

現在の廃棄物埋立地盤の性状

前 田 慶 之 助*
齊 藤 征 剛**

ま え が き

最近、産業廃棄物の処理、処分に関する問題は、公害の解決というテーマを背景に世界的にクローズアップされてきた。

これらの一分野として、固形廃棄物の埋立処分と土地利用の問題は固形産業廃棄物のばく大な排出量とわが国の国土事情を考えると、きわめて重要な意味をもつと思われる。

廃棄物地盤の土地利用を考える場合は

- ① 廃棄物地盤の工学的性質の把握
- ② 公害の発生防止対策

の二面から検討を加えねばならない。さいわい、最近においては、東京湾夢の島や神奈川県のある団地敷地例等、いわゆる都市ごみ埋立地の利用計画が立案され、諸種の調査を行なっているため、本文ではそれらのデータを解析、考察することにより、産業廃棄物を含めて将来の埋立土地利用計画の基礎資料としようとするものである。

1. 実際の廃棄物地盤の分類

現在までに調査が行なわれている廃棄物地盤は、清掃法によって市町村が処理責任をもつ、いわゆるごみ地盤であり、きわめて雑多な混合地盤となっている。これらの多種多様なごみを、細かく分別して埋立処分することは、実際上とうてい不可能であるけれども、ある程度での分類は行ないうる。廃棄物を実例によって分類すると次のようになる。

- ① あらゆる種類のごみによって埋立てられている例(夢の島)
- ② 厨芥類等、腐食しやすい有機物を除いたごみによ

* 正会員 工博 東海大学教授、三井共同建設 コンサルタント(株) 取締役

** 正会員 三井共同建設コンサルタント(株)

って埋立てられた例(神奈川県のある団地敷地)

③ コンクリート片、れんが片等の堅い物を除いたごみによって埋立てられた例(ジョージア州ピーモンド市の埋立地)

以下におのおのの廃棄物地盤について調査結果を考察しよう。

2. 東京湾夢の島(14号埋立地)

当地区には、紙類、樹脂、厨芥類、ゴム、皮革、草葉、木竹、金属、ガラス、土砂、石、プラスチック、粗大ごみ等、きわめて多様な都市ごみが雑然と埋立てられ、その天端は T.P.+11 m にも達している。当地は埋立開始後すでに 10 年以上経過しており、年代によるごみ質の差や腐食の進行度合により上部と下部では地盤状況にかなりの変化がみられる。

当地は、従来、ごみの腐食進行に伴って発生するメタンガスにより火災事故を起こしたが、現在、鉄製のガス抜きパイプをとこところに押込み、ガスを発散させることにより事故を防ぎ、臭気に対しては防臭剤を使用している。現在廃棄物の埋立投棄を行なっている 15 号地では、5 m のごみ層と 30 cm の土砂層を交互に埋立てるサンドウィッチ工法を採用し、さらに定期的に消毒剤、防臭剤を散布して公害に対する効果をあげている。また、護岸の止水効果については、単矢板では不完全であるので、15 号では幅 10 m の二重矢板を打ち、良質土砂の中詰めを行なって汚水の浸出を防止した。

ごみの成分は、排出場所、時期により、かなりの差異がみられるが、平均的には水分 50%、可燃分 30%、灰分 20% の割合となっており、焼却すれば 1/5 の重量となり、運搬および処分が、きわめて有利となる。

ごみ採取試料のうち、土粒子状をなす部分について測定した含水比は 30~70%、比重は 1.7~2.6 で、粒度は粘土あるいはロームの細粒土に分類される。

ごみ地盤は腐食が進行して化学変化が活発であり、地

中温度が相当高いことが予想される。杭などの基礎構造物への影響調査も含めて行なった地中温度測定結果は、図-1 に示すとおりであり、深さとともに直線的に増加し、地表面下 10 m で最大温度 40°C となっている。この程度の温度であれば、構造物に対する影響を考慮する必要はなからう。

