

## 稲城砂の土質工学的性質と微視的考察

## SOIL PROPERTIES AND MICRO-STRUCTURE OF INAGI SAND

やま 山	ぐち 口	ひろし 宏*	き 木	が 賀	かず 一	み 美*
あくた 芥	がわ 川	しん 真	ち 知**	かざ 風	ま 間	ひで 彦***

## 1. まえがき

稲城砂層は東京都西南部の多摩ニュータウン建設地域に広く分布し、その厚さは数十mに及んでいるところもある。近年、大規模な宅地造成工事に関連して、稲城砂の土質工学的な特殊性がクローズアップされ、各種の調査・研究が行なわれている<sup>1),2),3)</sup>。稲城砂層は他の同様なみかけの砂層と土質工学的性質を異にし、一般的には“砂”ないし“砂質土”であるにもかかわらず、粘性土的な性質を示すこともある反面、侵食されやすい面もある。このような点から特殊な土であり、「日本の特殊土」<sup>4)</sup>の中でも山砂の一例として取り上げている。しかし、程度の差こそあれこの種の砂層は稲城砂層に限らず各地に分布する。近く稲城砂の大規模な土工事が行なわれようとしている。しかし、その土質工学的性質に関しては未知な点が多いのが現状である。そこで、稲城砂の物理的性質を全体的には握し、代表的な試料について突固め、透水、三軸圧縮などの各試験、および侵食性に関する試験を行なった。そして、稲城砂が特殊な性質を示す原因を鉱物学と微視的構造などの観点から明らかにすることを試みた。なお、本文中の写真の一部は口絵に掲載されているので、それを参照されたい。

## 2. 地形、地質

稲城砂層は多摩丘陵北縁の多摩川南岸地域に分布する三浦層群最上部層である。多摩丘陵の三浦層群は砂泥の繰返しからなり、岩相の側方変化が著しいために岩相区分がなされているが、稲城砂層はそのひとつで70~100mの厚さを持ち、クロスラミナの発達した非常に分級のよい粗粒~中粒の厚い砂層で、地表に近い部分では酸化鉄の沈殿によって黄かっ色に着色され幾分固結された部分がある。沿岸汽水性の環境下でのタイ積物であると考えられている。まれに細かい円レキを含み、また薄い泥層をはさむことがある。地質構造はN-SないしNE-SWの走向でゆるく東に傾く(傾斜3°以内)。三浦半島北部の小柴層にほぼ対比される。すなわち、下部洪積統に属すると考えられている。

稲城砂層の発達する地域では同砂層上面は陸成の侵食平坦面を形成し、その上を扇状地性河成レキ層である御殿峠レキ層が被覆してT<sub>1</sub>面と称するタイ積面を形成する。このレキ層は層厚10~15mで粗大なくされレキを主にする。マトリックスは中~粗粒砂である。レキ質は桂川や浅川起源とみられており、これらの谷の出口にタイ積したものである。御殿峠レキ層の分布、厚さ、基盤面の形状は同層タイ積前の稲城砂層の侵食地形や前記の川の河道の位置に支配され、その分布は局限されている。稲城砂層の上面はところによって御殿峠レキ層より幾分新しく薄いおし沼砂レキ層におおわれている。これらの砂レキ層は中部洪積世の屏風ヶ浦海進と一括されている時期のタイ積物である。これらをおおって多摩ローム層およびそれより上位の関東ローム層が分布するが、多摩ローム層の分布は調査地域内ではあまり広くない。

稲城砂層の性状に関して特に注目すべき点は、現地地表下の深い部分では現世における循環水の影響下での風化がわずかにみられるのに対して、御殿峠レキ層、おし沼砂レキ層や関東ローム層の直下部では、これらの被覆層がタイ積する以前の侵食期の陸上の風化を受けているうえに、さらに被覆層タイ積後も透水性、保水性の良いこれら被覆層に浸透した雨水による風化を長期にわたって受けていることである。特に被覆レキ層下でこの現象は顕著である。口絵写真—9でみるように本砂層の長大切土面で、関東ローム層との不整合面直下で侵食が著しく、下部に行くに従って侵食が弱くなるのは、不整合面下で長期に風化を受けた部分の弱化を示している。またかくはんエネルギーの大きい沿岸タイ積物で分級が進んでいることは図—1の粒径加積曲線にみるようにギャップグレイディングが著しいことで示されている。

## 3. 物理的性質

稲城砂層は下部洪積世の海浜性のタイ積物であるために、ひとくちに稲城砂といっても、その土質工学的性質は場所、および層準によってたいへん異なることが予想される。そこで、稲城砂の全体的な性質を把握するために、砂層が比較的厚い所で、土取りがされた後の切土斜面の中から代表的と思われる3地点(以下A, B, C斜面と呼ぶ)を選ん

\* 日本住宅公団 南多摩開発局

\*\* 理博 埼玉大学教授 工学部

\*\*\* 埼玉大学 工学部

だ。これらの斜面長は20~70mで、口絵写真-9にA斜面の全景を示した。A, B斜面は稲城市百村で両者は近接しており、A斜面は数年前に尾根を切り取った斜面で直高40mにおよび、比較的新鮮な砂層である。B斜面はローム層との不整合面より10m程度下部で、全体的に酸化鉄の浸み込みによって着色され、風化の影響が見られる斜面である。この不整合面には、ところどころにおし沼砂レキ層とみられる薄いレキ層の存在が認められる。C斜面は多摩市永山の近くで厚い御殿峠レキ層におおわれた地点であり、比較的平坦な地形面を切った古い土取り場の切土面である。御殿峠レキ層は広いチャンネル状のタイ積を示し、それ自身がローム層におおわれている。C斜面はチャンネル底に相当する不整合面から15mぐらいまでの深さで、風化が著しく進んでいる。A, B斜面の下部は稲城砂層より下位の連光寺互層に近く、C斜面はこれより上位にある。これらの斜面の上下方向に1本の測線を設けて、地層構成の観察をすると同時に、1m間隔に試料を採取して、物理試験を行なった。

