

石炭灰混合材料有効利用ガイドライン  
(震災復興資材編)

平成 26 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

〒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 03-6402-6111

## 「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン（震災復興資材編）」の発刊にあたって

平成 23 (2011) 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による被害は、人命、家屋、公共構造物、農業、漁業に及んでいます。また、数百年に一度と言われる大津波による福島第一原子力発電所事故は、放射能汚染の問題ばかりでなく、復旧・復興の大きな障壁となり、これからの我が国のエネルギー政策に大きな影響を与えています。石油やウラン等の「地下資源」によるエネルギー供給から、太陽、風、地熱などの「地上資源」による再生エネルギーへの転換が喧伝されていますが、安定性、供給能力など技術的に大きな問題を抱えています。これらのことより、石炭火力発電は、当面の間はこの国のエネルギー供給の重要な柱となります。

石炭火力発電を行った際に副生される石炭灰は、平成 23 年度において電気事業 856 万トン、一般産業 301 万トンの合計で 1,000 万トンを超える量となり、今後とも石炭灰の発生量が大幅に減少することはないものと考えられます。

石炭灰は、これまでも、70%はセメント原料として利用されるなど多くの用途で利用されています。しかし、土木分野での利用は 15%程度と小さく、利用拡大が望まれています。石炭灰に、セメント、水、用途に応じて土砂、さらに添加材料を加えることにより、多様な強度、透水性、環境に優しい特性をもつ石炭灰混合材料を作製できます。

平成 23 年 3 月に、石炭灰混合材料が優位的に活用できる港湾工事への適用を目的とした「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」を発刊しております。今般、港湾工事以外の復旧・復興工事に広く活用されることを目的に見直し、検討を加えました。

防潮堤、防災緑地、高台移転工事等に石炭灰混合材料を活用する場合の品質管理・安全性の評価の留意点を取りまとめるとともに、これらの工事に利用した場合の優位性、有用性についても整理を行っています。

大震災からの復旧・復興事業における防潮堤、堤防・盛土等の土砂材料確保のために、被災地近隣の山が削られています。これらの工事が自然に対する大きな負荷となり、降雨時などに新たな災害につながる可能性も否定できません。石炭灰材料を土砂の代替材料として利用することは、自然環境に対する負荷の低減にもつながります。

石炭灰混合材料は、復旧・復興工事が要求する材料としての性能を、配合比を変えることにより容易に満足し、地盤環境に対する負荷も小さい材料です。被災地の復旧・復興事業に役立つ材料です。その特長が理解され、被災地の復旧・復興事業に利用されることを切に望みます。

平成 26 年 3 月

東北学院大学 教授 飛田 善雄  
(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（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）

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（パン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）

## 目次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第1章 総則                       | 1  |
| 1.1 はじめに                     | 1  |
| 1.2 震災復興の現状および課題             | 2  |
| 1.3 東日本地区における石炭火力発電所の現状      | 3  |
| 1.4 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット       | 5  |
| 1.5 ガイドラインの内容                | 6  |
| 1.6 適用範囲                     | 8  |
| 1.7 震災復興資材としての石炭灰混合材料の利用イメージ | 11 |
| 1.8 用語の定義                    | 13 |
| 1.9 関連法律                     | 14 |
| 第2章 復興工事での適用方法               | 16 |
| 2.1 はじめに                     | 16 |
| 2.2 土木工事への適用                 | 18 |
| 2.2.1 防潮堤                    | 18 |
| 2.2.2 海岸公園                   | 27 |
| 2.2.3 防災緑地（防潮林）              | 29 |
| 2.2.4 河川堤防                   | 32 |
| 2.2.5 道路盛土・鉄道盛土              | 35 |
| 2.2.6 海岸部かさ上げ                | 41 |
| 2.2.7 防波堤基礎                  | 43 |
| 2.2.8 護岸・岸壁                  | 46 |
| 2.2.9 地盤補強                   | 57 |
| 2.2.10 橋脚                    | 60 |
| 2.2.11 土地造成工事                | 64 |
| 2.3 土木・建築資材への適用              | 68 |
| 2.3.1 建築材料                   | 68 |
| 2.3.2 土木材料（消波ブロック等）          | 71 |
| 第3章 石炭灰混合材料の製造方法             | 77 |
| 3.1 石炭灰混合材料の基本的物性            | 77 |
| 3.2 破砕材・造粒材                  | 82 |
| 3.2.1 固化体破砕材                 | 82 |
| 3.2.2 固化体造粒材                 | 84 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 3.3   | 消波ブロック用新素材コンクリート         | 86  |
| 3.3.1 | 消波ブロック用新素材コンクリート         | 86  |
| 3.4   | 改良盛土材・塑性材                | 88  |
| 3.4.1 | 改良盛土材                    | 88  |
| 3.4.2 | 塑性材                      | 89  |
| 3.5   | その他（クリンカアッシュ）            | 91  |
| 3.5.1 | 建設発生土、クリンカ改良土            | 91  |
|       |                          |     |
| 第4章   | 環境安全品質および検査方法            | 93  |
| 4.1   | はじめに                     | 93  |
| 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 | 93  |
| 4.2.1 | 基本的な考え方                  | 93  |
| 4.2.2 | 最も配慮すべき暴露環境              | 95  |
| 4.2.3 | 環境安全品質基準と試験方法            | 95  |
| 4.3   | 環境安全品質基準                 | 98  |
| 4.4   | 試験方法                     | 100 |
| 4.4.1 | 環境安全形式検査における試験方法         | 100 |
| 4.4.2 | 環境安全受渡検査における試験方法         | 101 |
| 4.5   | 検査の運用方法                  | 102 |
| 4.5.1 | 検査の実施者                   | 102 |
| 4.5.2 | 検査の頻度                    | 102 |
| 4.5.3 | 検査結果の判定基準                | 102 |
| 4.5.4 | 再検査                      | 102 |
| 4.5.5 | ロットの管理                   | 102 |
| 4.5.6 | 検査の記録                    | 103 |
| 4.5.7 | 検査記録の報告及び保管              | 103 |
| 4.5.8 | その他                      | 103 |
|       |                          |     |
| 参考資料  |                          | 104 |
| 第1章   | 石炭灰                      | 104 |
| 1.1   | 原炭について                   | 104 |
| 1.2   | 石炭灰の発生量                  | 105 |
| 1.3   | 石炭灰の種類                   | 105 |
| 1.4   | 石炭灰の物理・化学的特性             | 107 |
| 1.5   | 石炭灰の利用状況                 | 107 |
| 1.6   | 石炭灰及び石炭灰混合材料の溶出特性        | 110 |



|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 1.7 既成灰について .....         | 113 |
| 第2章 他団体の動向 .....          | 117 |
| 2.1 他団体の動向 .....          | 117 |
| 2.2 各再生資材の特徴と主な利用用途 ..... | 119 |



# 第1章 総則

## 1.1 はじめに

わが国における石炭灰の発生量は平成 23 年度で約 1,150 万トンであり、このうち約 850 万トンが石炭火力発電所から発生している。一般財団法人石炭エネルギーセンター（JCOAL）では、この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「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<sup>1)</sup>。一方、先の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において、復旧復興工事に際して盛土材料不足が懸念されており、津波堆積物、震災ガレキ類および各種リサイクル資材の活用が検討されている。

そこで今回、石炭灰混合材料を港湾工事に限らず被災地の復旧復興資材として広く活用するためのガイドラインの作成を行った。

具体的には、表-1.1 に示す各種の石炭灰混合材料を震災復興事業の防潮堤、防災緑地、第二防波堤の機能を有する道路・鉄道盛土および高台移転工事などに活用する場合の品質管理手法および安全性の評価方法を取りまとめると共に、これらの工事に石炭灰混合材料を活用する場合の有用性についても整理を行った。

表-1.1 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）   |
|-----------|--|
| 固化材破砕材    | 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 |
| 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品                 |
| 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                  |
| 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       |
| 新素材コンクリート | 石炭灰にセメント、水、スラグなどを混合して製造した特殊なコンクリート                 |
| クリンカ混合物   | 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                 |

## 1.2 震災復興の現状および課題

東日本大震災に伴う復旧・復興事業では、多くの地区において防潮堤、防潮林および高台移転などが計画されており、大量の盛土材料の確保が必要となっている。地区別状況では、岩手県では土砂材の余剰が予測されているが、宮城県では3,000万～4,000万 $m^3$ 、福島県では1,500万～2,000万 $m^3$ の盛土材不足が懸念されている。

このような現状から、被災3県では盛土材の安定確保、許認可などの迅速化および盛土材の需要調整を目的に、平成24年9月に「震災復興に伴う盛土材連絡調整会議」を設置した。表-1.2に被災3県における土量調整状況<sup>2)</sup>を示す。

表-1.2 被災3県における土量調整状況<sup>2)</sup>

|       | 岩手県   | 宮城県  | 福島県  |
|-------|---|--|--|
| 名称    | 岩手県土量連絡会議   | 震災復興に伴う盛土材連絡会議   | 津波被災地不足土対策連絡協議会  |
| メンバー  | 東北地方整備局、岩手県、岩手県被災沿岸市町村、気仙沼市（宮城県）、岩手復興局  | 宮城県、宮城県被災沿岸市町村   | 関東森林管理局、東北地方整備局、福島復興局、福島県、市町村（新地町、相馬市、南相馬市、広野町、いわき市）、ネクスコ東日本東北支社   |
| 事務局   | 岩手県（県土整備部）、岩手復興局  | 宮城県（土木部）   | 福島県（土木部）   |
| 開催目的  | 関係機関における土量の過不足量についての情報共有を行う。  | 盛土材を安定して確保し、必要となる許認可などの迅速化及び盛土材の需給調整を行う。   | 各地区・各事業における発生土・不足土量情報の共有や不足する土量の確保策の検討を行う。   |
| 今後の予定 | <ul style="list-style-type: none"> <li>土量データを3ヶ月に1度の頻度で更新し、その都度情報共有を行う。</li> <li>具体的な調整は、各発注機関で直接行う。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>土量調査・土取場候補地調査の結果とりまとめ、許認可等に関する情報共有・意見交換（10月中）。</li> <li>土取場設置のための調査・調整等の開始（10月以降）。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>盛土材確保策として考えられる案の提示。提示案に対する課題の整理（11月頃）。</li> <li>課題解決策の検討。盛土材確保の具体案の提示・検討（1月頃）</li> <li>盛土材確保に係る方針策定。次年度以降の進め方確認（3月頃）</li> </ul> |

### 1.3 東日本地区における石炭火力発電所の現状

東日本地区およびその周辺に所在する石炭火力発電所を図-1.1に、これらの石炭火力発電所からの石炭灰発生量を表-1.3に、それぞれ示す。

同図に示されるように、東日本地区のうち東北地区には6箇所の石炭火力発電所があり、このうち4箇所は福島県の太平洋側に集中している。福島県の4発電所に茨城県北部の常陸那珂火力発電所を加えた5箇所の火力発電所における石炭灰発生量は、東日本大震災時（H23年度）に大幅に減少しているが、定常稼動時では合計で約200万トン程度であり、全国での石炭灰発生量の1/5を占めている。これに北

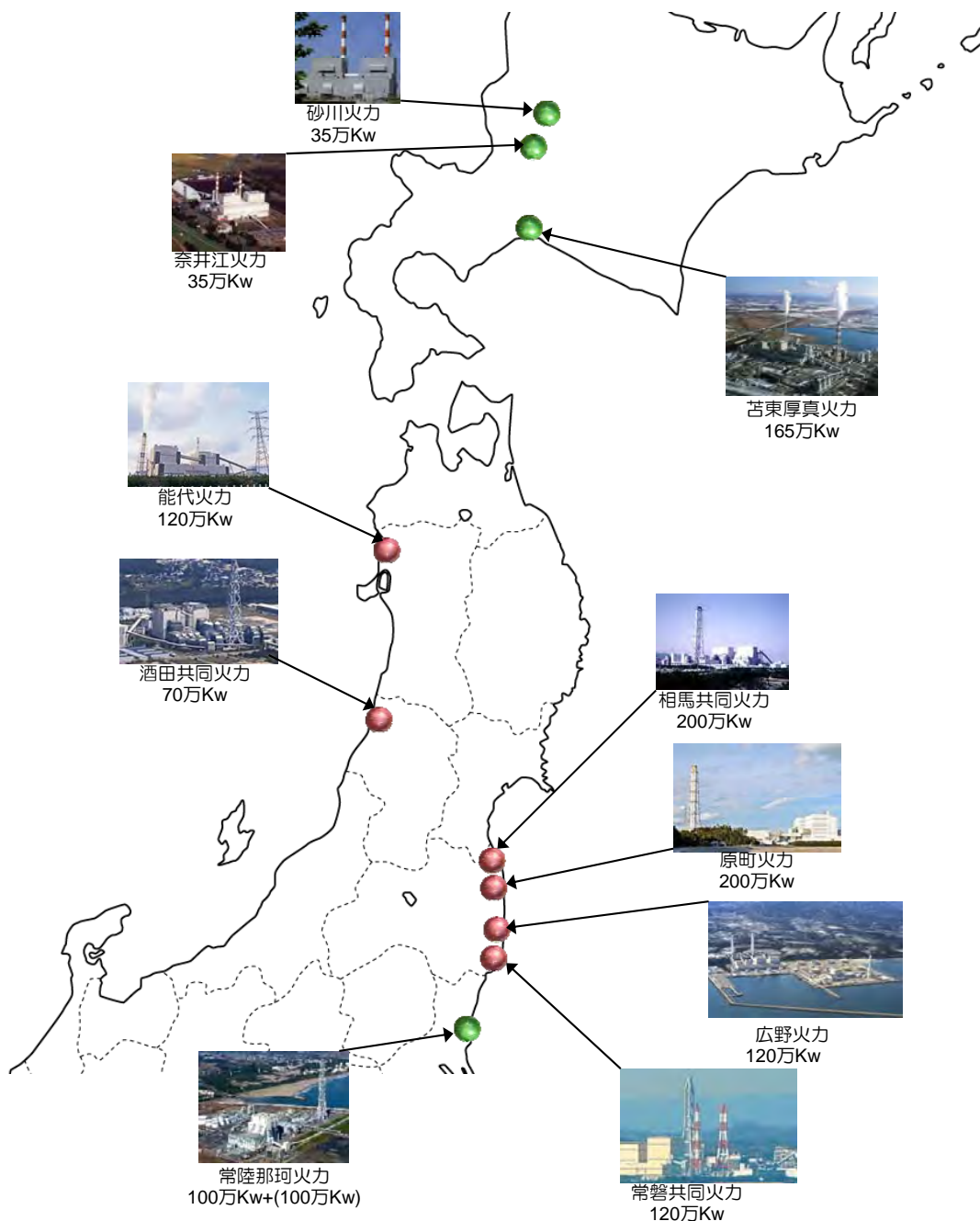


図-1.1 東北地区および近郊における石炭火力発電所

海道および東北地方の他県の火力発電所を加えた 10 箇所の石炭火力発電所から発生する石炭灰量は約 300 万トンであり、全国での石炭灰発生量の約 1/3 に達している。このような現状から、震災復興資材として石炭灰混合材料を有効活用することは「副産物の地産地消」の観点からも有意義なことと考えられる。

表-1.3 石炭灰の発生量推移 (単位：千 t)

| 電力会社         | 所在地 | H15   | H16   | H17   | H18   | H19   | H20   | H21   | H22   | H23   | H24   |
|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 北海道電力        | 北海道 | 656   | 709   | 611   | 601   | 738   | 988   | 702   | 642   | 822   | 941   |
| 酒田共同火力       | 山形  | 151   | 140   | 176   | 168   | 180   | 171   | 162   | 163   | 258   | 252   |
| 東北電力※        | 福島他 | 815   | 818   | 875   | 757   | 818   | 780   | 803   | 784   | 366   | 427   |
| 相馬共同火力       | 福島  | 499   | 502   | 487   | 450   | 478   | 481   | 444   | 442   | 109   | 560   |
| 常磐共同火力       | 福島  | 191   | 276   | 266   | 249   | 261   | 297   | 347   | 311   | 243   | 340   |
| 東京電力※        | 福島他 | 268   | 477   | 448   | 407   | 480   | 445   | 475   | 411   | 432   | 420   |
| 小計(福島+茨城+秋田) |     | 1,773 | 2,073 | 2,076 | 1,863 | 2,037 | 2,003 | 2,069 | 1,948 | 1,150 | 1,747 |
| 合計           |     | 2,580 | 2,922 | 2,863 | 2,632 | 2,955 | 3,162 | 2,933 | 2,753 | 2,230 | 2,942 |

※東北電力は原町と能代の合計、東京電力は広野火力と常陸那珂火力の合計

#### 1.4 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット

産業副産物である石炭灰を震災復興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などと比較して安い。
- 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、船舶での大量な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）が東北地区およびその近郊に分布しており、供給体制が取りやすい。
- ⑤ 大量に発生する（東北地区およびその近郊で 300 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-1.4 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震災復興資材への利用が拡大されることが望まれる。

表-1.4 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 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・発生箇所（火力発電所）、使用する原炭によって若干性質は異なるが、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。</li> <li>・他の産業副産物に比べて、塩素含有量が比較的少ない。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ポズラン反応を有している場合は、セメントなど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。</li> <li>・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。</li> </ul>   |
| 物理的特性 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・軽量であり、セメント等で固化させた場合、構造物への土圧、側圧を軽減することが可能。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> |

## 1.5 ガイドラインの内容

本ガイドラインは港湾工事編ガイドラインと同様、火力発電所などから発生する石炭灰のうちのフライアッシュに、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が、被災地の復旧復興事業に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**では先に作成した港湾工事編ガイドラインと本ガイドラインとの位置付けを述べると共に、石炭灰および石炭灰混合材料のメリットを整理し、石炭灰混合材料を震災復興工事に適用した場合の有用性を示す。

**第2章**では石炭灰混合材料が震災復興工事に活用された事例を示すと共に、現在計画されている防潮堤、防潮林および高台移転工事の盛土材として石炭灰混合材料を適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。通常の土砂材料を使用する場合との品質管理および施工管理の違いを整理し、どのようにすれば石炭灰混合材料を震災復興工事に適用できるか、適用する場合、構造上および施工上どのようなメリットがあるかを示す。

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

**第4章**では、石炭灰混合材料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ガイドライン」に基づき示す。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「最も配慮すべき曝露環境」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、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震災復興資材として利活用する際に遵守すべき法律をとりまとめている。



表-1.5 ガイドラインの目次

|      |                          |
|------|--------------------------|
| 第1章  |                          |
| 1.1  | はじめに                     |
| 1.2  | 震災復興の現状および課題             |
| 1.3  | 東日本地区における石炭火力発電所の現状      |
| 1.4  | 石炭灰および石炭灰混合材料のメリット       |
| 1.5  | ガイドラインの内容                |
| 1.6  | 適用範囲                     |
| 1.7  | 震災復興資材としての石炭灰混合材料の利用イメージ |
| 1.8  | 用語の定義                    |
| 1.9  | 関連法律                     |
| 第2章  |                          |
| 2.1  | はじめに                     |
| 2.2  | 土木工事への適用                 |
| 2.3  | 土木・建築資材への適用              |
| 第3章  |                          |
| 3.1  | 石炭灰混合材料の基本的物性            |
| 3.2  | 破砕材・造粒材                  |
| 3.3  | 消波ブロック用新素材コンクリート         |
| 3.4  | 改良盛土材・塑性材                |
| 3.5  | その他（クリンカアッシュ）            |
| 第4章  |                          |
| 4.1  | はじめに                     |
| 4.2  | 環境安全品質および検査方法の規定に際しての考え方 |
| 4.3  | 環境安全品質基準                 |
| 4.4  | 試験方法                     |
| 4.5  | 検査の運用方法                  |
| 参考資料 |                          |
| 1    | 石炭灰                      |
| 1.1  | 原炭について                   |
| 1.2  | 石炭灰の発生量                  |
| 1.3  | 石炭灰の種類                   |
| 1.4  | 石炭灰の物理・化学的特性             |
| 1.5  | 石炭灰の利用状況                 |
| 1.6  | 石炭灰および石炭灰混合材料の溶出特性       |
| 1.7  | 既成灰について                  |
| 2    | 他団体の動向                   |

## 1.6 適用範囲

本ガイドラインは一般財団法人石炭エネルギーセンター（JCOAL）が既に発刊している港湾工事編ガイドラインと同様に、石炭火力発電所から副生される石炭灰のうち、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震災復興資材としての土木工事への利用拡大を目的としたものであり、石炭灰の単体利用ではなく、石炭灰にセメント、水、用途により土砂、更に添加材料などを必要に応じて混合した石炭灰混合材料の適用方法、製造方法および安全性評価方法について規定している。基本的な評価方法は港湾工事編ガイドラインと同じであり、石炭灰単体での評価ではなく石炭灰混合材料での評価を行うものとしている。

また、港湾工事編ガイドラインでは適用範囲を港湾工事に限定していたため、環境安全性評価をスラグ類の有効活用を目的に日本工業規格が定めた「循環資材を利用する際の、環境安全性の側面から配慮すべき品質の規定とその検査方法」に準じて規定した（土壌環境基準の3倍値）が、本ガイドラインでは震災復興資材として多岐にわたる用途が期待されることから、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、環境安全品質基準及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-1.2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-1.6に示す項目の試験を実施することとした。

図-1.3に石炭灰混合材料の基本的な製造フローを示す。同図に示すように、石炭灰混合材料の製造は予め利用場所と異なる位置（現場外もしくは現場内）で石炭灰（フライアッシュ）にセメント、水、土砂および添加材料など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3章に実例を踏まえて解説する。

なお、火力発電所から副成され、既に長期間埋立地などに埋め立てられている既成灰に関しては、関連機関の確認を得ることが条件となるが、化学的には安定しており<sup>3)</sup>、震災復興事業では一度に多量の材料を必要とすることから積極的な活用が望まれる。

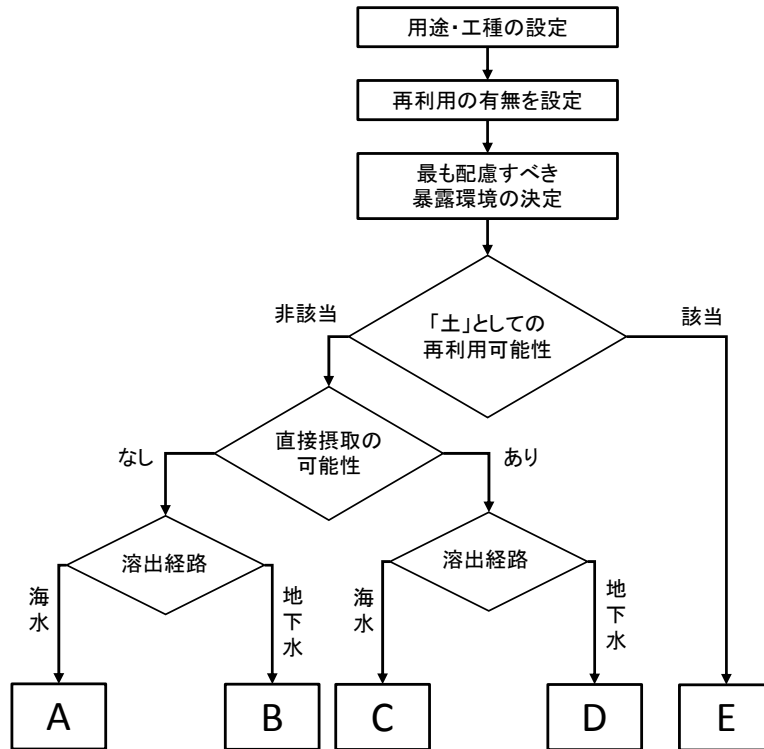


図-1.2 石炭灰混合材料の「最も配慮すべき暴露環境」の判断フローチャート

表-1.6 石炭灰混合材料の試験方法と環境安全品質基準

| 記号 | 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 | 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<br>第 18 号 | 一般用途溶出量基準 |
|    |           |         |      | 含有量試験 | H15 環境省告示<br>第 18 号 | 含有量基準     |

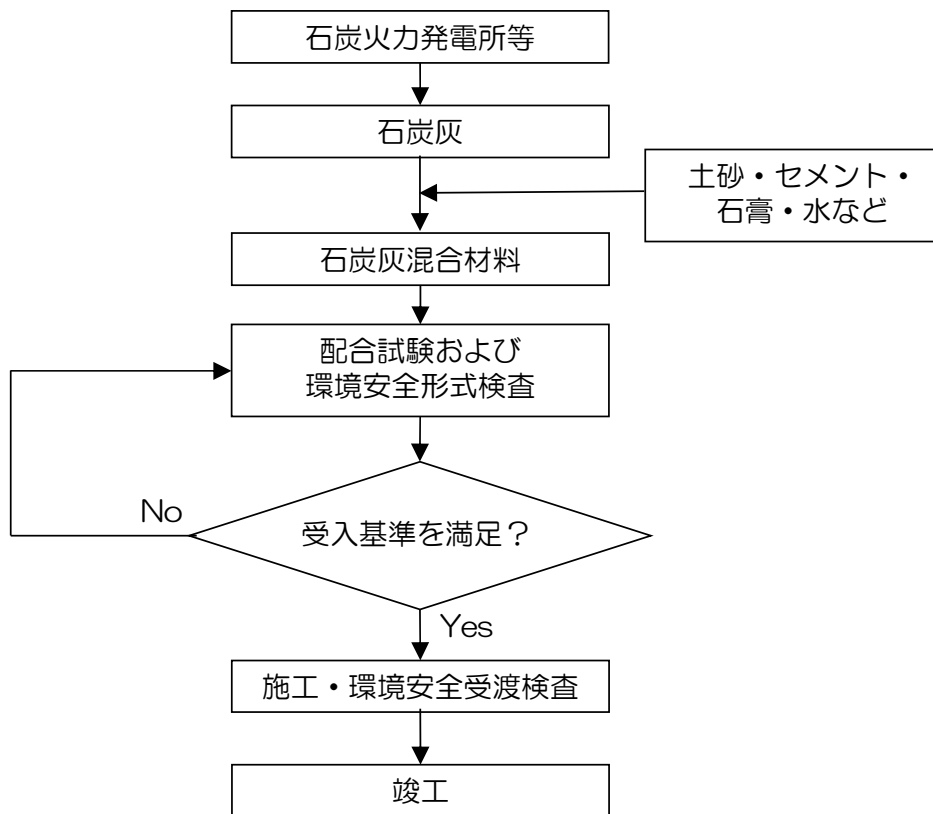
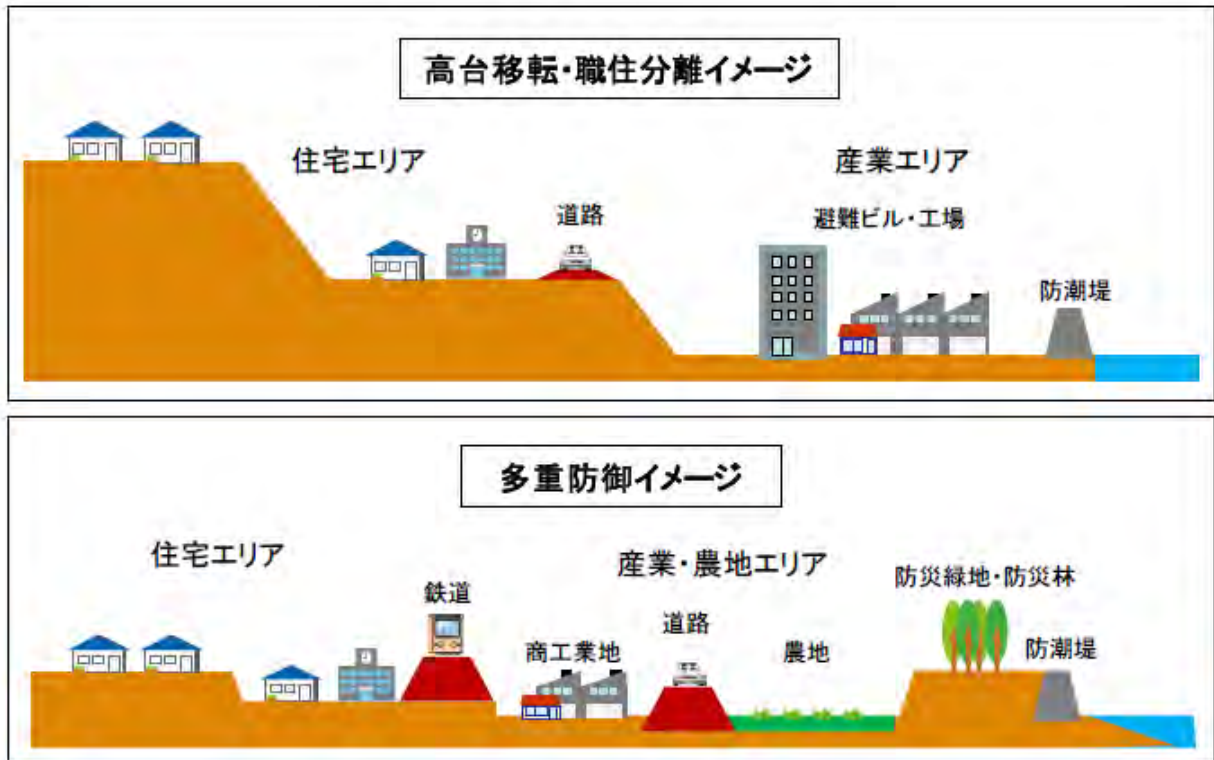


図-1.3 石炭灰混合材料の基本的な製造フロー

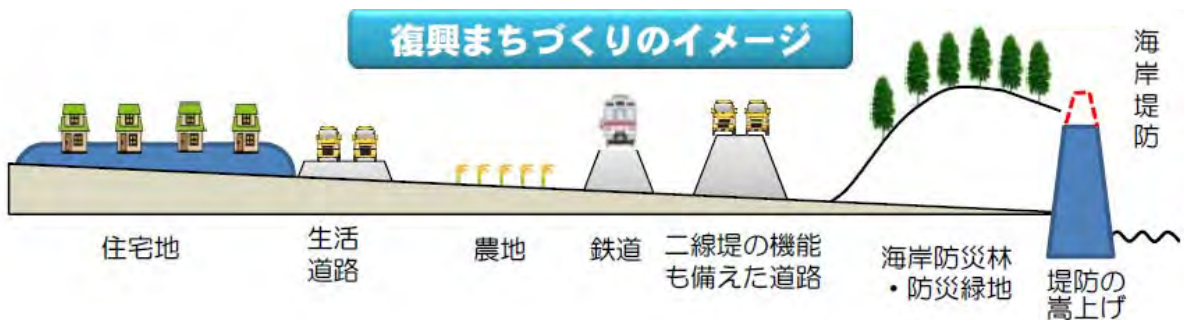
### 1.7 震災復興資材としての石炭灰混合材料の利用イメージ

東北地方の太平洋側では震災復興および津波防災の観点から種々の工事が計画されている。図-1.4～図-1.6<sup>4),5),6)</sup>にその例を示す。これらの用途では量的確保が可能なこと、品質が安定していることが条件となると共に、用途に応じて環境リスクを適切に評価し、第4章に示す適切な環境安全評価を行う必要がある。表-1.7に石炭灰混合材料の適用一覧を示す。なお、各適用工事・箇所の詳細は第2章に示す。



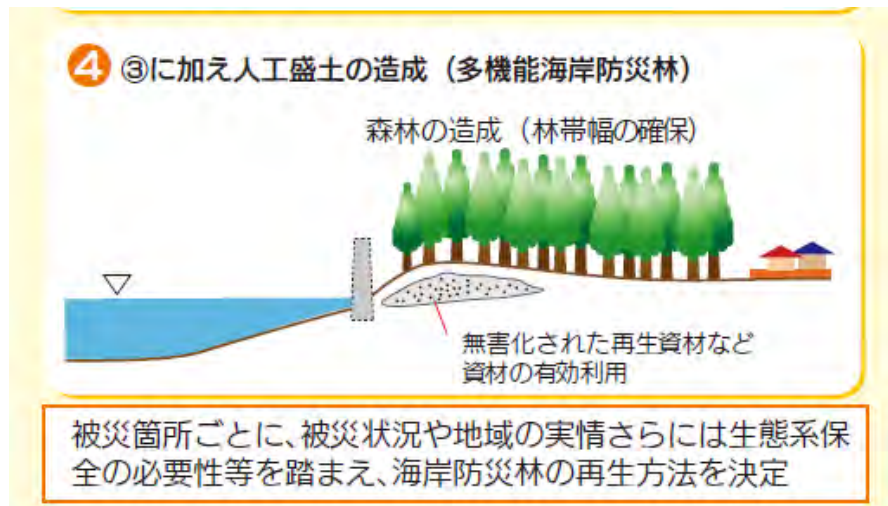
出典：「宮城県震災復興計画」、平成23年10月

図-1.4 宮城県における復興計画<sup>5)</sup>



出典：「福島県復興計画（第二次）」、平成24年12月

図-1.5 福島県における復興計画<sup>6)</sup>



出典：今後における海岸防災林の再生、平成23年3月

図-1.6 海岸防災林の再生パターン<sup>7)</sup>

表-1.7 石炭灰混合材料の適用一覧

| 適用工事・箇所        |           | 適用材料（適用形態） |             |                   | 適用時のメリット |          |          |          |         | 備考 |          |
|----------------|-----------|------------|-------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----|----------|
|                |           | 破砕材<br>造粒材 | スラリー<br>塑性材 | FA モルタル<br>コンクリート | 軽量<br>化  | 土圧<br>軽減 | 沈下<br>防止 | 強度<br>増加 | 充填<br>性 |    | 耐侵<br>食性 |
| 震災<br>関連<br>事業 | 防潮堤       | ○          |             |                   | ○        | ○        | ○        | ○        |         | ○  |          |
|                | 海岸公園      | ○          |             |                   | ○        |          | ○        |          |         |    |          |
|                | 防災緑地(防潮林) | ○          |             |                   | ○        |          | ○        | ○        |         |    |          |
|                | 河川堤防      | ○          |             |                   | ○        | ○        | ○        | ○        |         | ○  |          |
|                | 道路盛土・鉄道盛土 | ○          |             |                   | ○        | ○        | ○        | ○        |         |    |          |
|                | 海岸部かさ上げ   | ○          |             |                   | ○        |          | ○        | ○        |         |    |          |
| 一般<br>工事       | 防波堤基礎     | ○          |             |                   | ○        | ○        | ○        |          |         |    |          |
|                | 岸壁・護岸     | ○          | ○           | ○                 |          | ○        | ○        | ○        | ○       |    |          |
|                | 地盤補強      | ○          | ○           | ○                 |          | ○        | ○        | ○        | ○       |    |          |
|                | 橋脚        |            | ○           | ○                 |          |          |          | ○        | ○       |    |          |
|                | 土地造成工事    | ○          |             |                   |          | ○        | ○        | ○        |         |    |          |
| 資材             | 建築材料      |            |             | ○                 | ○        |          |          | ○        | ○       |    | 工場<br>製品 |
|                | 土木材料      |            |             | ○                 | ○        |          |          | ○        | ○       |    | 工場<br>製品 |

## 1.8 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定義する。

|           |  |
|-----------|--|
| 石炭灰       | : 石炭火力発電所など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、既に長期間埋立地など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、石膏など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、単に破砕材と記す場合もある                                |
| 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、単に造粒材と記す場合もある   |
| 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、単にスラリーと記す場合もある  |
| 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  |
| 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などを達成するために配慮が要求される品質で、溶出量など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、工場など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、環境安全配慮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 試験方法  | : スラグ類の化学物質試験方法 JIS K 0058-1 (第 1 部: 溶出量試験方法) 及び JIS K 0058-2 (第 2 部: 含有量試験方法) 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 (土壌溶出量調査に係る測定方法を定める件) 及び同第 19 号 (土壌含有量調査に係る測定方法を定める件) 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、取り扱いには慎重な対応が必要であり、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-1.8に示すものが考えられる。なお、各法律の概要については参考資料に記している。

表-1.8 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-1.8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など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

- ・有害物質などの確認。

### (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。
- ・管理マニュアルなどがあると便利。
- ・万が一管理不十分のため異物や材料基準に合致しないものの混入が認められた場合は、廃棄物と見なされ海防法(海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律)の規制を受ける。



## 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) 復興庁ホームページ：被災3県における土量調整について，  
<http://www.mlit.go.jp/common/000227966.pdf>.
- 3) 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.
- 4) 宮城県：宮城県震災復興計画～宮城・東北・日本の絆 再生からさらなる発展へ～，p.71，2011.10.
- 5) 福島県：福島県復興計画（第2次）～未来につなげる、うつくしま～，p.20，2012.12.
- 6) 林野庁：特集 今後における海岸防災林の再生，Rinya, No.60, pp.4～9, 2012.3.

