

# 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

Index Properties and Permeability of Inagi Sand

齋 藤 孝 夫\*・三 木 五 三 郎\*

Takao SAITO and Gosaburo MIKI

## 1. ま え が き

東京都多摩ニュータウン建設地付近にタイ積する稲城砂は砂粒土に属するが、地山の切り取りは直でも可能である。しかし水に対しては非常に鋭敏で、雨にあえば地山表面にガリ侵食が生じやすく、水を含んだ乱した土は泥濘化が著しい。実際、ニュータウン建設において稲城砂は、切り取りノリ面の安定、宅地造成面の侵食、道路路床土の締固め、トンネル掘削などに多くの土質工学的問題を提起している。このようなことから、著者らは、稲城砂の一般的性質と含有細粒分の透水係数に及ぼす影響を調べるため、二・三の実験を行なった。その結果、稲城砂の一般的な工学的性質には、粗粒分の粒度の均等性と細粒分のコンシステンシー特性が大きく影響することがわかった。また、締固めた供試体の透水係数は含有細粒分 10% 以下で  $10^{-5}$  cm/sec となり、含まれる細粒分のコンシステンシーにも影響されることがわかった。

## 2. 稲城砂の一般的性質

第三紀末期三浦層群に属する稲城砂は、地山では固結作用を受けており、標準貫入試験の  $N$  値も高く、10~30 ないしは 50 以上である。しかし、 $N$  値のわりには間ゲキ比が大きく、東京都下水道局がニュータウン内で実施した下水道トンネル工事切羽での乱さない土の湿润重量は  $1.83$  t/m<sup>3</sup>、間ゲキ比は  $0.93$  であった。

日本統一土質分類法基準案<sup>1)</sup>によれば、一般に、稲城砂は (SP)、(S-M) および (SM) に分類され、粒度曲線は図 1 に示す範囲にあることが多い。また、実験に用いた稲城砂は (SM) で図 1 に示されるような粒度を持ち、

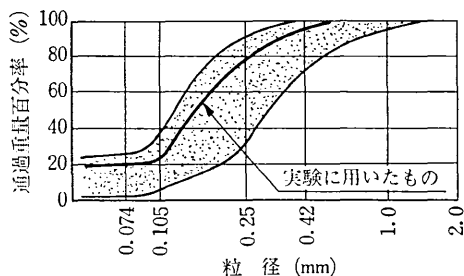


図 1 稲城砂の粒度

その分類特性を表 1 に示す。稲城砂の粗粒分は均等な粒度をもち、粒子は比較的丸味をおびた石英と長石が多く微細な雲母片を含んでいる。このため、細粒分を取り除いた稲城砂の粗粒分だけを JIS A 1210-1970、1-1 b 法によって締固めた時の最大乾燥密度は  $1.50$  t/m<sup>3</sup>、間ゲ

表 1 稲城砂の分類特性

粗粒分				細粒分		
比重	2.695		比重	2.695	コンシステンシー	
粒度	$D_{60}$		0.20 mm	$w_L$		58%
	$D_{30}$		0.15	$w_p$		32
	$D_{10}$		0.12	$I_p$		26
	$U_e$		1.7	ただし $w_L$ はフォールコン法 (先端角 60° 自重 60g) による。		
	$U'_e$	0.94				

キ比は  $0.80$  とあまり締まらず、重量比で約 3% の粗粒分が破碎されて細粒分になった。また細粒分は粘土に分類され、粒径  $2\mu$  以下の X 線回折<sup>2)</sup>によればハロイサイトの存在が認められる。しかし、稲城砂ぜんたいとしては、JIS A 1205 の液性限界試験によれば、一般に非塑性 (NP) と判別される。

図 2 に、細粒分のシキソトロピー特性を示す。これはコーン (先端角  $60^\circ$ 、自重 60g) の初期貫入量  $h=10$  mm が試料養生日数の経過とともに減少する状態を調べたものである。これによれば稲城砂の細粒分はかなりのシキソトロピーを有するが、試料養生日数 5 日位でコーンの貫入量は一定となるのがわかる。

