

## Segregation Potential 理論による原位置凍上量予測

## PREDICTION OF FIELD FROST HEAVE USING THE SEGREGATION POTENTIAL THEORY

福田 誠\*・小川正二\*\*・亀井健史\*\*\*

By Makoto FUKUDA, Shoji OGAWA and Takeshi KAMEI

In cold and snowy areas, road pavement is greatly damaged by frost heave in the ground.

This paper describes the measurement results of temperature, underground temperature, frost heaving, and soil profile obtained by field investigations (e.g. pit cutting and boring survey) at an elevation of 1750 m in the Kita Yatsugatake Tateshina lava plateau.

This study led to the conclusion that fairly accurate estimates of frost heave in the field can be obtained through the use of the Segregation Potential Theory by Konrad and Morgenstern. In addition, the soil profile at the site was recorded.

*Keywords*: soil profile, frost heaving, field investigation, Kita Yatsugatake

## 1. 緒 言

起伏に富む山岳地あるいは火山山麓地帯における凍上問題を扱う場合においては、高所山岳地の気象条件と相まって、凍上の対象となる地盤の地質、その固結状況、雨水および融雪水の浸透特性などの因子が凍上特性に関与してくる。さらにこのような山岳地に建設工事を行う場合、切盛施工に伴い地下水の流動挙動に変化をきたすなどの人為的要因も考慮する必要がある。これまで凍上機構の数理解析モデルが数多く提案されているが、これらのモデルを山岳地、特に火山山麓地帯に適用する場合には地形、地質上の因子を考慮し、凍上問題をある意味で「場」の問題としての確にとらえることが必要である。

著者らはこれまで、第四紀火山としての浅間山<sup>1)</sup>の南東麓付近での地盤を例にとりあげ、凍上対象層としての黒褐色火山灰層の堆積年代、固結状況、ならびに雨水の浸透特性などを地質学的見地から調査してきた。

現在は火山山麓付近における凍上問題を解明する目的

で、浅間山と同じ第四紀火山である八ヶ岳火山群の北部に位置する北八ヶ岳蓼科高原溶岩地帯、標高1750 m地点の地層を対象地域として同様の調査を行っている。

本報告では、凍上試験地付近の地形、地層構成の調査結果について述べ、さらに凍上対象層である腐植質ローム層の凍上特性を評価するために、Konrad Morgenstern<sup>2),3)</sup>の提唱した分離ポテンシャル理論の適用性について検討している。なお過去に分離ポテンシャル理論の原位置での適用例は、Nixon<sup>4)</sup>、福田<sup>5)</sup>らによって報告されているが、後述のように室内、原位置での実験が現在の計測技術では非常に困難であり、従来ではうまく説明できない凍上理論をアイスレンズ付近の水の吸排水速度と温度勾配との比として与えられる係数、分離ポテンシャル SP (Segregation Potential) を現地実験により算出し、その妥当性を検討し、そこから凍上量の実測値と計算値の比較検討を行った結果について述べる。

## 2. 凍上試験地の地形、地質

凍上試験地の位置する蓼科高原溶岩は全体として、輝石安山岩質の火砕岩からなっている。北八ヶ岳火山群を構成する蓼科山、横岳、縞枯山、および茶臼山などの溶岩円頂丘群の西側では、横谷峽溶岩との境を流れる渋川と蓼科山と横岳の間を沢づたいに流下する滝の湯川には

\* 正会員 工博 三井建設技術研究所主席研究員  
(〒270-01 流山市駒木 518)

\*\* 正会員 工博 長岡技術科学大学教授 建設系  
(〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1)

\*\*\* 正会員 工博 長岡技術科学大学助手 建設系(同上)

さまれた広域な緩斜面に分布している。

また溶岩の分布、層厚などからみて、蓼科高原溶岩は縞枯山、茶白山などの形成に伴って噴出されたものと考えられ、溶岩中に介在するかんらん石班晶の有無、量などに多少の変異性は認められるものの、年代的には普沢火砕流<sup>6)</sup>に対応しているものと考えられる。

地形的には、蓼科山、横岳が急峻であるのに対し、縞枯山、茶白山は比較的ゆるやかな地形を呈している。また緩斜面を構成している蓼科高原溶岩の分布する地域では、顕著な谷の発達認められないが、標高1400 m付近では数段の段差が地形図上でも容易に読み取れる。さらに、標高1700 m付近でも沢部において段差を認めることができる。他の場所では Fig. 1 に示す A 層および B 層などが蓼科高原溶岩を被っているため、明瞭にその段差を確認することはできない。

凍上試験地付近の代表的な地質は Fig. 1 に示すように、上位より A 層、B 層、C 層の 3 層より構成されている。

それぞれ次のような地質になっている。

A 層：含水量が多く、草根を多量に混入した腐植質ローム層

B 層：含水量が比較的小さく、層中に角礫の散在した礫混りローム層

C 層：蓼科高原溶岩

黒色を呈する A 層の腐植質ローム層は約 40～50 cm くらいの層厚で B 層である礫混りローム層上に広く堆積している。

B 層の下には、C 層としての蓼科高原溶岩が続いており、この溶岩は 30 cm～5 m 大の岩塊状を示すものを主としており、目視的に黒～灰色を呈し、全体としては緻密で多孔質なものであるが、ときに真黒色の溶岩状を示すものもある。また A 層および B 層の層厚は谷部において尾根部よりも比較的厚くなっており、地形的に差異が認められる。

