

石炭灰混合材料有効利用ガイドライン (統合改訂版)

平成 30 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 29 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。

「石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン(統合改訂版)」の発刊にあたって

日本では電力自由化により、新しく電力供給を行う新電力の会社が設立され、全国で様々な電力の供給が始まっています。東日本大震災以降、ベースロード電源に位置付けられた石炭火力発電所においても各地で建設計画が進められており、特に東北地区では、首都圏向けの電力供給のために今後 14 基もの石炭火力発電所が建設される予定です。このように火力発電に伴う二酸化炭素排出への対応も必要ですが、安定供給とコストの観点から石炭火力発電は引き続き重要な役割を担うことが予想され、発電に伴い発生する石炭灰はさらに増える続けることが予想されます。

このような背景の中、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）」、平成 28 年度には、発刊から 5 年を経過した「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」をその後発刊した 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、改訂版を発刊しました。いずれのガイドラインも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ます。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す。また、JCOAL は民間企業と共同出資し、福島県内で石炭灰混合材料製造プラントを開設・操業を始めました。今後、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、天然資材に代わる土工材料としての有効利用が大いに期待されるところです。

この度、JCOAL では、これまで発刊した 3 つの石炭灰混合材料の有効利用ガイドラインを統合し、1 冊のガイドラインとして取りまとめました。これまで 3 分冊に分かれていたものを 1 冊にまとめることにより、石炭灰混合材料を利用する様々な現場における計画・設計・施工・管理の各段階における実務的に必要な情報を分かり易く手にできるようにしております。特に、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 30 年 2 月

福岡大学工学部 教授 佐藤研一

(一般財団法人石炭エネルギーセンター 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン委員会 委員長)

一般財団法人石炭エネルギーセンター
平成 29 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 乾 徹 (京都大学大学院地球環境学堂社会基盤親和技術論分野 准教授)
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 技術企画部長)
委員 今木 圭 (電事連工務部 副部長)

※) 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)、石炭灰混合材料有
効利用ガイドライン(震災復興資材編)、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)の3つの石炭灰混合材料ガイドラインを統合改訂。

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)

※) 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)

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)

※1) 平成 23 年度 委員会

※2) 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

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 課長)
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

※) 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

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）委員会 委員構成

委員長 飛田 善雄（東北学院大学 工学部 環境建設工学科 教授）

委員

佐藤 研一（福岡大学 工学部 社会デザイン工学科 教授）

勝見 武（京都大学大学院 地球環境学堂 社会基盤親和技術論分野 教授）

遠藤 和人（独立行政法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員）

山本 武志（一般財団法人 電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員）

風間 基樹（東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 教授）

久田 真（東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 教授）

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）

※）平成 25 年度委員会

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）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

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
主任研究員）

肴倉 宏史（独立行政法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター
循環資源基盤技術研究室 主任研究員）

今西 肇（東北工業大学 工学部 都市マネジメント学科 教授）

仙頭 紀明（日本大学 工学部 土木工学科 准教授）

森 友宏（東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 助教）

龍原 毅（パシフィックコンサルタンツ株式会社 北海道支社 国土保全事業部
環境地盤室 環境地盤グループ 技術部長）

門間 聖子（応用地質株式会社 東北支社 ジオテクニカルセンター 副センター長）

水谷 崇亮（独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤研究領域 基礎工研究チーム
チームリーダー）

坂本 守（株式会社 安藤・間 土木事業本部 土木設計部 基礎技術グループ長）

三浦 俊彦（株式会社 大林組 技術本部 技術研究所 環境技術研究部 担当課長）

成田 建（東北電力株式会社 研究開発センター（電源・環境）主幹研究員）

長井 輝雄（東京電力株式会社 火力エンジニアリングセンター 石炭技術担当部長）

※) 平成 25 年度 WG

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（高規格道路盛土編）委員会 委員構成

委員長 勝見 武 （京都大学大学院地球環境学堂教授）

委員

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）

小峯 秀雄（早稲田大学理工学術院教授）

遠藤 和人（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主任研究員）

山本 武志（一般財団法人電力中央研究所地球工学研究所上席研究員）

横田 聖哉（株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部担当部長）

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）

※）平成 26 年度委員会

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（高規格道路盛土編）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

肴倉 宏史（国立研究開発法人国立環境研究所資源循環・廃棄物センター主任研究員）

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技術部長）

坂本 守（株式会社安藤・間技術研究所土木研究部主席研究員）

横田 聖哉（株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部担当部長）

成田 健（東北電力株式会社研究開発センター主幹研究員）

門間 聖子（応用地質株式会社地球環境事業部副事業部長）

角田 秀昭（（途中交代）中国電力株式会社電源事業本部土木材料担当専任課長）

中下 明文（中国電力株式会社電源事業本部土木材料グループマネージャー）

久保 正顕（清水建設株式会社東北支店土木技術部部長）

田島 孝敏（株式会社大林組技術本部技術研究所環境技術研究部課長）

井野場誠治（一般財団法人電力中央研究所環境化学領域上席研究員）

※）平成 26 年度 WG

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	対象とする石炭灰混合材料	7
1.6	石炭灰混合材料の利用イメージ	9
1.6.1	港湾工事での利用イメージ	9
1.6.2	道路盛土工事での利用イメージ	11
1.6.3	その他の工事での利用イメージ	14
1.7	ガイドラインの内容	15
1.8	用語の定義	17
1.9	関連法律	19
第2章	石炭灰混合材料の製造方法	22
2.1	石炭灰混合材料の基本的物性	22
2.2	土砂代替材	28
2.2.1	破碎材	28
2.2.2	造粒材	30
2.2.3	塑性材	32
2.3	スラリー材	34
2.4	クリンカアッシュならびにクリンカアッシュ混合物	35
2.5	新素材コンクリート	37
2.5.1	新素材コンクリート	37
第3章	建設事業への適用	40
3.1	はじめに	40
3.2	土木工事における適用箇所	46
3.2.1	護岸・岸壁	46
3.2.2	防波堤基礎	48
3.2.3	防潮堤	49
3.2.4	防災緑地（防潮林）	49
3.2.5	河川堤防	51

3.2.6	道路盛土・鉄道盛土	52
3.2.7	橋脚基礎	55
3.2.8	土地造成	55
3.2.9	地盤補強	57
3.2.10	海岸域のかさ上げ（海岸公園など）	58
3.2.11	軟弱地盤施工時の対応	59
3.3	設計	60
3.3.1	港湾・河川工事における設計方法	60
3.3.2	道路盛土（一般盛土部）における設計方法	61
3.3.3	道路盛土（軟弱地盤）における設計方法	67
3.3.4	鉄道盛土における設計方法	70
3.3.5	土地造成工事、地盤補強、海岸公園、海岸部嵩上げにおける設計方法	71
3.4	施工	72
3.4.1	港湾工事における施工方法	72
3.4.2	河川工事における施工方法	75
3.4.3	道路盛土・鉄道盛土における施工方法の例	77
3.4.4	橋梁基礎（橋脚、橋台）	79
3.4.5	土地造成における施工方法の例	80
3.5	土木二次製品の適用	81
3.5.1	適用イメージと適用時のメリット	81
3.5.2	設計方法	81
3.5.3	製造方法	81
3.5.4	施工方法の例	81
3.5.5	品質管理方法	82
3.6	施工事例	83
第4章	環境安全品質および検査方法	96
4.1	はじめに	96
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	96
4.2.1	基本的な考え方	96
4.2.2	最も配慮すべき暴露環境	98
4.2.3	環境安全品質基準と試験方法	98
4.3	環境安全品質基準	100
4.4	試験方法	102
4.4.1	環境安全形式検査における試験方法	104
4.4.2	環境安全受渡検査における試験方法	104

4.5	検査の運用方法	105
4.5.1	検査の実施者	105
4.5.2	検査の頻度	105
4.5.3	検査結果の判定基準	106
4.5.4	再検査	106
4.5.5	ロットの管理	106
4.5.6	検査の記録	106
4.5.7	検査記録の報告および保管	107
4.5.8	その他	107
参考資料		112
1.	石炭灰	112
1.1	原炭について	112
1.2	石炭燃焼プロセスと石炭火力発電所	113
1.3	石炭灰の発生量	114
1.4	石炭灰の種類	116
1.4.1	微粉炭燃焼により生成する石炭灰	116
1.4.2	流動床燃焼により生成する石炭灰	116
1.4.3	既成灰（エージング灰）	117
1.5	石炭灰の物理・化学的特性	117
1.6	石炭灰の利用状況	118
1.6.1	セメント・コンクリート分野	119
1.6.2	土木分野	122
1.6.3	建築分野	122
1.6.4	農林水産分野	122
1.6.5	その他	122
1.7	石炭灰の微量物質含有量と溶出特性	123
1.8	石炭灰混合材料の溶出特性	125
2.	石炭灰混合材料に関する問合せ先	128
3.	関連法律の概要	130

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900万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、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),3)}（港湾工事編）を平成23年3月（改訂版；平成29年2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）」⁴⁾（以下、「震災復興資材編ガイドライン」と記す）を平成26年3月に、更に、高規格道路盛土への活用促進を目的にした「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）」⁵⁾を平成27年3月に発刊した。本ガイドラインはこれら3編のガイドラインを統合することによって、工事事業者、設計者および施工者の方々にとってより活用しやすいものとする事で、石炭灰混合材料のリサイクル促進を目的としたものである。

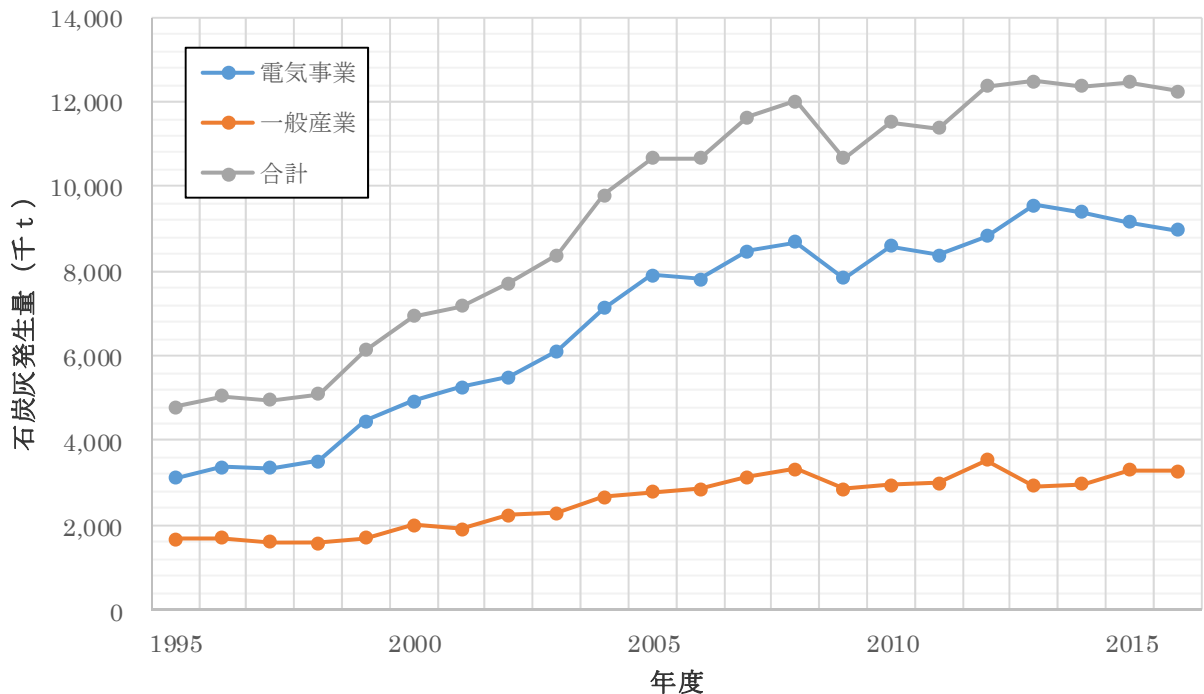


図-1.1 石炭灰の発生量の推移

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。

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⁶⁾⁻⁹⁾。また、石炭灰を原料として建設資材を製造する設備の建設も進められている^{10),11)}。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。この理由の一つとして、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、第4章に詳述するように、石炭灰からの溶出等に対して環境安全品質を確保することが必要になる。

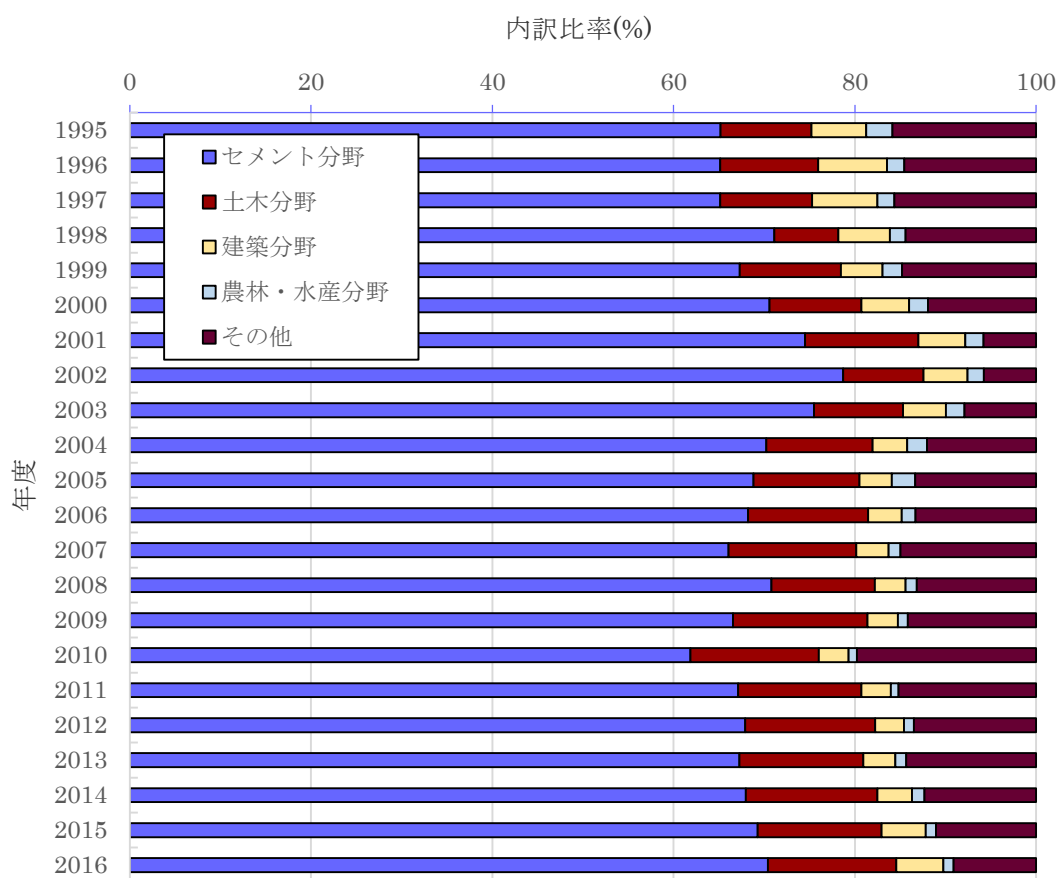


図-1.2 石炭灰の有効利用内訳

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およびこれを原材料とした石炭灰混合材料を建設資材として利活用することは、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広く利活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、側圧を低減することが可能。 - 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、本ガイドラインでは改訂版港湾工事編と同様に、既に多くの工事で実績を有する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、各種工事への適用方法、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。

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。本ガイドラインは、以上のような観点に基づいて作成したものであることから、石炭灰混合材料が利用される環境や管理状況が計画・設計時点の通りとなっていることが適用の前提として求められる。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 4.4 に詳述する手法に従い、適合性を検証する必要がある。

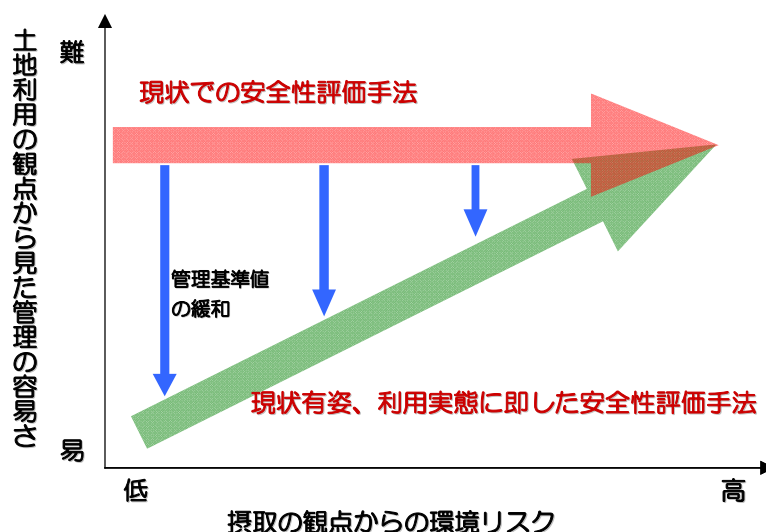


図-1.3 石炭灰混合材料の適用箇所と環境安全性評価方法

また、環境安全性に関しては、施工後はほぼ永久的に利用され再利用が想定されない場合と、仮設盛土のように利用後に撤去され、別の用途での利用が想定される場合とで、それぞれ「最も配慮すべき暴

露環境」を選定し、環境安全品質基準および試験方法を規定することとした。詳細については第4章に述べるが、**図-1.4** に示すように、用途に応じて「最も配慮すべき暴露環境」を判断して**表-1.2** に示す項目の試験を実施することとした。

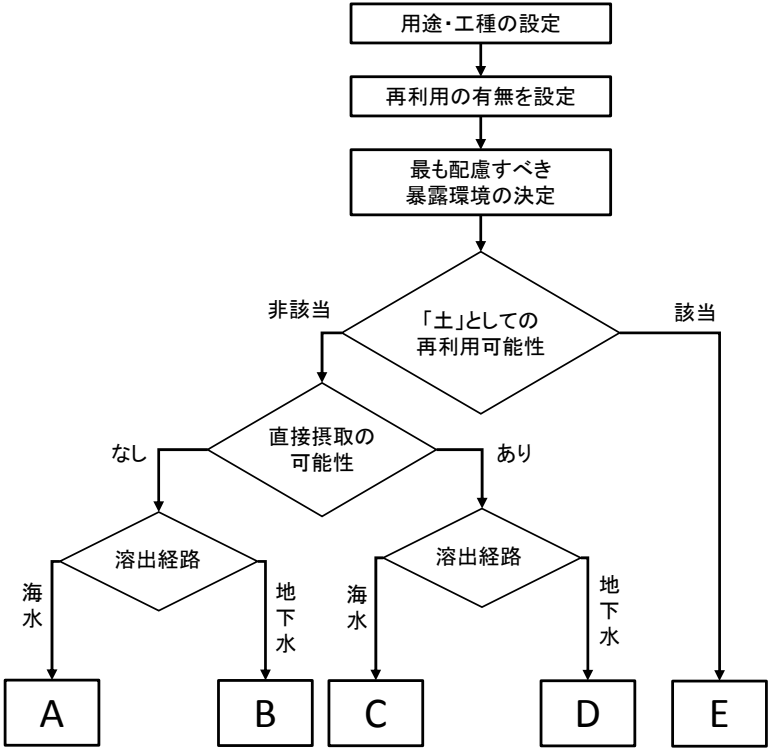


図-1.4 石炭灰混合材料の「最も配慮すべき暴露環境」の判断フローチャート

表-1.2 石炭灰混合材料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
記号	「土」としての 利用	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 環境省告示 第 18 号	一般用途溶出量基準
				含有量試験	H15 環境省告示 第 18 号	含有量基準

図-1.5 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ついては第2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）¹²⁾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¹³⁾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。

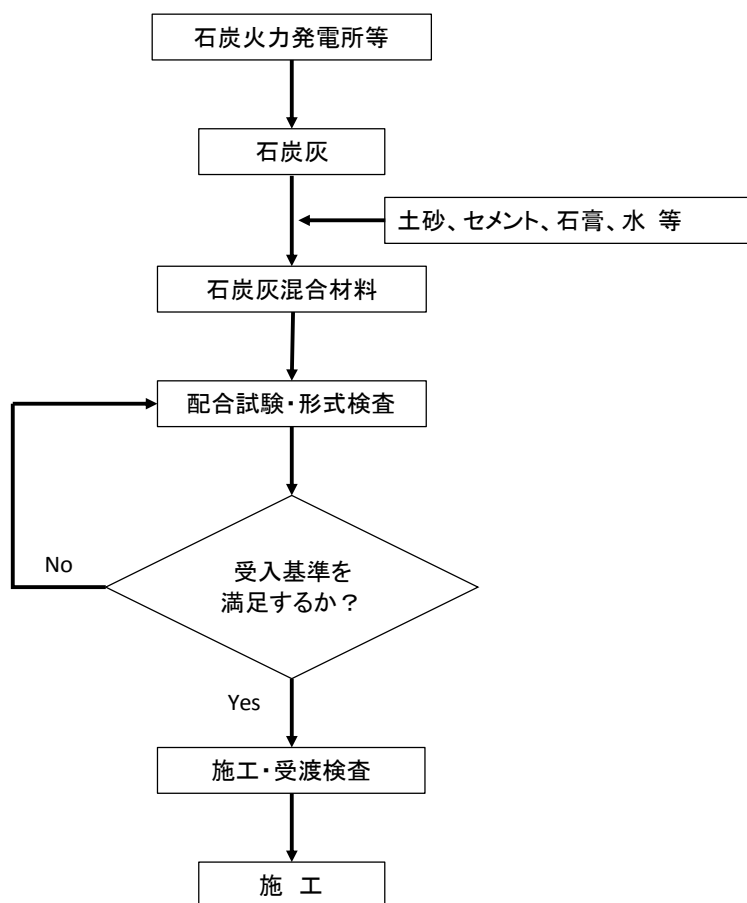


図-1.5 石炭灰混合材料の基本的な製造フロー

1.5 対象とする石炭灰混合材料

石炭灰を用いた石炭灰混合材料には多くのものがあり、本ガイドラインでは表-1.3 および図-1.6 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¹⁴⁾ ことから、本ガイドラインの対象とした。

表-1.3 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※)
破砕材	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・破砕した土砂代替品		頑丈土破砕材 J-アッシュ FRC 砕石 アッシュクリート TypeS フライクリーン OR クリート 等
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 灰テックビーズ 等
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 等
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		F スラリー 浚渫土・セメント 系改良土 等
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 等
新素材コンクリート	石炭灰にセメント、スラグ骨材および海水を混合することで、密度の大きくしたもの		ネオ・アッシュクリート

※) 一部一般名称も含む

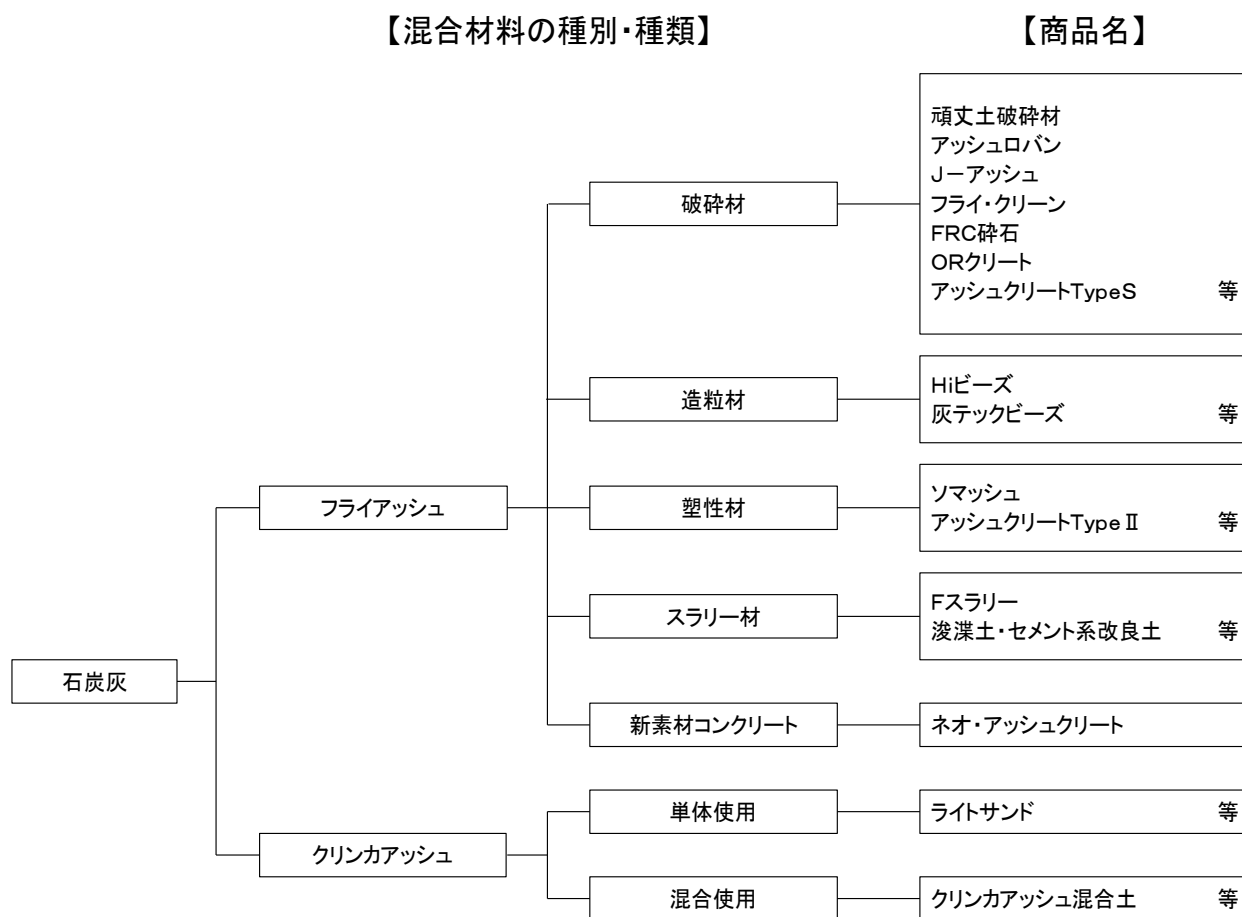


図-1.6 本ガイドラインが対象とする石炭灰混合材料

1.6 石炭灰混合材料の利用イメージ

1.6.1 港湾工事での利用イメージ

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-1.4 に示す性質が求められる。

図-1.7 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-1.8 にそれぞれの箇所での具体的なイメージを、表-1.5 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箇所と他の地盤材料で施工した箇所とが混じらないように区分する必要がある。

表-1.4 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

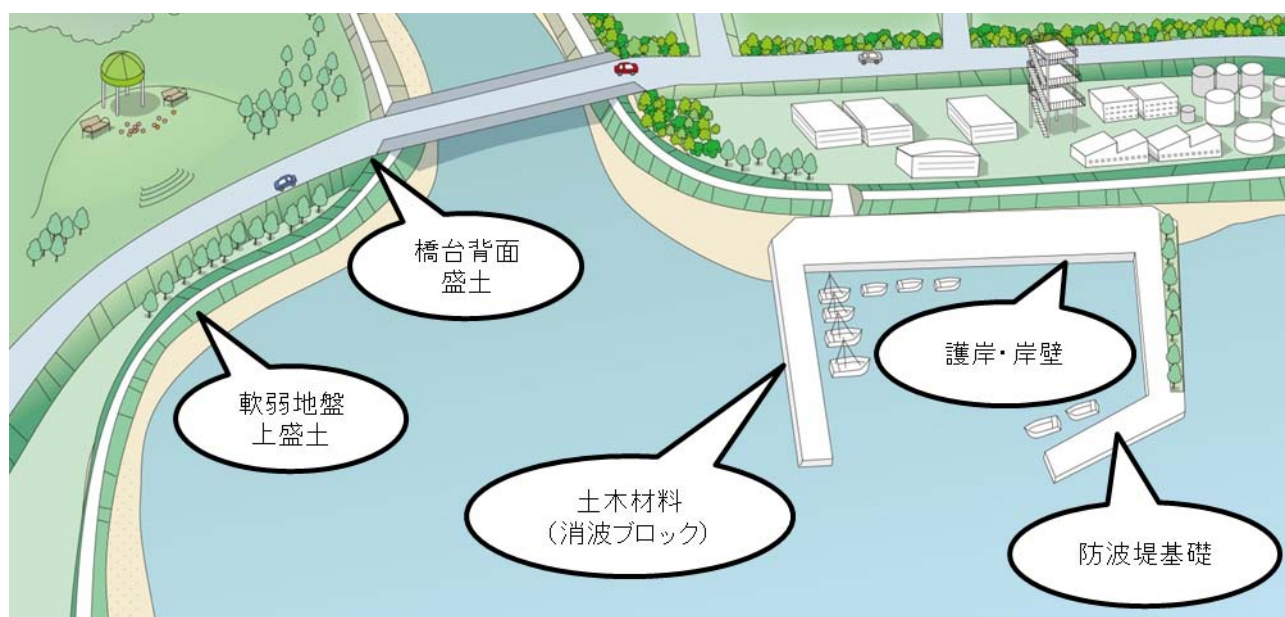
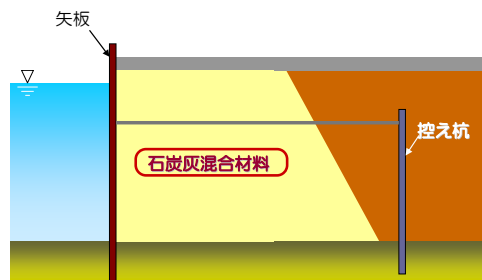


