The Japanese Geotechnical Society

事例報告

降下軽石の土質工学的性質についての調査

Field and Laboratory Tests on Depression Pumice Stones

長谷川　昌　弘（はせがわ　まさひろ）
大阪工業大学教授　工学部土木工学科

笹　木　　弘（ささき　ひろし）
飛島建設㈱技術研究所環境研究室　主任研究員

臼　井　　勝（うすい　まさる）
㈱テス土木事業部設計部　次長

1. はじめに

鹿児島県中央部には桜島や霧島などの火山噴火による降下軽石が，通称『ボラ』と呼ばれて広く分布している。本報告は，鹿児島県大隈半島の中部に位置する鹿屋市の西方に堆積している「大隈降下軽石層（ボラ層）」において実施された原位置試験・室内土質試験の結果をまとめたものである。

2. ボラ層について

ボラは，「広義のしらす」に属しており，火山噴出物である降下軽石層の一種であるが，特に桜島や霧島の噴火による降下軽石層に対して呼称されている。ボラは粒状であるため，建設省の設計積算上の分類では礫質土に分類されているが，その粒子中には多量の空隙を有しており，破砕しやすい粒径のそろった軽石を主体とした粒状土であり，透水性が高いことが特徴となっている。また，色調は灰白色～黄色～黄褐色を呈する。

化学的成分としては重量比で60％が珪酸 SiO_2 であり，同じく20～25％の酸化アルミニウム Al_2O_3 とでその大部分を占めており，軽石の鉱物成分はガラス，石英，長石で構成されている。

ボラ層は，桜島および大隈半島中北部から宮崎県南西部の志布志・都城にかけて特に厚く分布しておりその他の地域ではまれである。

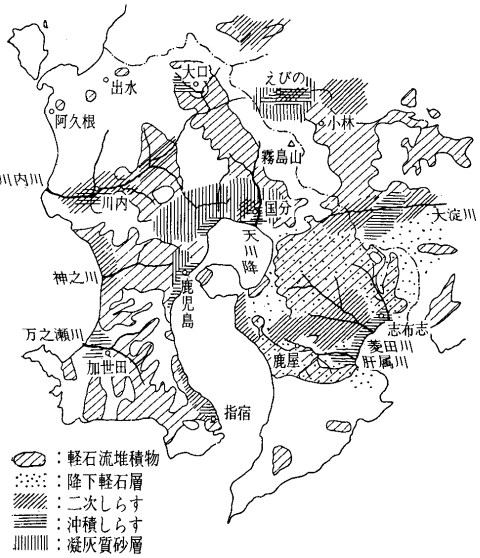
ボラ（降下軽石）層の分布としては，**図―1**のような調査結果が報告されている。

3. 地質概要

調査地における地質堆積状況を推定すると**図―2**のようである。強風化安山岩の上に粘土層と降下軽石（ボラ）が層厚 6～7 m で堆積しており，その上に薄くローム・表土が覆っている。

4. 原位置試験

幅 5 m，長さ25 m の原位置試験用の大型ピットを作り，ピット内およびその周辺部にてスウェーデン式サウンディング，原位置大型せん断試験，弾性波探査，平板載荷法による変形試験および密度試験などの各種原位置試験を実施した。試験の概要と試験結果を以下に示す。



図―1　しらすの分布地域（露木による）

4.1 スウェーデン式サウンディング

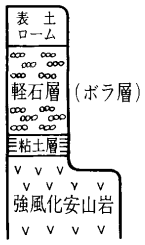
ボラ層の強度および層厚を求めるためにスウェーデン式サウンディングを実施した。試験結果を**図―3**に示す。試験位置により若干の違いはあるが，$N_{sw}=50\sim100$ となっている。一方，近傍で実施された標準貫入試験の結果では，$N=3\sim10$ がえられている。砂礫として提案されている稲田式 $N=0.02W_{sw}+0.067N_{sw}$ より N 値を推定すると $N=5\sim9$ になり，ボラ層においても稲田式が適用できる。

