

岩石の凍上について

星 野

寔*

A Note on the Frost Heaving of Rocks

By Makoto Hoshino

まえがき

北海道においては軟質な泥質岩あるいは凝灰岩などの切土のり面の表層部が融凍期に剝落し、ときには流動化することがよく見られる。この原因の大部分は凍上作用である。また、トンネルの覆工コンクリートが凍上作用によって破壊された例もある。このためにこのような岩石に接して構造物を建設する場合には凍上性土質と同様に取扱う必要がある。一般に軟質で節理きれつなどの少ない第3紀層の泥質岩および凝灰岩ときには軟質な白堊紀層の泥質岩は凍上の危険性がある。しかし現在のところ凍上性岩石の簡易な判別法は開発されていない。

土の凍上を支配する要素は、土質、地中水および温度とされており、そのうち土質に関していえば、シルト分以下の微細粒子の存在が重要な役割を果たすし、また、初期含水比がその凍上量に影響することが明らかにされている。しかし、微細粒子（シルト分および粘土分）の含有量と凍上率の間、あるいは、初期含水比と凍上率の間に普遍的な関係は見いだしがたく、実際の凍上はきわめて複雑な現象の組合わせの結果として現われるものといわれている。

ここでは、岩石の凍上に伴う基礎的研究として地山において凍上した岩石および比較的軟質な堆積岩類および火成岩類について室内凍上実験を行ない、岩質と凍上率との関係について検討した。

なお、本報文を記すにあたり当所舗装研究室長久保宏氏には有益な御助言を頂いた。また実験にあたっては当地質研究室前田明氏の熱心な助力を頂いた。心から感謝するものである。

1 実験方法および試料

凍上実験装置は上部の冷却室と下部の給水槽からなっている。試料は高さ 3 cm、直径 8 cm のモールドに詰め、(写真-1 参照) 冷却室において上部から冷却し、ガーゼ、ポーラスストーンを通じて下部の給水槽から試料に水分が供給される。給水槽の水温は +4°C で冷却温度は -3°C である。凍上実験期間は 6 日間とし、試料は凍上実験前に 48 時間自由給水せしめた。試料は岩石をモールドの形に整形した固形試料と、土砂状ないし岩屑状のもの（これを岩屑

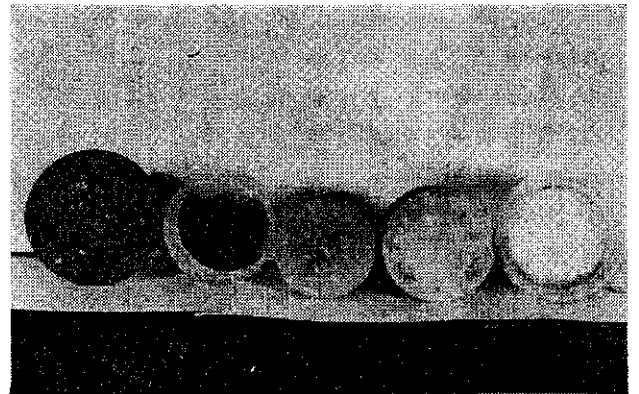


写真-1

試料と呼ぶ) の両者とした。

試料数は固形試料 123 個、岩屑試料 55 個である。固形試料の岩種別内訳は、新第3紀層の泥岩 29、砂岩 20、れき岩 3、凝灰岩 18、角れき凝灰岩 11、凝灰質泥岩 9、凝灰質砂岩 3、白堊紀層の砂岩 12、先白堊紀層の粘板岩 6、花崗斑岩 3、安山岩 3、流紋岩 3 および熔結凝灰岩 3 である。岩屑試料の岩種別内訳は、新第3紀層の泥岩 10、凝灰岩 12、角れき凝灰岩 3、凝灰質泥岩 3、白堊紀層の泥岩 3、頁岩 12、先白堊紀層の粘板岩 6 および熔結凝灰岩 6 である。

