

火山灰質土の透水性能の構造異方性の評価

Evaluation of structural anisotropy on permeability of volcanic soils

株式会社エス・ビー・シー

○正

員 木村充宏 (Mitsuhiro Kimura)

上山試験工業株式会社

正

員 中田隆文(Takafumi Nakata)

北海道大学 大学院工学研究院

フェロー会員

石川達也(Tatsuya Ishikawa)

1. はじめに

平成 25 年度台風 26 号による伊豆大島, 平成 26 年 8 月豪雨による広島市の被災など, 近年, 豪雨による大規模な土砂災害は増大傾向にある. いずれの事例も火山灰質土, まさ土といった非塑性な性質を有する地盤への雨水の浸透に伴う斜面の不安定化が要因の一つとされている. 豪雨や台風による自然リスクが高く, 山地, 山麓にまで開発が進んでいるわが国では, 地盤の透水性の適切な評価は, 斜面の安定検討のための重要な課題となる.

これまで筆者らは, 北海道に広く分布する火山灰質地盤の透水性能を対象に議論してきた^{1)~2)}. その結果, 火山灰質地盤の透水性は, 礫や砂などの評価法とは同義に議論できず, 火山灰質土特有の透水性を示すことを明らかにしてきた.

本論文では, 火山灰質地盤の透水性能を評価するために, 特に火山灰地盤の堆積構造について着目している. これまで議論してきた鉛直方向の透水係数とともに水平方向の透水性能を評価することにより, 火山灰質地盤の持つ異方性について考察している.

2. 対象とした火山灰質地盤

対象とした試料は, 札幌中心部から約 7km 南方に位置する札幌市南区駒岡(北緯 42° 57' 19", 東経 141° 21' 51")に広がる自然斜面に堆積する地盤において採取したものである.(図-1) 本研究では対象地区の火山灰土を駒岡火山灰土と称している.

周辺地盤は, 野幌層を基盤として, その上部に札幌市東南部台地に広く分布する支笏熔結凝灰岩に覆われており, 支笏カルデラを噴出起源とする支笏火砕流堆積物(Spfl)である³⁾. 火山灰質土の粒子は, 均質で球形に近い形状を呈する砂と異なり, 幅広い粒径で構成されることに加え, 長軸, 短軸を有するいびつな楕円状の粒子で構成される. また, 地山しらすの硬度の判定⁴⁾で用いられている山中式硬度計による指標硬度では, 貫入量が平均で 19mm であることから, 「超軟質しらす」~「軟質しらす」に分類される.

3. 供試体作成方法

本研究では, 原地盤において採取した乱れの少ない試料および再構成試料を試験に用いている. なお, 本論文では乱れの少ない試料を「不攪乱試料」と称している. また, 鉛直方向に採取した試料を V 試料, 水平方向に採取した試料を H 試料と称する.

不攪乱試料の作成イメージを図-2 に示す. V 試料は, 原地盤面 1m 四方の範囲で表層部を 10cm 程度掘



図-1 試料採取地点

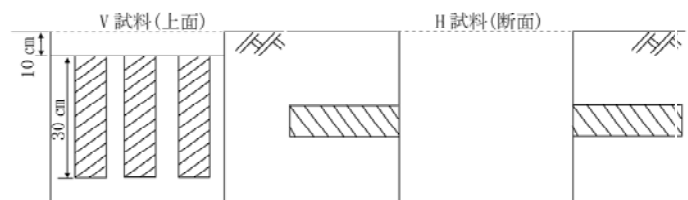
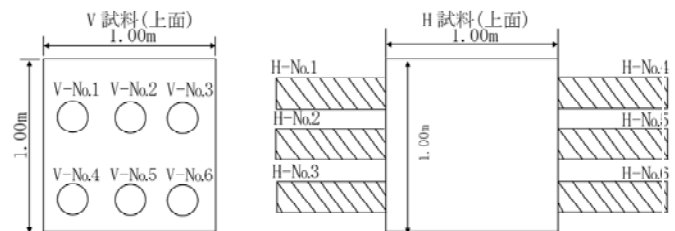


