

火山灰の凍上性と凍結融解後の CBR について

正員 高橋 毅*

正員 佐々木 政男*

正員 ○荻野 治雄*

まえがき

現在、北海道では道路の凍上対策として置換工法が広く採用されているが、良質な置換材料が入手しにくい場合、地域によっては比較的入手しやすい火山灰も置換材料として使用されている。開発局の道路工事仕様書によれば「火山灰（火山礫を含む。）は粗粒で、風化の徴候がなく、排水性が良好で、74 μ フルイの通過量が20%以下であり、強熱減量は4%以下でなければならない。ただし、凍上試験を行ない、非凍上性と認められたものは使用することができる。」という使用規程があるが、これには主として凍上性の面からその品質が規定されており、強度に関する具体的な規定は含まれていない。もちろん、火山灰は下層路盤材料として使用されるのであるが、最近の道路交通量の増大と交通車両の大型化、重量化にともない、交通荷重は下層にも大きな影響をおよぼしているものと考えられる。また、北海道のような寒冷地においては凍上による影響も考慮しなければならないが、実際上の凍害が凍上そのものよりもむしろ融解期の支持力の低下によって生ずるものが多いことなどから、下層路盤材料としての火山灰についても、その強度特性、特に凍結融解による強度の劣化について検討する必要があると思われる。

本報告は、道内産の火山灰28種類について、4日水浸 CBR 試験と凍結融解試験を1~3回くり返した後の CBR 試験を行ない、さらにこれらの火山灰のフルイ分け試験、洗い試験、強熱減量試験、凍上試験などを行なって、これらの関係について検討を加えたものである。

1. 実験の概要

1-1 試料

この実験に用いた試料は道内の帯広、網走、室蘭、小樽、函館各開発建設部管内産の火山灰28種類である。

1-2 試験の方法

(1) 凍上試験

図-1に示すような装置を用い、供試体を高さ3cm、直

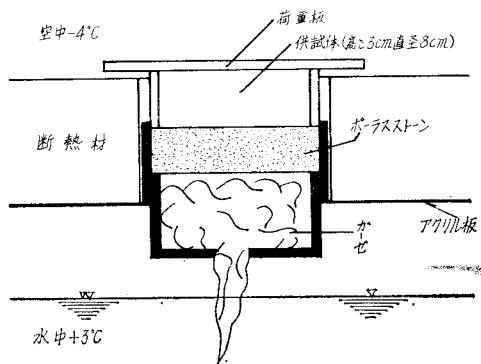


図-1 凍上試験装置

径8cmのプラスチック製円筒型モールドに、土の突固め試験方法(JISA 1210)による最適含水比で最大乾燥密度となるように静荷重により締固め、24時間自由吸水させた後、空中-4°C、水中+3°Cの温度条件で、試験期間は6日間として実験を行なった。また、供試体がガーゼ、ポーラストーンを通じ、自由に吸水できるような開式とした。