ごみ地盤の力学的性質を調査するための標準貫入試験結果をまとめて示すと 図-2 のとおりで、 N 値は 2~15 の値が多く、また N 値が土かぶり圧とごみ質の二つの要素の影響を受けることがわかる。

当地で行なった平板載荷試験 (30×30 cm) 結果を 図-3 に示し、得られた K 値と CBR 値をまとめて表-1 に示す。試験はごみの上に 1.5 m の砂礫覆土があ

図-1 地中温度測定結果
(気温 20°C)

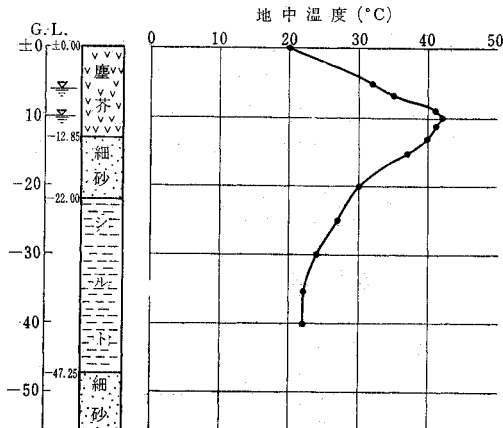


図-2 じんかい層の標準貫入試験結果
(夢の島)

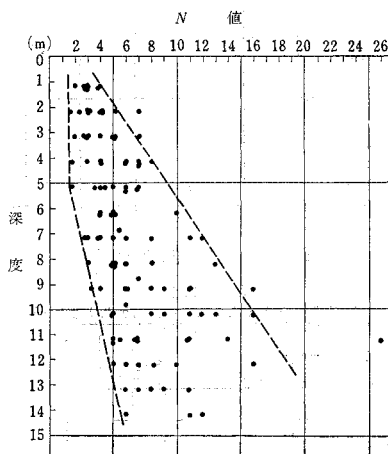


表-1 平板載荷試験結果

ケース	K_{30} (kg/cm ²)	K_{75} (kg/cm ²)	換算 CBR
覆土上に載荷した場合	19.5	8.9	30
み層に載荷した場合	0.7	0.32	0.9

図-3 夢の島における平板載荷試験例
(kg/cm²)

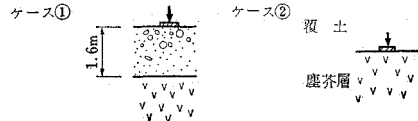
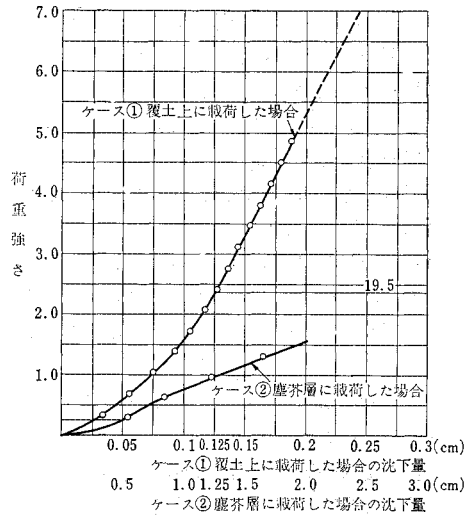


図-4 鉛直載荷試験杭軸力分布図

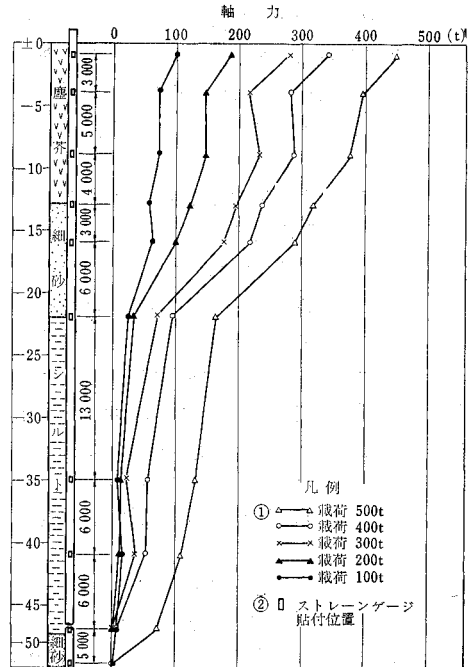


表-2 杭周面との摩擦強度

(φ 600 mm・単位 t/m²)

