

# 薬剤を混入した土の凍上実験について

小山道義\* 高橋 毅\*\* 川井 優\*\*\*

## 1 序

現在北海道の道路の凍上対策には、凍上性の路床土を切込砂利、砂あるいは火山灰などの凍上しにくい材料で置き換えるいわゆる置換工法が広く採用されている。しかし舗装道路の伸長に伴って、これらの置換材料を入手することが困難な現場も生じ、また凍結深の大きな地方では置き換える深さも大きくなるが、なお凍上抑制の効果があまりあがらないところもある。このような諸事情から置換工法に代わるもしくはその補助工法としての薬剤による凍上対策に関する研究が望まれている。

薬剤処理工法について必要なことは、まず凍上を抑制すること、持続性があること、施工が容易であること、および経済的であることなどがあげられるが、特に本工法に関しては、持続性および経済性について問題がある。ここではいろいろな薬剤の凍上抑制効果と物理的性質を検討し、凍上抑制に効果のある薬剤の有効な最小混合量と経済性について考察を加えた。

## 2 実験の方法

きわめて凍上性の大きな土（錦岡産）に次の9種の薬剤を土の乾燥重量に対して、1, 2, ……、5%の割合で混合し、それらの凍上試験を行なうとともに物理試験を行なった。

### (1) 使用した薬剤

- a 塩化カルシウム
- b 食塩
- c セメント
- d 消石灰
- e 土壌改良材 1
- f 土壌改良材 2
- g 土壌改良材 3
- h 土壌改良材 4

### i 土質安定材 1

注) 土壌改良材 1 および 2 は、ビニール系高分子化合物である。土壌改良材 3 および 4 は、石油系高分子化合物である。土質安定材 1 は、塩化マグネシウムを主成分とする材料である。

### (2) 凍上試験に用いた土の性質

この実験に用いた錦岡産凍上性土の性質は表-1に示すとおりである。

### (3) 凍上試験装置

凍上試験の装置は図-1に示すようなもので、供試体を高さ3cm、直径8cmの円筒型モールドに、土の突固め試験方法（JIS A 1210）による薬剤無混合土の最適含水比で最大乾燥密度となるように締固め、常温で24時間自由吸水させた後、冷却温度（空中） $-4^{\circ}\text{C}$ 、地下水温度（水中） $+3^{\circ}\text{C}$ の温度条件のもとで実験を行なった。なお供試体は、ガーゼおよびポーラスストーンを通じて自由に地下水を吸水できるような開式とした。

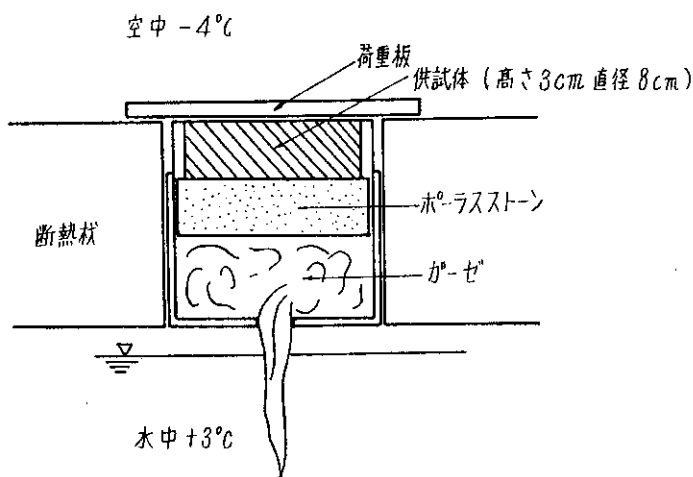


図-1 凍上試験装置

表-1 錦岡産土の土質試験結果

土の分類	シルト以下含有量 (%)	比重	最含水比 (%)	最大乾燥密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	L.L. (%)	P.L. (%)	P.I.	遠心含水当量 (%)	凍上率* (%)
ローム	67.0	2.58	43.5	1.16	57.5	36.0	21.5	48.4	463

