

石炭灰を道路盛土材料に有効利用した事例

小川 善史¹

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 調査第二課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

石炭火力発電所で発生する「石炭灰」は再生資源として有効活用するための研究開発が関係各方面で積極的に進められ、セメントの原料や路盤材などの土木・建築分野をはじめとする多くの分野で利用されている。

「石炭灰」は発電所内の各発生場所によりフライアッシュとクリンカアッシュに大別され、今回はこのクリンカアッシュを道路盛土材料(軽量盛土材)として有効利用しコスト縮減とリサイクルを図った事例を報告する。

キーワード 軽量盛土, コスト縮減, リサイクル

1. はじめに

本論文の事例として紹介する「永平寺大野道路東遅羽口地区他切土その他工事」は福井県の勝山市内(図-1)において施工した中部縦貫自動車道の一部を構成する永平寺大野道路(26.4km)の4工区(勝山IC～大野IC間)における工事区間約1kmの道路改良工事である。

工事内容は山間部における切土V=約350,000m³、路体盛土V=約230,000m³の土工事その他、横断函渠工や補強土壁工、地盤改良工、橋梁下部工、市道付替の施工を行う工事である。



図-1 工事箇所位置図

2. 高盛土箇所における設計段階での問題点

今回の道路建設により現況道路や水路敷等の機能が分断される箇所が数箇所存在し、その機能復旧として横断函渠工等の検討が必要となり、各横断函渠工の計画箇所内の1箇所(図-2-1)については道路計画上、最大土被り厚で約15m(図-2-2)となることから、この設計条件下で、一般材料

(土砂:単位体積重量 $\gamma = 19\text{KN/m}^3$)を使用し設計した場合、コンクリート厚が2500mmとなり(図-2-3)、横断函渠工の品質、経済性等についての問題が発生した。

