

III-493 石炭灰・排煙脱硫スラッジ・消石灰混合材料の沈下性状および強度、支持力特性について

金沢工業大学 正会員○山田幹雄, 石川工業高等専門学校 正会員 佐野博昭
三井建設(株)技術研究所 正会員 山本三千昭, 金沢工業大学 正会員 太田 実

まえがき 本研究では、石炭火力発電所より多量に排出される石炭灰(フライアッシュ)と排煙脱硫スラッジ双方を道路上層路盤材として再利用する場合の耐荷性能や強度、支持力特性について検討を行なった¹⁾。

試料の基本的性質 試験には三井石炭火力発電所より排出された石炭灰(フライアッシュ)と排煙脱硫スラッジとを使用した(表-1)。石炭灰と排煙脱硫スラッジとの配合割合は、国内の石炭火力発電所における両者の発生割合に倣って乾燥重量比で3:1とし、これに安定材として両者の合計乾燥重量の2,6,10%に相当する量の消石灰を添加した。表-2は、石炭灰・排煙脱硫スラッジ・消石灰混合材料の締固め特性をまとめたものである。表-3は、消石灰の添加率を2~10%として作製した円柱供試体(直径50mm,高さ100mm,材齢10日)に対して一軸圧縮試験を行なったときの結果を示す。また、表-4は、修正CBR試験法に準拠して供試体作製後直ちに水中に静置した場合と供試体をモールドごと温度20℃の恒温室内に3,7,10,14日間放置した後で水浸させた場合のそれぞれのCBRを示す。水浸期間はいずれも3日間としたが、空気中での養生期間が長くなるのにもなって、そして、消石灰の添加率が高くなるのにもなって水浸後のCBRは大きくなった。

養生条件 今回の研究では、石炭灰・排煙脱硫スラッジ・消石灰混合材料におけるエトリンサイト生成反応やポソラン反応の進行による凝結硬化作用が耐久性の向上に与える影響を調べる目的で、内径348mm,高さ150mmの硬質塩化ビニール製の底板無し円筒の中に最適条件で混合材料を詰めたもの(以下、充填材料と称する)を多数作製し、それぞれをビニール袋で密封した後、温度20℃の恒温室内で①0,3,7,10,14日間空気中養生する場合(動的載荷試験用)、②初めに0,3,7,10,14,28日間空気中養生し、引き続き、同じ恒温室内で3日間空気中養生する場合、③②と同様に初めに0~28日間空気中養生した後、3日間水浸養生する場合(②と③は放置試験用)の3種類の養生条件を設けることにした。

動的載荷試験および結果 この試験では、同じ養生期間を経た3個の充填材料を土圧計が取り付けられている高さ40mmの底板付き円筒の上に順次重ね、その上から油圧サーボ式試験機を用いて舗装面たわみ運動の周期を模倣した振動数で動荷重を作用させたときの経時沈下を測定した。載荷の手順としては、最初に1.8tfの静荷重を1時間加え、引き続き、0.2tfから1.8tfの間で変動する荷重を2Hzまたは4Hzの振動数で100万回加えることにした。荷重の作用時間は、振動数を2Hzとした試験の場合は約6日間、4Hzの場合は約3日間である。表-5は、消石灰添加率2%シリーズおよび6%シリーズで生じた沈下量を試験の段階ごとに示したものである。充填材料1個あたりの圧縮沈下量は1~2.5mmであるが、これは初期高さ150mmに比べれば極めて小さく、また、沈下量に載荷振動数による差や消石灰添加率による差は認められない。図-1は除荷後の一軸圧縮強さ qu (上部の充填材料)、コーン支持力 qc (中間の充填材料)およびCBR(下部の充填材料)を示すが、 qu, qc およびCBRはいずれも日数の経過にともなって増加し、それらの増加傾向には載荷振動数は関与していないことがわかる。

表-1 石炭灰(フライアッシュ)および排煙脱硫スラッジの物理的性質、化学的性質

石炭灰(フライアッシュ)	
比重	2.30
比砂分(%)	11.6
シルト分(%)	85.5
粘土分(%)	2.9
均等係数	2.0
最適含水比(%)	20.8
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.36
シリアル	52.2
アルミナ(%)	21.8
酸化第二鉄(%)	7.87
酸化カルシウム(%)	9.12
酸化マグネシウム(%)	1.28
酸化ナトリウム(%)	1.38
酸化カリウム(%)	1.93
遊離炭素(%)	1.08

