

火山灰の凍上性と凍結融解後の CBR について

(第 2 報)

高橋 毅* 佐々木政男** 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、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。」という使用規準があるが、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、重量化に伴い、交通荷重は下層にも大きな影響を及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、とく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、前年度に引続いて行なった道内産火山灰8種類の試験結果を前年度実施した20種類の試験結果と合わせ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、函館開発建設部管内産の火山灰である。

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(JIS A 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

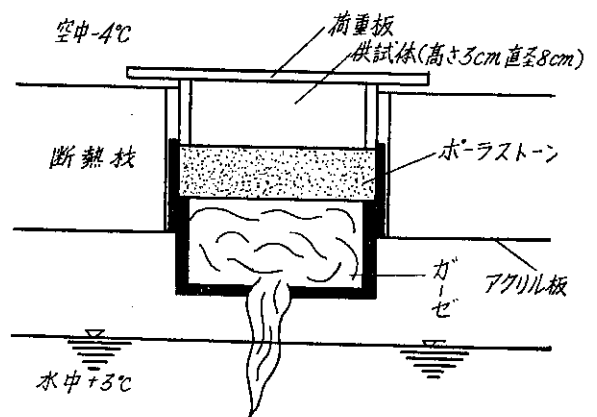


図-1 凍上試験装置

させた後、空中 -4°C 、水中 $+3^{\circ}\text{C}$ 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、供試体がガゼ、ポーラスストーンを通じ、自由に吸水できるような開式とした。

この試験は試料の4,760 μ フルイ通過分について行なった。

(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。

(3) フルイ分け試験

フルイ分け試験はJIS A 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 A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

JIS A 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JIS A 1211, CBR試験方法に従い、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。

* 道路研究室長 ** 同室副室長 *** 同室

表-1 CBR 試験結果

試料名	非水浸		4日水浸			1サイクル			2サイクル			3サイクル		
	CBR (%)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	膨脹率 (%)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm ³)
御前水粗粒	60	0.688	37	0.02	0.700	32	0.34	0.663	29	0.14	0.699	26	0.24	0.666
										0.88			0.19	
	37	0.660	48	0.02	0.681	50	0.17	0.684	35	1.07	0.712	24	0.27	0.663
										0.18			0.42	
	51	0.736	50	0.02	0.721	45	0.38	0.648	37	0.12	0.675	14	0.13	0.670
										0.15			0.55	
萩野	32	0.608	39	0	0.650	13	1.19	0.572	39	0.62	0.583	20	0.20	0.589
										0.79			0.32	
	34	0.626	42	0	0.628	18	1.05	0.568	34	0.65	0.573	20	5.17	0.576
										1.30			1.21	
	34	0.642	37	0	0.696	34	1.28	0.596	33	1.26	0.571	31	0.01	0.585
										0.89			0.28	
姫川	24	1.270	35	0	1.227	36	0.03	1.291	26	3.28	1.385	37	0.17	1.291
										1.81			1.00	
	39	1.254	34	0.01	1.218	37	0.07	1.323	39	2.16	1.369	44	1.69	1.295
										1.32			0.19	
	47	1.251	23	0.02	1.184	38	0	1.305	33	7.30	1.293	20	1.98	1.263
										1.00			0.46	
駒ヶ岳	79	1.514	111	0.02	1.429	47	0.83	1.533	73	1.13	1.500	77	0	1.459
										1.45			0.25	
	104	1.485	104	0.02	1.431	51	0.85	1.523	47	1.33	1.501	79	0.04	1.504
										1.65			0.02	
	73	1.478	55	0.02	1.350	97	0.24	1.467	68	0.25	1.476	29	0.57	1.495
										0.30			4.54	
大沼	102	1.974	107	0.02	1.981	64	3.02	1.998	55	1.39	1.966	55	2.25	1.971
										2.61			1.27	
	116	1.987	140	0.01	1.990	62	1.68	2.388	73	1.67	1.961	62	3.66	1.984
										2.00			0.89	
	127	1.965	151	0.04	1.990	107	1.09	1.988	55	1.34	1.958	73	5.74	1.976
										2.96			2.49	
三の原	77	1.303	89	0.03	1.304	37	4.93	1.335	29	1.02	1.313	35	5.39	1.361
										8.36			2.39	
	141	1.288	84	0.03	1.362	57	2.68	1.338	31	0.94	1.323	33	2.98	1.355
										4.36			3.36	
	89	1.290	73	0.01	1.310	40	1.18	1.334	28	6.56	1.343	84	12.67	1.363
										2.90			4.51	
												2.45		

