

締固めたベントナイト混合土を用いた人工地盤の性能評価事例

(株) ホーجون 正会員 水野克己 岡田朋子
(財) 地域地盤環境研究所 正会員 本郷隆夫・藤原照幸
京都大学大学院 フェロー会員 嘉門雅史

1.はじめに 静岡県 H 市一般廃棄物管理型最終処分場で、多要素複合ライナーの施工がされた。主要構成材料の人工地盤であるベントナイト混合土が、設計において要求される透水係数が実際の施工で得られたか検証することが重要であり、これら遮水構造の性能評価と品質保証が求められている。著者らは、統計的手法である3シグマ法管理図から、施工完了後の締固めたベントナイト混合土の性能評価に関する研究を行った。本件では、RI計器による土の密度試験(以下RI法と呼ぶ)とブロックサンプルを用いた密度試験と透水試験結果に基づいて性能評価とその検証を行ったので、ここに報告する。

2.施工概要 本件、静岡県 H 市廃棄物最終処分場のベントナイト混合土は、一層 25cm で総厚 50cm、平坦部 5,000m²、3 割勾配法面部 12,000m² の規模である。移動式混合攪拌機にて製造されたベントナイト混合土は、10t ダンプにて最終処分場場内に小運搬され、その後 4t 級ブルドーザーにて敷均し、20t 級油圧ショベルクローラーによる 6 回走行し転圧が行われた。

3.試験の目的と方法 施工に先立って、ベントナイト混合土の特性把握を目的とした室内試験を行った。施工期間中の、締固めたベントナイト混合土の密度管理および含水比測定は、RI法によって測定した。また施工中に、ブロックサンプルを採取し、乾燥密度と透水係数を測定した。(1)室内試験 まさ土とベントナイト混合土の物性値を表-1に示す。ベントナイト配合量は、乾燥

質量比で静岡産まさ土100に対しベントナイト(スーパークレイ)を13の割合とした。JIS A 1218に準拠し透水試験を行った。ベントナイト混合土は、転圧後に直ぐに保護土を行うことが原則である。しかし、遮水シートなどの工程上の都合で長期間放置されることがある。このため透水試験は、設計上の安全を考慮し保護土を行う前の状態を想定し、極めて小さな上載荷重1kN/m²(保護土厚さ約5cmに相当)の条件下で得られる透水係数を求めた。図-2に密度と含水比を変えた透水試験(試験水:水道水)結果を示す。ベントナイト混合土の締固め条件は、締固め試験(JIS A 1210:A-c法)から求まる最大乾燥密度に対する乾燥密度の比が、80%,90%,95%とした。なお、供試体の作成は設定含水比に含水調整された試料から、予め求めておいた供試体作成に必要な質量を分取し、締固め度80%,90%,95%となるよう静的締固め法により行った。乾燥密度が大きく、かつ初期含水比が高いほど、透水係数は小さくなる。また、初期含水比10%~25%で、乾燥密度が1.292kg/cm³以上(締固め度80%)であれば透水係数 $k = 1 \times 10^{-7}$ cm/secであることが判る。(2)ブロックサンプルの密度と透水係数 施工された締固めたベントナイト混合土からブロックサンプルを採取し、密度分布と透水係数を調べた。(a)ブロックサンプルの密度 ブロックサンプルの密度試験は、直径45mm×高さ50mmの合計16ケの供試体を切り出し、砂置換法にて乾燥密度を求めた。

キーワード 透水係数 ベントナイト混合土 廃棄物最終処分場 性能評価

連絡先 〒550-0002 大阪市西区江戸堀1-9-1 (株)ホーجون TEL066-441-5141 <http://www.hojun.co.jp/>

表-1 まさ土とベントナイト混合土(13%)の物性値

項目	まさ土	ベントナイト混合土
礫分 (%)	6.1	3.7
砂分 (%)	70.8	63.4
シルト分 (%)	12.8	14.5
粘土分 (%)	10.3	18.4
最大粒径 (mm)	19.0	9.5
均等係数	101.10	---
曲率係数	12.03	---
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.645	2.652
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.762	1.616
最適含水比 w_{opt} (%)	16.5	20.8

