

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

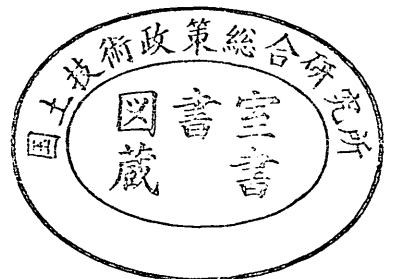
資料係
文献複写
禁持出

VOL. 7

NO. 4

DEC. 1968

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。ただし第1巻から第6巻および欧文編第1号から第15号までは下記のとおり不定期に刊行された。

報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

和文篇 (Japanese Edition)

Vol. 1. No. 1 (1963)

Vol. 2. Nos. 1~3 (1963~1964)

Vol. 3. Nos. 1~7 (1964)

Vol. 4. Nos. 1~11 (1965)

Vol. 5. Nos. 1~15 (1966)

Vol. 6. Nos. 1~8 (1967)

欧文篇 (English Edition)

Report Nos. 1~15 (1963~1967)

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The report prior to the seventh volume were published in two series in Japanese and English as listed above.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I.)

第7巻 第4号 (Vol. 7, No.4) 1968年12月 (DEC. 1968)

目 次 (CONTENTS)

1. 水波上の性質について……………浜田 徳 …… 3
(On some properties of wind over water waves Tokuichi HAMADA)
2. 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)
——模型実験との比較——
……………伊藤喜行・木原 力……………23
(Digital Computation on the Effect of Breakwaters against Long-period Waves
(3rd Report)…)…
——Comparison with experiments——
Yoshiyuki ITO and Tsutomu KIHARA,)
3. 長周期波に対する防決堤の効果に関する計算 (第4報)
——1968十勝沖地震津波に対する大船渡防波堤の効果——
……………伊藤喜行・谷本勝利・木原 力……………55
(Digitel Computation on the Ffect of Breakwaters against Long-period Waves
(4th Report)
——On the Effect of Ofuuato Tsunami Breakwater against the Tsunami caused
by the Earthauake on May 16 1968——
…………… Yoshiyuki ITO Katsutoshi TANIMOTO and Tsutomu KIHARA
4. 生石灰による沖積粘土の安定処理について (第1報)
……………柳瀬重靖……………85
(Stabil zation of Alluvical Clays with Quicklime…… Shigeyasu YANESE)
5. 幹面安定解析におけるビンヨップ法とチェボタリオフ法の比較
……………野村健司・早藤能伸・長友文昭…………… 133
(Comparison betemeen Bishop's method and Tschebotarioff's method in slope
stafiliy analysis
……………Keuji NOMURA・Yoshinobu HAYAFUJI and Fumiaki NAGATOMO

4. 生石灰による沖積粘土の安定処理について(第1報)

柳 瀬 重 靖*

要 旨

生石灰による混合処理、杭状施工による脱水処理などの高含水比粘性土に対する安定処理工法を、港湾地域における軟弱な沖積粘土の急速安定工法としての実用化を目的として、処理効果、施工法などについて現在までに実施した検討結果について報告する。

混合処理の効果については、三種類の沖積粘土についての生石灰添加量、処理前含水比、材令などによる強度変化、塑性、圧密特性、その他の実験結果より、十分な安定効果の得られることが確認された。杭状施工についても、軟弱粘性土による埋立地盤での現地実験により処理効果が認められ、設計施工に関する基礎的な資料を得ることができた。

* 土質部 地盤改良研究室長

4. Stabilization of Alluvial Clays with Quicklime

Shigeyasu YANASE*

Synopsis

This report describes laboratory and field tests made to investigate effectiveness of quicklime as a stabilizer of soft alluvial clays of high water content in harbour districts.

The quicklime mixing method significantly improves the unconfined compressive strengths, consolidation characteristics and plasticities.

In the field test, the quicklime pile method was applied to extremely soft ground reclaimed by alluvial clays, the effectiveness of which was recognized, and the fundamental data were obtained for planning and executing of this type of stabilization.

* Chief of Soil Stabilization Laboratory, Soils Division.

目 次

要 旨	85
1. ま え が き	89
2. 混合処理による安定効果	89
2.1 試験方法	89
2.2 試験結果	90
2.3 ま と め	109
3. 生石灰杭打設による安定処理	110
3.1 現地実験概要	110
3.2 室内実験による処理効果の検討	112
3.3 現地実験結果および考察	115
3.4 ま と め	131
4. あ と が き	131

1. まえがき

生石灰による粘性土の安定処理は、混合転圧、杭状打設などの施工法により、石灰による安定工法の一つとして諸外国での実施例は多いが、吾国においても最近各所で施工例が見られるようになって来た。

この工法は改良効果が急速に得られる点で非常に有利であり、化学的工法としては安定材料もそれ程高価なものでもないのので、沖積粘土の安定処理工法として実用上有望なものとして期待される。しかしながら沖積粘土におけるこの工法の実施例は少ないので、港湾工事への実用化の基礎資料を得るために、処理効果、施工法などの検討が必要である。

この報告は、現在までに行った数種の沖積粘土についての生石灰混合処理による安定効果と、生石灰杭の打設による処理工法についての現地実験結果についてまとめたものである。この安定工法の原理については港研資料

No.47, “関東 ローム および成田層砂の土質試験”, 5, 生石灰による安定処理試験に述べてあるのでここでは省略する。

2. 混合処理による安定効果

2.1 試験方法

(1) 検討事項

次の事項に関する処理効果を検討した。

- a) 土質
- b) 処理土の処理前含水比
- c) 生石灰添加量
- d) 材令（水浸効果を含む）
- e) 処理土の塑性
- f) “ 圧密特性

(2) 実験試料

現在までに実験に使用した試料およびその物理的性質は次のとおりである。各試料の粒度は 図-1 に示す。

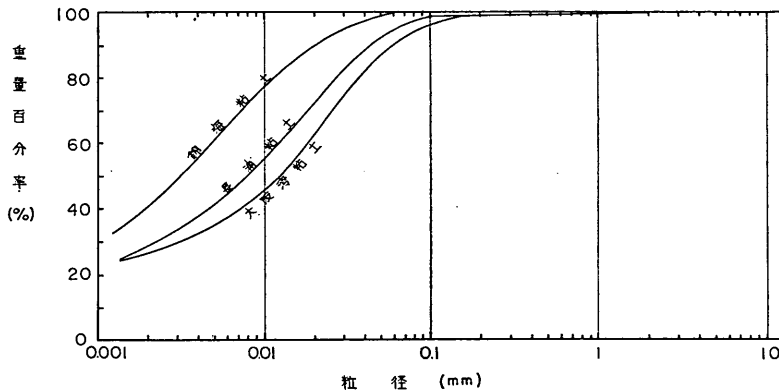


図-1 実験試料の粒度

	砂	シルト	粘土	G_s	w_L	w_P	I_P
長浦湾粘土	10%	50%	40%	2.71	86%	35%	51
錦海湾粘土	0%	40%	60%	2.67	107%	42%	65
大阪湾粘土 (埋立土)	7%	58%	35%	2.69	83%	33%	50

各試料は採取後自然含水比からの変化をできるだけ少くするよう貯蔵されているものから必要量を取り、貝片などの粗大な混入物を取除き、所要の含水比になるごとく乾燥あるいは水を加えた後十分ねり返したのを使用した。なお、長浦湾粘土については、水ヒにより分離した粒径 1μ 以下の粒子と、 $1\sim 74\mu$ の粒子についても処理

効果の検討を行った。

(3) 供試体の作製

a) 生石灰材料

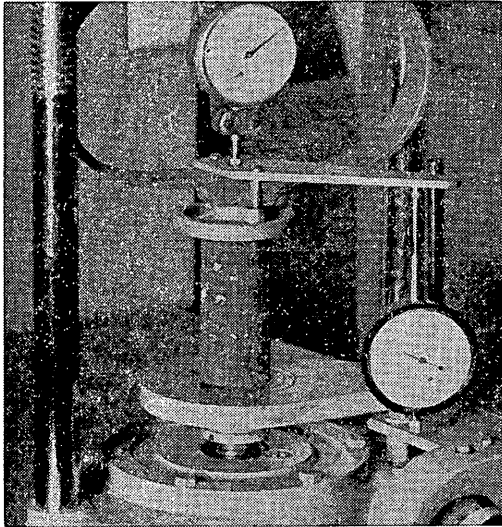
生石灰は小野田セメントKK製品ケミコライムを2~4.76mmの粒径に調整したものを使用した。

b) 生石灰の添加混合

所定の含水比に調整した試料に所要量の生石灰を添加し、卓上ミキサーを使用してフック型攪拌翼で約2分間混合を行った。この方法は港研資料No.47の場合と同一で、完全な混合が困難な現場施工の状態に近似させるよ

うとった方法で、混合停止時には消化を始めた石灰はほぼ均一に試料中に分散しているがまだ完全に粉碎されることなく塊状のまま混入している状態である。(写真-1 参照)

写-1 生石灰処理土の一軸圧縮試験



圧密試験用の供試体は使用量が少いため、ガラス板上で所要量の試料と生石灰を混合したが、前と同様に生石灰塊が粘土中に均一に分散する程度のねり返しで混合を終るよう注意した。

c) 供試体の準備および成型

処理土の強度は一軸圧縮試験により求めたがその供試体の準備は次のごとく行った。

処理後硬化した試料からの成型を容易にするためと多数の供試体を同時に作製するために、供試体1個につき5cm×5cm×10cmの直方体試料に分離できるよう、隔壁を挿入した分解可能の養生箱に混合直後の試料を充填し、湿気箱中に静置し、材令に応じて必要数の直方体試料をとり出し直径3.5cm、高さ8cmの供試体に成型した。養生箱への試料の充填は、底面積3.5cm×3.5cm重量1kgのランマーを5cmの高さから自由落下させ、3層5回の突固めを行うことを標準とした。

処理土の塑性については上記供試体の成型屑を使用して試験を行った。

圧密試験用の供試体は試料調製後圧密用試料環中にその内容積より多量の試料を充填し、湿気箱中で所定期間の養生後正規の寸法に成型作製した。

d) 試験要領

2, 1, (1) に示した各試験項目についての各試料に対する実施概要は表-1のごとくである。

強度に対する処理効果についてはすべて一軸圧縮強度で判定した。この場合の供試体寸法は直径3.5cm、高さ8cm、歪速度は3%/分、材令は21日程度までとすることを原則とした。

圧密試験は直径6.5cm、高さ2cmの供試体につき24時間載荷および一次圧密終了後次段階の載荷を行う二つの方法をとった。

液性限界、塑性限界は試料を乾燥させることなく湿潤試料について行った。

生石灰混合比は試料の乾燥重量に対する値を使用し、これを a_w で表はす。経済的実用性からその最大値は20%とした。

強度に対する水浸の影響については5cm×5cm×10cmの直方体試料を1日および3日間湿気養生した後そのまま水中に必要期間浸漬し、これを直径3.5cm、高さ8cmの供試体に成型して試験を行った。

また、一部の試料については生石灰の塊が完全に粉碎されるまで混合を行いその効果を検討した。

2.2 試験結果

(1) 処理土の一軸圧縮強度

表-2~7, 図-2~10に各試験条件における処理土の一軸圧縮強度 q_u を示す。

a) 生石灰混合比

図-2, 3は各試料の生石灰混合比 a_w に対する各材令 T_c における q_u を示したものである。いずれの場合も液性限界程度の初理前含水比において5%程度の混合比で効果が生じ、混合比の大きい程強度は大きく改良効果は大きい。粘土分の少い長浦湾粘土と大阪湾の埋立粘土は5%の混合比、材令3日で4kg/cm²程度の q_u に達している。錦海湾粘土は粘土分が多く処理前含水比も大きいので改良効果が少く、強度の大巾な増加を期待するには10%以上の混入を要する。図-6の大阪湾粘土の消化した石灰が完全に粉碎されるまで混合を行った供試体の強度は標準混合供試体の1.5倍程度であるから、現地施工において完全混合が可能ならば生石灰混合比はより少くて同一の効果を得ることが考えられる。

b) 材令

図-3, 5, 6に3種の粘土の処理土の各材令における q_u を示す。各試料共一日以後の強度の増加が大きくその後も増加を続け硬化反応の進行を示している。処理前含水比の大きい場合は強度の発生がやや遅れている。長期材

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

表-1 生石灰混合処理効果試験概要

試料	初期含水比 w_1 %	生石灰混合比 a_w %	養生方法	試験項目			
				一軸圧縮強度 q_u	圧密	w_L	w_P
長浦湾粘土	56.0	10	湿気	材令 7 d, 21 d	材令	材令	材令
	66.0	10	"	2 h, 5 h, 1 d, 3 d, 7 d, 21 d			
	86.0	0	"	"			
	"	2	"	"	1 d, 7 d	122 d	122 d
	"	5	"	"	"	112 d	112 d
	"	10	"	"	"	111 d	111 d
	"	20	"	"	"	134 d	134 d
	106.0	10	"	"			
	73.2	10	"	6 d, 10 d, 16 d, 70 d		56 d	56 d
	"	10	1H+水浸	4 d, 8 d, 16 d		"	"
	"	10	3H+水浸	6 d, 10 d, 16 d			
	"	13.2	湿気	1 d, 3 d, 7 d		12 d	12 d
	1~74 μ	99.7	10	"	1 d, 4 d, 7 d (H.M.A.)		9 d
1 μ 以下	270.0	10	"	1 d, 7 d			
"	"	20	"	"			
錦海湾粘土	60.0	5	"	7 d, 21 d		34 d	34 d
	"	10	"	"		"	"
	80.0	10	"	1 d, 7 d, 21 d		"	"
	119.7	10	"	3hr, 1 d, 4 d, 7 d, 21 d		8 d	8 d
	"	20	"	"		"	"
大阪湾粘土	62.0	2	"	1 d, 3 d, 7 d, 21 d			
	"	5	"	"			
	"	10	"	"			
	80.0	5	"	"			
	"	10	"	"		31 d	31 d
	"	20	"	7 d, 21 d		"	"
	"	10	"	(完全混合) 7 d, 21 d			
	"	20	"	" "			
	100.0	10	"	7 d			
"	10	"	(完全混合) 7 d, 21 d				

(注) H: 湿気養生, h: 時間, d: 日, H.M.A.: ハーバード小型突固装置使用成型, w_L : 液性限界, w_P : 塑性限界

表-2 生石灰混合処理上の一軸圧縮強度

長浦湾粘土

処理前含水比 w_i %	生石灰混合比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 γ_d g/cm ³	含水比 w_f %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比 S	備考
56.0	10	7 d	0.996	47.59	76.0	2.994	1.25		
		"	1.053	47.40	82.9	2.371	2.50		
		"	1.099	46.98	88.3	5.443	1.75		
		"	1,079	47.38	86.3	5.513	1.50		
		"	1.091	45.71	84.7	4.793	1.50		
		"	1.110	48.42	93.2	10.429	2.10		
		"	1.131	46.38	93.0	14.038	2.00		
		21 d	1.035	48.20	82.0	8.723	1.50		
		"	1.013	49.23	80.8	7.970	1.75		
		"	1.038	49.07	83.9	6.350	2.00		
		22 d	1.076	48.19	87.5	7.062	1.25		
		"	1.100	48.73	91.7	6.802	1.25		
		"	1.092	48.01	89.4	5.836	1.25		
		66.0	10	2hr	1.038	56.10	95.8		
"	1.045			56.01	96.7	0.457	9.5		
"	0.957			54.58	81.9	0.435	8.0		
"	1.042			54.58	93.8	0.301	5.0		
5hr	1.010			55.40	90.4	0.541	6.0		
"	1.019			56.03	92.9	0.499	5.5		
"	1.047			54.75	94.8	0.641	7.0		
1 d	1.022			55.60	92.6	2.549	2.5		
"	1.034			53.79	91.4	2.293	1.0		
"	0.956			53.79	80.8	0.738	2.0		
3 d	1.006			56.13	91.1	8.978	1.0		
"	1.022			55.55	92.6	9.075	1.5		
"	0.997			56.46	90.4	8.717	0.5		
7 d	1.017			56.36	93.1	11.058	1.5		
"	1.029			57.36	96.6	10.269	2.0		
"	1.070			56.06	100.7	12.752	1.5		
21 d	1.015			54.66	90.0	18.816	1.5		
"	1.026			56.97	95.4	20.520	1.5		
"	1.040	54.84	94.0	18.536	1.5				
73.24	10	6 d	0.975	61.06	94.6	9.307	1.13		
		"	0.977	61.76	95.4	10.737	1.25		
		10 d	0.977	61.73	95.3	10.752	1.13		
		"	0.965	61.64	93.4	9.460	0.88		
		16 d	0.984	60.51	94.9	11.932	1.50		
		"	0.978	61.50	95.7	11.674	1.13		
86.0	0	2hr		85.19		成型不能			非処理 $w_i = w_L$
		"		85.12					
		"		84.81					

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

処理前含水比 w_i %	生石灰混入比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 γ_d g/cm ³	含水比 w %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比	備考	
86.0	0	5hr		86.64						
		"		87.08						
		"		86.83						
		1d		85.31						
		"		85.50						
		"		85.51						
		3d	0.840	83.44	98.5	0.033	15.0			
		"	0.794	82.54	92.7	0.029	14.5			
		"	0.847	84.23	96.5	0.036	14.0			
		7d	0.865	83.86	93.0	0.037	14.5			
		"	0.864	82.78	105.0	0.036	"			
		"	0.855	84.78	105.9	0.035	14.0			
		21d	0.839	82.45	100.0	0.071	15.0			
		"	0.826	83.97	99.8	0.055	14.5			
		"	0.823	82.24	96.6	0.057	15.0			
	2	2	2hr	0.837	80.31	97.6	0.089	15.0		
			"	0.847	80.71	99.6	0.091	"		
			"	0.857	76.13	95.7	0.094	"	1.12	remold
			"	0.857	76.13	95.7	0.084	"		
			5hr	0.840	79.84	97.4	0.106	"		
			"	0.864	79.35	101.0	0.118	"		
			"	0.852	79.65	99.2	0.108	"		
			1d	0.845	78.80	96.9	0.152	6.0		
			"	0.843	80.24	98.5	0.131	10.5		
			"	0.858	78.44	98.6	0.146	7.0	1.14	remold
			"	0.846	78.44	96.7	0.128	14.5		
			3d	0.870	73.49	94.5	0.169	7.5		
			"	0.813	79.66	92.7	0.145	"		
			"	0.872	77.80	100.3	0.185	7.0		
			7d	0.844	78.96	97.0	0.223	6.0		
			"	0.827	78.85	94.2	0.188	8.5		
			"	0.865	79.22	100.9	0.193	7.0		
			21d	0.852	80.70	100.6	0.180	6.5		
"	0.839	78.68	95.9	0.143	5.0					
"	0.893	79.14	105.7	0.209	"					
5	5	2hr	0.869	78.33	100.9	0.133	15.0			
		"	0.849	77.89	96.9	0.116	"			
		"	0.869	76.01	98.1	0.155	"	1.35		
		"	0.847	76.01	94.1	0.115	15.0		remold	
		5hr	0.879	77.56	101.5	0.229	12.0			
		"	0.875	78.23	101.8	0.261	14.0			

