

火山灰の凍上性と凍結融解後の C B R について

平尾 晋*
高橋 毅**
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広く使用されている。

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、74μフルイの通過量が20%以下であり、強熱減量が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。」という使用基準があるが、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、道内産の火山灰20種類について、4日水浸 C B R 試験と凍結融解試験を1～3回くり返した後の C B R 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2、3の検討を加えたものである。

1. 実験の概要

1. 試料

この実験に用いた試料は道内の帯広、網走、室蘭開発建設部管内産の火山灰20種類である。

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（JISA 1210）による最適含水比で最大乾燥密度となるように突固め、

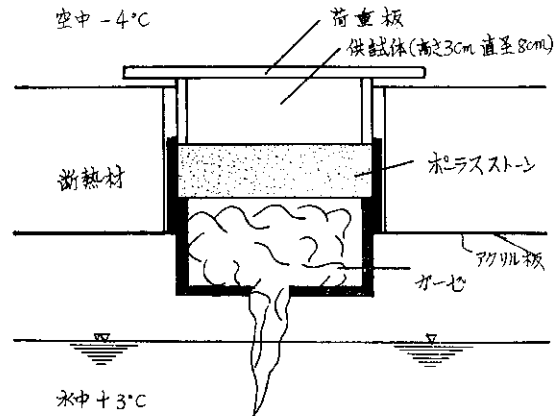


図-1 凍上試験装置(1)

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、多孔ストーンを通じ、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。

(3) フルイ分け試験

フルイ分け試験はJISA 1102「資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, 0.074mm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) C B R 試験

(イ) 供試体作成方法

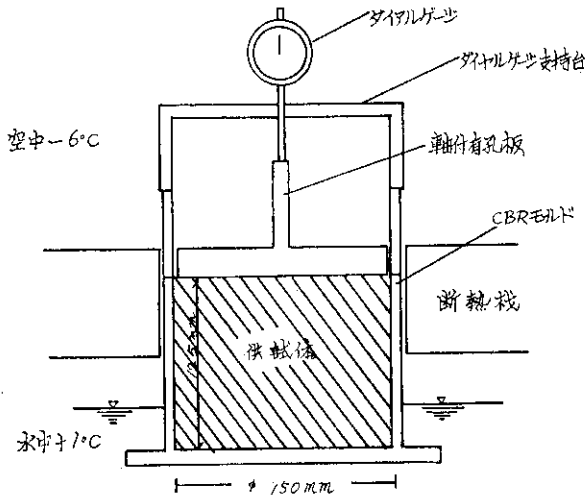
供試体はJISA 1211, C B R 試験方法に従い、最適含水比で、突固め回数を一層につき55回として5層に突固めた。最適含水比は一層55回、5層の突固めにより求めたものである。ただし、試料の最大粒径は40mmとし、40mmより大きいものは、その重量だけ40mmフルイを通過し、5mmフル

*前道路研究室長 現室蘭開発建設部技術員 **道路研究室長 ***同室

イに止まる寸法のものを入れ替えることにしたが、今回の20種類の火山灰の中で40mmを越えるものはなかった。

ロ) 凍上融解

直径15cm、高さ12.5cmの室内CBR試験用モールドを用いて、イ)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、図一2のように設置して、空中温度-6°C、水中温



図一2 凍上試験装置(2)

度+1°Cの温度条件で、6日間冷却し、これを20°Cの水槽に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。

ハ) 貫入試験

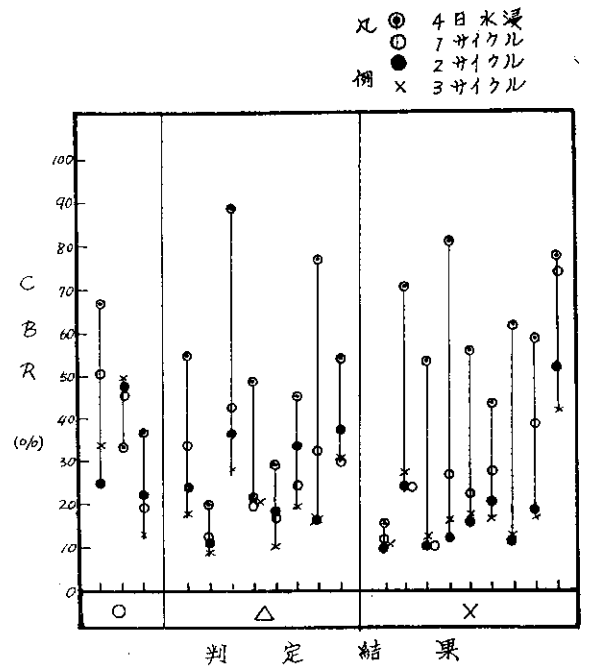
1種の試料につき供試体を15個作成し、非水浸、4日水浸、1、2、3サイクル凍結融解の各々について3個ずつ貫入試験を行なった。