稲城砂層はほぼ水平に成層しているが均質ではなく、ところどころに薄い粘土層をはさんでいる。とりわけA斜面下部は口絵写真-9からわかるように、5~30cmの薄い粘土層が何枚も介在する。この粘土層および酸化鉄を多く含んだ赤かつ色の薄い層は堅く締まった状態にあるので、不透水層になりその付近では侵食が促進される傾向にある。一方、斜面上部のローム層との不整合面近くでは著しく風化されて、粒径が小さい。

物理試験の結果を図-1~3に示した。粒度分布をみると、全体的には図-1のように3種類に大別でき、A, B斜面の下部はやや粗粒であり、斜面上部はやや細粒で過去の風化の影響が現われている。最大粒径は2mm以下でレキを含むことはまれである。全体的には0.1~0.3mmの粒径のものを50%以上含み、ギャップグレイディングが著しいことが大きな特徴である。均等係数は2前後できわめて粒度組成の悪いものと、10~30程度のものに大きく分けられる。そして、細粒分(74 $\mu$ 以下)の量が増すにつれて、均等係数が増加する傾向にあり、部分的な熟成のムラが明

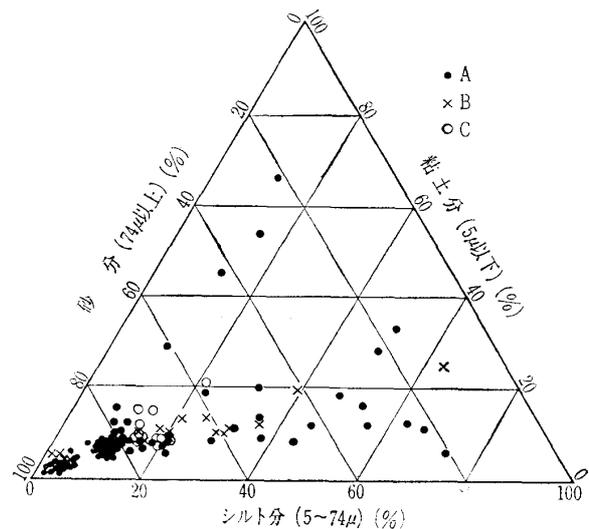


図-2 稲城砂の三角座標分類

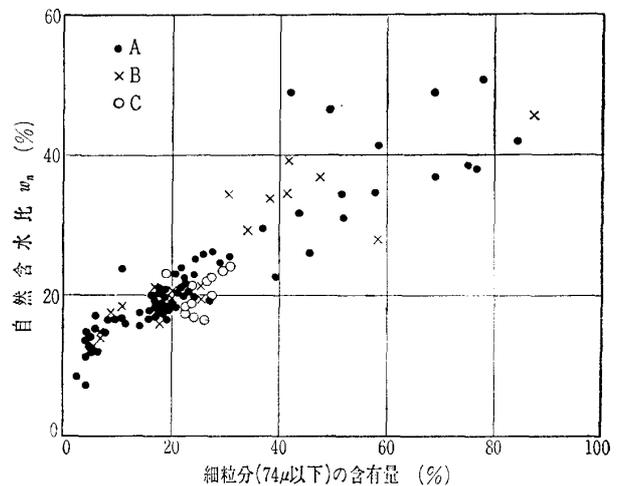


図-3 細粒分の含有量と自然含水比の関係

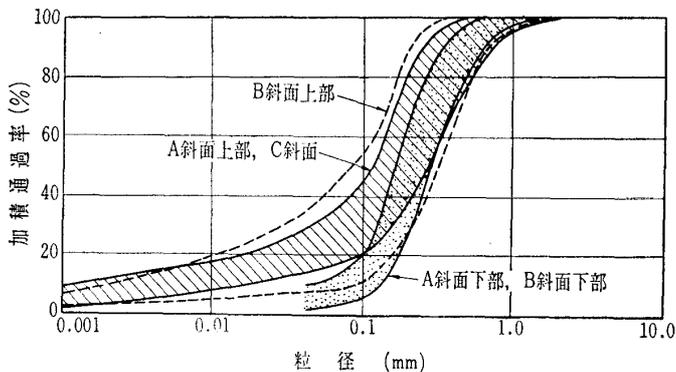


図-1 稲城砂の粒度分布の範囲

りように現われている。いずれにしても稲城砂の粒度組成はかなりの幅をもっていることがわかる。自然含水比は10~35%であり、特に薄い粘土層や関東ロームとの不整合面付近では細粒分の量が増し、含水比が大きいく。また、当然のことながら、自然含水比は細粒分の含有量に比例することが図-3からわかる。以上のことから薄い粘土層、不整合面付近の細粒分のきわめて多い層を除いた稲城砂の物理的な性質を大まかにまとめると次のようになる。自然含水比: 10~35%, 比重: 2.60~2.70, 粒度組成: 最大粒径2mm以下, 砂分60~95%, 細粒分5~40%, コンシステンシー: NP, 日本統一土質分類: SM, SC, したがって稲城砂は粒径(0.1~0.3mm)のそろった砂に5~40%の細粒分が混合されたものといえる。そして海浜性のタイ積層であるために場所や層準によって異なった組成を示すこと、およびギャップグレイディングが著しいことが特徴である。このような物理的な性質の差異は、稲城砂の密度、

含水量、微視的構造、風化状態などと相まって、締固め、透水、力学的特性に大きな影響を与えらる。

4. 締固め、透水、せん断特性

稲城砂の土質工学的性質をさらに詳しく調べるために、前述の結果を考慮してA、B、Cの各斜面から代表的な試料（以下A、B、Cと呼ぶ）を選び、不カク乱、および突き固めた試料について透水、一軸圧縮、三軸圧縮の各試験を行なった。これらの試料の試験結果を表-1に、また、粒径加積曲線を図-4に示した。A~Cの試料の特徴をまとめるとつぎのとおりである。Aは細粒分が16%で稲城砂を代表するものであり、Bは細粒分はほぼ同じであるが、Aよりやや粗粒で鉄分を含み茶かっ色ないし暗かっ色である。Cは細粒分が31%でA、Bに比べ細粒分の量が多く、また風化が進んでおり、明かっ色である。

