

ベントナイト混合土層の沈降量と浸透性に関する模型実験

宇都宮大学 学生会員 ○藤田恭之
宇都宮大学 正会員 今泉繁良

1. はじめに

廃棄物最終処分場における遮水工材料として、砂に膨張性の高いナトリウム型ベントナイトを混合したベントナイト混合土 (BMS) が広く用いられている。この BMS 層の下にある基盤が局所沈下すると、BMS 層もそれに伴い変形する。局所変形が大きい場合、BMS 層に亀裂が発生して遮水性能が低下する恐れがある。この問題に関して、宇佐美ら¹⁾や著者ら^{2,3)}が落とし戸装置を用いて、層厚を 10、20cm とした模型 BMS 層に関する亀裂の発生状況や遮水性の検討を行っている。

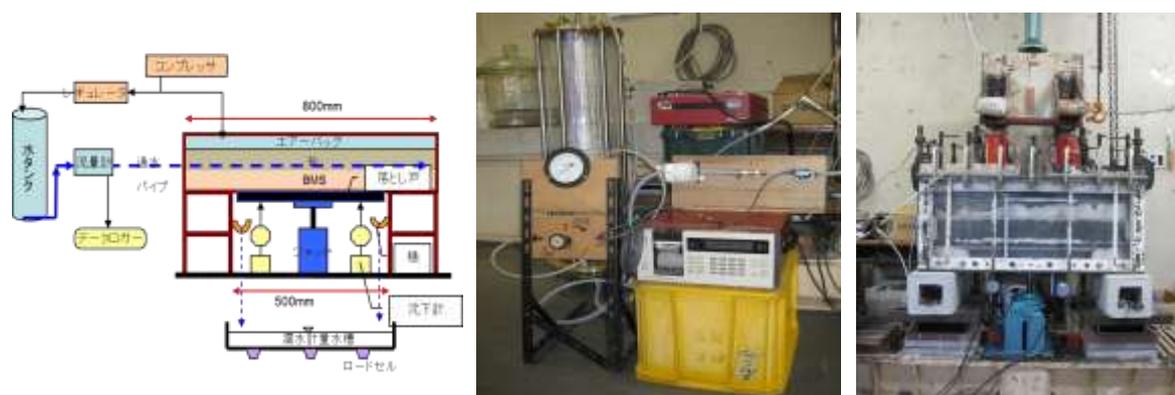
本研究では、層厚を 10 cm と 20 cm とした模型 BMS 層に対して、BMS 層厚下部に敷設するジオネットの有無を変えた落とし戸実験と浸透実験を行い、落とし戸沈降量と亀裂の発生・進展状況の関係、亀裂の進展状況と遮水性の関係を把握して、ベントナイト混合土層 (BMS 層) の許容局所沈下量を明らかにすること、さらにジオネット敷設の有無がそれらに与える影響を検討することを目的とする。

2. 実験装置

実験には、図-1 (a) に示す幅 80cm・奥行 20cm・深さ 35cm の鉄製土槽の底板中央の 50cm 部分を落とし戸とし、落とし戸を電動モーターで沈降するようにした落とし戸装置 (図-1 (c)) と BMS 層に加圧した脱気水を送り、その送水量を自動計測できるようにした浸透装置 (図-1 (b)) を用いた。

落とし戸と電動モーター沈降台の間には支持荷重を計測するために容量 9.8kN の荷重計を 2 台、沈降台の下には落とし戸の沈降量を測定するために容量 50mm の変位計を 2 台設置した。土層前面には、BMS 層の変形・亀裂発生を観察し、ビデオ撮影できるように厚さ 50mm の透明アクリル板を用いた。

BMS 層への送水と通過水に関しては、内径 23cm、高さ 100cm のアクリル製円筒水槽に加圧し、そこから土槽に至るチューブの途中で流量計を接続し、チューブの先端部 60cm に直径約 1mm 程度の孔をあけて、土槽内の保護砂に埋めて散水できるようにした。そして、BMS 層を通過する水を集めるために、上面に傾斜を持つ溝を付けたアクリル板を落とし戸装置上と左右の固定台上に貼り、その溝内に 3mm のビーズを敷いて集水できるようにした。この集水を固定台と落とし戸との間の下に設けた樋を通して土槽前方に設けた受水槽で受け、その質量を荷重計で自動計測した。なお、変位計、支持荷重計、水量計、受水荷重計はデータロガーに接続し、パソコンで自動計測・記録できるようにした。



