

函館空港周辺地盤における火山灰の物理・力学的特性

A characteristic about physical and mechanics of the volcanic ash deposit on the ground of Hakodate Airport

我が国の特殊土と呼ばれている代表的なものとして、火山灰質粘性土（関東ローム）、火山灰質粗粒土（しらす）、まさ土、泥炭の4種類がよく挙げられている。これらの土が特殊土と呼ばれるのは「通常の土とは種々の意味で土性が異なり、しかも土工においてその取扱いが問題となる土」という観点からである。

函館空港周辺地盤に堆積している火山灰は、過去の土工実績から粒度的には砂質土となるにもかかわらずこね返し等により容易に強度低下を起すことがわかっており、土工においては一種の特殊土として認識されているものである。ここではこの火山灰における物理・力学的特性を整理すると共に、不良土対策として安定化処理を施した場合の特性についてとりまとめ報告するものである。

渡邊 幸雄^{*)}



1. 対象火山灰の物理・力学的特性

1-1 物理的特性

対象火山灰の含水比(W)、土粒子の密度(ρ_s)、粒度組成等の代表的な物理特性は下記のとおりであり、火山性の起源をもつものの通常の砂質土と同等の物理的特性を有しているといえる。

含水比	$W = 23 \sim 24(\%)$
土粒子の密度	$\rho_s = 2.575 \sim 2.665(\text{g/cm}^3)$ $\rho_s = 2.612(\text{g/cm}^3)$
土の粒度組成	礫分 = $7.5 \sim 24.7(\%)$ シルト分 = $6.7 \sim 17.5(\%)$ 砂分 = $62.0 \sim 73.6(\%)$ 粘土分 = $5.5 \sim 11.0(\%)$

