領域下では溶出率が低下することが報告されている^{23), 24)}。

1.8 石炭灰混合材料の溶出特性

石炭灰混合材料の溶出試験結果例を参考表 6 に示す。

参考表 6 石炭灰混合材料の溶出試験結果例²⁵⁾

	No.12	No.13	No.16	No.17	No.29	土壤環境基準
カドミウム	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	≦0.01
シアン化合物	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	検出されないこと
鉛	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	≦0.01
六価クロム	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	0.005	≦0.05
砒素	0.007	0.006	0.005	0.006	0.004	≦0.01
総水銀	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	≦0.0005
セレン	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	≦0.01
ふっ素	0.26	0.34	0.49	0.42	<0.17	≦0.8
ほう素	0.26	0.13	0.12	0.21	0.22	≦1

環告 46 号試験 単位は全て mg/L

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁: エネルギー白書 2016(2016)
- 2) 一般財団法人石炭エネルギーセンター: 石炭灰全国実態調査報告書 (平成 26 年度実績) , 2016.
- 3) 電気事業連合会: 電事連会長定例会見要旨 (2016 年 5 月 20 日) 資料 3, 2016,
http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/kaiken/_icsFiles/afieldfile/2016/05/23/kaiken_20160520_1.pdf,
(正誤表) http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/sonota/_icsFiles/
- 4) 日本フライアッシュ協会: 石炭灰ハンドブック (第 6 版) , VI-18, 2015.
- 5) 中国電力株式会社:閉鎖性海域における水環境改善技術実証試験結果報告書, 2011.
- 6) 平成 16 年 11 月 22 日 経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課長, 資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課長通達
- 7) 平成 25 年 5 月 21 日 経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課長, 資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課長通達
- 8) 竹田栄蔵, 本邦における石炭中の微量成分に関する研究, 地質調査所月報, Vol.32, No.11, 583-682, 1981.
- 9) 横山隆壽, 石炭火力排ガス中の微量元素のマスバランスについて, 石炭灰有効利用シンポジウム, 2004.
- 10) 社团法人土木学会: 循環社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術, コンクリートライブラリー132, 2009.
- 11) Hansen, D. L. *et al.*: Elemental distribution in coal fly ash particles, Environmental Science & Technology, 14, 1111-1117, 1980.
- 12) 大木ほか: X 線光電子分光による石炭飛灰および廃棄物焼却灰の分析, 第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 875-877, 2002.
- 13) Huffman, G.P. *et al.*: Speciation of arsenic and chromium in coal and combustion ash by XAFS spectroscopy, Fuel Processing Technology, 39, 47-62, 1994.
- 14) Zielinski, R.A. *et al.*: Mode of Occurrence of Arsenic in Feed Coal and its Derivative Fly Ash, Black Warrior Basin, Alabama, 2001 Int. Ash Utilization Symposium, 2001.
- 15) Bool, E. L. III *et al.*: A Laboratory Study of the Partitioning of Trace Elements during Pulverized Coal Combustion, Energy & Fuels, 9, 880-887, 1995.
- 16) 井野場ほか: 石炭灰中の砒素・セレンに関する溶出特性の検討, 電力中央研究所報告, U03064, 2003.
- 17) Iwashita, A. *et al.*: Leaching characteristics of boron and selenium for various coal fly ashes, Fuel, 84, 479-485, 2004.
- 18) 安池ほか: 高アルカリ性石炭灰の中和処理方策の開発ー実埋立を想定した長期カラム試験ー, 電力中央研究所報告, U03026, 2003.
- 19) 田野崎ら: 石炭灰フライアッシュのキャラクタリゼーション(2), 第 39 回地盤工学会研究発表会発表講演集, 655-656, 2004.
- 20) 下垣ほか: 石炭灰陸上埋立に伴う環境影響予測手法ー微量物質の溶出・移行挙動の予測ー, 電力中央研

究所報告, U92015, 1992.

