

# 切込碎石の粒度およびシルト以下含有量と CBR について

高橋 毅\* 佐々木政男\*  
荻野治雄\*\*\* 佐藤彪武\*\*\*

## 1. 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行なわれており、この場合上層路盤の材料として切込碎石が用いられることが多くなった。開発局の道路工事仕様書には品質、形状、粒度について規定されている。材料の凍上性に関係するシルト以下含有量は、特記仕様書によることとなっているが、一般には切込砂利の基準が準用されており、碎石の場合についてはまだ実験による確認がされていない。また、北海道の場合とくに凍結融解期における強度の低下についても検討する必要があると思われる。

本報告は、産地の異なる4種類の切込碎石について、粒度およびシルト以下含有量を変え、4日水浸CBR試験と凍結融解後のCBR試験を行ない、これらの材料の凍上性と凍結融解によるCBRの劣化について、2、3の検討を加えたものである。なお、シルト分土を使用した場合と碎石粉を使用した場合について試験を行なうこととしているが、今回の報告は、シルト分として土を使用した場合について述べたものである。

## 2. 実験の概要

### (1) 試料

試料は小樽開発建設部管内の小泊産、茅沼産、比羅夫産、寿都産の切込碎石4種類を用いることとし、これらにシルト以下微粒子の含有量を変えて試験するため、微粒子部分として錦岡産の土を混合調整することとした。粒度は0.42mm以上をアスファルト舗装要綱の上層路盤材料の標準粒度の最大粒径25mmの場合の上限、下限に一致さ

せた2種とし、それぞれについて0.074mm以下微粒子の含有量を4.76mm以下に対し10%および30%とした。これらの粒度曲線は図-1のとおりである。このため切込碎

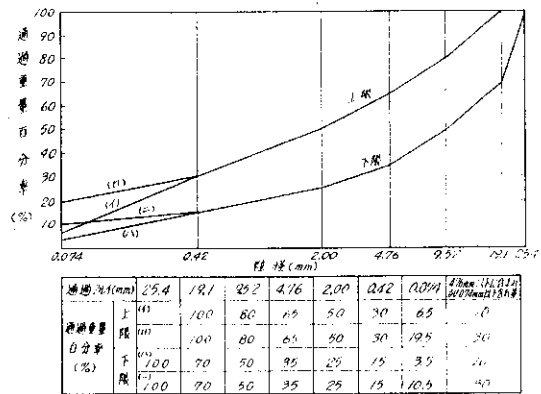


図-1 試料の粒度曲線

表-1.1 規格試験結果(切込碎石)

産地名	岩石名	比重	吸水量(%)	スリヘリ減量(%)	安定性(%)
小泊	玄武岩	2.75	0.36	(B)19.5 (C)22.5	4.2
茅沼	安山岩	2.44	4.41	(B)19.7 (C)20.4	23.2
比羅夫	安山岩	2.58	2.24	(B)39.3 (C)40.4	4.7
寿都	流紋岩	2.55	2.68	(B)18.5 (C)20.3	4.0

(注) B, CはJIS A1121の粒度区分を表わす

表-1.2 規格試験結果(土(0.074mm以下))

比重	コンシステンシー試験			突固め試験		凍上試験	
	液性限界(LL)	塑性限界(PL)	塑性指数(PI)	最適含水比(%)	最大乾燥密度(g/cm³)	凍上率(%)	供試体縦断面の凍結状況
2.537	53.5(%)	40.2(%)	13.3	41.1	1.217	260.0	霜柱状凍結

\*道路研究室 \*\*同副室長 \*\*\*同室

石を25.4~19.1mm, 19.1~9.52mm, 9.52~4.76mm, 4.76~2.00mm, 2.00~0.42mm, 0.42~0.074mmにふるい分け, また土は0.074mmふるい通過分を用いて, これらを予定粒度になるよう配合調整した。これらの切込碎石および土の試験結果は表-1.1, 1.2のとおりである。

(2) 供試体作成方法

供試体は JIS A 1211 CBR試験方法にしたがい, 次のような締固め条件のもとで作成した。すなわち最適含水比で, 突固め回数を1層につき55, 25, 10回の3種とし, それぞれ5層に突固めた。ここでいう最適含水比は1層55回, 5層の突固めにより求めたものである。ただしJISで規定されている19.1mmふるい残留分の置換えは行わず, 25.4mmまで含まれる試料そのままに試験した。

(3) 凍上実験

直径15cm, 高さ17.5cmの室内CBR試験用モールドを用いて, (2)の方法で作成した供試体を水槽で約24時間水浸させ, 凍上試験槽の中に図-2のように設置して, 空中温度-6℃, 水中温度1℃~2℃の温度条件で6日間冷却した後, 供試体を20℃の水槽に24時間水浸して融解する。この操作を2回繰り返す, 各サイクルごとに凍上量を測定した。

