

ヘドロの利活用 I. 物理的性質

矢橋 晨吾*・武藤 ゆり**・玉津 智広*・金 原 台*・高橋 悟***・渡邊 文雄***
(*緑地環境工学研究室, **財団法人東京都公園協会, ***東京農業大学農業水利学研究室)

Study on the Utilization and Application of Hedoro Soil I. Physical Properties of Hedoro Soil

Shingo Yabashi*, Yuri Muto**, Tomohiro Tamatsu*, Wontae Kim*,
Satoru Takahashi*** and Fumio Watanabe***
(*Laboratory of Green Space Environmental Technology
**Tokyo Metropolitan Park Association
***Laboratory of Irrigation and Drainage, Tokyo University of Agriculture)

Abstract

This study was practiced to obtain fundamental data for the improvement of hedoro (muddy sediment) which are widely existing in lowland of Japan.

In this paper, we investigated the physical properties of four kinds of hedoro. They were Kawasaki (K) and Haneda (H) hedoro existing under seawater, Abashiri hedoro existing under brackish water and Matsue hedoro existing under pure water.

1. Soil particle density has a close relationship with the ignition loss and the larger the latter, the smaller the former.
2. There are large variations in the grading of hedoro among the samples collected from the different places.
3. The liquid limits (LL) and plastic limits (PL) of Abashiri hedoro (A) including much coarse grains reported the highest value among the four different hedoro and were influenced by ignition loss to a considerable degree.
4. The drying process caused an irreversible effect on the measurement regarding consistency, sedimentation volume and water retentivity of hedoro.

緒 言

ヘドロは河川、湖沼、湾域及びその他の流水停滞部にみられる超軟弱状態の細粒質粒子群が主要構成物となっている泥状堆積物である。しかし、場所によっては産業廃液や生活排水等の流出物が混入し、有機物や有害物質が含まれている場合もある。ヘドロが調査・研究の対象となったのは一郎瀉をはじめ各地の干拓地において、堤防築造時の基礎地盤の沈下・支持力並びに干拓土壌としての有効性を検討した時であろう。本研究は、大量の浚

渫ヘドロの処理が課題となっている現状において各種施設の基礎地盤として、また農地土壌や緑地の植栽土壌としての有効的な利活用を目的とした基礎資料を得るために実施しているものであり、本報は4種類のヘドロについて基本物理性を対象として比較検討したものである。

ヘドロの特徴

ヘドロという言葉は語源的には不明であるが、広辞苑では「へなつち」として粘土の発音がなまって、へな(埴)となり、黒くて粘り気のある水底の泥土を指すと記され

ている[10]。港湾関係では海底表層によく見受けられるもので、含水比の非常に高い軟泥から、浮泥と呼ばれる液状のものまでの総称とされている。いずれにしても今日のこのような海域汚染がひどくなる前からある言葉であり、自然の力でできた海底又は水底の軟弱泥土と解釈できる。しかし今日では、各種排水中の汚泥物がこのヘドロに混入したために、環境用語として非常に多く用いられるようになった。この意味ではヘドロは現時点で自然物ではなく人工物と言っても過言ではない。

ヘドロは全国各地の湾岸・河川・湖沼に存在し、生成条件によってその構成物質や土性は千差万別であるが、その沈降・堆積の状況を左右する要因は①土粒子の性状②界面の溶液の特性③土粒子以外の固体の性状④懸濁液の濃度であるとされている。そしてヘドロの堆積する速さは東京湾においては2～3 cm/年とされている[2]。その他ヘドロの一般的性質[5]は以下のとおりである。まず土の構成成分は粘土分が40～60%を占め、残りはシルトが大部分であり、粘土分の中には粘土鉱物も含まれている。有機物含量については表層ヘドロは強熱減量が約20%、50cm以下は約11%である。ヘドロの真比重(土粒子密度)は有機物含量が高い場合約2.42を示し、比較的小さい値であると言える。さらに間隙量によって表層ヘドロの構造を分析すると、間隙率は80～90%と大きく、含水比は200～300%で水中に堆積している状態は液性限界付近の含水状態である。また、乾燥密度は0.26～0.40 (g/cm³)である。

ヘドロはある程度まで乾燥過程が進むと表層に亀裂を生じ、土壌構造が変化する。そして再び水分が供給されても元の状態には戻らない(不可逆性)。また練返しによってヘドロの網目構造が破壊されると大幅に軟弱になるが、一般的には深さに比例して強度は大きくなる。

