

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 27 年 3 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

「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）」の発刊にあたって

本ガイドラインは、石炭火力発電を行った際に副生される石炭灰の有効活用促進を目的としたものです。我が国における石炭灰の発生量は年間 1,000 万トンを超えており、その約 70%はセメント原料として利用され、土木分野での利用は 15%に満たない現状が続いています。2011 年東北地方太平洋沖地震による原子力発電所事故を受けて、再生可能エネルギーへの転換などエネルギー供給についての議論が活発になっていますが、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っていくものと予想され、発電に伴い副生される石炭灰の定常的かつ付加価値の高い活用を今まで以上に推進していく必要があります。例えば、石炭灰にセメント、水、あるいは土砂、さらに添加材等を必要に応じて混合した石炭灰混合材料の開発は各機関により進められ、施工事例もいくつかみられています。公共工事等での利用をさらに推し進めることが求められています。

いわゆる高速道路に代表される高規格道路では、道路線形の制約条件のため盛土や切土などによる大規模な土地の改変が求められることが少なくありません。したがって、災害の多い我が国で山岳地や軟弱地盤上での難工事が求められることもあり、大規模かつ高精度を満たす先進的な土工の技術が発展してきた分野となっています。このような高規格道路の分野では、石炭灰および石炭灰混合材料の材料としての優位性を活用しつつ適切な施工がなされることが期待されます。特に、東日本大震災を受け、第二防潮堤としても機能する沿岸部の高規格道路の建設が全国で計画されていますが、建設にあたっては盛土材料の確保が課題となります。このような現状を鑑み、この度、一般財団法人石炭エネルギーセンターでは高規格道路への石炭灰混合材料の利用に関するガイドラインをとりまとめました。同センターでは 2011 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」を、2014 年に「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（震災復興資材編）」をそれぞれ発刊していますが、本ガイドラインでは 2 つの既刊のガイドラインでの議論を活かしつつ、高規格道路への活用を記しています。図面や写真を活用するのはもちろんのこと、事例やデータをできる限り取り上げて実務に具体的に活かして頂けるよう記述をしています。本ガイドラインが広く活用され、貴重な事例と知見が蓄積され、社会基盤整備における資源有効活用のさらなる発展に資することを期待いたします。

平成 27 年 3 月

京都大学教授 勝見 武
(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 委員長)

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）

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）

目次

第1章 総則	1
1.1 はじめに	1
1.2 適用範囲	3
1.3 対象とする石炭灰混合材料	6
1.4 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット	8
1.5 ガイドラインの内容	11
1.6 用語の定義	12
1.7 関連法規および関連技術指針	13
第2章 石炭灰混合材料	15
2.1 道路盛土の適用用途標準	15
2.2 石炭灰混合材料の基本的物性	15
2.3 土砂代替材	20
2.3.1 破碎材	20
2.3.2 造粒材	22
2.4 塑性材	24
2.5 スラリー材	26
2.6 クリンカアッシュならびにクリンカ混合物	27
第3章 設計	30
3.1 はじめに	30
3.2 基礎地盤の調査	30
3.3 一般盛土部の設計の考え方	31
3.3.1 基本的考え方	31
3.3.2 盛土（路床、路体）	34
3.3.3 軟弱地盤における道路盛土	40
3.4 覆土の考え方	44
第4章 施工	46
4.1 破碎材・造粒材・粗粒材	46
4.1.1 概要	46
4.1.2 施工の基本方針	47
4.1.3 トラフィカビリティ	47
4.1.4 締固め	48

4.1.5	締固め管理	49
4.1.6	施工時の留意点	51
4.2	塑性材	52
4.2.1	概要	52
4.2.2	施工の基本方針	52
4.2.3	石炭灰の性状把握	52
4.2.4	配合の決定	52
4.2.5	石炭灰混合材料の製造	53
4.2.6	運搬	53
4.2.7	盛土施工時の留意点	53
4.3	スラリー材	55
4.3.1	概要	55
4.3.2	施工の基本方針	55
4.3.3	配合選定	56
4.3.4	スラリー材の製造	56
4.3.5	運搬	56
4.3.6	盛土施工時の留意点	57
4.4	適用事例	58
第5章 環境安全品質および検査方法		72
5.1	はじめに	72
5.2	環境安全品質および検査方法の規定に際しての考え方	72
5.2.1	基本的な考え方	72
5.2.2	最も配慮すべき暴露環境	74
5.2.3	環境安全品質基準と試験方法	74
5.3	環境安全品質基準	75
5.4	試験方法	78
5.4.1	環境安全形式検査における試験方法	79
5.4.2	環境安全受渡検査における試験方法	80
5.5	検査の運用方法	81
5.5.1	検査の実施者	81
5.5.2	検査の頻度	81
5.5.3	検査結果の判定基準	82
5.5.4	再検査	82
5.5.5	ロットの管理	82
5.5.6	検査の記録	82

5.5.7 検査記録の報告及び保管	82
5.5.8 その他	83
参考資料	84
1. 石炭灰について	84
1.1 原炭について	84
1.2 石炭燃焼プロセスと石炭火力発電所	85
1.3 石炭灰の発生量	85
1.4 石炭灰の種類	87
1.5 石炭灰の物理・化学特性	88
1.6 石炭灰の利用状況	89
1.7 石炭灰および石炭灰混合材料の溶出特性	91
1.8 既成灰について	94
2. 石炭灰混合材料に関する問合せ先	98

第1章 総則

1.1 はじめに

一般財団法人石炭エネルギーセンター（JCOAL）では、石炭火力発電所等から発生する石炭灰の土木分野での用途拡大を目的に、平成 23 年 3 月には、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」（以下、港湾工事編ガイドラインと記す）を発刊した¹⁾。また、平成 26 年 3 月には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）」（以下、震災復興資材編ガイドラインと記す）を発刊した²⁾。このうち震災復興資材編ガイドラインにおいては、道路盛土への石炭灰混合材料の利用についても事例等による紹介を行ったが、第二防潮堤の機能も期待される沿岸部の高規格道路の建設が全国の沿岸地域で計画されていること、沿岸部での高規格道路の建設においては盛土構造が主体となり土砂材料の確保が課題となること等から、高規格道路盛土への石炭灰混合材料の利用に向けたガイドラインを作成した。

なお、本ガイドラインが適用対象としている高規格道路とは、昭和 62 年 6 月に閣議決定された「第四次全国総合開発計画（全四総）」において高規格幹線道路として位置づけられた高速自動車国道および一般国道の自動車専用道路のことを言い、自動車で高速に走れる構造で造られた自動車専用道路のことを指す。また、地方自治体が事業主体である地域高規格道路も同様の構造で構築されることから本ガイドラインでは高規格道路に含むものとする。図-1.1 に高規格幹線道路の体系を、図-1.2 に全国の高規格幹線道路をそれぞれ示す。

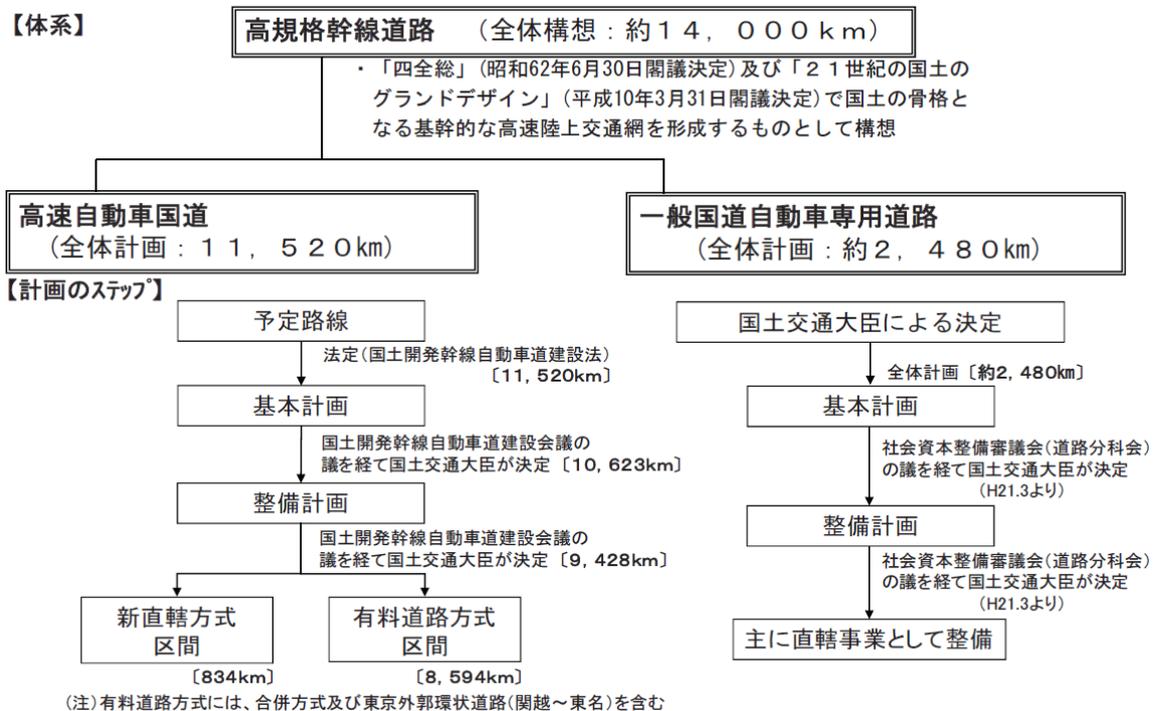
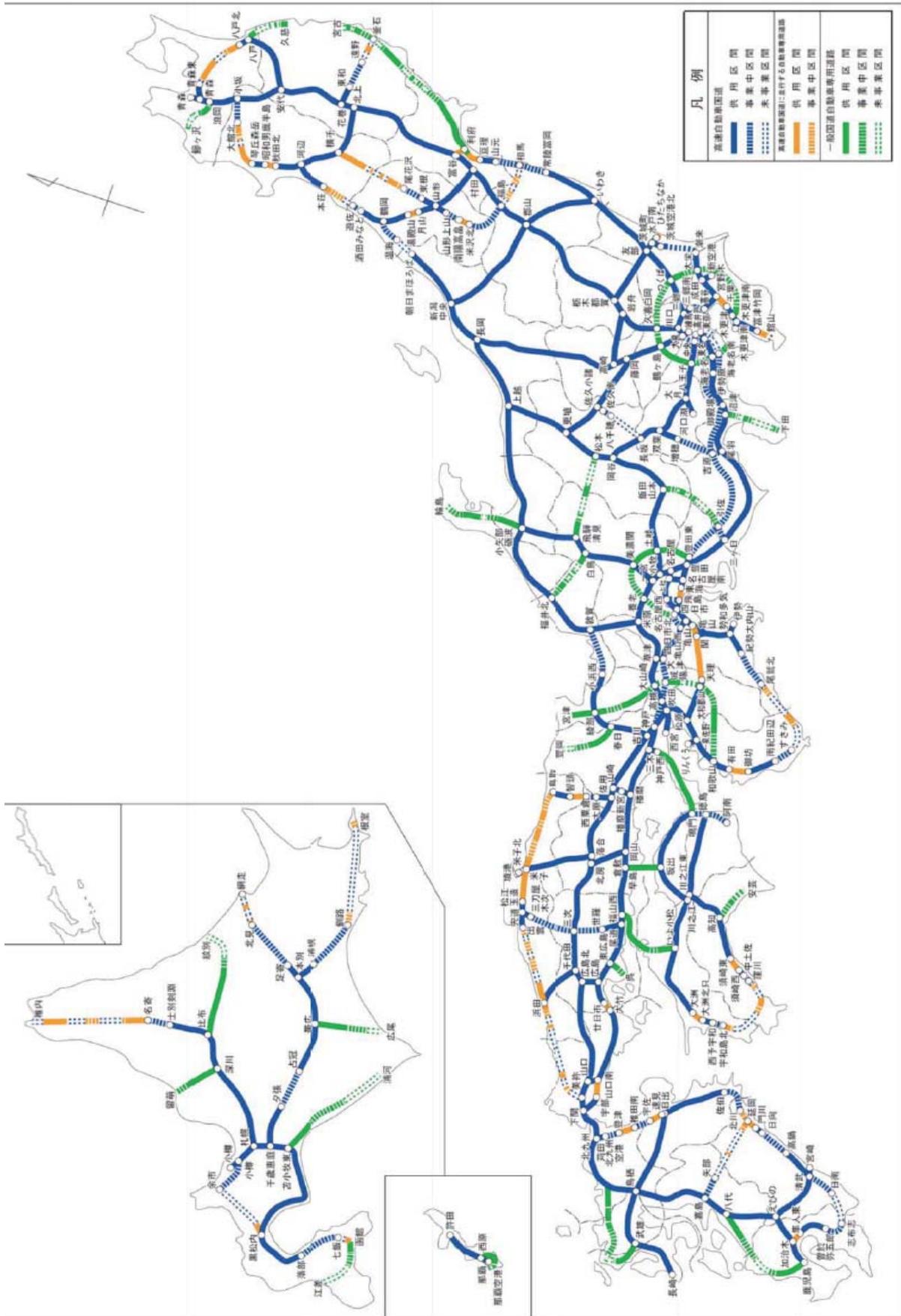


図-1.1 高規格幹線道路の体系³⁾



平成23年4月1日現在

図-1.2 全国の高規格幹線道路³⁾

1.2 適用範囲

本ガイドラインは石炭灰混合材料を用いた高規格道路の盛土に適用するものである。なお、本ガイドラインでは盛土高さを10m程度の一般的な盛土を対象としている。盛土高さが15m以上の高盛土となる場合等は参考資料に示された基準類を用いて慎重な調査・設計・施工を行うものとする。

(1) 適用の基本事項

一般的に自動車が高速で走行できる盛土は、供用後の長期間にわたり降雨や交通荷重などの厳しい外的作用に対して安全かつ円滑な状態が確保されていなければならない。設計・施工に当たっては、環境との調和、使用目的との適合性、構造物の安全性、施工品質の確保、容易な維持管理、経済性を考慮する必要がある。

盛土の計画・調査・設計・施工・維持管理に当たって配慮すべき盛土の諸特性等は以下の通りである。

① 沿道環境の保全や景観との調和

一般的に盛土は地形改変の影響が大きい。そのため道路建設によって地域社会の沿道環境や自然環境への負荷をできるだけ低減し、将来にわたって道路が良質な社会資本となるよう十分な検討を行う必要がある。例えば盛土表面の侵食防止を図るとともに、石炭灰改良土の利用に当たっては、環境安全性についても留意する必要がある。

② 地形・地質や気象条件の多様性

盛土が構築される箇所の地形・地質等の現地条件や気象条件は多様であり、一律の技術では十分な対応ができない場合がある。さらに、施工段階において、設計時点で想定していた現地条件とは異なることが判明することも多い。したがって、計画・調査段階で把握した事項を鵜呑みにすることなく、設計・施工段階で柔軟な対応をとることが、盛土の安全性、経済性、維持管理に大きく影響する。特に傾斜地盤上の盛土や沢地の盛土等では崩壊事例も多いので特段の注意が必要である。

③ 盛土安定性の支配要因

近年、集中豪雨や巨大地震によって盛土災害が頻発している。それらを分析すると盛土の安定性は、適切な水処理、基礎地盤の処理、盛土材料の品質、締固めの程度等が支配的な要因であることが明らかになっている。その中でも用排水工、地下排水、表面排水等水処理に問題がある場合が多い。調査から維持管理の各段階において特段の注意を払うことが大切である。

④ 経験技術と力学特性

一般的な盛土の場合はこれまでの経験から適切な排水設備、標準的なのり面勾配、十分な締固め、それに対する善良な品質・施工管理によって安定性は確保されていると考えてよい。しかし、基礎地盤が軟弱であったり、傾斜地盤で不安定な地盤が存在したりする場合がある。その場合は盛土の安定性を調査や試験、力学計算の結果に基づいて定量的に評価する方法も選択できるが、多くの仮定や不確定要素もあるため、既往の実績・経験等に照らし合わせて総合的に判断しなければならない。

⑤ 容易な維持管理

維持管理上よく問題になる路面の不同沈下やのり面崩壊が生じないように維持段階での点検が容易な構造とする。特に維持段階での補修が比較的困難なトンネル出入り口付近やインターチェンジラン

プ、段差の生じやすい接続部や切盛境等では、特に入念な設計施工が必要である。

(2) 石炭灰混合材料の留意点

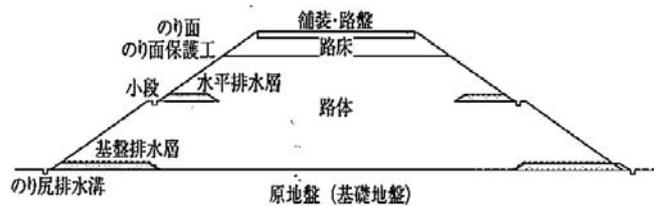
高規格道路盛土は、その社会資本施設の特異性から盛土構築後はほぼ永久的に利用されるものと想定した。そのため「最も配慮すべき暴露環境」としては、土としての再利用の可能性がなくかつ直接摂取の可能性はないが、地下水の溶出の可能性はある。そこで環境安全基準としては一般用途溶出量基準を適用することとした。使用にあたっては JIS に定められた試験方法等を遵守することを厳格に適用する。

道路が計画された場合には、計画、予備設計、詳細計画の各段階において適切な調査を行い、各設計に反映させなければならない。特に軟弱な地盤に盛土を行う場合には、別途「道路土工指針 軟弱地盤対策工指針」等を参考に適切な対策をとることとする。また、石炭灰混合材料の使用が決定された段階において本施工に先立ち試験盛土を行うことが望ましい。

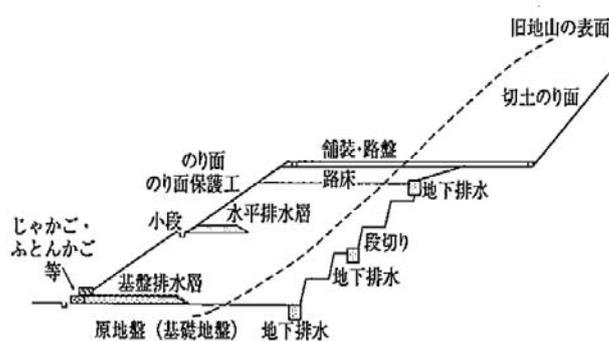
なお、盛土に使用する石炭灰混合材料については第 2 章に材料特性を詳述しており、そちらを参考にされたい。

(3) 適用箇所

図 - 1.3 に一般的な盛土の形状、図 - 1.4 に裏込め部の一般的な形状をそれぞれ示す。



(a) 平地部盛土の場合



(b) 片切り片盛りの場合

図-1.3 一般的な盛土の形状⁴⁾

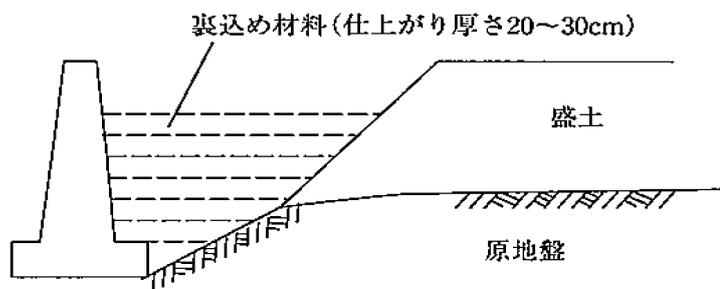
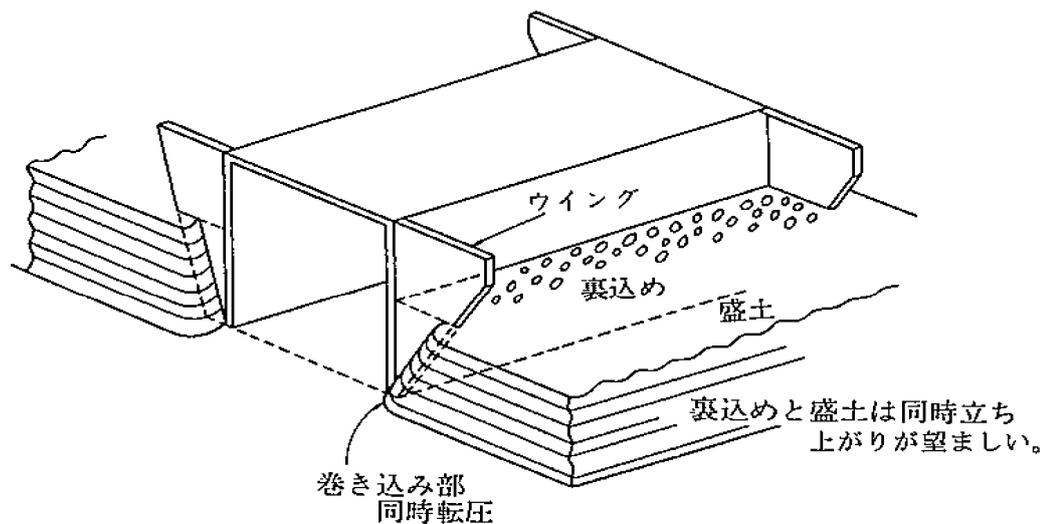