(4) 貫入試験

同じ試料, 同じ粒度, 同じ突固め回数の同一供試体を6個作成し, そのうち3個は4日水浸CBR試験を行ない, 他の3個は凍上実験の後で, 凍結融解後のCBR試

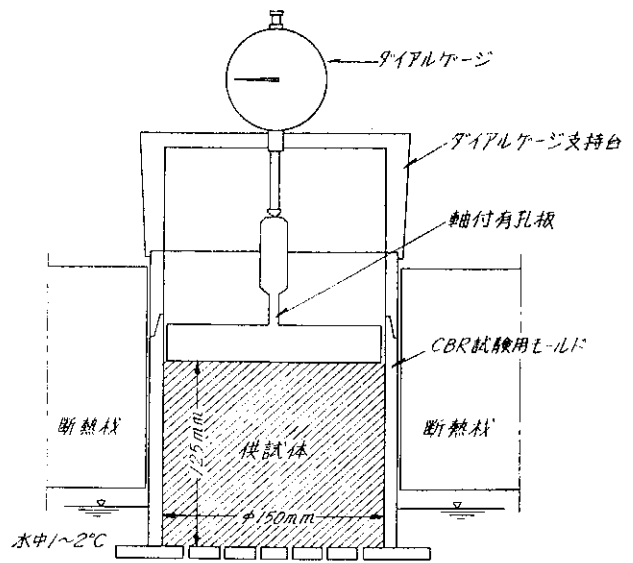


図-2 凍上試験装置

験を行なった。

3. 実験の結果と考察

表-2は切込碎石4種の各粒度, シルト以下含有量の最適含水比, 最大乾燥密度, 各突固め回数ごとの水浸, 凍結融解後のCBR試験の結果を示したものである。

(1) 粒度およびシルト以下含有量と最適含水比および最大乾燥密度について

図-3はCBR試験供試体作成に先立って行なった突固め試験の結果から, 4.76mm以下に対する0.074mm以下含有量と最適含水比および最大乾燥密度との関係を示し

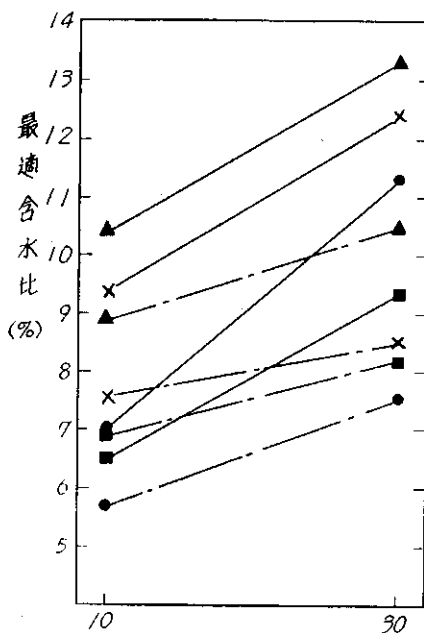


図-3-1 シルト以下含有量と最適含水比の関係

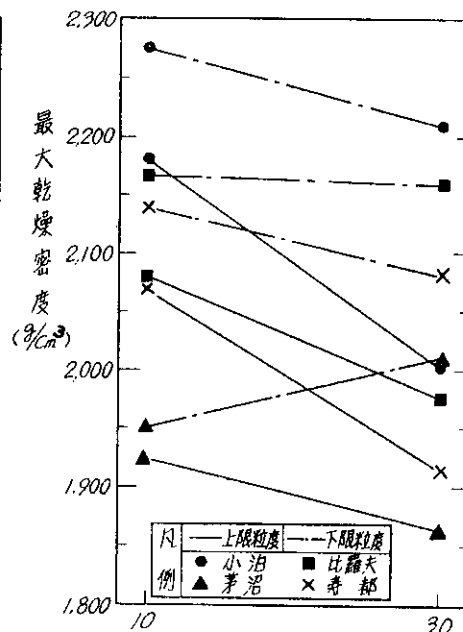


図-3-2 シルト以下含有量と最大乾燥密度の関係

図-3 粒度およびシルト以下含有量と最適含水比および最大乾燥密度の関係

表-2 試 験 結 果

小 泊 産

粒 度	74 $\mu$ 以下 (%)	突 固 め		4 日 水 浸					凍 結 融 解					
		最 適 含水比 (%)	最大乾 燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	突 固 回 数	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	膨 張 比 (%)	C B R (%)	修 正 C B R (%)	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	凍 上 量		C B R (%)	修 正 C B R (%)	
										1 サイクル ( $\frac{1}{100}$ mm)	2 サイクル ( $\frac{1}{100}$ mm)			
上 限	(イ) 6.5	7.0	2.180	55	2.172	0.01	167.9	83	2.156	354	278	102.2	50	
					2.170	0.01	175.2		2.150	443	541	82.1		
					2.161	0.01	175.2		2.166	404	381	102.2		
					2.063	0.01	65.7		2.063	301	172	41.6		
					2.066	0.02	78.5		2.066	280	161	54.7		
					2.044	0.01	65.7		2.071	252	393	47.4		
				25	1.954	0.02	33.6		1.941	128	166	24.1		
					1.942	0.01	32.1		1.939	298	120	25.5		
					1.943	0.02	37.2		1.945	310	236	25.5		
					10	1.978	0.01		53.3	2.009	367	1252		12.4
						2.001	0.02		54.0	2.014	341	1038		18.2
						1.989	0.02		47.4	2.064	274	250		48.9
						1.939	0.03		46.0	1.903	241	843		32.8
						1.962	0.06		54.0	1.976	591	1366		27.0
1.960	0.06	43.8	1.956	278		1009	39.4							
28	1.851	0.07	28.5	1.856	453	255	17.9							
	1.853	0.08	27.0	1.649	785	369	14.6							
10	1.840	0.09	27.7	1.866	656	285	16.4							
	下 限	(ロ) 19.5	11.3	2.002	55	2.221	0.00	198.9	127	2.242	143	127	167.9	117
2.214						0.01	200.7	2.236		46	256	177.0		
2.221						0.01	219.0	2.253		197	192	164.2		
2.128						0.01	94.9	2.127		166	66	109.5		
2.149						0.00	98.5	2.136		104	109	102.2		
2.150						0.00	105.8	2.126		134	318	80.3		
2.000						0.01	43.1	1.995		98	183	43.8		
25						2.020	0.00	46.7		1.992	209	192	41.6	
						2.023	0.02	44.5		2.012	92	160	46.0	
10						2.208	0.01	125.9		2.199	345	185	120.4	
						2.208	0.01	156.9		2.208	752	362	138.7	
						2.207	0.00	125.9		2.189	676	616	124.1	
						2.124	0.02	118.6		2.124	173	171	91.2	
						2.107	0.02	104.0		2.094	202	206	89.4	
	2.089	0.00	125.9	2.103	528	386	80.3							
	1.979	0.02	49.6	1.937	438	179	34.3							
	1.982	0.01	52.0	1.960	216	371	43.8							
	1.954	0.02	26.9	1.936	307	235	35.8							
	112	85												

