

火山灰を用いたベントナイト混合土の凍結による凍上特性

凍結 凍上 ベントナイト

(株) ホージュン 正 水野 克己 正 岡田 朋子
 (財) 地域地盤環境研究所 正 本郷 隆夫 正 髷田 孝宏
 (財) 地域地盤環境研究所 正 福田 光治 正 加藤 豊

1. はじめに 最終処分場の遮水構造である三要素複合ライナーは、寒冷地において凍結による凍上の影響が考えられる。このため三要素複合ライナーの主要構成材料であるベントナイト混合土を用いて設計施工するためには、凍結による凍上特性の把握が必要である。著者らは、火山灰を用いたベントナイト混合土の凍結による凍上特性の研究を行った。本論では、屋内と屋外試験施設を築造し凍上の計測を行い、2000年11月2日～2001年4月13日までの計測結果から解析を行った。また、自然地盤と凍上特性の比較を行ったので、その結果を報告する。

2. 屋外試験施設と屋内試験施設の概要 試験施設は、北海道旭川市の山間部に位置し、理論最大凍結深さは148cm¹⁾である。屋内試験施設と実規模屋外試験施設を構築し、地中温度並びに保護層(砕石と保護土)と三要素複合ライナーの主要構成材料であるベントナイト混合土の凍上量を計測した。図-1に屋内試験施設断面図を示す。屋内試験施設(A-1, A-2 各 2.5m×2.5m)は、屋根で覆われているが外気と通風できる構造である。A-1は、三要素複合ライナーを想定した断面である。A-2は、三要素複合ライナーに、ス멕タイト系コロイド溶液を組み合わせた多要素複合ライナーである。またA-2の三要素複合ライナーに用いられているベントナイト混合土は、周辺地盤からの地下水浸透を遮水シートにて遮断されている。図-2に屋外試験施設断面図を示す。屋外試験施設(E-1)は、高さ5m、法面延長約16m、法面勾配1:3の実規模大の遮水構造であり、冬季には積雪がある。

(1) 保護土とベントナイト混合土の特性 使用した火山灰を用いたベントナイト混合土は、液性限界146.14(%)と高粘性であり土質はCHに分類される。保護土とベントナイト混合土いずれも、粒度分布による凍上性の判定では、凍上性は比較的小さい土質²⁾であった。

3. 解析結果 屋内試験施設(A-1, A-2)と屋外試験施設(E-1)から得られたデータから解析を行った。

(1) 凍上量および凍結深度 図-4に屋内試験施設(A-1)における、深さ10cmごとの氷点0以下の累計時間を示す。砕石層の深度方向の勾配が無いことから、砕石の間隙が大きく外気と連動していることが判る。また、保護土と比較してベントナイト混合土は、0以下の時間数が少なく深度方向に急激に勾配が減少している。これは、不織布と遮水シートとGM/GCLで、ベントナイト混合土が、水平方向に遮断され温度伝達しにくいのが原因だと推察される。図-3に、試験施設(A-1, A-2)における、深さごとの氷点の0到達時間を示す。保護土中の0移動時間は、深さ方向にほぼ直線的に増加する。深度100cm以下のベントナイト混合土では、勾配が緩やかになり0の氷点移動が遅れる。なお、メチレンブルー凍結深度計で測定した結果は、最大凍結深度は

