

港 湾 技 研 資 料

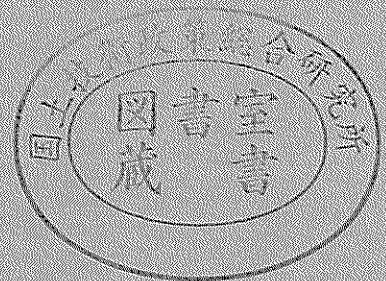
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 415 Mar. 1982

いくつかの廃棄物の圧縮特性

土	田	孝
佐	藤	正 春
小	林	正 樹

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 廃棄物地盤の土質工学的特性に関する既往の研究	3
2.1 都市ごみ地盤の力学的性質	3
2.2 脱水スラッジ, 焼却灰の力学的性質	4
3. 都市ごみ試料の圧密試験	4
3.1 試料および試験方法	4
3.2 試験結果	6
4. 産業廃棄物試料の圧密試験	8
4.1 試料および試験方法	8
4.2 試験結果	8
5. ま と め	10
参 考 文 献	11

Compressibility of Solid Wastes

Takashi TSUCHIDA*
Masaharu SATO*
Masaki KOBAYASHI**

Synopsis

The results of consolidation tests on a urban refuse and two kind of industrial wastes are presented and discussed.

It was found that;

- (1) For Urban refuse, a large settlement occurred immediately after loading, and time dependent settlements are proportional to logarithm of time.
- (2) The compressibility of urban refuse is as much as that of alluvial clay.
- (3) For the food waste and dye waste, the relation between the modulus of volume compressibility and mean consolidation pressure is almost same as that of Yokohama clay.

* Member of Soil Mechanics Laboratory, Soils Division
** Chief of Soil Mechanics Laboratory, Soils Division

いくつかの廃棄物の圧縮特性

土 田 孝*
佐 藤 正 春*
小 林 正 樹**

要 旨

近年、廃棄物の処理・処分は大きな社会問題となり、増大する廃棄物を流域に埋立処分するための廃棄物埋立護岸を建設する必要性が高まっている。廃棄物埋立護岸を建設する場合には、廃棄物によって埋立てられた地盤の安定性を十分に検討しなければならない。本研究はこのために、都市ごみ埋立地と産業廃棄物処分地から採取した廃棄物試料を用いて圧密試験を実施し、廃棄物の圧縮特性を調べたものであり、次のような結果が得られた。

- 1) 都市ごみ試料は、載荷直後に大きな沈下が生じた後ほぼ時間の対数に直線的な沈下が続く。沖積粘土の時間～沈下関係と比較すると、いわゆる一次圧密沈下が載荷直後の短い時間に終了し、大きな二次圧密沈下が生じるといえる。
- 2) 都市ごみ試料の圧縮指数は、沖積粘土と同程度の大きさであった。
- 3) 今回用いた食品残渣、染料残渣の体積圧縮指数と平均圧密圧力との関係は、ほぼ横浜粘土の場合と同様であった。
- 4) 染料残渣は、沖積粘土とほぼ同様な時間～沈下関係を示した。

1. まえがき

近年都市廃棄物、産業廃棄物の処理・処分が大きな社会問題になっている¹⁾。廃棄物を処分する方法としては、内陸埋立て、海面埋立て、海洋投棄などが行われてきたが、都市化の進展や、環境保全の問題のため、内陸埋立処分や海洋投棄は困難になりつつあり、港湾内など海域内での埋立て処分の必要性が高まってきた。

処理・処分を必要とする廃棄物には、家庭から排出されるごみなどの一般廃棄物、工場、事業所から排出される産業廃棄物、建設工事から発生する残土、港湾工事等になり生ずる浚渫土砂などがある。このうち建設残土や浚渫土砂などによる埋立は多くの実績があり、埋立地内に多くの施設が建設されている。しかし、一般廃棄物、産業廃棄物による埋立地盤は、種々の問題があるため、現在では、公園、緑地などに利用されている場合が多い。今回これらの一般廃棄物、産業廃棄物地盤の土質工学的性質を調べるため圧密試験を実施したので、その結果を報告する。

2. 廃棄物地盤の土質工学的特性に関する既往の研究

2.1 都市ごみ地盤の力学的性質

前田²⁾は、わが国の都市ごみによる埋立地盤の実例を調べ都市ごみに共通する性質として次のようにまとめている。

物理的性質

- ① 都市ごみ地盤は、紙類、プラスチック、厨介類、ゴム、土砂、ガレキ、粗大ゴミなどから構成されている。強熱減量は、10～100%の範囲に広く分布している。
- ② 含水比 30～70%
- ③ 比重 1.7～2.6の範囲にある。
- ④ 単位体積重量 0.35～2.0 t/m³の範囲にあり、平均的にはほぼ0.7 t/m³となっている。