Fig. 2 には凍上試験地での上層部の含水比、および粒度組成の分布を示しており、凍上対象層としての A 層では含水比が 100～120 % と高くなっているが、B 層の含水比は 20 % 前後と低く、層中 2.0 m～2.1 m に不透水性の火山灰質粘土層が存在している。この含水比の分布は層中において一様ではなく、自然地盤では層中に多数存在する水みちや草根などにより含水比の高い箇所が局部的に存在する。このような状況は浅間山南東麓付近の黒褐色火山灰層でも確認されている。

また、粒度分布をみると、B 層の 0.4 m～1.6 m 付近までは比較的粒度組成が類似しているが、1.8 m 付近で層中に大きな礫が介在している。

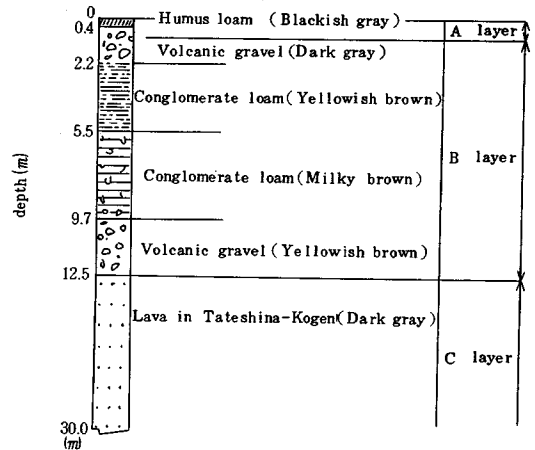


Fig. 1 Geological Features of Lava Region in Tateshina-Kogen.

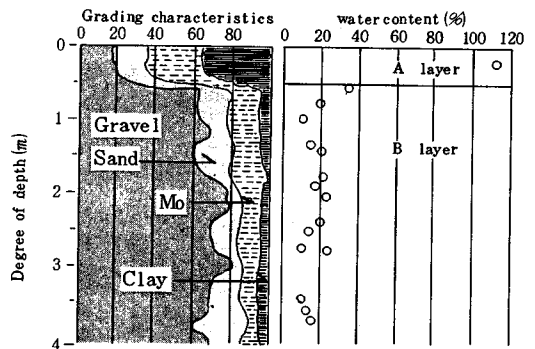


Fig. 2 Geological Features of Region to be Tested on Frost Heaving.

### 3. Segregation Potential Theory (分離ポテンシャル理論)

凍上機構の解析において、Harlan<sup>7)</sup> が初めて熱と水の結合した流れモデルを提案した。このモデルは不飽和状態で存在している凍結フリンジ内の不凍水は Darcy 則に従って流れるとした、いわゆる Mechanical Analysis の立場をとっている。

一方、Kay & Gronevelt<sup>8)</sup> は非可逆過程の熱力学によって、凍土中の水分移動を温度条件が異なる場での物質移動とみなす Energy Dissipation Analysis の立場と上述の Mechanical Analysis の両者の考え方をとり、凍土中の水流は液体流と蒸気流の 2 つの流れによるとしている。

これらの理論では、凍土の透水係数と不凍水分流の温度関数式が必要となる。しかし、これらの諸量の解明にはまだ問題点が残されており、現時点では凍結時の透水係数を直接測定できる方法も確立されておらず上記理論

の実際への適用を困難にしている。

この問題点を克服するうえで Konrad & Morgenstern<sup>2),3)</sup> は凍土の透水係数や不凍水分量などの凍結フリンジでのミクロ的指標を凍結フリンジ内の平均透水係数  $k$  (overall permeability of the frozen fringe) と、最終アイスレンズができるときの分離凍結温度  $T_{so}$  (segregation-freezing temperature) という2つのマクロ的指標で置き換えた。つまり、熱流が定常状態に近くなる最終アイスレンズ生成期においては、アイスレンズ付近での水の吸排水速度  $V$  とアイスレンズ付近の温度勾配  $\text{grad } \theta$  の比として定義づけられる分離ポテンシャル  $SP$  (segregation potential) が凍結土の重要な特性を支配することを式 (1), (2) の形で示した。

$$V = SP \cdot \text{grad } \theta \dots \dots \dots (1)$$

$$SP = \left| \frac{\phi - \phi_u}{T_{so}} \right| K_{ro} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $\phi$  はアイスレンズ付近のサクシオン、 $\phi_u$  は凍結～未凍結境界部でのサクシオン、 $T_{so}$  は分離凍結温度、 $K_{ro}$  は凍結フリンジ内の平均透水係数である。式 (2) に示すように分離ポテンシャル  $SP$  は凍結フリンジの透水係数  $K_{ro}$  と分離凍結温度  $T_{so}$  の関数形で表わされる量で、これは吸排水速度  $V$  とアイスレンズ付近の温度勾配  $\text{grad } \theta$  を、測定すると容易に算出できる。

