

上載圧をうけるベントナイト混合土層の変形挙動実験

宇都宮大学工学研究科 学生会員 ○篠崎 康人
 宇都宮大学工学研究科 正会員 今泉 繁良
 宇都宮大学工学部技術部 正会員 吉直 卓也
 日本国土開発(株) 正会員 工藤 賢悟

1. はじめに

わが国の廃棄物最終処分場に用いられる遮水工構造の一つとして、現地発生土にベントナイトを混合して基準を満たすようにしたベントナイト混合土が使用されている。遮水工の基盤が変形したりすると、ベントナイト混合土層自体も変形し、一定の変形量になるとクラックが発生し、透水係数が基準値を満たさなくなる恐れがある。工藤ら¹⁾は落とし戸実験装置を用いて、急速に与えた応力制御によってベントナイト混合土層の落とし戸部分に対して曲げ変形を与える実験をおこない、クラックが生じることを示した。本研究では、ジャッキを用いて緩やかにベントナイト混合土層の底盤の一部を降下させ、混合土層に曲げ・せん断変形させる実験を行った。

2. 材料特性

実験には、均等係数 $\bar{U}_c=237.5$ 、曲率係数 $U_c'=13.92$ 、液性限界 $W_L=23.3\%$ 、塑性限界 $W_p=15.4\%$ 、塑性指数 $I_p=7.9$ で、土粒子密度が 2.712g/cm^3 の碎石砂にアメリカ産Na型ベントナイトを10%添加させた混合土を用いた。ベントナイト混合土に対するA-c法による締固め試験を行い、最適含水比は $w_{opt}=11.5\%$ で、最大乾燥密度は $\rho_{dmax}=1.848\text{g/cm}^3$ が得られた。

締固め度95%を目標として締固めた供試体の透水係数は図-1に示すように $k=1.04 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ である。

また、直径5cm、高さ10cmのモールドにて締固め度95%を目標に締固めた試料で一軸圧縮試験を行い、図-2の関係が得られた。一軸圧縮強さは 99.9kN/m^2 変形係数は $E_{30}=4233.1\text{kN/m}^2$ である。

3. 実験装置、実験方法

用いた実験装置は、図-3に示すように内側寸法が横80cm×縦30cm×奥行き20cmの土槽である。エアバックをベントナイト混合土層の中央上方に置き、空気圧による上載圧をかけた状態で、落とし戸(沈下鉄板幅30,40,50cm)の下に設置したジャッキを制御して、ベントナイト混合土層に曲げ変形を与えることができる構造となっている。ベントナイト混合土層の沈下量は、ベントナイト混合土と砂の間に薄い鉄板を置き、そこからワイヤーを鉛直方向に張って変位計に接続して計測される。

沈下実験は、締固め度95%を目標として、厚さ10cmとなるような条件で締固められた層の上に、砂を20cm敷いた後、エアバックに 107.8kN/m^2 の圧力を掛けた状態で、約24時間毎に下部変位計の読みが1mmずつ増加するようにジャッキで沈下鉄板を下げた。なお、落とし戸部の幅を表-1に示すように、30,40,50cmと変化させて行った。

4. 実験結果

図-4~図-6に落とし戸幅(L)を30,40,50cmとしたときの時間-沈下量関係を示す。これらの図において上部変位計の値が沈下基準とした下部変位計の値を上回っているが、これは上載圧によって供試体に圧縮と形状変化に伴う伸びが生じたためと考えられる。

図-4のL=30cmのケースでは、上載圧力 107.8kN/m^2 で4mm、その後上載圧力を 137.2kN/m^2 に上昇させても8mm、上載圧力を 156.8kN/m^2 に上昇させても、9mmまでしか沈下しなかった。これはベントナイト混合土の剛性が十分であり、上載荷重に対してこの変形状態でつり合っていると考えられる。L=40cmの図-5とL=50cmの図-6では、共に中央たわみ量が約11mmとなったときに、落とし戸端上方のベントナイト混合土層中央部(写真-1)にクラックが発生した。その後、写真-1のようにクラックが発生し、最終的には18mm沈下した時点でクラックが層を貫通したため、遮水工の機能を果たさないと考え実験を終了した。