図-1.7 港湾工事において石炭灰混合材料の適用が期待される箇所



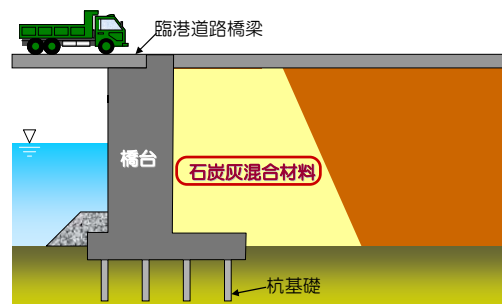
(1) 重力式岸壁（護岸）の裏込め・埋立材料への適用



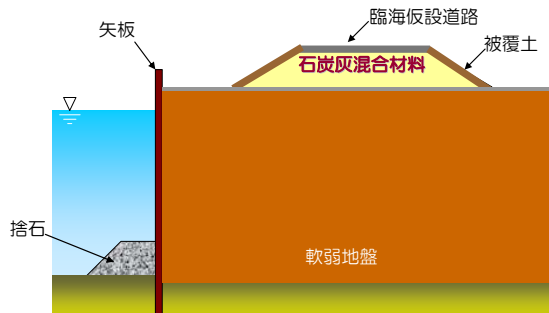
(2) 矢板式岸壁（護岸）の裏込め・埋立材料への適用



(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-1.8 港湾工事における石炭灰混合材料の利用イメージ

表-1.5 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）の機能向上目的での適用	- 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) 軟弱地盤上の盛土への適用	- 沈下抑制 - 地盤改良、押え盛土の低減又は省略 - 滑り破壊の防止

1.6.2 道路盛土工事での利用イメージ

道路盛土に利用する場合の利点を表-1.5に示す。これらの表に示されるように、石炭灰の化学的および物理的特性を生かすことで、石炭灰混合材料は道路盛土用資材として有効な建設資材となり、その利用が拡大されることが望まれる。表-1.6に道路盛土への石炭灰混合材料の適用性を、表-1.7に軟弱地盤における道路盛土施工時の石炭灰混合材料の適用性を、それぞれ示す。

表-1.5 石炭灰混合材料を道路盛土に利用する場合の利点

項目	特徴
a. 強度特性	・ 通常の土質材料と同等の設計が可能（各材料の定数は第2章参照）
b. 軽量性	・ 盛土荷重低減 ・ 土圧低減 ・ 運搬等施工性向上
c. 良好な透水性	・ SCP、SD等砂代替材として適用可能 ・ 排水性に優れた裏込め材として適用可能
d. 施工性の向上	・ 高流動性（エアモルタルの場合）。充填材等として適用可能 ・ 軽量による施工効率向上
e. その他、環境対策など	・ 低含水率（Fドライ等）で吸水によるトラフィカビリティ改善 ・ 吸水による泥岩等のスレーキング低減 ・ 水質改善（水中 Hi ビーズ） ・ 粉塵低減

表-1.6 道路盛土への石炭灰混合材料の適用性



: 石炭灰混合材料適用箇所

分類	概略図	石炭灰混合材料の適用性
(1) 標準構造		・ 破砕材・造粒材、クリンカアッシュは、土砂の代わりとして利用可能。
(2) のり面被覆 ・ 拡幅盛土	① 厚さ 30～50cm 程度の土羽 ① 拡幅構造 ② ダンプ走行が困難な単粒砂を盛土する場合等で、工事用道路を兼ねた構造	・ まさ土、山砂、しらす等のり面浸食を受けやすい材料の被覆として石炭灰混合材料の適用が可能。 ・ 盛土拡幅の際にも適用可能。
(3) 互層構造		・ トラフィカビリティ確保のための材料、もしくはのり面表層部の排水材として透水性の良い材料（クリンカアッシュや造粒材など）を適用可能。
(4) 地下水処理 構造		・ 石炭灰混合材料のうち透水性の良い材料を適用可能である。
(5) 擁壁構造 (腰積構造)		・ 擁壁への荷重低減として軽量材を適用可能。 ・ 流動性材料（スラリー材）であれば、裏込め充填の施工性にも優れる。
(6) 凍上対策		・ 凍上抑制層の材料品質を満足する材料を適用する。 ・ フライ・クリーンは、凍上抑制材に適した材料として商品化されている。

参考

設計要領第一集 土工編¹⁵⁾、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、平成 22 年 7 月、第 2 章 盛土「1-2 盛土の構造」

表-1.7 軟弱地盤における道路盛土施工時の石炭灰混合材料の適用性



：石炭灰混合材料適用箇所

分類	概略図	石炭灰混合材料の適用性
(1) 沈下抑制対策	軽量材による荷重低減	荷重低減として軽量材（破砕材・造粒材やクリンカアッシュ等）を適用可能。
(2) 周辺地盤変位の抑制	軽量材による荷重低減	荷重低減として軽量材（破砕材・造粒材やクリンカアッシュ等）を適用可能。
(3) 沈下促進対策		サンドマットおよびサンドドレーンとして透水性の良い材料（フライアッシュ造粒材やクリンカアッシュ等）を適用可能
(4) 表層改良		軟弱地盤の表層改良として透水性の良い材料（造粒材やクリンカアッシュ等）を適用可能
(5) 基礎地盤のすべり防止	軽量材による荷重低減	- 荷重低減として軽量材（フライアッシュ破砕材・造粒材やクリンカアッシュ等）を適用可能。 - 内部摩擦角が大きい材料を適用することによってもすべり抑制効果が期待できる。
(6) 液状化対策		Hi ビーズは、SCP 用材料として商品化されている。

参考

設計要領 第一集 土工編¹⁵⁾、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、平成 22 年 7 月、5 章 軟弱地盤上の盛土

1.6.3 その他の工事での利用イメージ

石炭灰混合材料は前述の港湾工事および高規格盛土工事以外の分野でも、その優位性を生かすことで広い利活用が期待できる。図-1.9 に石炭灰混合材料の利活用が期待される工事箇所を示す。同図は震災復興資材編ガイドラインで提案したものであるが、1.4 で示した図-1.4 および表-1.2 に従い環境安全性を考慮することで、震災被災地に限らずに一般的な建設資材としての活用が拡大されることが望まれる。

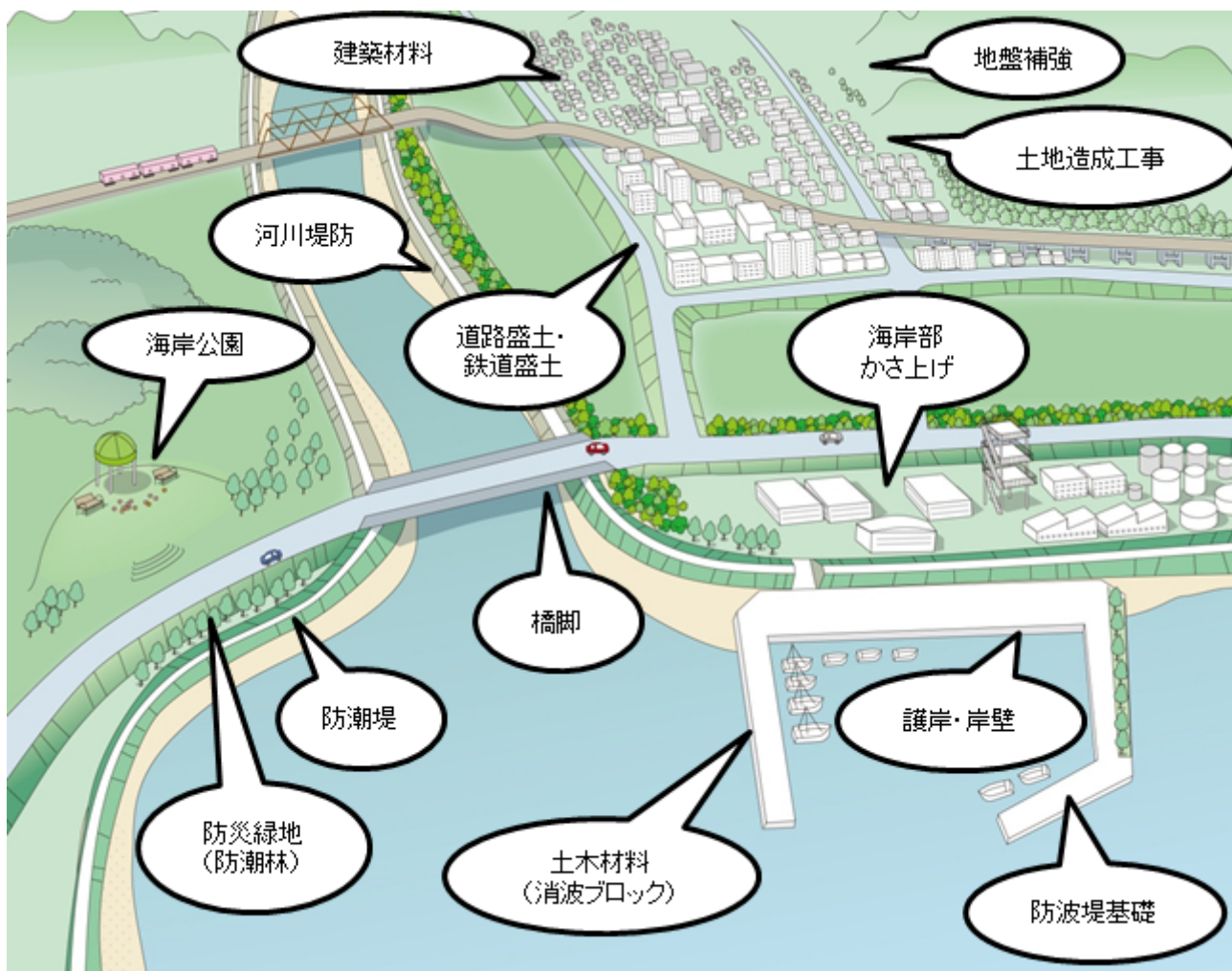


図-1.9 石炭灰混合材料の適用が期待される箇所

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、石炭灰混合材料を主として土木工事に適用した場合の有用性を示す。

第2章では本ガイドラインで対象とする石炭灰混合材料土木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3章では、**第2章**で示した石炭灰混合材料を実際の土木工事に活用する際の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工事用途に合わせて利用できるか、また、利用した場合の構造上および施工上のメリットを示す。

第4章では、石炭灰混合材料を土木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検討された「循環資材の環境安全品質および検査方法に関する基本的な考え方」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「最も配慮すべき暴露環境」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土木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-1.8 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	対象とする石炭灰混合材料
1.6	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	石炭灰混合材料の製造方法
2.1	石炭灰混合材料の基本的物性
2.2	土砂代替材
2.3	スラリー材
2.4	クリンカアッシュならびにクリンカアッシュ混合物
2.5	新素材コンクリート
第3章	建設事業への適用
3.1	はじめに
3.2	土木工事における適用箇所
3.3	設計
3.4	施工
3.5	土木二次製品の適用
3.6	施工事例
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

1.8 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、既成灰に相対する用語。
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。
破碎材	：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・破碎した土砂代替材。
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。
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。
高規格幹線道路	：一般的に、自動車が高速で走れる構造で造られた自動車専用道路であり、高速自動車国道および一般国道の自動車専用道路。
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、土木用資材として活用するには関連法規・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使用する際に関係する法律としては**表-1.9**に示すものが考えられる。

表-1.9 産業廃棄物活用に係わる法律一覧

法律名称	制定日
①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
②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
③環境基本法	1993年11月19日法律第91号
④環境影響評価法	1997年6月13日法律第81号
⑤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
⑥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
⑦循環型社会形成推進基本法	2000年6月2日法律第110号
⑧土壤汚染対策法(土対法)	2002年5月29日法律第53号

表-1.9に示す法律は、リサイクル材の有効活用に関するもの、廃棄物の適正処理に関するもの、および有害物質の拡散防止等の環境保全に関するものに大別される。即ち、石炭灰混合材料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、周辺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。

(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を確認。
- ・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。
- ・但し、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廃掃法の規制を受ける。

また、港湾工事に活用する場合は、港湾領域の環境保全の観点から**表-1.10**に示す法律についても十分確認し、石炭灰混合材料が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。

表-1.10 港湾工事でのリサイクル材利用に係る法律一覧

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
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

一方、高規格道路の盛土材として石炭灰混合材料を利用する場合の設計手法については第 3 章に詳述するが、表-1.11 に示す技術指針等に従う必要がある。

なお、表-1.9 および表-1.10 に示した法律については、巻末の参考資料にその概要を整理した。

表-1.11 関連する技術指針等

名称	編集・発行元	発行年
道路土工―施工指針	社団法人日本道路協会	2003
道路土工―盛土工指針（平成 22 年度版）	社団法人日本道路協会	2010
土工施工管理要領	東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社	2015
舗装設計施工指針（平成 18 年度版）	社団法人日本道路協会	2006
舗装施工便覧（平成 18 年度版）	社団法人日本道路協会	2006
アスファルト舗装要綱	社団法人日本道路協会	1992

参考文献

- 1) 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 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：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），2017.2.
- 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（震災復興資材編），2014.3.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 横田季彦：産業廃棄物に新たな命を吹き込む、福島復興への取り組み - 福島エコクリート事業の概要 - ，日本エネルギー学会機関誌えねるみくす，pp.047～054,2018.1
- 11) 熊谷祐一、管野栄、小笠原陽：石炭灰混合材料のリサイクル事業 - 石炭灰再生土木資材を市場に - ，第3回ふくしま環境・リサイクル関連産業研究会資料，2015.12.22
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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，Ⅲ，pp.522～523，1999.
- 15) 設計要領 第一集 土工編，東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社，2010.7

第 2 章 石炭灰混合材料の製造方法

前章で述べたように、石炭灰混合材料は従来使用してきた材料の有効な代替材料として幅広く用いることができ、現在までに用途毎に数多くの混合材料が開発されている。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。

2.1 石炭灰混合材料の基本的物性

石炭灰混合材料としては、土砂代替品やフライアッシュコンクリートが代表的なものであるが、他にも材料種別毎に列記すれば、破碎材・造粒材・塑性材、スラリー材、クリンカアッシュ、新素材コンクリートなどがある。各種石炭灰混合材料の基本物性を表-2.1（その 1）～（その 5）に示し、以下要点をまとめる。

（1）物 性

混合材料の種別や想定している用途により異なるが、破碎材・造粒材の乾燥密度は $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 程度、塑性材の単位容積質量は $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 程度であり、自然の土より軽量である。新素材コンクリートの密度は $2.5\text{g}/\text{cm}^3$ 程度である。

（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

破碎材・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。

改良盛土材・塑性材については、最適含水比が 20～30%となっている。

（4）透水性

混合材料や用途にもよるが大半の透水係数が $1 \times 10^{-2} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$ であり、砂～微細砂と同程度である。但し、塑性材のように $1 \times 10^{-7} \sim 10^{-8} \text{cm/s}$ と小さなものもある。

（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）環境安全品質

重金属など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。

表-2.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その1）

混合材料 種 別	破 碎 材			
技術の 種 類	頑丈土破砕材	アッシュロバン	J-アッシュ	フライ・クリーン
主原料	石炭灰+セメント+水 +スラグ、石膏	石炭灰+セメント +二水石膏+水	石炭灰+碎石 +セメント+水	石炭灰+セメント+水
物 性	○粒度 細粒分混じりの土質材料 ○土粒子密度 2.3~2.4 g/cm ³ ○最大乾燥密度 1.25g/cm ³ 以下 ○強熱減量 10%以下 ○透水係数 $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/s	○最大粒径 40mm ○最大乾燥密度 1.20~1.50g/cm ³ ○単位容積重量 (Wet) 1.25±0.15g/cm ³ (Dry) 1.05±0.1g/cm ³ ○最適含水比 20~30%	○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 $1 \times 10^{-5} \sim 10^{-7}$ cm/s	○粗粒率 6.18 ○密度 1.82g/cm ³ ○吸水率 23.12% ○最適含水比 23.1% ○最大乾燥密度 1.277g/cm ³
強度特性	○圧縮強さ（材齢28日） 300~800kN/m ² ○せん断抵抗角 30° 以上 ○修正CBR 40%以上 ○液状化抵抗比 $R_{L20} \cong 0.3$	○圧縮強さ（材齢28日） 1,800kN/m ² 以上	○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	○修正CBR 134.5% （参考） ・凍上率 13.2% （判定：合格）
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	○通常の下層路盤材と施工性は同程度	○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	下層路盤材、凍上抑制材、基礎砂利
用途	盛土材、埋立材ほか	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材	下層路盤材、凍上抑制材、基礎砂利
その他	○開発者 沖縄電力(株)、日本国土開発(株) ○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 中部電力(株) ○出典 建設技術審査証明報告書 土木系材料技術（技審証 第0902号）石炭灰を用いた下層路盤材「アッシュロバン」、（財）土木研究センター、1997.7 ○出荷時に破砕材に結合材（石炭灰・セメント・石膏）と水を添加したものが「アッシュロバン」。 ※現在は製造中止	○開発者 常磐共同火力(株)、日本国土開発(株) ○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 越智建設(株)、北海道電力(株)

(注) 表中の値は、各々の記載資料より転載した。

表-2.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その2）

混合材料 種 別	破 碎 材			
技術の 種 類	FRC碎石	ORクリート	アッシュクリートTypeS	SCP工法用砂代替材
主原料	石炭灰＋セメント ＋水	石炭灰＋セメント＋水 ＋添加材（＋細骨材）	石炭灰＋セメント ＋水＋添加材	石炭灰＋セメント＋水
物 性	○細粒分 2.1% 粒度分布は再生碎石の粒度 基準値を満足 ○単位体積重量 （標準締固時） $1.337\text{g}/\text{cm}^3$ ○最大乾燥密度 $1.166\text{g}/\text{cm}^3$ ○透水係数 $3.7 \times 10^{-2}\text{cm}/\text{s}$ ○最適含水比 41.1%	○単位容積質量 $1.10\text{g}/\text{cm}^3$ 以 上 ○最適含水比 25～35%	○粒度分布は200mm以下を標 準とし調整可能 ○単位容積質量 $1.274\text{g}/\text{cm}^3$ ○最適含水比 27～37%	○粒径 5～20mm ○透水係数 $1 \times 10^{-3}\text{cm}/\text{s}$ 以上
強度特性	○内部摩擦角度 41° 以上 ○修正CRR 83.7% ○一軸圧縮強度(σ 28日) $18\text{N}/\text{mm}^2$ 以上 ○スリヘリ減量 32.4% (参 考) ・液状化抵抗 FL値 $2.32 > 1.0$ (判定: 液状化しない) ・凍上速度 $0.1\text{mm}/\text{h}$ 未満 (判定: 凍上性低い)	○一軸圧縮強度 $15\text{N}/\text{mm}^2$ 以上 ○修正CBR 70%以上	○内部摩擦角 40.2° ○95%修正CBR $74 \sim 125\%$ ○せん断強さ $64.3\text{kN}/\text{m}^2$	○内部摩擦角 35° 以上
施工性	○通常の施工手順、建設機械 で施工が可能。 ○軽量であるため、路床・路体 への荷重が軽減されるほか構 造物に作用する土圧荷重が軽 減される等、軽量盛土材とし て利用される。 ○一般的な再生碎石に比較し て運搬の効率化が図られる。		○通常の施工手順および建設 機械で施工が可能	○在来のSCP工法と同様な方 法で施工できる。
用途	下層路盤材、盛土材(路体・路 床)、裏込め、裏埋め、埋立材、 各種構造物の基礎材料	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材	地盤改良材(SCP)
その他	○開発者 酒田FRC有限責任事業組 合 ○出典 NETIS TH-110021-VE 特許H28 第5471036号	○開発者 日本国土開発、 JCOAL、 新和商事 ○出典	○開発者 相馬共同火力発電㈱、 ㈱安藤・間 ○出典 石炭灰高リサイクル破碎材 の適用について、土木学会第 71回年次学術講演会概要集 VI-698, 2016.9	○開発者 中部電力㈱ ○出典 港湾関連民間技術の確認審 査・評価 評価証説明資料 技 術名:「SCP工法の砂代替材と して粒状化した石炭灰を活用 するリサイクル技術」第01001 号 (財)沿岸開発技術研究セ ンター 2001.3 ※現在は製造中止

(注) 表中の値は、各々の記載資料より転載した。

表-2.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その3）

混合材料 種 別	造 粒 材		塑 性 材	
技術の 種 類	Hiビーズ	灰テックビーズ	アッシュクリートType II	ソマッシュ
主原料	石炭灰＋セメント ＋ベントナイト＋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 ＋助剤＋水
物 性	○形状 ほぼ球状 ○自然含水比 11.6% ○粒の湿潤密度 1.747g/cm ³ ○吸水率 16.4% ○スレーキング率 0.21% ○平均粒径 7.5mm ○透水係数 1.34×10 ⁻³ cm/s(6Ec)	○粒 度 礫質土 ○細粒分含有率 15%未満 ○粒子の乾燥密度 1.3～1.6g/cm ³ ○透水係数 1×10 ⁻² ～10 ⁻⁴ cm/s程度	○外観 振動締固めで造成する 固化地盤 ○単位容積重量 1.6～1.8g/cm ³ ○透水係数 1×10 ⁻⁷ ～10 ⁻⁸ cm/s	○湿潤密度 1.6～1.9g/cm ³ ○最適含水比 20～25% ○透水係数 1×10 ⁻⁸ cm/s以下
強度特性	○内部摩擦角 47.6° (6Ec) (参 考) 粒子強度 ・圧潰強度 (7日) 1.069MN/m ² (28日) 1.606MN/m ²	○圧縮強さ (材齢90日) 1000kN/m ² 程度以下 ○せん断抵抗角 35° 程度以上 ○粘着力 50kN/m ² 以上 ○修正CBR 20%以上 ・コーン指数 (材齢90日)(参考) 15,000kN/m ² 程度以下	○圧縮強度(材齢28日) 5,000kN/m ² 以上 ○静弾性係数 4～6×10 ³ N/mm ² 程度 ○現場CBR 200%程度	○圧縮強度(材齢28日) 4,000～8,000kN/m ²
施工性	○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。	○通常の土質材料と同様の施 工性を有する。	○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、ブルドーザで敷き 均し、コンパインドローラ等で 締固める。
用途	海底覆砂材、 地盤改良材(SCP)ほか	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材
その他	○開発者 中国電力(株) ○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 年次学術講演会概要集(VII- 314), 2003.9	○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, 2014.11更新	○開発者 (株)安藤・間 ○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 ○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) 表中の値は、各々の記載資料より転載した。

表-2.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その4）

混合材料 種 別	塑性材	ス ラ リ ー 材		クリンカアッシュ
技術の 種 類	ポゾテック	Fスラリー	浚渫土、セメント系改良土 (種類:砂質土・シルト系)	クリンカアッシュ単体
主原料	石炭灰+亜硫酸石膏(石膏) +消石灰+水	石炭灰+セメント+水	浚渫土+石炭灰 +セメント+海水	クリンカアッシュ
物 性	○ポゾラン反応による 強度発現 ○締め固めた固化体は 土砂に比較して軽量 低い透水性 ○乾燥密度 1.2~1.4 t/m ³ ○透水係数 10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁷ cm/s ○最大粒径 4.8mm	○フロー値 160~240mm ○単位容積重量 1.6~1.9g/cm ³	○事前処理(振動フルイ)によ り障害物除去と最大粒径 50mm以下 ○フライアッシュの配合比で密 度変動 ○単位容積重量 1.6~2.0g/cm ³ ○最適含水比 20~30% ○透水係数 1×10 ⁻³ ~10 ⁻⁵ 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	○一軸圧縮強度(4週間経過 後) 980~5,000kN/m ² 程度 (参考) (10日) 770 kN/m ² (28日) 5,060 kN/m ²	○圧縮強度(材齢28日) 300~1,000kN/m ² 以上	○一軸圧縮強さ(材齢28日) 300~1,000kN/m ² 以上	○内部摩擦角 35° 以上 ○CBR 20%以上 ○コーン指数 1,200kN/m ² 以上
施工性	○土砂と比較して軽量な為、 地盤沈下が抑えられる。 ○在来工法と同じ重機で施行 可能。 ○運搬・施工時の発塵僅少	○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。 ○セルフベアリングするので、 仕上げ施工が不用	○浚渫土砂にフライアッシュと セメントを混合したスラリーを水 中打設して改良土地盤を構築 ○適正な含水調整で水中不 分離性能を発揮させ、埋戻しや 裏込め撒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	盛土材、埋立材	裏込め材、充填材	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材
その他	○開発者 日本コークス工業(株) ○出典 建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術、道路 保全技術(建技審証 第0427 号)石炭灰(混焼含む)を利用し た路盤・路床・盛土材『ポゾテ ック』(財)土木研究センター 2015.3更新	○開発者 北海道電力(株) ○出典 現地混合型フライアッシュス ラリーの諸特性について、土木 学会第66回年次学術講演会 講演梗概集、pp.1175-1176、 2011.9 ※2016年度をもって製造・販 売を終了	○開発者 国土交通省北海道開発局、 北海道電力株式会社、 東洋建設株式会社 ○出典 石炭灰を利用した水中土工 材の水中不分離性と力学特 性、電力土木No.295、2001.9	○開発者 中国電力(株) ○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)表中の値は、各々の記載資料より転載した。

表-2.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その5）

混合材料 種 別	クリンカアッシュ	新素材コンクリート
技術の 種 類	クリンカアッシュ混合物 (クリンカ混合土)	ネオ・アッシュクリート
主原料	第4種建設発生土、泥土 ＋クリンカアッシュ	セメント＋水(海水) ＋石炭灰＋金属スラグ骨材
物 性	建設発生土とクリンカアッシュ の混合比5:5の場合 ○所定強度($q_c=400\text{kN/m}^2$) を確保。 ○単位容積質量 1.60g/cm^3 ○含水比 40%程度 ○透水係数 $9 \times 10^{-6}\text{cm/s}$	○フレッシュ性状 0～8cm程 度で調整可能 ○密度 $2.3 \sim 2.6\text{t/m}^3$ ○水質汚濁に係わる環境基準 をクリア
強度特性	○内部摩擦角 13° ○CBR 1.1～1.7% ○コーン指数 $550 \sim 610\text{kN/m}^2$	○圧縮強度 コンクリートと同 等で調整も可能
施工性	○適正な含水調整で水中不 分離性能を発揮させ、埋戻しや 裏込め撒きだし施工で汚濁低 減が可能となる。	○ダンプトラックかトラックミキ サで運搬 ○型枠、内部バイブレータで締 固め
用途	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材
その他	○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、山口大学、安藤・ 間、テトラ ○出典 石炭灰を活用したネオ・アッ シュクリートによる消波ブロック の製造、セメント・コンクリート No.667, 2002.9

(注) 表中の値は、各々の記載資料より転載した。

2.2 土砂代替材

石炭灰、セメント、水を主原料とし、これに石膏などの添加材料などを加えて製造する石炭灰混合材料には、通常の土砂と同様の施工方法で使用する破砕材と造粒材、また現地で直接固化体を施工する塑性材に大別される。以下に、それぞれの代表例の製造法、基本物性を示す。

2.2.1 破砕材

(1) 製造法の概要

破砕材の代表例として、「頑丈土」¹⁾の製造方法の概略を図-2.1 に、製品を写真-2.1 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などの添加剤を混合したものを締固めて固化させ、後に掘削・破砕して製造する。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。また、頑丈土の標準的な配合例を表-2.2 に示す。

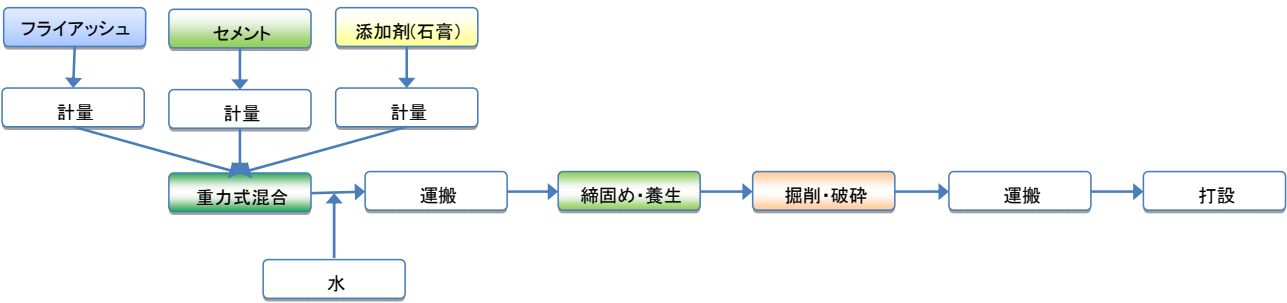


図-2.1 破砕材（頑丈土）の製造フロー



写真-2.1 破砕材（頑丈土）

表-2.2 破砕材（頑丈土）の配合例（質量比）²⁾

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

破砕材（頑丈土、海域使用の場合）の代表的な物性は表-2.3 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などの特徴がある²⁾。

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-2.3 破砕材（頑丈土）の物性・性能²⁾

試 験 項 目		物 性 ・ 性 能
物理特性	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	2.3～2.4g/cm ³
	最大乾燥密度	1.25g/cm ³ 以下
	強熱減量	10%以下
	透水係数	$1 \times 10^{-5} \sim 10^{-4}$ cm/s
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	$R_{l20} \geq 0.3$
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