図-2 不攪乱試料サンプリング概要(上面, 断面)

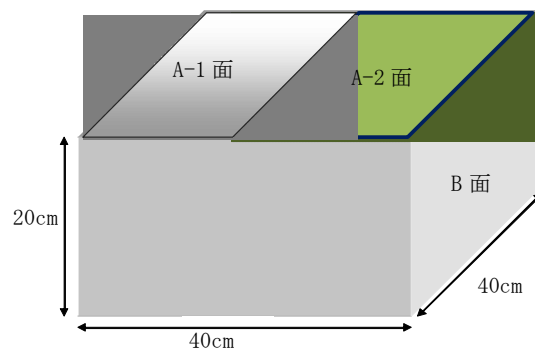


図-3 再構成試料作成箱イメージ

削し、掘削面からシンウォール(直径 75mm, 長さ 25cm)を鉛直に 20cm 程打ち込み、6 試料採取した。次に V 試料を採取した範囲を掘削し、掘削面からシンウォールを水平方向に打ち込み、H 試料を 6 試料採取している。採取後は試料入りのシンウォールを凍結させてから試料を抜きだしている。

一方、再構成供試体の作成手順は、図-3 に示す試料作成箱に試料を詰め、シンウォール(直径 75mm, 長さ 18cm)を打ち込むことで作製している。A-1 面、A-2 面、B 面はビスにより着脱可能となっている。試料は層厚 5 cm 毎に 4 層で作製している。なお、密度調整のため、試料の含水比から 1 層あたりの所用重量を算出している。B 面を閉じて試料を供試体作成箱に詰めた後、図-4 のように A-1 面から中空円柱状の V 試料用シンウォールを垂直に 6 本打ち込む。次に A-1、A-2 面を閉め、B 面を開放し、B 面から H 試料用シンウォールを 6 本打ち込む。計 12 本のシンウォール打ち込み完了後、A-1 面、A-2 面、B 面全てのビスを外してシンウォールを取り出す。その後シンウォールごと試料を凍結させてから試料を抜き出している。なお、前述の不攪乱 V 試料を参考に、再構成試料は $\rho_d = 0.87 \text{ g/cm}^3$ に調整した。

4. 試料の物理的性質と原位置地盤特性

試験に用いた駒岡火山灰土の不攪乱試料から得られた物理的性質と原位置地盤特性を表-1 に示す。表には、既往の文献⁵⁾からの各項目の数値範囲を併記している。

表から、駒岡火山灰土の ρ_s 、 w_n および F_c は、既往文献⁵⁾で示された Spfl の値の範囲内に収まっている。一方、原位置地盤特性としての ρ_d の値であるが、V 試料、H 試料ともに Spfl の範囲内にあるものの、同一地盤で採取したにもかかわらず、その平均値の差が V 試料の方が 0.12 g/cm^3 程度大きい。この相違は、H 試料のサンプリングの際のコア抜き時の試料の緩みなどが想定されるが、今後の検討課題としている。

また、図-5 に不攪乱試料の粒径加積曲線を示す。V 試料、H 試料の粒度分布に明確な差異はなく、同等の粒度組成を有していると判断される。

再構成試料は、原位置から掘削により採取した試料から試料内の腐植物を取り除き、その後 10mm のふるい通過試料を四分法により均一化し、試験に用いた。作成した試料の物理的性質を表-2 に示す。

次に、再構成試料の粒径加積曲線を図-6 に示す。原粒度、10mm ふるい通過後、10mm ふるい通過試料を用いた再構成供試体作成後、の 3 段階において粒径加積曲線を求めている。試験試料作成前後の粒度分布に大きな変化はない。よって、供試体作成に伴う破碎による粒度分布の変化や細粒分の増加はほぼ無いものと判断できる。

5. 実施した試験

本研究では、三軸試験機を用いた透水試験を実施している。凍結した試料をセット後、10kPa の拘束圧をかけた状態で 24 時間自然解凍させた。解凍後、二酸化炭素、脱気水供給により飽和を図ったのち、透水試験を行っている。試験は水頭差のみで通水させた変水位型の透水試験を行っている。なお、試験完了後、B 値が 0.95 以上であることを確認している。