(注) 修正C B Rは最大乾燥密度の95%とした。

茅 沼 産

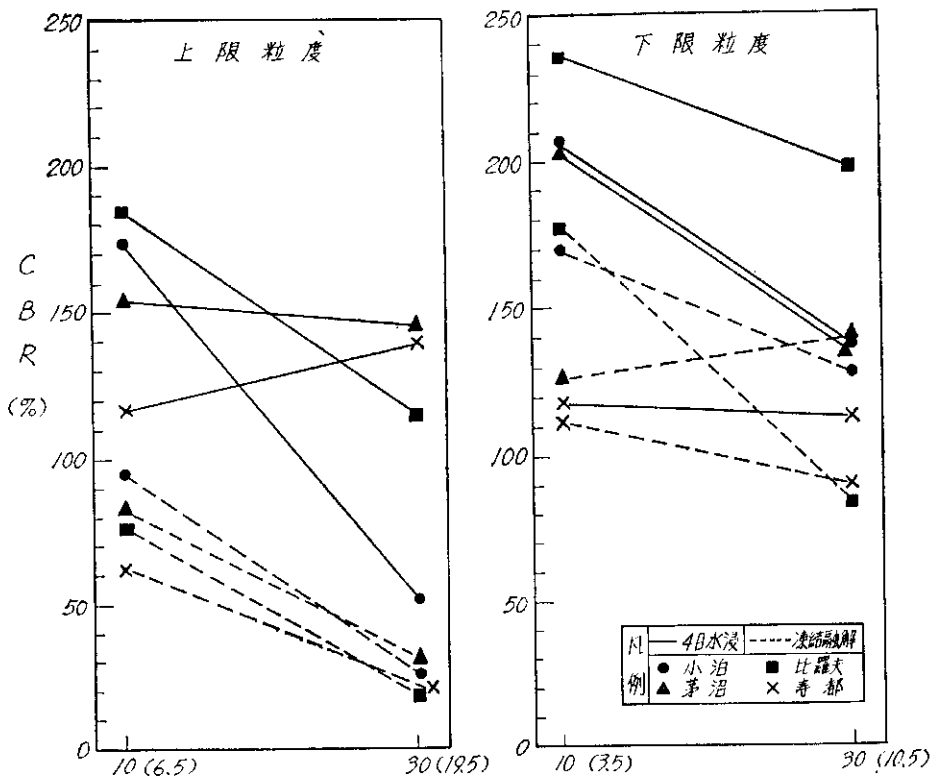
粒 度	74μ 以下 (%)	突 固 め		4 日 水 浸					凍 結 融 解						
		最 適 含 水 比 (%)	最 大 乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	突 固 回 数	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	膨 張 比 (%)	C B R (%)	修 正 C B R (%)	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	凍 上 量		C B R (%)	修 正 C B R (%)		
										1 サイクル (1/100 mm)	2 サイクル (1/100 mm)				
上 限	6.5	10.4	1.924	55	1.900	0.02	142.3	76	1.942	848	551	62.0	39		
					1.913	0.02	175.2		1.927	671	579	87.6			
					1.906	0.02	146.0		1.909	823	553	100.4			
					1.841	0.02	83.9		1.851	778	595	40.9			
					1.844	0.02	82.1		1.839	686	405	43.8			
					1.852	0.02	93.1		1.846	566	462	43.8			
				10	1.757	0.04	29.6		1.739	493	388	17.5			
					1.722	0.05	26.3		1.752	714	556	22.6			
					1.767	0.03	37.2		1.758	542	682	21.9			
					55	1.846	0.06		160.6	56	1.821	1321		1104	29.2
						1.830	0.04		124.1		1.827	827		682	32.1
						1.859	0.10		151.5		1.824	1257		1181	—
						1.748	0.09		54.7		1.785	981		294	15.0
						1.766	0.10		62.8		1.723	762		442	13.1
1.824	0.08	58.4	1.722	1007		380	19.0								
10	1.633	0.12	13.9	1.658	600	150	13.5								
	1.640	0.12	13.1	1.652	646	658	9.5								
	1.638	0.11	18.5	1.674	686	586	9.9								
	下 限	3.5	8.9	1.949	55	1.956	0.02	208.0	113		1.946	556	360	146.0	76
1.950						0.01	231.8	1.978			543	397	146.0		
1.933						0.02	171.5	1.971			624	467	87.6		
1.865						0.01	127.7	1.904			341	322	94.9		
1.892						0.02	146.0	1.926			566	276	109.5		
1.900						0.02	138.7	1.905		391	191	109.5			
10					1.763	0.01	54.7	1.817		381	470	62.8			
					1.778	0.01	62.0	1.837		190	424	67.9			
					1.810	0.02	67.5	1.816		502	542	56.2			
					55	1.933	0.10	127.7		125	1.928	264	662	124.1	
1.942						0.09	124.1	1.967			938	725	164.2		
1.968						0.07	153.3	1.979			659	540	127.7		
1.856						0.06	113.1	1.881			458	646	124.1		
1.886						0.06	118.6	1.909			70	690	131.4		
1.890	0.10	118.6	1.904	628		567	94.9								
1.799	0.03	62.0	1.805	628		650	63.9								
1.777	0.03	62.0	1.781	330		671	62.0								
1.795	0.05	60.2	1.796	864		365	65.7								