2 実験結果の概要

凍上試験結果の一部を表-1、~2 に示す。また凍上した状態の一例を写真-2 および 3 に示す。この写真に見るように、試験後の試料から凍結の状況を詳細に観察することができる。この凍結の状況は一般に①霜柱状凍結(霜柱氷層が大きく発達したもので、凍上量の大なるものはこの様式である。)、②霜降状凍結(氷晶が多数の細いレンズ~ちりめん状に発達したもの)および③コンクリート状凍結(分離氷晶の見えないもので、一般に非凍上性のものがこの様式である。)の三種に分類されており、ここでもこれにならって記載した。また凍上率は凍上量 Δl と原試料高 l の比 $\Delta l/l$ (%) で示した。

3 考 察

1) 凍上と岩種

固形試料 123 個のうち凍上したもの(霜柱状および霜降状凍結)が 53 個、凍上しなかったもの 70 個であった。また岩屑試料では全試料 55 個中 12 個が非凍上で他は凍上した(表-3 参照)。

* 地質研究室長

① 固形試料

新第3紀の泥質岩は1試料を除いてすべてその中一上部のもので固結度の低い軟質な岩石である。これらの試料はすべて凍上しその著しいものは100%以上の凍上率を示

し、氷晶はレンズ状に発達して試料はセンバイ状の薄片となった(写真-2, 3参照)。この泥質岩は凍結融解試験によれば数サイクルで泥土状となった。これを粒度分析した結果 砂分: 28.8% シルト分: 61.2% 粘土分: 10.0%

表-1 凍上試験結果その1(固形試料の1部)

岩 種	産 地	比 重		含 水 比 %		凍 上 率 %	凍 結 状 態
		乾燥状態*2	湿潤状態*2	試 験 前	試 験 後		
花 崗 斑 岩	戸 井 町	2.54	2.58	1.8	1.8	0	コ ン ク リ ー ト 状
流 紋 岩	〃	2.48	2.51	1.4	1.4	0	〃
日 高 層 の 粘 板 岩	層 雲 峽	2.71	2.74	1.1	1.1	0	〃
白 堊 紀 層 砂 岩	金 山	2.55	2.59	1.8	2.1	0	〃
白 堊 紀 層 砂 岩 (風 化)	奥 霧 立	1.93	2.42	25.6	28.4	16.9	霜 降 状
新 第 3 紀 層 砂 岩	小 平	1.81	2.09	15.8	30.8	16.3	微 細 霜 降 状
新 第 3 紀 層 泥 岩	稚 内	1.14	1.65	44.7	54.1	37.0	霜 降 状
新 第 3 紀 層 泥 岩	浦 幌	1.21	1.68	38.8	93.6	125.0	霜 柱 状
新 第 3 紀 層 凝 灰 質 泥 岩	〃	1.00	1.46	46.0	82.6	141.3	〃
新 第 3 紀 層 凝 灰 質 砂 岩	古 平	1.63	1.93	18.6	24.5	15.0	微 細 霜 降 状
新 第 3 紀 層 凝 灰 岩	江 差	1.00	1.30	56.6	64.3	11.3	〃
熔 結 凝 灰 岩	足 寄	2.36	2.42	2.6	2.7	0	コ ン ク リ ー ト 状
〃	富 良 野	1.85	2.12	14.5	24.2	17.0	霜 降 状

注 1 48時間 105°C で乾燥

2 48時間吸水

表-2 凍上試験結果その2(岩屑試料の1部)

岩 種	産 地	乾燥密度	湿潤密度	含 水 比 %		凍 上 率 %	凍 結 状 態
				試 験 前	試 験 後		
日 高 層 粘 板 岩	下 川	2.07	2.44	16.8	16.9	0	コ ン ク リ ー ト 状
白 堊 紀 泥 岩	日 高	1.96	2.29	17.1	26.9	37.5	霜 降 状
白 堊 紀 頁 岩	金 山	2.13	2.31	8.7	31.2	64.7	〃
新 第 3 紀 層 泥 岩	留 萌	1.30	1.75	35.0	60.8	50.3	〃
〃	稚 内	1.01	1.70	68.3	155.9	125.5	霜 柱 状
熔 結 凝 灰 岩	層 雲 峽 (胡蝶岩)	1.41	1.72	22.0	31.3	0	コ ン ク リ ー ト 状
〃	層 雲 峽 (大 函)	1.44	1.74	20.7	38.5	25.0	霜 陋 状