4.1 突き固め特性

A~Cの3つの試料の締固め試験の結果を図-5に示した。稲城砂の締固めに関しては、関東ロームのように実験開始時が締固め曲線に影響を与えるといわれている<sup>9)</sup>ので、試験方法はJIS A 1210の呼び名 1.1. C により行なった。A、B、Cともに最適含水比は自然含水比より2~4%大きく、現在までに報告された例からみても、最適含水比  $w_{opt}$  と、自然含水比  $w_n$  との関係は  $w_n - 5 \leq w_{opt} \leq w_n + 5$  の条件を満たしているものがほとんどである。AとBの粒度組成がほぼ同じでありながら、乾燥密度はBのほうが約  $0.1 \text{ g/cm}^3$

表-1 試料の土質試験結果の一覧表

試料番号		A	B	C		
粒度特性	レキ分%	0	0	0		
	砂分%	84	82	69		
	シルト分%	7	9	21		
	粘土分%	9	9	10		
	最大粒径 mm	0.84	2.0	2.0		
	均等係数 $U_c$	12	15	28		
	曲率係数 $U_c'$	6.5	5.1	5.7		
土粒子の比重 $G_s$		2.62	2.64	2.64		
自然状態	含水比 $w\%$	18~20	17~20	18~21		
	湿潤密度 $\gamma_t \text{ g/cm}^3$	1.48~1.57	1.61~1.72	1.64~1.68		
	間ゲキ比 $e$	1.01~1.07	0.81~0.97	0.90~0.97		
	飽和度 $S_r\%$	42~53	54~60	54~69		
締固め特性	試験方法	1.1. C	1.1. C	1.1. C		
	最適含水比 $w_{opt}\%$	21.3	18.9	22.7		
	最大乾燥密度 $\gamma_{d \max} \text{ g/cm}^3$	1.56	1.66	1.55		
試料状態		不カク乱	突き固め*	不カク乱	突き固め*	
透水係数 $k \text{ cm/sec}$		$1.2 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-4}$	$6.2 \times 10^{-7}$	
力学特性	一軸圧縮	一軸圧縮強さ $q_u \text{ kg/cm}^2$	0.36	0.75	0.40	0.96
		変形係数 $E_{50} \text{ kg/cm}^2$	38	34	42	28
	三軸圧縮	試験条件	CD	CD	CD	CD
		粘着力 $c \text{ kg/cm}^2$	0.10	0.66	0.22	0.50
		せん断抵抗角 $\phi$ 度	30	32	29	32
	洗掘抵抗値 $S \text{ cm/sec}$		17	7.2	21	32

\* 最適含水比で突き固めた試料

大きいのは、Bのほうがギャップグレイディングの程度が小さいこと、および酸化鉄の沈殿物を多く含むためと考えられる。一方、地山における間ゲキ比は、0.81~1.07であ

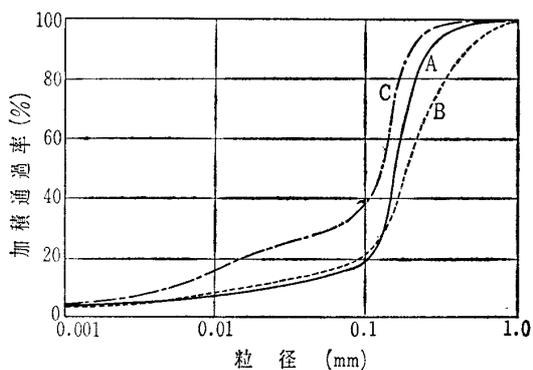


図-4 試料の粒径加積曲線

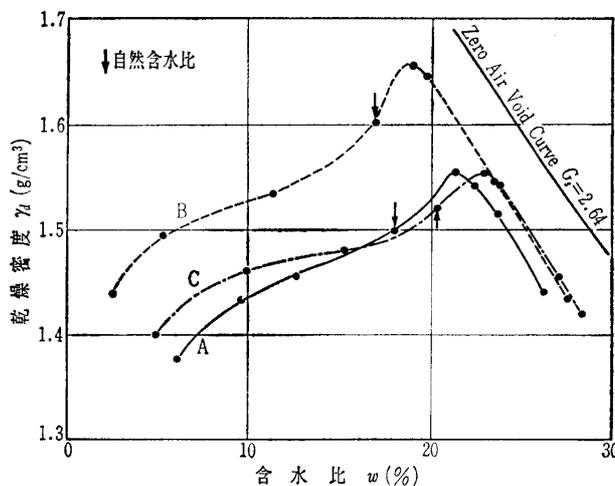


図-5 締固め曲線

り、 $N$ 値は小さくても10~20、大きい場合は50を越えることもあり、 $N$ 値のわりには間ゲキ比が大きい。最適含水比時の間ゲキ比は0.6~0.7であり、たとえ自然含水比で突き固めたときでも0.65~0.75であるので、地山の状態より密に突き固めることが容易である。通常  $5.6 \text{ cm} \cdot \text{kg/cm}^3$  の締め固め仕事量では、山砂の場合、地山の密度まで締め固めることは困難である。しかしながら、稲城砂は地山の密度が非常に小さいこと、さらに後述するように、突き固めることにより粒度組成が大きく変わるために、地山より高密度に突き固めることが容易である。このように、地山の密度が小さいことと同時に締め固め効果が大きいことも稲城砂の特徴のひとつである。