なお対策としては軽量盛土工法の適用を検討し、盛土自体を軽量化し、構造物に作用する土圧等を軽減し、横断函渠工の構造を抑えることを検討することとした。

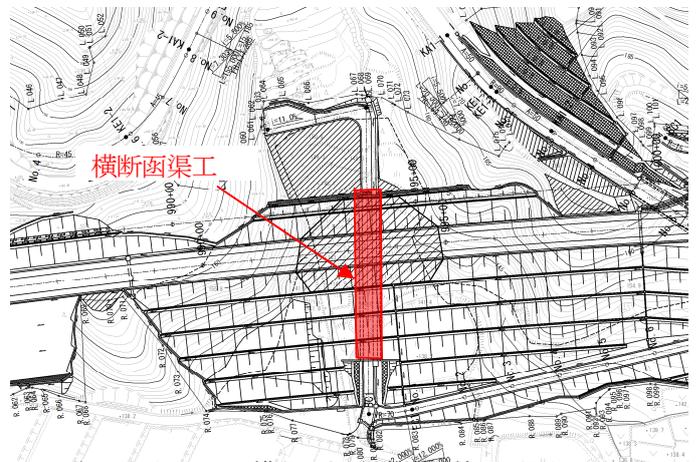


図-2-1 横断函渠工 施工箇所平面図

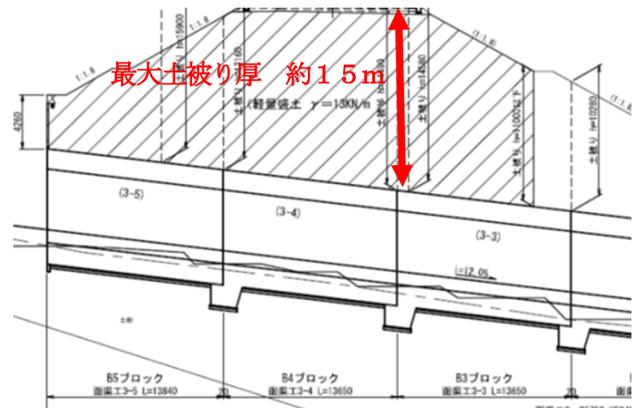


図-2-2 横断函渠工部 横断面図

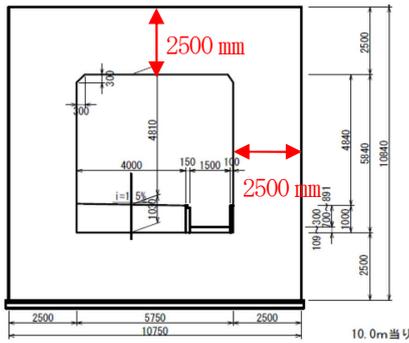


図-2-3 横断函渠工 断面図

軽量盛土材料	単位体積重量	軽量盛土材の使用量	横断函渠工コンクリート厚	必要地耐力	現場調達性 (今回は500m ³ /日程度必要)	経済性 (クリンカアッシュを1)	総合評価
A	$\gamma=0.3\text{KN/m}^3$	3,200m ³	1,300~1,700mm	414KN/m ²	○可能	1.2	○
B	$\gamma=9.5\text{KN/m}^3$	8,200m ³	1,300~1,700mm	414KN/m ²	○可能	1.3	○
クリンカアッシュ	$\gamma=13\text{KN/m}^3$	13,500m ³	1,300~1,700mm	414KN/m ²	△ 平均100m ³ /日 ・発電所	1	今回採用
一般材料(土砂) ※参考	$\gamma=19\text{KN/m}^3$	13,500m ³	2,500mm	563KN/m ²	○可能	1.6	△

表-1 軽量盛土材 比較検討表

3. 軽量盛土材の検討

横断函渠工の設計においては各設計条件を踏まえ、現在我が国で使用されている主な軽量盛土材料の他に、石炭灰(以下クリンカアッシュ)を含めて軽量盛土材の選定にあたり比較検討を行った。検討結果については下記(図-3-1・表-1)のとおりであり、軽量盛土材を使用すれば横断函渠工のコンクリート厚が1300mm~1700mmとなり(図-3-2)、一般材料(土砂)を使用したケースと比べ、コンクリート厚を抑えことが可能となることや必要地耐力も軽減することが可能となった。中でも今回はクリンカアッシュを使用したケースが他の軽量盛土材を使用したケースと比較して、材料使用量は多いが、材料自体の価格が他の軽量盛土材と比べて安価なこともあり、トータルコスト的に優れていることが分かった。

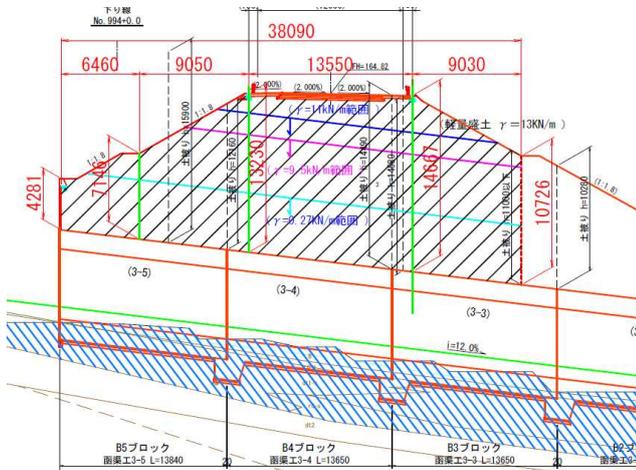


図-3-1 横断函渠部横断面図 (軽量盛土材の検討)

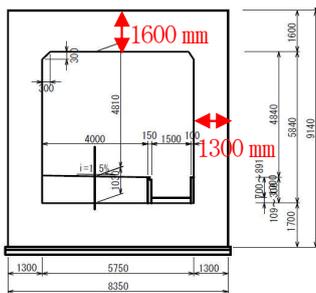


図-3-2 横断函渠工 断面図
(上載盛土を軽量盛土材とした場合)

検討結果を踏まえ今回は軽量盛土材を使用することとしたが、経済性で優れたクリンカアッシュを軽量盛土材として使用することについての判断の際、今回の設計条件である $\gamma=13\text{KN/m}^3$ 以下を現場で確実に確保することについての品質管理手法が未確立であること、火力発電所における特殊な生産(発生)ということもあり、日平均で100m³程度の生産量であるのに対して、今回の現場で必要な日施工500m³程度を日々調達できないことが本工事の工程にも影響があるとされた。

