

焼却灰固化処理における一軸圧縮強さへの影響因子

九州産業大学大学院 学生会員 宮原大輔

九州産業大学 正会員 松尾雄治

中道環境開発 非会員 中道和徳

九州産業大学 正会員 林 泰弘

九州産業大学 学生会員 鼓 裕弥

中道環境開発 非会員 古閑透悦

1. はじめに

筆者らは焼却灰を固化処理し、破碎することで再生クラッシュランを製造する技術の開発を進めている。これまでの研究¹⁾で、破碎体の修正 CBR(95%)が 40%以上となる配合が得られているが、すりへり減量が最良でも約 50%であり、路盤材としては必ずしも十分な性能でなかった。しかし、その過程で破碎前の一軸圧縮強さとすりへり減量の関連が見られたことから、一軸圧縮強さを大きくすることですりへり減量を低減できる可能性が見られたが、配合に影響するパラメータが多かったため、直交表実験によって一軸圧縮強さに影響を与える因子を検討した。

2. 材料

本研究で用いた材料は、都市ごみ焼却灰(主灰)、建設汚泥から分級した砂(再生砂)、カオリン粘土、石粉、高炉セメント B 種、薬剤(凝固促進剤)である。焼却灰や再生砂は採取時期や養生期間によって含水比が変化するため、焼却灰は含水比 $w=90\%$ に、再生砂は $w=16\%$ に調整して使用した。カオリン粘土(粘土分 72%)と石粉(粘土分 22%)は細粒分を補い、固化時の間隙を充填することを目的に使用し、薬剤は固化を促進するとともに焼却灰からの有害物質の溶出抑制を期待して混合した。

3. 配合試験

多種の材料を混合する配合試験では、数多くの実験が必要となる。実験の回数を減らすため以下の 2 シリーズの直交表実験を実施した。

シリーズ I (表-1)では、混合する材料の量を主に焼却灰の乾燥質量を基準にあらかじめ設定し、細粒分の種類を K 粘土(カオリン粘土)と石粉とした 5 因子 2 水準で直交表 L_{16} を用いた実験とした。表中の土質材料とは、焼却灰、砂、細粒分の総称である。処理体は土質材料とセメントを混合したものに所定の水を加えて、均質になるまで混合して作製し、直径 50mm、高さ 100mm のモールドに充填し、7 日間恒温庫 (20±3℃)で養生した後、一軸圧縮試験に供した。

配合試験の結果を表-2 に示す。単位配合量は固化体の湿潤密度をもとに計算している。I-2、4、6、8 を除き、水量が不足し流動性が乏しかったため、モールドへの充填が困難であった。

この結果をもとに分散分析

を行った。有意水準 5%以上の因子を誤差項としてプーリングした結果を表-3 に示す。A (セメント/焼却灰)および A×D (水/土質材料)の因子が有意で、両因子で一軸圧縮強さに対し 65%程度の寄与を占めている。一方、細粒分の量や種類の影響は小さかった。以前の研究結果より、すりへり減量を 50%以下にするためには、一軸圧縮強さが 4MN/m² 以上が望ましいことがわかっているため、次のシリーズでは単位セメント量を増やすこととした。

適当な水量の設定を事前に行うことが困難であるシリーズ I の反省を踏まえ、シリーズ II では水分は混合物の状況を見な

表-1 配合条件(シリーズ I)

因子		水準		備考
		1	2	
A	セメント/焼却灰	0.4	0.8	乾燥質量比
B	砂/焼却灰	0.5	0.6	
C	細粒分/焼却灰	0.1	0.2	
D	水/土質材料	0.5	0.6	土質材料は湿潤質量
E	細粒分の種類	K粘土	石粉	

表-2 配合試験結果(シリーズ I)

	焼却灰	砂	細粒分	セメント	水	薬剤	一軸圧縮強さ	細粒分の種類
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(MN/m ²)	
I -1	641	320	64	256	513	0	1.44	K粘土
I -2	581	291	58	232	558	0	1.05	石粉
I -3	607	303	121	242	515	0	1.89	石粉
I -4	549	275	110	220	560	0	1.59	K粘土
I -5	607	364	61	243	516	0	1.83	石粉
I -6	550	330	55	220	561	0	1.03	K粘土
I -7	576	346	115	230	518	0	1.59	K粘土
I -8	522	313	104	209	564	0	2.25	石粉
I -9	592	296	59	474	474	0	1.67	石粉
I -10	541	271	54	433	519	0	5.30	K粘土
I -11	563	281	113	450	478	0	3.08	K粘土
I -12	513	257	103	411	524	0	4.52	石粉
I -13	563	338	56	451	479	0	2.92	K粘土
I -14	514	309	51	411	524	0	5.00	石粉
I -15	536	322	107	429	483	0	5.09	石粉
I -16	489	294	98	391	528	0	4.36	K粘土