図-1.4 構造物の裏込めの形状⁵⁾

盛土と橋台、盛土やカルバート等の横断構造物との裏込め部や埋め戻し部分は、供用開始後に構造物との間に不同沈下や段差が生じないように、適切な材料を用いて入念な締固めと排水工の施工を行うものとする。また、裏込め部は立ち上がった橋台、ボックスカルバートおよびそれらの翼壁と盛土とに囲まれることが多く排水不良を起こしやすいことや、施工が小型機械しか適用できないため締固めさが不十分になりやすいことが上げられる。これを解消するために適切な勾配や薄層転圧を心がける必要がある。

1.3 対象とする石炭灰混合材料

石炭灰を用いたリサイクル資材には多くのものがあるが、本ガイドラインでは高規格道路の盛土部への適用を目的としていることから、表-1.1 および図-1.5 に示す土砂代替材、塑性材、スラリー材およびクリンカアッシュ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、単体で路盤材への使用実績も少なくないことから、本ガイドラインの対象とした。

表-1.1 本ガイドラインが対象とする石炭灰混合材料

種別・種類		概要(製造方法)	写真(例)	商品名
フライアッシュ	土砂代替材 破砕材	石炭灰にセメント、水、必要に応じて土砂、石膏など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」	頑丈土破砕材 J-アッシュ 輝砂 FRC
	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		Hi ビーズ ゼットサンド 灰テックビーズ フライ・クリーン
	塑性材	工事現場近傍において、石炭灰にセメント、土砂および水を攪拌混合して製造した石炭灰混合材料		アッシュクリート Type II ソマッシュ
	スラリー材	施工場所において、石炭灰にセメント、水を混合しスラリー状にしたもの		FC スラリー F スラリー
クリンカアッシュ	クリンカアッシュ混合物 クリンカアッシュ(粗粒材)	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

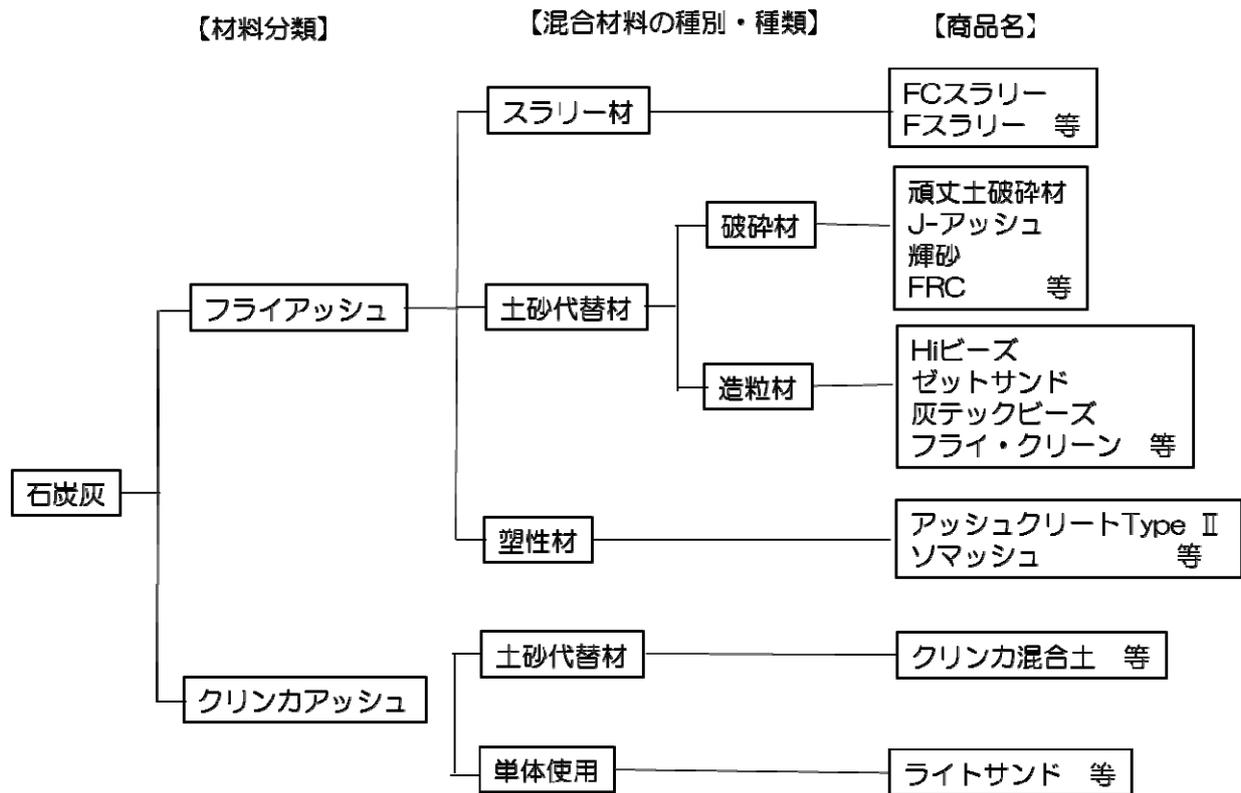


図-1.5 本ガイドラインが対象とする石炭灰混合材料

1.4 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット

石炭灰混合材料を高規格道路の盛土に利用することは、以下に示すようにリサイクル材の有効活用促進の観点からも有意義である。

- ① 副産物の有効活用であり、天然資材を利用するのに比べて環境負荷が少ない。
- ② 石炭灰の発生位置（火力発電所位置）が沿岸域にあるため、船舶での大量な輸送が可能で運搬コストの低減が図れる。
- ③ 大量に発生するものであり、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。石炭灰の化学的特性を生かした石炭灰混合材料のメリットを表-1.2に、道路盛土に利用する場合の利点を表-1.3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もの建設資材となり、その利用が拡大されることが望まれる。表-1.4に道路盛土への石炭灰混合材料の適用性を、表-1.5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、それぞれ示す。

表-1.2 石炭灰および石炭灰混合材料の化学的特性からのメリット

	石炭灰の特性	石炭灰混合材料のメリット
化学的 特性	<ul style="list-style-type: none"> ・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、基本性状のばらつきが比較的小さい。 ・塩素含有量が比較的少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ポズ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とともに重金属等の溶出が抑制される。

表-1.3 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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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-1.4 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
(1) 標準構造		<ul style="list-style-type: none"> ・フライアッシュ破砕材・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	<p>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等で、工事用道路を兼ねた構造</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・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		<ul style="list-style-type: none"> ・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フライアッシュ造粒材など）を適用可能。
(4) 地下水処理 構造		<ul style="list-style-type: none"> ・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)		<ul style="list-style-type: none"> ・擁壁への荷重低減として軽量材を適用可能。 ・流動性材料（石炭灰気泡混合軽量土、フライアッシュモルタル等）であれば、裏込め充填の施工性にも優れる。
(6) 凍上対策		<ul style="list-style-type: none"> ・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。

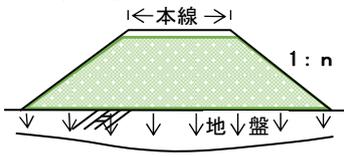
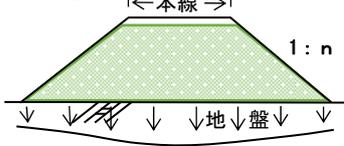
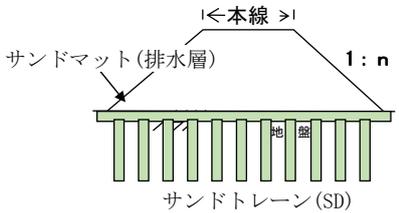
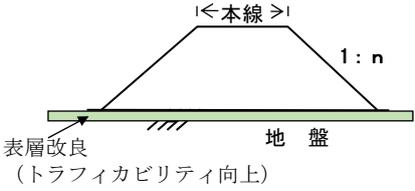
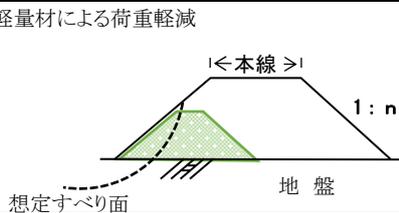
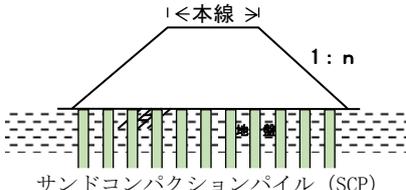
(注) 緑部分は適用箇所

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-1.5 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
(1) 沈下抑制対策	<p>軽量材による荷重軽減</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
(2) 周辺地盤変位の抑制	<p>軽量材による荷重軽減</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
(3) 沈下促進対策		<ul style="list-style-type: none"> サンドマットおよびサンドト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		<ul style="list-style-type: none"> 軟弱地盤の表層改良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
(5) 基礎地盤のすべり防止	<p>軽量材による荷重軽減</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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		<ul style="list-style-type: none"> 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

1.5 ガイドラインの内容

本ガイドラインは 1.3 に示した土砂代替材、スラリー材およびクリンカアッシュ混合物を高規格道路建設時の盛土材料等として広く活用されること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 章は本ガイドラインの作成目的、高規格道路の概要について述べるとともに、高規格道路盛土に石炭灰混合材料を適用する際の留意点を示した。また、石炭灰混合材料および石炭灰のメリットを整理し、高規格道路盛土に活用する場合の有用性を示した。

第 2 章では本ガイドラインの適用対象となる石炭灰混合材料の基本特性を、混合材料の形態毎に一覧表に整理するとともに、それぞれの代表的なものについて製造方法および設計時に必要となる基本物性を示した。

第 3 章では石炭灰混合材料を高規格道路に盛土に利用する際の適用例を挙げ、高規格道路盛土の適用箇所毎に設計時の基本的な考え方を示した。

第 4 章では石炭灰混合材料を高規格道路の盛土等に適用する場合の施工時の留意点、管理方法および試験方法等を示している。

第 5 章では、石炭灰混合材料が確保すべき環境安全性品質および検査方法について、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ガイドライン」に基づき定めている。なお、基本的な考え方はスラグ類の有効活用を目的にまとめられたガイドラインおよびマニュアルに準じて「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定めている。

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、石炭灰混合材料を活用する場合の法律上のスキームについても示した。さらに、全国の石炭火力発電所の位置と、石炭灰混合材料を利用する際の間合せ先も記すことにした。

1.6 用語の定義

本ガイドラインでは以下の用語を次のように用いる。

- 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** : 火力発電所から副成され、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
- 固化体破砕材** : 石炭灰にセメント、水、必要に応じて石膏を混合して一旦固化させた後、掘削・破砕した土砂代替材。以下、破砕材と記す
- 固化体造粒材** : 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、以下、造粒材と記す
- スラリー材** : 施工場所において、石炭灰にセメント、水を混合してスラリー状にしたもの。以下、スラリーと記す
- 石炭灰塑性材** : 工事現場近傍において、石炭灰にセメント、土砂および水を混合攪拌して製造した石炭灰混合材料
- 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配慮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

1.7 関連法規および関連技術指針

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、復興資材として活用する際には関連法規・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-1.6 に示すものが考えられる。

表-1.6 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土壌汚染対策法(土対法)	2002年5月29日法律第53号

表-1.6 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、震災復興資材として石炭灰混合材料を有効利用する際には、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の確認。
- ・基準がない場合は基準を作成する。

(3) 施工者側における十分な管理体制の説明

- ・運搬、仮置き、工事施工における管理・配慮が求められる。
- ・管理マニュアル等があると便利。
- ・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、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-1.7 に設計時に関連する技術指針を示す。

表 - 1.7 関連する技術指針等

名称	編集・発行元	発行年
道路土工一施工指針	社団法人日本道路協会	2003
道路土工一盛土工指針（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) 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.
- 2) 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.
- 3) 国土交通省ホームページ：道路の種類、
<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/dorogyousei/2.pdf> 2015.11.17
- 4) 道路土工 盛土工指針 社団法人 日本道路協会 平成 22 年 4 月、P6
- 5) 道路土工 盛土工指針 社団法人 日本道路協会 平成 22 年 4 月、P249
- 6) 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、平成 22 年 7 月

第2章 石炭灰混合材料

前章 1.3 で述べたように、対象とする石炭灰混合材料は土砂代替タイプ、スラリー材タイプおよびクリンカアッシュ混合物である。本章では、本ガイドラインにおいて対象とする石炭灰混合材料の基本的物性およびその石炭灰混合材料の製造方法について紹介する。

2.1 道路盛土の適用用途標準

石炭灰混合材料を道路盛土へ活用する場合においては、石炭灰混合材料が従来の盛土材料と何等代わりのない土質特性を有していなければならない。そこで、現地発生土を有効利用する際の判定目安として道路盛土等の適用用途標準を「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）の中で示している。その抜粋を表-2.1 に示す。なお、対象とする石炭灰混合材料は表中の「人工材料」に該当する。

2.2 石炭灰混合材料の基本的物性

各種石炭灰混合材料の基本物性を表-2.2（その1）～（その3）に示し、以下に要点をまとめる。

(1) 物性

混合材料の種別により異なるが、自然の土より軽量である。

(2) 圧縮強度

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

(3) 土質定数

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

(4) 透水性

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

(5) 施工性

混合材料の比率にもよるが、従来材料と同様に施工できる。

(6) 環境安全性

重金属等の有害物質の溶出試験および含有量試験の結果によれば、溶出量基準および含有量基準にそれぞれ適合している。また、水質環境にも悪影響を及ぼさないことも確認されている。なお、詳細は「第5章 環境安全品質および検査方法」を参照願いたい。

表-2.1 道路盛土の適用用途標準¹⁾

適用用途				道路用盛土			
				路床		路体	
				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	礫質土 砂質土	コーン指数 q _c (kN/m ²) —	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意
	第1種 改良土	人工材料		◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意
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	礫質土	コーン指数 q _c (kN/m ²) 800以上	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意
	第2b種	砂質土		◎		◎	
	第2種 改良土	人工材料		◎		◎	
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	砂質土	コーン指数 q _c (kN/m ²) 400以上	○		◎	施工機械の 選定注意
	第3b種	粘性土 火山灰質 粘性土		○		◎	施工機械の 選定注意
	第3種 改良土	人工材料		○		◎	施工機械の 選定注意
第4種建設発生土 (粘性土及びこれ等 に準じるもの)	第4a種	砂質土	コーン指数 q _c (kN/m ²) 200以上	○		○	
	第4b種	粘性土 火山灰質 粘性土 有機質土		△		○	
	第4種 改良土	人工材料		△		○	
泥 土	泥土a	砂質土	コーン指数 q _c (kN/m ²) 200未満	△		○	
	泥土b	粘性土 火山灰質 粘性土 有機質土		△		△	
	泥土c	高有機質土		×		△	

[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、または一層の仕上り厚さ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。
- 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。

表-2.2 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その1）

混合材料種別	土 砂 代 替 材			
技術の種類	破砕材 (頑丈土破砕材)	破砕材 (J-アッシュ)	造粒材 (Hiビーズ)	造粒材 (ゼットサンド)
主原料	石炭灰+セメント+水 +スラグ、石膏	石炭灰+砕石 +セメント+水	石炭灰+セメント +ベントナイト+水	石炭灰+セメント +水+添加材
物 性	<ul style="list-style-type: none"> ○粒度 細粒分混じりの土質材料 ○土粒子密度 2.3~2.4 g/cm³ ○最大乾燥密度 1.25g/cm³以下 ○強熱減量 10% ○透水係数 1×10⁻⁵~1×10⁻⁴ cm/s 	<ul style="list-style-type: none"> ○最大粒径 必要に応じて ○湿潤密度 1.603~1.635g/cm³ ○最大乾燥密度 1.192~1.198g/cm³ ○最適含水比 33.9~36.8% ○透水係数 1×10⁻⁷~1×10⁻⁵cm/s 	<ul style="list-style-type: none"> ○平均粒径 7.5mm ○形状 ほぼ球状 ○粒の湿潤密度 1.747g/cm³ ○自然含水比 11.6% ○吸水率 16.4% ○スレーキング率 0.21% ○透水係数 1.34×10⁻³cm/s(6Ec) 	<ul style="list-style-type: none"> ○粒度分布は 砂質土と同等 ○最大粒径 4~50mm ○平均粒径 0.3~2mm ○礫分含有率 15~50% ○細粒分含有率 30%以下 ○粒子密度 2.4g/cm³以下 ○透水係数 1×10⁻⁴cm/s以上
強度特性	<ul style="list-style-type: none"> ○せん断抵抗角 30°以上 ○修正CBR 40%以上 ○圧縮強さ(材齢28日) 300~800kN/m² ○液状化抵抗比 R_{L0}≒0.3 	<ul style="list-style-type: none"> ○内部摩擦角 31.1~34.5° ○90%修正 CBR 31.7% ○粘着力 30.6~76.5kN/m² ○コーン指数 14,989~18,357kN/m² 	<ul style="list-style-type: none"> ○内部摩擦角 47.6°(6Ec) (参考) ・圧潰強度(粒子強度) (7日)1,069kN/m² (28日)1,606kN/m² 	<ul style="list-style-type: none"> ○内部摩擦角 35°以上 ○95%修正 CBR 20%以上 (参考) ・粘着力 約48kN/m² ・圧縮強度(粒子強度) 118~164kN/m² ・コーン指数(粒子強度) 4,130~8,260kN/m²
施 工 性	<ul style="list-style-type: none"> ○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: 陸上部のコーン指数は1,200N/m²以上。 ○粉 塵: 粉塵の発生は少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○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は設計値と管理値を提案している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○通常の施工手順および建設機械で施工が可能。 ○粉塵量の発生が少ない。 ○締め固めた後の長期強度は過大ではなく、容易に掘削が可能。
用 途	盛土材、埋立柱材	盛土材、路体材、路床材	盛土材、地盤改良材(SCP)	盛土材、埋立柱材
証 明 他	技術審査証明取得済	—	NETIS 登録済 (SKK-120002-A)	技術審査証明取得済
そ の 他	<ul style="list-style-type: none"> ○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 	<ul style="list-style-type: none"> ○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 	<ul style="list-style-type: none"> ○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回年次学術講演会講演概要集(VII-314), 2003.9 	<ul style="list-style-type: none"> ○開発者 宇部興産(株)、大成建設(株)、電源開発(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0410号) 石炭灰を用いた人工地盤材料「ゼットサンド」、(財)土木研究センター、2004.11