比羅夫産

粒 度	74 $\mu$ 以下 (%)	突 固 め		4 日 水 浸					凍 結 融 解					
		最 適 含水比 (%)	最大乾 燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	突 固 回 数	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	膨 張 比 (%)	C B R (%)	修 正 C B R (%)	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	凍 上 量		C B R (%)	修 正 C B R (%)	
										1 サイクル ( $\frac{1}{100}$ mm)	2 サイクル ( $\frac{1}{100}$ mm)			
上	6.5	8.0	2.080	55	2.106	0.01	189.8	72	2.096	1016	692	98.5	32	
					2.108	0.00	182.5		2.094	986	354	67.5		
					2.112	0.02	182.5		2.094	739	460	65.7		
					2.018	0.02	94.9		2.010	771	431	34.3		
					2.026	0.02	102.2		2.023	652	604	43.8		
					2.016	0.02	85.8		2.017	652	373	38.7		
				10	1.917	0.02	38.7		1.916	466	338	23.0		
					1.894	0.02	36.5		1.906	270	302	18.2		
					1.926	0.02	43.1		1.908	471	350	24.8		
					55	1.931	0.10		115.0	1.985	1697	1088		18.2
						1.940	0.11		124.1	1.977	1622	993		21.9
						1.943	0.11		107.7	1.995	1590	1061		15.3
						1.859	0.13		48.2	1.882	1102	782		14.6
						1.847	0.14		40.9	1.872	1023	820		17.2
1.860	0.16	42.3	1.869	1060		745	20.8							
10	1.766	0.14	17.2	1.760	832	768	9.9							
	1.757	0.14	17.2	1.750	1158	965	10.6							
	1.739	0.16	14.2	1.750	813	670	8.4							
	下	3.5	6.9	2.166	55	2.134	0.01	222.6	125	2.189	212	283	186.1	81
						2.157	0.02	259.1		2.203	200	300	160.6	
						2.146	0.02	228.1		2.217	291	295	186.1	
2.058						0.01	131.4	2.116		232	245	94.9		
2.066						0.01	131.4	2.123		408	365	113.1		
2.071						0.01	127.7	2.111		252	250	105.8		
10					1.944	0.01	54.7	1.974		231	258	47.4		
					1.954	0.02	54.7	1.987		193	153	58.4		
					1.967	0.01	58.4	2.006		277	260	58.4		
					55	2.131	0.01	228.1		2.155	1081	767	87.6	
						2.120	0.02	222.6		2.160	712	601	91.2	
						2.128	0.02	142.3		2.164	891	570	73.0	
						2.030	0.02	87.6		2.009	842	676	58.4	
						2.025	0.02	127.7		2.035	434	357	76.6	
2.016	0.02	113.1	1.994	363		365	65.7							
10	1.891	0.02	42.3	1.873	531	327	22.3							
	1.864	0.07	41.6	1.885	723	610	25.5							
	1.897	0.02	47.4	1.853	275	324	34.3							
	1.897	0.02	47.4	1.853	275	324	34.3							

