

新燃岳火山噴出物を用いた低環境負荷型高機能地盤材料の開発

林泰弘¹、山本健太郎²、根上武仁³、荒牧憲隆⁴

¹九州産業大学、²鹿児島大学、³佐賀大学、⁴崇城大学

新燃岳と桜島火山噴出物の低環境負荷型高機能地盤材料としての有効利用の可能性を検討し、新しい再資源化技術を開発することにより、周辺地域住民の生活や経済活動に大きな影響を及ぼす火山噴出物を資源として活用し、循環型社会の形成に貢献することを目的とする。そして、試験データを基に最適な混合物の配合比やその強度特性、並びに適応可能な事例などに関する考察を行った。

1. はじめに

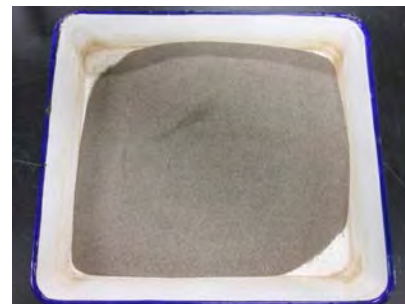
2011年1月26日から宮崎、鹿児島県境にある霧島山の新燃岳(1421m)の噴火活動が続き、189年ぶりの大噴火となった。2012年1月現在もなお、その噴火活動が続いている。1月26日以降の火山噴出物は最大で約4千万~8千万トンと推測されている。新燃岳周辺の地域では、火山噴出物が大量に降り積もり、農作物への多大な被害をもたらした。一方、桜島の昭和火口においても噴火が相次ぎ、2011年の爆発は996回に達し、1955年の観測開始以降、年間の爆発回数が最多だった去年の記録を更新し、最多記録は2009年から3年連続の更新となった。これらにより、「ドカ灰」と呼ばれる大量の火山灰が周辺地域に降り注ぎ、今後も比較的活発な活動を続けるものと考えられている。

本研究では、この火山噴出物の低環境負荷型高機能地盤材料としての有効利用の可能性を検討し、新しい再資源化技術を開発することにより、新燃岳や桜島の噴火に伴う地域の災害被害の軽減に役立てることを考えている。そして、周辺地域住民の生活や経済活動に大きな影響を及ぼす火山噴出物を資源として活用し、循環型社会の形成に貢献することを目的とする。本報告では、火山噴出物の物理的改良を主とした摩擦性地盤材料(ϕ 材)としての利用の可能性と固化材で安定処理した粘性地盤材料(c材)としての利用の可能性について述べる。

2. 火山噴出物の物理化学的性質

新燃岳火山噴出物は都城市都北町、桜島火山噴出物は鹿児島市郡元にて採取を行った(写真-1~3参照)。表-1には新燃岳と桜島火山噴出物の物理化学的性質を示す。これを見ると、採取した試料に関しては自然含水比が同一で、新燃岳火山噴出物は弱酸性、桜島火山噴出物は弱アルカリ性となった。図-1には粒径加積曲線を示

す。これを見ると新燃岳火山噴出物は砂分が主体であるが、桜島火山噴出物の場合には細粒分の含有率が大きいことがわかる。また、火山噴出物同士のpHや粒度分布等の特性も異なることから、それらを混合して使用することも考慮し、それぞれの質量比率を桜島：新燃岳=70:30, 50:50, 30:70(%)の3パターンと設定した。図-1からは、新燃岳火山噴出物の混合比率が増加するにつれて細粒分含有率が少なくなることがわかる。次に、図-2,3には新燃岳と桜島火山噴出物の締固め曲線を示す。締固め試験¹⁾は締固めエネルギーが小さく、繰返し法であるA-a法で行った。図より、新燃岳火山噴出物の最適含水比が23.8%、最大乾燥密度は1.36 g/cm³であった。桜島火山噴出物と比較して、最適含水比が大きく、最大乾燥密度が小さいことがわかる。



