

日本道路公団試験所 (正) 島 博保

三嶋信雄

ミズ技術開発研究所 ○(正) 万波一朗

(正) 吳羽正三

1. まえがき 山砂利は道路用材料としては一般的に碎石について良質なものである。しかし、死石や細粒分を多く含んだものは膨潤や過転圧が起こり易く、その性質によっては設計施工上問題となる。これまで CBR, PI, 200[#] フルイ通過量の規定により不良材とされる場合もままあった。しかしながら、今や省資源省エネルギー時代であり、資源の有効利用の観点から不良な山砂利も何らかの方法で品質改良をして有効に活用する必要がある。これらの不良材を改良する方法は多く、中でも石灰による改良は、有効かつ経済的なもののひとつであると考えられている。従来より石灰処理に関する研究は、数多くなされてきたが、化学的な検討を加えたものは少ない。そこで本研究では特に原土の化学成分、構成鉱物ならびに短期(7日)と長期(2年)養生時における反応状況を検討したうえ、PIの改良や強度増加と関連付けて検討することを目的とした。

表-1 山砂利の物理特性

試料番号	試料名称	自然含水比	土粒子の比重	粒度組成			塑性指数	最大乾燥密度	最適含水比
		w _n %	G _s g/cm ³	G _L %	S _L %	C _L %			
21	築館	23.2	2.71	63.0	23.6	13.4	23.0	1.825	13.5
22	川越	19.5	2.77	43.3	27.1	29.6	14.5	1.915	11.9
23	東松山	13.7	2.62	57.0	28.1	14.9	12.6	2.010	8.1
24	伊那	21.7	2.64	50.3	29.4	10.3	15.3	1.905	12.4
25	浜松	11.9	2.63	65.9	27.2	6.9	14.1	1.950	11.2
26	土岐	15.7	2.72	49.5	33.3	15.2	14.2	1.890	13.8
27	富山	25.8	2.69	35.6	31.6	32.8	18.0	1.720	15.8
28	熊本	15.3	2.74	87.6	9.0	3.4	16.3	1.780	18.4

2. 試験方法 試料は表-1および2に示す物性を有する山砂利を用いた。原土ならびに石灰添加後7日と2年養生を行った試料について、表-3に示す各種試験を行った。原土に対する消石灰の配合量は乾燥重量基準で、2, 4, 6, 8%とし、消石灰は工業用一等灰を使用した。供試体の作成は、通常

表-2 山砂利の化学成分と構成鉱物

養生を行った試料について 表-3に示す各種試験を行った。 原土に対する消石灰の配合量は 乾燥重量規準で、2,4,6,8%と し、消石灰は工業用一等灰を使 用した。供試体の作成は、通常 の突き固め法で行い、養生は 20℃-95%湿度の恒温恒湿養生 室で行った。2年養生品につい ては、特にX線回折、示差熱分 析を綿密に行い反応生成物の検	試料 番号	試料 名称	化 学 成 分										構 成 鉱 物									
			灼熱減量	無水イ酸	酸化鉄(Ⅲ)	酸化鉄(Ⅱ)	酸化アルミ	酸化カルシウム	酸化マグネシウム	酸化カリウム	酸化ナトリウム	石 英	長 石	雲 母	バミキサイト	クロライト	イライト	カオリナイト	ハロイサイト	アロフェン		
			Loss	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	21	築 館	24.45	51.28	5.15	0.65	14.14	1.23	0.38	0.74	1.72	○	○	○	◎	—	○	○	—	○		
	22	川 越	11.25	73.39	2.05	0.26	9.78	0.70	0.25	1.26	1.08	○	○	○	◎	—	○	○	—	○		
	23	東松山	4.23	77.40	1.70	1.23	11.01	0.47	0.78	1.43	1.35	○	○	○	—	◎	—	◎	◎	◎		
	24	伊 那	19.98	56.80	1.97	1.33	12.95	1.69	0.58	1.75	2.43	○	○	○	—	◎	○	—	—	○		
	25	浜 松	13.17	65.90	3.32	0.86	13.46	0.69	0.21	1.63	0.61	○	○	○	◎	—	○	—	○	○		
	26	土 岐	4.28	81.10	0.94	1.37	9.09	0.15	0.33	1.88	0.42	○	○	—	—	—	—	○	○	○		
	27	富 山	19.60	51.10	4.99	1.23	19.54	0.62	0.22	1.78	0.27	○	—	○	◎	—	○	—	○	○		
	28	熊 本	3.93	66.06	1.27	2.23	16.57	2.33	1.00	2.82	3.41	○	—	—	—	—	—	—	○	○		