(a) 装置の配置図

(b) 送水装置

(c) 落とし戸装置と受水装置

図-1 落とし戸・浸透実験装置

3. 使用したベントナイト混合土 (BMS) とジオネット (GN)

BMS の母材として、チャート岩を破碎した最大粒径 4.75mm、礫分 13.2%、砂分 84.9%、細粒分 1.9%、均等係数 4.2、曲率係数 1.1 の日本統一土質分類では「分級された礫細粒分混じり細粒分質砂(SF-G)」となる材料を用いた。土粒子密度は 2.695g/cm³ である。これに、膨張力 38mL/2g のアメリカ産のナトリウム型ベントナイトを乾燥質量比で 10% となるように添加して BMS を作成した。

キーワード ベントナイト混合土、ジオネット、落とし戸実験、沈降実験、浸透実験

連絡先 〒321-0944 栃木県宇都宮市東峰町 3065-1 第二朝日マンション 106 TEL090-2976-0793

E-mail: yasu353535@yahoo.co.jp

図-2 は、ベントナイト添加率 10%における締固め曲線であり、最適含水比 19.2%と最大乾燥密度 1.60g/cm³ が得られた。図-3 は、含水比 14.7%、乾燥密度 1.65g/cm³ となるように締固めた直径 10.0cm、高さ 12.7cm の円柱供試体に対して、撓み壁透水試験器を用いて実施した飽和透水係数の経時変化を示したもので、遮水層として必要な「透水係数が 1x10⁻⁶ cm/s 以下」の条件を満足している。

ジオネットとして、大日本㈱のトリカルネットを使用した。これは、高密度ポリエチレン (HDPE) が主な材料であり、網目の大きさは 10mm、遮蔽率 45%、引張強度 7284N/m である。また、室温 21±2℃、チャック間距離 (試験機に拘束するジオネット幅) を 50mm、引張速度を 10mm/min として行ったときの、引張弾性係数は 461N/mm² である。

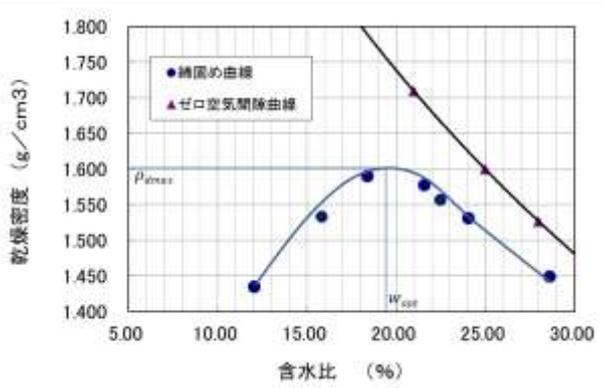


図-2 使用した BMS の締固め曲線

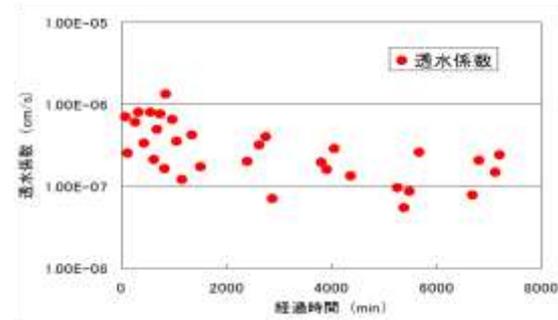


図-3 BMS の透水係数の経時変化

4. 実験ケースと実験手順

実験は、BMS 層厚が 10cm と 20cm のそれぞれに対して、BMS 層の下に GN を敷設した様と敷設しない場合の 4 ケースについて実施した。なお、BMS 層厚が 20cm のケースについてはそれぞれ 2 回ずつ実験を行い、試験結果の信頼性を確保した。