4.2 透水性

表一1から不カク乱試料の透水係数は  $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$  である。一方、最適含水比時に突き固めた試料は  $5 \times 10^{-7} \sim 4 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$  できわめて小さい。両者の間ゲキ比の差が約0.3あるのでこの影響が大きい。しかし、C斜面近くで採取した試料によると、ほぼ同じ間ゲキ比( $e=0.85$ )で不カク乱は  $8 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$  に対し突き固めた試料はこれより約1けた小さい。このように突き固めることにより、透水係数が著しく低下する理由は後述するように、突固めにより土粒子が破碎され細粒分が増加するためである。これについてはランマーによる動的締め固め<sup>2)</sup>、ニーディングによる半動的締め固め<sup>3)</sup> 後の粒度試験において細粒分が増加することが指摘されている。締め固めた稲城砂の透水性はもはや砂あるいは砂質土のイメージはなく、粘性土であるといえる。

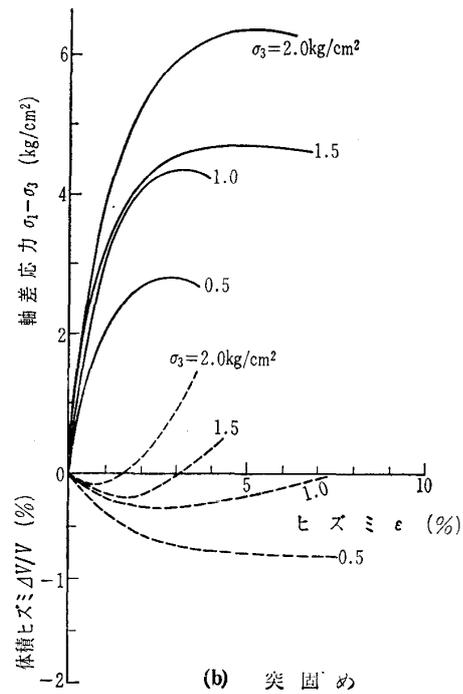
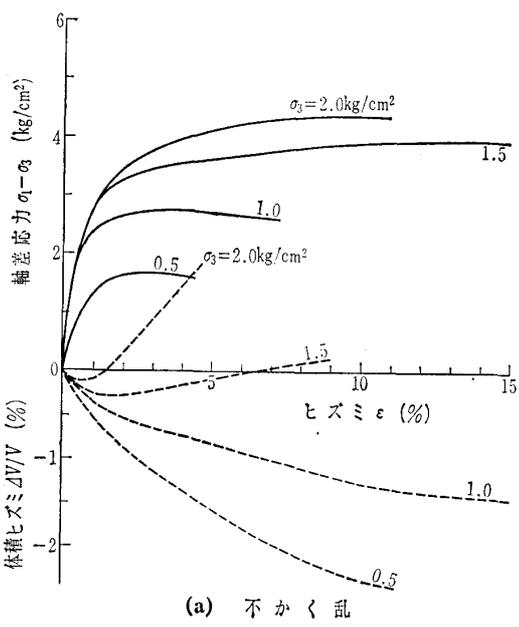
4.3 セン断特性

一軸圧縮試験は不カク乱および各種の含水比で突き固めた試料で行なった。その結果い

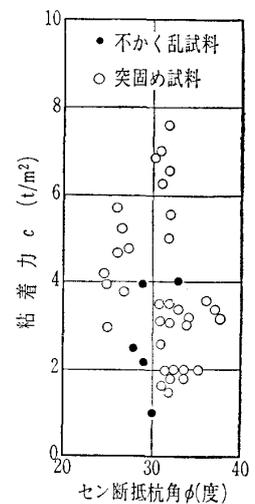
ずれの場合でも細粒分の多いCの一軸圧縮強さはA、Bの1.5~2倍に及んでいる。これは細粒分がバインダーとしての役割をより多く発揮しているためと考えられる。応力~ヒズミ曲線は最適含水比付近より乾燥側では砂的な挙動を示している。

三軸圧縮試験は供試体をできるだけ飽和させた後に圧密排水状態で実施した。飽和度を90%程度にすることは容易であるが、100%にすることは減圧あるいはバックプレッシャーによってもかなりむずかしい。応力~ヒズミ曲線の一例を図一6に示した。不カク乱では、あるヒズミまでは直線的に応力が増加するが、それを越えると急激に応力増加の割合が低下し、明確なピークが現われず、粘性土的な挙動を示す。この境のヒズミがA、Bは1%、Cで1.5%程度である。突き固めた試料は(b)に示したように不カク乱よりは明りょうなピークが現われる。ダイレイタンスーに関しては側圧に大きく左右されている。これらの応力~ヒズミ関係は同種の砂に比べて、特殊な挙動を示していると思われる。同一間ゲキ比の不カク乱と突き固めた試料の強度を比較すると不カク乱のほうがやや大きいが、側圧が大きくなるにつれてその差は小さくなる。また、破壊包絡線は側圧が大きくなると不飽和土のように上にやや凸の曲線になる<sup>6)</sup>。

稲城砂のせん断抵抗角 $\phi$ と粘着力 $c$ の関係を図一7に示した。これには有効応力表示の他のデータも引用した<sup>6),7)</sup>。ただし、突固め試料については含水比が最適含水比から $\pm 5\%$ の範囲のものに限定した。これによると $\phi$ は $25^\circ \sim 35^\circ$ の範囲にあり、特に $30^\circ$ 前後のものが多い。 $c$ は $1 \sim 7 \text{ t/m}^2$ でその幅が非常に大きいが、不カク乱は $1 \sim 4 \text{ t/m}^2$ 程度である。間ゲキ比を考えると、 $\phi$ は間ゲキ比の減少に伴いやや増加する。突き固めた試料の含水比を考えると、 $\phi$ は最適含水比のやや乾燥側で最小を示し、それ以降はやや増加するが、 $c$



図一6 試料Bの応力~ヒズミ曲線



図一7 稲城砂のせん断抵抗角と粘着力の関係

はそれと全く逆の傾向を示す。

稲城砂は分類上は砂質土であるが、以上のように粘性土の性質を示すことがあり、またシキソトロピックな現象も存在するといわれていること<sup>8)</sup>、さらには後述する風化や微視的構造などの関係と相まって、力学的に複雑な性状を示す材料といえる。