写真-2 凍上した泥岩

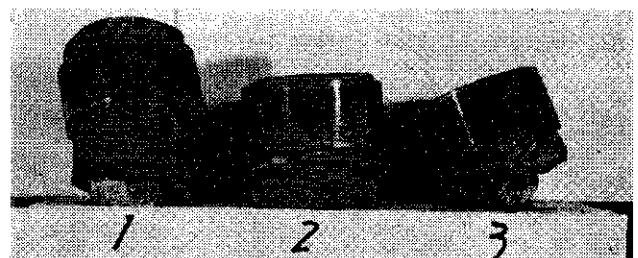


写真-3 凍上した泥岩

表-3 岩種別凍上試験結果

岩種	固 形 試 料		岩 屑 試 料		摘 要
	凍上したもの	凍上しなかったもの	凍上したもの	凍上しなかったもの	
新第3紀層 泥 岩	89.66	10.34	100.00	0	①は珪化している ②は風化同組粗なもの
新第3紀層 砂 岩	30.00	70.00			
新第3紀層 礫 岩	0	100.00			
新第3紀層 凝 灰 岩	66.67	33.33	100.00	0	
新第3紀層 角れき凝灰岩	0	100.00	100.00	0	
新第3紀層 凝灰質泥岩	100.00	0	100.00	0	
新第3紀層 凝灰質砂岩	55.56	44.44			
白堊紀層 泥 岩			100.00	0	②風化組粗
白堊紀層 頁 岩			75.00	25.00	
白堊紀層 砂 岩	8.33	91.67			
日 高 層 粘 板 岩	0	100.00	0	100.00	
花 崗 斑 岩	0	100.00			
安 山 岩	0	100.00			
流 紋 岩	0	100.00			
熔 結 凝 灰 岩	0	100.00	50.00	50.00	

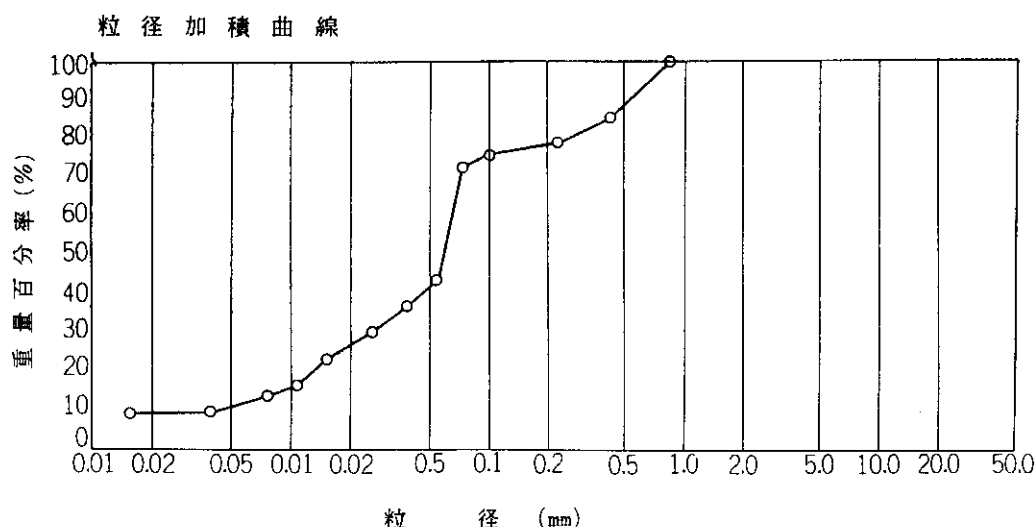


図-1 凍上した泥岩の粒度（浦幌産）

という結果を得た（図-1、粒径加積曲線）。

凝灰岩の試料は新第3紀中一上部のもので固結度の低い軟質のものであった。このうち細粒のものは凍上し比較的粗粒のものは凍上しなかった。凝灰質泥岩および凝灰質砂岩も軟質なものであり前者はすべて凍上し、後者は半数以上が凍上した。