- 21) Alvarez-Ayuso, E. et al: Environmental impact of a coal combustion-desulphurisation plant: Abatement capacity of desulphurisation process and environmental characterization of combustion by-products, Chemosphere, 65, 2009-2017, 2006.
- 22) 坪内ら：微粉炭燃焼時に生成したフライアッシュ中のふっ素と炭素の化学形態, 石炭科学会議発表論文集, 42, 59-60, 2005.
- 23) 坪内ら：フライアッシュ中のほう素とふっ素の溶出挙動, 石炭科学会議発表論文集, 43, 33-34, 2006.
- 24) Piekos, R. *et al*: Leaching characteristics of fluoride from coal fly ash, Fluoride, 31, 188-192, 1998.
- 25) 石炭灰を有効利用した埋立て材料 頑丈土破砕材, 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書, 第 06003 号, 財団法人沿岸海洋技術研究センター, 2006.

2. 石炭灰混合材料に関する問合せ先

本ガイドラインに記載されている製品の連絡先

	製品名	取扱い会社	電話番号
破砕材	頑丈土破砕材	沖縄電力株式会社 沖縄プラント工業株式会社	098-877-2341 098-874-5386
破砕材	J-アッシュ	常磐共同火力株式会社 勿来発電所 石炭灰処理グループ	0246-77-0291
破砕材	輝砂	東北発電工業株式会社 火力部 環境技術室	022-261-4344
破砕材	FRC	酒田 FRC 有限責任事業組合	0234-28-8860
破砕材	FRC	能代 FRC 有限責任事業組合	0185-88-8845
造粒材	Hi ビーズ	中国電力株式会社 電源事業本部環境材料グループ	082-545-1543
造粒材	ゼットサンド	宇部興産株式会社 エネルギー・環境事業部技術開発室 石炭開発部	0836-31-6549
造粒材	灰テックビーズ	四国電力株式会社 土木建築部建設資源利用推進グループ	087-821-5061
造粒材	フライ・クリーン	越智建設株式会社	0144-55-6675
塑性材	アッシュクリート Type II	株式会社 安藤・間 技術本部技術研究所土木研究部	029-858-8813
塑性材	ソマッシュ	株式会社大林組 技術本部	03-5769-1062
スラリー材	F スラリー	北電興業株式会社 土木環境部 石炭灰技術営業グループ	011-261-1484
スラリー材	FC スラリー	九州電力株式会社 技術本部火力・技術グループ	092-726-1764

クリンカアッシュ

製品名	取扱い会社	電話番号
クリンカアッシュ	北電興業株式会社 土木環境部 石炭灰事業グループ	011-261-1484
クリンカアッシュ	東北発電工業株式会社 火力部 環境技術室	022-261-4344
クリンカアッシュ	常磐火力産業株式会社 環境技術課	0246-63-7130
クリンカアッシュ	東電パワーテクノロジー株式会社 火力事業部 環境設備グループ	0436-77-7154
クリンカアッシュ	株式会社ジェイペック 資源リサイクル部	03-5203-0367
クリンカアッシュ	株式会社テクノ中部 火力部 石炭灰チーム	052-614-7189
クリンカアッシュ	日本海環境サービス株式会社	076-444-6800
クリンカアッシュ	株式会社関電パワーテック 環境事業無 環境営業グループ	06-4705-8635
ライトサンド (クリンカアッシュ)	中国電力株式会社電源事業本部 土木材料グループ	082-544-2931
クリンカアッシュ	四電ビジネス株式会社 環境事業部	087-851-1828
クリンカアッシュ	九電産業株式会社 資源リサイクル部	092-761-4463
クリンカアッシュ	沖縄プラント工業株式会社 火力部 火力管理グループ	098-874-5386

3. 関連法律の概要

①公有水面埋立法

1935年に制定された日本の河川、沿岸海域、湖沼等の公共水域の埋立、干拓に関する法律。

公共水面とは広義には、国や都道府県等の公共団体が所有する水域を言うが、一般的には「国が所有する河、海、湖、沼その他の公共の用に供する水流又は水面」を言う。このため、私有地および、公有地でも溝渠やため池の用途変更等に伴うものは対象外であると共に、護岸工事や築堤は土地造成が目的でないため対象外となっている。また、1973年の改正によって、公有水面の埋立の規制を図るため、「埋立を行う者は都道府県知事の免許を受けなければならない」等の規定が追加され、工業団地の造成、空港の整備、干拓等公有水面を埋め立てることによる沿岸海域の生態系維持能力や、浄化作用の消失による公害・環境汚染、漁業被害に歯止めが設けられた。また、主務大臣は国土交通大臣であるが、面積50ha以上または環境影響評価法対象の40ha以上の埋立に関しては、環境大臣の意見を聴取することになっている。