### 5. 水食特性

稲城砂の問題点のひとつに水に対する抵抗力が弱い点、すなわち侵食されやすい性質がある。現実に切土・盛土斜面が降雨により、施工中はもちろん施工後に侵食された例が多い。そこで前述の3種類の試料について、洗掘抵抗試験と侵食試験を行なった。試料は不カク乱と突き固めたものおよび消石灰（混合量0.5, 1, 2%）、セメント（1, 2, 3%）をそれぞれ加えて突き固めたものである。なお、安定処理を施した供試体は一週間養生した後に実験を行なった。

#### 5.1 洗掘抵抗試験

洗掘抵抗試験はすでにシラスについて数多く実施されているので、同様な装置および方法<sup>9),10)</sup>で行なった。ただしノズルからの噴射水圧を1 kg/cm<sup>2</sup>とした。洗掘抵抗試験とはノズルから噴射される水によって供試体が洗掘され、その洗掘深さの大小により洗掘に対する抵抗力を表わそうと考えたものである。そこで、その結果を

$$\text{洗掘抵抗値 } S = \text{洗掘時間} / \text{洗掘深さ} \text{ (sec/cm)}$$

で表示し、図-8, 9に示した。締固め含水比が増加するにつれて、洗掘抵抗値も増加し、最適含水比のやや乾燥側でピークが現われ、それ以降は減少する曲線になり、締固め含水比と強度との関係に類似している。シラスの場合にはこの曲線に各種のタイプがあるといわれている<sup>10)</sup>が、稲城砂の場合はずべてこのような傾向を示す。同じ含水比では地山の乾燥密度は突き固めたものより0.15~0.2 g/cm<sup>3</sup>小さいにもかかわらず、洗掘抵抗値は突き固めたものとはほぼ等しいかそれより大きい。これはセメンテーションの影響と考えられる。全体的に洗掘抵抗値は細粒分の量に比

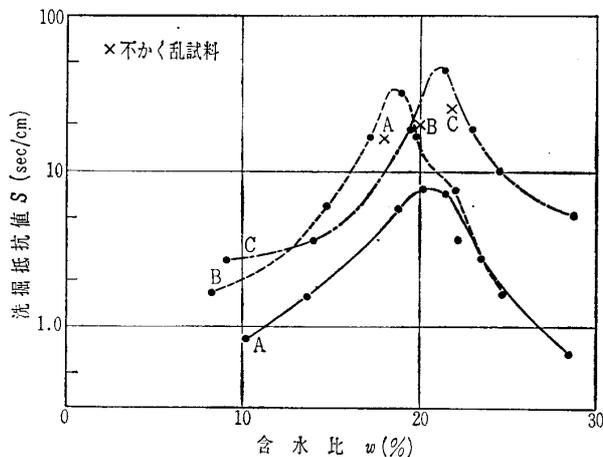


図-8 締固め含水比と洗掘抵抗値との関係

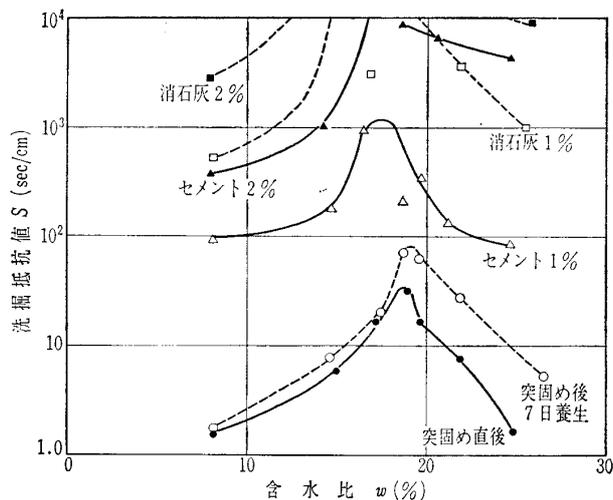


図-9 試料Bの締固め含水比と洗掘抵抗値との関係

例して大きくなるようである。また、現地で測定した風化の激しい部分では  $S=5\sim 8 \text{ sec/cm}$  であり、きわめて侵食されやすい状態である。噴射圧力が異なるので単純に比較できないが、稲城砂はシラスより多少洗掘抵抗値が大ききようである。参考のために示すと関東ロームの突き固めたものは  $S=150\sim 300 \text{ sec/cm}$ 、不カク乱は  $6,000 \text{ sec/cm}$  以上である。図-9において、突き固めて7日養生することにより、最適含水比の湿潤側で洗掘抵抗値が増加し、ここにもシキソトロピーが認められる。一方、消石灰1%以上、セメント2%以上加えた場合は著しく洗掘抵抗値が増加し、わずかな量でその効果が大きく、そして、細粒分の多いCのほうがより効果的である。

#### 5.2 侵食試験

侵食試験は最適含水比で突き固めた試料および現地で不カク乱試料について行なった。試料を45×30×20 cmの土そう(槽)に突き固め、図-10に示すような斜面に成形した。斜面にV字形の溝を掘り、図に示す装置でノリ肩から溝に水を流した。流量は34, 17 cm<sup>3</sup>/secの2種類で、侵食体積は流出土砂量から算出した。図-11によれば、不カク乱、突固め(未処理)、消石灰0.5%、セメント1%は侵食量が大きい。しかし、先の場合と同様に消石灰1%、セメント2%以上添加すると侵食抵抗が著しく増加する。侵食量100 cm<sup>3</sup>以下では溝の表面が多少削られた程度で溝の原型