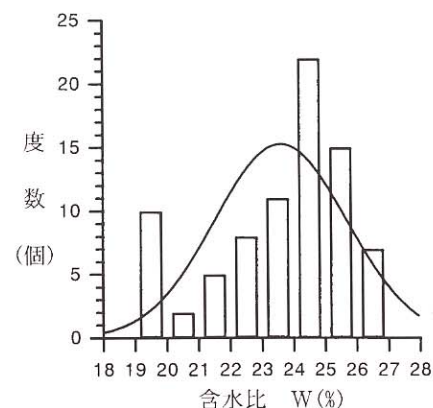


図-1 含水比頻度図

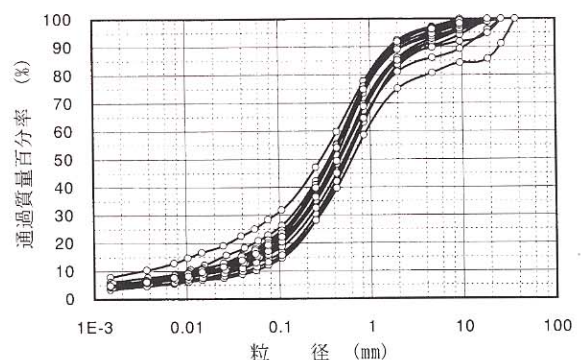


図-2 粒度分布図

^{*)} 地質部 Yukio WATANABE

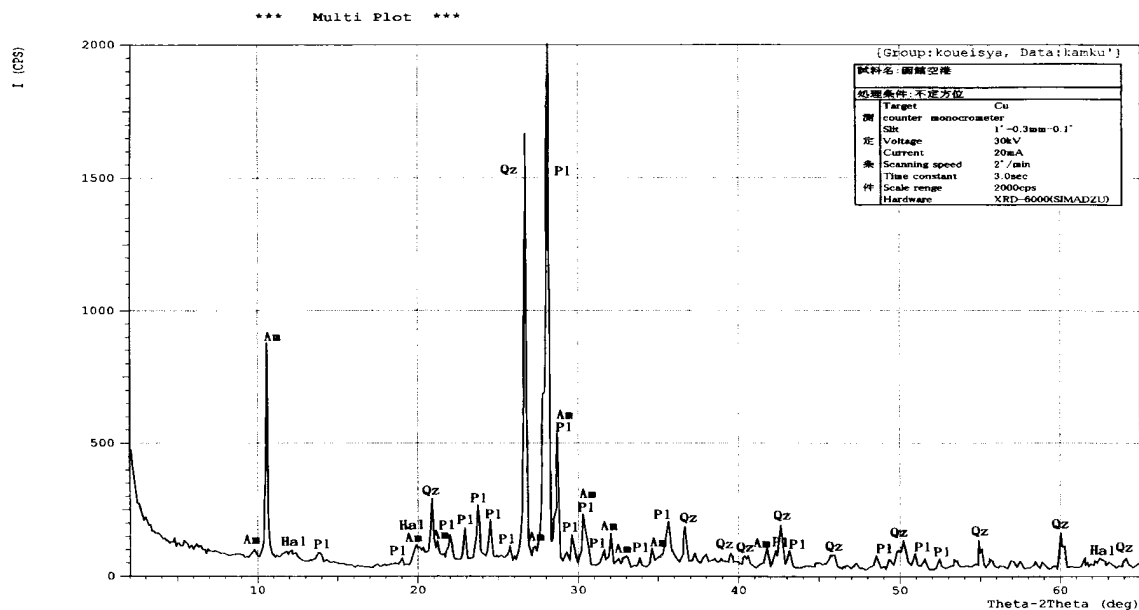


図-3 X線粉末回折結果図

ただし、X線粉末回折による鉱物分析結果では、火山灰質粘性土のこね返しや乾燥に伴う特異な挙動に強く関与するという粘土鉱物（ハロイサイト）を少量含んでいることが判明しており、これが対象火山灰の特殊性に強く影響していると考えられる。

1-2 力学的特性

ここでは、対象となる火山灰の締め固め特性、路床支持力（CBR）および流動化特性等を取りまとめ、以下にその特殊性について述べる。

(1) 締め固め特性

図-4 に締め固めエネルギーが異なる場合の含水比（W）と乾燥密度（ ρ_d ）の関係を示す。図によれば締め固めエネルギーが大きいほど最大乾燥密度（ ρ_{dmax} ）は大きくなり、最適含水比（ W_{opt} ）は小さくなる傾向がみられる。

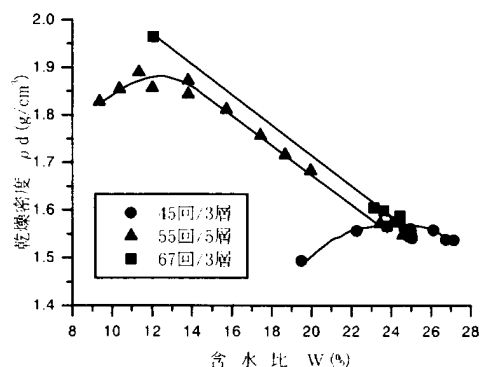


図-4 締め固め曲線図

(2) 路床支持力（CBR）

図-5, 6 に締め固めエネルギーが異なる場合の乾燥密度と CBR の関係および含水比と CBR の関係を示す。

両図によれば、締め固めエネルギーいかによらず乾燥密度の減少あるいは含水比の増加に伴い CBR は減少傾向を示す。また、同一乾燥密度あるいは同一含水比における CBR は締め固めエネルギーの大きい方が小さく、こね返しによる強度低下する特殊性がうかがえる。

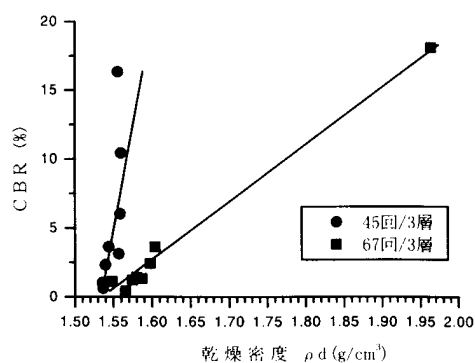


図-5 乾燥密度と CBR の関係

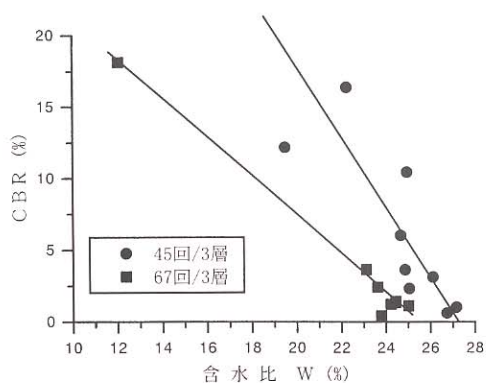


図-6 含水比と CBR の関係

(3) 流動化特性

流動化特性とは、前述のハロイサイトを含んだ火山灰に振動を与えたときにどの程度流動化するかを調べたものである。

流動化程度を調べる方法としては、火山灰を径 300mm、高さ 350mm の容器に自然投入し、その容器を車載して 30 分間走行（振動を与える）した後、コンクリートのスランプ試験（JIS A 1101）に準拠してスランプ値を求め、その値によって判断することとした。