破砕材の同種品に、表-2.1 に示したフライクリーン，J－アッシュ，アッシュクリート typeS，FRC 砕石等がある。

2.2.2 造粒材

(1) 製造法の概要

造粒材の代表例、「灰テックビーズ」の製造方法の概略を図-2.2 に、製品を写真-2.2 に示す。「灰テックビーズ」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。

「灰テックビーズ」は、最大粒径 40mm 以下、細粒分含有率 15%未満の球形・粗粒状の軽量の粒状体であり、盛土、護岸背面や擁壁等の構造物の裏込めや埋戻し、河川築堤、土地造成、路床、路体等の用途に対して、通常の砂質土および礫質土と同様の設計・施工を行うことができる。

灰テックビーズの代表的な配合例を表-2.4 に示す。

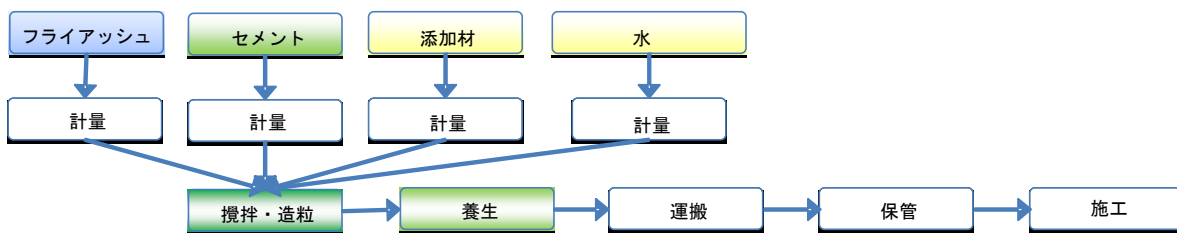


図-2.2 造粒材（灰テックビーズ）の製造フロー



写真-2.2 造粒材（灰テックビーズ）

表-2.4 造粒材（灰テックビーズ）の配合比率（乾燥重量比）³⁾

石 炭 灰	セメント	添加材	水
100	3～8	0～8	15 ～ 40

(2) 基本的物性

造粒材（灰テックビーズ）の物性・性能は表-2.5 に示すとおりである。

表-2.5 造粒材（灰テックビーズ）の物性・性能³⁾

項 目	測 定 値
せん断抵抗角	35 度程度以上
粘着力	50kN/m ² 程度以上
修正 C B R	20%以上
乾燥密度	1.3～1.6g/cm ³ 程度
透水係数	$1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ cm/s

(3) 同種品

固化体造粒材の同種品に、表-2.1 に示したH i ビーズがある。H i ビーズ製品外観を写真-2.3 に示す。



写真-2.3 造粒材（H i ビーズ）製品外観

2.2.3 塑性材

(1) 製造法の概要

塑性材の代表例「アッシュクリート TypeⅡ」の製造方法を図-2.3に示す。製造プラントと施工の状況を写真-2.4、2.5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）、最適含水比付近となるために必要な水を加えて、プラントなどで混合して作製する。作製した塑性材はダンプトラックなどで運搬し、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（アッシュクリート TypeⅡ）の配合例を表-2.6に示す。

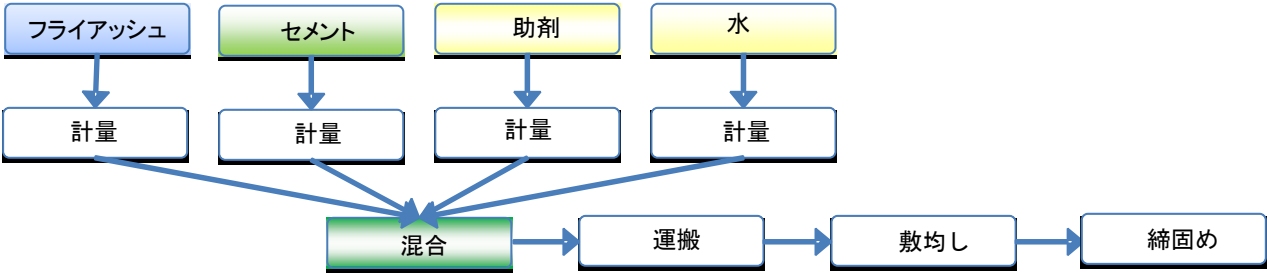


図-2.3 塑性材の製造・施工のフロー

表-2.6 塑性材（アッシュクリート TypeⅡ）の配合例⁴⁾

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-2.4 塑性材（アッシュクリート TypeⅡ）の製造プラント例

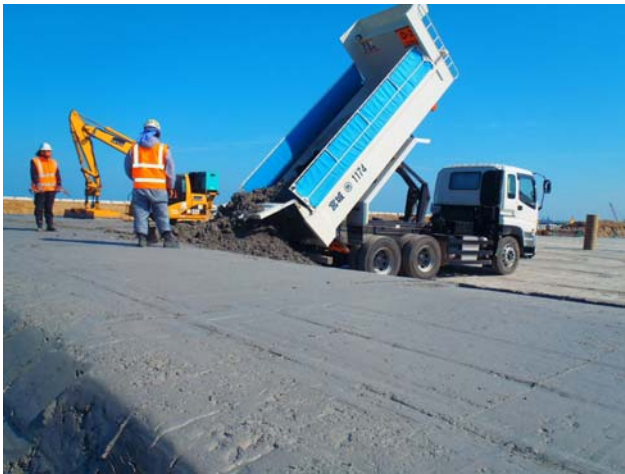


写真-2.5 塑性材（アッシュクリート TypeⅡ）の運搬と締固めの状況

(2) 基本的物性

塑性材の代表的な物性値は表-2.7 に示すとおりである。

表-2.7 塑性材（アッシュクリート TypeⅡ）の物性・性能⁴⁾

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)	$1 \times 10^{-5} \sim 9 \times 10^{-5}$
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-2.1 に示したソマッシュ、ポゾテックがある。

2.3 スラリー材

スラリー材は石炭灰、セメント、水等を主原料とし、これに添加材料や場合によっては現地発生土などを加えて製造する。以下に、代表例としてFスラリーの製造法、基本物性を示す。

(1) 製造法の概要

Fスラリーの特徴としては、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点が挙げられる。

また、高流動性、自己充填性、自硬性等の特徴を有するが、流動性の保持時間の維持のため練り混ぜ水を分割し、現場で二次加水することによって、製造プラントから遠隔地への供給も可能にしている。

スラリー材の代表例、「Fスラリー」の製造方法の概略を図-2.4に、代表的な配合例を表-2.8に示す。

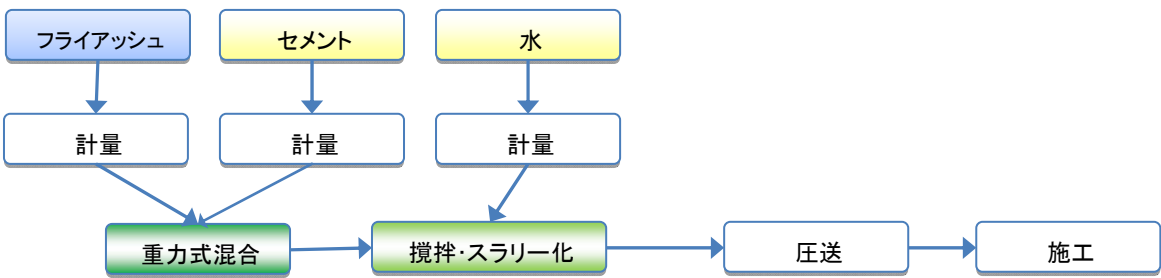


図-2.4 スラリー材（Fスラリー）の製造フロー



写真-2.6 スラリー材（Fスラリー）打設状況

表-2.8 スラリー材（Fスラリー）の配合例⁵⁾

配合量 (kg/m ³)			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		
900	150	521	49.6	220±20

2.4 クリンカアッシュなら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、特に石炭灰（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-2.7に、混合方法の概略図を図-2.5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^{6),7)}。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-2.7 クリンカアッシュ

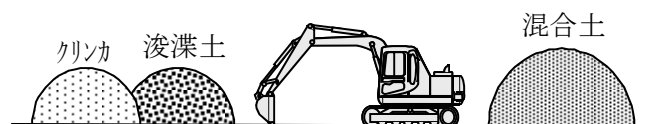


図-2.5 混合方法

(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-2.8に、施工後のコーン指数変化を図-2.6に示す。



写真-2.8 混合盛土の施工例

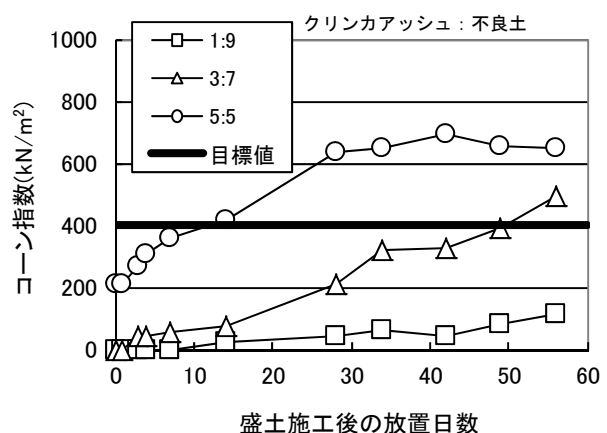


図-2.6 混合盛土の施工後のコーン指数変化⁷⁾

(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-2.9）。



写真-2.9 クリンカアッシュ使用例（軽量盛土工）

2.5 新素材コンクリート

石炭灰を主材料とした硬化体を製造する技術が開発されているが、基本的に密度が比較的小さいことが特徴である。このような材料に密度の大きいスラグ骨材を混合し、普通コンクリートと同等以上の密度とし、消波ブロックなどへ適用可能なコンクリート（ネオ・アッシュクリート）について紹介する。

2.5.1 新素材コンクリート

(1) 製造法の概要

ネオ・アッシュクリートは、練り混ぜ水に海水や塩水を用い、塩分（NaCl）により石炭灰の強度寄与率を最大限に引き出し、セメント量を 50～80%に低減させて練り混ぜることを基本としている。また、使用するスラグ骨材の密度と添加量の調整により、コンクリートの密度を制御することが出来る。標準的な配合例を図-2.7 に示す。

練り混ぜは、通常の生コンクリートと同等の製造設備で行う。比較的硬練りであることから打設現場にダンプトラックで運搬後、バックホウおよびベルトコンベアを併用して打設する場合が多い。締固めは型枠に取り付けた振動モータを基本に、必要に応じて内部振動機を併用して締固めることが可能である。打設状況を写真-2.10 に示す。

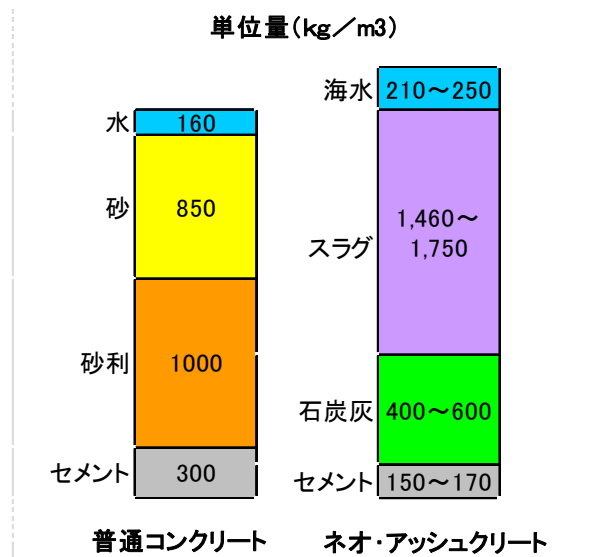


図-2.7 新素材コンクリート（ネオ・アッシュクリート）の配合例⁸⁾



写真-2.10 新素材コンクリート（ネオ・アッシュクリート）の打設状況⁸⁾

(2) 基本的物性

フレッシュ性状はスランプ 0～8cm 程度で、また、粘性が比較的高いことから、密度の高いスラグ骨材の沈降も見られない。写真-2.11 に消波ブロック外観と抜き取りコアによる骨材分布状況を示す。圧縮強度も通常のコンクリートと同様にセメント添加率で調整可能であり、さらに石炭灰を使用していることから、長期の強度発現性に優れている。また、現地に据え付けた消波ブロックの観察により、表面の磨耗量は普通コンクリートの半分程度と小さいことを確認している。



写真-2.11 完成した消波ブロックとコアの状況⁸⁾

参考文献

- 1) 財団法人 土木研究センター：建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術、道路保全技術（建技審証 第 0519 号） 石炭灰を利用した人工地盤材料「頑丈土破碎材」， 2011.2
- 2) 財団法人 沿岸技術研究センター：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「頑丈土破碎材」， 2006.11
- 3) 財団法人 土木研究センター：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」， 2004.11
- 4) ㈱安藤・間 HP <http://www.ad-hzm.co.jp/service/ashcrete/ash/>
- 5) 山上光憲，安藤睦，高橋昌之，柳沼利信：現地混合型フライアッシュスラリーの諸特性について，土木学会第 66 回年次学術講演会講演梗概集， pp.1175-1176， 2011.9
- 6) 東北電力㈱ <http://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2003/30729a.htm>
- 7) 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
- 8) 斉藤栄一，斉藤直，福留和人，半沢稔：石炭灰を活用したネオ・アッシュクリートによる消波ブロックの製造，セメント・コンクリート， №667， pp.50-57， 2002.9

第3章 建設事業への適用

3.1 はじめに

(1) 計画から施工までの流れ

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・埋立てや構造物の裏埋め、埋立て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・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土木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。

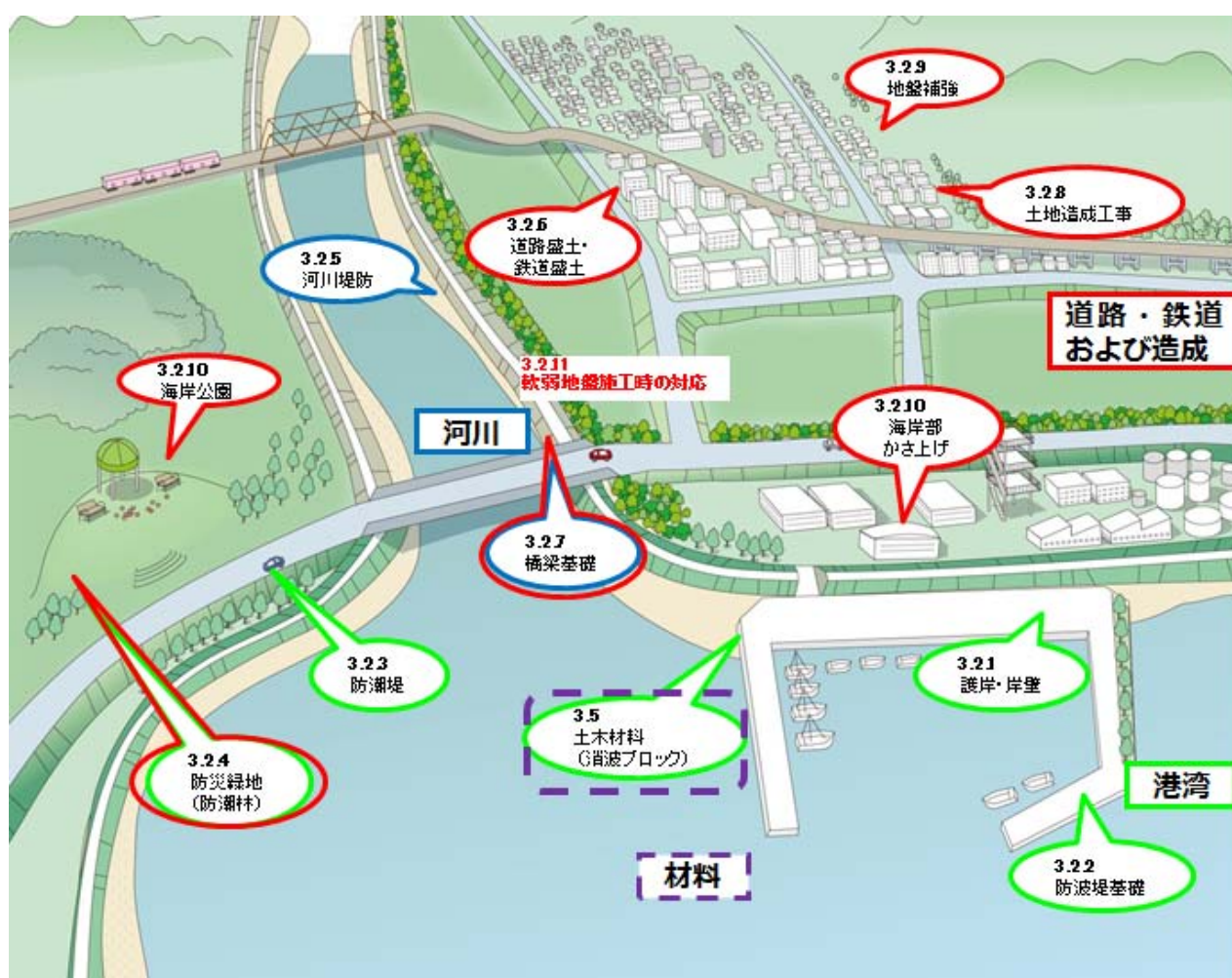


図-3.1 土木工事における石炭灰混合材料利用のイメージ

(数字は各項目が記載されている章節番号を示す)

図-3.2 に、石炭灰混合材料の建設事業への適用の流れを示す。以下、3.2 から 3.5 の各節で内容を説明する。

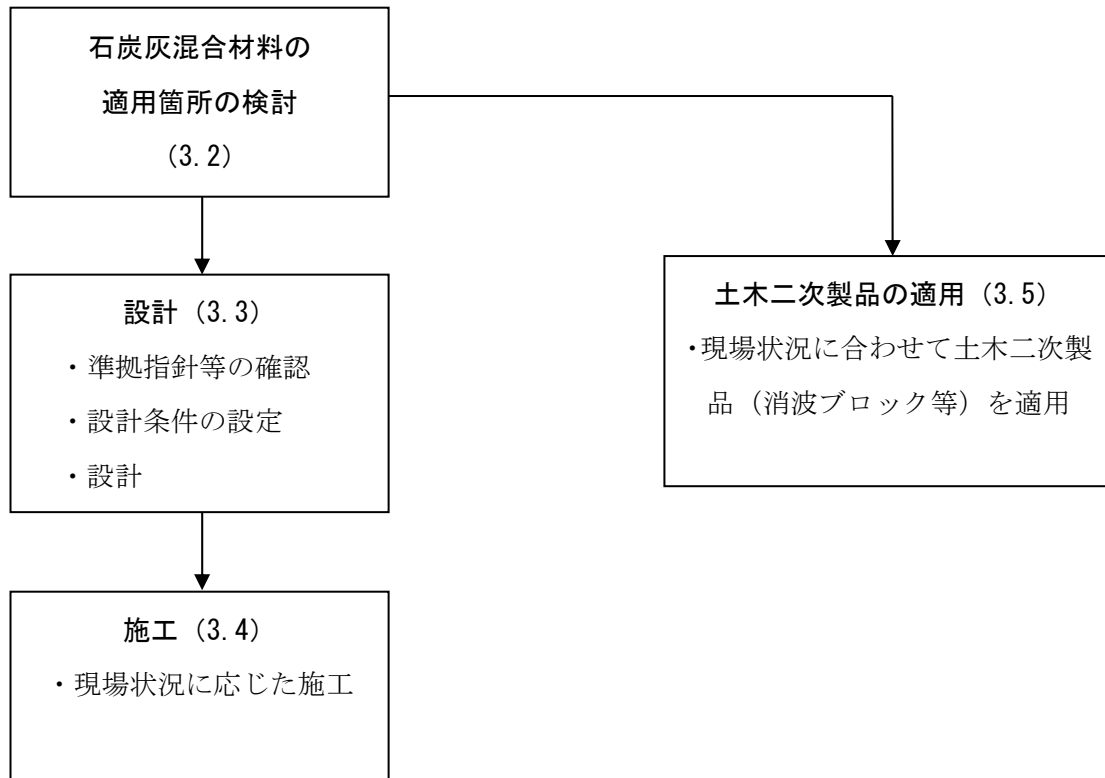


図-3.2 石炭灰混合材料の建設事業への適用の流れ

(2) 想定される適用対象と適用のメリット

材料ごとに想定される適用対象について、表-3.1 に示す。また、石炭灰混合材料を適用するメリットも併せて示す。

表-3.1 に示すようなメリットがある場合には、現場における他材料とのコストや調達性を比較した上で、石炭灰混合材料を適用することが考えられる。

表-3.1 材料の種類と想定される適用対象および適用メリット

材料の種類	適用対象	適用するメリットの例 (個別には各材料の特性確認が必要)
破砕材、造粒材	埋立て・裏込め・道路・盛土材料、地盤改良	・軽量：土圧低減、沈下抑制、施工性向上（ただし、水位以下への適用は困難） ・締固め特性良好：施工性向上、側方土圧低減 ・非圧縮性：裏込めや盛土の沈下防止 ・良好な透水性：排水性向上、トラフィカビリティ改善、凍上防止対策等
スラリー材	裏込め・腹付け材料、補強・機能向上	・流動性： 施工性向上
塑性材	道路・盛土・築堤材料	・軽量：土圧低減、沈下抑制、施工性向上（ただし、水位以下への適用は困難） ・締固め特性良好：施工性向上、側方土圧低減 ・非圧縮性：裏込めや盛土の沈下防止 ・良好な透水性：排水性向上、トラフィカビリティ改善、凍上防止対策等
新素材コンクリート	二次製品	・石炭灰を適切に配合することによるコンクリート品質の向上 ・現場に適した製品を選択することによる施工性向上（石炭灰混合材料に限らず、二次製品を適用するメリット）

(3) 工学的分類

国土交通省は、建設発生土の工学的特性（コーン指数、日本統一土質分類、含水比）に応じた第1種～第4種までの建設発生土の分類、および建設発生土の分類に基づく適用用途基準をそれぞれ表-3.2¹⁾および表-3.3¹⁾の通り定めている。石炭灰混合材料は建設発生土を母材としておらず、これらの基準を適用することはできないが、適用可能な用途を確認する上で、石炭灰混合材料の工学的特性をこれらの基準と比較することは参考になると考えられる。

基本的な考え方として、石炭灰混合材料はその製造方法から、建設発生土にセメントや石灰を混合し化学的安定処理した表-3.2中の改良土に類似した材料と考えられる。よって、表-2.1に示されている破碎材、造粒材、スラリー材、塑性材の工学的特性と第1種～第4種改良土の分類基準を比較する。ただし、各材料の強度はコーン指数以外にも、一軸圧縮強さや修正 CBR で求められている場合もある。この場合には、コーン指数 q_c (kN/m²) と一軸圧縮強さ q_u (kN/m²) の相関 $q_c = 5 \sim 15 q_u^{2)}$ 、セメント安定処理土を対象とした一軸圧縮強さ q_u (kN/m²) と CBR (%) の関係 $q_u = 9.8 \text{CBR}^{3)}$ の関係を利用すると、 $q_u = 160 \text{ kN/m}^2$ 、CBR = 16%が確保できていれば $q_c = 800 \text{ kN/m}^2$ を確保できていることの目安になると考えられる。

表-2.1に示す各石炭灰混合材料の物性を確認すると、破碎材については粒度分布がほとんど求められていないため、第1種改良土と判定することはできないが、強度面では第2種改良土相当であると判断できる。造粒材についてはコーン指数が示されている材料については第2種改良土相当の強度を有している。一方、第1種改良土相当であるかの判定は、「砂及び礫と同等の品質が確保できているもの」であることが判断基準となる。粒度については、礫質土相当と示されているが、粒子強度や粒子破碎などの発生状況が「砂及び礫と同等の品質」であるかを判断する必要があるといえる。塑性材、スラリー材についても、強度面からは第2種改良土相当であると判断される。

以上のことから、石炭灰混合材料は第2種改良土相当の品質を有していると判断でき、表-3.3中に示す用途であれば、利用の可能性があると判断される。ただし、表面への露出により植生や築造等に影響を及ぼすおそれのある点、淡水域に利用する場合に水域の pH が上昇する可能性がある点には留意が必要である。

表-3.2 建設発生土の土質区分基準（文献1）に一部加筆）

区分 (国土交通省令) * ¹⁾	細区分* ^{2), 3), 4)}	コーン指数 q_c * ⁵⁾ (kN/m ²)	土質材料の工学的分類* ^{6), 7)}		備考* ⁸⁾	
			大分類	中分類 土質 {記号}	含水比 (地山) w_L (%)	掘削方法
第1種建設発生土 (砂, 礫及びこれらに 準ずるもの)	第1種	—	礫質土	礫 {G}, 砂礫 {GS}	—	・排水に考慮するが, 降水, 浸 出地下水等により含水比が 増加すると予測される場合 は, 1ランク下の区分とする。
	第1種改良土* ³⁾		砂質土	砂 {S}, 礫質砂 {SG}	—	
第2種建設発生土 (砂質土, 礫質土及び これらに準ずるもの)	第2a種	800 以上	人工材料	改良土 {I}	—	
	第2b種		礫質土	細粒分まじり礫 {GF}	—	
	第2種改良土		砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
第3種建設発生土 (通常の施工性が確 保される粘性土及び これに準ずるもの)	第3a種	400 以上	人工材料	改良土 {I}	—	
	第3b種		砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
	第3種改良土		粘性土	シルト {M}, 粘性土 {C}	40%程度以下	
第4種建設発生土 (粘性土及びこれに 準ずるもの(第3種発 生土を除く))	第4a種	200 以上	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土 {V}	—	・水中掘削等による場合は, 2 ランク下の区分とする。
	第4b種		人工材料	改良土 {I}	—	
	第4種改良土		砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
			粘性土	シルト {M}, 粘性土 {C}	40~80%程度	
粘土* ^{1), 9)}	粘土 a	200 未満	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土 {V}	—	
			有機質土	有機質土 {O}	40~80%程度	
	粘土 b		人工材料	改良土 {I}	—	
			砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	
粘土 c	粘性土		シルト {M}, 粘性土 {C}	80%程度以上		
	火山灰質粘性土		火山灰質粘性土 {V}	80%程度以上		
			有機質土	有機質土 {O}	80%程度以上	
			高有機質土	高有機質土 {Pt}	—	

*1) 国土交通省令（建設業に属する事業を行う者の再生資源の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令 平成13年3月29日 国交令59, 建設業に属する事業を行う者の指定副産物に係る再生資源の利用の促進に関する判断の基準となるべき事項を定める省令 平成13年3月29日 国交令60）においては区分として第1種～第4種建設発生土が規定されている。

*2) この土質区分基準は工学的判断に基づく基準であり, 発生土が産業廃棄物であるか否かを定めるものではない。

*3) 表中の第1種～第4種改良土は, 土（粘土を含む）にセメントや石灰を混合し化学的安定処理したものである。例えば第3種改良土は, 第4種発生土または粘土を安定処理し, コーン指数400 kN/m²以上の性状に改良したものである。

*4) 含水比低下, 粒度調整など物理的な処理や高分子系や無機材料による水分の土中への固定を主目的とした改良材による土質改良を行った場合は, 改良土に分類されないため, 処理後の性状に応じて改良土以外の細区分に分類する。

*5) 所定の方法（JIS A 1210 の突固め方法の呼び名 A）でモールドに締め固めた試料に対し, JIS A 1228 に準じて測定したコーン指数。

*6) 計画段階（掘削前）において土質区分を行う必要があり, コーン指数を求めるために必要な試料が得られない場合には, 土質材料の工学的分類体系（（社）地盤工学会）と備考欄の含水比（地山）, 掘削方法から概略の土質区分を選定し, 掘削後, 所定の方法でコーン指数を測定して区分を決定する。

*7) 土質材料の工学的分類体系における最大粒径は75 mmと定められているが, それ以上の粒径を含むものについても本基準を参照して区分し, 適切に利用する。

*8) 砂及び礫と同等の品質が確保できているもの。

*9) ・港湾, 河川等のしゅんせつに伴って生ずる土砂その他これに類するものは廃棄物処理法の対象となる廃棄物ではない。（廃棄物の処理及び清掃に関する法律

の施行について 昭和46年10月16日 環整43 厚生省通知）

・地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり, 土砂は廃棄物処理法の対象外である。（建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について 平成13年6月1日 環廃産276 環境省通知）

・建設汚泥に該当するものについては, 廃棄物処理法に定められた手続きにより利用が可能となり, その場合「建設汚泥処理土利用技術基準」（国官技第50号, 国官総第137号, 国営計第41号, 平成18年6月12日）を適用するものとする。

表-3.3 発生土の適用用途基準 X)