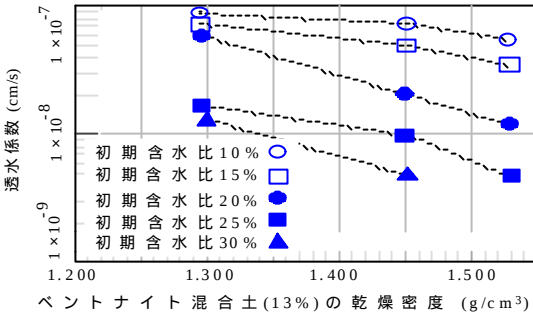


図-1 初期含水比～乾燥密度～透水係数関係図

表-2 ブロックサンプル密度試験結果

	B1(g/cm ³)	B2(g/cm ³)	B3(g/cm ³)	B4(g/cm ³)
上層乾燥密度	1.517	1.600	1.534	1.602
中上層乾燥密度	1.529	1.554	1.498	1.627
中下層乾燥密度	1.507	1.485	1.501	1.539
下層乾燥密度	1.476	1.442	1.513	1.527

※平均乾燥密度=1.528g/cm³、標準偏差値=0.048

表-2より、ブロックサンプルの密度は、下層より上層の乾燥密度が若干大きい。これは、ベントナイト混合土の特性や締固めに使われる重機重量や締固めエネルギーなどによる違いと考えられる。(b)ブロックサンプルの透水係数 ブロックサンプルから上下層および水平垂直方向の合計4ケの供試体（直径100mm×高さ50mm）を切り出し試験に供した。透水試験は三軸透水装置を用いて拘束圧20kPa、初期動水勾配18で透水試験（約10,000min）を行った。透水係数の算出は、ダルシー則（ $q=k \times i \times a \times t$ ）に基づいて高さ50mmの供試体内を試験水が浸透すると仮定し求めた。表-3より、ブロックサンプルの透水係数は、上下層および水平垂直方向の合計4ケの平均透水係数は 2.1×10^{-8} cm/secで、上層と下層とも水平と垂直方向の透水係数はほぼ同じであり、また透水係数の異方性は無かった。なお、平均乾燥密度は 1.561g/cm^3 、平均含水比14.0%であった。(3)RI法による密度と含水比 RI法にて、約130m²に1カ所の頻度で乾燥密度と含水比を合計250点測定した。ブロックサンプルを採取した近傍でRI法による乾燥密度と含水比測定結果を表-4に示す。

(a)乾燥密度のバラツキと透水係数

表-2に示すブロックサンプル密度試験の平均乾燥密度（ 1.528g/cm^3 ）と、表-3に示すブロックサンプル三軸セル透水試験からの平均乾燥密度（ 1.561g/cm^3 ）は、表-4に示すRI試験法の平均乾燥密度（ 1.599g/cm^3 ）と比べわずかに小さい値を示した。現場施工と言う環境条件、母材に混入する小石、また試験精度などを考慮すると、これら乾燥密度のバラツキは誤差範囲内と考える。また、表-2よりブロックサンプル16点の乾燥密度の標準偏差値は0.048でありバラツキは小さい、このため乾燥密度のバラツキによる透水係数への影響は小さいと判断できる。

(4)ベントナイト混合土の性能評価（透水係数のバラツキ） RI法により得られた250点の平均含水比は16.5%、最低値は15.5%、最大値は18.9%で、初期含水比の幅は3.4%と極めて小さく、図-1に示す様に透水係数への影響が小さいと判断できる。RI法250点の乾燥密度から3シグマ法管理図から、処分場全体の締固めたベントナイト混合土の透水係数のバラツキを求めようかどうか検討した。図-1の室内試験並びに表-2のブロックサンプル結果から、乾燥密度に相当する透水係数を合わせて図-2に示す。3シグマ法管理図から、250点データの95%が平均値±2シグマの間に入り、このデータの分布は中心極限定理に従い正規分布に近似している。以上から、仮に1,000点のRI法による測定をおこなったとしても、得られるデータは99.73%が平均値±3シグマの間に入る。