## 第2章 復興工事での適用方法

### 2.1 はじめに

震災復興に当たっては、広域的な地盤沈降に伴う嵩上げや津波に対抗する防潮堤、さらには減災・防災の拠点となる海岸公園など、土材料を利用した地盤や構造物の築造が必要不可欠となっている。しかしながら、民地や公有地などの土取場からの土砂の供給は場合によっては1,000万 $\text{m}^3$ 以上も必要となる自治体もあり、そのため、震災廃棄物由来や津波堆積物由来の土砂を積極的に利用する取り組みがなされている。それでも、復興資材としての土材料の不足は否めないのも事実である。そこで、従来から取り組まれてきている産業副産物の有効利用も検討され始めており、すでに利用されているところも多い。石炭灰も、従来使用してきた材料の有効な代替材料として、幅広い用途に用いることができる。図-2.1および図-2.2に、復興工事における石炭灰利用の場や利用方法についてのイメージ図を示す。

本章ではこれらの用途に適用される復興工事での適用方法について提案し、計画から施工までの流れを解説する。

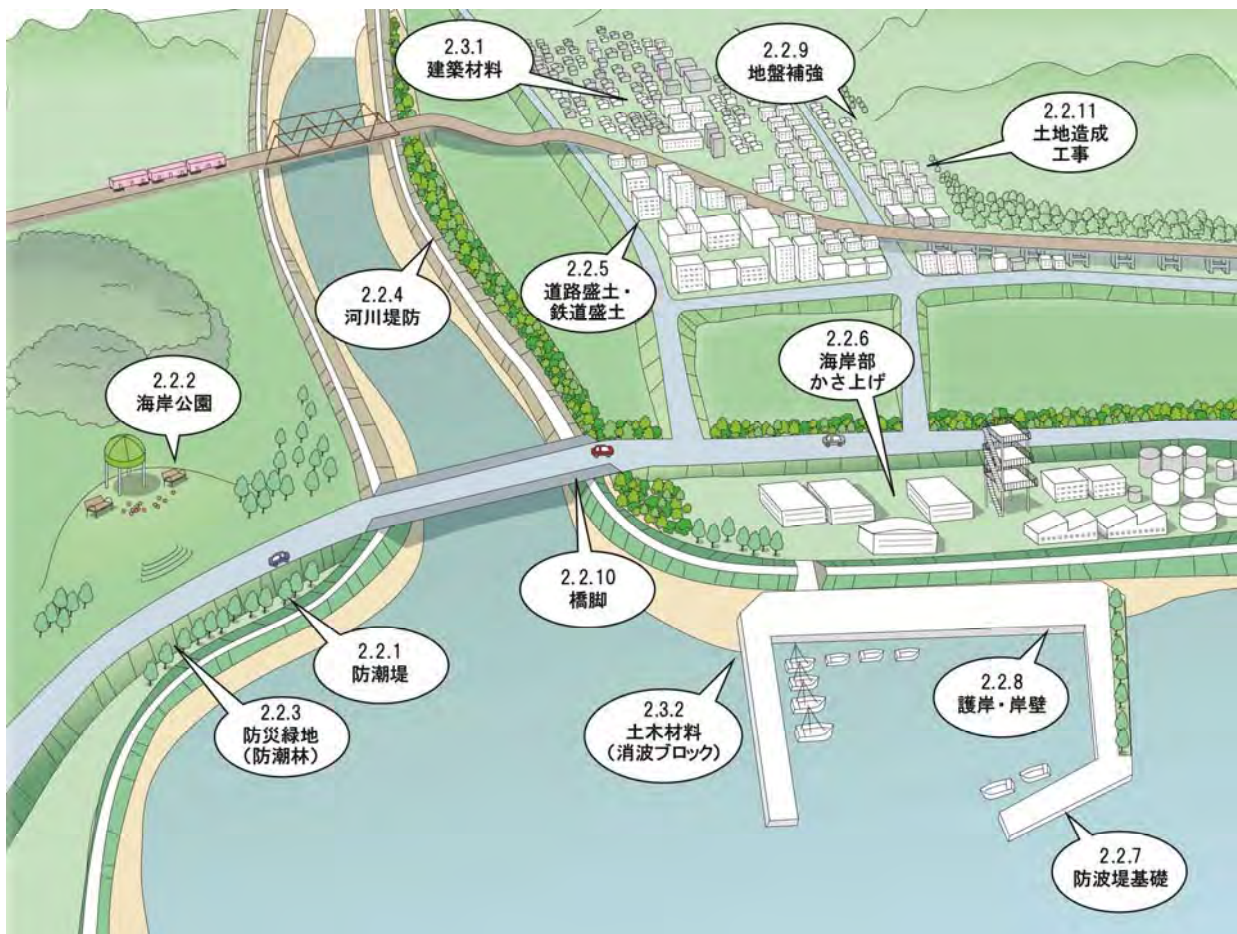


図-2.1 復興工事における石炭灰利用のイメージ

(数字は各項目が記載されている章節番号を示す。)

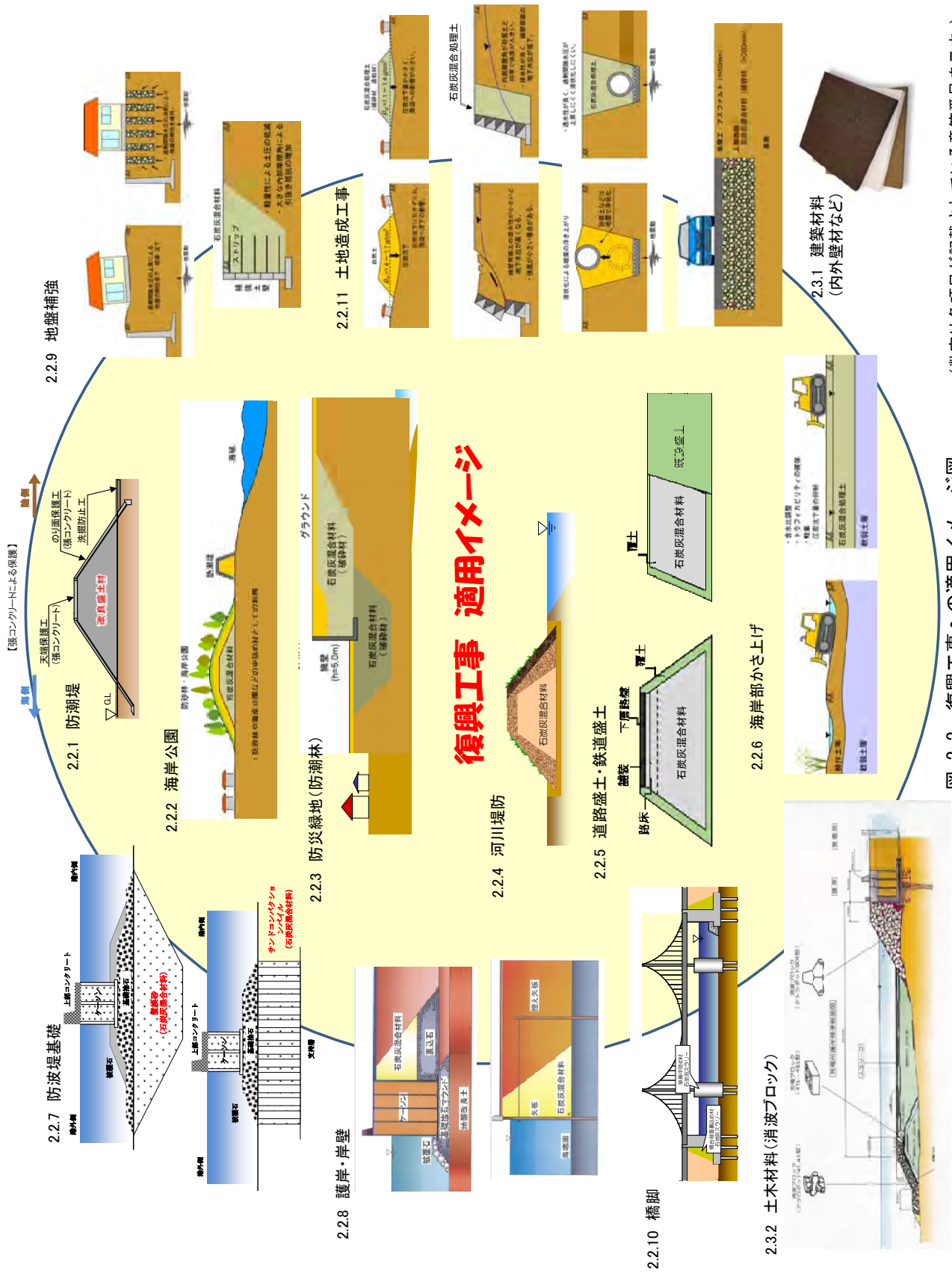


図-2.2 復興工事への適用イメージ図

(数字は各項目が記載されている章節番号を示す。)

## 2.2 土木工事への適用

第1章第6節で述べたように、石炭灰混合材料利用工法は従来使用してきた材料の有効な代替材料として、盛土・埋立てや構造物の裏込め、埋立材料などに適用することができる。この工法は自然由来材料に比べ環境負荷の軽減が期待でき、土圧低減、既設護岸・岸壁の補強および機能向上、液状化抑止、軟弱地盤上の盛土などの幅広い用途に用いることができる。本節では、これらの用途に適用される復興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。

### 2.2.1 防潮堤

#### (1) 適用イメージと適用時のメリット

図-2.3 に防潮堤への適用イメージを示す。

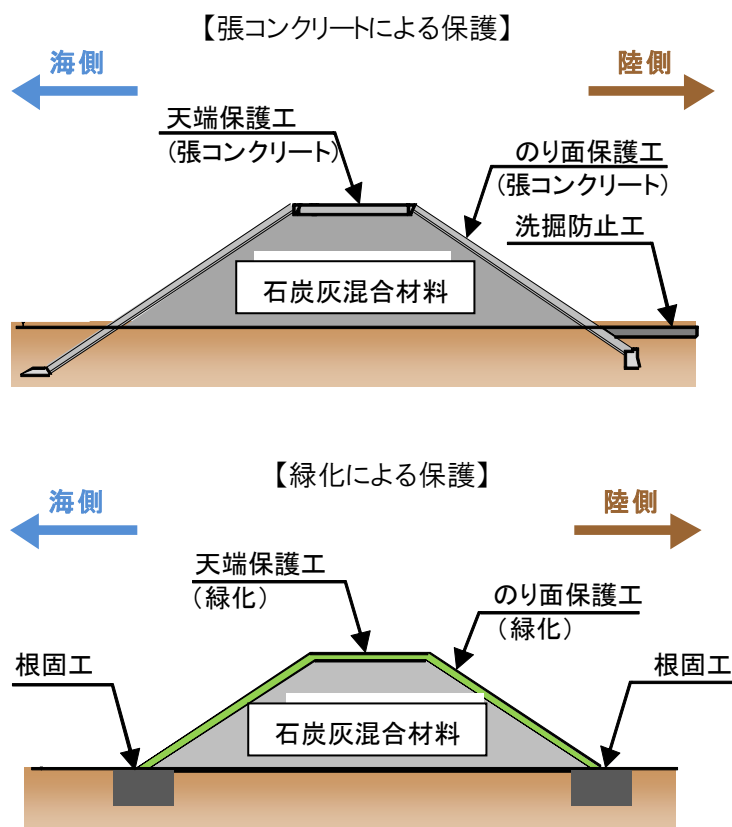


図-2.3 防潮堤への適用イメージ

#### (2) 適用可能な石炭灰混合材料の製造方法

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・含水比調整材（塑性材）を使用する。材料の製造方法については、第3章で述べる。

### (3) 設計方法

適用する防潮堤の設計は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>1)</sup>および「港湾工事共通仕様書」<sup>2)</sup>ならびに「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」<sup>3)</sup>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検討して実施する。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。

### (4) 施工方法

石炭灰混合材料を含水比調整材（塑性材）として使用する場合と、スラリー材として使用する場合（アッシュクリート Type II）に分けて、以下に記載する。

#### (a) 含水比調整材として使用する場合

図-2.4 に、防潮堤の設計から施工までのフローを示す。また、写真-2.1～2.4 に製造・運搬・施工状況を示す。

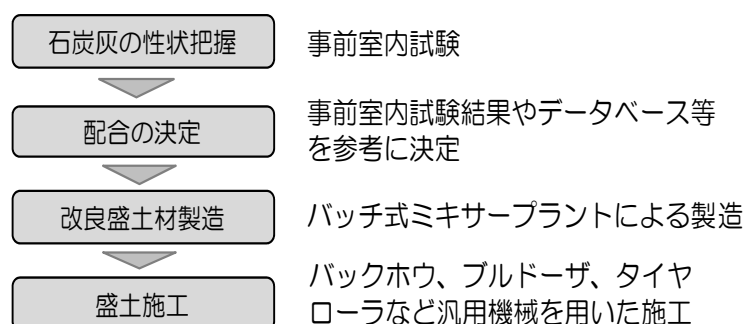


図-2.4 防潮堤への設計・施工フロー



写真-2.1 石炭灰混合材料製造プラント



写真-2.2 ダンプトラックによる運搬



写真-2.3 ブルドーザによる敷ならし



写真-2.4 タイヤローラによる締固め

(b) スラリー材として使用する場合（アッシュクリート Type II）

図-2.5 に、防潮堤の設計から施工までのフローを示す。また、写真-2.5～2.8 に製造・運搬・施工状況を示す。

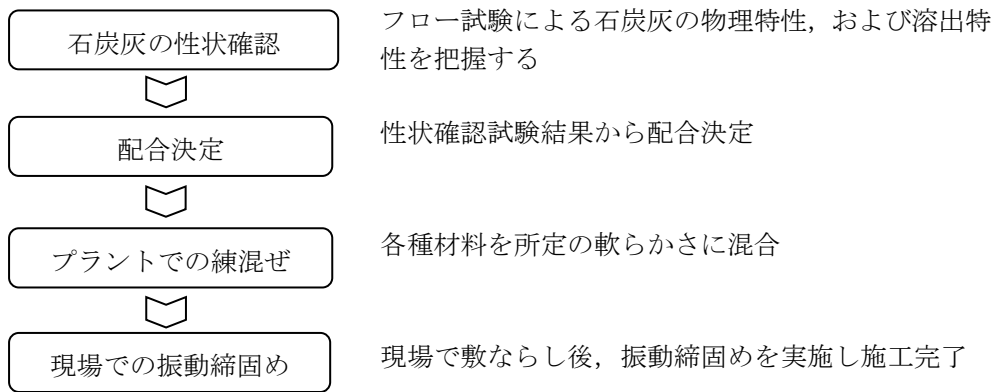


図-2.5 防潮堤への設計・施工フロー



写真-2.5 石炭灰混合材料製造プラント



写真-2.6 ダンプトラックによる運搬



写真-2.7 バックホウによる敷ならし



写真-2.8 専用機器による振動締め

(5) 品質管理方法

石炭灰混合材料の品質管理は第3章で述べることとし、ここでは施工中及び施工完了後に適用した石炭灰混合材料の品質管理について記述する。

表-2.1 に、含水比調整材（塑性材）を用いた場合の品質管理基準・方法例を、表-2.2 にスラリー材（アッシュクリート Type II）を用いた場合の品質管理基準・方法例を示す。

表-2.1 石炭灰混合材料（含水比調整材）の品質管理基準・方法の例

| 段階               | 対象試料    | 試験項目     | 試験頻度・方法など   |
|------------------|---------|----------|---|
| 事前室内試験           | 石炭灰     | pH       | JGS-0211、石炭灰の種類ごと<br>酸性灰の除外など                             |
|                  |         | 土の締固め試験  | JIS A 1210、石炭灰の種類ごと<br>加水量の決定（含水比調整材）                     |
|                  | 石炭灰混合材料 | フロー値     | JHS A 313-1992、石炭灰の種類ごと<br>加水量の決定（スラリー材）                  |
|                  |         | ブリーディング率 | JSCE-1992、石炭灰の種類ごと<br>加水量の決定（スラリー材）                       |
|                  |         | 一軸圧縮強さ   | JIS A 1216、28 日養生後の強度、石<br>炭灰の種類ごと、配合の決定                  |
| 石炭灰改良材製造<br>・出荷時 | 石炭灰混合材料 | 含水比      | JIS A 1203、1 回/日以上<br>製造時のばらつき確認                          |
|                  |         | 一軸圧縮強さ   | JIS A 1216、28 日養生後の強度、1<br>回/月以上 製造時の強度確認                 |
| 盛土施工時            | 石炭灰混合材料 | 湿潤密度、含水比 | RI 計器を用いた盛土の締固め管理要<br>領、1 回/1500m <sup>2</sup> 以上（含水比調整材） |
|                  | 浸出水     | pH       | 水質汚濁防止法、1 回/月以上<br>一律排水基準に適合を確認                           |
|                  |         | 重金属などの濃度 | 環告第 10 号、1 回/月以上<br>地下水環境基準に適合確認                          |

表-2.2 石炭灰混合材料（アッシュクリート Type II）の品質管理基準・方法の例

| 段階     | 試験項目   | 試験頻度・方法など         |
|--------|--------|-------------------|
| 材料試験   | フロー試験  | JIS A 5201, 炭種ごと  |
|        | 密度試験   | JIS A 5201, 炭種ごと  |
|        | 溶出試験   | 環告 46 号, 炭種ごと     |
| 製造・出荷時 | 計量精度   | JIS A 5308        |
|        | 圧縮強度試験 | JIS A 1108        |
| 現場施工時  | 敷き均し厚さ | 1 層 90cm, 目視により全数 |
|        | 振動時間   | 60 秒以上, 全数計測      |
|        | 締固め後厚さ | 1 層 80cm          |

(6) 適用事例

(a) 含水比調整材として使用する場合

- ①施工概要：火力発電所から発生する石炭灰に、セメント、水、重金属不溶化のための助剤を添加してバッチャープラントにて混合し、最適含水比程度の石炭灰混合材料（塑性材）を製造する。石炭灰混合材料はダンプトラックにて運搬し、ブルドーザにて敷ならしを行った後、コンバインドローラで締め固めて防潮堤盛土を築造する。
- ②施工場所：福島県相馬市の新地発電所構内の東南緑地地帯（実証試験）
- ③石炭灰混合材料：石炭灰＋セメント＋水＋助剤で、表-2.3 に配合を示す。

表-2.3 石炭灰混合材料の配合

| 石炭灰           | セメント   | 助剤    | 水     |
|---------------|--------|-------|-------|
| 乾燥質量 1,000 kg | 100 kg | 20 kg | 最適含水比 |

- ④製造方法：現地に設置したバッチャープラントで、石炭灰、セメント、助剤、水を混合し、二軸の強制練りミキサーにて混合する。写真-2.9 にバッチャープラントを、図-2.6 に石炭灰混合材の製造フローを示す。





写真-2.9 バッチャープラント

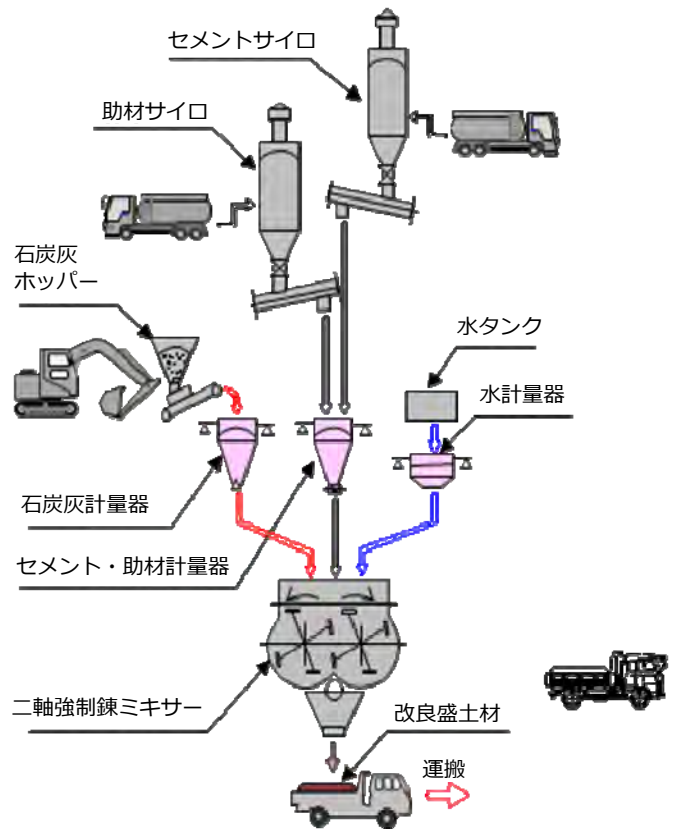


図-2.6 石炭灰混合材の製造フロー

⑤施工方法: 施工の手順を写真-2.10 に、品質管理を写真-2.11 に、防潮堤盛土の全景を写真-2.12 にそれぞれ示す。ダンプで運搬された石炭灰混合材料をブルドーザで敷き均した後、コンバインドローラを用いて締固めを行った。実証試験では、図-2.7 に示すように幅 14m、高さ 3.5m の規模で実施した。のり面勾配は 1 : 1.5 とした。1 層 30 cm の仕上がり厚さとし、10 層まで施工した。基礎地盤には 20 cm の碎石層を、盛土天端には植生用の山砂を 30 cm の厚さで敷き均した。



ダンプトラックによる運搬



ブルドーザによる敷ならし



コンバインドローラによる締固め

写真-2.10 施工の手順

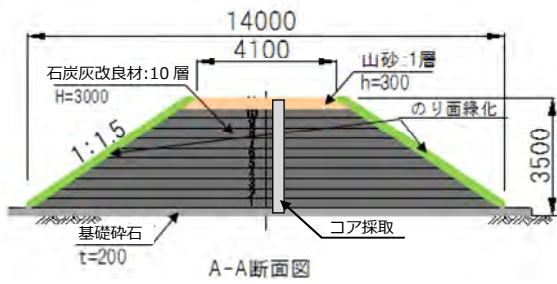


密度測定状況 (RI 計器)

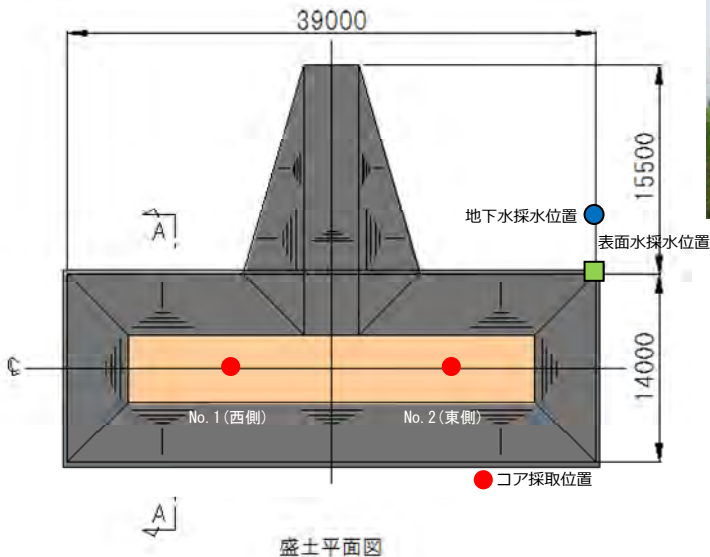


ボーリングコア採取

写真-2.11 品質管理



A-A断面図



盛土平面図

図-2.7 実証試験平面図および断面図



写真-2.12 防潮堤盛土の全景

(b)スラリー材として使用する場合（アッシュクリート Type II）

- ①施工概要：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。
- ②施工場所：福島県相馬市の新地発電所構内の東南緑地地帯（実証試験）
- ③石炭灰混合材料：石炭灰＋セメント＋水＋脱硫石膏で、表-2.4 に配合を示す。

表-2.4 石炭灰混合材料の標準配合

| 石炭灰      | セメント      | 脱硫石膏  | 水        |
|----------|-----------|-------|----------|
| 1,250 kg | 50～100 kg | 25 kg | 350kg 程度 |

- ④製造方法：現地に設置したバッチャープラントで、石炭灰、セメント、脱硫石膏、水を混合し、二軸の強制練りミキサーにて混合する。写真-2.13 にバッチャープラントを示す。



写真-2.13 バッチャープラント

- ⑤施工方法：施工の手順を写真-2.14 に示す。また、写真-2.15 に防潮堤盛土の全景を示す。ダンプ運搬された石炭灰混合材料をバックホウで敷き均した後、専用機器で天端から締固めを行った。実証試験では、1層 80 cmの仕上がり厚さとし、5層まで施工した。施工後の観察用に東面の一部を残し、盛土天端には厚さ 1 mの覆土および植栽を行った。



ダンプトラックによる運搬

ブルドーザによる敷ならし

専用機器による締固め

写真-2.14 施工の手順



写真-2.15 防潮堤盛土の全景

## 2.2.2 海岸公園

### (1) 適用イメージと適用時のメリット

2011年東北地方太平洋沖地震により生じた津波により、防潮堤、浜堤・防砂林などが流亡した。防潮堤の再建は進んでいるものの、その後背に位置していた旧浜堤部および防砂林の再建は遅れている。2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う標高低下により、被災地では平野部における多量のかさ上げ土砂の需要が見込まれており、海岸域のかさ上げに使用できる土砂量は限られている。直接的な環境への暴露の無い、海岸公園や防砂林などの中詰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。

図-2.8に、これらの適用イメージを示す。



図-2.8 海岸公園・防砂林の中詰材としての適用イメージ

### (2) 設計方法

石炭灰混合材料を海岸公園の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。

造成宅地地盤に関する設計の参考となる技術指針の例を表-2.5に示す。

### (3) 施工方法

破砕土、造粒土は、通常の礫質土、砂質土と同様の取扱いが可能である。表-2.5の各指針を参考に、施工現場の状況に応じた施工を行う。

表-2.5 造成宅地地盤に関する技術指針例

| 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)都市再生機構     |          |
| 宅地耐震設計マニュアル(案) H20.4               | (独)都市再生機構     |          |
| 軟弱地盤技術指針 H20.4                     | (独)都市再生機構     |          |
| 宅地擁壁設計・施工の留意点 H20.7                | (独)都市再生機構     |          |

(4) 適用事例

海岸域に震災がれきを用いた緑地帯の堤防を築造する「千年希望の丘」プロジェクトが宮城県岩沼市において自治体主導で始まっている(図-2.9)。このプロジェクトにおける丘の中詰材は、コンクリートガラおよび震災がれきであるが、石炭灰混合材料でも代用可能であると考えられる。

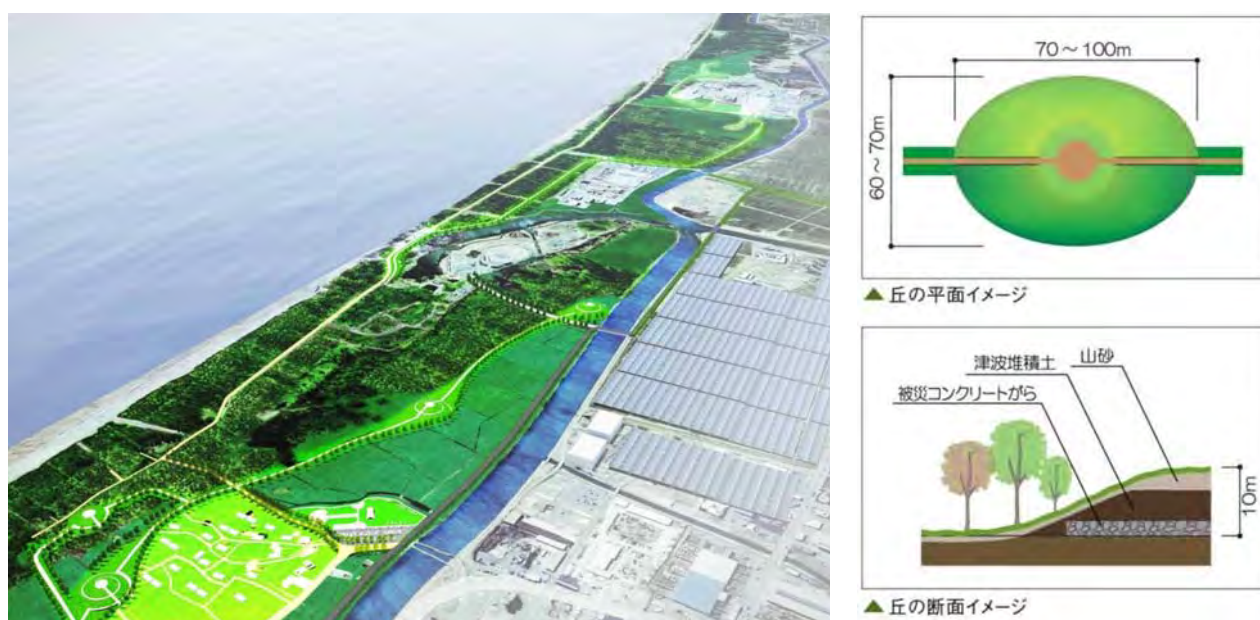


図-2.9 宮城県岩沼市「千年希望の丘」プロジェクトイメージ  
(岩沼市 HP 掲載リーフレットより抜粋)