試料名	非水浸		4日水浸			1サイクル			2サイクル			3サイクル		
	CBR (%)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	膨脹率 (%)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm ³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm ³)
泉川	44	1.005	37	0.04	1.029	32	1.67	1.036	20	0.50	1.032	15	3.49	1.054
										3.80			0.22	
	77	0.994	37	0.02	1.010	27	4.00	1.039	15	5.20	1.086	20	0.55	1.049
										5.35			0.56	
	58	1.028	35	0.03	0.992	34	2.80	1.034	12	5.23	1.031	14	2.86	1.057
										4.43			2.04	
貫気別	47	1.448	33	0.16	1.441	26	0.59	1.432	24	12.25	1.440	4	10.41	1.450
										11.63			8.14	
	57	1.452	46	0.23	1.456	17	5.56	1.438	18	12.54	1.447	10	7.55	1.456
										14.67			6.93	
	47	1.443	49	0.13	1.459	18	7.05	1.436	27	8.89	1.441	11	7.53	1.466
										1.82			4.93	

表-2 試験結果

試料名	74μフレイ通過百分率 (%)	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 (%)
御前水	1.8	4.2	A-1-a	0/0	a	○	6.13	45	21
萩野	9.5	2.6	A-1-a	9/5	a	○	5.36	39	24
姫川	1.4	2.4	A-1-b	3/3	a	○	5.17	31	34
駒ヶ岳	11.3	1.3	A-1-b	11/9	a	○	4.80	90	62
大沼	13.5	0.3	A-1-b	10/2	a	○	4.59	13	63
三の原	15.2	3.4	A-1-b	13/16	a	○	3.30	82	51
泉川	21.3	3.7	A-2-4	7/8	a	○	2.58	36	16
貫気別	40.4	4.3	A-2-4	38/40	c	×	1.99	43	8

(注) ○凍結様式欄の文字 a, b, c 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, 霜柱氷層など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

△: 使用しないほうが無難であるが, 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 フレイの1組を用いてフレイ分け試験を行なった場合各フレ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

(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°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。一種の試料に供試体を15個作成し, 非水浸, 4日水浸, 1, 2, 3サイクル凍結融解のおのおのについて3個ずつ貫入

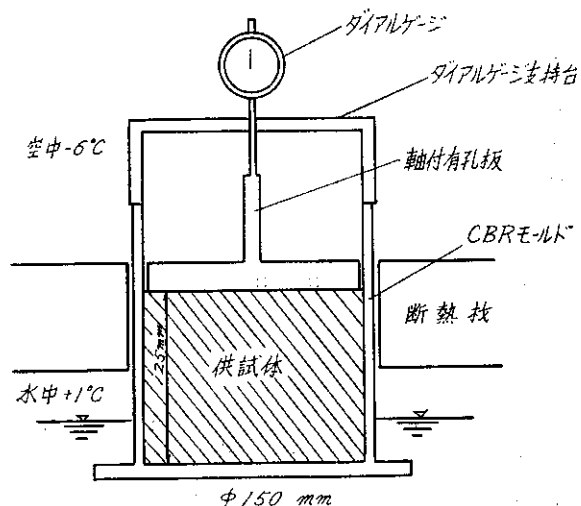


図-2 凍上試験装置

試験を行なった。

2 結果と考察

表-1, 2は今回, 実験を行なった種類の試料の試験結果を, 図-3~10は, 前回報告の試験結果と合わせて28種類の火山灰の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ほうの2個の値である。