2. 結果と考察

CBR試験結果は表一1、その他の試験結果は表一2に示したとおりである。なお、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を表一2に示した。

(1) 結果の概要

図一3は洗い試験、強熱減量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



図一3 4日水浸および凍結融後CBRと判定結果

表一1 C B R 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/cm³)	CBR (%)	膨張率 (%)	乾密 (g/cm³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm³)	CBR (%)	凍上量 (mm)	乾密 (g/cm³)
大与地	37	1.271	51	0.03	1.279	* 24	5.86	1.269	* 23	0.02 1.47	1.265	17	4.74 6.81 3.87	1.288
	55	1.272	58	0.02	1.276	* 37	3.19	1.272	* 26	4.22 5.09	1.269	19	8.18 8.22 5.60	1.308
	41	1.261	53	0.01	1.264	* 39	5.56	1.264	* 23	6.20 7.28	1.265	18	5.06 7.09 5.90	1.269
螺湾	23	1.133	21	0.04	1.131	* 11	7.50	1.152	* 12	8.63 1.48	1.166	7	13.76 2.14 2.94	1.178
	24	1.131	20	0.05	1.145	* 12	4.43	1.124	* 11	9.11 3.75	1.154	10	5.24 1.33 1.87	1.192

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 (%)	膨張率 (%)	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)
	24	1.119	20	0.02	1.142	* 13	2.12	1.137	* 10	10.40 5.90	1.147	11	9.21 0.38 2.77	1.118
キ口口	14	1.389	13	0.22	1.382	* 11	3.32	1.373	* 10	2.85 3.98	1.385	7	0.26 0.64 1.11	1.351
	11	1.390	17	0.06	1.389	* 11	4.07	1.381	* 10	5.04 2.82	1.381	15	0.36 1.88 0.28	1.365
	10	1.387	14	0.02	1.395	* 12	3.74	1.375	* 10	5.96 0.54	1.380	7	0.48 0.88 1.54	1.370
活込	84	1.403	73	0.02	1.376	* 49	6.08	1.373	20	8.63 6.00	1.357	34	2.17 4.42 1.57	1.355
	57	1.386	70	0.04	1.395	* 57	8.94	1.383	29	4.44 1.89	1.370	24	7.17 6.62 3.64	1.369
	73	1.393	55	0.02	1.387	* 44	10.92	1.372				45	0.04 3.29 1.26	1.356
美々粗粒	37	1.458	34	0	1.501	48	0.92	1.419	46	1.01 0.40	1.478	52	0.66 0.63	1.458
	38	1.496	30	0	1.451	37	0.54	1.408	48	0.32 0.44	1.493	52	2.32 0.57 0.99	1.463
	28	1.454	36	0	1.483	53	0.24	1.431	48	0.36 0.37	1.482	43	0.54 0.36 0.98	1.446
美々細粒	34	1.060	31	0.01	1.050	* 20	3.10	1.055	17	6.45 4.13	1.073	13	5.87 7.00 4.08	1.073
	33	1.065	34	0.38	1.062	* 14	6.01	1.068	23	3.49 0.90	1.078	13	8.26 5.70 4.62	1.077
	34	1.070	43	0.14	1.065	* 23	4.66	1.060	26	3.00 0.82	1.065	12	7.34 5.30 4.73	1.079
中斜里	73	1.232	100	0.10	1.293	36	3.33	1.247	38	2.87 2.68	1.275	29	5.40 4.18 2.96	1.270
	81	1.241	80	0.05	1.335	50	1.49	1.253	43	5.51 1.88	1.265	25	4.58 2.91 2.53	1.260
	68	1.252	86	0.04	1.284	39	1.76	1.238	26	4.25 2.06	1.265	29	5.26 2.48 2.82	1.258
水上	73	1.247	61	0.23	1.233	26	6.87	1.230	20	6.39 0.28	1.246	24	1.28 0.47 4.48	1.288
	93	1.244	77	0.21	1.266	22	6.32	1.226	29	8.23 3.22	1.268	30	1.40 2.52 2.63	1.242
	89	1.230	73	0.56	1.222	21	4.83	1.218	23	6.73 3.70	1.256	27	5.63 1.04 3.09	1.244