柳瀬重靖

处理前 水含 比 w_i %	生石灰混 合比 a_w %	材 令 T_c	乾燥密度 γ_d g/cm ³	含 水 比 w_f %	飽 和 度 S_r %	一軸圧縮 強 度 q_u kg/cm ²	圧 縮 歪 ϵ %	鋭 敏 比	備 考
86.0	5	5hr	0.861	78.87	100.1	0.230	14.0	3.81	remold
		1d	0.859	76.85	97.5	2.260	2.0		
		"	0.846	76.24	93.3	2.497	"		
		"	0.777	76.24	83.5	0.654	1.5		
		3d	0.820	81.64	96.6	3.824	1.0		
		"	0.838	79.09	96.4	4.859	1.5		
		"	0.833	78.93	95.5	4.615	"		
		7d	0.855	75.48	94.8	5.179	"		
		"	0.857	76.18	96.1	5.899	"		
		"	0.856	76.35	96.2	5.796	"		
		21d	0.857	77.35	97.6	6.659	2.0		
		"	0.846	78.39	97.1	6.295	"		
		"	0.853	76.99	96.5	6.144	"		
		10	10	2hr	0.884	73.13	97.1		
"	0.892			72.58	97.8	0.198	"		
"	0.891			73.98	99.5	0.183	"		
"	0.897			"	100.4	0.150	"		
5hr	0.904			72.48	99.6	0.391	11.5		
"	0.878			73.17	96.1	0.378	"		
"	0.945			72.42	106.5	0.426	12.0		
1d	0.869			72.69	94.0	2.210	2.5		
"	0.867			73.10	94.2	1.885	3.0		
"	0.875			73.61	96.4	1.959	"		
"	0.841			"	90.8	0.621	2.0		
3d	0.886			70.36	93.8	5.859	3.5		
"	0.902			69.63	95.3	6.061	2.0		
"	0.871			71.04	92.3	5.618	2.5		
7d	0.885			70.59	93.9	9.840	1.0		
"	0.888			70.08	93.7	9.277	1.5		
"	0.916			70.27	98.5	10.737	2.0		
21d	0.906			68.90	94.9	14.156	1.5		
"	0.915	67.21	94.0	11.438	1.0				
"	0.880	68.12	89.9	11.234	"				
20	20	2 hr	0.999	58.23	94.5	0.585	5.0	2.51	remold
		"	0.989	57.73	92.2	0.589	6.0		
		"	0.991	57.40	92.0	0.617	5.5		
		"	0.917	60.28	85.5	0.246	5.0		
		5hr	1.027	57.76	98.1	0.978	6.5		
		"	0.958	57.58	87.5	0.996	5.5		
"	0.923	57.02	81.7	0.936	4.5				

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

処理前含水比 w_i %	生石灰混合比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 γ_d g/cm ³	含水比 w_f %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比	備考
86.0	20	1d	0.986	58.22	92.6	3.404	2.5		
		"	0.971	57.60	89.3	3.396	3.0		
		"	1.004	57.40	94.0	2.736	2.0		
		3d	1.006	58.00	95.3	9.635	"		
		"	0.999	58.20	94.5	8.133	1.0		
		"	1.001	57.90	94.3	7.793	1.5		
		7d	1.001	56.88	92.6	9.170	"		
		"	1.021	56.78	95.5	11.409	1.0		
		"	0.978	56.45	88.6	12.322	"		
		21d	1.003	56.53	92.4	14.548	"		
"	0.976	56.77	88.8	13.340	"				
"	1.011	55.35	88.5	13.838	"				
106.0	10	5hr	0.801	88.46	101.8	0.072	14.5		
		"	0.812	83.55	98.2	0.092	11.5		
		"	0.792	86.86	"	0.091	14.0		
		1d	0.745	87.87	91.0	0.312	4.0		
		"	0.787	88.11	99.1	0.459	5.0		
		"	0.799	86.40	98.7	0.468	4.5	1.94	
		"	0.783	86.40	96.2	0.241	6.5		
		3d	0.767	86.33	93.6	0.620	2.0		
		"	0.771	89.35	97.2	0.593	2.5		
		"	0.775	87.14	95.5	0.801	1.5		
		7d	0.773	88.84	97.1	4.240	1.0		
		"	0.764	88.54	95.1	5.528	1.5		
		"	0.764	89.70	96.4	4.650	1.5		
		21d	0.749	87.05	91.0	9.782	1.25		
		"	0.763	86.83	93.2	11.821	1.50		
		"	0.770	86.08	93.5	14.964	7.50		
		22d	0.811	80.33	94.0	11.378	1.25		
"	0.807	79.87	92.8	9.269	1.00				
"	0.796	81.82	93.2	12.237	1.13				

柳瀬重靖

表-3 生石灰混合処理土の一軸圧縮強度

錦海湾粘土

処理前含水比 w_i %	生石灰混合比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 γ_d g/cm ³	含水比 w %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比 S	備考	
60	5	7 d	0.972	54.59	84.1	1.752	1.75			
		21 d	1.004	51.99	84.6	2.662	1.50			
	10	21 d	0.996	48.94	75.3	1.543	4.50			
80	10	1 d	0.895	66.69	90.8	1.015	2.25			
		7 d	0.897	65.60	89.7	5.695	1.50			
		21 d	0.911	63.62	89.4	10.790	2.25			
		"	0.922	62.54	89.4	11.523	2.25			
119.7	10	3hr	0.672	103.79	94.3	0.109	15.0			
		1 d	0.677	100.88	92.6	0.187	15.0			
		"	0.692	100.90	95.2	0.209	"			
		"	0.709	98.85	97.3	0.379	8.0		H.M.A.	
		4 d	0.651	101.32	87.8	0.922	3.75			
		"	0.637	102.36	86.3	0.879	3.25			
		"	0.726	101.16	101.6	3.422	2.75		H.M.A.	
		7 d	0.699	100.34	96.1	2.602	1.75	2.76		
		"	0.685	102.82	95.6	2.347	"	2.49		
		"	0.690	98.60	92.7	0.944	2.75		remold	
	21 d	0.688	102.17	95.5	3.359	1.75				
	"	0.688	101.94	95.4	3.635	4.50				
	20	20	3hr	0.748	88.58	93.4	0.175	15.0		
			1 d	0.749	88.33	94.0	0.319	15.0		
			"	0.747	88.79	94.1	0.341	"		
			"	0.792	84.31	97.1	0.612	10.0		H.M.A.
			4 d	0.710	85.87	84.2	1.162	4.0		
			"	0.711	86.95	85.3	1.106	5.5		
			"	0.805	82.58	97.0	4.500	2.5		H.M.A.
			7 d	0.766	86.61	94.0	2.170	2.00	1.95	
"			0.756	87.83	94.7	3.259	2.25	2.84		
"			0.719	87.88	87.5	1.100	2.00		remold	
21 d	0.755	89.40	95.8	6.333	2.00					
"	0.750	90.62	96.7	5.869	2.00					

注) H.M.A. : ハーバード小型突固装置使用成型

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

表-4 生石灰混合処理土の一軸圧縮強度

大阪湾粘土

処理前含水比 w_i %	生石灰混合比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	含水比 w %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比	備考
62.0	2	5hr	1.033	56.8	95.2	0.160	15.0		qu用モールドで成型
		1d	1.043	57.2	97.4	0.307	6.5		
		3d	1.083	51.4	93.1	1.015	2.5		
		7d	1.046	57.2	97.4	1.442	3.0		
	5	5hr	1.051	54.1	94.0	0.163	15.0		"
		1d	1.051	54.2	94.1	0.404	3.5		
		3d	1.076	51.5	93.0	3.225	1.5		
		7d	1.094	52.7	97.9	4.085	1.5		
	10	5hr	1.110	48.6	93.4	0.200	15.0		"
		1d	1.153	46.6	95.6	1.066	3.5		
		3d	1.151	46.8	95.8	4.362	2.0		
		7d				10.346	0.5		
80.0	5	5hr	0.946	67.1	98.4	0.068	15.0		"
		1d	0.933	68.2	98.0	0.247	7.5		
		3d	0.940	67.1	97.5	0.605	4.0		
		7d	0.970	67.0	102.3	1.665	2.0		
	10	5hr	0.971	63.7	98.0	0.084	15.0		"
		1d	0.998	61.3	98.6	0.325	6.5		
		3d	0.990	61.6	97.8	1.550	2.5		
		7d	1.023	59.4	99.3	3.646	1.5		
80.0	10	7d	0.916	67.3	94.5	2.562	2.3		完全混合
		20	0.983	57.4	90.9	2.364	2.0		
	10	7d	0.929	62.7	89.8	6.045	0.75		
		"	"	0.952	64.3	95.6	6.573	1.25	
	"	21d	0.920	64.8	91.7	9.796	1.88		
		"	"	0.942	63.2	92.8	8.460	1.00	
	20	7d	1.025	55.3	94.0	9.039	1.00		
		"	"	1.016	55.6	93.0	8.045	0.88	
	"	21d	1.015	55.1	92.1	15.763	1.25		
		"	"	1.020	55.3	92.9	17.075	0.88	
100.0	10	7d	0.822	78.6	93.9	1.937	3.00		完全混合
		3d	0.812	82.0	96.3	1.219	1.75		
	7d	0.810	81.2	95.5	2.876	1.88			
	"	0.829	80.2	97.0	2.906	1.13			
	21d	0.802	82.9	95.4	5.573	0.75			

表-5 生石灰混合処理土の一軸圧縮弱度（粒径による効果の相異）

長浦湾粘土

処理前含水比 w_i %	生石灰混合比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 γ_d g/cm ³	含水比 w %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比 S	備考
99.7	10	1d	0.757	75.8	80.4	1.259	3.50		粒径 1 μ 以上 H.M.A. で成型
		"	0.747	76.6	80.1	1.325	3.75		
		4d	0.830	77.1	92.9	5.090	3.00		
		"	0.829	77.2	93.7	3.173	1.50		
		7d	0.838	77.8	95.2	7.122	2.50		
		"	0.822	78.9	93.8	3.913	1.75		
270.0	10	1d	0.358	224.2	93.1	0.774	2.50		粒径 1 μ 以下 (コロイド) H.M.A. で成型
		"	0.365	225.8	95.3	1.101	2.00		
		7d	0.358	228.1	94.4	2.241	3.25		
	20	1d	0.410	194.4	95.7	0.651	3.25		
		"	0.418	195.0	97.2	1.017	3.25		
		7d	0.402	196.9	93.7	3.692	2.50		

表-6 生石灰混合処理土の一軸圧縮強度（水浸の影響）

長浦湾粘土

処理前含水比 w_i %	生石灰混合比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 γ_d g/cm ³	含水比 w %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比 S_r	備考
73.24	10	4d	0.932	65.29	93.7	7.970	1.38		1H+3S
		8d	0.960	65.70	98.6	12.253	1.13		1H+7S
		16d	0.942	65.68	95.8	14.429	0.75		1H+15S
		6d	0.961	63.37	95.7	10.206	0.88		3H+3S
		"	0.965	62.68	95.6	10.483	1.25		"
		10d	0.968	63.22	96.2	12.487	1.00		3H+7S
		"	0.960	63.51	95.7	12.572	0.88		"
		16d	0.961	63.42	95.7	15.987	0.75		3H+13S
		"	0.950	64.15	95.2	15.328	0.73		"
		6d	0.975	61.06	94.6	9.307	1.13		非水浸
		"	0.977	61.76	95.4	10.737	1.25		"
		10d	0.977	61.73	95.3	10.752	1.13		"
		"	0.965	61.64	93.4	9.460	0.88		"
		16d	0.984	60.51	94.9	11.932	1.50		"
		"	0.978	61.50	95.7	11.674	1.13		"
		71d	0.999	59.50	95.5	19.319	1.25		"
		"	0.995	58.10	93.0	25.405	1.25		"

(注) H: 湿気養生, S: 水浸 (例: 1H+3S = 1日湿気養生後3日水浸)

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

表-7 消石灰処理土の一軸圧縮強度

長浦湾粘土

処理前含水比 w_i %	消石灰混合比 a_w %	材令 T_c	乾燥密度 r_d g/cm ³	含水比 w %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比 S_r	備考
73.2	13.2 (生石灰10%に相当)	1d	0.947	63.7	94.3	0.527	6.75		
		"	0.941	63.6	93.0	0.579	8.25		
		3d	0.954	63.5	95.1	2.476	3.00		
		"	0.952	63.9	95.2	3.548	3.50		
		7d	0.950	63.2	93.7	5.748	1.13		
		"	0.976	64.0	98.9	5.424	0.88		

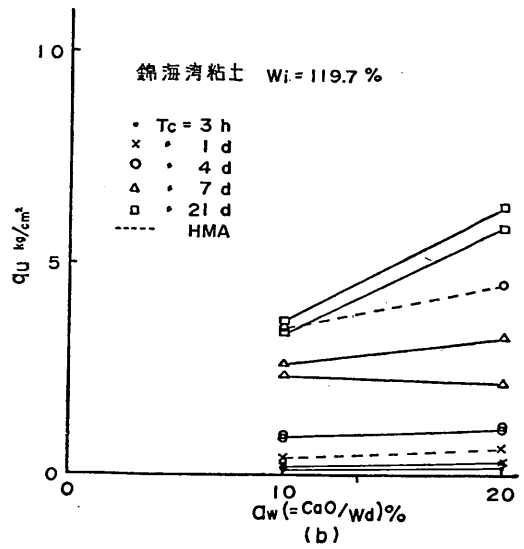
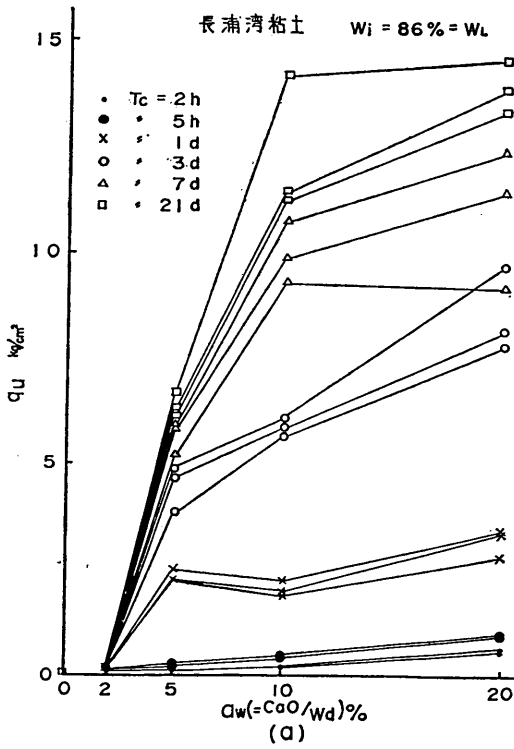