強度、変形特性

- ① N 値は、コンクリート片、レンガ片などを除けば、ほとんど3～10の範囲にある。

* 土質部 土性研究室

** 土質部 土性研究室長

- ② 廃棄物の破壊ひずみは、15%以上で、CB R値も1程度もしくはそれ以下ときわめて小さい。しかし極限の強度で考えると、内部摩擦角 $\phi=30\sim 35^\circ$ 、 $C=4.0\sim 6.8\text{ t/m}^2$ となる。
- ③ 変形係数Eは、平均的にみると $5\sim 10\text{ kg f/cm}^2$ である。体積圧縮係数 m_v は、 $0.05\sim 1.4\text{ cm}^3/\text{kg}$ 、圧縮指数 C_c は $0.4\sim 1.4$ と軟弱な粘土地盤や有機質地盤と同程度である。圧密係数 C_v は、 $0.5\sim 5\text{ cm}^2/\text{s}$ と大きい。

東京港では、大量の都市ごみが、無処理のまま埋立てられている。清水ら³⁾は、東京港の生ごみ埋立地盤において一連の現位置調査を行い、次のような結果を報告している。

- ① 自然含水比は20~150%の間で、広くばらついている。
- ② 単位体積重量は、 $0.5\sim 1.0\text{ t/m}^3$ の範囲にある。
- ③ 一面せん断試験の結果、都市ごみ試料は、繊維質試料の挙動に似ている。
- ④ 圧密試験による体積圧縮係数と圧密係数は、一般の粘土よりもかなり大きいと推定される。
- ⑤ 透水係数は、一般の中粒、細粒砂のそれに相当すると推定される。

川本⁴⁾らは、名古屋市内の埋立処分地において土質調査を行った結果を次のように報告している。

- ① 廃棄物の組成は土砂の割合が大きく、重量比で70%以上、体積比で40~50%となっている。土砂以外では、木片、プラスチック類が多い。
- ② N値は大きくばらつくが、大部分は2~8である。またプレシオメータによって求めた横方向地盤変形係数は、 10 kg f/cm^2 以下が大部分であり、通常の同じようなN値を示す土質地盤に比べ、横方向の抵抗が非常に小さい。
- ③ 透水係数は $10^4\sim 10^7\text{ cm/s}$ と難透水性~不透水性の性質を示した。

さらに川本⁵⁾らは、この地盤を動圧密工法を用いて地盤改良した事例も報告している。動圧密工法とは、クレーンでつり上げた大型ハンマーを地盤に落下させ、その衝撃力によって地盤を締め固める工法である。川本らは、動圧密工法によってN値、横方向地盤変形係数とも、約3倍増加したとしている。

以上、最近の都市ごみの力学特性に関する研究をまとめると、次のようになる。

- ① 都市ごみ地盤は、非常に雑多な種類の要素によって構成されているため、各物理定数や力学定数のばらつきが非常に大きい。

- ② 含水比は20~70%、比重は1.7~2.7である。単位体積重量は、土砂をほとんど含まない場合は $0.5\sim 1.0\text{ t/m}^3$ 程度と軽い。土砂の割合が大きくなると通常の土質地盤程度の大きくなる。

- ③ N値は、ほぼ10以下であり、特に変形係数が小さい。このため、支持力が小さく、沈下、変形が大きくなる⁶⁾。

- ④ 透水係数は、土砂をあまり含まない東京港の埋立地盤の場合は、中粒、細粒砂程度の大きい値が報告されているが、土砂分の多い名古屋市内の埋立地盤については、難透水性、不透水性とされている。

2.2 脱水スラッジ、焼却灰の力学的性質

植下、桑山⁷⁾は、種々の産業廃棄スラッジ、上・下水道スラッジ、焼却灰について一連の土質試験を行い次のような結果を報告している。

- ① 産業廃棄スラッジは、排出工場、生産品種によって性質が大きく異なり、比重、含水比、強熱減量値ともに広範囲に変化している。
- ② 下水処理スラッジは、産業廃棄スラッジに比べ、比重、含水比、強熱減量ともにその変化の範囲は小さい。
- ③ スラッジ類の圧密試験を行い、 $e\sim \log P$ 曲線を描いて圧縮指数 C_c を求めると1.5~2.5程度になり、埋立処分した場合の圧密沈下量がかなり大きいものであることが推測される。
- ④ 都市ごみ焼却灰は、十分な締め固めを行えば埋立処分材料として良好なものである。

3. 都市ごみ試料の圧密試験

3.1 試料および試験方法

今回用いた試料は、東京港中央防波堤外側護岸(図-1)においてサンプリングしたものである⁸⁾。写真-1、写真-2はサンプリングした地点の全景を示している。

圧密試験は、ボーリング孔からシンウォールサンプラーを用いて採取した試料(試料A)と、表層からスコップにより採取した試料(試料B)について行った。なお、試料Aの採取にあたっては、サンプラーの静的な挿入が不可能であったため、モンケン打撃によって行っている。写真-3、4は、試料A、Bの状態を、また表-2は、試料の組成を乾燥後の重量百分率で示してある。表-2をみると試料Aがあまり土砂分を含まないのに対し、試料Bでは土砂分の割合が85.4%と大きくなっている。