そこで今回は事前に物理試験のデータを十分に収集し、その情報をもとに現場試験施工等で所定の締固め度と設計条件 $\gamma=13\text{KN/m}^3$ を確保することが可能かを事前に確認を行うこととした。また材料調達の問題については事前に現場内にクリンカアッシュの仮置きヤードの確保を行い、事前調達を行うこととした。

以上、他の軽量盛土材についても一般材料(土砂)と比較しても品質や経済性等について優れた点もあったが、今回はクリンカアッシュを採用することでコスト削減に繋がることとあわせて、リサイクルの観点も含め設計段階において採用することとした。

4. 施工プロセス検討

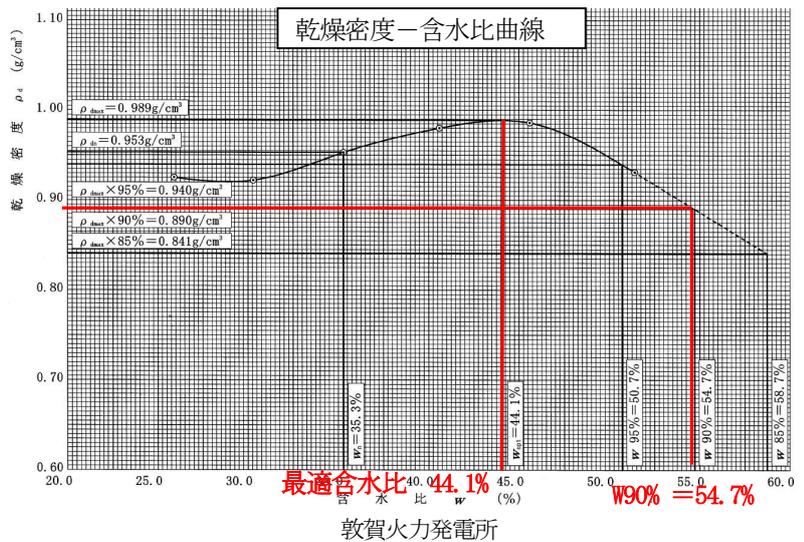
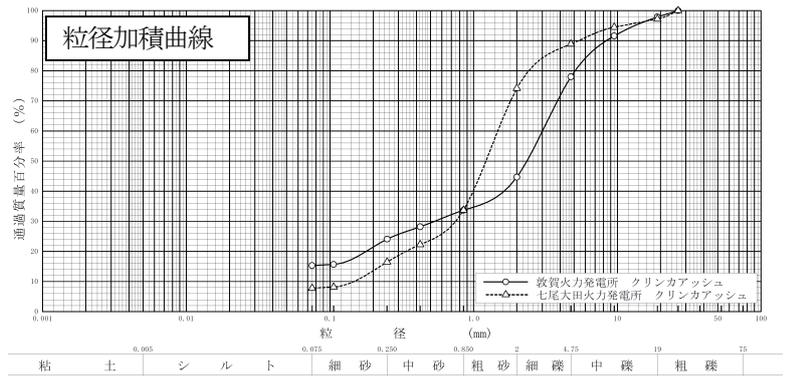
現場の本施工に向けた品質管理手法については、本工事の具体的な施工計画の立案の後、本工事で必要なクリンカアッシュの室内試験項目等を抽出・実施し、得られたデータを確認し、含水比と密度との関係を整理する。

データ整理後、試験施工を行い、転圧回数と締固め度の関係の他、沈下量、密度との関係を整理し、本施工時の管理方法を決定し、クリンカアッシュを軽量盛土材として適合が可能かの最終確認を行う。

下記の施工プロセスフロー図で軽量盛土材としての規格を満足するための品質管理手法の確立を行うこととした。



図-4 施工プロセスフロー図



5. 室内試験の実施

今回のクリンカアッシュについては仮置きヤードを確保し、事前に材料調達を行うこととしていたが、工程管理上の観点より、さらなる安定供給を図るため「福井県敦賀火力発電所」と「石川県七尾大田火力発電所」の2箇所から搬入する計画とした。

