

浚渫土の基本的理化学性と乾燥効果

金 原台*・矢橋晨吾**

Effect of Drying on the Physico-Chemical Properties of Dredged Soils

Wontae KIM* and Shingo YABASHI**

* Graduate School of Science and Technology, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho,
 Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522 Japan

** Faculty of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Matsudo-shi, Chiba 271-8510 Japan

Abstract

We investigated the fundamental physical and chemical properties of dredged soils (hedoro) taken from Haneda, Kasumigaura, Saga and Ohbagawa. We also investigated the changes of consistency index, pF-moisture curves and saturated hydraulic conductivity of Haneda and Kasumigaura soils at different drying stages.

The results are summarized as follow ;

1. There were large variations in fundamental physical and chemical properties of dredged soils collected from different places.
2. In air - dried soils, hydraulic conductivity increased while increasing in dry density.
3. The drying caused an irreversible effect on consistency index, pF-moisture curves and saturated hydraulic conductivity. These facts indicate that the effects of drying on these properties are considered to be resulted from irreversible changes in the structural status of the soil.

Key words : dredged soil, soil drying, consistency, pF-moisture curve, saturated hydraulic conductivity

1. はじめに

建設工事に伴い副次的に発生する土砂や汚泥は発生土または建設発生土として区別される(建設発生土利用技術マニュアル検討委員会, 1998)。また, 発生土は浚渫土, 浚渫以外の建設発生土, 建設汚泥と大きく分けられる。平成7年度の建設省の調査によれば, 日本の発生土の総量は約4.4億 m^3 であるが, 内陸部公共工事や海面埋立工事等での利用は, 約3割に止まっている現状である。今後も発生土の増加が予想されているところであるが, 都市化の進展等に伴い, 受入適地の不足, 不法投棄等不適正処分の問題が発生し, また発生土や廃棄物等による環境への負荷の増大が将来の発展の支障となることについて広く認識されつつある。

また, 発生土のうち浚渫土とは, 港湾・河川等の浚渫

に伴って生ずる土砂, その他これに類するものである。茨城県霞ヶ浦を例にして, その量的並びに処理方法上の問題について述べると, 湖底に堆積したヘドロの量は約4,000万 m^3 以上であり, 平成4年度から約720万 m^3 を浚渫し, 河川環境の整備並びに河川機能の維持を図っている。このような過程で発生した浚渫土は一般的にセメントで固めて埋立て処分されている。しかし, 浚渫土においても例外なく処分の確保は年々困難となってきている。

一方, 公園や緑地帯等の緑地造成には, 造成の基本形状となる構造基盤と, 植栽を行うための表層部を形成する植栽対象基盤がある(建設発生土利用技術マニュアル検討委員会, 1998)。このうち構造基盤の造成に浚渫土の利用は有限な資源のリサイクルであり, 環境保全にも有効であると考えられる。

構造基盤が土質によって土中水の滞留が予想される場合には、地中水の排除による構造基盤の安定化を図ることが重要な課題となる。特に、本研究で用いた浚渫土は生成過程において周辺環境に強く影響を受け、高含水比の粘性土となっているものとして取り扱った。しかし、細粒分を多く含んでいる土壌、すなわち粘土質土壌は乾燥により土壌水分が不可逆的に脱水され、土の理工学的挙動が顕著に変わることがすでに多くの研究で明らかにされている(前田, 1987; 久保田徹, 1976; 竹中・江崎, 1973)。これらの乾燥による諸特性の変化をもたらす原因は、①微細粒子が結合し、団粒化する(神山, 1959)。②土の界面構造特性が変わり、親水性から疎水性に変わる(山崎・竹中, 1965)。③土粒子の集合化による上の比表面積が減少する(相馬・前田, 1974)、ことなどから論じられている。さらに軽部・佐藤(1998)はヘドロが大きい風乾の影響を示す主な原因は遊離酸化物によるものであると報告した。

