

悪臭発生源となる膨大なゴミ山の土質工学的処理方法について

齋藤 二郎
西林 清茂

On the Disposal by Soil Mechanics of Large Amounts of Trash Emitting Bad Odors

Jiro Saito
Kiyoshige Nishibayashi

Abstract

Recently, various public nuisances have become big social problems and the disposal of trash is also one of them. In the work to remove a hill of trash at the Hazawa Station construction site, a large amount of trash that had been thrown away and become accumulated was to be gathered and redispersed of at another place. The problem was slightly different from public nuisances accompanying ordinary trash disposal. There was concern over the emission of bad odors and contamination of public roads when the trash was dug up and transported. It was considered the best way in removing the large amount of trash was to forcibly dehydrate the pore water contained in the trash. The method of dehydration was that of application of consolidation by surcharging of a load of soil and mixing of embankment soil during excavation, and the purpose was achieved without any problems.

概 要

最近、各種の公害が大きな社会問題となっているが、大都市におけるゴミ処理もその一つにあげられる。国鉄羽沢駅建設工事におけるゴミ山除去作業は、既に未処理のまま集積廃棄されている大量のゴミを他の場所に再処分するものであって、一般のゴミ廃棄処分に伴う公害問題とは若干異なっているが、ゴミを掘削運搬する際の悪臭発散、公道汚染などの問題が懸念された。そこで、このような問題を発生させることなく、膨大な量のゴミ山除去作業を行なう方法としては、ゴミ内に含まれている間隙水を強制脱水することが最良と判断し、その脱水方法として、盛土載荷圧密および掘削時の盛土材混合を適用した結果、全く問題なく、所期の目的を達成した。

1. まえがき

我が国では、とくに大都市において膨大な量のゴミが発生する。これらのゴミは一般家庭から廃出されるものが主で、無機質、プラスチック製品、野菜クズ、肉、魚などの有機質の他あらゆる種類のゴミを含んでいる。

これらのゴミ処理については、焼却場の絶対数不足および増大する一方の膨大なゴミ量のために、大部分の量のゴミを未処理のまま都市周辺の谷間や海岸埋立地に投棄しているのが現状で、有機物の腐敗に伴う悪臭発生、あるいは衛生問題上、一種の公害問題に発展している。ゴミ捨場における対策としては、良質土をゴミ上にまき出して押えこんでいるだけの応急処理程度であり、根本的な処理は何ら実施されていない。

当報文のゴミ山処理は廃棄時の問題とは異なるが、



写真一

同様の公害発生問題を内在しているものである。

谷間に投棄処分された5万m³に及ぶ膨大な未処理の

ゴミ山を国鉄の貨物操作場建設のために、掘削除去する必要が生じ、掘削除去する際に附近住民に与える悪臭問題、運搬時の公道汚染問題が懸念された。このゴミ山は上述したように未処理のまま投棄されたものであり、長時間にわたっての有機物腐敗の進行のために投棄時よりも一段と強い悪臭と汚染水を含んでおり、仮掘削を行なった結果では、何らかの対策をたてる必要があると判断した。

そこで、筆者らは、現地のゴミ堆積状況、ゴミの種類、悪臭の程度、間隙水の含有状態などを調査検討した結果、このような膨大なゴミ山を上記の問題を発生させることなく処理する方法としては、悪臭発生の大きな媒体であるゴミ内の間隙水を脱水することが最良と判断した。ゴミ内の間隙水を脱水除去すれば、間隙水の中に含まれている悪臭発生源も除去でき、運搬時の落水とゴミの落下による公道汚染も防止可能である。

以下、ゴミ内の間隙水脱水方法、現場試験、および活性炭、生石灰などによる悪臭の化学的除去効果について述べる。

2. ゴミ内間隙水脱水方法の基本的考え方

ゴミ内間隙水脱水の基本的考え方は軟弱地盤改良で用いる載荷圧密脱水工法の原理にもとづくものである。具体的方法は谷間を形成する山の部分を掘削して良質土をゴミ上にまき出して載荷し、ゴミを強制的に圧縮して間隙水を脱水させる方法である。大量に堆積されたゴミの内部には雨水、地下水などによる、いわゆる間隙水が存在し、予想以上の含水状態になっている。したがって、ゴミ上に載荷重を与えれば、当初は圧縮