4.2 原位置大型せん断試験

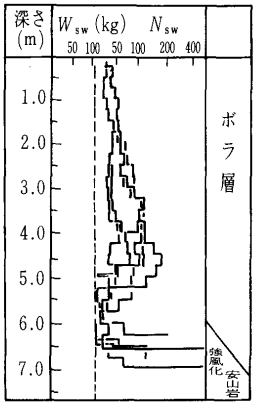
テストピット内に縦 1 m×横 1 m×高さ0.4 m の供試体を 4 個成形し，それぞれに鉛直荷重 σ を 0，0.2，0.5，1.0 kgf/cm^2 で載荷し，せん断速度を毎分0.04 kgf/cm^2 としてロックせん断試験型の原位置大型せん断試験を実施した。試験結果を**図―4**に示す。鉛直荷重 $\sigma=1.0$ kgf/cm^2 のケースは**図―5**に示すように粒度分布（破線の粒径加積曲線）が異なっており，他のせん断供試体と比較して細粒分の含有量が多い。また，**図―4**からもわかるように，ピーク強度を示す水平変位も大きいことから $\sigma=1.0$ kgf/cm^2 のケースを省き他の 3 ケースからせん断強度を求めるとせん断強度式は次のようになる。

NII-Electronic Library Service

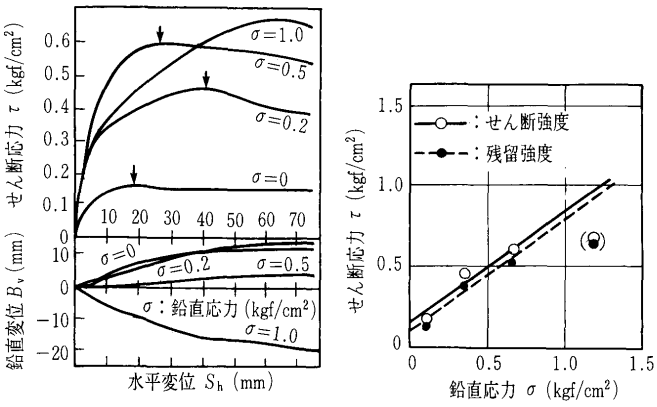
The Japanese Geotechnical Society



図―2　地質推定図

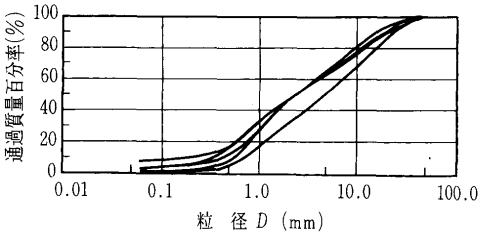


図―3　スウェーデン式サウディング試験結果



(a) せん断力－変位曲線　(b) せん断－鉛直応力曲線

図―4　原位置せん断試験結果



図―5　ボラの粒径加積曲線

$\tau=0.1+\sigma\tan 35°$　kgf/cm²

4.3　弾性波探査

ボラ層のP波速度と層厚を調査するために弾性波探査を行った。解析結果を走時曲線と弾性波速度分布図で示すと図―6のようになる。ボラ層の弾性波速度は V_p =150 m/s，層厚は約5 mとなっており，スウェーデン式サウンディングの結果とほぼ一致する。

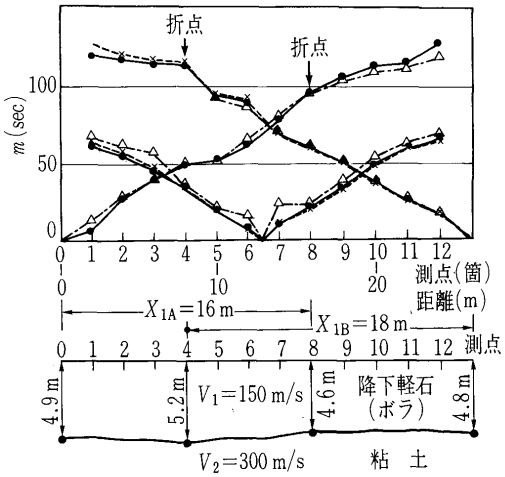
4.4　変形試験および衝撃式地耐力試験

直径30 cmの鋼製円盤を用いた繰返し載荷試験を3箇所で実施し地盤係数 K_{30}，変形係数 E，降伏応力 q_y を求めた。得られた試験結果はそれぞれ次のようである。