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

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 CBR の関係を示したものである。CBR は各々3個の平均で示した。

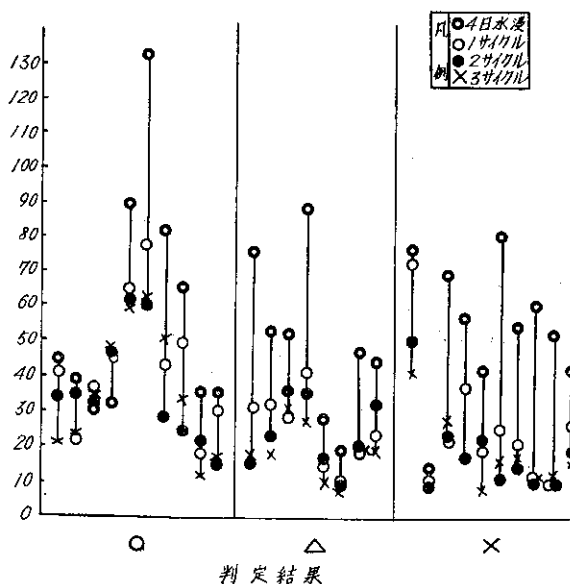


図-3 4日水浸および凍結融解後 CBR と判定結果

これによれば, 判定結果○の試料はΔ, ×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。

2-2 凍結融解後 CBR と諸要素との関係

図-4~10は74μフルイ通過百分率, 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。

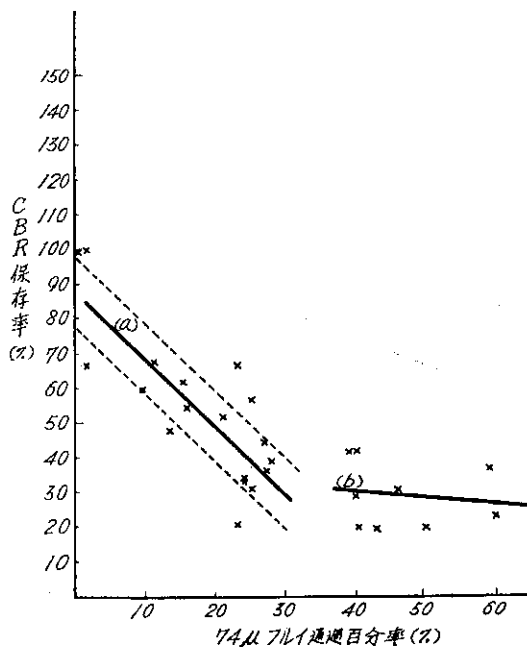


図-4 CBR 保存率と74μフルイ通過百分率

(1) 74μフルイ通過百分率と CBR 保存率

図-4によれば, 74μフルイ通過百分率が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%を越える部分とに分けて回帰方程式を求めると次のようである。

(a) 74μフルイ通過百分率30%以下の部分

$$m \text{ (保存率)} = -1.93 P + 88 (\%)$$

$$r \text{ (相関係数)} = -0.82$$

$$N \text{ (全度数)} = 19$$

よって, 高い相関関係がある。

(b) 74 μ フルイ通過百分率 30%を越える部分

$$m = -0.18P + 38$$

$$r = -0.17$$

$$N = 9$$

よって、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むずかしいようなので、(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。