(2) 洗い試験、強熱減量試験

北海道開発局道路工事仕様書参考付表、2-3「火山灰洗い試験方法」および2-4「火山灰強熱減量試験方法」によった。

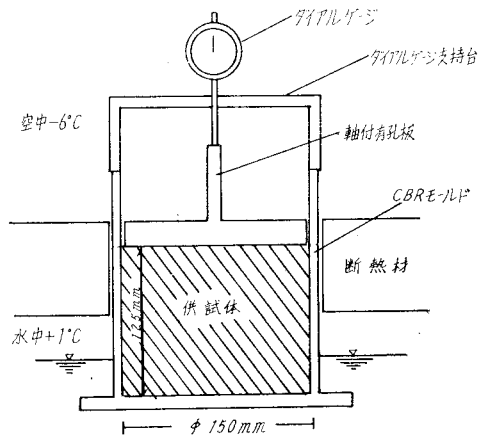


図-2 凍上試験装置

* 北海道開発局土木試験所

表-1 試験結果

試料名	74 μ フルイ 通過百分率 (%)	強熱減量 (%)	改訂PR法に よる土の分類	凍上率 (%)	凍結 様式	判定 結果	粗粒率	4日水浸 CBR (%)	3サイクル凍結 融解後 CBR (%)
1 御前水	1.8	4.2	A-1-a	0 0	a	○	6.13	45	21
2 萩野	9.5	2.6	A-1-a	9 5	a	○	5.36	39	24
3 姫川	1.4	2.4	A-1-b	3 3	a	○	5.17	31	34
4 美々粗粒	1.0	3.0	A-1-b	11 19	a	○	4.97	33	49
5 駒ヶ岳	11.3	1.3	A-1-b	11 9	a	○	4.80	90	62
6 大沼	13.5	0.3	A-1-b	10 2	a	○	4.59	133	63
7 三ノ原	15.2	3.4	A-1-b	13 16	a	○	3.30	82	51
8 活込	21.0	3.7	A-3	13 10	a	○	3.00	66	34
9 美々細粒	27.0	2.8	A-2-4	15 15	a	○	2.83	36	13
10 泉川	21.3	3.7	A-2-4	7 8	a	○	2.58	36	16
11 日並	23.0	3.6	A-2-4	22 23	a	△	3.45	76	16
12 大与地	24.0	5.5	A-2-4	5 12	a	△	2.92	54	18
13 ツバメの巣	25.0	4.3	A-2-4	9 18	a	△	2.91	53	30
14 中斜里	25.0	3.3	A-2-4	29 23	a	△	2.76	89	28
15 花園	24.0	4.1	A-2-4	0 0	a	△	2.27	29	10
16 螺湾	27.0	5.7	A-2-4	0 4	a	△	2.14	20	9
17 本岐	40.0	4.0	A-2-4	6 7	a	△	1.90	48	20
18 瑞穂	39.0	3.0	A-4	7 5	a	△	1.55	45	19
19 神浦	16.0	5.4	A-2-4	23 22	b	×	3.59	77	42
20 キロロ	23.0	5.4	A-2-4	23 26	a	×	3.42	15	10
21 水上	28.0	4.6	A-2-4	49 52	c	×	3.08	70	27
22 小清水6号	40.0	4.2	A-2-4	30 16	b	×	2.10	58	17
23 貫気別	40.4	4.3	A-2-4	38 40	c	×	1.99	43	8
24 小清水5号	43.0	4.5	A-4	27 73	b	×	1.88	81	16
25 大栄	46.0	4.9	A-4	39 38	c	×	1.81	55	17
26 瑞治	50.0	5.1	A-4	85 53	c	×	1.67	61	12
27 豊富	60.0	5.0	A-4	99 88	c	×	1.36	53	12
28 置戸	59.0	3.1	A-4	32 27	b	×	0.96	43	16

注 凍結様式欄の文字は次の意味を示す。

a: コンクリート状凍結 (氷粒散在を含む)。 b: 部分的な極微細霜降状凍結を含むコンクリート状凍結。
c: 微細霜降, 霜降, 霜柱氷層等明らかに氷晶分離の傾向ある凍結。

判定結果欄の○, △, ×は次の意味を示す。

○: 使用して良い。 △: 使用しない方が無難であるが, 使用の際には特別の配慮を要する。

×: 使用できない。

「粗粒率」は次のように仮に定めた。

38.4, 25.4, 19.1, 9.52, 4.76, 2.00, 0.84, 0.42, 0.25, 0.105, 0.074 mm フルイの1組を用いて, フルイ分け試験を行なった場合, 各フルイを通らない全部の試料の重量百分率の和を100で割った値を粗粒率とする。

(3) フルイ分け試験

フルイ分け試験は JISA 1102「骨材フルイ分け試験方法」に準じて行なった。ただし、フルイは JIS の 38.1, 25.4, 19.1, 9.52, 4.76, 2.00, 0.84, 0.42, 0.25, 0.074 mm フルイを用いた。

(4) 物理試験

JISA 1205, 1206 に従い、液性限界、塑性限界を求めたが、値は得られなかった。

(5) CBR 試験

a 供試体作成方法 供試体は JISA 1211, CBR 試験方法にしたがい、最適含水比で、突固め回数を一層につき 55 回として 5 層に突固めた。最適含水比は一層 55 回、5 層の突固めにより求めたものである。

b 凍上融解 直径 15 cm、高さ 17.5 cm の室内 CBR 試験用モールドを用いて、(a) の方法で作成した供試体を水槽で約 24 時間水浸させた後、凍上試験槽の中に、図-2 のように設置して、空中温度 -6°C 、水中温度 $+1^{\circ}\text{C}$ の温度条件で、6 日間冷却し、これを 20°C の水槽に約 24 時間水浸して融解する。この操作を 1~3 回くり返した。この場合、凍上量は各サイクルごとに測定した。なお、当初は空中で 24 時間放置して融解することとしていたが、季節によって実験条件が変わるおそれがあるので、途中から恒温水槽で融解することとした。

c 貫入試験 1 種の試料につき供試体を 15 個作成し、非水浸、4 日水浸、1, 2, 3 サイクル凍結融解の各々について 3 個ずつ貫入試験を行なった。

2. 結果と考察

表-1 は、各試験結果をとりまとめて示したものである。ここで、凍上率は次式から求めたもので、3 個の供試体の試験結果から大きい方の 2 個の値、CBR は 3 個の供試体の平均値である。