図-2 生石灰混入量と処理土の強度

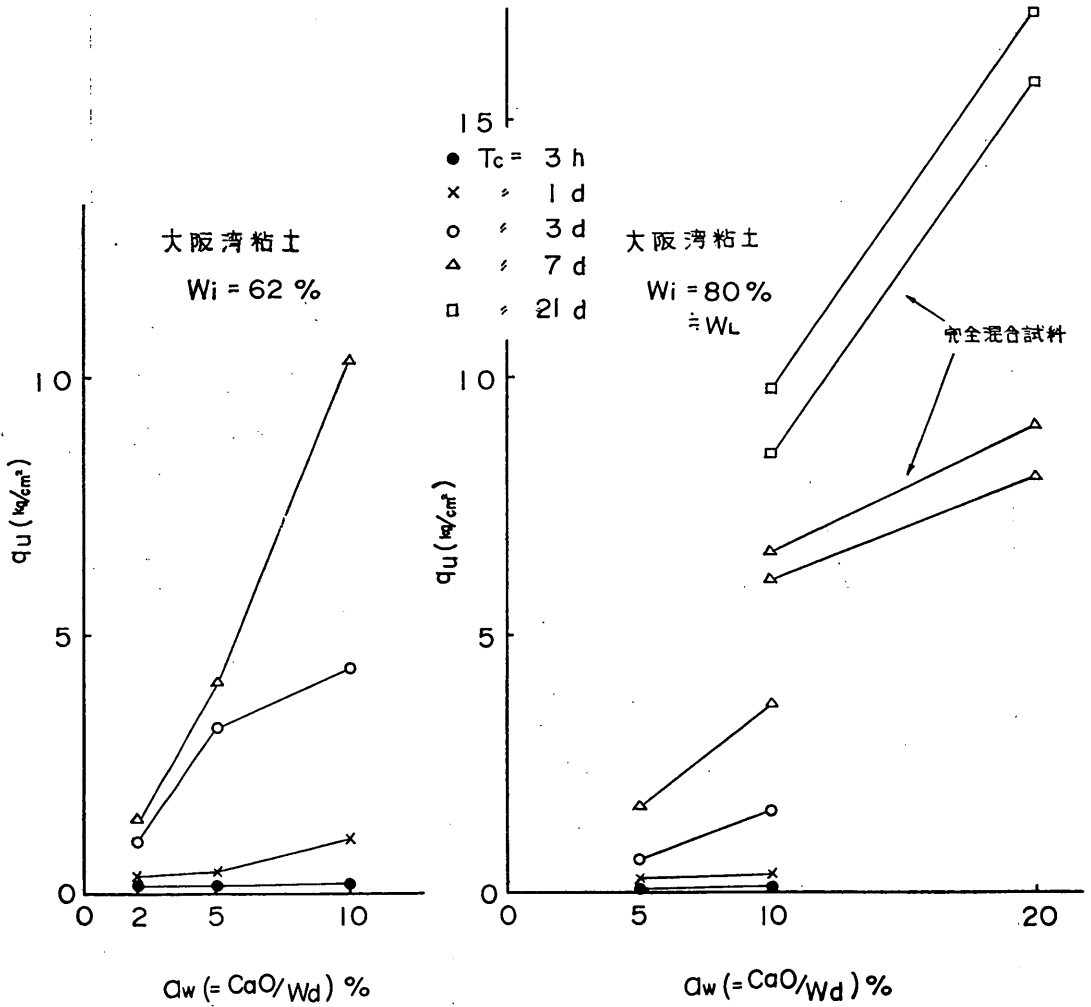


図-3 生石灰混入量と処理土の強度

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

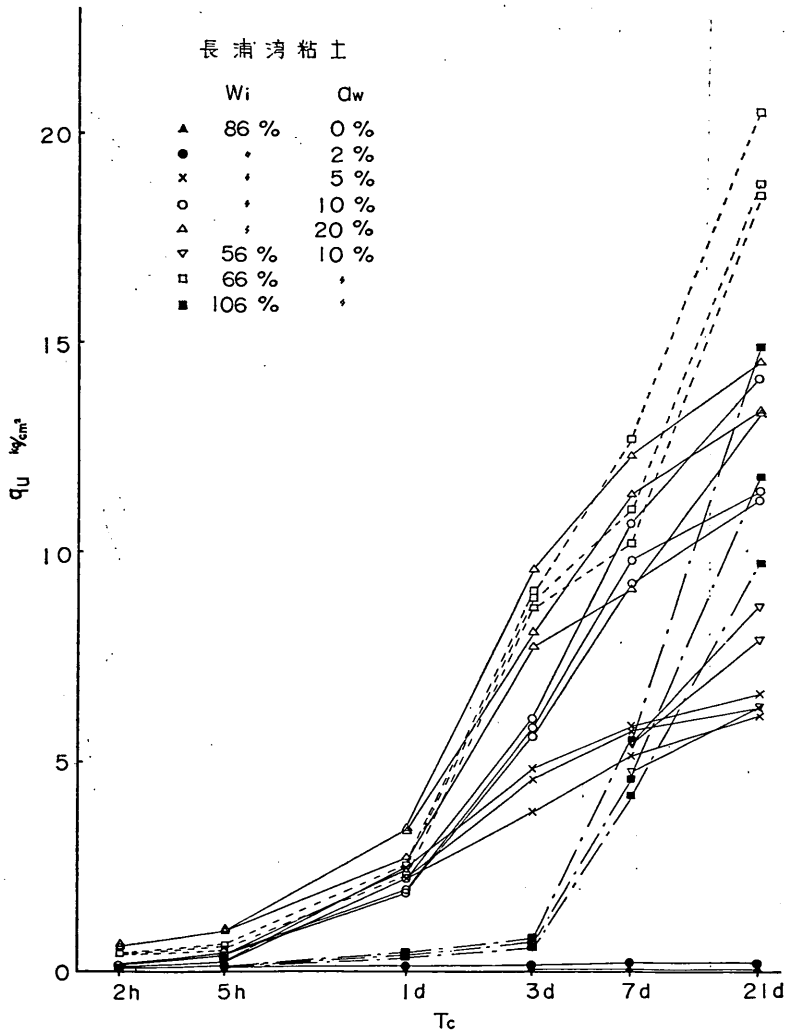


図-4 生石灰処理土の強度と材令

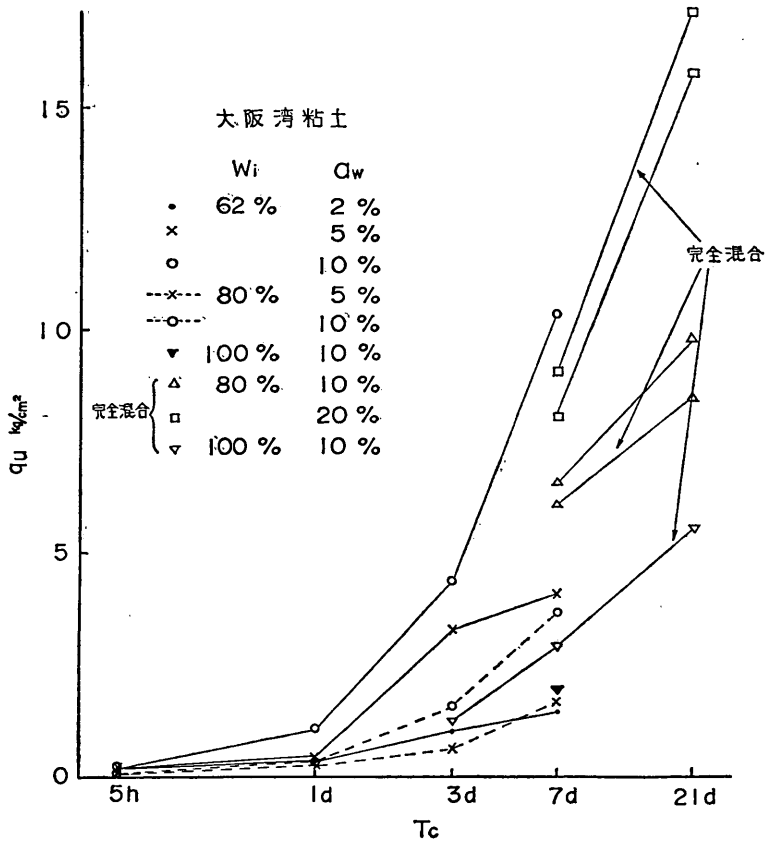
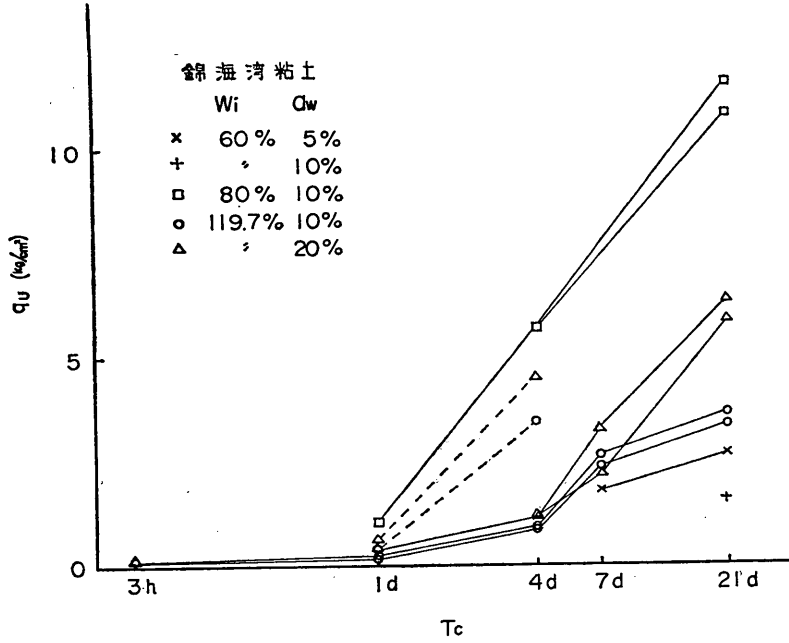


図-5, 図-6 材令と強度

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

令に対する強度変化については十分な検討を行っていないが、図-7 に示した初期含水比 73.2% の長浦湾粘土では材令71日の強度は材令10日の強度の2倍以上に増加しており、長期にわたって硬化反応が進行することを示している。また、同図中の水中養生を行った供試体は非水浸の場合に比べて同一材令における強度が大きく、水浸が反応条件を向上させることを示している。

c) 処理前含水比

図-8 に生石灰混合比 10%、材令7日における各試料の一軸圧縮強度 q_u と処理前含水比 w_i の関係を示す。 w_i が大きくなると各材令における強度は小さくなり、図-4 ~6 によれば強度の発生も遅れる傾向が見られる。水セメント比の場合と同様にある程度までは初期含水比の低い方が強度は大きい、ある含水比以下ではつき固めが困難となり、硬化反応が有効に発生しなくなって強度が小さくなる。図-9 において、長浦湾粘土の w_i 56% の供試体の飽和度が他の含水比の試料に比べて小さいものは、前述の成型方法ではつき固め度が不十分であり、強度が小さくなっている。また、表-3 の錦海湾粘土の $w_i = 60%$ の試料についても同様である。低含水比における硬化反応の発生の不十分な原因が、土粒子と生石灰の接触不良によるものか、反応に必要な水の量の不足によるものかは未検討であるが、長浦湾粘土の $w_i = 56%$ の7層5回 3.8kg/cm^2 でしめ固めた供試体の q_u は $w_i = 66$

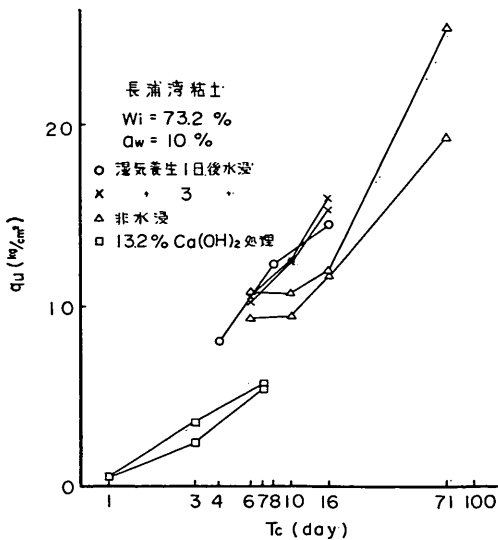


図-7 生石灰処理土に対する水浸の効果と消石灰処理土の強度

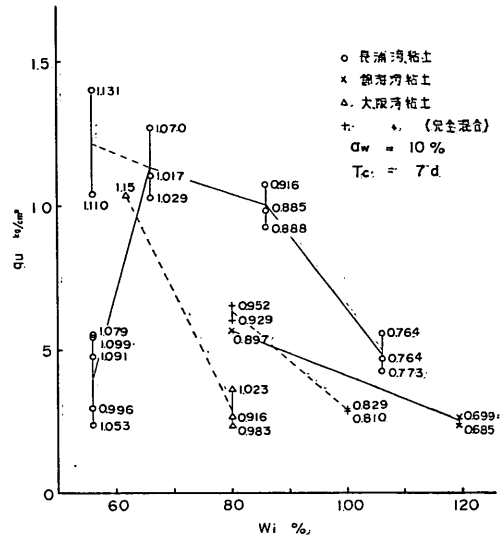


図-8 処理前含水比と強度の関係 ($a_w = 10\%$, $T_c = 7\text{d}$)

% の場合と余り異なることから硬化反応にある程度の水分の必要ことが推定される。また、強度発生の急激に減少する限界含水比、あるいは最大強度が得られる最適含水比についても検討は行っていない。

d) 処理土の密度

図-9 に生石灰混合比 10%、材令7日における各試料

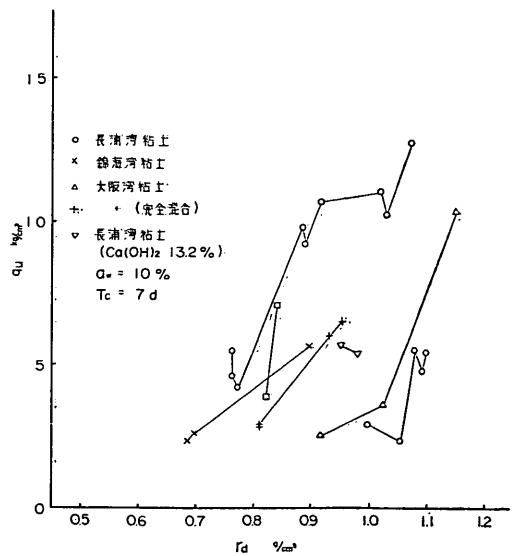


図-9 処理土の密度と強度 ($a_w = 10\%$, $T_c = 7\text{d}$)

の乾燥密度 γ_d と q_u の関係を示す。図-9に示したごとく処理前含水比の大きいものは γ_d が小さいので q_u は小さくなっているが、 w_i が同一の試料については極端に γ_d が異らなければ必ずしも γ_d と q_u は関係がない。また、 w_i と q_u の関係と同様に密度と q_u の関係は土質によって異っている。

e) 土質

土質による安定効果の相異は生石灰と硬化反応を生ずる成分の含有量によることは言うまでもない。早期に有効な反応を生ずる粘土鉱物としては加水ハロイサイトが挙げられ、関東ロームではこれを含有する下未吉ロームが有効に生石灰で安定されることが従来の実例で示されている。図-10, 11 は長浦湾粘土と錦海湾粘土の X 線回折結果で、処理土の回折図にはいずれも $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot$

$13H_2O$ の発生が明らかであり石灰との硬化反応が確認される。図-12 の錦海湾粘土の原土では加水ハロイサイトの存在が明瞭であるが、図-10 の長浦湾粘土原土では石英と長石以外に特別な粘土鉱物は見られない。図-10 には他の目的で水とにより分離した 1μ 以下の試料のものも示してあるがこれでは加水ハロイサイトの存在が認められている。図-12は長浦湾粘土の 1μ 以下とそれ以上の粒径の試料について生石灰処理した場合の各材令における q_u である。粒径を 1μ で分離したため、 1μ 以上の粒径の方にも加水ハロイサイトが存在するものと思はれる。両者を比べると処理前含水比の相異を考えれば 1μ 以下の処理効果が大きいように思えるが、 1μ 以上の試料に加水ハロイサイト以外の硬化反応に有効な物質が存在するかどうかについては不明である。

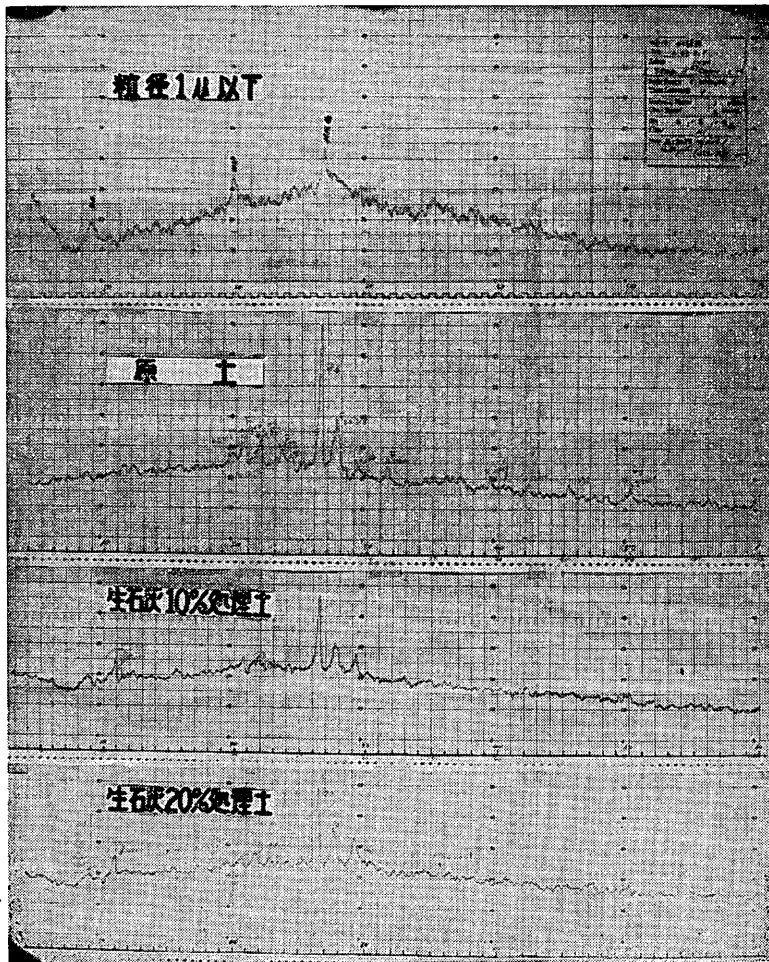


図-10 長浦湾粘土のX線回折図

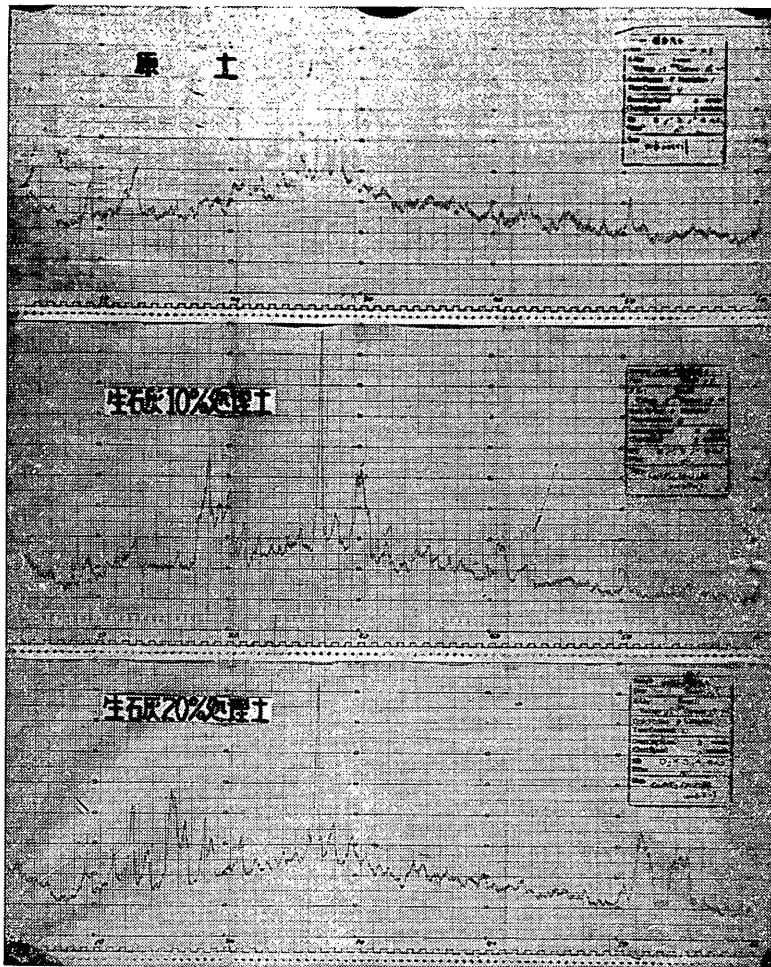


図-11 錦海湾粘土のX線回折図

(2) 圧密試験結果

図-13~15 は処理前含水比 86~90% の長浦湾粘土の生石灰混合処理土の材令7日の試料について行った圧密試験結果である。図-13 に見るごとく処理土は表-2 に示した同一処理条件における供試体の q_u と同程度の圧密荷重まではほとんど沈下を生じていない。また、図-14, 15 に示されるごとく非処理土に比べて c_v の増大, m_v の減少により、夫々の生石灰混合比に対する処理効果が判定できる。処理土の沈下に対する阻止効果は図-16 の各荷重における m_v の比をとることによって推定することができる。例えば、生石灰 10% 混合処理土の材令7日において、 10 t/m^2 および 50 t/m^2 の荷重に対する沈下量は非処理土の場合に比べ $1/44$ および $1/23$ に

