The Japanese Geotechnical Society

論　文

三宅島火山災害の復旧に関する提案
—火山灰の流動化処理材への利用—

Engineering Properties and Effective Utilization of Miyakejima Volcanic Ash

柴田英明（しばた　ひであき）
国士舘大学教授　工学部都市システム工学科

田中正智（たなか　まさとも）
国士舘大学工学部都市システム工学科　技術職員

小林一雄（こばやし　かずお）
東京都土木技術研究所技術部　主任研究員

清水英樹（しみず　ひでき）
前田建設工業㈱技術本部技術部　課長

1. はじめに

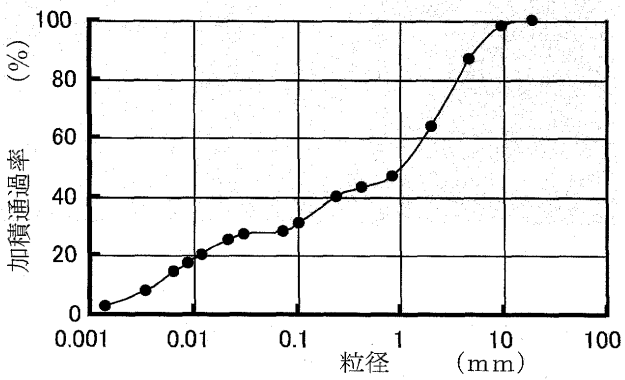
2000年7月の噴火以来，三宅島では島民全員の離島による避難が行われ，2年7カ月経た現在も避難生活を余儀なくされている，その間，三宅島に降り積もった火山灰は全島にわたって多量に堆積している。火山灰の島周辺の海中への投捨ては，この海域周辺の環境保全の意味からも，行うことはできない。現在，この火山灰の処理方法の一つとして，ガラス製品や土壌改良材等への有効利用が試みられているが，大量に処理するには，効果的な方法とは言えない。本研究ではこの火山灰を大量に処理する方法として，地盤材料としての利用を考え，流動化処理材への適用を試みてきた。ここでは，三宅島の火山灰を用いた実験より，火山灰そのものの工学的性質を含め，幾つかの知見が得られたので，それを報告するものである。

2. 火山灰の工学的性質

採取した火山灰の物理的性質として，粒度分布，密度，塑性指数を調べた。それぞれの実験として，粒度試験はJIS A 1204，密度試験はJIS A 1202，液性・塑性限界試験はJIS A 1205に準じて行った。また，火山灰の成分分析やX線回折による組成分析も同時に行った。それらの結果を**表—1**として示している。なお，本研究では，火山灰を地盤材料としての利用を考えているが，種々の土質実験における供試体の作成上，礫を含むと困難になるので，最大粒径2 mmとしたときの火山灰の物性や力学的性質を調査した。始めに，火山灰の粒径加積曲線を**図—1**に示している。**図—1**より，採取した火山灰は礫分が36%と多く含んでおり，一方，成分分析結果より，CaO含有率が9.7%とフライアッシュ（CaO含有率2.0～4.5%程度）等と比較すると大きいことから，比較的強度が得やすい材料と考えられる。また，X線回折による組成分析の結果，安山岩に類似した組成であることが確認された。**表—1**より，火山灰の密度は2.864 g/cm³と通常の土質材料より大きく，また，自然含水比は1.57%であった。粘土分が11%と少ないにもかかわらず，液性・塑性限界の実験ができ，**図—2**に流動

表—1　火山灰の工学的性質

項　目		数　値
密度	G_s(g/cm³)	2.864
自然含水比	w(%)	1.57
礫分	(%)	36
砂分	(%)	36
シルト分	(%)	17
粘土分	(%)	11
均等係数	U_c	7.368
液性限界	LL(%)	25.3
塑性限界	PL(%)	16.29
塑性指数	I_p(%)	9.01
最大乾燥密度	ρ_d(g/cm³)	1.932
最適含水比	w_{max}(%)	14.69
一軸圧縮強さ	(kN/m²)	128～172