また式 (1) の関係は、式 (3) に示す Freden<sup>9)</sup> の提唱した水分移動速度  $V$  と温度勾配  $d\theta/dZ$  の関係式に対応するもので、式 (3) における比例定数 ( $k \cdot C_{ice}$ ) は Konrad & Morgenstern<sup>2)</sup> によって分離ポテンシャル  $SP$  という形で理論づけられた値と同意である。

$$V = k \cdot C_{ice} (d\theta/dZ) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $k$  は透水係数、 $C_{ice}$  は氷点降下温度とサクシオンの関与する定数である。

式 (1), (2) は熱流が定常状態となったとき、つまり最終アイスレンズ生成時の関係式であるが、これを非定常問題にまで拡張した場合、任意の時刻  $t$  における吸排水速度を  $V(t)$ 、アイスレンズ付近の温度勾配を  $\text{grad } \theta(t)$  とすると、分離ポテンシャル  $SP(t)$  は式 (4) で与えられることが Konrad & Morgenstern<sup>2)</sup> によって提示されている。

$$SP(t) = V(t) / \text{grad } \theta(t) \dots \dots \dots (4)$$

彼らは式 (4) の  $SP(t)$  がアイスレンズ付近のサクシオンと凍結フリンジの冷却速度に影響されるパラメーターであることを凍上特性曲面を用いて説明し、さらに式 (4) を用いて図-3 に示すような熱流が非定常状態にある最終アイスレンズ形成までのリズムックアイスレンズの機構を説明している。すなわち、図-3 に示すように高温側の温度を  $T_w$  とし、低温側の温度を  $T_c$  とし凍結フリンジの温度分布を  $T_{so}$  とする。

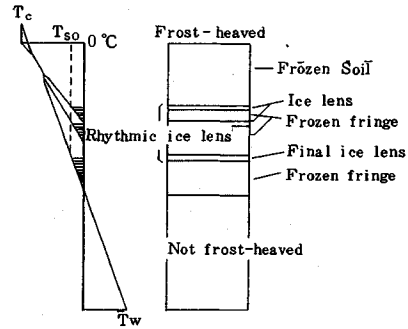


Fig.3 Type Diagram of Rhythmic Ice Lens.

式 (4) 中の吸排水速度  $V(t)$  より任意の時間  $t$  における地盤の凍上量  $H(t)$  は次式で表わされる。

$$H(t) = (1 + \Gamma) \int_0^t V(t) dt + \Gamma (n_o - n_u) \int_0^t U dt \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 $\Gamma$  は水の凍結膨張率、 $n_o$  は土の全容積含水率、 $n_u$  は不凍水の容積含水率、 $U$  は凍結フリンジ付近の凍結速度である。

式 (5) の右辺の第1項はアイスレンズに吸い寄せられる水の凍結膨張量であり、第2項は土中における自由水の凍結膨張量である。

#### 4. 分離ポテンシャル理論の原位置凍上量予測への適用上の問題

Nixon<sup>4)</sup> は前項に示した分離ポテンシャル理論を原位置での凍上量予測に適用し、対象土質としての Calgary Silt の分離ポテンシャル  $SP$  を Konrad & Morgenstern<sup>2),3)</sup> によって室内実験で求められた  $SP$ ～上載圧チャートより推定している。しかし、室内実験による  $SP$  を原位置凍上量予測へ適用する場合、原位置の地質条件や計測技術との関係で、まだ多くの問題が残されている。

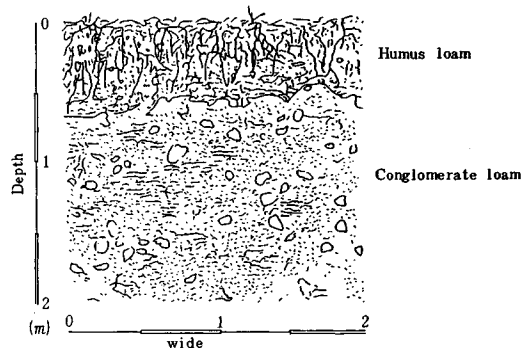


Fig.4 Sketch of Layers to be Frost-Heaved in Kita-Yatsugatake.

図—4には原地盤の一例として蓼科高原の溶岩上に堆積する角礫の散在した礫混りローム層と含水比が高く、草根を多量に混入した腐植質ローム層よりなる地質断面を示してある。

室内実験で求めた分離ポテンシャル  $SP$  をこのような原位置に適用するうえの問題として、次のようなことがある。④小さな供試体を用いる室内試験では図—4に示すような凍上対象層としての腐植質ローム層の複雑な地層構成を代表し得ない。⑤地質が一様でないため、最終凍結面を想定した試料のサンプリングも難しい。さらに、分離ポテンシャル  $SP$  に関与する凍結フリンジの冷却速度、あるいはサクシオンを原位置の条件に適合させた状態で再現試験を行うことが困難である。