地盤反力係数　$K_{30}=4\sim8$　kgf/cm³
変形係数　$E=90\sim170$ kgf/cm²
降伏応力　$q_y=2.3\sim3.0$ kgf/cm²

4.5　密度試験

直径7.5 cm，長さ15 cmのステンレス製シンウォールチューブを地盤にゆっくりと貫入させて密度測定を行った。湿潤密度 ρ_t で1.005～1.063 g/cm³，乾燥密度 ρ_d で



図―6　走時曲線図および弾性波速度分布図

0.630～0.715 g/cm³であり，含水比 w_n は50～90%と場所によるばらつきが大きい。

5.　室内試験結果

5.1　粒度構成

ふるいわけによる粒径加積曲線を示すと図―5のようになる。最大粒径 D_{max} は，50.8 mmであり，礫分が50～60%を占めている。肉眼による観察では礫分のほとんどが岩片を含む軽石の粒子で構成されている。一方，粒径2.0 mm以下の粒子については大部分が石英質のものとなっている。均等係数 U_c は8程度であり，比較的粒径の揃った材料である。日本統一分類法（1996）では砂質礫（GS）に分類される。

5.2　土粒子の比重

自然試料と破砕試料について各々表―1に示すような粒径範囲別に土粒子の比重を煮沸法と減圧法により求めた。全般的には自然試料に比べて粉砕試料の方が大きな値となっており，減圧法より煮沸法の方が大きな値を示している。また，粒径2.0 mmを境として大きく異なっていることがわかる。

5.3　含水比

全粒径試料と粒径範囲別の含水比を求めた結果を表―2に示した。全粒径試料の含水比は，26～90%にばらついており，粒径による違いも大きい。土粒子の比重の場合と同様に粒径2.0 mmを境に大きく変化し，粒径が大きくなるほど含水比が高くなる傾向が認められる。

5.4　透水性

直径50 cm，高さ40 cmの不撹乱試料を直径が一回り

表―1　ボラの比重試験結果

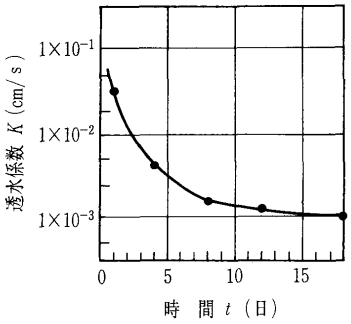
粒径 (mm) ＼ 試験方法	自然試料		粉砕試料	
	煮沸法	減圧法	煮沸法	減圧法
全粒径	2.403	2.353	2.498	2.493
19.1以上	2.345	2.374	2.414	2.403
19.1～9.52	2.326	2.322	2.409	2.397
9.52～4.76	2.306	2.307	2.419	2.405
4.76～2.00	2.308	2.364	2.411	2.401
2.00以下	2.620	2.588	2.617	2.602

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

表―2　含水量試験結果一覧表

粒径（mm）＼ケース	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
全粒径	55.7	58.5	57.8	26.5	89.1	54.9	70.9	66.9
～38.1	—	85.6	122.8	22.9	108.0	87.9	138.7	141.8
38.1～25.4	89.9	91.6	76.1	56.4	106.8	94.8	104.0	107.9
25.4～19.1	99.0	82.7	86.4	40.0	111.3	88.1	92.3	110.3
19.1～9.52	89.5	81.7	77.7	37.2	99.8	98.1	113.3	103.8
9.52～4.76	82.7	77.2	77.4	38.3	99.3	85.3	114.7	98.9
4.76～2.00	74.3	70.4	71.4	35.2	89.7	70.8	98.8	81.8
2.00～	23.6	15.3	20.0	20.4	41.4	27.7	26.2	20.8