こうした点を踏まえて、本研究の目的は乾燥による浚渫土の高含水状態の改善とそれに伴う土壌構造の変化機構を明らかにすることである。このことは浚渫土を構造基盤として利用するための改良方法を確立する上で重要な意味をもつものと考えられる。そのため、まず4種類の浚渫土の基本的物理性および化学性を把握した。その後、高含水状態かつ粘性土であった2種類の浚渫土を対象とし、生土から風乾土に至るまで乾燥の進行に伴う土粒子表面の性質変化をコンシステンシー特性並びにpF-水分特性から、また乾燥亀裂発生によるマクロ的構造変化を透水特性から検討を行った。

2. 供試土および実験方法

1) 供試土

供試土は東京湾羽田沖の東京国際空港拡張工事に伴って浚渫された海水ヘドロおよび茨城県霞ヶ浦の西浦、佐賀県佐賀市兵庫町のクリーク、埼玉県八潮市の大場川の浚渫現場から採取した淡水ヘドロである。以下、それぞれ(羽田沖)、(霞ヶ浦)、(佐賀)、(大場川)と略記する。現地における供試土の採取は、雑物の混入していない箇所を選び、長柄杓でプラスチックコンテナに入れてから移送し、分析に用いた。

また、上述した4種類のうち粘質状を呈した(羽田沖)と(霞ヶ浦)に対しては乾燥による土壌構造の変化機構を把握するため、生土、風乾土、そして生土をプラスチック箱(規格; $20 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$)に詰めた後、室内で自然乾燥させながら土壌水分状態並びに土壌表面の亀裂等を考慮し、各乾燥段階における供試土を採取し、分析に用いた。なお、各乾燥段階における供試土は竹中・江崎

表-1 各乾燥段階における供試土の水分状態

Table 1 Moisture condition of selected soils in different drying process stages

乾燥段階	(羽田沖)		(霞ヶ浦)	
	含水比 w (kg/kg)	pF	含水比 w (kg/kg)	pF
生 上	1.268	0.5	2.401	0.5
乾燥段階 1	1.107	1.7	2.209	1.4
乾燥段階 2	1.012	2.0	2.055	1.7
乾燥段階 3	0.929	2.6	1.669	2.3
風 乾 土	0.109	5.5	0.086	5.5

(1973)の研究を参考にし、作成した。その作成状況は以下のとおりである。まず乾燥段階1は乾燥開始から31日目のもので、まだ湿潤状態で発生した亀裂も浚渫土の流動性により再び消失してしまう程度まで乾燥した試料、次に乾燥段階2は乾燥開始から55日目のもので、乾燥段階1の亀裂がはっきり痕跡を残し、浚渫土が流動性を完全に失った時期まで乾燥した試料、さらに乾燥段階3は乾燥開始から91日目のもので、土中に微細な2次亀裂が発生し始めた時の試料である。なお、生土、風乾土並びに各乾燥段階の供試土の含水比並びに水分張力を表-1に示す。

2) 実験方法

供試土の基本的物理性および化学性としては、浚渫土の特性を把握するため、一般的な実験項目である土粒子の密度、自然含水比、粒度組成、pH、強熱減量を土質工学会(現地盤工学会)規準(土質工学会, 1991)に準じ、その他、酸性硫酸塩土壌の判定(過酸化水素処理による村上の方法)、水溶性イオン(水溶性-S)、電気伝導率(Electric Conductivity, 1:5水浸出法)、有機炭素含量(チューリン法)、腐植含量、全窒素量(ケルダール法)、C/N比、陽イオン交換容量(セミマイクロ・ショーレンベルガー法)、リン酸吸収係数(リン酸アンモニウム液法)を土壌環境分析法(土壌環境分析法編集委員会, 1997)並びに土質工学会規準(土質工学会, 1991)に準じ、測定した。

また、供試土の乾燥特性としては、乾燥による浚渫土の土壌構造の変化機構を把握するため、コンシステンシー限界、pF-水分分布、飽和透水係数を土質工学会規準(土質工学会, 1991)に準じて測定した。