a) 新燃岳火山噴出物



b) 桜島火山噴出物

写真-1 火山噴出物

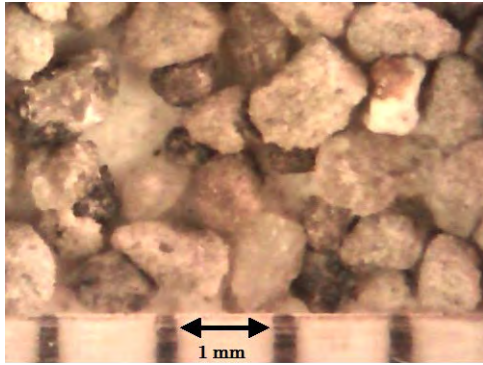


写真-2 新燃岳火山噴出物の拡大写真

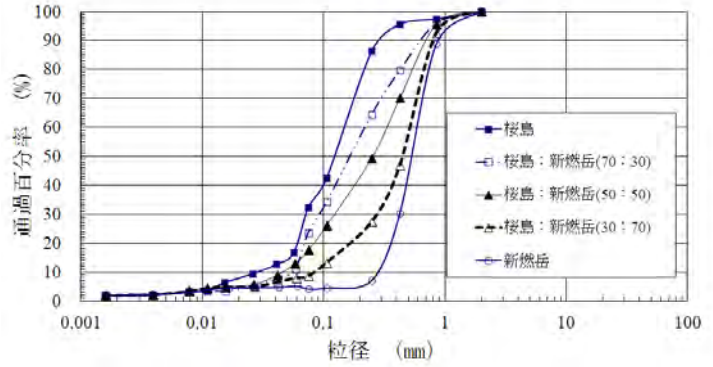


図-1 火山噴出物とその混合物の粒径加積曲線

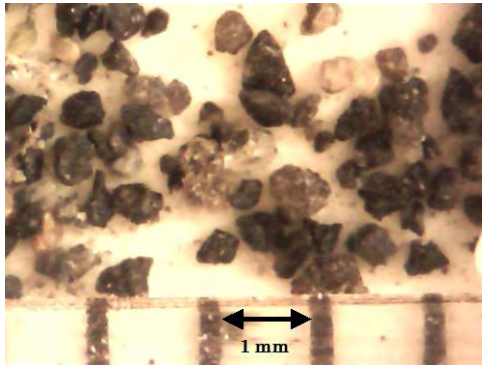


写真-3 桜島火山噴出物の拡大写真

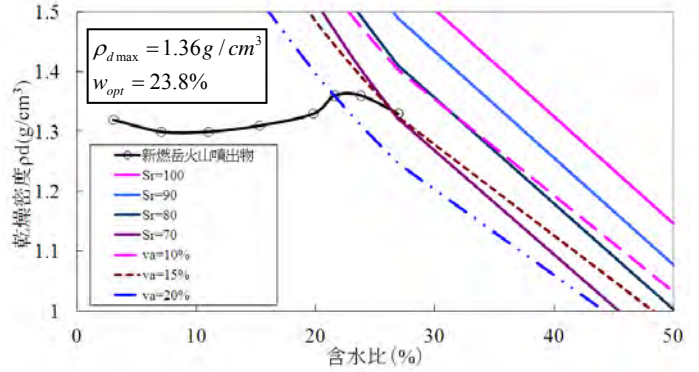


図-2 締固め曲線 (新燃岳火山噴出物)

表-1 各種火山噴出物の物理化学的性質

	新燃岳火山噴出物	桜島火山噴出物
自然含水比 (%)	10.5	10.5
土粒子密度 (g/cm ³)	2.685	2.708
最小密度 (g/cm ³)	1.126	1.385
最大密度 (g/cm ³)	1.460	1.654
透水係数 (cm/s)	0.016	0.002
pH	6.40	7.91

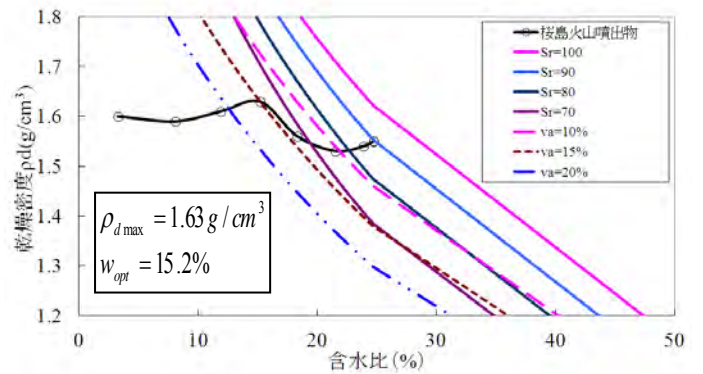


図-3 締固め曲線 (桜島火山噴出物)

3. 摩擦性地盤材料(ϕ 材)としての利用

火山噴出物の摩擦性地盤材料(ϕ 材)としての利用の可能性を考え、路床や路盤の強さの評価に利用される CBR 試験²⁾を実施し、道路舗装の設計に用いる設計 CBR を主として求めた。また、混合物としては消石灰、再生石膏(半水石膏)、廃陶磁器を考慮し、それぞれの混合比は火山噴出物(自然含水比状態)に対する質量比とした。