試
豊
本
花
小
大
置

ル
 乾密
 (g/cm³)
 1.118
 1.351
 1.365
 1.370
 1.355
 1.369
 1.356
 1.458
 1.463
 1.446
 1.073
 1.077
 1.079
 1.270
 1.260
 1.258
 1.288
 1.242
 1.244

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 (%)	膨張率 (%)	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)
豊 富	66	1.273	45	1.42	1.279	15	7.79	1.286	11	23.24 14.77	1.295	13	24.67 12.93 6.84	1.324
	91	1.289	62	0.96	1.289	7	6.61	1.282	10	9.70 9.50	1.303	12	25.54 17.51 21.57	1.318
	88	1.273	52	0.38	1.279	8	4.52	1.288	10	4.89 8.77	1.299	10	18.56 19.07 14.25	1.313
本 岐	66	1.115	37	0.15	1.099	15	4.93	1.105	24	5.78 5.73	1.125	23	3.68 7.34 4.08	1.170
	80	1.106	47	0.02	1.099	23	7.10	1.122	20	6.35 4.93	1.129	21	4.43 1.26 4.42	1.137
	80	1.109	61	0.05	1.113	18	7.92	1.124	20	4.34 4.51	1.123	17	6.62 2.02 3.18	1.120
花 園	51	1.352	28	0.02	1.337	18	10.56	1.314	22	9.54 8.37	1.342	9	9.39 2.65 6.89	1.333
	50	1.344	28	0.02	1.346	15	11.24	1.314	15	10.89 10.39	1.342	9	14.83 8.71 15.63	1.351
	49	1.342	30	0.03	1.342	15	1.314	1.311	18	11.66 11.74	1.342	11	4.81 2.15 8.25	1.329
小清水5号	85	1.238	81	1.10	1.246	30	1.33	1.248	13	5.81 3.08	1.232	14	8.13 2.41 5.02	1.251
	73	1.212	80	0.23	1.255	29	2.12	1.234	9	7.24 3.58	1.230	18	3.65 3.58 2.25	1.244
	99	1.233	81	0.62	1.246	20	1.22	1.246	14	5.43 4.28	1.224	17	4.80 3.27 6.19	1.240
大 栄	97	1.272	43	0.92	1.230	16	3.33	1.255	16	4.58 5.21	1.271	14	11.63 5.59 16.10	1.272
	91	1.272	58	0.14	1.242	25	4.72	1.244	14	7.13 4.00	1.267	13	10.46 7.40 6.45	1.276
	88	1.269	65	0.09	1.238	25	2.44	1.259	15	3.09 4.24	1.252	23	13.30 6.09 10.69	1.271
置 戸	51	1.085	45	0.06	1.095	26	1.08	1.091	20	4.93 4.57	1.096	16	11.42 8.72 3.51	1.099
	33	1.090	42	0.10	1.090	27	0.09	1.081	15	9.08 4.89	1.103	14	8.11 6.95 3.08	1.113
	53	1.089	42	0.10	1.083	29	0.85	1.065	25	6.36 1.88	1.106	17	10.46 7.53 5.26	1.155
	50	1.084	48	0.02	1.076	24	2.26	1.078	32	0.89 0.62	1.099	20	8.02 4.20 0.74	1.067