土質	500	400	300	200	100
ごみ層	5.74	3.57	3.65	2.87	1.91
砂層	8.82	8.12	7.31	5.10	1.74
シルト層	1.92	1.80	1.45	0.71	0.50

る場合と、ごみ層に直接載荷した場合の2ケースについて行なった。この結果、ごみの上に1.5m厚の覆土をした場合、CBR値は30で下部のごみ層の応力状態を考へても道路建設は十分可能であり、現在すでにアスファルト舗装道路が開通している。一方、ごみ層に直接載荷した場合のCBRは1以下で、そのまま利用することは、とうてい不可能である。

次に鋼管杭の鉛直載荷試験結果として軸力分布状態を図-4に示す。図からわかるように支持層まで伝達する力は小さく、ほとんど摩擦力で受けもたれるが、そのときの各層の平均摩擦強度を示すと表-2のようになる。この結果、ごみ層の杭周面との摩擦強度は大きく、相当の摩擦抵抗が期待できることが判明した。また、水平載荷試験より求めた横方向地盤反力係数は $k=0.5 \text{ kg/cm}^3$ で軟弱粘土や、ゆるい砂に相当する。

ごみ地盤の変形係数 E 値は $5\sim 30 \text{ kg/cm}^2$ で、砂や粘土に比較して変形しやすいことを示している。また、ごみ層の沈下測定記録はないが、いろいろな観察を総合すると、次の要因が考えられる。

① 人工的に埋立てられるので安定するまでかなりの沈下が予想される。一例では、最初の1~2年間に10m厚のごみ層が、約2m沈下した。

② ごみの腐食分解により体積が減少して沈下を起こす。この沈下は長期にわたって徐々に起こるのであろう。

③ 粗大ごみの間げきに落込み急激な沈下が起こる。

④ 盛土等の載荷重により圧縮沈下が短期間に起こる。

⑤ 腐食分解して土粒子状になったのちの圧密沈下があるが、これは長期間経過後に起こる。

当地のような有機性土盤においては、特に鋼材に対する腐食性は重要な問題である。この調査のために行なったコロージョンサウンド試験結果では、腐食率が0.07~0.13mm/年にも達し、鋼材に対する腐食の影響が大きく鋼材の使用は不適當である。なお、コンクリートに対しては硫酸塩の含有量等、今後の調査が必要である。

3. 神奈川県のある廃棄物地盤の団地敷地例

当地区は廃棄物を谷間に投棄埋立てした内陸埋立てであり、雨水はごみをとっておて谷底部に集水するが、現在ここに排水路があり、汚水に関する問題は起こっていない。

当地区に埋立てられている廃棄物は厨芥類等の腐りやすい有機物は除かれているが、わらくず、木片等、繊維質の有機物、石炭がら、れんが片、ビニール、コンクリート片、鉄くず、ゴム、土砂、布きれ、焼物くず、その他雑ごみ等、種々雑多である。腐食しやすい有機物が少ないことと湿気が少ないことのため、夢の島に比べれば

メタンガスの発生は少なく、臭気も少ない。このようなごみ地盤上に2mの覆土をして団地造成が計画され、標準貫入試験および平板載荷試験が行なわれた。

当地のごみ層の標準貫入試験結果をまとめて示すと、図-5のようになる。 N 値は1~50の広範囲に分布するが、そのうち3~9の値が多い、深さ方向にやや減少する傾向があり、これは、 N 値が土かぶり圧の影響以上に、ごみ質の差の影響を受けているからであろう。