図—1　火山灰の粒度分布

曲線を示している。この図からも分かるように，流動曲線は落下回数25回付近で折れ線となる傾向を示しており，この傾向は関東ロームの特徴と類似していることが分かった。

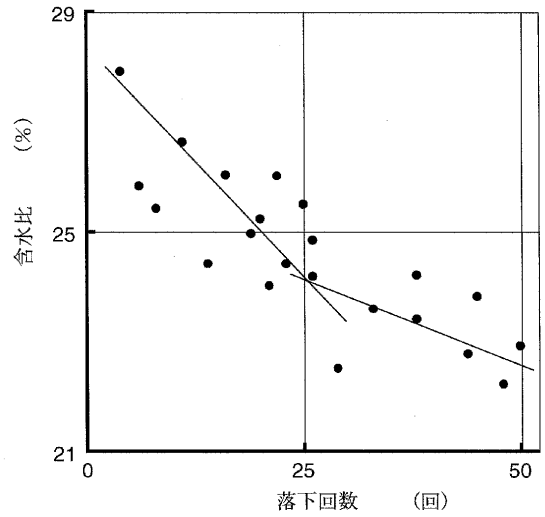
次に，この火山灰の力学的性質を調べるため，締固め，一軸圧縮試験を行った。それぞれの実験については，締固めはJIS A 1210，一軸圧縮試験はJIS A 1216に準じてそれぞれ行った。最適含水比が14.7%，最大乾燥密度が1.932 g/cm³と，この火山灰は良く締まる材料であることが確認された。一方，供試体を作成しても十分自立することが分かったので，一軸圧縮試験を行った。その結果，q_u＝128～172 kN/m²が得られた。上記の火山

NII-Electronic Library Service

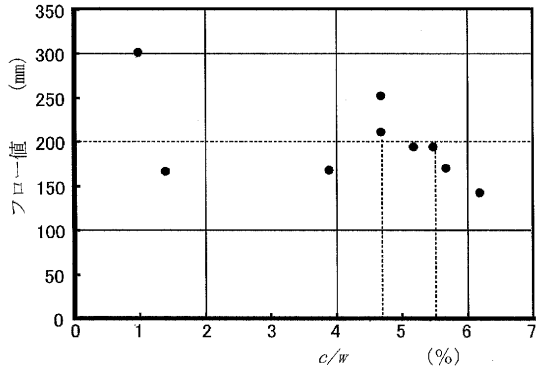
The Japanese Geotechnical Society

表―2　流動化処理材・試験結果

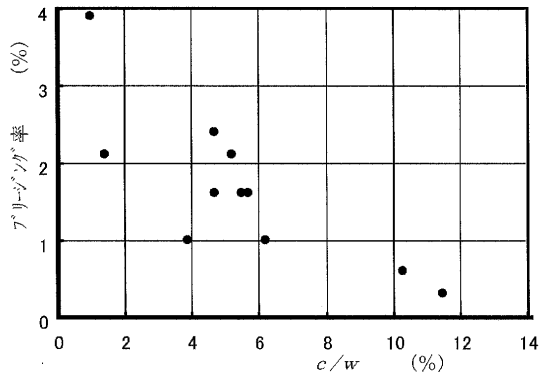
Case No.	単位セメント (kN/m³)	スラリー 比　重	C/W	調整含水比 (%)	フロー値 (mm)	ブリージング率 (%)	一軸圧縮強さ 7日後 (MPa)	一軸圧縮強さ 28日後 (MPa)
1	0.049	1.93	1	25.04	300	3.9	固化せず	固化せず
2	0.049	2.05	1.4	16.92	165	2.1	固化せず	固化せず
3	0.245	1.86	4.7	28.28	251	1.6	0.29	0.35
4	0.245	1.97	3.9	32.28	166	1	0.35	0.49
5	0.245	1.89	4.7	38.38	210	2.4	0.015	0.121
6	0.275	1.823	5.2	44.15	193	2.1	0.12	0.166
7	0.294	1.9	5.7	38.62	169	1.6	0.151	0.259
8	0.304	1.81	5.5	45.11	193	1.6	0.114	0.233
9	0.304	1.91	6.2	37.04	141	1	0.202	0.378
10	0.491	1.91	10.3	25.5	239	0.6	1.06	1.41
11	0.491	2.01	11.5	21.54	174	0.3	1.38	1.75