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 (%)	膨張率 (%)	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)
端 穂	47	1.084	42	0	1.076	23	3.01	1.082	31	1.99 1.01	1.091	21	3.77 4.41 0.79	1.073
	53	1.089	45	0.02	1.079	25	6.17	1.071	35	1.58 2.00	1.099	17	9.36 4.93 5.94	1.081
端 治	100	1.279	53	1.18	1.298	10	13.13	1.304	10	14.52 8.47	1.278	11	1.23 4.72 3.13	1.291
	128	1.284	62	1.19	1.298	14	14.04	1.340	8	11.11 5.18	1.282	11	5.43 0.60 4.01	1.269
	128	1.270	69	0.40	1.303	11	7.87	1.313	14	11.10 7.16	1.279	14	4.09 3.46 2.07	1.267
小清水6号	70	1.243	53	0.32	1.223	30	3.77	1.253	18	5.93 3.24	1.296	18	5.53 5.68 4.02	1.238
	55	1.225	55	0.13	1.227	38	0.89	1.248	20	9.60 2.60	1.263	15	8.86 5.94 7.80	1.249
	56	1.224	67	0.65	1.234	46	0.66	1.256	16	5.57 3.02	1.246	17	5.78 4.95 3.70	1.234
日 並	95	1.310	73	0.27	1.324	20	6.72	1.260	17	6.32 6.73	1.310	20	2.34 2.01 5.03	1.322
	101	1.301	79	0.21	1.319	38	4.32	1.273	17	12.27 8.49	1.281	12	5.45 5.00 3.22	1.295
	90	1.305	77	0.77	1.313	39	1.39	1.254	15	6.69 9.86	1.310	15	9.48 2.20 3.75	1.290
ツバメの巣	50	1.226	33	0.01	1.253	34	2.31	1.250	32	2.22 1.10	1.264	36	7.44 3.20 3.83	1.262
	63	1.224	56	0.02	1.260	30	3.28	1.262	42	2.48 1.38		24	6.60 0.56 4.89	1.251
	40	1.212	69	0.05	1.286	22	2.61	1.251	37	2.38 2.47	1.278	29	3.17 1.76 5.11	1.250
神 浦	95	1.656	108	0.02	1.678	13	4.43	1.687	37	2.44 1.87	1.649	40	7.39 12.55 16.57	1.677
	75	1.619	53	0.01	1.656	66	4.16	1.682	66	3.32 1.46	1.634	42	8.70 3.76 10.00	1.684
	104	1.637	71	0.82	1.651	80	2.17	1.664	51	5.75 5.24	1.657	44	8.82 2.62 8.30	1.687

(注, 1) 乾密は供試体作成時の値である。

(注, 2) *印のCBRは、凍上試験後、約24時間空中に放置して融解し、貫入試験を行なったものである。

(注, 3) 2サイクル, 3サイクル試験の凍上量は、上欄から順に、1サイクル目, 2サイクル目, 3サイクル目の凍上量を示す。

大
螺
キ
活
美
美
中
水
豊
本
花
小
大
置
端
端
小
日
ツ
神

フル
乾密
(g/cm³)
1.073
1.081
1.291
1.269
1.267
1.238
1.249
1.234
1.322
1.295
1.290
1.262
1.251
1.250
1.677
1.684
1.687

表-2 試験結果

試料名	74μ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
大与地	24	5.5	A-2-4	5/12	a	△	2.92
螺湾	27	5.7	A-2-4	0/4	a	△	2.14
キロロ	23	5.4	A-2-4	23/26	a	×	3.42
活込	21	3.7	A-3	13/10	a	○	3.00
美々粗粒	1	3.0	A-1-6	11/19	a	○	4.97
美々細粒	27	2.8	A-2-4	15/15	a	○	2.83
中斜里	25	3.3	A-2-4	29/23	a	△	2.76
水上	28	4.6	A-2-4	49/52	c	×	3.08
豊富	60	5.0	A-4	99/88	c	×	1.36
本岐	40	4.0	A-2-4	6/7	a	△	1.90
花園	24	4.1	A-2-4	0/0	a	△	2.27
小清水5号	43	4.5	A-4	27/73	b	×	1.88
大栄	46	4.9	A-4	39/38	c	×	1.81
置戸	59	3.1	A-4	32/27	b	×	0.96
端穂	39	3.0	A-4	7/5	a	△	1.55
端治	50	5.1	A-4	85/53	c	×	1.67
小清水6号	40	4.2	A-2-4	30/16	b	×	2.10
日並	23	3.6	A-2-4	22/23	a	△	3.45
ツバメの巣	25	4.3	A-2-4	9/18	a	△	2.91
神浦	16	5.4	A-2-4	23/22	b	×	3.59

(注、1) 「凍上率」は次のようにして求めた。

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

(注、2) 凍結様式欄の文字 a, b, c は次の意味を示す。

る。
イク

- 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。

(注， 3) 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。

(注， 4) 「粗粒率」は次のように仮に定めた。

38.1, 25.4, 19.1, 9.52, 4.76, 2.00, 0.84, 0.42, 0.25, 0.105, 0.074mmフルイの1組を用いて， フラ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。