図-4, 5 には新燃岳と桜島火山噴出物に消石灰を混合した場合の貫入試験(設計 CBR 試験)結果を示す。新燃岳火山噴出物の場合には消石灰の混合量が増加するにつれて、荷重強さが大きくなった。一方、桜島火山噴出物の場合には消石灰の混合量の増加とともに荷重強さは大きくなったが、桜島火山噴出物単体の荷重強さよりも小さかった。これは新燃岳火山噴出物においては砂分が主体であるが、桜島火山噴出物の場合には細粒分の含有率が大きいことに起因しているものと考えられる。図-6 には桜島と新燃岳火山噴出物単体とそれらの混合比率を変えて、混合した場合の貫入試験結果を示す。これらを見ると、桜島と新燃岳火山噴出物単体の荷重強さには明らかな差があり、それらの混合物の荷重強さはそれらの曲線にはさまれる形となった。図-2, 3 からも荷重強さに関しては、桜島火山噴出物の方が新燃岳火山噴出物よりも大きくなることが推測される。また、混合物の荷重強さの強度発現に関しては、多少とも混ざり方の影響がでることを貫入試験後の試料により確認している。

図-7 には桜島火山噴出物に廃陶磁器を混合比率を変えて、混合した場合の貫入試験結果を示す。これを見ると、廃陶磁器の混合比率が増加するにつれて、荷重強さは増加する傾向を示したが、貫入量 5 mm 以下では桜島火山噴出物単体の荷重強さよりも小さい結果となった。新燃岳火山噴出物に対する廃陶磁器の混合も同様な結果となり、現状では火山噴出物に対して、廃陶磁器の混合は荷重強さに関して効果がない結果となった。なお、図-4~7 の吸水膨張試験結果についてもほとんど膨張率に関しては変化がなかったことを付記する。また、ここでは省略したが、再生石膏を混合した場合、新燃岳、桜島火山噴出物の両方に対して、混合比率の増加とともに消石灰を混合した時よりも大きな荷重強さを示す結果を得た。

表-2 には各種火山噴出物から得られた設計

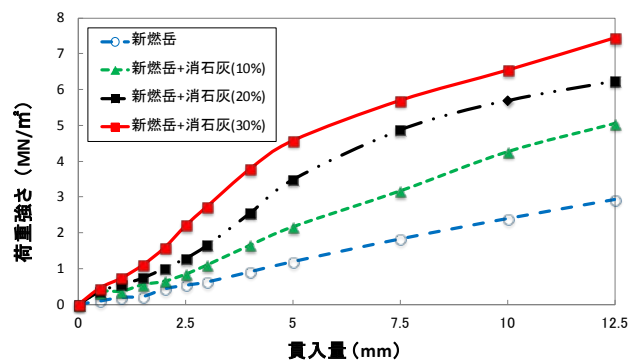


図-4 荷重強さ—貫入量曲線
(新燃岳火山噴出物に消石灰を混合)

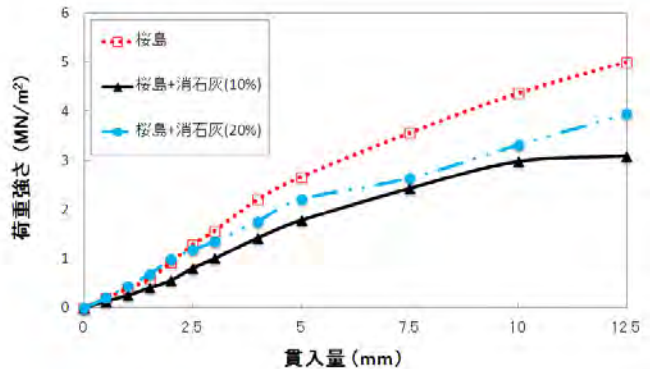


図-5 荷重強さ—貫入量曲線
(桜島火山噴出物に消石灰を混合)