結果は、自然含水比状態では特に著しい泥土化は見られなかったが、5%程度含水比を増加調整すると写真-1 ような著しい流動化が見られた。

これは、振動により土粒子集団の構造が破壊され、非自由水の自由水化（強い振動を与えると水分が湧き出してくる）により強度低下が生じた結果流動化したものと判断することができる。



写真-1 流動化状況

3. 安定化処理土の物理・力学的特性

前述のような特性を有する火山灰に対し、不良土対策として安定化処理を施した場合の安定

処理土の物理・力学的特性についてとりまとめた。

3-1 安定化処理土の試験概要

安定化処理土の試験条件を以下に示す。

表-1 試験条件

配合パターン	供試体作製	固化材	状態	試験項目と方法
CASE-1	D法 (5層55回)	石灰系	初期含水 初期含水±5%	・コーン貫入試験 配合直後、2～3時間後
CASE-2	B法 (3層55回)	石灰系 セメント系	初期含水 初期含水+5% 初期含水-2%	・コーン貫入試験 配合直後、2～3時間後
CASE-3	径300mm 高さ350mm 試料厚250mm 突固め行わず自然投入	石灰系 セメント系	初期含水 初期含水+5%	・コーン貫入試験 0分、15分、30分後 ・スランプ試験 (トラック走行)30分後

3-2 突き固めた安定処理土の特性

(1) 配合率（ α ）とコーン貫入抵抗値（qc）の関係

図-7 および図-8 は各固化材ごとの配合率とコーン貫入抵抗値の関係を含水比状態別に描いたものであり、

① 石灰系およびセメント系とも配合率の増加に伴って強度が増加する。

② 石灰系およびセメント系とも配合率に対する強度の増加は、初期含水比の影響が大きい。

③ 2～3 時間後の強度増加の割合は、石灰系よりセメント系の方が大きい。

等の傾向がみられる。

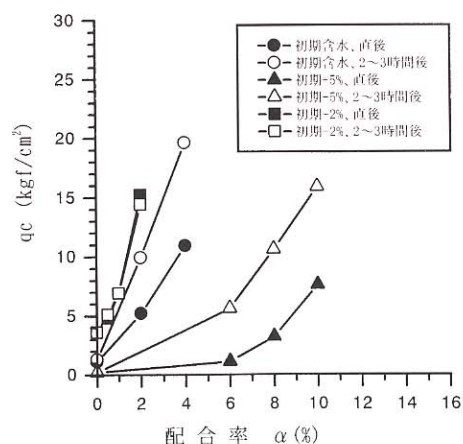


図-7 配合率とコーン貫入抵抗値の関係
(配合材：石灰系、突き固め：B法)

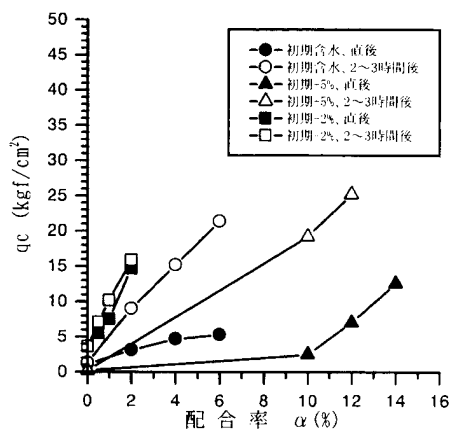


図-8 配合率とコーン貫入抵抗値の関係
(配合材：セメント系、突き固め：B法)

また、図-9 は各固化材ごとの含水比低下割合と強度増加割合の関係(添加後含水比/初期含水比ー添加後 q_c /初期 q_c)を描いたものであり、

- ① セメント系と石灰系では石灰系の方が同一含水比低下割合における強度は小さい。
- ② 石灰系ではB法による場合よりもD法による場合の方が、同一含水比低下割合における強度は小さい。