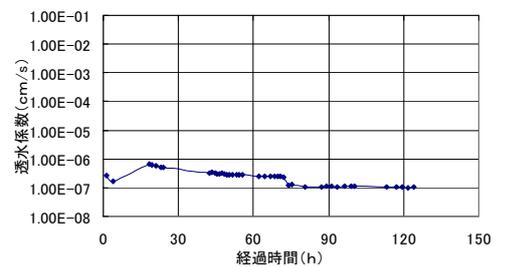


図-1 透水係数の時間的変化

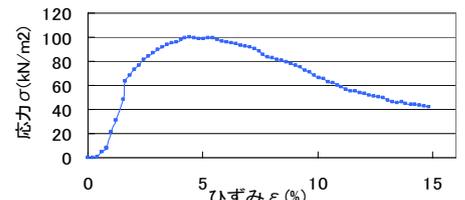


図-2 応力-ひずみ曲線

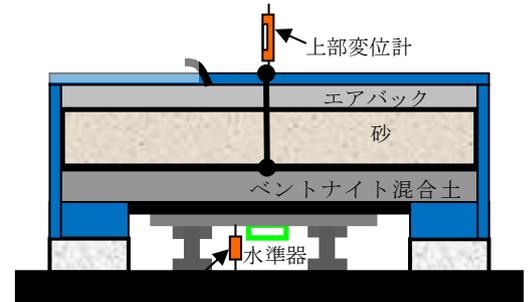


図-3 実験装置

表-1 試料の条件

沈下鉄板幅(cm)	含水比(%)	乾燥密度(g/cm³)	締固め度(%)
30	16.3	1.768	95.7
40	17.2	1.736	94
50	16.5	1.765	95.5

5. 梁理論に基づく考察

ベントナイト混合土層を高さH=0.1m、幅b=0.2m、スパン長Lmの両端固定梁に等分布加重q=21.56kN/mが作用したと想定すると、落とし戸幅中央でのたわみ量wc、曲げモーメントMcと落とし戸端上部でのせん断力Qの式から、ベントナイト混合土層中央下部の曲げ応力σic、固定部端上面に生じる曲げ応力σil=σir、固定部の最大せん断応力τmaxは式(1)~(7)となる³⁾。

$$w_c = \frac{qL^4}{384EI} \dots \text{式(1)}$$

$$M_c = \frac{q}{24} L^2 \dots \text{式(2)}$$

$$M_L = M_R = -\frac{qL^2}{12} \dots \text{式(3)}$$

$$Q = \frac{qL}{2} \dots \text{式(4)}$$

$$\sigma_{ic} = \frac{qL^2}{4bh^2} \dots \text{式(5)}$$

$$\sigma_{il} = \sigma_{ir} = \frac{qL^2}{2bh^2} \dots \text{式(6)}$$

$$\tau_{max} = \frac{3}{4} \frac{q_0 L}{bh} \dots \text{式(7)}$$

表-2 計算結果

スパン(m)	中央たわみ量(mm)	縦中央の曲げ応力σc	左・右端の曲げ応力σtR,σtL	せん断応力τ(kN/m ²)
0.3	6.236144757	242.55	485.1	242.55
0.4	19.70929701	431.2	862.4	323.4
0.5	48.11840091	673.75	1347.5	404.25

まず、L=30cmのクラックが発生しなかったケースに対して、上載荷重qに対して、中央沈下量が一定となった三つの場合の値を用いて、弾性係数Eを逆算してみた。その結果、逆算されたEの値は上載圧力が小さい順から6821.7kN/m², 4341.1kN/m², 4410kN/m²となっており、後者の二つは一軸圧縮試験から得られた変形係数E50の値4233.1kN/m²にほぼ等しい値となっている。また後者の二つの値の平均値4375.6kN/m²を用いて、L=40,50cmのときの中央たわみ量を計算すると、それぞれ19.7mm, 48.1mmとなる。実験でクラックが発生したときの中央たわみ量はそれぞれ16mm, 12mmである。この差は3.7mm, 36.1mmとなる。次にL=30,40,50cmの場合に対して、前記の4375.6kN/m²の値を用いてベントナイト混合土層中央下部たわみ量と曲げ応力σic、固定部上面に生じる曲げ応力σil=σir、固定部の最大せん断応力τmaxの計算を行ったものを表-2に示す。