3.まとめ (1)図-1の室内試験結果からわかる様に、乾燥重量が 1.292g/cm^3 以上であれば透水係数 $1 \times 10^{-7}\text{cm/sec}$ 以下である。(2)施工後に行われたRI法による測定から求められた250点の乾燥密度の値は、すべて 1.455g/cm^3 以上を示し、締固め度90%以上の密度が得られている。(3)採取したブロックサンプルは室内試験結果から、平均乾燥密度は 1.561g/cm^3 、平均透水係数は $2.1 \times 10^{-8}\text{cm/sec}$ であった。(4)ブロックサンプルの平均乾燥密度 1.561g/cm^3 と3シグマ法管理図の平均値 1.582g/cm^3 は、ほぼ同じ値である。このため透水係数は、図-3に示す様におおよそ $2.1 \times 10^{-8}\text{cm/sec}$ を中心とし分布していると判断して良い。また、粘土ライナーの要求される透水係数は $1 \times 10^{-7}\text{cm/sec}$ （ 1.292kg/cm^3 ）で、平均値±3シグマ領域外である。これら(1)～(4)から、本件H市一般廃棄物管理型最終処分場で締固めたベントナイト混合土17,000m²は、すべての箇所において透水係数 $1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 以下であると断言できる。

表-3 ブロックサンプル三軸セル透水試験結果

条 件		間隙比	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	透水係数 (cm/s)
上部	垂直	0.571	13.3	1.588	2.6×10^{-8}
	水平	0.753	14.8	1.513	1.5×10^{-8}
下部	垂直	0.693	14.2	1.579	2.5×10^{-8}
	水平	0.670	13.7	1.566	1.8×10^{-8}

※平均透水係数 $2.1 \times 10^{-8}\text{cm/s}$ 平均乾燥密度 1.561g/cm^3

表-4 ブロックサンプル近傍の RI 試験法密度試験結果

計測方法	測 点	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
RI 試験法 (Direct Transmission)	NO.84-1	16.6	1.557	96.4
	NO.84-2	16.6	1.624	100.5
	NO.84-3	16.6	1.618	100.1

※平均乾燥密度 $= 1.599\text{g/cm}^3$

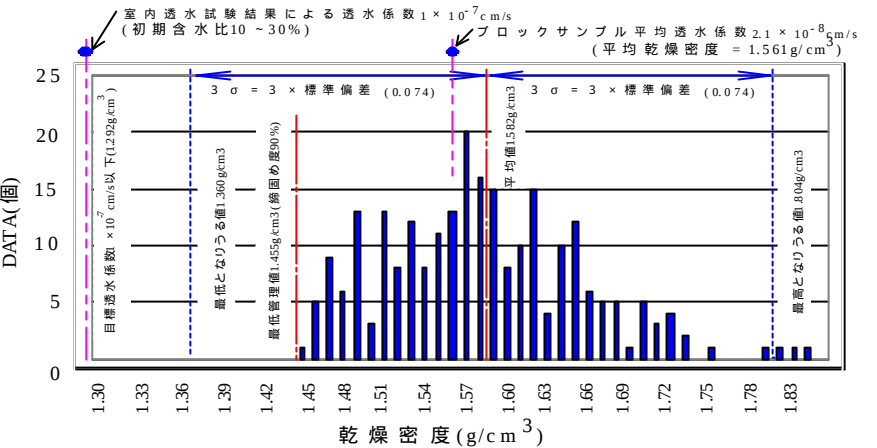


図-2 250 点の乾燥密度のデータによる 3 シグマ法管理図