

造粒化した石炭灰の地盤材料への適用性

北海道開発土木研究所 正会員
北海道開発局室蘭開発建設部
日本製紙株式会社 勇払工場

佐藤厚子 正会員
山澤文雄
仲里豊彦

1 はじめに

石炭灰を地盤材料として用いる場合、粉体状であるため飛散しやすく、取り扱いが難しい。そこで、カルシウム含有量の多い2種類の石炭灰を造粒化し、地盤材料としての適用性を検討した。その結果、造粒化した石炭灰は、取り扱いしやすくなり、地盤材料として有効な材料であることが明らかになった。

2 試験方法

造粒化の対象とした石炭灰は日本製紙勇払工場火力発電所より排出された新生灰2種でありその性状を表-1に示す。この発電用ボイラでは、燃焼過程で発生する硫黄分を石灰石により脱硫するため、排出された石炭灰には約10%程度の酸化カルシウム分が含まれている。この灰を造粒化したもの(以降造粒化石炭灰と称する)について基本物性値を求めるとともにトラフィカビティ、一軸圧縮試験、CBR、凍上試験を実施した。

3 試験結果

3.1 造粒化試験

造粒化に用いた試験機はバッチ式であり、材料となる石炭灰にセメントおよび水を加え容器の回転により造粒化をはかるものである。目標粒子径を1、3、5、10mm、セメント添加率を0、2.5、5.0、7.5%として造粒化テストを行ったところ、この機械で作製できる最大粒子径は5mm、最大セメント添加率は5.0%であった。その結果より、表-1に示す7つの造粒化石炭灰について地盤材料としての検討を行うこととした。なお、造粒化石炭灰は作製直後には強度がないことから、ビニール袋中に入れ1ヶ月程度室温養生した後、各試験を実施した。

3.2 基本物性値

細粒分含有率は粉体の石炭灰で約95%であるが、造粒化石炭灰では、目標粒径1mmで20~30%、目標粒径3mmで数%と非常に少なくなっている(表-1)。目標粒径が同じであれば、セメント添加率が大きいくほど細粒分含有率が小さくなっている。原材料の石炭灰AとBでは、同じ目標粒径、同じセメント添加率では、Bの方が細粒分含有率は小さい。BはAよりも石炭灰中の酸化カルシウム量が2%程度多いことから、セメントや酸化カルシウムな

どの固化成分が多いほど細粒分含有率が少なくなるという。造粒化石炭灰には造粒過程で加水した水分が25~30%の含水比として試料中に存在していることもあり、室内試験中の飛散はほとんどなかったことから、実施工でも飛散の問題はないと思われる。

表-1 石炭灰および造粒化石炭灰の基本物性値

試料の種類	石炭灰		造粒化石炭灰						
	呼び名		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
石炭灰名	A	B	A	A	A	A	B	B	B
セメント添加率(%)	—	—	0.0	2.5	2.5	5.0	0.0	0.0	2.5
目標粒径(mm)	—	—	1	1	3	1	1	3	1
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.522	2.530	2.534	2.453	2.534	2.539	2.486	2.457	2.487
自然含水比 $w_n(\%)$	0.2	0.0	28.1	28.4	26.0	25.3	29.3	26.4	26.6
最大粒径(mm)	0.425	0.425	4.75	4.75	19.0	4.75	4.75	9.5	4.75
細粒分含有率(%)	94.7	95.5	33.9	27	8.5	16.7	22	3.9	15.1
日本統一土質分類名	Fm	Fm	SF-G	SF	GS-F	SF	SF-G	G-S	SF-G
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{t/m}^3)$	1.038	1.005	0.951	0.958	1.001	0.912	0.894	0.903	0.870
最適含水比 $w_{opt}(\%)$	45.5	46.0	43.8	53.8	37.5	44.8	56.0	36.3	37.7
pH	11.5	12.6	10	—	—	—	—	—	—
酸化カルシウム CaO(%)	7.99	10.11	—	—	—	—	—	—	—

キーワード：石炭灰、造粒化、地盤材料

北海道開発土木研究所 土質基礎研究室、TEL 011-841-1709、FAX 011-841-7333

3.3 材料特性と利用方法

造粒化石炭灰について、最適含水比、最大乾燥密度で締固めた供試体のトラフィカビリティを求めたところ、いずれもコーン指数は 2000 kPa 以上あり、建設機械の走行性を十分に確保できることがわかった。

