

苫小牧港岸壁改良での石炭灰を有効活用した改良土の配合設計における一考察

室蘭開発建設部 苫小牧港湾事務所 第1工務課 ○ 石田 大和
佐々木 智之
井元 忠博

苫小牧港西港区及び東港区では、老朽化対策や震災時の物流を確保する耐震機能を有した岸壁などの改良工事を進めている。改良工事のうち埋立工においては、火力発電所から発生する石炭灰を活用した土砂改良工法を継続して採用しており、H22年度に配合設計と施工方法について、H26年度に改良土の強度特性について報告を行った。本報告では、土砂の性状と固化材料の配合に着目し、それら特性をとりまとめた結果を報告する。

キーワード：土砂改良、石炭灰、粒度分布、リサイクル

1. はじめに

苫小牧港は、北海道南西部太平洋岸に位置する国際拠点港湾であり、北海道の港湾貨物量の半数近くを扱う北海道経済にとって重要な役割を担う港である。このため西港区および東港区において、老朽化対策や大規模地震時の物流を確保することなどを目的として、平成21年度から耐震機能を有した岸壁などの改良工事を継続して行っている。現在の進捗状況としては、西港区西ふ頭において平成23年度より整備を開始し、全3バースの内、1バース目の耐震強化岸壁が平成25年9月より供用を開始している。現在は、平成27年8月に2バース目を一部供用開始し、平成28年より引き続き2バース目終了点部および3バース目の施工を進めている。

改良工事のうち埋立工においては火力発電所から発生する石炭灰を有効活用した土砂改良工法を採用している。本報告では過年度から実施している改良工事により蓄積された配合試験データの結果より改良土砂の粒度特性と海水添加量の関係について相関性が確認されたのでこれらについて報告する。

2. 石炭灰（フライアッシュ）について

フライアッシュの使用目的は水中打設時の材料分離を防止するものである。一般的に事前混合処理土を水中打設する際には分離防止材が必要となるが、微粉末の粉体と水によるペースト分が糊の役割をしてこれが不要となる。

苫小牧港では過年度の成果により1m³当たり300kgのフライアッシュを添加した場合が最も材料分離を抑制して

いる。¹⁾また、フライアッシュ自体がセメントの材料であることから固化材料であるセメント量の低減にも寄与している。

フライアッシュの入手については写真-1に示すように近隣に苫東厚真発電所があり、比較的入手が容易なため、過年度より継続して土砂改良に用いている。

苫東厚真発電所は北海道最大規模の発電設備を有する火力発電所である。図-1に苫東厚真発電所における石炭灰の発生量と有効利用量の推移を示す。年間約40万tの石炭灰が有効利用されているが、更に恒常的で大量に有効利用可能な活用方法が求められている。図-2は平成27年度におけるリサイクルされているフライアッシュの内訳であり、地盤改良に用いられているのは全体の2.7%（約1.1万t）で苫小牧港の整備では約4,500t使用（平成27年度工事実績）しており有効活用の促進に寄与している。



写真-1 苫小牧港

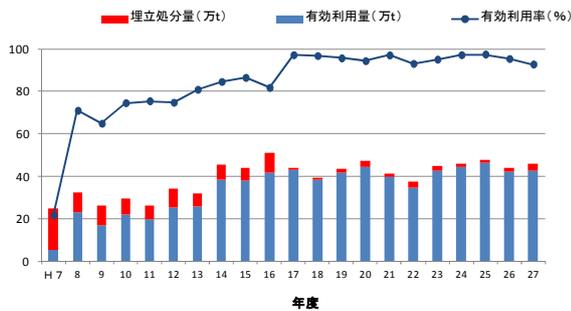


図-1 石炭灰の発生量と利用量²⁾

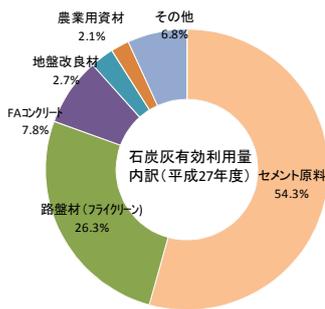


図-2 石炭灰の有効利用における利用割合²⁾

3. 室内配合試験の方法

本現場では、写真-2に示すようにタイワイヤー及び控え杭があるため、ダンプ運搬等による直接投入が困難であることからポンプ圧送による施工を行うものとしている。ポンプ打設に必要な所定のフレッシュ性状（過年度実績よりスランプ値19~20cm程度）を確保する配合の決定のため、埋め立てに使う土砂からあらかじめ試料の密度、粒度、含水比試験を行い過年度の実績より目安をたて、所定のフレッシュ性状となる海水添加量を決める。また、目標とする一軸圧縮強度（ σ_{28} ）は、設計値の2倍³⁾とし、その時の養生温度は強度に与える影響が大きいことから、打設時の海水温とし、これらの強度発現を確認し配合を決定している。