$$m = 12.1R + 9 (\%)$$

$$r = 0.75$$

$$N = 28$$

よって、高い相関関係がある。この関係も有効である。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。

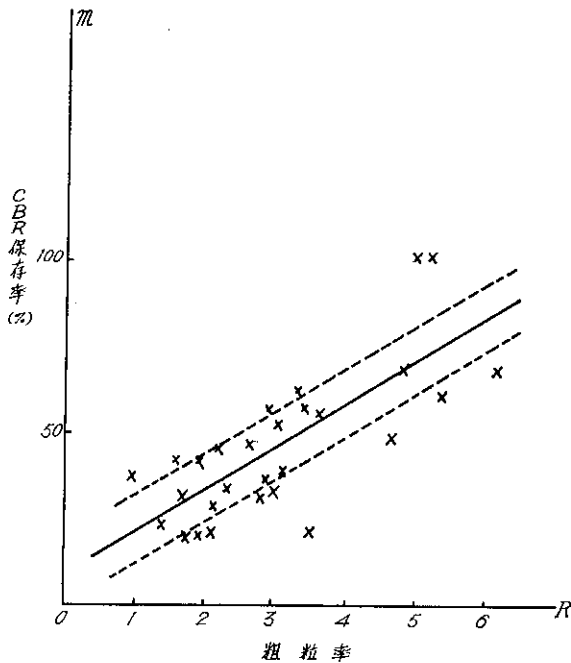


図-5 CBR 保存率と粗粒率

(3) 強熱減量と CBR 保存率

図-6によれば、両要素間に具体的な関係はない。

(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 保存率が小さくなる傾向がある。図-8によると、凍結様式 C のも