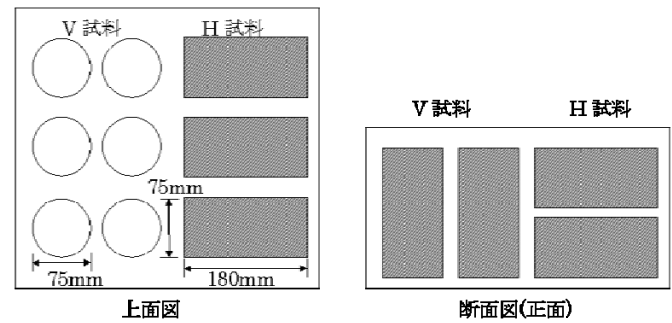


図-4 再構成試料サンプリング概要(上面, 断面)

表-1 不攪乱試料の物理的性質と原位置地盤特性

		$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	$w_n(\%)$	$F_c(\%)$
V 試料	No.1	2.53	0.87	46.7	29
	No.2	2.54	0.90	43.3	31
	No.3	2.53	0.89	45.6	30
	No.4	2.54	0.86	42.4	29
	No.5	2.53	0.86	44.8	30
	No.6	2.53	0.86	44.4	29
	平均	2.53	0.87	44.5	30
H 試料	No.1	2.55	0.74	45.8	33
	No.2	2.54	0.78	44.3	30
	No.3	2.54	0.76	44.1	31
	No.4	2.55	0.74	42.4	27
	No.5	2.55	0.72	42.6	27
	No.6	2.54	0.75	42.2	27
	平均	2.55	0.75	43.6	29
既往文献 ⁵⁾		2.1~2.8	0.7~1.3	20~110	10~50

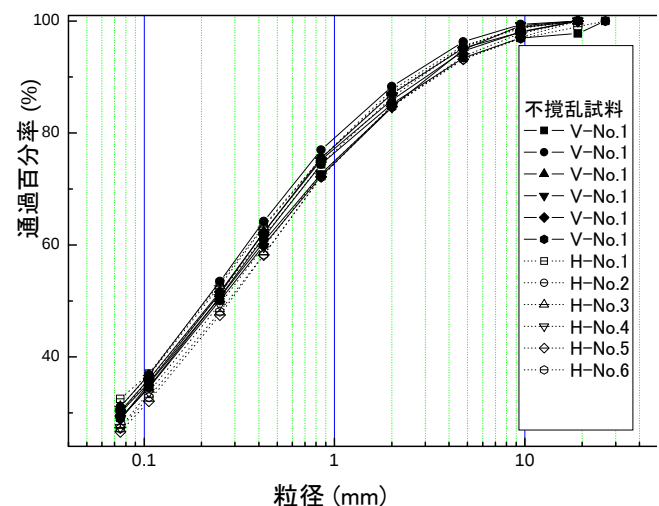


図-5 不攪乱試料の粒径加積曲線

表-2 再構成試料の物理的性質

	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$w_n(\%)$	$F_c(\%)$
V 試料(再構成)	2.47	33.5	27.1
H 試料(再構成)	2.47	33.2	26.3

透水試験時の有効拘束圧は粒子構成を極力乱さないことを目的として 10kPa としている。本試験では V 試料、H 試料の透水係数をそれぞれ k_v 、 k_h と定義している。

また、透水試験値の比較のため、再構成試料の目標密度 $\rho_d=0.87\text{g/cm}^3$ において、JIS A 1218 に規定される変水位型の透水試験を実施している。

6. 結果と考察

6.1 不攪乱試料の透水性能の異方性

表-3 に、不攪乱試料の透水試験結果を示す。いずれの試験においても k_h が高い結果となり、平均で k_v の 3 倍程度高い値となった。

図-7 では、不攪乱試料の k_v および k_h を間隙比により整理した。間隙比が大きい k_h が高い透水性を示している。V、H 試料について、それぞれ同一の間隙比により透水性を比較する目的であったが、間隙比の差異が大きいため、この結果だけで k_v 、 k_h の異方性について差異を評価することは難しい。