## 2.2.3 防災緑地（防潮林）

### (1) 適用イメージと適用メリット

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」<sup>4)</sup>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」<sup>5)</sup>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-2.10 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-2.11 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。

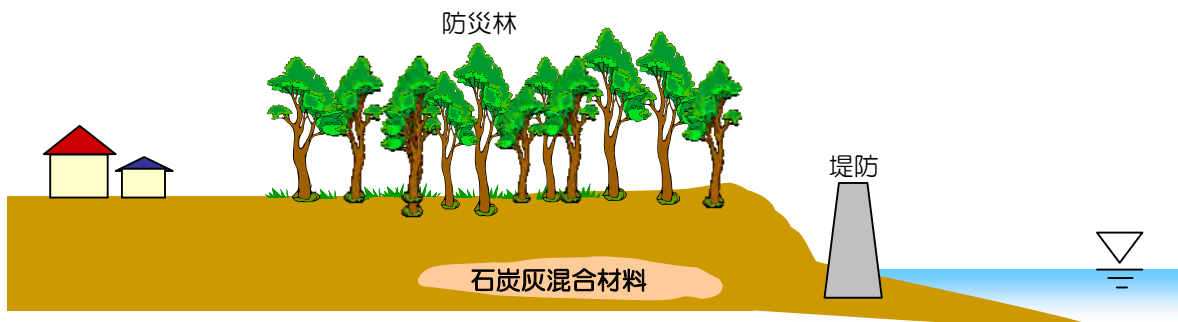


図-2.10 防災緑地への適用イメージ

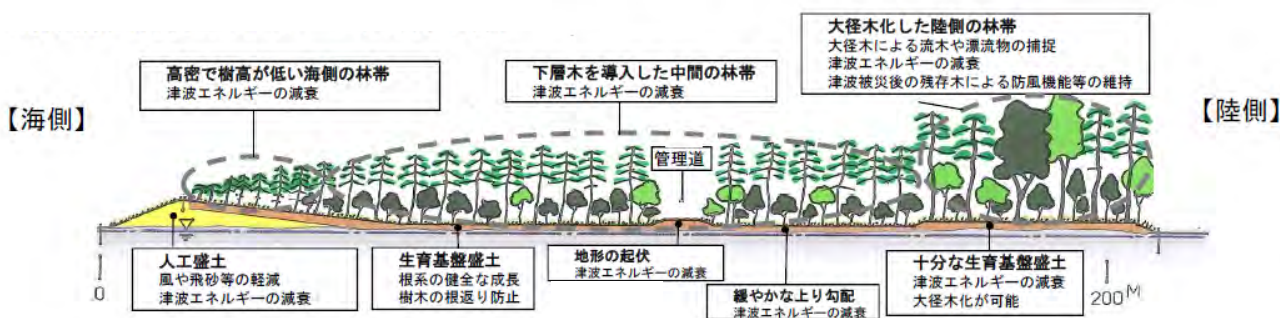


図-2.11 海岸防災林再生のイメージ（将来像）<sup>4)</sup>

### (2) 適用可能な石炭灰混合材料の製造方法

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、溶出抑制剤、添加剤を混合し造粒した製品を養生し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。材料の製造方法の詳細については第3章で述べる。

### (3) 設計方法

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」<sup>6)</sup>、「河川土工マニュアル」<sup>7)</sup> および「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）」<sup>8)</sup> 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。

### (4) 施工方法

図-2.12 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。

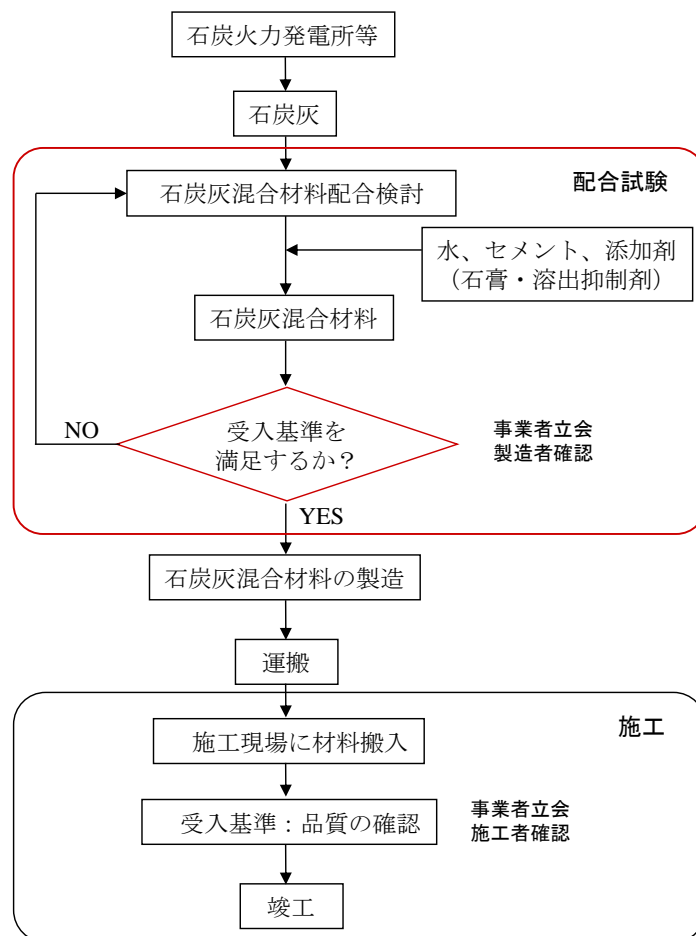


図-2.12 石炭灰混合材料の配合試験から計画、設計、施工までの全体フロー図<sup>9)</sup>



#### (5) 品質管理方法

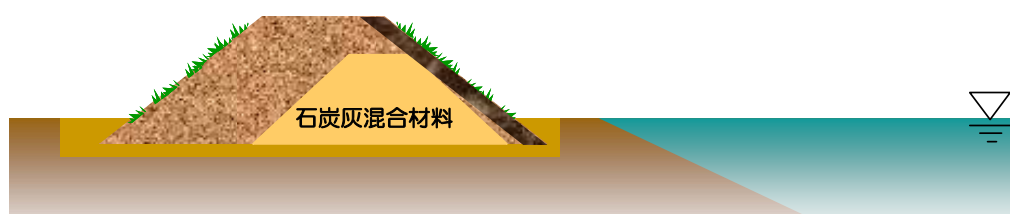
石炭灰混合材料の品質管理は第3章で述べることとし、ここでは施工中及び施工完了後に適用した石炭灰混合材料の品質管理について記述する。製造された石炭灰混合材料は破碎材料と粒状材料によって異なるが、破碎材料は工事現場にて搬入数量200m<sup>3</sup>に1回程度粒度分布を確認する。粒状材料の場合は製造ロットで確認されており現地での品質管理はミルシートなどで確認する。施工完了後の品質確認はチェックボーリングなどによる。また、環境リスクの観点からは、沿岸漁業など周辺環境への影響が生じないように検討すると共に、植栽や森林の生育に対して石炭灰混合材料が有害とならないように植栽基盤となる表土の厚さを配慮する必要がある。

## 2.2.4 河川堤防

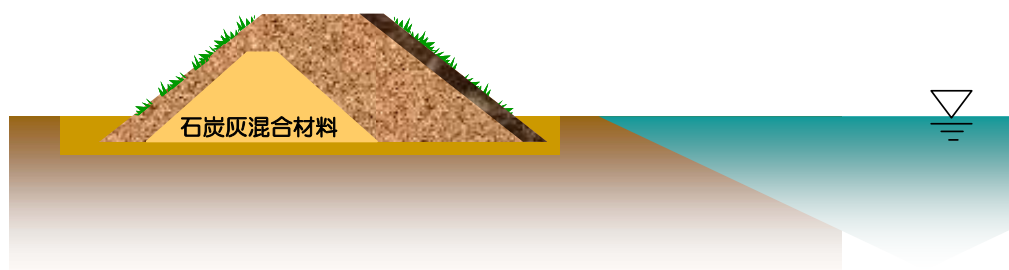
### (1) 適用イメージと適用メリット

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軽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-2.13 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、表法面へ適用する場合は低い透水性が要求され、裏法面へ適用する場合は高い透水性が必要となる。



(a) 表法面への適用イメージ



(b) 裏法面への適用イメージ

図-2.13 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の製造方法

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、溶出抑制剤、添加剤を混合し造粒した製品を養生し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。材料の製造方法の詳細については第3章で述べる。

(3) 設計方法

適用する河川堤防の設計は「河川堤防設計指針」<sup>6)</sup>、「河川土工マニュアル」<sup>7)</sup> および「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）」<sup>8)</sup> 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) 施工方法

図-2.14 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。

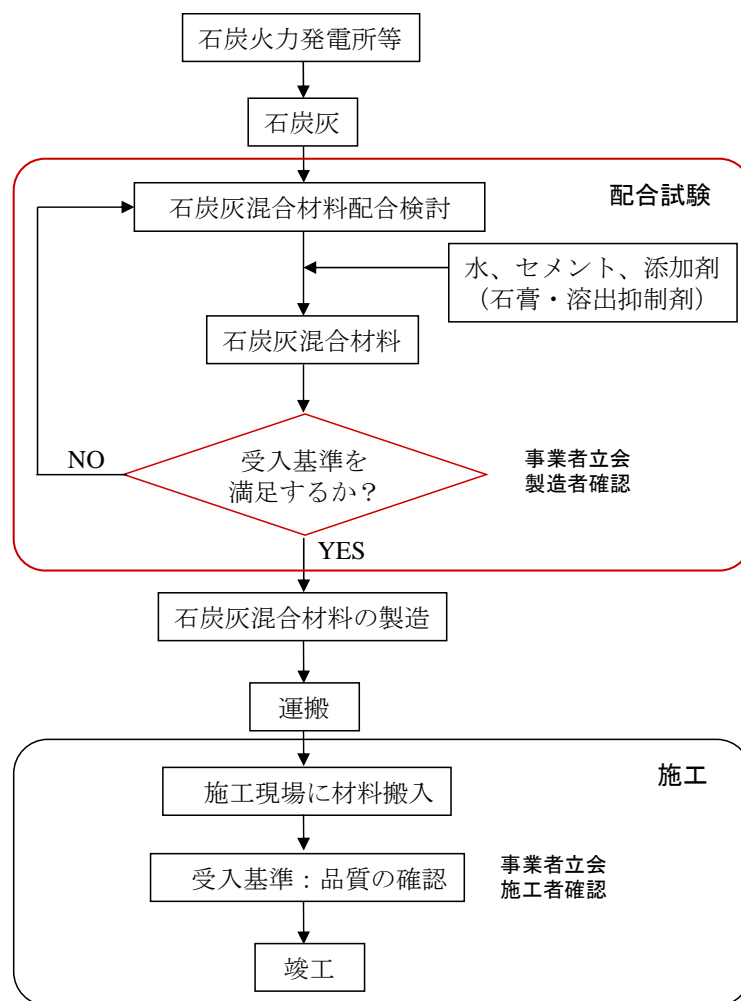


図-2.14 石炭灰混合材料の配合試験から計画、設計、施工までの全体フロー図

(5) 品質管理方法

石炭灰混合材料の品質管理は第3章で述べることとし、ここでは施工中および施工完了後に適用した石炭灰混合材料の品質管理について記述する。製造された石炭灰混合材料は破砕材料と粒

状材料によって異なるが、破碎材料は工事現場にて搬入数量 200m<sup>3</sup>に 1 回程度粒度分布を確認する。粒状材料の場合は製造ロットで確認されており現地での品質管理はミルシートなどで確認する。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。

#### (6) 適用事例

石炭灰混合材料を河川堤防に活用する試みは多くのところで行われており、北海道開発局石狩川開発建設部では、石狩川本川および支川において高含水の粘土および泥炭の粒度調整に用いる粗粒材料として石炭灰造粒物の適用性を検討している<sup>10)</sup>。この結果、今後石炭灰造粒物を築堤盛土材料として活用する課題として、①土壌汚染などの環境基準に対する検証、②タイプの異なるボイラから生成される造粒物での適否の検討、③石炭灰造粒物の製造および運搬に関わるコストの検証、④石炭灰造粒物の供給可能量を挙げている。このうち、③および④に関しては供給元である電力会社との事前調整が必要となるが、技術的課題である①および②に関しては、本ガイドラインの発刊が課題解決の一助になるものと考えられる。

## 2.2.5 道路盛土・鉄道盛土

### (1) 適用イメージと適用時のメリット

図-2.15 に道路盛土や鉄道盛土への適用イメージを示す。

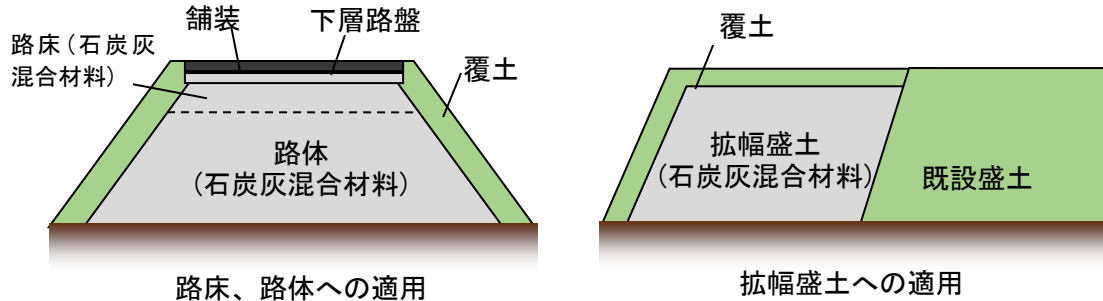


図-2.15 道路盛土・路盤への適用イメージ

### (2) 適用可能な石炭灰混合材料の製造方法

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・造粒材またはスラリー材・含水比調整材（塑性材）のいずれかとして使用する。材料の製造方法については、第3章で述べる。

### (3) 設計方法

道路の盛土材料として石炭灰混合材料を使用する場合は、「道路土工—施工指針」<sup>11)</sup>や「施工管理要領基準集」<sup>12)</sup>などに示される方法と手順に準じて行う。また、下層路盤材として使用する場合は、日本道路協会「舗装設計施工指針」<sup>13)</sup>や「舗装施工便覧」<sup>14)</sup>、および「アスファルト舗装要綱」<sup>15)</sup>でのセメント安定処理下層路盤に準じて実施する。表-2.6 に下層路盤材料としての品質基準の概要を示す<sup>16)</sup>。

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。道路盛土と鉄道盛土に関する各機関の品質管理項目と規定値について、表-2.7 にまとめる<sup>17)</sup>。

表-2.6 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、クラッシュランなど <sup>※1</sup> | 20%以上 <sup>※2</sup> | —              | 6以下 <sup>※2</sup> |
| セメント安定処理 <sup>※3</sup>         | —                   | 材齢7日で1.0MPa以上  | —                 |
| 石灰安定処理 <sup>※3</sup>           | —                   | 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

表-2.7 各機関の品質管理項目と規定値

| 品質管理項目          |          | 道路 (国道等) <sup>12)</sup>                            |                     | 高速道路 <sup>18)</sup>   |  |  | 鉄道 <sup>19)</sup>                                  |                                |
|-----------------|----------|--|---------------------|---|--|--|--|--------------------------------|
|                 |          | 盛土路体   | 路床                  | 路体  | 下部路床   | 上部路床   | 下部盛土   | 上部盛土                           |
| 密度比             | 突固め試験名   | JIS A 1210   | JIS A 1210          | JIS A 1210 (B法)   | JIS A 1210 (E法)                                    | JIS A 1210 (E法)                                    | JIS A 1210 (D、E法)                                  | JIS A 1210 (D、E法)              |
|                 | 締固め度 (%) | 90 以上 <sup>※1</sup>                                | 90 以上 <sup>※1</sup> | A : 90 以上 <sup>※3</sup><br>A : 92 以上 <sup>※4</sup>  | A : 90 以上 <sup>※3</sup><br>A : 92 以上 <sup>※4</sup> | A : 95 以上 <sup>※3</sup><br>A : 97 以上 <sup>※4</sup> | 90 以上 <sup>※2</sup>                                | 盛土上面以外<br>90 以上 <sup>※2</sup>  |
| 空気間隙率<br>または飽和度 | Va (%)   | B : 15 以下 <sup>※1</sup><br>C : 10 以下 <sup>※1</sup> | —                   | B : 15 以下 <sup>※3</sup> B : 13 以下 <sup>※4</sup><br>C : 10 以下 <sup>※3</sup> C : 8 以下 <sup>※4</sup> |  |  | B : 15 以下 <sup>※2</sup><br>C : 10 以下 <sup>※2</sup> | —                              |
|                 | Sr (%)   | 粘性土<br>85~95                                       | —                   | —   | —  | —  | —  | —                              |
| 強度・変<br>形特性     | 試験方法     | —  | たわみ量試験              | —   | —  | たわみ量試験   | 平版載荷試験   |                                |
|                 | 規定値      | —  | 路床仕上げ後に実施           | —   | —  | 5mm 以下   | $K_{30} \geq 70\text{MN/m}^3$                      | $K_{30} \geq 110\text{MN/m}^3$ |
| 施工含水比           |          | 最適含水比の90%が得られる含水比の範囲                               |                     | 自然含水比   | 締固め度および所定のたわみ規定 (修正 CBR が 5 以上) を満足する含水比           | 締固め度および所定のたわみ規定 (修正 CBR が 10 以上) を満足する含水比          | できるだけ最適含水比に近づける                                    |                                |
| 一層の仕上げ<br>厚さ    |          | 30cm 以下  | 20cm 以下             | 30cm 以下   | 20cm 以下  | 20cm 以下  | 30cm   | 30cm                           |

- ※1 : 砂置換法による方法 A (細粒分<15%)、B (15% ≤ 細粒分<50%)、C (50% ≤ 細粒分)  
 ※2 : 砂置換法による方法 A (細粒分<20%)、B (20% ≤ 細粒分<50%)、C (50% ≤ 細粒分)  
 ※3 : 突砂法による方法の 15 点の平均 A (細粒分<20%)、B (20% ≤ 細粒分<50%)、C (50% ≤ 細粒分)  
 ※4 : R I 計器による方法の 15 点の平均 A (細粒分<20%)、B (20% ≤ 細粒分<50%)、C (50% ≤ 細粒分)  
 ※5 : 砂置換法による方法の平均 A (細粒分<25%)、B (25% ≤ 細粒分<50%)、C (50% ≤ 細粒分)

(4) 施工方法

図-2.16 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。

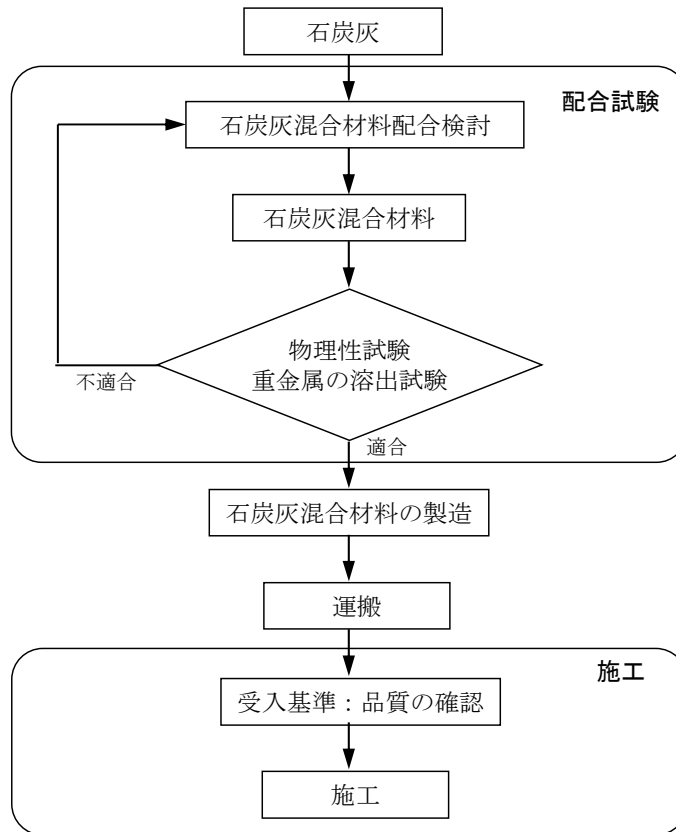


図-2.16 道路盛土・鉄道盛土への設計・施工フロー

(5) 品質管理方法

石炭灰混合材料の品質管理は第3章で述べることとし、ここでは施工中及び施工完了後に適用した石炭灰混合材料の品質管理について記述する。表-2.8 に、破砕材・造粒材の石炭灰混合材料（J-アッシュ）を用いた盛土材の品質管理基準・方法（例）を示す。

表-2.8 石炭灰混合材料（J-アッシュ）の品質管理基準例

| 項目          | 品質管理基準                    | 項目       | 品質管理基準       |
|-------------|---------------------------|----------|--------------|
| 内部摩擦角       | 30 度以上                    | p H      | 5～12         |
| 粘着力         | 30kN/m <sup>2</sup> 以上    | 塩化物含有量   | 0.03%以下      |
| 90%修正 C B R | 20%以上                     | 硫化物含有量   | 0.03%以下      |
| 膨脹比         | 1%以下（良好な状態）               | 電気比抵抗比   | 5000 Ω・cm 以上 |
| コーン貫入抵抗     | 1200kN/m <sup>2</sup> 以上  | 有害物質の溶出量 | 土壤環境基準以下     |
| 湿潤密度        | 1.650g/cm <sup>3</sup> 以下 |          |              |

(6) 適用事例

石炭灰混合材料のJ-アッシュを道路盛土に使用した事例を下記に示す。

- ①施工概要：被災を受けた県道の早期復旧用の仮設道路として、約 4000m<sup>3</sup> の石炭灰混合材料（J-アッシュ）を路体、路床に活用する。
- ②施工場所：福島県いわき市渡辺町上釜戸地内の県道「いわき石川線」  
福島県いわき市田人町才鉢地内の県道「いわき石川線」
- ③石炭灰混合材料：石炭灰+砕石+セメント+水
- ④製造方法：火力発電所から発生する石炭灰に、砕石、セメント、水を添加し、回転式破碎・混合機により製造する。石炭灰混合材料はダンプトラックにより運搬し、養生ヤードで締固めと28日以上の養生を行う。その後、バックホウにて破碎し粒度調整を行った後、石炭灰混合材料（盛土材）として出荷する。
- ⑤施工方法：図-2.17～2.18に仮設道路の断面図を示す。また、写真-2.16～2.17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、コンバインドローラなどで締め固めて盛土を築造する。

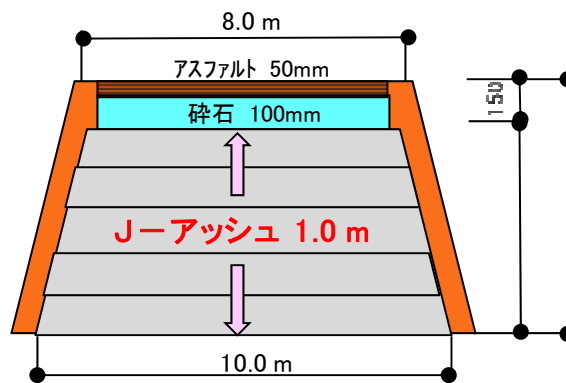


図-2.17 仮設道路の断面図（渡辺町県道）

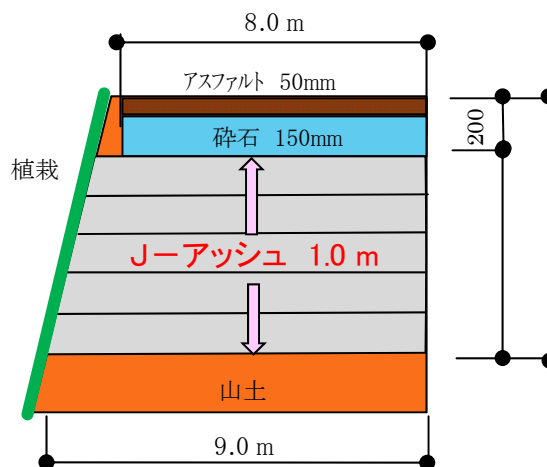


図-2.18 仮設道路の断面図（田人町県道）





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)



復旧完了の状況 (H23. 8. 31 撮影)



1年後の状況 (H24. 10. 22 撮影)

写真-2.16 施工状況 (渡辺町県道)



J-アッシュ敷ならし開始 (H23. 9. 14 撮影)



転圧状況 (H23. 9. 16 撮影)



復旧完了の状況 (H23. 9. 18 撮影)



1年後の状況 (H24. 7. 12 撮影)



1年後の状況 (H24. 7. 12 撮影)

写真-2.17 施工状況 (田人町県道)

## 2.2.6 海岸部かさ上げ

### (1) 適用イメージと適用時のメリット

#### (a) 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利用（塑性材；図-2.19）

2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動により、沿岸域の標高が低下したため、標高ゼロメートル以下の土地が生じている。これらの土地は常に高い湿潤状態にあるため、かさ上げ作業時の重機のトラフィカビリティに問題が生じる場合がある。また、沿岸域の表層には軟弱粘性土や有機質土が堆積していることも多く、土地のかさ上げによる圧密沈下が生じる可能性がある。

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と共に、土粒子同士の結合を発達させることから、最終的な圧密沈下量を低減させることができる。かさ上げ土砂の不足が懸念されている現在、最終圧密量の低減は必要土量の削減に直結するため、重要な問題である。

#### (b) サンドマット、グラベルマットとしての利用（破砕材、造粒材；図-2.20）

破砕材、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砕材、造粒材を配置することで、原地盤の圧密完了時間を短縮することができる。

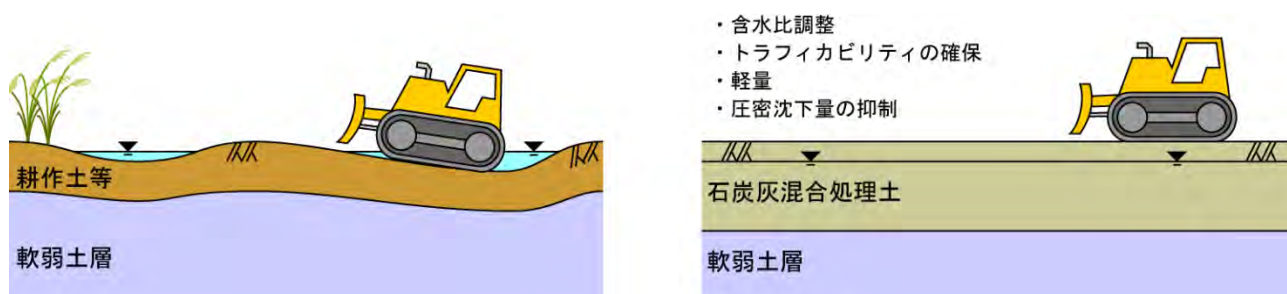


図-2.19 標高ゼロメートル地帯の表層土の含水比調整材としての適用イメージ

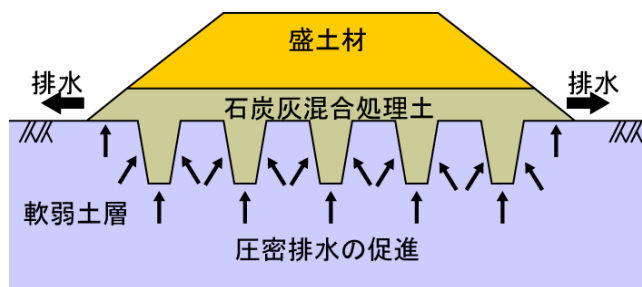


図-2.20 サンドマット、グラベルマットとしての適用イメージ

## (2) 設計方法

海岸域における土地のかさ上げは、基本的には一般的な造成宅地の設計と同じである。造成宅地地盤に関する設計の参考となる技術指針としては、表-2.9 に示すようなものがある。

表-2.9 造成宅地地盤に関する技術指針例

| 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 H6.7.10                | (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)都市再生機構     |          |
| 宅地耐震設計マニュアル(案) H20.4               | (独)都市再生機構     |          |
| 軟弱地盤技術指針 H20.4                     | (独)都市再生機構     |          |
| 宅地擁壁設計・施工の留意点 H20.7                | (独)都市再生機構     |          |

## (3) 施工方法

破砕土、造粒土は、通常の礫質土、砂質土と同様の取り扱いが可能である。表-2.9 に示した各指針を参考に、施工現場の状況に応じた施工を行う。

塑性材は、現地土に石炭灰、水、セメントを混合して、施工現場で作製される。材料の混合にはバックホウやスタビライザーなどを用いる。塑性材に求められる物性、強度、また、現地土の品質などに応じて材料の配合を決定するが、施工現場で作製を行うため品質にばらつきが生じるおそれがある。そのため、事前に実施した室内配合試験で得られた配合比率で混合されているかを確認するとともに、材料の混合（塑性材の製造）の後に塑性材の含水比を計測し、設計の含水比となっているか確認を行う。その後、敷きならし、転圧を行った後、締固め度とコーン貫入抵抗の計測を行い、所定の値を満たしているかの確認を行う。塑性材の硬化後の目標強度の確認は、工事完了後にチェックボーリングなどを行い、コアを採取して品質の確認を行うことが望ましい。

## (4) 適用事例

海岸域の土地のかさ上げは、2011年東北地方太平洋沖地震によって初めて示された問題であり、純粹に海岸域のかさ上げ材としての適用事例は無いが、土地のかさ上げという点では「2.2.11 土地造成工事」の項目に準ずる。適用事例は2.2.11の部分を参照されたい。

## 2.2.7 防波堤基礎

### (1) 適用イメージと適用のメリット

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、破砕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-2.21 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。

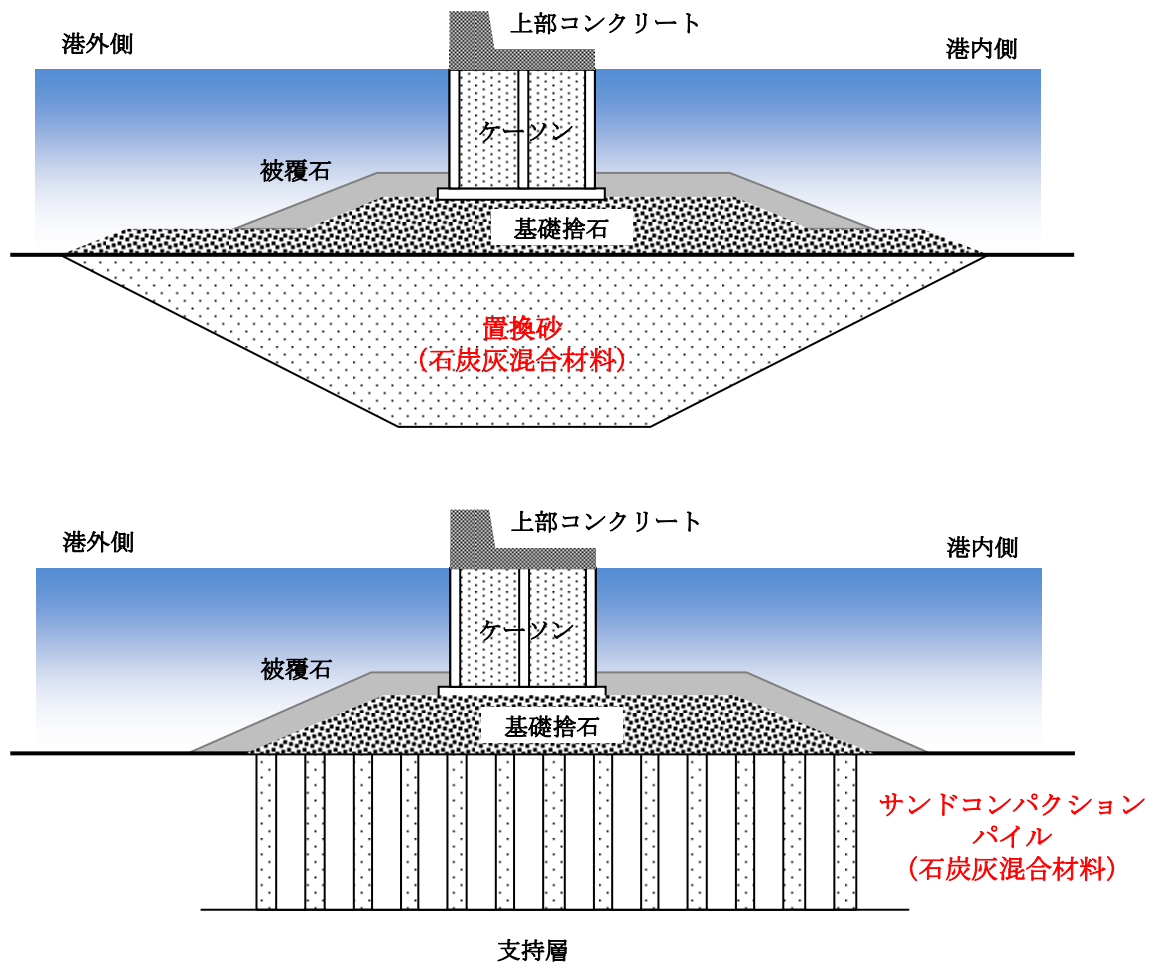


図-2.21 防波堤基礎への適用イメージ

## (2) 石炭灰混合材料の適用可能な製造方法

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。それぞれの材料の製造方法の事例は第3章で述べる。

## (3) 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」<sup>1)</sup>、「港湾工事共通仕様書」<sup>2)</sup>および「防波堤の耐津波設計ガイドライン」<sup>20)</sup>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。