まず、鉄製土層内に目標含水比を 17%とした BMS を、締固め密度が 1.62g/cm³、厚さ 10cm、20cm となるように油圧ジャッキを用いて静的に締固めた。その後、混合土層の上部に保護砂層として川砂を敷き (敷均し厚さは BMS 層が 10cm (GN 有、無) 及び 20cm (GN 有) の場合約 12cm、20cm (GN 無) の場合約 5cm)、その上に上載圧を加えるためゴム製エアバックを設置した後、上蓋を土槽に固定した。GN を使用した場合は、両側固定台・落とし戸を長さ 80cm、幅 17.5cm の GN を敷いたのち、上記と同様に BMS 層を作成した。

模型 BMS 層を作成後、落とし戸を沈降させることなく、エアバックへ 196kN/m² の空気圧を送り BMS 層に上載圧を加えた状態で、円筒水槽に 9.8kN/m² の空気圧を加えて送水して浸透実験を行った。

次に落とし戸を 0.5mm/min の速さで、BMS 層厚が 10cm のとき 10mm、BMS 層厚が 20cm のとき 15mm まで沈降させて亀裂の発生状況を観察し、その後、浸透実験を実施した。続いて、BMS 層厚が 10cm のとき 20mm、BMS 層厚が 20cm のとき 15mm 落とし戸をさらに沈降させ亀裂の発生・進展状況を観察し、その後、浸透実験を実施した。BMS 層厚 20cm のときには、落とし戸をさらに 15mm 沈降させ亀裂の進展状況を観察し、浸透実験を実施した。

5. 実験結果と考察

沈降実験では、既報^{2,3)}で述べたように落とし戸を沈降させるとある沈降量で BMS 層下面の落とし戸両端付近で亀裂が発生し、落とし戸の沈降に伴い亀裂が斜め上方 (中央方向) に進展する現象が現れた。撮影したビデオ画像から亀裂の発生・進行状況を読みとり、それに対応する落とし戸沈降量をまとめたものが表-1 である。表中、「左側」・「右側」とは落とし戸の左・右端に現れた亀裂を意味している。

表-1 沈降量と亀裂の発生・進展の関係

亀裂	GN無						GN有					
	10cm(D4)		20cm(D6)		20cm(D7)		10cm(D5)		20cm(D8)		20cm(D9)	
	左側	右側										
発生時の沈下量	2	2.5	9	9	13	11.5	5.5	5.5	5.5	7	12	10.5
25%時の沈下量	2	5	13.5	11.5	13	11.5	7.5	7.5	41	7	12	14
50%時の沈下量	7.5	12.5	23	20.5	20	12	11	11	44	18	17	20
75%時の沈下量	28	22.5	43	43	30	30	15	13	-	33.5	-	27.5
100%時の沈下量	-	25	-	-	39.5	36.5	-	14.5	-	42.5	25	40.5

図-4 は、亀裂の進展状況と平均的沈降量との関係をグラフ化したものである。図-4 より、GN の敷設の有無に係わらず BMS 層厚 20 cm のほうが層厚 10 cm より亀裂が発生・進展する沈降量が多いことがわかる。また、GN 敷設の有無に関しては、BMS 層厚 10 cm の場合、亀裂が層厚の 50% 程度まで進展するときの沈降量に差は見られないが、それ以上の亀裂進展に関しては GN 有りの方が小さい沈降量となっている。BMS 層厚 20 cm の場合、亀裂の発生・進展に対応する沈降量に GN の敷設有無による差がみられない。