なお、近年は内陸部において廃棄物等の処理場の整備が困難なため、広域的な廃棄物埋立処分場の立地を公有水面に求めることが多くなっている。

②港湾法

1950年に制定された港湾組織等を定める法律。

一般には、港湾とは船舶の係留施設とその周辺水域（港）をいうが、狭義には「港湾法」の対象とする港をいう。なお、「漁港」は、「漁港法」の対象とする港で「港湾」とは区別される。港湾法では、港湾の重要度に応じて定義を行っており、国際海上輸送網又は国内海上輸送網の拠点となる港湾その他の国の利害に重大な関係を有する港湾で政令で定めるものを「重要港湾」、重要港湾のうち国際海上輸送網の拠点として特に重要な港湾で政令で定めるものを「特定重要港湾」、重要港湾以外の港湾を「地方港湾」と定めている。なお、暴風雨に際し小型船舶が避難のために泊することを主たる目的とし、通常貨物の積卸又は旅客の乗降の用に供せられない港湾で、政令で定めるものを「避難港」という。重要港湾では、港湾の整備等に関して「港湾計画」を定めることになっている。日本では、公有水面を埋め立てて大規模な工業団地を造成することが多いが、これらのほとんどは港湾計画に基いて行われる。この意味で、港湾計画は単に港を整備する計画ではなく、港を中心とした沿海部開発計画と呼ぶべきものである。また、近年は内陸部において廃棄物等の処理場の整備が困難で、海面にそれらの埋立処分地を求めざるを得ないため、広域的な廃棄物埋立処分場を港湾計画に基く港湾施設として整備することが多くなっている。

③海岸法

1956年に津波、高潮、波浪その他海水又は地盤の変動による被害から海岸を防護することを目的

に制定された法律。1999 年 5 月には、総合的な海岸管理制度を目指し、(1)海岸環境の整備と保全、(2)公衆の海岸の適正な利用、が追加され、防護、環境、利用の調和のとれた総合的な海岸管理制度となった。本法に基づいて都道府県知事が指定した海岸保全区域においては、環境の保全、適正な利用の観点から、海岸への大型四輪駆動車の乗り入れや、一定の行事に伴う構造物の設置が制限または禁止されている。

④廃棄物の処理及び清掃に関する法律

1970 年に制定されたもので「廃棄物処理法」または「廃掃法」と略称される場合もある。

廃棄物の排出抑制と適正な処理、生活環境の清潔保持により、生活環境の保全と公衆衛生の向上を図ることを目的に、従来の「清掃法」(1954)を全面的に改めて制定された。同法では、廃棄物の定義や処理責任の所在、処理方法・処理施設・処理業の基準等が定めており、廃棄物を「自ら利用したり他人に売ったりできないため不要になったもので、固形状または液状のもの」と定義すると共に、廃棄物の発生要因、発生箇所等から産業廃棄物と一般廃棄物とに分類している。また、廃棄物の処理については、産業廃棄物は排出事業者が処理責任をもち、事業者自らか、または排出事業者の委託を受けた許可業者が処理することを義務化すると共に、一般廃棄物については当該に市町村が処理の責任を持つことを示しており、廃棄物行政における国、都道府県、市町村、事業者および国民の責任を明確化することで、衛生処理および生活環境の保全の観点で、廃棄物の発生抑制、リサイクルの推進および適正な処理を推進することを目的としている。

⑤海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律

1970 年に制定された法律で「海防法」と略称される。

同法では船舶、海洋施設及び航空機から海洋に油、有害液体物質等及び廃棄物を排出し、船舶及び海洋施設において油、有害液体物質等及び廃棄物を焼却することを規制している。さらに海洋の汚染及び海上災害の防止に関する国際約束の適確な実施を確保し、海洋環境の保全並びに人の生命及び身体並びに財産の保護に努めることとしている。また、1972 年の廃棄物その他の物の海洋投棄による海洋汚染の防止に関する 1996 年の議定書(96 年議定書)を締結するため、2004 年に改正が行われた。主な改正点は、(1)廃棄物の船舶からの海洋投入処分を許可制とすること、(2)廃棄物の海域における焼却の禁止等、である。

⑥資源の有効な利用の促進に関する法律

「再生資源利用促進法」(1991 年制定)を抜本的に改正し、2000 年に制定されたものであり、「リサイクル法」、あるいは「資源有効利用促進法」と略称される場合もある。