## (4) 施工方法

ここではSCPへの適用事例として、中部電力の石炭灰固化物SCP材の施工方法を示す。

図-2.22に示すように、石炭灰固化物SCP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-2.18に材料の外観、表-2.10に石炭灰固化物SCP材の材料特性例を示す。土粒子密度は約2.4g/cm<sup>3</sup>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947kg/m<sup>3</sup>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、通常自然砂と同じである。

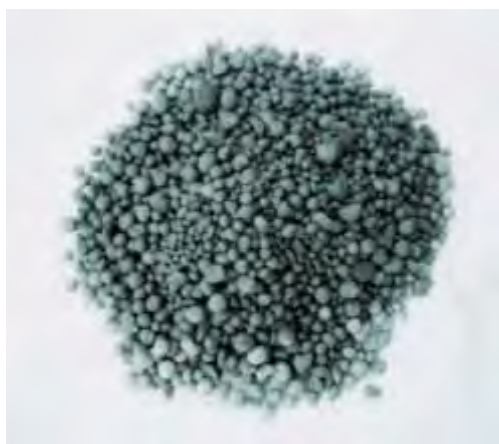


写真-2.18 石炭灰固化物SCP材

表-2.10 石炭灰固化物SCP材の材料特性例

| 項目                          | 物性値   |
|-----------------------------|-------|
| 土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )  | 2.366 |
| 単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 947   |
| 自然含水比 (%)                   | 15.5  |
| 吸水率 (%)                     | 20.72 |
| スレーキング率 (%)                 | -0.04 |

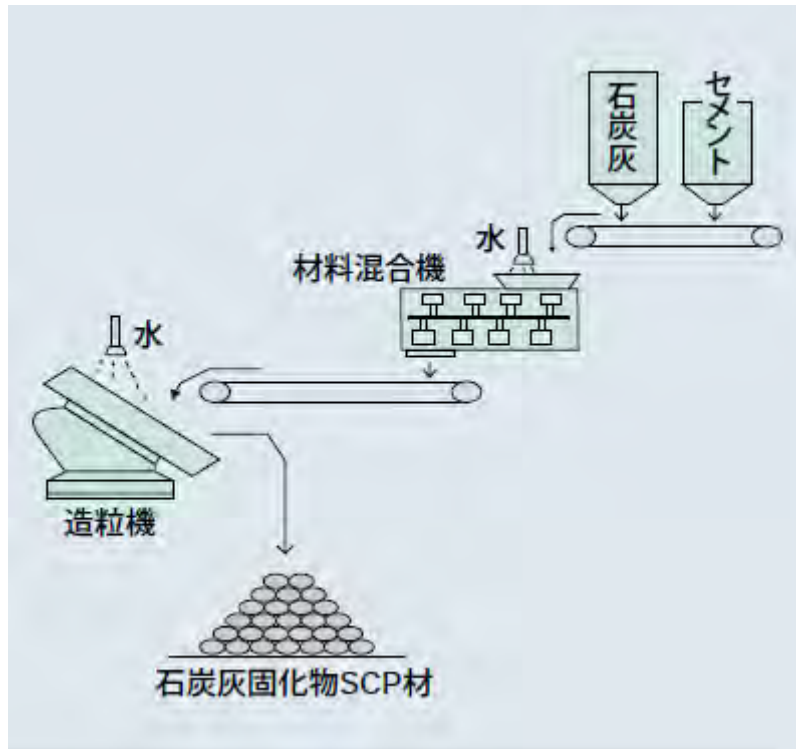


図-2.22 石炭灰固化物SCP材の製造方法

(5) 適用事例

SCPへの適用事例として、三河港、広島港、山口県阿知須干拓地などがあるが、いずれも自然砂と同等の改良効果と評価されている。

## 2.2.8 護岸・岸壁

### (1) 適用イメージと適用のメリット

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、先に発刊した（港湾編）ガイドライン<sup>9)</sup>に示したように、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軽減、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。図-2.23 に護岸・岸壁における石炭灰混合材料の適用イメージを示す。

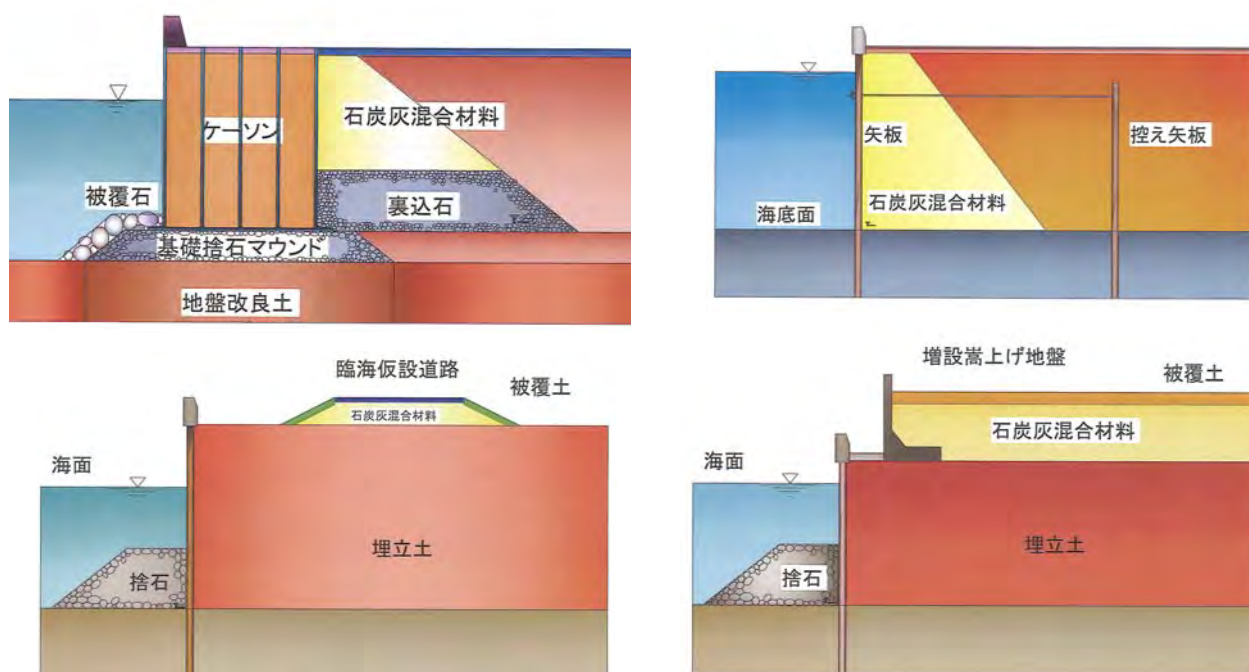


図-2.23 護岸・岸壁への適用例<sup>9)</sup>

### (2) 適用可能な石炭灰混合材料の製造方法

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碎材・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、特性など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。各種石炭灰混合材料の概要を表-2.11 に示す。なお、各材料の製造方法の詳細は第3章で述べる。



表-2.11 護岸・岸壁で活用可能な石炭灰混合材料の概要

| 形態（種別） | 概要（製造方法）   |
|--------|--|
| 固化材破砕材 | 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 |
| 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品                 |
| 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                  |
| 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       |

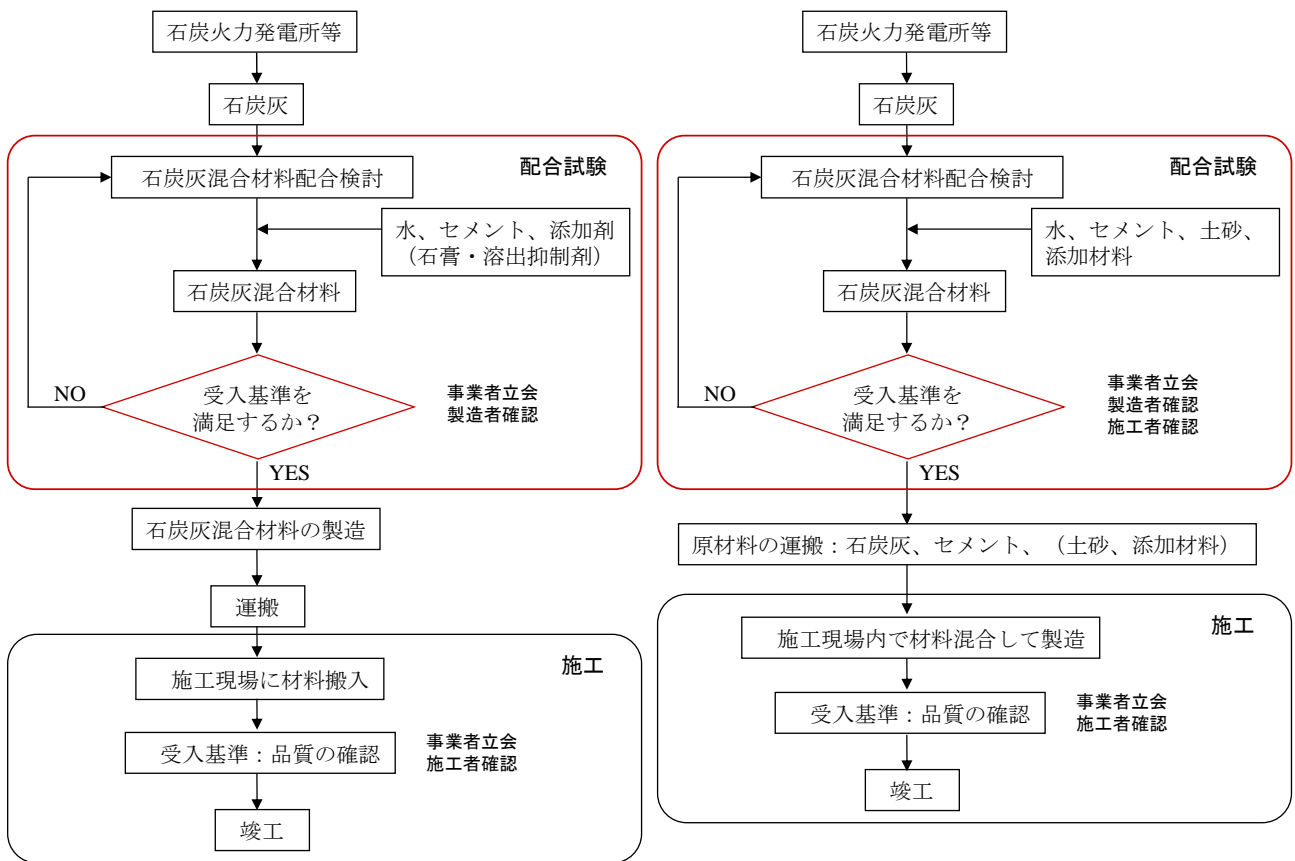
(3) 設計方法

適用する護岸・岸壁の設計基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>1)</sup>、「港湾工事共通仕様書」<sup>2)</sup> 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」<sup>3)</sup>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。

(4) 施工方法

石炭灰混合材料の施工方法は破砕材・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。

図-2.24 に破砕材およびスラリー材の計画から施工までの流れを示す。なお、造粒材については破砕材と、塑性材についてはスラリー材とほぼ同様の流れとなる。



(1) 破砕材

(2) 石炭灰スラリー

図-2.24 石炭灰混合材料の計画から施工までの流れ<sup>9)</sup>

(5) 品質管理方法

石炭灰混合材料の品質管理項目および試験頻度は、第3章に示すように各製造方法によって異なるため、使用する石炭灰混合材料に応じて決定する必要がある。製造された石炭灰混合材料は破砕材料と粒状材料によって異なるが、破砕材料は工事現場にて搬入数量 200 m<sup>3</sup> に 1 回程度粒度分布を確認する。粒状材料の場合は製造ロットで確認されており現地での品質管理はミルシートなどで確認する。一方、製造された石炭灰混合材料（スラリー）は工事現場にて製造ロット毎または 300 m<sup>3</sup> 未満または施工延長 20m に 1 回程度マッドバランスやテーブルフロー値などにて密度や粘度を確認する。

なお、第4章に示す環境安全配慮品質および検査方法において、環境安全形式検査は使用する石炭灰の品質が大きく異なった場合、石炭灰混合材料の製造設備が異なった場合、および製造時の配合が異なった場合に実施するのが望ましいとしている。一方、環境安全受渡検査はロット毎とし、概ね 5,000m<sup>3</sup> につき 1 回実施することが望ましいと規定している。

(6) 適用事例<sup>9)</sup>

(a) 固化体（頑丈土）破砕材

①施工概要：石炭灰混合材料を発電所構内で締め固めて養生し、破砕材を製造し運搬して埠頭の道路の路床および下層路盤に適用した事例である。計画図を図-2.25に示す。

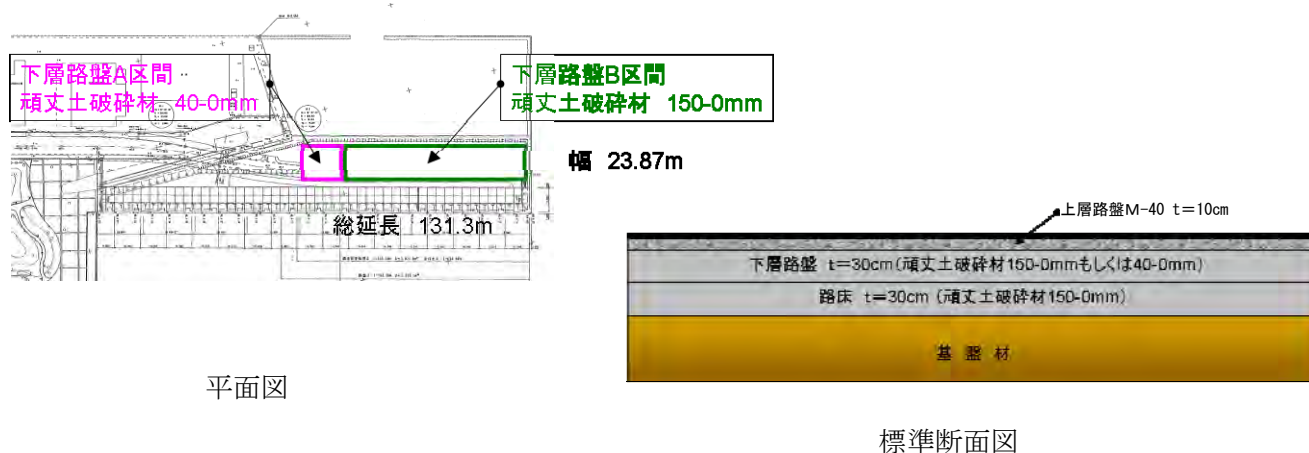


図-2.25 計画図

②施工場所：福島県いわき市

③石炭灰混合材料：フライアッシュ+水+セメント

④製造：火力発電所施設場内で製造

製造段階は2段階あり石炭灰混合材料で製造した固化体（頑丈土）を養生し破砕して破砕材として使用する。製造、養生、破砕、搬出の流れを図-2.26、図-2.27に示す。

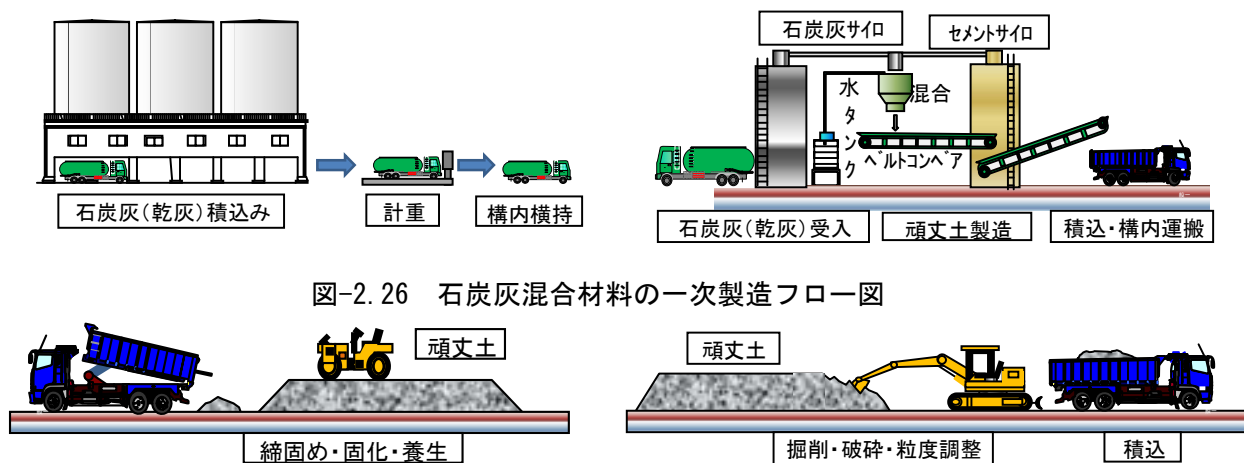


図-2.26 石炭灰混合材料の一次製造フロー図

図-2.27 石炭灰混合材料（破砕材）の製造フロー図

⑤運搬方法：ダンプトラックによる搬送

貯蔵された石炭灰混合材料（破砕材）の搬出をダンプトラックで行う。

⑥施工方法：施工手順を図-2.28に示す。また、製造・運搬・施工写真を写真-2.19～2.22に示す。

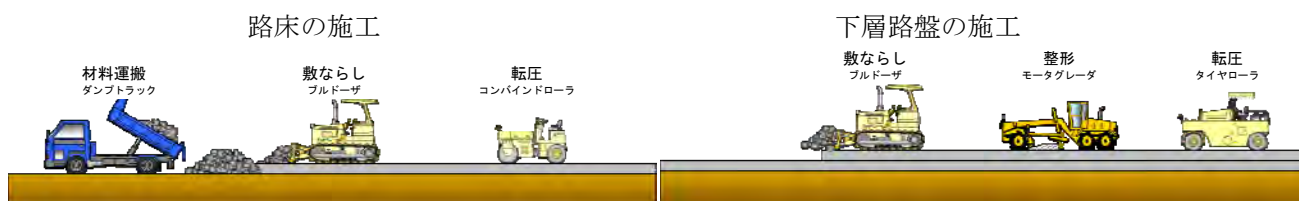


図-2.28 施工フロー図

⑦施工写真：



写真-2.19 石炭灰混合材料の固化体（頑丈土）の製造、破砕材の製造

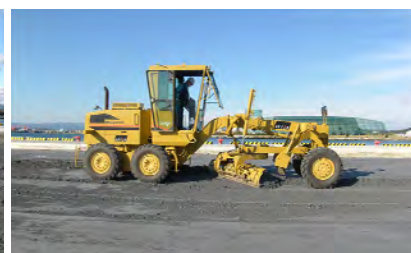


写真-2.20 ダンプカーによる材料運搬

写真-2.21 ブルドーザ、モータグレーダによるまき出し状況



写真-2.22 完了全景（基盤、固化体破砕材下層路盤、上層路盤）

(b)造粒材（ゼットサンド）

①施工概要：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ものである。図-2.29 に適用された築堤断面図と石炭灰混合材料（造粒材）投入位置を示す。

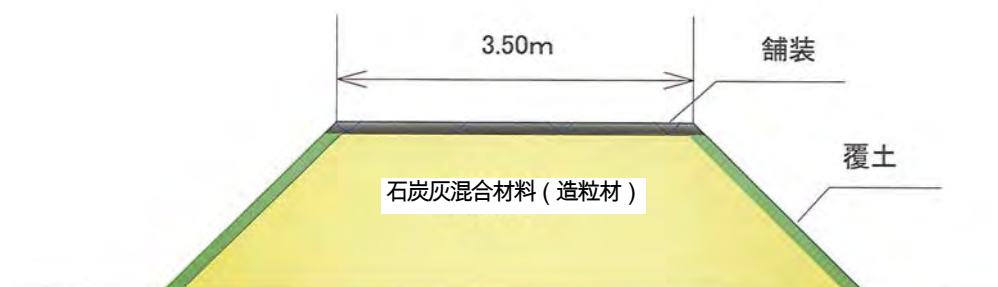


図-2.29 適用された築堤断面図<sup>9)</sup>

②施工場所：山口県宇部市

③石炭灰混合材料（造粒材）：フライアッシュ+水+セメント+溶出抑制剤+添加材

④製造：火力発電所施設場内で製造、貯蔵

第3章にて詳細を記載するのでこの事例では概要フローを記載する。図-2.30 に適用された石炭灰混合材料（造粒材）の造粒過程と養生、保管をフロー図で示す。

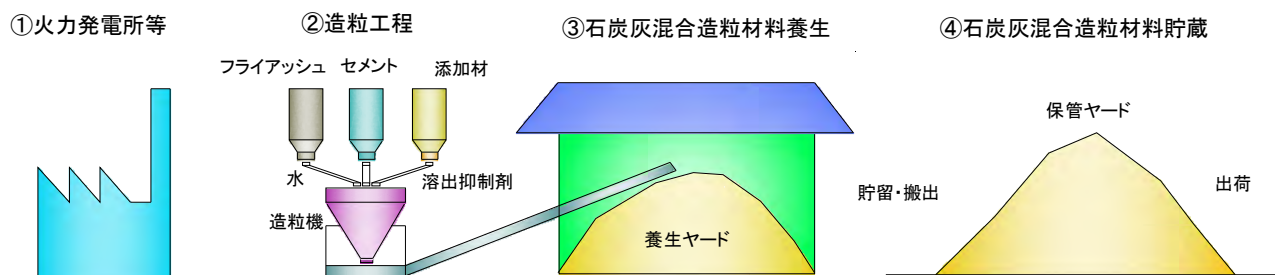


図-2.30 石炭灰混合材料（造粒材）の造粒過程と養生、保管フロー図<sup>9)</sup>

⑤運搬方法：保管ヤードに貯留された石炭灰混合材料（造粒材）は、ペイローダやホイールローダによりダンプトラックに積み込まれ使用現場に出荷、搬送される。

⑥施工方法：図-2.31 に施工手順図を示す。ダンプ運搬された石炭灰混合材料（造粒材）をバックホウで敷きならし、タイヤローラで転圧する一般的な施工形態を示す。粒状形状に大きな差が無いいため取り扱いが容易で断面整形はバックホウで実施されることが多い。転圧にはマカダムローラやタンデムローラなども使用する。

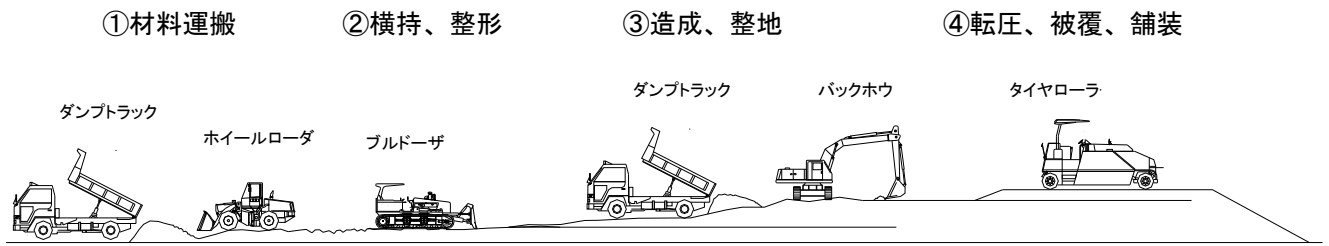


図-2.31 施工手順図<sup>9)</sup>

⑦施工写真：



写真-2.23 材料まき出しかさ上げ状況



写真-2.24 石炭灰混合材料（造粒材）築堤延長状況

(c) 石炭灰スラリー

- ①施工概要：ブロック式護岸の劣化が進行しているため、護岸背面を掘削撤去し背面に石炭灰混合材料（スラリー）を投入して劣化護岸の補強と背面の安定を目的とする工事事例である。
- ②施工場所：九州電力・電源開発共用岸壁北側旧護岸修復工事

図-2.32 に適用された補強および機能向上の断面図と石炭灰混合材料（スラリー）の投入位置を示す。

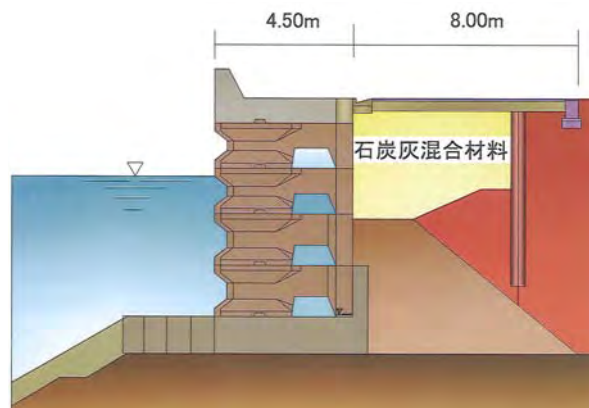


図-2.32 適用された補強および機能向上の断面図<sup>9)</sup>

- ③石炭灰混合材料（スラリー）：石炭灰＋海水＋セメント
- ④製造方法：火力発電所から現場に石炭灰を搬送し、施工現場に設置されたスラリープラントで水、セメントとともに攪拌混合し製造する。フライアッシュとセメントの配合比は目標とする石炭灰混合材料（スラリー）の強度によって設定されるので、配合比は事前に実施する室内配合試験によって決定する。低強度から高強度までセメント配合比を変動させ目標強度配合を決定するが、セメント量は一般にフライアッシュに対し重量比で 5%～15%で設定されることが多い。
- ⑤運搬：スラリープラントが投入現場に近い場合（100m 程度）はグラウトポンプで現場施工箇所まで圧送しトレミー管で投入充填する。この現場では施工延長が 100m を超える施工箇所もあるので、近距離は圧送配管による施工と遠距離はトラックミキサに搭載して施工位置まで搬送し、グラウトポンプに流し込み圧送してトレミー管で充填投入する 2つの方法が採用された。
- ⑥施工方法：圧送された石炭灰混合材料（スラリー）を作業員がトレミー管先端を操作し、投入施工は作業手順に従った管理高さ及び施工位置で投入する。図-2.33 に、フライアッシュの生産、運搬、貯蔵から石炭灰混合材料（スラリー）の製造、製造プラントから施工現場までポンプ圧送の場合とトラックミキサで施工箇所まで搬送する場合などをフロー図に示す。

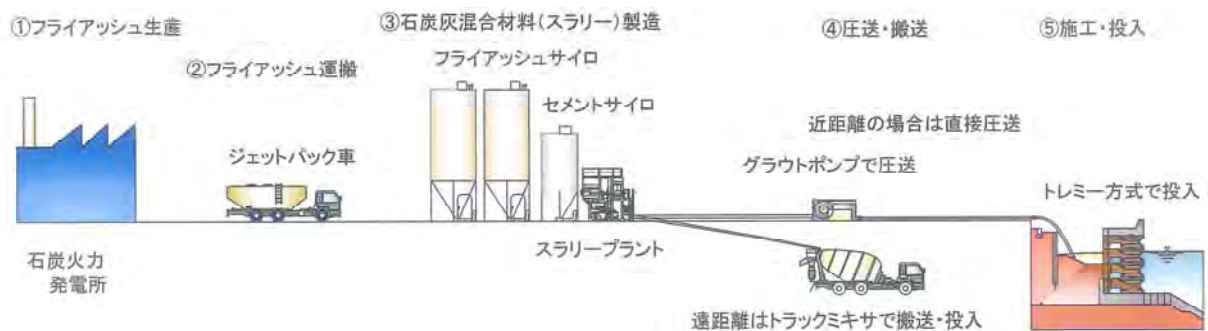


図-2.33 フライアッシュの運搬、石炭灰混合材料（スラリー）の製造、搬送、投入フロー図<sup>9)</sup>

⑦施工写真：施工状況を写真-2.25～2.28に示す。



写真-2.25 スラリー製造プラントから積出



写真-2.26 スラリー状況・アジテータの内部



写真-2.27 護岸背面掘削状況



写真-2.28 護岸背面3・4段目スラリー投入状況

#### (d) 石炭灰塑性材

①施工概要：浚渫仮置きされている土砂（シルト質砂）に石炭灰とセメントを混合し、水中投入しても分離しない含水比に調整し土砂混合機で攪拌混合した石炭灰混合材料（塑性材）をダンプトラックで運搬し、海中にバックホウにて投入、まき出しを行い、埋立護岸の中仕切堤を築造する。

②施工場所：北海道苫小牧東港埋立護岸中仕切堤築造工事

図-2.34 に適用された盛土および中仕切堤築造の断面図と石炭灰混合材料（塑性材）の位置を示す。同図中の一次盛土部および二次盛土部は、バックホウでの投入、まき出しによる施工箇所であり、三次盛土部については現位置で石炭灰を加水し転圧して施工を行った箇所である。



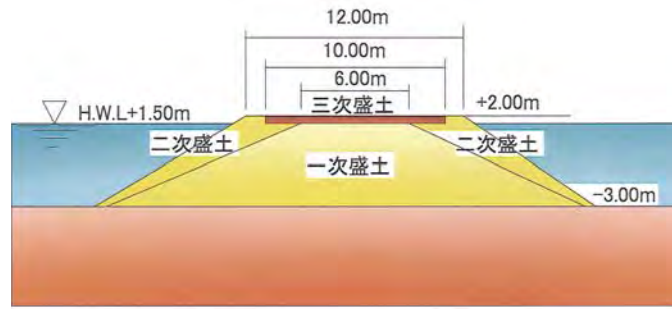


図-2.34 盛土・築堤に適用する施工断面図<sup>9)</sup>

③石炭灰混合材料（塑性材）：石炭灰＋海水＋セメント＋再利用土砂

④製造方法・運搬：火力発電所で製造したセメント混合石炭灰を搬送し、再利用土砂（現地発生土砂）にセメント混合石炭灰を現地で攪拌混合し、製造された石炭灰混合材料（塑性材）をダンプに積み込み投入現場へ搬送する。図-2.35 に、盛土および中仕切堤に適用する石炭灰混合材料（塑性材）の製造、搬出の流れを示す。

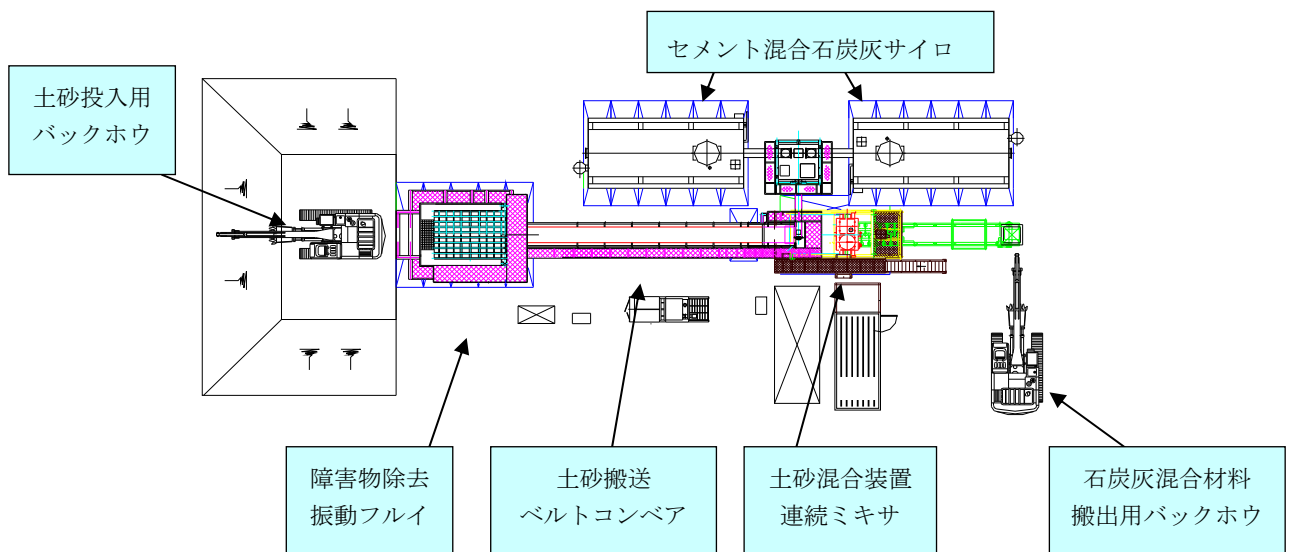


図-2.35 盛土および中仕切堤に適用する石炭灰混合材料（塑性材）の製造、搬出の流れ<sup>9)</sup>

⑤施工方法：ダンプトラックにより搬送された石炭灰混合材料（塑性材）を施工位置にダンプから荷卸しし、バックホウによって所定の位置に投入、まき出しを行う。図-2.36 に、盛土および中仕切築堤施工方法の手順を示す。