(注)なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

表-2.2 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その2）

混合材料種別	土 砂 代 替 材		塑 性 材	
技術の種類	造粒材 (灰テックビーズ)	造粒材 (フライ・クリーン)	塑性材 (アッシュクリート Type II)	塑性材 (ソマッシュ)
主原料	石炭灰+セメント+水	石炭灰+セメント+水	石炭灰+セメント+石膏+水	石炭灰+セメント+助材+水
物 性	<ul style="list-style-type: none"> ○粒度 礫質土 ○粒子の乾燥密度 1.3~1.6g/cm³ ○細粒分含有率 15%未満 ○透水係数 1×10⁻⁴~1×10⁻²cm/s 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ○粗粒率 6.18 ○密 度 1.82g/cm³ ○最大乾燥密度 1.277g/cm³ ○吸水率 23.12% ○最適含水比 23.1% 	<ul style="list-style-type: none"> ○外観 振動締固めで造成する固化地盤 ○単位容積質量 1.6~1.8g/cm³ ○透水係数 1~9×10⁻⁵cm/s 	<ul style="list-style-type: none"> ○湿潤密度 1.6~1.9g/cm³ ○最適含水比 20~25% ○透水係数 1×10⁻⁸cm/s 以下
強度特性	<ul style="list-style-type: none"> ○せん断抵抗角 35° 程度以上 ○修正 CBR 20%以上 ○圧縮強さ(材齢 90 日) 1000kN/m² 程度以下 ○粘着力 50kN/m² 以上(参考) ・コーン指数(材齢 90 日) 15,000kN/m² 程度以下 	<ul style="list-style-type: none"> ○修正 CBR 134.5% (参考) ・凍上率 13.2% (判定:合格) 	<ul style="list-style-type: none"> ○現場 CBR 200%程度 ○圧縮強度(材齢 28 日) 5,000kN/m² 以上 ○静弾性係数 4~6GPa 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ○圧縮強度(材齢 28 日) 4,000~8,000kN/m²
施 工 性	○通常の土質材料と同様の施工性を有する。	○軽く、水に浮かず、物理的強度もあり、化学的に安定した材料であることから、構造物に作用する土圧や荷重の軽減、軟弱地盤などにおける盛土材、裏込め材としての適用性が高い。	○プラントで練り混ぜた材料を、専用機器により現地で振動締固めを行う。	○最適含水比になるように自走式土質改良機やプラントで混合した後、ブルドーザーで敷均し、コンバインドローラ等で締固めを行う。
用 途	盛土材、埋立材	下層路盤材、凍上抑制剤、基礎砂利	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材
証 明 他	技術審査証明取得済	NETIS 登録済 (HK-100018-A)	建材試験センター 環境主張建設資材の適合証明書 (第 CCG0003-4(2)号)省資源型 1 級、環境保全型 1 級	NETIS 登録済 (TH-150002-A)
そ の 他	<ul style="list-style-type: none"> ○開発者 四国電力(株) ○出典 建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術(建技審証 第 0414 号)石炭灰を利用した粒状地盤材料「灰テックビーズ」、(財)土木研究センター、2009.11 更新 	<ul style="list-style-type: none"> ○開発者 越智建設(株)、北海道電力(株) ○出典 越智建設(株)ホームページ 	<ul style="list-style-type: none"> ○開発者 (株)安藤・間 ○出典 石炭灰リサイクル建設資材の盛土造成工事への有効利用、地盤工学会九州支部、地盤環境および防災における地域資源の活用に関するシンポジウム発表論文集、2010.1 	<ul style="list-style-type: none"> ○開発者 (株)大林組、相馬環境サービス(株) ○出典 石炭灰を活用した復興工事への取組みー石炭灰を活用した防潮堤盛土実証試験ー、土木施工 Vol.54、No.9、2013

(注)なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

表-2.2 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その3）

混合材料種別	スラリー材		クリンカアッシュ	
技術の種類	スラリー材 (Fスラリー)	スラリー材 (FCスラリー)	クリンカアッシュ混合物 (クリンカ混合土)	クリンカアッシュ単体 (ライトサンド)
主原料	石炭灰+セメント+水	石炭灰+セメント+水	第4種建設発生土、泥土+クリンカアッシュ	クリンカアッシュ
物性	○フロー値 160~240mm ○単位体積重量 1.6~1.9g/cm ³ 程度	○粒度 礫分0%, 砂分5%程度, シルト分80%程度, 粘土分15%程度 ○土粒子密度 2.2g/cm ³ 程度 ○湿潤密度 1.6g/cm ³ 程度 ○乾燥密度 1.2g/cm ³ 程度	○建設発生土とクリンカアッシュの混合比5:5の場合、 所定強度(qc=400kN/m ²) を確保。なお、以下の値は 混合比5:5のもの ○単位容積質量 1.60g/cm ³ ○含水比 40%程度 ○透水係数 9×10 ⁻⁶ cm/s	○礫分を10~70%程度、 砂分を30~70%程度含み 礫質土あるいは砂質土に 分類される ○湿潤単位容積質量 1.4g/cm ³ 程度 ○最適含水比 15~60% ○透水係数 8.8×10 ⁻³ ~ 7.2×10 ⁻¹ cm/s
強度特性	○一軸圧縮強さ 300~1,000kN/m ² 以上 (材齢28日)	○一軸圧縮強さ 1,000kN/m ² 以上 (材齢28日) ○コーン貫入抵抗 1,200kN/m ² 以上 (材齢3日)	○内部摩擦角 13° ○CBR 1.1~1.7% ○コーン指数 550~610kN/m ²	○内部摩擦角 35°以上 ○CBR 20%以上 ○コーン指数 1,200kN/m ² 以上
施工性	○フライアッシュを利用することで、 ベアリング効果により流動性が高く、 自己充填性を有する。 ○セルフレベリングすることで、 仕上げ施工が不要。	○流動性に優れポンプ打設が容易 (水中打設可能) ○トラフィカビリティ：陸上部の コーン貫入抵抗は1,200N/m ² 以上 (材齢3日)	○適正な含水調整で水中不 分離性能を発揮させ、埋戻しや 裏込め撤きだし施工で汚濁低減が 可能となる。	○軽量で、高いせん断強度と透水性を 有しており、構造物の合理的な設計に 寄与できる。
用途	裏込め材、充填材	裏込め材、充填材	盛土材、埋立材	盛土材、埋立材
証明他	—	—	—	NETIS登録済 (CG-120029-A)
その他	○開発者 北海道電力(株) ○出典 北海道電力(株)ホームページ	○開発者 九州電力(株) ○出典 九州電力(株)ホームページ他	○開発者 国土交通省 東北地方整備局、 東北電力(株) ○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(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)なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

2.3 土砂代替材

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

2.3.1 破碎材

(1) 製造法の概要

破碎材の代表例、「頑丈土」²⁾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等の添加剤を混合したものを締固めて固化させ、後に掘削・破碎して製造する。また、セメント固化による強度増加と有害物質の不溶化を目指したものである。

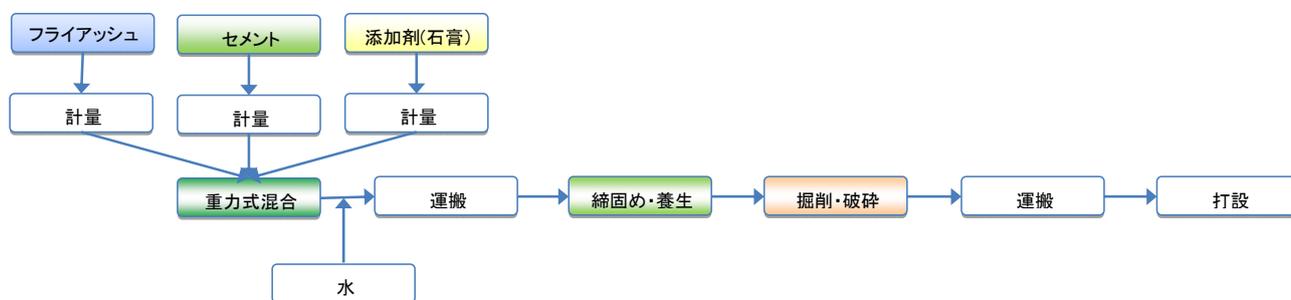


図-2.1 破碎材（頑丈土）の製造フロー



写真-2.1 固化体破碎材（頑丈土）

また、頑丈土の標準的な配合例を表-2.3に示す。

表-2.3 固化体破碎材（頑丈土）の配合例（質量比）²⁾

フライアッシュ	高炉セメントB種	水	石膏
100	7 ~ 9	30 ~ 40	0 ~ 10

(2) 基本的物性

固化体破砕材（頑丈土、海域使用の場合）の代表的な物性は表-2.4 に示すとおりである。

「頑丈土」は軽量および液状化し難い材料特性を有するため、港湾構造物に使用した場合、地盤沈下減少、地盤改良の省略あるいは改良範囲の縮小および構造物のスリム化等の特徴がある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-2.4 破砕材（頑丈土）の物性・性能²⁾

試験項目		物性・性能
物性	粒度	細粒分混じり土質材料～砂質土の粒度範囲 最大粒径は調整可能
	土粒子密度 (g/cm ³)	2.3～2.4
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.25 以下
	強熱減量 (%)	10 以下
	透水係数 (cm/s)	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
強度特性	せん断抵抗角 (°)	30 以上
	修正 C B R (%)	40 以上
	液状化抵抗比	$Rl_{20} \doteq 0.3$
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	陸上部のコーン指数は 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-2.2 に示した J-アッシュや東北電力が開発した輝砂がある。



写真-2.2 破砕材（J-アッシュ）の養生状況

2.3.2 造粒材

(1) 製造法の概要

造粒材の代表例、「ゼットサンド」の製造方法の概略を図-2.2 に、製品を写真-2.3 に示す。「ゼットサンド」は石炭灰（フライアッシュ）に、セメント、添加材および水を加え造粒して製造する。また、近年枯渇しつつある天然砂質土の代替材として適用することにより、資源の有効活用と環境保全を図るものである。

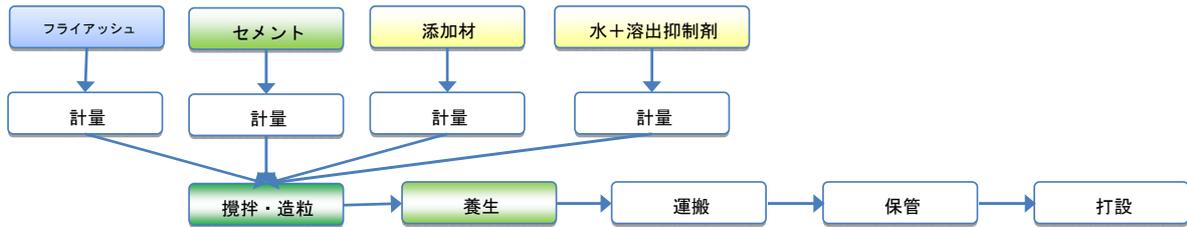


図-2.2 固化体造粒材（ゼットサンド）の製造フロー



写真-2.3 造粒材（ゼットサンド）

ゼットサンドの代表的な配合例を表-2.5 に示す。

表-2.5 造粒材（ゼットサンド）の配合例（重量%）³⁾

フライアッシュ	セメント	添加材（造粒助剤）	水	溶出抑制剤
85	5	10	約 25 ～ 40	0 ～ 1.0 程度

注) 供給水量、溶出抑制剤量は粉体材料重量 100%に対する値である。

(2) 基本的物性

固化体造粒材（ゼットサンド）の物性・性能は表-2.6 に示すとおりである。

表-2.6 造粒材（ゼットサンド）の物性・性能³⁾

試験項目		測定値	管理基準値	試験方法
物性	最大粒径 (mm)	9.5~26.5	4~50	JIS A 1204
	平均粒径 (mm)	0.35~1.46	0.3~2	JIS A 1204
	礫分含有率 (%)	20.9~39.7	15~50	JIS A 1204
	細粒分含有率 (%)	5.1~25.8	30 以下	JIS A 1204
	粒子密度 (g/cm ³)	2.308~2.323	2.4 以下	JIS A 1202
	透水係数 (cm/s)	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-3}$	1.0×10^{-4} 以上	JIS A 1218
強度	内部摩擦角 (°)	39.0~40.3	35 以上	JGS 0523
	95%修正CBR (%)	33.5~41.0	20 以上	JIS A 1211

(3) 同種品

固化体造粒材の同種品に、表-2.2 に示したフライ・クリーン、Hiビーズ、灰テックビーズ等がある。灰テックビーズの製品、製造プラントは写真-2.4 に示す。

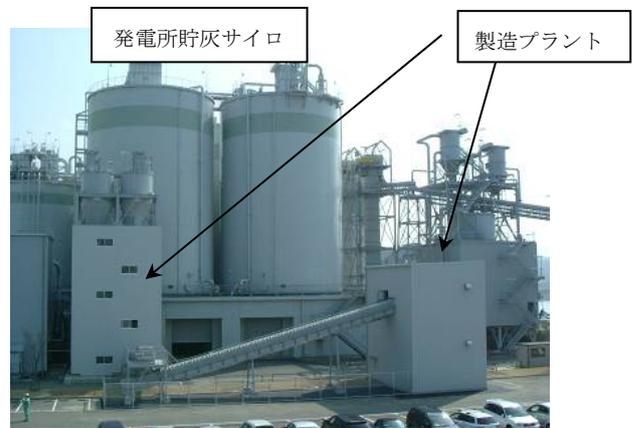


写真-2.4 造粒材（灰テックビーズ）と製造プラント

2.4 塑性材

石炭灰、セメント、水等を主原料とし、これに添加材料等を加えて塑性材を製造する。以下に、製造法、基本物性を示す。

(1) 製造法の概要

塑性材の製造方法の一例を図-2.3に示す。製造時と施工の状況を写真-2.5、2.6に示す。

塑性材は、石炭灰（フライアッシュ）にセメント、助剤（石膏）、最適含水比となるために必要な水を加えて、プラント等で混合して作製する。作製した塑性材は、ダンプトラック等で運搬し、敷均しと締固めを行う。助剤は、セメント固化における強度増加と有害物質の不溶化を目的としている。塑性材の配合例を表-2.7に示す。

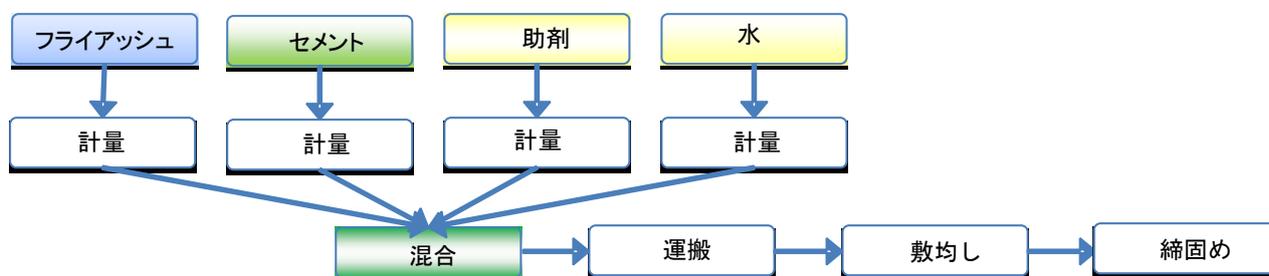


図-2.3 改良盛土材の製造・施工のフロー

表-2.7 塑性材（アッシュクリート Type II）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-2.5 塑性材の製造プラントの攪拌混合の状況



写真-2.6 塑性材の運搬と締固めの状況

(2) 基本的物性

塑性材の代表的な物性値は表-2.8 に示すとおりである。

表-2.8 塑性材（アッシュクリート Type II）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)	1×10 ⁻⁵ ~ 9×10 ⁻⁵
強度	現場CBR (%)	200 程度
	圧縮強度 (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-2.2 に示したソマッシュがある。

2.5 スラリー材

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

(1) 製造法の概要

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

製造上の特徴は、重力式混合プラントを使用した点である。具体的には、重力式混合プラントに石炭灰とセメントをベルトフィーダ等により定量・連続供給し、重力式混合装置により自由落下させ、装置内の衝撃ダンパーとせん断バーによって粉体として混合するもので、混合した粉体を攪拌用鋼製水槽に投入し、水を加え、浅層混合用攪拌機（ツインヘッダー）により攪拌しスラリー化させた⁵⁾。

スラリー材の代表例、「FCスラリー」の製造方法の概略を図-2.4に示す。

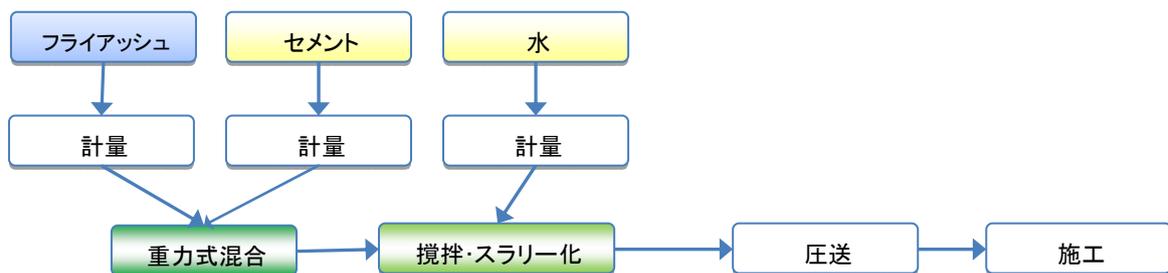


図-2.4 スラリー材（FCスラリー）の製造フロー



写真-2.7 スラリー材（FCスラリー）

F Cスラリーの代表的な配合例を表-2.9に示す。

表-2.9 スラリー材（F Cスラリー）の配合例

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

(2) 基本的物性

スラリー材料（F Cスラリー）の代表的な物性・性能は表-2.10に示すとおりである。

表-2.10 スラリー材（F Cスラリー）の物性・性能

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

(3) 同種品

スラリー材料の同種品に、表-2.2に示したFスラリーがある。

2.6 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、特にフライアッシュを加工した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-2.8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^{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-2.8 クリンカアッシュ

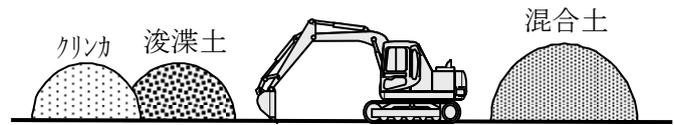


図-2.5 混合方法

(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-2.9に、施工後のコーン指数変化を図-2.6に示す。

(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2-10）。



写真-2.9 混合盛土の施工例

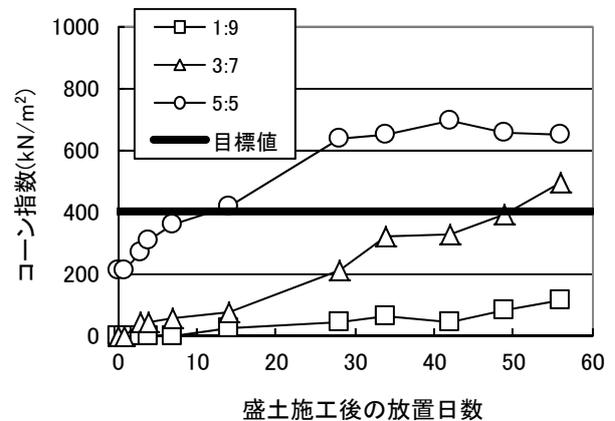


図-2.6 混合盛土の施工後のコーン指数変化⁷⁾



写真-2.10 クリンカアッシュ使用例（軽量盛土工）

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 建設技術審査証明報告書 土木系材料・製品・技術（建技審証 第 0401 号） 石炭灰を用いた人工地盤材料「ゼットサンド」、財団法人 土木研究センター、2004. 11
- 4) 長 稔、坂本守、井手元高行、斉藤栄一：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、pp. 55-58, 2010. 1
- 5) 前川文誓、飯干信幸、小川信行：塩害及び化学的侵食により劣化した護岸（直立型消波ブロック式）の補修対策、電力土木、No.303、pp. 66-70、2003. 1
- 6) 東北電力株式会社 <http://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2003/30729a.htm> 2015. 11. 17
- 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 III-582、pp. 1163-1164、2003. 9

第3章 設計

3.1 はじめに

本章では、石炭灰混合材料を高規格道路盛土工事および関連工事（地盤改良等）に適用する場合の設計の基本的考え方について述べる。3.2 では、盛土の設計にあたって重要と考えられる基礎地盤の調査について述べる。3.3 では、高規格道路盛土等への石炭灰混合材料の適用例を挙げ、設計時の留意点等を示す。

1.3 に示したように、石炭灰混合材料には複数の形態（種類）が存在し、それぞれの特徴を把握した上で適用する必要がある。また、石炭灰混合材料に関する設計を行う場合には、1.4 に示した石炭灰および石炭灰混合材料のメリット等を理解することが重要である。土砂代替材、塑性材、スラリー材、クリンカアッシュといった形態（種類）ごとにその特徴を活かせる場所に適用することが望ましい。

3.2 基礎地盤の調査

基礎地盤の調査に関しては、石炭灰混合材料以外の通常土工材料を用いる場合と同様である。以下、既存資料¹⁾の抜粋引用を示す。

盛土の基礎地盤の調査にあたっては、不安定な基礎地盤の存在が予想される場合に、現地踏査を含む土質調査を実施し、その性状、分布および問題となる基礎地盤の厚さを把握するため、地形判読・現地踏査・ボーリング・サンプリング・サウンディング・地下水調査・土質試験を適宜実施する。特に不安定な基礎地盤の存在が予想される場合には、現地踏査を含む土質調査を実施し、その性状、分布および問題となる基礎地盤の厚さを把握することが重要である。

盛土等の基礎地盤に対してボーリング調査を行う場合は、地形や地盤が変化する度に適切な間隔で行い、一般に調査深度は、盛土の沈下・安定上問題がないと判断される層が5m以上確認されるまで実施する。