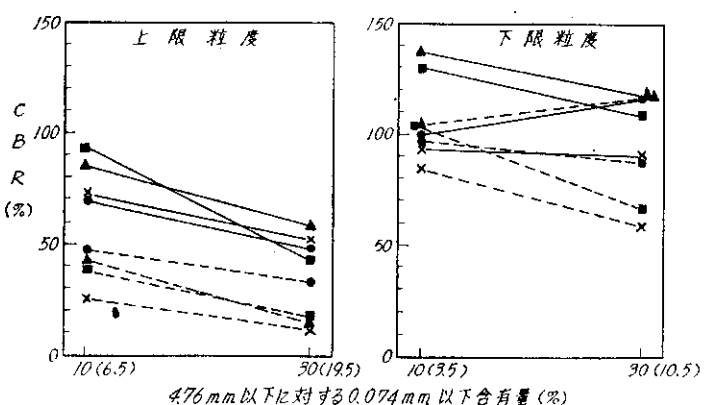
寿 都 産

粒 度	74 $\mu$ 以下 (%)	突 固 め		4 日 水 浸					凍 結 融 解					
		最 適 含水比 (%)	最大乾 燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	突 固回 数	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	膨 張 比 (%)	C B R (%)	修 正 C B R (%)	乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	凍 上 量		C B R (%)	修 正 C B R (%)	
										1 サイクル ( $\frac{1}{100}$ mm)	2 サイクル ( $\frac{1}{100}$ mm)			
上 限	(イ)	6.5	9.4	2.069	55	2.083	0.07	100.4	74	2.041	789	542	51.1	29
						2.071	0.10	120.4		2.039	794	562	54.7	
						2.067	0.09	129.6		2.037	335	412	83.9	
					25	1.965	0.02	76.6		1.970	1203	686	27.7	
						1.971	0.10	76.6		1.954	967	457	29.9	
						1.956	0.04	65.7		1.957	948	615	20.4	
						1.850	0.02	24.8		1.824	659	465	13.9	
	10	1.871	0.03	29.2	1.832	545	491	10.6						
		1.856	0.06	27.0	1.847	793	618	11.7						
		(ロ)	19.5	12.4	1.914	55	1.907	0.11	138.7	62	1.927	1679	897	
	1.907						0.09	146.0	1.923		1077	725	24.1	
	1.906						0.14	135.0	1.908		1282	785	16.8	
	25					1.805	0.06	48.9	1.830		1221	560	14.6	
						1.802	0.23	53.3	1.829		933	813	9.1	
1.811						0.16	54.0	1.831	1371		841	11.7		
1.684						0.25	11.7	1.716	974		988	5.5		
10	1.695	0.27	14.2	1.724	884	795	7.7							
	1.699	0.21	12.8	1.740	943	776	8.0							
	下 限	(ハ)	3.5	7.6	2.138	55	2.103	0.02	135.0	88	2.126	433	367	94.9
2.109							0.02	120.4	2.124		794	323	104.0	
2.107							0.04	98.5	2.106		281	359	136.9	
25						2.047	0.02	91.2	2.048		511	555	80.3	
						2.037	0.02	80.3	2.026		431	383	83.9	
						2.056	0.02	109.5	2.033		394	329	89.4	
						1.924	0.02	51.8	1.906		522	337	39.4	
10		1.939	0.02	48.9	1.912	212	208	47.4						
		1.915	0.03	43.8	1.905	363	286	47.4						
		(ニ)	10.5	8.5	2.082	55	2.049	0.06	107.7	92	2.165	349	333	120.4
2.059							0.05	120.4	2.042		867	600	89.4	
2.059							0.05	111.3	2.017		643	476	60.6	
25						1.980	0.05	91.2	1.954		324	226	63.9	
						1.979	0.04	94.9	1.970		347	239	73.0	
	1.960					0.04	87.6	1.928	411		379	40.1		
	1.837					0.05	41.6	1.760	279		337	22.6		
10	1.837	0.06	48.2	1.837	555	451	32.1							
	1.837	0.05	46.0	1.833	358	259	21.9							



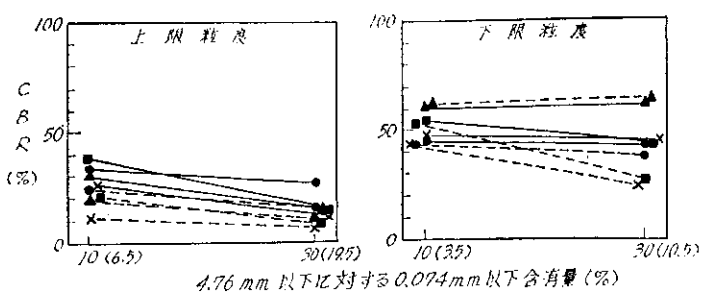
4.76mm以下に対する0.074mm以下含有量(%)  
注。( )内数字は全体に対する0.074mm以下含有量

図-4-1 突固め回数 55回



4.76mm以下に対する0.074mm以下含有量(%)

図-4-2 突固め回数 25回



4.76mm以下に対する0.074mm以下含有量(%)

図-4-3 突固め回数 10回

図-4 粒度およびシルト以下含有量とGBRの関係

たものである。図-3-1によれば、0.074mm以下含有量が増加すると最適含水比も大きくなる関係がみとめられ、各試料とも上限粒度が下限粒度より最適含水比が大きく、増加割合も大きい。図-3-2によれば、0.074mm以下含有量が増加すると最大乾燥密度は小さくなる傾向がみとめられ、各試料とも下限粒度が上限粒度より最大乾燥密度は大きく、減少割合は小さい。また、各粒度とも試料の比重が大きいほど最大乾燥密度も大きい関係にある。

(2) 粒度およびシルト以下含有量とCBRについて

図-4は粒度およびシルト以下含有量と4日水浸CBRおよび凍結融解後のCBRの関係をそれぞれ突固め回数別に示したものである。これらの図から次のようなことがわかる。

- ㊦ 同一試料で、同一突固め回数の供試体では、凍結融解後のCBRは4日水浸CBRよりも相当低下している。
- ㊧ 同じ砕石で、同じ粒度の試料では、シルト以下含有量が増せば、凍結融解後、4日水浸CBRはともに低下する傾向を示す。
- ㊨ 同一試料で、同一突固め条件の場合下限粒度のほうが上限粒度よりもCBRは大きい。

