

III-405

都市ゴミ及び下水汚泥焼却灰のせん断変形機構に関する微視的考察

京都大学防災研究所 正会員 ○嘉門雅史
 京都大学大学院 学生員 前川憲治
 京都大学大学院 学生員 佐野陽一

1. はじめに 産業構造や都市生活の変化ともなう都市ゴミおよび下水汚泥は年々増加する傾向にあり、その処理工法のひとつに焼却した後その焼却灰を埋め立て材料として用いる方法がある。本研究は焼却灰埋立土の変形挙動を解明することの一環として、走査型電子顕微鏡(SEM)内に導入した超小型せん断試験機(USSBT)を用いてそのせん断変形機構を微視的に考察・検討したものである。

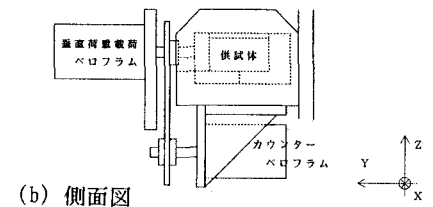
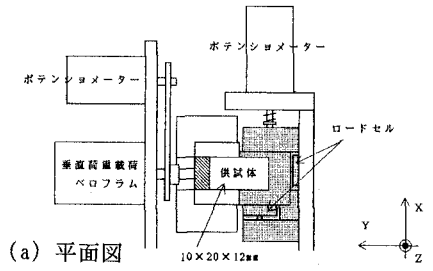
2. 実験方法 焼却灰のせん断変形機構を直接観察するために、SEM鏡体内に図1に示すようなUSSBTを導入してせん断試験を行っている。従来の試験機は垂直载荷荷重の载荷条件および計測された垂直変位(ダイレイタンス)に問題があったため以下に示す2箇所について改良を行っている。

(1) 従来の試験機は、SEM鏡体内を真空にした際に大気圧差により約2.3kgf/cm²の垂直载荷荷重が不可避に作用していたが、垂直荷重载荷ベロフラムと同規模のカウンターベロフラムを取り付けることによって、SEM鏡体内を真空にしたときの垂直荷重を相殺することを可能にした。

(2) 従来の試験機は、垂直変位測定用のアームをせん断箱の奥板に取り付けていたが、それを垂直変位測定用のポテンシオメーターに剛結した。

このように改良することによって試験条件は向上したが、SEMによりすべり面を観察する場合、観察面が解放されている必要があり、観察面には基本的に応力を作用させ得ないために観察面の剥離が起こるといった問題はなお未解決のままである。また、非導電体の試料は真空中で電子線に曝されると帯電する。SEM観察の際に、試料が帯電すると走査電子線が不規則に偏向され、象が歪んだり不連続象になったりする。そこで、本研究においては加速電圧を下げることによってこの対策とし、解像度の低下との妥協点として5kVの加速電圧を用いるものとした。

試料としては、都市ゴミと下水汚泥焼却灰を標準網ふるい425μmでふるい分けし、通過分を用いた。その基本的物性は表1、図2に示すとおりである。供試体はせん断箱の中に焼却灰を充填し締固めて作成した。特別な密度管理は実施していないが、現場で得られる湿潤密度1.0t/m³を目標として締固めた。しかし、この程度の密度では、試料乾燥後USSBTに装着する時点で形を崩してしまうため、ここでは供試体の観察表面上に薄くポリエチレングリコール(PEG)を含浸させた上でせん断試験用供試体とした。PEGの含浸による影響は以後の議論では無視



この部分がY方向に可動。この部分がX方向に動きせん断を行なう。

図1 せん断試験機概略図

表1 物理試験結果

	焼却灰	汚泥焼却灰
比重	2.554	2.916
礫分	31 (%)	3 (%)
砂分	40 (%)	44 (%)
細粒分	29 (%)	53 (%)
均等係数	67.50	12.90
曲率係数	0.52	0.18
分類	砂質土	細粒土

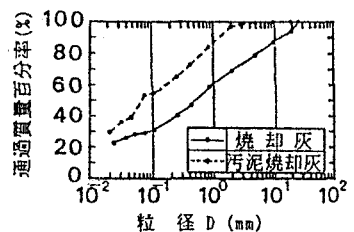


図2 粒径加積曲線

している。

ひずみとせん断強度・ダイレイタンスは、試験中X-Yレコーダーで連続的に記録する。SEMの観察像は試験中ビデオで録画し、その後必要に応じて写真化する。写真撮影時の巨視的データは、試験中せん断速度が一定であるものと仮定し、ビデオ録画時間から算定している。また、SEM観察像における供試体の局所変位は、写真中の像の動きとして、デジタイザーで追っており、この際には一切の補正を行っていない。