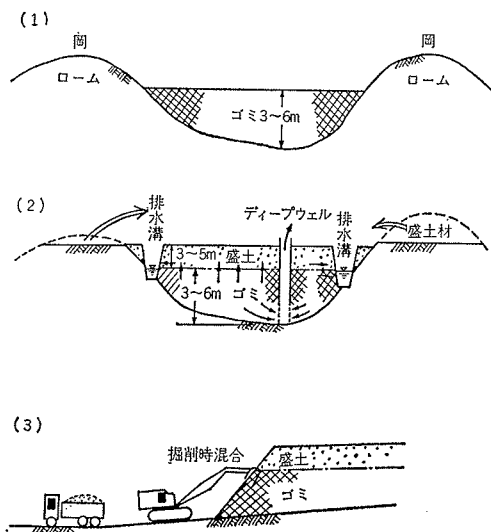


図-1 ゴミ処理概略図

するだけで間隙水は脱水されないが、圧縮が進行して、ゴミの間隙が間隙水で満たされ、飽和状態にいたれば、その後は圧密の現象と同一原理で間隙水がゴミ外に排出される。さらに、ゴミ掘削時には載荷重として利用した良質山土をゴミと混合させ、混合土として運搬できるとともに、新たな捨場では再び同様の問題を発生させることなく処理できる。

3. ゴミの土質工学的特性

2.の基本的方法によってゴミ処理を行なう場合、載荷重の大きさ、載荷期間を定めるにあたって、ゴミの土質工学的特性を知る必要があった。

3.1. ゴミの物理特性

ゴミの土質工学的物理特性を示すが、あらゆる種類のゴミであるため、単位体積重量、含水比の測定は気乾状態のゴミ (W_d) を一定容積 (V) の容器に入れ、完全飽和するのに必要な水の重量 (W_w) を測定することによって求めた。

試験項目	載荷重条件	試験値
単位体積重量 γ_t	0	0.92 g/cm ³
	0.2 kg/cm ²	0.71 g/cm ³
含水比 ω	0	155 %
	0.2 kg/cm ²	55 %
透水係数 K	0	1.4×10^{-2} cm/sec

表-1 ゴミの土質工学的物理特性

表-1によると、乱したときのゴミの含水比は $W = 155\%$ であり、単位体積重量は $\gamma_t = 0.92 \text{ g/cm}^3$ である。単位体積重量が1以下であるのは、比重1以下の物質のゴミが多いため、 $P = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ の荷重時の値は $\gamma_t = 0.71 \text{ g/cm}^3$ と一層小さい値となる。

3.2. 荷重と含水比、圧縮沈下量の関係

ゴミを直径 $\phi 24.8 \text{ cm}$ 、高さ 30 cm の特殊圧密試験装置に入れ、加水して完全飽和になった状態で、荷重を変化させながら、各荷重 P に対応する含水比 ω を測定

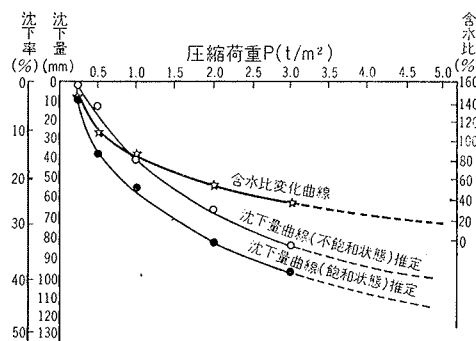


図-2 ゴミの荷重と含水比、圧縮沈下量の関係

し、荷重-含水比の関係を求めたものが図-2である。この図から明らかなように荷重の増加につれて含水比は低減し、 $D=3\sim 4t/m^2$ では、当初の含水比 $\omega=155\%$ から、 $\omega=40\sim 30\%$ へと大幅な低下を示す。又、同一図中には荷重と圧縮沈下量の関係も併示したが、ゴミの圧縮性は非常に大きく、完全飽和状態では、荷重 $P=3\sim 4t/m^2$ に対して圧縮沈下率 $40\sim 43\%$ を示した。なお、圧密試験と同様の考え方に立って、各荷重における圧密係数、体積圧縮係数を求めた結果を図-3に示す。載荷期間に関係する圧密係数は $C_v=50cm^2/min$ と考えることができる。