以上がヘドロの基本的性質であるが、前述したように今日のヘドロは人為的であり有機物、中には水銀・カドミウム・シアン・クロムなどの有害物質、汚染物質が混入されている。ヘドロを処理・利活用するとすれば浚渫という工程は避けられず、混濁による二次汚染が問題となる。今日では凝集固化剤による固化処理技術が盛んに研究されている[2]。

ヘドロの処理方法と利用方法の現状については以下のように要約される。すなわち、除去したヘドロを密閉させ、その用地を公園等公共緑地とすること、固化剤を添加して裏込め材にすること、脱水させて築堤・道路材料とすること、人工骨材としてコンクリートに利用することなどの事例がある。また汚染されていないヘドロは砂質農地への客土等低地帯の埋立地等に使用することも可能である[6]。

材料と実験方法

対象試料は、海水ヘドロとして東京湾川崎沖、同羽田沖、また汽水ヘドロとして網走湖内さらに淡水ヘドロとして松江城堀割内で採取したヘドロである。供試土は網走湖内を除く他の3つはいずれも液状であったことから攪乱土をプラスチックコンテナにて移送した。

(1) 試料の特徴

1) 川崎沖 (K)

採取後プラスチックコンテナ内の湛水下で数カ月間静置していたものを運輸省港湾技術研究所からの提供による。灰白色である程度硬化していた。

2) 羽田沖 (H)

現地は広範囲にわたってヘドロが堆積しており、超軟弱状態であったことから、長柄杓で掬い取り、プラスチックコンテナに移した。黒色で若干腐敗臭がしていた。

3) 網走湖 (A)

北海道東部網走川河口に開けた汽水湖内沿岸部に近い場所において表層から深さ30cmの範囲の攪乱土を採取した。赤褐色で若干小さい貝殻が混入し、かなり砂質土に近い感触であった。なお、移送は試料を厚膜ビニール袋に入れ箱型プラスチックコンテナによった。

4) 松江城堀 (M)

城内堀割内の水面下から採土したもので超軟弱状態であった。黒灰色で腐植に富んでいるようであった。

(2) 実験方法

4 試料ともに、生土と風乾土を取り上げ、乾燥に伴う変化の特徴を把握した。

本報で取り上げた基本的物理量はヘドロの特徴を把握するため、①土粒子密度、②粒度特性、③コンシステンシー特性、④膨潤度、⑤沈降体積、⑥水分特性、⑦強熱減量の7項目であり、①～③はJIS法に準じて測定した。

④膨潤度は105℃で乾燥した土1gが膨潤平衡状態になったときの膨潤水量をgで表した数値であり測定は簡易膨潤度測定法[3]によった。なお、膨潤とはゼラチンを水に入れたり、ゴムをベンゼンの中に漬けたときのように弾性をもつゲルが液体を吸収して体積を増加する現象をいう。一般に膨潤は、電解質などによって影響を受け、塩があると膨潤は少なく、酸またはアルカリがあると膨潤の度合いの大きくなるものが多いとされている。ここではヘドロの粘度や乾燥に伴う収縮現象を把握するため簡易測定法によって4試料の膨潤度を求め比較した。

⑤沈降体積[9]はアッターベルク試験に用いられる

試料の前処理方法に準じ、試料を調整し、処理された試料を定格の容器（ここでは50mlのメスシリンダー）に入れて水に分散させ、振とう器にかけた後静置し、沈澱部分の見掛けの体積を測定した。一般に土の微細粒子が水中で攪拌されると分散するが、放置すると沈降して底に堆積する。見かけの体積は分散以前の土よりも大きくなる。この値が大きいものほど粘土含量の大きい土であるとされている。

⑥水分特性はpF2.3以下は吸引法、pF2.8～4.2は遠心法による。

⑦強熱減量はJSF T221 [1] による。

なお、以上の物理性の測定に用いた各試料の数は測定項目によって異なるが、5～10を対象とし、それらの平均値を求めた。

実験結果と考察

(1) 基本物理量

4 試料の物理的性質をTable 1に示した。

1) 土粒子密度 (ρ_s)

ヘドロは堆積場所によってその性状が大きく異なるとされている。その原因は流入する泥水のルーツに影響を受けているためと思われる。土の土粒子密度は粒度組成及びコンシステンシー特性とともに土の最も基本的な性質であり、通常の外気条件下では不変であるとされている。4 試料の比較では、川崎沖 (K) が最大値を示し、