また、野外調査を行うにしても凍結時における土壌水分の計測法自体にも問題がある。これまで野外における土壌水分測定は農業の分野で広く行われており、主にテンシオメーター法、誘電恒数法、電気抵抗法、中性子線法、および熱伝導度法などが使用されている。しかし、これらの水分測定法は実験条件の整った室内実験ではその有効性が確認されているが、野外における自然地盤への適用に際しては、土の粒度、乾湿状態、水中水分の塩類、溶液濃度、温度などの影響を受けるため、対象とする地盤に最も適した測定法を決定することが難しい<sup>10)</sup>。

これに対し、現位置での凍上量  $H$  と地温  $\theta$  の計測は上述のような室内実験あるいは野外での水分測定上の問題を回避でき、かつ自然地盤を乱すことなく容易にできる。Freden は室内実験によって凍上速度  $V_h$  とアイスレンズ付近の温度勾配  $\text{grad } \theta$  との間には明瞭な線形関係があることも確かめている<sup>9)</sup>。ここで式 (6) で表わされる比例定数  $SP_f$  は、式 (1) の分離ポテンシャル  $SP$  に対応し、広義の意味での分離ポテンシャルと考えられる。

$$SP_f = V_h / \text{grad } \theta = (dH/dt) / \text{grad } \theta \dots\dots\dots (6)$$

式 (6) において凍上速度  $V_h$  と吸排水速度  $V(t)$  は厳密には区別されるべきもので、式 (5) を時間  $t$  で微分するとその関係が得られる。

$$\frac{dH(t)}{dt} = V_h = (1 + \Gamma) \left\{ V(t) + (n_o - n_f) \frac{\Gamma}{1 + \Gamma} U \right\} \dots\dots\dots (7)$$

上式より凍上速度  $V_h$  は、吸排水速度  $V(t)$  と凍結速度  $U$  との和の形で表わされる量であることがわかる。

5.  $SP_f$  による凍上量と実測値の比較

本項では、前項 2. に記した凍上対象層としての腐植質ロームの分離ポテンシャル  $SP_f$  を算出するとともに、このパラメーター  $SP_f$  を介して原位置における凍上量の予測を行う。

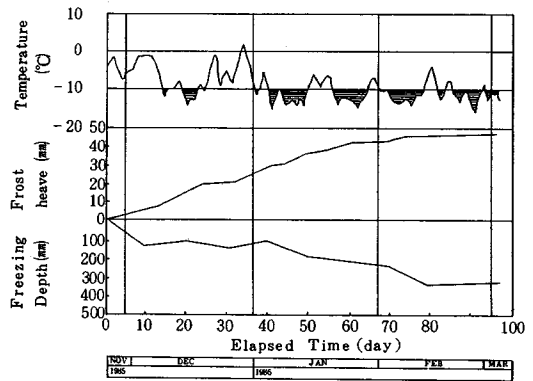


Fig. 5 Variation of Daily Average Temperature, Frost Heave, and Freezing Depth with Elapsed Time in the Field (November 26, 1985–March 3, 1986).

原位置では気温、および地表面下、5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 250 cm での地温を1時間おきに連続記録し、凍上量はレベル測量により1日1回の割合で行った。実験期間は、1985年11月26日から1986年3月3日までの冬期で、測定期間中地盤上の雪は排除し、無雪状態を維持した。

凍上試験地での日平均気温、および凍上量、凍結深の経時変化は図—5に示したとおりであり、気温は12月上旬から中旬にかけていったん低下し、その後下旬にかけてしだいに上昇しているが、1月から再び急激に気温が降下し、その後は3月までおよそ  $-10^{\circ}\text{C}$  前後を維持している。なお、この間の2月10日に  $-22.5^{\circ}\text{C}$  の最低気温を記録した。

凍上量は、12月上旬から中旬の凍上初期において 20 mm を記録したが、12月の後半は気温の上昇に伴っていったん停滞した。1月に入り再び一定の凍上速度で凍上量が増加し、2月以降はほとんど横ばい状態を示している。その後3月3日に、最大凍上量 47 mm を記録した。一方、凍結深は2月上旬まではゆるやかに増加して2月19日に最大凍結深 38 cm を記録し、凍結面はほぼA層とB層の境界に達した。

凍上速度  $V_h$  の経時変化は図—6に示すように、12月から1月上旬にかけては寒暖の変化に伴ってローム層上部の凍結融解作用によって変動は大きいですが、1月中旬以降は変動幅もしだいに小さくなっている。このように  $V_h$  の変動は凍上初期には大きく、野外において  $V_h$  の経過により小さくなることはほかにも報告されている<sup>5)</sup>。

いま本実験期間中の  $V_h$  の変化を図—6の点線で示すように近似すると式 (8) が得られる。

$$V_h = 1.79 \exp[-0.027 t] \times 10^{-5} \dots\dots\dots (8)$$

また、アイスレンズ付近の温度勾配については、その

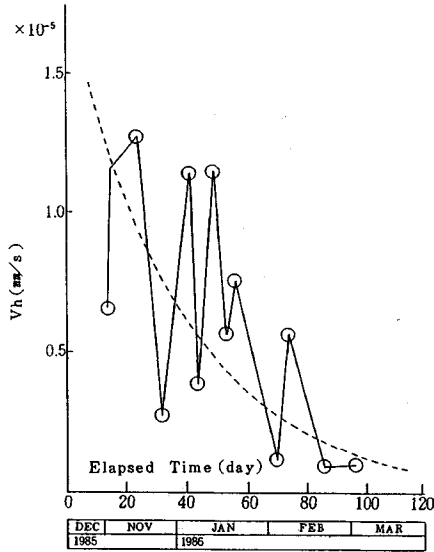


Fig. 6 Variation of Frost Heaving Rate  $V_h$  with Elapsed Time (November 26, 1985~March 3, 1986).