\* 凍上率は供試体のはじめの高さに対する凍上量の割合である。

\* 道路研究室長 \*\* 同室副室長 \*\*\* 同室主任研究員

物理試験としては、液性限界 (JIS A 1205)、塑性限界 (JIS A 1206) および遠心含水当量 (JIS A 1207) の試験を行なった。

### 3 実験の結果

薬剤を混合した土の凍上試験および物理試験の結果を

表-2に示した。

また図-2は薬剤の混合量と凍上率の関係を示すものである。これによると凍上抑制に効果があると思われるのは、塩化カルシウム、食塩、土質安定材 1、土壌改良材 1 および 2 である。その程度は、塩化カルシウム、食塩

表-2 薬剤混合土の凍上試験および物理試験結果

薬 剤	混合量 (%)	L.L. (%)	P.L. (%)	P.I. (%)	遠心含水当量 (%)	凍 上 率 (%)	凍 結 様 式
塩 化 カ ル シ ウ ム	1	54.5	34.5	20.0	47.1	103	微細霜降状凍結
	2	51.0	33.6	17.4	47.8	30	〃
	3	48.5	31.6	16.9	47.5	0	コンクリート状凍結
	4	46.5	31.0	15.5	48.4	—	未凍結
	5	46.0	30.7	15.3	45.8	—	〃
食 塩	1	54.8	34.1	20.7	47.8	80	微細霜降状凍結
	2	55.5	36.2	19.3	47.5	0	コンクリート状凍結
	3	54.0	35.5	18.5	48.5	0	〃
	4	55.2	35.3	19.9	49.2	—	未凍結
	5	54.0	34.7	19.3	49.6	—	〃
セ メ ン ト	1	46.0	31.0	15.0	46.0	390	霜降状凍結
	2	50.5	34.6	15.9	46.7	330	〃
	3	48.0	33.8	14.2	45.9	360	〃
	4	48.2	33.6	14.6	46.8	286	〃
	5	50.1	34.4	15.7	46.7	296	〃
消 石 灰	1	49.4	45.3	4.1	39.9	136	〃
	2	49.9	42.0	7.9	41.1	180	〃
	3	49.9	39.4	10.5	41.4	100	〃
	4	46.0	37.2	8.8	40.2	103	〃
	5	47.7	39.1	8.6	40.2	73	〃
土 壌 改 良 材 1	1	53.0	36.2	16.8	47.9	140	微細霜降状凍結
	2	55.2	31.5	23.7	48.4	23	〃
	3	59.0	27.7	31.3	53.4	20	コンクリート状凍結
	4	60.7	21.1	39.6	58.6	20	〃
	5	66.2	21.3	44.9	68.2	0	〃
土 壌 改 良 材 2	1	51.3	43.3	18.0	46.6	233	霜降状凍結
	2	54.5	42.8	21.7	48.8	116	微細霜降状凍結
	3	57.5	28.5	29.0	54.1	80	〃
	4	62.3	24.3	38.0	57.4	76	〃
	5	66.0	21.5	44.5	63.8	10	コンクリート状凍結
土 壌 改 良 材 3	1	53.7	39.0	14.7	47.4	276	霜降状凍結
	2	60.3	39.3	21.0	48.3	283	〃
	3	61.7	39.7	22.0	48.0	240	〃
	4	62.8	37.9	24.9	48.2	210	〃
	5	63.3	39.6	24.7	48.3	220	〃
土 壌 改 良 材 4	1	54.0	40.1	13.9	42.3	223	霜降状凍結
	2	49.5	40.7	8.8	41.5	226	〃
	3	49.0	42.1	6.9	41.2	133	〃
	4	46.0	38.7	7.3	41.3	83	〃
	5	49.3	40.6	8.7	41.7	56	微細霜降状凍結
土 質 安 定 材 1	1	55.0	42.5	12.5	43.6	170	霜降状凍結
	2	49.5	36.0	13.5	42.0	93	〃
	3	51.5	36.7	14.8	42.7	13	微細霜降状凍結
	4	46.0	34.4	11.6	43.0	0	コンクリート状凍結
	5	39.5	32.7	6.8	43.9	—	未凍結
無混合		57.5	36.0	21.5	48.4	463	霜降状凍結