3. 結果および考察

1) 供試土の基本的物理性および化学性

供試土の基本的物理性および化学性を表-2と表-3に

表-2 供試土の基本的物理性

Table 2 Fundamental physical properties of selected soils

供試土	土粒子の密度 ρ_s (Mg/m ³)	自然含水比 w_n (kg/kg)	粒度組成			土性
			砂分	シルト分	粘土分	
			(%)	(%)	(%)	
(羽田沖)	2.662	1.256	2.0	20.0	78.0	HC
(霞ヶ浦)	2.545	2.475	1.0	22.0	77.0	HC
(佐賀)	2.464	1.631	2.6	21.5	75.9	HC
(大場川)	2.739	0.449	72.7	8.5	18.8	SCL

表-3 供試土の基本的化学性

Table 3 Fundamental chemical properties of selected soils

供試土	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (H ₂ O ₂)	水溶性	EC	強熱	有機	腐植	全窒素	C/N 比	陽イオン	りん酸
				-S		減量	炭素				交換容量	吸収係数
				(g/kg)	(dS/m)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)		(cmol(+) /kg)	(gP ₂ O ₅ /kg)
(羽田沖)	8.2	7.6	3.0	2.86	1.18	97.5	23.6	40.7	1.71	13.9	34.2	24.9
(霞ヶ浦)	6.5	5.8	2.8	3.68	0.79	170.2	48.4	82.7	5.80	10.1	38.1	20.3
(佐賀)	6.8	5.6	2.2	3.42	0.31	119.2	40.9	80.8	3.97	10.3	35.0	21.6
(大場川)	7.6	6.5	2.3	3.26	0.42	25.4	5.1	8.9	0.48	10.6	8.7	19.6

まとめて示す。これらの表から、浚渫土は堆積場所によって粒度組成が大きく異なり、また粒度組成が類似しても、堆積場所が海水と淡水の違いにより pH や EC 等がかなり異なることがわかる。次に日本の土壌分類では、硫化物または硫酸を含み pH (H₂O₂) 3 未満、もしくは pH (H₂O) 4 未満のものを酸性硫酸塩土壌として分類基準に取り上げ、その位置付けがなされている(農耕地土壌分類委員会, 1995)。それに基づいて、本研究で用いた供試土を分析した結果、いずれも酸性硫酸塩土壌として判断された。次にリン酸吸収係数 20 g P₂O₅/kg 以上は火山灰土壌、15~20 g P₂O₅/kg は火山灰の影響の強い土壌といわれている(三好ら, 1996)。従って、いずれの供試土も火山灰土壌ないしは火山灰土壌の影響の強い土壌であると判断される。

2) 供試土の乾燥特性

(1) コンシステンシー特性

(羽田沖) と (霞ヶ浦) のコンシステンシー限界を表-4 に示す。表から、(霞ヶ浦) の生土は (羽田沖) に比べて、液性限界 (ω_L)、塑性限界 (ω_P)、塑性指数 (I_p) がともに 2 倍以上高い値を示す。また、生土を乾燥段階 1, 2, 3 並びに風乾上にした場合の ω_L , ω_P , I_p はいずれも生土に比べて低い値を示す。この場合も、(霞ヶ浦) が (羽田沖) に比べ、コンシステンシー限界値が高くなり、生土

の場合と同様の傾向を示す。流動指数 (I_f) は、いずれの供試土も生土と風乾土の間では顕著な差がみられるものの、生土から乾燥段階 3 まではわずかな変化のみを示す。

次に、表-4 の ω_L と ω_P の結果から塑性図を求め、図-1 に示す。図から、乾燥による供試土の塑性図上のプロットがほぼ A 線に沿って左下に移動する。また、(霞ヶ浦) と (羽田沖) の塑性図上の移動は相似で、(霞ヶ浦) が (羽田沖) に比べて大きい変化を示す。

浚渫土は水中に堆積しているため、自然含水比が生土の ω_L に比べて高い。しかし、いずれの供試土も乾燥により $\omega_L \cdot \omega_P$ が低下する。この $\omega_L \cdot \omega_P$ の低下は、乾燥による土粒子の粗粒化が比表面積の減少をもたらし、粒子間力が低下したためと考えられる。このことは、浚渫土を乾燥させることによって、圧縮性や粘性が低下して構造基盤として利用しやすい土に変わることを意味する。