排煙脱硫スラッジ	
比重	2.63
比砂分(%)	15.4
シルト分(%)	79.8
粘土分(%)	4.8
均等係数	1.8
最適含水比(%)	40.7
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.15
硫酸カルシウム(%)	18.6
亜硫酸カルシウム(%)	63.1
遊離炭素(%)	9.23

表-2 石炭灰・排煙脱硫スラッジ・消石灰混合材料の締固め特性

配合割合(乾燥重量比)				
石炭灰:排煙脱硫スラッジ=3:1				
消石灰添加率(%)	比	最適含水比(%)	最大乾燥密度(g/cm ³)	最大乾燥密度(%)
0	2.38	23.8	1.38	1.30
2	2.36	25.0	1.30	1.30
6	2.32	25.5	1.30	1.30
10	2.36	25.9	1.29	1.29

*消石灰:比重2.24, 酸化カルシウム約95%含有

表-3 材齢10日目における一軸圧縮強さ(空気中養生9日+水浸養生1日)

消石灰添加率(%)	一軸圧縮強さ qu (kgf/cm ²)	体積変化率 ϵ (%)	
		空気中養生終了時	水浸養生終了時
2	14.4	1.4	1.6
4	14.9	1.4	1.5
6	15.1	1.3	1.4
8	15.2	1.2	1.3
10	15.4	1.0	1.1

表-4 修正CBR(空気中養生+水浸養生)〈所要の締固め度;最大乾燥密度の95%相当値〉

空気中(H)	水浸(H)	合計(H)	修正CBR(%)		
			消石灰2%添加	消石灰6%添加	消石灰10%添加
*0	3	3	21	36	29
3	3	8	56	73	100
7	3	10	107	121	139
10	3	13	151	161	204
14	3	17	186	195	236

*空気中養生0日;通常の修正CBR試験に対応

表-5 載荷試験の各段階において生じた沈下量(充填材料3個と土圧計固定容器内乾燥砂とを合わせた全重量)

消石灰添加率(%)	載荷振動数(Hz)	空气中養生日数(H)	段階I(mm)	段階II(mm)	段階III(mm)	段階IV(mm)	総沈下量(mm)
2	2	0	5.38	0.45	0.25	1.75	7.83
		3	3.70	0.58	0.00	0.77	5.05
		7	3.20	0.60	0.00	0.45	4.25
		10	2.90	0.45	0.00	0.40	3.75
	4	0	2.75	0.43	0.00	0.32	3.50
		3	4.30	0.50	0.05	1.58	7.03
		7	3.15	0.60	0.08	0.40	4.38
		10	2.63	0.87	0.03	0.37	3.90
6	2	0	5.15	0.43	0.17	1.50	7.25
		3	4.55	0.75	0.10	0.83	6.23
		7	3.40	0.70	0.08	0.55	4.73
		10	2.90	0.48	0.05	0.37	3.80
	4	0	2.25	0.55	0.00	0.28	3.08
		3	4.73	0.52	0.08	1.15	6.98
		7	3.28	0.70	0.02	0.48	4.48
		10	2.23	0.55	0.00	0.35	3.13
		14	1.78	0.40	0.00	0.20	2.38

段階I: 静荷重1.8tfを加えるまでに生じた沈下量(所要時間120秒)
 段階II: 静的載荷0~60分間に生じた沈下量(荷重1.8tf)
 段階III: 静荷重から動荷重へ移行する間に生じた沈下量(所要回数200回)
 段階IV: 動的載荷0~100万回の間に生じた沈下量(荷重0.2~1.8tf)

放置試験および結果 この試験では、荷重の存在自体が混合材料の強度や支持力にどのような影響を与えているのかを調べる目的で、上述②の養生を施した充填材料に対して一軸圧縮試験、コーン貫入試験およびCBR試験を行なった(非水浸放置試験)。さらに、水が作用することによる劣化の程度を調べるために、上述③の養生を施した充填材料についても同様の試験を行なった(水浸放置試験)。表-6は2種類の放置試験の結果をまとめたものであり、また、図-2はこの表に示したqu, qc, CBRと充填材料を製作してからの経過日数が放置試験の日数に等しい動的載荷試験(4Hzの場合)におけるqu, qc, CBRとを重ね合わせたものである。経過日数が同じであっても所定の期間空气中養生を行なった後に水浸させた場合は強度や支持力の増加が少ないこと、さらに、水を作用させなかった動的載荷試験および非水浸放置試験から得られた強度や支持力を比較すると、消石灰添加率6%シリーズにおいては荷重を加えた場合と加えなかった場合との差が明らかに現われていることがわかる。

あとがき この研究では「荷重」に重点を置いて当該材料の道路路盤材としての適用性について検討を加えたのであるが、通過輪荷重によって大きな沈下や強度低下を生じる恐れはないことが明らかとなった。

参考文献 1) 山田・佐野・黒島・太田: 石灰・スラッジ・消石灰混合材料の道路路盤材への有効利用に関する基礎的研究, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, III-211, 1990.9.