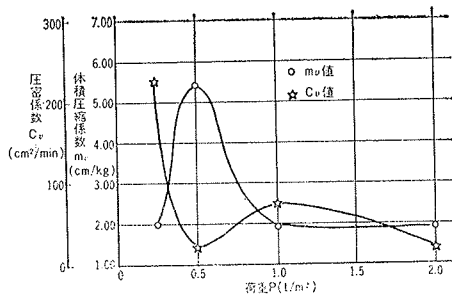


図-3 ゴミの圧密係数、体積圧縮係数(仮称)

4. 現場試験

図-4に試験地区を示すように約 $15,000m^2$ のゴミ堆積地区の中央に面積 $625m^2$ を設けた。なお、試験地区の山側を除く3辺には開渠排水溝を設け周囲の影響を取除くことと、載荷圧縮に伴って脱水される間隙水の排水設備とした。

4.1. 試験方法と調査方法

試験地区内のゴミ層厚は約3mであり、明確な地下水位は表面より-2mでの位置であった。改良前のゴミの単位体積重量、含水比はラジオアイソトープで測定した結果、深さ方向の変化はあるが、平均して、

$$\text{単位体積重量 } \gamma_t \approx 0.8t/m^3$$

$$\text{含水比 } \omega \approx 160\%$$

であり、ほとんど圧縮されていない自然状態にある。そこで、上載する載荷重は単位体積重量 $\gamma_t=1.41t/m^3$ のロームを3mの高さとし、約 $4.2t/m^2$ とした。載荷放置期間は圧密係数が $C_v=50cm^2/min$ と非常に大きいので、盛土終了と同時に圧密終了となるが、盛土終了後1週間とした。又、その後試験的に50cm高さの追加盛土を行ない、本工事における最適盛土高さの決定資料とした。

調査試験項目は沈下量と含水比測定の2項目である。設置位置を図-4に示す。

4.1.1. 含水比測定方法 3.でも述べたように、ゴミの構成物質の性質上、乱さない試料を採取して土質



図-4 ゴミ載荷圧密脱水現場試験位置

工学会に規定されている方法で含水比を測定することは困難である。したがって、現位置でしかも比較的簡単に測定可能なラジオ・アイソトープ水分計を使用した。しかしこの方法によるゴミの測定実績がなかったため、前もってゴミに対する較正実験を行なっていた。測定は、盛土開始前に初期値を求め、盛土施工中、載荷放置期間、完了時の合計7回にわたって実施した。測定結果から考えてゴミのように特殊な物質の含水比測定にはラジオ・アイソトープ水分計が最適と思われる。

4.1.2. 沈下量測定

方法 載荷盛土荷重によってゴミは大きく沈下する。このゴミの沈下状況を測定するために沈下板を9カ所設置した。

沈下板は $40 \times 40cm$ 、

厚さ10mmの鉄板に $\phi 19mm$ 鉄筋を溶

接したもので、ゴミ表面に設置した後、鉄筋ロッドと周辺盛土の摩擦による影響を除くために $\phi 25mm$ のガス管をケーシングとした構造のものである。測定は盛土施工中、載荷放置全期間にわたって1日1回とした。

4.2. 試験結果、および考察

載荷盛に伴う含水比変化、沈下量変化とも室内実験にもとづいて設計した計算値とほぼ一致した結果を

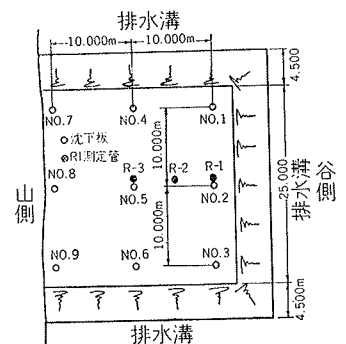


図-5 ラジオ・アイソトープ水分計および沈下板設置位置

得た。

4.2.1. 含水比変化 ラジオ・アイソトープによる含水比測定結果を図-6, -7に示す。図-6は試験地区中央部に設けた No. 3 測点の含水比変化状況であるが、排水溝掘削前 $\omega=150\%$ 以上であったものが、造成後は $\omega=130\%$ 程度に低下しており、排水溝設置だけでもかなりの含水比低減効果のあることが認められた。つぎに载荷盛土が進行すれば、含水比は確実に低下し、3mの载荷盛土終了時点では、 $\omega=40\sim 50\%$ に大きく低減した。なお、この時点では、処理前に見られたゴミ層の上下で小中央部で大の含水比分布状態が、全層にわたって均一に低下している。