$$\text{凍上率} = \frac{\text{凍上量}}{\text{供試体の高さ (3cm)}} \times 100 (\%)$$

また、判定結果は洗い試験、強熱減量試験および凍上試験の結果から下層路盤材料としての使用適否を判定した結果である。

2-1 結果の概要

図-3 は下層路盤材料としての使用適否を凍上試験、洗い試験および強熱減量試験から判定した結果と 4 日水浸および凍結融解後の関係を示したものである。CBR は各々 3 個の測定値の平均で示した。これによれば、判定結果○の試料は△、×に比べて凍結融解による劣化の程度も小さく、凍結融解後 CBR も大きい傾向にある。しかし、○の試料にも相当に小さい凍結融解後 CBR をもつ試料も含まれており、路盤材料としての適否は凍上性のほか、CBR をも考慮する必要があると思われる。

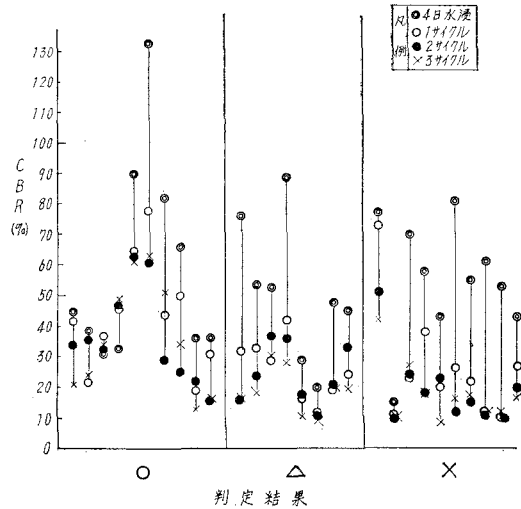


図-3 四日水浸及び凍結融解後と判定結果

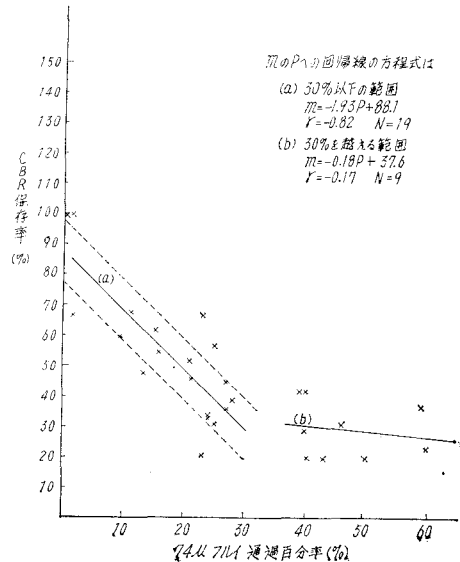


図-4 CBR 保存率と 74 μ フリ通過百分率

2-2 凍結融解後 CBR と諸要素との関係

図-4~10 は 74 μ フリ通過百分率、粗粒率、強熱減量、凍上率、凍結様式、判定結果および 4 日水浸 CBR と CBR 保存率との関係を示したものである。ここで、CBR 保存率とは 4 日水浸 CBR の 3 個の算術平均値に対する 3 サイクルくり返し凍結融解後の各 3 個の CBR 算術平均値の百分率である。ただし、CBR 保存率が 100% 以上のものは 100% とした。したがって、保存率が小さければ小さいほど、凍結融解による CBR の劣化が大きいことになる。

(1) 74 μ フリ通過百分率と CBR 保存率

図-4 によれば、74 μ フリ通過百分率が 30% までは、その増加につれて、CBR 保存率は急に減少しているが、

30% を越えると CBR 保存率はほとんど変化せず、20%～40% の範囲にある。この関係を、30% 以下の部分と30% を越える部分に分けて回帰方程式を求めると次のようである。