次いで、羽田沖 (H)、松江城堀 (M)、網走湖 (A) の順に小さい。なお、Hは土の土粒子密度の平均的な値とされている石英砂($\rho_s: 2.65$)に最も近い値であり、最小のAは貝殻が含まれていることが影響しているものと推定される。

2) 粒度特性

Fig. 1は粒径加積曲線であるが、4 試料の砂、シルト及び粘土各粒子分の構成割合を詳細に把握するため、曲線を分析し、その結果をTable 1に示した。各粒子分の構成割合にやや大きな差がある。粘土分が圧倒的に多く、

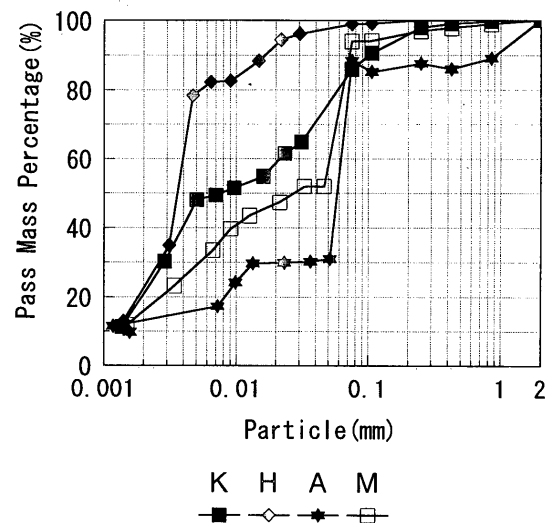


Fig. 1 Grain-size Accumulation Curve of Hedoro Soil

Table 1 Physical Properties of Hedoro Soil

Soil Sample	Kawasaki (K)		Haneda (H)		Abashiri Lake (A)		Matsue Castle's Moat (M)	
	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried
soil particle density: ρ_s (g/cm ³)	2.72		2.67		2.47		2.51	
sand: S (%)	25		2		33		13	
silt: Si (%)	27		20		53		58	
clay: C (%)	48		78		14		29	
soil texture	HC		HC		SiL		SiC	
liquid limit: LL (%)	53.8	46.7	90.3	77.6	215	118	159	98.1
plastic limit: PL (%)	27.2	25.7	40.3	33.3	84.8	74.0	57.3	52.4
plastic index: I_p	26.6	21.0	50.0	44.3	130	44.3	102	45.7
flow index: I_f	4.81	3.88	14.7	11.5	18.7	13.7	17.7	17.9
degree of swelling: S_a	0.87		1.22		1.98		1.44	
degree of sedimentation volume: S_v (ml/g)	7.73	9.36	5.33	2.10	6.38	2.51	9.23	2.36
ignition loss: Lig (%)	5.27		9.77		19.7		14.1	

砂分がわずかに2%となっているのはHであり、Aは砂分が3割強を占め、粘土分は14%で土性はシルト質ローム(SiL)となっている。KとHの土性はいずれも重粘土(HC)となっているが3粒子区分の構成割合は大きく異なっている。Mはシルト分が6割強を占め、シルト質粘土(SiC)に分類される。以上から今回取り上げたヘドロの粒度組成は場所による差が大きいといえる。

3) コンシステンシー特性

液性限界(LL)は4試料の中でAが最大値を示し、しかも生土は $w_L=200\%$ を越えるほど大きな値となっている。次いでMの $w_L=159\%$ 、Hの $w_L=90.3\%$ 、最少はKの $w_L=53.8\%$ で4試料間に極めて大きな差がみられる。風乾土についてもLL値そのものは生土より小さくなっているものの、順位は同様となっている。一方塑性限界(PL)についても、4試料間の大小関係はLLと同様となっており、同時にAの値は他の3試料と比較してかなり大きい値を示している。ただ、塑性指数(I_p)及び流動指数(I_f)については、M以外は生土に対して風乾土はそれらの値が小さくなっており、LL・PLと同様の傾向を示しているが、試料間の順位には若干の相違が見られる。

Fig. 2は流動曲線であるが、4試料間に大きな相異が見られる。いずれも、生土と風乾土との間に乾燥に伴う明らかな変化が現われており、その程度は試料間に大きな差が認められる。

4) 膨潤度(S_d)

