

目標の初期値であるベントナイト混合土のベントナイト配合量の決定

(株) ホージュン LACT ○(正)水野克己

(独) 国立環境研究所 (正)遠藤和人

(財) 地域地盤環境研究所 (正)藤原照幸

京都大学大学院 地球環境学堂 (フェロー)嘉門雅史

1. はじめに

ベントナイト混合土(BMSL)の、性能と品質を得るためには、目標とする性能である透水係数の確保が重要である。本論では、最終処分場の BMSL の施工を対象とし、目標の初期値である BMSL のベントナイト配合量(Bt Content)の決定手法を検討した。

2. 内容

BMSL の性能と品質を得るためには、目標に対して、初期値とパラメータとコントロールと結果が存在する。(図-1参照)そして、初期値とは、Bt Contentを求めることである。Bt Contentに影響する要因が変数である。変数は、BMSL の製造と一時保管並びに運搬時に発生する。初期値の締固めの条件に従って、工事をコントロールする。工事でコントロールされた結果が、BMSL の乾燥密度

(ρ_d)と含水比(w)である。初期値のベントナイト配合量の指標となるのが性能と品質である。性能と品質に書かれた数値を達成することが目標である。目標の対象は、日本法規準と New standard とした。日本法規準とは、共同命令に示される、(1) 厚さ 50cm 以上、 k が 1×10^{-6} cm/s 以下である粘土等の層に遮水シートが敷設されていること』である。New standard とは、日本法規準をより強化したものである¹⁾。これは、自治体独自の最終処分場設計思想や周辺住民とのリスクコミュニケーションの結果から生まれたものである¹⁾。なお、日本法規準と New standard だけでは、実際の実体と大きくかけ離れる。このため、日本法規準に従った一般的な事例と併せて述べる。一般的な事例とは、BMSL25 事例の調査結果から元にしたものである。

3. BMSLのベントナイト配合量(Bt Content)の初期値

日本法規準の Bt Content は、目標とする k を指標に、室内透水試験から求める。土粒子の密度試験(JIS A 1202)と含水比試験(JIS A 1203)から、 ρ_s と w を求める。突固め試験(JIS A 1210)を行い、 w_{opt} と ρ_{dmax} を求める。土の ρ_d に対して Bt を乾燥重量比で配合する。そして、BMS の ρ_s と w_{opt} と ρ_{dmax} を求める。透水試験は、 w_{opt} と ρ_{dmax} 条件で行い、 k を求める。 $k \leq 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s であれば、この Bt の配合量(Bt Content)が初期値である。(図-2参照)締固め Energy は、室内試験条件と施工条件が、同一締固め Energy であればよい。もし、 $k > 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s であれば、Bt Content を増量して k を求める。日本法規準に従った一般的な事例では、Bt Content の初期値が三種類ある。それは、① 閾値(threshold)を超えた Bt Content である。次に、② 閾値未満の Bt Content である。そして、③ $k \leq 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s に最も近い、必要最小限の Bt Content である。必要最小限とは、Bt Content が、 $k \leq 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s に最も近いことである。(図-2参照)閾値とは、Bt コロイドゲル(Bt Colloid Gel)の密度が、大きく変化する境界である。(図-3参照)土砂に Bt を配合し、締固めを行い透水試験を行うと、浸透した水が膨潤

キーワード 廃棄物処分場、ベントナイト混合土(BMSL)、コンシステンシー限界、ベントナイト (Bt)

連絡先 (株) ホージュン 〒379-0133 群馬県安中市原市 1433-1 TEL 027-385-0233 mizuno@hojun.co.jp

① 初期値 (室内試験)

No	最小	項目	最大
1	Min Bt = 0 (%)	← ベントナイト配合量 →	Max Bt = 100 (%)
2	Max Soil = 100 (%)	← 土砂の配合量 →	Min Bt = 0 (%)
3	Content of Bentonite : 0% ~ Threshold and Threshold ~ 100%		

② 変数 (製造、一時保管、運搬)

No	最小	項目	最大
1	$w_n = 0$ (%)	← 土砂の含水比 →	$w_n = w_{sl100\%}$
2	$EC = 0$ (mS/cm)	← 土砂の導電率 →	$EC = 0 + X$ (mS/cm)
3	$\rho_s = X$ (g/cm ³)	← 土砂の密度 →	$\rho_s = X + Y$ (g/cm ³)
4	シルト粘土分 ≥ 0 (%)	← シルト+粘土分 →	シルト粘土分 $\geq 0+X$ (%)
5	$w = 0$ (%)	← 乱した状態の混合土の含水比 →	$w = w_{sl100\%}$

③ コントロール (工事)

No	最小	項目	最大
1	$Dc = \rho_{dmax} \times X$ (%)	← 締め固めエネルギー →	$Dc = \rho_{dmax} \times X+Y$ (%)