減少することとなる。

(3) 処理土の塑性

表-9 に液性限界 w_L 、塑性限界 w_P の試験結果を、図-16に各生石灰混合比における処理土の w_L , w_P 、処理後の含水比の計算値と実測値を示す。

w_L は生石灰混合比の増加に伴い減少する傾向を有するが、処理前の値からの増減は処理時の含水比と土の種類により異なるようである。 w_P は生石灰混合により大巾に増加する。混合比がある程度以上となると減少する傾向も見られるが資料が少ないので明白ではない。大阪湾粘土の材令1日における w_P の増加が少いことは石灰との反応が十分に進行していないことを示すものであろう。塑性指数 PI は生石灰混合比の増加と共に減少している。

長浦湾粘土

d	W _i	α _w
○ 1~74 μ	99.7%	10%
× <1 μ	270%	10%
□ "	"	20%

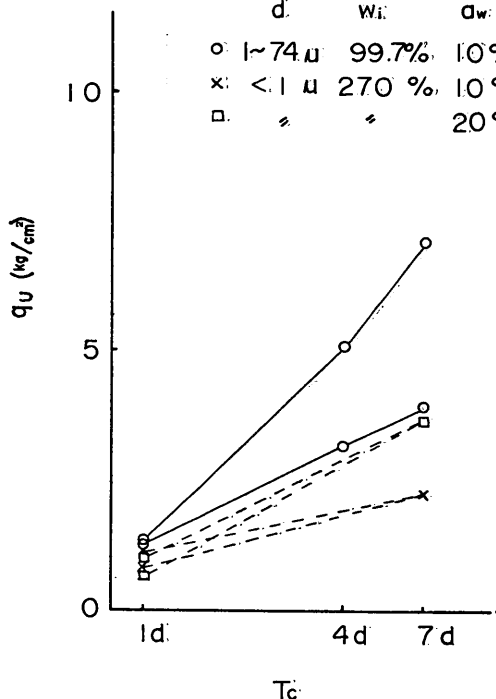


図-12 粒径の異なる土の処理強度

長浦湾粘土

T_c = 7d

α _w	Symbol
0%	○
5%	●
10%	×
20%	△

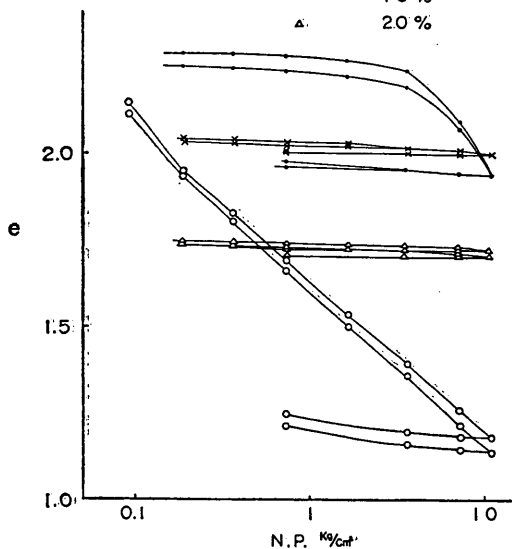


図-13 処理土の圧密試験結果 (P~e)

長浦湾粘土

T_c = 7d

α _w	Symbol
0%	○
5%	●
10%	×
20%	△

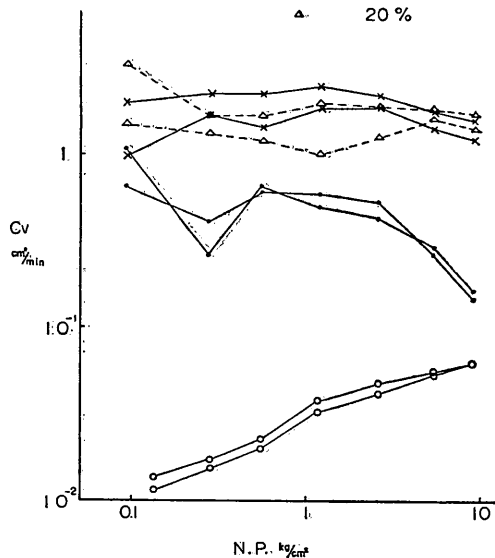


図-14 処理土の圧密試験結果 (P~C_v)

長浦湾粘土

T_c = 7d

α _w	Symbol
0%	○
5%	●
10%	×
20%	△

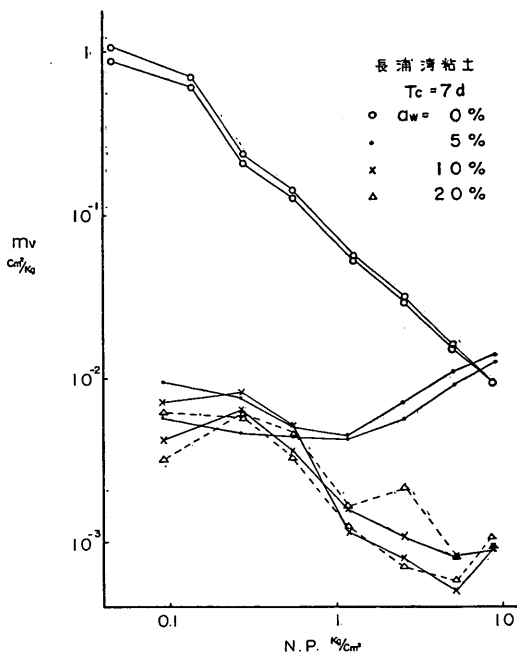


図-15 処理土の圧密試験結果 (P~m_v)

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

表-8 セメント混合処理土の一軸圧縮強度

長浦湾粘土

処理前含水比 w_i %	セメント混合比 %	材令 T_c	乾燥密度 ρ_a g/cm ³	含水比 w %	飽和度 S_r %	一軸圧縮強度 q_u kg/cm ²	圧縮歪 ϵ %	鋭敏比	備考
80.00	2	1d	0.813	82.8	96.2	0.037	14.5		φ5cm, l 10cm モーロド使用
		7d	0.807	83.2	95.6	0.077	12.0		
	5	1d	0.825	79.2	94.0	0.047	12.5		"
		7d	0.827	79.5	94.5	0.141	7.5		
	10	1d	0.860	73.9	92.5	6.064	1.25		"
		7d	0.874	73.6	94.5	7.839	1.50		
86.0	5	1d	0.876	77.0	94.1	0.078	15.0		
		"	0.858	76.6	95.8	0.086	15.0		
		3d	0.733	101.4	103.7	0.094	15.0		
		"	0.770	95.4	102.6	0.095	15.0		
		7d	0.879	75.2	97.8	0.118	15.0		
		"	0.862	76.8	96.9	0.107	12.5		
	21d	"	0.840	79.5	96.9	0.095	9.0		
		"	0.860	78.5	98.7	0.105	13.5		
	10	1d	0.850	77.6	94.6	0.891	4.0		
		"	0.850	78.2	96.6	1.168	1.75		
		3d	0.852	77.8	96.5	2.082	1.5		
		"	0.852	77.8	96.5	2.023	1.5		
		7d	0.850	76.3	94.5	9.946	1.5		
		"	0.850	76.0	94.4	9.177	1.0		
21d		0.850	75.2	93.0	13.827	1.0			
"		0.856	77.0	96.7	10.519	1.25			

表-9 生石灰処理土の塑性

試料	処理前含水比 w_i %	生石灰混合比 a_w %	材令 T_c 日	液性限界 w_L %	塑性限界 w_P %	塑性指数 PI	備考
長浦湾粘土	—	0	—	86.0	35.0	51.0	1H+15S Ca(OH) ₂ 13.2%
	56.0	10	39	76.0	60.7	15.3	
	73.2	"	56	84.9	69.5	15.4	
	"	"	"	94.8	74.7	20.1	
	"	"	12	91.4	67.2	24.2	
	86.0	2	122	111.1	46.1	65.0	
	"	5	112	108.4	67.4	41.0	
	"	10	111	107.0	74.9	32.1	
	"	20	134	95.5	70.2	25.3	
	99.7	0	—	98.0	43.4	54.6	
"	10	9	86.5	52.3	34.2	"	
錦海湾粘土	—	0	—	107.0	42.2	64.8	
	60.0	5	34	84.2	53.3	30.9	
	"	10	"	78.3	55.9	22.4	
	80.0	"	"	94.6	75.1	19.5	
	119.7	"	8	129.2	72.0	57.2	
"	20	"	114.8	88.4	26.4		
大阪湾粘土	—	0	—	83.5	33.4	50.1	
	80.0	10	31	89.4	66.0	23.4	
	"	20	"	78.8	62.8	16.0	
	85.0	10	1	93.0	53.5	39.5	
	"	20	"	86.0	47.2	38.8	
	100	10	35	100.5	66.9	33.6	

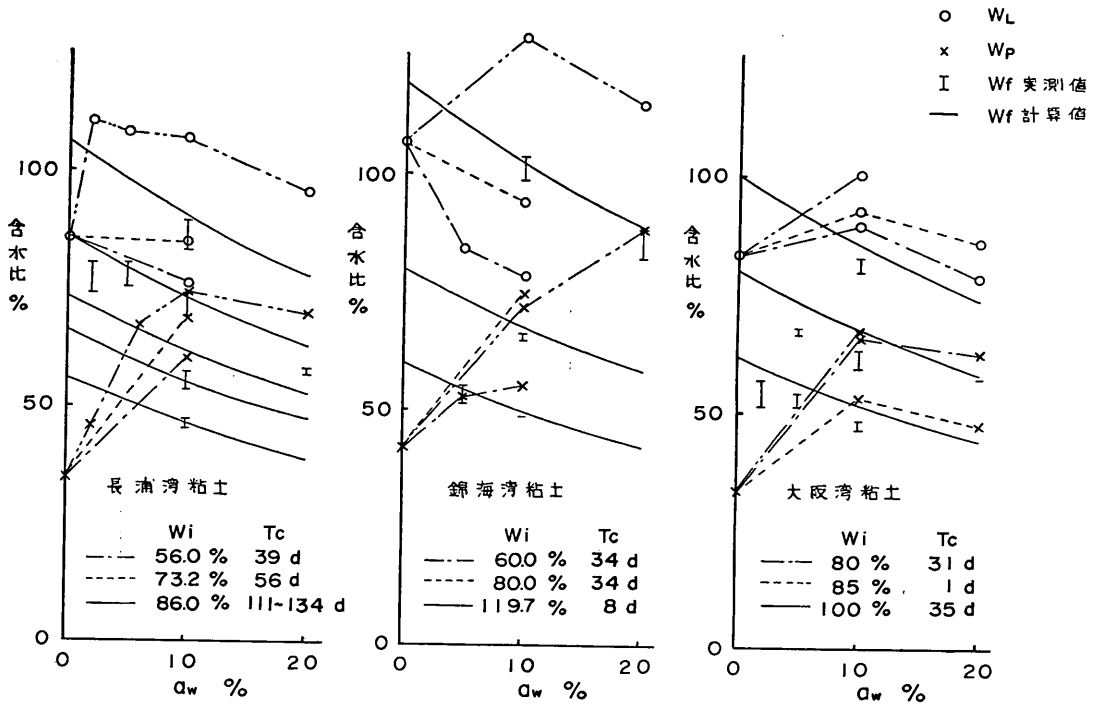


図-16 処理土の含水比と塑性

生石灰混合処理による処理土の最終含水比 w_{f2} は(1)式で求められるが、 q_u 供試体についての実測値は計算値より幾分低いものも多く、混合—成型—養生の各段階で多少の蒸発乾燥があったものと思はれる。

$$w_{f2} = \frac{w_i - 0.32a_w}{100 + 1.32a_w} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに w_i : 処理前試料含水比
 a_w : 生石灰重量混合比%

(1)式による計算値と 図-17 の結果によれば w_i が w_L 以下であれば a_w が 10% 以上となると処理土の含水比は W_P の増加のために W_P 以下となる場合が多い。

w_L , W_P は共に w_i の影響を受け w_i が大きい程値が大きくなっている。図-17 は処理土の w_i の相異によって処理後の塑性が変化することを示したものである。実験を行った含水比の範囲では w_L , W_P , PI はいずれも w_i の増加と共に増加している。ただし、材令の低い試料の W_P は低いので傾向が明瞭でないものもある。

(4) 生石灰による処理効果

生石灰による安定処理は消化時の脱水だけでなくその

後の硬化反応を生ずる場合に非常に効果的となる。したがって消石灰を使用しても同様の硬化反応を期待できるはずであるが、図-7 に示した長浦湾粘土の結果では消石灰が粉末で混合度が良いと思はれるのに生石灰処理土に比べれば改良効果は低くなっている。この差異は両者の処理土の含水比の相異に比べればかなり大きいと思はれる。改良効果は処理土の土性、安定剤の性質によっても異なるが、これらについては検討を行っていない。

図-18 は長浦湾粘土に通常のパルトランドセメントを生石灰の場合と同様な方法で混合処理した供試体の強度を示したものである。 $w_i=86\%$ の場合セメントでは混合比 5% 以下では全く効果はなく、10% の場合でも生石灰処理土に比べ強度が小さく、生石灰がセメントより有効であることを示している。また、生石灰はセメント、消石灰よりは価格の点でも有利である。

生石灰混合による軟弱粘土の安定処理工事の設計に際しては、要求される処理土の強度とその達成日数とから生石灰使用量を定めることができる。例えば、2.2 の結果より 図-19 を使用して、 $q_u=2\text{kg/cm}^2$ および 5kg/cm^2 の強度を得るためには生石灰混合比 10% を使用した場

生石灰による沖積粘土の安定処理 (第1報)

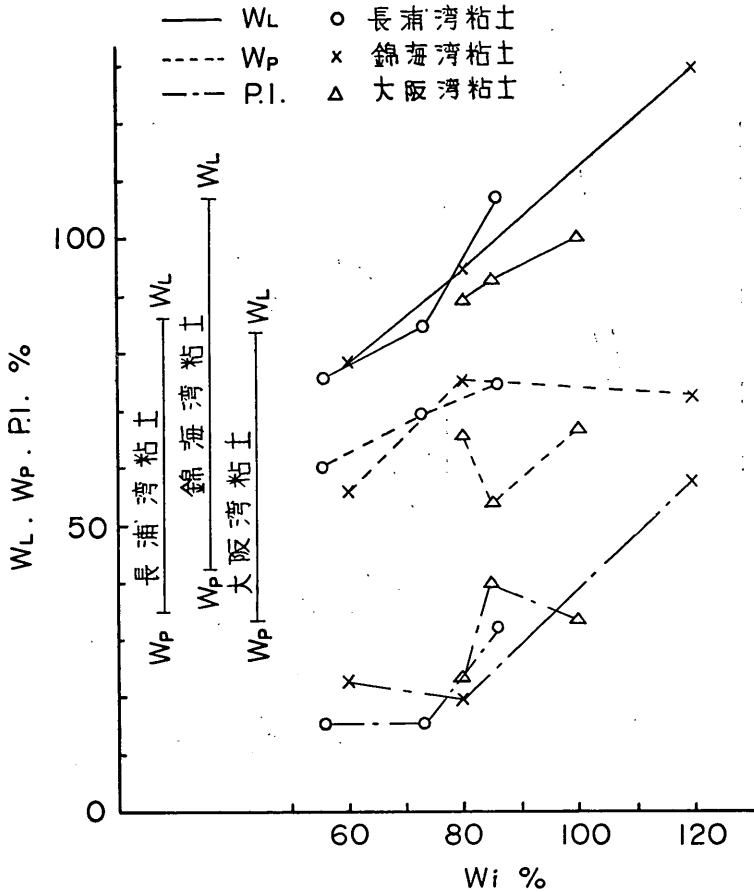


図-17 生石灰10%処理土の塑性と処理前含水比の関係

合、それぞれの含水比の地盤に対して必要な材令を知ることができる。ただし、処理土の強度は処理条件により異なるので、必ず現場試験を行って確認するべきである。

2.3 まとめ

前節に述べたことは生石灰混合比 20% 以下の場合について、前述の混合条件および成型条件における限定された試験結果であるが、これをまとめると次のごとくなる。

- a) 実験に使用した3種類の沖積粘土は生石灰混合処理により有効に安定され、強度は非常に改良される。
- b) 生石灰混合比は5%程度から効果を生ずる。強度の発生は3日以後からが大きく、強度の増加は材令と共に進行する。

c) 処理土の処理前含水比はある程度までは小さい方が安定効果は大きいが過小になると効果が減少する。

d) 処理土は水浸によって安定効果が向上される。また、締め固めを十分に行うことも安定効果を増大させる。

e) 同一処理条件における q_u と同程度の値の最大荷重までの範囲内では、処理土の圧密係数および体積圧縮係数は $10^1 \sim 10^2$ 程度それぞれ増大および減少する。

f) 処理土の液性限界は処理前含水比の大きい程大きくなり、生石灰混合比の増加にしたがって減少する。

g) 処理土の塑性限界は原土の場合より非常に増大する。したがって処理前含水比が液性限界以下の場合、処理土の含水比はその塑性限界以下となることが多い。また、塑性指数は生石灰混合比と共に減少する。