析を綿密に行い反応生成物の検討をした。

3. 試験結果 ①短期強度増加 石灰によるPIの低下は、図-1に示すように2%で原土の約5~8割の急激な低減が認められた。CBRの増加は、表-4にみるように、最適含水比で、10~20倍であるが、突き固め曲線の95%密度に対応する湿潤側含水比の値が低く、締め固め時の含水比の影響を受けやすい。また、添加量2~4%で初期強度増加に効果があり、それより増量しても効果は小さい。しかし、細粒分の多い場合に石灰の増量効果がある。従って、石灰は、山砂利の土性改良に有効である。

表-3 試験項目

②長期強度増加 表-5に一軸圧縮強度増加を示した。長期強度増加は、試料により大きな差があり、石灰2%配合時は強度増加が小さく、6~8%と多い方が、一般に強度が大きい。試料原土の特性との関係は、図-4に示すようにNa₂O+K₂O含有量と関係

No	試料	土質試験	化学試験
1	原土	物理試験 CBR試験	化学分析、X線回折 示差熱分析
2	7日養生 供試体	コンシステンシー試験 CBR、一軸圧縮試験	—
3	2年養生 供試体	一軸圧縮試験	化学分析、X線回折 示差熱分析

があり、 Fe_2O_3 も何らかの関係があると想定された。表-4 CBR値の増加(7日)

また、表-2の含有鉱物では、バーミキュライト、イライト、ハロイサイト、長石が強度増加によ、クワイト含有時は強度増加が小さいことがわかった。また添加量4%以上のものは、2年養生時でも消石灰の残留が確認された。従って今後更に強度増加が期待できる。反応生成物は、従来から強度増加に関係する CaO 、 SiO_2 、 $7H_2O$ が電顕で認められた。特に $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ がX線回折で顕著に認められ、図-3に示すように、強度増加と相関のあることが判った。最もよい結果の得られた東松山の例を走査型電子顕微鏡写真にて示した。

No	試料名	消石灰添加量(%)	0	2	4	6	8
21	築館	Wopt	11.5	110	196	195	206
		Ww 95	5.0	35	115	140	155
22	川越	Wopt	29.7	137	145	153	170
		Ww 95	4.0	50	70	70	73
23	東松山	Wopt	4.6	137	153	185	205
		Ww 95	3.4	85	145	167	157
24	伊那	Wopt	35.0	95	175	180	177
		Ww 95	5.0	30	40	45	20
25	浜松	Wopt	44.5	230	273	330	362
		Ww 95	4.8	50	152	190	222
26	土岐	Wopt	32.0	174	237	235	223
		Ww 95	17.0	30	148	180	142
27	富山	Wopt	41.5	126	263	290	320
		Ww 95	4.0	35	146	215	280
28	熊本	Wopt	90.0	145	240	255	273
		Ww 95	46.0	64	116	120	155

表-5 一軸圧縮強度増加

No	試料名	添加量(%)	$\sigma_{7d}(\% \sigma_0)$	$\sigma_{2y}(\% \sigma_0)$
21	築館	2	3.3	7.1
		4	6.4	13.6
		6	13.8	36.9
		8	14.8	35.5
22	川越	2	7.0	12.8
		4	14.0	24.3
		6	17.3	29.1
		8	24.9	41.3
23	東松山	2	3.7	16.5
		4	4.2	31.2
		6	7.3	30.0
		8	6.7	59.0
24	伊那	2	3.0	2.8
		4	5.2	15.4
		6	5.7	21.8
		8	5.5	21.4
25	浜松	2	6.5	14.9
		4	10.8	44.4
		6	21.0	48.9
		8	16.7	46.5
26	土岐	2	2.7	4.6
		4	15.4	16.8
		6	19.9	27.8
		8	15.8	37.4
27	富山	2	4.8	5.5
		4	12.7	16.1
		6	13.9	33.5
		8	16.1	52.6
28	熊本	2	3.4	3.6
		4	11.4	12.6
		6	15.1	17.6
		8	14.9	32.5