白堊紀層の砂岩のうち凍上したものは風化の著しいものでこの中のきわめて微小なクラックに沿って氷晶が成長したものである。

このような実験結果から、新第3紀中一上部の固結度の低い泥質岩および固結度が低く、かつ細粒の凝灰岩は一般に凍上性岩石であるとしてもさしつかえないと考えられ

る。

③ 岩 屑 試 料

固形状態では凍上しない角れき凝灰岩、白堊紀層の泥岩および頁岩も岩屑状態では凍上するものがあるという結果を得た。また固形状態で凍上しなかった新第3紀層の凝灰岩を凍結融解試験によって岩屑状として再び凍上実験を行なった結果容易に凍上した。また凍上した試料を同様に処理して凍上実験を行なった場合には凍上率がきわめて大となった（固形状態で10%前後の凍上率のものが岩屑状態では100%前後の凍上率を示した）。固形状態では凍上しなかった熔結凝灰岩を同様の処理を行なった後凍上試験を実施した場合1試料は凍上し他の1試料は凍上しな

かった。凍上したものは低熔結細粒のものであった。

この実験結果は、岩盤の状態では非凍上性のものでもそれが長年の風化作用（この主力は凍結融解作用であろう）によって岩屑状に砕かれた状態では凍上性となる場合のあることを示唆するものである。

2) 凍上と岩石の比重および吸水量

図-2は比重（強制乾燥状態における見かけ比重）と凍上との関係を示したものであり、図-3は吸水量と凍上性の関係を、図-4および図-5は凍上率と比重および吸水量の関

係を示したものである。

図-2によれば一般に比重の小さいものは凍上性であり、比重の大きなものほど凍上しがたく、おおむね比重が2.0以上のものは凍上しないといえそうである。要するに比重からただちに凍上性岩石の判定はしがたいが、これから凍上しやすい岩石と凍上しがたい岩石のおよその見当はつけられよう。