又、図-7は試験地区各位置の地表面から深さ1.5mのゴミ層中央部の含水比変化状態を示したものであるが、試験地区中央位置(R-3地点)の含水比が大で、試験地区周辺に近づくほど含水比小の分布となった。しかし、その差は20%程度であった。

一週間後、試験的に追加した0.5mの盛土荷重の効果はほとんど認められず、室内実験で得られた試験結果が十分適用できることの証明となるとともに、本工事は盛土高さ3mで十分であるとの結論を得た。

室内実験の結果では、圧密荷重 $P=4.2t/m^2$ (盛土高さ3m) に対して含水比は $\omega=30\%$ 程度へと低下しているのに比し、実際には10~20%程度大きく、 $\omega=40\sim 50\%$ にとどまった。その原因としては室内試験用試料と実際との違いにあると思われる、とくにゴミ用ビニール袋内に滞水し、脱水不可能な汚染水の影響が考えられる。

4.2.2. 沈下量変化

载荷盛土に伴うゴミの沈下量の測定結果を図-8に示す。全体的に見ると、軟弱地盤における载荷圧密沈下と同様の傾向を示して試験地区中央部の沈下が大で、周辺の沈下が小である。

沈下の進行状況は非常に速く、载荷盛土が終了すれば沈下も終了している。

なお、高さ0.50mの追加盛土による沈下はほとんど

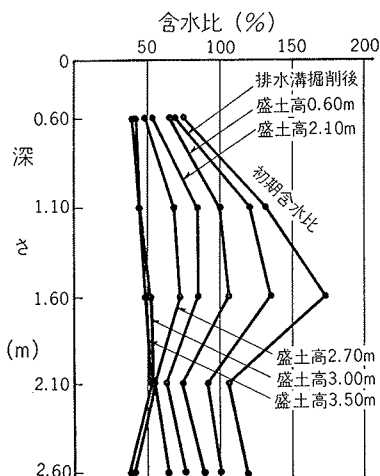


図-6 ゴミ含水比の経時変化

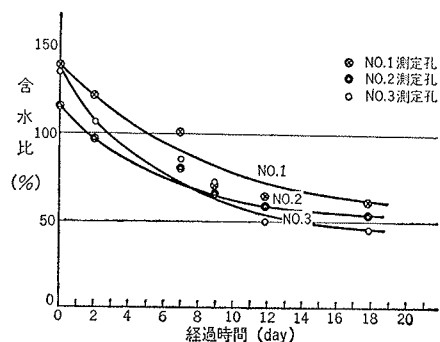


図-7 深さ1.5m位置のゴミ含水比経時変化

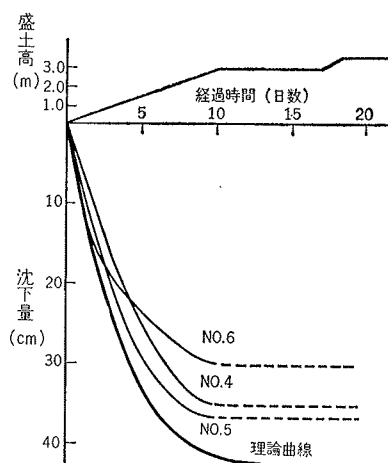


図-8 ゴミ沈下量の経時変化

見られず、含水比変化と同様、3m以上の盛土高さの効果のないことが明らかである。

沈下量の大きさは試験地区中央部で40cm近い値を示し、理論計算値とほぼ等しい値となったが、他の測定位置では30cm内外で若干小さ目の値である。

その原因としては

- (i) ゴミ層内に介在するゴミ運搬用良質土層の存在 (層厚 30~50cm)
- (ii) 室内試験と実際との差……理論沈下曲線は完全飽和状態であるのに対して、実際沈下量は飽和状態と不飽和状態が混在している。

などによるものと考えられる。

しかし、含水比の低下は十分であることから、上記の現場試験にしたがって本工事の盛土高さは3mに決定することができた。

5. 活性炭および生石灰混合によるゴミの脱臭, 脱水

悪臭発生の要因となるゴミ内の汚染間隙水は、上述した载荷盛土による圧密脱水によって、当初、150~160%であった含水比が40~50%に低下することが判明した。しかし、この程度まで含水比を低下させて

も臭気を害を及ぼさない程度まで取除くことはできなかった。

そこで、より以上の脱臭を行なうためにゴミに他材料を混合する方法を検討した。混合材料としては盛土に使用したロームの他に、脱臭効果には定評のある活性炭、生石灰を試験材料とした。