た結果と4日水浸および凍結融解後CBRの関係を取りまとめて示したものである。ここでCBRはそれぞれ3個の測定値の平均で示した。

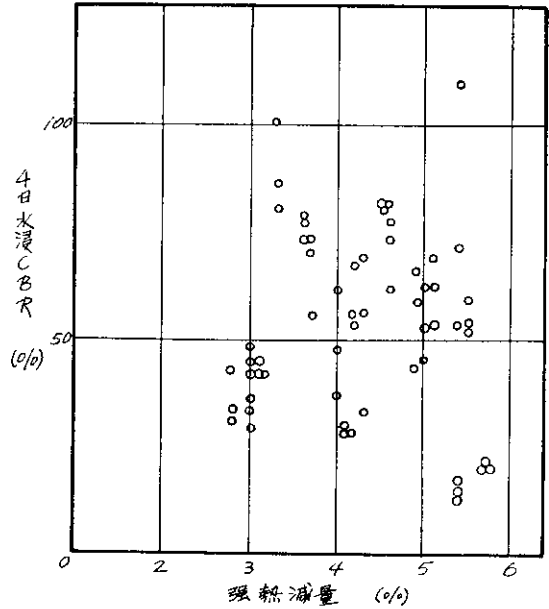
これによれば， 判定結果○のものは個数が少なく， はっきりした傾向は得られないが， ×のものは4日水浸CBRが大きいものでも凍結融解後CBRは非常に小さくなるものが多く， △のものもややこれに似た傾向がみられる。また， ○のものにも凍結融解後のCBRがかなり低下するものも含まれており， 路盤材料としての適否は凍上性からの判定のほか， CBRをも考慮する必要がありそうに思われる。

(2) 4日水浸CBRと諸要素との関係

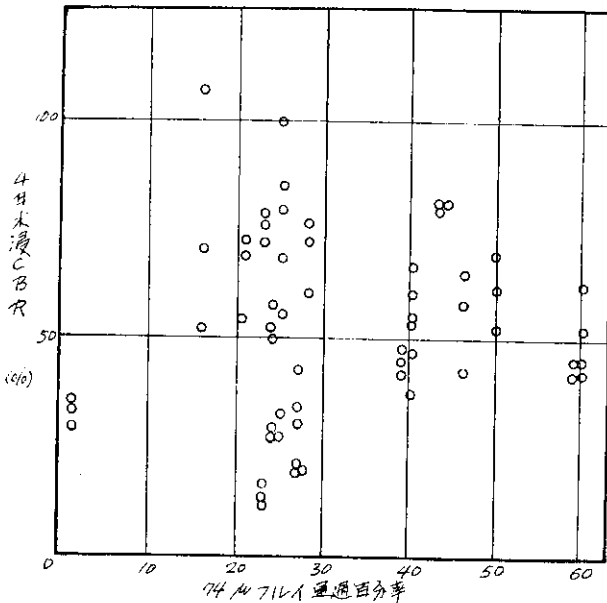
4日水浸CBRと74μフルイ通過百分率， 強熱減量， 粗粒率の関係を図一4～6に示した。

これによれば， 74μフルイ通過百分率および強熱減量と4日水浸CBRとの間には， はっきりした関係は認められない。また， 粗粒率が大きくな

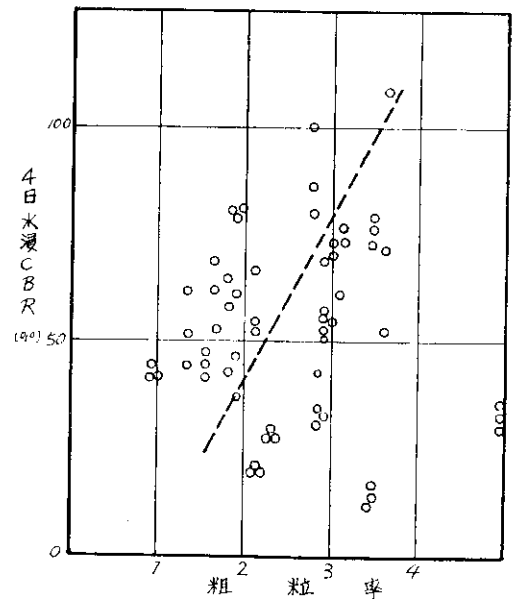
れば， 4日水浸CBRも大きくなる傾向がありそうであるが， はっきりしない。



図一5 4日水浸CBRと強熱減量



図一4 4日水浸CBRと74μフルイ通過百分率



図一6 4日水浸CBRと粗粒率

(3) 凍結融解後 CBR と諸要素との関係

図-7~13は、74μフルイ通過百分率、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 保存率との関係を取りまとめて示したものである。

