モンゴル試料土の凍上沈下室内実験

京都大学大学院工学研究科 学生会員 〇 坂田 和仁 京都大学大学院工学研究科 正会員 大島 義信 (株精研 技術本部 保司 正会員 上田

1. はじめに バイカル湖北部のコビクタガス田からわが国までを結ぶ天然ガス パイプラインの建設が検討されており、モンゴル国を通過するルートが候補の一つ に挙がっている. このルートにおいて、地盤の凍結・融解に伴う凍上・沈下がパイ プラインに与える影響を検討する目的で、モンゴル国から試料土を採取して、室内 凍上・沈下実験を行った.

 2. 試料土と実験方法 試料土はモンゴル国ウランバートル近郊の地域から,不 撹乱状態で採取された.細粒土層(GL-0.2~1.2m)から採取された試料土Aおよび砂 混じりレキ質細粒土層(GL-1.2~4.0m)から採取された試料土Bについて、凍結速度 一定方式の開式凍上・沈下実験1)を、拘束応力 σ1 および凍結速度 U を様々に変化 させて行った.また、試料土Bについて、拘束応力の1を0.1MPa、凍結速度Uを 1mm/h で一定として、凍結融解を5回繰り返した実験も行った。図1に試料土の粒 径加積曲線を示す.

3. 実験結果 凍結膨張率をおよび解凍沈下率く、(凍結前より沈下した場合を負 とする)について、図2に凍結速度U≒1mm/hとして拘束応力σ1を変化させた場合 を,図3にσ1=0.1MPaでUを変化させた場合をそれぞれ示す. 試料土AおよびB とも、 ξ は σ_1 が大きくなるほど、またUが速くなるほど、小さくなる. 一方、 ζ s にはこうした σ1 および U への依存性は見られず, A および B ともにほぼ一定値で あった. 図4に凍結融解履歴回数と凍結膨張率をおよび解凍沈下率く。との関係を 示す. とはほぼ一定値を示しているが、く、は凍結融解の繰り返しによってマイナ ス側からプラス側に転じており、沈下量が減少する.

4. 考察

一般に細粒分(粒径75μm以下)が多い土ほ (1)日本の土との凍上特性の違い 凍上性は大きいと言われている.図5は、細粒分と日本国内試料土の凍結膨脹率ξ との関係を示したもの²⁾である.同図に記入した今回のモンゴル土AおよびBを日

15

5

0

-5 ζ_s

0

凍

張

率

ξ.

解凍

い収縮率

(%)

結 膨 10

本の土と比較すると、A およびB は細粒分 が多い割に凍結膨張率が低い領域に属する ことがわかる.

過去の基礎研究から、拘束応力σ1および凍 結速度Uと凍結膨脹率 & との関係は次の実験 式(1)で表される¹⁾.

$$\xi = \xi_0 + \frac{\sigma_0}{\sigma_1} \left(1 + \sqrt{\frac{U_0}{U}} \right) \qquad (1)$$

ここでξ0, σ0, U0は, 試験により求まる土 固有の定数である.凍結速度Uが一定の 図4 凍結融解履歴回数とξおよびζ。の関係

凍土, 凍上, 解凍沈下, モンゴル土の凍上特性, 凍結融解履歴

〒606-8216 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 都市環境工学専攻 複合構造デザイン分野 TEL:075-753-4791

試料土B

 $\sigma_1 = 0.1 \text{MPa}$

U≒1mm/h

 \cap

1

0

2

凍結融解履歴回数

Ο

3

ξΟ

ζ. 🔳

C

4

100 通 過質量百分率 80 Ĥ 60 40 20 (%) 0 0.001 0.01 0.1 粒 谷 100 10 1 径 (mm) 図1 粒径加積曲線 15 凍 試料土A 結膨 Ê \cap 試料土B 10 Ο 張率 試料土A ٢ 試料土B \wedge ξ 5 U≒1mm/h 0 解 0 凍沈 0 ۸ 下 Δ 率 -5 ζs 0.3 0.5 0 0.1 0.2 0.4 (%) 拘束応力 σ_1 (MPa) $\sigma_1 と \xi および \zeta_s の関係$ 図2 20 凍 ● 試料土A 結膨 試料土B 15 張 率 ▲ 試料土A 10 ξ s∆ 試料土B 解 5 6 凍沈下 Ō $\sigma_1 = 0.1 \text{MPa}$ \bigcirc 0 Δ Δ 率 -5 ζs (%) 0 4 6 8 10 凍結速度 U(mm/h) 図3 Uと ξ および ζ の関係 80 日本の試料土 \cap モンゴル試料土A 凍 結 60 モンゴル試料土B 膨 張 40 率 ξ (%) 20 0 5 0 20 40 60 80 100