がら加えることにした。セメントと焼却灰、砂の混合物に、細粒分(カオリン粘土)に水を加えた泥水を加えるものとし、その量は混合物がモールドに充填できる程度の流動性が得られるまでとした。新たに薬剤の影響も検討するため、4 因子 2 水準で表-4 の条件で直交表 L_8 を用いた実験とした。

配合試験の結果を表-5 に示す。シリーズ I に比べセメントや砂の量を増やしたため単位焼却灰量が減っている。その結果、一軸圧縮強さは大きくなった。

この結果をもとに分散分析を行ったものが、表-6 である。A(セメント/焼却灰)、B(砂/焼却灰)、A×D(セメント/砂)の因子が特に有意で、あわせて 99%以上の寄与を占めていることがわかる。

これら、一軸圧縮強さへ寄与の大きい要因のうち、「セメント灰比」または「セメント水比」と一軸圧縮強さの関係を図-1、2 に示す。全体としては、セメント灰比やセメント砂比が大きい、すなわち単位セメント量が多いほど一軸圧縮強さが大きいことになる。細粒分の種類の影響は明確ではない結果であった。

4. まとめ

2 シリーズの配合試験の結果より、セメント灰比、セメント砂比、砂灰比が一軸圧縮強さを支配する要因であることが分かった。しかし、単位セメント量を増やし、単位焼却灰量を減らすことは、リサイクルの観点からは望ましくないため、すりへり減量の値と比較しながら適切な量を決める必要がある。

参考文献

1) 古閑透悦・中道和徳・林泰弘：焼却灰の薬剤添加改質による路盤材への転用、地盤環境における地域資源の活用に関するシンポジウム発表論文集、pp.105-110, 2010.1.

表-3 分散分析結果 (シリーズ I)

要因	自由度	偏差平方和	不偏分散	分散比	寄与率	P値	判定
A	1	22.07	22.07	28.07	56.6	0.00019	[**]
D	1	2.35	2.35	2.99	4.2	0.10955	[]
A×D	1	3.75	3.75	4.77	7.9	0.04944	[*]
誤差	12	9.43	0.79		31.4		
全体	15	37.60			100.0		

表-4 配合条件(シリーズ II)

因子		水準		備考
		1	2	
A	セメント/焼却灰	0.5	1.0	乾燥質量比
B	砂/焼却灰	1.2	0.6	
C	泥水の密度	1.5	1.2	単位は g/cm^3
D	薬剤/焼却灰	0	0.2	焼却灰は乾燥質量

表-5 配合試験結果(シリーズ II)

	焼却灰 (kg/m^3)	砂 (kg/m^3)	細粒分 (kg/m^3)	セメント (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	薬剤 (kg/m^3)	一軸圧縮強さ (MN/m^2)	細粒分の種類
II -1	392	470	15	431	442	0	5.81	K粘土
II -2	394	464	7	426	431	2	5.89	K粘土
II -3	480	288	9	384	484	2	7.57	K粘土
II -4	478	287	2	382	478	0	7.09	K粘土
II -5	310	372	97	683	411	18	12.78	K粘土
II -6	314	376	59	689	345	0	12.04	K粘土
II -7	224	230	192	506	517	0	8.96	K粘土
II -8	210	172	214	475	550	13	7.49	K粘土

表-6 分散分析結果 (シリーズ II)

要因	自由度	偏差平方和	不偏分散	分散比	寄与率	P値	判定
A	1	20.61	20.61	4631.1	41.8	0.00022	[**]
B	1	6.62	6.62	1488.7	13.4	0.00067	[**]
C	1	0.14	0.14	31.6	0.3	0.03025	[*]
D	1	0.17	0.17	39.1	0.3	0.02463	[*]
A×B	1	21.78	21.78	4894.4	44.1	0.00020	[**]
誤差	2	0.01	0.00		0.1		
全体	7	49.34			100.0		

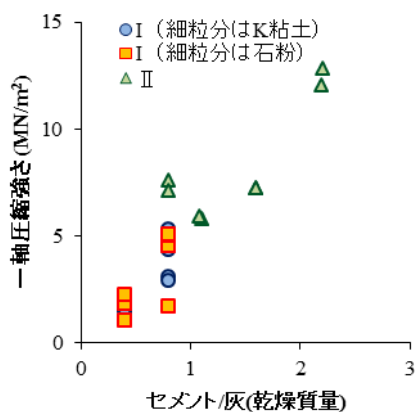


図-1 セメント灰比と一軸圧縮強さの関係

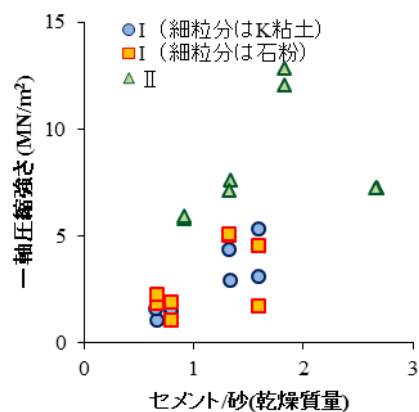


図-2 セメント砂比と一軸圧縮強さの関係