ごみ層の基礎地盤としての支持力を知る目的で行なった平板載荷試験結果の一例を図-6に示す。試験は、ごみ層に直接載荷して行なった。この結果、初期には弾性挙動を示しているが、 $P=2.5 \text{ t/m}^2$ をこえると曲線の勾配が変わり、 $P=6.5 \text{ t/m}^2$ で破壊に至った。ごみ地盤の強度をいかなる土質常数で表わすかは、むずかしい問題であるが、参考に載荷試験結果から $c=0$ 、 $r=1.0\sim 1.5 \text{ t/m}^3$ として内部摩擦角 ϕ を求めると、 $\phi=32\sim 37^\circ$ になる。これは砂地盤についてマイヤホフが提案した $N\sim\phi$ 関係で、 $N=4\sim 10$ に対応する $\phi=30^\circ\sim 35^\circ$ と比較的よく一致しているが、破壊に至るまでの変形量はごみ層の方が大きい。ごみ地盤では、載荷~間げき比減少の反応

図-5 神奈川県のある団地敷地におけるごみ層の標準貫入試験結果

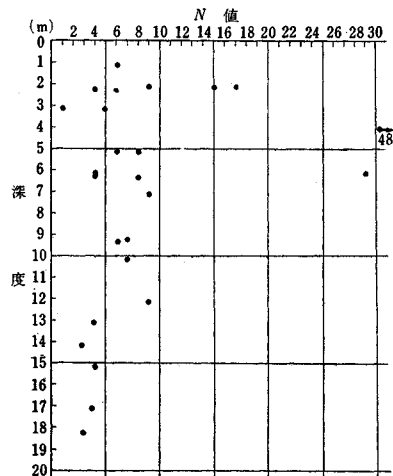
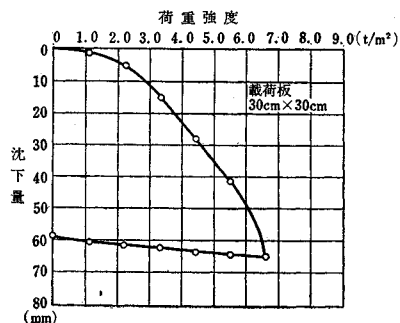


図-6 平板載荷試験結果



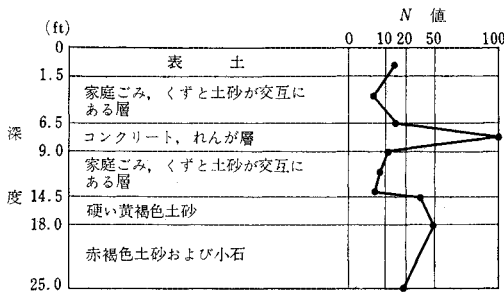
速度が大きく、試験中に間げき比の減少が起こり、破壊時には初期におけるよりも相当良好な地盤状態になっていると思われる。したがって、この過程においては大きな沈下が生じ、盛土等の際には、いわゆる初期沈下として表われるであろう。ここで覆土の役割として衛生面、応力分散効果のほかに、ごみ層に対するプレロード的な効果をあげることができる。

参考に平板載荷試験結果より CBR 値を換算すると、 0.95 で $\phi=32\sim 37^\circ$ であることを考えれば、非常に小さい。これは、CBR が 0.125 cm という小さな変位量に対する荷重強度を基本にしているからであり、 ϕ 値は変位に関係なく、極限の強度特性を表わしているからである。