表-6 放置試験における一軸圧縮強さqu, コーン支持力qcおよびCBR

＜非水浸放置試験＞				qu (kgf/cm ²)		qc (kgf/cm ²)		CBR (%)	
空气中養生日数 t _a (H)	空气中養生日数 t _a (H)	経過日数 T (H)	消石灰添加率 2%	消石灰添加率 6%	消石灰添加率 2%	消石灰添加率 6%	消石灰添加率 2%	消石灰添加率 6%	
0	3	3	0.6	0.9	5.4	6.7	2.4	3.0	
3	3	6	1.1	1.2	5.9	8.9	3.4	3.4	
7	3	10	1.7	2.8	12.8	16.2	5.7	6.4	
10	3	13	4.3	6.3	25.6	28.7	8.4	9.0	
14	3	17	6.8	10.5	39.6	46.7	12.3	14.5	
28	3	31	2.2	2.5	—	—	2.95	3.13	

注) —は、コーン貫入中に荷重がロードセルの容量を超過した場合を表す。

＜水浸放置試験＞				qu (kgf/cm ²)		qc (kgf/cm ²)		CBR (%)	
空气中養生日数 t _a (H)	水中養生日数 t _w (H)	経過日数 T (H)	消石灰添加率 2%	消石灰添加率 6%	消石灰添加率 2%	消石灰添加率 6%	消石灰添加率 2%	消石灰添加率 6%	
0	3	3	—	—	—	—	—	—	
3	3	6	—	—	—	—	—	—	
7	3	10	—	2.6	—	1.55	—	5.4	
10	3	13	3.4	4.8	1.95	2.54	7.1	8.7	
14	3	17	4.8	6.9	2.79	3.29	10.0	11.4	
28	3	31	1.0	1.5	4.57	5.8	1.9	2.3	

注) —は、水浸中に充填材料が浮き出したり、欠損を生じた場合を表す。

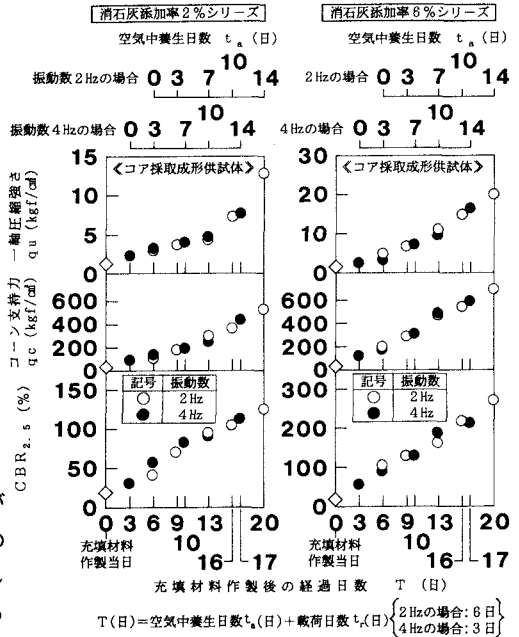


図-1 動的載荷試験終了時における一軸圧縮強さ, コーン支持力およびCBR_{2.5}

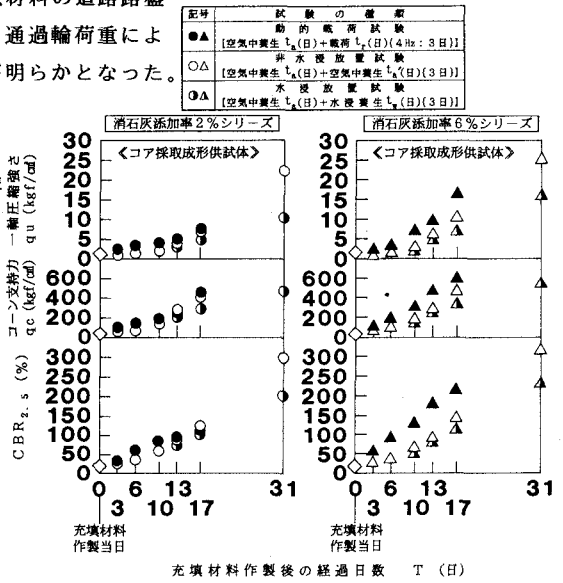


図-2 経過日数と一軸圧縮強さ, コーン支持力, CBR_{2.5}との関係