(2) pF-水分特性

供試土の pF-水分分布を図-2 と図-3 に示す。なお、pF 試験については、いずれの供試土も水浸により飽和状態にし、測定はすべて脱水過程で行った。

これらの図から、乾燥の進行に伴って低 pF 領域から高 pF 領域に至る pF-水分分布曲線は左側へ移動しながら、立ち上がりが著しくなっていることがわかる。これは、

表-4 各乾燥段階における供試土のコンシステンシー限界

Table 4 Consistency of selected soils in different drying process stages

乾燥段階	(羽田沖)				(霞ヶ浦)			
	液性限界	塑性限界	塑性指数	流動指数	液性限界	塑性限界	塑性指数	流動指数
	ω_L (kg/kg)	ω_P (kg/kg)	I_P	I_f	ω_L (kg/kg)	ω_P (kg/kg)	I_P	I_f
生 土	1.112	0.380	0.732	0.620	2.455	0.843	1.612	0.750
乾燥段階 1	1.075	0.377	0.698	0.440	2.430	0.837	1.593	0.730
乾燥段階 2	1.065	0.376	0.689	0.390	2.408	0.832	1.576	0.630
乾燥段階 3	1.029	0.375	0.654	0.320	2.278	0.818	1.460	0.590
風 乾 土	0.705	0.351	0.354	0.260	1.266	0.653	0.613	0.350

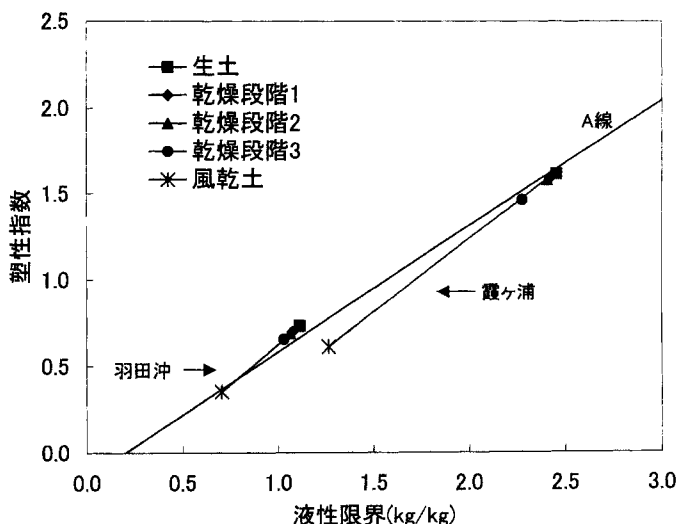


図-1 各乾燥段階における供試土の塑性図

Fig. 1 Plasticity chart of selected soils in different drying process stages

乾燥の進行とともに、不可逆的に保水量が低下していくことを示す。この保水量の減少は、表-5に併記した乾燥密度の変化からも考察することができる。乾燥密度の増加やそれに伴う保水性の低下は、乾燥の進行により粒子間の微細間隙の水が除去されて不可逆的に収縮し、微細間隙の量が減少したためと考えられる。このことは、前述したコンシステンシー特性と合わせて、浚渫土の改良方法を具体化する上で重要な意味をもつものとする。

(3) 透水特性

供試土の飽和透水係数 (k) と乾燥密度 (ρ_d) を表-5に示す。表から、供試土ともにかなり小さい k 値を示す。従って、透水性が極めて低いことがわかる。また、生土から乾燥の進行に伴って ρ_d は増大し、 k は低下した。こ