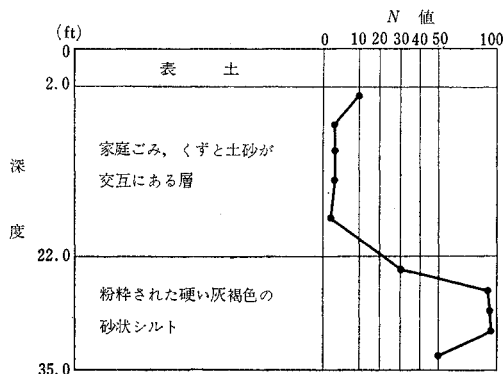
4. ジョージア州の二つの埋立地

ジョージア州のセントラルジョージア市およびピーモンド市の廃棄物埋立地の地盤性状と標準貫入試験結果を図一7, 8 に示す。前者は家庭ごみ、くず、土砂類とコンクリート、れんが類を無計画に捨て込んだため、 N 値が 100 にも達する層が狭在し、杭を使用する場合に、ごみ層を打ち抜いて下部の支持層まで到達させるのが困難となった例である。後者はその点を考慮してコンクリー

図一7 ジョージア州セントラルジョージア市埋立地の地盤性状と標準貫入試験結果



図一8 ジョージア州ピーモンド市埋立地の地盤性状と標準貫入試験結果



ト、れんが類は分別して他の場所で処分し、ごみと土砂を交互に埋立てて衛生面を考慮し、同時に将来の土地利用計画に備えた例である。この場合、ごみ層の N 値は 10 以下で杭打抜きが容易であり、基礎工事が簡単となる。

N 値は $3\sim 10$ の範囲にあるので夢の島と同様、 2 m 程度の覆土により道路建設は十分可能であるが、構造物の基礎として杭構造を考える場合には、コンクリート類は別の場所で処分するとともに、衛生上、サンドウィッチ工法をとるべきである。

5. 腐植土層の沈下特性

廃棄物地盤の性状は、いままでの考察によりある程度把握できたが、廃棄物地盤に比較的にしていると思われる千葉県のある腐植土地盤で行なった大型載荷試験結果を参考の意味で、おもに沈下特性について考察しよう。

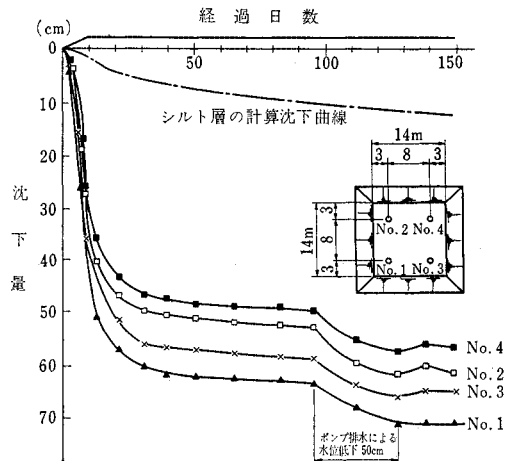
試験地点の土質状況は表土の下に $3\sim 4$ m の腐植土層があり、以下、軟弱なローム層が深さ $17\sim 18$ m まで続き、その下に支持層が表われる。腐植土層は未分解の毛根を多量に含み、その物理的性質は表一3 に示すとおりである。このような地盤上の団地造成計画に基づいて、盛土による載荷試験を行なった結果を図一9 に示す。同図には、測定沈下曲線と同時に下部シルト層の計算沈下曲線が描いてあり、2本の曲線の差が腐植土層の沈下挙動を示すことになる。2本の曲線は、盛土開始後 20 日間でほぼ平行になっており