土質区分		用途		工作物の埋戻し		建築物の埋戻し ^{※1}		土木構造物の埋戻し		道路用盛土				河川築堤				土地造成				鉄道盛土		空港盛土		水面埋立 ^{※2}	
										路床		路体		高規格堤防		一般堤防		宅地造成		公園・緑地造成							
		評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項
第1種 建設発生土（砂、礫及びこれらに準ずるもの）	第1種	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 透水性注意 表層利用注意	◎		◎	最大粒径注意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	粒度分布注意
	第1種改良土	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 透水性注意 表層利用注意	◎		◎	最大粒径注意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	淡水域利用注意
第2種 建設発生土（砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの）	第2a種	◎	最大粒径注意 細粒分含有率注意	◎	最大粒径注意 細粒分含有率注意	◎	最大粒径注意 細粒分含有率注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 粒度分布注意 透水性注意 表層利用注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意 透水性注意	◎	最大粒径留意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	
	第2b種	◎	細粒分含有率注意	◎		◎	細粒分含有率注意	◎		◎		◎		◎	粒度分布注意	◎	粒度分布注意	◎		◎		◎		◎		◎	粒度分布注意
	第2種改良土	◎		◎	表層利用注意	◎		◎		◎		◎		◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎		◎		◎	淡水域利用注意
第3種 建設発生土（通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの）	第3a種	○		◎	施工機械の選定注意	○		○		◎		◎	施工機械の選定注意	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	○		◎	施工機械の選定注意	◎	粒度分布注意
	第3b種	○		◎	施工機械の選定注意	○		○		◎		◎	施工機械の選定注意	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	○		◎	施工機械の選定注意	◎	
	第3種改良土	○		◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	○		○		◎		◎	施工機械の選定注意	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	○		◎	施工機械の選定注意	◎	淡水域利用注意
第4種 建設発生土（粘性土及びこれに準ずるもの）	第4a種	○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		◎	粒度分布注意
	第4b種	△		○		△		△		△		○		○		○		○		○		△		○		◎	
	第4種改良土	△		○		△		△		△		○		○		○		○		○		△		○		◎	淡水域利用注意
泥土	泥土a	△		○		△		△		△		○		○		○		○		○		△		○		○	
	泥土b	△		△		△		△		△		△		△		△		△		△		△		△		○	
	泥土c	×		×		×		×		×		△		×		×		×		△		×		×		△	

【評価】 ◎：そのまま使用が可能なもの。留意事項に使用時の注意を示した。

○：適切な土質改良（含水比低下、粒度調整、機能付加・補強、安定処理等）を行えば使用可能なもの。

△：評価が○のものと比較して、土質改良にコスト及び時間がより必要なもの。

×

土質改良の定義

含水比低下：水切り、天日乾燥、水位低下掘削等を用いて、含水比の低下を図ることにより利用可能となるもの。

粒度調整：利用場所や目的によっては細粒分あるいは粗粒分の付加やふるい選別を行うことで利用可能となるもの。

機能付加・補強：固化材、水や軽量材等を混合することにより発生土に流動性、軽量性などの付加価値をつけることや補強材等による発生土の補強を行うことにより利用可能となるもの。

安定処理等：セメントや石灰による化学的安定処理と高分子系や無機材料による水分の土中への固定を主目的とした改良材による土質改良を行うことにより利用可能となるもの。

【留意事項】 最大粒径注意：利用用途先の材料の最大粒径、または一層の仕上がり厚さが規定されているもの。

細粒分含有率注意：利用用途先の材料の細粒分含有率の範囲が規定されているもの。

礫混入率注意：利用用途先の材料の礫混入率が規定されているもの。

粒度分布注意：液状化や土粒子の流出などの点で問題があり、利用場所や目的によっては粒度分布に注意を要するもの。

透水性注意：透水性が高く、難透水性が要求される部位への利用は適さないもの。

表層利用注意：表面への露出により植生や築造等に影響を及ぼすおそれのあるもの。

施工機械の選定注意：過転圧などの点で問題があり、締固め等の施工機械の接地圧に注意を要するもの。

淡水域利用注意：炭水域に利用する場合、水域のpHが上昇する可能性があり、注意を要するもの。

【備考】 本表に例示のない適用用途に発生土を使用する場合は、本表に例示された適用用途の中で類似するものを準用する。

※1 建築物の埋戻し：一定の強度が必要な埋戻しの場合は、工作物の埋戻しを準用する。

※2 水面埋立て：水面上に土砂等が出た後については、利用目的別の留意点（地盤改良、締固め等）を別途考慮するものとする。

3.2 土木工事における適用箇所

3.2.1 護岸・岸壁

(1)適用イメージと適用時のメリット

港湾施設の護岸・岸壁に石炭灰混合材料を適用するイメージについては、新設の重力式岸壁（ケーソン）の裏込め、港湾部における臨海仮設道路の盛土材、既設護岸の補強材料などが考えられる。これらの用途は石炭灰混合材料が有する軽量性、および石炭灰のポズラン反応による固化後の自立性に着目したものであり、一般の土砂材料を使用する場合に比べて、軟弱地盤上での沈下抑制、護岸構造物への土圧低減、および護岸構造物の側方変位の抑制などのメリットがある。

(a) 埋立て・裏込め・道路・盛土材料への適用

構造物の背面に埋立て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て工法に比べ埋立て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低減する。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-3.3 に対象工事の断面（適用イメージ）を示す。

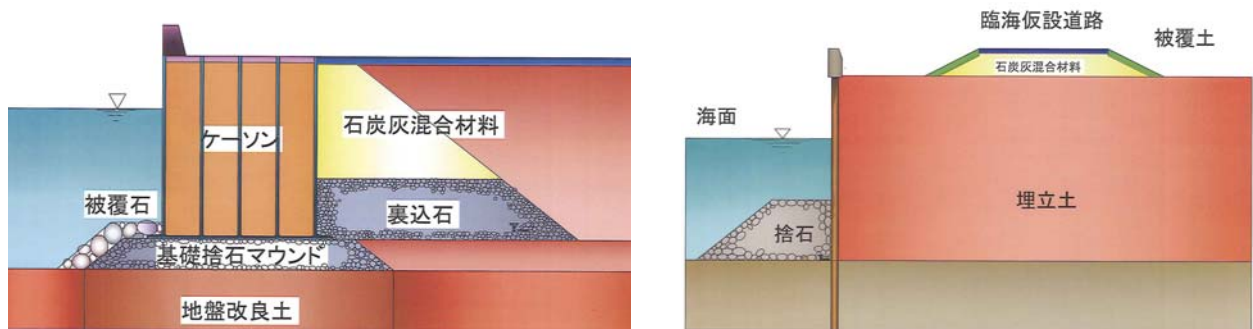


図-3.3 裏込め・道路への適用イメージ

一方、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低減し、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て工法に比べ埋立て地盤の沈下抑制に寄与する。図-3.4 に対象工事の断面（適用イメージ）を示す。

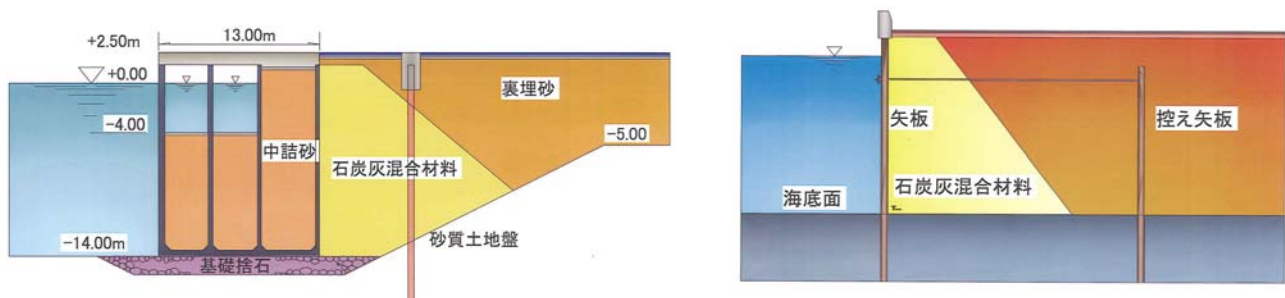


図-3.4 裏込め・腹付け材料への適用イメージ

なお、図-3.4 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など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。

(b) 補強・機能向上への適用

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、背面土圧が低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-3.5 に対象工事の断面（適用イメージ）を示す。

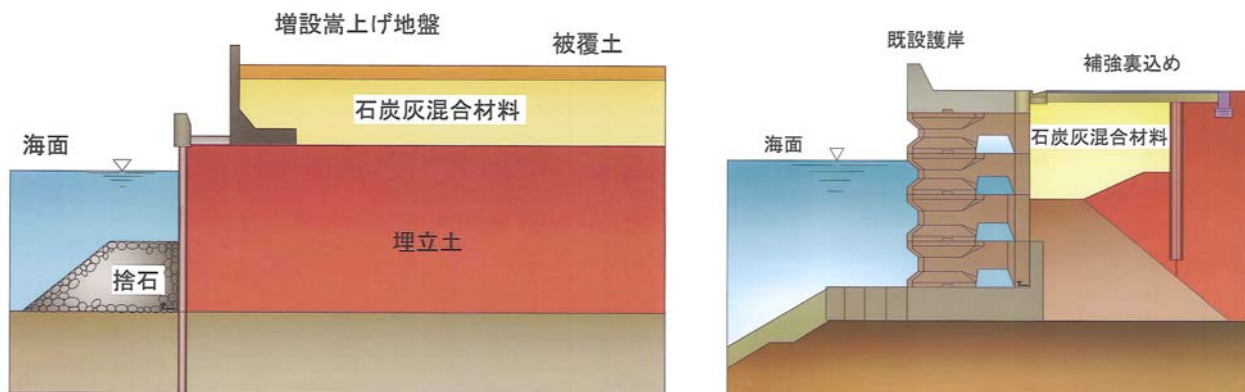


図-3.5 補強・機能向上への適用例

(2) 適用可能な石炭灰混合材料

港湾工事の護岸・岸壁に適用する石炭灰混合材料としては土砂代替として適用する破砕材・造粒材、充填性を考慮したスラリー材および塑性材が考えられ、対象構造物の機能、特性等を踏まえて石炭灰混合材料に求める要求性能を確認して決定する必要がある。

3.2.2 防波堤基礎

(1) 適用イメージと適用時のメリット

防波堤を設置する箇所の基礎には、上戴荷重に耐えうる地盤支持力や安定性を有することが求められるため、軟弱な海底地盤では地盤改良を行う必要がある。改良工法の内、置換工法などでは良質な砂を使用するが、その品質には粒度分布が良く、シルト分が少ないものが望ましい。

石炭灰混合材料のうち、破碎材や造粒材は比較的密度が小さいため、適切な粒度分布であれば軟弱な現地地盤の沈下抑制など大きなメリットが得られる。また、その他にサンドコンパクションパイル用砂の代替材としても十分に適用可能である。図-3.6に防波堤における石炭灰混合材料の適用イメージを示す。

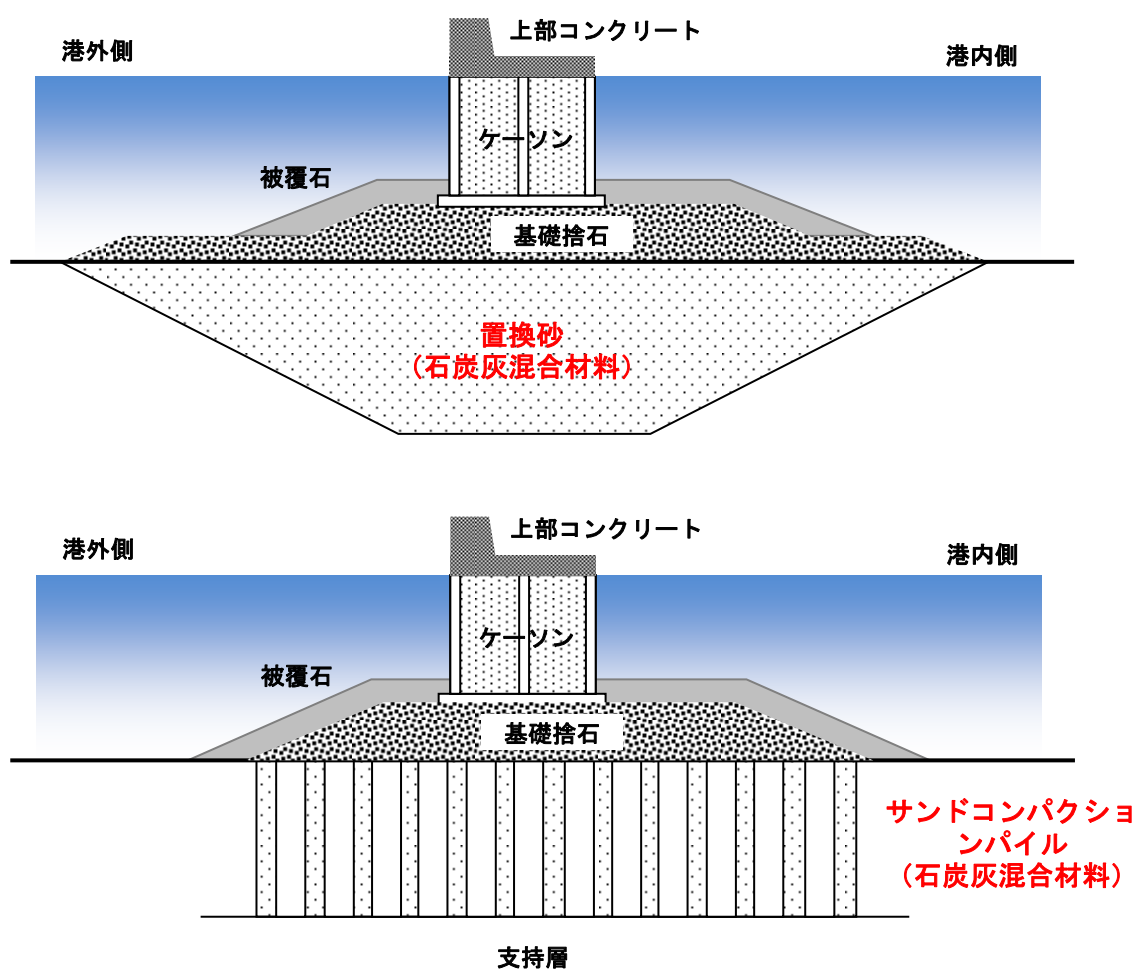


図-3.6 防波堤基礎への適用イメージ

(2) 適用可能な石炭灰混合材料

防波堤基礎に適用する石炭灰混合材料として、地盤置換砂やサンドコンパクションパイル（SCP）用砂などが考えられる。それらの材料に求められる品質としては、締固め効果の大きい比較的粒度分

布が良いものであること、および SCP ではフィルター材として透水性が良いものであることなどが求められていることを踏まえて、破碎・造粒を行う必要がある。

3.2.3 防潮堤

(1) 適用イメージと適用時のメリット

図-3.7 に防潮堤への適用イメージを示す。

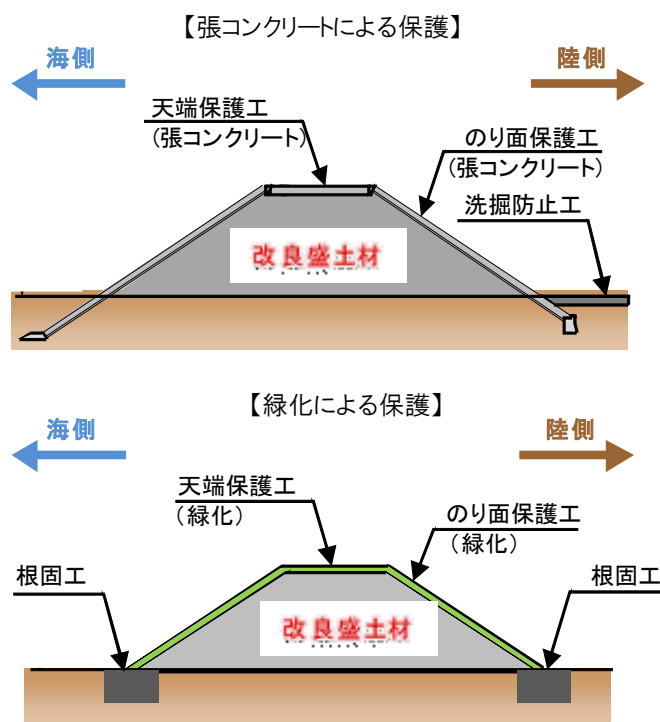


図-3.7 防潮堤への適用イメージ

(2) 適用可能な石炭灰混合材料

防潮堤に適用する石炭灰混合材料は、盛土・築堤する基盤の強度・地盤特性などを踏まえて、破碎・造粒材またはスラリー材・塑性材（含水比調整材）を使用する。

3.2.4 防災緑地（防潮林）

(1) 適用イメージと適用時のメリット

林野庁では、東日本大震災の津波による被災状況を踏まえ、地域の防災機能の確保を図る観点から、従来の飛砂・風害などの災害防止機能に加え、津波に対する被害軽減効果も考慮した海岸防災林の復旧・再生を検討し、平成 24 年 2 月に「今後における海岸防災林の再生について」⁴⁾としてとりまとめている。この中で、平野部など林帯幅が確保できる箇所では、林帯幅の確保やそれに加え人工盛土の造成により必要な機能を確保するとし、無害化された再生資材などの有効利用を示している。また、福島県は津波被災地の復興まちづくりの一環として、平成 24 年 11 月に「福島県防災緑地計画ガイド

ライン」⁵⁾を作成し、防災緑地の計画、設計および整備を行う際の基本的な考え方をとりまとめている。

図-3.8 に海岸防災緑地に石炭灰混合材料を適用するイメージを、図-3.9 に林野庁が示した海岸防災林再生の将来像をそれぞれ示す。防災緑地に適用する盛土部は、飛砂などから背後の林帯を保全する効果、津波エネルギーを減衰し幹折れ被害を抑制する効果を求められることから、適用する石炭灰混合材料としては、破碎材あるいは造粒材を使用するのが望ましい。

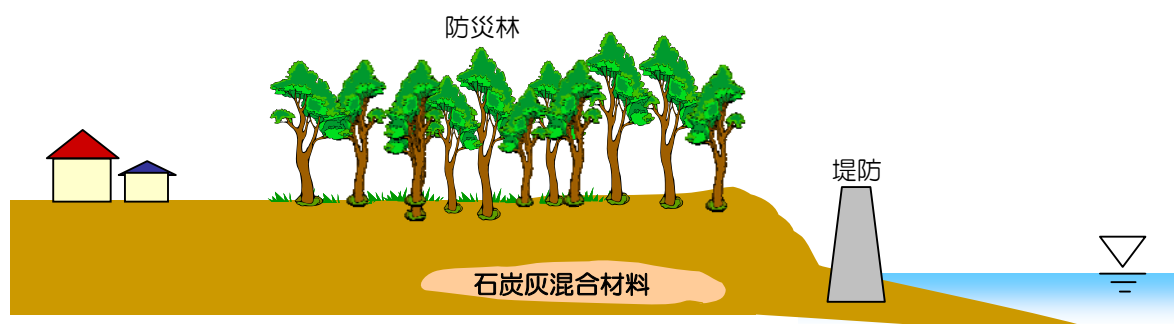


図-3.8 防災緑地への適用イメージ

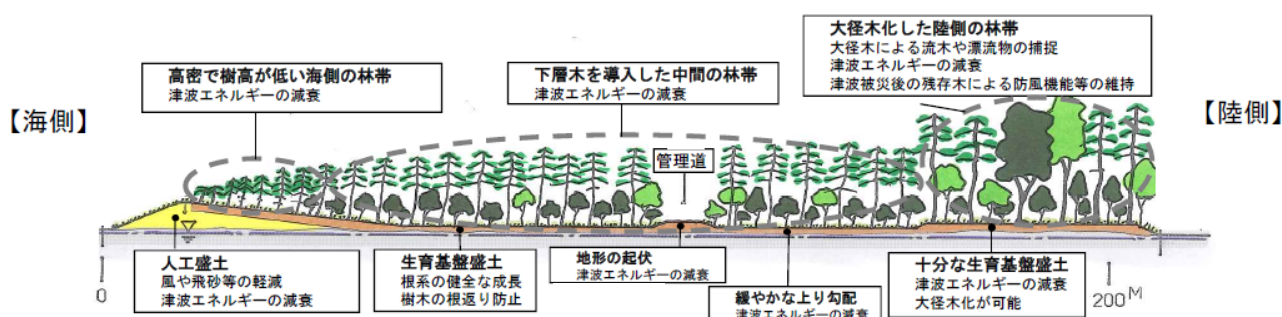


図-3.9 海岸防災林再生のイメージ（将来像）⁴⁾

(2) 適用可能な石炭灰混合材料

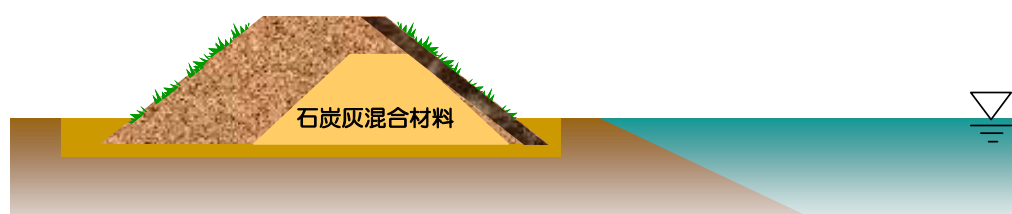
防災緑地に適用する石炭灰混合材料としては破碎材および造粒材が考えられ、いずれも石炭灰の発生場所である石炭火力発電所構内またはその近傍で製造されることが多い。破碎材はフライアッシュに水・セメント・石膏を加え混合して製造した原材料を、締固め・養生乾燥・掘削・破碎して塊状に加工するものである。一方、造粒材はフライアッシュに水、セメント、添加剤等を混合し造粒した製品を養生・保管したものである。これらの石炭灰混合材料は、対象構造物の機能、特性等を踏まえて要求性能を確認し、セメント添加量を変化させることによって固化体としての強度を調整することができる。

3.2.5 河川堤防

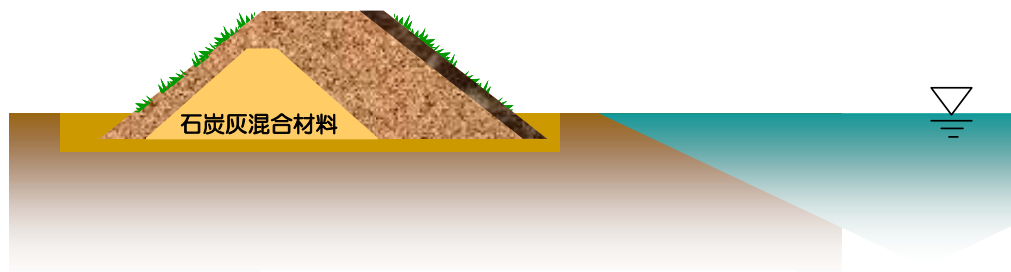
(1)適用イメージと適用時のメリット

石炭灰混合材料は盛土・築堤に適用する母材（浚渫土砂や現場発生土砂）に石炭灰を混合して製造するため、堤体全体を軽量化することができ、盛土・築堤の支持地盤にかかる荷重を低減することが可能となる。このため、軟弱地盤上でも沈下量が低減されるだけでなく、盛土・築堤断面を経済的に設計することができる。また、石炭灰混合材料は石炭灰が長期的なポズラン反応を有することから固化後に強度増加が期待でき、耐侵食性の向上が期待できる。

図-3.10 に石炭灰混合材料の河川堤防への適用イメージを示す。同図に示すように、河川堤防への適用においては、堤体の構造面から石炭灰混合材料の透水係数に応じて配置する必要がある。すなわち、表のり面へ適用する場合は低い透水性が要求され、裏のり面へ適用する場合は高い透水性が必要となる。



(a) 表のり面への適用イメージ



(b) 裏のり面への適用イメージ

図-3.10 河川堤防への適用イメージ

(2)適用可能な石炭灰混合材料

河川堤防に適用する石炭灰混合材料としては破砕材および造粒材が考えられ、いずれも石炭灰の発生場所である石炭火力発電所構内またはその近傍で製造されることが多い。破砕材はフライアッシュに水・セメント・石膏を加え混合して製造した原材料を、締固め・養生乾燥・掘削・破砕して塊状に加工するものである。一方、造粒材はフライアッシュに水、セメント、添加剤等を混合し造粒した製品を養生・保管したものである。これらの石炭灰混合材料は、対象構造物の機能、特性などを踏まえて要求性能を確認し、セメント添加量を変化させることによって固化体としての強度を調整することができる。

3.2.6 道路盛土・鉄道盛土

(1) 適用イメージと適用時のメリット

石炭灰混合材料を道路盛土・鉄道盛土に適用する場合には、基本的には通常の土工材料を用いる場合と同様の検討を行う。すなわち、盛土の基礎地盤が安定していること、盛土（路体）自体が安定であることと、路床は通行荷重等を支えられる強度を有していることといった基本的事項は、通常の道路・鉄道盛土設計と同様である。

石炭灰混合材料の適用でメリットが期待できる場合としては、以下が考えられる。

- ・通常の土工材料は不足するが、石炭灰混合材料の調達可能な現場
- ・側方土圧の低減でメリットが生じる場所（擁壁背面など）
- ・鉛直荷重の低減でメリットが生じる場所（軟弱地盤上の盛土など）
- ・透水性の向上でメリットが生じる場所（サンドドレーンや裏込材への適用など）
- ・施工性の向上でメリットが生じる場所（軽量性、高流動性の活用、トラフィカビリティの確保等）
- ・水質改善、凍上抑制等の付随効果でメリットが生じる場所

石炭灰混合材料は、通常の土工材料に比べて優位な点があるが、コストや調達性等を総合的に検討する必要がある。

表-3.4 に道路盛土への石炭灰混合材料の適用性を、表-3.5 に軟弱地盤における道路盛土施工時の石炭灰混合材料の適用性を示す。

表-3.4 道路盛土への石炭灰混合材料の適用性



: 石炭灰混合材料適用箇所

分類	概略図	石炭灰混合材料の適用性	石炭灰混合材料を適用する際の留意点
(1) 標準構造		破砕材、造粒材、クリンカアッシュは、土砂の代わりとして利用可能。	- 安定勾配は、表-3.3 参照。 - 粒径がそろった造粒材の場合、締固め特性に留意が必要。灰デックビーズのように優れた締固め性能を有する材料もある。
(2) のり面被覆・拡幅盛土	①厚さ 30～50cm 程度の土羽 ②拡幅構造 ③ダンプ走行が困難な単粒砂を盛土する場合などで、工事用道路を兼ねた構造	- まさ土、山砂、しらす等ののり面浸食を受けやすい材料の被覆として石炭灰混合材料の適用が可能。 - 盛土拡幅の際にも適用可能。	のり面植生への適合性の確認が必要（保水力や pH 等の確認。クリンカアッシュは一般的に多孔質で、保水性に優れた材料もある）
(3) 互層構造		トラフィカビリティ確保のための材料、もしくはのり面表層部の排水材として透水性の良い材料（クリンカアッシュや造粒材など）を適用可能。	排水層として用いる場合は、盛土内の排水が可能のように厚さ、長さ、勾配等を検討する。具体的設計方法は NEXCO 設計要領「1-7 排水処理」等を参照。
(4) 地下水処理構造		石炭灰混合材料のうち透水性の良い材料を適用可能である。	湧水量や湧水箇所などを考慮して、適切な仕様の排水層を設計する必要がある。
(5) 擁壁構造 (腰積構造)		- 擁壁への荷重低減として軽量材を適用可能。 - 流動性材料（スラリー材など）であれば、裏込め充填の施工性にも優れる。	適用する材料の単位体積重量、内部摩擦角等を確認し、擁壁の設計を行う必要がある。
(6) 凍上対策		- 凍上抑制層の材料品質（参考文献¹⁾、4-5-1 凍上抑制層の材料品質などを参照）を満足する材料を適用する。 - フライ・クリーンは、凍上抑制材に適した材料として商品化されている。	具体的設計手法は、参考文献^{1), 2)}等を参照のこと。

参考) 設計要領第一集 土工編⁶⁾、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、平成 22 年 7 月、第 2 章 盛土「1-2 盛土の構造」

表-3.5 軟弱地盤における道路盛土施工時の石炭灰混合材料の適用性



：石炭灰混合材料適用箇所

分類	概略図	石炭灰混合材料の適用性	石炭灰混合材料を適用する際の留意点
(1) 沈下抑制対策	軽量材による荷重低減	荷重低減として軽量材を適用可能。	- 適用する材料の単位体積重量などを確認し、沈下検討を行う必要がある。 - 具体的設計手法は、参考文献^{1)~3)}等を参照のこと。
(2) 周辺地盤変位の抑制	軽量材による荷重低減	荷重低減として軽量材を適用可能。	- 適用する材料の単位体積重量などを確認し、変位を評価する必要がある。 - 具体的設計手法は、参考文献^{1)~3)}等を参照のこと。
(3) 沈下促進対策		サンドマットおよびサントドレーンとして透水性の良い材料（クリンカアッシュや造粒材など）を適用可能	具体的設計手法は、参考文献^{1)~3)}等を参照のこと。
(4) 表層改良		軟弱地盤の表層改良として透水性の良い材料（クリンカアッシュや造粒材など）を適用可能	施工性向上対策（トラフィカビリティ向上）としても考えられる。
(5) 基礎地盤のすべり防止	軽量材による荷重低減	- 荷重低減として軽量材を適用可能。 - 内部摩擦角が大きい材料を適用することによってもすべり抑制効果が期待できる。	- 適用する材料の単位体積重量、内部摩擦角等を確認し、安定検討を行う必要がある。 - 具体的設計手法は、参考文献^{1)~3)}等を参照のこと。
(6) 液状化対策		クリンカアッシュ (Hiビーズ) は、SCP 用材料として商品化されている。	具体的設計手法は、参考文献^{1)~3)}等を参照のこと。

参考) 設計要領 第一集 土工編⁶⁾、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、平成 22 年 7 月、5 章 軟弱地盤上の盛土

(2) 適用可能な石炭灰混合材料

道路盛土・鉄道盛土に適用する石炭灰混合材料は、盛土・敷設する基盤の強度・地盤特性などを踏まえて、破碎・造粒材またはスラリー材・塑性材（含水比調整材）のいずれかとして使用する。