- a

74 μ フルイ通過百分率 30% 以下の部分

m (保存率) = $-1.93 P + 88$ (%)

 r (相関係数) = -0.82

 N (全度数) = 19
- 相関係数の有意限界は自由度 17、危険率 1 パーセントのとき、0.68 である。したがって高度に有意である。

b

74 μ フルイ通過百分率 30% を越える部分

$m = -0.18 P + 38$

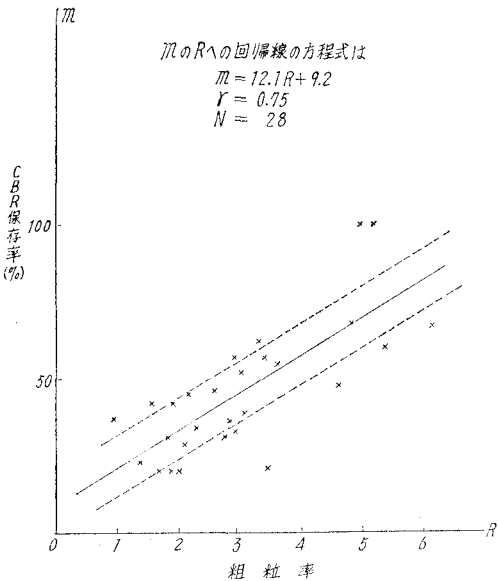


図-5 CBR 保存率と粗粒率

$r = -0.17$

 $N = 9$

相関係数の有意限界は自由度 7、危険率 5% のとき、0.67 である。したがって、相関関係はない。

CBR 試験は同一試料、同一突固めエネルギーでもその値がバラツクことが多く、他要素との相関関係を見出すことは非常に難しいようなので、a における関係は相当信頼できると考えられる。図中の破線は回帰方程式より上下に 10% ずつずらして描いた線である。

(2) 粗粒率と CBR 保存率

図-5 によれば、粗粒率が大きくなれば CBR 保存率も大きくなる傾向がある。これは、粗粒であれば 74 μ フルイ通

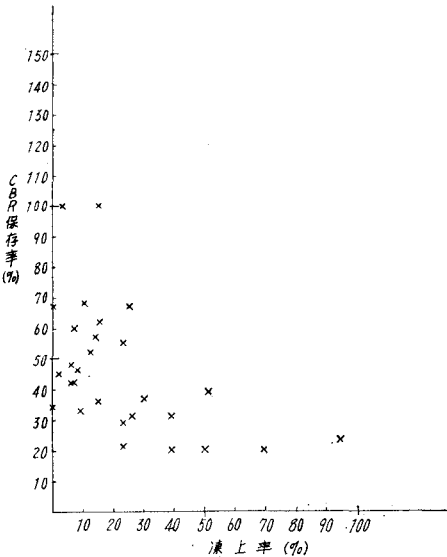


図-7 CBR 保存率と凍上率

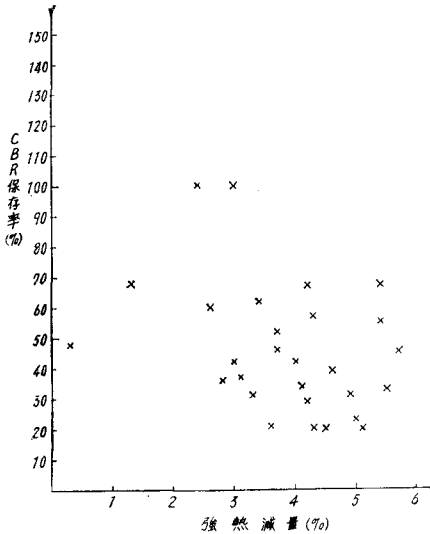


図-6 CBR 保存率と強熱減量

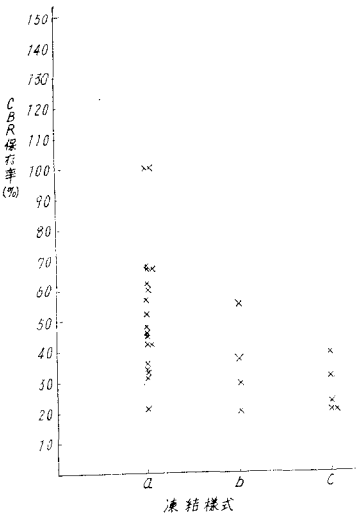


図-8 CBR 保存率と凍結様式

過分も少なく、凍上性も小さいので、今までの経験的な考えとも一致している。回帰方程式は次のようになる。

$$m=12.1 R+9$$

$$r=0.75$$

$$N=28$$

相関係数の有意限界は自由度 26、危険率 1 パーセントのとき、0.48 であり、高度に有意である。この関係も有効な関係である。図中の破線は回帰方程式より上下に 10% ずつずらして描いた線である。

(3) 強熱減量と CBR 保存率

図-6 によれば、強熱減量と CBR 保存率との間に具体的な関係は認められない。

(4) 凍上率、凍結様式と CBR 保存率

図-7 によれば、凍上率が大きくなると CBR 保存率は小さくなる傾向がある。図-8 によれば、凍結様式 a の試料は b, c と比べると保存率は大きいようである。凍結様式 c のものは霜柱状、霜降状のもので、一般に凍上率も大きく、凍上融解で締固まった試料が弛緩し、含水量が多くなるので、CBR が小さくなるものと思われる。