図-2は、試料採取地点において実施した標準貫入試験の結果である。従来報告されている都市ごみ埋立地盤に比べ、かなり高いN値が得られているが、これは上部

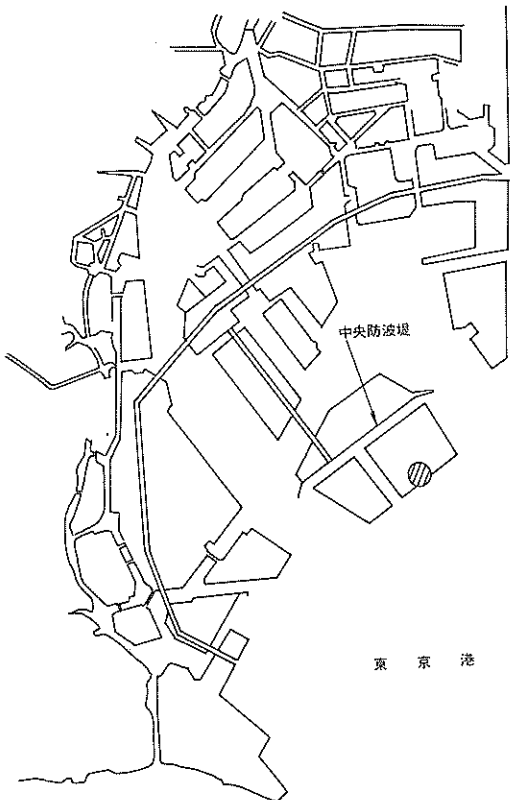


図-1 試料採取位置



写真-1 試料採取地占の全景



写真-2 試料採取地点の全景



写真-3 試料 A



写真-4 試料 B

表-1 都市ごみ試料の構成

組 成	乾燥後の重量百分率	
	試料 A	試料 B
紙 く ず	2.4	2.1
布 類	12.7	5.5
木 く ず	0.7	0.4
ナ イ ロ ン	9.3	1.2
プ ラ ス チ ッ ク	1.2	0.8
空 缶, 鉄くず	34.7	1.4
土 砂	7.3	85.4
そ の 他	3.17	3.2
計	100	100

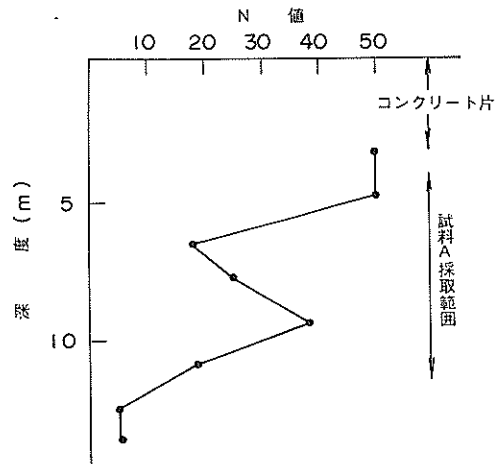


図-2 試料採取位置における標準貫入試験結果

のコンクリート片の影響,あるいは標準貫入試験用サンブラーの先端が,寸法の大きな塊や板などに当たったことも考えられ,試験数が少ないのでただちにこの地盤の支持力が大きいとはいえない。

廃棄物地盤のように,構成する要素の寸法が大きい場合は,通常の標準圧密試験のような小さな寸法の試験で地盤全体の沈下特性を調べるのは無理である。したがって,今回は写真-5で示す中型圧密試験を実施した。

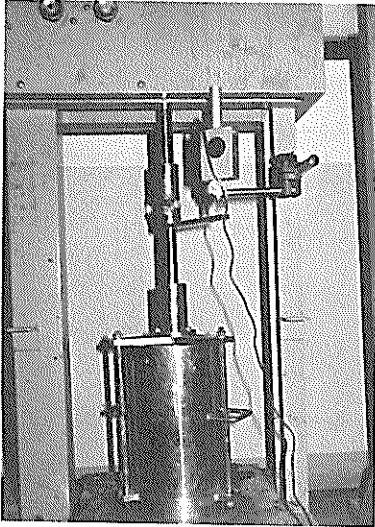


写真-5 中型圧密試験機

この中型圧密試験は,直径20cmの試料容器に試料を入れ,加圧板の上から空気圧で荷重を加えている。荷重は,標準圧密試験の載荷方法に準じて,0.1kgf/cm²,0.2kgf/cm²,0.4kgf/cm²,0.8kgf/cm²,1.6kgf/cm²,3.2kgf/cm²(試料Bの場合は0.2kgf/cm²から)を段階的に載荷し,載荷時間は各段階1日とした。また,除荷時のリバウンド特性を調べるため,3.2kgf/cm²に達した後,1.6kgf/cm²,0.8kgf/cm²,0.4kgf/cm²,0.2kgf/cm²,0.1kgf/cm²と段階的に除荷を行い,時間とリバウンド量の関係調べた。なお,試料は,写真-3,4で示したとおり完全に乱した状態であるが,試料を圧密容器に入れる際に特別な締め固めなどは行わず,そのままの状態から圧密を始めた。供試体の初期高さは,個々のゴミの寸法が大きいので高いほうが望ましいと考えたが,試料の量の関係から,試料Aは7.84cm,試料Bは22.63cmとなっている。

3.2 試験結果

表-2におもな試験結果を示す。

図-3,4は,それぞれ試料A,試料Bの各荷重段階における時間~沈下曲線である。図-3をみると試料Aでは,載荷直後に大きな沈下が生じ,その後は沈下量と対数目盛上の時間の関係はほぼ直線になっている。また,