㊩ いずれの試料の場合も、突固め回数が増えるほど、CBRの値は大きくなる傾向を示し、シルト以下含有量の増加によるCBRの減少割合も大きいようである。

(3) 粒度およびシルト以下含有量とCBR保存率について

CBR保存率は4日水浸CBR3個の算術平均値に対する凍結融解後CBR3個の算術平均値の百分率である。よって、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-5はCBR保存率と粒度およびシルト以下含有量の関係を突固め回数別に示したものである。この図から次のことがわかる。

- ㊪ 突固め回数がいずれの場合も、CBR保存率は下限粒度のほうが上限粒度より大きいようである。
- ㊫ 一般にCBR保存率はシルト以下含有量が増えると小さくなる傾向を示すが、シルト以下含有量が増えてもCBR保存率が低下しないものもある。
- ㊬ 突固め回数が少なくなるにつれて、CBR保存率は大きくなる傾向にあり、下限粒度と上限粒度の差も小さくなる傾向にある。

(4) 粒度およびシルト以下含有量と凍上量について

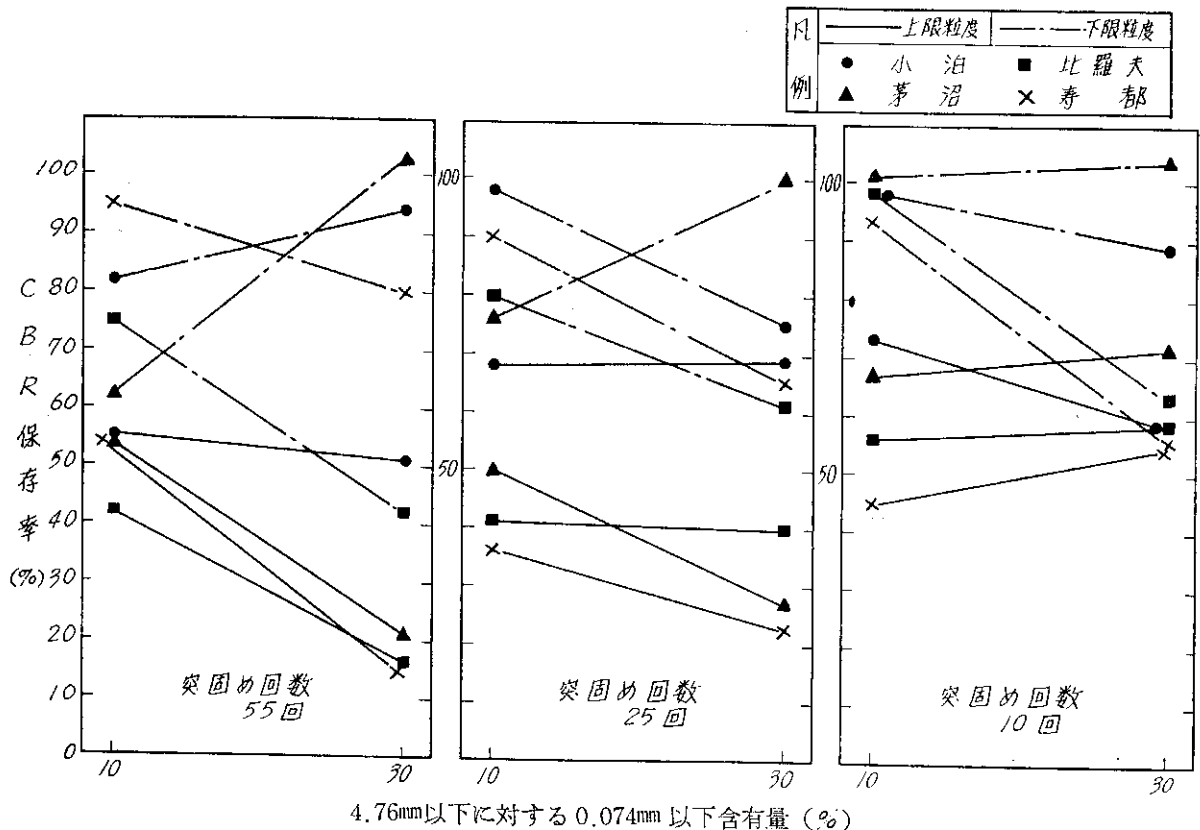


図-5 粒度およびシルト以下含有量とCBR保存率の関係



るほ  
下含  
であ  
につ  
値に  