3.2.7 橋脚基礎

(1)適用イメージと適用時のメリット

河川河口部等において橋脚を建設する際の石炭灰混合材料（石炭灰スラリー材）の適用イメージを図-3.11に示す。同図に示すように、石炭灰混合材料（スラリー材）は橋梁人工島築造時の中詰材および橋台背面の裏込材としての活用が期待される。このうち中詰材として利用する場合は、石炭灰スラリーが固化後に自立するため側圧を低減でき仮締切りなどの工事規模を低減することが期待できる。一方、橋台背面の裏込材として利用する場合は、同様に側圧低減効果により側方変位の防止、橋台断面の低減が期待できるほか、沈下による段差の抑制、滑り破壊の防止が可能となる。

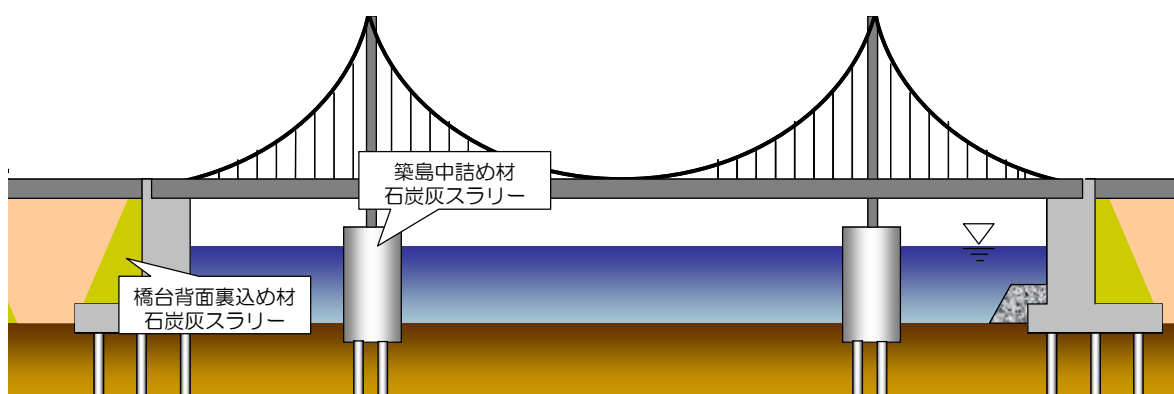


図-3.11 橋脚・橋台背面への適用例

(2)適用可能な石炭灰混合材料

橋脚人工島中詰材や橋台背面に裏込め・埋立てに適用する石炭灰混合材料は、対象構造物の機能、特性等を踏まえて石炭灰混合材料に求める要求性能を確認し、フライアッシュ、水、セメントもしくはフライアッシュ、水、セメント、浚渫土砂（現場発生土）として計画するかを検討する。さらに石炭灰混合材料の性状をスラリーとするか、塑性材とするかは施工条件や設計条件によって決定する。石炭灰混合材料（スラリー材）を製造する場所が制限されるため、石炭灰混合材料（スラリー材）を使用する現場で製造するか発生元である火力発電所内で製造し運搬するかを判断する。

3.2.8 土地造成

(1)適用イメージと適用時のメリット

(a) 盛土材としての利用（図-3.12）

石炭灰混合材料（破碎材、造粒材）は自然土と比べて乾燥密度が小さいため（破碎材、造粒材の乾燥密度 $1.1 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ 、自然土の乾燥密度 $1.4 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ ）、砂質土、礫質土の代替材料として用いることで盛土の自重を軽くすることができる。これにより、造成盛土の基礎地盤の圧密沈下量を低減させることができる。

(b) 宅地擁壁の裏込め材としての利用 (図-3.13)

石炭灰混合材料(破砕材、造粒材)を用いて締め固めた土は、自然土と比べて乾燥密度が小さく、締め固め特性が良好で内部摩擦角が大きい。破砕材、造粒材を宅地擁壁の裏込め材として用いることにより、軽量性および良好な締め固め特性による土圧の低減が期待される。また、透水係数が $1.0 \times 10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ cm/s}$ 程度で透水性は良好であることから、擁壁背面の地下水の排水を妨げることはない。

(c) 暗渠の埋戻し材としての利用 (図-3.14)

石炭灰混合材料(破砕材、造粒材)を用いて締め固めた土は、排水性が良好である(透水係数 $1.0 \times 10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ cm/s}$ 程度)。これらの性質を利用して、破砕材、造粒材を暗渠の埋戻し材として用いることにより、地震時の暗渠周りの過剰間隙水圧を低減させ、液状化による暗渠の浮き上がり破壊を防止することができる。

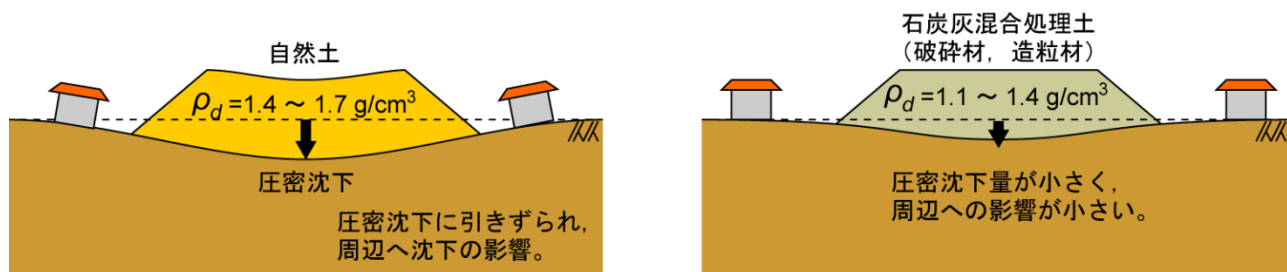


図-3.12 盛土材としての適用イメージ

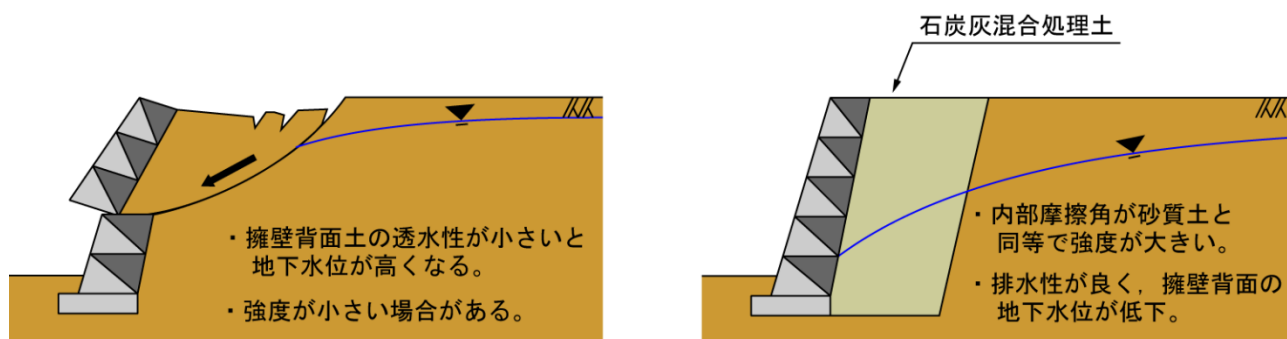


図-3.13 宅地擁壁の裏込め材としての適用イメージ

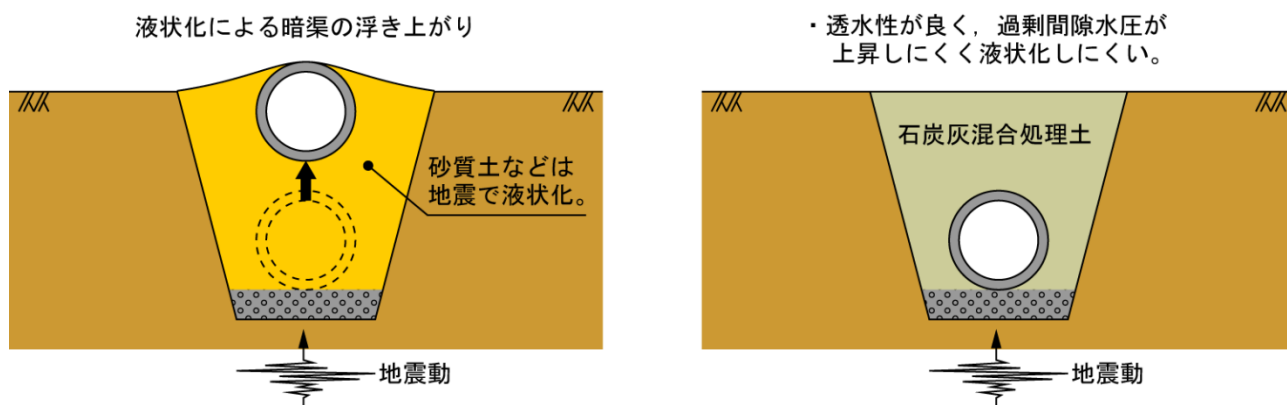


図-3.14 暗渠の埋戻し材としての適用イメージ

(2)適用可能な石炭灰混合材料

土地造成に適用する石炭灰混合材料としては土砂代替として適用する破砕材・造粒材が考えられ、対象構造物の機能、特性等を踏まえて石炭灰混合材料に求める要求性能を確認して決定する必要がある。

3.2.9 地盤補強

(1)適用イメージと適用時のメリット

(a) 砕石パイル材としての利用（破砕材；図-3.15）

破砕材は粒径をコントロールして、砕石と同様に用いることができる。破砕材のスレーキング率は15%以下で、宅地地盤内の地下水の上下による乾湿繰返し作用による粒子破砕性は小さい。破砕材を砕石パイルの中詰材として用いることにより、地震時における過剰間隙水圧の上昇を抑制することにより宅地被害の低減が期待される。

ただし、本工法は砕石パイルを宅地地盤内に築造することになるため、雨水が宅地地盤内に容易に浸透することとなる。そのため、本工法の適用は、地盤の排水性が十分に確保されており、かつ、地盤内の地下水位変動が宅地地盤の安定性に影響を与えない箇所に限定される。

(b) 補強土壁裏込材としての利用（破砕材；図-3.16）

破砕材を用いて締め固めた土は、自然土と比べて乾燥密度が小さく、締め固め特性が良好で、内部摩擦角が大きい。破砕材を補強土壁の裏込材として用いることにより、軽量性ならびに良好な締め固め特性による土圧の低減、および補強材の引抜き抵抗の増加が期待される。

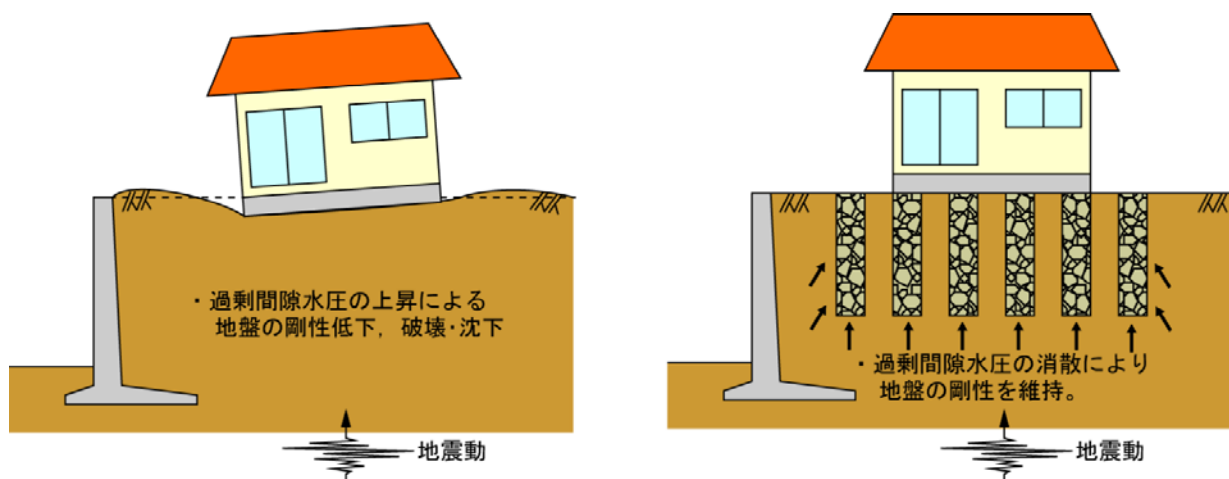


図-3.15 砕石パイル材としての適用イメージ

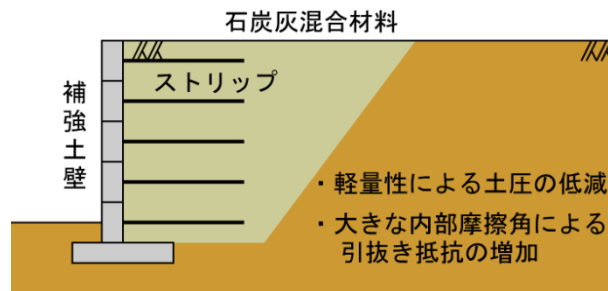


図-3.16 補強土壁裏込材としての適用イメージ

(2)適用可能な石炭灰混合材料

地盤補強に適用する石炭灰混合材料としては土砂代替として適用する破碎材・造粒材が考えられ、対象構造物の機能、特性等を踏まえて石炭灰混合材料に求める要求性能を確認して決定する必要がある。

3.2.10 海岸域のかさ上げ（海岸公園など）

(1)適用イメージと適用時のメリット

津波や高波対策として海岸公園や防砂林などで沿岸部の標高を上げることがあるが、その盛土材として石炭灰混合材料を用いることで、自然土の使用量を抑制することが可能である。この場合、直接的に降水に曝されることが無い盛土中詰材として使用することも可能である。

図-3.17 に、これらの適用イメージを示す。



図-3.17 海岸公園・防砂林の中詰材としての適用イメージ

(2)適用可能な石炭灰混合材料

海岸公園に適用する石炭灰混合材料は、土砂代替として適用する破碎材・造粒材が考えられ、対象構造物の機能、特性等を踏まえて石炭灰混合材料に求める要求性能を確認して決定する必要がある。

3.2.11 軟弱地盤施工時の対応

(1) 適用イメージと適用時のメリット

(a) 軟弱地盤での施工時の塑性材（含水調整材）としての利用（塑性材；図-3.18）

地下水位が高い軟弱地盤などでは、重機のトラフィカビリティーに問題が生じる場合がある。含水量の多い土に石炭灰とセメントを混ぜて作られる「塑性材」は、土の含水比を調整して扱いを容易にすることが可能である。

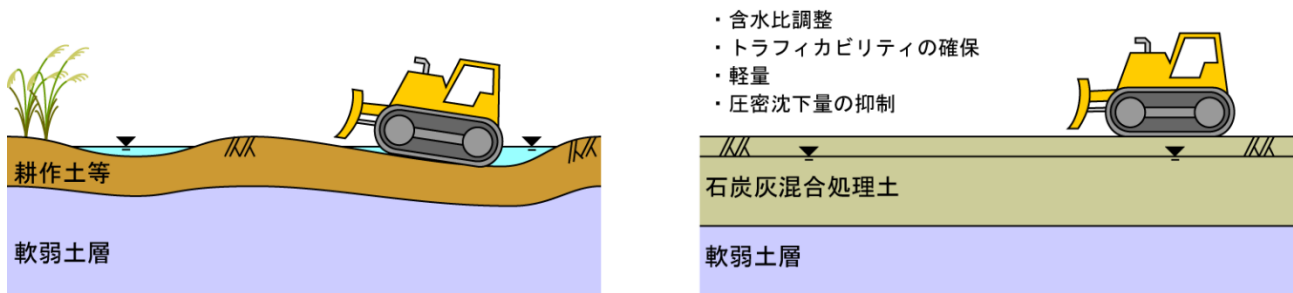


図-3.18 標高ゼロメートル地帯の表層土の含水比調整材としての適用イメージ

(b) サンドマット、グラベルマットとしての利用（破碎材、造粒材；図-3.19）

破碎材、造粒材を、高含水比の原地盤とかさ上げ盛土材との間に挟みこむことにより、原地盤からの圧密排水を促し、施工期間を短縮できる。さらに、原地盤内に鉛直方向にも破碎材、造粒材を配置することで、原地盤の圧密完了時間も短縮することができる。

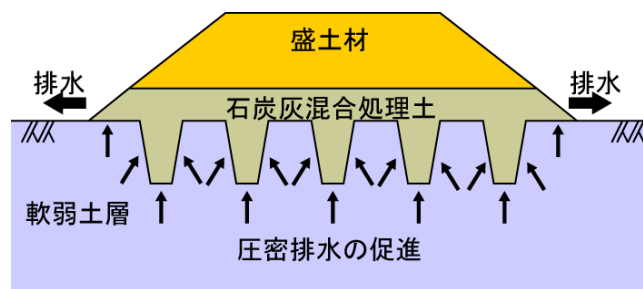


図-3.19 サンドマット、グラベルマットとしての適用イメージ

(2) 適用可能な石炭灰混合材料

海岸部嵩上げに適用する石炭灰混合材料は、盛土・敷設する基盤の強度・地盤特性などを踏まえて、破碎・造粒材またはスラリー材・塑性材（含水比調整材）のいずれかとして使用する。

3.3 設計

3.3.1 港湾・河川工事における設計方法

(1) 護岸・岸壁、防潮堤

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」⁷⁾、「港湾工事共通仕様書」⁸⁾および「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」⁹⁾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」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) 防波堤基礎

防波堤の設計基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁷⁾、「港湾工事共通仕様書」⁸⁾および「防波堤の耐津波設計ガイドライン」¹⁰⁾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」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。

(3) 河川堤防

河川堤防の設計は「河川堤防設計指針」¹¹⁾、「河川土工マニュアル」¹²⁾および「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）」¹³⁾に従い、河川堤防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。

(4) 防災緑地

適用する設計基準は一般的な盛土の場合と同様とし、「河川堤防設計指針」¹¹⁾、「河川土工マニュアル」¹²⁾および「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）」¹³⁾を準拠して、防災緑地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。

3.3.2 道路盛土（一般盛土部）における設計方法

(1) 盛土（路床、路体）

(a) 標準構造

①概要

道路盛土は、舗装・路床・路体の全体として交通荷重を支持するために必要な支持力を有し、安定を保つ必要がある。表-3.6 に示すように、石炭灰混合材料のうちほとんどの材料が盛土材料として適用可能である。ただし、土砂代替材か、アッシュクリート Type II のようにコンクリート代替材かを考慮して、適用性を検討する必要がある。コンクリート代替材は、固化後は変形への追従性はないため、軟弱地盤上の盛土などでは注意が必要である。

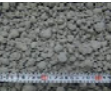
材料特性は、基本的には製造者が示す値を用いることが考えられるが、設計のためにより詳細な材料特性が必要な場合は適宜、調査・試験を行う。

路床は、通常の土工材料を用いる場合と全く同様に、通行荷重などを支えられる強度を有している必要がある。また、舗装工事時などの大型施工機械のトラフィカビリティを確保する必要がある。路床材としての強度評価は CBR 試験で行う。

②設計上の検討項目

通常の土工材料の盛土の安定検討と同様に、石炭灰混合材料を盛土に用いる場合も、表-3.3 に示す標準勾配で判断できる場合には特段の安定計算は必要ないと考えられるが、材料の締固め特性や基礎地盤の状況も考慮して、安定性、施工性を確認する必要がある。

表-3.6 盛土材料としての一般的分類（標準のり面勾配¹⁴⁾ など）

種別・種類			写真（例）	商品名	盛土材料としての分類
フライアッシュ	土砂代替材	破砕材		頑丈土破砕材 J-アッシュ 輝砂 FRC	粒度の良い砂 (S)
		造粒材		Hi ビーズ ゼットサンド 灰テックビーズ フライクリーン	粒度の良い砂 (S) 砂質土 (SF)
	塑性材			アッシュクリート Type II ソマッシュ	28 日圧縮強度 5~8 (N/mm ²)
	スラリー材			FC スラリー F スラリー	固化した状態で盛土を構成する。
クリンカアッシュ	クリンカ混合物 クリンカアッシュ			クリンカ混合土 ライトサンド	粒度の良い砂 (S)

盛土材料	盛土高 (m)	勾配	概要
粒度のよい砂 (S)	5m以下	1: 1.5~1: 1.8	基礎地盤の支持力が十分にあり、浸水の影響のない盛土に適用する () 内の統一分類は代表的なものを参考に示す
礫および細粒分混じり礫 (G)	5~15m	1: 1.8~1: 2.0	
粒度の悪い砂 (SG)	10m以下	1: 1.8~1: 2.0	
岩塊 (ずりを含む)	10m以下	1: 1.5~1: 1.8	標準のり面勾配の範囲外の場合は安定計算を行う
	10~20m	1: 1.8~1: 2.0	
砂質土 (SF) 硬い粘質土 硬い粘土	5m以下	1: 1.5~1: 1.8	
	5~10m	1: 1.8~1: 2.0	
火山灰質粘性土 (V)	5m以下	1: 1.8~1: 2.0	

注) 盛土高は、のり肩とりのり尻の高低差をいう

圧縮強度等を考慮して、盛土材としての適性を検討する。

表-3.4 に示すような場合は、別途安定検討が必要である。設計定数等を設定して安定検討を行うことについては、通常の土工材料を用いた場合と同様である。

なお、表-3.6、表-3.7 いずれの場合も排水対策や施工時および完成後の品質管理は必須であり、これも通常の盛土と同様である。

表-3.7 安定検討を要する高規格道路盛土の例

区分	例
盛土自体の条件	・ 高盛土 ・ のり面勾配が一般的な安定勾配よりも急な場合 など
基礎地盤や周辺の条件	・ 軟弱地盤（沈下、盛土のすべり、地震時の液状化等の懸念がある場合） ・ 地すべり地 ・ 近接構造物（鉄道、建築物など）への影響が懸念される場合 など

図-3.20 に、石炭灰混合材料を道路盛土に適用する場合の設計・施工フローの例を示す。

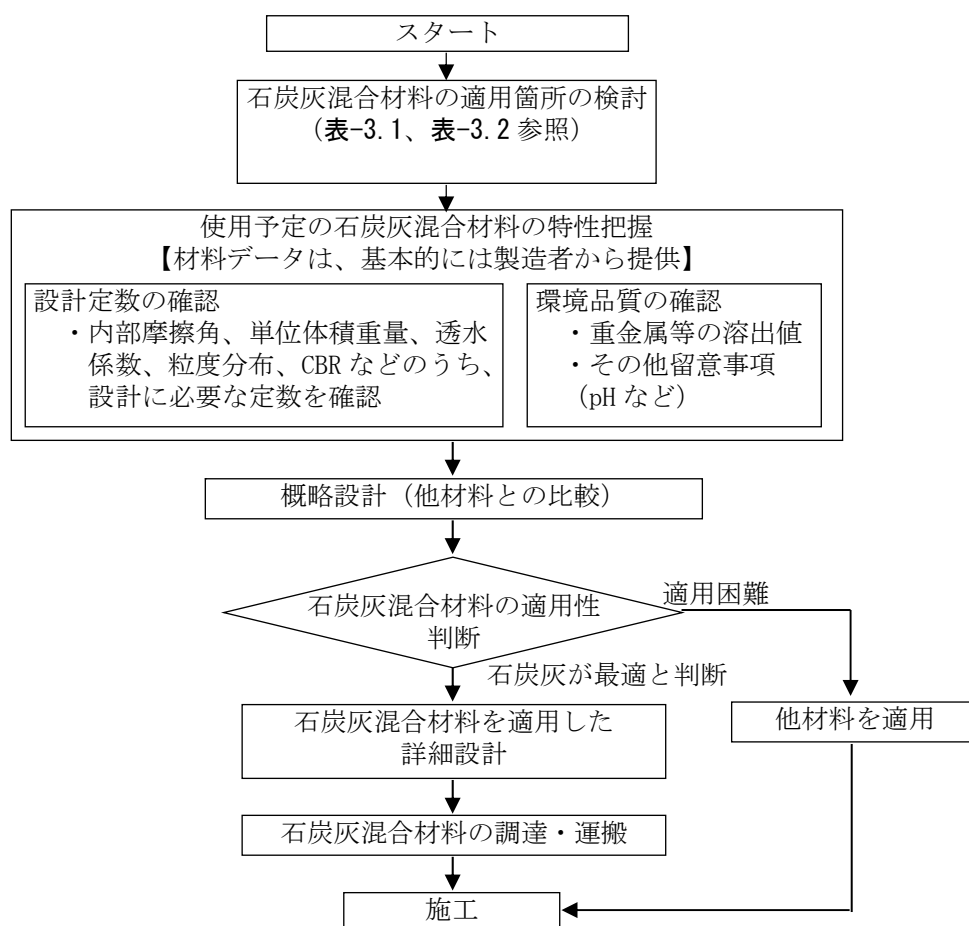


図-3.20 道路盛土に石炭灰混合材料を適用する場合の設計・施工フロー（例）

(b) のり面被覆・拡幅構造

①概要

路体にまさ土、山砂、しらす等ののり面浸食を受けやすい材料を用いた場合、図-3.21 に示すように被覆として石炭灰混合材料を適用することが考えられる。また、盛土拡幅の際にも石炭灰混合材料の適用が可能である。

材料としては、クリンカアッシュや造粒材などが考えられる。被覆として用いる場合、pH および保水性など、のり面植生への適合性の確認が必要である。クリンカアッシュは一般的に多孔性で透水性に優れるとともに保水力にも優れ、植生基材としても適用できる可能性がある。植生によっては pH の影響を受けやすいものもあるため、材料の pH も含めて適用性を検討する必要がある。

②設計上の検討項目

基礎地盤の沈下、安定および既設盛土との接続部の安定性（水みちなどにならないように配慮）を含め、盛土全体としての安定性の確認が必要である。

また、土羽や拡幅盛土の締固め方法などの施工性も考慮した設計が必要である。石炭灰混合材料に限らず、拡幅幅や形状によっては機械ではなく人力による締固めが必要となることにも配慮する必要がある。

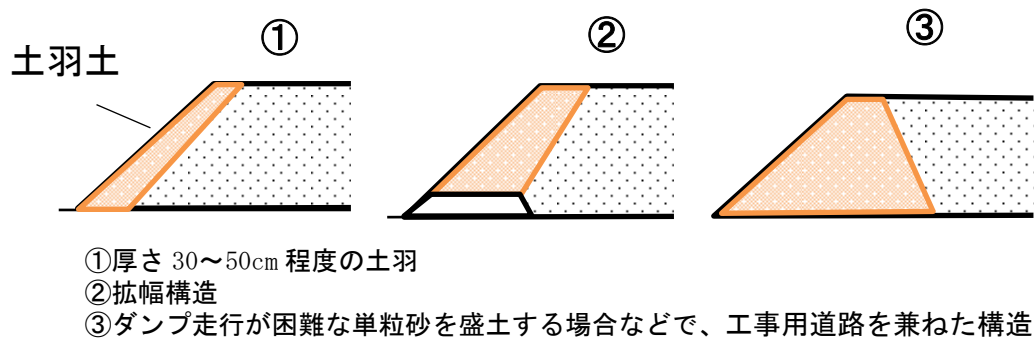


図-3.21 のり面被覆・拡幅盛土のイメージ図

(c) 互層構造

①概要

施工時のトラフィカビリティ確保や、盛土内の排水、のり面表層部の排水材として、図-3.22 に示すように透水性の良い材料を適用することが可能である。材料としては、クリンカアッシュや造粒材などが考えられる。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いる場合も、通常の砂質排水材料を用いる場合と同様の設計が可能である。

排水層として用いる場合は、盛土内の排水が可能のように厚さ、長さ、勾配等を検討する。具体的設計方法は、NEXCO 設計要領⁶⁾「第5章軟弱地盤上の盛土 1-7 排水処理」などを参照のこと。

施工時のトラフィカビリティ確保の目的であれば、敷設範囲や厚さなどは現場状況に応じて対応

することが考えられる。現地の地盤状況などをもとにトラフィカビリティの低下が予測される場合は、あらかじめ材料を準備しておく必要がある。

材料の透水係数は、あらためて透水試験で確認することも考えられるが、粒径 D_{20} からの推定（クレーガーによる透水係数の推定方法）や、製造会社が提供した値を用いることも考えられる。

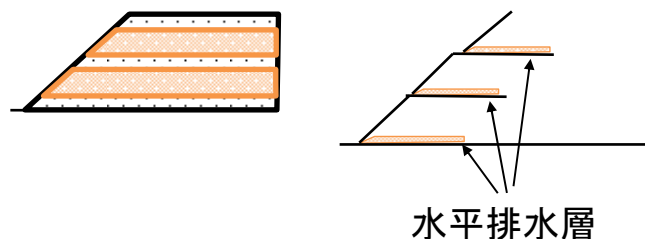


図-3.22 互層構造のイメージ図

(d) 地下水処理構造

①概要

前項の互層構造と同様に、盛土内の排水、のり面表層部の排水材として、

図-3.23 に示すように透水性の良い材料を適用することが可能である。材料としては、クリンカアッシュや造粒材などが考えられる。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いる場合も、通常の砂質排水材料を用いる場合と同様の設計が可能である。

切土面などからの湧水など、具体的に排水が必要な箇所を特定できる場合は、その箇所に重点的に排水層を設置することが考えられる。また、水位上昇により盛土の安定性が低下する場合には、効率的に水位低下できるように排水層を設置する。