図-8、図-9 では、 D_{10} および D_{20} と透水係数の関係を示している。図中には既往文献⁵⁾に示されている、本研究と同一噴出起源の Spfl の推定式による関係式を示している。図-8 に示す D_{10} と透水係数との関係では、 k_v 、 k_h ともに概ね推定式の範囲内に収まっているものの、 k_h の一部が上端値を上回っている。また、図-9 に示す D_{20} との関係では、全ての k_h が推定式の上端よりも高い値を示している。加えて、同程度の値の D_{10} 、 D_{20} で比較すると、いずれの場合も k_h が高い値となっている。

これらの推定式は鉛直方向への透水性を想定したものと考えられるため、堆積構造の異なる水平方向の透水係数 k_h との相関が低い可能性が示唆される。また、 D_{10} 粒径、 D_{20} 粒径と透水係数との間に明確な相関は確認できず、その依存性は低いものと推測される。

6.2 再構成試料の透水性能の異方性

表-4 には、再構成試料の透水試験結果を示す。再構成試料による試験でも k_h が高い結果となり、平均で k_v の 8 倍程度高い値を示している。なお、JIS A 1218 による 10cm モールドの試験についても併記しているが、V 試料の透水係数と同程度の値となっている。

また、図-10 では、再構成試料の間隙比と透水係数の関係を取りまとめた。図から、ほぼ同一の間隙比 e において k_v と k_h には 1 オーダー程度高い値であることが示されている。さらに、間隙比がほぼ同じにもかかわらず、透水係数の大きさに差が生じていることから、密度や間隙比ではなく、供試体の切り出し方向を変えたことに起因する堆積構造の違いが、 k_v 、 k_h に差異を及ぼした可能性が示唆される。

例えば、関東ローム層を対象とした既往の研究⁶⁾では、自然地盤の k_h が k_v の 10 倍程高い値を示す結果が報告されており、今回の試験結果と同様の傾向を示している。

6.3 採取方法による差異の検証

図-11 では、不攪乱試料、及び再構成試料の全ての試験結果を間隙比 e によって整理している。 k_v 、 k_h それぞれを採取方法別に比較した場合、不攪乱試料による透水係数がやや高い値となっている。これは原粒度と調整試料との間に生じた差異ではないかと推察される。

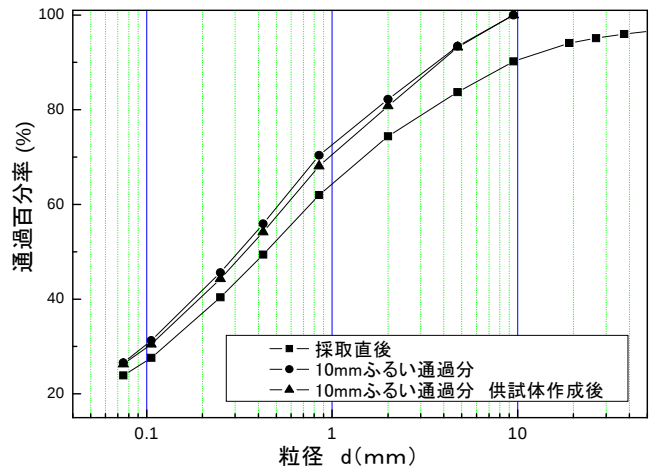


図-6 粒径加積曲線

表-3 透水試験結果(不攪乱試料)

	V 試料	H 試料
	$k_v(\text{m/sec})$	$k_h(\text{m/sec})$
No.1	2.57×10^{-6}	5.42×10^{-6}
No.2	2.80×10^{-6}	8.83×10^{-6}
No.3	2.61×10^{-6}	6.14×10^{-6}
No.4	1.89×10^{-6}	7.58×10^{-6}
No.5	1.47×10^{-6}	8.96×10^{-6}
No.6	1.20×10^{-6}	6.54×10^{-6}
平均	2.09×10^{-6}	7.25×10^{-6}