図-3によれば吸水量の小さいものはより凍上しがたく、大きなものはより凍上性であり、吸水量10%以下のもの

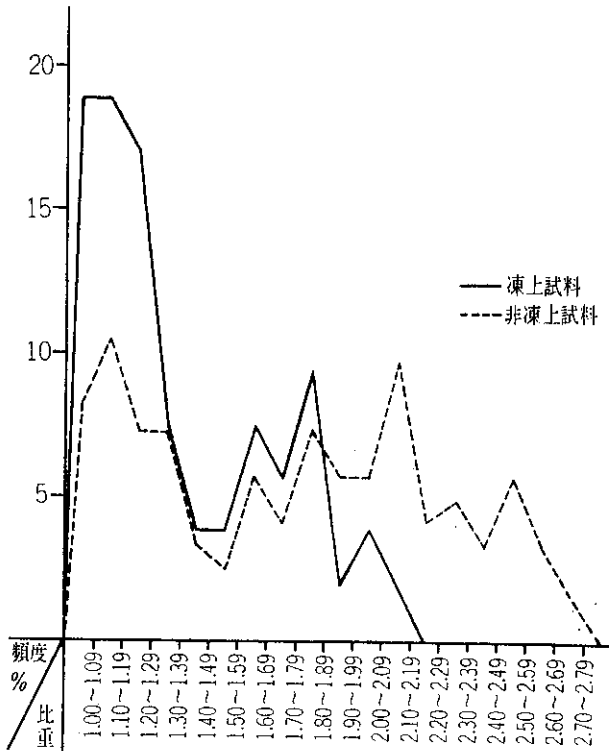


図-2 比重と凍上性（固形試料）

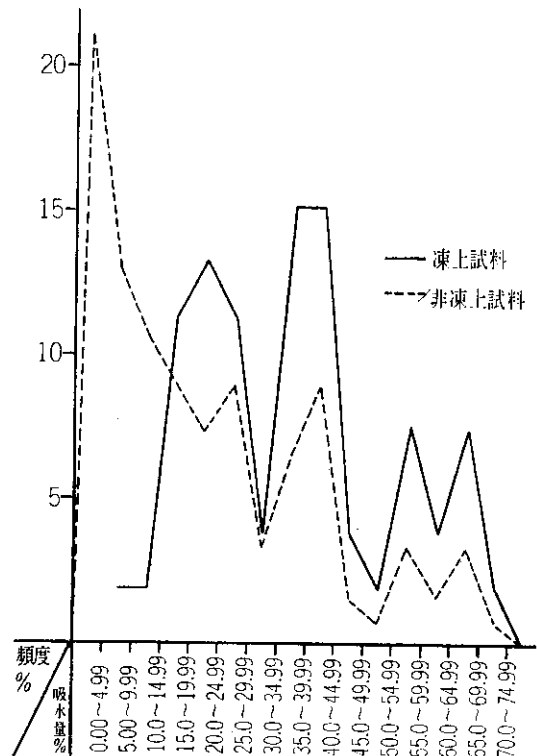


図-3 吸水量と凍上性（固形試料）

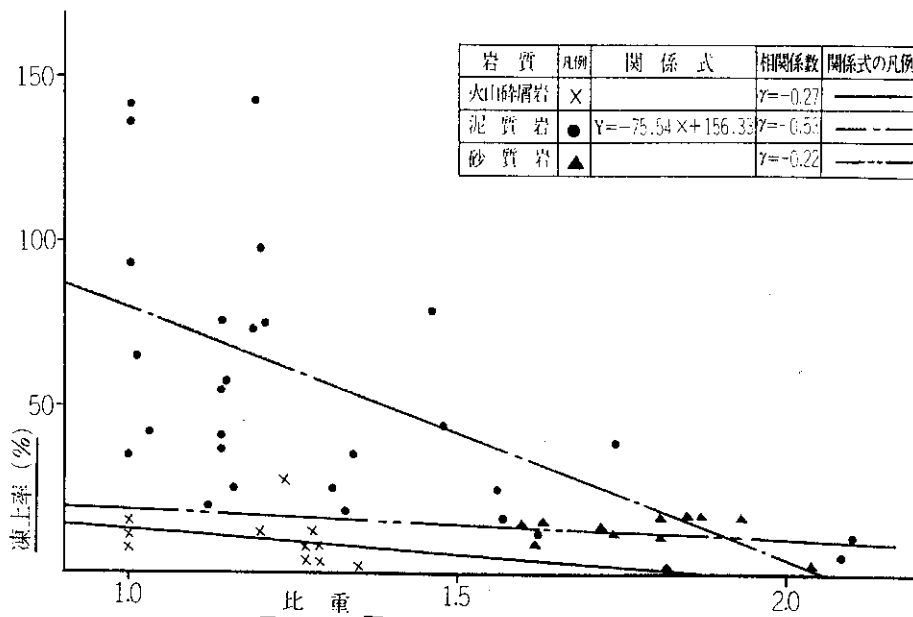


図-4 比重と凍上率（固形試料）

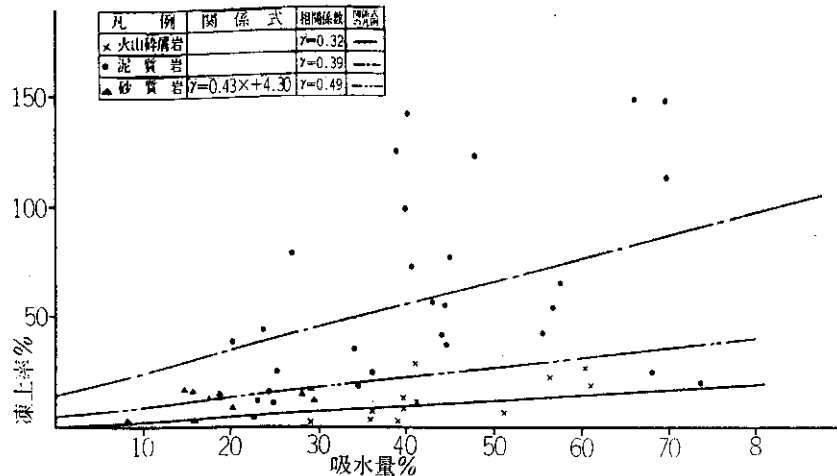


図-5 吸水量と凍上率（固形試料）

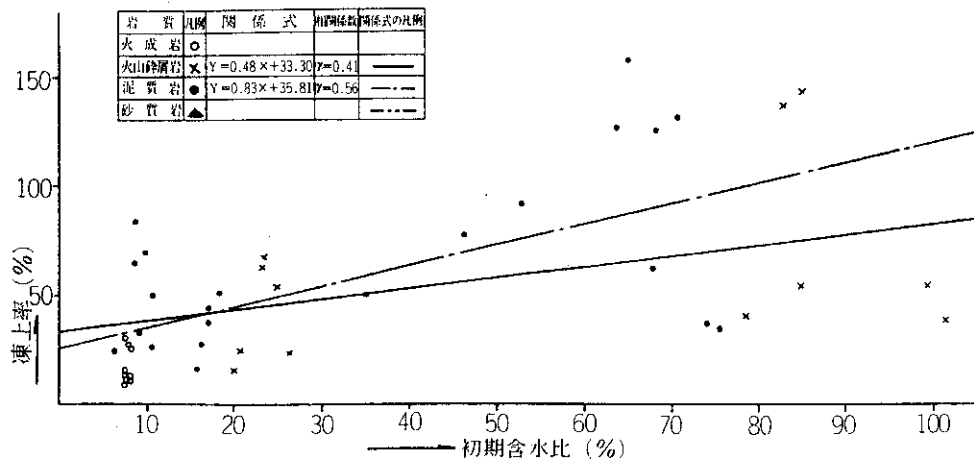


図-6 初期含水比と凍上率

はほとんど凍上しないといってもよさそうであるが、この場合も比重と同様に凍上性岩石のある程度の判定には役立つものと考えられる。

図-4, 5は比重および吸水量と凍上率の関係を示す。これによれば泥質岩においては比重と凍上率、砂質岩においては吸水量と凍上率においてある程度関係が認められるがその他ではあまり顕著な関係は認められない。

図-6は岩屑試料の初期含水比と凍上率を示したものであるがこれも泥質岩において一応の傾向が認められる。

結 語