具体的設計方法は、NEXCO 設計要領⁶⁾「第5章軟弱地盤上の盛土 1-7 排水処理」などを参照のこと。

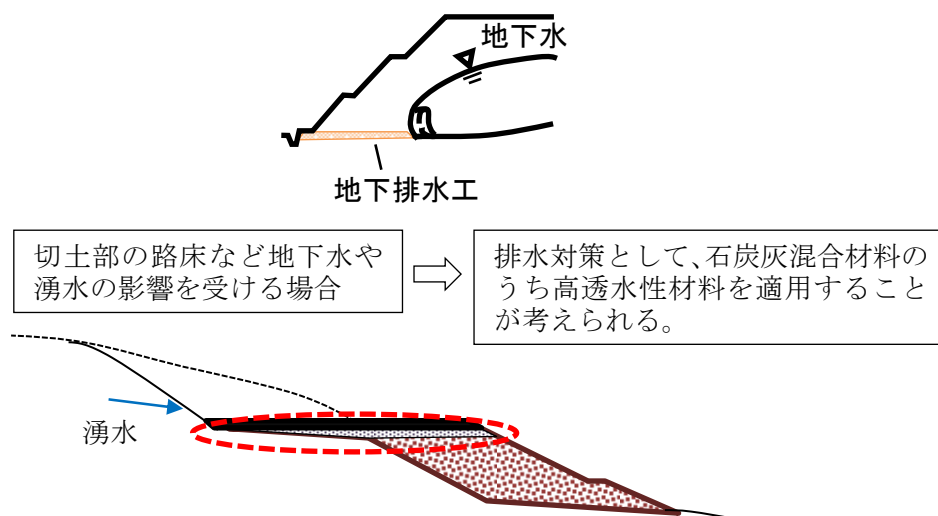


図-3.23 地下水処理構造のイメージ図

(e) 擁壁などの裏込め

①概要

擁壁への荷重低減として図-3.24に示すように軽量材料を用いることが考えられる。擁壁の裏込め材には、以下の特性を持った材料が望ましい。

- ・ 軽量（土圧低減、沈下抑制、施工性向上）
- ・ 締固め特性良好（施工性向上、側方土圧低減）
- ・ 非圧縮性（裏込め材自体の沈下を防止）
- ・ 良好な透水性（排水）

石炭灰混合材料のうち、破砕材、クリンカアッシュ、造粒材、スラリー材等の適用が考えられる。

また、橋台背面部等の裏込め盛土は狭隘部の施工となる場合が多く、大型重機による締固めが困難な場合もある。フライアッシュモルタル等の流動性を有する材料が最適となる可能性もある。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いる場合も、通常の軽量材料を用いる場合と同様の設計が可能である。

破砕材、クリンカアッシュは、自然土と比べて乾燥密度が小さく締固め特性が良好で、内部摩擦角を大きく設定できる可能性がある。これらを擁壁の裏込め材として用いることにより、軽量性および良好な締固め特性による土圧の低減が期待される。また、一般的に透水係数が $1.0 \times 10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/s 程度で透水性は良好なため、擁壁背面の排水を妨げることが無いように適用することが可能である。

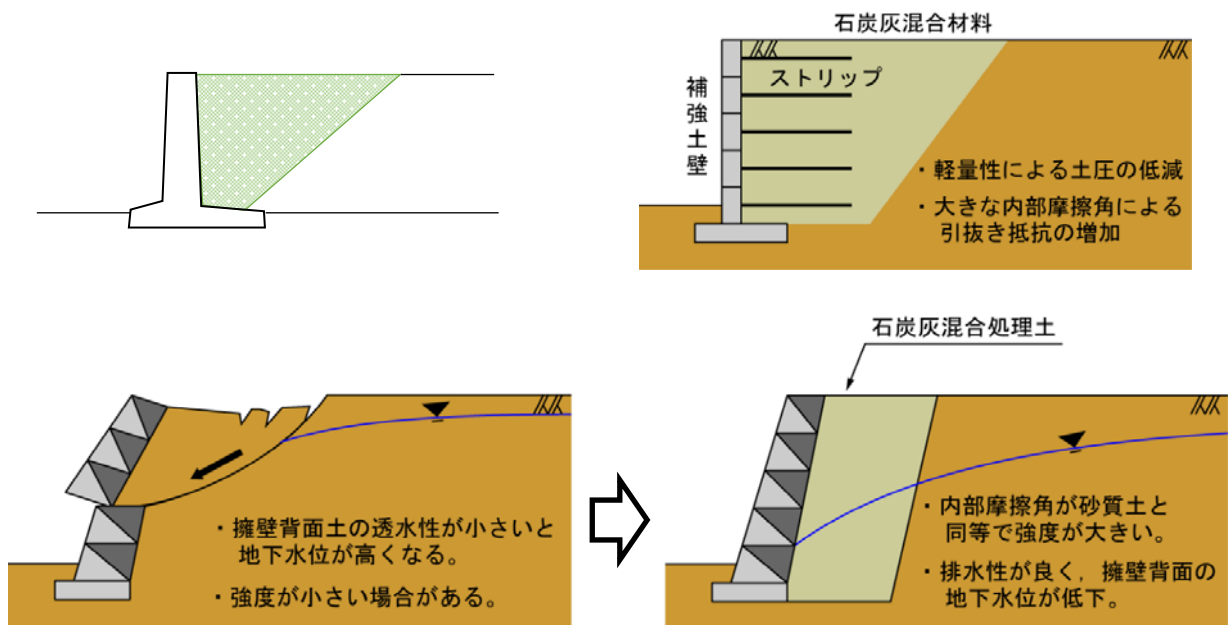


図-3.24 擁壁構造のイメージ図

(f) 凍上対策

①概要

図-3.25 に示すように寒冷地における凍上対策として石炭灰混合材料を用いることが可能で、北海道でクリンカアッシュの適用実績がある。また、フライクリーンは凍上抑制に適した材料として販売されている。他の石炭灰混合材料でも、表-3.8 に示す凍上抑制層の材料品質を満足するものであれば適用できる可能性がある。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いる場合も、通常の凍上抑制材料を用いる場合と同様の設計が可能である。

具体的設計方法は NEXCO 設計要領⁶⁾「第2章盛土 4-5 凍上対策」などを参照のこと。

表-3.8 凍上抑制層の材料品質¹⁾

項目		材料の品質
最大粒径		各部位の規定による
粒度	砂	75 μ m ふるい通過質量が全試料の 6%以下
	切込砂利	75 μ m ふるい通過質量が 4.75mm 通過質量の 9%以下
	切込碎石	75 μ m ふるい通過質量が 4.75mm 通過質量の 15%以下
	火山灰、砂質土・火山礫	75 μ m ふるい通過質量が全試料の 20%以下で、強熱減量（土の強熱減量試験方法 JIS A 1226 による）が 4%以下であり、かつ風化の徴候がなく、排水性が良好なもの

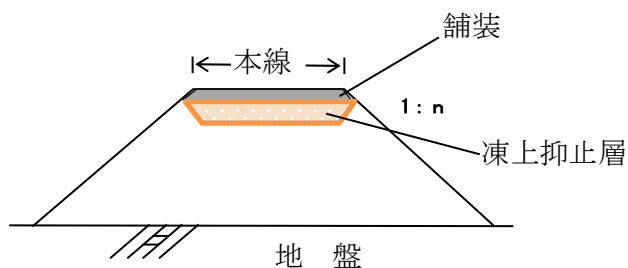


図-3.25 凍上対策のイメージ図

3.3.3 道路盛土（軟弱地盤）における設計方法

(1) 沈下抑制対策

①概要

軟弱地盤上の盛土における沈下抑制対策として、図-3.26 に示すように石炭灰混合材料のうち軽量材料を用いることが考えられる。石炭灰混合材料のうち、通常の土工材料よりも軽量であれば適用可能である。破碎材、造粒材は自然土と比べて単位体積重量が小さいため（破碎材、造粒材の乾燥密度は、材料により異なるが概ね $1.1 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ 程度が多い）、砂質土、礫質土の代替材料として用いることで盛土の自重を軽くすることができる。これにより、盛土の基礎地盤の圧密沈下量を低減させることができる。

単位体積重量は各材料で異なるため、設計で考慮する必要がある。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いて沈下抑制対策を行う場合も、通常の軽量材料を用いる場合と同様の設計が可能である。

具体的設計方法はNEXCO 設計要領⁶⁾「第2章 7 軽量盛土工法、第5章軟弱地盤の盛土 3-6-9 軽量盛土」等を参照のこと。

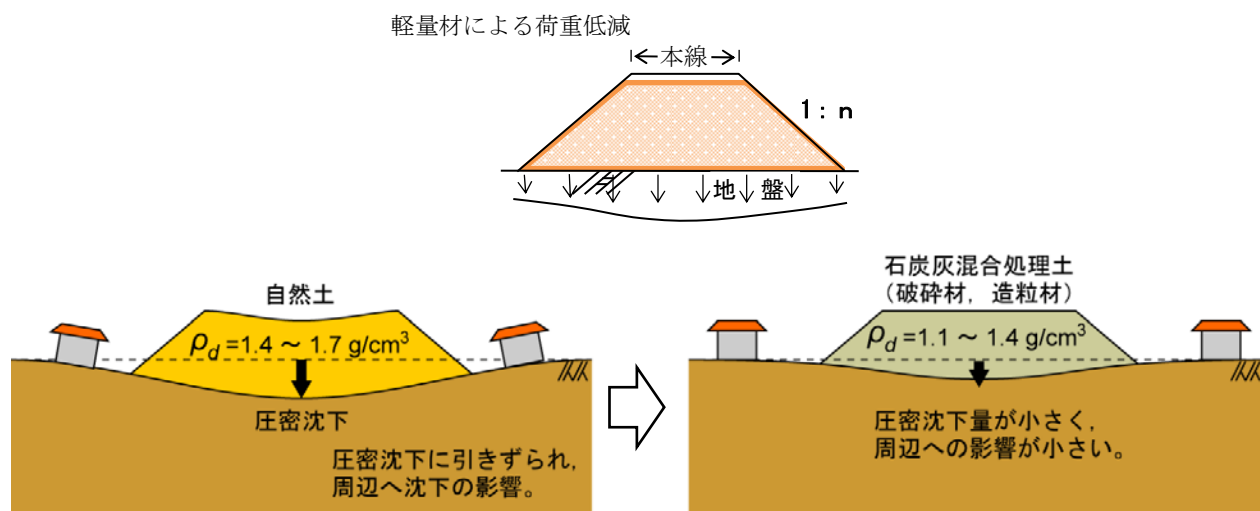


図-3.26 盛土材としての適用イメージ

(2) 周辺地盤の変位抑制対策

①概要

沈下抑制対策と同様に、軟弱地盤上の盛土における変位抑制対策として、図-3.27 に示すように石炭灰混合材料のうち軽量材料を用いることが考えられる。石炭灰混合材料のうち、通常の土工材料よりも軽量であれば適用可能である。破碎材、造粒材は自然土と比べて単位体積重量が小さいため（破碎材、造粒材の乾燥密度は、材料により異なるが概ね $1.1 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ 程度）、砂質土、礫質土

の代替材料として用いることで盛土の自重を軽くすることができる。これにより、盛土の基礎地盤の変形を低減させることができる。

単位体積重量は各材料で異なるため、設計で考慮する必要がある。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いて沈下抑制対策を行う場合も、通常の軽量材料を用いる場合と同様の設計が可能である。

具体的設計方法はNEXCO 設計要領⁶⁾「第2章 7 軽量盛土工法、第5章軟弱地盤の盛土 3-6-9 軽量盛土」等を参照のこと。

軽量材による荷重低減

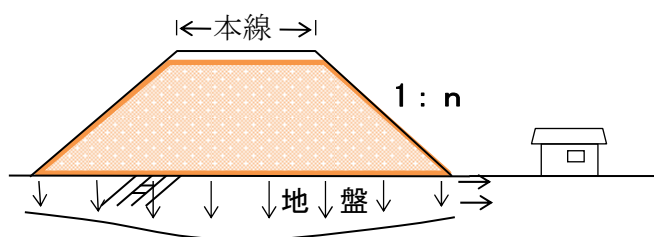


図-3.27 周辺地盤の変位抑制対策の適用イメージ

(3) 沈下促進対策

①概要

軟弱地盤上の盛土における沈下促進対策として、図-3.28 に示すように石炭灰混合材料のうちクリンカアッシュやフライアッシュ造粒材等の透水性の良い材料をサンドドレーンに適用することが考えられる。

②設計上の検討項目

基本的には通常のサンドドレーンの設計手法と同様である。

設計手法は、NEXCO 設計要領⁶⁾「第5章軟弱地盤の盛土 3-6-6 バーチカルドレーン工法」などを参照のこと。

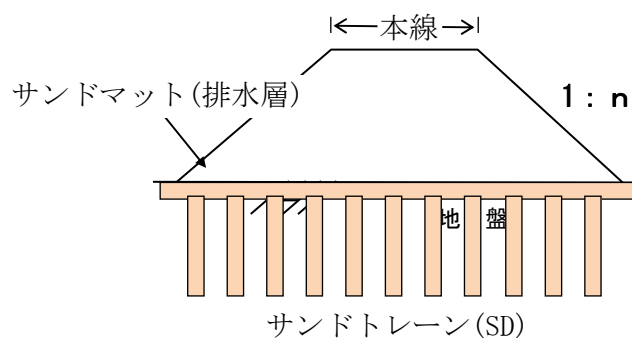


図-3.28 沈下促進対策の適用イメージ

(4) 表層改良（トラフィカビリティ向上など）

①概要

軟弱地盤の表層改良（トラフィカビリティ向上など）のため、図-3.29 に示すように石炭灰混合材料を用いることが考えられる。石炭灰混合材料のうち、排水性が良好なクリンカアッシュや造粒材などの適用が考えられる。

②設計上の検討項目

トラフィカビリティ向上の対応は仮設的に施工する場合も多い。軟弱地盤が存在する場合は、適用可能な石炭灰混合材料（透水性が良い材料）を準備しておき、地盤状況を確認しながら適宜対応することが考えられる。

表層処理工法として設計する場合の設計手法は、NEXCO 設計要領⁶⁾「第5章軟弱地盤の盛土 3-6-2 表層排水工法」等を参照のこと。

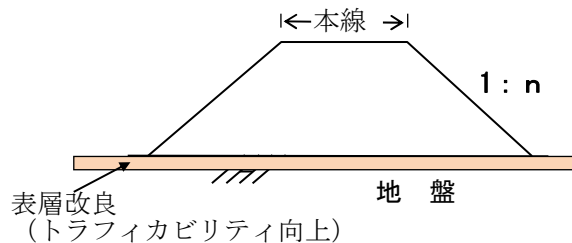


図-3.29 施工時のトラフィカビリティ向上の適用イメージ

(5) 基礎地盤のすべり防止

①概要

軟弱地盤上の盛土におけるすべり対策として、図-3.30 に示すように石炭灰混合材料のうち軽量材料を用いることが考えられる。石炭灰混合材料のうち、通常の土工材料よりも軽量であれば適用可能である。破碎材、造粒材は自然土と比べて単位体積重量が小さいため（破碎材、造粒材の乾燥密度は、材料により異なるが概ね $1.1 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ 程度が多い）、砂質土、礫質土の代替材料として用いることで盛土の自重を軽くし、盛土のすべりを防止することができる。

単位体積重量、内部摩擦角は各材料で異なるため、設計で考慮する必要がある。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いて沈下抑制対策を行う場合も、通常の軽量材料を用いる場合と同様の設計が可能である。

具体的設計方法は NEXCO 設計要領⁶⁾「第2章 1-5 盛土の安定検討および対策、第2章 7 軽量盛土工法」等を参照のこと。

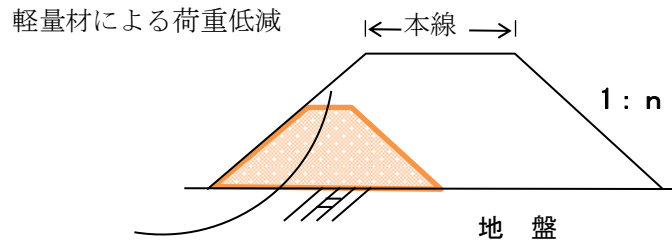


図-3.30 基礎地盤のすべり防止としての適用イメージ

(6) 液状化対策

①概要

液状化の可能性がある軟弱地盤上の盛土における対策の選択肢としてサンドコンパクションパイル（SCP）が考えられるが、図-3.31 に示すようにその材料として石炭灰混合材料を用いることが考えられる。材料としてクリンカアッシュを適用することが考えられ、例えば Hi ビーズは SCP にも適した材料として商品化されている。

②設計上の検討項目

石炭灰混合材料を用いて沈下抑制対策を行う場合も、通常の SCP と同様の設計が可能である。

具体的設計方法は NEXCO 設計要領⁶⁾「第 5 章 3-6-7 コンパクションパイル工法」などを参照のこと。

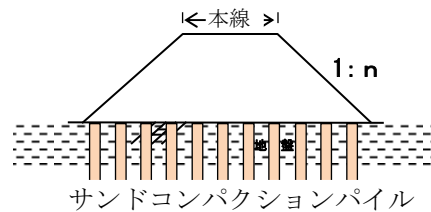


図-3.31 サンドコンパクションパイル工法の適用イメージ

3.3.4 鉄道盛土における設計方法

鉄道の盛土材料として石炭灰混合材料を使用する場合は、「鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物）」などに示される方法と手順に準じて行う。

表-3.9 下層路盤材料の品質規格の概要

工法、材料	修正 CBR	一軸圧縮強さ	塑性指数
粒状路盤材料、クラッシャーラン等 ^{※1}	20%以上 ^{※2}	—	6 以下 ^{※2}
セメント安定処理 ^{※3}	—	材齢 7 日で 1.0MPa 以上	—
石灰安定処理 ^{※3}	—	材齢 10 日で 0.7MPa 以上	—

※1 表の項目以外に所定の粒度が必要となる。

※2 簡易舗装の場合は、修正 CBR10%以上、塑性指数 9 以下

※3 簡易舗装の場合は規格なし

3.3.5 土地造成工事、地盤補強、海岸公園、海岸部嵩上げにおける設計方法

造成宅地地盤に関する設計指針として、表-3.10 に示すようなものがある。造成宅地は市民の生活の場となるものであるから、環境への影響を十分に検討する必要がある。

海岸公園においては、石炭灰混合材料を中詰材として用いる場合の具体的な設計指針は、現在のところ明文化されたものは無いが、公園および遊歩道、自転車道としての供用に耐えうる支持力を持たせるべく、適切な締固め管理を行う。供用後に構造物に加わる荷重状況を鑑みると、一般的な造成宅地地盤と同等の締固め管理を行うことで、十分な地盤品質を確保することができると考えられる。

また、海岸域における土地のかさ上げについても、基本的には一般的な造成宅地の設計と同じである。

表-3.10 土地造成に関連する技術指針例

技術指針等名称	編集者名	発行所
被災宅地復旧技術マニュアル(暫定版) H16.12	新潟県、国土交通省	
宅地造成等規制法の解説 H6.7	(社)日本建築士会連合会	(株)東洋社
宅地造成等規制法施行令第15条に基づく建設大臣認定擁壁図集 H6.7	(社)全国宅地擁壁技術協会	(株)ぎょうせい
宅地擁壁復旧技術マニュアルの解説 H8.12	宅地防災研究会	(株)ぎょうせい
宅地防災マニュアルの解説 H10.5	宅地防災研究会	(株)ぎょうせい
宅地防災マニュアル事例集 H5.2	(社)日本宅地開発協会	(株)ぎょうせい
宅地土工指針(案) H20.4	独立行政法人 都市再生機構	
宅地耐震設計マニュアル(案) H20.4	独立行政法人 都市再生機構	
軟弱地盤技術指針 H20.4	独立行政法人 都市再生機構	
宅地擁壁設計・施工の留意点 H20.7	独立行政法人 都市再生機構	
補強土工法 H6.5 (鉄筋挿入による補強工法、網状鉄筋挿入工法)	補強土工法編集委員会	(公社)地盤工学会
土質工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準同解説 H6.10	グラウンドアンカー設計・施工基準同解説編集委員会	(公社)地盤工学会

3.4 施工

3.4.1 港湾工事における施工方法

(1) 護岸・岸壁

石炭灰混合材料の施工方法は破碎材・造粒材を用いる場合と、スラリー材・塑性材を用いる場合で異なる。すなわち、前者では石炭火力発電所内および近隣に設けた製造ヤードで石炭灰混合材料を製造し、施工位置に運搬するのが一般的となる。一方、後者は使用材料を工事施工場所に運搬し、現位置で石炭灰混合材料を製造して使用することが多い。

(2) 防波堤基礎

ここでは SCP への適用事例として、中部電力の SCP 工法用砂代替材の施工方法を示す。

図-3.32 に示すように、SCP 工法用砂代替材は石炭灰 85%とセメント 15%に適量の水を混合し、回転パン型造粒機で直径 5~20mm の粒状にした後、約 4 週間養生して強度の発現を図ったものである。写真-3.1 に材料の外観、表-3.11 に SCP 工法用砂代替材の材料特性例を示す。土粒子密度は約 $2.4\text{g}/\text{cm}^3$ 程度で通常の土粒子と同等であるが、単位容積重量（絶乾状態）は $947\text{kg}/\text{m}^3$ と通常の土質材料と比べて軽い材料である。しかし、スレーキングなどの粒子の細粒化は見られない。SCP の施工においては、通常の自然砂と同じである。

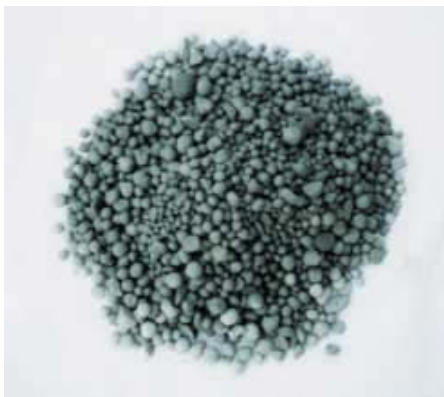


写真-3.1 SCP 工法用砂代替材

表-3.11 SCP 工法用砂代替材の材料特性例

項 目	物 性 値
土粒子密度 (g/cm^3)	2.366
単位体積重量 (kg/m^3)	947
自然含水比 (%)	15.5
吸水率 (%)	20.72
スレーキング率 (%)	-0.04

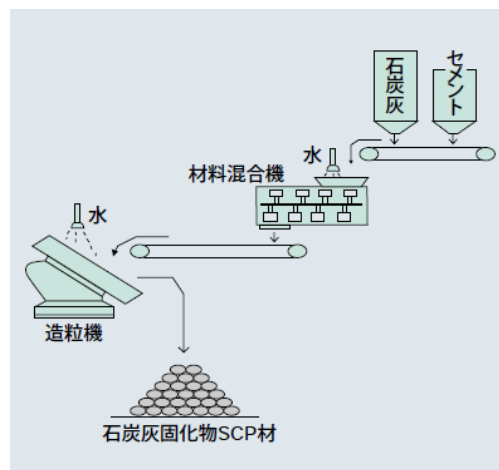


図-3.32 SCP 工法用砂代替材（石炭灰固化物 SCP 材）の製造方法

(3) 防潮堤

塑性材をローラ転圧により施工する場合と、振動締固めにより施工する場合に分けて、以下に記載する。

(a) ローラ転圧する場合

ローラ転圧の事例（ソマッシュ）の防潮堤の設計から施工までのフローを図-3.33 に、また、写真-3.2～3.5 に製造・運搬・施工状況を示す。

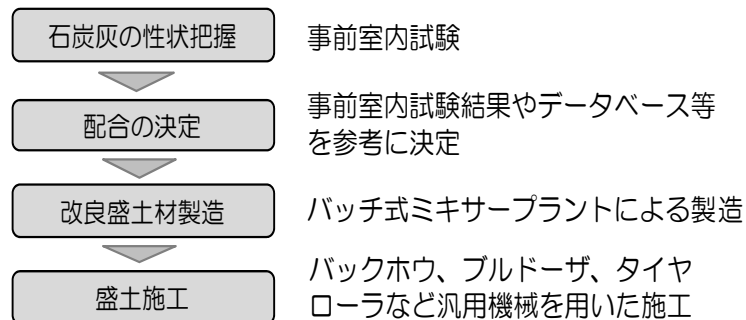


図-3.33 防潮堤への設計・施工フロー



写真-3.2 石炭灰混合材料製造プラント



写真-3.3 ダンプトラックによる運搬



写真-3.4 ブルドーザによる敷ならし



写真-3.5 タイヤローラによる締固め

(b)振動締固めする場合（アッシュクリート TypeⅡ）

図-3.34 に、防潮堤の設計から施工までのフローを示す。また、写真-3.6～3.8 に製造・運搬・施工状況を示す。

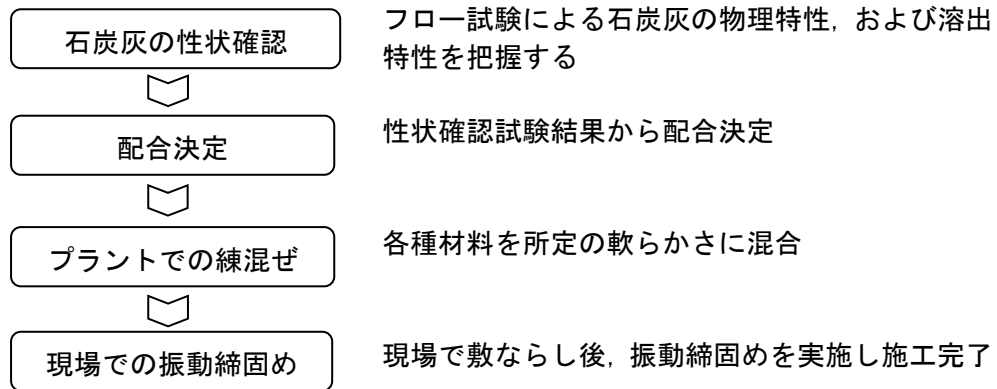


図-3.34 防潮堤への設計・施工フロー



写真-3.6 石炭灰混合材料製造プラント

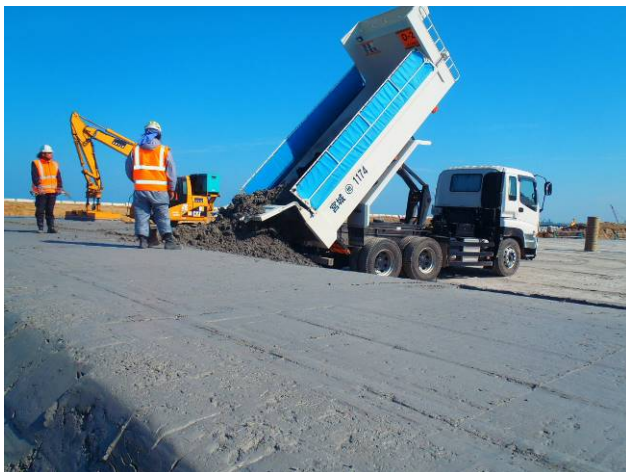


写真-3.7 ダンプによる運搬



写真-3.8 専用機器による振動締固め

3.4.2 河川工事における施工方法

(1)河川堤防における施工方法の例

図-3.35 に石炭灰混合材料（破碎材）の配合試験から計画、設計、施工までの全体の流れを示す。

品質管理としては、製造された石炭灰混合材料は破碎材と造粒材によって異なるが、破碎材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。造粒材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などで確認する。施工完了後の品質確認はチェックボーリングなどによる。

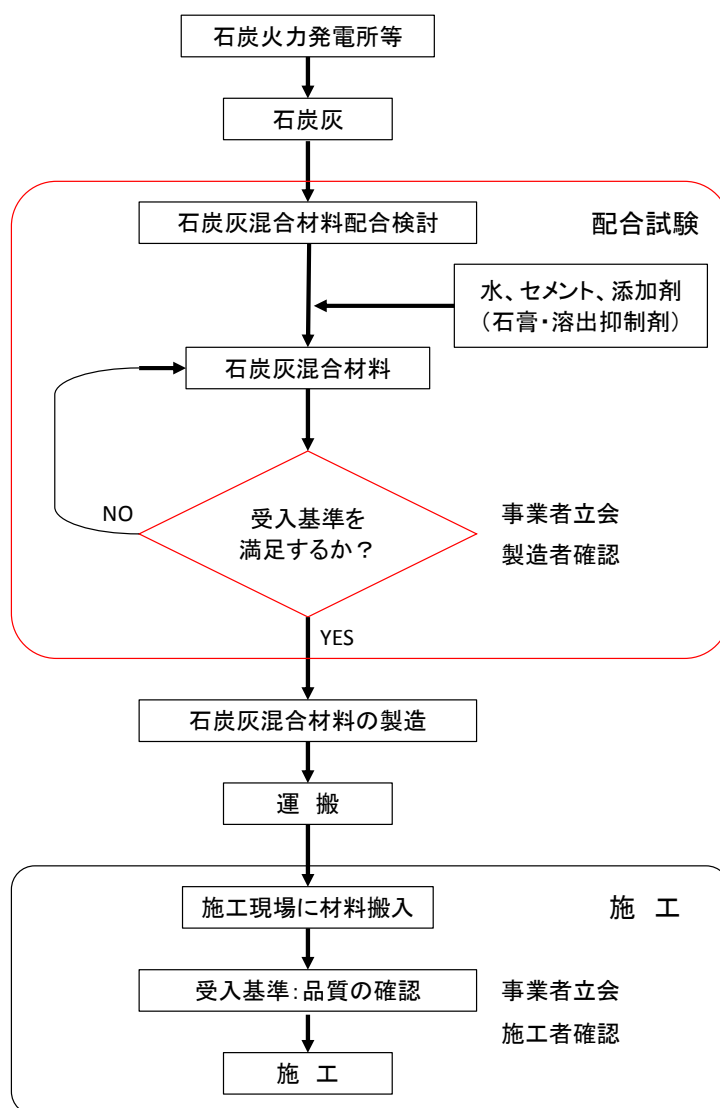


図-3.35 石炭灰混合材料の配合試験から計画、設計、施工までの全体フロー図

(2) 防災緑地（防潮林）における施工方法の例

図-3.36 に石炭灰混合材料（破砕材）の配合試験から計画、設計、施工までの全体の流れを示す。

防災緑地に適用する石炭灰混合材料としては破砕材および造粒材が考えられ、いずれも石炭灰の発生場所である石炭火力発電所構内またはその近傍で製造されることが多い。製造された石炭灰混合材料は破砕材と造粒材によって異なるが、破砕材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。造粒材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などで確認する。施工完了後の品質確認はチェックボーリングなどによる。また、環境リスクの観点からは、沿岸漁業など周辺環境への影響が生じないように検討すると共に、植栽や森林の生育に対して石炭灰混合材料が有害とならないように植栽基盤となる表土の厚さを配慮する必要がある。