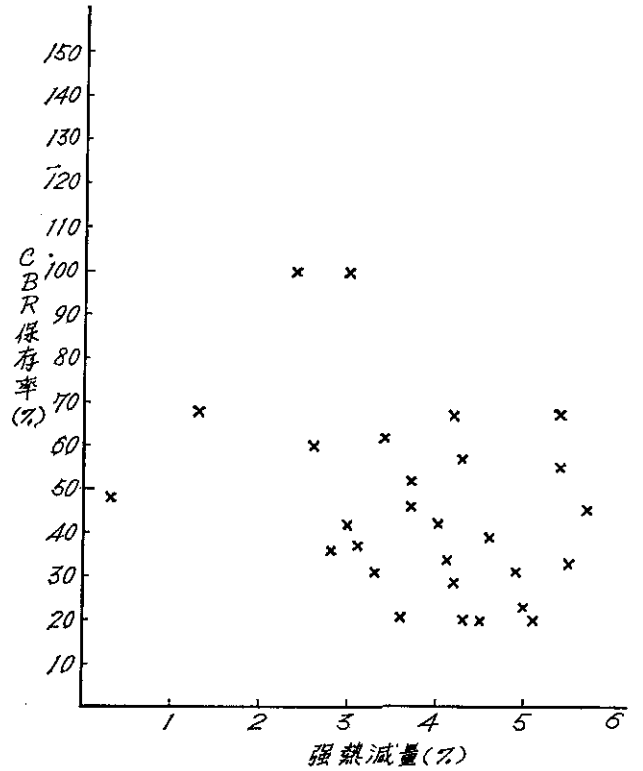


図-6 CBR 保存率と強熱減量

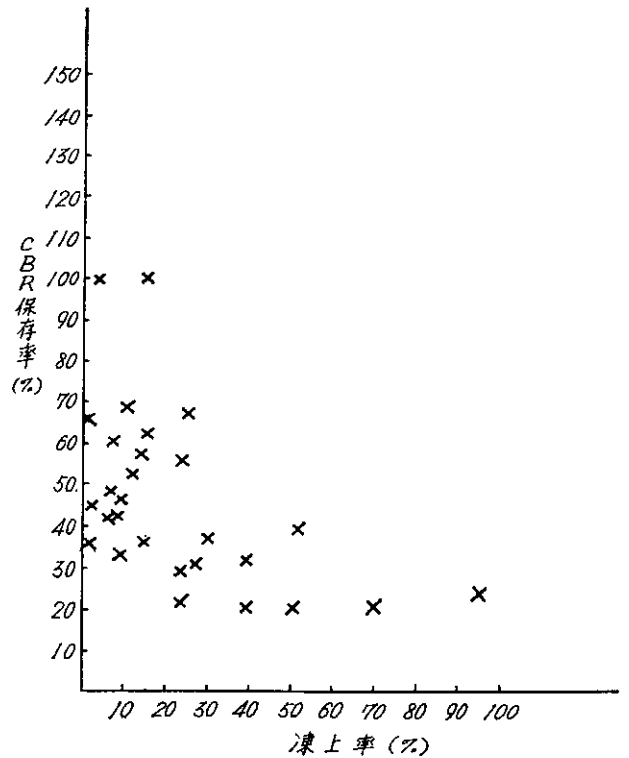


図-7 CBR 保存率と凍上率

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

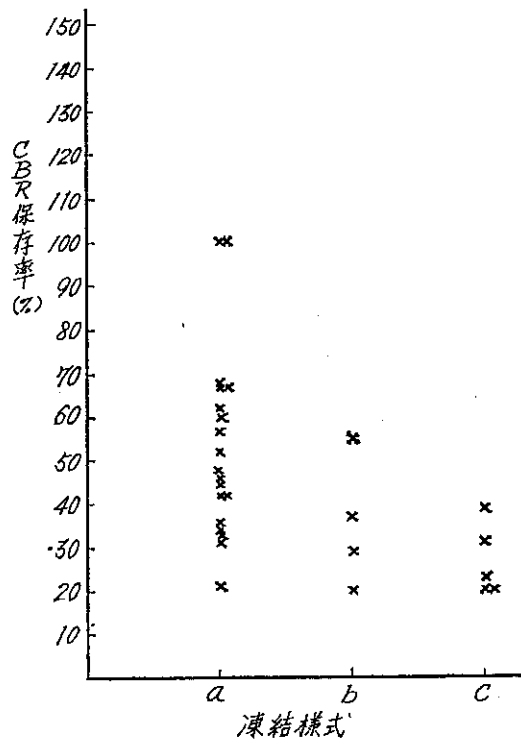


図-8 CBR 保存率と凍結様式

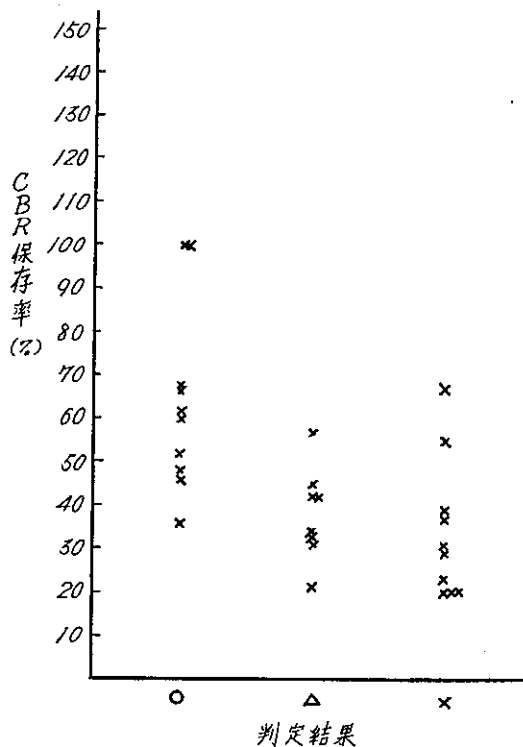


図-9 CBR 保存率と判定結果

試料は△, ×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

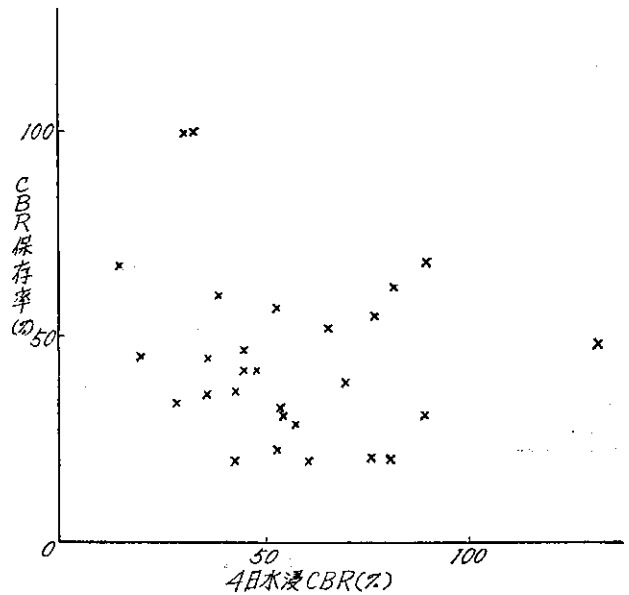


図-10 CBR 保存率と4日水浸 CBR

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今回の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としての適否の判定には、①74 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、とく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、前述したように、試料の強度 (CBR) を考慮した場合の判定規準としては十分でなく、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、強度特性としては実際道路の冬期間凍結、春期融解の状態から、凍結融解後 CBR を用いることが望ましい。