循環型社会形成の観点から、資源の有効利用の促進を目的にリサイクルの強化や廃棄物の発生抑制、再使用を定めた法律。同法は、リサイクルしやすい設計を行うべき製品、使用済み製品を回収・

リサイクルすべき製品、生産工程から出る廃棄物を減らしたりリサイクルすべき業種、リサイクル材料を使用したり部品等を再使用するべき業種など 7 項目について、10 業種 69 品目（2009 年現在）を具体的に指定している。資源の有効利用の視点から「循環型社会形成推進基本法」で示された「3R（リデュース・リユース・リサイクル）」という廃棄物処理の優先順位の考えをもとに、製造・設計段階における 3R 対策、分別回収の識別表示、事業者による自主回収・リサイクルシステムの構築を規定している。

⑦環境基本法

従来の「公害対策基本法」または「自然環境保全法」に対して、地球環境保全という新しい視点を盛り込んで 1993 年に新しく制定された法律。

(1)環境の恵沢の享受と継承等、(2)環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築等、(3)国際的協調による地球環境保全の積極的推進を基本理念に 46 条からなる基本法。同法では、国内で対策を講じるだけでなく、国際的な連携の下に他国との協力を推進する必要があるとの観点から、国、地方公共団体、事業者、国民の責務を明らかにし、環境保全に関する施策（環境基本計画、環境基準、公害防止計画、経済的措置等）を順次規定している。また、同法の制定に伴い[公害対策基本法]は廃止され、「自然環境保全法」も改正された。

なお、同法において 6 月 5 日を環境の日とすることも定められている。

⑧環境影響評価法

1997 年に制定された、開発事業に対して行われる環境アセスメントの手続を定めた法律。一般に「アセス法」、「環境アセスメント法」或いは「環境アセス法」と略称される。

土地の形状の変更、工作物の新設等の事業を行う事業者が、その事業の実施にあたり予め環境影響評価を行うことが環境保全上重要であることから、環境影響評価について国等の責務を明確にすると共に、環境影響の程度が大きな場合は適切な措置を講じて、環境保全を確保することを目的とした法律。本法における環境影響評価とは、事業の実施が環境に及ぼす影響について環境の構成要素に係る項目ごとに調査、予測・評価を行い、その事業の環境保全の措置を検討し、環境影響を総合的に評価すること定義されている。また、環境アセスメントを実施する対象事業としては、道路、河川、鉄道、飛行場、発電所、廃棄物最終処分場、埋立て・干拓、土地区画整理事業、新住宅市街地開発事業、工業団地造成事業、新都市基盤整備事業、流通業務団地造成事業および宅地の造成事業の 13 事業が定められており、それぞれ事業規模の大きさによって第一種事業と第二種事業を定めている。

⑨国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律

2001 年 4 月に施行された法律で「グリーン購入法」と略称されている。

グリーン購入とは、商品やサービスを購入する際に必要性をよく考え、価格や品質だけでなく、環

境への負荷がすくないものを優先的に選定する行為をさす。たとえば、再生紙のノートや低公害車等の調達を推進すると共に、環境物品等に関する適切な情報提供を供給することで持続可能な循環型社会の構築を実現することを目的としている。国の事業ではグリーン購入が最優先であり、地方公共団体は国に準ずるもの、民間は努力規定となっている。国等が重点的に調達を行う環境物品に関しては、特定調達品目に定められている。なお、特定調達品目とは、グリーン購入法で定められている国等の各機関が重点的に調達を推進する環境物品等の種類であり、特定調達品目およびその判断基準等については、毎年見直しが行われている。

⑩建設工事に関わる資材の再資源化等に関する法律

2000年4月に制定されたもので「建設リサイクル法」と略称されている。

一定規模以上の建設工事を行うにあたり、資源の有効利用や廃棄物の適正処理を推進するため、建設廃棄物（建設工事で出る廃棄物）の分別・リサイクル等を行うことで、建設廃棄物の排出量の抑制、減量、再生利用を推進することを目的とした法律。

同法では、一定規模以上の建築物の解体・新築工事を請け負う事業者には、対象となる建設資材（土木建築工事に使われる資材）の分別・リサイクルを義務付けた。特に、コンクリート、アスファルトおよび木材の3品目については特定建設資材と規定し、リサイクルを義務化している。また、工事の発注者や施工者には、工事の時期や工程、建設資材の種類や量等を事前に都道府県知事に届け出ることが義務付けられた。