以上実験の結果について述べたが、これからおよそ次のようなことがいえそうである。

- 1 新第3紀中—上部の軟質、かつ細粒な泥質岩および凝灰質岩は凍上性を示すものが多い。
- 2 比重の小さいものおよび吸水量の大きな上記岩類および砂質岩は凍上しやすく、比重および吸水量からある程度凍上しやすいか、凍上しがたいかの推定はつけられる。すなわち、強制乾燥状態の比重が2.0以下で、かつ吸水量20%以上の軟質な泥質岩および細粒な凝灰質岩は凍上のうたがいがあがる。



写真-6 凍結して破壊された岩盤

3 岩盤の状態で凍上しがたい岩石であってもこれが長年の風化作用（この作用の主力は凍結融解作用であろう）によって破碎された場合には凍上しやすくなる岩石がある。また凍上しやすい岩石が凍結融解作用によって破碎された場合は岩盤状態の場合より著しい凍上率を示す。

以上のようなことから新第3紀中一上部の軟質な泥質岩および凝灰岩類にトンネルを掘削したり、またその他の構造物を計画する場合には一応凍上の問題を念頭におき、凍

上実験などを行なってその凍上性を判定する必要がある、凍上性岩石であることが判定された場合には凍上性土と同様の対策を行なう必要がある（写真4参照）。

参考文献

- 1) 伊福部宗夫：北海道における道路の凍上，凍結深さおよび置換率に関する研究，昭和37年3月，北海道開発局土木試験所報告

（昭和48年6月受理）