図―2　流動曲線



図―3　c/w とフロー値との関係



図―4　c/w とブリージング率との関係

灰の物性や力学的性質から，この火山灰はやや粘土的性質を持つ砂質土であると考えられる。

3.　流動化処理材への適用

3.1　概要

流動化処理工法とは，掘削工事などから発生した土砂に，水とセメントなどの固化材を添加・混合して，流動性と耐久性に富んだ土砂を作り出し，開削部等へ埋め戻す工法である。この工法の特徴として以下の点が挙げられる。

- 発生土，水，固化材の配合を調整し，用途に適した品質に仕上げることができる。
- 狭い所に容易に充填することができ，敷ならしや締固めが不要である。

本報告では，この流動化処理材としての三宅島火山灰の適用性を確認することを目的とし，幾つかの配合実験を試みた。

3.2　試験概要

現在，流動化処理材に要求される品質は各官公庁によって異なる。以下に東京都[2]，建設省[3]，日本道路公団[4]についてそれぞれ記述する。

a)　東京都要綱

東京都では速硬型と遅硬型に分け，それぞれ基準を設けているが，本研究は遅硬型を参考とした。

フロー値：180～300 mm

ブリージング率：1%未満

一軸圧縮強さ：28日後　549.4 kN/m² 以下

b)　建設省

フロー値：160 mm 以上（圧送できる範囲）

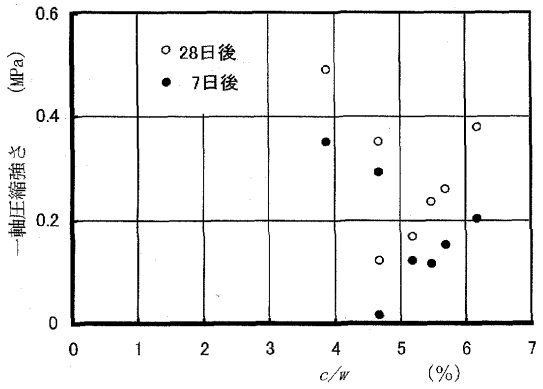
ブリージング率：1～3%未満　適用用途別に設定

一軸圧縮強さ（28日）：適用地点に応じて設定

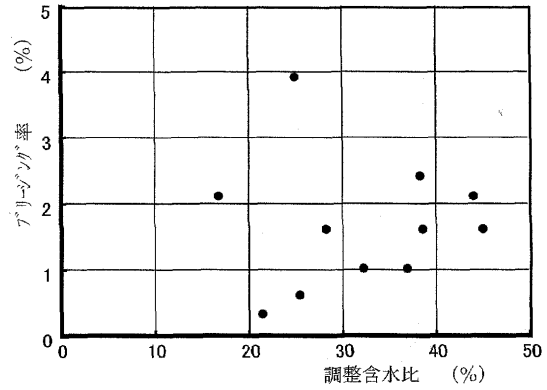
c)　日本道路公団

NII-Electronic Library Service

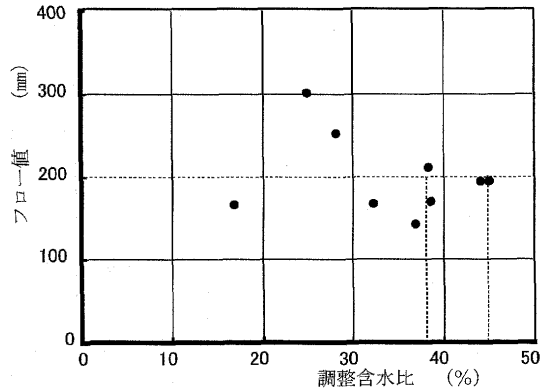
The Japanese Geotechnical Society



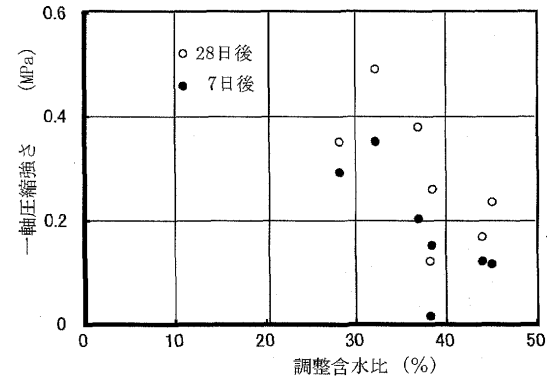
図―5　c/w と一軸圧縮強度との関係



図―7　調整含水比とブリージング率との関係



図―6　調整含水比とフロー値との関係



図―8　調整含水比と一軸圧縮強さとの関係

まだ，日本道路公団では，基準化されていないが目安として次のとおりである。

フロー値：140～200 mm（ポンプ圧送の可能性）

一軸圧縮強さ：300～1 000 kN/m^2

湿潤密度：1.39～1.88 g/cm^3

本研究では上記品質基準を参考に実験を行った。固化材として，これまでの実績より六価クロムの溶出を抑制できることが明らかになっている高炉セメントB種を用いた。各実験は次のとおりである。