表-2 都市ごみ試料の圧密試験結果

	試料 A	試料 B
供試体初期高さ(cm)	7.84	22.63
直径(cm)	20.00	20.00
初期含水比(%)	51.85	2.90
比重	1.365	2.106
単位体積重量	1.200	0.616
圧縮指数	1.05	0.85
膨張指数	0.08	0.07

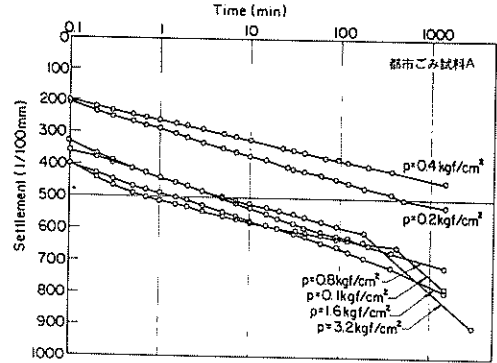


図-3 時間~沈下曲線(試料A)

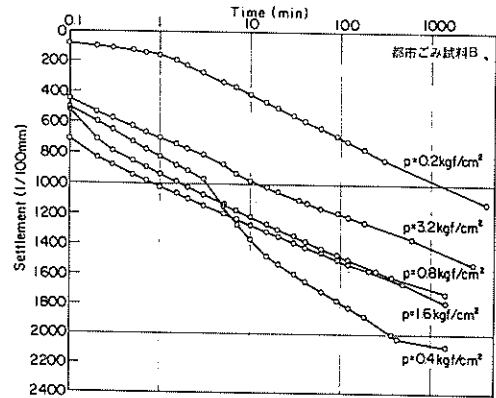


図-4 時間~沈下曲線(試料B)

試料Bの場合も,第1階目の載荷である0.2kgf/cm²の場合を除けば,沈下量と時間の対数はほぼ直線といえる。図-5には,比較のため横浜本牧粘土の標準圧密試験における時間~沈下曲線の一例を示した。図-3,4と図-5を比べれば,試料A,試料Bのような都市ゴミ廃棄地盤においては,載荷の直後に大きな沈下が生じ,その後時間の対数に直線的にいわゆる二次圧密的な沈下が続くことがわかる。また,図-3,4より二次圧縮指数 C_α ($C_\alpha = \Delta e / \log \Delta t$) を求めると試料Aは0.032~0.036,試料Bは0.015~0.020となり,特に試料Aのように土砂をあまり含まない都市ごみ地盤では,有機質土なみの大きな二次圧縮を生じている。

ところで,このように載荷直後に大きな沈下を生じた後,大きな二次圧密的沈下が続くような試料の場合, \sqrt{t}

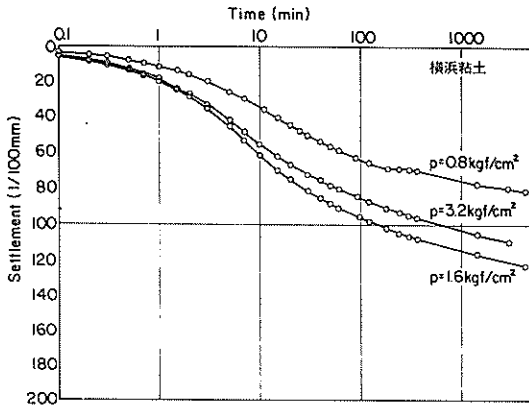


図-5 時間～沈下曲線（横浜粘土）

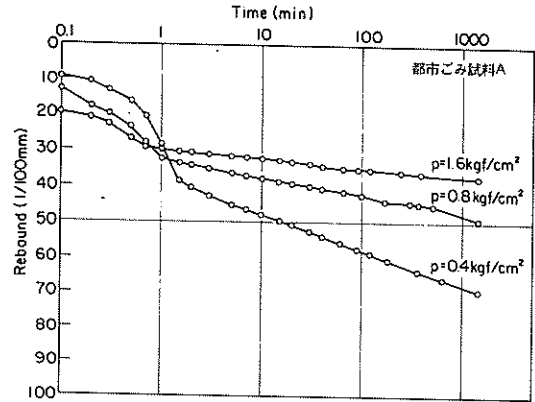


図-7 リバウンド量～時間曲線（試料A）

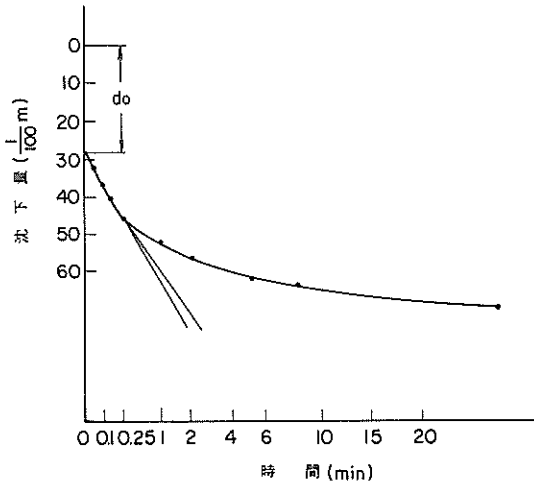


図-6 標準圧密試験による沈下～時間関係
√t法による)