れは、土壌の乾燥密度が高まったことによって、透水に有効な間隙量が減少したためと推定される。しかし、風乾土は ρ_d が最大値を示すものの、 k が逆に増大し、生土に近い値となった。これは、乾燥によって土粒子が不可逆的に凝集した結果、透水に関与するセミマイクロ間隙が増加したためと考えられる。しかしながら、本実験の目的であった、乾燥亀裂発生によるマクロの構造変化はあったものの、それに伴う透水性の増大は得られなかった。これは乾燥段階2と3の k が亀裂を含まない、または亀裂が連続しないマトリックス部分の測定によるものと考えられる。しかし、既往の研究(井上ら, 1988)で亀裂を含むブロックと土壌マトリックスの透水性に4~5オーダーの違いがあると報告されており、小さな亀

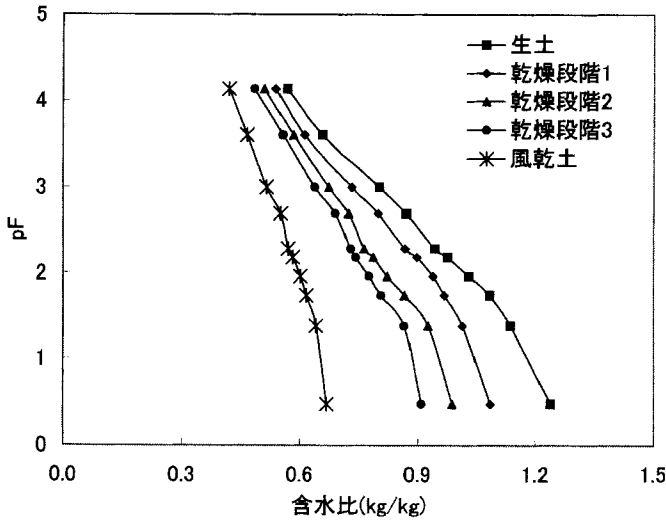


図-2 各乾燥段階における（羽田沖）の pF-水分分布曲線

Fig. 2 pF-soil moisture distribution curves of Haneda soil in different drying process stages

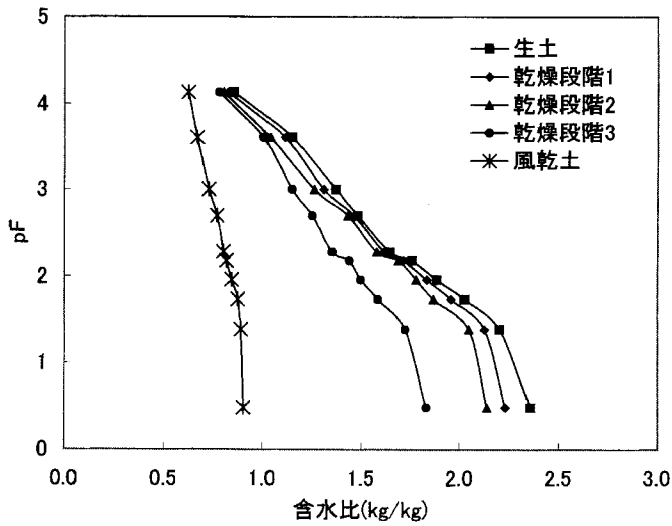


図-3 各乾燥段階における（霞が浦）の pF-水分分布曲線

Fig. 3 pF-soil moisture distribution curves of Kasumigaura soil in different drying process stages

裂でも透水性に大きな影響を与えることは容易に推察できる。以上の結果を踏まえて、浚渫土の安定化を図る上でいかに亀裂の発生によるマクロ的土壌構造の発達を促進するかが前提となってくる。また、亀裂の表面はもちろん亀裂内部まで乾燥させるためには、数多くの亀裂を発生させることが望ましいと考えられる。

4. ま と め

港湾・河川に堆積するヘドロは膨大な量であり、必要に応じて浚渫を行わねばならない。しかし、浚渫土の処理もまた重要な課題である。従って、本研究は浚渫土の処理が課題となっている現状において、その改良方法を求めるための、基礎資料を得ることを目的とした。その

表-5 各乾燥段階における供試土の乾燥密度並びに飽和透水係数の関係

Table 5 Relationship between bulk density and saturated hydraulic conductivity of selected soils in different drying process stages