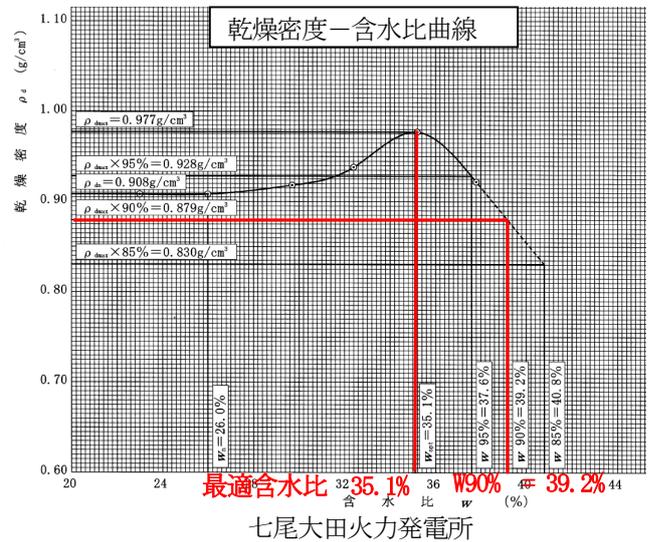
今回はこの2試料について室内試験を行った。

(1)物理試験結果

土粒子の密度試験、土の粒度試験、土の締め固め試験結果等を下記の表-2及び各試験結果資料に示す。

試験項目	敦賀火力発電所産	七尾大田火力発電所産	
土粒子の密度試験 (g/m ³)	2.054	2.311	
土の粒度試験	礫分(2~75mm) %	55.3	25.8
	砂分(0.075mm~2mm) %	29.4	66.4
	細粒分(0.075mm未満) %	15.3	7.3
地盤材料の分類名	粘性土質砂質礫	粘性土まじり礫質土	
突固めによる土の締め固め試験: 最適含水比 (%)	44.1	35.1	
締め固めた土のコーン指数試験 (kN/m ²)	9074.1	5394.1	
CBR試験 (%)	74.8	20.1	

表-2 物理試験結果



上記より、火力発電所の違いにより粒度範囲に違いが見られた。なお全体的には礫分・砂分が主体となっている。このため、透水性が高い材料であると判断できる。またコーン指数が1200kN/m²より高いことから、敷均し後におけるダンプトラック等の工事車両の通行も可能と考えられる。