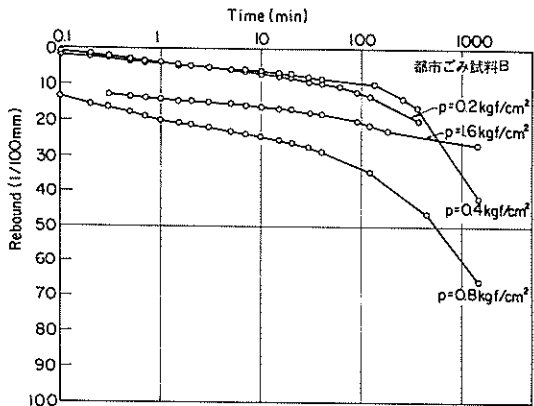


図-8 リバウンド量～時間曲線（試料B）

法を適用して圧密係数 C_c を求めようとする C_c を過小評価する場合があるので注意を要する。図-6は、試料Aについて標準圧密試験（直径60mm、初期高さ20mm）を行って得られた沈下量を時間の平方に対してプロットした例である。図のように、初期においてみかけ上直線部分が現れるので、この直線に√t法を適用して C_c を求めてしまいがちである。しかしながら、試料Aの場合は、ほとんど瞬時に一次圧密が終了しており、二次圧密部分に直線をあてはめているので、この結果 C_c を過小評価することになる。

図-7、図-8は、それぞれ試料A、試料Bの除荷時のリバウンド量～時間関係である。図-7をみると試料Aの場合は、除荷段階が進むにつれてリバウンド量が大きくなっている。また除荷直後の1分を除けば、リバウンド量と時間の対数はほぼ直線になる。試料Bの場合は、リバウンド量と除荷の段階との関係はみられず、またリバウンド量と時間の対数は直線関係にならない。これらの

違いの原因は、組成の違いによるとも考えられるが、実験数も少ないので断定することはできない。

図-9、10は、間隙比 e と圧密圧力 p の関係であり、図-7では p は普通目盛、図-8では対数目盛にとってある。図-7をみると、間隙と圧密圧力の関係はなめらかな曲線で表わされることがわかる。また図-8をみる

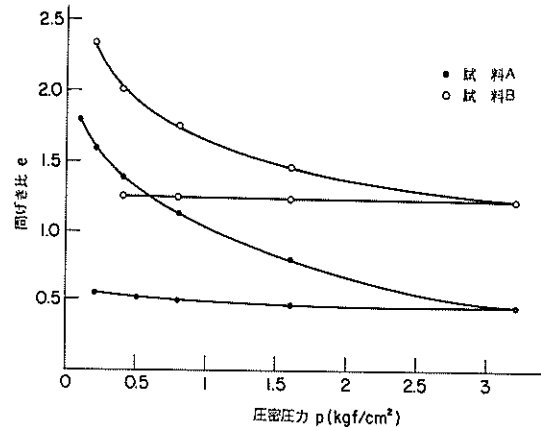


図-9 e と p の関係

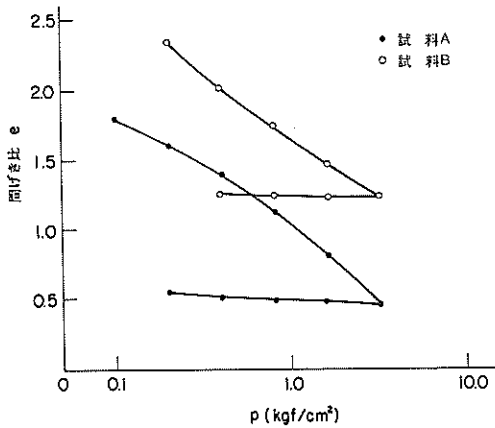


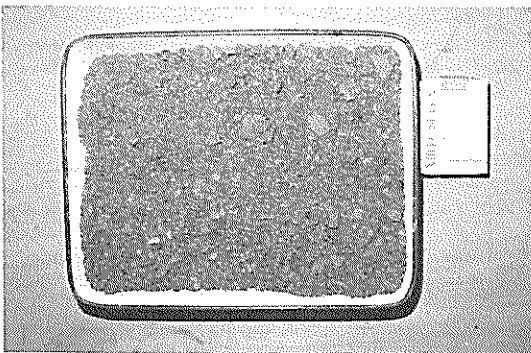
図-10 $e \sim \log p$ 曲線

と e と $\log p$ の関係は、通常の土質と同様にほぼ直線になっている。圧縮指数 $C_c (\Delta e / \log p)$ を図より求めると試料Aが1.05、試料Bは0.85であり、一般の沖積粘土の C_c と同程度である。したがって、これらの都市ごみ地盤では、粘土地盤なみの沈下が生じるといえる。また、図-9, 10では荷重を除荷したときの $e-p$ 関係をみると、除荷後のリバウンド量は沈下量に比べ非常に小さい。図-10より膨張指数 $C_r (\Delta e / \log p)$ を求めると試料A、試料Bそれぞれ0.08、0.07である。したがって、今回の試料のような地盤ではプレロードを加えた場合、沈下量に比べリバウンド量は小さいので、効果は大きいと考えられる。