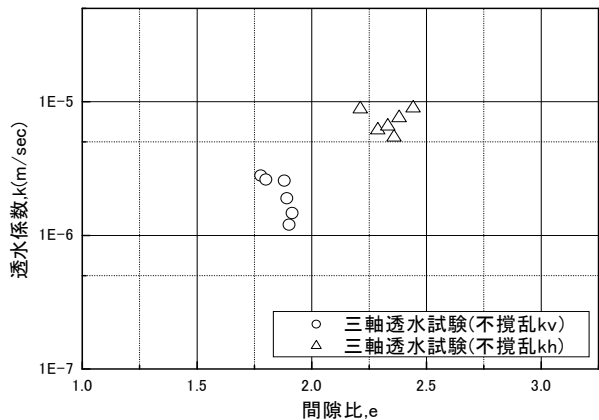


図-7 透水係数と間隙比の関係(不攪乱試料)

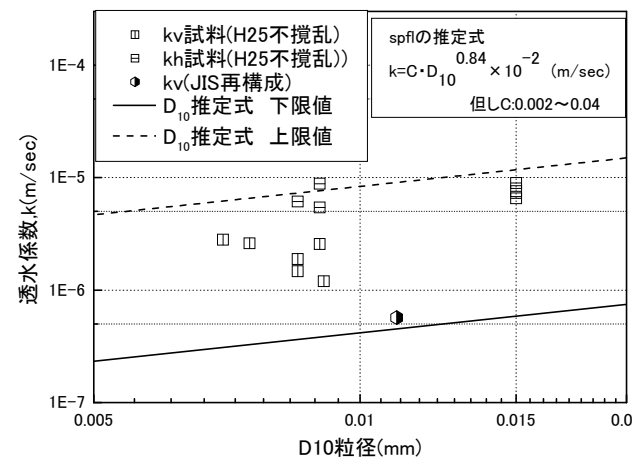


図-8 D_{10} と透水係数の関係

また、水平方向の透水係数 k_h について着目すると、間隙比に対する依存性が小さいことが確認できる。これは既往の研究⁶⁾と同様の傾向であり、堆積構造の影響が一因と考えられる。

7. まとめ

- ①試料作製方法の違いに関わらず $k_v < k_h$ となり、いずれも水平方向の透水係数が高い結果となった。
- ② D_{10} , D_{20} 粒径と透水係数の間に明確な相関は見られない。また、 k_v については推定式により求めた透水係数の範囲内に収まるが、 k_h は推定式の上端値よりも高くなる傾向があり、 D_{20} ではそれが顕著である。
- ③三軸試験機を用いて求めた透水係数 k_v と、JIS A1218 による試験の結果はほぼ一致している。よって、試験法の違いによる透水係数への影響はないものと考えられる。
- ④再構成試料において同一の間隙比における k_v , k_h を比較すると、 k_h が1オーダー高い値を示す。これは試料が短軸、長軸を有する粒子形状であることに起因し、堆積構造の異方性が存在することを示唆している。
- ⑤透水係数 k と間隙比 e には若干の相関性は見受けられるものの、その程度は小さい。

8. 今後の展望

今回の研究において、駒岡火山灰土の鉛直、水平方向の透水係数には明確な差異があること、その差異は間隙比や乾燥密度及び粒径によるものではなく、堆積構造の違いが支配的である可能性が推察された。

一概に火山灰質土の透水性を堆積構造に着目して説明してきたが、これまでの火山灰質土の研究では、その粒子形状がユニークであること、ギザがあることなどが知られている。つまり、砂や粘土土のような均一な粒径を有する粒状体などの堆積構造と比較し、火山灰質土の場合は、より大きな影響を受けることが考えられる。そのため、不飽和状態における透水挙動を考慮して地盤内の水の広がり方を考えると、堆積構造の相違を議論することは重要と考える。

今後は火山灰質土に比して均質で球形に近い粒子形状を有する豊浦砂の k_v , k_h と駒岡火山灰土と比較することで、粒度分布や粒子の形状が透水性能に与える影響について考察する計画である。