3. せん断変形機構に関する微視的考察 せん断前の各焼却灰埋立土の微視的構造については、各焼却灰間の相違は必ずしも明確に見られない。また全体として、粒子レベルでそれぞれが集合体を形成しており、ペッドとして検討している。

次に焼却灰のせん断変形機構をせん断を開始してからすべり面が表面化するまでのせん断初期、せん断強度がピークに達しせん断面がその幅を増大していくすべり面の成長期、さらにせん断破壊が進んだ残留強度域のせん断破壊後の3段階に分けて考察を行う。写真1に観察像を、図3にそれらから求めた土粒子の相対変位図の代表例を示す。

(1) せん断初期における供試体については、目立った構造変化はみられない。さらに倍率を上げ個々の土粒子に注目してみても、目立った粒子構造の変化はみられない。土粒子の相対変位が明らかになるのは、供試体に巨視的なすべり面が現れ始めてからである。

(2) すべり面は、概ねせん断強度がピークに達した頃に発生する。すべり面は供試体のほぼ中央で発生し、幅を広げながら成長していく。しかし、すべり面以外では大きな構造変化はみられず双方の粒子が剛体的に変位している。従って、埋立土はせん断破壊後もすべり面内のごく限られた領域のみで変形が生じているものである。

(3) せん断破壊後、すなわち残留強度域においては、すべり面の凸部同志が互いに接触しあい微視的インターロッキングの作用をしている。この微視的インターロッキングによりすべり面内部の粒子は回転したり、移動したりするなどせん断変位とは全く異なった変位を示す。これらのことから、微視的インターロッキング作用が残留強度域における焼却灰のせん断挙動を決定するものと思われる。またこの段階になると、すべり面の幅の増大は小さく、せん断側の粒子は巨視的なせん断変位とほぼ同様の変位挙動を示している。

4. おわりに 以上のように焼却灰の微視的変形挙動は、土材料と同様のものであった。しかし、限定した条件の試料のみから得られた結果であり、実際の焼却灰埋立地盤では多種多様の粗大粒子が混入しており、かつ時間効果によって特性が変化すること、さらに埋立時の堆積条件が水中沈降のような場合には、堆積後の密度を高めることが困難なために、極めて緩い状態の地盤を形成してしまうこと等を避けえない。したがって、マスとしての特性の把握や経時的な特性の測定、ならびに液状化に対する検討等は必須のものといえる。

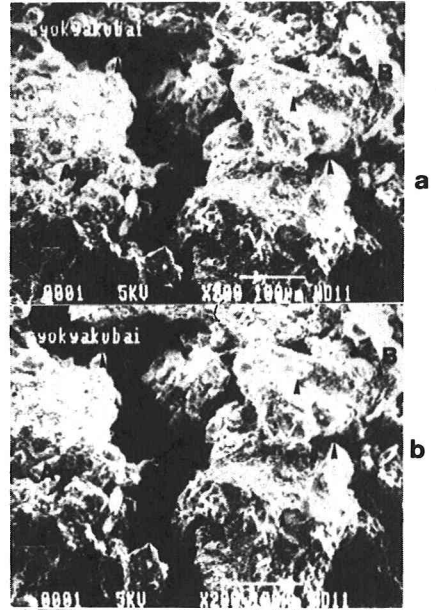


写真1 すべり面の成長期の観察像

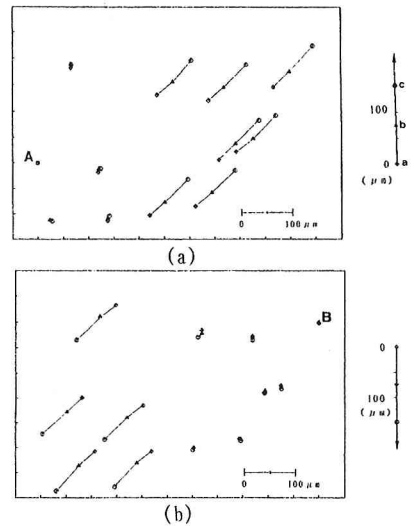


図3 すべり面の成長期の相対変位図