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 CBR によるほうが実際に合致しているとしても、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、現場の試験として適当でない。

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。しかし、74 μ フルイ以下含有量と CBR 保存率の関係または、粗粒率と CBR 保存率との関係と4日水浸 CBR とから凍結融解後 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の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むずかしいが、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、まだ実験例も少ないので、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。

最後に、試料の採取に協力して下さった各開発建設部の方々、実験とデータ整理を手伝っていただいた坂井、佐藤技官、竹瀬技術員に心から感謝する。

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、土木試験所月報第 131 号(昭和 39 年 4 月)
- 2 平尾晋・高橋毅・荻野治雄； 火山灰の凍上性と凍結融解後の CBR について、土木試験所月報第 159 号(昭和 41 年 8 月)

調査報告書題名一覧 (昭和 41 年度作成)

河川研究室

- 岩尾内ダム水理模型実験報告書
- 浦臼第一揚水機場取水口水理模型実験報告書
- 砂川捷水路水理模型実験報告書

港湾研究室

- サロマ湖自然条件調査報告書
- 十勝港漂砂調査報告書
- 石狩湾沿岸漂砂調査(中間報告)報告書
- 森港模型実験報告書
- 稚内港模型実験報告書
- 宗谷港模型実験報告書
- 鉄府漁港模型実験報告書
- 山背泊漁港模型実験報告書
- 小島漁港模型実験報告書

応用理化学研究室

- R I の道路の凍上機構研究への利用
 - I 密封型線源利用計器の特性、特に低温域における安定性について
 - II 美々凍上試験道路における現地測定
- R I の特殊土壌に関する土質の研究への利用
 - ～R I 計器を火山灰に用いた場合の問題点とその解決法～
 - ～放射線計器の盛土締固め管理試験への利用～
- 営農用水対策調査水質調査報告書

構造研究室

- 寒地橋梁に関する試験調査報告書
 - 鋼材の低温域における溶接性と安定性に関する試験調査
 - 既設橋梁の応力頻度分布調査
 - 合成ゲタの曲げ疲労
 - RCゲタの疲労

コンクリート研究室

- 寒地橋梁に関する試験調査報告書
 - PCゲタの縦ひびわれ経年変化調査
 - RCゲタのひびわれ調査
 - コンクリート用骨材の凍害抵抗性
 - 寒中コンクリートの施工

道路研究室

- 一般国道 36 号線千歳・苫小牧間美々試験道路調査報告書 第 29 報
(昭和 40 年度構内支持力実験)
- 一般国道 36 号線千歳・苫小牧間美々試験道路調査報告書 第 30 報
(昭和 40 年度現地調査のうち帯広地区調査)
- 一般国道 36 号線千歳・苫小牧間美々試験道路調査報告書 第 31 報
(昭和 40 年度現地調査のうち既設舗装道路破壊原因調査)

舗装研究室

- 美々試験道路調査報告書(第 26 報)
(地方産材料調査)
- 美々試験道路調査報告書(第 27 報)
(昭和 39 年度、美々試験道路凍上試験結果に対する検討)
- 美々試験道路調査報告書(第 28 報)
アスファルトモルタルのラベリング等試験表

土質研究室

- 一般国道 39 号女満別町湖南～網走市呼人道路盛土基礎地盤調査報告書
- 一般国道 235 号(室蘭～浦河線)三石町覺舞地内軟弱地盤調査報告書
- 一般国道 238 号(網走～稚内線)雄武町元稲府地内軟