フロー試験：JHS A 313（8 cm×8 cm 円筒シリンダー）に準じて，直後に計測する。

ブリージング試験：JSCE-F-522に準じて3時間後と20時間後に計測する。

一軸圧縮試験：JIS A 1108に準じて7日後，28日後において3検体ずつ実施する。

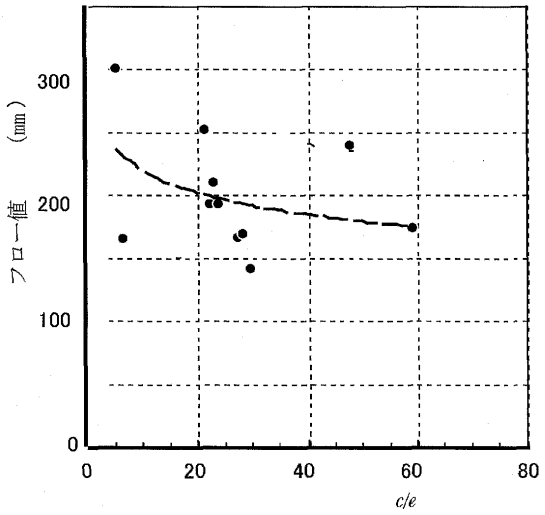
3.3　試験結果

試験結果を**表―2**に示している。ここで，単位セメントは流動化処理土1 m^{3}当たりのセメント量（kgf）である。スラリー比重は水と火山灰とを混合した泥水の比重である。c/w は処理土内の水に対するセメントの重量比である。調整含水比は処理材中の含水比である。c/w に対するフロー値，ブリージング率，一軸圧縮強さをそれぞれ**図―3～5**に示し，調整含水比に対するフロー値，ブリージング率，一軸圧縮強さをそれぞれ**図―6～8**に示している。さらに，単位固化材料と流動化処理土の間隙比 e で表した指標 c/e に対するフロー値，ブリージング率，一軸圧縮強さをそれぞれ**図―9～11**に示している。この指標 c/e は流動化処理土の強度やその他の特性は固化材のセメンテーションによる部分と母材の構造的な強さの相互作用の結果もたされるものであるという観点から用いられる指標である。結果として，c/w が6%以下であれば，フロー値は160 mm 以上となり，セメント量の少ない方がフロー値は大きくなる傾向が見られる。ポンプ圧送を考慮した場合，フロー値が200 mm 前後が最適とされているが，このことを実験値に当てはめると，c/w では4.7%＜c/w＜5.5%，調整含水比では38%＜w＜45%の範囲が有効であると考えられる。また，**図―9**より，c/e の増加に対してフロー値は減少する傾向を示しているが，基準値を満たす c/e が存在することがわかる。ブリージング率についてはほとんどの試料で1%以上を示しており，東京都の基準値1%以下を示すものは，10%＜c/w＜12%の範囲のみであった。しかし，**図―10**より，c/e に対するブリージング率との関係は双曲線表示で表すことができることがわかる。一軸圧縮強さについては，一部基準値以外のデータもあるが，この程度のセメント量や火山灰の量では，十分基準値を満たす強度を持つ流動化処理材料になりうると判断できる。また，**図―11**より，c/e に対する一軸圧縮強さとの関係は，それぞれ3次曲線で定式化することができることを確認できる。