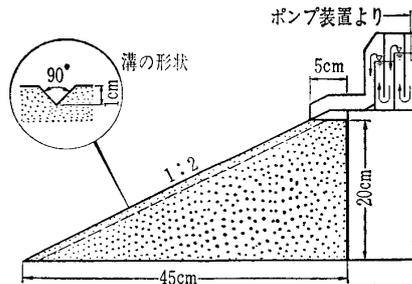


図-10 侵食試験装置

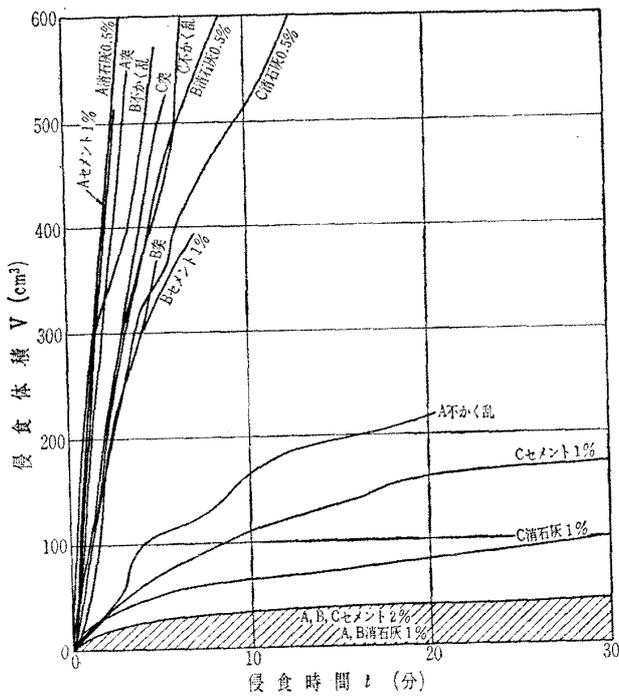


図-11 侵食時間と侵食体積の関係 (流量 34 cm³/sec)

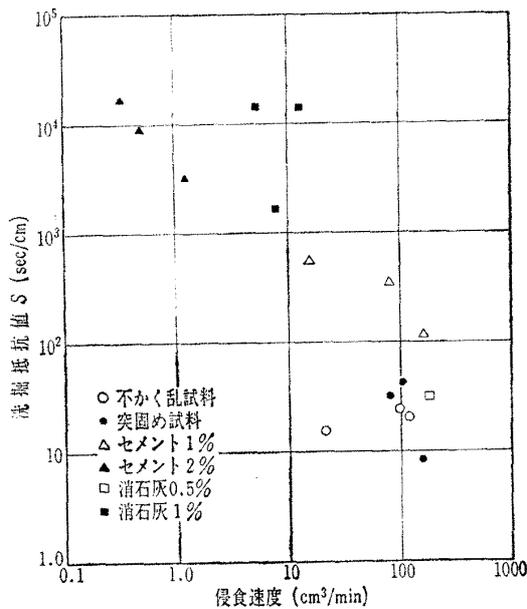


図-12 侵食速度と洗掘抵抗値の関係

を保持しているが、200~300 cm³ 以上では溝全体に凹凸ができて、鉛直方向に著しく侵食される。

最初の3分間の侵食速度 (= 3分間の侵食体積 / 3分) と洗掘抵抗値との関係を図-12に示した。洗掘と侵食の機構は多少異なっていると思われるが、洗掘抵抗値から侵食性が概略推定できる。前述の結果から洗掘抵抗値が 150 sec/cm 以下では侵食量が大きいことがわかる。洗掘試験は侵食試験に比べて方法が簡便であるから、洗掘抵抗値は侵食性を示すひとつの Index になり得る。

## 6. 微視的構造

不かく乱および最適含水比で突き固めた試料について、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡、X線回折などを用いて構成鉱物および微視的構造について考察を行なった。

### 6.1 不かく乱試料

#### (1) 砂粒子

砂粒子はその鉱物、岩石種、形状などから供給源地あるいはタイ積条件を知ることができる。この観点から砂粒子は2種類に分けられる。ひとつはスリガラス状に濁った表面をもつ円磨度の高いもので、主として石英、チャート、ケツ岩よりなり、他は輝いた表面をもつ角稜よりなるもので、主として石英、長石、角セン石、黒雲母などである。前者は、A、Bの試料に多く、かつ大型であり、Cにも少量混じっている。そして量的にはさらに多くの凝灰岩片が見られる。その多くは比較的円磨度が高く、粒径は小さく、新鮮なものから著しく風化したものまでであるが、一般に脱ハリ作用(ガラス質のものが結晶質に変わる)が進んでいる。これらの状況は、口絵写真-10に見られる。

#### (2) 砂粒子の風化

上述の円磨度の高いものは凝灰岩片を除いて、比較的新鮮な砂粒子が多いが、中には本来円磨度の低い一群に属するもので風化のために軟質化した岩石、鉱物片が早期に摩耗して高い円磨度を示すものが存在する。前述の円磨した凝灰質砂粒子などはほとんどがこの種のものであり、長石の一部や角セン石などにもこの種のものがある。稲城砂の土質性状に強い影響を与えているものに凝灰質砂粒子の風化がある。この砂粒子は天然ガラスの状態を保っている新鮮なものから、脱ハリ作用の進んだもの、さらに風化が進んで加水に伴う膨張のために微粒化(10~30μ程度)しかけたものまでである。これらはB、Cの試料に多く含まれ、膨張のために本来の形を保っていない。しかし、この物質は粘土鉱物化が十分には進まず、大部分がアロフェン程度にとどまっていることがX線回折の結果からわかる。