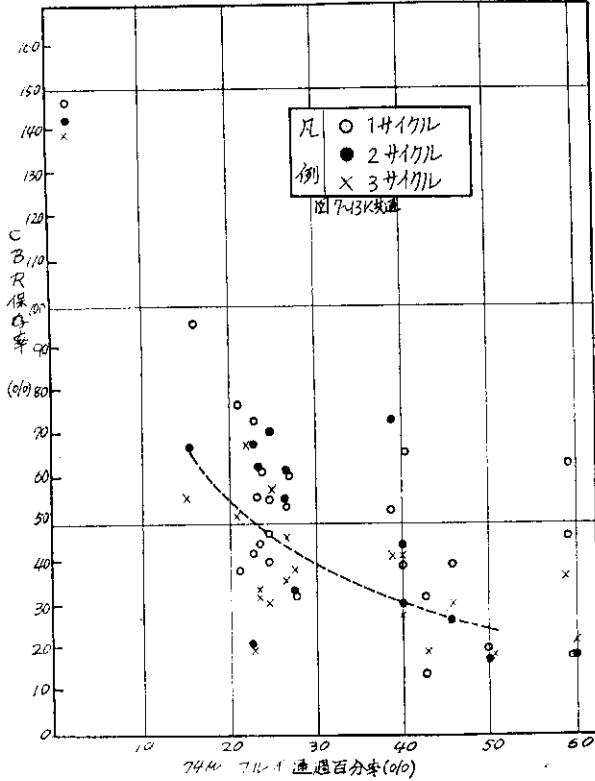


図-7 CBR 保存率と74μフルイ通過百分率

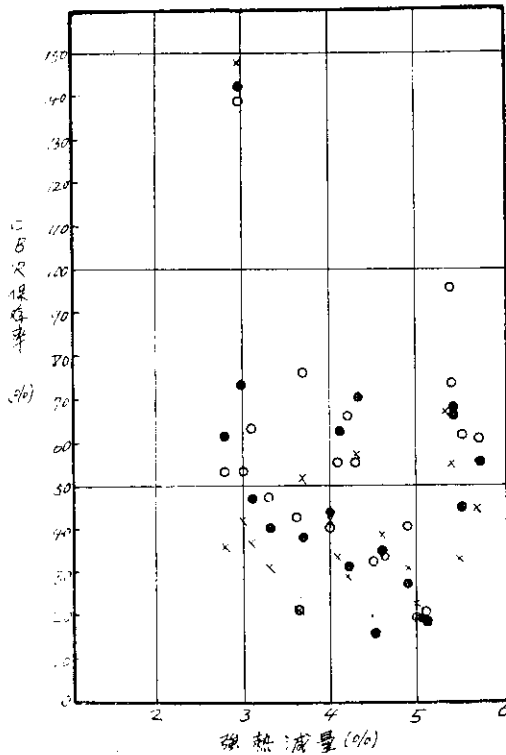


図-8 CBR 保存率と強熱減量

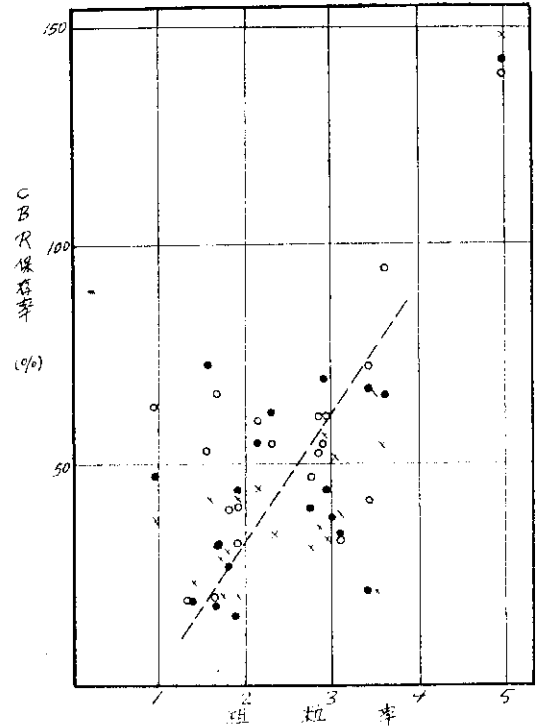


図-9 CBR 保存率と粗粒率

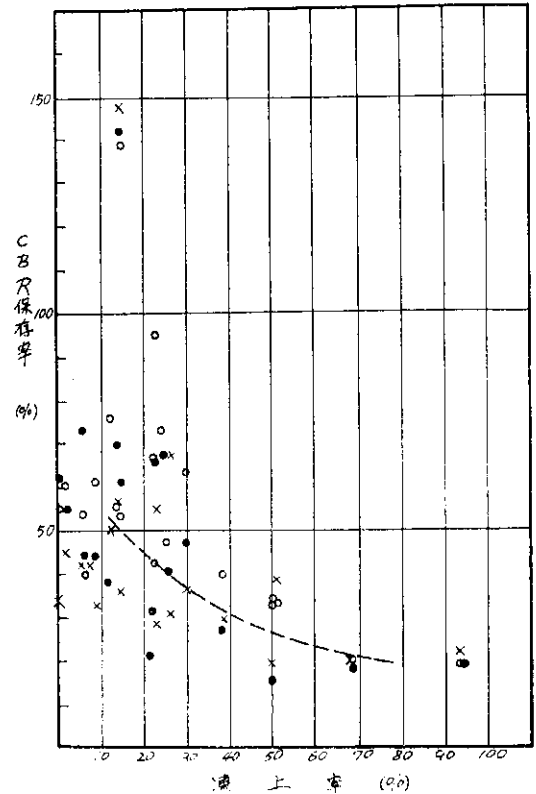
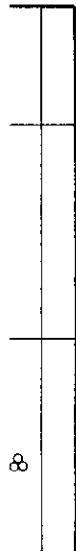


図-10 CBR 保存率と凍上率

ここで CBR 保存率とは、4日水浸 CBR 3個の算術平均値に対する1, 2, 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。