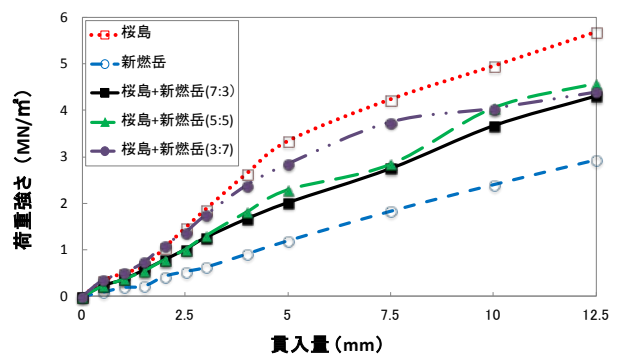


図-6 荷重強さ—貫入量曲線
(桜島火山噴出物と新燃岳火山噴出物を混合)

CBR (%)をまとめたものを示す。これを見ると、新燃岳と桜島火山噴出物単体での CBR (%)は 11.59 と 25.86 であった。新燃岳火山噴出物では消石灰の混合は、新燃岳火山噴出物単体と比べて効果的であるが、桜島火山噴出物では消石灰の混合量が 30%にならないと、桜島火山噴出物単体での CBR を超えることができなかった。これは新燃岳火山噴出物が弱酸性、桜島火山噴出物は弱アルカリ性であったことにもよるものと考えられる。また、再生石膏を混合した場合には、消石灰を混合した時よりも CBR の値がかなり大きくなることもわかる。一方、廃陶磁器の混合は火山噴出物単体での CBR を改善することはできなかった。これは火山噴出物との噛み合わせなどが良くなかったためだと考えられる。さらに、桜島と新燃岳火山噴出物を混合比率を変えて混合した場合には、CBR の値はおおまかに新燃岳と桜島火山噴出物単体での CBR 値の間になることもわかった。

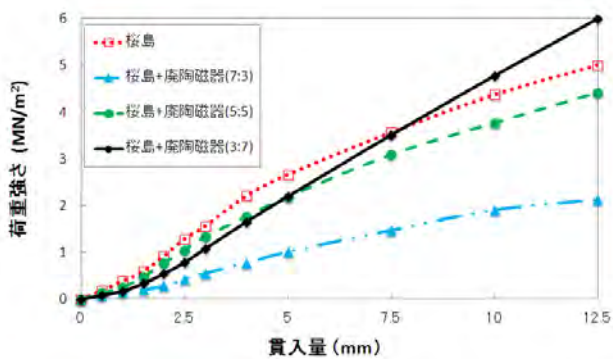


図-7 荷重強さ—貫入量曲線
(桜島火山噴出物に廃陶磁器を混合)

4. 粘性地盤材料(c材)としての利用

ここでは、火山噴出物の粘性地盤材料 (c材) としての利用の可能性を考え、固化材を添加し (化学的改良)、一軸圧縮試験³⁾を実施した。固化材としては再生石膏 (半水石膏) と高炉セメント B 種の 2 種類を考慮し、それぞれの添加率を火山噴出物 (自然含水比の状態) に対する質量比で 10, 20, 30%とした。なお、供試体は 1 ケースにつき 3 本作製し、作製時における不具合や強度試験結果のばらつきを配慮した。

まず、再生石膏と高炉セメントの水石膏比 (w/g) または水セメント比 (w/c) を求めるため、再生石膏と高炉セメントのそれぞれに対し加水量を変えて、供試体を作製し、7 日養生での一軸圧縮強さを求めた。図-8 には一例として、水石膏比と一軸圧縮強さとの関係を示す。これを見ると、w/g=0.8 の時に最大の一軸圧縮強さが得られたので、w/g=0.8 を本報告での基準と設定した。同様に、水セメント比に関しても w/c=0.8 が最適となる結果が得られた。図-9, 10 には、28 日養生での新燃岳と桜島火山噴出物に固化材を添加した場合の応力—ひずみ曲線を示す。図の縦軸は圧縮応力で横軸は軸ひずみである。図において、例えば石膏 (Gypsum) を 10% 添加したケースなどは供試体成形ができず、グラフには表れていない。これらを見ると、石膏 (Gypsum) 20%、セメント (Cement) 10-30% 添加した場合、新燃岳火山噴出物の方が桜島よりも最大圧縮応力が大きい。また、セメントを 30% 添加した場合のように最大圧縮応力が大きく生じたケースではピーク後に急激に圧縮応力が減少していることもわかる。両図から新燃岳、桜島火山噴出物ともどの固化材に関しても添加量が増えるにつれて、一軸圧縮強さは大きくなり、石膏よりもセ

表-2 各種火山噴出物から得られた設計 CBR (%)