不安定な基礎地盤として注意が必要な盛土基礎地盤としては、以下が挙げられる。

- ・ 軟弱層のある箇所
- ・ 地山からの湧水のある箇所
- ・ 地盤が傾斜している箇所
- ・ 地すべり地
- ・ 液状化のおそれのある地盤

3.3 一般盛土部の設計の考え方

3.3.1 基本的考え方

石炭灰混合材料を高規格道路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、通常の道路盛土設計と同様である。

石炭灰混合材料を適用することでメリットが得られる可能性がある場合として以下が考えられる。

- ・ 通常の土工材料が不足し、石炭灰混合材料の調達が可能現場
- ・ 側方土圧の低減でメリットが生じる場所（擁壁背面等）
- ・ 鉛直荷重の低減でメリットが生じる場所（軟弱地盤上の盛土等）
- ・ 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等）
- ・ 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、凍上抑制など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-3.1 に道路盛土への石炭灰混合材料の適用性を、表-3.2 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。また、3.3.2 および 3.3.3 に、それぞれの概要および設計上の検討項目を示す。検討にあたっては下記等を参考に適切な設計を行う必要がある。

- ・ 道路土工 盛土工指針、社団法人日本道路協会、平成 22 年 4 月¹⁾
- ・ 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、平成 22 年 7 月²⁾（以下、NEXCO 要領と略す）
- ・ 道路土工 軟弱地盤対策工指針、社団法人 日本道路協会、平成 24 年 8 月³⁾

表-3.1 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		<ul style="list-style-type: none"> フライアッシュ破砕材・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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。灰テ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	<p>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等で、工事用道路を兼ねた構造</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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		<ul style="list-style-type: none"> 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フライアッシュ造粒材等）を適用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 排水層として用いる場合は、盛土内の排水が可能なように厚さ、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		<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 湧水量や湧水箇所等を考慮して、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)		<ul style="list-style-type: none"> 擁壁への荷重低減として軽量材を適用可能。 流動性材料(石炭灰気泡混合軽量土、フライアッシュモルタル等)であれば、裏込め充填の施工性にも優れる。 	<ul style="list-style-type: none"> 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		<ul style="list-style-type: none"> 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等を参照)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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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²⁾、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-3.2 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	<p>軽量材による荷重軽減</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 適用する材料の単位体積重量等を確認し、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⁾²⁾等を参照のこと。
(2) 周辺地盤変位の抑制	<p>軽量材による荷重軽減</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 適用する材料の単位体積重量等を確認し、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⁾²⁾等を参照のこと。
(3) 沈下促進対策		<ul style="list-style-type: none"> サンドマットおよびサンドト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 	<ul style="list-style-type: none"> 具体的設計手法は、参考文献¹⁾²⁾等を参照のこと。
(4) 表層改良		<ul style="list-style-type: none"> 軟弱地盤の表層改良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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<p>軽量材による荷重軽減</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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⁾²⁾等を参照のこと。
(6) 液状化対策		<ul style="list-style-type: none"> Hi ビーズは、SCP 用材料として商品化されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 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²⁾、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

3.3.2 盛土（路床、路体）

(1) 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-3.3 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、もしくはアッシュクリート Type II のような塑性材かを考慮して、適用性を検討する必要がある。塑性材は、固化後は変形への追従性はないため、軟弱地盤上の盛土等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、通行荷重等を支えられる強度を有している必要がある。また、舗装工事施工時等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-3.3 盛土材料としての一般的分類（標準のり面勾配¹⁾等）

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		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~(N/mm ²)
			スラリー材	FC スラリー F スラリー
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) 礫および細粒分混じり礫(G)	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。 標準のり面勾配の範囲外の場合は安定計算を行う。
	5~15m	1:1.8~1:2.0	
粒度の悪い砂(SG)	10m 以下	1:1.8~1:2.0	
	10~20m	1:1.8~1:2.0	
岩塊(ずりを含む) 砂質土 (SF)	10m 以下	1:1.5~1:1.8	
	10~20m	1:1.8~1:2.0	
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	
火山灰質粘質土(V)	5m 以下	1:1.8~1:2.0	

注)盛土高は、のり肩と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-3.3、表-3.4 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-3.4 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高盛土 ・ のり面勾配が一般的な安定勾配よりも急な場合 <p style="text-align: right;">等</p>
基礎地盤や周辺の条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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、建築物等）への影響が懸念される場合 <p style="text-align: right;">等</p>

図-3.1 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。

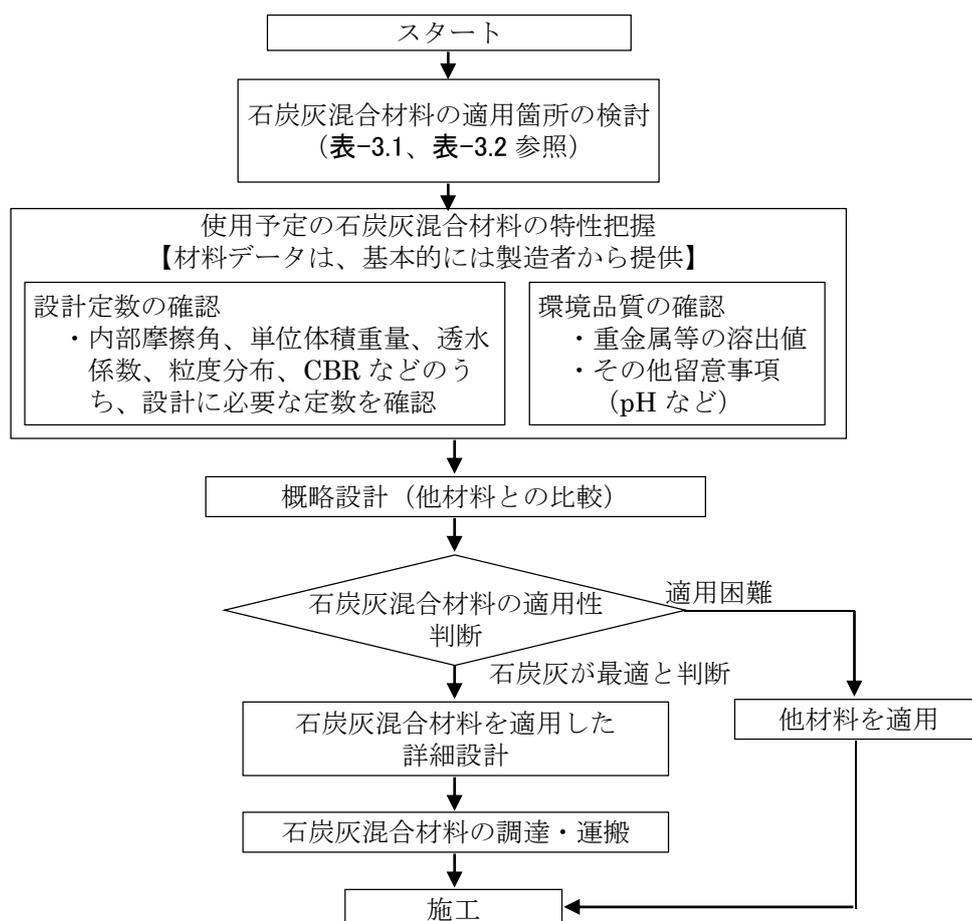


図-3.1 道路盛土に石炭灰混合材料を適用する場合の設計・施工フロー (例)

(2) のり面被覆・拡幅盛土

①概要

路体にまさ土、山砂、しらす等のり面浸食を受けやすい材料を用いた場合、**図-3.2**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フライアッシュ造粒材等が考えられる。被覆として用いる場合、pH および保水性等、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

基礎地盤の沈下や安定は、既設盛土との接続部の安定性(水みち等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等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。

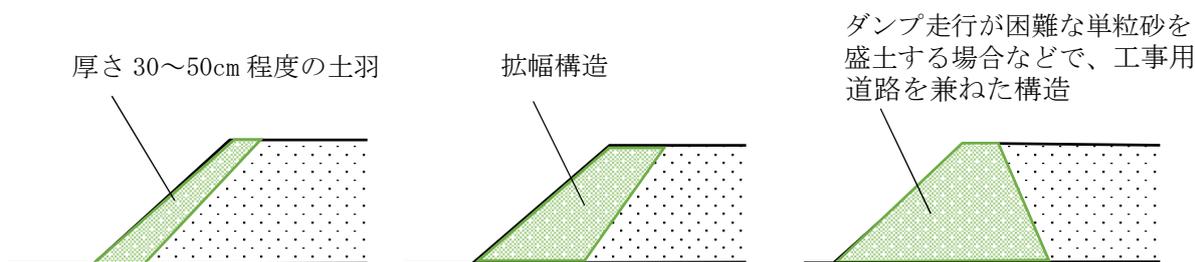


図-3.2 のり面被覆・拡幅盛土のイメージ図

(3) 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-3.3**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フライアッシュ造粒材等が考えられる。

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¹⁾「第5章軟弱地盤上の盛土 1-7 排水処理」等を参照のこと。

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

ことが考えられる。現地の地盤状況等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。

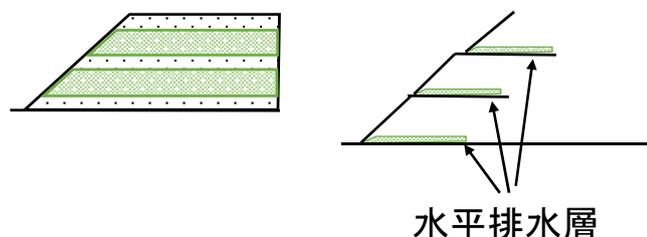


図-3.3 互層構造のイメージ図

(4) 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-3.4 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フライアッシュ造粒材等が考えられる。

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。

切土面等からの湧水等、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¹⁾「第5章軟弱地盤上の盛土 1-7 排水処理」等を参照のこと。

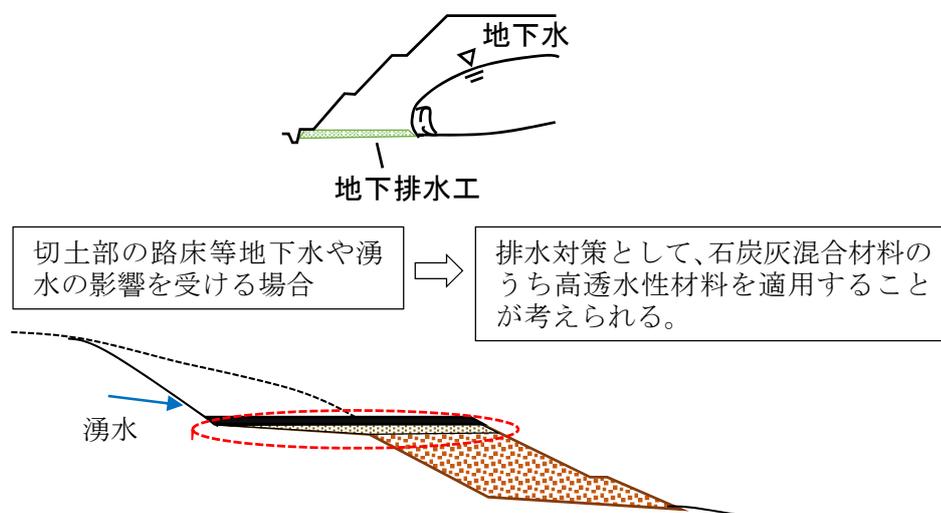


図-3.4 地下水処理構造のイメージ図

(5) 擁壁構造

①概要

擁壁への過重低減として図-3.5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、フライアッシュ造粒材、石炭灰気泡混合軽量土、フライアッシュモルタル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 $1.0 \times 10^{-4} \sim 10^{-6}$ m/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。

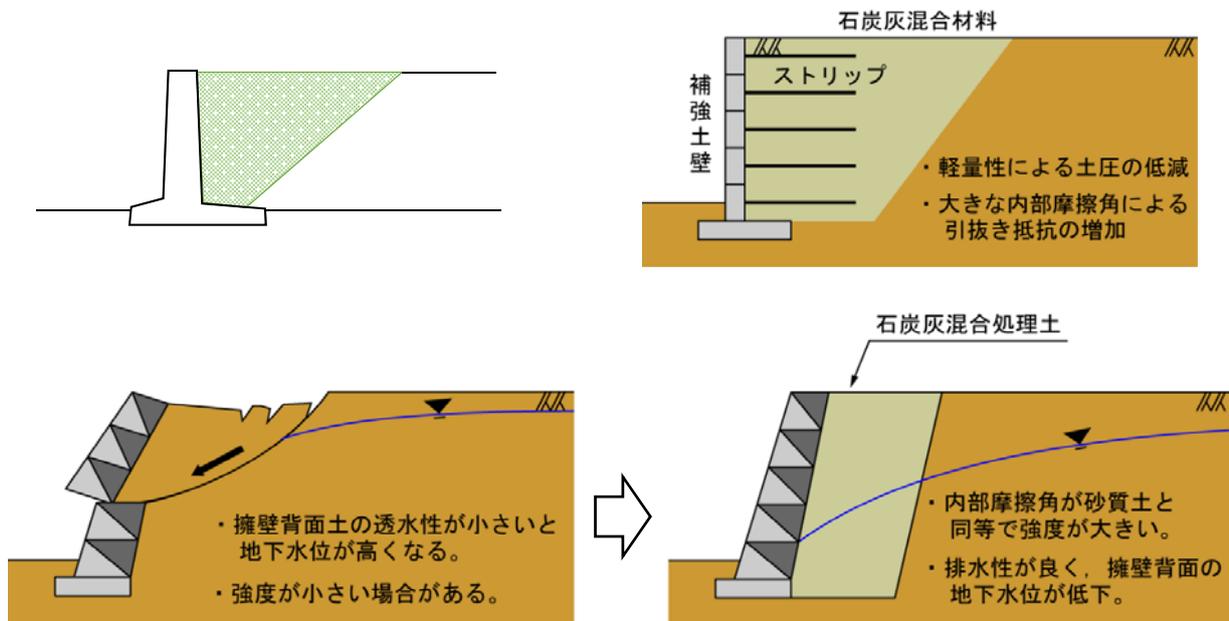


図-3.5 擁壁構造のイメージ図

(6) 凍上対策

①概要

図-3.6 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-3.5 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²⁾「第2章盛土 4-5 凍上対策」等を参照のこと。

表-3.5 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

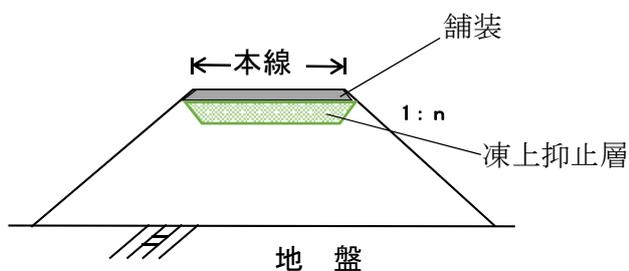


図-3.6 凍上対策のイメージ図

3.3.3 軟弱地盤における道路盛土

(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-3.7**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。破砕材、造粒材は自然土と比べて単位体積重量が小さいため（破砕材、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²⁾「第2章盛土 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。

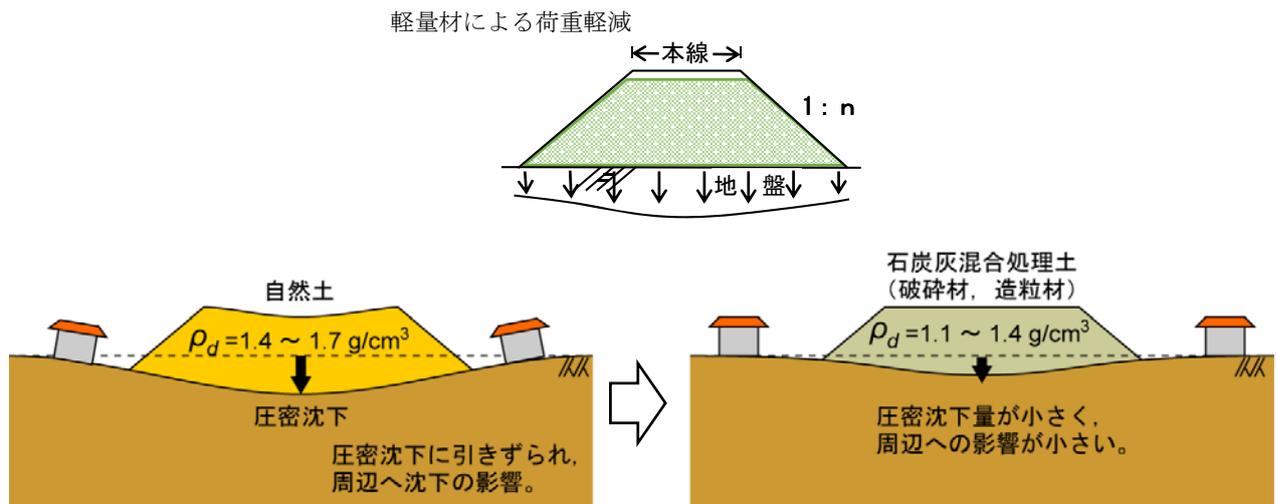


図-3.7 盛土材としての適用イメージ

(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-3.8**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。破砕材、造粒材は自然土と比べて単位体積重量が小さいため（破砕材、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。

例えば、クリンカアッシュは、写真-2.10 に示したような沈下抑制対策や周辺地盤の変位抑制対策として有効で、実績も多い。

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 1)「第2章盛土 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。

軽量材による荷重軽減

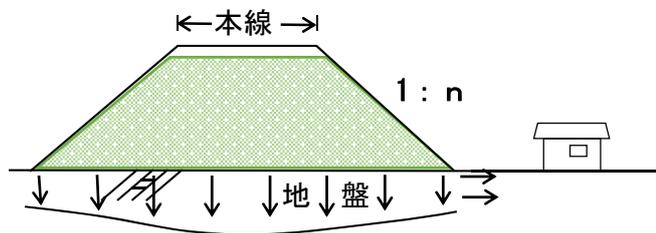


図-3.8 周辺地盤の変位抑制対策の適用イメージ

(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-3.9 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 2)「第5章軟弱地盤の盛土 3-6-6 パーチカルドレーン工法」等を参照のこと。

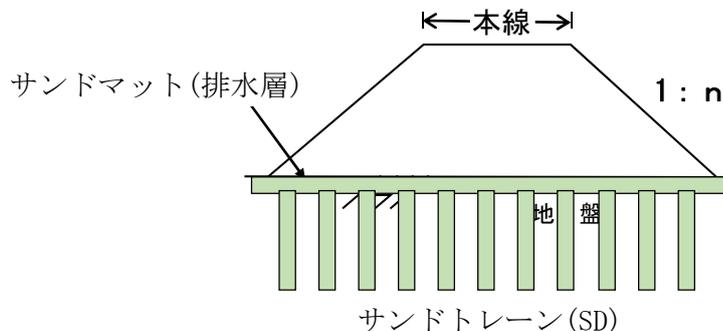


図-3.9 沈下促進対策の適用イメージ

(4) 表層改良（トラフィカビリティ向上等）

①概要

軟弱地盤の表層改良（トラフィカビリティ向上等）のため、**図-3.10**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フライアッシュ造粒材等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²⁾「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。

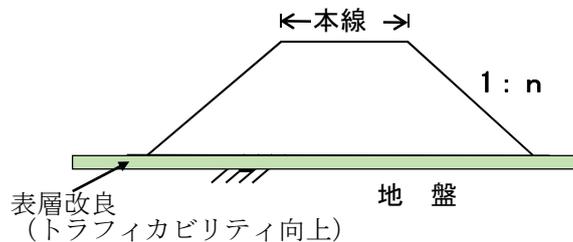


図-3.10 施工時のトラフィカビリティ向上の適用イメージ

(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-3.11**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。破砕材、造粒材は自然土と比べて単位体積重量が小さいため（破砕材、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²⁾「第2章盛土 1-5 盛土の安定検討および対策、第2章盛土 7 軽量盛土工法」等を参照のこと。

軽量材による荷重軽減

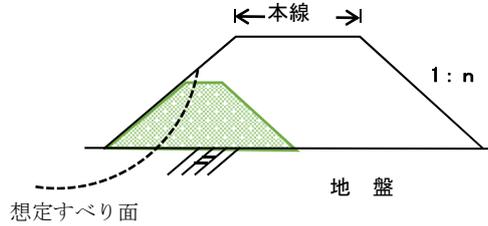


図-3.11 基礎地盤のすべり防止としての適用イメージ

(6) 液状化対策

①概要

液状化の可能性の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-3.12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。材料としてフライ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²⁾「第5章軟弱地盤の盛土 3-6-7 コンパクションパイル工法」等を参照のこと。