Table 1から本報で対象とした4種類のヘドロはK以外の3試料は1.0を越えているもののいずれも大きい値

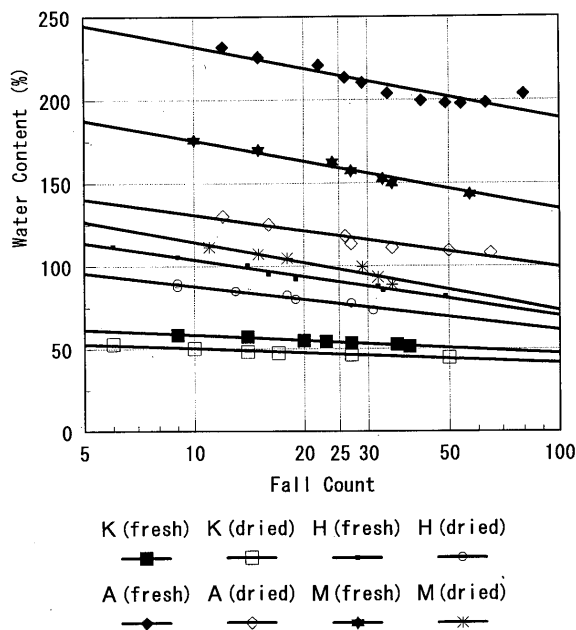


Fig. 2 Difference of Flow Curve between Fresh and Dried Condition of Hedoro Soil

とはいえない。大きさの順位はAが最大値を示し、次いで $M > H > K$ となっており、LL・PLの大きさの順位に対応している。なお、Kは1.0以下を示し、膨潤性の低い土であると判断される。

5) 沈降体積

ヘドロは一般に水中で堆積していることから見かけの体積を知ることによって工学的指標を推定し、脱水・乾燥処理によって強度増加の程度を把握できる。

Fig. 3及びFig. 4はKを除く3試料について分散後における沈降体積の時間的変化を比較したものである。Fig. 3の生土については3試料間に大きな差がみられるが、Fig. 4の風乾土は当初に若干の差があるものの、経過時間10分後はほぼ同様の変化曲線を示している。

ここでも乾燥に伴う変化が明らかに現れている。

6) 水分特性

ヘドロの水分特性を求めることは超軟弱な状態の土であることからその測定にはかなりの工夫を要する。本報では、代表的にHを取り上げ、生土に対して初期含水比(w)を50%余まで脱水・乾燥処理した供試土を比較検討した。Fig. 5は生土及び乾燥土から各々4個サンプリン