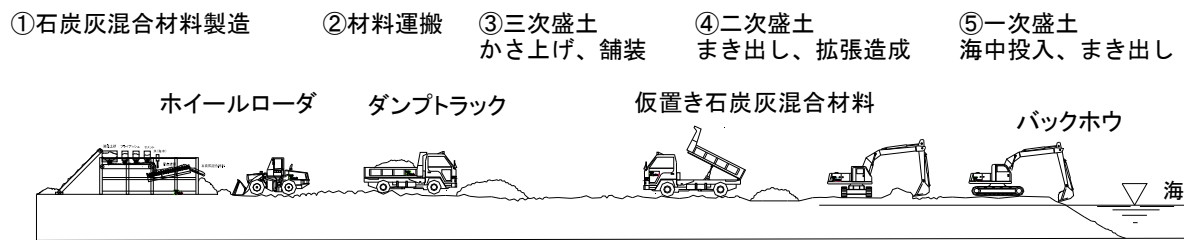


図-2.36 盛土および中仕切築堤施工の手順

⑥施工写真：施工状況を写真-2.29～2.30 に示す。



写真-2.29 混合機への土砂、石炭灰、添加材投入状況



写真-2.30 石炭灰混合材料（塑性材）のまき出し状況

## 2.2.9 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-2.37）

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-2.38）

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。

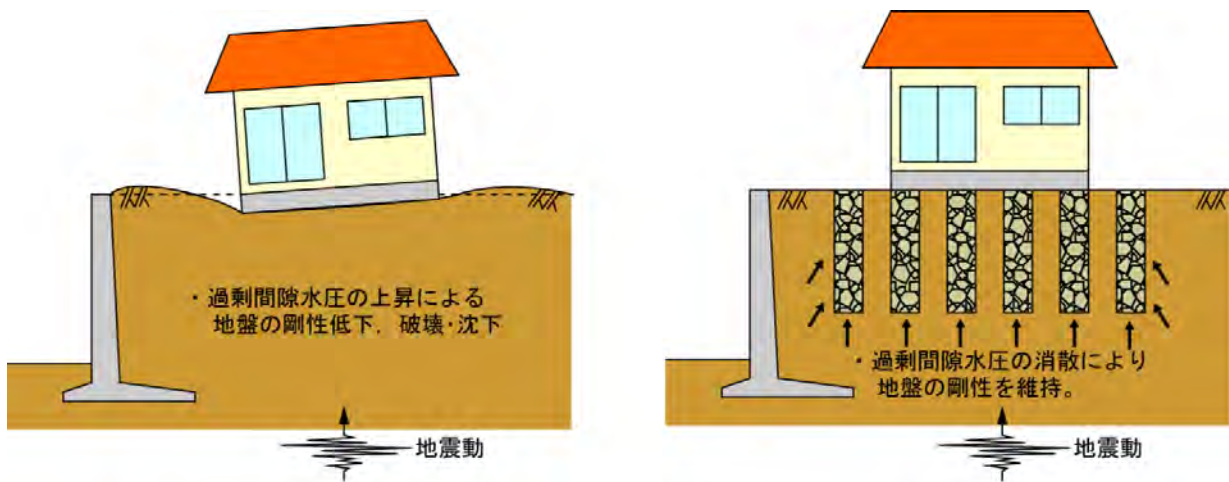


図-2.37 砕石パイル材としての適用イメージ

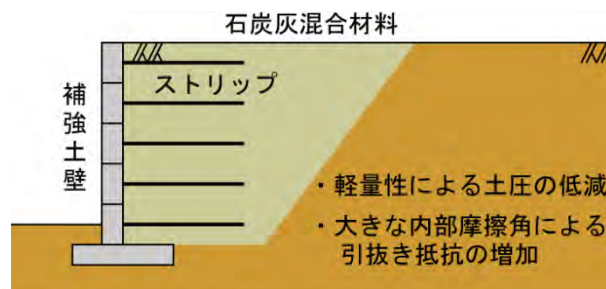


図-2.38 補強土壁裏込材としての適用イメージ

## (2) 設計方法

造成宅地地盤に関する設計の参考となる技術指針として、表-2.12 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。

表-2.12 土地造成および補強土に関連する技術指針例

| 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)<br>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<br>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)都市再生機構                    |           |
| 宅地耐震設計マニュアル(案) H20.4                   | (独)都市再生機構                    |           |
| 軟弱地盤技術指針 H20.4                         | (独)都市再生機構                    |           |
| 宅地擁壁設計・施工の留意点 H20.7                    | (独)都市再生機構                    |           |
| 補強土工法 H6.5 (鉄筋挿入による補強工<br>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<br>計・施工基準同解説 H6.10  | グラウンドアンカー設計・施<br>工基準同解説編集委員会 | (公社)地盤工学会 |

## (3) 施工方法

破碎土、造粒土は、通常の礫質土、砂質土と同様の取り扱いが可能である。表-2.12 に示した各指針を参考に、施工現場の状況に応じた施工を行う。

## (4) 適用事例<sup>21)</sup>

造粒材について、補強土壁裏込土としての利用の事例がある。(図-2.39、写真-2.31~2.33)

①施工概要：小名浜港3号埠頭のテールアルメ工法背面埋戻材料として使用。

(国土交通省小名浜工事事務所)

②施工場所：福島県いわき市小名浜港3号埠頭

③施工数量：約3,000m<sup>3</sup>

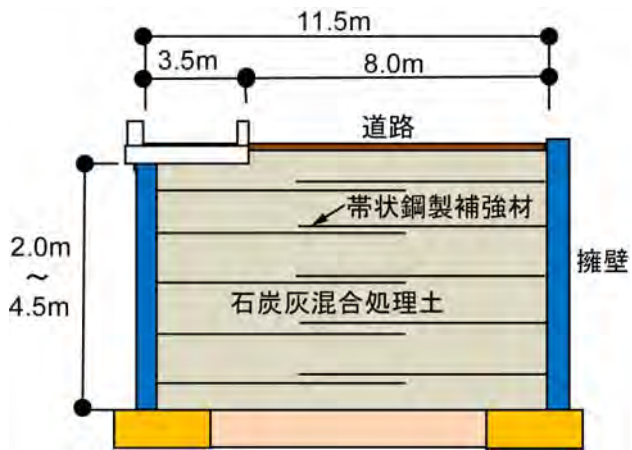


図-2.39 補強土壁裏込土としての適用 (模式図)



写真-2.31 裏込土施工状況 (その1)



写真-2.32 裏込土施工状況 (その2)



写真-2.33 施工完了

## 2.2.10 橋脚

### (1) 適用イメージと適用のメリット

河川河口部など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）の適用イメージを図-2.40に示す。同図に示すように、石炭灰スラリー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。

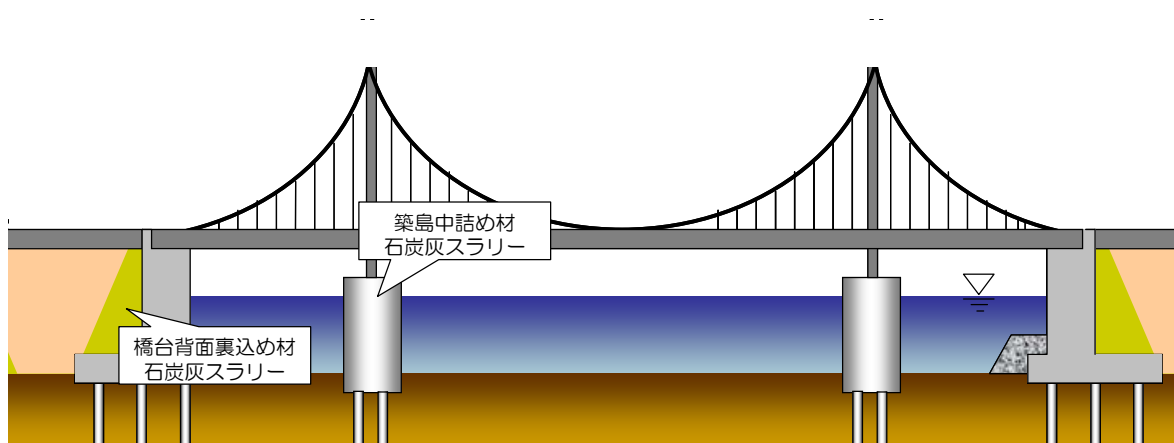


図-2.40 橋脚・橋台背面への適用例

### (2) 適用可能な石炭灰混合材料の製造方法

橋脚人工島中詰材や橋台背面への裏込めおよび埋立てに適用する石炭灰混合材料は、対象構造物の機能、特性など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+セメントで計画するか、フライアッシュ+水+セメント+浚渫土砂（現場発生土）とするか検討する。さらに石炭灰混合材料の性状をスラリーとするか、塑性材料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）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）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石炭灰混合材料（スラリー）を製造し運搬するか判断する。材料の製造方法の詳細については(6)で述べる。

### (3) 設計方法

石炭灰混合材料（スラリー）に適用する護岸・岸壁の設計基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>1)</sup>、「港湾工事共通仕様書」<sup>2)</sup>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」<sup>3)</sup>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（スラリー）の品質や特性、供給量および環境への影響を十分検討する必要がある。特に「港湾工事共通仕様書」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。

(4) 施工方法

図-2.41 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：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。

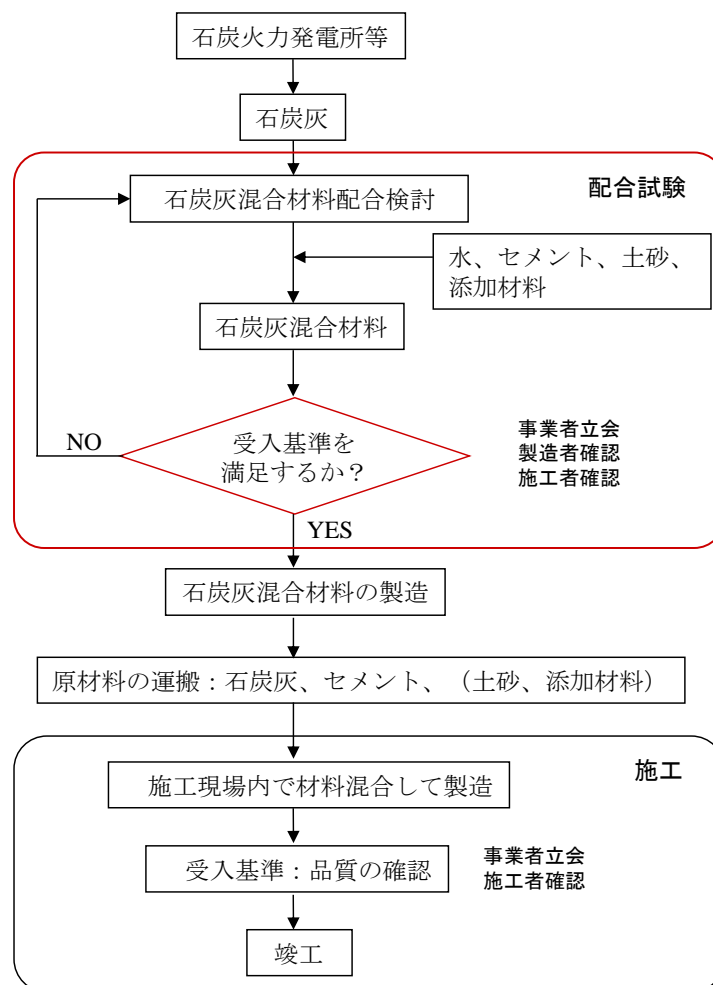


図-2.41 石炭灰スラリーの計画から施工までの流れ<sup>9)</sup>

(5) 品質管理方法

石炭灰混合材料（スラリー）の品質管理については、施工事例の中で石炭灰混合材料（スラリー）の製造方法における確認方法、施工中および施工完了後に適用した石炭灰混合材料の品質管理について記述する。製造された石炭灰混合材料（スラリー）は工事現場にて製造ロット毎または300m<sup>3</sup>未満に1回程度マッドバランスやテーブルフロー値などにて密度や粘度を確認する。

(6) 適用事例

- ①施工概要：海上部に施工される橋梁主塔の工事作業基地として築かれる人工島の建設工事において、仮締切の中詰材として石炭灰スラリーを使用することで締切材に対する側圧を軽減し、仮締切工などの工事規模を縮小し、工事費の低減を実現した。図-2.42に断面図を示す。
- ②施工場所：室蘭港内白鳥大橋（中央径間720m、橋長1,380m）の主塔橋脚（写真-2.34）

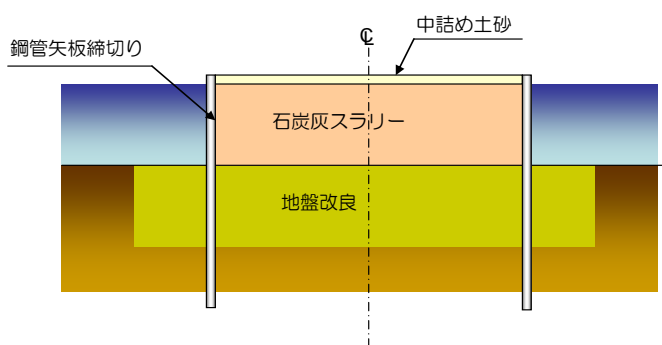


図-2.42 築島工断面図



写真-2.34 白鳥大橋

③石炭灰混合材料：石炭灰＋火山灰＋セメント＋海水

④製造方法・運搬：石炭灰スラリーは、火力発電所より排出される石炭灰と、火山灰を絶乾重量で7：3の比率で混合し、それに4～5%のセメントと築島内部の海水を使用して混練し、スラリー状にしてトレミー管を用いて打設した。石炭スラリーの打設システムを図-2.43に示す。



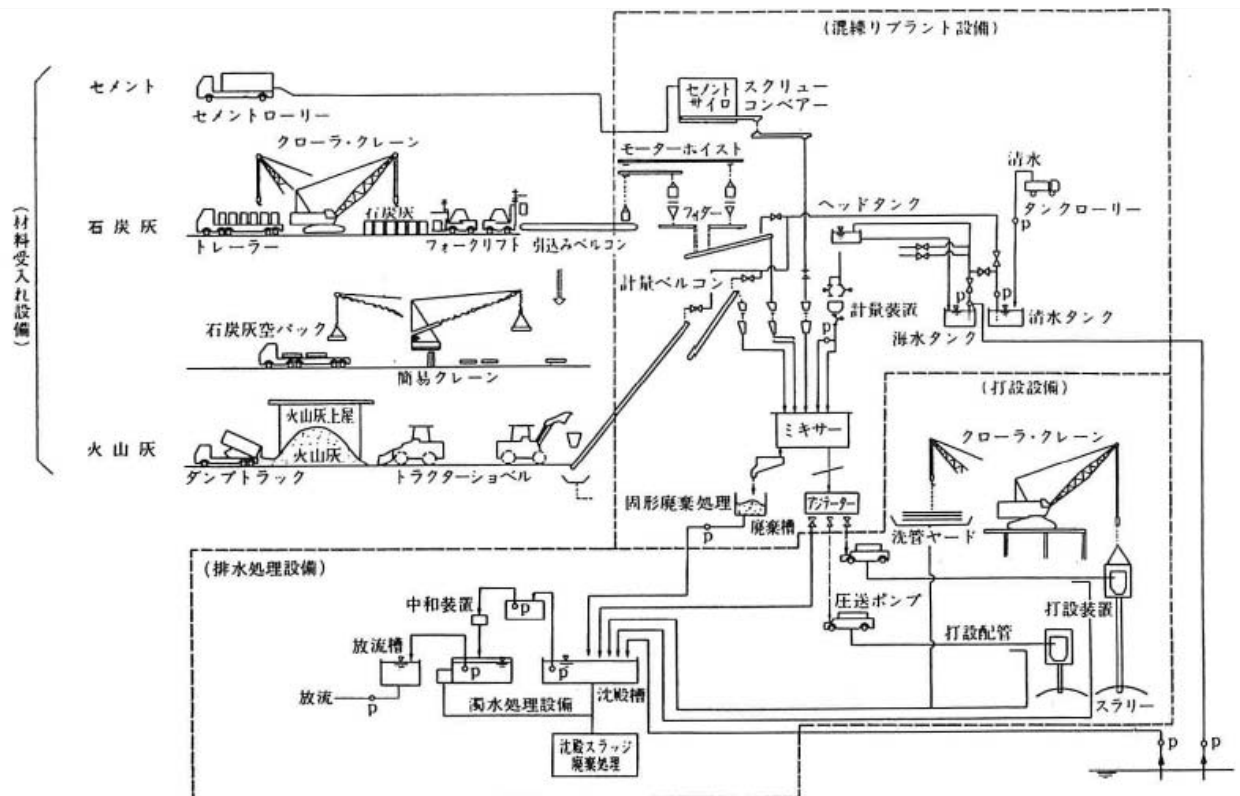


図-2.43 石炭灰スラリー打設システム

⑤施工写真：石炭灰スラリーの打設状況を写真-2.35 に示す。



写真-2.35 石炭灰スラリー打設状況

## 2.2.11 土地造成工事

### (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（破砕材、造粒材；図-2.44）

破砕材、造粒材は自然土と比べて乾燥密度が小さいため（破砕材、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) 宅地擁壁の裏込材としての利用（破砕材、造粒材；図-2.45）

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  $1.0 \times 10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ m/s}$  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) 暗渠の埋戻材としての利用（破砕材、造粒材；図-2.46）

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  $1.0 \times 10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ m/s}$  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。

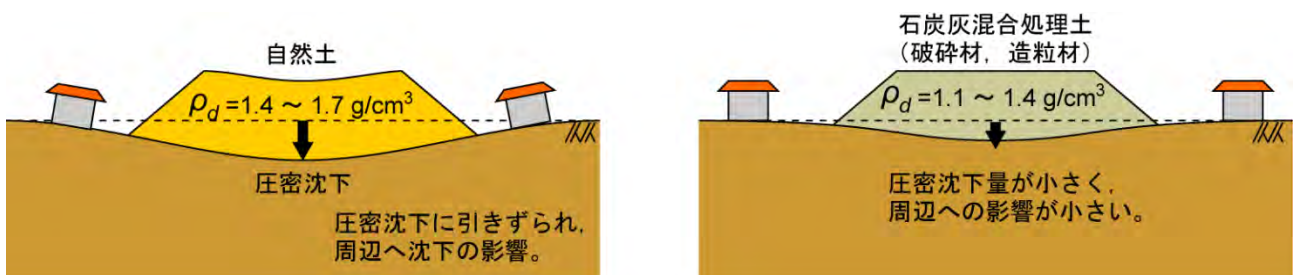


図-2.44 盛土材としての適用イメージ

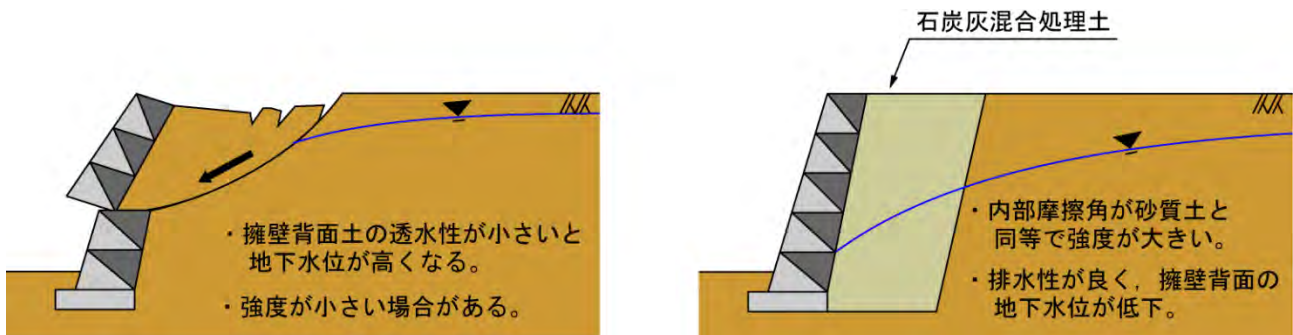


図-2.45 宅地擁壁の裏込材としての適用イメージ

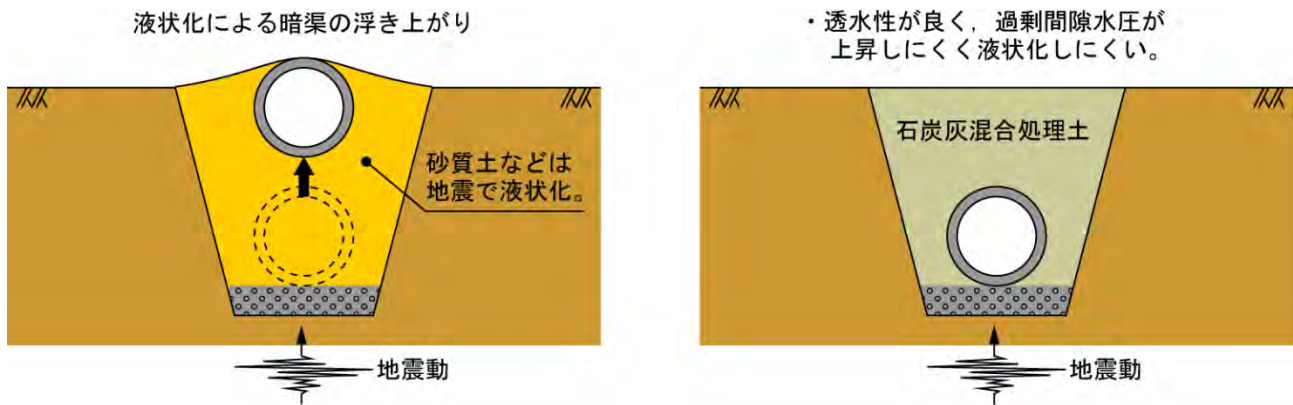


図-2.46 暗渠の埋戻材としての適用イメージ

(2) 設計方法

造成宅地地盤に関する設計の参考となる技術指針として、表-2.13 に示すようなものがある。

表-2.13 土地造成に関連する技術指針例

| 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)都市再生機構     |          |
| 宅地耐震設計マニュアル(案) H20. 4               | (独)都市再生機構     |          |
| 軟弱地盤技術指針 H20. 4                     | (独)都市再生機構     |          |
| 宅地擁壁設計・施工の留意点 H20. 7                | (独)都市再生機構     |          |

(3) 施工方法

破碎土、造粒土は、通常の礫質土、砂質土と同様の取り扱いが可能である。表-2.13 に示した各指針を参考に、施工現場の状況に応じた施工を行う。

(4) 適用事例<sup>22)</sup>

(a) 駐車場の上層路盤としての利用(破碎材；図-2.47、写真-2.36～2.39)

①施工概要：駐車場整備時の上層路盤材 (t = 200mm) として破碎材を使用した。

②施工場所：沖縄県金武町

③施工数量：263.3m<sup>3</sup>

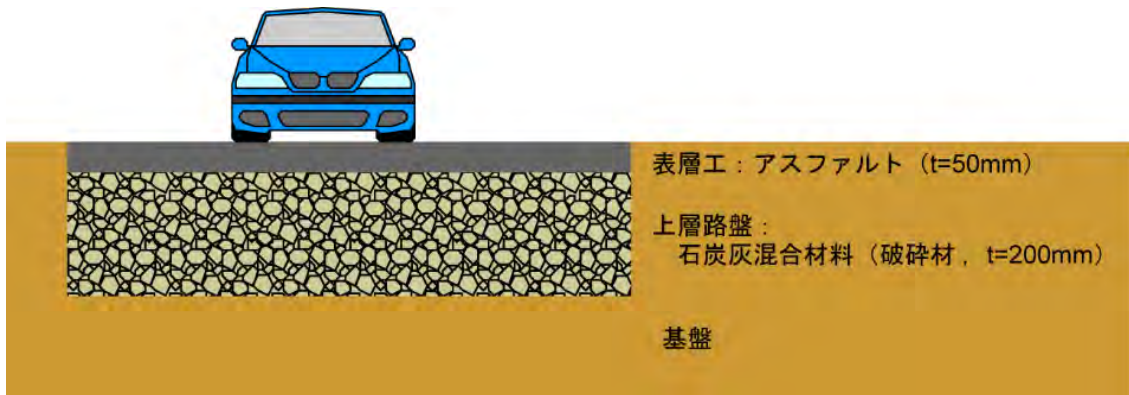


図-2.47 駐車場の上層路盤としての適用 (模式図)



写真-2.36 施工状況全景



写真-2.37 材料搬入状況



写真-2.38 敷ならし状況



写真-2.39 転圧状況

(b) 擁壁基礎地盤および擁壁裏込土としての利用（破碎材<sup>22)</sup>；図-2.48、写真-2.40～2.43)

①施工概要：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  
破碎材を利用した。

②施工場所：沖縄県金武町

③施工数量：4842.5m<sup>3</sup>

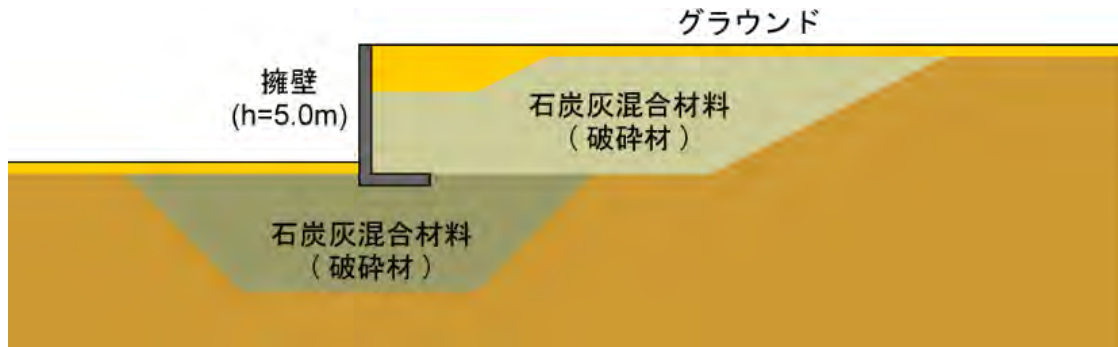


図-2.48 擁壁基礎地盤および擁壁裏込土としての適用（模式図）



写真-2.40 置換工施工状況(1)



写真-2.41 置換工施工状況(2)



写真-2.42 L型擁壁裏込施工状況(1)



写真-2.43 L型擁壁裏込施工状況(2)

## 2.3 土木・建築資材への適用

「2.2 土木工事への適用」では、石炭灰混合材料を直接土木工事に適用する方法について示した。一方で、石炭灰混合材料を加工し、二次製品として土木材料や建築材料として用いられる場合もある。ここでは、それらの資材の例や適用時のメリットについて紹介する。

### 2.3.1 建築材料

#### (1) 各建築材料の概要

##### (a) 内外壁材

石炭灰の持つ断熱性、遮音性、不燃性などの特徴を活かして、建材ボード材料として利用されている。概要を以下に示す。

##### ① 外装材(窯業系サイディングボード・外断熱パネル)

人工外壁材の一種である窯業系サイディングボードは、セメント系材料と繊維系材料または木質系材料を混合して製造される。主に前者により素材の強度を、後者により断熱性を確保している。また、外断熱工法に使用する複合パネルは、外装材、通気層および断熱材で構成され、外装材の主原料に石炭灰を使うことで、高い寸法安定性と高耐久性を実現している。

主な製品

- ・モエンエクセラード：ニチハ株式会社（写真-2.44）
- ・フライアッシュ GP パネル：岩倉化学工業（写真-2.45）



写真-2.44 窯業系サイディングボード  
(モエンエクセラード)



写真-2.45 外断熱パネル施工状況  
(フライアッシュ GP パネル)

##### ② 内壁材

主に建築物の内装に用いる建材で、木質系セメント板、パルプセメント板、繊維強化セメント板、石膏ボード、けい酸カルシウム板などがある。石炭灰は無機質混合材として添加され、防耐火、吸音、遮音、断熱、強度性向上に寄与する。

主な製品

- ・ダイワハイボード F：大和建材工業株式会社  
(写真-2.46)



写真-2.46 内壁材  
(ダイワハイボード F)

### ③ 吸音材

石炭灰を60%程度含む軽量セラミック成形体で、連続多孔質構造を有するため、空気層を設けなくてもグラスウールのような繊維系吸音材と同等以上の吸音性能を有する。

主な製品

- ・キュート萩：小田建設株式会社（写真-2.47）
- ・吸音レンガ Y-cu：株式会社エスアイ

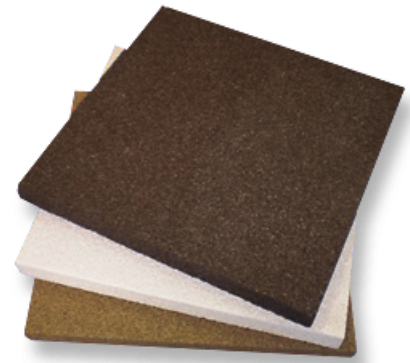


写真-2.47 吸音材（キュート萩）

### ④ フロアパネル材

OAフロアパネルまたはフリーアクセスフロアと呼ばれるパネル材で、基材の50～60%に石炭灰など再生原料を使用した珪酸カルシウム板が製品化されている。不燃性で、反り、たわみ、収縮などに対する寸法安定性に優れる。

主な製品

- ・ニチアスシグマフロア：ニチアス株式会社（写真-2.48）
- ・NS-E型：株式会社内田洋行



写真-2.48 OAフロアパネル（ニチアスシグマフロア）

### (b) 人工軽量骨材<sup>23)</sup>

石炭灰と頁岩微粉末に増粘剤と水を混入し、骨材粒に成形した後に焼成した骨材である。天然骨材と比較して、強度特性、ひび割れ抵抗性や中性化抵抗性が大幅に向上している。また、骨材強度が大きいことから、設計基準強度60N/mm<sup>2</sup>程度の高強度コンクリートへの適用が可能である。火力発電所建屋、事務所建築、高強度コンクリートなどにも適用されている。

### (c) コンクリート2次製品その他

主な製品

エコ越前瓦：株式会社越前セラミカ

石炭灰を20%混合した瓦で、従来品と同等の性能を有する。

### (d) 建築用コンクリート

適用時のメリットとして、セメントの10～30%をフライアッシュに置換することで以下の効果が得られる。

- ・流動性が改善され、打設の効率化と仕上げ面の滑らかさの向上に寄与する
- ・アルカリシリカ反応の抑制に効果がある
- ・長期にわたって強度が増進する
- ・普通ポルトランドセメントに比べ水和発熱量が小さい
- ・緻密な組織を形成するため、水密性や化学抵抗性が向上する
- ・普通ポルトランドセメントに比べて単位水量を減少させることができるため、乾燥収縮が小さくなる

(2) 設計方法、施工方法、品質管理方法

設計方法、施工方法、品質管理方法は以下による。

- ・日本建築学会：フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説、2007.
- ・JASS 5 M-401 結合材として用いるフライアッシュの品質基準

(3) 適用事例

適用事例を表-2.14 に示す。

表-2.14 建築物への主な利用実績（北海道電力）<sup>24)</sup>

| 年度 | 大型工事の物件数 | 建築物の用途                  | 主な使用部位             | 数量 (m <sup>3</sup> ) |
|----|----------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| 16 | 2        | マンション                   | 耐圧盤                | 5, 900               |
| 17 | 11       | 商業ビル・病院・社屋・スーパー銭湯・マンション | 耐圧盤・基礎・地下床・躯体・遮蔽コン | 16, 400              |
| 18 | 18       | 商業ビル・病院・社屋・マンション        | 耐圧盤・基礎・地下躯体        | 22, 800              |
| 19 | 31       | ホテル・商業ビル・病院・社屋・マンション    | 耐圧盤・基礎・1階床・躯体      | 63, 100              |
| 20 | 8        | 商業ビル・病院・社屋              | 基礎・床・地下躯体・躯体       | 9, 100               |
| 21 | 6        | ホテル・社屋・マンション・競馬場        | 基礎, 躯体             | 30, 800              |
| 22 | 6        | 商業ビル・社屋                 | 耐圧盤・基礎・床           | 22, 600              |
| 23 | 14       | ホテル・商業ビル・病院・学校・社屋・マンション | 耐圧盤・基礎・床・躯体        | 33, 900              |
| 24 | 10       | 商業ビル・裁判所・学校・社屋・マンション    | 耐圧盤・基礎・躯体          | 71, 400              |