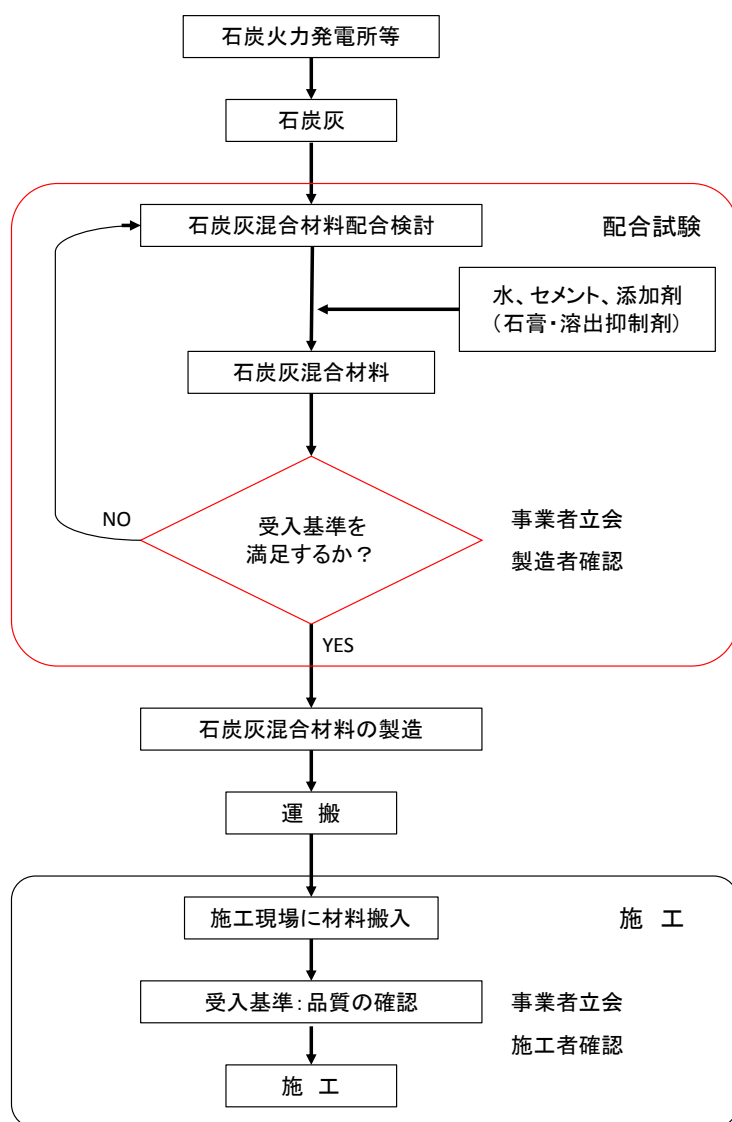


図-3.36 石炭灰混合材料の配合試験から計画、設計、施工までの全体フロー図¹⁵⁾

3.4.3 道路盛土・鉄道盛土における施工方法の例

図-3.37 に、石炭灰混合材料を道路盛土や鉄道盛土に適用するまでの設計・施工フローを示す。

道路盛土・鉄道盛土に適用する石炭灰混合材料は、盛土・敷設する基盤の強度・地盤特性などを踏まえて、破砕材・造粒材または塑性材のいずれかとして使用する。

施工方法として破砕材である J-アッシュの事例を紹介する。図-3.38 に仮設道路の断面図を示す。また、写真-3.9 に施工状況を示す。製造した石炭灰混合材料を現地にダンプ運搬した後、ブルドーザなどで敷ならしを行い、コンパインドローラなどで締め固めて盛土を築造する。

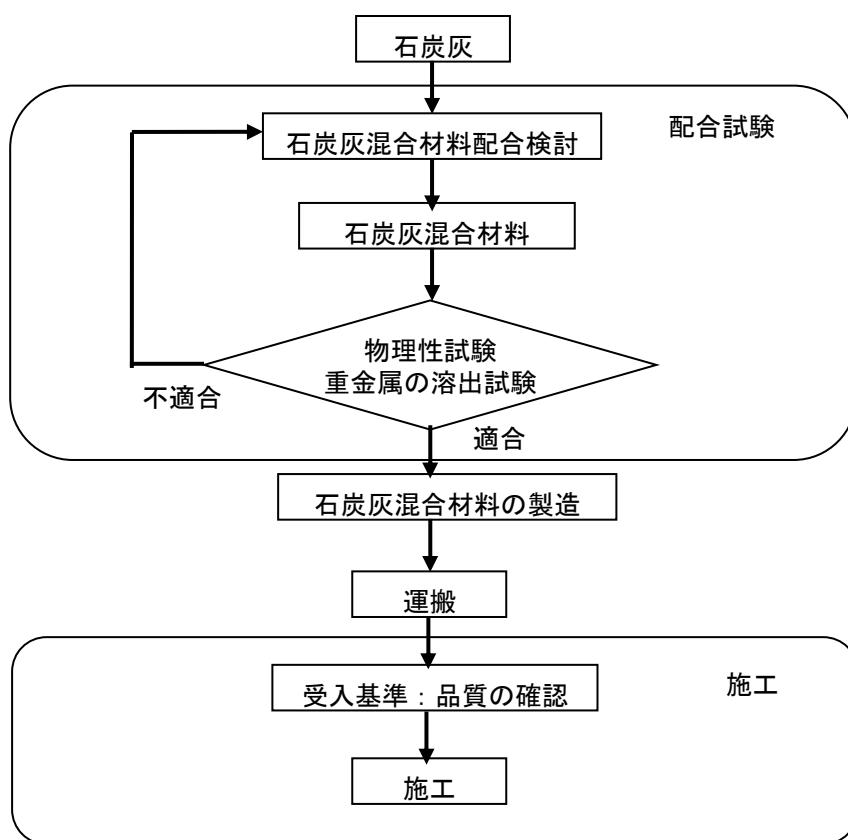


図-3.37 道路盛土・鉄道盛土への設計・施工フロー

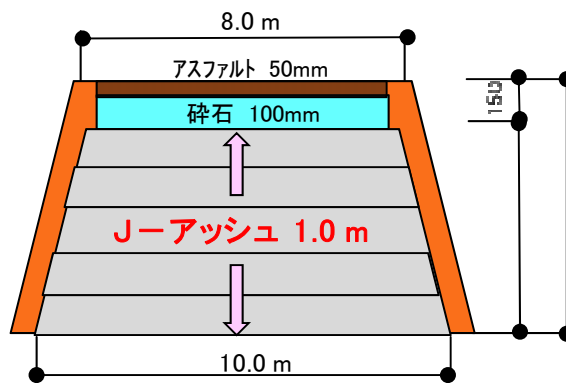


図-3.38 仮設道路の断面図（渡辺町県道）



復旧工事開始（H23. 7. 25 撮影）



J-アッシュ敷ならし状況（H23. 8. 5 撮影）



転圧完了状況（H23. 7. 29 撮影）



復旧完了の状況（H23. 8. 31 撮影）

写真-3.9 施工状況（渡辺町県道）

3.4.4 橋梁基礎（橋脚、橋台）

図-3.39 に石炭灰混合材料（スラリー）の配合試験から計画、設計、施工までの全体の流れを示す。同図において、基本計画は対象構造物の機能、特性など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・変形量などに対する許容値も構造物の種類や重要度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。

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差が発生する場合があるためである。

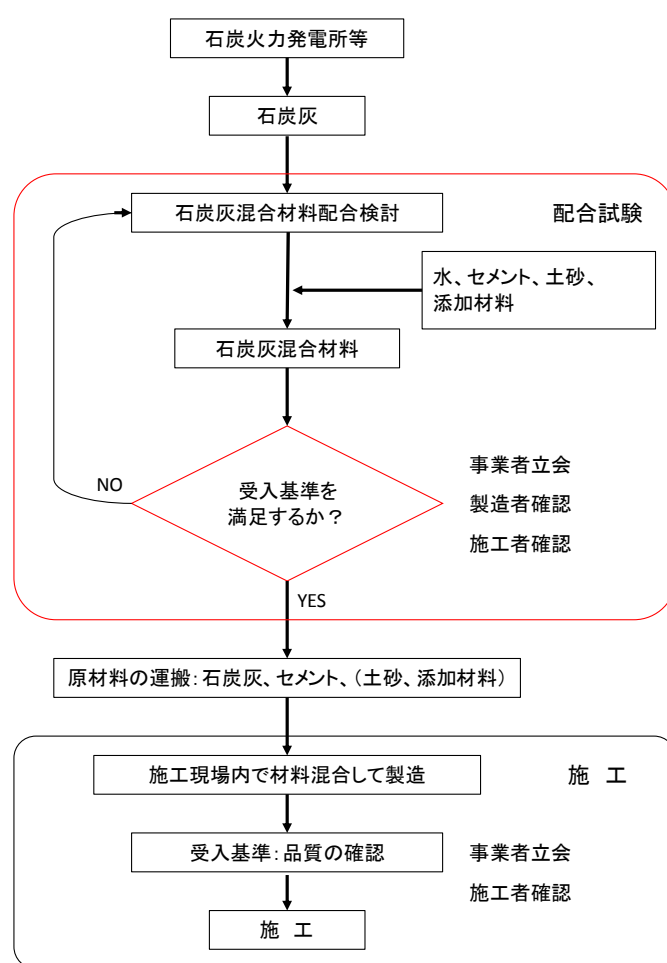


図-3.39 石炭灰スラリーの計画から施工までの流れ ¹⁵⁾

3.4.5 土地造成における施工方法の例

破砕材、造粒材は、通常の礫質土、砂質土と同様の取り扱いが可能である。また塑性材は、近隣のプラントで石炭灰、水、セメント等を混合した材料を、現場に運搬し締固めなどを行って施工する。いずれも表-3.10 に示す各指針を参考に、施工現場の状況に応じた施工を行う。

施工事例として、グラウンド整備工事の際、高さ 5.0m の擁壁の基礎地盤および擁壁裏込土として破砕材を利用した施工状況を紹介する。

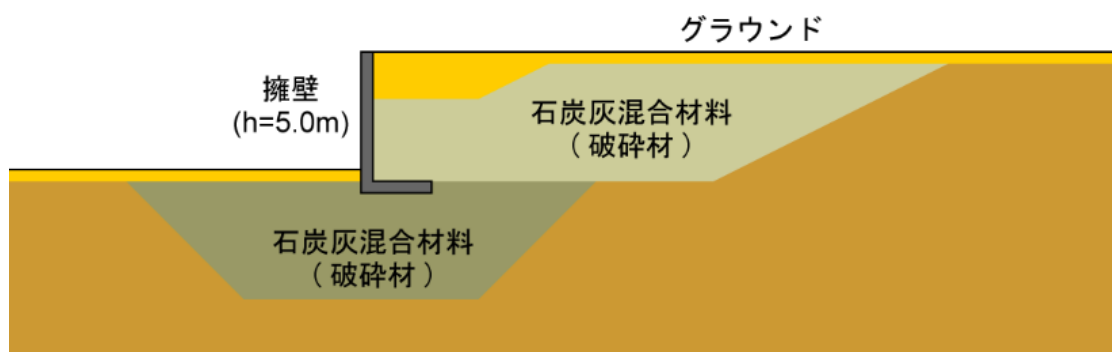


図-3.40 擁壁基礎地盤および擁壁裏込土としての適用（模式図）



写真-3.10 置換工施工状況(1)



写真-3.11 置換工施工状況(2)



写真-3.12 L型擁壁裏込施工状況(1)



写真-3.13 L型擁壁裏込施工状況(2)

3.5 土木二次製品の適用

3.5.1 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、被覆ブロックなど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-3.41 に防波堤における消波ブロック等の設置例を示す。

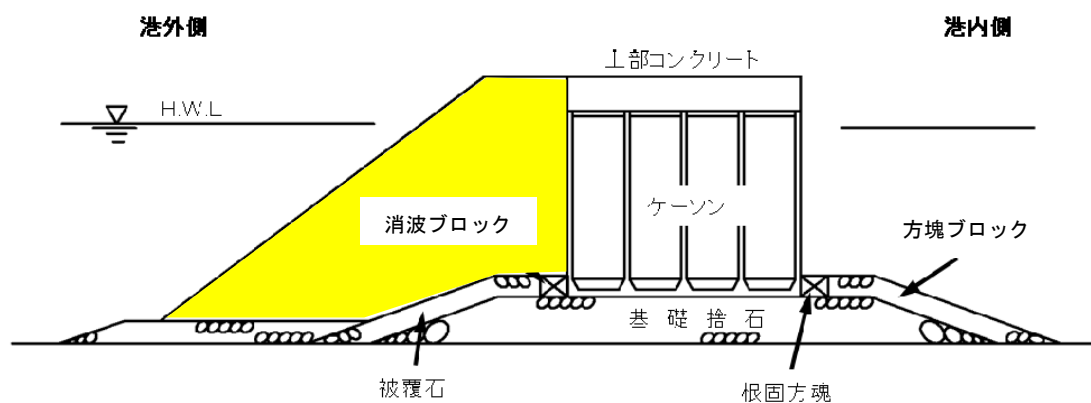


図-3.41 二次製品の適用イメージ図

3.5.2 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」⁷⁾、「港湾工事共通仕様書」⁸⁾および「防波堤の耐津波設計ガイドライン」¹⁰⁾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。

3.5.3 製造方法

新素材コンクリートとして、ネオ・アッシュクリートの事例を示す。ネオ・アッシュクリートは波力に抵抗するためスラグ骨材を混合して単位体積重量をコンクリート程度とした材料であり、通常の生コンクリートプラントなどで、混和材料として石炭灰を添加・混合して製造する。練上り後の打設などの取り扱いは通常の生コンクリートとほぼ同等である。適用製品としては、消波ブロック、被覆ブロック等に使用することが可能である。

3.5.4 施工方法の例

施工の流れは、図-3.42 に示したとおりである。

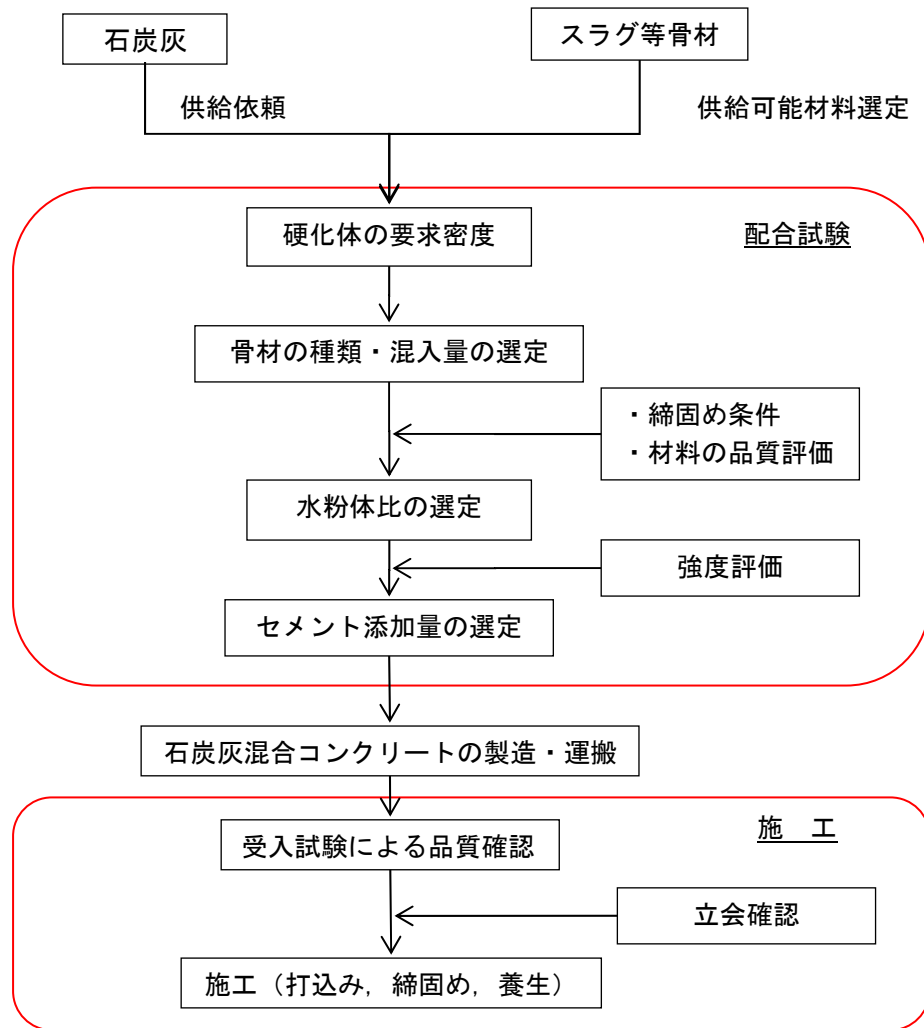


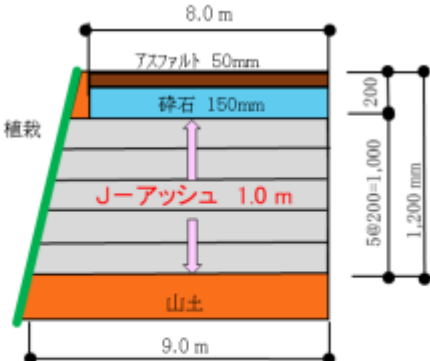
図-3.42 コンクリート系材料の材料選定から施工までのフロー

3.5.5 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。

3.6 施工事例

工事名称	県道「いわき石川線（上釜戸）」仮設道路
発注者(事業者)	福島県
施工業者	福島県内の建設会社
施工場所	福島県いわき市渡辺町上釜戸地内
施工時期	—
使用材料	J-アッシュ（破砕材）：石炭灰＋碎石＋セメント＋水
石炭灰混合材料使用量	3,600m ³
工事概要	東日本大震災において大規模地すべりでのり面が崩壊した県道の早期復旧用の仮設道路として、石炭灰混合材料を路体、路床に活用
施工状況写真等	8.0 m アスファルト 50mm 碎石 100mm J-アッシュ 1.0m 10.0 m 150 仮設道路の断面図 施工状況

工事名称	県道「いわき石川線（才鉢）」仮設道路
発注者(事業者)	福島県いわき建設事務所
施工業者	福島県内の建設会社
施工場所	福島県いわき市田人町才鉢地内
施工時期	－
使用材料	J-アッシュ（破砕材）：石炭灰＋碎石＋セメント＋水
石炭灰混合材料使用量	260m ³
工事概要	東日本大震災において大規模地すべりでのり面が崩壊した県道の早期復旧用の仮設道路として、石炭灰混合材料を路体、路床に活用
施工状況写真等	 仮設道路の断面図   施工状況

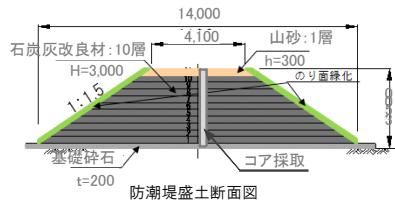
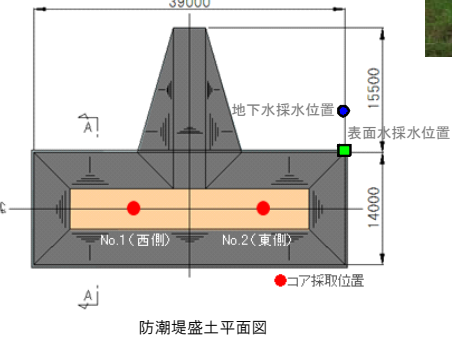
工事名称	小名浜港東港連絡橋陸上側（テールアルメ工法）道路
発注者（事業者）	国土交通省東北地方整備局小名浜港湾事務所
施工業者	福島県内の建設会社
施工場所	福島県小名浜港 3 号埠頭地内
施工時期	—
使用材料	J-アッシュ（破砕材）：石炭灰＋セメント＋水
石炭灰混合材料使用量	2,700m ³
工事概要	小名浜港 3 号埠頭のテールアルメ工法背面埋戻し材に石炭灰混合材料を使用
施工状況写真等	標準断面図 施工状況

工事名称	—
発注者(事業者)	—
施工業者	—
施工場所	山口県宇部市
施工時期	—
使用材料	ゼットサンド（造粒材）：石炭灰＋セメント＋水
石炭灰混合材料使用量	—
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し舗装を行う
施工状況写真等	材料まき出しかさ上げ状況 石炭灰混合材料（造粒材）築堤延長状況

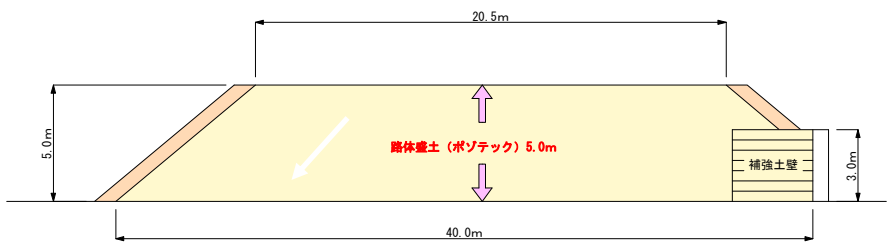
工事名称	国道バイパス工事
発注者(事業者)	国土交通省
施工業者	島根県内の建設会社
施工場所	島根県出雲市
施工時期	H19.6～H20.7
使用材料	ライトサンド（粗粒材：クリンカアッシュ）
石炭灰混合材料使用量	14,400m ³
工事概要	河川に架かる橋梁の橋台背面の埋戻と橋台とグラウンドレベルまでのすり付け盛土（下層路盤までの路体盛土）を行った。盛土下面が田地で軟弱であったため、深層混合による地盤改良を実施する予定であったが、盛土の剛性が高く、荷重分散効果が良いので、地盤改良が不要となった事例
施工状況写真等	【軟弱地盤上の盛土材】 効果：沈下軽減、盛土安定、側方変位抑制、 トラフィカビリティの確保 【路盤・路床材】 効果：路盤の安定 施工状況

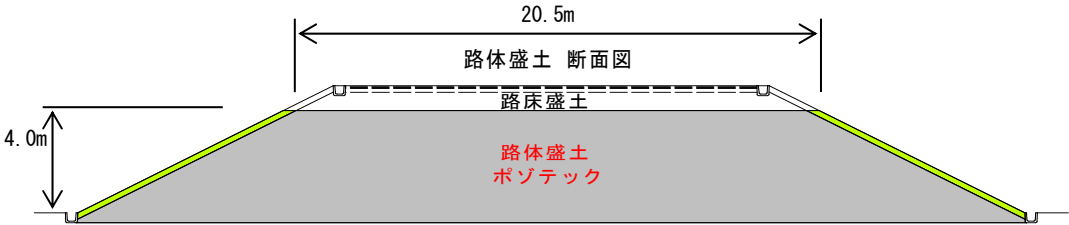
工事名称	豊平町道路工事（テールアルメ工）
発注者（事業者）	広島県
施工業者	広島県内の建設会社
施工場所	広島県豊平町
施工時期	H18.12～H19.2
使用材料	ライトサンド（粗粒材：クリンカアッシュ）
石炭灰混合材料使用量	2,200m ³
工事概要	補強土壁の裏込め材として、活用された事例。通常の土工材に比べて、軽量でせん断強度が高いこと（内部摩擦角が 35° 以上確保可能）により、鋼製のストリップ長の低減および床掘削削量の低減が可能となり、採用された事例。
施工状況写真等	【補強土壁の裏込め材】 効果：沈下軽減、盛土安定、側方変位抑制、 トラフィカビリティの確保、構造断面縮小、基礎の安定 施工状況

工事名称	盛土試験施工（試験施工）
発注者（事業者）	－
施工業者	株式会社安藤・間
施工場所	福島県相馬郡 相馬共同火力発電 新地発電所構内
施工時期	H25.1～H25.3
使用材料	アッシュクリート TypeⅡ（塑性材）
石炭灰混合材料使用量	424m ³
工事概要	火力発電所から発生する石炭灰に、セメント、水、脱硫石膏を添加してパッチャープラントにて製造する。石炭灰混合材料はダンプトラックにて運搬し、バックホウにて敷ならしを行った後、締固め専用機器で締め固めて盛土を造成する。
施工状況写真等	 バックホウによる敷ならし  専用機器による締固め  全 景

工事名称	防潮堤盛土実証試験（試験施工）
発注者（事業者）	—
施工業者	株式会社大林組
施工場所	福島県相馬郡 相馬共同火力発電 新地発電所構内
施工時期	H25.3～H25.5
使用材料	ソマッシュ（塑性体）：石炭灰＋セメント＋助材＋水
石炭灰混合材料使用量	1,100m ³
工事概要	石炭灰混合材料をプラントで製造し、施工場所に運搬し、ブルドーザで敷均した後、振動ローラーで転圧して堤体を構築した。盛土構築後、定期的に強度、溶出試験等のモニタリングを実施。
施工状況写真等	【施工手順】  バッチャープラント  ダンプトラックによる運搬  ブルドーザによる敷均し  コンバインドローラーによる締固め  防潮堤盛土断面図  防潮堤盛土平面図  ・長さ 39m、幅 14m、高さ 3.5m ・使用材料： - 石炭灰：1,600t（新生灰）、 - セメント 175t、助材 36t ・植生工（のり面緑化）

工事名称	福岡 208号永治地区改良3-2工区工事
発注者(事業者)	国土交通省 九州地方整備局 福岡国道事務所
施工社	堤工業 株式会社
施工場所	福岡県三池郡高田町大字黒埼開地先
施工時期	H. 17. 7～H18. 3
使用材料	ポゾテック
施工数量	18,100m ³
工事概要	本工事は、一般国道208号有明海沿岸道路事業（大牟田高田道路）の一環として、道路改良工事の施工に伴い、ポゾテックを路体盛土材として使用。
施工状況写真	 搬入荷降ろし状況  転圧状況  敷均し状況  転圧完了 

工事名称	福岡 208 号 昭和開地区改良 3 - 1 工区工事
発注者(事業者)	国土交通省 九州地方整備局 福岡国道事務所
施工社	株式会社 鍋田土木
施工場所	福岡県大牟田市昭和開地先
施工時期	H17.4～H18.3
使用材料	ポゾテック
施工数量	17,600m ³
工事概要	本工事は、一般国道 208 号有明海沿岸道路事業（大牟田高田道路）の一環として、道路改良工事の施工に伴い、ポゾテックを路体盛土および補強土壁盛土材として活用。
施工状況写真	 有明海沿岸道路の断面図  施工状況

工事名称	福岡 208 号 昭和開地区改良 3-2 工区工事
発注者 (事業者)	国土交通省 九州地方整備局 福岡国道事務所
施工社	株式会社 鍋田組
施工場所	福岡県大牟田市昭和開地先
施工時期	H17.7～H18.3
使用材料	ポゾテック
施工数量	42,600m ³
工事概要	本工事は、一般国道 208 号有明海沿岸道路事業（大牟田高田道路）の一環として、道路改良工事の施工に伴い、ポゾテックを路体盛土材として活用。
施工状況写真	  搬入状況  敷均し状況  締固め状況  完了全景

工事名称	福岡 208 号 昭和開地区改良 3-4 工区工事
発注者(事業者)	国土交通省 九州地方整備局 福岡国道事務所
施工社	九州環境建設 株式会社
施工場所	福岡県みやま市高田町大字昭和開地先
施工時期	H17. 4～H18. 3
使用材料	ポゾテック
施工数量	8,700m ³
工事概要	本工事は、一般国道 208 号有明海沿岸道路（大牟田高田道路）の一環として、道路改良工事の施工に伴い、ポゾテックを路体盛土および補強土壁盛土として活用。
施工状況写真	横断面図 20.5m 路床盛土 路体盛土 ポゾテック使用箇所 補強土壁 裏込め材 気泡混合 軽量盛土 4.0m 施工状況

参考文献

- 1) 国土交通省：発生土利用基準について（国官技第 112 号，国官総第 309 号，国営計第 59 号，平成 18 年 8 月 10 日），2006.
- 2) 先端建設技術センター：建設汚泥リサイクル指針，大成出版社，p.159，1999.
- 3) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説 第 3 章平板載荷試験，p.729，2013.
- 4) 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会：今後における海岸防災林の再生について，2012.2.
- 5) 福島県：福島県防災緑地計画ガイドライン，2012.11.
- 6) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社：設計要領 第一集 土工編，2010.7
- 7) 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.
- 8) 公益社団法人日本港湾協会：港湾工事共通仕様書，2016.3.
- 9) 国土交通省港湾局：港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン，2013.11.
- 10) 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.
- 11) 国土交通省河川局治水課：河川堤防設計指針，2007.3 最終改正.
- 12) 財団法人国土技術研究センター：河川土工マニュアル，2009.4.
- 13) 財団法人国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），2012.2.
- 14) 社団法人日本道路協会：道路土工 盛土工指針，2010.4.
- 15) 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（改訂版），2017.2.