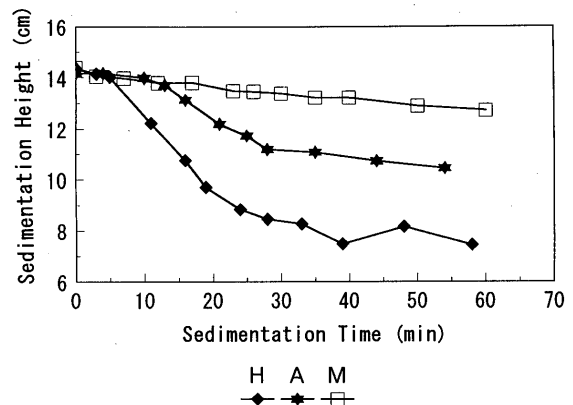


Fig. 3 Sedimentation Form of Fresh Hedoro Soil

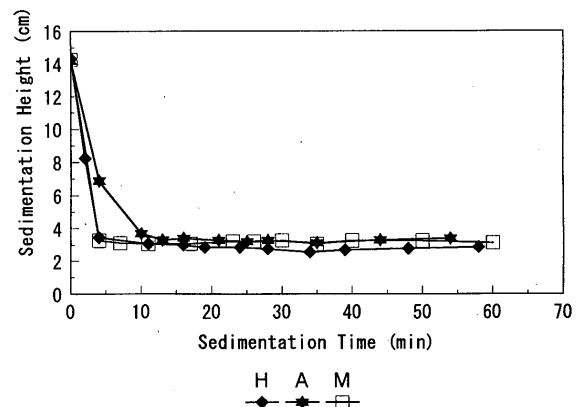


Fig. 4 Sedimentation Form of Dried Hedoro Soil

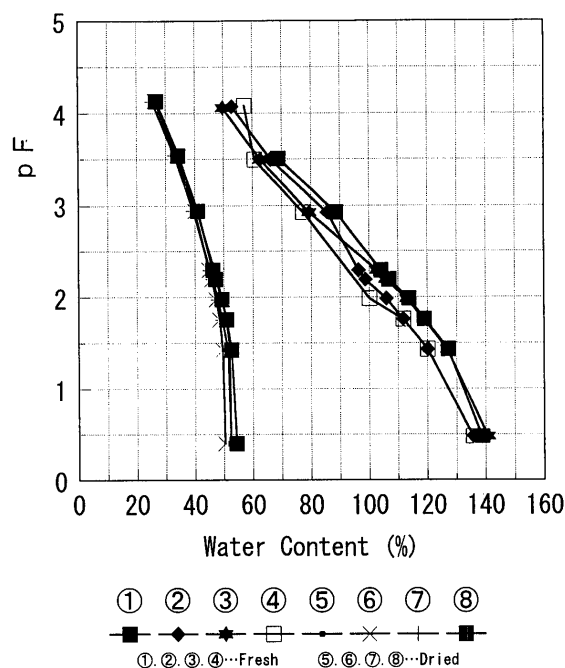


Fig. 5 Difference of Water Characteristic Curve between Fresh and Dried Condition of Haneda Hedoro Soil

グしてpF水分特性曲線を示したものである。生土は低pF領域から高pF領域まで広い範囲にわたって水分分布を示しているが、一方乾燥処理土は大きく変化し、供試土を水浸飽和させても生土の初期含水比まで回復せず、せいぜいpF 4以下の領域で飽和状態になり、極めて狭い範囲での変化を示すようになった。

7) 強熱減量

土の有機物含量の概略値を知る上で簡単に求められる強熱減量法によって測定した。

4試料のうちではAが最も大きく、次いでM>H>Kの順に小さくなった。

(2) 論議

1) 土粒子密度と強熱減量

土粒子密度(ρ_s)は土を構成する造岩鉱物と深い関係をもつことはいうまでもないが、一方有機物含有量の多少が影響している[8]。Table 1の4試料について土粒子密度と強熱減量(Lig)とを対比させた場合、 ρ_s の最大値を示すKはLigが最小値となっており、以下、 ρ_s についての順位はH>M>Aとなっているのに対してLigは逆にH<M<Aの順位を示している。

Ligからは含有有機物の質・種類は不明であるが、ヘドロについても有機物が ρ_s に多少なりとも影響していることに加えて貝殻の問題も無視できない[4]。

2) 粒度特性とコンシステンシー

調査の対象とした4試料は場所及び堆積状態から見掛けはヘドロと見なしているが、粒度分布は大きく異なっている。同じ東京湾のKとHについても土性はHCに分類されるもののヘドロの特徴である粘土分の占める割合が大きく異なっている。これらはコンシステンシー特性としてのLL及びPLの値に影響していると考えられる。

一方、砂分が最大値を示すAはLL及びPLが異常に高く土全体からみた感触とは大きく異なっている。これはJIS法によるLL・PLの試料が粒径425 μ m以下を対象としていることに起因していると考えられるが、有機物含有量も関係していることも考えられる。

3) コンシステンシー特性と強熱減量

ヘドロが水の影響を受けやすく大部分が微細粒子の集合体であるとするならば当然水との相互作用が重視される。コンシステンシーに関する特徴を把握しておくことが必要であろう。JIS法では粒径425 μ m以下の粒子を対象としていることから、LL及びPLは原土のそれとは必ずしも一致しないが、しかし、粗粒分の多い土は一般にLL・PLが小さく、非塑性(NP)に近い性状を示すことがしばしばみられる。

4試料のうちHは粘土分の含有量が80%弱あり、それを反映したLL・PL値が現れている。一方Aは粘土分がわずかに14%、砂分が33%も含まれているにもかかわらずLL・PLともに異常に高い値を示している。LL・PLが粒径425 μ m以下に限っているとはいえ、粘土分が少ないことには変りはない。したがって、この場合高い強熱減量値から推測して少ない微細粒子の役割を有機物含有量が肩代わりしていると考えられる。