粉体状の石炭灰 A、B を最適含水比、最大乾燥密度で締固めた供試体の一軸圧縮強さ(q_u)は、時間とともに増加し 7 日後には約 3400kPa、28 日後には約 4000 kPa となった。このように時間経過により強度発現のある材料は、施工後再掘削が不可能であることから使用箇所が限定される。締固めた造粒化石炭灰の強度変化を一軸圧縮強さで求めた。図-1 は、T-1 について最適含水比、最大乾燥密度で作製した供試体の養生時間と q_u の関係を示したものである。時間とともに q_u は若干大きくなる傾向にあるが、28 日経過しても 60kPa 以下であり、強度増加のない材料であった。

次に造粒化石炭灰の凍上抑制層材料と路盤材料への利用について検討した。凍上抑制層材料は凍上試験に合格した材料でなければならない。図-2 は、各試料の凍上試験結果を示したものである。凍上形式がコンクリート状であるもの、部分的な極微細霜降状凍結を含むコンクリート状凍結である場合には凍上率が 20%未満で、合格となる¹⁾。石炭灰 B を材料とする造粒化石炭灰はすべてコンクリート状凍結であり凍上抑制層材料に使用できる。造粒化石炭灰の凍上率は細粒分含有率と関係があり、細粒分含有率が 30%を越えると基準値の 20%を上回り、凍上抑制材料には使用できない。しかし、細粒分含有率が 30%以下である造粒化石炭灰、および石炭灰では、凍上試験に合格しており、凍上抑制材に使用可能な材料である。

路盤材料は、CBR 試験により所定の条件を満足しなければならない。表-2 は 95%締固め時の CBR 試験結果を示したものである。上層路盤材料は修正 CBR が 80%以上、下層路盤材料は修正 CBR が 20%以上でなければならない²⁾。いずれの造粒化石炭灰も修正 CBR は 20%未満であり、このままでは路盤材料として使用できない材料であることがわかった。

3.4 耐久性

実際の現場では、外部からの水分浸入により、造粒化石炭灰が細粒化することが考えられる。そこで、乾湿繰り返しによる粒度変化を求めた。乾燥と水浸の組み合わせを 1 サイクルとして、試験開始前の細粒分含有率と 10 サイクル終了時の細粒分含有率を比較した(図-3)。同じ材料による造粒化石炭灰で目標粒径が同じであれば、セメント添加率が大きいほど乾湿繰り返し後の細粒分含有率の増加が小さい。全体の傾向として、10 回の乾湿の繰り返しにより、細粒分含有率が約 30%増加しており、今後この粒度変化が材料特性にどのように影響を与えるかを確認する必要がある。

4 . おわりに

今回の検討の結果、石炭灰を造粒化することにより、飛散しない材料となることがわかった。また、造粒化石炭灰は、このままでは路盤材料には不向きであるが、盛土材料および凍上抑制層材料として使用できる材料であることがわかった。今後、細粒化した場合の材料特性への影響を確認する予定である。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会：道路土工排水工指針、1987 年 6 月 2)日本道路協会：アスファルト舗装要綱、1995 年 2 月

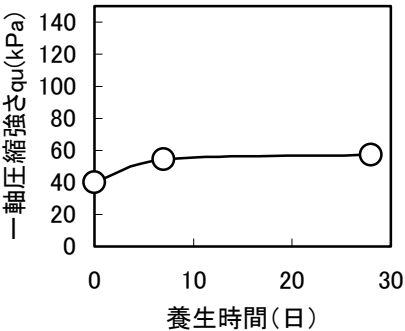


図-1 養生時間と一軸圧縮強さ

表-2 CBR 試験結果

	T-1	T-2	T-3	T-4
修正CBR	11.9	8.2	17.1	9.7

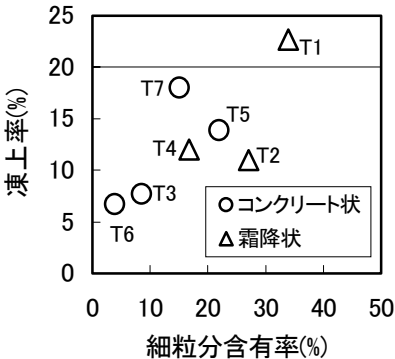


図-2 凍上試験結果

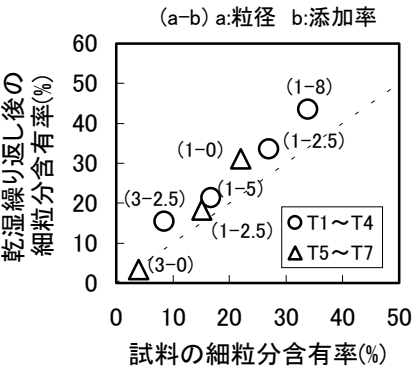


図-3 乾湿繰り返しの影響