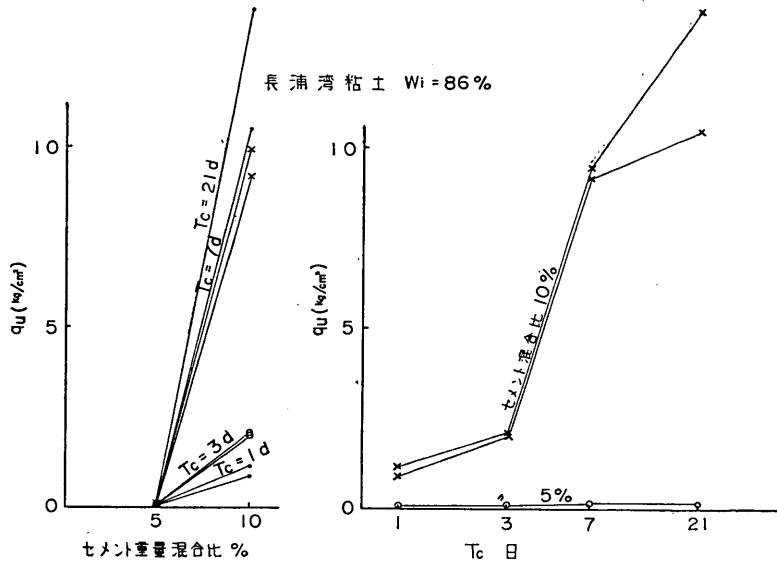


図-18 セメント混合処理土の強度

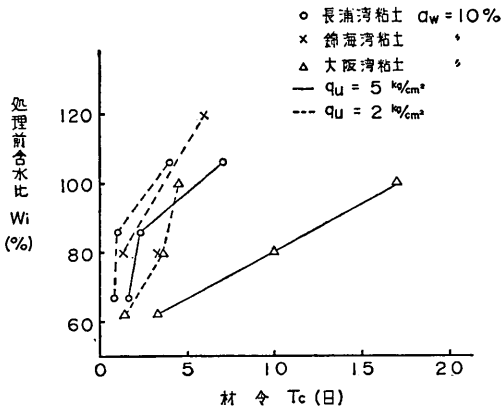


図-19 生石灰 10% 混合処理土の $q_u = 2 \text{ kg/cm}^2$, 5 kg/cm^2 に達する材令

3 生石灰杭打設による安定処理

この工法は原地盤の間隙水を脱水して安定化を期待するものであるから、生石灰と硬化反応を生ずる土でもその効果は杭に接近する一部分のみにしかおよばないので、混合処理の場合程大きな強度の増加は望めないが、処理層厚が大きい場合あるいは混合することが施工上困難な場合に使用される。この工法についても施工例が少なく、設計施工上必要な資料が十分でない。今後研究を要す

る基礎的な問題も少くないと思はれるが、ここでは実施された現地実験について施工上の問題と処理効果について検討を行う。

3.1 現地実験概要

現地実験は図-20のボーリング柱状図に示すごとき土性の、主として軟弱粘土による埋立地盤で地表より10m以上埋立粘土が連続沈積していると思はれる地域で行われた。

実験区域の配分およびその処理工法は図2-1のごとくで、図-22に示すごとく延べ4ヶ月間にわたり、処理層の沈下量、間隙水圧、地表付近の含水比、サウンディングによる強度の時間的変化が観測され、生石灰杭打設後1ヶ月目にはボーリングによる乱さない試料の採取が行われ土質試験が実施された。

試験区域は作業条件を向上させるために50cm厚の敷砂が施工された。打設された生石灰杭は直径20cm、処理層厚は5.5m、第1試験区域(1工区)の乾燥土に対する生石灰使用量は約17%、第2試験区域(2工区)、第4試験区域(4工区)では1工区における生石灰杭の1/2をペーパードレーンで置換したもので約8.5%の重量比となる。第5試験区域(5工区)はペーパードレーン単独処理、第3試験区域(3工区)は処理効果判定のための非処理地域である。

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

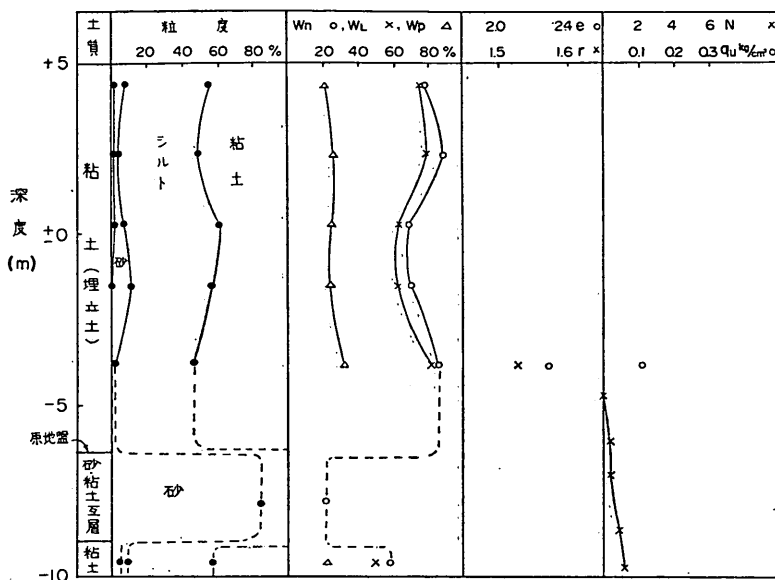
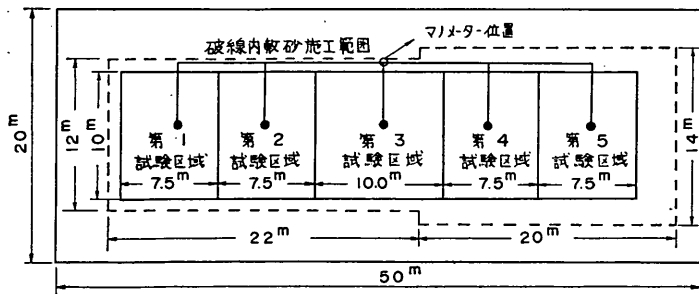
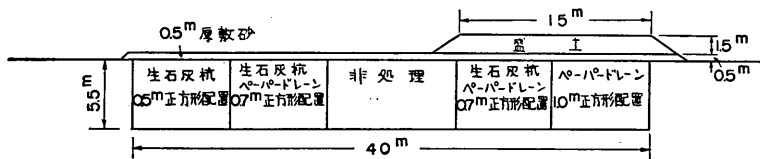


図-20 試験区域のボーリング柱状図



間隙水圧計沈下板設置深度および乱さない試料採取深度範囲
第1~第3試験区域
第4・第5試験区域

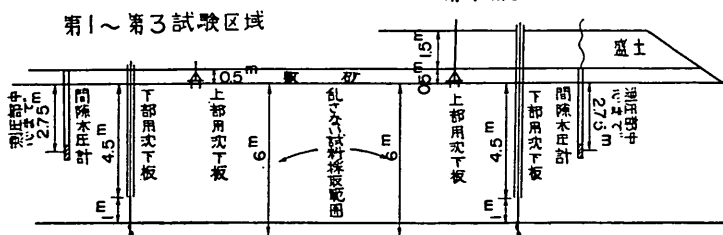


図-21 試験区域配置図

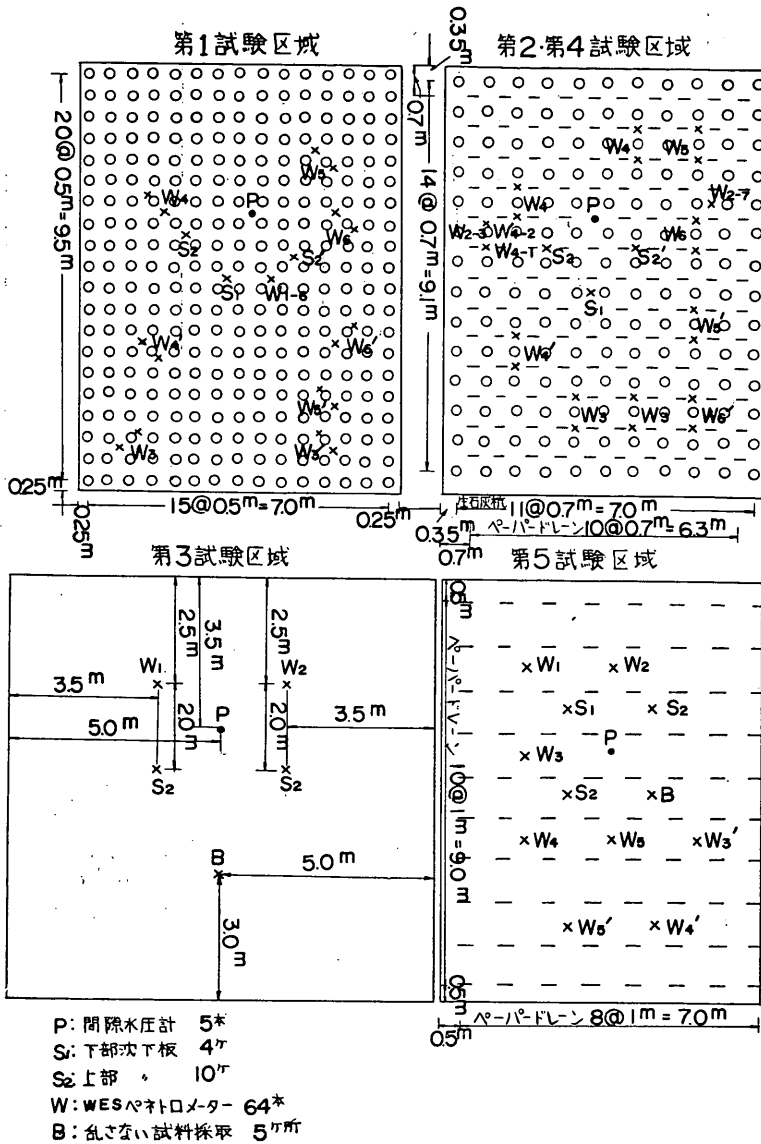


図-22 観測および調査位置図

3.2 室内実験による処理効果の検討

(1) 硬化

実験地域の埋立粘土は混合処理を行った場合 図-3 に示したごとく強度の大巾な増加を生ずることから、生石灰との反応による硬化安定が認められ杭周辺の限定された部分ではこの効果が期待できる。

(2) 生石灰杭による脱水効果

生石灰杭による処理土からの間隙水の脱水作用は、生石灰が消化するために消費するものと消化後の石灰が周囲の土と平衡に達するまで吸収するものがある。

前者の場合の処理土の含水比の減少量は次式で示される。

$$\Delta w_1 = \frac{W_s \cdot a_w \times 0.32}{W_s} = 0.32 a_w \dots \dots \dots (2)$$

こゝに Δw_1 : 含水比減少量 %
 W_s : 土の乾燥重量
 a_w : 生石灰の W_s に対する重量比

したがって生石灰消化後の処理土の含水比は次式で示される。

$$w_{f1} = w_i - 0.32a_w \quad \dots\dots\dots(3)$$

こゝに w_{f1} : 消化後の処理土の平均含水比
 w_i : 処理前の土の含水比

絶体乾燥状態にある消化後の石灰杭が周囲の土から間隙水を吸収して平衡に達したときの処理土の平均含水比は、充填された生石灰杭の間隙比、拘束圧、処理土の初期含水比、両者の粒子界面の性質などによって異なる。処理土の間隙水は初期には杭に接近した部分が多量に消費され、次第に杭から離れた部分にまで脱水効果がおよび時間の経過と共に場所的な含水比の相異は少なくなって行くと思はれるが、こゝでは全行程を通じて処理土の平均含水比のみを考える。今、完全に水で飽和されている土について、土および石灰の粒子界面の性質による影響を無視し、消化した石灰杭がその間隙を完全に飽和するまで土の間隙水を吸収するものと仮定すれば、このときの処理土の最終含水比は次式で示される。

$$w_{f3} = \left(\frac{v_s - v_c}{V_s} \right) \cdot \frac{1}{G_s} = (e_s - e_c \cdot \frac{G_s}{G_c} \cdot 1.32a_w) \cdot \frac{1}{G_s}$$

$$= \frac{e_s}{G_s} - \frac{e_c}{G_c} \cdot 1.32a_w = w_{f1} - 0.59a_w \cdot e_c \quad \dots\dots(4)$$

こゝに

- w_{f3} : 石灰杭飽和後の処理土の最終含水比
- v_s : 生石灰消化後の処理土の間隙
- v_c : 消化石灰杭の間隙
- V_s : 土粒子の全体積
- G_s : 土粒子の比重
- G_c : 消石灰の粒子比重 = 2.237
- e_s : 生石灰消化後の処理土の間隙比
- e_c : 消化石灰杭の間隙比

(3), (4)式より

$$w_{f3} = w_i - a_w(0.32 + 0.5e_c) \quad \dots\dots\dots(5)$$

e_c は打設した生石灰杭の充填密度、生石灰塊の間隙比、拘束圧などにより異なるので実測により求めねばならない。圧密試験機で行った各圧力下における生石灰の消化後の間隙比は図-23のごとくであったが、これを使用して上記の最終含水比を推定することができる。

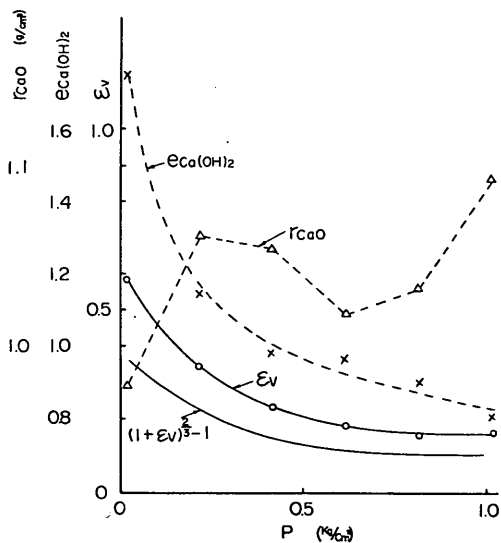


図-23 ケミコライム消化時の膨張

(3) 生石灰杭の膨張に伴う効果

表-10 に示すごとく、生石灰はその実質部分の体積の109%に相当する量の水を吸収して消化し、消費した水の92%に相当する体積が増加して始めの約2倍の体積になる。地中に打設された生石灰杭の消化が地盤の間隙水を脱水して行はれる場合、杭の間隙比が消化前後で変ることなく、かつ、地中の間隙の飽和状態が保たれているならば、石灰杭の膨脹量は常に脱水量より少く、両者の差は地盤の垂直方向の沈下となって表われる筈であるが、消化時の石灰の粉末化による比表面の増大に伴う間隙の増加、あるいは消化時の発熱のため短期間にせよかなりの値の水蒸気圧の発生（温度上昇が200℃程度になったとすればこのときの飽和水蒸気圧は16kg/cm²程度となる）などにより、杭の膨脹量は上述の値より大きくなることも考えられる。また、処理土の初期含水比が低い場合、あるいは生石灰の混入比が大きい場合、収縮限界以下の含水比まで脱水され不飽和になることがあるとすれば、処理土の収縮より石灰杭の膨脹量が大きくなることは勿論である。

これらの理由による膨脹量は、杭の充填密度、拘束圧その他の施工条件によって異なるので施工資料の集積が必要であるが、室内実験の結果を使用して類推することは可能である。

粒径 20~30mm の塊状生石灰の打設杭の充填密度は最大で1.4t/m³程度であるが、特にしめ固めの努力を行わない場合は通常1.1t/m³程度で、この場合の間隙比 e_1

表-10 生石灰の消化に関する諸数値

	分子量	比重	体積比
CaO	56.08	3.4	16.494
H ₂ O	18.016	1	18.016
Ca(OH) ₂	74.096	2.237	33.123
			$V_{Ca(OH)_2} - V_{CaO}$ 0.923