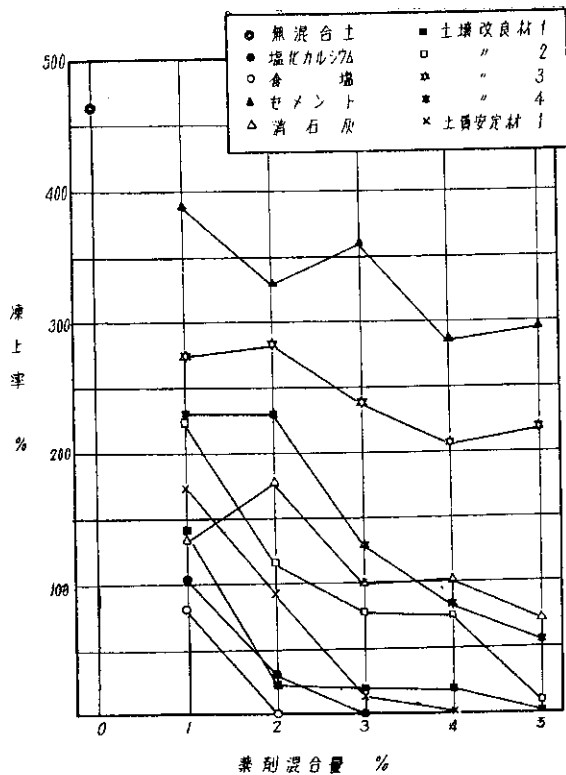


図-2 薬剤混合量と凍上率の関係

および土質改良材1について混合量が2%で、また土質安定材1は3%、土質改良材2は5%で効果が認められる。

図-3は薬剤を混合した土の液性限界と塑性指数の関係を Casagrande の塑性図表に書き表わしたものである。

Casagrande の分類によると、無混合土は高圧縮性の無機質シルトである。これに各薬剤を混合したとき、土

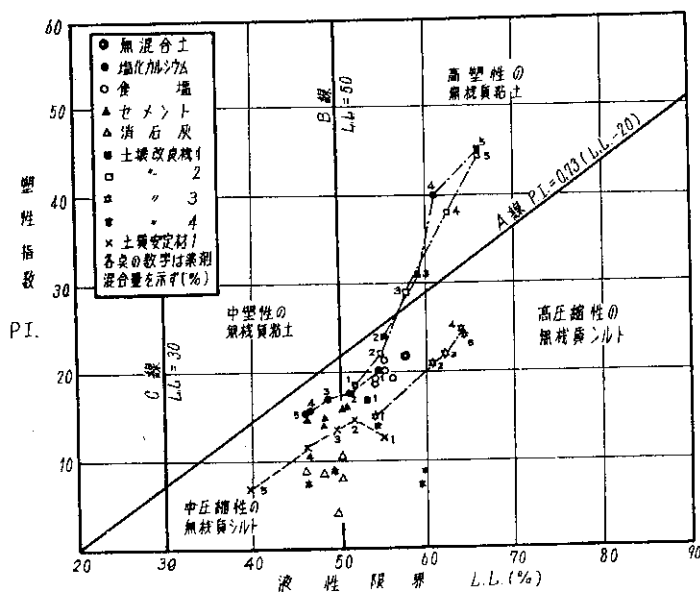


図-3 Casagrande の塑性図表

壤改良材1,2および3は混合量を増すにしたがって塑性度も高くなる傾向を示している(図の鎖線部分)。特に土質改良材1および2はそれが顕著で、高塑性の無機質粘土の分野へ移動している。一方、他の薬剤については、塑性度が低くなる方向に移動しており、特に塩化カルシウムおよび土質安定材1はその傾向が明らかである(図の破線部分)。

次に図-4は薬剤の混合量と遠心含水当量の関係を示すものである。これによると土質改良材1および2はその混合量を増すにしたがって遠心含水当量も著しく大きくなっている。