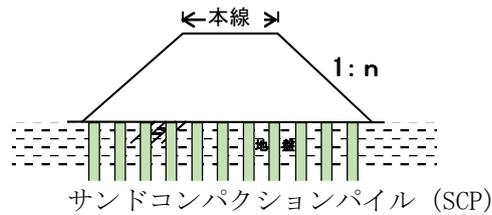


図-3.12 サンドコンパクションパイル工法の適用イメージ

3.4 覆土の考え方

盛土施工後に、アルカリ水対策、堤体の表面保護を目的として覆土を行う。図-3.13 にアルカリ対策例を示す。表-3.6 にアルカリ吸着能からみた覆土の土質の適否と標準厚さを示す。

周辺環境との調和を図るために覆土に植栽工を施す場合もある。覆土以外にコンクリートブロックや吹付け工などの対策がある。

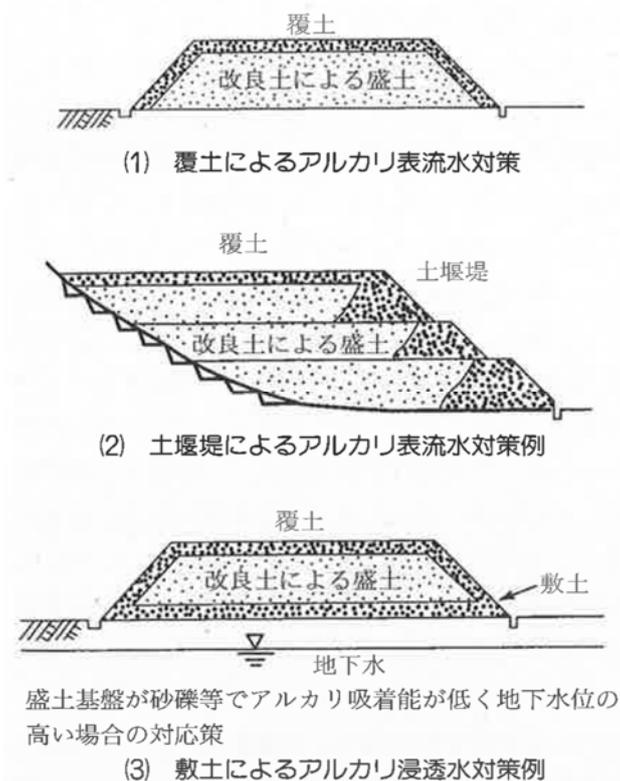


図-3.13 覆土・敷土による盛土のアルカリ水対策例⁴⁾

表-3.6 覆土・敷土材としての土質の適否と標準厚さ⁴⁾

アルカリ吸着能	土質の適否	土質	標準厚さ	備考
高い	望ましい土質	火山灰質粘性土（ローム）、粘性土、有機質土（高液性限界で施工性の悪いものは除く）、黒ぼく	30cm 以上	粘性土の場合、施工性に留意することが必要である。 敷土の場合には安定性の検討が必要である。
	利用可能な土質	シルト	50cm 以上	
低い	望ましくない土質	礫、砂、礫質土、砂質土、マサ土、火山灰、シラス	—	砂質土、マサ土でもアルカリ吸着能が上記土質と同様に高い場合は利用可能となる。

参考文献

- 1) 道路土工 盛土工指針、社団法人日本道路協会、2010.4.
- 2) 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、平成 2010.7.
- 3) 道路土工 軟弱地盤対策工指針、社団法人 日本道路協会、2012.8.
- 4) 土木研究所 建設汚泥再生利用マニュアル pp.81、2008.12.

第4章 施工

本章では石炭灰混合材料を工事に適用する場合の留意点、環境対策および品質管理の概要について、材料の種類別に述べ、それらの適用事例についても紹介する。本章に記載のない項目については、一般的な天然土砂等を利用する場合と、同様の施工方法で対応が可能である。

4.1 破砕材・造粒材・粗粒材

4.1.1 概要

破砕材、造粒材、粗粒材（クリンカアッシュ等）は工場製品として出荷されるものであり、重金属の溶出基準を満足した一般盛土材料として取り扱うことができる。

図-4.1、図-4.2に頑丈土破砕材、クリンカアッシュの粒度分布を示す。これらの図から、破砕材、クリンカアッシュは粗粒材（粒径0.075mm～75mmの材料が50%以上）に該当し、粒度分布によって礫質土、砂質土に分類される。

したがって、盛土材料としては良質土の分類になり、各基準に則った一般的な施工方法、品質管理方法に準拠すれば品質上の問題はないことから、高規格道路における路盤、路床、路体および構造物裏込め等への適用が可能である。

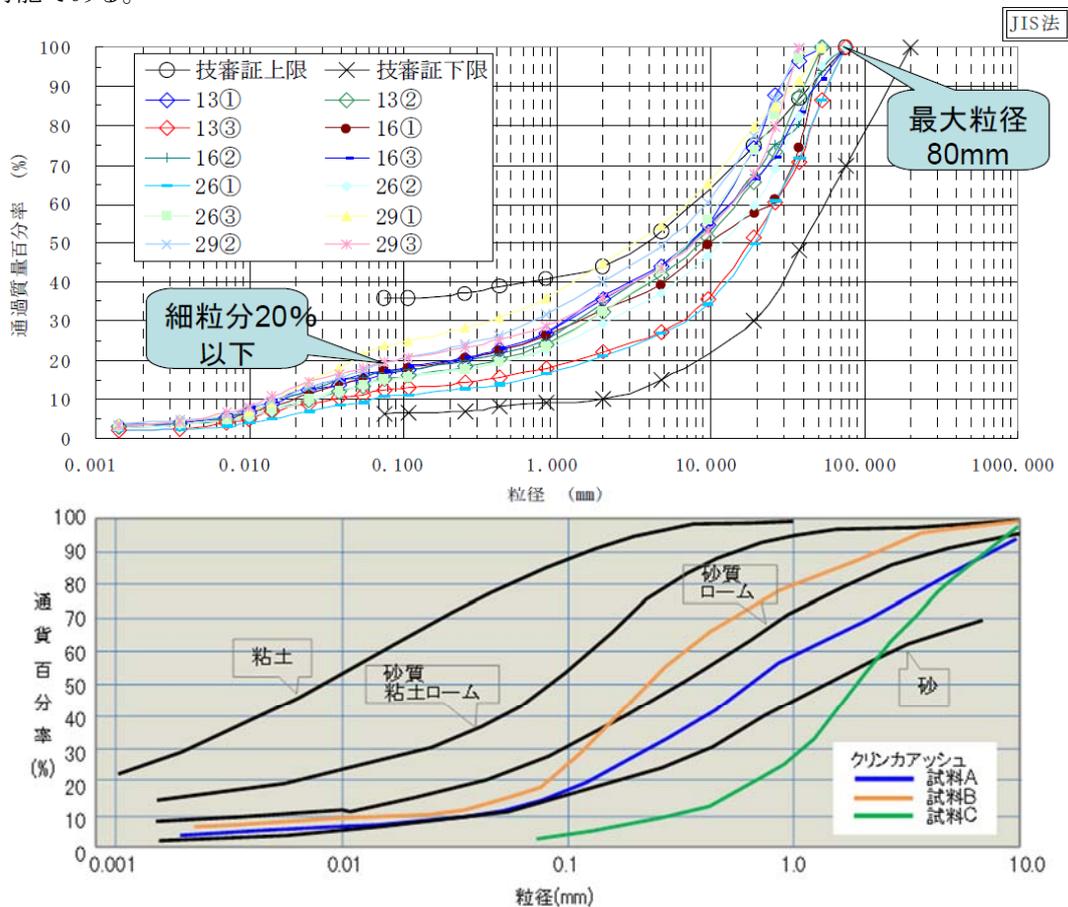


図-4.2 クリンカアッシュの粒度分布測定例²⁾

4.1.2 施工の基本方針

(1) 試験盛土の実施

破砕材、造粒材、粗粒材（クリンカアッシュ等）は工場製品として出荷されるが、一般盛土材と同様に製品によっても性状が変わってくることから、室内試験で物理・力学特性を把握するとともに試験盛土を必ず実施して、高規格道路の各構造部位に必要な品質を確保できるように締固め機械・敷均し厚さ・転圧回数・施工含水比等を適切に設定する必要がある。

なお、破砕材の最大粒径は需要に応じて変更が可能なため、高規格道路の各構造部位によって設定されている最大粒径に合わせて出荷することが可能である。

(2) 施工時の排水

破砕材、造粒材はセメントを含むためアルカリ性である。今までの実績では pH の変化は施工中の一時期で収まる傾向があるものの、安定処理土と同様に盛土表面や下部から排水された地下水、雨水に関しては pH 管理を行い、必要に応じて排水処理設備を設ける。

4.1.3 トラフィカビリティ

表-4.1 に施工機械が走行可能なコーン貫入抵抗を示す。頑丈土破砕材のコーン貫入抵抗は $q_c = 1,200\text{kN/m}^2$ 以上、クリンカアッシュのコーン貫入抵抗は $q_c = 1,000\text{kN/m}^2$ 以上であることから、小型の自走式スクレーパやダンプトラックが走行可能であり、優れたトラフィカビリティを有している。

特に頑丈土破砕材のコーン貫入抵抗が $q_c = 1,200\text{kN/m}^2$ 以上で、ダンプトラックの走行が可能のため、碎石等を利用した工事用道路を別途築造する必要がない。このことから、盛土工事の進捗に伴って行われてきた工事用道路の切り替えなどが不要となる。

表-4.1 施工機械が走行可能なコーン貫入抵抗³⁾

建設機械の種類	コーン貫入抵抗 q_c (kN/m ²)	建設機械の接地圧 (kN/m ²)
超湿地ブルドーザ	200 以上	15～23
湿地ブルドーザ	300 以上	22～43
普通ブルドーザ (15 t 級程度)	500 以上	50～60
普通ブルドーザ (21t 級程度)	700 以上	60～100
スクレープドーザ	600 以上	41～56
超湿地型スクレープドーザ	400 以上	27
被けん引式スクレーパ (小型)	700 以上	130～140
自走式スクレーパ (小型)	1000 以上	400～450
ダンプトラック	1200 以上	350～550

4.1.4 締固め

締固めは、盛土を所要の品質に築造するための重要な作業であり、試験施工等により決定された締固め機械・敷均し厚さ・転圧回数・施工含水比等の施工条件にしたがって、盛土全体が均質になるように十分に締固めを行う。

締固め機械は、工事規模・施工箇所・土質条件等を考慮して選定されることになるが、表-4.2はその目安としてよく参考にされている。

ハッチングしている部分が破碎材、造粒材、粗粒材（クリンカアッシュ等）の締固めに適している締固め機械である。

表-4.2 土質区分と締固め機械⁴⁾

盛土の構成部分	締固め機械 土質区分	ロードローラ	タイヤローラ	振動ローラ	自走式 タンピングローラ	被けん引式 タンピングローラ	ブルドーザ	振動コンバクタ	タ ン ク バ 	備 考
						普通型	湿地型			
盛土 路体	硬 岩			◎					□ 大	岩塊などで掘削・締固めによっても容易に細粒化しない岩
	軟 岩		大○	◎	○	○			□ 大	風化岩、土丹などで部分的に細粒化してよく締固まる岩
	砂、礫			◎					□ □	単粒の砂、粒度の悪い切込み砂利、浜砂
	砂質土 礫質土		大○	◎	○				□ □	細粒分を適度に含んだ粒度のよい締固め容易な砂質土、マサ、山砂利
	粘性土 礫混り粘性土		大○	○	◎	◎			□	細粒分は多いが鋭敏性の低い土、低含水比の開東ローム、破碎の容易な軟岩
	高含水比の砂質土						●			含水比調節が困難でトラフィカビリティが容易に得られない土、シルト質土
	鋭敏な粘性土						●	●		開東ロームなどの高含水比で鋭敏性の高い土
路床	粒調材料	○	大◎	◎					□ □	粒度分布の良いもの
	砂・礫混り砂	○	大○	◎					□ □	単粒の砂および粒度の悪い礫まじり砂、切込み砂利
	裏込め		○	小◎					□ □	ドロップハンマを使うこともある
のり面	砂質土			小◎					◎ □	
	粘性土			小○			○		○ □	
	鋭敏な粘土						●		□	
凡 例	◎：有効なもの、 ○：使用できるもの ●：トラフィカビリティが悪い場合にのみ使用するもの □：狭小な施工現場でのみ使用するもの 大：大型のもの 小：小型のもの									

4.1.5 締固め管理

表-4.3 に盛土の代表的な品質管理規定方式と主な試験・測定方法を示す。盛土施工では、所定の品質を確保するために締固め規定が設定されており、この方法には、品質規定と工法規定の2通りがある。品質規定は、締固め後の盛土の品質を規定して施工過程において常に品質管理を行う方法であり、各機関においては、この方法が主に採用されている。

締固めによる品質規定には、乾燥密度、空気間隙率・飽和度、強度特性を規定する方法がある。乾燥密度規定は、締固め度と施工含水比を規定値として砂質土や礫質土に適用されることから、破碎材、造粒材、粗粒材（クリンカアッシュ等）に適している。

工法規定は、締固め機械・敷均し厚さ・転圧回数という施工方法を規定するもので、あらかじめ現場における試験盛土等を行って、所定の品質が得られるように仕様を設定する。

表-4.3 盛土の代表的な品質管理規定方式と主な試験・測定方法³⁾

	試験・測定方法	原理・特徴	適用土質		
			礫	砂	粘
品質規定	ブロックサンプリング	掘り出した土塊の堆積を直接（パラフィンを湿布し、液体に浸すなどして）測定する。	↔		
	砂置換法	掘り出し跡の穴を別の材料（乾燥砂、水等）で置換することにより、掘り出した土の堆積を知る。	↔		
	水置換法		↔		
	RI法	土中でも放射線（ガンマ線）透過減衰を利用した間接測定。線源挿入による非破壊的な測定方法。	↔		
	衝撃加速度試験	重錘落下時の衝撃加速度から間接測定	↔		
	炉乾燥法	一定温度（110℃）における乾燥。	↔		
	急速乾燥法	フライパン、アルコール、赤外線、電子レンジ等を利用した燃焼・乾燥による簡便。迅速な測定方法。	↔		
	RI法	放射線（中性子）と土中の水素元素との錯乱・吸収を利用した間接測定、非破壊測定法。	↔		
	平板载荷試験	静的载荷による変形指示特性の測定。	↔		
	現場 CBR 試験		↔		
	ポータブルコーン貫入	コーンの静的貫入抵抗の測定。	↔		
	ブルーフローリング	タイヤローラ等の転圧車輪の沈下・変形量（目視）より締固め不良箇所を知る。	↔		
	衝撃加速度 重錘落下試験 HFWD 衝撃加速度試験	重錘落下時の衝撃加速度、機械インピーダンス、振動载荷時の応答加速度等からの間接測定。	↔		
			↔		
	工法規定	タスクメータ	転圧機械の稼働時間の記録をもとに管理する方法	↔	
TS・GNSSを用いた管理		転圧機械の走行記録をもとに管理する方法。	↔		

なお、品質管理基準値の一例を表-4.4～表-4.6に示す。

表-4.4 日常管理の基準値の目安【路体】⁵⁾

区分	仕上がり 厚さ	管理基準値			施工含水比
		土砂区分	締固め度 D_c (%)	空気間隙率 v_a (%)	
破碎材 造粒材	30cm以下	砂質土	90以上(A, B法)	—	(※2)

※1：表中の—は使用不適當

※2：締固め度の管理は、図-4.3中の矢印で示す範囲で行う。

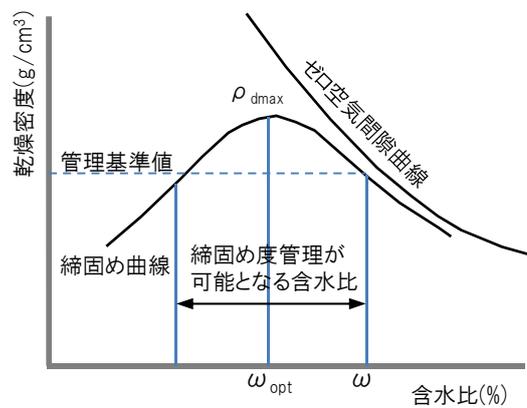


図-4.3 所定の締固め方法に対する土の締固め曲線³⁾

表-4.5 日常管理の基準値の目安【路床】⁵⁾

区分	仕上がり 厚さ	管理基準値			施工含水比
		土砂区分	締固め度 D_c (%)	空気間隙率 v_a (%)	
破碎材 造粒材	20cm以下	砂質土	95以上(A, B法) 90以上(C, D, E法)	—	最適含水比 付近

表-4.6 日常管理の基準値の目安【構造物との取付け部】⁵⁾

区分	仕上がり 厚さ	管理基準値			施工含水比
		土砂区分	締固め度 D_c (%)	空気間隙率 v_a (%)	
破碎材 造粒材	20～30cm	砂質土	95以上(A, B法) 90以上(C, D, E法)	—	最適含水比 付近

4.1.6 施工時の留意点

(1) 路盤で使う場合

路盤にクリンカアッシュを適用した場合、仕上がり面が平滑になることからアスファルト乳材との密着性が悪くなることもある。このような場合には結合材として薄層で砂を撒く場合がある。

(2) 粗粒材を用いた締固め試験

粗粒材（クリンカアッシュ等）は破砕性材料であることから、突固めによる締固め試験を実施する場合には、試料の使用法として非繰返し法（常に新しい試料を用いて含水比を変えて使用する方法）を適用する。同一試料を用いた繰返し法を適用すると常に粒度分布が変化し、正確な締固め曲線が得られないので注意を要する。

(3) 養生および環境安全受渡検査

締固め作業中に粉じんが発生する恐れがある場合は、必要に応じて散水養生を行う。1日の締固め施工が終了した後は、セメント水和反応が十分に進むように、乾燥や雨水浸透を防止するため、シート養生を行う。

所定期間養生後、**第5章**に示す頻度や試験方法に従い、環境安全受渡検査を実施する。

(4) 雨水排水処理

破砕材、造粒材は原料として石炭灰およびセメントを使用しており高アルカリ性を呈するため、工事中に降雨があった場合、雨水が盛土表面を流れてアルカリ性になる可能性がある。そこで、必要に応じて、盛土ののり尻に排水溝を設け、表面水を貯水池に導いて pH 管理を行うための排水処理設備を設置する。

4.2 塑性材

4.2.1 概要

塑性材は、工事現場近傍において、石炭灰にセメント等の固化材と水を混合攪拌して製造した石炭灰混合材で、外観はそばろ状である。これを現場にまき出し、敷き均した後、転圧や振動により締め固めることで、密実で安定した盛土が構築される。混合材料の製造に際して、使用する石炭灰の締固め特性や重金属溶出等の化学特性に応じて、材料の配合量を調整する等の工夫が必要である。

4.2.2 施工の基本方針

塑性材の一般的な施工手順を図-4.4に示す。

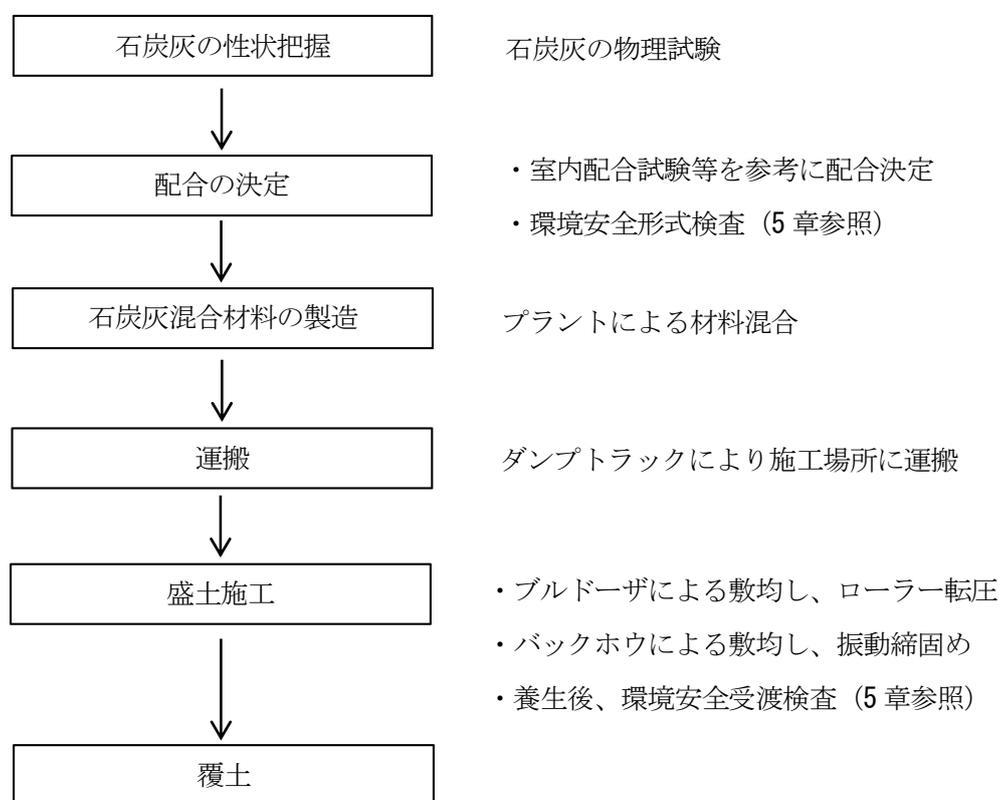


図-4.4 施工フロー

4.2.3 石炭灰の性状把握

石炭の産地や火力発電所のボイラーの種類や燃焼方式によって、石炭灰の物理・化学性状が異なるため、試験で把握する必要がある。試験項目として締固め特性、pH、などが考えられるが、施工方法に応じて試験項目を設定する。試験結果に基づき、塑性材としての利用に適した灰を選定する。