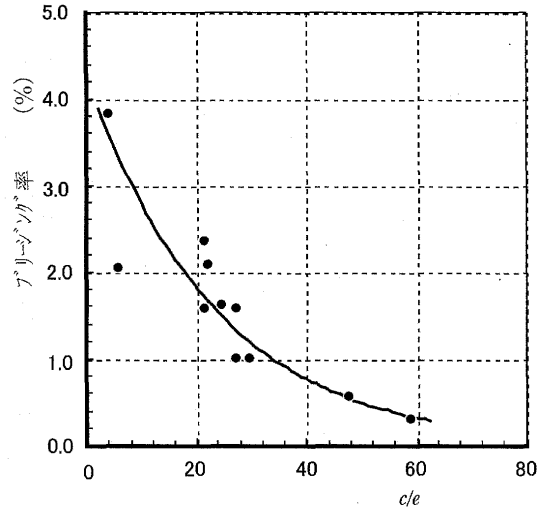
以上の試験結果から，三宅島火山灰を用いた流動化処理材の特徴を挙げると，

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図―9　c/e とフロー値との関係



図―10　c/e とブリージングとの関係

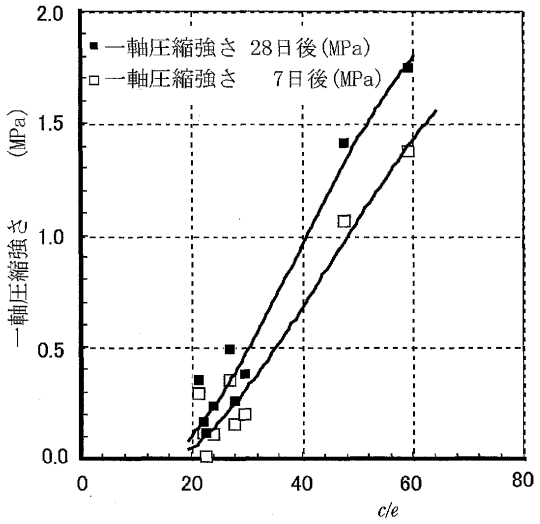
a)　非常に強度が発現しやすい。
b)　高密度にもかかわらず，流動性がよい。
c)　セメント量を少なくする配合では，ブリージングが生じやすい。

である。このことから，ブリージングの抑制する方法を考慮すれば，この火山灰を利用した流動化処理材への適用は十分可能であるという結論が得られた。

3.4　流動化処理土の適用用途

流動化処理工法では，適切に調整された処理土の流動性により，入り組んだ空間にも打設でき，敷ならしや締固めが不要となる。さらに，主材，水，固化材の配合により，固化後の工学的性質も用途に適して選択することができる。こうした特徴により，流動化処理工法は多岐にわたる用途に適用されている。三宅島の道路盛土復旧工事における適用用途案および主な適用用途例を以下に示す。

(1)　橋台の裏込め材料　　(2)　道路盛土
(3)　共同溝の埋戻し　　(4)　路面下空洞の充填
(5)　護岸の裏込め



図―11　c/e と一軸圧縮強さとの関係

4.　ま　と　め

三宅島火山灰の有効利用の可能性を調査するため，火山灰の物性や力学的性質の把握と流動化処理材への適用性の検討を試み，次のような結果が得られた。

(1)　火山灰の比重は2.864と大きく，採取時の粒度分布は礫分が36%と多く，また CaO 含有率が9.7%である。粘土分が11%と少ないにもかかわらず，液塑性限界試験が可能であり，流動曲線は落下回数25回付近で折れ線となる傾向を示している。

(2)　指標 c/e を用いることにより，ブリージング率や一軸圧縮強さについては十分定式化することが可能である。

(3)　流動化調整材の添加等によりブリージングの抑制を行えば，火山灰は十分流動化処理材の材料として使用でき，その適用用途として次のものが考えられる。

a)　道路盛土の盛土材としての適用
b)　埋戻し材としての適用
c)　充填材としての適用

今後，火山灰を用いた流動化処理土の長期安定性や地震時挙動等の把握をしていけば，より適用範囲を拡大することができると思われる。

参　考　文　献

1)　地盤工学会，土質試験の方法と解説第1回改訂版，pp. 635～657, 2000.
2)　松村真人・阿部忠行・杉本隆男・廣島　実・土井内元：建設汚泥の流動化処理土への再生，平成10年度都土木年報，pp. 73～84, 1998.
3)　建設省土木研究所，流動化処理土利用技術マニュアル，pp. 1～72, 1997.
4)　地盤工学会北海道支部，火山灰地盤の工学的性質の評価法に関するシンポジウム，pp. 219～224, 2000.

(原稿受理　2003.5.1)

NII-Electronic Library Service