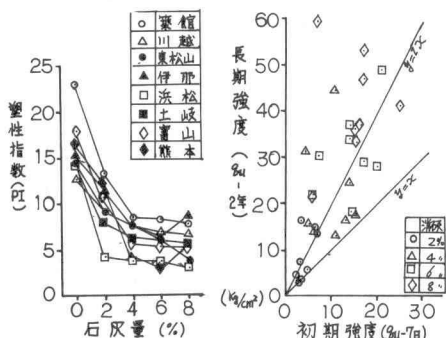


図-1 塑性指数低下 図-2 長期強度と初期強度

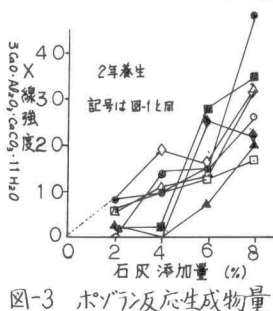


図-3 ポツラン反応生成物量

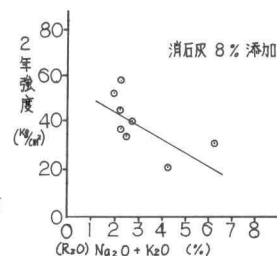
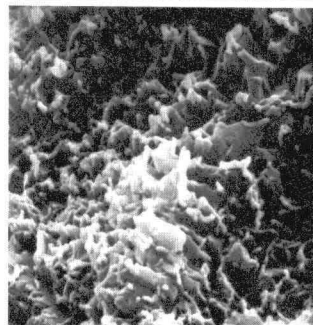


図-4 R_2O 含有量と長期強度



走査型電子顕微鏡写真(7000倍)

東松山、消石灰8%、2年反応状況

4. まとめ 山砂利の石灰安定処理効果と影響因子について検討した結果、粒度構成等の物理的性質に加えて、化学成分、構成鉱物等も特に長期強度増加に関係することが知られた。強度増加は図-5に示すモデルのように材料の保有する基礎強度に短期の物性改良による強度増加と長期的に図-4 R_2O 含有量と長期強度継続するポツラン反応による強度増加を総合したものである。短期にはPIが顕著に低下し、CBR値は急激に増加する。しかし、一軸圧縮強度はそれ程急激には増大しない。これは初期強度増加は物性改良が主となることを示す。長期強度増加は、一軸圧縮強度増加で検討したが、 $CaO-SiO_2-H_2O$ 系の反応物と共に、 $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ の生成が強度増加に大きく貢献することが判った。また、長期強度増加は、 R_2O 成分が多かったり、クワイトを含有すると阻害され、イライト、バーミキュライト、ハロイサイトの存在により、促進する傾向があった。また短期強度増加は、 Fe_2O_3 の増加に伴い大きかった。これまでの検討により、山砂利の石灰処理は、石灰2%配合で初期改良には十分であるが、長期強度増加を期待するには4~6%は必要と考えられた。2年養生で σ_{2y} は7日養生の概略25倍になることが判った。

基礎資料：日本道路公団試験所技術資料、第201~206号(1976)(未発表)

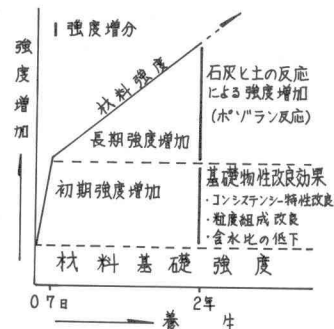


図-5 石灰処理強度増加モデル