4.2.4 配合の決定

各構造部位の必要強度や石炭灰混合材料の環境安全性を確保できるように、セメント等の固化材の添加

量を決定する。使用する石炭灰の溶出量と石炭灰混合材料の溶出量に関するデータベースがある場合は、これを参考にして配合量を設定する。配合決定時の環境安全型式検査については、**第5章**に従い実施することとする。

4.2.5 石炭灰混合材料の製造

(1) 石炭灰の保管

石炭灰は微粒子の粉体であるため、原則としてサイロ等の密閉した場所に保管し、周辺への飛散を防止する。石炭灰が排出段階で散水されて湿灰として供給される場合、シート養生等により乾燥・飛散を防止できれば、屋外で保管することも考えられる。

(2) 製造

発電所構内や工事現場の近傍に、バッチャープラント等の製造プラントを設置し、セメント等の固化材と水を混合する。石炭灰と混合材料が均質に混合されるように、試験練りを行って材料の投入順序や混合時間を設定する。製造後の品質を確認するため、含水比等を定期的に測定する。

石炭灰の種類によっては加湿により自硬性を示すものがあるため、湿灰を使用する場合は、**ダマ**が生じないように注意を要する。

4.2.6 運搬

混合材料はダンプトラックで工事現場に運搬するのが一般的である。製造直後からセメント水和反応が開始し、混合材料中の水分が消費されるため、現地に到着した時点で締固め施工に良好な状態を保てるように運搬時間を設定する。また、過積載にならないように注意する。

4.2.7 盛土施工時の留意点

(1) 敷均し、締固め

通常の土砂と同様な締固め施工による場合は、ブルドーザ等で敷き均した後、ローラー等の締固め機械によって締め固める。締固め後の1層の仕上がり厚さは一般的な盛土施工では**30cm**程度であるが、構造物の裏込め等施工部位が狭隘な場合は、十分な締固めが行えるように仕上がり厚さを小さくし、小型の締固め機械を使用する必要がある。のり面は、バックホウに装着したのり面バケット等を用いて転圧する。要求される締固め度や締固め機械等によって締固め特性が異なるため、試験施工を行って敷均し厚さや締固め回数を決定するのが望ましい。

振動締固めによる場合は、バックホウで混合材料を型枠内に敷き均し、締固め専用機器を用いて締め固める。施工実績の一例として、まき出し厚さは**90cm**、振動時間は**60**秒以上で、締固め後の1層の仕上がり厚さは**80cm**程度である。要求される締固め度や締固め機械等によって締固め特性が異なるため、試験施工を行って、敷均し厚さと締固め回数を決定するのが望ましい。

1層の締固めが終わった後は、乾燥密度と含水比を測定して締固め管理を行う。代表的な締固め管理方

法は前節の表-4.3 に示すとおりである。石炭灰混合材料（塑性材）はシルト質であるため、適用土質が粘土の試験が妥当と考えられる。密度、水分測定では RI 法が一般的に使用される。

(2) 養生および環境安全受渡検査

締固め作業中に粉じんが発生する恐れがある場合は、必要に応じて散水養生を行う。1 日の締固め施工が終了した後は、セメント水和反応が十分に進むように、乾燥や雨水浸透を防止するため、シート養生を行う。

所定期間養生後、第 5 章に示す頻度や試験方法に従い、環境安全受渡検査を実施する。

(3) 雨水排水処理

塑性材も破砕材、造粒材と同様にセメントを含んで高アルカリ性であるため、工事中に降雨があった場合、雨水が盛土表面を流れてアルカリ性になる可能性がある。そこで、必要に応じて、盛土ののり尻に排水溝を設け、表面水を貯水池に導いて pH 管理を行うための排水処理設備を設置する。

4.3 スラリー材

4.3.1 概要

スラリー材は、工事現場近傍において、石炭灰にセメント等の固化材、水等を混合攪拌して製造し、ポンプで圧送可能な程度の流動性を持つ石炭灰混合材である。そのため、橋台等関連構造物の背面埋め戻し等、比較的狭所での充填性を目的とした施工も可能な材料である。また、気泡を混合することで軽量化して使用する場合もある。

また、スラリー材を地盤に混合処理することで、均質な地盤改良体の施工に適用することも可能である。

4.3.2 施工の基本方針

スラリー材の一般的な施工手順を図-4.5に示す。

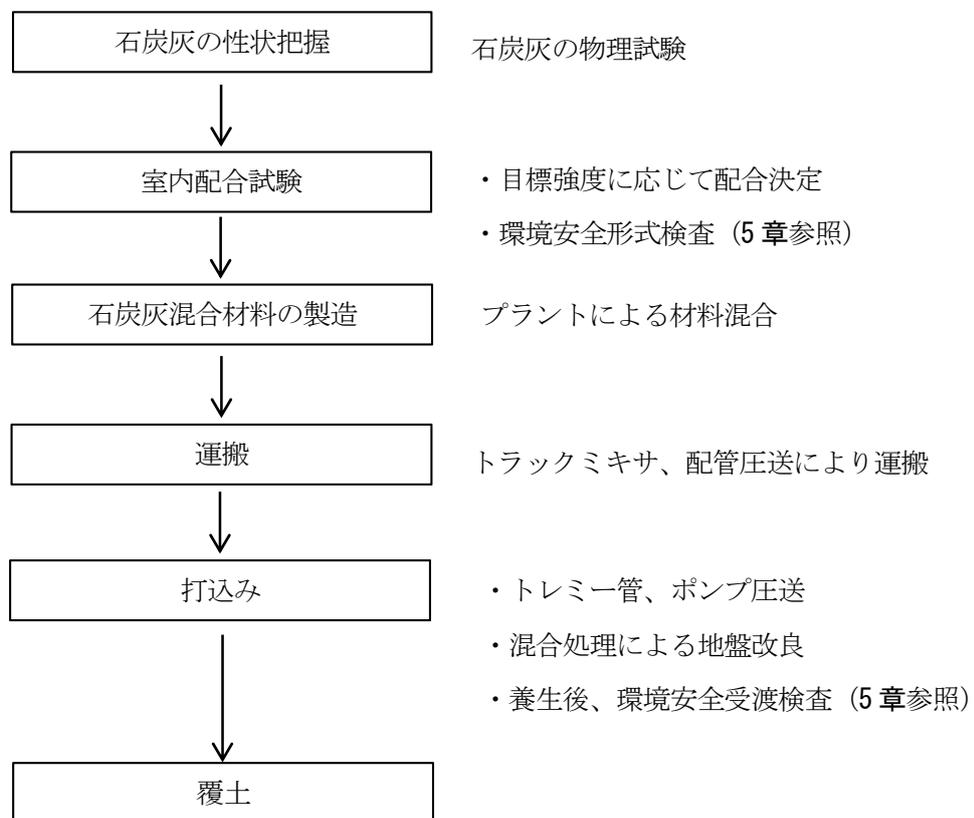


図-4.5 施工フロー

4.3.3 配合選定

各構造部位の必要強度および石炭灰混合材料の環境安全性を確保できるように、流動性を維持しながらセメント配合比を変動させ配合を選定する。スラリー材の使用事例での配合例と性状特性を表-4.8、4.9に示す。

また、主材料である石炭灰は、石炭灰供給者がスラリー材に適した石炭灰を選定出荷し、最終的に石炭灰混合材料の環境安全性を確保できることも確認する。この際、使用する石炭灰の溶出量と石炭灰混合材料の溶出量に関するデータベース等がある場合は、これを参考にして配合量を設定する。配合決定時の環境安全型式検査については、5章に従い実施することとする。

表-4.8 スラリー材の配合例⁷⁾

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

表-4.9 スラリー材の性状特性例⁷⁾

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

4.3.4 スラリー材の製造

スラリープラントは、工事規模や日当たり打設量に応じて適切なものを選定することとする。

そのスラリープラントを施工現場の近傍に設置し、セメント等の固化材と水を混合する。材料が均質に混合されるように、試験練りを行って、材料の投入順序や混合時間を設定する。

4.3.5 運搬

スラリープラントが施工現場に近い場合 (100m 程度) はグラウトポンプで現場施工箇所まで圧送しトレミー管で投入充填することがあるが、運搬距離が長い場合はトラックミキサに搭載して施工位置まで運搬した後、グラウトポンプとトレミー管で打ち込む場合もある。また、施工延長が 100m を超える施工箇所もあるので、両方法を併用することもある。

4.3.6 盛土施工時の留意点

スラリー材を単体で施工する場合、圧送された石炭灰混合材料（スラリー）を作業員がトレミー管先端を操作し、作業手順に従った管理高さおよび施工位置で投入する。流動性が高いため、打込み区画端部には**写真-4.1**のように型枠を設置し、スラリー材の流出を防止する必要がある。

環境安全性については、所定期間養生後、**5章**に示す頻度や試験方法に従い、環境安全受渡検査を実施する。また、他の石炭灰混合材料と同様に、スラリー材もセメントを含むため高アルカリ性となり、盛土施工中に雨が降って、表面を流れる際に、雨水がアルカリ性になる可能性がある。そのため、必要に応じて盛土ののり尻に排水溝を設け、**pH** 管理を行うための排水処理設備を設置する。

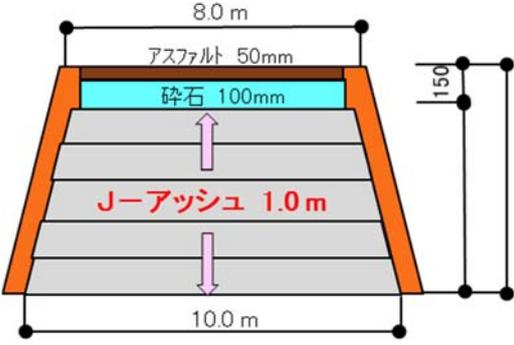


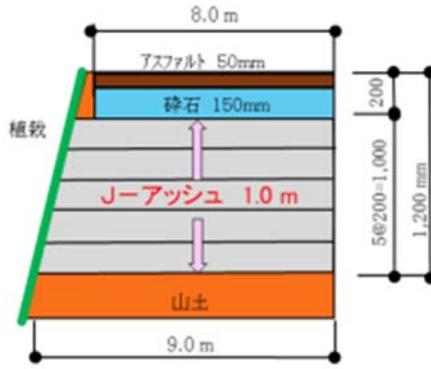
写真-4.1 型枠設置状況

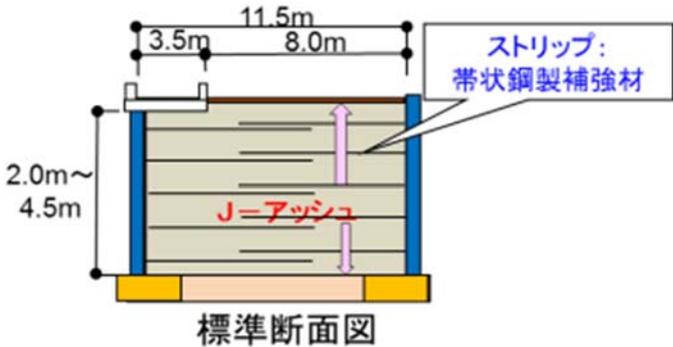


写真-4.2 スラリー材による地盤改良

4.4 適用事例

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
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＋砕石＋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法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	 <p style="text-align: center;">仮設道路の断面図</p>  <p style="text-align: center;">施工状況</p>

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＋砕石＋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法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	 <p style="text-align: center;">仮設道路の断面図</p>   <p style="text-align: center;">施工状況</p>

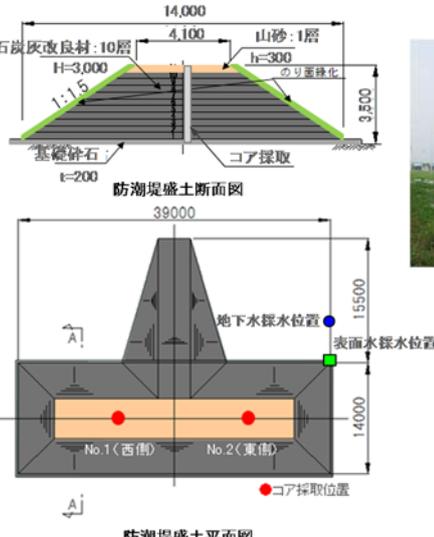
工事名称	小名浜港東港連絡橋陸上側（テールアルメ工法）道路
発注者(事業者)	国土交通省東北地方整備局小名浜港湾事務所
施工業者	福島県内の建設会社
施工場所	福島県小名浜港3号埠頭地内
施工時期	—
使用材料	J-アッシュ（破砕材）：石炭灰＋セメント＋水
石炭灰混合材料使用量	2,700m ³
工事概要	小名浜港3号埠頭のテールアルメ工法背面埋戻し材に石炭灰混合材料を使用
施工状況写真等	 <p>標準断面図</p>   <p>施工状況</p>

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	<div data-bbox="652 880 1190 1285" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="730 1305 1059 1339">材料まき出しかさ上げ状況</p> <div data-bbox="652 1352 1211 1767" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="687 1787 1174 1821">石炭灰混合材料（造粒材）築堤延長状況</p>

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	<div data-bbox="507 891 1362 1272" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="619 1413 1257 1861" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">施工状況</p>

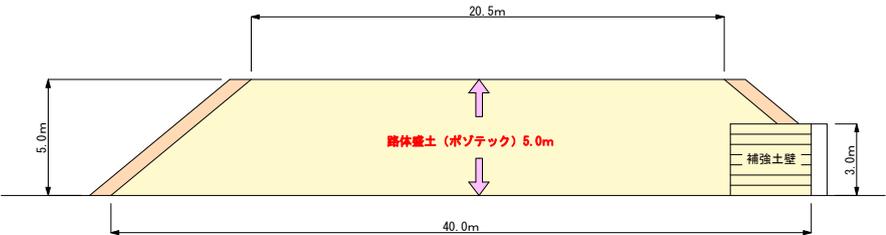
工事名称	豊平町道路工事（テールアルメ工）
発注者(事業者)	広島県
施工業者	広島県内の建設会社
施工場所	広島県豊平町
施工時期	H18.12～H19.2
使用材料	ライトサンド（粗粒材：クリンカアッシュ）
石炭灰混合材料使用量	2,200m ³
工事概要	補強土壁の裏込め材として、活用された事例。通常の土工材に比べて、軽量でせん断強度が高い（内部摩擦角が35°以上確保可能）により、鋼製のストリップ長の低減および床掘削量の低減が可能となり、採用された事例。
施工状況写真等	<div data-bbox="639 875 1198 1249" data-label="Diagram"> <p>【補強土壁の裏込め材】</p> <p>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</p> </div> <div data-bbox="552 1323 1145 1727" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="675 1749 772 1778" data-label="Caption"> <p>施工状況</p> </div> <div data-bbox="900 1630 1331 1951" data-label="Image"> </div>

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 Type II（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、脱硫酸石膏を添加してバ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	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>バックホウによる敷ならし</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>専用機器による締固め</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>全 景</p> </div>

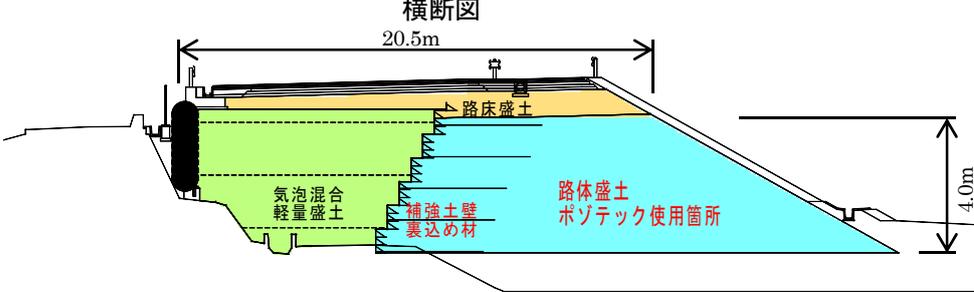
工事名称	防潮堤盛土実証試験（試験施工）
発注者(事業者)	—
施工業者	株式会社大林組
施工場所	福島県相馬郡 相馬共同火力発電 新地発電所構内
施工時期	H25.3～H25.5
使用材料	ソマッシュ（塑性体）：石炭灰＋セメント＋助材＋水
石炭灰混合材料使用量	1,100m ³
工事概要	石炭灰混合材料をプラントで製造し、施工場所に運搬し、ブルドーザで敷均した後、振動ローラーで転圧して堤体を構築した。盛土構築後、定期的に強度、溶出試験等のモニタリングを実施。
施工状況写真等	<p>【施工手順】</p>  <p>バッチャープラント ダンプトラックによる運搬</p> <p>ブルドーザによる敷均し コンバインドローラによる締固め</p>  <p>防潮堤盛土断面図</p> <p>防潮堤盛土平面図</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・長さ 39m、幅 14m、高さ 3.5m ・使用材料： <ul style="list-style-type: none"> 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	下松石炭中継基地建設工事（石炭積み付け地盤改良）
発注者(事業者)	—
施工社	建設会社
施工場所	山口県下松市
施工時期	H 12.6～H13.1
使用材料	FC スラリー（フライアッシュを混和したセメントスラリー）
施工数量	185,000m ³ （フライアッシュ使用量 約 16,000t）
工事概要	<p>石炭積み付け地盤の改良工事に深層混合処理工法を採用したが、下記の観点からフライアッシュを混和したセメントスラリーを使用した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・流動性改善による施工性の向上 ・均質な改良体の造成 ・杭式改良部における合理的な低強度改良体の造成 (セメント単独使用時の過強度や最低スラリー量の確保)
施工状況写真	<div style="text-align: center;">  <p>地盤改良地点</p> <p>石炭サイロ</p> <p>石炭受入</p> <p>払出棧橋</p> </div> <p style="text-align: center;">下松石炭中継基地(建設時全景)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(杭式改良部)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(ブロック改良部)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">FC スラリーによる施工状況</p>

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	<p>搬入荷降ろし状況</p> 	<p>敷均し状況</p> 	
	<p>転圧状況</p> 	<p>転圧完了</p> 	
			

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・補強土壁盛土材として活用。
施工状況写真	 <p>有明海沿岸道路の断面図</p>   <p>施工状況</p>

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	<div style="text-align: center;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>搬入状況</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>敷均し状況</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>締固め状況</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>完了全景</p> </div> </div>

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及び補強土壁盛土として活用。
施工状況写真	<p style="text-align: center;">横断図 20.5m</p>  <p style="text-align: center;">施工状況</p> 

参考文献

- 1) 二宮 康治：頑丈土破碎材の概要および使用実績について、(一財)石炭エネルギーセンター 2005年石炭灰有効利用シンポジウム講演資料、平成 17 年 12 月
- 2) クリнкаアッシュの粒度分布測定例、日本フライアッシュ協会HP
- 3) 道路土工 盛土工指針、(公社)日本道路協会、平成 22 年度版
- 4) 地盤工学会：盛土の調査・設計から施工まで(第 1 回改訂版)を一部加筆修正
- 5) 道路土工 盛土工指針を一部加筆修正、(公社)日本道路協会、平成 22 年度版
- 6) 土木研究所 建設汚泥再生利用マニュアル、2008、pp.81
- 7) FC スラリー 性状・強度特性、配合例、
九州電力株式会社 http://www.kyuden.co.jp/effort_thirmal_coal-ash_product_fc-slurry.html
2015.11.17

