

## フィンランドでの凍上に関する国際シンポジウムに参加して

青山清道\*

### International Symposium of Frost in Geotechnical Engineering in Finland

by

Kiyomichi AOYAMA

#### I はじめに

筆者はフィンランドのサリセルカ (Saariselkä) で開催された、土質工学における凍上に関する国際シンポジウムでの論文発表と、西ドイツのカイザースラウテルン大学 (Universität Kaiserslautern) での講演を主目的として、1989年3月8日～4月3日まで主として上記2ヶ国に滞在した。

1988年～1989年にかけてのヨーロッパの冬は異常気象による異常高温で、北極圏に位置するサリセルカの町でも、会議期間中の日中温度はプラスを記録し、“500年ぶりの暑さ”(500年前の正確な気温を誰も知らないところがミソ)というジョークが出るほど暖かであった。

ただし、3月8日の成田空港は降雪にみまわれて出発便が1時間以上遅れたし、帰路、4月2日のモスクワのシュレメチボ空港は積雪のため一時閉鎖され、除雪作業が完了するまで、フランクフルト発のSU577便は降雪の中を郊外の国内空港に3時間以上待機させられた。

雪にはじまり雪に終わった今回のヨーロッパへの出張、ここでは、国際会議の様子とフィンランドの道路の凍上対策について写真での事例を示しながら簡単に御紹介したい。

#### II 凍上に関する国際シンポジウム

フィンランドは、だいたい北緯60度から70度まで、東経20度から32度までの間に位置しており、国土の約3分の1は北極圏にある(図-1)。

気温は寒冷で南の首都ヘルシンキでも夏の7月で平均気温15～17℃、冬は川湖沼、沿岸が氷結する(写真-1)。

フィンランドの冬は南部で5ヶ月、北部にあっては6ヶ月以上にも及び、雪は200～300mmの水盤となって道路を覆う。気温が最低となるのは一般に、1月から2月の変わり目であり、南部で-15℃、北部で-25℃になる。日平均気温が0℃以上となるのはタンペレ (Tampere) で4月上旬である。

このような寒冷気候を背景に、この国では国際土質学分類 (I.G.C.: International Geotechnical Classification) のSの項目である、雪と氷の力学及び工学 (Snow and Ice Mechanics and Engineering) が重要視されている。特に、

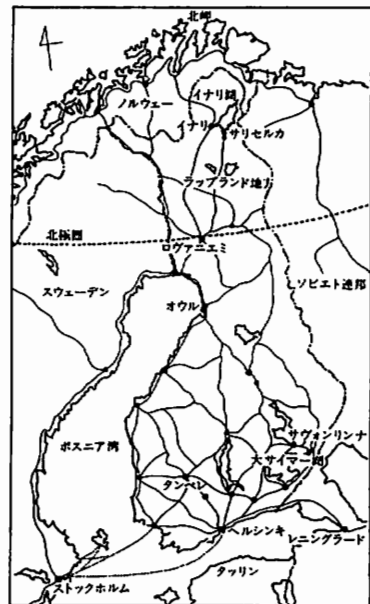


図-1 フィンランドの主要道路略図

\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

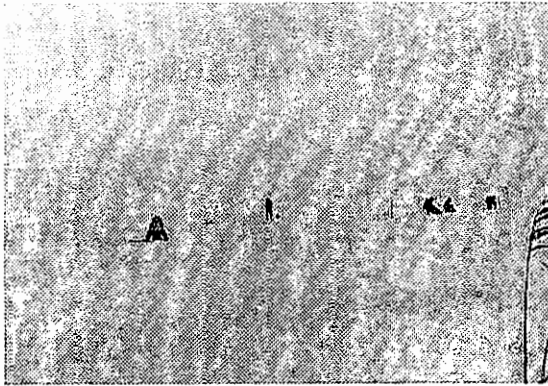


写真-1 ヘルシンキ市内の凍結した湖面に穴をあけての魚釣り  
(通常の年は自動車の通行も可能である)

表-1 国際シンポジウムの国別参加者数

国名	参加者数	発表論文数
オーストリア	1	
カナダ	1	2
デンマーク	5	
西ドイツ	4	2
フィンランド	77	15
フランス	2	1
日本	20	10
オランダ	2	1
ノルウェー	3	1
ポーランド	6	6
スウェーデン	12	5
スイス	1	1
アメリカ	5	5
ソ連	15	14
計	154	63

道路や鉄道の建設、保守に伴って生じる凍上と雪氷対策は主要な研究課題であり、現場に密着した研究姿勢と土質調査の重視などはその伝統である。

国際会議は3月13日～15日にかけて北極圏のリゾート地であるサリセルカのホテル、リエコンリナで開催され、さらに、会議終了後16日～18日に水力発電所の工事現場見学等のPost Conference Toursも用意されていた。この会議で扱われた地盤の凍結、凍上は、季節凍土(Seasonal frost)のみを対象としており、人工凍結(Artificial freezing)は含まれていない。