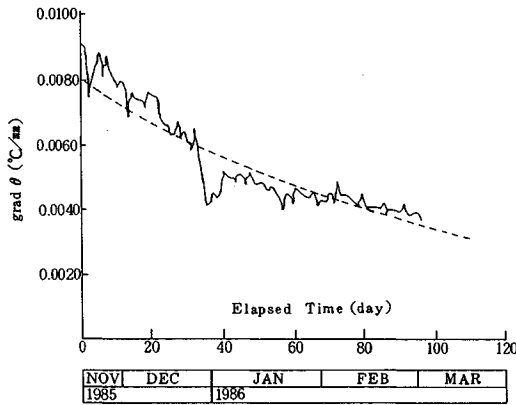


Fig. 7 Variation of in Temperature Incline  $\text{grad } \theta$  with Elapsed Time (November 26, 1985~March 3, 1986).

位置を確認することは難しいので地中に埋設した温度計の測定値より地温分布を求め、地温が $0^\circ\text{C}$ となる深さでの勾配  $\text{grad } \theta$  で近似した。その経時変化を示すと図-7のようになり、12月下旬の気温の上昇に伴う  $\text{grad } \theta$  の急激な低下を除いては、一冬を通じて多少の変動を繰り返しながら  $\text{grad } \theta$  は減少していくことがわかる。この経時変化も凍上速度  $V_h$  と同様に図-7の点線で示すように次式の指数関数で近似する。

$$\text{grad } \theta = 0.008 \exp[-0.009 t] \dots\dots\dots (9)$$

このように原位置測定値より求めた  $\text{grad } \theta$  と式(8)より算出した凍上速度  $V_h$  の関係を求めると図-8の○印のようになる。いまこの関係を一次線形回帰式で近似すると次式を得る。

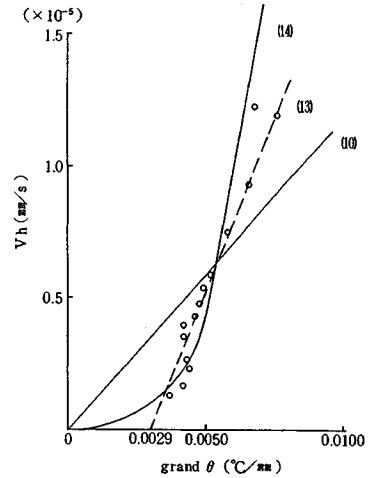


Fig. 8 Relationship between Frost Heaving Rate  $V_h$  and Temperature Incline  $\text{grad } \theta$ .

$$V_h = (117 \times 10^{-5}) \text{grad } \theta \dots\dots\dots (10)$$

上式は実測値に対して寄与率として0.95と強い正の相関が認められるが、図-8をみると両者の一次線形回帰においては切片の存在が予想される。この違いは原位置計測上の問題、分離ポテンシャル理論での吸排水速度  $V(t)$  と式(7)で示される凍上速度  $V_h$  と実測値の差、あるいは分離ポテンシャル理論では、凍結フリンジ内の特性のみを主因子とし、土質の差異に伴う問題を考慮していないなどの点が考えられる。式(10)の比例定数を、式(6)で表わされる分離ポテンシャル  $SP_f$  と考えるとおよそ次の値となる。

$$SP_f = 117 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2/\text{s} \cdot ^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (11)$$

なお Nixon<sup>4)</sup> の引用している Konrad & Morgenstern<sup>2),3)</sup> の室内実験による Calgary Silt の分離ポテンシャル  $SP$  は、無拘束圧下でおよそ  $220 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2/\text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ 、Devon Silt で  $110 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2/\text{s} \cdot ^\circ\text{C})$  前後であり、実際本凍上試験地での腐植質ロームの分離ポテンシャルは Devon Silt に比較的近い値を示している。

なお、長野県清里、蓼科における  $SP_f$  はそれぞれ  $15 \times 10^{-5}$ 、 $39 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2/\text{s} \cdot ^\circ\text{C})$  である。

式(9)の関係を式(10)に代入し時間  $t$  で積分すると、次の指数関数で与えられる凍上量 ( $H$ ) を予測する式が得られる。

$$H = a(1 - \exp[-bt]) \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 $a$ 、 $b$  は本腐植質ローム固有の定数を示すことになり、 $a = 89.626$ 、 $b = 0.009$  である。一方図-8に示す実測値の関係より

$$V_h = (224 \times \text{grad } \theta - 0.65) \times 10^{-5} \dots\dots\dots (13)$$