⑪循環型社会形成推進基本法

循環型社会の形成を総合的・計画的に推進することを目的に2000年に制定された法律。

同法は資源消費や環境負荷の少ない「循環型社会」の構築を促すことを目的として、国、都道府県、市町村、事業者および国民の役割分担を明確にすると共に、循環型社会形成推進基本計画の策定、排出者責任並びに拡大生産者責任等施策の基本となる事項を定めている。また、同法では(1)循環型社会の定義の明確化、(2)「循環資源」の定義（廃棄物や生産活動で排出される不要物などのうち、売れるか売れないかに関わらず、再び利用できるもの）と再使用やリサイクル推進、(3)廃棄物処理やリサイクル推進における「排出者責任」と「拡大生産者責任」の明確化、(4)廃棄物処理やリサイクルの優先順位（発生抑制→再使用→再生利用→熱回収（サーマルリサイクル）適正処分）の規定、等を示している。

⑫土壌汚染対策法

2002年5月の制定された法律で「土対法」と略称されている。

土壌汚染の状況の把握に関する措置及びその汚染による人の健康被害の防止に関する措置を定めること等により、土壌汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護することを目的としたものである。

り、現行法では(1)法が定める有害物質使用特定施設を廃止するとき、および(2)土壤汚染により健康被害が生じる恐れがあると都道府県知事が認めるときに、土壤汚染調査の実施を義務付けしていたが、2009年の改正により、(3)3,000m²以上の土地の形質変更の届出時において、都道府県知事がその土地に汚染の恐れがあると見なしたとき、も土壤汚染調査の実施が義務付けられた。

調査によって基準に適合しない区域の土地は都道府県知事等により指定区域に指定・公示されるとともに、指定区域台帳に記帳して公衆に閲覧される。また、当該指定区域の土壤汚染により健康被害が生ずるおそれがあると認められる場合には、汚染原因者、汚染原因者が不明等の場合は土地所有者等に対し、汚染の除去等の措置が命令されると共に、当該指定区域においては土地の形質の変更が制限される。土壤汚染による健康被害に対するリスクは土壤・地下水の暴露経路をもとに、土ほこりを吸引する等の「直接摂取」と、地下水を飲用する「間接摂取」の観点から判断されている。すなわち、暴露があった場合は土壤環境基準以下に浄化されればリスクはない、あるいは許容されると判断され、暴露がある場合であっても、汚染されている土壤に触れる事がない場合や、地下水の飲用がない場合はリスクはない、あるいは許容されると判断される。