## 2.3.2 土木材料（消波ブロック等）

### (1) 適用イメージと適用のメリット

石炭灰を有効利用した土木材料製品としては、ネオ・アッシュクリートを使用した消波ブロックなどの二次製品が挙げられる。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る。適用製品としては、消波ブロック、被覆ブロックなどに使用することが可能である。図-2.49 に防波堤における消波ブロックの設置例を示す。

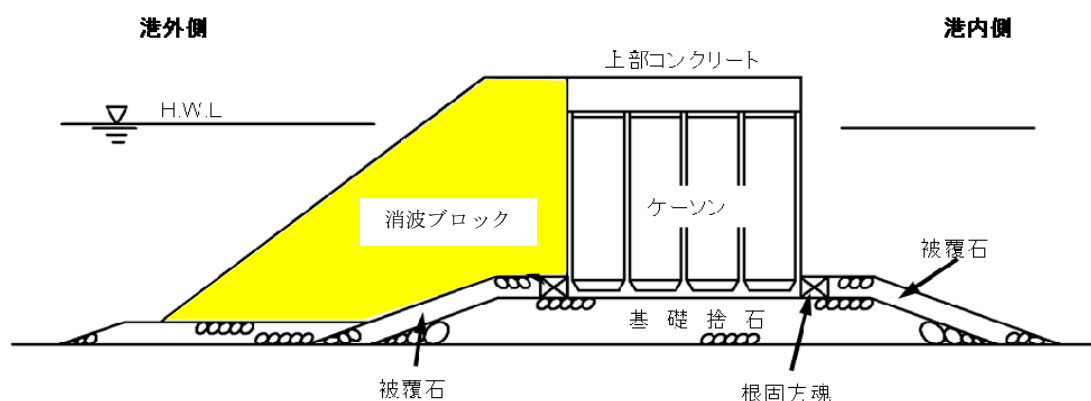


図-2.49 消波ブロックの設置例

### (2) 適用可能な製造方法

通常、消波ブロックなどは生コンクリートを材料として製造するが、ネオ・アッシュクリートの場合は市場に流通している材料ではなく、工事に対応してプラントを指定し、石炭灰やスラグ骨材、海水などを準備した上で製造する製品である。練上が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。

### (3) 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」<sup>1)</sup>、「港湾工事共通仕様書」<sup>2)</sup>および「防波堤の耐津波設計ガイドライン」<sup>20)</sup>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。

### (4) 施工方法

ここではコンクリート系材料の適用事例として、消波ブロックの施工方法を示す。図-2.50 に、材料選定から施工までのフローを示す。

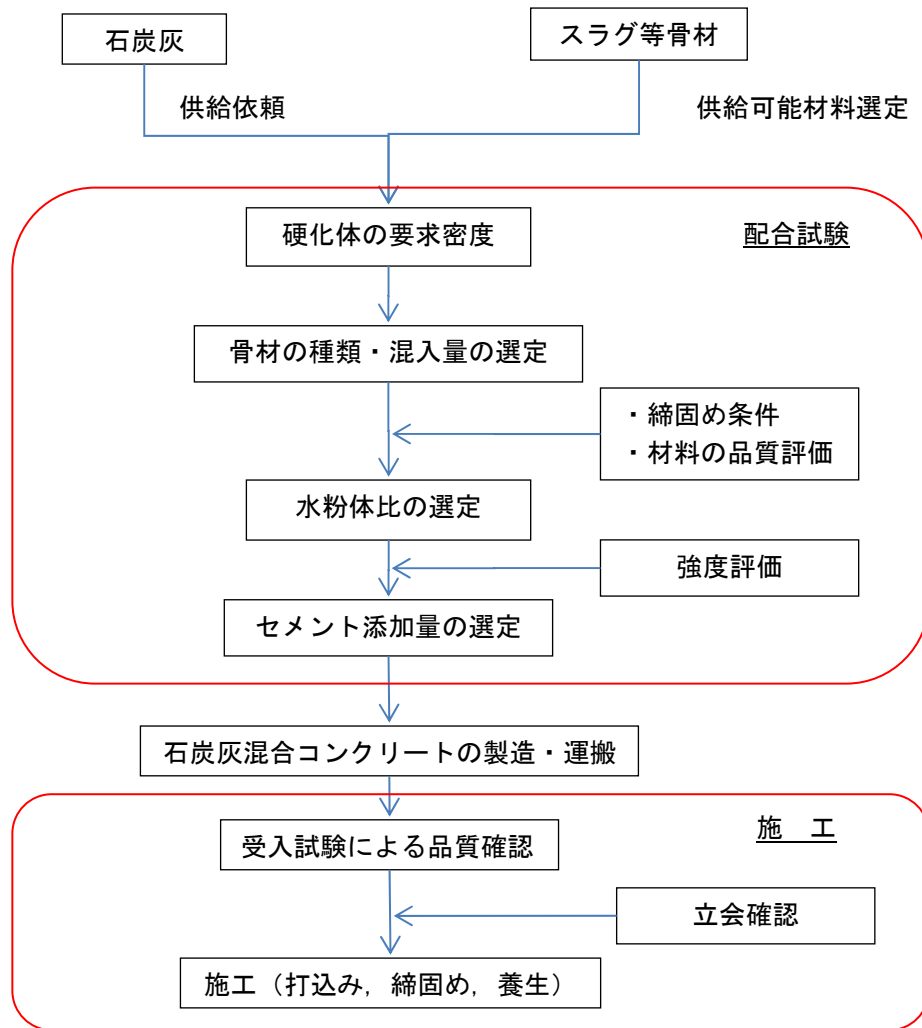


図-2.50 コンクリート系材料の材料選定から施工までのフロー

(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、20~150m<sup>3</sup>毎に1回受入検査を実施することとなる。

(6) 適用事例

①施工概要：石炭灰、セメントおよびスラグ骨材を海水で混合し、密度2.3g/cm<sup>3</sup>以上を確保できる硬化体を製造し、消波ブロック、方塊ブロックなどを製造した事例である。各ブロックの適用箇所を図-2.51に示す。

(ア) 80t型消波ブロック×5,150基 (180,000m<sup>3</sup>)

(イ) 25t型消波ブロック×40基 (400m<sup>3</sup>)

(ウ) 42t型消波ブロック×1,890基 (34,000m<sup>3</sup>)

(エ) 42t方塊ブロック×300基 (5,400m<sup>3</sup>)

(オ) 41~45t根固ブロック×490基 (8,800m<sup>3</sup>)

合計 約230,000m<sup>3</sup>

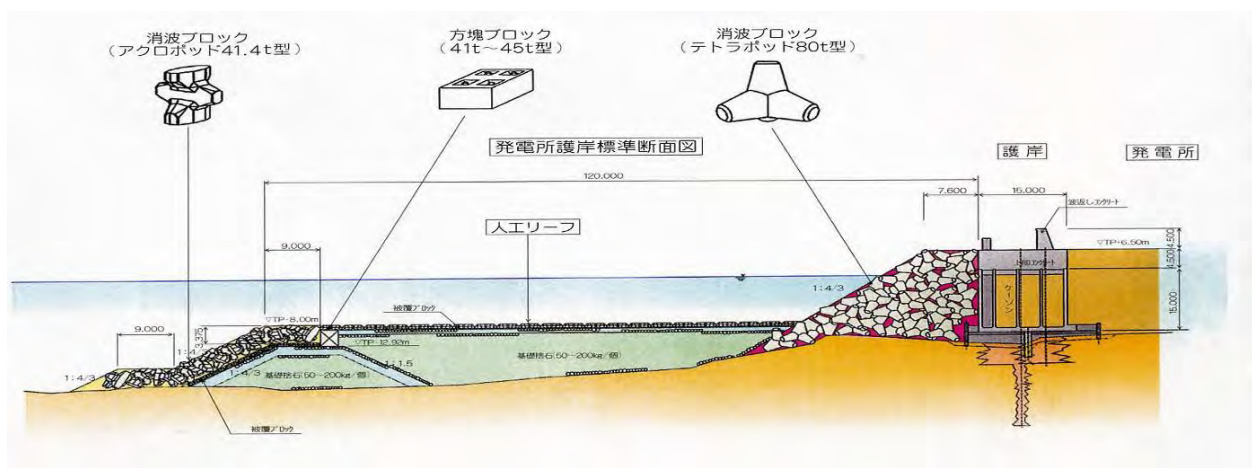


図-2.51 各ブロックの適用箇所

②施工場所：島根県松江市

③石炭灰混合材料：石炭灰、セメントに加え、所要密度を確保するためスラグ骨材を選択混合し、さらに石炭灰の強度発現を促進するため、練混ぜ水に海水を使用する硬化体である。配合の一例を図-2.52に示す。

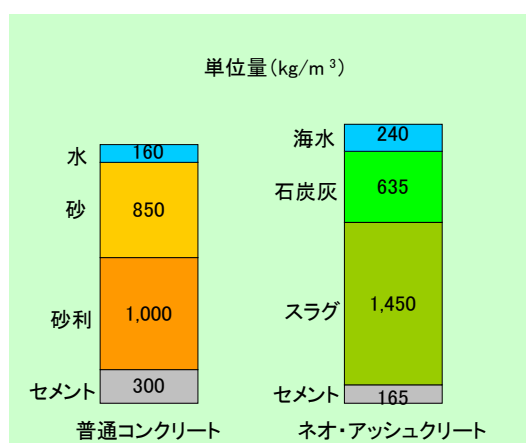


図-2.52 配合の一例

④製造方法：石炭灰混合材料の製造は発電所設置工事に近接するヤードにおいて、専用のプラントを設置して製造した。表-2.15 に使用設備概要を、写真-2.49 に製造設備の状況をそれぞれ示す。

表-2.15 使用設備概要

| 設 備          | 仕 様                      |
|--------------|--------------------------|
| ミキサ          | 2.0m <sup>3</sup> 二軸強制練り |
| 石炭灰サイロ       | 300 t                    |
| セメントサイロ      | 30 t                     |
| 海水タンク        | 70 t                     |
| スラグ骨材ストックヤード | 3,600m <sup>2</sup>      |



写真-2.49 製造設備の状況

⑤施工方法：消波ブロックの打設は、ベルトコンベアを使用して型枠内に混合材料を投入し、型枠バイブレータと内部振動機を併用して締固めを行った。80t 型の場合は、常時 2 台／面×3 面＝6 台を打設高さに応じて盛り変えて使用した。製造したブロックからコアを採取し、スラグ骨材の分布状況を確認したが、沈降分離もなく、均質な硬化体を製造することができた。図-2.53 にテトラポッドの型枠バイブレータの設置事例を、写真-2.50 に製造状況と採取コアをそれぞれ示す。

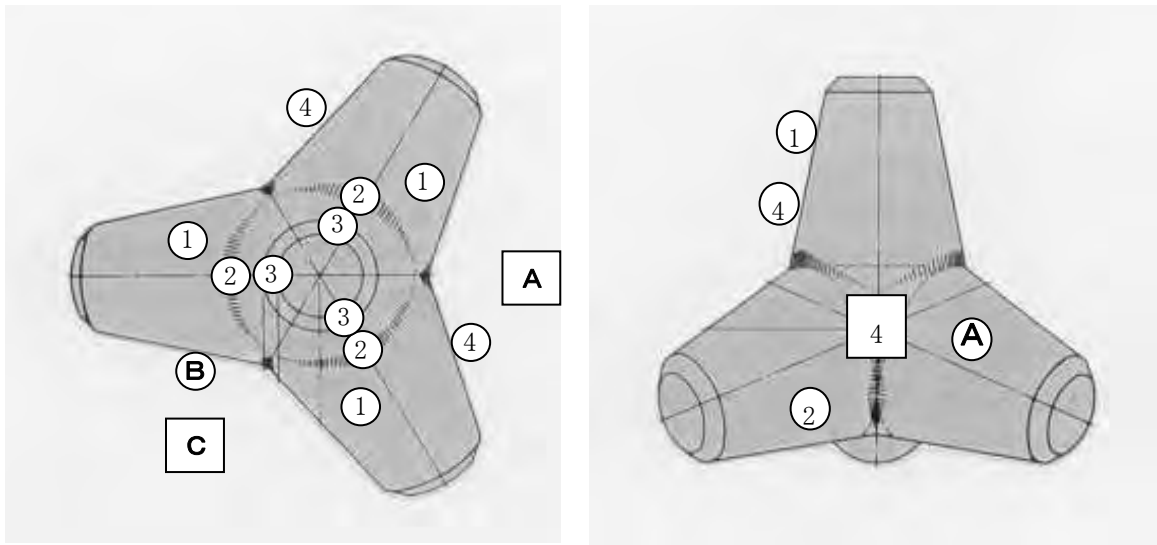


図-2.53 テトラポッドの型枠バイブレータの設置事例



写真-2.50 製造状況と採取コア

## 参考文献

- 1) 公益社団法人日本港湾協会出版，国土交通省港湾局監修：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007年版），2013.9最終改訂.
- 2) 公益社団法人日本港湾協会：港湾工事共通仕様書（平成25年度版），2013.5.
- 3) 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.
- 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) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 今村仁紀，諸橋雅幸，宮崎俊行：石炭灰造粒物と粘性土を攪拌した築堤材料としての可能性について（第一報），第52回（平成20年度）北海道開発技術研究発表会，北海道開発局，2009.2.
- 11) 公益社団法人日本道路協会：道路土工－施工指針，2003.4.
- 12) 例えば 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：土工施工管理要領，2013.7.
- 13) 公益社団法人日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年度版），2006.2.
- 14) 公益社団法人日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年度版），2013.12最終改訂.
- 15) 公益社団法人日本道路協会：アスファルト舗装要綱，1992.12.
- 16) 独立行政法人土木研究所：建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル，2006.4.
- 17) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2013.4.
- 18) 公益社団法人日本道路協会：道路土工－盛土工指針（平成22年度版），2010.
- 19) 国土交通省鉄道局監修・財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物，2007.
- 20) 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.
- 21) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：2013年石炭灰有効利用シンポジウム冊子資料，2013.
- 22) 財団法人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冊子資料，2005.
- 23) 和美廣喜：石炭灰を用いた人工軽量骨材の開発，建材試験情報3，6-10，2008.
- 24) 北海道電力株式会社ホームページ：  
[http://www.hepco.co.jp/ato\\_env\\_ene/environment/coal\\_ash/technology-concrete.html](http://www.hepco.co.jp/ato_env_ene/environment/coal_ash/technology-concrete.html)

## 第3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。

### 3.1 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、破砕材・造粒材、新素材コンクリート、改良盛土材・塑性材などがある。各種石炭灰混合材料の基本物性を表-3.1（その1）～（その4）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、破砕材・造粒材の乾燥密度は  $1.2\text{g}/\text{cm}^3$  程度、改良盛土材・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

破砕材・造粒材については、内部摩擦角が  $30^\circ$  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  $20\sim 30\%$  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  $1\times 10^{-4}\sim 10^{-7}\text{m}/\text{s}$  であり、砂～微細砂と同程度である。但し、改良盛土材の中には  $1\times 10^{-9}\sim 10^{-10}\text{m}/\text{s}$  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) 環境安全性

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-3.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その1）

| 混合材料種別 | 破 碎 材 ・ 造 粒 材  |   |  |  |
|--------|--|---|--|--|
| 技術の種類  | 固化体破砕材<br>(頑丈土)  | 固化体破砕材<br>(コアソイルQ・Gタイプ)   | 固化体破砕材<br>(アッシュロバン)  | 固化体破砕材<br>(SCP工法用砂代替材)   |
| 主原料    | 石炭灰+セメント+水<br>+スラグ、石膏  | 石炭灰+セメント+水  | 石炭灰+セメント<br>+二水石膏+水  | 石炭灰+セメント+水   |
| 物 性    | ○粒度 細粒分混じりの<br>土質材料<br>○土粒子密度<br>2.3~2.4 g/cm <sup>3</sup><br>○最大乾燥密度<br>1.25g/cm <sup>3</sup> 以下<br>○強熱減量 10%<br>○透水係数<br>1x10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-5</sup> cm/s | ○粒度<br>細粒分混じり砂質礫(GS-F)<br>○湿潤密度<br>1.55g/cm <sup>3</sup> 以下<br>(乾燥密度<br>1.0~1.2g/cm <sup>3</sup> 以下)<br>○透水係数<br>1x10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-5</sup> cm/s<br>程度で微細砂と同等 | ○最大粒径 40mm<br>○最大乾燥密度<br>1.20~1.50g/cm <sup>3</sup><br>○単位容積質量<br>(Wet) 1.25±0.15g/cm <sup>3</sup><br>(Dry) 1.05±0.1g/cm <sup>3</sup><br>○最適含水比 20~30% | ○粒径 5~20mm<br>○透水係数<br>1x10 <sup>-3</sup> cm/s以上   |
| 強度特性   | ○圧縮強さ(材齢28日)<br>300~800kN/m <sup>2</sup><br>○せん断抵抗角<br>30°以上<br>○修正CBR<br>40%以上<br>○液化化抵抗比<br>R <sub>l20</sub> ≒0.3  | ○長期強度<br>1,000kN/m <sup>2</sup> 程度以下<br>○内部摩擦角<br>30°以上<br>○粘着力<br>5kN/m <sup>2</sup> 以上<br>○CBR<br>20%以上<br>○膨張比<br>1%以下(良好な状態)  | ○圧縮強さ(材齢28日)<br>1,800kN/m <sup>2</sup> 以上  | ○内部摩擦角 35°以上   |
| 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。<br>○トラフィカビリティ:陸上部のコーン貫入抵抗は1,200N/m <sup>2</sup> 以上。<br>○粉塵:粉塵の発生は少ない。   | ○トラフィカビリティ:コーン貫入抵抗は1,200N/m <sup>2</sup> 以上。<br>○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。   | ○在来のSCP工法と同様な方法で施工できる。   |
| 用 途    | 盛土材、埋立材  | 盛土材、埋立材   | 盛土材、埋立材  | 地盤改良材(SCP)   |
| その他    | ○開発者<br>沖縄電力㈱、日本国土開発㈱<br>○出典<br>港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第06003号<br>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<br>ほか   | なお、本品には粒度がシルト(ML)程度の「コアソイルQ・Sタイプ」もある(下記資料参照)。<br>○開発者<br>九州電力㈱<br>○出典<br>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0316号)石炭灰を利用した人工地盤材料「コアソイルQ」、(財)土木研究センター、2003.12                 | ○開発者<br>中部電力㈱<br>○出典<br>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<br>○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」。       | ○開発者<br>中部電力㈱<br>○出典<br>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 |

(注)なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。



表-3.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その2）

| 混合材料種別 | 破 碎 材 ・ 造 粒 材   |   |   |   |
|--------|---|---|---|---|
| 技術の種類  | 固化体造粒材<br>(フライ・クリーン)  | 固化体造粒材<br>(ゼットサンド)  | 固化体造粒材<br>(Hiビーズ)   | 固化体造粒材<br>(灰テックビーズ)   |
| 主原料    | 石炭灰+セメント+水  | 石炭灰+セメント<br>+水+添加材  | 石炭灰+セメント<br>+ベントナイト+水   | 石炭灰+セメント+水  |
| 物性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○粗粒率 6.18</li> <li>○密度 1.82g/cm<sup>3</sup></li> <li>○吸水率 23.12%</li> <li>○最適含水比 23.1%</li> <li>○最大乾燥密度 1.277g/cm<sup>3</sup></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○粒度分布は砂質土と同等</li> <li>○最大粒径 4~50mm</li> <li>○平均粒径 0.3~2mm</li> <li>○礫分含有率 15~50%</li> <li>○細粒分含有率 30%以下</li> <li>○粒子密度 2.4g/cm<sup>3</sup>以下</li> <li>○透水係数 1x10<sup>-4</sup>cm/s以上</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○形状 ほぼ球状</li> <li>○自然含水比 11.6%</li> <li>○粒の湿潤密度 1.747g/cm<sup>3</sup></li> <li>○吸水率 16.4%</li> <li>○スレーキング率 0.21%</li> <li>○平均粒径 7.5mm</li> <li>○透水係数 1.34x10<sup>-3</sup>cm/s(6Ec)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○粒度 礫質土</li> <li>○細粒分含有率 15%未満</li> <li>○粒子の乾燥密度 1.3~1.6g/cm<sup>3</sup></li> <li>○透水係数 1x10<sup>-2</sup>~10<sup>-4</sup>cm/s程度</li> </ul>   |
| 強度特性   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○修正CBR 134.5%<br/>(参考)</li> <li>・凍上率 13.2%<br/>(判定:合格)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○内部摩擦角 35°以上</li> <li>○95%修正CBR 20%以上<br/>(参考)</li> <li>・粘着力 約48kN/m<sup>2</sup></li> <li>・圧縮強度(粒子強度) 118~164kN/m<sup>2</sup></li> <li>・コーン指数(粒子強度) 4.13~8.26MN/m<sup>2</sup></li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○内部摩擦角 47.6° (6Ec)<br/>(参考)</li> <li>・圧漬強度(粒子強度)<br/>(7日) 1,069kN/m<sup>2</sup><br/>(28日) 1,606kN/m<sup>2</sup></li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○圧縮強さ(材齢90日) 1000kN/m<sup>2</sup>程度以下</li> <li>○せん断抵抗角 35°程度以上</li> <li>○粘着力 50kN/m<sup>2</sup>以上</li> <li>○修正CBR 20%以上</li> <li>・コーン指数(材齢90日)(参考) 15,000kN/m<sup>2</sup>程度以下</li> </ul> |
| 施工性    | <p>○軽く、水に浮かず、物理的強度もあり、科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。</p>  | <p>○通常の施工手順および建設機械で施工が可能。<br/>○粉塵量の発生が少ない。<br/>○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。</p>  | <p>○SCP(高置換)材として十分適用可能な材料である。<br/>○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。</p>  | <p>○通常の土質材料と同様の施工性を有する。</p>   |
| 用途     | 下層路盤材、凍上抑制剤、基礎砂利  | 盛土材、埋立柱材  | 盛土材、地盤改良材(SCP)  | 盛土材、埋立柱材  |
| その他    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者 越智建設㈱、北海道電力㈱</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者 宇部興産㈱、大成建設㈱、電源開発㈱</li> <li>○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</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者 中国電力㈱</li> <li>○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</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者 四国電力㈱</li> <li>○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</li> </ul>   |

(注)なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

表-3.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その3）

| 混合材料種別 | コンクリート  | 改良盛土材・塑性材  |  |   |
|--------|---|--|--|---|
| 技術の種類  | 消波ブロック用新素材コンクリート(ネオ・アッシュクリート)   | 改良盛土材(改良盛土)  | 改良盛土材(アッシュクリートType II)   | セメント系改良土(種類:現場発生土)  |
| 主原料    | セメント+水(海水)+石炭灰+金属スラグ骨材  | 石炭灰+セメント+助剤+水  | 石炭灰+セメント+石膏+水  | 土砂+石炭灰+セメント   |
| 物性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○フレッシュ性状 0~8cm程度で調整可能</li> <li>○密度 2.3~2.6t/m<sup>3</sup></li> <li>○水質汚濁に係わる環境基準をクリア</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○粒度は石炭灰と同じ</li> <li>○使用する石炭灰の状態に応じてセメント、助剤、加水量を調整する</li> <li>○湿潤密度 1.6~1.9g/cm<sup>3</sup></li> <li>○最適含水比 20~25%</li> <li>○透水係数 1x10<sup>-10</sup>m/s以下</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○外観 振動締固めで造成する固化地盤</li> <li>○単位容積質量 1.6~1.8g/cm<sup>3</sup></li> <li>○透水係数 1x10<sup>-7</sup>~10<sup>-8</sup>cm/s</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○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</li> <li>○フライアッシュの配合比で密度変動</li> <li>○単位容積質量 1.6~2.0g/cm<sup>3</sup></li> <li>○最適含水比 20~30%</li> <li>○透水係数 1x10<sup>-3</sup>~10<sup>-5</sup>cm/s</li> </ul> |
| 強度特性   | ○圧縮強度 コンクリートと同等で調整も可能   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○一軸圧縮強さ(材齢7日) 1,000~3,000kN/m<sup>2</sup></li> <li>(材例28日) 4,000~8,000kN/m<sup>2</sup></li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○圧縮強度(材齢28日) 5,000kN/m<sup>2</sup>以上</li> <li>○静弾性係数 4~6GPa程度</li> <li>○現場CBR 200%程度</li> </ul>   | ○一軸圧縮強さ(材齢28日) 300~1,000kN/m <sup>2</sup> 以上  |
| 施工性    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ダンプトラックかトラックミキサで運搬する。</li> <li>○型枠、内部バイブレータで締固める。</li> </ul>  | ○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。   | ○適正な含水調整で埋戻しや裏込め施工が容易となる。   |
| 用途     | 消波ブロック  | 盛土材、埋立柱材   | 盛土材、埋立柱材   | 盛土材、埋立柱材  |
| その他    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者 中国電力(株)、山口大学、(株)安藤・間、(株)テトラ</li> <li>○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</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者 (株)大林組、相馬環境サービス(株)</li> <li>○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</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者 (株)安藤・間</li> <li>○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</li> <li>○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</li> </ul> | <p>なお、本品には仮置き脱水土砂を含む</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○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</li> </ul>  |

(注)なお、表中の値は各々の記載資料より転載した。

表-3.1 石炭灰混合材料の基本物性一覧（その4）

| 混合材料種別 | 改良盛土材・塑性材   |  |  |
|--------|---|--|--|
| 技術の種類  | 浚渫土、セメント系改良土<br>(種類:砂質土・シルト系)   | 盛土材<br>(クリンカアッシュ)  | 建設発生土、クリンカ改良土<br>(種類:第3種処理土以上)   |
| 主原料    | 浚渫土+石炭灰+セメント  | クリンカアッシュ   | 第4種建設発生土、泥土<br>+クリンカアッシュ   |
| 物性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○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</li> <li>○フライアッシュの配合比で密度変動</li> <li>○単位容積質量<br/>1.6~2.0g/cm<sup>3</sup></li> <li>○最適含水比 20~30%</li> <li>○透水係数<br/>1x10<sup>-3</sup>~10<sup>-5</sup>cm/s</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○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</li> <li>○湿潤単位容積質量<br/>1.4 g/cm<sup>3</sup>程度</li> <li>○最適含水比 15~60%</li> <li>○透水係数<br/>8.8x10<sup>-3</sup>~7.2x10<sup>-3</sup>cm/s</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○建設発生土とクリンカアッシュの混合比5:5の場合、所定の強度(qc=400kN/m<sup>2</sup>)を確保</li> <li>なお、以下の値は混合比5:5のもの</li> <li>○単位容積質量<br/>1.60g/cm<sup>3</sup></li> <li>○含水比 40%程度</li> <li>○透水係数 9x10<sup>-6</sup>cm/s</li> </ul> |
| 強度特性   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○一軸圧縮強さ(材齢28日)<br/>300~1,000kN/m<sup>2</sup>以上</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○コーン指数<br/>1,200 kN/m<sup>2</sup>以上</li> <li>○内部摩擦角 35°以上</li> <li>○CBR 20以上</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○コーン指数<br/>550~610 kN/m<sup>2</sup></li> <li>○内部摩擦角 13°</li> <li>○CBR 1.1~1.7%</li> </ul>   |
| 施工性    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○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。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○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。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○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。</li> </ul>  |
| 用途     | 盛土材、埋立柱材  | 盛土材、埋立柱材   | 盛土材、埋立柱材   |
| その他    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者<br/>国土交通省北海道開発局、北海道電力㈱、東洋建設㈱</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○出典<br/>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</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○開発者<br/>国土交通省 東北地方整備局、東北電力㈱</li> <li>○出典<br/>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</li> </ul>   |

(注)なお,表中の値は各々の記載資料より転載した。

### 3.2 破碎材・造粒材

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は、固化体破碎材と固化体造粒材に大別される。以下に、それぞれの代表例の製造法、基本物性を示す。

#### 3.2.1 固化体破碎材

##### (1) 製造法の概要

固化体破碎材の代表例、「頑丈土」<sup>1)</sup>の製造方法の概略を図-3.1に、製品を写真-3.1に示す。

「頑丈土」は、石炭灰に水、セメント、高炉スラグ微粉末や石膏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・破碎して製造する。また、セメント固化による強度増加と有害物質の不溶化を目指したものである。

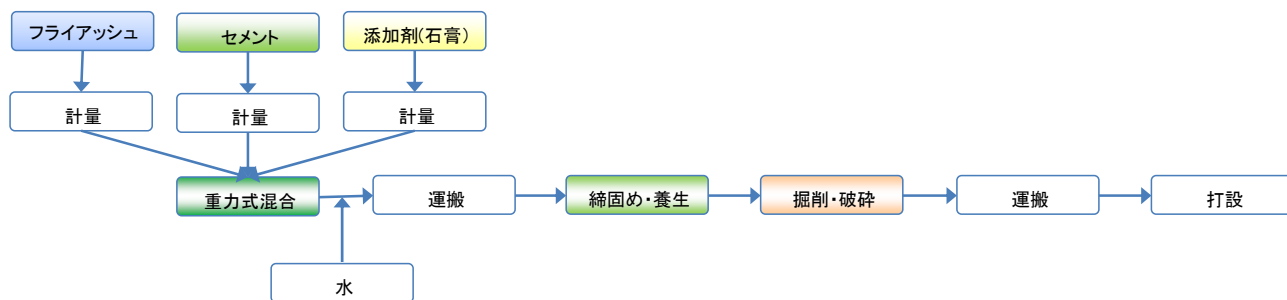


図-3.1 固化体破碎材（頑丈土）の製造フロー



写真-3.1 固化体破碎材（頑丈土）

また、頑丈土の標準的な配合例を表-3.2に示す。

表-3.2 固化体破碎材（頑丈土）の配合例（質量比）<sup>2)</sup>

| 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

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-3.3に示すとおりである。

「頑丈土」は軽量および液状化し難い材料特性を有するため、港湾構造物に使用した場合、地盤沈下減少、地盤改良の省略あるいは改良範囲の縮小および構造物のスリム化などの特徴がある<sup>2)</sup>。

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<sup>1)</sup>。

表-3.3 固化体破砕材（頑丈土）の物性・性能<sup>2)</sup>

| 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<br>最大粒径は調整可能         |
|         | 土粒子密度      | 2.3～2.4g/cm <sup>3</sup>                 |
|         | 最大乾燥密度     | 1.25g/cm <sup>3</sup> 以下                 |
|         | 強熱減量       | 10%以下                                    |
|         | 透水係数       | 1×10 <sup>-6</sup> ～10 <sup>-7</sup> m/s |
| 強度特性    | せん断抵抗角     | 30°以上                                    |
|         | 修正CBR      | 40%以上                                    |
|         | 液状化抵抗比     | R <sub>l20</sub> ≧ 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 <sup>2</sup> 以上    |
|         | 粉 塵        | 粉塵の発生は少ない                                |

(3) 同種品

固化体破砕材の同種品に、表-3.1に示したコアソイルQ（Sタイプ、Gタイプ）がある。製品を写真-3.2に示す。

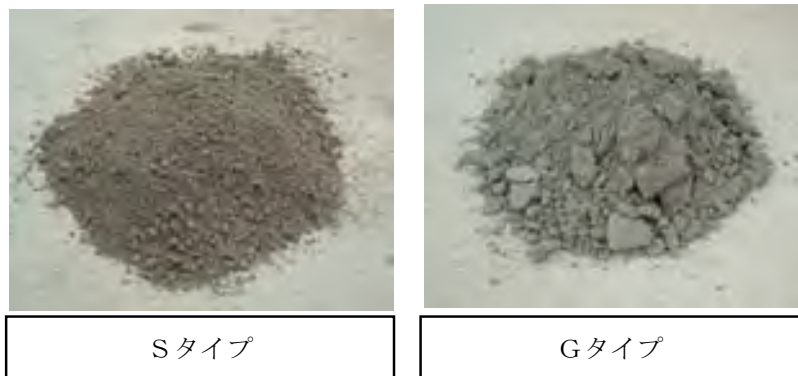


写真-3.2 固化体破砕材（コアソイルQ）

### 3.2.2 固化体造粒材

#### (1) 製造法の概要

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

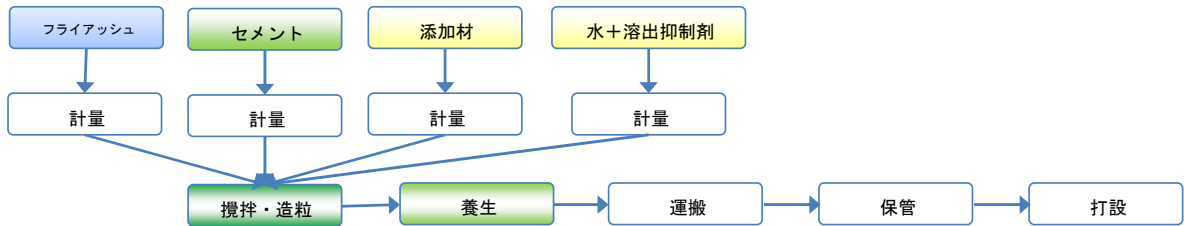


図-3.2 固化体造粒材（ゼットサンド）の製造フロー



写真-3.3 固化体造粒材（ゼットサンド）

ゼットサンドの代表的な配合例を表-3.4に示す。

表-3.4 固化体造粒材（ゼットサンド）の配合例（重量%）<sup>3)</sup>

| 石炭灰 | セメント | 添加材（造粒助剤） | 水         | 溶出抑制剤      |
|-----|------|-----------|-----------|------------|
| 85  | 5    | 10        | 約 25 ～ 40 | 0 ～ 1.0 程度 |