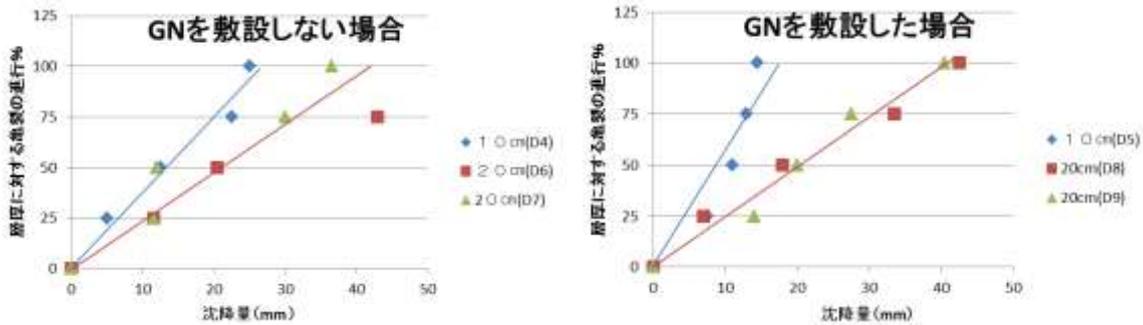
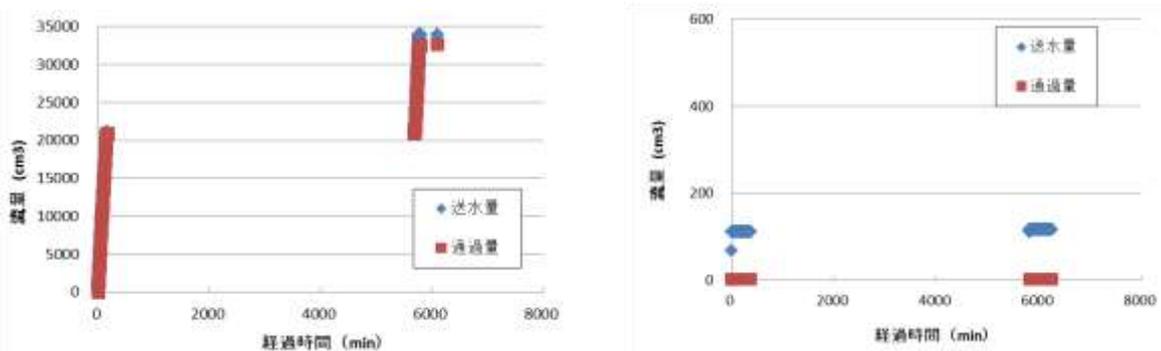


図-4 G 落とし戸沈降量と亀裂の発生・進展との関係

図-5 は、BMS 層厚 10cm の場合の亀裂が層厚を貫通したとき（GN 無では 30mm の沈降後、GN 有では 15mm 沈降後）に実施した浸透試験の結果を示したものである。GN 無の場合には送水量に等しい BMS 層を通過する水量が計測されたが、GN 有の場合には通過水が計測されていない。GN 有りの場合、落とし戸を 30mm と 45mm まで沈降させた後に行った浸透実験でも、やはり通過水は計測されなかった。このように、亀裂が BMS 層を貫通していても、GN の敷設有無で浸透試験結果に顕著な違いが現れたが、この原因は発生した亀裂の幅の違いに起因すると考えられた。すなわち、図-6 に示すように、GN を敷設しない場合の亀裂幅は 1～15mm であるのに対して、GN を敷設した場合の亀裂幅は 1～4mm 程度と狭い。従って、水が浸透した場合、細い亀裂ではベントナイトが膨張することによって BMS 層上部での亀裂が塞がり、止水性を維持したのではないかと考えている。



(a) GN 無 (沈降量 30mm)

(b) GN 有 (沈降量 15mm)

図-5 BMS 層厚 10cm の亀裂進行 100% 時の浸透実験結果



図-6 BMS 層厚 10cm での GN 敷設有無による発生亀裂の相違

図-7 と図-8 は、BMS 層厚 20cm の場合の亀裂が層厚の約 70% まで進展（沈降量は 30mm）、亀裂が層厚を貫通（沈降量は 45mm）したときの浸透試験の結果を示したものである。

図-7 に示した亀裂の進展が 70% 程度の場合、GN を敷設しない場合送水開始後 130 分程度までは通過水

が計測されたが、その後通過水は確認されず、遮水性が維持されていた。これは、側面からの観察では亀裂が上面まで達していなかったが、内部では細い亀裂が層を貫通しており、その亀裂もベントナイトの吸水膨張によって BMS 層上部で閉塞されたためと考えた。GN を敷設した場合には、通過水が観測されていない。