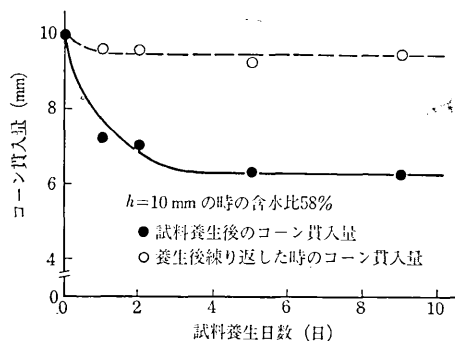


図 2 含有細粒分のコーン貫入量に対する試料養生日数の影響

\* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

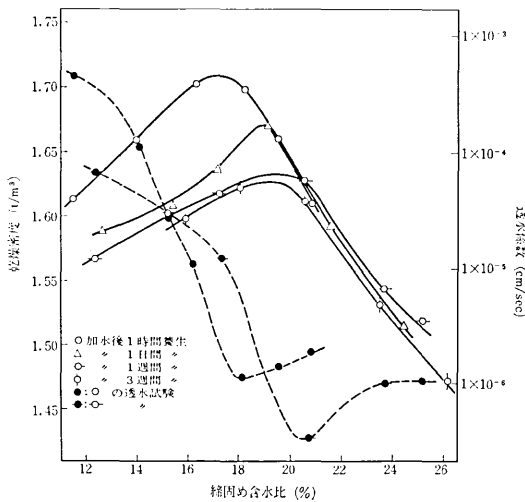


図3 稲城砂(細粒分22%)の締固め含水比と乾燥密度および透水係数

このような分類特性をもつ細粒分を22%含有する稲城砂の締固め特性と透水性を調べるために、JIS A 1210-1970, 1-1 b 法によって締固めた供試体について簡易変水位透水試験を行なった。なお、この時細粒分のシキソトロピー特性が締固め状態に影響するのを考慮して、試料に蒸留水を加えた後含水比が変らないように試料を保存した。この時の締固め前の試料養生日数は、1時間、1週間、3週間であった。この結果、粗粒分の周囲に付着している細粒分のシキソトロピー特性が試料養生日数の増加とともに粒子間の粘着抵抗を増加させるので、図3にみられるように、締固め前の試料養生日数の増加に伴って締固め乾燥密度は減少する。また最適含水比より湿潤側では、締固め乾燥密度が同じであるにもかかわらず、試料養生日数の増加とともに透水係数は減少する。これは、加水直後は団粒化していた細粒分が、試料養生日数の増加とともにしだいにときほぐされてくるからであると思われる。

このように、含まれる細粒分のコンシステンシー特性のため、稲城砂は砂粒土でありながら、試料の含水状態によって締固め状態に変化をきたすことがわかる。しかも、稲城砂のような粒度組成を持つ砂粒土においては、JIS に定められている液性および塑性限界試験によっては、このような工学的特性をまえて知ることはむずかしいであろう。

3. 透水係数に及ぼす含有細粒分の影響

含有細粒分が5%以下のきれいなレキ、または、きれいな砂とくらべて、それが5%より多い粗粒土の透水係数には、粗粒分の透水特性に加えて細粒分のコンシステンシー特性が影響してくるため、その定量的取扱い

がむずかしい。そこで、締固めた供試体の透水係数に及ぼす細粒分の含有量とコンシステンシーの影響を調べた。

(1) 試料の準備、締固めおよび透水試験

実験に用いた試料は、前節2で供した稲城砂を水洗いして細粒分の含有量を所定の量だけ減じたものと、含有細粒分を除いた水洗い稲城砂にコンシステンシーの異なる粘土を所定の量だけ加えた混合稲城砂2種類の合計3種類である。このとき、水洗い稲城砂に粘土が均一に混合するように、所定の計量を行なった後、3日間水浸放置した試料を60°Cの乾燥炉の中で強制乾燥した。乾燥した試料をほぐし、締固め含水比になるように蒸留水を加えて1週間養生をした。なお、強制炉乾燥によって混合した細粒分のコンシステンシー特性には変化は認められなかった。それら試料の詳細は表2に示す。また、水