なお、土壤汚染対策法では土壤環境基準に示される 25 物質が特定有害物質として示されている。

石炭灰混合材料利用時に関連する法律一覧（1／2）							
名称		①公有水面埋立法	②港湾法	③海岸法	④廃棄物の処理及び清掃に関する法律	⑤海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律	⑥資源の有効な利用の促進に関する法律
通称・略称		埋立法			廃棄物処理法	海洋汚染防止法、海防法	リサイクル法、資源有効利用推進法
法令番号		大正 10 年法律第 57 号	昭和 25 年法律第 218 号	昭和 31 年法律第 101 号	昭和 45 年法律第 137 号	昭和 45 年法律第 136 号	平成 3 年法律第 48 号
種類			法律	法律	環境法	産業法	法律
主な内容		水面埋立と干拓について	港湾等について	海岸の保護等について	廃棄物の抑制と適正な処理、生活環境の清潔保持	海洋汚染や海上災害の防止等について	リサイクルについて等
最新改正		2014 年 6 月 4 日	2016 年 5 月 20 日	2014 年 6 月 13 日	2015 年 7 月 17 日	2014 年 6 月 18 日	2014 年 6 月 13 日
主務官庁		国土交通省	国土交通省	国土交通省	環境省	国土交通省	経済産業省、環境省
概要		対象は「公の水面を埋め立てて土地を造成する」行為とその実施者。私有地および護岸工事や築堤は土地造成が目的でないため対象外。 面積 50ha 以上または環境影響評価法対象の 40ha 以上の埋め立てに関して、環境大臣の意見を聴取する必要がある。	交通の発達および国土の適正な利用と均衡ある発展に資するために、港湾の秩序ある整備と適正な運営を図るとともに、航路を開発し、保全することを目的とした法律。港湾管理者である港務局等の設立、その業務・組織・財務等のほか、港湾計画、港湾区域内の工事等の許可、臨港地区の指定、港湾工事の費用、開発保全航路など、港湾の開発・利用および管理の方法などについて定めたもの。	制定時は津波、高潮、波浪等による被害から海岸を防護することを目的としたが、1999 年の改正により、「海岸環境の整備と保全」、「公衆の海岸の適性な利用」を追加。	廃棄物の排出抑制と適正な処理、生活環境の清潔保持により、生活環境の保全と公衆衛生の向上を図ることを目的に、従来の「清掃法」（1954）を全面的に改めて制定された法律。 廃棄物の定義や処理責任の所在、処理方法・処理施設・処理業の基準等が定められている。	船舶、海洋施設および航空機から海洋に油、有害液体物質等および廃棄物を排出し、船舶及び海洋施設において油、有害液体物質等及び廃棄物を焼却することを規制した法律。 廃棄物の船舶からの海洋投入処分の許可制、廃棄物の海域における焼却の禁止等も追加規定されている。	循環型社会形成の観点から、資源の有効利用の促進を目的にリサイクルの強化や廃棄物の発生抑制、再使用を定めた法律。 リサイクルしやすい設計を行うべき製品、使用済み製品を回収・リサイクルすべき製品、生産工程から出る廃棄物を減らしたりリサイクルすべき業種、リサイクル材料を使用したり部品等を再使用すべき業種などを具体的に指定している。
石炭灰混合材料を港湾工事に利用する場合の留意点		護岸整備および築堤を行う場合は対象外と考えられる。 港湾埋立材料として石炭灰混合材料を使用する場合は、事業者が都道府県知事に許可申請を行う際に、埋立材料として石炭灰混合材料を用いることを明示する必要がある。	基本的には港湾設備の機能を定義する法律であることから、使用材料に関する規定は対象外と考えられる。	海岸の防護、海岸環境の整備・保全が主たる目的の法律であるため、石炭灰混合材料を護岸構造物の背面に利用することで、護岸構造物（堤体等）の断面寸法を縮小しても同様の機能が得られること、液状化に対しても有効であることを確認する必要がある。	廃棄物の定義において、フライアッシュがばい塵、クリンカアッシュが燃え殻に該当することから、使用する石炭灰が適性に処理されていることを確認する必要がある。一般に石炭灰を利用する際には、「有償売却」、「自ら利用」のスキームを利用する方法と、石炭灰を再生加工して「新たな産業資材」として使用する方法が考えられる。	石炭灰混合材料を用いた施工時において、海洋の汚染がないことを、水質（濁度等）を監視することで確認する必要がある。供用時においては、石炭灰混合材料を利用した箇所からの有害物質の流出がないことを確認する必要がある。	電力事業に係る石炭灰が指定副産物に指定されていることから、石炭灰混合材料の利用が資源有効利用推進の上で有用なものであることを工事発注者、事業者認識してもらう必要がある。
利用時の 関連性	計画時	○	△	◎		◎	○
	設計時					○	◎
	施工時				○		
	供用時				△		
条文 H P		http://law.e-gov.go.jp/htmldata/T10/T10O057.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25HO218.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S31/S31HO101.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S45/S45HO137.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S45/S45HO136.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H03/H03HO048.html