#### (3) 砂粒子間の充てん物

各試料とも砂粒子間の間ゲキが微細な充てん物で埋められることは比較的少ない。これは写真-1、2に明りょうに示されている。写真-1、2に見られるように砂粒子の

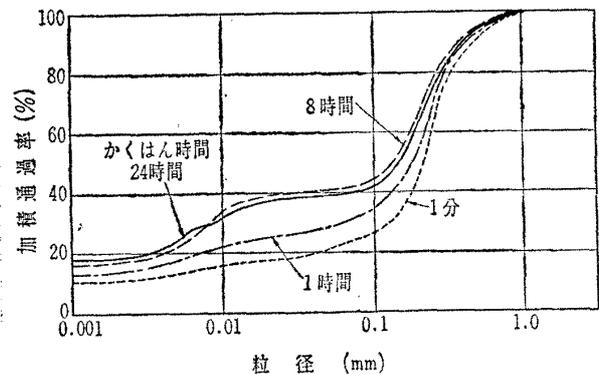


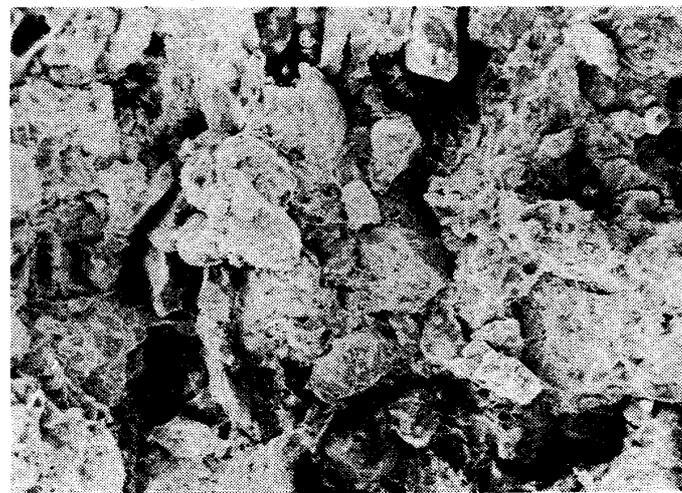
図-13 試料Bのかくはん時間による粒径加積曲線



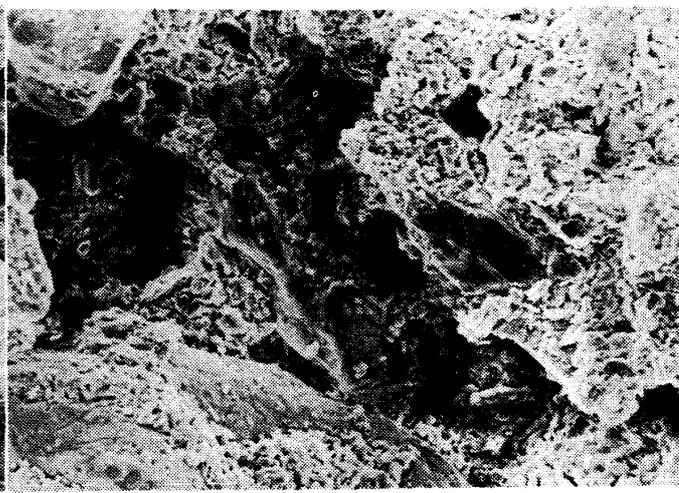
写真一1 不カク乱試料 (A) 35倍



写真一3 突固め試料 (A) 35倍



写真一2 不カク乱試料 (A) 200倍



写真一4 突固め試料 (A) 200倍

表面には粘土粒子が薄膜となって付着しており、これは前述の風化した凝灰質のものよりさらに微粒( $1\mu$ 以下)である。しかし、砂粒子の表面を一律な厚さでおおっているのではなく、局部的には砂粒子間の間ゲキをほぼ埋めているが、多くの場所では砂粒子の表面に薄く付着していて、わずかに接触した砂粒子間に点状の接点を与えているにすぎない。このように不カク乱状態では多くの場合空ゲキは開いており、砂粒子表面の粘土膜によって骨格強度が保たれているといっても過言でない。しかし、風化し膨張した凝灰質の砂粒子は、膨張の結果その周囲の間ゲキを埋めていることがある。風化の進んだCほどこの傾向が顕著で、また薄膜の厚さも厚くなっている。

## 6.2 突固め試料

凝灰質の砂粒子、特に強風化したものは外的なエネルギーを加えることによって破碎され微粒化されることが推定できる。そこで、粒度試験においてかくはん時間を最大24時間までいろいろ変えて粒度分布の変化を求めた。結果の一例を図一13に示した。いずれの場合もかくはん時間を増すと0.1 mm以上の粒径が減少し、0.02 mm以下の粒径が増加する。この現象はB、C特にBに顕著である。しかし、8時間以上かくはんしてもその量は増加しない。

最適含水比で突き固めた試料の微視的構造は写真に示されたように不カク乱試料と比較すれば明らかである。すなわち、突き固めた試料は不カク乱に比べて粒子間の間ゲキが著しく減少し、砂粒子の間ゲキには $20\mu$ 程度以下の多量の微粒子によって埋められ、強風化した凝灰質の砂粒子は著しく減少している。このことから強風化した砂粒子はランマーのエネルギーによって破碎されたことがわかる。いしかえると、堅い砂粒子に付着していた薄膜の一部がはぎ取られ、また強風化した砂粒子が破碎され、これらの微粒子によって堅い砂粒子がまぶされたようになる。これは写真一3、4で明りように認められ、口絵写真一12ではつきかけのモチのように見える。破碎された微粒子は前述の粘土薄膜よりは粗粒であり、砂粒子を結合する力は粘土薄膜に比べてはるかに劣っていることが推定される。

以上の結果から微視的構造を模式化して示すと図一14のようになる。不カク乱状態を構造的にみると、同種の砂と比較して空ゲキ量が多いこと、および凝灰質の砂粒子をかなり含むことが特徴である。このために間ゲキ比が大きいといえる。しかし、空ゲキが多い割には骨格構造の安定性はよく、これによって強度が保たれている。稲城砂層は空ゲキが多いこと、および不安定な凝灰質砂粒が多く含有さ