となる。

また、式(8)、(9)より単に  $t$  を消去すると

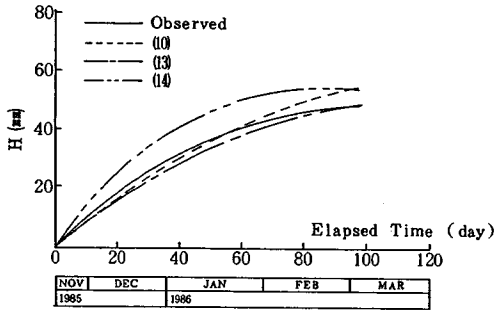


Fig. 9 Comparison of Calculated Values and Field Measurements of Frost Heave (November 26, 1985~March 3, 1986).

$$V_h = 34.9 \times (\text{grad } \theta)^3 \dots\dots\dots(14)$$

となる。

式 (13), (14) に式 (9) をそれぞれ代入して積分すると

$$V_h = (224 \times 0.008 \times e^{-0.009t} - 0.65) \dots\dots\dots(15)$$

$$H = 172 \times (1 - e^{-0.009t}) - 0.56 t \dots\dots\dots(16)$$

$$V = 1.79 \cdot e^{-0.027t} \times 10^{-5} \dots\dots\dots(17)$$

$$H = 57.1 \times (1 - e^{-0.027t}) \dots\dots\dots(18)$$

となる。

式 (12), (16), (18) より求められる腐植質ロームの凍上量の予測値と実測値の比較結果を図-9に示した。

式 (6) で表わされる比例定数  $SP_f$  を用いて求めた凍上量を示す式 (10), (13), (14) の値は図-8において大胆な近似を行っているにもかかわらず実測値とほぼ一致している。

なお、本腐植質ロームにおける凍上は、アイスレンズ下部への間隙水の凍結によることを示唆している。本試験地では地下 10 m くらいまでは明瞭な地下水位面が検出されていない。これらの地域の凍上は下方の地下水から水の供給によるのではなく、A 層あるいは B 層中に存在する局所的に含水比の高い箇所からの水の補給が生じているためと考えられる。

このような凍上対象層としての火山灰層の含水状態および雨水、融雪水の浸透特性を解明するうえでの一例として、過去に浅間山南東麓付近における黒褐色火山灰層の浸透特性を原位置浸透実験により検討した。ただし、注水溝の大きさは地盤中に深さ 1.5 m, 横 1.0 m, さらに約 1.5 m 離れた地盤中に深さ 1.0 m, 横 1.0 m, 縦 1.0 m の観測孔を設けた。この結果、黒褐色火山灰層中において水は一樣に浸透せず、最初に層中に多数存在する水みち、および草木の根に沿う間隙を通して湧出し、その後これらの水みち周辺に浸透水が広がっていく様子が観察された。

この浸透現象の局所性は火山砂層、あるいは火山砂礫

層の固結状況による不透水性とも相まって、黒褐色火山灰層中において含水量の大きい箇所が存在することを示唆しているものと思われる。

このような地盤の浸透問題を水みちとなる大きな空隙中 (macropore) の重力のみを受ける流れと、毛管力による土の微細構造内 (micropore) の流れの 2 つに分けて扱うことを Germann & Beven も提唱している<sup>12)</sup>。特に凍結にかかわる地下水補給層の局所性の問題には、凍上対象層における融雪水の浸透性、あるいは不透水層の介在等も関与することになり、総合的に解明するには今後の研究に待たれる点が大である。

### 6. 結 論

北ハヶ岳蓼科高原溶岩地帯での地層構成を調査するとともに、凍上対象層としての腐植質ロームの分離ポテンシャル  $SP_f$  を評価し、その凍上量の予測を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 地質が一樣でなく、地層構成が複雑な火山山麓地帯の凍上予測に分離ポテンシャル理論を適用する場合、地表面の凍上速度  $V_h$  と地盤中の地温分布での地温  $0^\circ\text{C}$  付近の温度勾配  $\text{grad } \theta$  との比として求められるパラメーター  $SP_f$  を広義の意味での分離ポテンシャル  $SP$  とした方が、原位置での地層構成を考慮した凍上量の予測には実用的である。

(2) 本凍上試験地における腐植質ロームの分離ポテンシャル  $SP_f$  より無拘束圧下でおおよそ以下に示す値であることが判明した。

$$SP_f = 117 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2/\text{s} \cdot ^\circ\text{C)}$$

(3)  $SP_f$  による凍上量の予測値と現場の実測値が比較的良好に適合した。

このことより工学的な立場から考えると分離ポテンシャル理論は凍上量予測のために十分利用できることが確かめられた。

謝 辞：最後に本研究をまとめるにあたり、データの整理や解析をしていただいた三井建設 (株) 技術研究所 桜田良治氏、凍上量の計測をしていただいた東京土木支店横岳作業員の所員に厚く感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 荒牧重雄・下鶴大輔・山下 済：浅間山，自然災害特別研究成果，No. A-56-1, pp. 50~87, 1981.
- 2) Konrad, J. M. and Morgenstern, N. R. : A Mechanistic Theory of Ice Lens Formation in Fine-grained Soils, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 17, pp. 473~486, 1980.
- 3) Konrad, J. M. and Morgenstern, N. R. : Prediction of Frost Heave in the Laboratory during Transient Freezing, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 19,