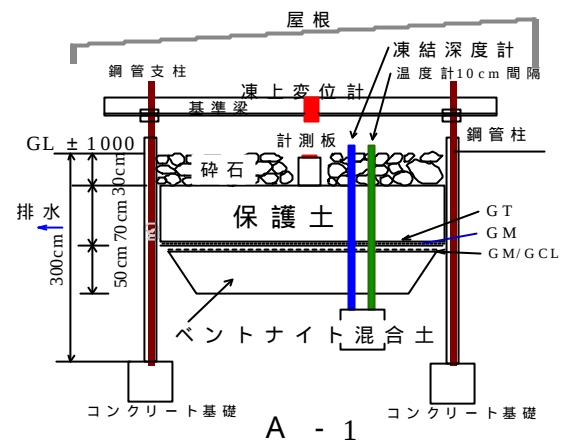


図-1 屋内試験施設断面図

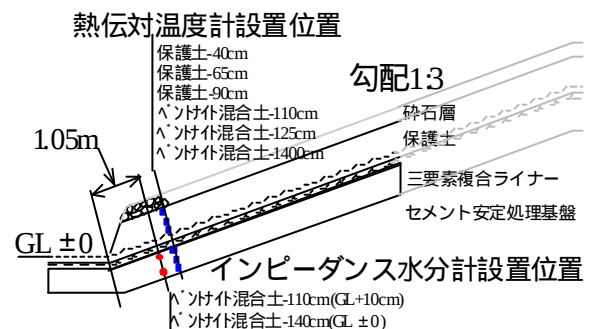


図-2 屋外試験施設断面図

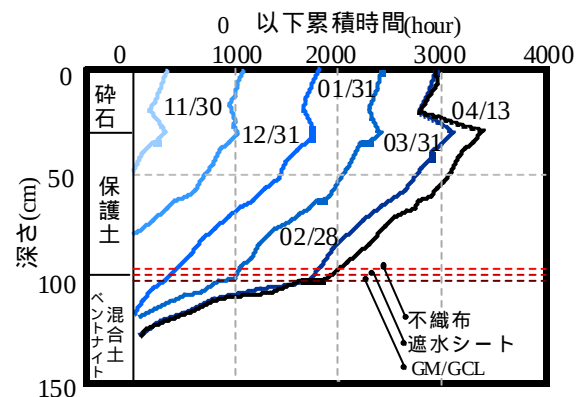


図-3 氷点0以下の累計時間(A-1)

The frost heave characteristic by the freezing of bentonite composite soil using the volcanic ash.

K, MIZUNO & T, OKADA · HOJUN · CO., LTD, Y, KATO & T, HONGO & M, FUKUDA & T, KONDA · Geo-Research Institute.

120cm であり、今回計測された氷点到達深さとよく一致した値であった。図-4 に凍上量と外気温度(A-1,A-2)の関係を示す。凍上は、外気温度が単調に低下する 2001 年 1 月末まで連続し、それ以降は地盤内部の温度低下に伴う凍上現象に依存する傾向を示す。全体に占める凍上量は前者が約 6 割、後者が 4 割程度の比率である。

(2) 温度勾配 図-5 に屋内試験施設(A-1)と屋外試験施設(E-1 積雪有り)の地中温度分布、図-6 に保護土とベントナイト混合土の温度勾配を示す。11 月中頃に、外気温度は 0 以下を記録した。屋根で覆われた屋内試験施設(A-1)は、地中温度勾配が顕著に発生した。外気温度が低下する 2 月末まで、温度勾配は 0.08 /cm とほぼ同じ傾向を示した。しかし、外気温度の上昇とともに温度勾配が小さくなり、3 月以降の温度勾配は 0.02 /cm を示した。屋外試験施設(E-1)では、11 月の温度勾配は約 0.06 /cm と最大勾配を示し、12 月末に積雪量が 50cm 越える状態となると降雪の影響により温度勾配は 0.03 /cm と小さな値を示した。これは融雪する 4 月中旬まで続いた。

(3) 凍上ひずみおよび凍上速度 表-1 に、試験施設(A-1, A-2)における保護土 70cm とベントナイト混合土 50cm の凍上ひずみおよび凍上速度を示す。ただし、砕石層は凍上しないので、それより深い 120cm 部分の値を示す。A-1 より通気性の良い A-2 は、最大凍上ひずみ $\varepsilon=2.7\%$ を凍結初期に示した。保護土全体が凍結した時期では、A-1, A-2 の凍上ひずみは $\varepsilon=1.1 \sim 1.3\%$ であり、ベントナイト混合土の凍結による凍上が小さいため全凍結層では、凍上ひずみは $\varepsilon=0.8 \sim 0.9\%$ と低下する値を示した。一方、全層とおして凍上速度は $v=1.38 \times 10^{-2} \sim 7.14 \times 10^{-3}$ (%/hour) であり、保護土のおおよその凍結速度は $v=4 \times 10^{-3}$ (%/hour)、ベントナイト混合土の凍結速度は $v=1.6 \times 10^{-3}$ (%/hour) でかなり遅くなる傾向を示した。

(4) 温度深度および比較定数 凍結指数と比較定数を算出するため、図-9 に示す計算式³⁾を用いた。凍結深度は $Z=120\text{cm}$ 、凍結指数は(A-1, A-2 平均) $F=734 \cdot \text{day}$ で、比較定数 α は 4.4 となり、凍上の小さな地盤と判断される。