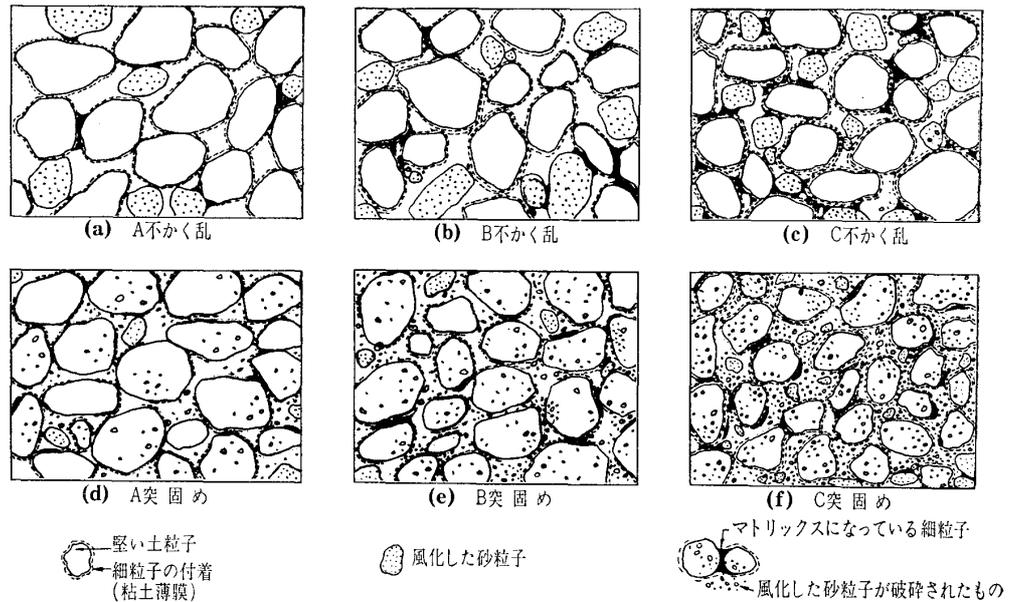
れている関係で比較的風化速度が速く、また関東ローム、御殿峠レキ層、おし沼砂レキ層がタイ積した当時やそれ以降の風化の影響を強く受けている。これらの点から侵食されやすい性質が生ずると考えられる。

一方、締め固めた場合は細粒分の量が増加し、その量は締め固め仕事量に比例すると思われる。細粒分の量の増加によって粒度配合は良くなり、地山の状態より高密度に締め固めることが容易になる。そして、透水性は砂粒子が破碎され、砂粒子間を埋めるので著しく低下する。また、粘着力の増加も細粒分の量の増加に負う点が大きいのと思われる。したがって、締め固めることによりもはや地山の状態の試料とは全く異なった性質の土になる。締め固めた場合、含有鉱物やその量、風化程度、締め固め仕事量、含水比などに応じて密度や強度が決定されるといっても過言でない。さらに、粘土鉱物としてモンモリロナイト、ハロサイトが少量含まれるので、物理化学的な作用と相まってシキソトロピックな現象を生ずると考えられる。締め固めた試料は不かく乱に比べて高密度であるにもかかわらず、侵食抵抗がほとんど増加しない。これは細粒分が増加しても砂粒子を固定するほど十分に微粒化していないためと考えられ、水に対する抵抗力は粘土薄膜によるセメンテーション効果のほうが有効と思われる。少量の消石灰やセメントの混入により著しく耐侵食性を増すのも、不安定な細粒分が分散してこれらとよく混合し、反応を促進するためであると考えられる。

## 7. ま と め

以上から得られた結果をまとめるとつぎのようになる。

1. 稲城砂の土質工学的性質は場所、層準などにより異なり、また、過去の風化履歴が大きく影響する。
2. 稲城砂は同種の砂に比べて特殊な性質を示すことが多い。すなわち、砂あるいは砂質土の性質と粘性土の性質が共存している。後者は締め固めた試料の場合に顕著である。
3. 稲城砂は凝灰質の砂粒子を多く含み、風化されたものは締め固めると細粒子に破碎される。したがって締め固



図一14 稲城砂の構造の模式図

めると異質の材料に変わり、その程度は風化砂粒子の質と量、風化程度、締め固め仕事量などに支配される。

4. シラスほどではないが、稲城砂は侵食されやすい性質がある。しかし、消石灰 1%、あるいはセメント 2% 以上混入することにより、耐侵食性が著しく増す。
5. 稲城砂の構成鉱物および微視的構造を明らかにすることにより、上記のような特殊な性質を示す原因をある程度解明できた。

## 参 考 文 献

- 1) 日本宅地開発協会：稲城砂の防災工法の研究報告書，1972。
- 2) 吉岡昭三・木賀一美・小杉紘平・前田穂積：稲城砂の土質工学的性質と土工設計基準，土と基礎，Vol. 21, No. 12, 1973, pp. 23~29。
- 3) 手嶋 渚：稲城砂の半動的締め固め試料の透水性と強さ，土と基礎，Vol. 23, No. 3, 1975, pp. 47~54。
- 4) 土質工学会編：日本の特殊土，土質工学会，1974, pp. 342~356。
- 5) 久野悟郎・飯竹重夫：土の締め固めに寄与する含有水分の性質について，第13回土質工学シンポジウム，1968, pp. 137~142。
- 6) 風間秀彦・小田匡寛・小田章治・田村 豊：乱さない砂質土のせん断強度特性，第12回自然災害科学総合シンポジウム論文集，1975。
- 7) 日本住宅公団建築部調査研究課：盛土材判定基準と管理基準の作成に関する研究，1970。
- 8) 斎藤孝夫・三木五三郎：稲城砂の分類特性と含有細粒分の透水係数に及ぼす影響，生産研究，Vol. 24, No. 8, 1972, pp. 68~71。
- 9) 土質工学会編：土質試験法，土質工学会，1969, pp. 556~559。
- 10) 三谷 健・足立径治：シラスの特性と洗掘抵抗試験，コンストラクション，Vol. 7, No. 1, 1969, pp. 26~31。

(原稿受理 1977. 11. 30)