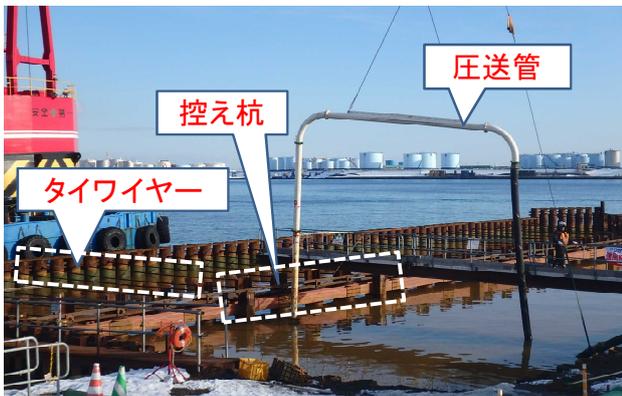


写真-2 打設状況

また、固化材料であるセメントとフライアッシュを混合したものは、水中打設時の分離抵抗性を確保するためC（セメント）40kg/m³：F（フライアッシュ）300kg/m³を下限值（水中コンクリートの最小セメント量340kg/m³を準用）⁴⁾としている。

4. 土砂の性状と配合の関係について

事前混合処理土に使用した土砂は、主に東港区では浚渫土砂、西港区では岸壁改良工事で発生した原地盤の土砂を使用している。これまでに使用した土砂は施工年度別に15種類になり、砂質土、シルト質土として分類され、それぞれ図-3、4に示す。

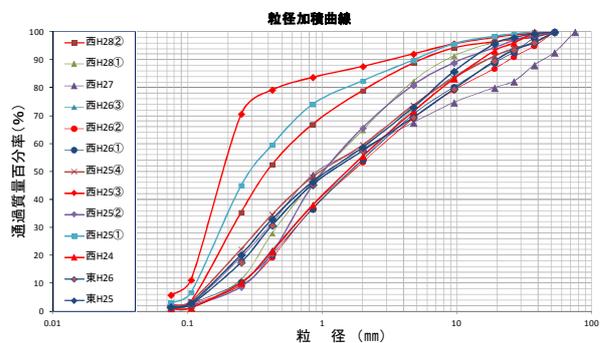


図-3 砂質土の粒径加積曲線

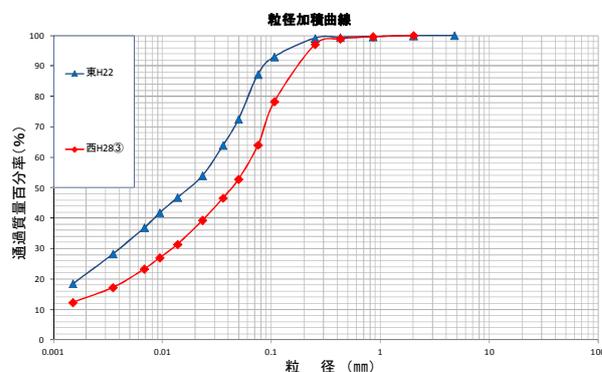


図-4 シルト質土の粒径加積曲線

これらの土砂について室内配合試験により決定した配合を表-1、2に示す。海水添加量は、砂質土に対してシルト質土を使用した場合は約2倍程度と増大する傾向が見られる。また、砂質土においてC40kg/m³：300kg/m³の固化材料を添加する配合でも海水量は255kg/m³~360kg/m³と大きくバラツキがある結果であった。その中でも特に改良材添加量が同一で、粒度分布が酷似している2ケースを図-5、6に示す。それぞれ2種類の砂質土に添加する海水量を比較すると図-5の土砂については海水添加量255kg/m³と260kg/m³とほぼ差は無いのに対し図-6の土砂では255kg/m³と295kg/m³と著しい違いが