	新燃岳火山噴出物	桜島火山噴出物	混合噴出物
火山噴出物のみ	11.59	25.86	
火山噴出物+消石灰 10%	21.04	17.30	
火山噴出物+消石灰 20%	33.88	21.40	
火山噴出物+消石灰 30%	44.40	59.74	
火山噴出物+再生石膏 10%	28.09	51.07	
火山噴出物+再生石膏 20%	42.65	113.43	
火山噴出物 (70%) + 廃陶磁器 (30%)	5.44	14.89	
火山噴出物 (50%) + 廃陶磁器 (50%)	4.28	21.22	
火山噴出物 (30%) + 廃陶磁器 (70%)	-	21.31	
桜島火山噴出物 (30%) + 新燃岳火山噴出物 (70%)			27.64
桜島火山噴出物 (50%) + 新燃岳火山噴出物 (50%)			22.29
桜島火山噴出物 (70%) + 新燃岳火山噴出物 (30%)			19.62

メント添加が一軸圧縮強さに対しては有効であった。

図-11 には一軸圧縮強さと石膏添加率との関係を示す (28 日養生)。プロットがない箇所は供試体成形ができなかった、もしくは一軸圧縮強さに関して、ばらつきが大きく、今後再検討を考えているところである。これを見ると、石膏を 30% 添加する時、新燃岳火山噴出物、混合材料である(桜島 50%, 新燃岳 50%)、(桜島 70%, 新燃岳 30%) のケースでは強度増加が著しいことがわかる。最後に、図-12 には一軸圧縮強さとセメント添加率との関係を示す (28 日養生)。図から桜島火山噴出物にセメントを 10, 20% 添加した場合にはあまり強度が生じていない。新燃岳火山噴出物、(桜島 30%, 新燃岳 70%)、(桜島 50%, 新燃岳 50%) のケースにおいてはセメントを 20% 以上添加した時に強度増加が大きく生じた。これらのことは新燃岳火山噴出物は砂分が主体であるが、桜島の場合には細粒分の含有率が高いことなどにも起因しているものと考えられる。なお、供試体成形後の観察では、砂分が主体となる新燃岳火山噴出物と固化材添加のみでは表面が粗く、空隙が大きくなる傾向となった。一方、新燃岳火山噴出物に桜島を混合したケースでは表面形状がより良くなる傾向が見られ、この傾向は耐久性に対しては有効になるものと考えられる。

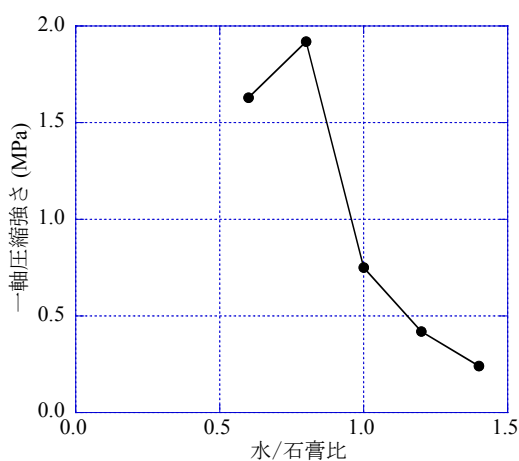


図-8 水石膏比と一軸圧縮強さとの関係

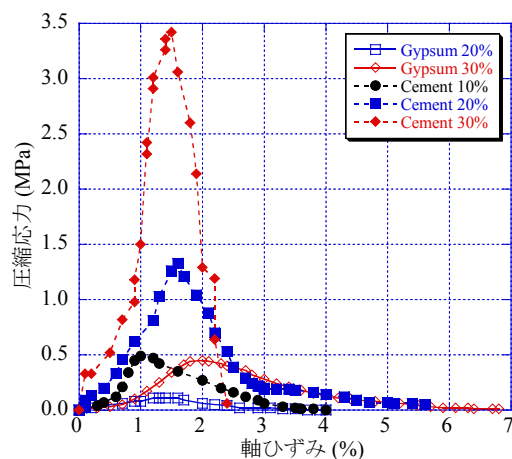


図-9 応力—ひずみ曲線 (28 日養生)
(新燃岳火山噴出物に固化材を添加)