（注）供給水量、溶出抑制剤量は粉体材料重量 100%に対する値である。

#### (2) 基本的物性

固化体造粒材（ゼットサンド）の物性・性能は表-3.5に示すとおりである。

表-3.5 固化体造粒材（ゼットサンド）の物性・性能<sup>3)</sup>

| 試験項目 | 測定値      | 管理基準値  | 試験方法                       |            |
|------|----------|--|----------------------------|------------|
| 物理特性 | 最大粒径     | 9.5～26.5mm   | 4～50mm                     | JIS A 1204 |
|      | 平均粒径     | 0.35～1.46mm  | 0.3～2mm                    | 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     | 2.308～2.323g/cm <sup>3</sup>                       | 2.4g/cm <sup>3</sup> 以下    | JIS A 1202 |
|      | 透水係数     | 1.0×10 <sup>-5</sup> ～<br>1.4×10 <sup>-5</sup> m/s | 1.0×10 <sup>-6</sup> m/s以上 | JIS A 1218 |
| 強度特性 | 内部摩擦角    | 39.0～40.3°   | 35°以下                      | JGS 0523   |
|      | 95%修正CBR | 33.5～41.0%   | 20%以上                      | JIS A 1211 |

(3) 同種品

固化体造粒材の同種品に、表-3.1 に示したSCP工法用砂代替材、フライ・クリーン、Hi ビーズ、灰テックビーズなどがある。また、石炭灰固化物（破砕材）もある。灰テックビーズの製品、製造プラントは写真-3.4 に示す。

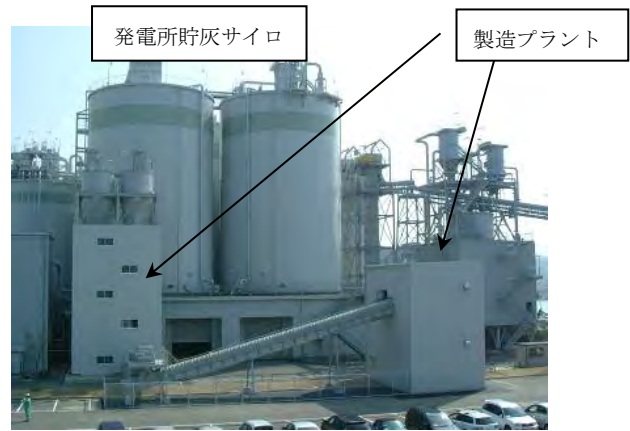


写真-3.4 固化体造粒材（灰テックビーズ）と製造プラント

### 3.3 消波ブロック用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。このような材料に骨材として密度の大きいスラグを混合し、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。

#### 3.3.1 消波ブロック用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-3.3 に示す。

練り混ぜは、通常の新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-3.5 に示す。

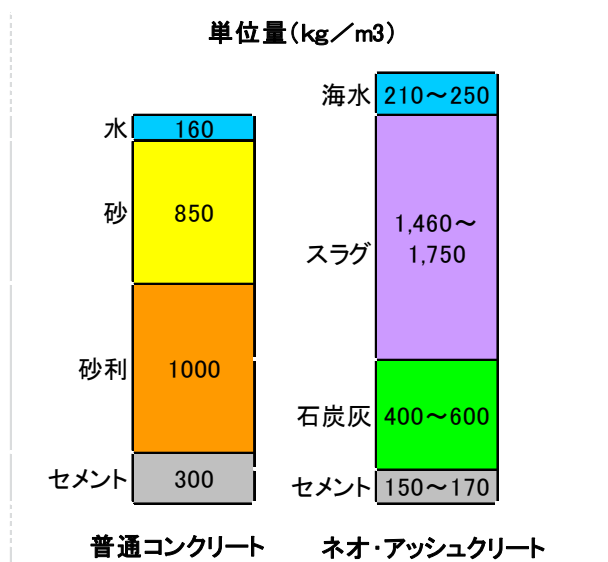


図-3.3 消波ブロック用コンクリート（ネオアッシュクリート）の配合例<sup>4)</sup>





写真-3.5 消波ブロック用コンクリート（ネオアッシュクリート）の打設状況<sup>5)</sup>

(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-3.6 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-3.6 完成した消波ブロックとコアの状況<sup>5)</sup>

(3) 同種品

同種品に、フライアッシュコンクリートがある。フライアッシュコンクリートについては、土木学会「コンクリートライブラリー 132 循環型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－利用拡大に向けた設計施工指針試案－」<sup>6)</sup> を参照願いたい。

### 3.4 改良盛土材・塑性材

石炭灰、セメント、水、現地発生土などを主原料とし、これに添加材料などを加えて製造する石炭灰混合材料は、改良盛土材と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。

#### 3.4.1 改良盛土材

##### (1) 製造法の概要

改良盛土材の製造方法の一例を図-3.4に示す。製造時と施工の状況を写真-3.7、3.8に示す。

改良盛土材は、石炭灰（フライアッシュ）にセメント（高炉セメント）、助剤、最適含水比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。作製した改良盛土材は、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。改良盛土材の配合例を表-3.6に示す。

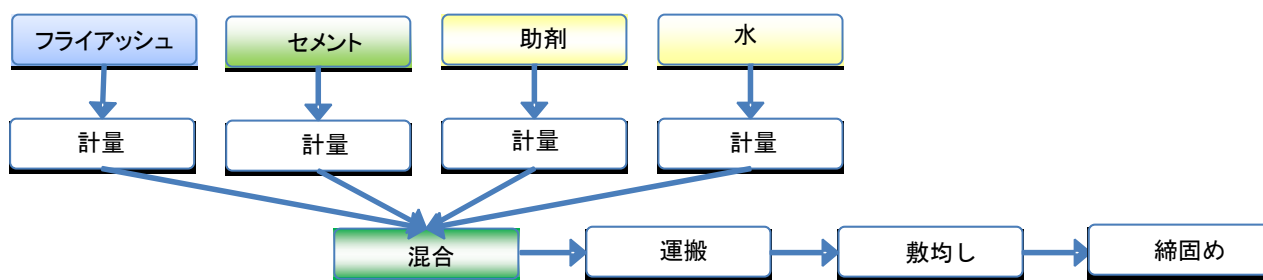


図-3.4 改良盛土材の製造・施工のフロー

表-3.6 改良盛土材の配合例

| フライアッシュ      | 高炉セメント | 助剤    | 水     |
|--------------|--------|-------|-------|
| 乾燥質量 1000 kg | 100 kg | 20 kg | 最適含水比 |



写真-3.7 改良盛土材の製造プラントの攪拌混合の状況



写真-3.8 改良盛土材の敷均しと締固めの状況

(2) 基本的物性

1層のまき出し厚さ 35 cm、締固め回数 6 回で盛土を施工した場合の、改良盛土材の代表的な物性を表-3.7 に示す。

表-3.7 改良盛土材の物性

| 試験項目 |        | 特性値  |
|------|--------|--|
| 物理特性 | 含水比    | 20～25%   |
|      | 湿潤密度   | 1.6～1.9g/cm <sup>3</sup>   |
| 強度特性 | 一軸圧縮強度 | 7日材齢で 1000～3000kN/m <sup>2</sup><br>28日材齢で 4000～10000kN/m <sup>2</sup> |

(3) 同種品

改良盛土材の同種品に、表-3.1 に示したアッシュクリート Type II がある。

3.4.2 塑性材

(1) 製造法の概要

浚渫土を改良した土砂混合材料の一例として、海上築堤の施工事例<sup>7,8)</sup>がある。この改良工法は、高含水の浚渫土砂や汚泥に石炭灰を添加し、石炭灰の水分吸収性と硬化特性を利用して土砂を最適な状態に調整するものである。搬出・運搬がベルトコンベヤーやダンプトラックで可能となり、施工がブルドーザーやバックホウなどの建設機械で可能であり、特殊な機械を必要としない。また、改良土としての強度が必要な場合には、目標強度に応じて添加剤（セメントなど）を適宜混合することで可能となる。

土砂混合材料（塑性材）の製造方法の概略を図-3.5 に、浚渫土投入・混練状況を写真-3.9 に示す。

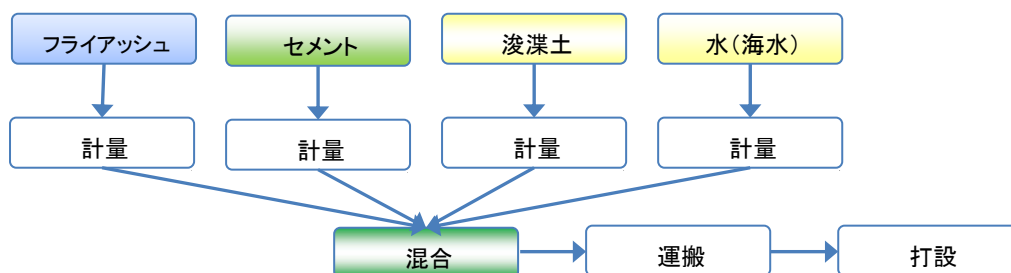


図-3.5 塑性材の製造フロー



写真-3.9 浚渫土投入・混練状況

土砂混合材料（塑性材）の代表的な配合例を表-3.8 に示す。

表-3.8 塑性材の配合例<sup>7)</sup>

| 土砂（浚渫土）                      | フライアッシュ              | セメント                      | 海水                         |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1170 ～ 1220kg/m <sup>3</sup> | 300kg/m <sup>3</sup> | 90 ～ 120kg/m <sup>3</sup> | 412 ～ 456kg/m <sup>3</sup> |

(2) 基本的物性

土砂混合材料（塑性材）の代表的な物性値は表-3.9 に示すとおりである。

表-3.9 塑性材の物性・性能<sup>7)</sup>

| 試験項目 |          | 特性値                          |
|------|----------|------------------------------|
| 物理   | 粘着力      | 370kN/m <sup>2</sup>         |
| 特性   | 透水係数(室内) | 1 ~ 9 × 10 <sup>-7</sup> m/s |
| 強度   | 圧縮強さ     | 1,390kN/m <sup>2</sup>       |
| 特性   | 内部摩擦角    | 26.4°                        |

### 3.5 その他(クリンカアッシュ)

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

#### 3.5.1 建設発生土、クリンカ改良土

##### (1) 利用方法と混合方法

クリンカアッシュを写真-3.10に、混合方法の概略図を図-3.6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<sup>9)、10)</sup>。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増加することも確認している。



写真-3.10 クリンカアッシュ

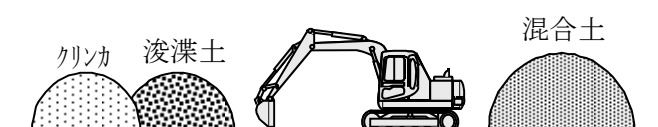


図-3.6 混合方法

##### (2) 改良効果

不良土の土質改良効果は、時間の経過と共にコーン指数が増加し、良質土(第3種建設発生土)相当に改良できることを確認している。施工状況を写真-3.11に、施工後のコーン指数変化を図-3.7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活用されている。



写真-3.11 混合盛土の施工例

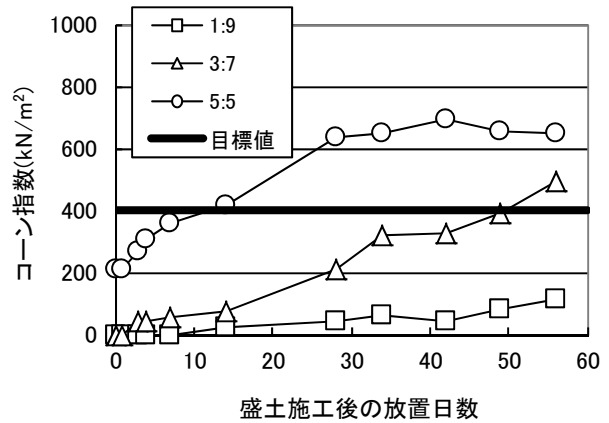


図-3.7 混合盛土の施工後のコーン指数変化<sup>10)</sup>

#### 参考文献

- 1) 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「頑丈土破砕材」、財団法人 土木研究センター、2011. 2
- 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) 株式会社 安藤・間 <http://www.ad-hzm.co.jp/service/ashcrete/ash/>
- 5) 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、No.667、pp. 50-57、2002. 9
- 6) 土木学会編：コンクリートライブラリー 132 循環型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－利用拡大に向けた設計施工指針試案－、2009. 12
- 7) 小林仁、田中則和、高橋昌之：石炭灰を用いた水中硬化体の開発、電力土木、No.284、pp. 9-13、1999. 11
- 8) 水口洋、田中則和、下田哲司、北原繁志：石炭灰を用いた水中硬化体の開発（その 2）、電力土木、No.288、pp. 59-63、2000. 7
- 9) 東北電力株式会社 <http://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2003/30729a.htm>
- 10) 大高昌彦、荒川高而、井上博泰：クリンカアッシュ混合による建設発生土の土質改良特性について、土木学会第 58 回年次学術講演会講演梗概集、pp. 1163-1164、2003. 9

## 第4章 環境安全品質および検査方法

### 4.1 はじめに

本章では、石炭灰混合材料が確保すべき環境安全性品質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）<sup>1)</sup>の第2章に示される「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」<sup>†</sup>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<sup>2),3)</sup>を参考としている。

なお、石炭灰混合材料は、平成23年環境省通知「土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について」（環水大土発第110706001号）に示されるように、「非鉄製錬業や鉄鋼業の製錬・製鋼プロセスで副生成物として得られるスラグ等や石炭火力発電に伴い排出される石炭灰等が土木用・道路用資材等として用いられ、かつ、周辺土壌と区別して用いられる場合は、そもそも土壌とはみなされない」ことから、この限りにおいては土壌環境基準は適用されず、かつ、「土壌汚染対策法の調査の命令対象とはならない」。したがって、周辺の土壌と区別して用いる場合は、土壌環境基準や土壌汚染対策法の調査命令の対象外となるため、別途、適切な環境安全品質を確保するための検査方法や管理方法などのルールが必要である。また、対象外であるという条件が将来にわたって適用されるためには、その検査結果や利用区域を施工図面などに正確に記録・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<sup>‡</sup>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」<sup>1)</sup>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。

環境安全形式検査では、所定の方法で調製された石炭灰混合材料が、すべての検査項目について環境安全品質基準を満足することを検査する。そのための環境安全品質基準と試験方法は、先出の「基本的考え方」<sup>1)</sup>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

\* 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

† 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/newsttopics/2012/201203slag\\_hokokusho.htm](http://www.jisc.go.jp/newsttopics/2012/201203slag_hokokusho.htm)

‡ 建築資材などが想定される。

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<sup>§</sup>）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。

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。

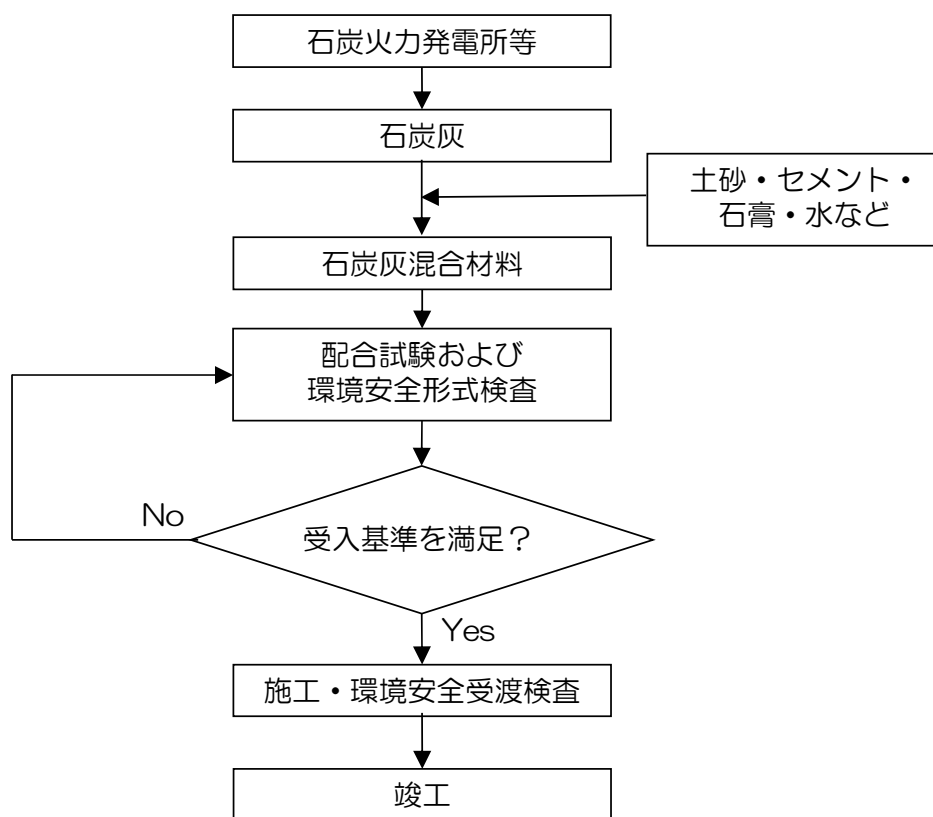


図-4.1 環境安全品質に関する検査の流れ

<sup>§</sup> 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。

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。

仮設盛土やコンクリート二次製品など建築資材のように、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-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-4.2のフローチャートにしたがい、表-4.2に示す類型A～Eのいずれかを選定する。

表-4.3ならびに図-4.3に、本ガイドラインで決定した石炭灰混合材料の各用途に対する類型を示す。

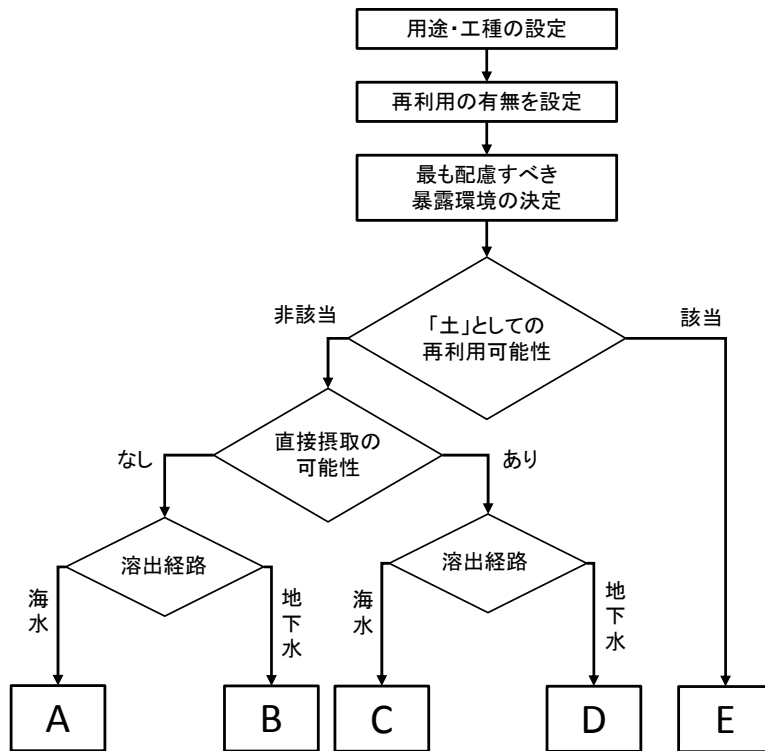


図-4.2 環境安全形式検査の類型判断フローチャート

表-4.2 各類型の試験方法と環境安全品質基準

| 類型 | 「土」としての<br>再利用可能性 |             |      | 試験項目  | 試験方法                | 環境安全品質基準  |
|----|-------------------|-------------|------|-------|---------------------|-----------|
|    | 「土」としての<br>再利用可能性 | 直接摂取<br>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<br>第 18 号 | 一般用途溶出量基準 |
|    |                   |             |      | 含有量試験 | H15 環境省告示<br>第 19 号 | 含有量基準     |

表-4.3 石炭灰混合材料の各適用工事・用途に対する類型

|        | 適用工事・箇所   |                      |          | 類型   |
|--------|-----------|----------------------|----------|------|
|        | 適用工事      | 用途                   | 利用のための条件 |      |
| 震災関連事業 | 防潮堤       | 盛土材                  | 表面の被覆    | A    |
|        | 海岸公園      | 盛土材                  | 表面の被覆    | E    |
|        | 防災緑地（防潮林） | 基盤材                  | —        | A    |
|        | 河川堤防      | 盛土材                  | 表面の被覆    | B    |
|        | 道路盛土・鉄道盛土 | 盛土材                  | 表面の被覆    | B ※1 |
|        | 海岸部かさ上げ   | かさ上げ材                | 表面の被覆    | E    |
| 一般工事   | 防波堤基礎     | SCP 材                | —        | A    |
|        | 岸壁・護岸     | 裏込材                  | —        | A    |
|        | 地盤補強      | パイル材、補強土壁裏込め材        | —        | E    |
|        | 橋脚        | 裏込材                  | —        | B ※2 |
|        | 土地造成工事    | 盛土材・かさ上げ材            | 表面の被覆    | E    |
| 資材     | 建築材料      |                      | —        | E    |
|        | 土木材料      | 混合材（港湾用の製品；消波ブロックなど） | —        | C    |
|        |           | 混合材（港湾以外の用途の製品）      | —        | D    |

※1 仮設盛土の場合はEとする。 ※2 河口部の場合はAとする。

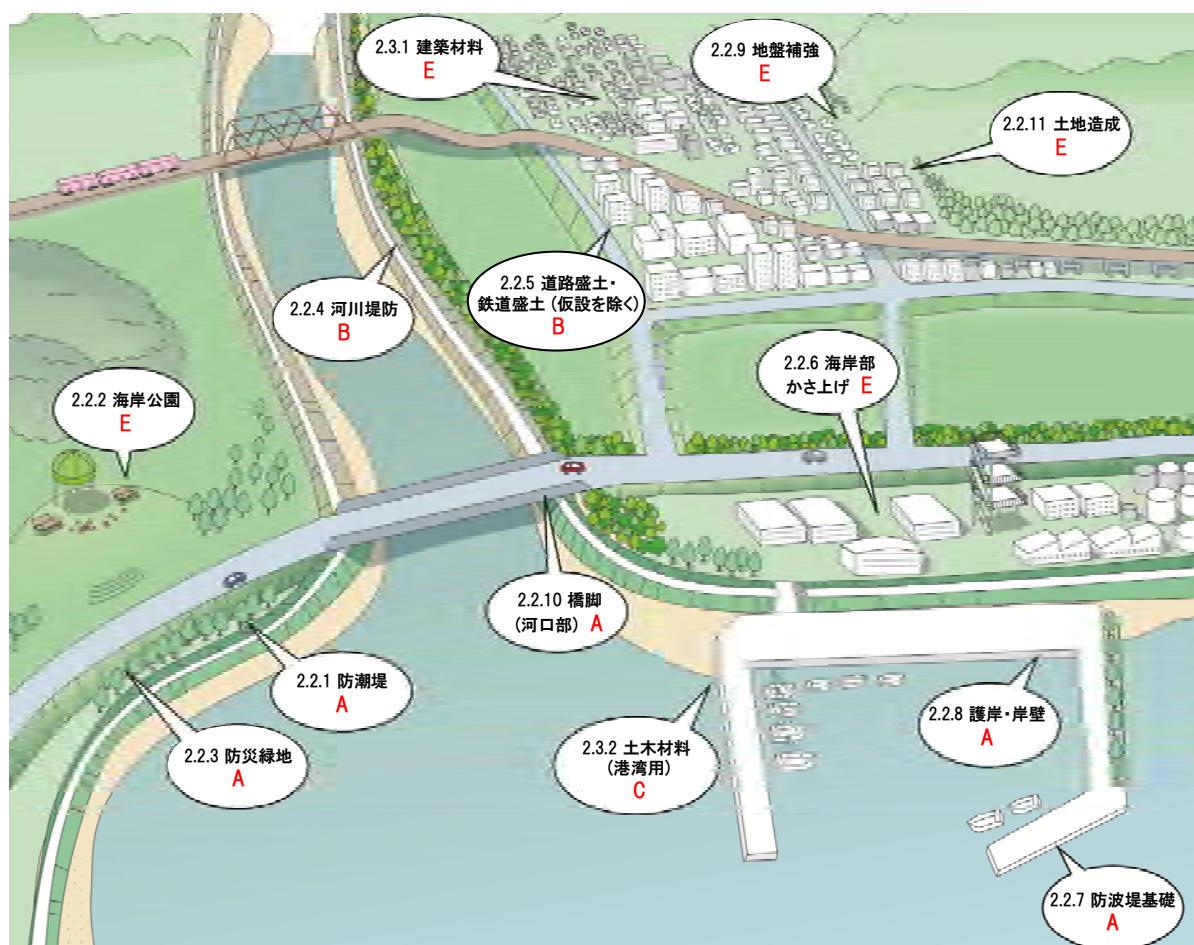


図-4.3 石炭灰混合材料の各適用工事・用途に対する類型

### 4.3 環境安全品質基準

4.2 で選定した類型ごとに、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)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などの無機物質に限定した。なお、表-4.4に示す一般用途溶出量基準と含有量基準は土壤汚染対策法の指定基準と同等である。港湾用途溶出量基準の設定の考え方は、表-4.5に示すとおりである。

環境安全形式検査では、表-4.4のうち該当する項目をすべて検査する。環境安全受渡検査では、六価クロム、ひ素、セレン、フッ素、ホウ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<br>(mg/L) | 港湾用途溶出量基準<br>(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             |
| ひ素    | 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             |
| フッ素   | 0.8 以下              | 15 以下               |
| ホウ素   | 1 以下                | 20 以下               |

(b) 含有量基準

| 項目    | 含有量基準<br>(mg/kg) |
|-------|------------------|
| カドミウム | 150 以下           |
| 鉛     | 150 以下           |
| 六価クロム | 250 以下           |
| ひ素    | 150 以下           |
| 水銀    | 15 以下            |
| セレン   | 150 以下           |
| フッ素   | 4000 以下          |
| ホウ素   | 4000 以下          |

表-4.5 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-4.4 港湾用途溶出量基準と同等の値）が設定された。基準値は、海水による過大な希釈効果に期待せず、水底土砂基準や排水基準ではなく、より環境基準に近い値として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-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 各類型の検査項目

| 類型      | 試験の種類 | 環境安全形式検査      | 環境安全受渡検査             |                        |                  |
|---------|-------|---------------|----------------------|------------------------|------------------|
|         |       |               | 必須                   | 省略可 <sup>※1</sup>      | 省略 <sup>※2</sup> |
| A, B    | 溶出量試験 | 表-4.4 (a)の全項目 | 六価クロム、ヒ素、セレン、フッ素、ホウ素 | カドミウム、鉛、水銀             | —                |
| C, D, E | 溶出量試験 | 表-4.4 (a)の全項目 | 六価クロム、ヒ素、セレン、フッ素、ホウ素 | 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、ヒ素、セレン、フッ素、ホウ素 | カドミウム、水銀         |

※1 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。

※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 1.2 を参照）、環境安全受渡検査では検査を省略する。

#### 4.4 試験方法

表-4.2に示したように、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-4.3 参照) とした。ただし、類型 E は土壤汚染対策法と同等の環境安全品質が要求されるため、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、JIS K 0058-1 の 5 とし、ただし類型 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 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、試料をさらに破砕して用いなければならない。

###### a) コンクリート二次製品、または、スラリー・塑性材が成形固化された状態のままの場合

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。

- b) コンクリート二次製品、または、スラリー・塑性材が路盤材へ再利用される状態の場合  
スラグ指針<sup>1)</sup>に基づき、成形体を作製後に破碎して再生路盤材 RC-40 の粒度に調整する。
- c) 破碎材・造粒材が最初の状態のままの場合  
JIS K 0058 -1 の 5.3.2 粉塊状の試料による。
- d) 破碎材・造粒材が路盤材へ再利用される状態の場合  
スラグ指針<sup>1)</sup>に基づき、破碎材・造粒材を破碎して再生路盤材 RC-40 の粒度に調整する。

### (3) 検液の調製と分析

図-4.2 および表-4.3 から決定した類型に基づき、表-4.2 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-4.7 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 2mm 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<sup>1)</sup>に基づくこととする。

## 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

試料の採取は、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、それに基づいて行う。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。

### (2) 試料の調製

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<br>の 5. | H15 環境省<br>告示第 18 号                     | JIS K 0058-2               | H15 環境省<br>告示第 19 号                     |
| 試料形状   | 有姿のまま                | 風乾し団粒 <sup>※1</sup> を<br>2 mm 以下に<br>粗砕 | 風乾し、すべての粒子<br>を 2 mm 以下に粗砕 | 風乾し団粒 <sup>※1</sup> を<br>2 mm 以下に<br>粗砕 |
| 溶媒     | 純水                   | 純水                                      | 1 mol/L 塩酸 <sup>※2</sup>   | 1 mol/L 塩酸 <sup>※2</sup>                |
| 液固比    | 10L/kg               | 10L/kg                                  | 約 33<br>(200mL/6 g)        | 約 33<br>(200mL/6 g)                     |
| 攪拌方法   | プロペラ攪拌<br>200rpm     | 反復振とう<br>毎分 200 回                       | 反復振とう<br>毎分 200 回          | 反復振とう<br>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<br>離後にろ過   | 遠心分離後に<br>ろ過                            | 必要に応じて遠心分<br>離後にろ過         | 遠心分離後に<br>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。

### 4.5.2 検査の頻度

#### (1) 環境安全形式検査

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

- 石炭灰混合材料の原料として供給される石炭灰の品質が大きく変化し、環境安全品質を定める微量物質の増加が生じる可能性がある場合。
- 石炭灰混合材料製造設備の改良、製造プロセスの変更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** 5000m<sup>3</sup>につき1回以上の頻度とすることが望ましい。

### 4.5.3 検査結果の判定基準

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

### 4.5.4 再検査

**4.5.3** で不合格となった場合は、材料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 Z8402-6<sup>2)</sup> 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<sup>※1), ※2)</sup>
- c) 製造番号または製造ロット番号<sup>2)</sup>
- 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) 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  
[http://www.jisc.go.jp/newsttopics/2012/201203slag\\_hokokusho.htm](http://www.jisc.go.jp/newsttopics/2012/201203slag_hokokusho.htm)
- 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