第5章 環境安全品質および検査方法

5.1 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及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「土壤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りサイクルガイドライン」の一つに該当し、本章は、環境安全品質確保の方法を具体的に示すものである。

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

なお、石炭灰混合材料は、平成23年環境省通知「土壤汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壤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、周辺土壤と区別して用いられる場合は、そもそも土壤とはみなされない」ことから、この限りにおいては土壤環境基準は適用されず、かつ、「土壤汚染対策法の調査の命令対象とはならない」。したがって、周辺の土壤と区別して用いる場合は、土壤環境基準や土壤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などに正確に記録・保管し、将来、所有者が変更される際には情報を確実に伝達することが必要である。また、情報の記録・保管が困難な用途^{※3}については、一般土壤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。

5.2 環境安全品質および検査方法の規定に際しての考え方

5.2.1 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-5.1に示す。

(1) 環境安全型式検査

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て

※1 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。

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

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

※3 建築資材などが想定される。

て環境安全品質基準を満足することを検査する。そのための環境安全品質基準と試験方法は、先出の「基本的考え方」¹⁾に基づき規定する。すなわち、石炭灰混合材料を利用する際には、その出荷から、施工、利用を経て、利用終了後の再利用または処分も含めたすべてのライフサイクルにおいて、影響を受ける大気、土壌、地下水、海水など（環境媒体という）が当該の環境基準などを満足できるように配慮しなければならない。そこで、それぞれの用途（もしくは工事^{※1}）ごとに、そのライフサイクルの中で「最も配慮すべき曝露環境」を選定する。環境安全形式検査において参照する基準（“環境安全品質基準”）は、「最も配慮すべき曝露環境」において、石炭灰混合材料を取り囲む環境媒体が環境基準など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。

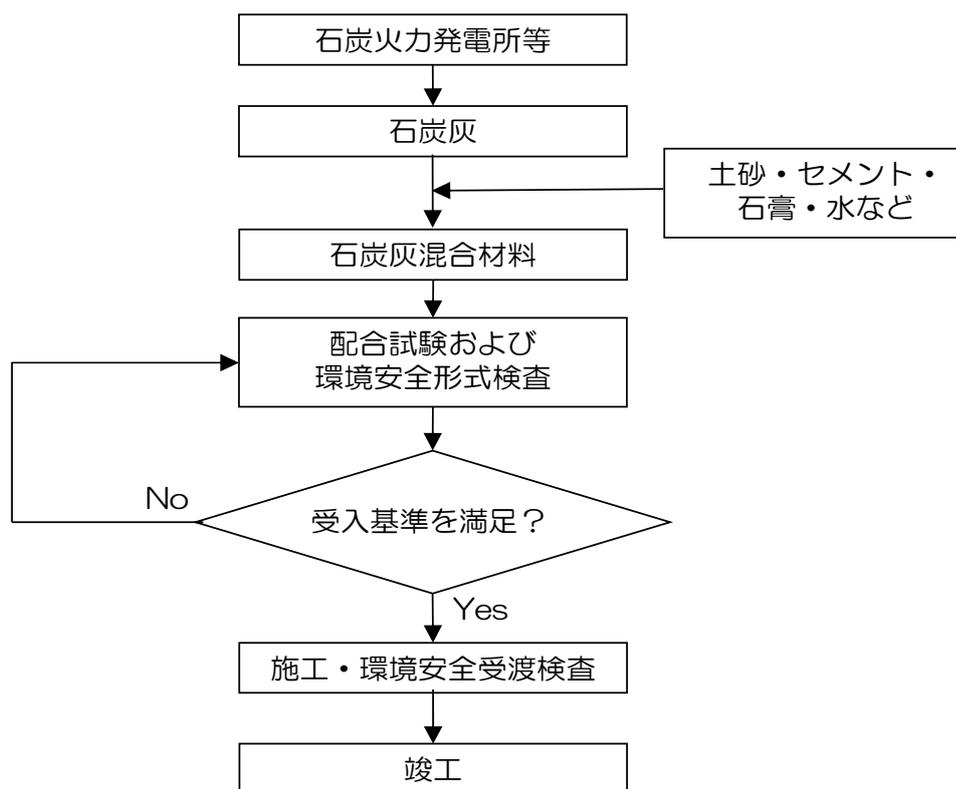


図-5.1 環境安全品質に関する検査の流れ

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

5.2.2 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-5.1のように規定する。

高規格道路用の盛土材や裏込材のように、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などの観点から「最も配慮すべき暴露環境」を選定する。

表-5.1 「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。

5.2.3 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）が環境基準など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-5.2のフローチャートにしたがい、表-5.2に示す類型A～Eのいずれかを選定することとなる。

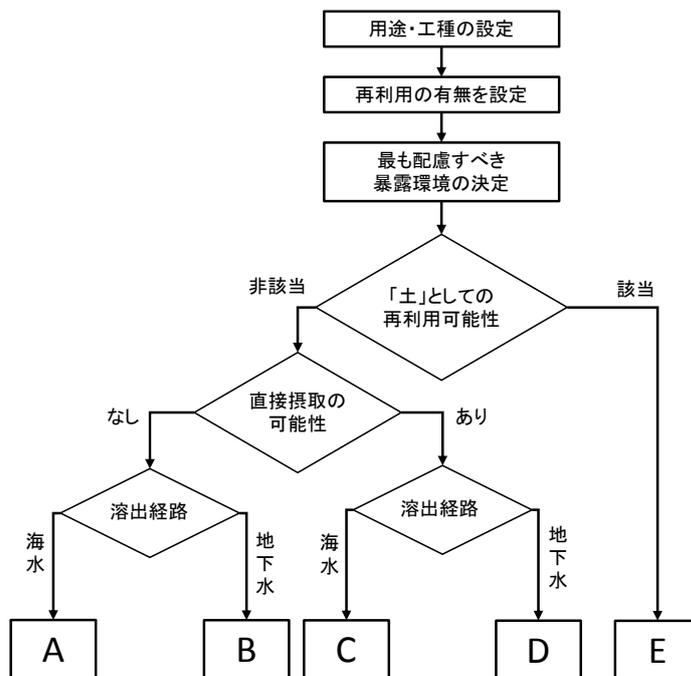


図-5.2 環境安全形式検査の類型判断フローチャート

表-5.2 各類型の試験方法と環境安全品質基準

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

以上を踏まえて、本ガイドラインの対象範囲である高規格道路の各用途における「最も配慮すべき曝露環境」と試験項目を表-5.3 に示す。なお、用途ごとの環境安全形式検査及び受渡検査の項目は表-5.6 を参照のこと。

表-5.3 用途ごとの試験方法と環境安全品質基準

用途 (カッコ内に、図-5.2 による類型を記す)			最も配慮 すべき曝 露環境	試験項目 (カッコ内に、試験方法と環境安全品質基準※ 1 を順に記す)
再利用が 想定され る用途	舗装工	路床材、凍上抑制材、路盤材、 アスファルト舗装骨材、舗装用 ブロック (類型 C または D)	再生路盤 の状態	溶出量試験 (JIS K0058-1 の 5.、一般用途溶出 量基準) 含有量試験 (JIS K0058-2、含有量基準)
再利用が 想定され ない用途	地盤改 良工	覆土材、盛土材、埋戻材 (資材 が露出する恐れ※3 のある場合： 類型 E)	最初の用 途の状態	溶出量試験 (平成 15 年環告 18 号、一般用途溶 出量基準) 含有量試験 (平成 15 年環告 19 号、含有量基準)
		盛土材、埋戻材 (資材が露出 する恐れ※3 のない場合：類型 A ま たは B)		溶出量試験 (JIS K0058-1 の 5.、周辺環境に基 づき決定※2)
	裏込工	裏込材 (類型 A または B)		溶出量試験 (JIS K0058-1 の 5.、周辺環境に基 づき決定※2)
	土工	パ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.、周辺環境に基 づき決定※2)
浅層混合処理固化材 (類型 E)		溶出量試験 (平成 15 年環告 18 号、一般用途溶 出量基準) 含有量試験 (平成 15 年環告 19 号、含有量基準)		

※1 環境安全品質基準値は表-6.3 に示す。

※2 影響を与える周辺環境が海水の場合は港湾用途溶出量基準を準用し、それ以外の場合は一般用途溶出量基準を適用する。

※3 資材が露出する恐れとは、他の材料で被覆した場合であっても、雨水など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。

5.3 環境安全品質基準

表-5.2 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

ユアル(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-5.4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などの無機物質に限定した。なお、表-5.4に示す一般用途溶出量基準と含有量基準は土壤汚染対策法の指定基準と同等である。港湾用途溶出量基準の設定の考え方は、表-5.5に示すとおりである。

環境安全形式検査では、表-5.4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-5.6のとおりとする。

表-5.4 環境安全品質基準

(a) 溶出量基準

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

(b) 含有量基準

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

表-5.5 港湾用途溶出量基準の考え方

(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より抜粋)

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

このような港湾施設に使用される石炭灰混合材料が備えるべき環境安全品質基準の参考となる値として、日本工業標準調査会による「コンクリート用スラグ骨材に環境安全品質及びその検査方法を導入するための指針」における港湾用途の環境安全品質基準がある。この基準の適用の対象となる港湾用途とは、海水と接する環境で、かつ、再利用しない用途（岸壁、防波堤、砂防堤、護岸、堤防、突堤等が挙げられる）に限定したものである。このような設備からの直接摂取、あるいは周囲の地下水の飲用は考えられず、海水に対する影響を考慮する。港湾施設構造物の表面から海水への溶出による湾内の化学物質濃度上昇を計算した結果からは、この基準を満たす資材による濃度上昇への寄与はほとんど無視できるレベルであることが考察された。しかしながら、水産物への濃縮を介しての人への影響等の観点から科学的知見をさらに蓄積することの必要性を言及するとともに、港湾用途におけるコンクリート用スラグ骨材の当面の間の基準として環境安全品質基準（表-5.4 港湾用途溶出量基準と同等の値）が設定された。基準値は、海水による過大な希釈効果に期待せず、水底土砂基準や排水基準ではなく、より環境基準に近い値としてフッ素とホウ素を除いて土壤環境基準の3倍が設定され、フッ素とホウ素については、海域でのバックグラウンド値が高く、水質環境基準が海域に対して適用されていないことも考慮して、土壤環境基準の20倍程度が設定されている。

本ガイドラインで対象とする港湾施設用石炭灰混合材料は、港湾内を回流する海水に対してはコンクリート製の擁壁等の構造物等を介し、また、上部は舗装や覆土を行い露出させないように施工することとしている。このような点から、石炭灰混合材料はコンクリート用骨材よりも、港湾内の海水や地上部への影響は小さい利用法であると考えられる。しかしながら、生態系保全や科学的知見の蓄積必要性等の上記の観点を踏まえて、当面の基準として、コンクリート用骨材と同等レベルの基準として表-5.4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-5.6 用途ごとの検査項目

用途		試験の種類	影響を与える周辺環境	環境安全型式検査	環境安全受渡検査		
					必須	省略可 ^{※1}	省略 ^{※2}
土工	覆土材、盛土材、埋戻材（資材が露出する恐れ ^{※3} のある場合）	溶出量試験	地下水	表-5.4 (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	地下水	表-5.4 (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 ^{※3} のない場合）	溶出量試験	地下水	表-5.4 (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	—
		海水	表-5.4 (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	地下水	表-5.4 (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	—
		海水	表-5.4 (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	地下水	表-5.4 (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	地下水	表-5.4 (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 環境安全型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。

※2 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ため（参考表 1.3 を参照）、環境安全受渡検査では検査を省略する。

※3 資材が露出する恐れとは、他の材料で被覆した場合であっても、雨水など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。

5.4 試験方法

表-5.2 に示したように、類型 A～D の溶出量試験については、利用有姿の状態が可能な JIS K 0058-1 の 5.（図-5.3 参照）とした。ただし、直接摂取の可能性のある浅層混合処理固化材および覆土材、盛土材、埋戻材（資材が露出する恐れのある場合）については、土壌汚染対策法と同等の環境安全品質が要求されるため、類型 E とし、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、再利用が想定される類型 C と D では JIS K 0058-2 とし、「土」に準じた扱いになる類型 E では平成 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-5.3 JIS K 0058-1 の 5. 利用有姿による試験の実施状況

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

(2) 試料の調製

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

(a) 破碎材・造粒材・粗粒材（クリンカアッシュ（類型 A、B））

JIS K 0058 -1 の 5.3.2 の粉塊状の試料による。

(b) 破碎材・造粒材・粗粒材（クリンカアッシュ（類型 C、D））

スラグ指針¹⁾に基づき、破碎材・造粒材・粗粒材（クリンカアッシュ）を破碎して再生路盤材 RC-40 の粒度に調整する。

(c) 塑性材・スラリー材（類型 A、B）

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

(d) 塑性材・スラリー材（類型 C、D）

スラグ指針に¹⁾基づき、成形体を作製後に破砕して再生路盤材 RC-40 の粒度に調整する。

(3) 検液の調製と分析

表-5.6 に示した用途や周辺環境に基づき、表-5.3 に示す溶出量試験や含有量試験を行う。参考として、各試験方法の概要を表-5.7 に示す。

なお、含有量試験である JIS K 0058-2、H15 環境省告示第 19 号は、いずれも、試料をさらに 2 mm 以下に調製する必要があるため、その際の試料調製方法は、スラグ指針¹⁾に基づくこととする。

5.4.2 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) 破砕材・造粒材・粗粒材（クリンカアッシュ）

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 × 100 mm のモールド等で 7 日間養生したもの、現地で施工された材料のコア抜き供試体、もしくは、現地でなるべく乱さないように採取した不定形の試料を用いる。再検査に備えて 3 検体分用意する。ただし、原位置攪拌工法の場合は別途協議する。

(2) 試料の調製

5.4.1 (2) と同様に行う。

(3) 検液の調製と分析

5.4.1 (3) と同様に行う。

表-5.7 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。

5.5 検査の運用方法

5.5.1 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など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。

5.5.2 検査の頻度

(1) 環境安全形式検査

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

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

(2) 環境安全受渡検査

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

なお、ロットの大きさおよびサンプリングの個数は工事仕様に定める。

注記 5000m³につき 1 回以上の頻度とすることが望ましい。

5.5.3 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 5.3 節の環境安全品質基準に適合したものを合格とする。

5.5.4 再検査

5.5.3 で不合格となった場合は、材料など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 Z8402-6²⁾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。

5.5.5 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。

5.5.6 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。

5.5.7 検査記録の報告及び保管

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（または先だつて）次の項目を記載した検査報告書を利用者に提出しなければならない。製造業者は、その検査報告書（または写し）を 5 年間保管しなければならない。また、利用者は、その検査報告書（または写し）を、施設を供用してい

る間、保管しなければならない。

- a) 5.5.6 の a)～i) の検査記録
- b) その他必要な事項

5.5.8 その他

- a) 施工後に長期モニタリングを行うことが望ましい。
- b) 環境安全品質の保証の範囲は、環境安全形式検査に利用模擬試料を用いた場合は石炭灰混合材料の配合量が環境安全形式検査における配合量以下の場合に限定される。

参考文献

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

参考資料

1. 石炭灰について

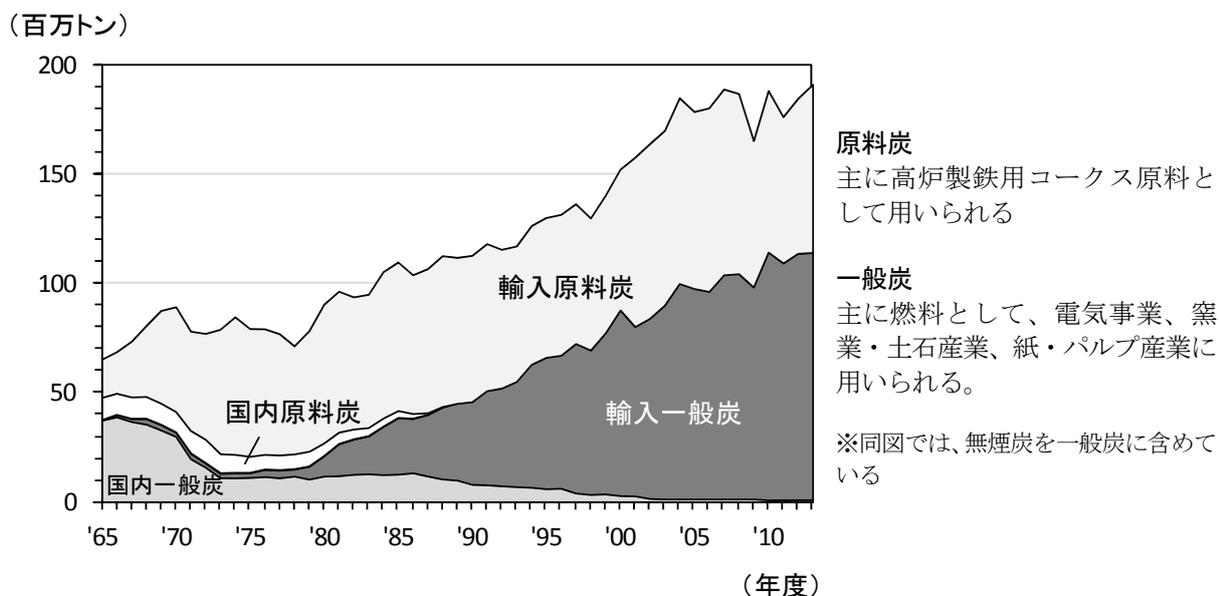
石炭灰は、石炭火力発電所で生成される Byproducts の一つであり、国内での発生量は年間 1,000 万トンを超える。本資料では、石炭灰の発生とその基本的な特性について解説する。

1.1 原炭について¹⁾

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。国内における石炭の用途としては、燃料（一般炭）が最も多く、鉄鋼生産原料（原料炭）を上回る。

日本の国内炭・輸入炭供給量の推移を参考図-1.1 に示す。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、2014 年度には過去最高となる 1 億 1,150 万トンに達した。2014 年度現在、一般炭の輸入先は、オーストラリアが 74.0%と最も多く、インドネシア（13.8%）、ロシア（7.5%）とカナダ（2.4%）の順となっている（参考図-1.2）。

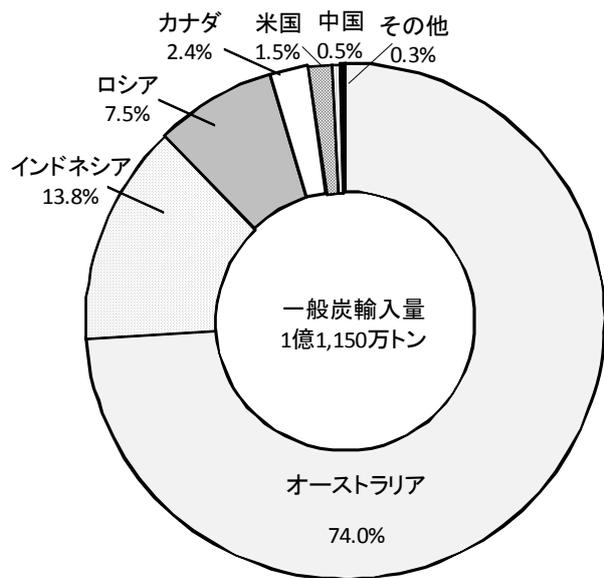
石炭は、カロリーベースの単価が、石油や天然ガスに比べ 1/4 程度（2014 年）と安価で、且つ世界的に広く存在し、可採年数も他の化石燃料に比べて長いことから、経済性と調達安定性に優れた資源として広く利用されている。



参考図-1.1 国内炭・輸入炭の供給量の推移¹⁾

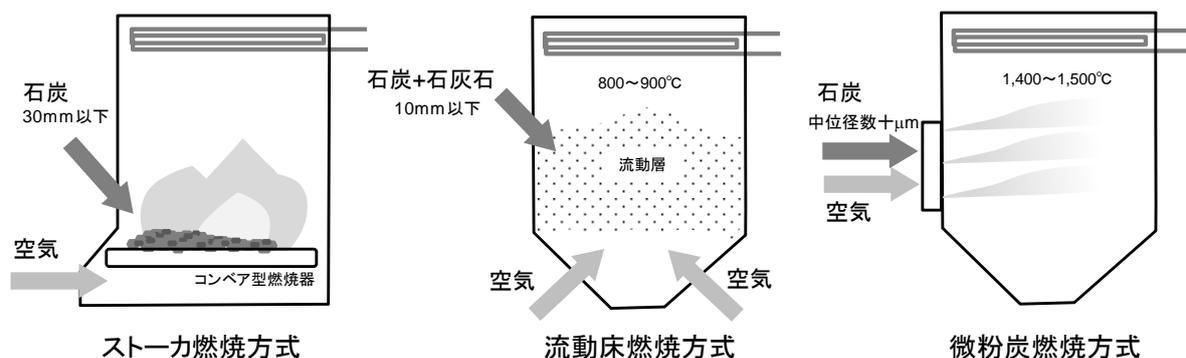
1.2 石炭燃焼プロセスと石炭火力発電所

石炭の燃焼方式は、固定床、流動床、噴流床に大別される。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。