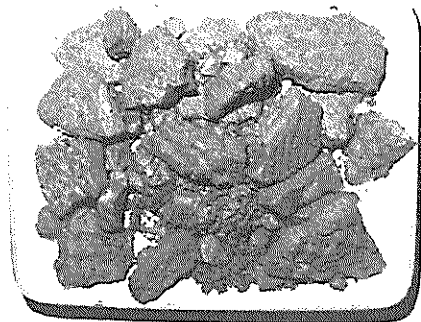
4. 産業廃棄物試料の圧密試験

4.1 試料および試験方法

試験した産業廃棄物試料は、岡山県錦海湾干拓地内の廃棄物処分場において採取した食品残渣（主としてでんぷん）と、染料残渣である（写真-6）。表-3には、おもな物理試験結果、図-11には、粒度分布を示してある。



食品残渣



染料残渣

写真-6 食品残渣と染料残渣

表-3 物理試験結果

	食品残渣	染料残渣
比重	2.016	2.467
初期含水比(%)	270.6	288.4
液性限界	測定不能	295
塑性限界	"	230
塑性指数	"	65

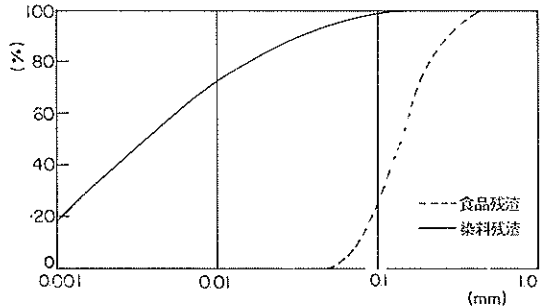


図-11 粒度分布

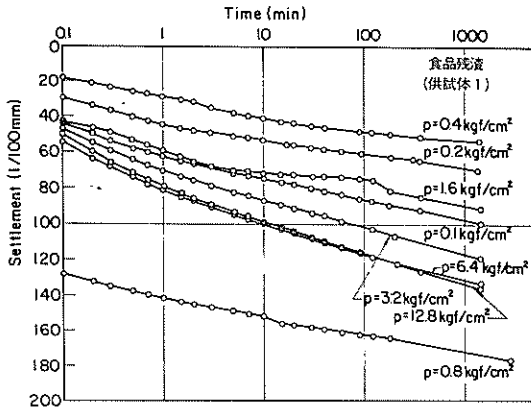
図のように、粒度としてはシルト、粘土分程度の大きさなので、標準圧密試験を行なって時間～沈下特性を検討した。おもな試験条件は次のとおりである。

- 供試体寸法 直径 60mm、高さ 20mm
- 載荷段階 0.1 kgf/cm²、0.2 kgf/cm²、0.4 kgf/cm²
0.8 kgf/cm²、1.6 kgf/cm²、3.2 kgf/cm²
6.4 kgf/cm²、12.8 kgf/cm²
- 載荷時間 各段階とも 1日

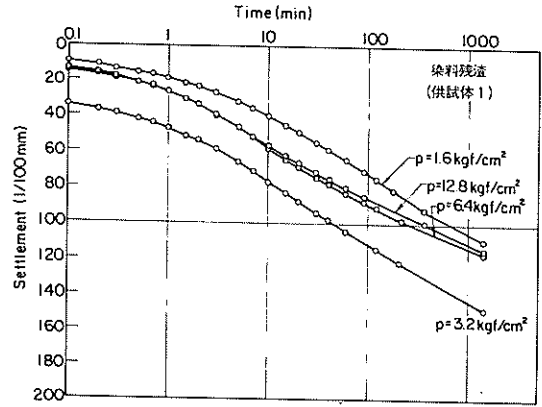
なお、試験は各試料 2 供試体ずつ行った。

4.2 試験結果

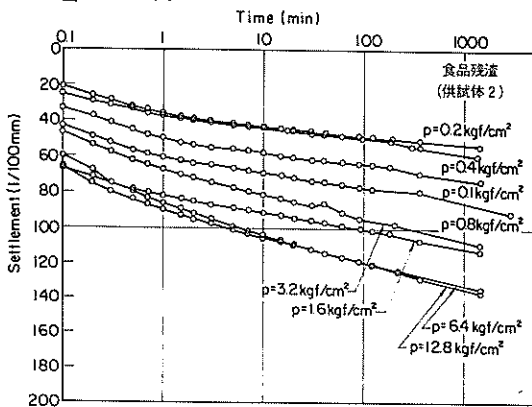
図-12, 13は、食品残渣の時間～沈下関係、図-14, 15は染料残渣の時間～沈下関係である。図をみると、食品残渣は、載荷の直後に大きな沈下が生じ、その後は時間の対数に直線的に沈下が生じている。また、染料残渣の時間～沈下関係は、図-5で示した横浜粘土の時間