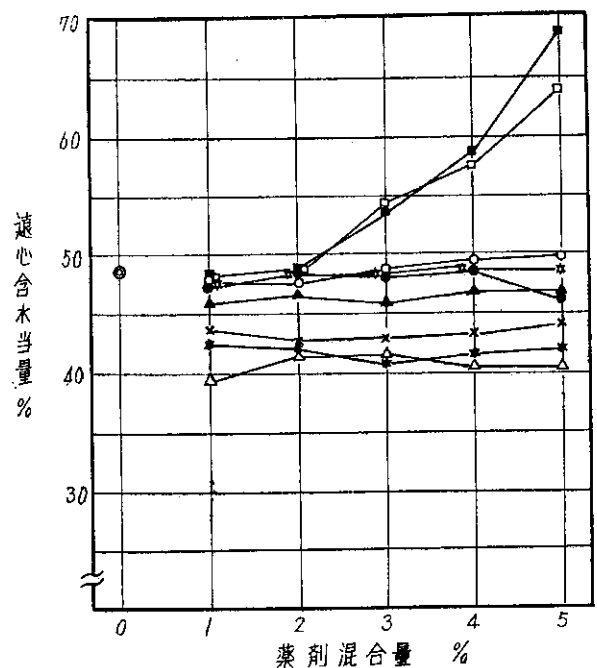


図-4 薬剤混合量と遠心含水当量の関係

各点の記号は図3と同じ

#### 4 考 察

本実験の結果から凍上抑制に効果があると思われる薬剤のうち、塩化カルシウム、食塩および土質安定材1は溶解塩として土粒子の間隙水中に存在し、氷点降下や土の凝固性と吸着性の増加、また透水性の減退などにより凍上を抑制するものと思われる。これらの薬剤は比較的少量でもその効果が認められるが、可溶性であるため、その持続性が問題となる。

次に土質改良材1および2は、土粒子を団粒化して透水性をよくし、あるいは土粒子を膠着して水の移動を少なくするなど、土の物理的性質を変化させることによって凍上を抑制するものと思われる。またこれらの薬剤は難溶性であるから持続性も期待できる。

## 5 経済比較

薬剤を混合した土の凍上試験の結果から、凍上抑制に効果のある各薬剤の最小量について経済的な比較をしてみると表-3のようになる。

表-3 凍上抑制のための経済比較

薬 剤	混合量 (%)	薬剤 1 kg あたり 価格 (円)	土 1 m <sup>3</sup> に対する 添加価格 (円)	切込砂利の 相当量 (m <sup>3</sup> )
塩化カルシウム	2	約 23	約 515	約 0.3
食 塩	2	15	336	0.2
土 壌 改 良 材 1	2	700	15,680	7.8
ク	2	550	30,800	15.4
土 質 安 定 材 1	3	20	672	0.3

注) 切込砂利の価格は 1 m<sup>3</sup> あたり 2,000 円として計算した。

表-3によると土壌改良材 1 および 2 は、塩化カルシウムおよび食塩に比べて非常に高価である。現在まで北海道では試験的に現場で塩化カルシウムを用いたことがあるが、このときの使用量は 1 m<sup>2</sup> あたり約 3 kg であった。

これは切込砂利に換算すると、地域差もあるが約 3.5 cm の厚さに相当する。これで凍上抑制の効果が確実であるとすれば、経済的に十分なりたつはずである。この

現場試験はまだ十分な考察が行なわれていなく、前にも述べたように持続性の面で不安がある。したがって薬剤としては不溶性で凍上抑制の効果がある土壌改良材 1 のようなものが安価であれば最も有望であると思われる。

## 6 結 び

薬剤による凍上防止工法は、交通荷重の面から路盤厚が比較的浅くてよい場合や、凍結深がきわめて深い場合に路床土を処理して、凍上を防止するために有効な方法であると思われるが、そのほかに路盤材料としてシルト以下含有量が規定より多いものについて薬剤を混合すれば、その利用範囲を拡大することができるであろう。

現在道路研究室では、塩化カルシウムを固定する方法や、構内実験によって塩化カルシウムの拡散状態などを調査しているが、まだ確定的な方法を見出すことができない。しかし薬剤処理工法は大いに将来性の期待できる工法であると思われるので、さらに研究を進めていきたい。

## 参 考 文 献

- 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」土木試験所報告 第 26 号  
 「Frost Action in Road and Airfield」Highway Research Board Special Report No. 1

\*

\*

\*