④ 結果 (工事)

No	最小	項目	最大
1	$\rho_d = X$ (g/cm ³)	← 締め固めた混合土の乾燥密度 →	$\rho_d = X + Y$ (g/cm ³)
2	$w = 0$ (%)	← 締め固めた混合土の含水比 →	$w = w_{sl100\%}$

⑤ 目標

No	日本法規準 (t=500mm)	項目	New standard (t=500mm) ¹⁾
1	$k \leq 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s	性能	$k \leq 1.0 \times 10^{-7}$ cm/s
2	None	性能	$qc \geq 1,200$ kN/m ²
3	None	品質	$k = 10^{-8} \sim 10^{-9}$ cm/s

①② 土砂粒度 ≤ 40 mm とする。①①と①② 乾燥重量 (%)。②⑤ BMS-一時保管時の変化 ② 土砂とベントナイトの混合精度は、 $\pm 0\%$ と仮定する。
②①と②②と②③と②④ 母材の土砂。②⑤③① 乱した状態の混合土 (BMS)。④① 締め固めた混合土 (BMSL)
①の透水試験条件は、 ρ_{dmax} (g/cm³)、 w_{opt} (%)、締め固め (Dc)Xとする。①① 製品ベントナイトの品質(膨潤力のバラツキ)は、 $\pm 0\%$ と仮定する。
*) 水野克己・嘉門雅史・星野寛・氏原康博(2003)：最終処分場におけるベントナイト混合土の品質管理と性能評価事例、土と基礎、地盤工学会、Vol151, No.8, pp.30-31

図-1 ベントナイト混合土の施工フロー図

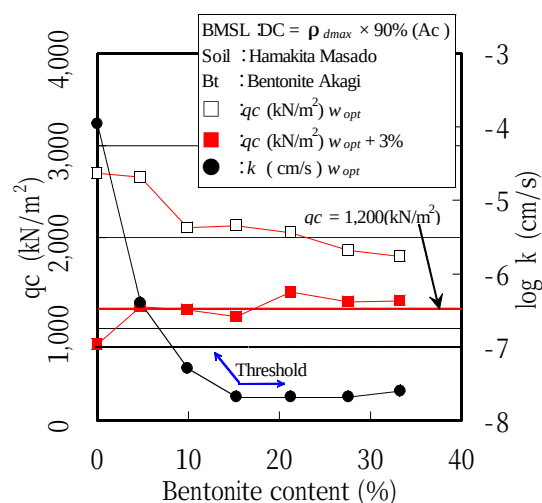


図-2 Bt の配合量と k 並び qc の関係

して土砂の間隙を埋める。そして、間隙率の減少に伴って k は低下する。土砂に対して、Bt Content が増加すると、Bt 未充填の間隙部が、Bt で充填する。Bt Content が閾値を超えると、 k が一定になる。Kenny(1992)³⁾は、 k と Bt Content の関係で、閾値を説明している。土粒子の間隙内の Bt Colloid Gel が、Bt Content の増加に伴い、連続した Bt Colloid Gel となる。

(図-3参照)閾値未満では、Bt Colloid Gel の密度が小さい。しかし、閾値を超えると、Bt Colloid Gel の密度が大きくなる。なお、日本法規準に従った一般的な事例では、三種類のどれを採用しているかは把握できない。

なお、経験的に、締固め Energy は、A-c 法で締固め度 $D_c = \rho_{dmax} \times 90\%$ が多く、 $D_c = \rho_{dmax} \times 95\%$ もある。New standard では、閾値を超えた Bt Content を優先する。閾値は、 w_L/I_p から求めることができる。 w_L/I_p では、 k と q_c の双方の閾値を示す。(図-4参照)閾値を超えた配合であれば $k \leq 1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 尚かつ $q_c \geq 1,200 \text{ kN/m}^2$ である。また、 k と q_c と w_L/I_p は、水の関数である。Low(1978)²⁾は、 $J = J^0 \exp [\beta (m^c / m^w)]$ を提案し、系の中の水の性質は、粘土と水の質量比の関数として表せると述べている。ここに、 J は系の中の水の任意の性質、 J^0 は、純粋なバルク水の、相当する性質、 β は定数、 m^c / m^w は含水比の逆数である。系の中の、水の性質が、 k と q_c と w_L/I_p を関連づけている。 w_L/I_p と k との関係は、 w_L/I_p の特性から定性的に説明できる。 w_L/I_p の増加は、 w_L に対して、 I_p が減少することになる。これは、 w_L と I_p の比が大きくなることを示している。(図-5参照)BMS($1.3 \leq w_L/I_p$)の w は、 w_L 側から w_p 側までの幅