表2 実験に用いた試料

	稲城砂	混合稲城砂-L	混合稲城砂-H
混合細粒分のコンシステンシー	$w_L=58\%$ $w_P=32\%$	$w_L=43\%$ $w_P=27\%$	$w_L=91\%$ $w_P=23\%$
混合細粒分の比重	2.695	2.800	2.800
細粒分の含有率(%)	22, 13, 6	17, 13, 8	15, 11, 7

洗いが不完全であったため、混合稲城砂においては3%の残留稲城砂細粒分が含まれる。そして、表2の各試料を、JIS A 1210-1970, 1-1 b 法で締固めた供試体に簡易変水位透水試験を実施した。

(2) 実験結果および考察

稲城砂、混合稲城砂-L、混合稲城砂-Hの締固め含水比と乾燥密度および透水係数の関係を、図4、図5

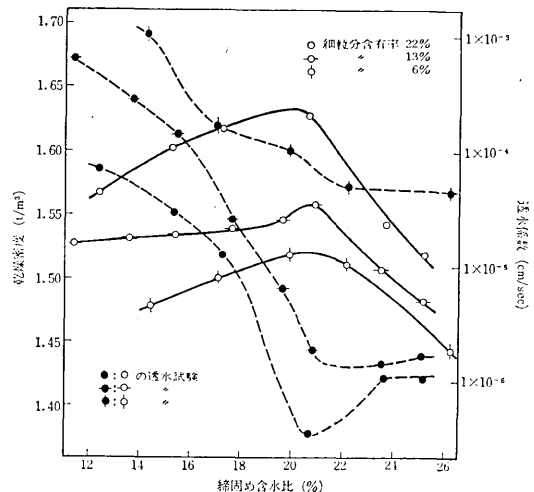


図4 稲城砂の締固め含水比と乾燥密度および透水係数

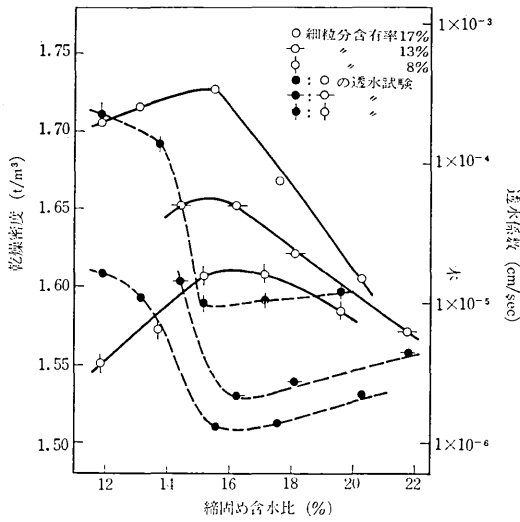


図 5 混合稲城砂-Lの締固め含水比と乾燥密度および透水係数

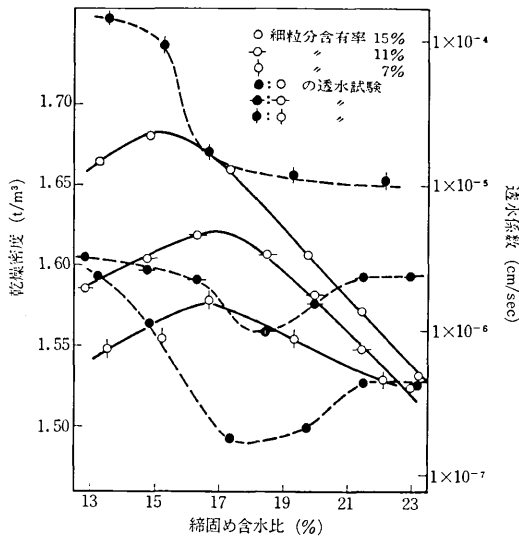


図 6 混合稲城砂-Hの締固め含水比と乾燥密度および透水係数

および図6に示す。これらの図から、細粒分の含有率が増加するに伴ない、最適水比より乾燥側と湿潤側とでは透水係数に大きな違いがみられ、最小透水係数は最適含水比より2~3%湿潤側で生じるのがわかる。このことから最適含水比より乾燥側では細粒分は団粒化しており湿潤側では分散しているという粒子配列状態の違いが透水係数に影響を及ぼしていると考えられる。