は

$$e_1 = \frac{G_{CaO}}{r_{CaO}} - 1 = \frac{3.38}{1.1} - 1 = 2.07$$

こゝに G_{CaO} : 生石灰の粒子比重
 r_{CaO} : 生石灰杭の単位体積重量

消化により体積が変化しないときの消化杭の間隙比 e_2 は

$$e_2 = \frac{v_{CaO} - (V_{Ca(OH)_2} - V_{CaO})}{V_{CaO} \cdot \frac{V_{Ca(OH)_2}}{V_{CaO}}} = (1 + e_1) \frac{V_{CaO}}{V_{Ca(OH)_2}} - 1$$

$$= 3.07 \cdot \frac{1}{2} - 1 = 0.54$$

こゝに V_{CaO} : 生石灰杭の間隙
 V_{CaO} : 生石灰杭実質部分の体積
 $V_{Ca(OH)_2}$: 消化石灰杭実質部分の体積

図-22の実験結果では、1.0 kg/cm² までの圧力下では消化した石灰はこの間隙比に達していないから、この圧力までは杭体積は膨脹することを示している。単位体積重量が1.5 t/m³ 程度の地盤で静止土圧係数を1とした場合では少なくとも6m程度の深度までは生石灰杭は常に膨脹することとなり、こゝにとりあげた現地実験はこの場合に相当する。生石灰の消化時の体積膨脹率を ϵ_v とすると杭の水平方向の膨脹率は $(1 + \epsilon_v)^{2/3} - 1$ で示される。生石灰杭の消化時の吸水量は $0.32 r_{CaO}$ であるから、吸水量=脱水量である場合、杭の膨脹量と $S_r = 1$ の処理土からの脱水量すなわち処理土の収縮量が等しくなる拘束圧は、 $r_{CaO} = 1.1 \text{ g/cm}^3$ 、 $r_w = 1 \text{ g/cm}^3$ (間隙水の単位体積重量) とすると水平方向膨脹率が

$$(1 + \epsilon_v)^{2/3} - 1 = 0.32 r_{CaO} / r_w = 0.352$$

となるときで 図-23 より 0.035kg/cm² となる。現地実験における処理土表面の敷砂荷重は約 0.1kg/cm² であるから、すべての深度で地盤の収縮量が杭の膨脹量より大きいことになる。次に杭の体積膨脹がすべて水平方向にみ生ずると仮定すると吸収量=脱水量すなわち

$$\epsilon_v = 0.32 r_{CaO} / r_w = 0.352$$

となる圧力は 図-23 より約0.2kg/cm² となり、

$$p / r_t = (0.2 - 0.1) \text{ kg/cm}^2 / 1.58 / \text{cm}^3 = 60 \text{ cm}$$

こゝに p : 地中応力
 r_t : 土の単位体積重量

の深度に相当する。現地実験では杭頭部を処理土表面より50cm付近に止めるよう施工されたこと、周囲が軟弱な埋立粘土で容易に塑性変形を生ずること、地表まで杭頭が出た場合でも敷砂内に止まりその長さも短いことを考慮すれば、杭の膨脹はすべて水平方向にのみ生ずるものと考えることができ沈下量は次のごとく計算される。

消化脱水のみによる沈下量 S_1 は

$$S_1 = \frac{1}{A} \int_0^h \left(\frac{0.32 r_{CaO} \cdot \pi r^2}{r_w} - \epsilon_v \cdot \pi r^2 \right) dh \dots\dots\dots(6)$$

消化杭が飽和に達するまで吸収するときの沈下量 S_2 は式(5)より

$$S_2 = \frac{1}{A} \int_0^h \left(\frac{0.59 e_c \cdot r_{CaO} \cdot \pi r^2}{r_w} \right) dh \dots\dots\dots(7)$$

したがって全沈下量 S は次のごとくなる。

$$S = S_1 + S_2 - S_3$$

こゝに r : 生石灰杭の半径
 h : 処理層厚

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

A：生石灰杭1本あたりの処理面積

S₃：生石灰杭打設に伴う地盤の盛土量

3.3 現地実験結果および考察

(1) 観測結果

a) 沈下および間隙水圧

図-25 および 表-11 に処理層の沈下の実測値と計算値

を、図-26 に間隙水圧の測定結果と計算値を示す。これらの圧密度に関する計算は次のごとき条件で行ったものである。

i 土質条件

敷砂 厚さ 70cm, $\gamma=1.8\text{t/m}^3$

処理土 厚さ 5.5m, $\gamma=1.54\text{t/m}^3$

表-11 各施工時期における沈下量 (cm)

	1 工 区		2 工 区		3 工 区		4 工 区		5 工 区	
	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値
敷砂よりペーパードレイン打設まで	0.9	1.0	0.9	0.8			0.9	0.7	0.9	0.5
残留沈下量 (敷砂)	30.3		31.4				31.4		32.4	
" (自重圧密)	15.6		15.6				15.6		14.5	
全残留沈下量	45.9		47.0				47.0		46.9	
生石灰杭打設まで	3.0	-7.0	15.0	11.0	2.0	2.7	15.0	12.5	7.7	6.6
残留沈下量	43.8		32.9				32.9			
消化脱水相当量	24.3		12.4				12.4			
脱水量と生石灰杭膨脹量との差 (消化杭飽和吸水相当量)	1.0 (52.4)		0.5 (26.7)				0.5 (26.7)			
生石灰杭打設後の沈下量	20.5	} 0	21.0	} 9.0			21.0			
"	(72.9)		(47.7)		(47.7)					
生石灰杭体積相当量	-69.1	-22.5	-35.3	-11.5			-35.3	-8.5		
盛土施工時まで									9.2	9.3
盛土後沈下量					2.5	3.0	76.0	55.5	104.2	80.0

圧係数 $c_v=1.4 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$

体積圧縮係数 $m_v=5.0 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{kg}$

地下水位は全期間を通じて処理土表面にあるとする。

ii 荷重条件

各工区共、表-12 に示す施工時期に、自重圧密残留分、敷砂荷重および盛土荷重の各荷重がそれぞれ一時に載荷されたものとする。

自重圧密度は間隙水圧計設置時の敷砂荷重による圧密度と間隙水圧実測値より推定する。

非処理期間の圧密は地中応力の平均値に対するものを考える。

iii 排水条件

非処理期間 層厚 11m, 両面透水

処理工施工後 垂直方向の排水は無視

生石灰杭は同一直径の砂柱として取扱う。

生石灰杭、ペーパードレイン併用工区は夫々単独の条件が重合するものとし、圧密度は次式で求める。

$$1 - U_{CP} = (1 - U_C)(1 - U_P)$$

ここに U_{CP} ：生石灰杭、ペーパードレイン併用工区の平均圧密度

U_C ：生石灰杭処理による平均圧密度

U_P ：ペーパードレインによる平均圧密度

以上の条件により 図-24 のごとく各工区の圧密度曲線が得られる。

図-25 の計算沈下曲線は、敷砂、ペーパードレイン、

表-12 各工種施工時期

荷重および施工種目	載荷および施工時期	
自重圧密残留分および敷砂荷重	敷砂開始後	3日目
ペーパードレン施工および間隙水圧計設置	"	13日目
生石灰杭打設		41日目
盛土		51日目

生石灰杭打設および盛土の各施工段階における計算値を夫々の初期実測値の点から引かれている。

図-26 の間隙水圧計算曲線は各施工段階毎に適当な実測値を初期値として求めてあるが生石灰杭打設時の急激な上昇水圧は無視してある。

これらの図によれば、自然圧密およびペーパードレンに対する圧密度の計算値は実測値と良く一致しているが、生石灰杭施工後は両者の開きが大きい。

生石灰杭打設後の沈下は非常に少く、消化杭の飽和吸水による沈下を除いた計算値に比べても非常に少い。沈下速度は杭打設前後で余り変化していない。生石灰杭打設に伴う地盤の盛上りは杭体積の $\frac{1}{3}$ 以下であった。4工区および5工区の盛上時の急激な沈下は、施工初期に地盤がすべり破壊を生じたため、このためペーパーなどの排水路が部分的に切断されたことが図-25 で実測沈下量が計算値より小さいことから推察される。

間隙水圧の減少は、生石灰杭を同一直径の砂柱として計算した平均圧密度からのばらつきが大きい、傾向としてはかなり近いとも考えられる。杭打設時の間隙水圧の急激な上昇量は $0.04 \sim 0.06 \text{ kg/cm}^2$ 程度で、その後の減少速度はサンドドレンの場合に比較して非常に早い、これが脱水作用を示すものか否かは不明である。間隙水圧計と生石灰杭の距離が20cm程度で接近しているので、杭打設により地盤内に亀裂などが発生し正当な値の測定ができなかったことも考えられる。また、敷砂後57日目以降は試験区域周囲の地域に0~1.5mの盛土を施工しているとその影響も現はれている筈である。

試験区域は処理前に敷砂を行い、また2,4,5工区はペーパードレンを先行している、生石灰杭が打設されるまでの期間に沈下を生じ地表が周囲の地盤より低くなり、雨水や敷砂を通じて周囲から流入した水が滞留