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^{※i}の環境安全品質及び検査方法に関する基本的考え方」^{※ii}に基づくこととする。次に、この考え方に基づき、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⁾⁻⁵⁾に準じている。

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^{※iii}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

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

※ i 環境基本法の定める循環資源のうち、建設資材に利用されるものをいう。

※ ii 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。

※ iii 建築資材などが想定される。

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・現場での製造から、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※iv）ごとに、そのライフサイクルの中で「最も配慮すべき暴露環境」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、「最も配慮すべき暴露環境」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。

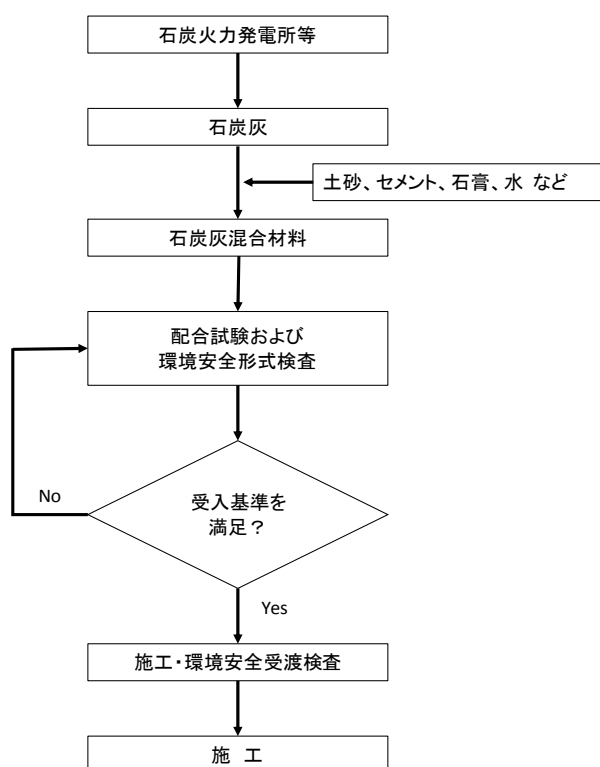


図-4.1 環境安全品質に関する検査の流れ

※ iv 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。

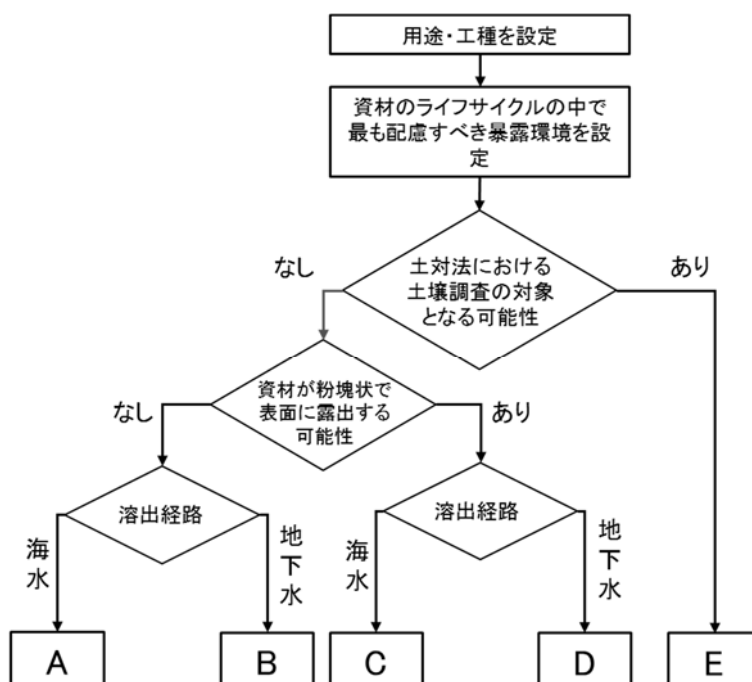


図-4.2 環境安全形式検査の類型判断フローチャート

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「最も配慮すべき暴露環境」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) ※1			最も配慮すべき暴露環境	試験項目 (カッコ内に、試験方法と環境安全品質基準※2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】※3	再利用時の状態	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)
	土工	覆土材、盛土材、埋戻材 (仮設構造物として施工される場合)【類型 E】	土としての利用状態	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)
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※4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※4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 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。

※2 環境安全品質基準値は表-4.4 に示す。

※3 再利用時に土として利用される場合、もしくは再利用後の用途が同じ舗装工としての利用となることが担保されない場合には、類型 E を適用する。

※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。

4.3 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は地下水の水質汚濁に係る環境基準、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	4,000 以下
ほう素	4,000 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、海水に長期間暴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した環境への影響を検討するに際して「最も配慮すべき暴露環境」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。ただし、地下水の水質汚濁に係る環境基準の基準値が改正されたカドミウムを除く。）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地下水の水質汚濁に係る環境基準の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、地下水の水質汚濁に係る環境基準の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（仮設の場合、または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。

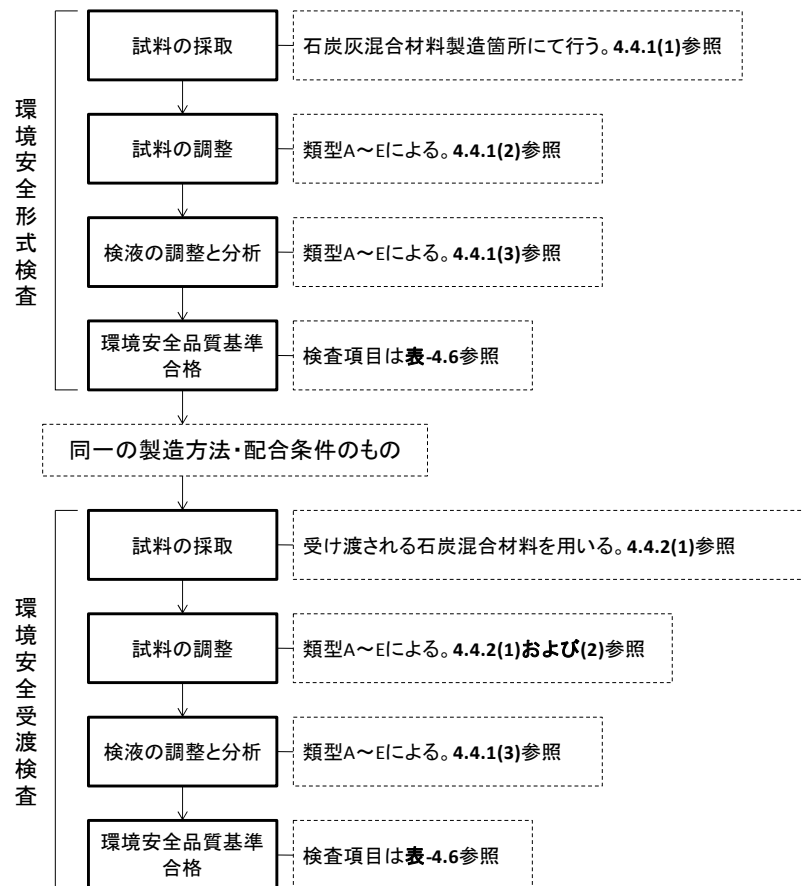


図-4.3 試験の流れ



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「検液の調製と分析」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 mm ϕ $\times$ 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、7～28 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て、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 mm ϕ $\times$ 100 mm のモールド等で 7～28 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)により採取・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</u> 2 mm 以下に粗 砕	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。

- ー 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。5,000m³を超えない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 受渡検査結果が蓄積され、その結果に基づく合理的な理由があれば、当事者間の合意に基づいて頻度を減らすことができる。

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 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 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、施工記録に添付して施設を供用している間、保管しなければならない。また、施設の供用中に管理者を変更する場合は、検査報告書を適切に引き渡さなければならない。

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（改訂版），2017.
- 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.
- 5) 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（高規格道路盛土編），2016.

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)

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 また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				
使用材料および配合								
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）	0.009 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 また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				
使用材料および配合								
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)	0.009 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 B の例)

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 また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				
使用材料および配合								
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）	0.003 以下	0.01 以下	0.05 以下	0.01 以下	0.0005 以下	0.01 以下	0.8 以下	1 以下

環境安全受渡検査

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				製造番号または製造ロット番 号				
使用材料および配合								
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)	0.003 以下	0.01 以下	0.05 以下	0.01 以下	0.0005 以下	0.01 以下	0.8 以下	1 以下

※1 製造業者と利用者の合意により省略可。

付表 3 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 の例)

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 また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				
使用材料および配合									
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）	0.009 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	4,000 以下	4,000 以下

環境安全受渡検査

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					製造番号または製造ロット番 号				
使用材料および配合									
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)	0.009 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	4,000 以下	4,000 以下

※1 製造業者と利用者の合意により省略可。

付表 4 石炭灰混合材料 環境安全形式検査・受渡検査成績書(類型 D, E の例)

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 また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				
使用材料および配合									
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）	0.003 以下	0.01 以下	0.05 以下	0.01 以下	0.0005 以下	0.01 以下	0.8 以下	1 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	4,000 以下	4,000 以下

環境安全受渡検査

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					製造番号または製造ロット番 号				
使用材料および配合									
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)	0.003 以下	0.01 以下	0.05 以下	0.01 以下	0.0005 以下	0.01 以下	0.8 以下	1 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	4,000 以下	4,000 以下

※1 製造業者と利用者の合意により省略可。

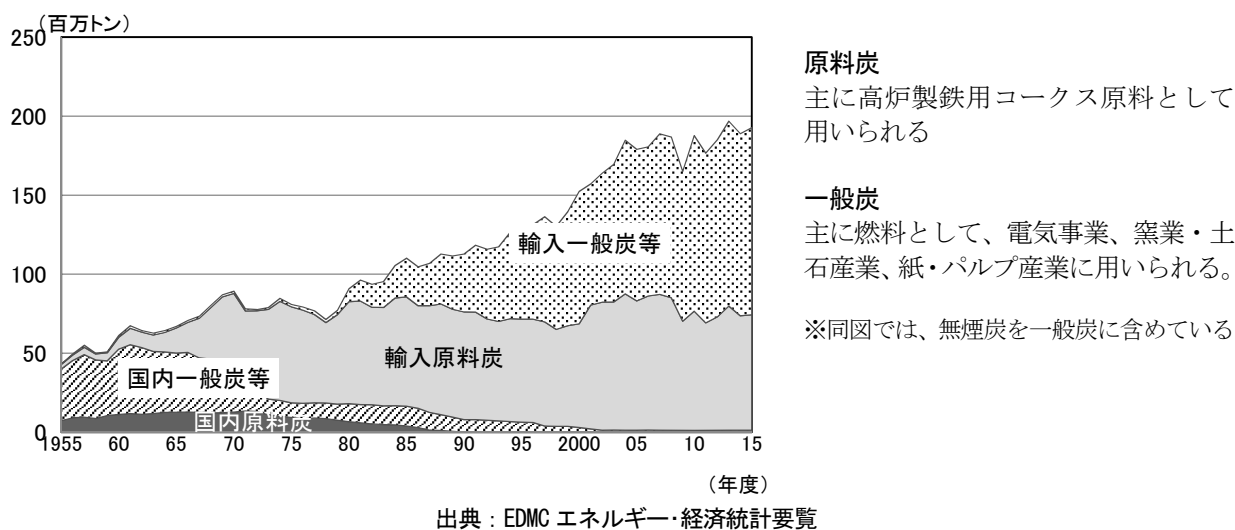
参考資料

1. 石炭灰

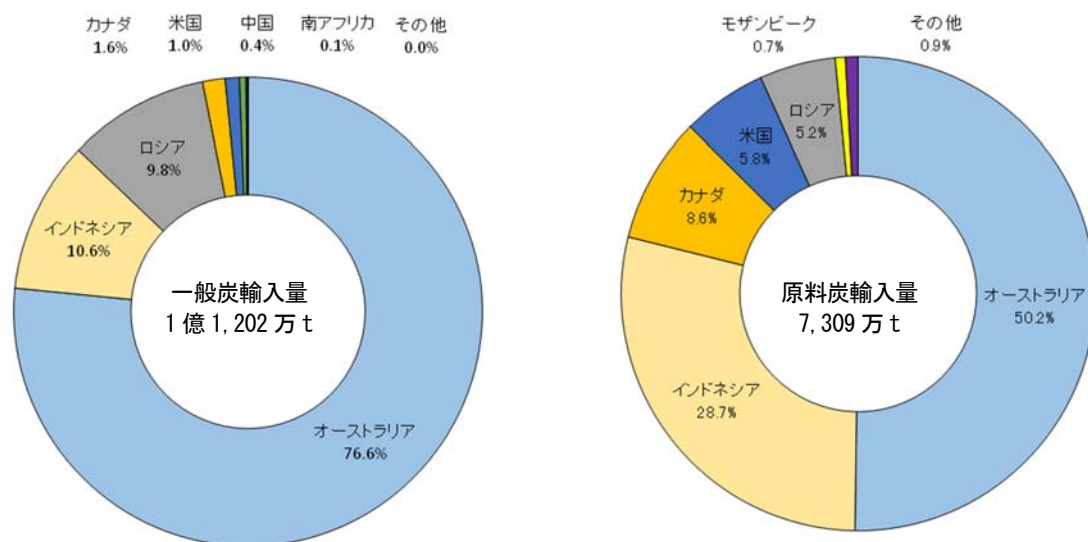
1.1 原炭について

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。2015年度現在、一般炭の輸入先は、オーストラリアが76.6%と最も多く、インドネシア(10.6%)、ロシア(9.8%)とカナダ(1.6%)の順となっている(参考図2)¹⁾。



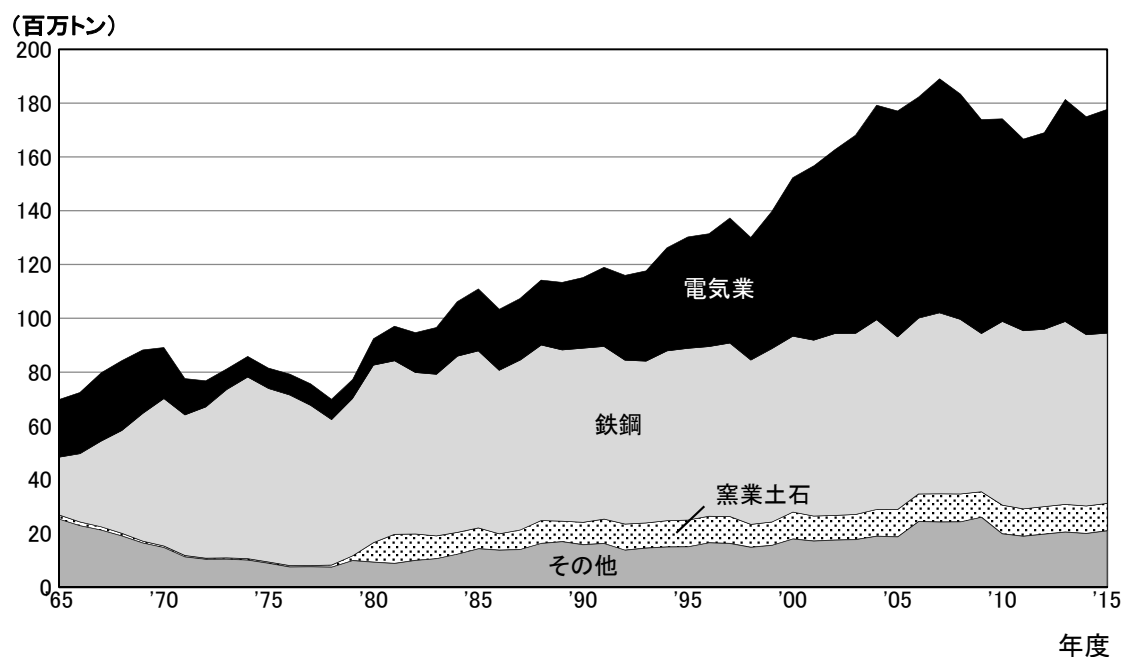
参考図1 国内炭・輸入炭の供給量推移 (輸入一般炭に無煙炭を含む)¹⁾



出典：財務省貿易統計

参考図 2 石炭輸入先 (2015 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および増設に伴い、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。



出典：EDMC エネルギー・経済統計要覧

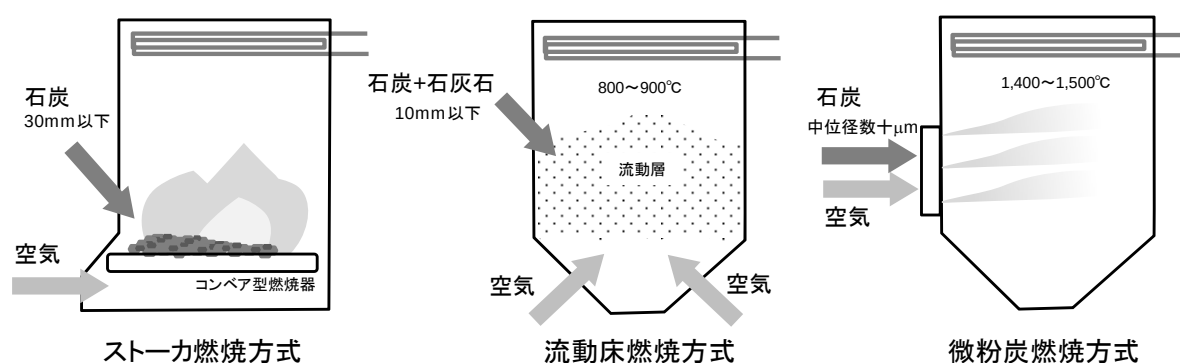
参考図 3 石炭の用途別消費量の推移 ¹⁾

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[※]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。



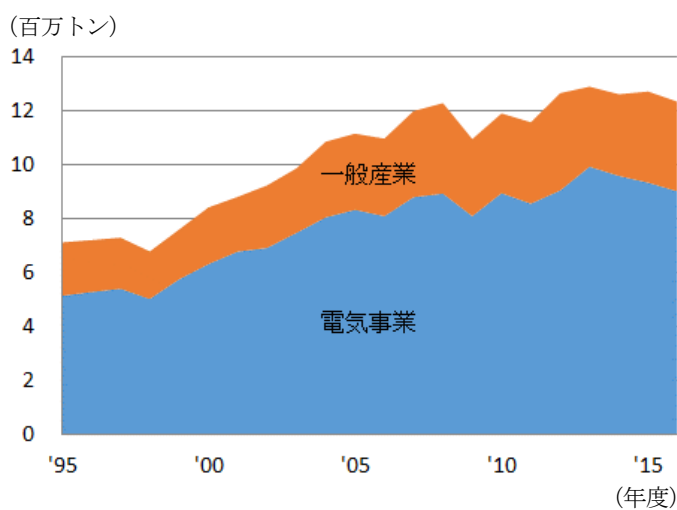
1.3 石炭灰の発生量

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。

※ 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）



集計データは以下の通り

電気事業

電力会社 10 社、電源開発、酒田共火、常磐共火、相馬共火、住友共同電力

一般産業

1,000kW 以上の自家用発電設備を持つ、紙パルプ、化学工業、鉄鋼・コークス、IPP、PPS 等

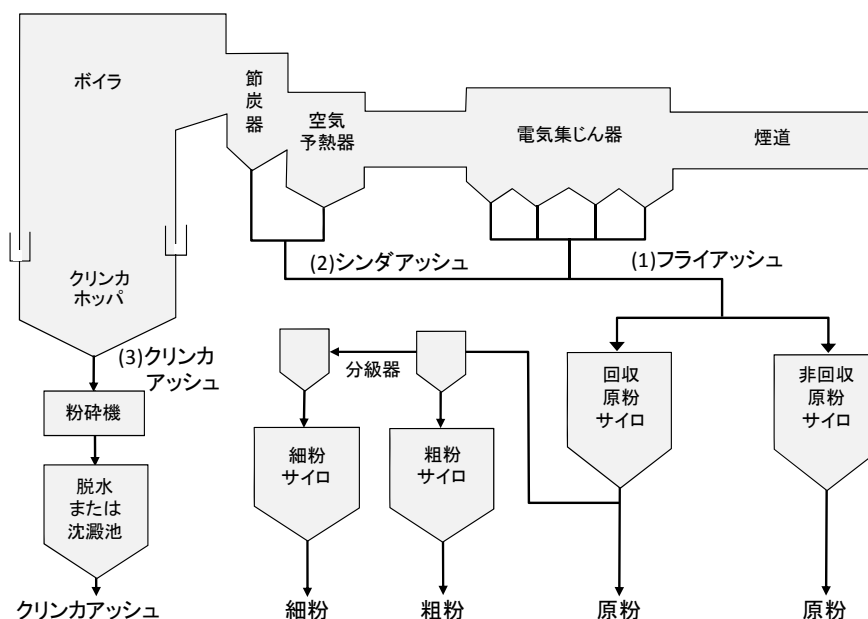
参考図 6 石炭灰発生量の推移²⁾

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、クリンカクラッシャー（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。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 (2.6g/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、天然土壌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 に示す。

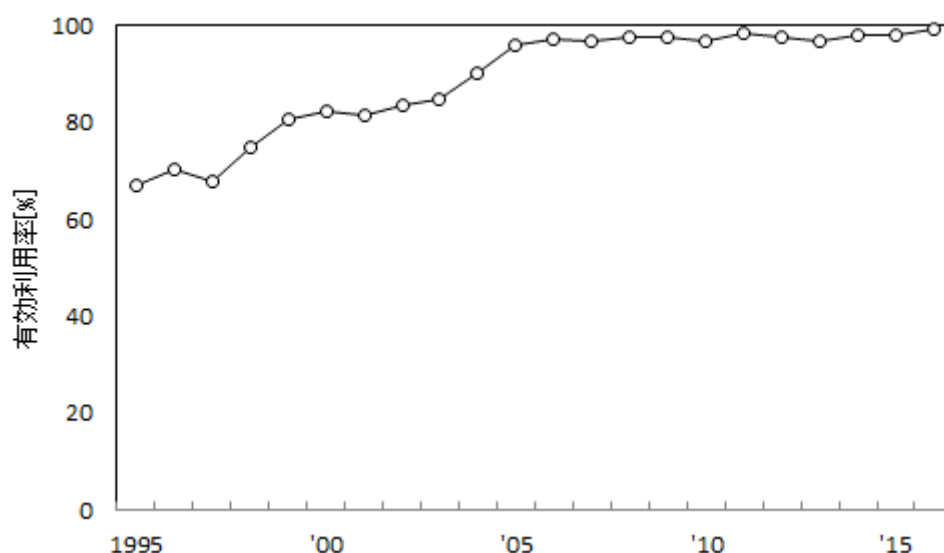
参考表 1 石炭灰の化学組成⁴⁾

	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
土壌 (山土の一例)	62.8	24.0	1.6	0	0.3

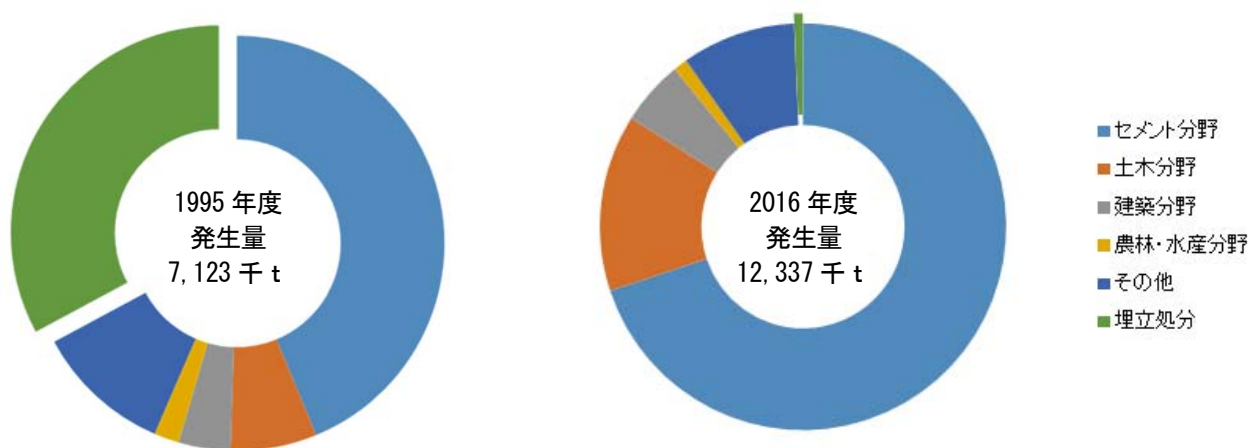
単位(%)

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 96～99%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%、2016 年度では 70%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、ポゾラン反応^{※ii}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、ポゾ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°C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、ひび割れしにくい。また、耐熱性の向上といった効果がある。

※ii ポゾラン反応

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。この反応をポゾラン反応と呼び、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。

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、強熱減量が高目の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。）強熱減量が多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AE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1,500cm²/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			
	%				
項 目	湿分	1.0 以下			
	%				
項 目	強熱減量（注 1）	3.0 以下	5.0 以下	8.0 以下	5.0 以下
	%				
項 目	密度	1.95 以上			
	g/cm ³				
粉 末 度 （注 3）	45μm 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、土壌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 H_2S 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 H_2S 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、参考として土壌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、土壌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 ～ 1,330	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：土壌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($\text{B}(\text{OH})_4^-$)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。坪内らは亜硫酸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 28 年度実績），2018.
- 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.fepec.or.jp/about_us/pr/kaiken/_icsFiles/afieldfile/2016/05/23/kaiken_20160520_1.pdf,
- 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) 社団法人土木学会：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－実埋立を想定した長期カラム試験－，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－微量物質の溶出・移行挙動の予測－，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) 財団法人沿岸海洋技術研究センター：石炭灰を有効利用した埋立て材料 頑丈土破碎材, 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書, 第 06003 号, 2006.

2. 石炭灰混合材料に関する問合せ先

【石炭灰混合材料の問合せ先】

	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	098-877-2341
		沖縄プラント工業株式会社	098-874-5386
破砕材	J-アッシュ	常磐共同火力株式会社 企画・技術グループ	03-3256-5415
造粒材	フライ・クリーン	越智建設株式会社	0144-55-6675
破砕材	FRC 砕石	酒田 FRC 有限責任事業組合	0234-28-8860
破砕材	FRC 砕石	能代 FRC 有限責任事業組合	0185-88-8845
破砕材	OR クリート	福島エコクリート株式会社	0244-26-4198
破砕材	アッシュクリート TYPE-S	株式会社 安藤・間 技術本部技術研究所土木研究部	029-858-8813
造粒材	Hi ビーズ	中国電力株式会社 電源事業本部石炭灰有効活用グループ	082-545-1543
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
		四電ビジネス株式会社 環境事業本部 環境事業部	087-851-1183
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
塑性材	ポゾテック	日本コークス工業株式会社 資源リサイクル部	03-5560-2905
スラリー材	浚渫土, セメント系改良土	(全体的な手続きの窓口) 北陸電力(株) 土木部土木業務運営チーム	076-405-3484
		(技術的確認作業の窓口) 北陸電力(株) 土木部土木技術チーム	076-405-3444
新素材コンクリート	ネオ・アッシュクリート	株式会社 安藤・間 技術本部技術研究所土木研究部	029-858-8813

【石炭灰の問合わせ先】

電力会社	取扱い会社	電話番号
北海道電力(株)	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
東北電力(株)	東北発電工業株式会社 火力部 環境技術室	022-261-4344
常磐共同火力(株)	常磐火力産業株式会社 環境営業課	0246-63-7130
東京電力 フュエル&パワー(株)	東京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	03-6372-7016
電源開発(株)	株式会社ジェイペック 資源リサイクル部	03-3545-5252
中部電力(株)	株式会社テクノ中部 火力部 石炭灰チーム	052-614-7189
北陸電力(株)	日本海環境サービス株式会社	076-444-6800
関西電力(株)	株式会社関電パワーテック 環境事業部 環境営業グループ	06-4705-8635
中国電力(株)	中国高圧コンクリート工業株式会社 土木事業部	082-243-6928
四国電力(株)	四電ビジネス株式会社 環境事業部	087-851-1828
九州電力(株)	九電産業株式会社 資源リサイクル部	092-761-4463
沖縄電力(株)	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・処理業の基準等を定めており、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が定義されている。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

境への負荷が少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みなしたとき、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、廃掃法	海洋汚染防止法、海防法	リサイクル法、資源有効利用促進法
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
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	2017 年 6 月 9 日	2014 年 6 月 13 日	2017 年 6 月 16 日	2017 年 6 月 2 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					○	◎
					○ △		
条文 H P		http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=210AC0000000057&openCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=325AC00000000218&openCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=331AC00000000101&openCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=345AC00000000137&openCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=345AC00000000136&openCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=403AC00000000048&openCode=1

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基本法	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
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	2017 年 5 月 19 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。	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。	商品やサービスを購入する際に、価格や品質だけでなく、環境への負荷が少ないものを優先的に選定することの推進を目的とした法律。 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、3,000m²以上の土地の形質変更の届出時において、都道府県知事がある土地に汚染の恐れがあるとみなしたとき、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、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対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、周辺土壌と区別されている場合は、土壌とみなされないため、本法の適用外となる。なお、本法では、土壌・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://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=405AC0000000091&openerCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=409AC0000000081&openerCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=412AC1000000100&openerCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=412AC0000000104&openerCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=412AC0000000110&openerCode=1	http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=414AC0000000053&openerCode=1