あった。さらに改良材が同一添加量でかつ、海水添加量が255kg/m³と同じになったものを図-7に示すが粒度分布は異なるものとなっていた。

表-1 室内配合試験結果 (砂質土)

番号	C:F (kg/m ³)	海水 (kg/m ³)	配合強度 σ_{28} (KN/m ²)	養生温 度 (°C)
東H25	40 : 300	265	370	3
東H26	40 : 300	260	861	8
西H24	40 : 300	260	175	3
西H25①	60 : 300	325	713	3
西H25②	40 : 300	295	246	3
	60 : 300	295	663	
西H25③	40 : 300	360	262	3
	60 : 300	360	645	
西H25④	40 : 300	255	377	3
西H26①	40 : 300	255	840	15
西H26②	40 : 300	255	823	15
西H26③	40 : 300	250	545	10
	50 : 300	250	1164	
西H27	40 : 300	280	543	9
	40 : 300	280	367	5
	50 : 300	285	647	
西H28①	40 : 300	255	907	9
	50 : 300	255	1189	
西H28②	40 : 300	335	334	3
	50 : 300	335	476	
	60 : 300	340	656	

表-2 室内配合試験結果 (シルト質土)

番号	C:F (kg/m ³)	海水 (kg/m ³)	配合強度 σ_{28} (KN/m ²)	養生温 度 (°C)
東H22	80 : 300	580	1212	20
西H28③	40 : 300	620	69	3

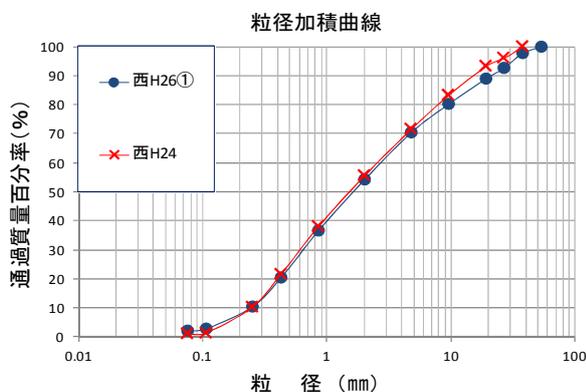


図-5 粒度分布の比較①

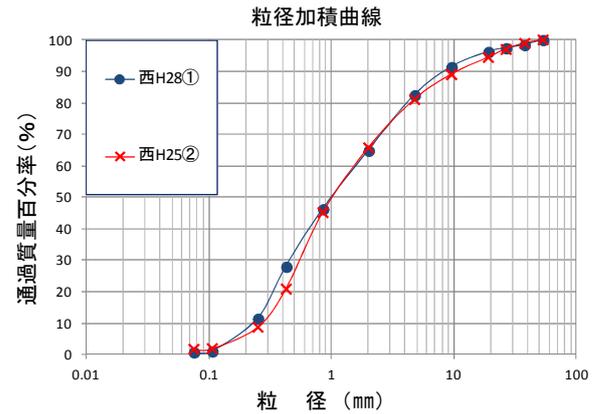


図-6 粒度分布の比較②

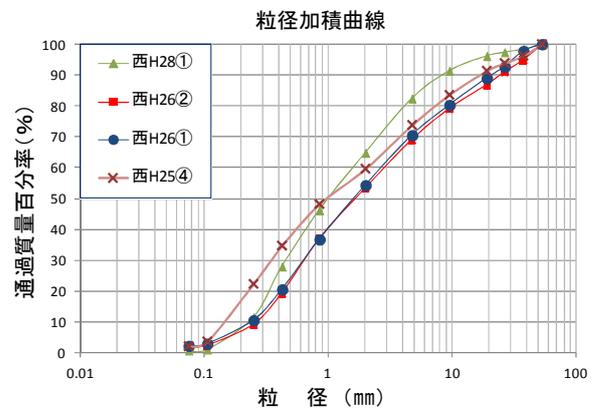


図-7 粒度分布の比較③

全体的な粒度分布の広がりや海水添加量には相関性が見られなかったことから、ある特定の粒径範囲が影響を及ぼすものと推測し、粒径とその通過質量百分率についてより詳細な検討を行うものとした。

