

石炭灰を活用した防潮堤盛土実証試験

(株)大林組 正会員 ○佐々木 徹
 (株)大林組 正会員 山田 祐樹
 (株)大林組 正会員 井出 一貴
 相馬環境サービス(株) 正会員 熊谷 祐一

1. まえがき

電気事業と一般産業から排出される石炭灰は、平成23年度には1,157万トンに達しており、このうち763万トンがセメント分野に、155万トンが土木分野に利用されている。東日本大震災による原子力発電所の事故に伴い、エネルギー政策は大きな転換が求められ、再生可能エネルギーの導入とともに火力発電所の比率を高めるといった情勢のため、今後石炭灰の発生量は増加するものと考えられる。一方、被災地においては津波対策として防潮堤や防災緑地などの震災復興工事が進められているが、盛土材が大量に不足し、高騰している。

そこで、盛土材の代替材として石炭灰に着目したが、石炭灰に微量に含まれる重金属等の溶出に対し、環境安全性を確保することが必要である。近年、電力会社や大学、建設会社など多岐にわたる部門で、石炭灰の不溶化処理技術が進められており、土木材料として有効利用することが可能となってきた。

当社も、固化材、助剤および水を攪拌混合することで、石炭灰を不溶化処理する技術を開発し、不溶化処理した石炭灰（以下、石炭灰改良材と称す）の防潮堤盛土材としての適用性を確認するため、実物大の防潮堤盛土を築造し、実証試験を実施した。本報では、実証試験の概要および試験結果について報告する。



写真 1-1 防潮堤盛土の全景写真

2. 実証試験の概要

(1) 実証試験の目的

実証試験では、以下のことを確認した。

- ・石炭灰改良材の環境安全性⇒重金属等の溶出量が土壤環境基準値以下であること
- ・石炭灰改良材の品質⇒湿潤密度 $\rho_t \geq 1.326 \text{g/cm}^3$ ，一軸圧縮強さ $q_{u28} \geq 300 \text{kN/m}^2$
 （地震時、津波波力時および津波浸水時の安定検討結果より）
- ・石炭灰改良材製造時、防潮堤盛土構築時の施工性

(2) 使用材料および配合

石炭灰は、火力発電所から発生する2種類の新生灰を使用した。各灰の溶出試験結果を表2-1に示すが、いずれの石炭灰も重金属等の溶出量が土壤環境基準を超過した。

これらの石炭灰に対して不溶化試験を実施し、固化材および助剤の配合を表2-2のように設定し、石炭灰改良材を製造した。

(3) 実証試験の規模

石炭灰防潮堤盛土は、発電所用地内で実施したが、発電所内での制限があったことから、図2-1に示すように幅14m、長さ39m、高さ3.5m（石炭灰改良材3m、基礎砕石0.2m、覆土0.3m）、のり面勾配1:1.5とした。

表 2-1 使用した石炭灰の溶出試験結果

試験項目	単位	試験灰①	試験灰②	基準値
pH	—	8.4	11.0	—
EC	mS/m	40.6	100	—
土壌溶出量 (環告46号)	As	mg/L	0.24	0.006
	Cr(VI)	mg/L	<0.01	0.09
	Se	mg/L	0.051	0.027
	B	mg/L	1.7	1.3
	F	mg/L	2.3	1.6

表 2-2 石炭灰改良材の配合

石炭灰	高炉セメント	助剤	水
乾燥質量1,000kg	100kg	20kg	116L

キーワード 石炭灰、不溶化処理、防潮堤、有効利用、実証試験、震災復興

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL 03-5769-1302

(4) 石炭灰改良材の製造、施工、品質管理

石炭灰改良材は、事前の混合試験結果より、均質に攪拌混合でき、環境安全性を満足したプラント混合方式を適用した。

石炭灰改良材のまき出し厚さおよび締固め回数については、事前に実施したモデル施工より、以下のように設定した。

なお、締固め度の管理基準値は、「河川土工マニュアル」に準拠して 90%以上とした。

- ・まき出し厚さ：t=35cm/層（7ton 級ブルドーザ使用）
- ・仕上がり厚さ：t=30cm/層（10 層仕上げ）
- ・締固め回数：N=6 回（4ton 級コンバインドローラ使用）
- ・品質管理方法：RI 計器，砂置換による密度管理

3. 実証試験結果

(1) 溶出量試験結果

防潮堤盛土の各ボーリング地点で採取したコアの上下 2 試料（上部：試験灰②，下部：試験灰①）を用いて溶出試験を実施した。

表 3-1 に盛土施工後 1 ヶ月，6 ヶ月経過した時点の溶出試験結果を示すが、重金属等 8 項目について土壤環境基準に適合した。また，表面水，地下水を採水して水質試験を実施したが，いずれも土壤環境基準，地下水基準に適合した（表 3-2，表 3-3）。