細粒分

図5

(%)

細粒分とその関係

場合,実験式(1)は1/g1の関数として式(2)で表わされる.ここで,Cは定数である.図6に示すように試料土AおよびBと もに式(2)の成り立つことが確認される. σ」が一定の場合、ξは1/√Uの一次関数として、式(3)で表される.式(3)では、右辺 第1項と第2項の分子とが定数になる。図3を整理して、図7に1/√Uときの関係を示す。 きは1/√Uの一次関数ではあるも

のの, σ₀および√U₀が負になり, これまでの日本の土 $\xi = \xi_0 + \frac{C}{\sigma}$ (2)とは異なる結果となる. その原因としては今回の試料土 が実験式(1)の適用範囲から外れていること, $\xi = \left(\xi_0 + \frac{\sigma_0}{\sigma_1} \right) + \frac{\sigma_0 \sqrt{U_0}}{\sqrt{U}}$ (3)粘土鉱物が日本の土とは異なることなど が考えられる.また、細粒分と間隙率の関係を示した図8から、試料土AおよびBは 日本の土と比較すると細粒分が多い割に間隙率が低く比較的締まった土であり、物理 定数の相違の影響も考えられる.現段階では、これらの中からモンゴル試料土のσο およびU。が負になった原因を特定することはできないが、今後の検討課題としたい、

(2) 凍結融解履歴の影響 凍結膨脹率は、凍結融解履歴回数が増加すると小さくな って、やがて一定値に収束することが知られている³⁾.図4におけるとがほぼ一定値 を示すのは、現地での永年の凍結融解によるものと考えられる.

一方、解凍沈下率が凍結融解履歴の繰り返し回数の増加に伴ってマイナス側からプ ラス側に転じる理由として、以下のことが考えられる. 凍結中の吸水に伴う間隙水圧 の低下によって、凍結面前方の未凍結土の有効応力は増加する. 有効応力が圧密降伏 応力を超えると、未凍結土は圧密されて脱水が生じる⁴⁾. そこで、図9に示す段階裁 荷の圧密試験による e-logp 曲線から試料土の圧密降伏応力 P。を求めると、拘束応力 σ」=0.1MPaよりも小さく、実験開始時には正規圧密状態であったことがわかる. なお 現地土被り圧との比較から、試料土BのOCRは1.18程度である.一方、実験式(2)か ら実験中の凍結面低下間隙水圧を計算する5と図10になり、実験中、未凍結土の有効 応力が増加して上述の圧密が生じることがわかる. さらに、一回の履歴では圧密が完 了せず、履歴回数が増すほど圧密度が100に近づくため、沈下量が減少したと考え られる.したがって、地上での構造物建設などによって土被り圧が圧密降伏応力を 超えた場合、新たな解凍沈下が発生する可能性がある.

5. まとめ

- モンゴル試料土は、日本の土と比較すると凍上性の小さい領域に属していた。
- モンゴル試料土の凍上定数σ₀およびU₀は負になり、従来の日本の土とは異なる 傾向を示した.
- 現地において、地上での構造物建設などによって土被り圧を増加させた場合、新た な解凍沈下の発生に留意が必要である.

間

比

e

本研究は小野紘一京都大学名誉教授のご 指導の下行われた. ここに謝意を表する. また、本研究の一部は科学研究費補助金 (No.15404014)の補助を受けて行った. 文献 1)高志他(1974):雪氷, Vol.36, No.2,

1~20. 2)上田他(1999):第34回地盤工学会, 625~626. 3)高志他(1983):雪氷, Vol.45, No.3, 133~142. 4)山本他(1989):雪氷, Vo51, No.4, 275 ~284. 5) 高志他(1976):雪氷, Vol38, No.1, 1~10.





20

10

5

凍結膨 15

張率

ξ

(%)

ξ

間

隙

蓫

n

試料土A

U≒1mm/h

 \cap

試料土B

3-353