表一3 腐植土層の物理性質

有機物含有量	55~67%
自然含水比	500~600%
間げき比	9.50~11.70
比重	1.72~1.90
単位重量	1.1 t/m ³

盛土に対する腐植土層の沈下は完了している。この結果より、腐植土の体積圧縮係数は $m_v=0.4\sim 0.5$ cm²/kg と非常に大きな値とな

図一9 載荷試験の実測沈下曲線



る。また、当地区はかんがい期の排水により、50 cm の水位低下が起こったとき 6~7 cm の急激な沈下が生じ、水位が回復すると 1~2 cm のふくれ上がり現象が生じた。腐植土層では材料の弾性抵抗にて荷重を受けとめ、除荷すると変位が復元してふくれ上がりを起こす。なお、室内試験によれば、2 t/m² の荷重の場合ふくれ上がりが起こったが、4 t/m² 以上の荷重では、それが起こらなかった。これは、大きな荷重ほど、より安定な配列になること、材料の弾性抵抗力をこえて圧縮した結果であると思われる。

以上に述べた腐植土層の沈下特性が必ずしも廃棄物地盤に適用されるとは限らないが、いわゆるごみ地盤では、かなり似た現象が起こることが想像される。

6. 廃棄物地盤性状についてのまとめ

前節までに検討を行ってきた廃棄物埋立地盤の特性を総括すると、次のとおりである。

(1) 物理特性

- ① ごみ性分は、平均的に水分 50%、可燃分 30%、灰分 20% 程度の割合となっている。
- ② ごみ層のうち、地下水位上の土粒子状をなす部分の含水比は 30~70%、比重は 1.7~2.6 の範囲にあり、粒度組成は粘土、ローム等の細粒土に分類される。
- ③ ごみ層内の温度は深さとともに増加し、深さ 10 m 以深では気温より約 20°C 上昇している。

(2) 強度特性

- ① 現在あるごみ地盤の N 値は、コンクリート、れんが片を除けば、ほとんど 1~10 の範囲にあり、その大きさは、ごみ質と土かぶり圧の影響を受ける。
- ② ごみ地盤の CBR は 1 以下できわめて小さいが、

極限強度で考えると $\phi=32\sim37^\circ$ で砂地盤に相当する。これは、載荷~圧縮の反応速度が大きく、強度増加速度が大きいためである。

- ③ ごみ層上に 1.5~2.0 m 厚の覆土をすることにより、CBR は 30 にも増加し利用が可能になる。

(3) 沈下特性

- ① ごみ地盤の体積圧縮率、透水係数がともに大きいので、載荷に対して大きな沈下が急激に発生する。また、除荷によって、ふくれ上がり現象がみられる。
- ② 沈下の要因として、次のことが考えられる。
 - 1) ごみが安定状態に落ち着くまでのなじみ沈下
 - 2) 腐食分解作用による体積減少
 - 3) 粗大ごみの大きな間げきへの落込み
 - 4) 載荷重による圧縮
 - 5) 腐食分解後の圧縮

(4) その他

- ① 鋼材に対する腐食性が大きい。
- ② 腐食活動によりメタンガスその他が発生しているため、火災、悪臭に対して配慮が必要である。

あ と が き

本文では廃棄物地盤の性状を工学的に解明したが、土地利用計画を考える場合には、廃棄物発生量と発生場所の把握、収集運搬、中間処理、コストの問題等、系統づけて調査・研究を行なう必要がある。それゆえ、廃棄物問題に対する広域的な組織体系と地盤としての利用に対する積極的な姿勢の確立が必要となろう。

本文が廃棄物問題の一助となればさいわいである。

(1970. 5. 22・受付)

土木製図基準改訂委員会編

土木製図基準 1970 年版 A 4・152 ページ 1 400 円 会員特価 1 200 円(〒 130)

土木学会編

土木工事の積算 B 5・222 ページ 1 800 円 会員特価 1 600 円(〒 100)

土木振動学便覧編集小委員会編

土木技術者のための振動便覧 A 5・436 ページ 2 400 円 会員特価 2 000 円(〒 110)

測定法編集小委員会編

建設技術者のための測定法 A 5・422 ページ 2 000 円 会員特価 1 800 円(〒 110)

岩盤力学編集小委員会編

土木技術者のための岩盤力学 B 5・490 ページ 3 600 円 会員特価 3 000 円(〒 130)