等の傾向がみられる。

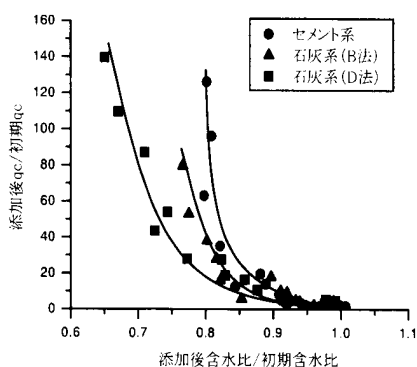


図-9 (添加後含水比/初期含水比ー添加後 q_c /初期 q_c)の関係

(2) 配合率 (α) と含水比 (W) の関係

図-10 は各配合材ごとの配合率と含水比の関係を含水比状態別に描いたものであり、

- ① 各固化材および各含水比状態とも配合率を多くすると含水比が低下するという右下がりの線になる。

- ② 初期含水比が大きい場合、石灰系の方が含水比低下割合が大である。
- ③ 初期含水比が小さい場合、石灰系とセメント系とも同様な含水比低下割合にある。等の傾向がみられる。

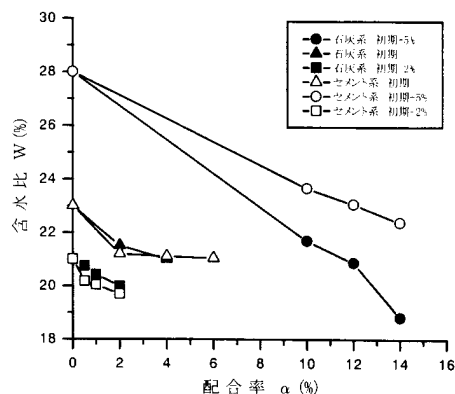


図-10 配合率と含水比の関係

3-3 突き固めない安定処理土の特性

(1) 配合率 (α) と乾燥密度 (ρ_d) の関係

図-11 は配合率と固化材添加前後の乾燥密度低下割合の関係を石灰系とセメント系に分けて描いたものであり、石灰系は配合率 2~3%程度でほぼ同等の乾燥密度になるのに対し、セメント系は配合率の増加に伴って緩やかに乾燥密度が減少する傾向が見られる。

これは石灰系とセメント系の効果の違いであり、石灰系では吸水発熱作用が大きく、セメント系では水和反応による効果があることによる。すなわち、石灰系の場合は少量の配合で吸水し粒状化するため乾燥密度が増加しやすいが、セメント系の場合は少量の配合では水和反応により土塊状になり乾燥密度が増加しにくいと考えられる。

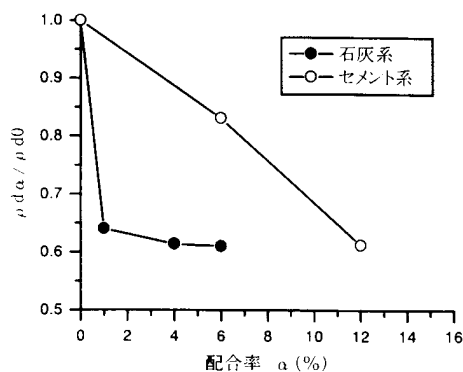


図-11 配合率と乾燥密度低下割合の関係

(2) 配合率(α)とコーン貫入抵抗値(q_c)の関係

図-12 は配合率とコーン貫入抵抗値の関係を固化材ごとに分けて描いたものであり、石灰系は配合率 4%程度、セメント系は配合率 6%程度をピーク強度として上に凸型の曲線傾向となる。

これは、石灰系およびセメント系ともある配合率まではその増加とともに強度も増加するが、配合率が高くなりすぎると火山灰は砂のような粒子状態を呈するようになり、強度低下に影響していると考えられる。

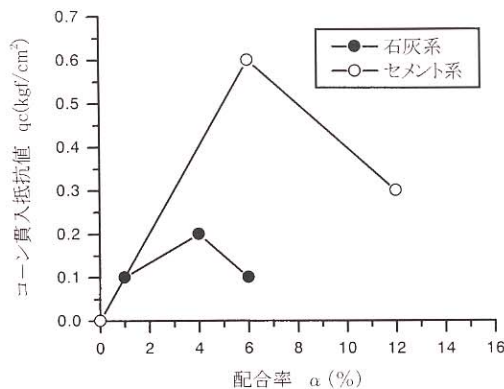


図-12 配合率とコーン貫入抵抗値の関係

(3) 配合率 (α) とスランプ値の関係

図-13 は配合率 α とスランプ値の関係を石灰系とセメント系に分けて描いたものであり、石灰系およびセメント系のいずれも配合率の増加とともにスランプ値は減少し、セメント系では配合率 6%程度を境として上に凸型の曲線を描き、この傾向は石灰系でも同様になると予想される。