参考図-1.2 日本の一般炭輸入先（2014年度）¹⁾

国内の主な石炭火力発電所を参考図-1.4に示す。2015年8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）があり、2013年度実績で全電力の約3割を供給しているが、その大部分は微粉炭燃焼方式を採用している。



参考図-1.3 石炭燃焼方式の概略

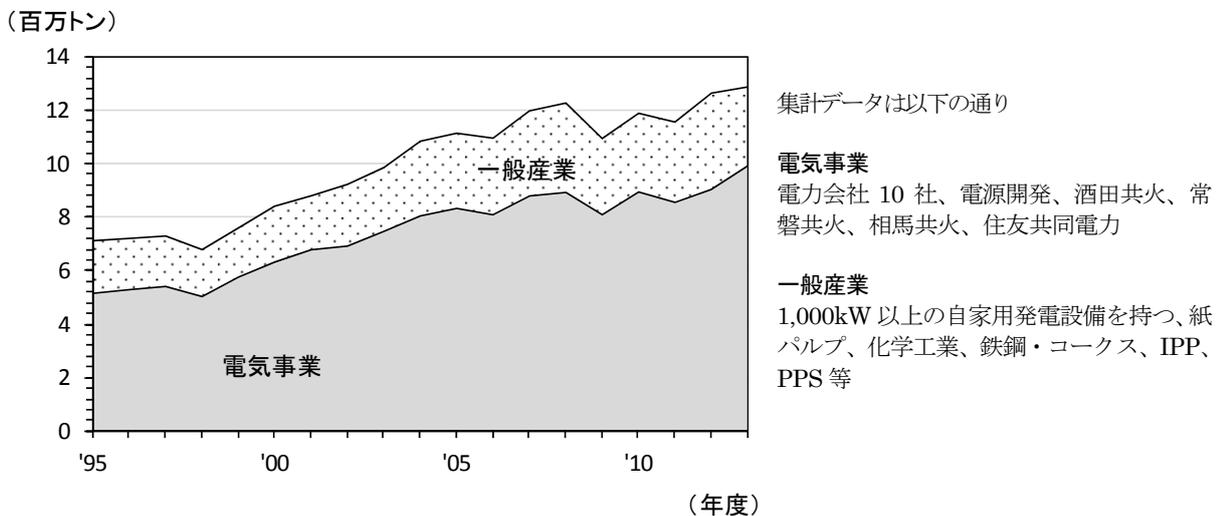
1.3 石炭灰の発生量

れている5~30%程度の灰分が含有されており、燃焼に伴い石炭灰として生成する。国内における発生量は2004年度以降、年間1,000万トンを超えており、2013年度では、過去最高となる電気事業993万トン、一般産業296万トンの計1,289万トンを記録している（参考図-1.5）²⁾。今後も石炭火力発電所は新設・増設が計画されており、石炭灰の発生量が大幅に減少することはないと見られている。

¹⁾ 一般電気事業者、卸電気事業者及び旧みなし卸電気事業者の石炭火力発電所



参考図-1.4 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：2015年8月時点）



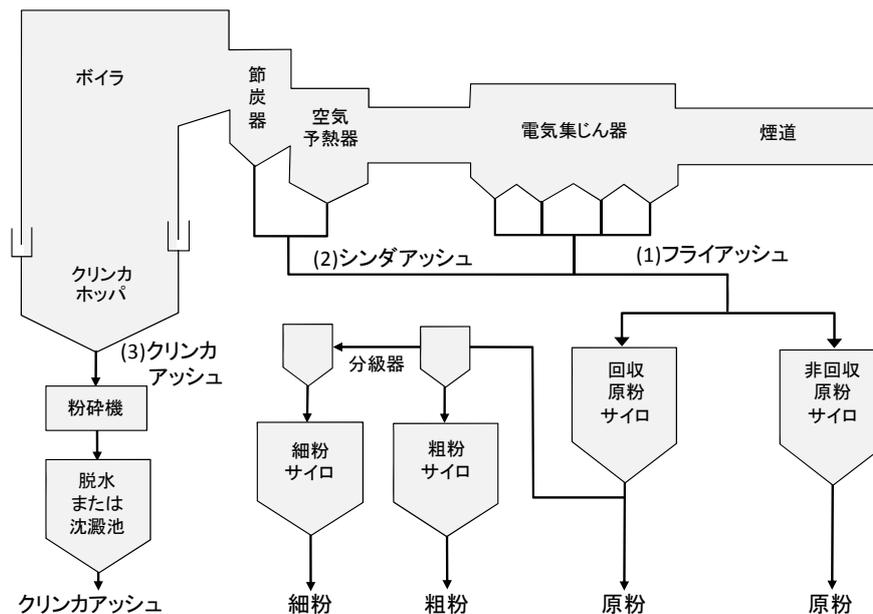
参考図-1.5 国内における石炭灰発生量の推移

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-1.6 に示す。ボイラ内は 1,200~1,600°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 0.1mm 以下であり、0.05mm 以下の粒子を「細粉」、0.1~0.05mm 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-1.6 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、800~900°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 SO₃ 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

「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。飛散防止のために加湿した石炭灰を「湿灰」と呼ぶことがあるが、その状態で長期間貯蔵された石炭灰も既成灰と似た性状を有すると考えられる。詳細については参考資料 1.8 に示す。

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。

① 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～褐色みを帯びる。

② 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、多孔質のものが多い。

③ 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、山砂など (2.6g/cm^3) よりも軽量である。

④ 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-1.1)³⁾。なお、微量成分については参考資料 1.7.1 に示す。

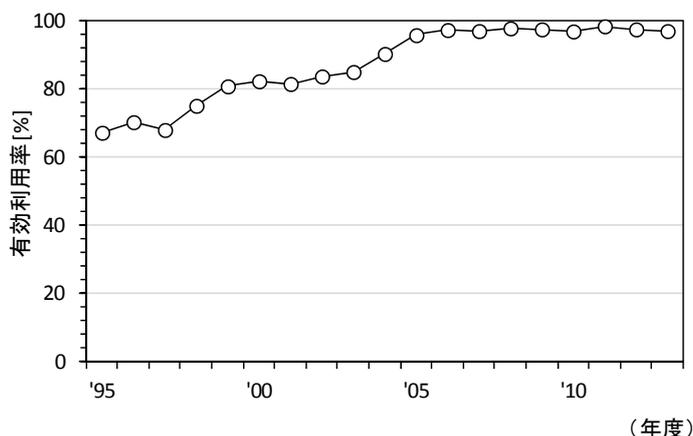
参考表-1.1 石炭灰の化学組成

	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

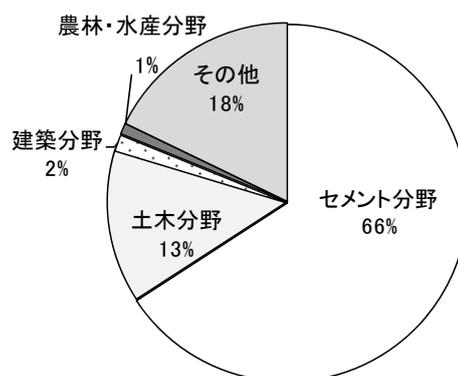
単位 (%)

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-1.7に示す²⁾。電気事業から発生した石炭灰の有効利用率は、1995年度67.1%であったが、2006年度になると95%を越えるようになり、その後は96~98%で推移している²⁾。分野別の有効利用状況は参考図-1.8に示すとおりであり、セメント分野がその65~70%を占め、土木分野10~15%、建築分野2~8%と続く²⁾。各分野の概要を以下に示す。



参考図-1.7 石炭灰の有効利用率の推移



参考図-1.8 分野別有効利用状況 (2013年度)

1.6.1 セメント分野

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 1.1 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、セメント分野に有効利用される石炭灰の97.5%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9,927万トンあったセメント生産量は、2010年度には5,600万トンまで落ち込んでいる⁴⁾。2011年度以降は震災復旧・復興需要や都市再開発需要により増産しているが、長くは続かないとの見方もある。

(2) コンクリート混和材・セメント混合材

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し、JIS A 6201において品質が規定されている。その特性に応じてI種~IV種に等級分けされており、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。

①長期強度の増進

セメント中のカルシウムとフライアッシュ中の二酸化けい素による水和反応(ポズラン反応)が長期間継続するため、長期強度が増進し、耐久性に富んだ構造物ができる。

②作業性の向上

微細な球状粒子を多く含むことから、コンクリートの流動性が著しく改善され、打設作業の効率化に寄与する。また、同一スランプを得るための所要水量を減らすことができる。

③水和熱の減少

フライアッシュ置換によるセメント量の減少等により、コンクリートの水和に伴う熱の発生を緩和することから、マスコンクリート工事、特にダム工事に極めて有効である。

④水密性・化学抵抗性の向上

初期材齢では水密性がやや低いが、ポズラン反応によって緻密な構造になるため、長期材齢の水密性は著しく増加する。このため塩分の浸透が減少するとともに、化学抵抗性が向上する。

⑤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。

⑥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。

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

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、0.2~20 μm 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。

一方、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、ケーソン裏込、道路盛土、土地造成等に利用されている⁵⁾。

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⁵⁾。

1.6.4 農林水産分野

肥料、土壌改良材、人工培土等がある。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人工ゼオライトは、天然ゼオライト以上の陽イオン交換能や H₂S ガス吸着能を有するだけでなく、リンやアンモニアといった栄養塩類の収着機能も有する。また、粒状の石炭灰混合材料も H₂S ガス吸着能やリン・アンモニアといった栄養塩類の収着機能を有していることから、水質・底質浄化材、覆砂材といった環境修復材として使用されている。

(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およ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⁷⁾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⁸⁾。

1.7 石炭灰および石炭灰混合材料の溶出特性

1.7.1 石炭灰の微量物質含有量と溶出特性

参考資料 1.1 で述べたように、石炭は植物が地熱や圧力を受けて変質、炭化したものであるため、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⁹⁾。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¹⁰⁾。

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-1.2 に示す。同表には、参考として土壤汚染対策法に基づく含有量基準を併記した。前者が全分解法による含有量なのに対し、後者は 1N 塩酸(クロムについては 0.015N 炭酸ナトリウム緩衝液)抽出量であることに注意が必要であるが、石炭灰中の微量成分全含有量の平均値は、土壤汚染対策法に基づく含有量基準と比較しても低値にあることが分かる。

参考表-1.3 は、国内の発電所から発生した石炭灰を対象に、土壤環境基準の測定法である平成 3 年 8 月環境庁告示第 46 号に定める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-1.2 石炭灰中の微量成分全含有量の測定結果例¹¹⁾

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	28 ~ 160	78.5	38	250
砒素	≤0.01 ~ 91	15.0	99	150
セレン	≤0.5 ~ 54	8.1	97	150
ほう素	23 ~ 1330	428	36	4000

注：定量下限未満は定量下限値を測定値として平均値を算出した。

※1：土壤汚染対策法に基づく含有量基準

参考表-1.3 石炭灰の溶出試験結果例¹²⁾

成分	平均値 (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

環告 46 号または環告 13 号試験結果

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^{13)、14)}、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¹⁵⁾⁻¹⁸⁾。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定める条件の一つになっている可能性が報告されている¹⁸⁾。

(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¹³⁾。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¹⁸⁾。砒素と異なり、セレンの溶出濃度を定め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¹⁹⁾。

(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¹⁵⁾。一方、溶出水中では主に6価の酸化クロムイオン(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²⁰⁾。

(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²¹⁾。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²²⁾。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¹⁹⁾。

(5) ふっ素

ふっ素は揮発温度が低いいため、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²³⁾が、操作温度が低ければ石炭灰への移行量が多くなることが予想される。坪内らは亜瀝青微粉炭燃焼灰を対象に分析を行った結果、ふっ素の大部分は石炭灰中の未燃炭素と結合した状態で存在していると推定している²⁴⁾。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^{25)、26)}。

1.7.2 石炭灰混合材料の溶出特性

石炭灰と石炭灰混合材料の溶出試験を行った例を参考表-1.4に示す。

参考表-1.4 石炭灰の溶出試験結果例

成分	石炭灰			石炭灰造粒材			定量下 限值
	N231	T201	NN201	N231	T201	NN201	
総水銀	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
カドミウム	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
鉛	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
全クロム	0.08	0.02	0.07	0.01	0.03	0.07	0.005
セレン	0.083	<0.005	0.013	0.005	<0.005	<0.005	0.005
ほう素	14	1.2	3.9	1.2	0.16	0.39	0.05
ふっ素	2.2	0.1	3.0	0.1	0.1	0.2	0.1
ベリリウム	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
バナジウム	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
銅	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
ニッケル	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
亜鉛	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005

単位は全て mg/L

石炭灰の溶出試験は環告 46 号、石炭灰造粒材の溶出試験は JIS K 0058-1 その 5. による。

1.8 既成灰について

(1) 特徴

新生灰と比較した場合、以下の特徴があることが報告されている²⁷⁾。ただし、既成灰の性状は、埋め立てられた石炭灰の性状、処分場の立地環境、埋立後の経過時間等によって変わることが予想されるため、対象地点毎に調査が必要である

① 性状

- ・含水比で 20～80%程度の水分を含む
- ・pH の高い既成灰については、灰表面にアルミノシリケート水和物やセメント水和物等が観察されることがある
- ・処分場表層付近から採取した既成灰の中には炭酸化の進んだものも含まれる
- ・造粒作用により、新生灰よりも大きなメジアン径を有する粒度分布を持つ

② 運用面での利点

石炭灰処分場から掘り起こして利用するため、以下の利点がある。

- ・スポット的な大量需要や不測の受け入れ変更に柔軟に対応できる
- ・使用する既成灰の性状をあらかじめ調査できる
- ・処分場の延命化に直接寄与する
- ・石炭灰処分場は発電所の近隣に設置されることが多いため、掘り起こした既成灰は新生灰と同

様に、船によって容易に大量輸送できる

③ 土工材料としての適用性

セメントを添加して作製した石炭灰混合材料は以下の特徴を持つ。

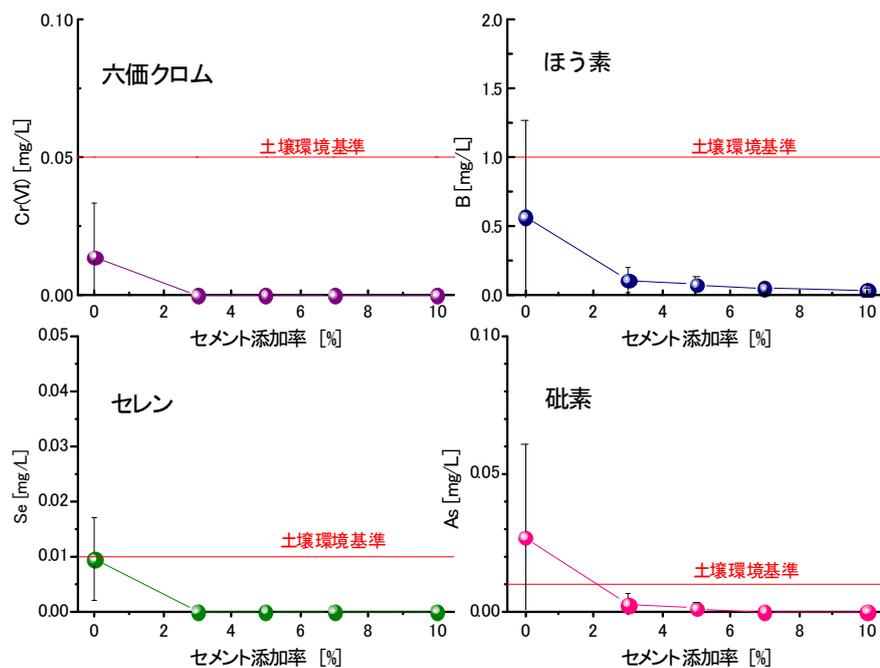
- ・乾燥密度は0.9~1.1g/cm³程度で、新生灰を用いた石炭灰混合材料よりもやや軽い
- ・28日養生後の一軸圧縮強さは、0.5N/mm²以上（セメント添加率5%、含水比30%）。
- ・新生灰よりも低いセメント添加率で土壤環境基準に適合させることができる（参考図-1.8）

(2) 法規制について

最終処分場から埋立物を掘り起こして利用することを禁止する法規制はない。自治体が主体となって一般廃棄物最終処分場を掘り起こし、埋立物の再処理による減容化と再資源化による処分空間の確保を行った事例が報告されている²⁸⁾。

(3) 利用例²⁹⁾

1998年、運輸省第一港湾建設局（現国土交通省東北地方整備局）は、約52,000m³の既成灰を酒田港国際ターミナルの公共岸壁の裏込め材に使用した。作業は、火力発電所内に設置された簡易プラントにおいて、既成灰に水（含水比55%）とセメント（5%）を添加して練り混ぜした後、ミキサー車で打設現場に搬送し、スラリーで打設することで行われた。打設されたスラリーを室内養生した供試体の28日強度は平均392kN/m²以上の発現がみられた。砕石を使用する場合と比較して10%以上のコスト削減を図ることができた。



参考図-1.8 既成灰にセメント添加して作製した石炭灰混合材料の微量物質溶出性²⁷⁾

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：平成 25 年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2015), 2015.
- 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 25 年度実績), 2015.
- 3) 日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック(平成 22 年度版), 2010.
- 4) 社団法人セメント協会：セメントハンドブック 2013 年度版, 2013.
- 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(震災復興資材編), 2014.
- 6) 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.
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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, 32, 583-682, 1981.
- 10) 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.
- 11) 社団法人土木学会：循環社会に適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.
- 12) 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.
- 13) Hansen, D. L. and Fisher, L. G. : Elemental distribution in coal fly ash particles, Environmental Science & Technology, 14, 1111-1117, 1980.
- 14) 大木章, 隈部康誉, 中村有樹, 中島常憲、高梨哲和：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.
- 15) Huffman, G. P., Huggins, F. E., Shah, N. and Zhao, J. : Speciation of arsenic and chromium in coal and combustion ash by XAFS spectroscopy, Fuel Processing Technology, 39, 47-62, 1994.
- 16) Zielinski, R. A., Foster, A. L., Meeker, G. P., Koenig, A. E. and Brownfield, I. K. : Mode of Occurrence of Arsenic in Feed Coal and its Derivative Fly Ash, Black Warrior Basin, Alabama, 2001 Int. Ash Utilization Symposium, 2001.
- 17) Bool, E. L. III and Helble, J. J. : A Laboratory Study of the Partitioning of Trace Elements during Pulverized Coal Combustion, Energy & Fuels, 9, 880-887, 1995.
- 18) 井野場誠治, 下垣久：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.
- 19) Iwashita, A., Sakaguchi, Y., Nakajima, T., Takanashi, H., Ohki, A. and Kambara, S. : Leaching characteristics of boron and selenium for various coal fly ashes, Fuel, 84, 479-485, 2004.
- 20) 安池慎治, 下垣久：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.
- 21) 田野崎 隆雄, 林 錦眉, 堀内澄夫：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.

- 22) 下垣久, 五十嵐敏文, 佐藤一男: 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.
- 23) Alvarez-Ayuso, E., Querol, X. and Tomas, A.: 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.
- 24) 坪内直人, 林英和, 大塚康夫: 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.
- 25) 坪内直人, 渋谷薫, 林英和, 大塚康夫: 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.
- 26) Piekos, R. and Paslawska, S.: Leaching characteristics of fluoride from coal fly ash, Fluoride, 31, 188-192, 1998.
- 27) 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.
- 28) 財団法人日本環境衛生センター: 廃棄物埋立地再生技術ハンドブック, 2005.
- 29) 荘司喜博, 高橋邦夫, 浅井正, 角田隆: 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, 637/VI-45, 167-148, 1999.

2. 石炭灰混合材料に関する問合せ先

本ガイドラインに記載されている製品の連絡先

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

クリンカアッシュ

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