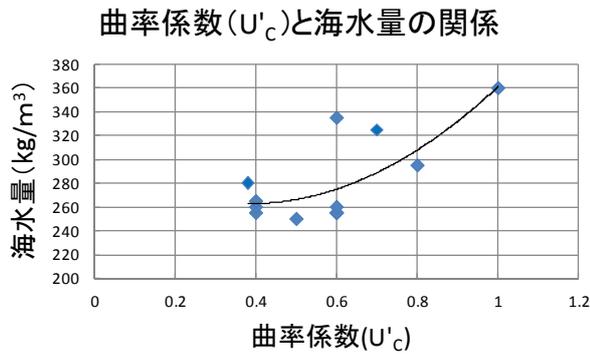
5. 検討結果

粒度分布の広がりや海水添加量には相関が確認されなかったことから、粒度分布の良否に用いられる均等係数及び曲率係数を用いて検討を行った。均等係数 (U_c) は粒径加積曲線の勾配、曲率係数 ($U'c$) はなだらかさを表す指標で一般的に $U_c \geq 10$ 、 $U'c = 1 \sim 3$ の値となる粒度分布が良いとされており、粒径加積曲線の通過質量百分率の60% (D_{60})、30% (D_{30})、10% (D_{10}) 相当の粒径で算出されるものである。

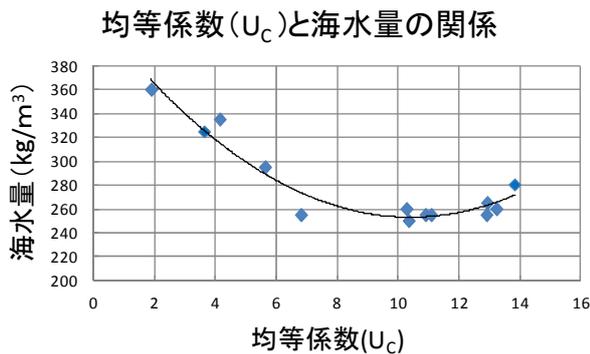
図-8に曲率係数と海水量の関係、図-9に均等係数と海水量の関係を示す。

曲率係数が0.6の時に海水添加量255kg/m³~335kg/m³と大きく差があることやバラツキも大きいことから、粒径加積曲線のなだらかさと海水添加量には相関性が見られな

かった。これに対し均等係数と海水量については、均等粒径となる1に近づくほど海水量が増大し、10を境にまた海水量が増加していく傾向が確認されたことから、均等係数と海水添加量に相関性があることが判った。よって、配合に使用する土砂の粒径加積曲線の通過質量百分率におけるD60、D10の間の勾配と海水添加量が関係しており、これらがポンプ打設に必要な流動性に影響していると考えられる。



図一八 曲率係数と海水量の関係



図一九 均等係数と海水量の関係

6. まとめ

事前混合処理土をポンプ施工が可能なスランプ値を満足する条件において、砂質土をフライアッシュとセメントで改良した場合に均等係数と海水添加量の関係に相関が見られ、おおよそ均等係数10を境に海水量が増加する傾向があることが確認された。

海水量の増加は強度の低下に繋がり、強度発現のためセメント量を増加させなければならない場合がありコストの増加にも影響することから、海水量添加量は極力減らすことが望ましく、海水量が多くなる土砂でも、他の土砂と混合し均等係数を調整することにより経済的な施工が可能となるものと思われる。

7. おわりに

苫小牧港はフライアッシュの入手が比較的容易であり、今後も地盤改良時には同じ施工方法が実施されていくと想定されるため、今後もデータの蓄積を図っていきたい。

参考文献

- 1) 森昌也・新垣英隆・高田稔年(2009)：苫小牧港東港区耐震強化岸壁における石炭灰を有効活用した土砂改良について、平成21年度技術研究発表会、技-49
- 2) 北海道電力(株)パンフレット (COAL ASH)
- 3) 財団法人 沿岸技術研究センター(2008)：事前混合処理工法技術マニュアル(改訂版)
- 4) 佐藤篤志・横山大介・今林弘(2014)：苫小牧港の係留施設における石炭灰を有効活用した改良土の強度特性について、平成26年度技術研究発表会、コ-2