であ  
融解  
CB  
固め  
わか  
下限  
ると  
ても  
率は  
小さ  
て

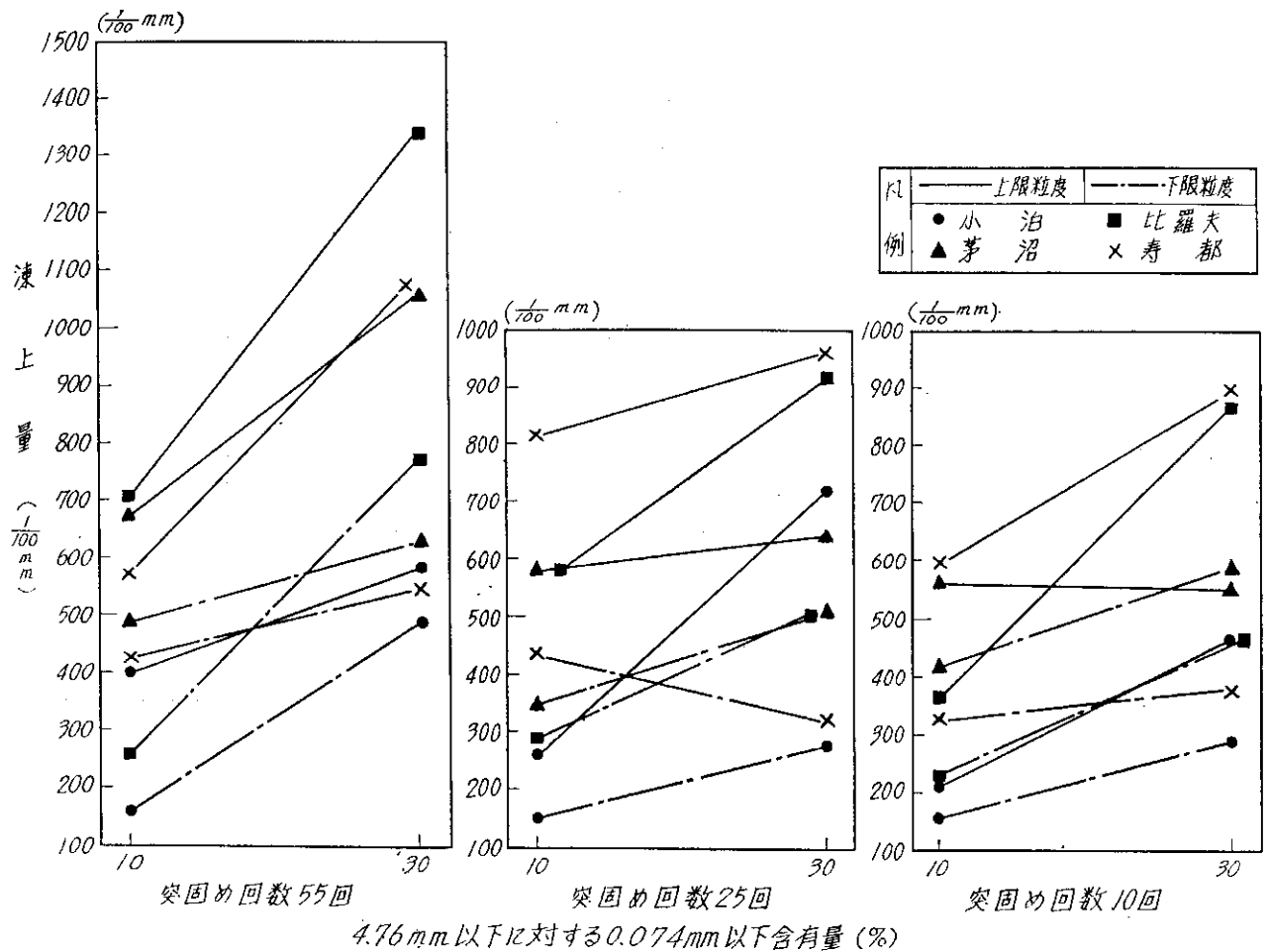


図-6 粒度およびシルト以下含有量と凍上量の関係

図-6は突固め回数別に、粒度およびシルト以下含有量と凍上量の関係を示したものである。これによれば、次のことがいえる。

- ① 突固め回数がいずれの場合も上限粒度のほうが下限粒度より凍上量は大きいようである。
- ② 突固め回数がいずれの場合も、シルト以下含有量が10%の場合よりも30%の場合が凍上量は大きくなる傾向を示す。
- ③ 同一試料では、突固め回数が増えると凍上量も大きくなる傾向があるが、シルト以下含有量が30%の場合には10%の場合よりも、突固め回数の増加に伴う凍上量の増加は大きいようである。
- ④ 同一粒度、同一突固め条件でも、凍上量は碎石の種類によって大きく異なる。

(5) 凍上量とCBR保存率について

図-7は突固め回数55, 25回の場合の凍上量とCBR保存率の関係を示したものである。

これによれば、凍上量の増加とともにCBR保存率は小さくなっており、この2要素の回帰方程式は図中に示すとおりであるが、かなり高い相関関係にあることがわかる。突固め回数10回の場合には、この関係はあまり明