(5) 下層路盤材料としての判定結果と CBR 保存率

図-9 によれば、下層路盤材料としての判定結果が○の試料は△, ×の試料に比べて、CBR 保存率は大きい。

(6) 4 日水浸 CBR と CBR 保存率

図-10 によれば、4 日水浸 CBR と CBR 保存率との間に具体的な関係は認められない。このことは、凍結融解による火山灰の強度 (CBR) の劣化は凍結前の強度から予測することができないことを意味している。よって、強度の劣化の程度は他の要素によって調べなければならない。

2-3 現在、採用されている判定方法と実験結果からの検討

現在、土木試験所で採用している火山灰の下層路盤材料

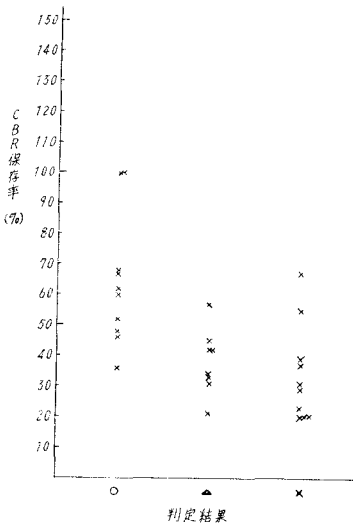


図-9 CBR 保存率と判定結果

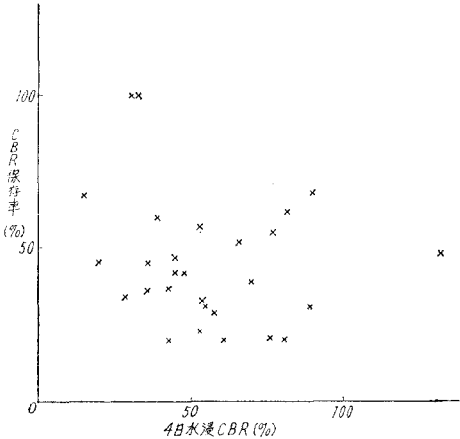


図-10 CBR 保存率と 4 日水浸 CBR

としての適否の判定には、① 74 μ フルイ通過百分率、② 強熱減量、③ 凍上率、④ 凍結様式、⑤ 改訂 PR 法による土の分類、の 5 つの要素を考慮し、特に凍結様式と凍上率を重視して判定しているが、このうち①③④は CBR 保存率とも関係があり、この面からみると現行の判定方法は一応合理的なものようである。しかし、前述のように、試料の強度 (CBR) を考慮した場合の判定規準としては充分でなく、路盤材料としては、凍上性と強度特性の両者を考慮して選定することが必要である。この場合、強度特性としては、道路の冬期間凍結、春期融解の状態から、凍結融解後 CBR を用いることがのぞましい。

しかし、路盤材料の CBR を求めるのに 4 日水浸 CBR を用いるよりも、凍結融解後の CBR を用いる方がより合理的であるとしても、その試験方法が特殊な設備と長い時間を要するものでは適当でない。今回の実験結果によれば、凍結融解後 CBR は 4 日水浸 CBR と直接関係はないが、74 μ 以下含有量が 30% 以下の範囲では、CBR 保存率は 74 μ 以下含有量と相関関係にあり、4 日水浸 CBR と 74 μ 以下含有量から凍結融解後 CBR を推定することができるので、実用上、この推定法を用いても十分であると思われる。

む す び

以上、火山灰の凍上性と凍結融解後の CBR の劣化について検討を加えたが、凍結融解による CBR の劣化はかなり大きいものであり、路盤材料として火山灰を用いるときは、凍結融解後 CBR について考慮する必要があることがわかった。また、凍結融解後 CBR を直接求めることは難しいが、今回の実験により、4 日水浸 CBR と 74 μ 以下含有量から推定できることがわかった。

なお、まだ実験例は少ないので、今後も機会あるごとに実験を続け、さらに、実際の道路に火山灰を使用した場合

について，その後の路盤支持力などとの関係についても調査を行ない，関連づけたいと考えている。

参 考 文 献

1) 小山道義・高橋毅・川井優：「火山灰の凍上性につい

て」，北海道開発局土木試験所，月報第 131 号。

2) 平尾晋・高橋毅・萩野治雄：「火山灰の凍上性と凍結融解後の CBR について」，北海道開発局土木試験所，月報第 159 号。