## 参考資料

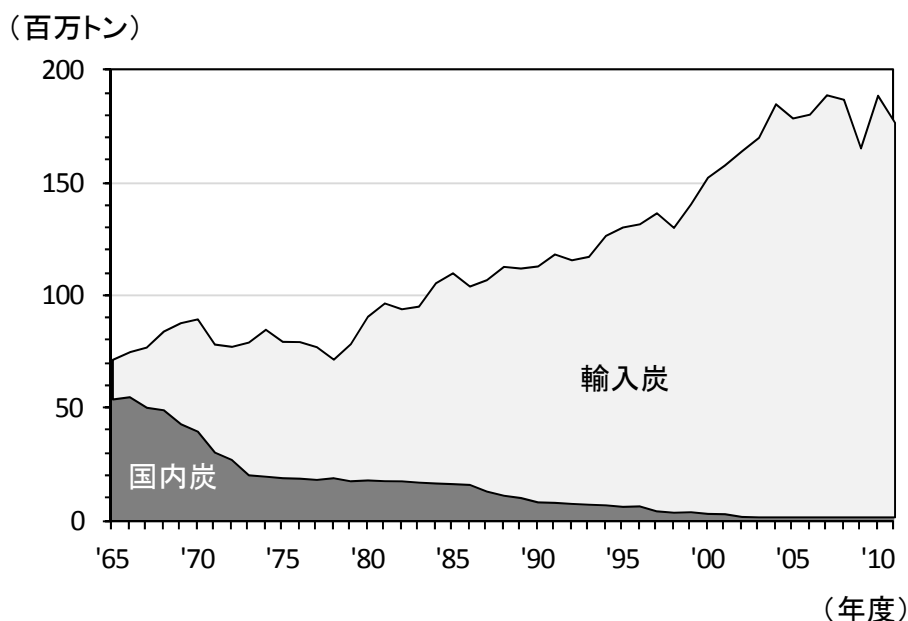
### 第1章 石炭灰

#### 1.1 原炭について

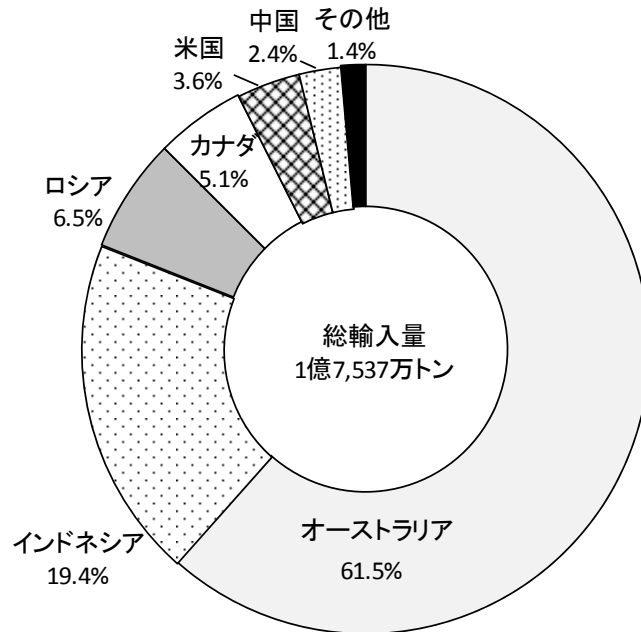
石炭は、石炭紀から新第三紀にかけて地中に堆積した植物が地熱や圧力を受けて変質、炭化したものである。他の化石燃料と異なり、世界的に広く存在し、その可採年数は石油や天然ガスに比べて長く、また、カロリー単価で安価であることから、調達安定性と経済性に優れた資源として広く利用されている。我が国は、一次エネルギー供給量の88.4%(2011年度)を占める化石燃料のほぼ全量を海外に依存しており、経済性に優れた石炭の利用は、エネルギー政策上、極めて重要である。

参考図1.1に日本の国内炭・輸入炭供給量の推移を示す。輸入量は1970年度には国内炭の生産量を上回り、1988年度には1億トンを超え、2011年度には1億7,537万トンに達している。同年度の石炭の輸入先はオーストラリアが61.5%を占めており、インドネシア(19.4%)、ロシア(6.5%)とカナダ(5.1%)からの輸入がこれに続く(参考図1.2)。

石炭を消費する主な業種は電気事業と鉄鋼業で、この二業種で約8割を占める。電気事業における石炭消費量は、1960年代は2,000万トンを上回っていたが、石油への転換が進み、1975年前後には757万トンにまで低下した。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・増設に伴い、石炭消費量は再び増加し、2004年度以降7,000万トンを超えており、最大の石炭消費者になっている。石炭の需給がタイトになるなか、より安価な石炭を求め、インドネシアの亜瀝青炭を使用するなど、これまでと同様、多くの種類の石炭が使用されるものと考えられる。



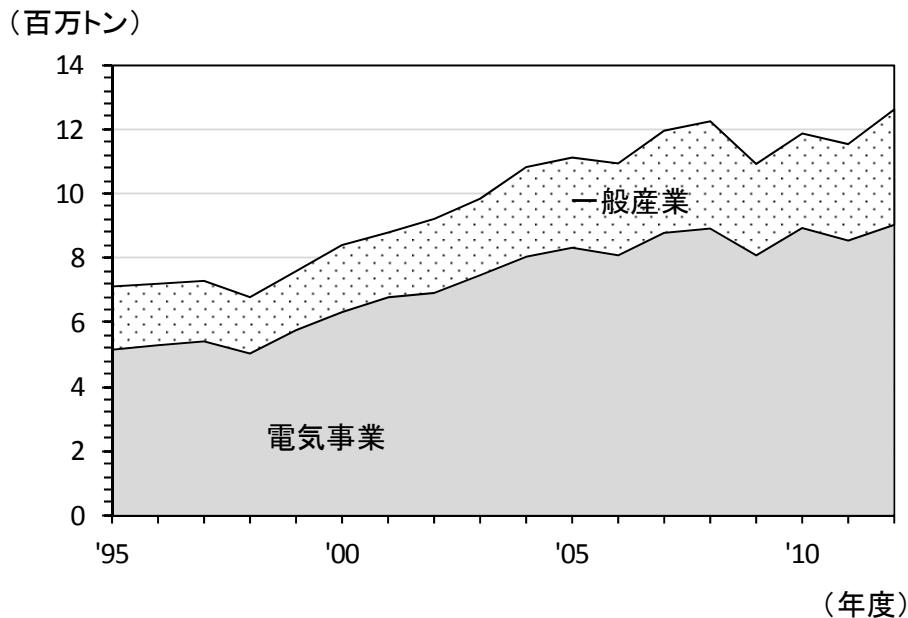
参考図1.1 国内炭・輸入炭の供給量推移 (輸入炭には一般炭と無煙炭を含む)<sup>1)</sup>



参考図 1.2 日本の石炭輸入元 (2011年)<sup>1)</sup>

## 1.2 石炭灰の発生量

石炭には5~30%程度の灰分が含有されているため、石炭火力発電所などで微粉炭を燃焼させると、残渣として石炭灰が発生する。国内での発生量は2004年度以降、年間1,000万トンを超えており、2012年度では、電気事業905万トン、一般産業361万トンの計1,266万トンとなっている(参考図1.3)<sup>2)</sup>。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考えられている。



参考図 1.3 石炭灰発生量の推移

## 1.3 石炭灰の種類

石炭火力発電所における石炭灰の発生工程例は参考図1.4に示すとおりである。石炭灰は、集じん装置で集められたフライアッシュとボイラ底部で回収される溶結状の石炭灰を砕いたクリンカアッシュとに大別さ

れる。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である。また、これらとは別に埋立地から掘り起された既成灰がある。発生箇所による分類を以下に示す。

(1) フライアッシュ

微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスから電気集じん器（EP）で採取された石炭灰。ホッパから回収した後、分級装置等を用いて粒度調整をする場合、ホッパから回収された状態を「原粉」、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。

(2) シンダアッシュ

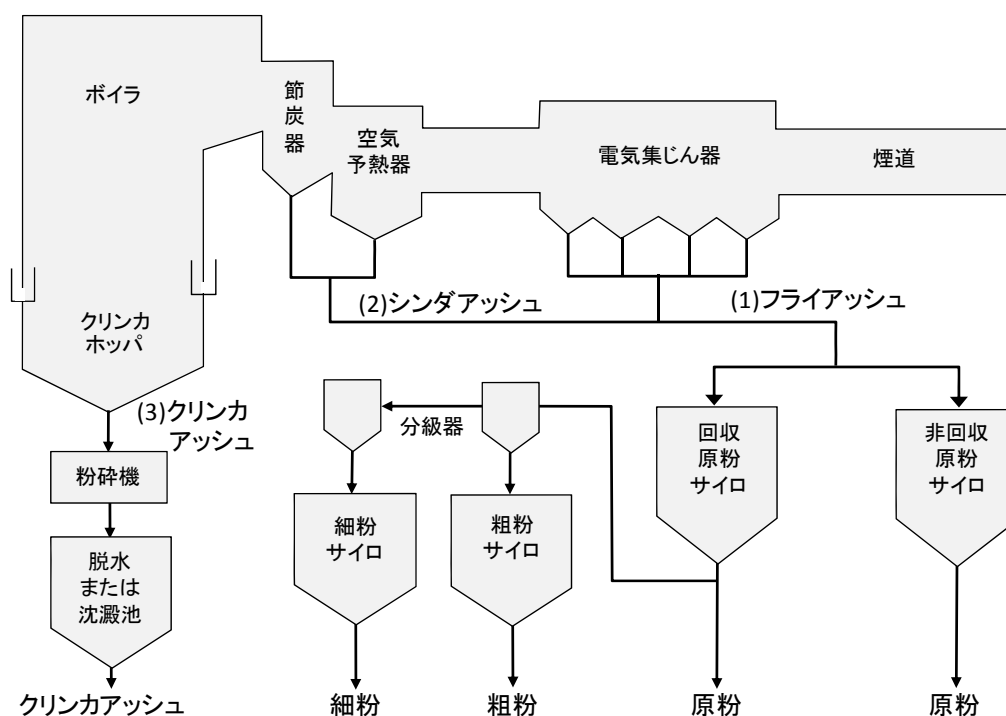
微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスが空気予熱器・節炭器などを通過する際に落下採取された比較的目の粗い石炭灰。発生量は僅かで、フライアッシュに含める場合もある。

(3) クリンカアッシュ

微粉炭燃焼ボイラの炉底（クリンカホッパ）に落下採取された石炭灰。ボトムアッシュと呼ばれることがある。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。

(4) 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、既に長期間埋立地などに埋め立てられている石炭灰。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 1.7 に示す。



参考図 1.4 石炭灰の発生工程例

## 1.4 石炭灰の物理・化学的特性

### (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  $25\text{mm}$  以下の砂礫状で、粒子は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 ( $2.6\text{ g/cm}^3$ ) よりも軽量である。

### (4) 成分

石炭灰は、 $\alpha$ -クォーツ ( $\text{SiO}_2$ ) やムライト ( $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ )、マグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 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 ( $\text{SiO}_2$ ) と酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) で全体の  $70\sim 80\%$  を占める。その他に  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  および  $\text{SO}_3$  などを含んでおり、天然土壌に近い化学成分組成を有している(参考表 1.1)。なお、微量成分については参考資料 1.6.1 に示す。

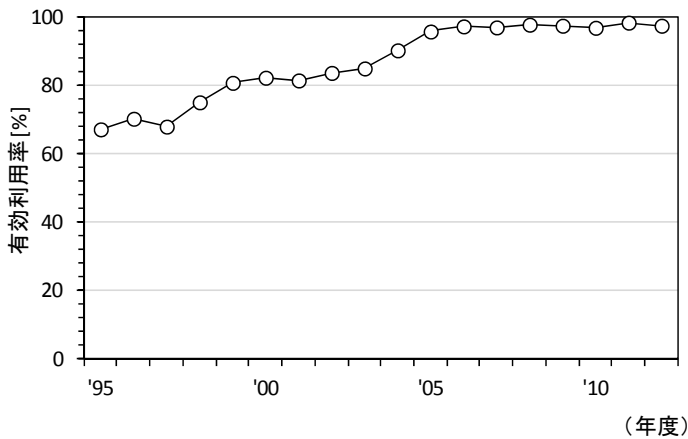
参考表 1.1 石炭灰の化学組成

|               | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ |
|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|
| 国内炭           | 50~55          | 25~30                   | 4~7                     | 4~7          | 1~2          | 1~2                   | 0~1                  |
| 海外炭           | 40~75          | 15~35                   | 2~20                    | 1~10         | 1~3          | 1~2                   | 1~4                  |
| 土壌<br>(山土の一例) | 62.8           | 24.0                    | 1.6                     | 0            | 0.3          | 0                     | 1.4                  |

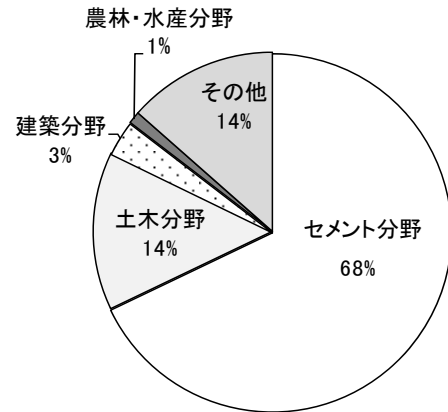
単位(%)

## 1.5 石炭灰の利用状況

石炭灰の有効利用率の推移を参考図 1.5 に示す。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  $96\sim 98\%$  で推移している<sup>2)</sup>。分野別の有効利用状況は参考図 1.6 に示すとおりであり<sup>2)</sup>、セメント分野がその  $65\sim 70\%$  を占め、土木分野  $10\sim 15\%$ 、建築分野  $3\sim 8\%$  と続く。各分野の概要を以下に示す。



参考図 1.5 石炭灰の有効利用率の推移



参考図 1.6 分野別有効利用状況 (2012 年度)

### 1.5.1 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、粘土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%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<sup>2)</sup>。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することから、コンクリート混和材・セメント混合材として JIS に規定されている (JIS A 6201)。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などにより、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。

## 1.5.2 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 $\mu\text{m}$ で排水性、通気性、保水性など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・野球場の中層材など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、利用されている。詳細については本文2.2を参照のこと。

## 1.5.3 建築分野

石炭灰の持つ断熱性、遮音性、不燃性などの特徴を活かして、建材ボード材料として利用されている。詳細については本文2.3.1を参照のこと。

## 1.5.4 農林水産分野

肥料、土壌改良材、人工培土などがある。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。

## 1.5.5 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で、天然ゼオライト以上の陽イオン交換能や H<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S 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浄化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つ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<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>。

## 1.6 石炭灰および石炭灰混合材料の溶出特性

### 1.6.1 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<sup>6)</sup>。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<sup>7)</sup>。

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、ホウ素およびフッ素が挙げられる。



参考表 1.2 石炭灰中の微量成分全含有量の測定結果例<sup>8)</sup>

| 成分    | 範囲<br>(mg/kg) | 平均値<br>(mg/kg) | 対象<br>試料数 | 【参考】<br>含有量基準 <sup>※1</sup><br>(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                                    |
| ホウ素   | 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<sup>8), 9)</sup>

| 成分    | 範囲<br>(mg/L)  | 平均値<br>(mg/L) | 対象<br>試料数 |
|-------|---------------|---------------|-----------|
| 総水銀   | ≦0.001        | 0.001         | 95        |
| カドミウム | ≦0.001 ~ 0.01 | 0.002         | 91        |
| 鉛     | ≦0.001 ~ 0.28 | 0.017         | 95        |
| 六価クロム | ≦ 0.01 ~ 0.29 | 0.054         | 95        |
| 砒素    | ≦0.005 ~ 0.17 | 0.023         | 95        |
| セレン   | ≦0.005 ~ 0.51 | 0.037         | 51        |
| ホウ素   | 0.2 ~ 25      | 14.6          | 12        |
| フッ素   | ≦0.1 ~ 7.8    | 1.4           | 34        |

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。

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<sup>10), 11)</sup>、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<sup>12)-15)</sup>。液相には砒酸イオン(AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)または亜砒酸イオン(AsO<sub>3</sub><sup>3-</sup>)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<sup>15)</sup>。

## (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<sup>10)</sup>。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( $\text{SeO}_3^{2-}$ )が検出される<sup>15)</sup>。砒素と異なり、セレンの溶出濃度を決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<sup>16)</sup>。

## (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<sup>12)</sup>。一方、溶出水中では主に6価の酸化物イオン( $\text{CrO}_4^{2-}$ )として存在し、3価クロムイオン( $\text{Cr}^{3+}$ )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<sup>17)</sup>。

## (4) ホウ素

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<sup>18)</sup>。石炭灰から溶出するホウ素は、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<sup>19)</sup>。この2成分モデルでは、石炭灰中のホウ素が比較的溶解性の高い形態で存在するホウ素と、溶解性の低い形態で存在するホウ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ホウ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ホウ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<sup>16)</sup>。

## (5) フッ素

フッ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<sup>20)</sup>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、フッ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<sup>21)</sup>。また、石炭灰から溶出するフッ素は大部分がフッ化物イオン( $\text{F}^-$ )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<sup>22)、23)</sup>。

### 1.6.2 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 1.3 に示す。

参考表 1.3 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<br>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     |
| ホウ素   | 14      | 1.2     | 3.9     | 1.2     | 0.16    | 0.39    | 0.05      |
| フッ素   | 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。

## 1.7 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<sup>24)</sup>。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、埋立後の経過時間など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など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。

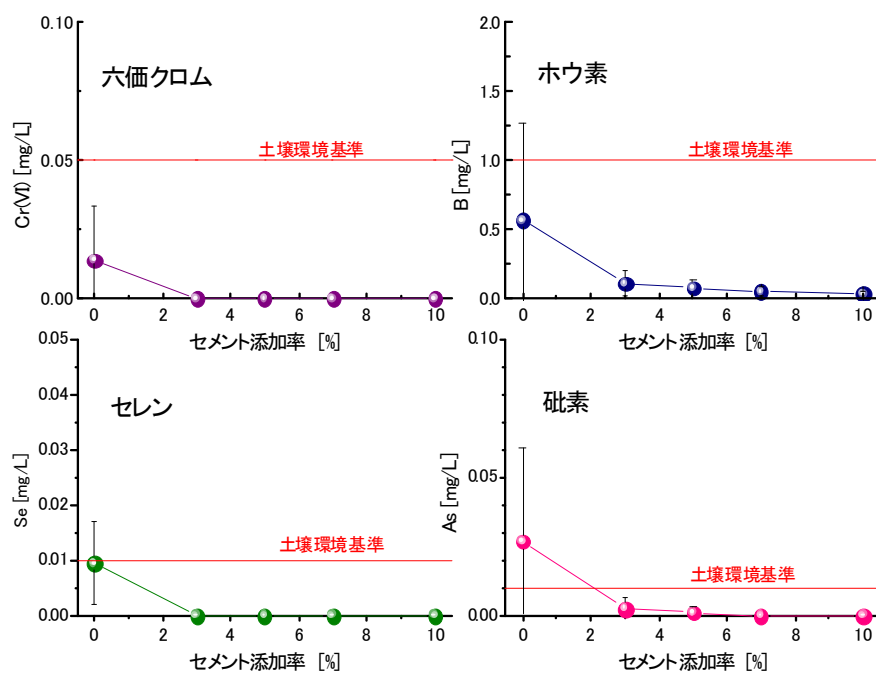
- ・乾燥密度は  $0.9 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$  程度で、新生灰を用いた石炭灰混合材料よりもやや軽い
- ・28日養生後の一軸圧縮強さは、 $0.5 \text{ N/mm}^2$  以上（セメント添加率 5%、含水比 30%）。
- ・新生灰よりも低いセメント添加率で土壤環境基準に適合させることができる（参考図 1.7）

## (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<sup>25)</sup>。

## (3) 利用例<sup>26)</sup>

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  $52,000 \text{ m}^3$  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  $392 \text{ kN/m}^2$  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 1.7 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<sup>24)</sup>

## 参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：平成 24 年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2013), 2013.
- 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 24 年度実績), 2014.
- 3) 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.
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) Hansen, D. L. and Fisher, L. G. : Elemental distribution in coal fly ash particles, Environmental Science & Technology, 14, 1111-1117, 1980.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 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.

- 20) 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.
- 21) 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フッ素と炭素の化学形態, 石炭科学会議発表論文集, 42, 59-60, 2005.
- 22) 坪内直人, 渋谷薫, 林英和, 大塚康夫: フライアッシュ中のホウ素とフッ素の溶出挙動, 石炭科学会議発表論文集, 43, 33-34, 2006.
- 23) Piekos, R. and Paslawska, S.: Leaching characteristics of fluoride from coal fly ash, *Fluoride*, 31, 188-192, 1998.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) 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.

## 第2章 他団体の動向

### 2.1 他団体の動向

震災復旧・復興工事では、土砂材料の不足が課題の一つとなっている。石炭灰混合材料以外の土砂材料に係る動向について、以下にまとめる。

#### 2.1.1 震災がれき、産業副産物

(1) 震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム（代表 久田真教授 東北大学大学院）

##### ① 概要

震災がれきのうち①コンクリートがれき、②津波堆積土砂、および③がれき焼却残渣を対象として、これらの有効利用技術に関する技術開発を行い、技術的な側面から被災地の復興に資する情報を整理し、被災自治体の協力を得て、実用化・事業化へ向けた取組みを行う。

また、ここで開発・事業化された諸技術を、建設廃棄物、スラグ、石炭灰、紙パルプ焼却灰、下水汚泥、都市ごみ焼却灰などに応用し、東北地方における資源循環型社会の構築の拠点形成の足掛かりとすることを目指す。

##### ② スケジュール

第1期：2012年4月～2014年3月

- ・がれき処理、有効利用技術の開発と実用化に向けての諸課題の整理検討

第2期：2014年4月～2015年3月およびそれ以降

- ・がれき処理、有効利用技術のうち、長期安定性に関わる評価
- ・未利用資源の有効活用のための資源循環の枠組みの構築

##### ③ 主な活動成果

<http://www.gareki-shori.com/>

(2) 公益社団法人地盤工学会 東日本大震災対応調査研究委員会 地盤環境委員会（委員長 勝見武教授 京都大学大学院）

##### ① 概要

災害廃棄物や津波堆積物の処理と有効利用の問題、放射性物質で汚染された土壌や廃棄物の処理、広域地盤沈降や冠水の長期化による環境衛生問題など、様々な地盤環境課題に対応する地盤工学技術の開発と適用に向けた活動を実施した。

##### ② スケジュール

2011年9月～2014年3月

##### ③ 主な活動成果

<http://geotech.gee.kyoto-u.ac.jp/JGS/>

- (3) 公益社団法人地盤工学会 災害からの復興における災害廃棄物、建設副産物及び産業副産物の有効利用のあり方に関する提言検討委員会（委員長 勝見武教授 京都大学大学院）

① 概要

復興資材、循環資材を含めた資材などの有効利用のあり方について提言する。各省庁、地方自治体からの助言、情報提供、調査協力を受けつつ、震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム、地盤工学会の関係委員会（東日本大震災地盤環境研究委員会、21世紀の新たな地盤環境問題に関する研究委員会）、リサイクルポータル推進協議会など、循環資材の利用に関する調査研究などに携わる既存の関係団体と連携することで進める。

② スケジュール

2013年9月～

③ 主な活動成果

災害からの復興における社会基盤整備への復興資材等の利用のあり方に関する提言、2014年3月

<https://www.jiban.or.jp/images/file/fukkoshizaiteigen20140328.pdf>

災害からの復興における社会基盤整備への復興資材等の利用のあり方に関する提言一解説一、2014年3月

<https://www.jiban.or.jp/images/file/fukkoshizaiteigen-kaisetsu20140328.pdf>

- (4) 公益社団法人土木学会 東日本大震災特別委員会 復興施工技術特定テーマ委員会（委員長 吉田明 大成建設）

① 概要

震災後の復旧・復興の第一歩として不可避である「がれきの処理とその再利用」と「土壌および地下水の浄化」について様々な角度から検討を行い、被災自治体に対する技術的支援や提案を行った。

a) 津波堆積土砂（市街地堆積土砂）

- ・ 宅地造成にはそのままでも利用可能であることを室内試験より検証した。また、適切な土質改良（遮水・排水対策）を行えば、一般堤防にも使用可能であることを示した。

b) 津波堆積土砂（農地部堆積土砂）

- ・ 浸水農地の大半は仙台市から南の海岸沿いに分布するが、事前処置や固化材工を行えば、経済的、現実的な再利用（宅地、道路、一般堤防など）に使用可能であることを示した。

② スケジュール

2011年4月～2012年3月

③ 主な活動成果

復興施工技術特定テーマ委員会第1回報告、2011年4月

<http://www.jsce.or.jp/library/eq20110311/report/03-6/01/03-6-01.pdf>

復興施工技術特定テーマ委員会第2回報告、2011年7月

<http://committees.jsce.or.jp/2011quake/node/92>



## 2.1.2 建設発生土

大船渡地域復旧復興工事施工確保対策連絡調整会議（座長 岩手県沿岸広域振興局 副局長）

### ① 概要

建設発生土は、岩手県全体で約 15 百万 m<sup>3</sup> が余剰となる一方、宮城、福島両県では相当量が不足する。そこで、国や県などの関係部署、大船渡市、陸前高田市、気仙沼市と気仙沼土木事務所、岩手県建設業協会大船渡支部、岩手県気仙生コンクリート協同組合、気仙地方砕石砂利事業協同組合など 18 機関で組織される会議体を設置。土量の過不足状況を正確に把握したうえで、宮城、福島両県との広域的土量調整の可能性を検討する。

### ② スケジュール

2013 年 4 月～

## 2.2 各再生資材の特徴と主な利用用途

各再生資材の特徴、主な利用用途およびそれらに係る指針・ガイドラインなどについて、参考表 2.1 と参考表 2.2 にまとめた。

参考表 2.1 各再生資材の特徴と主な利用用途 1

| 名称                     | 災害廃棄物（震災がれき）   |  |   |
|------------------------|--|--|---|
|                        | 津波堆積物  | コンクリートがれき  | がれき焼却残渣   |
| 概要                     | 津波によって陸地に運ばれた海底の土砂であるが、木片や不燃物を一部含む。  | コンクリートの他に、軽量ブロック、レンガ、タイル、瓦などの無機質がれきを含む。  | 可燃混合物や流木等を焼却した際の残渣  |
| 推定発生量                  | 岩手、宮城・福島県の主要3県で、1,062～2,256万トン <sup>1)</sup>   | 主要3県で300万トン以上 <sup>2)</sup>  |   |
| 特徴                     | 元は海底土砂であるが、沿岸部地盤の状態によって、粒度組成が異なり、木片やコンクリートくず等の異物の混入状況も異なる。分級して粒度を調整した後、使用される。  | 不燃性。建設現場等で排出されるコンクリート解体材については、従来から再生骨材としての利用が発達しており、技術が確立している。ただし、震災がれきの場合、塩分や津波堆積物の付着状態、元のコンクリートの品質、処理の程度などで品質に幅が生じることに注意が必要。               | 飛灰<br>・粉末状の微細な粒子<br>・有害物質や放射能濃縮の可能性<br>主灰<br>・かなりの割合で土砂分を含む<br>・燃焼で木材等の残留は少ない<br>・セメント等を加えて固化処理後、使用することが検討されている<br>溶融スラグ<br>・スラグ化による放射能低減効果が期待  |
| 土木分野における主な利用用途（検討中も含む） | <ul style="list-style-type: none"> <li>・海岸防災林</li> <li>・盛土材</li> <li>・防災緑地</li> <li>・海岸堤防</li> <li>・地盤かさ上げ材料</li> <li>・道路用盛土など</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・海岸防災林</li> <li>・再生骨材</li> <li>・盛土材</li> <li>・地盤かさ上げ材料</li> <li>・ケーソン中詰材</li> <li>・基礎地盤材など</li> </ul> | 飛灰<br>(なし)<br>主灰<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーソン中詰材</li> <li>・河川堤防中詰材</li> <li>・地盤かさ上げ材料</li> <li>・基礎地盤材など</li> </ul> 溶融スラグ<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・路盤材</li> </ul> |
| 指針、ガイドラインなど            | <p>環境省<br/>東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針（マスタープラン）、平成23年5月16日。<br/>東日本大震災津波堆積物処理指針、平成23年7月23日<br/>東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について（通知）、平成24年5月25日 環境省 環廃対発第120525001号、環廃産発第120525001号。<br/>福島県内における公共工事における建築副産物の再利用等に関する当面の取扱いに関する基本的考え方、平成25年10月25日<br/>林野庁 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会<br/>今後における海岸防災林の再生について、平成24年2月。<br/>国土交通省 都市局<br/>迅速な復旧・復興に資する再生資材の宅地造成盛土への活用に向けた基本的考え方、平成24年3月27日。<br/>東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針、平成24年3月27日。<br/>公園緑地の整備における盛土へのコンクリートくず活用手順（案）、平成24年3月27日。<br/>公園緑地の整備における盛土への津波堆積物の活用手順（案）、平成24年3月27日。<br/>岩手県<br/>復興資材活用マニュアル、平成24年6月29日。<br/>宮城県 環境生活部<br/>「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について（平成24年5月25日環境省通知）」の運用に関する県の考え方について、平成25年1月<br/>公益社団法人地盤工学会 東日本大震災対応調査研究委員会 地盤環境研究委員会<br/>災害廃棄物焼却主灰を原料とする再生資材の地盤材料利用を対象とした物性評価スキーム 第一版、平成24年12月。</p> |  |   |

1) 廃棄物資源循環学会 津波堆積物処理指針（案）、2011.

2) 災害廃棄物の処理の推進に関する関係閣僚会合資料 平成24年6月29日

参考表 2.2 各再生資材の特徴と主な利用用途 2

| 名称                     | 鐵鋼スラグ   | 非鉄スラグ  | 【参考】 石炭灰   |
|------------------------|---|--|--|
| 概要                     | 鉄鉄を作る際に生成する高炉スラグ（高炉水砕スラグ、高炉徐冷スラグ）と、鋼を製造する際に生成する製鋼スラグ（転炉スラグ、電気炉スラグ）に大別される。   | 銅、亜鉛等の非鉄金属の精錬や、ステンレス鋼等の原料となるフェロニッケルを精錬する際に生成するスラグ。いずれも熔融状態のスラグを急冷もしくは徐冷した後、粉碎・流動調整することで得る。   | 石炭の燃焼に伴って生成する。ボイラ底部から回収されるクリンカアッシュと、電気集じん器で回収されるフライアッシュから成る。   |
| 生成量                    | 高炉水砕スラグ：2,005 万トン<br>高炉徐冷スラグ：459 万トン<br>転炉スラグ：1,104 万トン<br>電気炉スラグ：273 万トン<br>(2012 年度)  | 銅スラグ：135 万トン<br>亜鉛スラグ：60 万トン<br>フェロニッケルスラグ：30 万トン<br>(2011 年度)   | 1,266 万トン(2012 年度)<br>クリンカアッシュとフライアッシュの生成比は、およそ 1:9  |
| 特徴                     | 高炉水砕スラグ<br>・ガラス質で粒状<br>・主成分は CaO と SiO <sub>2</sub><br>・天然砂よりも軽量<br>・砂と同等の透水性<br>・せん断抵抗角大<br>・水硬性を有する<br>高炉徐冷スラグ<br>・結晶質で岩石状<br>・主成分は CaO と SiO <sub>2</sub><br>・天然砂よりも軽量<br>・水硬性を有する<br>製鋼スラグ<br>・一般に 40mm 以下に破碎・整粒<br>・主成分は CaO、Fe、SiO <sub>2</sub><br>・天然砂よりも重い<br>・硬質・耐摩耗性に優れる<br>・せん断抵抗角大<br>・遊離石灰を含有し、水反応して膨張する | 徐冷された一部のフェロニッケルを除き、砂状を呈する<br><br>銅スラグ<br>・主成分は FeO と SiO <sub>2</sub><br>・天然砂よりも重く、角張っている<br>・水硬性はほとんどない<br><br>亜鉛スラグ<br>・主成分は FeO と SiO <sub>2</sub><br>・天然砂よりも重い<br><br>フェロニッケルスラグ<br>・主成分は SiO <sub>2</sub> と MgO<br>・天然砂よりも重い<br>・吸水率が低い | フライアッシュ：シルト粒径<br>クリンカアッシュ：多孔質、砂状<br><br>・主成分は SiO <sub>2</sub> と Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> で粘土に近い組成<br>・天然砂よりも軽量<br>・フライアッシュは、セメント、水などを加えた石炭灰混合材料として使用する。用途に合わせて、姿形、強度、透水性などをコントロール可能<br>・スラリー状で使用する場合、充填性能に優れる |
| 土木分野における主な利用用途（検討中も含む） | 水硬性を有することから、路盤材として使われるとともに、軽量であることを利用して、裏込材、盛土材などに利用される<br><br>高炉水砕スラグ<br>・裏込材、盛土材、覆土材、路床改良材<br>高炉徐冷スラグ<br>・路盤材<br>転炉スラグ<br>・埋戻材、裏込材、地盤改良材、路盤材<br>電気炉スラグ<br>・埋戻材、裏込材、路盤材など  | 天然砂よりも重いことを利用して、中詰材として使われることが多い<br><br>銅スラグ<br>・ケーソン中詰材<br>亜鉛スラグ<br>・ケーソン中詰材<br>フェロニッケルスラグ<br>・ケーソン中詰材、路盤材、地盤改良材<br>など   | 天然砂よりも軽く、固化後の自立性も良いことを利用して、軟弱地盤上の盛土材や、土圧低減、側方変位抑制を目的とした裏込材などに使われる<br><br>・裏込材、橋台背面盛土材、軟弱地盤上の盛土材、路盤材、裏埋材など  |
| 指針、ガイドラインなど            | 一般財団法人沿岸技術研究センター<br>・港湾・空港工事における水砕スラグ利用技術マニュアル、2007.  | 一般財団法人沿岸技術研究センター<br>・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.  | 財団法人石炭エネルギーセンター<br>・港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドラン、2011.<br>・本ガイドライン  |