(5) ベントナイト混合土と自然地盤 楊ら(2000)は、自然地盤の凍上特性を計測しており、ベントナイト混合土の解析結果と自然地盤の値⁴⁾を表-1 に示す。

4. まとめ 火山灰を用いたベントナイト混合土の凍上量は、1cm 程度と小さい値であった。また外気温度の低下に伴う地中温度分布や凍結深度などは、自然地盤とほぼ同じ挙動を示した。凍結に伴う凍上は、自然地盤の凍上量の約 1/10 の小さな値であった。

参考文献 1)上田ら：最大凍結指数と道路凍結深さに関する研究(2)，第 41 号技術報告集，地盤工学会北海道支部，pp. 107-112，2001。2)例えば：地盤工学会編：土の凍結—その理論と実際，pp. 117，1994。3)市川康明

：地盤中の熱伝導と熱輸送の数値解析，土と基礎，Vol. 37，No.11，pp. 81-91，1989。4)楊ら：自然地盤における土中温度勾配と凍上発生；第 35 回地盤工学研究発表会，pp. 607-608，2000。

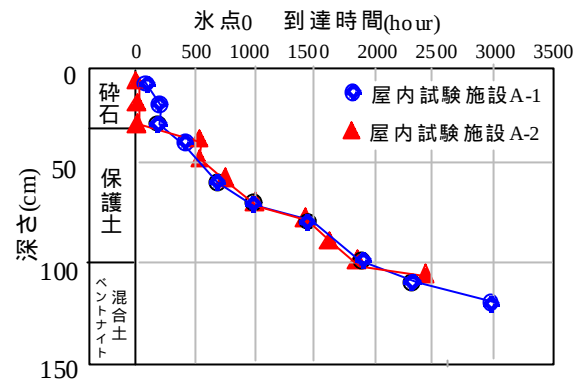


図-4 深さごとの氷点 0 到達時間(A-1, A-2)

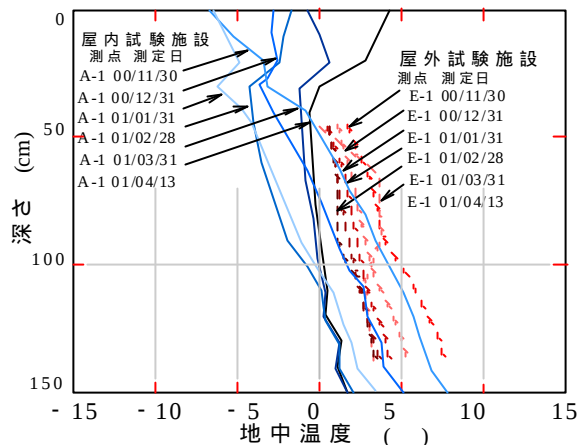


図-5 屋内試験施設と屋外試験施設の地中温度分布

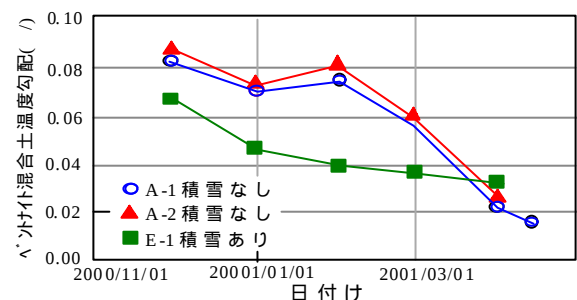


図-6 保護土とベントナイト混合土の温度勾配

計算式 $Z = \alpha \sqrt{F}$

Z : 凍結層深さ cm, α : 比例定数, F : 凍結指数
(日平均気温 0 以下の値を積算したもの)

α の値は凍上が大きい場合 2~3, 小さい場合 4~5

図-9 温度深度計算式

表-1 ベントナイト混合土と自然地盤比較

項 目	ベントナイト混合土	自然地盤
凍結深度計による凍結速度 (cm/day)	1.1	1.0
0 の移動速度 (cm/day)	0 ~ 0.019	0 ~ 0.25
最大凍上量 (cm)	1.0	10.4
温度勾配 (°C/cm)	0.02 ~ 0.08	0 ~ 1.00
最大凍結深度 (cm)	120.0	76.3
凍結指数 (°C・day)	743.0	786.2