- pp. 250~259, 1982.
- 4) Nixon, J. F. : Field Frost Heave Predictions using the Segregation Potential Concept, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 19, pp. 526~529, 1982.
  - 5) 福田正己 : Segregation-Potential 概念を用いた野外での凍上量の予測, *日本雪工学会秋季大会講演予稿集*, No. 206, 1983.
  - 6) 河内晋平・北沢和男・小林武彦 : ハケ岳北西山麓の火砕流堆積物—ハケ岳火山列・円頂丘形成期の火山活動(1), *地質*, Vol. 73, No. 3, pp. 130~150, 1967.
  - 7) Harlan, R. L. : Analysis of Coupled Heat-Fluid Transport in Partially Frozen Soil, *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 5, pp. 1314~1323, 1973.
  - 8) Kay, B. D. and Groenevelt, P. H. : On the Interaction of Water and Heat Transport in Frozen and Unfrozen Soils : I. Basic Theory, The Vapor Phase ; II. The Liquid Phase, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Vol. 38, pp. 395~404, 1974.
  - 9) Freden, S. : Mechanism of Frost Heave and Its Relation to Heat Flow, *Proc. 6th ICSMFE*, 1, pp. 41~45, 1969.
  - 10) 矢部勝彦 : 土壤水分の測定法, *土壤の物理性*, Vol. 41, pp. 90~93, 1980.
  - 11) 木下誠一編著 : 凍土の物理学, 森北出版, 1982.
  - 12) Germann, P. F. and Beven, K. : Kinematic Wave Approximation to Infiltration into Soil with Sorbing Macropores, *Water Resources Research*, Vol. 21, No. 7, pp. 990~996, 1985.

(1987. 12. 18・受付)

# 土木情報処理の基礎

## —FORTRAN 77 に即して—

土木情報システム委員会 編  
教育問題小委員会

B5判 350ページ 定価 3300円  
会員特価 2900円 (〒350円)

本書は、次のような方針で編集されています。

- FORTRANの使用を中心とした土木情報処理の入門書とする。
- 例題は土木の各分野に関連のあるものを使用する。
- FORTRAN言語の文法については、実際に使用する範囲を中心に《文法のまとめ》として巻末にまとめ、例題の解釈やプログラミングの際に随時参照しやすい形とする。このテキストによる教育終了後も、実際の仕事としてプログラミングを行う際の参照にも耐える内容とする。



本書の主要な構成要素の概要は次の通りです。

### 基礎プログラミング：

#### ●基礎-2.1~2.5

簡単な問題をまず自分で解くことによって、コンピュータやFORTRANによるプログラミングに慣れることを第一の目的としている。プログラム構造は主プログラムのみの単一構造で構成されている。ここまでの例題を理解することによっても、実際に現われる問題の多くをFORTRANを利用することにより解決することが可能である。

#### ●基礎-2.6

基礎-2.1~2.5の例題に現れるFORTRAN文法項目を中心としてFORTRANの文法を取りまとめ、FORTRANによるプログラミングの基礎についてわかりやすく概説する。

#### ●基礎-2.7~2.13

FORTRANのより高度な機能を用いる例題によって、書式制御、配列、プログラムのモジュール化、文字処理、ファイル処理、倍精度計算、複素数の扱いについて示す。

### 応用プログラムⅠ：

FORTRAN文法の基礎を習得した上で、各種の問題解決をはかるときに現れるデータ処理の方法、各種数値解析手法およびプログラムテクニックが含まれる比較的簡単な例題を取り上げる。

### 応用プログラムⅡ：

土木各分野での問題解決を目的とした応用プログラムを中心に、実際の研究・業務でも使用されることのあるようなプログラム例を集め、実際問題への適用事例を通して、土木分野での情報処理の一端を紹介する。

### 《文法のまとめ》：

JIS-FORTRAN X3001-1982(上位水準)の内容を、プログラミング時に頻繁に参照される範囲を中心に参照しやすい形にまとめ、プログラミング作業時に際しての便をはかる。

本書の基礎プログラミング編は、情報処理初心者を対象とした教育で使用されるテキストとして企画しましたが、応用プログラム編には、実務での情報処理でも使用可能な高度な問題も多く収録されているので、それらを参照することは、ある程度FORTRANを理解し、実務を処理している技術者にとっても十分参考になると考えていますので広くご利用下さい。



圧密解析ソフトパソコンに上陸!!