6. まとめ

今回の実験にて、沈下鉄板がL=40cm,50cmのときには約11mm沈下させたときにクラックが発生した。今後、ベントナイトクラックの曲げ強度,せん断強度を明らかにして、梁理論による結果と対応させていきたい。

謝辞

本研究は宇都宮大学平成19年度特定重点研究基金ならびに、NPO 最終処分場技術システム研究会の支援によって実施したものである。記して感謝します。

参考文献

- 1) 宇佐見 貞彦、工藤 賢悟、今泉 繁良、加藤 啓樹、柴田 健司：最終処分場に適用するベントナイト混合土の変形特性と設計手法の提案、第17回廃棄物学会論文集、pp.935~937、2006
- 2) 宇佐見 貞彦、工藤 賢悟、今泉 繁良、加藤 啓樹、柴田 健司：変形したベントナイト混合土の遮水性能、第18回廃棄物学会論文、2007

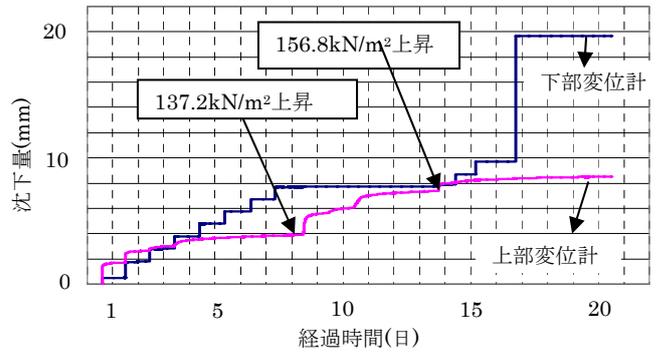


図-4 沈下量-時間関係(L=30cm)

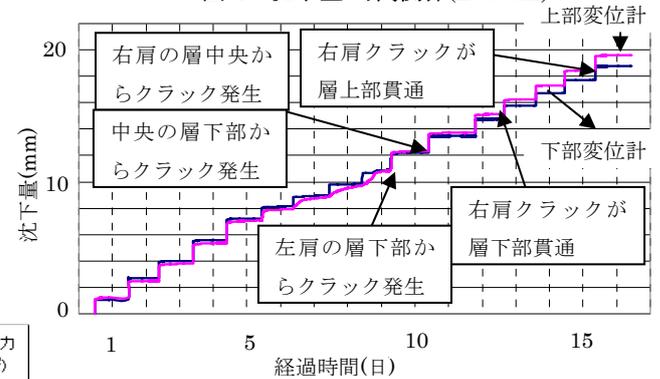


図-5 沈下量-時間関係(L=40cm)

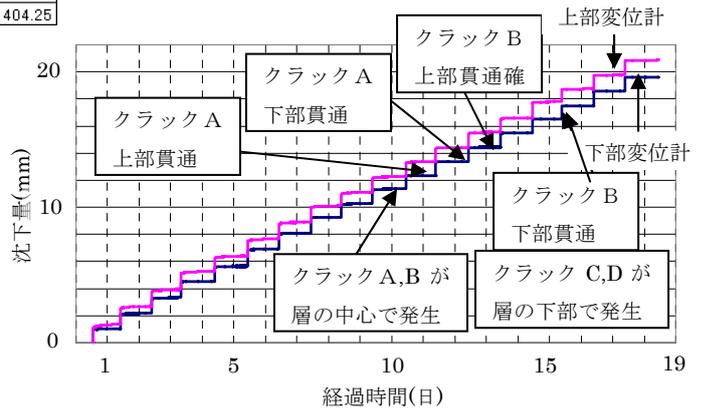


図-6 沈下量-時間関係(L=50cm)



写真-1 実験終了後の様子