CBR値は、敦賀火力発電所産では平均CBR74.8%、七尾

大田火力発電所産では平均CBR20.1%と高い値が確認できた。よって、路床盛土材料として、適用可能な材料であると判断できる。

(2)突固めによる土の締固め試験結果

含水比条件を任意に6ケース設定し、締固め後の単位体積重量の変化を確認した結果が下記(図-5-1,2)のとおりである。

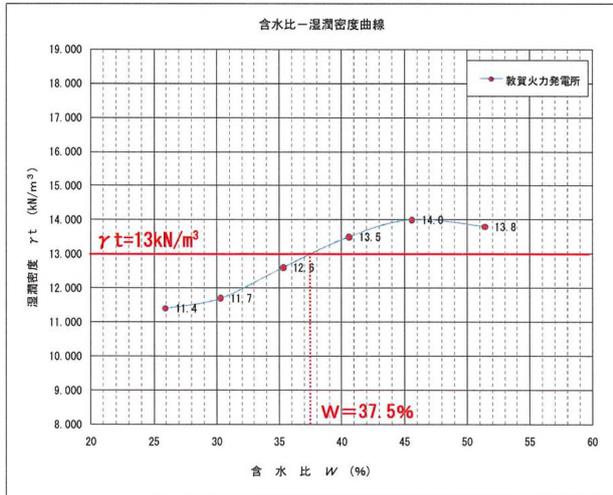


図-5-1 含水比-湿潤密度相関図
敦賀火力発電所

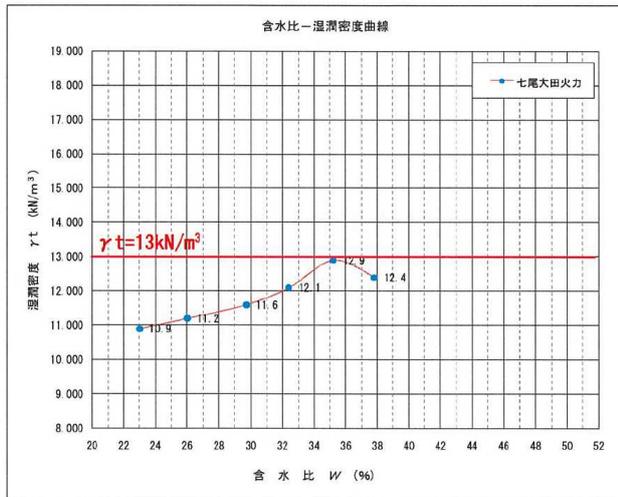


図-5-2 含水比-湿潤密度相関図
七尾大田火力発電所

今回の設計条件 $\gamma = 13.0 \text{ kN/m}^3$ 以下の確保について、敦賀火力発電所産のクリンカアッシュの締固めを行う際の管理値(含水比)内である37.5%になると規格を超えてしまうことが分かり、現場では含水比が37.5%以下でかつ締固め度を満足することが条件となった。

七尾大田火力発電所産ではいずれの含水比条件においても管理値を満足することが確認できた。

6. 試験施工 (盛土)

(1)試験概要

- a) 盛土材料 : 軽量盛土材(クリンカアッシュ)
(敦賀火力発電所及び七尾大田火力発電所の2種類)
- b) 試験位置 : 軽量盛土材仮置き場
- c) 施工ヤード規模
試験ヤード 8m×8m=64m²
撤出し厚 t=35cm
土工量 V = 64m²×0.35m=22.4m³
敦賀火力発電所・七尾大田火力発電所分 2箇所
- d) 転圧仕様
締固め機種 : 10t級振動ローラ
仕上り厚 : 30.0cm
転圧回数 : 6回以上
品質管理方法 : RIによる密度試験