これは、流動するほどに泥土化した火山灰に対して固化材を加えてゆくと、土塊状態～団粒化状態～粒子状態（砂状化）とその状態が変化し、これに対応してスランプ値も変化することによるものと考えられる。

また、この状態変化のしかたは石灰系とセメント系とでは多少異なった傾向を示しており、セメント系に比べ石灰系の方が少ない配合率で粒子状態になる。

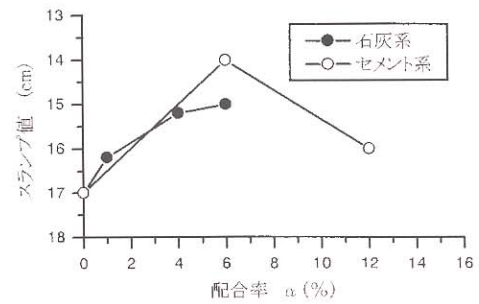
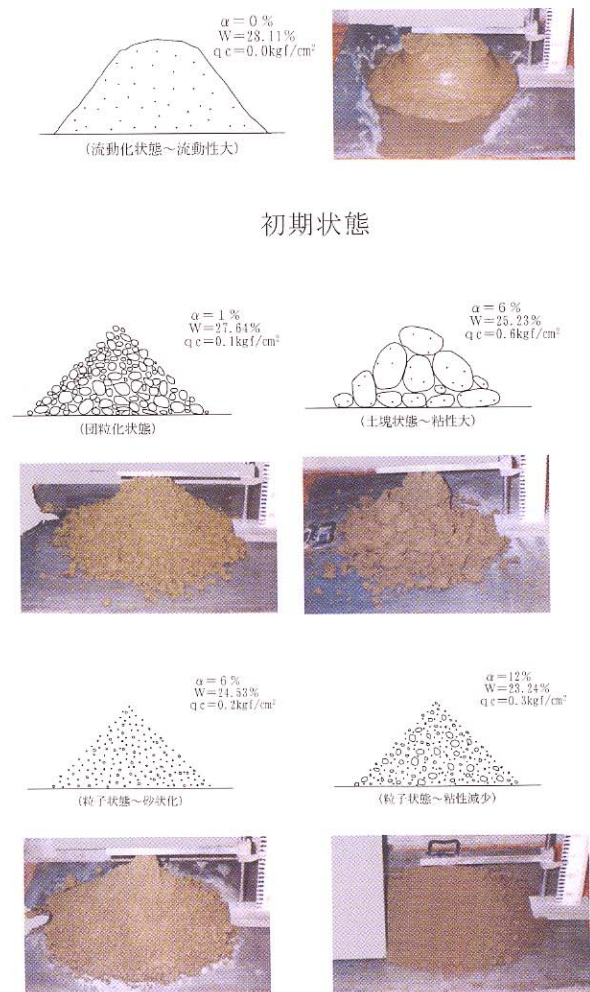


図-13 配合率とスランプ値の関係



石灰系安定処理

セメント系安定処理

写真-2 安定化処理状態

4 おわりに

今回利用したデータは函館空港地質調査において得られたものであり、この結果は実際の設計および施工計画に大きく反映されている。しかし、一般に火山灰は良質土として扱われることから特殊土という認識は無く、実施工において初めて対応が迫られることが多い。対象火山灰のようにハロイサイトを含んでいるような火山灰は、こね返しによる粘土化および強度低下が発生することから、特殊土という認識を強く持ち、調査・設計において十分注意して扱うことが必要である。

参考文献

- 1) 土質試験の方法と解説：地盤工学会
- 2) 地盤工学ハンドブック：地盤工学会
- 3) 北海道における不良土対策マニュアル（案）：北海道開発局土木試験所第3研究部土質研究室
- 4) セメント系固化材による地盤改良マニュアル[第二版]：(社)セメント協会
- 5) 石灰安定処理工法（設計・施工の手引き）：日本石灰協会
- 6) 建設発生土利用技術マニュアル（第2版）：（財）土木研究センター