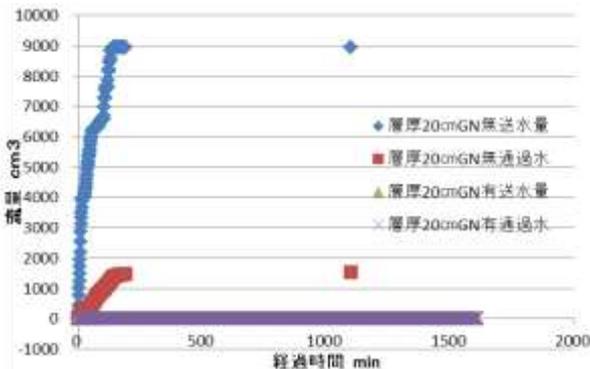


図-7 BMS 層厚 20cm の亀裂進行 70% 時の浸透実験結果
(沈降量はいずれも 30mm)

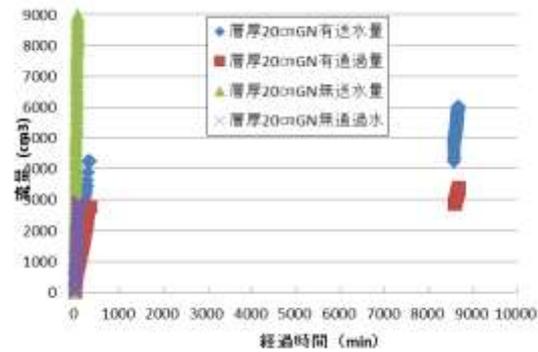


図-8 BMS 層厚 20cm の亀裂貫通時の浸透
試験結果 (沈降量はいずれも 45mm)

図-8 に示した亀裂が BMS 層を貫通した場合には、GN 敷設の有無に係わらず通過水が確認され、BMS 層が遮水機能を保持していないことを示している。なお、この時点での亀裂幅は GN 無で 5~20 mm、GN 有で 3~10 mm と広く、ベントナイトの吸水膨張でも亀裂を塞ぎきれずに遮水性が失われたものとする。

以上のことから、遮水性が保持できる亀裂の進展は BMS 層厚 10 cm において 50%、BMS 層厚 20 cm においては 75% までであり、図-4 に基づけば、対応する許容沈降量は BMS 層厚 10cm で 11 mm、層厚 20cm で 30 mm ではないかと考える。

6. まとめ

本研究によって得られた主な結果は以下の通りである。

亀裂が発生・進展するときの沈降量は、BMS 層厚 20 cm のほうが層厚 10 cm より大きい。

GN を BMS 層下方に敷設することは、亀裂の発生・進展に対応する沈降量にはさほど影響を与えないが、GN を敷設した方が発生する亀裂幅が狭くなる。

遮水性が保持できる亀裂の進展は BMS 層厚 10 cm において 50%、BMS 層厚 20 cm においては 75% までであり、対応する許容沈降量は BMS 層厚 10cm で 11 mm、層厚 20cm で 30 mm と考えられる。

謝辞

本研究は、平成 23 年度文部科学省科学研究費補助金 (課題番号 23560588) の援助によって実施した。

また、実験に際しては、NPO 最終処分場技術システム研究協会タスク分科会のメンバーの助言を頂いた。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 宇佐美貞彦・工藤賢悟・今泉繁良：ベントナイト混合土層変形前後の遮水性比較、第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、CD-ROM、2011
- 2) 今泉繁良・工藤賢悟：亀裂を有するベントナイト混合土層の遮水性評価実験、第 47 回地盤工学会研究発表会講演集、CD-ROM、2012
- 3) 藤田恭之・小野泰樹・今泉繁良：局所沈下するベントナイト混合土層の浸透性評価、第 9 回地盤工学会関東支部研究発表会、CD-ROM、2012