国際シンポジウムへの参加者数と発表論文数は3月9日までの登録済みのリストによると表-1の通りである。

人口約500万人のフィンランドにとって77人の研究者、技術者が出席するという事は、会議のシンボルマークが凍上により建物が傾いている図案(写真-2)が如実に示しているように、いかに凍上対策がこの国にとって切実な研究課題であるかが判る。

日本からの参加者は主催国フィンランドに次いで多く、元国際土質工学会会長の福岡正巳東京理科大学教授、木下誠一北大名誉教授、久保宏北海道開発局開発土木研究所所長などを含む21名で、10編の論文発表があった。

研究論文の発表は、次の3氏の特別講演の後に4つの分科会にわかれて行われた。

- 1) 土の凍結・融解機構, ラダニエ(Ladanyi) 教授(カナダ)
  - 2) 土の凍上機構, アンダーソン(Anderson) 博士(アメリカ)
  - 3) 設計・施工法での凍上対策, ノーダル(Nordal) 教授(ノルウェー)
1. 第1分科会: 土の凍結・融解における熱的・物理的性状
- 基調講演: フレモンド(Fremond) 教授(フランス), ルナルディニ(Lunardini) 博士(アメリカ)
- 一般論文: 20編



写真-2 国際会議での論文発表の様子  
(演壇のシンボルマークは凍上により建物が傾いている図案)

2. 第2分科会：土の凍結と凍上性

基調講演：ジェスベルガー（Jessberger）教授（西ドイツ）、サイライネン（Saarelainen）博士（フィンランド）

一般論文：12編

3. 第3分科会：土の凍上力による構造物の被害

基調講演：久保宏博士（日本）、チェンバレン（Chamberlain）博士（アメリカ）

一般論文：10編

4. 第4分科会：土の凍上作用に対する防止対策

基調講演：木下誠一教授（日本）、プーカン（Phukan）教授（アメリカ）

一般論文：10編

発表された論文はB5版で2冊の論文集（全部で946ページ）にまとめられており、個々の論文題目と著者については日本雪工学会誌に諸戸教授が報告（諸戸，1989）しているので参考にさせていただきたい。

著者は第4分科会で論文発表をしたが、他人の発表した論文を聞き、討論に参加し、知識を吸収することによって、今まで論文をとおしてのみしか知ることのできなかつた世界のトップレベルの研究者、技術者と同じ場でなごやかに一時を過ごすことができるということはすばらしいことである。夕食後はホテルの暖炉に白樺の薪をくべながら、トナカイの乾し肉をつまみにフィンランド産ウォッカを飲みながら、意見交換をし親睦を深めることができた（写真-3）。

次回の凍上に関する国際シンポジウムは3～4年後にアメリカのアラスカ州で開催するようプーカン教授が中心となって準備に入ることになった。

### Ⅲ 道路の凍上対策

フィンランドの国内のすべての地域において、冬期間には地盤が凍結し、凍上現象や融解期の軟弱化などいわゆる凍上災害が発生している。道路における凍上は、凍結が路床にまでおよび、路床土が凍結する時、凍結面に土中の水分が吸収され、アイスレンズが形成される。このアイスレンズの成長により凍上が発生し、舗装面に縦亀裂（写真-4）を生じさせる。このアイスレンズが春先に融けると、路床土の含水比を増加させ軟弱化の原因となる。3月～5月の融雪期において、地方道では重量車の通行禁止期間を

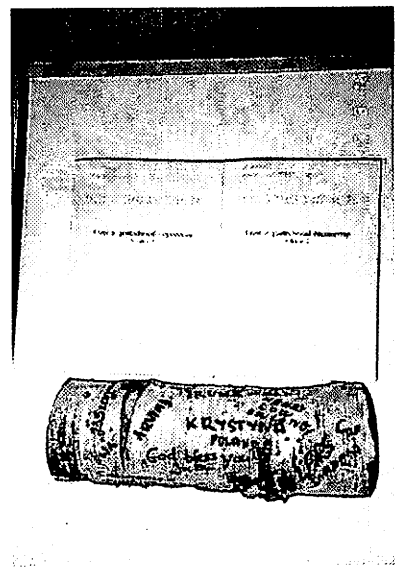


写真-3 国際会議の論文集と白樺の木に書いた参加者の寄せ書き



写真-4 凍上による舗装路面の縦断クラック（ヘルシンキ市内）



写真-5 埋設管工事終了後に難凍上性の砂を使って埋めもどし（ヘルシンキ市内）

定めているところもあり、通行禁止最大3ヶ月におよぶところもある。

道路上に積雪があると凍上災害は発生しにくいですが、フィンランドでも車社会が浸透している今日、完全除雪が行われているため雪の断熱作用が失われ、凍上による被害が拡大しているのも日本と類似している。

凍上作用を受けやすい土層がある場合には、不凍結層を設けなければならない。特に、ガスや水道管を埋設した場合には、その埋めもどし土には砂や碎石を使用し（写真-5）導管の凍上災害を防止している。フィンフォームと呼ばれる発泡スチロール系の断熱材（写真-6）も使用されているが、細骨材や粗骨材に比べて高価なことから重車両の通過する道路では耐久性に問題があるとして歩道の凍上防止対策に使用されている。