図―7　透水試験結果

大きい円筒形モールドにセットし，側面の空隙を発泡ウレタンでシールした状態で定水位法による透水試験を実施した。**図―7**に透水係数Kの経時変化を示す。透水性は通水時間に依存し，通水当初は$K=3.4\times10^{-2}$ cm/sであるが，徐々に低下し，18日通水後は$K=1.0\times10^{-3}$ cm/sに落ち着いた。在来の関係式を用いて粒度分布や間隙比などから透水係数を推定すると10^{-1}～10^{-2} cm/sのオーダーとなるが，ボラ層の透水係数はこの推定値よりも1オーダー程度低いようである。

5.5　一軸圧縮強度

比較的大きな粒子を直径3.0 cm，高さ6.0 cmの供試体に成形し，一軸圧縮強度試験を実施した。ボラ粒子の一軸圧縮強度q_uは19.3～22.3 kgf/cm^{2}が得られた。

6.　おわりに

ボラ（降下軽石）という特殊土を対象として実施した原位置試験，および室内試験の結果についてまとめると**表―3**のようになる。以上の試験結果から特徴的な事項を挙げると次のようになる。

① スウェーデン式サウンディングなどから推定したN値や変形係数は，稲田式やSchultze・Menzenback式など過去の礫質土について求められている関係式に比較的良く対応している。

② 土粒子の比重や含水比は粒径に依存しており，粒径2.0 mmを境として値が大きく異なる。

表―3　室内試験結果一覧表

試験名			試験値
粒度特性	礫分（2 000 pm 以上）	(%)	54.1
	砂分（74～2 000 pm）	(%)	41.7
	シルト分（5～74 pm）	(%)	4.2
	粘土分（5 pm 以上）	(%)	
	最大粒径	(mm)	38.1
	均等係数 U_c		8.67
	曲率係数 U'_c		0.69
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	(%)	NP
	塑性限界 w_p	(%)	NP
	塑性指数 I_p		—
分類	日本統一土質分類		GS
	土質名		均等粒度の礫
土粒子の比重 G_s			2.498
自然状態	含水比 w_n	(%)	40～110
	湿潤密度 ρ_t	(g/cm^3)	1.005～1.063
	乾燥密度 ρ_d	(g/cm^3)	0.630～0.715
	間隙比 e		2.49～2.96
	飽和度 S_r	(%)	45.9～59.6
透水試験 k (cm/s)			1×10^{-3}
一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u	(kgf/cm^2)	19.3～22.3
	含水比 w_n	(%)	77.2～99.8
	湿潤密度 ρ_t	(g/cm^3)	0.985～1.126
	乾燥密度 ρ_d	(g/cm^3)	0.493～0.635
	間隙比 e		2.78～3.87
	飽和度 S_r	(%)	61.9～70.5

参考文献

1) 地盤工学会：土質調査試験結果の解釈と適用例，土質基礎工学ライブラリー4.
2) 地盤工学会：日本の特殊土，土質基礎工学ライブラリー4.
3) 地盤工学会九州支部：九州・沖縄の特殊土，1982.
4) 得丸正哉・佐藤　護・福冨幹男・金光勝明・森野道夫：ボラ地帯にみられた斜面災害，第12回土質工学研究発表会研究発表論文集，pp. 881～884, 1949.
5) 林　重徳・山内豊聡・緒方健治・東　光久：しらすの侵食特性について，第15回土質工学研究発表会研究発表論文集，pp. 1153～1156, 1946.
6) 九州農政局九州地域総合開発調査事務所：南九州シラス地帯の水源開発.

（原稿受理　2000.10.31）

NII-Electronic Library Service