4) 膨潤度と沈降体積

膨潤度については、いずれも2.0以下を示し、膨潤性の高い土とはいえない。特にKは0.87と小さく、珪砂及び珪酸白土が0.5~1.0示すことからこれに近い性状をもつといえよう。他の3試料はカオリン類が示す1~2の範囲にあり、若干膨潤性が認められる程度である。強熱減量との対比では、両者の大きさの順位は逆の関係にあり、ここでも有機物含有量の影響が存在すると推測される。一方沈降体積は土粒子の形状、粒径組成、粘土鉱物及び土粒子イオン等によって大きな影響を受けるとされている。ここでは、生土の脱水・乾燥に伴う密度あるいは強度増加の期待の有無を明らかにするために実施したもので、Fig. 3及びFig. 4に示したとおり、生土では3試料間に大きな差が現れているが、乾燥試料についてはほぼ同様の性状を示すようになった。ただ膨潤度と沈降体積との直接な関係は不明である。

5) 水分特性

水分特性はH試料のみについての言及となり、試料間

の差は不明であるが、生土の乾燥処理に伴う質的变化及び土壌構造の変化が生じることは明らかである〔7〕。一度ある状態（ここではpF4に近い）まで乾燥した土は水浸しても元の生土の状態に戻らないと判断される。これはヘドロを各種の土地基盤として利用する上で極めて重要な性質といえよう。他の3試料についても、コンシステンシーにおいて現れた乾燥に伴う変化の状態からHと同様の結果が得られると考えられる。

6) ヘドロの脱水・乾燥処理に伴う地盤強化の可能性

ヘドロは概観及び感触から顕著な流動性並びに超軟弱性が容易に認知される。従って、ヘドロをそのままの状態に利活用することは極めて困難である。ヘドロは各場所に堆積することそれ自体が問題であり、機会あるごとに浚渫しなければならない。また、浚渫したヘドロの処分場所の確保も困難である。こうした現状から大量に出るヘドロの処分は社会的にも大きな課題となっている。上記の論議、すなわちヘドロの脱水・乾燥処理に伴うコンシステンシー等の質的变化並びに水分特性にみられる構造変化はヘドロの不可逆性の顕著な出現であり、こうした特性をさらに深く追究することによってヘドロの土地基盤としての利活用の可能性を示唆することができるものと考えられる。

摘 要

ヘドロは場所によって構成成分・性質にかなり大きな差が見られる。ヘドロが堆積すると停滞水の腐敗や流水阻害等種々の問題が生じるため、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。本報では4種類のヘドロを対象として、基本的物理性を取り上げて検討した。自然状態のヘドロは超軟弱ではあるが脱水・乾燥に伴って質的に大きく変化し、再び水浸しても元の状態には戻らないこと、すなわち、密度並びに強度の増加が期待される。

物理性の検討より得られた結果は以下に要約される。

1. 土粒子密度は強熱減量と深い関係があり、強熱減量が大いほど土粒子密度は小さくなっている。
2. ヘドロは堆積場所によって粒度組成が大きく異なる。
3. 粗粒分の多い土である網走湖（A）のLL・PLが最大値を示しているがこれには有機物含有量が大いに関与しているものと考えられる。
4. ヘドロは、土のコンシステンシー、沈降体積並びに水分特性において、生土からの乾燥に伴う質的变化、すなわち不可逆性が大いに認められる。

引用文献

- [1] 土質工学会編(1990):土質試験の方法と解説, 土質工学会, 東京, 201-214.
- [2] 原田静男(1985):ヘドロ, 土のはなしII, 枝報堂, 東京, 164-169.
- [3] 久松実(1976):膨潤, 現代農業土木用語選, 農業土木学会, 東京, 178-179.
- [4] 前田隆・相馬克寸之・佐々木清一(1976):腐植が土の物理性に及ぼす影響, 農土論集, 61, 9-17.
- [5] 須藤清次(1985):ヘドロ, 粘土の辞典, 朝倉書店, 東京, 400-401.
- [6] 須藤清次(1986):ヘドロ, 現代農業土木用語選II, 農業土木学会, 158-159.
- [7] 堤聡・足立忠司・竹中肇(1977):乾燥条件よりみた有機質土の理工学的性質の変化—とくにコンシステンシー及び水分保持特性について—農土論集, 71, 8-15.
- [8] 矢橋晨吾(1981):水田作土としての黒泥土の理工学的性質, 農土論集, 91, 16-25.
- [9] 安富六郎(1983):沈降体積, 土の理工学性実験ガイド, 農業土木学会, 東京, 52-53.
- [10] 吉田龍夫(1974):ヘドロの生成と除去について, Hedoro, No. 1, 11-27.