試験盛土内容を下記の試験施工図及び写真 5-1~3 に示す。

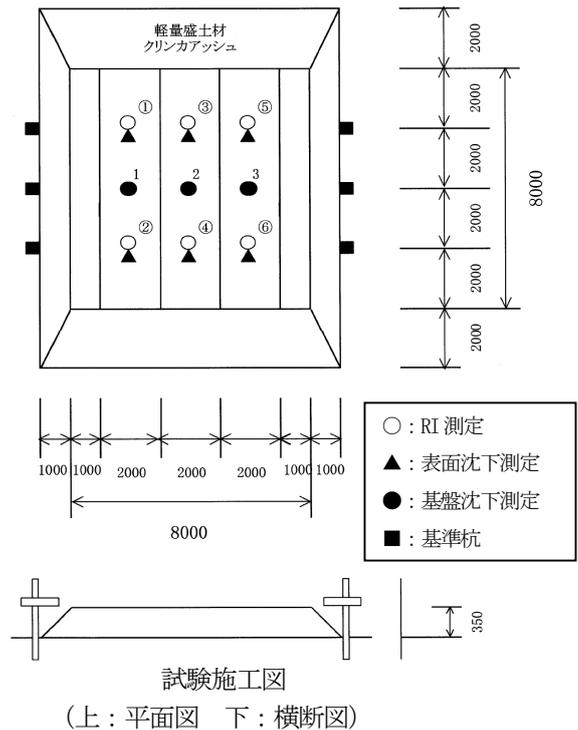


写真 6-1 基盤沈下量測定状況



写真-6-2 RI測定状況

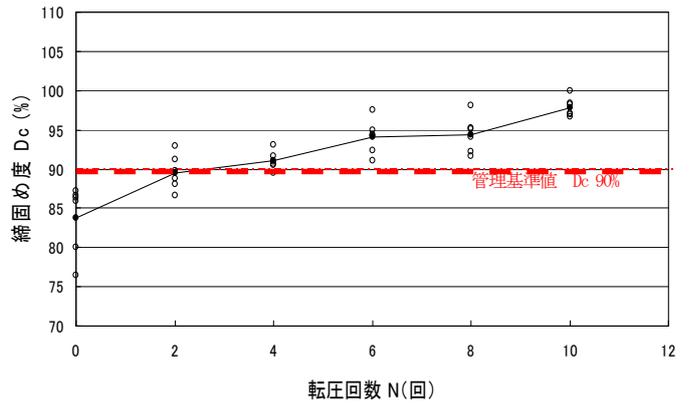


図-6-2 締固め度-転圧回数関係図

七尾大田火力発電所



写真-6-3 転圧状況

(2) 締固め度の結果

標準RI計器による締固め度測定結果を図-6-1、図-6-2に示す。締固め度-転圧回数関係図から、敦賀、七尾大田とも締固め度は4回転圧で管理基準値90%を上回っており、6回転圧以降の締固め度の増加割合は小さくなっていることから収束したと考えられる。

(3) 表面沈下量の結果

表面沈下量と転圧回数の関係を図-6-3、図-6-4に示した。

表面沈下量と転圧回数関係も概ね、締固め度の結果と同様 6回転圧以降の沈下量の増加割合は小さくなっており、締固め度と整合した結果となった。

また、10回転圧後においても過転圧による締固め度の減少傾向及び地盤の亀裂や盛り上がり等の変状は認められなかった。

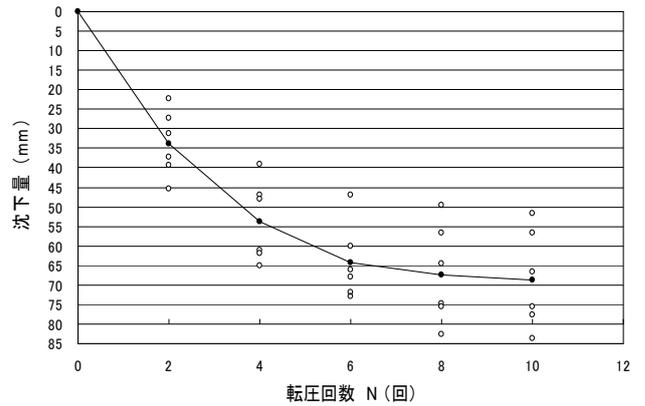


図-6-3 表面沈下量-転圧回数関係図

(敦賀火力発電所)

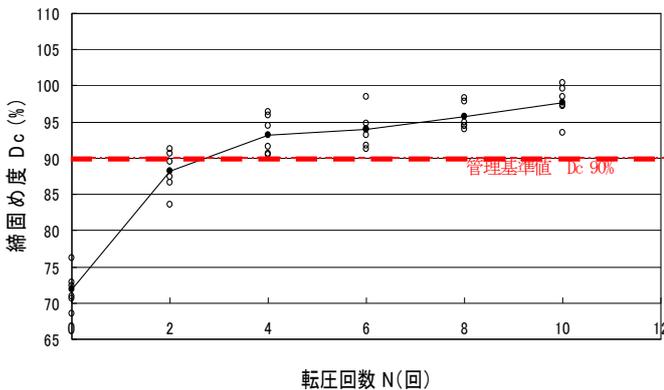


図-6-1 締固め度-転圧回数関係図

(敦賀火力発電所)

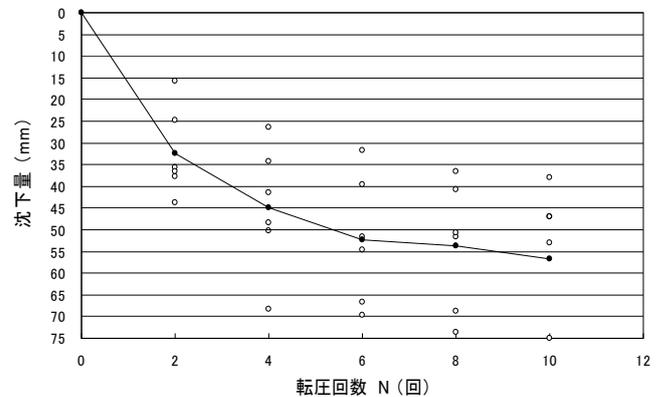


図-6-4 表面沈下量-転圧回数関係図

(七尾大田火力発電所)