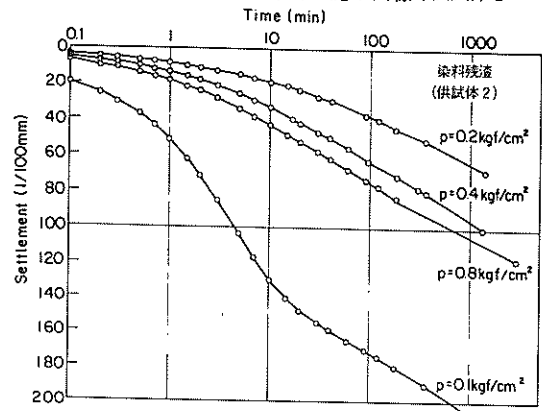
図一12 食品残渣の時間～沈下曲線(供試体 1)



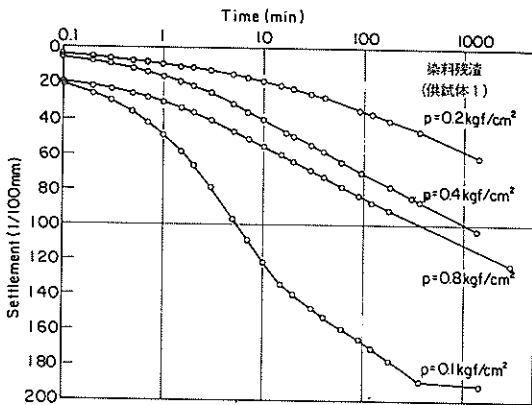
図一14 (b) 染料残渣の時間～沈下曲線(供試体 1)



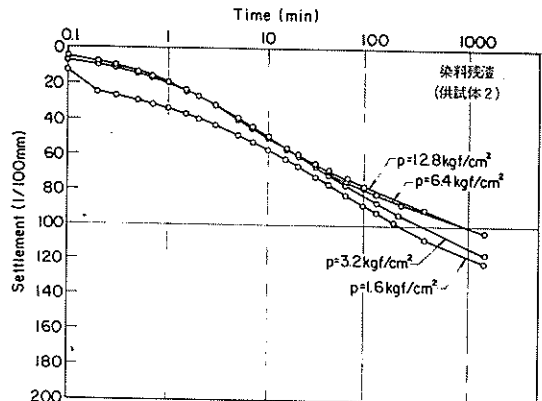
図一13 食品残渣の時間～沈下曲線(供試体 2)



図一15 (a) 染料残渣の時間～沈下曲線(供試体 2)



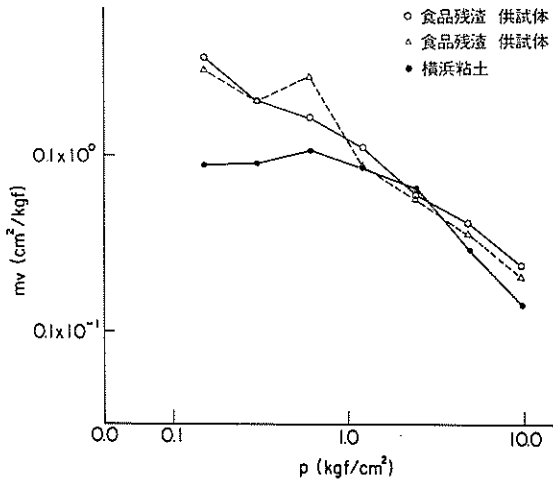
図一14 (a) 染料残渣の時間～沈下曲線(供試体 1)



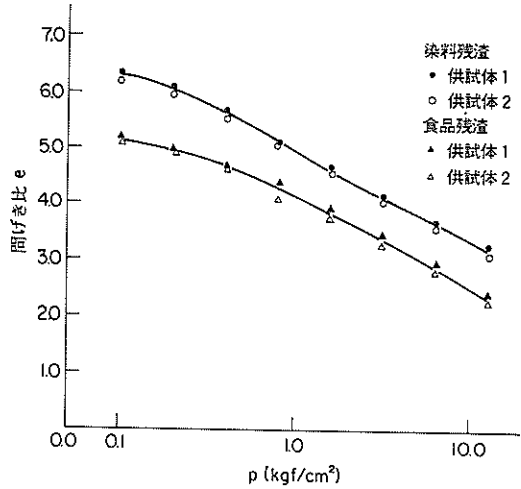
図一15 (b) 染料残渣の時間～沈下曲線(供試体 2)

～沈下関係と同様の傾向を示している。したがって食品残渣は、間隙水圧の消散による一次圧密がほぼ瞬時に終了し、以後は時間とともに二次圧密沈下が生じており、染料残渣の場合は、通常の粘性土と同様な一次圧密沈下が生じていると考えられる。図一12～15より沈下と時間の対数が直線になる部分において、二次圧縮指数 C_α を求めると、食品残渣が 0.04～0.05、染料残渣が