【参考文献】1)中田・宮浦・横浜：雪堆積場の建設を目的とした火山灰地盤の透水性能評価、地盤環境および防災における地域資源の活用に関するシンポジウム，pp. 43-48, 2010.，2)宮浦・中田・木村・横浜：雪堆積場としての適用性に関する火山灰地盤の透水性評価，地盤工学会北海道支部技術報告集 第51号，pp.221-228, 2011.，3)北海道地下資源調査所：5万分の1地質図幅説明書『石山』，pp.28-29, 1956.，4)春山元寿：硬度によるシラスの工学的判別分類，応用地質，Vol.16, No2, pp.40-47, 1975.，5)地盤工学会北海道支部 北海道の火山灰質土の性質と利用に関する研究委員会：実務家のための火山灰土，2010.，6)乾・小松・石井：実地盤における透水異方性調査方法について，全地連「技術フォーラム2012」新潟，2012.

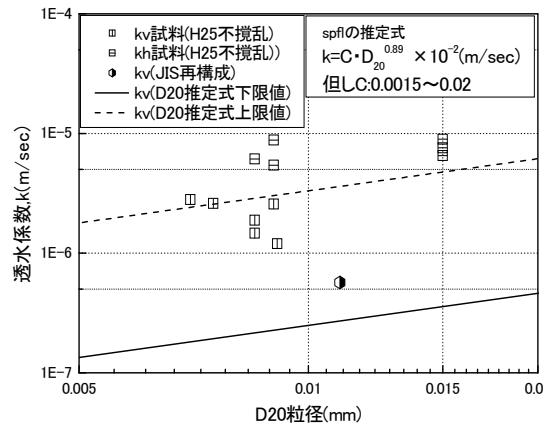


図-9 D_{20} と透水係数の関係

表-4 透水試験結果(再構成試料)

	V 試料	H 試料
	k_v (m/sec)	k_h (m/sec)
No.1	3.10×10^{-7}	3.22×10^{-6}
No.2	8.95×10^{-7}	2.58×10^{-6}
No.3	3.34×10^{-7}	3.21×10^{-6}
No.4	7.61×10^{-7}	5.16×10^{-6}
No.5	2.64×10^{-7}	7.02×10^{-6}
No.6	6.94×10^{-7}	6.03×10^{-6}
平均	5.43×10^{-7}	4.54×10^{-6}
JIS 法	5.69×10^{-7}	—

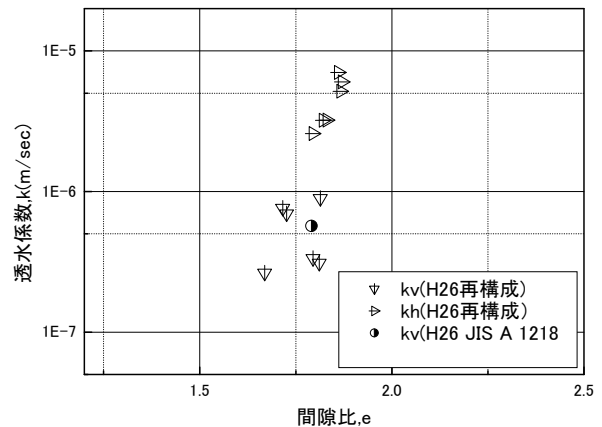


図-10 透水係数と間隙比の関係(再構成試料)

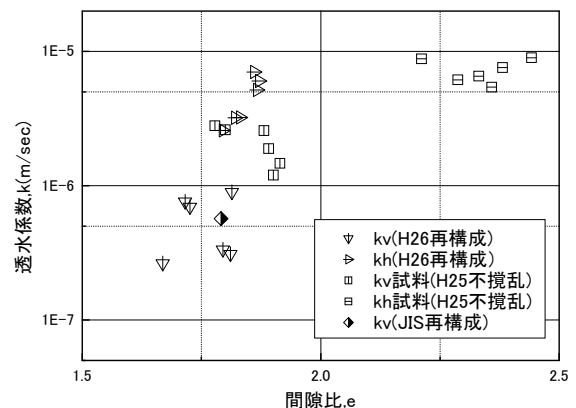


図-11 間隙比と透水係数の関係