4) 試験盛土結果まとめ

締固め度と転圧回数の関係から、転圧回数 4 回以上で管理基準値を上回っている。表面沈下量の収束傾向は転圧回数 6 回以上であることから、より安全に施工するためには、6 回転圧以上が妥当であると考えた。

また、乾燥時の施工は締固め度が劣るため最適含水比に近づけるよう施工時の含水量に留意する必要がある。

a) 品質管理

締固め管理手法は、75 μ m ふるい通過率が 2 資料とも 5.3%及び 7.8%であるため(表-2 参照)、下記『RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領(案) 3章 RI 計器による締固め管理』により締固め度による管理を行い締固め度 $D_c \geq 90\%$ とする。

締固め度および空気間隙率による管理を行うものとし、盛土材料の 75 μ m ふるい通過率によりその適用区分を下記のとおりとする。

75 μ m ふるい通過率が 20%未満の礫質土及び砂質土の場合	75 μ m ふるい通過率が 20%以上 50%未満の砂質土の場合	75 μ m ふるい通過率が 50%以上の粘性土の場合
締固め度による管理	締固め度による管理 または 空気間隙率による管理	空気間隙率による管理

7. 本施工の実施

(1) 含水比

敦賀火力発電所産のクリンカアッシュについては、軽量盛土材として使用するための規格値 $\gamma = 13\text{KN/m}^3$ 以下に相当する 37.5%以下であることを確認しながら、七尾大田火力発電所産クリンカアッシュについては最適含水比の 35.1%付近になる様に、適宜、散水(写真-7-1)を行い、含水比の調整を図り施工を行った。



写真-7-1 散水状況

(2) 転圧回数

転圧回数は試験盛土にて決定した 6 回転圧(写真-7-2)で実施し、RI 測定結果より盛土管理値(締固め度 $D_c \geq 90\%$)を全て満足したことを確認した。



8. まとめ 写真-7-2 転圧状況

(1) 設計・発注段階

a) 今回、高盛土における横断函渠工の設計の場合、一般材料(土砂)よりも軽量盛土材を用いた方がコンクリート厚を抑えることができ、中でもクリンカアッシュを使用したケースが経済的に優位となり、さらなるコスト削減に繋がった。

ただし生産場所から工事現場までの材料運搬に伴うコストとの関係もある為、現場が遠距離の場合等、運搬条件によっては経済性が異なる場合もあると考えられる。

b) 火力発電時に発生する材料のため、一日の生産量が決まっており、各火力発電所産共に、100m³/日と制約があるため、全体の工程計画に影響を受ける可能性があり、今回の様に 500m³/日以上施工量を見込む際は、事前に仮置きヤードの確保等の検討等が必要である。

(2) 施工段階

a) 物理試験の結果、発電所毎にデータの違いがあることが分かり、今回の様に軽量盛土材としての設計条件がある場合は事前に試験施工等を実施し、現場における品質管理方法を確立しておく必要がある。

b) 良質な土砂と同様に転圧後の支持力が高く、盛土材としての品質性能は高い。

c) コーン指数も高く、施工性が良い。

d) その他

福井県のリサイクル製品認定品である「クリンカアッシュ」は火力発電所から排出される石炭灰を使用する点からリサイクル及び環境負荷低減に繋がる。

謝辞： 本論文の執筆に当たっては、関係する皆様方の多大なご協力があったことでありこの場をお借りしてお礼を申し上げますとともに永平寺大野道路4工区(勝山IC～大野IC)の供用時にも関わらず対応いただいた西武建設(株)にも謝意を表します。

参考文献

- 1) 永平寺大野道路東遅羽口地区他切土その他工事 工事資料
- 2) RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領(案) 平成8年8月28日建近技管第253号