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

1組を用
和を100

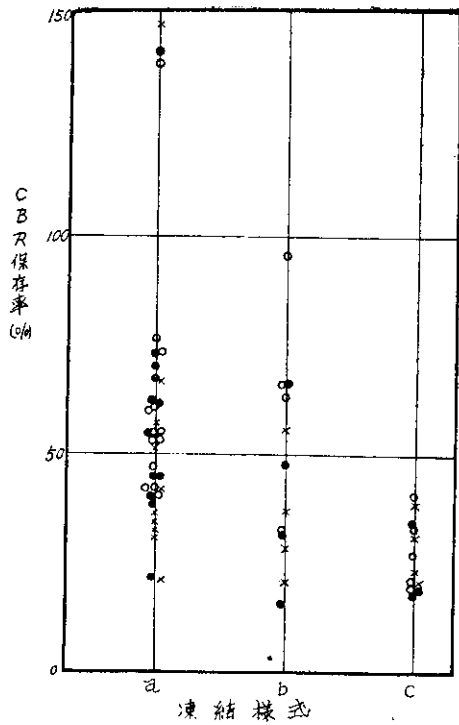
がありそ



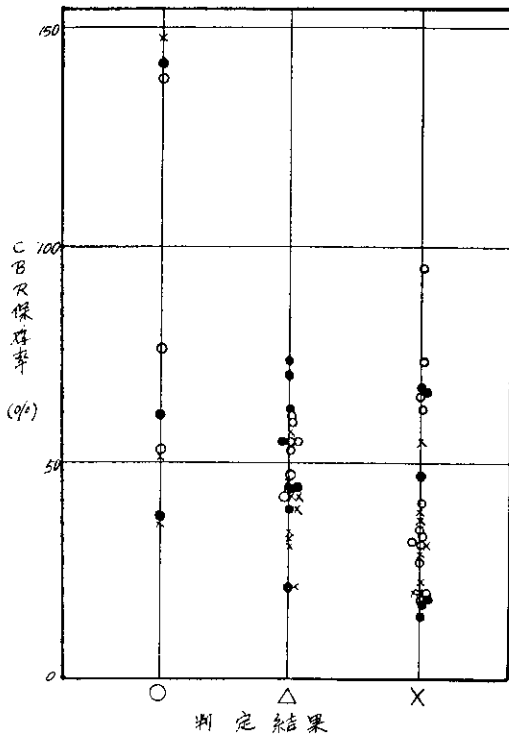
減量



粒率



図—11 CBR保存率と凍結様式



図—12 CBR保存率と判定結果

となる。これらの図から次のようなことがわかった。

- (イ) 74μフルイ通過百分率が大きくなるとCBR保存率は小さくなる傾向がありそうである。
- (ロ) 強熱減量とCBR保存率との間には、はっきりした関係は認められない。