(2) 石炭灰改良材の品質について

石炭灰改良材の一軸圧縮強さは，材齢 7 日で 1,000～3,000kN/m²，材齢 28 日で 4,000～10,000kN/m² 以上が得られ，目標強度である q_{u28}=300kN/m² を十分に満足した。

また，石炭灰盛土材の湿潤密度は，日常管理時の RI 計器，砂置換法およびボーリングコアを用いて測定した。

湿潤密度は 1.55g/cm³ 以上を示し，いずれの石炭灰改良材も目標値（ρ_t≥1.326g/cm³）を満足した。

(3) 施工性について

石炭灰改良材製造時に，石炭灰や石炭灰改良材がホッパー部で閉塞したり，固化材攪拌不足などの不具合は発生せず，均質な石炭灰改良材を安定供給できた。

また，防潮堤盛土の築造時には，通常の造成工事で使用される施工機械を用いたが，

トラフィカビリティを確保でき，効率的な施工ができた。

このように，特殊な施工機械を必要とせず，汎用性のある施工機械で施工可能であることが確認できた。

4. あとがき

石炭灰を活用した防潮堤盛土の実証試験を実施したが，防潮堤盛土として要求される品質は確保し，環境安全性についても問題ないという結果が得られた。実証実験より，石炭灰改良材を用いた盛土構築工法が震災復興関連事業に関連する防潮堤や防災緑地工事などに適用できることを確認している。

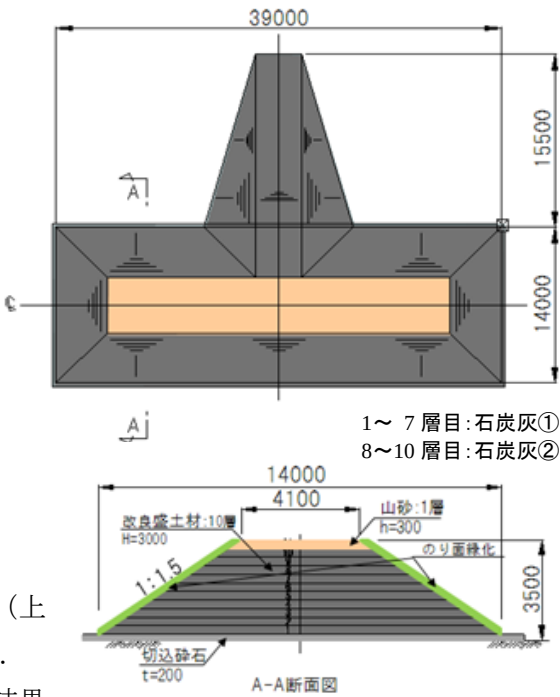


図 2-1 防潮堤盛土平面・断面図

表 3-1 石炭灰改良材の溶出試験結果

試験項目	単位	No.1(西側)		No.2(東側)		No.3(中央)		土壤溶出量基準
		下部	上部	下部	上部	下部	上部	
		実証試験灰①	実証試験灰②	実証試験灰①	実証試験灰②	実証試験灰①	実証試験灰②	
養生期間		1ヶ月		1ヶ月		6ヶ月		
pH	—	11.5	12.1	11.5	11.9	11.4	11.4	—
EC	mS/m	75	243	77	140	67.7	84.0	—
Hg	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Pb	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01
As	mg/L	0.007	<0.001	0.006	<0.001	0.007	0.004	0.01
Cr(VI)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05
Se	mg/L	0.007	<0.001	0.008	0.002	0.009	0.008	0.01
B	mg/L	0.27	0.14	0.30	0.69	0.29	0.24	1
F	mg/L	0.20	0.12	0.18	0.18	0.17	0.17	0.8

表 3-2 表面水の水質試験結果

試験項目	単位	表面水	土壤環境基準
pH	—	9.8	—
EC	mS/m	20.4	—
水温	℃	—	—
Hg	mg/L	<0.0005	0.0005
Pb	mg/L	0.002	0.01
Cd	mg/L	<0.001	0.01
As	mg/L	0.002	0.01
Cr(VI)	mg/L	<0.01	0.05
Se	mg/L	0.001	0.01
B	mg/L	0.67	1
F	mg/L	<0.1	0.8

表 3-3 地下水の水質試験結果

試験項目	単位	施工前	施工直後	11ヶ月経過	地下水基準値
pH	—	6.1	6.3	6.3	—
EC	mS/m	158	163	86.9	—
水温	℃	12	14	17	—
Hg	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Pb	mg/L	<0.001	<0.001	<0.005	0.01
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.005	0.01
As	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	0.01
Cr(VI)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.05
Se	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	0.01
B	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	1
F	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	0.8