図7は、上述の3種類の試料の細粒分含有率と最小透水係数の関係を示す。この図では、締固め密度の要因が考慮されていないので、透水係数に及ぼす含有細粒分のコンシステンシーの違いによる影響が明らかでないけれ

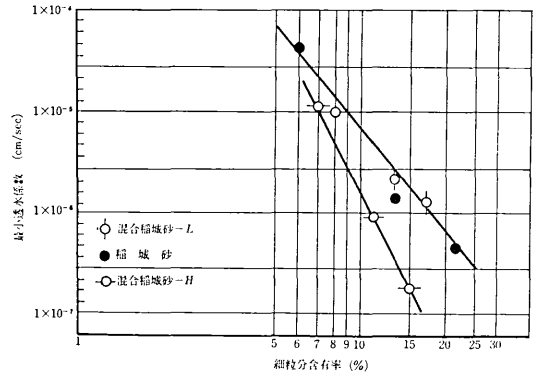


図 7 細粒分含有率と最小透水係数

ども、とにかく細粒分含有率10%以下で10<sup>-5</sup> cm/sec以下の透水係数が得られるのがわかる。

図8は、締固めた供試体の間ゲキが含有細粒分の体積に対して占める倍率Eと透水係数との関係を示したものであり、横軸の値Eは、次式から求められる。

$$E = \frac{\frac{a}{100} \cdot G_C + \left(1 - \frac{a}{100}\right) \cdot G_F}{\frac{a}{100} \cdot G_C} \left[ \frac{1}{\gamma_d \cdot \frac{a}{100} \cdot G_C + \left(1 - \frac{a}{100}\right) \cdot G_F} - 1 \right] \quad (1)$$

ここで E: 締固めた供試体の間ゲキが含有細粒分の体積に対して占める倍率

G<sub>C</sub>: 含有粗粒分の比重

G<sub>F</sub>: 含有細粒分の比重

a: 細粒分含有率 (%)

γ<sub>d</sub>: 締固め乾燥密度、ただし水の単位体積重量を1 t/m<sup>3</sup>とする。

これより、含有細粒分のコンシステンシーの違いが最小透水係数に影響し、(1)式から求められるEが同じであっても、細粒分の液性限界値が大きければ透水係数が小さくなるのがわかる。これは、液性限界値が大きいほど土粒子の拘束する水の量が多くなるので、土粒子間の通水可能な空ゲキが減少するためと考えることができよう。そして、液性限界の時の含有細粒分の間ゲキ比(稲城砂の細粒分は1.57、混合稲城砂-Lおよび-Hのそれは、1.20と2.55である)とくらべて(1)式から求められるEが大きい値をもちながら透水係数に影響を与えることは、粘性土の透水係数に土粒子の配列状態が影響するのと趣きをことにするけれども、細粒分を含む砂粒土の透水係数を考える場合には、前述したように、粗粒分の間ゲキにつまっている含有細粒分の配列状態を