フィンランドの地盤は大まかにいって先カンブリア紀の花崗岩層と後氷河期の沖積層からなっている。岩層は一般にきわめて堅固であり、沖積粘土層はこれとは全く逆に軟弱層となっている。ヘルシンキやその近郊では、岩盤が地表面

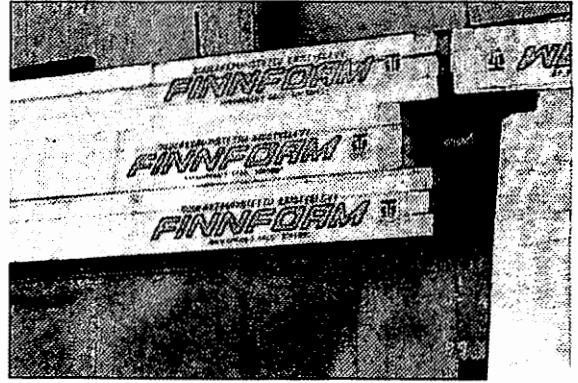


写真-6 フィンランドで使用されている発泡スチロール系断熱材



写真-7 岩盤が露出している地域の道路の拡幅工事（ヘルシンキ市内の冬期施工中の現場）

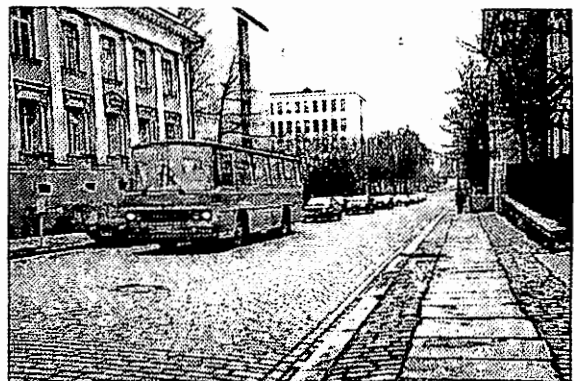
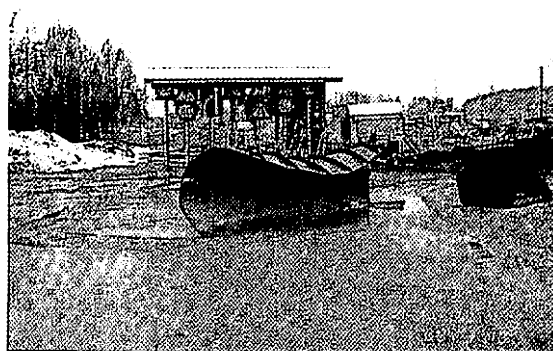


写真-8 ヘルシンキ市内の舗石舗装

に露出しているため、道路建設は岩との戦い（写真－7）である。岩は建設時にやっかいなものであるが、この石塊を使用した舗石舗装（写真－8）はヘルシンキ市内のアメニティをかもしだしている。冬期間の舗石舗装面の除雪をゴム製のスノープラウ（写真－9）で行っていたのも興味深かった。

フィンランドの建設業界も日本以上に通年施工が悲願になっており、最近至るところで冬期施工が実施されている。冬期土工の最大の研究課題は、一つは凍結・融解で、もう一つは土の中に雪や水が混入して土の含水比を高め、強度が著しく低下するのをいかに防止するかである。



写真－9 スノープラウの開発  
（フィンランド道路研究所）

#### IV お わ り に

凍上問題は、土の物理化学的性質ともかかわり、複雑な現象であり、これを完全に解明することは困難であるが、現象の理解とあわせて、土質性状や気象条件など基本的なデータを集めておく必要がある。凍上に関する研究成果は直接的にまたは間接的に実際に反映されてはじめて価値を持つものである。基礎的な研究とともに応用的な研究、すなわち現場の問題を十分に把握した上で、それを経済性まで加味して解決するための研究が常に求められていることを痛感させられた。わが国の負った資源小国という宿命を考えて、先端技術を活用した独自の発想により、これまで以上に頭脳と技術を生かした凍上防止工法の研究、開発に努力を傾注しなければならない。

#### 謝 辞

今回の出張にあたりいろいろお世話になった、新潟大学積雪地域災害研究センター教授 故大草重康先生、東京理科大学教授 福岡正巳先生、北海道開発局開発土木研究所所長 久保宏先生、同研究所道路部交通研究室 阿部芳昭室長（当時、在フィンランド日本大使館勤務）、在日本フィンランド大使館のタウスティさんに厚く御礼申し上げます。

短期間ではあったが密度の濃い御指導をいただいた故大草重康先生に本文を捧げ、深く感謝の意を表します。

#### 文 献

諸戸靖史（1989）：国際シンポジウム Frost in Geotechnical Engineering, 日本雪工学会誌, 11, 33-38