石炭灰混合材料利用時に関連する法律一覧（2／2）						
名称	⑦環境基本法	⑧環境影響評価法	⑨国等による環境物品等の調達 の推進等に関する法律	⑩建設工事に係る資材の再資源 化等に関する法律	⑪循環型社会形成推進法	⑫土壤汚染対策法
通称・略称		アセス法、環境アセス法、環境ア セスメント法	グリーン購入法	建設リサイクル法		土対法
法令番号	平成 5 年法律第 91 号	平成 9 年法律第 81 号	平成 12 年法律第 100 号	平成 12 年法律第 104 号	平成 12 年法律第 110 号	平成 14 年法律第 53 号
種類	環境法	産業法	産業法	産業法	法律	行政法
主な内容	環境保全について	環境影響評価等	グリーン購入について	建設資材のリサイクルについて	循環型社会の構築等	土壤汚染の防止等
最新改正	2014 年 5 月 30 日	2014 年 6 月 4 日	2015 年 9 月 11 日	2014 年 6 月 4 日	2012 年 6 月 27 日	2014 年 6 月 4 日
主務官庁	環境省	環境省	環境省	国土交通省	環境省	環境省
概要	環境保全の基本理念を定め、国、 地方公共団体、事業者および国民の責務を明らかにすると共に、環境の保全に関する施策の基本事項を設定した環境保全に関する基本法。 「環境への負荷」、「地球環境保全」および「公害」を定義。	地の形状の変更、工作物の新設等の事業を行う事業者が、その事業の実施にあたり予め環境影響評価を行うことが環境保全上重要であることから、環境影響評価について国等の責務を明確にすると共に、環境影響の程度が大きな場合は適切な措置を講じて、環境保全を確保することを目的とした法律。	商品やサービスを購入する際に、価格や品質だけでなく、環境への負荷がすくないものを優先的に選定することの推進を目的にした法律。 国の事業ではグリーン購入が最優先であり、地方公共団体は国に準ずるもの、民間は努力規定となっている。国等が重点的に調達を行う環境物品に関しては、特定調達品目に定められている。	一定規模以上の建設工事を行うにあたり、資源の有効利用や廃棄物の適正処理を推進するため、建設廃棄物（建設工事で出る廃棄物）の分別・リサイクル等を行うことで、建設廃棄物の排出量の抑制、減量、再生利用を推進することを目的とした法律。	廃棄物・リサイクル問題の解決のため、「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の社会から脱却し、環境への負荷が少ない「循環型社会」形成を推進するための基本的な枠組みとなる法律。 「循環型社会の定義」、「資源循環の定義」、「排出者責任」と「拡大生産者責任」の明確化、「リサイクルの優先順位の規定」などを示している。	土壤汚染の状況の把握に関する措置及びその汚染による人の健康被害の防止に関する措置を定めること等により、土壤汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護することを目的とした法律。 2009 年の改正により、3,000m ² 以上の土地の形質変更の届出時において、都道府県知事はその土地に汚染の恐れがあると見なしたとき、も土壤汚染調査の実施が義務付けられた。
石炭灰混合材料利用における留意点	護岸構造物の裏埋め等に石炭灰混合材料を使用する際、港湾内への有害物資の流出がないこと、逆に石炭灰混合材料を利用することで土砂等の吸出し等がなくなり、周辺環境への負荷が軽減されることを確認する必要がある。	港湾工事そのものに体して環境影響評価を行う必要がある。この際に石炭灰混合材料を使用することで、新たな環境影響があると判断された場合は、事前に適切な環境保全対策措置を講じる必要がある。	石炭灰と同様に産業副産物であるスラグ類（高炉スラグ、銅スラグ、フェロニッケルスラグ等）は、コンクリート用骨材、盛土材、ケーソン中詰め砂等として特定調達品目に指定されている。港湾工事で利用する石炭灰混合材料も裏埋め材、盛土材として特定調達品目に指定されることが有効活用を促進させる上で必要。	浚渫土を含む建設発生土に石炭灰を混合して石炭灰混合材料を製造して有効利用することで、建設発生土の再資源化に寄与できることを示す必要がある。	石炭灰混合材料が循環資源（石炭灰）の再生利用に該当することを、工事関係者（事業者、排出責任者等）が認識することが重要。また、天然の土砂を使用せず、循環資源を用いることで、自然環境への負荷も軽減できることを周知させる必要がある。	石炭灰等が土木用・道路用資材等として用いられ、かつ、周辺土壤と区別されている場合は、土壤とみなされないため、本法の適用外となる。なお、本法では、土壤・地下水の暴露経路を基に、土ほこりを吸引する等の「直接摂取」と、地下水を飲用する「間接摂取」の観点から健康被害に対するリスクを判断しており、地下水の飲用がない港湾において石炭灰混合材料を利用する場合は、表面が暴露されなければリスクはない、あるいは許容されると考えられる。
利用時の関連性	計画時 設計時 施工時 供用時	◎ ○ △	◎ ○ ○ △	◎ ○	◎ ○ △	○ ◎ ◎ ○
条文	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H05/H05HO091.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H09/H09HO081.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12HO100.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/T10/T10O057.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12O110.html	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H14/H14HO053.html