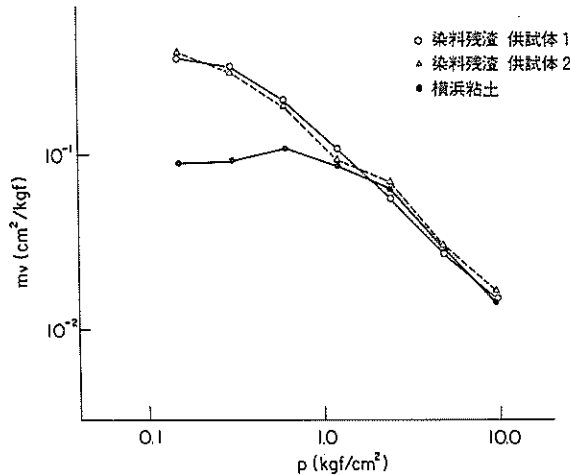
0.083～0.093となる。これらの試料は、通常の土質試料に比べ間隙比が大きいため、間隙比により正規化した二次圧縮係数 $C_\alpha/(1+e)$ を求めると食品残渣が 0.006～0.01、染料残渣は、0.012～0.016となる。Mesri⁽⁸⁾は、広範囲の土について二次圧縮係数を調べ分類しているが、Mesriのデータと比較すると食品残渣は普通、染料残渣はやや大きい値といえる。



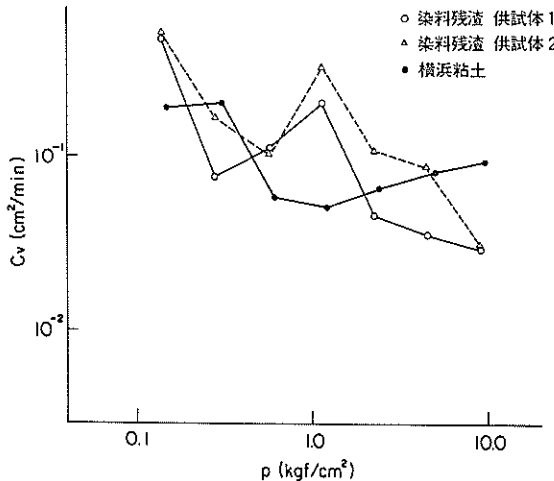
図一16 m_v と平均圧密圧力の関係(食品残渣)



図一19 $e \sim \log p$ 曲線



図一17 m_v と平均圧密圧力の関係(染料残渣)



図一18 C_v と平均圧密圧力の関係(染料残渣)

図一16, 17は、それぞれ食品残渣、染料残渣の体積圧縮係数を、平均圧密圧力 \bar{p} に対してプロットしたものである。比較のため、横浜港粘土の代表的な値もいっしょに示してある。図のように m_v に関しては、食料残渣、染料残渣とも横浜粘土とほぼ同程度の値になっている。図一18は染料残渣の圧密係数 C_v と平均圧密圧力の関係である。正規圧密粘土の場合、 C_v はほぼ一定になるとされているが、今回用いた染料残渣の場合は、圧密圧力による変化が大きかった。

図一19は、食品残渣、染料残渣の $e \sim \log p$ 曲線である。図より圧縮指数 C_c を求めると食品残渣が1.54, 1.84, 染料かすが1.67, 1.72となり、沖積粘土とほぼ同様の値を示している。

5. まとめ

都市ごみ埋立地盤から採取した都市ごみ試料と、廃棄物処分地より採取した産業廃棄物試料を用いて圧密試験を実施し、次のような結果を得た。

- 1) 都市ごみ試料は、載荷直後に大きな沈下が生じた後、ほぼ時間の対数に直線的な沈下が続く。
- 2) 今回用いた都市ごみ試料の圧縮指数は、沖積粘土と同程度の大きさであった。
- 3) 今回用いた食品残渣、染料残渣の体積圧縮指数と平均圧密圧力との関係は、ほぼ横浜粘土の場合と同様であった。
- 4) 染料残渣は、沖積粘土とほぼ同様な時間～沈下関係を示した。

本報告で用いた都市ごみ試料は運輸省第二港湾建設局から、産業廃棄物は錦海塩業株式会社から提供してい

ただいた。ここに深く感謝の意を表します。

(1982年11月30日受付)

参考文献

- 1) 石田省三; 建設廃材の処理現況—海上における処理の現況, 土木学会誌, Vol. 66, No. 1981 pp. 9~11
- 2) 前田慶之助; 廃棄物埋立処分の問題点, 土と基礎, Vol. 23, No. 8, 1975, pp. 5~10
- 3) 清水恵助, 佐藤良二, 嬉野通史; 東京港における生ごみ埋立て地盤について, 土と基礎, Vol. 23, No. 8, 1975, pp. 51~60
- 4) 川本文彦, 奥村元久, 鈴木雅宏, 西堀高弘, 福田光治; 廃棄物埋立て地盤の工学的性質について, 第12回土質工学研究発表会講演集, 1977, pp. 97~100
- 5) 川本文彦, 奥村元久, 村主周治, 鳴海直信, 野村敦雄; 都市廃棄物地盤の地盤改良(動圧密工法の適用), 第14回土質工学研究発表会講演集, 1979, pp. 1629~1632
- 6) 前田慶之助; 固形廃棄物と公害対策—その積極的利用と環境汚染防止, 理工図書
- 7) 植下協, 桑山忠; 廃棄物の性質とその埋立地盤, 土と基礎, Vol. 21, No. 6, 1973
- 8) 運輸省第二港湾建設局; 廃棄物埋立護岸・透水試験調査報告書, 昭和55年3月
- 9) G. Mesri; Coefficient of Secondary Compression, Proc. A.S.C.E., Vol. 99, No. SM1. 1973, pp. 123~137

港湾技研資料 No.415

1982・3

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横浜貨市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.