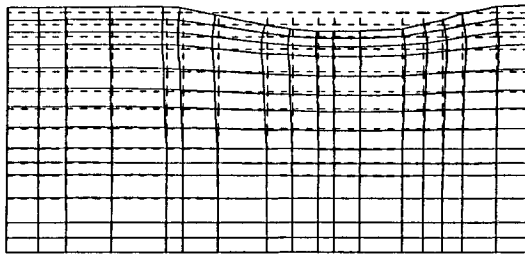
## 地盤の非定常圧密解析プログラム

# Mr. 圧密

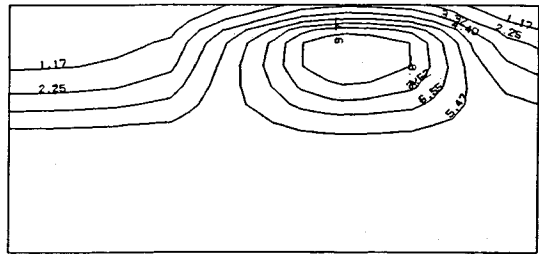
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケーリングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化処理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧コンター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

**CRC** センチュリリサーチセンター株式会社

大阪市東区北久太郎町4-68  
(06-241-4121)担当:岩崎・榊原

## 〈Mr.SOIL 無償提供のご案内〉

おかげさまで、弊社も創立30周年を迎える事ができました。これもひと重に皆様のおかげと感謝しております。

記念事業の一つとして、日本の大学・高校・公共機関等で、地盤関係を研究されている研究者の方々に、Mr. SOIL を無償で提供させて頂き、研究の一助になれば幸いです。

**対 象：大学・高校・公共機関に従事する研究者**

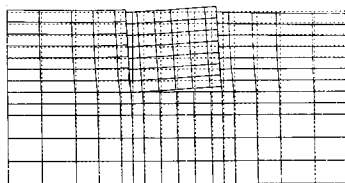
**申し込み期間：昭和64年1月～3月まで**

(ご提供は、昭和64年4月以降とさせていただきます)

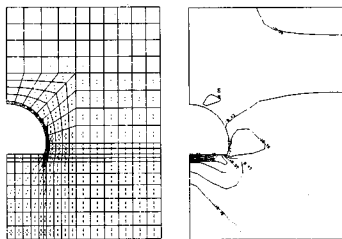
# Mr. SOIL Version-2.0

### 〈機能〉

- ・弾性及び弾塑性解析が可能
- ・掘削機能、盛土機能がある。
- ・地盤の不連続性や、構造物との相互作用が扱える。
- ・三角形要素、四角形要素、梁・棒要素、joint 要素の準備。
- ・大型モデルは、CRCネットワークでメインフレーム処理が可能。



不連続性を考慮した地盤と構造物の解析



トンネル掘削による応力ベクトル/コンター図

- ・地震荷重、分布荷重が扱える
- ・荷重の段階的載荷が可能。
- ・弾性解での安全率（モール・クーロン基準）評価。
- ・充実したグラフィック機能（変形図、応力ベクトル図、応力コンター図、拡大機能）

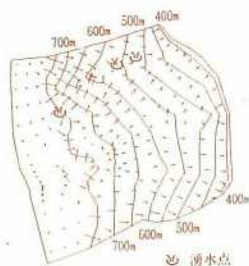
販売価格：64万円 機種：NEC PC-9801シリーズ, IBM5550  
150万円 機種：SONY NEWS, 他

# 地下水解析のことなら CRC

## 日本初!! 逆解析手法による 地下水変動解析プログラム

# UNISSF

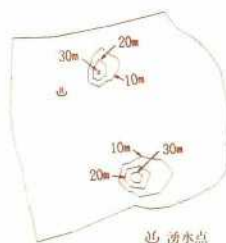
スピーディな同定・安価な解析



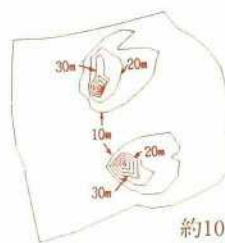
初期状態の地下水流



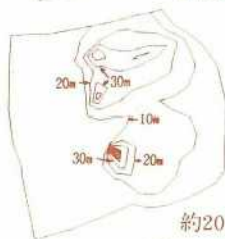
トンネル掘削開始直後



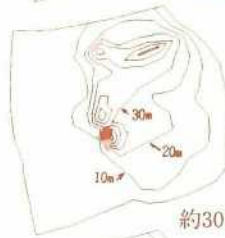
約4日後



約10日後



約20日後



約30日後



最終定常状態

特長 ○有限要素法による準3次元解析を中心とした地下水の流れのトータルシステムです。

○観測水位と計算水位より、非線形最小二乗法を用いて帯水層定数の同定が可能です。(逆解析手法)

○建設・土木工事(掘削・ディープウェルその他)の解析に対応する多くの機能を備えています。

○メッシュ・ジュネレータにより、モデル(要素分割)作成の手間を軽減できます。

○図化処理プログラムにより、結果の確認が容易に行えます。

機種: FACOM-Mシリーズ, HITAC-Mシリーズ  
IBM303X, 308X, 43XX, CRAY  
NEC ACOSシリーズ, DEC VAX11 他

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

## IPA 情報処理振興事業協会

## CRC センチュリリサーチセンター 株式会社

大阪市東区北久太郎町4-68  
(06-241-4121) 担当: 岩崎、中屋

昭和三十七年五月二十八日 第三種郵便物認可  
昭和六十二年十一月十五日 印刷(毎月一回)  
発行(二十日発行)  
土木学会論文集

○ 土 木 学 会 論 文 集 ○

定 価 一 五 〇 〇 円