乾燥段階	(羽田沖)		(霞ヶ浦)	
	乾燥密度	飽和透水係数	乾燥密度	飽和透水係数
	ρ_d (Mg/m ³)	k (m/s)	ρ_d (Mg/m ³)	k (m/s)
生 上	0.602	1.32×10^{-8}	0.354	1.20×10^{-8}
乾燥段階 1	0.687	8.95×10^{-9}	0.371	4.17×10^{-9}
乾燥段階 2	0.700	8.79×10^{-9}	0.389	4.02×10^{-9}
乾燥段階 3	0.755	2.08×10^{-9}	0.488	1.83×10^{-9}
風 乾 土	0.932	3.26×10^{-8}	0.764	1.27×10^{-8}

ため、まず4種類の浚渫土の基本的物理性および化学性を把握した。その後、生土から風乾土に至るまで乾燥の進行に伴う土変化をコンシステンシー特性並びにpF-水分特性から、また乾燥亀裂発生によるマクロ的構造変化を透水特性から検討を行った。

基本的物理性および化学性、乾燥特性の検討より得られた結果は以下に要約される。

1) 浚渫土は堆積場所によって粒度組成が大きく異なる。また、粒度組成が類似しても、堆積場所の周辺環境の影響により諸物性がかなり異なる。

2) 供試土は乾燥の進行に伴って液性限界の低下に向かっている。また、乾燥の進行に伴って乾燥密度の増加が保水性の低下をもたらす。

3) 透水特性については、供試土は乾燥の進行に伴って乾燥密度は増大し、飽和透水係数は低下した。しかし、風乾土の飽和透水係数は乾燥密度が最大値を示すにもかかわらず逆に増大した。

4) 浚渫土の安定化を図るために、乾燥処理が有効な改良方法の一つであると考えられる。

謝 辞

本研究を進めることに当たり、尾瀬林業株式会社微生物的環境技術研究所の御支援を賜り、パンフィックコ

ンサルタンツ株式会社総合技術本部港湾部並びに日本ソイルエンジニアリング株式会社土木本部営業部の御厚意により、試料を提供して頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する。

引 用 文 献

- 土壌環境分析法編集委員会(1997):土壌環境分析法:p. 202~301, 博友社.
- 井上久義・長谷川周一・宮崎 毅(1988):亀裂が発達した圃場における水の横浸透, 農土論集, 134: 51~60.
- 神山光男(1959):試料の乾燥状態が土の稠度に及ぼす影響, 土と基礎, 7(1): 44~47.
- 軽部重太郎・佐藤和彦(1998):過酸化水素水処理による土からの非品質物の溶出および土のコンシステンシー限界の変化, 農土論集, 195: 85~91.
- 建設発生土利用技術マニュアル検討委員会(1998):建設発生土利用技術マニュアル:p. 1~6, 土木研究センター.
- 久保田徹(1976):火山灰土壌の界面化学的研究—脱水に伴う土壌の不可逆的凝集の現象と機構を中心として—, 農技研報告 B, 28: 1~74.
- 前田 要(1987):土壌水分の変動と物理・化学性の変化, 土壌の物理性, 55: 37~43.
- 三好 洋・嶋田永生・石川昌男・伊達 昇(1996):土壌肥料用語事典:p. 103~104, 農文協.
- 農耕地土壌分類委員会編(1995):農耕地の土壌分類第3次改訂版, 農業環境技術研究所資料, No. 17: p. 11~12, 29~36.
- 相馬尅之・前田 隆(1974):火山性ローム土の初期含水比が液性限界に及ぼす影響, 農土論集, 49: 27~34.
- 竹中 肇・江崎 要(1973):ヘドロの土壌工学的特性とその改良, 土と基礎, 21(6): 67~74.
- 土の試験実習書(第二回改訂版)編集委員会(1991):土の試験実習書:p. 15~120, 土質工学会.
- 山崎不二夫・竹中 肇(1965):風乾がアッタベルグ限界に及ぼす影響, 農土論集, 14: 46~48.

受稿年月日:2000年2月4日

受理年月日:2000年10月6日