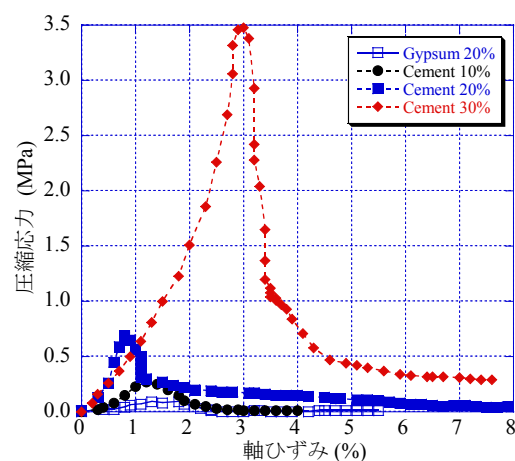


図-10 応力—ひずみ曲線 (28 日養生)
(桜島火山噴出物に固化材を添加)

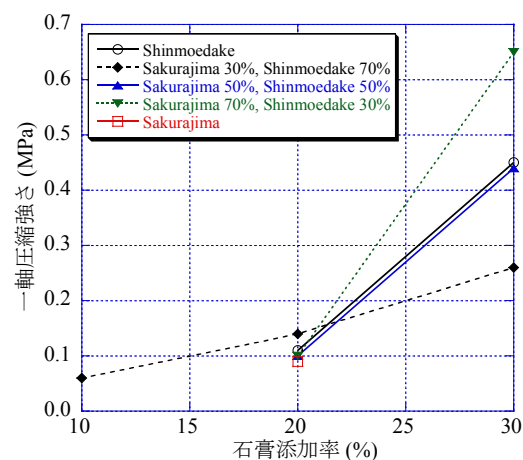


図-11 一軸圧縮強さと石膏添加率
の関係 (28 日養生)

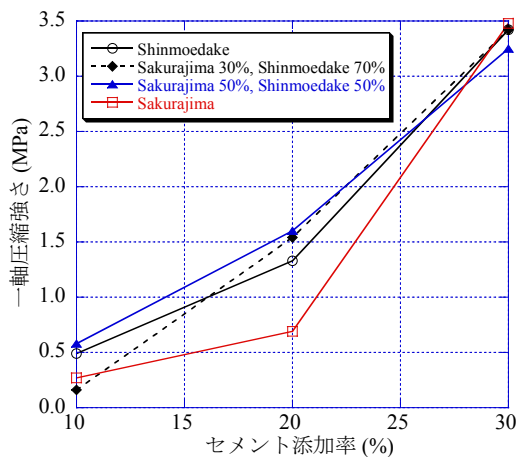


図-12 一軸圧縮強さとセメント添加率の関係 (28日養生)

5. おわりに

現状の結論としては、新燃岳火山噴出物、桜島火山噴出物ともに締固めを十分に行えば、良質な地盤材料となるため、摩擦性地盤材料(ϕ 材)

としての利用が一般的には妥当と考えられる。粘性地盤材料(c 材)としての利用の可能性としては、固化材を添加することによる化学的改良を期待するものである。対象としては、砂防堰堤本体や基礎部あるいは盛土などが挙げられる。本研究では、自然含水比状態の火山噴出物に固化材と水石膏比 $w/g=0.8(w/c=0.8)$ での加水を実施した。そのため、固化材の添加率が少ない時にはあまり加水されず、水分が少ないがために供試体成形ができないケースが多々見られた。化学的改良を期待する場合には、コンクリート作製と同様に、試料である火山噴出物が多少どろどろした状態となるぐらいの加水が必要と感じた。ただ、その場合、初期含水比を管理することになり、実際の現場での使用に関しては手間が生じることとなる。

また、火山噴出物の摩擦性地盤材料(ϕ 材)と粘性地盤材料 (c 材) の両利用ともに、混合物との混合に関しては、桜島火山噴出物の方が新燃岳火山噴出物に比べて粒子形状が小さいので、あまり分散されず、強度のばらつきが大きくなる傾向があった。今後は、摩擦性地盤材料(ϕ 材)

としての利用に関して、初期含水比の検討や非繰返し法による締固め試験、一方、粘性地盤材料 (c 材) としての利用に関しては初期含水比、

水石膏比、長期養生や溶出試験のみならず乾湿繰返し試験による耐久性の検討などを実施する予定である。

なお、本報告書の内容は、第47回地盤工学研究発表会に投稿し、第10回地盤改良シンポジウムやJS-Seoul 2012にも投稿予定であることを記す。

参考文献

- 1) 地盤工学会: 土質試験 基本と手引き (第一回改訂版), pp.71-78, 2001.
- 2) 地盤工学会: 土質試験 基本と手引き (第一回改訂版), pp.79-90, 2001.
- 3) 地盤工学会: 土質試験 基本と手引き (第一回改訂版), pp.151-158, 2001.