が大きい。 w_L 側とは、BMS が多量に間隙水を保持した状態である。 w_p 側とは、BMS がごく微量な間隙水を保持した状態である。閾値を超え尚かつ $1.3 \leq w_L/I_p$ の BMS は、 w を保持する能力が大きい。よって、BMSL の拘束状態を保てば、塑性体を保持する能力も大きい。また、 $1.3 \leq w_L/I_p$ であれば、締固め度(D_c)=80%～95%条件で、 w が w_{opt} 以下の乾燥側においても、Bt の膨潤能力で $k \leq 1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ の確保が可能となる。日本法規準を強化した New standard の初期値とは、閾値を超え尚かつ $1.3 \leq w_L/I_p$ が得られる Bt Content である。

4. まとめ

BMSL の施工で、性能と品質を得るための、目標の初期値である Bt Content を求めた。日本法規準では、 $k \leq 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ であれば、この Bt Content が初期値である。日本法規準に従った一般的な事例では、

①閾値(threshold)を超えた Bt Content と、②閾値未満の Bt Content と、③ $k \leq 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ に最も近い、必要最小限の Bt Content の三種類がある。ただし、日本法規準に従った一般的な事例では、三種類の Bt Content のどれを採用したかは、把握できない。日本法規準を強化した New standard では、閾値を超え尚かつ $1.3 \leq w_L/I_p$ が確保できる Bt Content が初期値である。性能は $k \leq 1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 尚かつ $q_c \geq 1,200 \text{ kN/m}^2$ である。今後の課題は、各々の Bt Content に適合した施工品質保証(CQA)と施工品質管理(CQC)手法を構築することである。これが、BMSL の CQA 並びに CQC の体系化につながると考えられる。

参考文献 1)水野克己・嘉門雅史・星野 實・氏原康博(2003)：最終処分場におけるベントナイト混合土の品質管理と性能評価事例，土と基礎，地盤工学会，Vol51, No.8, pp.30-31 2)Kenny, T.C. et al.: Hyd. cond. of comp. bentonite-sand mixtures., an. Geo. J., vol.29, 364-374(1992) 3)P.F.Low: Nature and Properties of Water in Wontmorillonite-Water Systems, Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 43, 651-658, (1978)

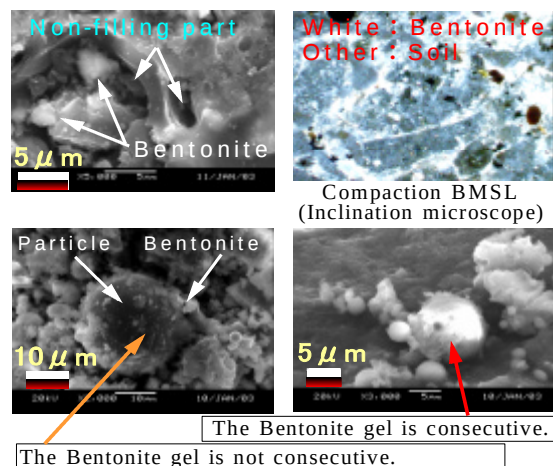


図-3 閾値未満(左上)と閾値を超えた配合(右下)

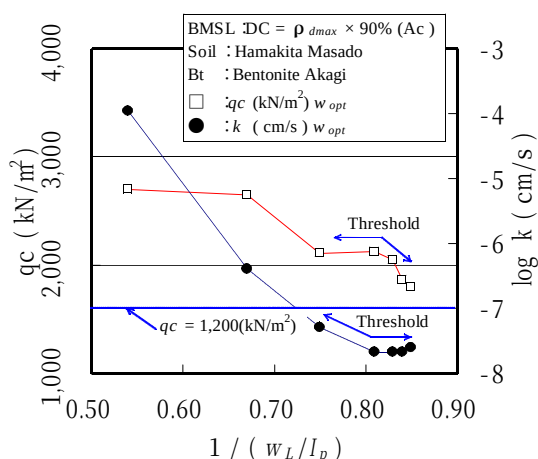


図-4 w_L/I_p と k 並び q_c の関係

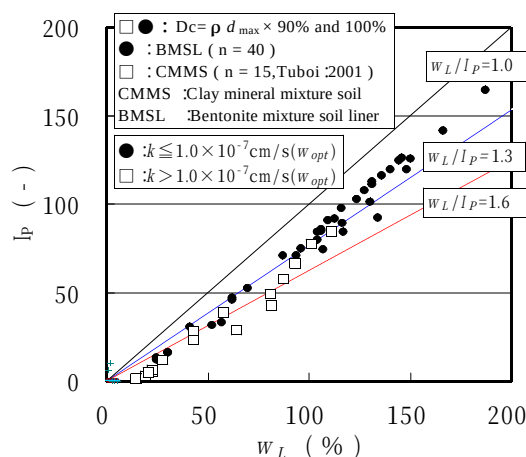


図-5 鉱物ライナーとBMSLを塑性図に示した図