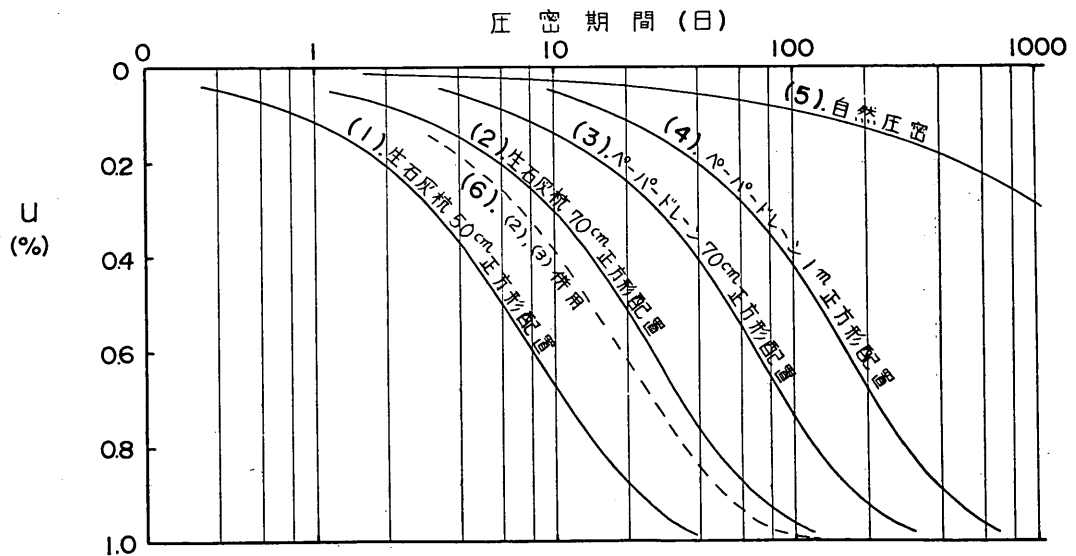


図-24 各工区圧密度曲線

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

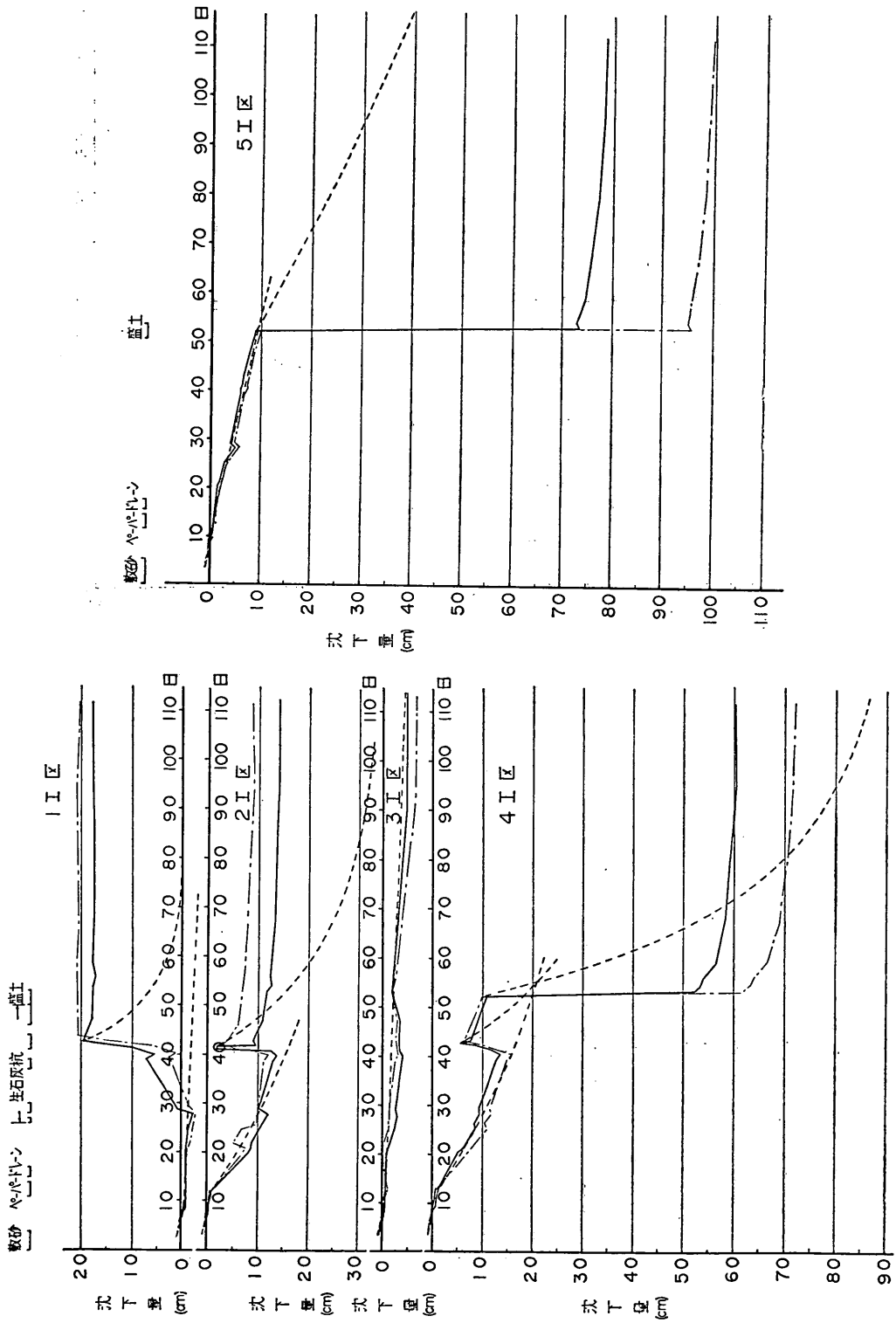


図-25 試験区域の沈下

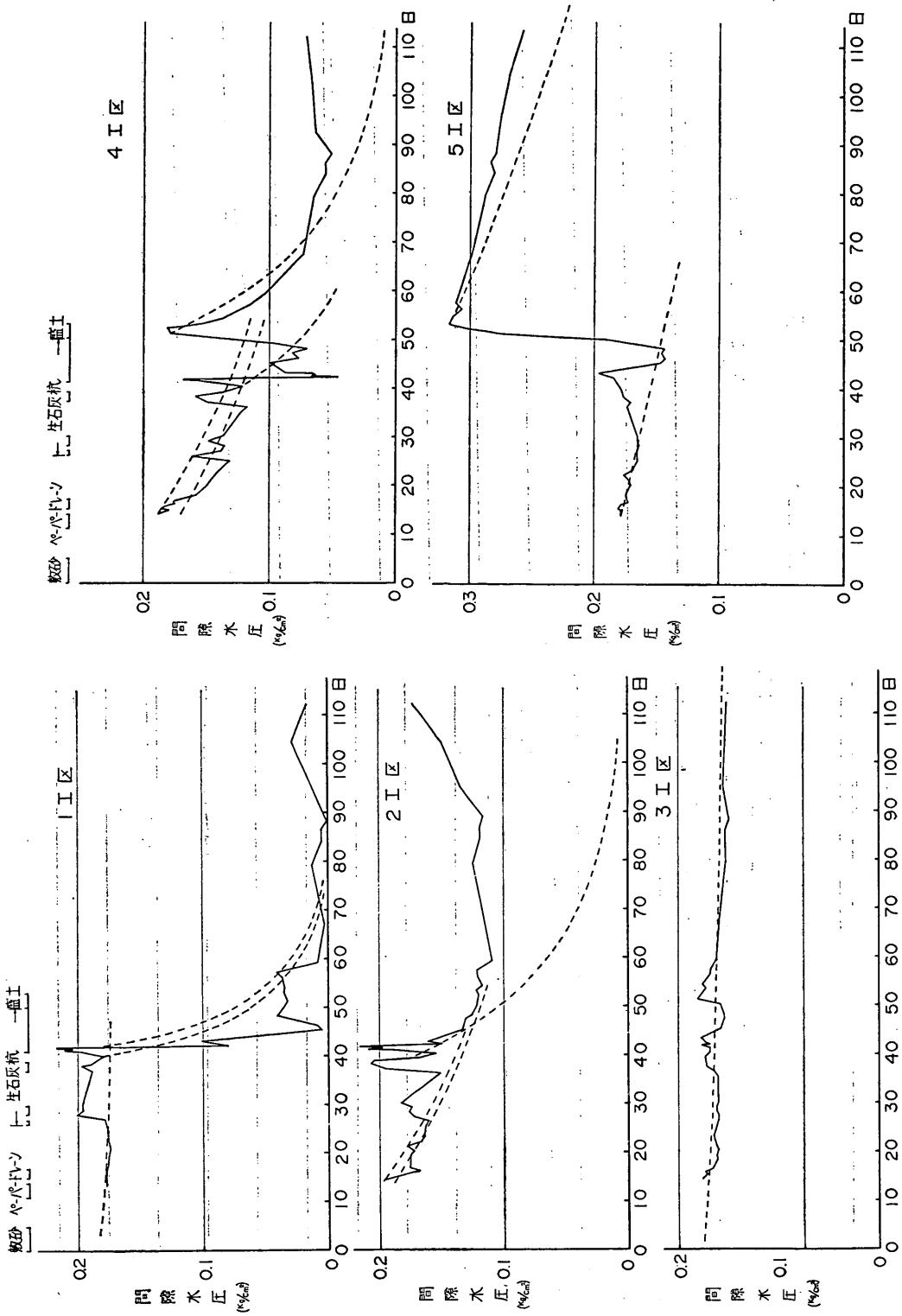


図-26 試験区域の 間隙水圧

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

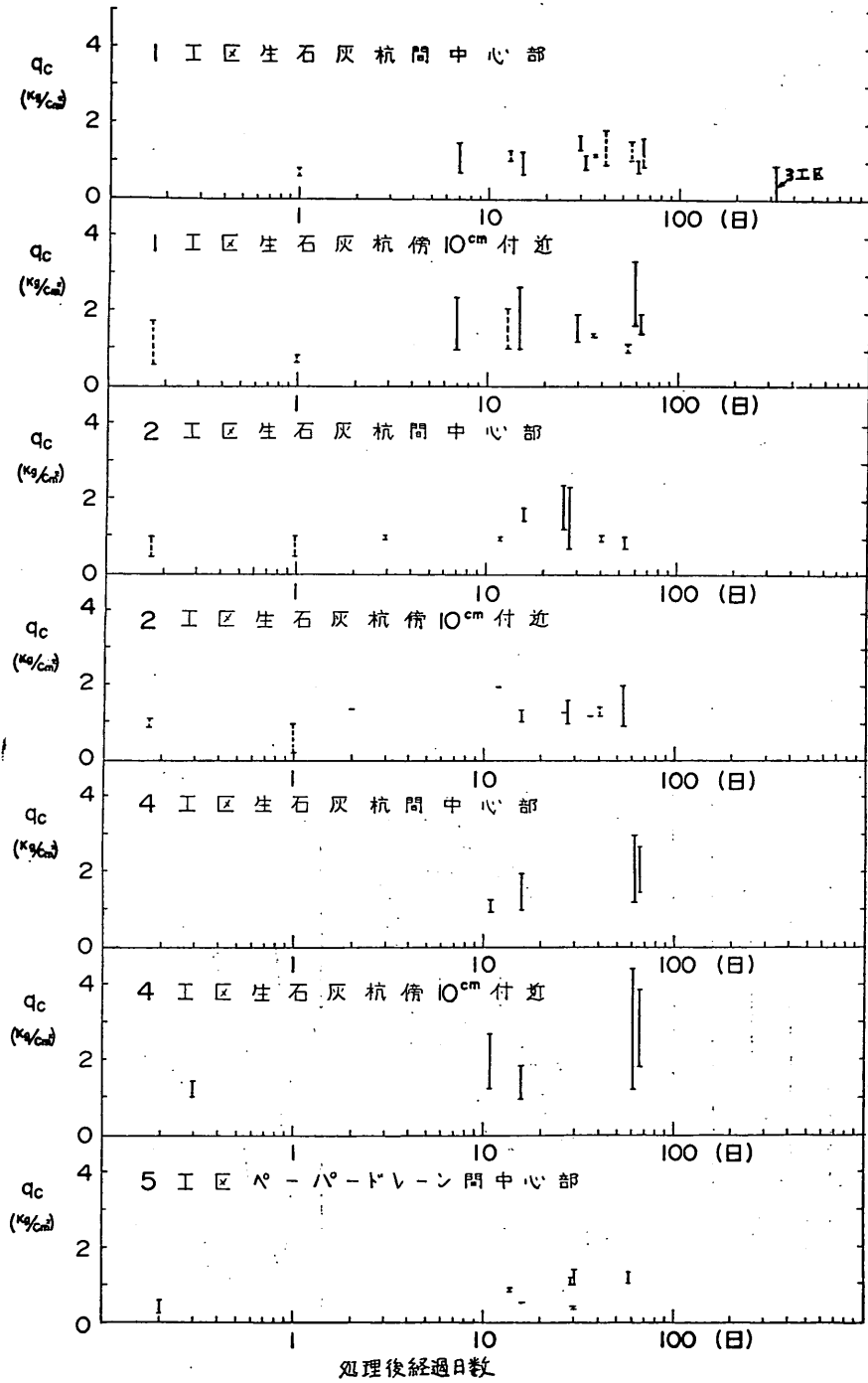


図-27 試験区域の強度変化

し、打設した生石灰杭の中にこれらの水が流入することを完全に防止できなかったため、脱水効果が部分的にかなり減殺されたと思われる。

b) 強度

処理工事施工後の地盤の強度の時間的変化は WES 型コーンペネトロメーター(二重管式)およびオランダ式コーンペネトロメーターで測定され、また、盛土施工後 1 月目に採取した乱さない試料について一軸圧縮強度およびポケットコーンによる貫入抵抗の測定が行われた。

図-27 はサウンディングによる各工区処理層の 0~6m の深度のコーン支持力 q_c (kg/cm^2) の測定値範囲の時間的変化を示したものである。各工区共成層状態が複雑で部分的に存在する砂あるいは礫のためにばらつきが大きい、生石灰杭間の中央部に比べ杭周 10cm 付近の強度が大きいことが認められ、また、何れの場合も処理前より強度が増加していることは明らかである。载荷盛土を行った 4 工区以外では生石灰杭打設後 1 週間乃至 10 日程度に強度の増加が生じており、その後もある程度の増加が見られるようである。この処理土に対して $q_c = 10c$ の関係が適用できるとすれば、各工区の q_u は夫々次

のごとく推定でき、これらの値は図-28に示された q_u に近いものである。

1 工区

杭間中央部 0.26 kg/cm^2 , 杭周10cm付近0.35 kg/cm^2

2 工区

" 0.15 " , " 0.26 "

4 工区

" 0.3 " , " 0.4 "

5 工区

ペーパードレーン間中央部 0.15 kg/cm^2

3 工区

非処理土 0~0.1 kg/cm^2

図-28 に载荷盛土施工後 1 月目に採取された乱さない試料の q_u およびポケットコーンの貫入抵抗 q_{cp} を示す。1 工区のボーリング孔は 4.7m 付近で生石灰杭に貫入している、この付近の値は最大の処理効果を示すはずであるが、生石灰杭周辺で生ずることの多い消化熱と硬化反応による固結が見られず、 q_u は 0.4 kg/cm^2 程度である。これは地表の溜水が石灰杭中に流入して効果を減少させたことによると考えることもできる。図-29 は各工区深度別の q_u の比較であるが、杭間中央部の値を示すと思はれる 0~3m の深度で杭間隔の密な 1 工区の強

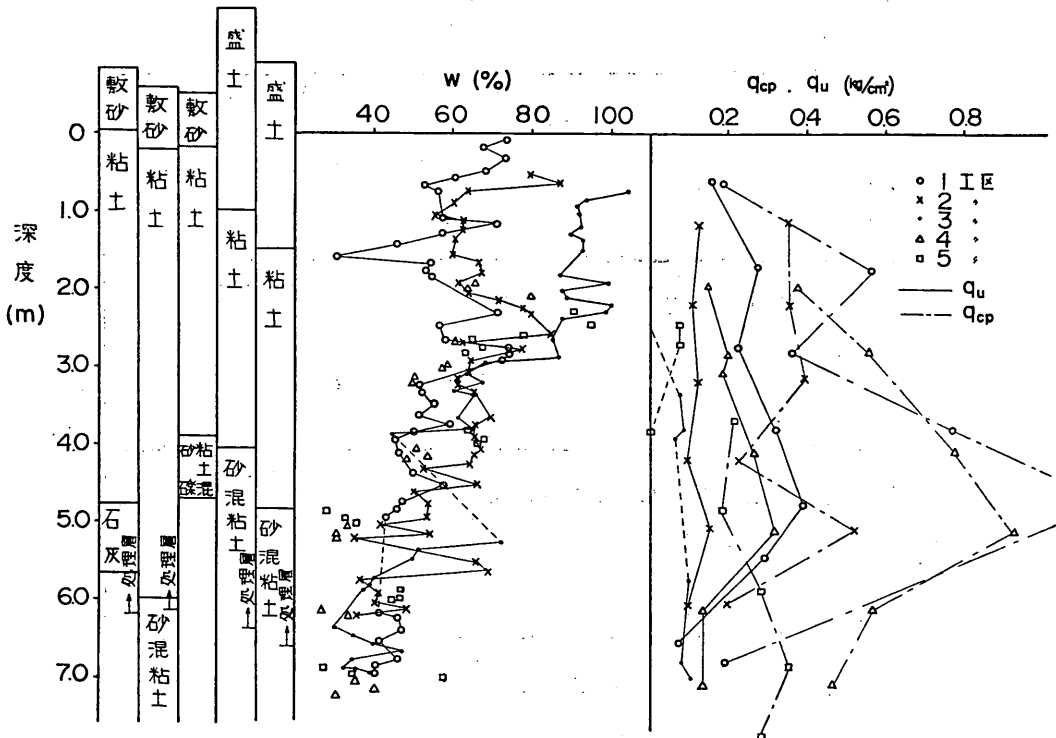


図-28 载荷盛土 1 月後の土性

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

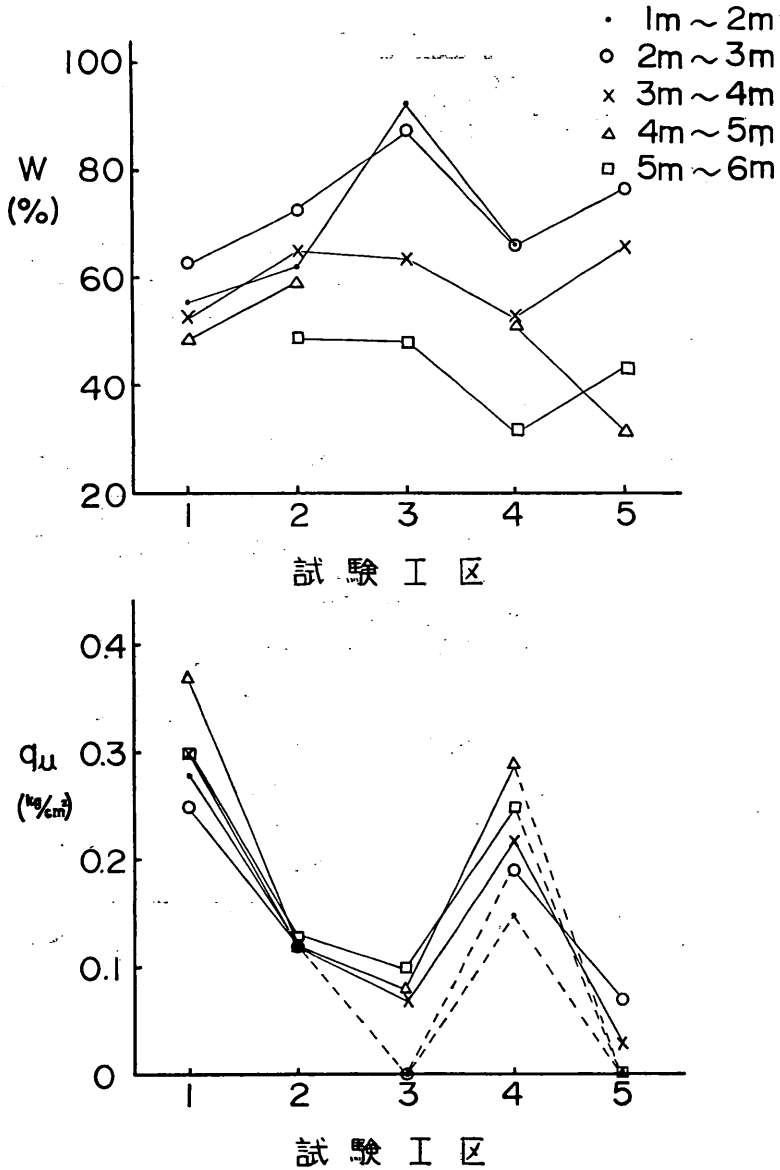


図-29 各工区処理効果の比較

度が最大で、以下盛土を施行した4工区、盛土を施工しない2工区の順となり、当然予想される結果を示している。非処理地区の強度は一軸圧縮試験の実施がほとんど不可能な程度に軟弱であるから処理効果は明瞭である。

図-30 に隣接する生石灰杭間の処理土の強度分布測定例を示す。図示した q_u は単管によるものであるから深度の大きい場合の測定値は周面摩擦の影響で過大な値を

示しているが、相対的には杭周付近の強度が中央部に比べて非常に大きいことを明瞭に示している。2工区の強度分布は明瞭な傾向を示していないが、杭の打設が地表面の凹凸のために必ずしも垂直に行はれていないので杭側面からの測定位置が正確でないこと、あるいは処理土間隙水以外の水を吸収消化したなどの理由によるのであろう。

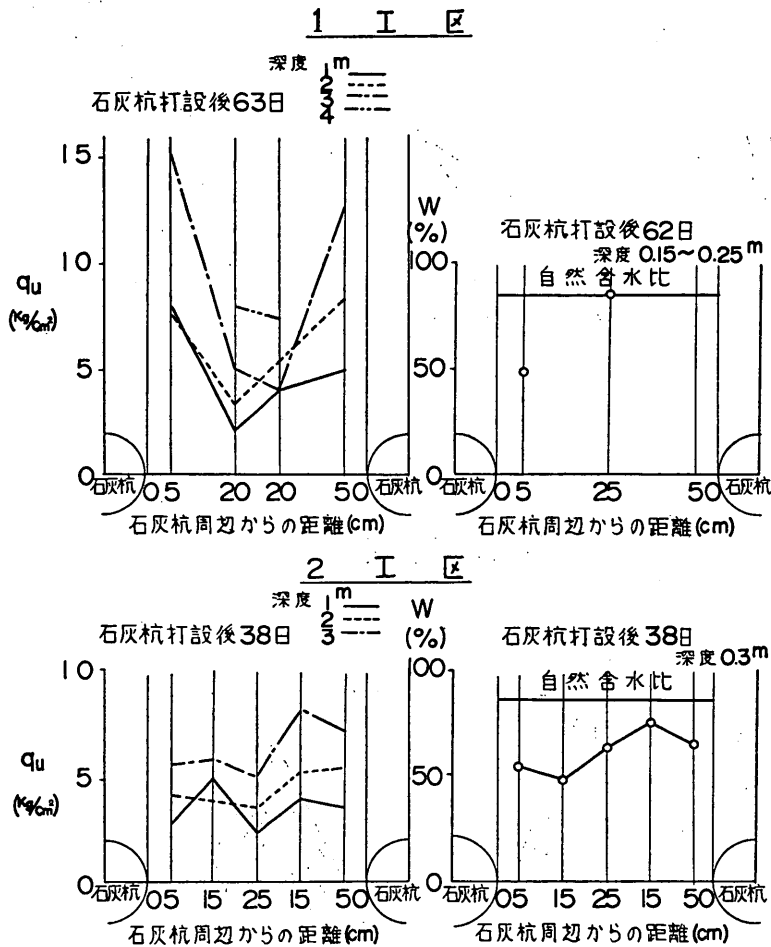


図-30 ケミコライム杭間の強度と含水比

消化した石灰杭自体の q_c 測定結果は 図-31 のごとくで非常にばらつきが大きい。杭頭部から地表の溜水の流入したもの、あるいは垂直に打設されていない杭の強度が小さく表はれていると思われる。石灰杭内の q_c は $5 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ の範囲にあるものが多く、1m 程度で貫入不能となった杭もあり。地盤の強度よりはるかに大きい。石灰杭の強度を設計に際して如何に取扱うかは今後検討すべき問題である。

c) 含水比

深度60cmにおける生石灰杭間中央部および杭周10cm付近の処理土の含水比の時間的变化は 図-32 のごとくであった。土質が均一でないため強度の場合と同様にばらつきが多いが、中央部より杭傍の値が低く時間と共に減

少する当然の傾向が見られる。強度変化と同じく含水比の変化も初期の数日間が大きく、以後は徐々に一定値に近づくものと思われる。図-28 および 図-29 のボーリング結果によれば盛土施工1月後における各工区処理土の深度3m以浅の含水比は、(5)式による石灰杭が消化後飽和するまで間隙水を吸収したときの値あるいはそれ以下の値を示しているようである。例えば初期含水比を90%としたときの(5)式による最終含水比は72%程度で実測値より稍高い。しかし土質が複雑であるからこれが消化杭の間隙が飽和されるまで土の間隙水を吸収したことを示すと考えることはできない。図-30 は隣接杭間の処理土の表層付近の含水比分布測定例である。前述のごとく成層状態が複雑なため明瞭ではないが定性的な傾

単管 I I 区 ■ 62日
 I I 区 1 ● 13.
 2 ▲ 34.
 3 ▲ 37.
 4 □ 15.
 2 2 ▲ 4.
 4 x 13.

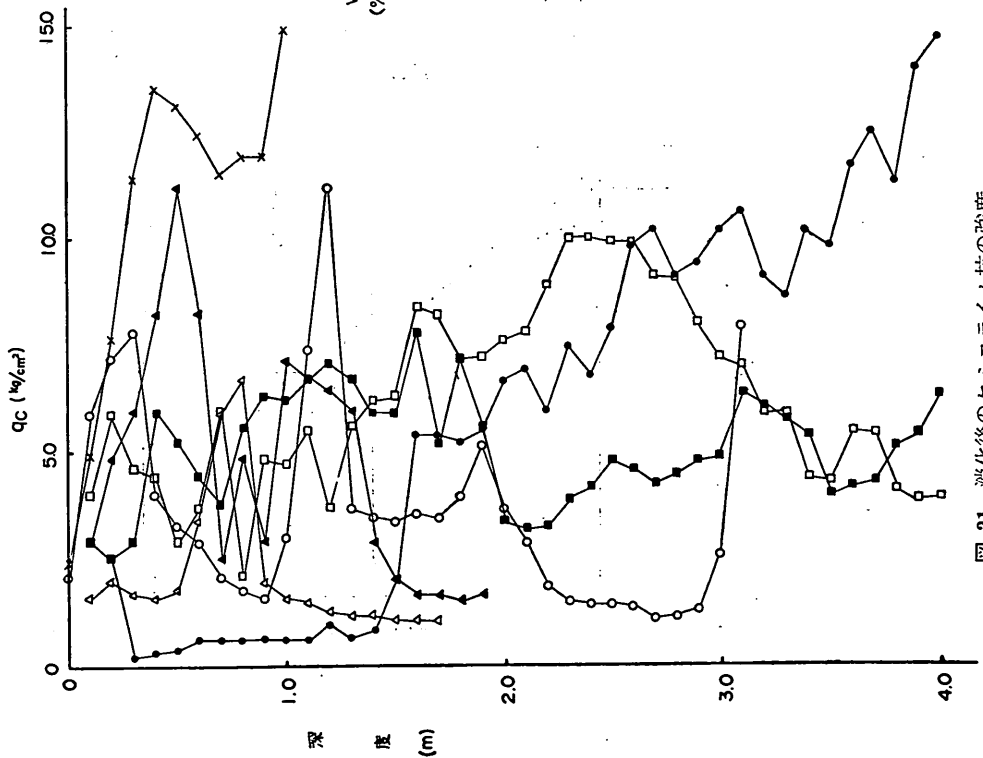


図-31 消化後のケミコライム杭の強度

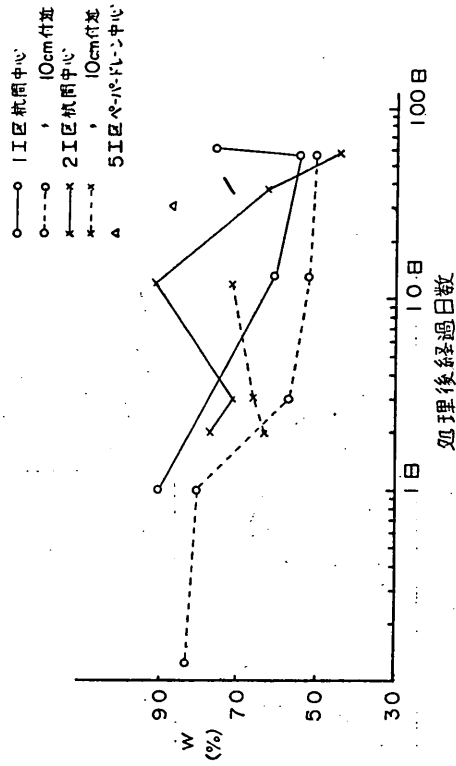


図-32 各工区処理層の含水比の変化
(深度60cm付近)