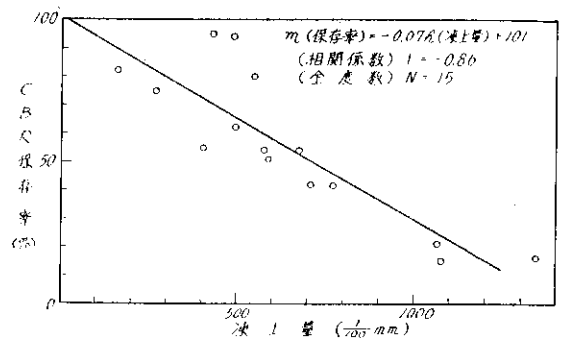


図-7-1 突固め回数 55 回

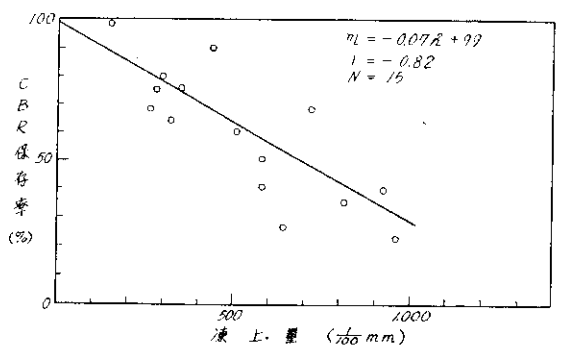


図-7-2 突固め回数 25 回

図-7 凍上量とCBR保存率の関係

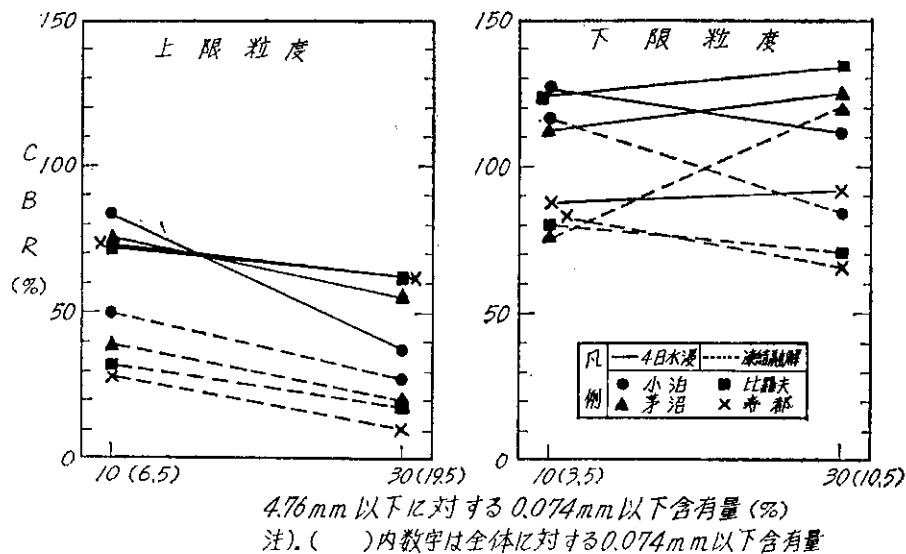


図-8 粒度およびシルト以下含有量と修正 CBR の関係

白でなかった。

(6) 粒度およびシルト以下含有量と修正 CBR について

アスファルト舗装要綱で、路盤材料の使用規準として用いられている修正 CBR と粒度およびシルト以下含有量の関係を図-8 に示した。この図から次のことがわかる。

㊦ 同一碎石、同一粒度の場合、凍結融解後の修正 CBR は 4 日水浸修正 CBR よりもかなり低下している。

㊧ シルト以下含有量が 10% の時よりも 30% の時が、上限粒度の場合、4 日水浸および凍結融解後の修正 CBR は小さくなる傾向を示すが、下限粒度の場合ではこの傾向が明白でない。

㊨ 下限粒度の場合が上限粒度の場合よりも 4 日水浸および凍結融解後の修正 CBR は大きいようである。

(7) 粒度およびシルト以下含有量と修正 CBR の保存率について

図-9 は、粒度およびシルト以下含有量と修正 CBR の保存率の関係を示したものである。修正 CBR の保存率とは 4 日水浸修正 CBR 3 個の算術平均値に対する凍結融解後修正 CBR 3 個の算術平均値の百分率である。この図から次のことがわかる。

㊦ 修正 CBR 保存率は下限粒度の場合その値が 50~95%、上限粒度の場合 15~75% の範囲内にあり、下限粒度の場合が上限粒度の場合よりも修正 CBR 保存率が大きいようである。

㊧ 一般に修正 CBR 保存率はシルト以下含有量が増えると小さくなる傾向を示すが、シルト以下含有量が増えても、修正 CBR 保存率が低下しないものもある。

#### 4. む す び

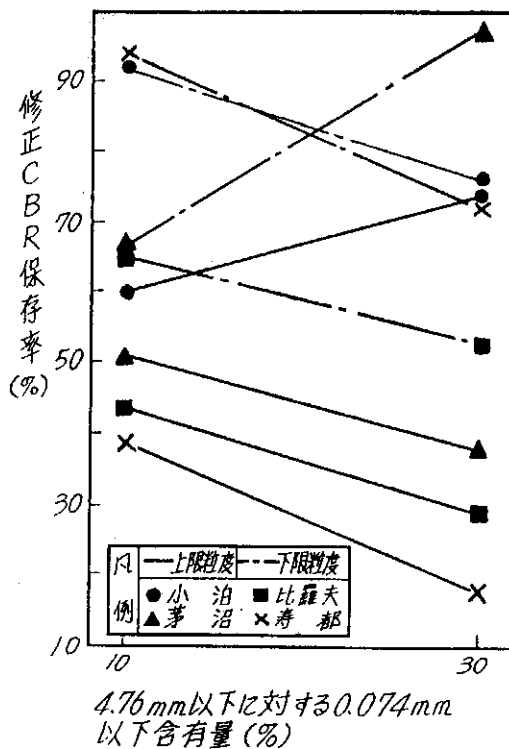


図-9 粒度およびシルト以下含有量と修正 CBR 保存率の関係

この実験では、シルト分として錦岡産土を使用した。が、今後は、シルト分の性質の相違による影響について研究を進めるために、シルト分として各々の碎石粉を用いて実験を継続する予定である。

最後に、試料の採取に協力して下さった小樽開発建設部の方々、実験とそのデータ整理を手伝っていただいた高島技術員に心から感謝する。