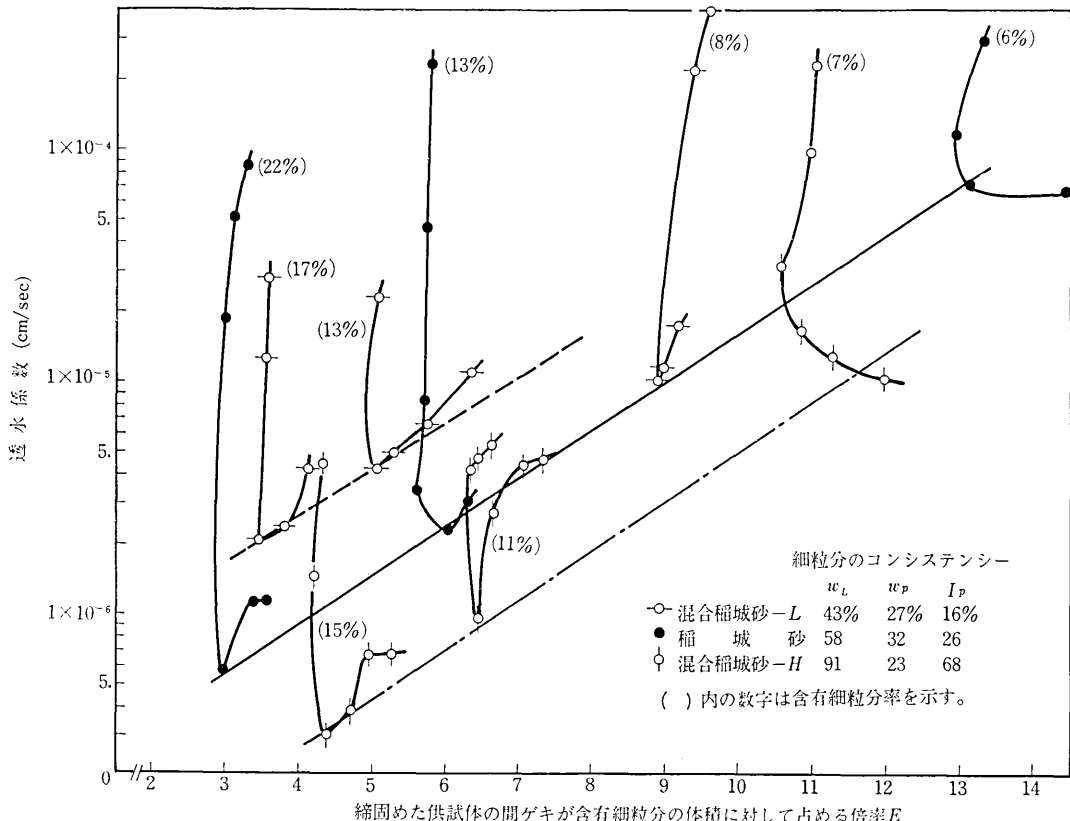


図 8 締固めた供試体の間ゲキが含有細粒分の体積に対して占める倍率  $E$  と透水係数

考慮しなければならないことを示す。そして図 7 は、最小透水係数が(1)式から求まる  $E$  およびコンシステンシー特性で定量的に表示される可能性を示す。

#### 4. 結 論

これまで述べたことから、次のことが明らかになった。

(1) 地山の乱さない状態の稲城砂は固結しており、標準貫入試験の  $N$  値も高い。しかしその割りに土塊の締まり具合は密とはいえず、間ゲキ比は 0.9~1.0 である。

(2) 稲城砂の粗粒分は均等な粒度であるために締まりにくく、JIS A 1210-1970, 1-1b 法による最大乾燥密度の時の間ゲキ比は 0.8 と大きい。

(3) 稲城砂に含まれる細粒分はハロイサイトを含有し、かなりのシキソトローピーを有する。このことが、締

固めにも影響する。

(4) 稲城砂は砂粒土でありながら、粘土である細粒分を 10~15% 含むことが多いので、乱した状態でも透水係数が小さく、泥滓化しやすい。

(5) 細粒分を含む砂質土である稲城砂を締固めた時の最小透水係数は最適含水比より 2~3% 湿潤側で生ずる。

(6) 細粒分含有率 10% 以下で透水係数  $10^{-5}$  cm/sec 以下が得られ、この傾向は細粒分のコンシステンシー特性によって異なる。

(1972年5月25日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 土の判別分類法基準化委員会: 土質分類法ならびに分類結果表示法, 土と基礎, Vol. 20, No. 5, pp 67~78, 昭和 47 年 5 月
- 2) 財団法人宅地開発協会: 稲城砂防災工法の研究, p. 113, 昭和 47 年