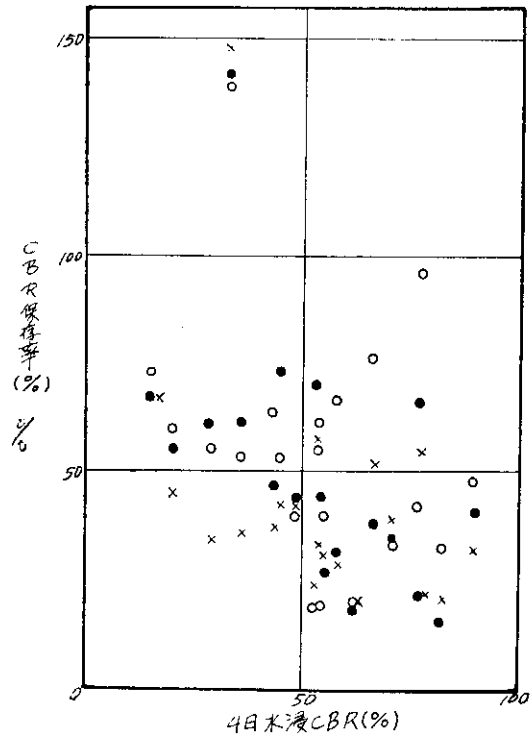
(ハ) 粗粒率が大きくなればCBR保存率も大きくなる傾向がありそうである。これは、粗粒であれば74μフルイ通過分も少なく、凍上性も小さいので、今までの経験的な考えとも一致するものである。

(ニ) 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。

(ホ) 凍結様式a, b, cの順にCBR保存率は小さくなっている。凍結様式がCのものは、霜降状、霜柱状のもので、一般に凍上率も大きく、凍上融解で締固まった資料が弛緩し、含水が多くなるのでCBRが小さくなるものと思われる。

(ヘ) 判定結果が、○, △, ×の順にCBR保存率は小さくなっている。

(ト) 4日水浸CBRとCBR保存率の間には、はっきりした関係は認められない。



図—13 CBR保存率と4日水浸CBR

(4) 現在、採用されている判定方法について

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、①74μ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、この面からみても現行の判定方法は一応合理的なもののようなのである。しかし、これも試料の強度(CBR)を考慮した場合の判定基準としては十分ではない。

も大きく
粒であれ
小さいの
ものであ

は小さく

保存率は、
霜降
きく、凍
が多くな
る。
R保存率

割には、



て
下層路
レイ通過
式、⑤改
質し、と
るが、
り、こ
りなもの
(CBR)
はない。

CBR保存率が大きく、凍結融解後CBRが4日水浸CBRと比べて大差がなくても、4日水浸CBRが小さくは、ある程度の支持力が要求される路盤材料としては適当でない。また、4日水浸および凍結融解後CBRが大きくても、凍上性の大きい火山灰は凍結深度内に使用する路盤材料としては適当でない。

今回の実験では、判定結果が○の試料が少なく、これからははっきりした傾向を知ることはできないが、火山灰の使用適否の判定は凍上性のほか、CBRなどによる強度特性、とくに、凍結融解による劣化について、検討する必要があるように思われる。この点については、今後、路体各層材料として必要な支持力についても実験し、あわせて検討したいと考えている。

3. 結 び

以上、火山灰の凍上性と凍結融解後CBRについて行なった実験の結果について述べた。本実験は試料が少なく、ただちにこの結果から結論を導くことはできないが、材料の選定をする際には、材料の強度、とくに、凍結融解後のCBRについても検討する必要があるそうなのがわかった。今後はさらに実験を続け、粗粒火山灰についてこの実験結果をあわせて検討し、路盤材料として火山灰の基準を確立したいと考えている。

最後に、試料の採取に協力して下さった関係開発建設部の方々に御礼を申し上げるとともに、実験を担当しデータ整理に当たった土木試験所道路研究室坂井技官、竹瀬技術員に謝意を表する次第である。

* * *