5.1. 試験方法

まず、含水比 $w=30\sim40\%$ に低下したゴミと載荷盛土に使用したロームを 1 : 1 の割合に混合して基準試料とし、活性炭として木炭を、および生石灰を表一2の割合で混合した。なお、ロームとの混合割合も 1 : 2, 1 : 3 のものも作成した。

これらの混合試料の臭気程度の判定には、当時、臭気測定器が無いために、最も単純な方法であるが、人間の嗅覚によった。しかし、人の嗅覚では不確実であるために数人によって各混合試料の臭気程度に比較ランクをつけ、総合判定することとした。

5.2. 試験結果

試験結果を以下に述べる。

(i) ゴミと良質土(ローム)のみの混合試料の場合……載荷圧密脱水されたゴミは無処理のときに比較すると臭気の程度がはるかに減少しているが、不快臭は残る。この脱水されたゴミに良質土を混合すれば、一層効果は大で、ゴミ : 良質土 1 : 1 の割合で不快臭が無くなる。良質土混合割合を増加させれば、さらに効果がある。

(ii) 活性炭(木炭)混合の場合……ゴミ : 良質土 = 1 : 1 の混合土に活性炭を加えた場合の効果は大である。わずか 3% 加えただけでも基準試料にくらべて、さらに澄んだ感じの臭気となる。活性炭の量を 5%, 10% と増加させれば、不快臭はほとんど消える。活性炭は人間に不快感を与える臭気を吸収すると考えられる。

(iii) 生石灰混合の場合……生石灰を混合させた場合には活性炭と違って、ゴミ内の間隙水と加水反応を起こしてゴミの含水比を低減させることによって悪臭を軽減させる。しかし、生石灰混合率が高くなるにしたがってゴミ本来の悪臭は軽減するものの、逆に生石灰の臭いが強くなる。

(iv) 活性炭および生石灰混合の場合……活性炭と生石灰の脱臭効果が相乗的に作用して効果は大である。しかし、生石灰の量が 10% と大きくなれば、悪臭にかわって石灰の臭気が強くなりすぎる。

6. 本工事

室内、現場両試験の結果、膨大な量のゴミを短期間

に脱臭、脱水処理するためには、載荷圧密脱水とゴミと良質土の混合を併用する方法が最も経済的で効果的であると判断し、本工事へ適用した。本工事で実施し

混 合 割 合	
ゴ ミ	良質土(ローム)
1	1
1	2
1	3

(注) 基準試料(ゴミ : ローム = 1 : 1) に下記の生石灰、活性炭を混合する。

表一2 ゴミとロームの混合割合

た具体的方法は

①載荷盛土材料はゴミ捨場両側の山を掘削押し出して使用し、盛土高 3 m (荷重 $P = 42t/m^2$) とした。

②載荷放置期間は、ゴミの圧密係数 $C_v = 0.83cm/sec$, 透水係数 $k = 1.4 \times 10^{-2} cm/sec$ と非常に大きく盛土完了後、数日間放置するだけにとどめた。

③掘削にあたっては載荷重として使用した良質土とゴミとを十分混合攪拌しながら運搬トラックに積込み、とくに、活性炭、生石灰などは使用しなかった。

④なお、谷間であることから、湧水の恐れがあったので、谷線に沿ってディープウエルを設け強制脱水した。(掘削後、確かに湧水していた。)

⑤載荷圧密脱水されたゴミ内の間隙水はゴミ山周囲に設けた排水溝とディープウエルによって排水した。

混 合 割 合	
活 性 炭	生 石 灰
0 (%)	0 (%)
3	0
3	5
3	10
5	0
5	5
5	10
10	0
10	5
10	10
0	5
0	10

表一3 活性炭、生石灰の混合割合

7. あとがき

最近の住宅建設ブームを主とした大都市周辺の開発にともなって、従来までは問題とならなかったゴミ捨場も今回の例のように公害と関連して問題となってくる。ゴミ山は大都市周辺に数多く散在しているので、今後も同様のゴミ山処理問題が発生するものと考えられるが、ここに紹介した方法が何らかの参考として役立てば幸いである。

最後に、この報文の作成にあたってご協力いただいた大林組羽沢工事事務所柳瀬所長、来代主任を始めとする職員の方々に謝意を表します。