向を示しているものと思はれる。

d) 圧密試験結果

盛土載荷後1月目に処理層上部3mの範囲で採取した乱さない試料についての圧密試験結果は図-33のごとくで、脱水効果を示す圧密係数 c_v の増大、体積圧縮係数 m_v の減少が見られ、その傾向は強度、含水比の場合と

同様である。図には試験前に採取した埋立土の乱した試料についての結果も示してあるが、非処理地区の結果と良く一致しており前節における計算に使用した圧密諸係数の値が妥当であったことを示している。

前述のごとく、試験区域は敷砂あるいはペーパードレンの先行実施のため周囲の地盤より沈下が大きく、地

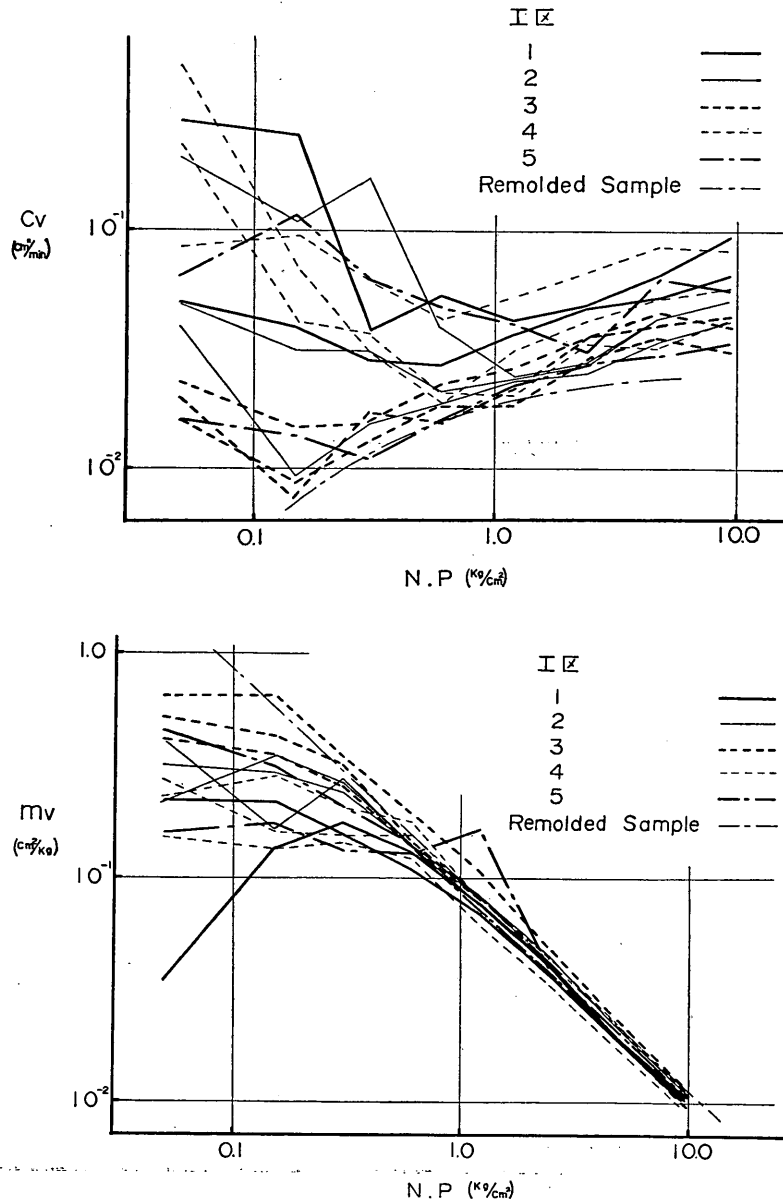


図-33 生石灰杭処理地盤の圧密試験結果

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

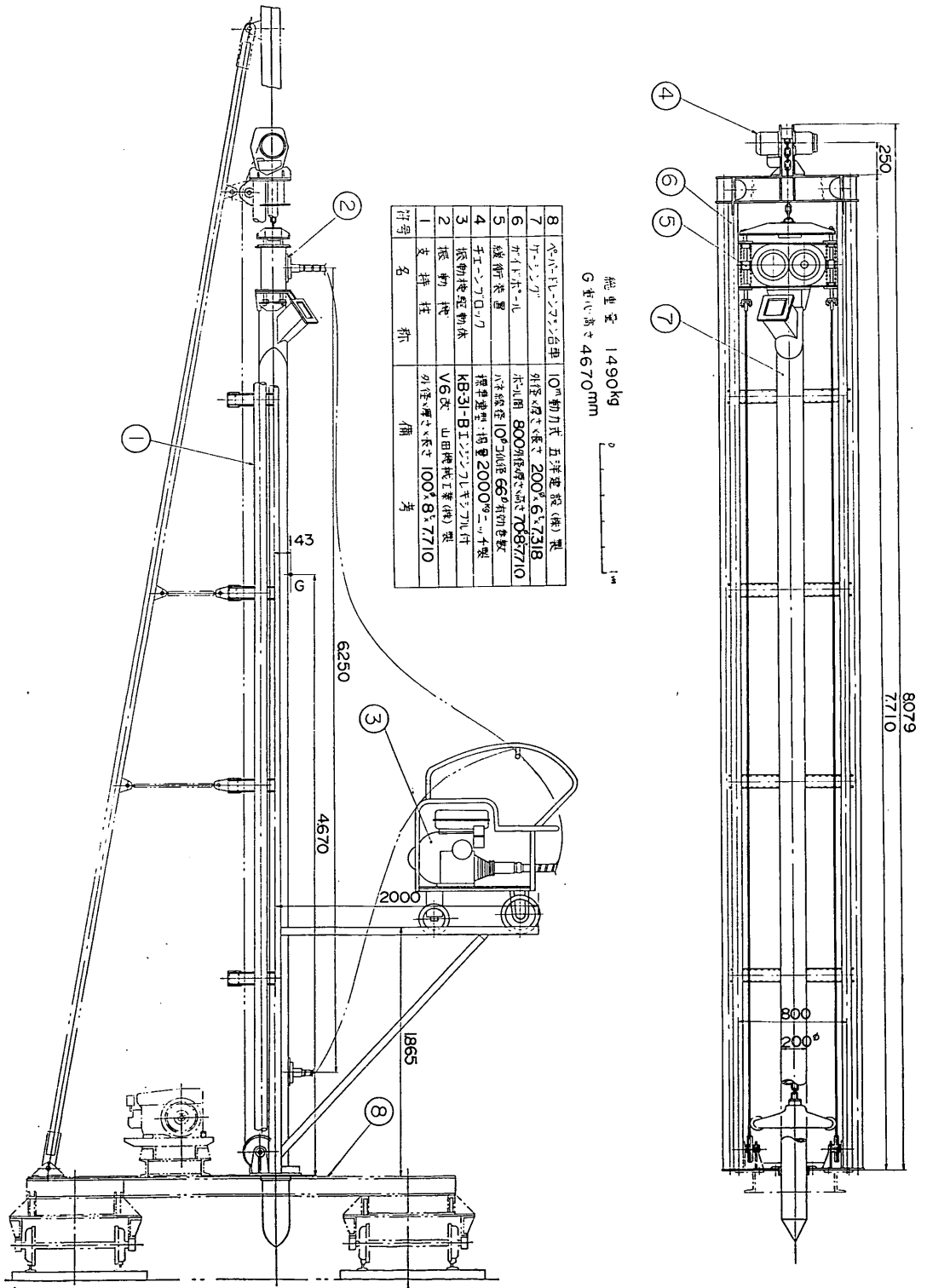


図-34 生石灰杭打設機

表部の滯溜水を完全に排出することができず、生石灰杭への流入が避けられず脱水効果の減少した部分がかかなりあると思はれ、また、堆積した埋立土質が不均一なこともあり、強度や含水比の調査結果にばらつきが大きく、更に、生石灰杭による脱水機構、処理土の含水比の減少に伴う強度の増加度などが十分に検討されていないので、現段階では処理効果を定量的に解析するまでには至っていない。定性的には図-29の各工区の処理効果の比較に示すごとく順位が判定されるものと考えられる。

(2) 生石灰杭の施工について

使用された打設機は図-34に示すものでその仕様は次のごとくである。

- 台車 軌道式 (ペーパードレーン打設機と兼用)
- 打設管 外径 20cm, 肉厚 6mm, 有効長 6m
- 打設機構 チェンブロック (容量 2 t)
- 打設機・全重量 約 1.5 t
- 付属機械 コンプレッサー 50HP

この打設機は従来比較的硬質な地盤で使用されていたものと同型式で、管頭部に小型振動機、管先端部に自動開閉式の沓を設置したもので、管内圧を上昇させるための圧搾空気は使用しない構造であったが、埋立土の流動圧のため管内材料の打設が不可能となるので現地で圧搾空気を使用するよう改造が行はれた。また、振動機および先端の開閉装置は打設能率上特に効果は認められないので使用されなかった。打設機の構造としては、土の間隙水以外の水の管内への流入が防げれば従来のサンドドレーンに使用されている打設機と同一のもので支障はない。

b) 生石灰材料

使用された生石灰材料は小野田セメントKK製ケミコライムで粒度は 20~30mm のものである。荷姿は連搬、保管、作業を容易にするため 30kg 袋詰であった。

生石灰は使用前に吸水すると脱水効果が消失するだけでなく発熱による危険も生ずるので、作業の進行状況に合せて入荷が調整され、実験地区付近に設置した仮設倉庫に保管された。また、倉庫に収容できないものは地表に角材を並べて板を敷きその上に積重ね防水布で被覆して保管されたが、この方法でも降雨に対して支障は生じなかった。長期の保管は風化による効果の減少、粉末の発生など不都合な事態を生ずるから蔽に避けるべきである。

生石灰の粒度は取扱いの容易なこと、打設した杭の密度の均一性、処理土との接触などの点で適当であったと

思はれるが打設杭の密度をより大きくする必要がある場合には粒度配合を向上させるべく調整を要する。

取扱いを人力で行う場合は塊状の生石灰でもある程度の粉末の飛散は避けられないので、発汗した皮膚や眼その他粘膜との接触発熱による傷害などを防止するため、作業員は手袋、防塵眼鏡、防塵マスクの着用、その他、着衣、作業靴などに安全を図るよう注意が必要である。

c) 杭打設方法

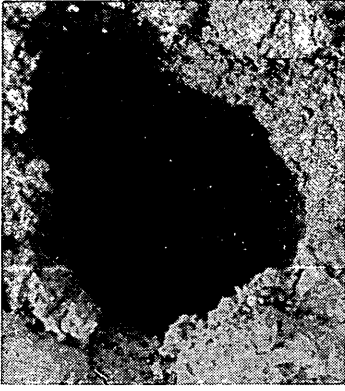
打設要領はサンドドレーンにおける砂柱の場合と同様で、打設管押込後生石灰を投入し (杭 1 本あたり 6 袋, 180kg 程度を人力投入)、打設管引上直前に管内圧を $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度に上昇し引揚開始直後 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度に減少して以後引揚完了まで徐々に圧力が 0 となるよう圧力調整が行はれた。この場合、杭先端の埋立土の流動圧は約 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ であったが、管内圧の調整は処理土の土質や深度により適当に変更せねばならないことは勿論である。

生石灰杭頭は敷砂中の滯溜水の流入と発熱による噴出を避けるため粘土地表面下 50cm 付近に止めることを原則としたが、敷砂の面まで頭部が出たものもかなりあり、滯溜水の流入により効果の減少した杭が少なかったと思はれる。(写真-2~4 参照)したがって、処理土地表面の排水には十分留意し、できれば敷砂は施工せず、杭頭が地表に露出せぬよう打設するか、あるいは地表部分のみを何等かの方法で混合転圧することを考える必要がある。

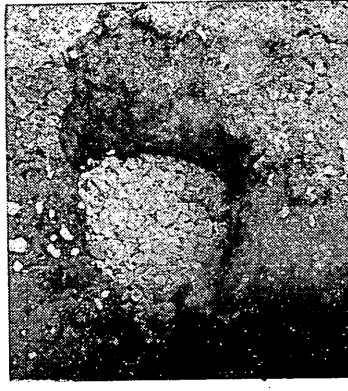


写-2 ケミコパイル打設状況-1

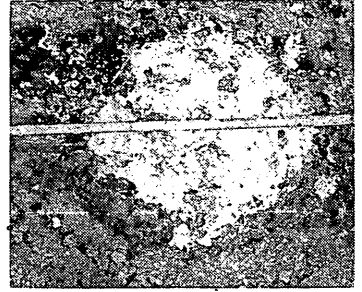
生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）



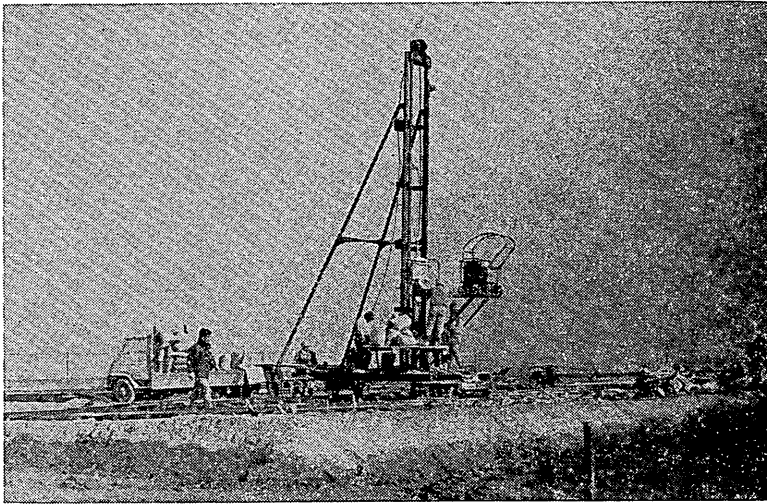
写-3 ケミコパイル打設状況-2



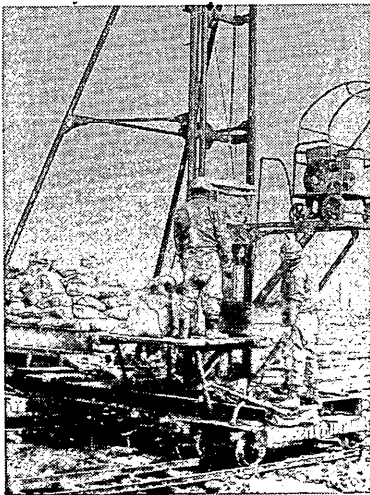
写-4 ケミコパイル打設状況-3



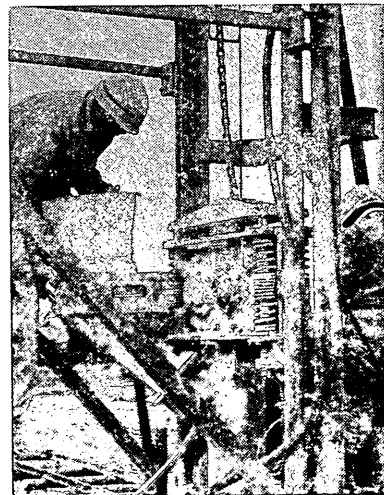
写-5 ケミコパイル消化後の状況



写-6 試験工事全景



写-7 打設管押込



写-8 生石灰の投入



写-9 生石灰打設機の移動



写-10 生石灰杭打設管先端

d) 作業時間

生石灰杭の打設に関する作業時間の一例を表-13に示したが、これによれば1行程4~5分で終了している。図-35は打設実績を示すもので1日の平均打設本数は43.5本であるが、天候その他の理由で極端に作業量の少ない日を除けば60本/日程度である。この試験工事では作業時期が実働時間の短い冬期であったこと、実験工事

のため能率の悪い打設機を使用していることから、実際の工事では作業能率は大巾に向上させることが可能であると思はれる。作業時間は施工機械の他に、生石灰杭の直径、長さ、地盤条件などによって異なることは勿論である。

e) 工費

表-14に現地試験の工費を示す。この表によれば、ペー

表-13 生石灰杭打設作業所要時間

作業内容	時間	所要時間
打設管押込開始	1時56分30秒	1分10秒
” ” 終了	57 40	
生石灰投入		4分05秒
打設管引上開始	58 45	
” ” 終了	59 55	
移 動		40
押 込 開 始	2 0 35	1 08
” ” 終 了	1 43	
投 引 上 開 始	2 50	4 03
” ” 終 了	3 55	
引 上 終 了	2 7 10	1
移 動		1
押 込 開 始	8 10	4 05
” ” 終 了	9 10	
投 引 上 開 始	10 07	57
” ” 終 了	11 15	1 08
移 動		1 35
押 込 開 始	12 50	4 55
” ” 終 了	14 00	
投 引 上 開 始	15 00	1 10
” ” 終 了	16 10	
移動、材料運搬開始	22 15	6 05
押 込 終 了	23 20	
投 引 上 開 始	24 25	4 20
” ” 終 了	26 35	

生石灰による沖積粘土の安定処理（第1報）

才1区 0.5^m正方形配置 才2区 0.7^m正方形配置 才4区 0.7^m正方形配置

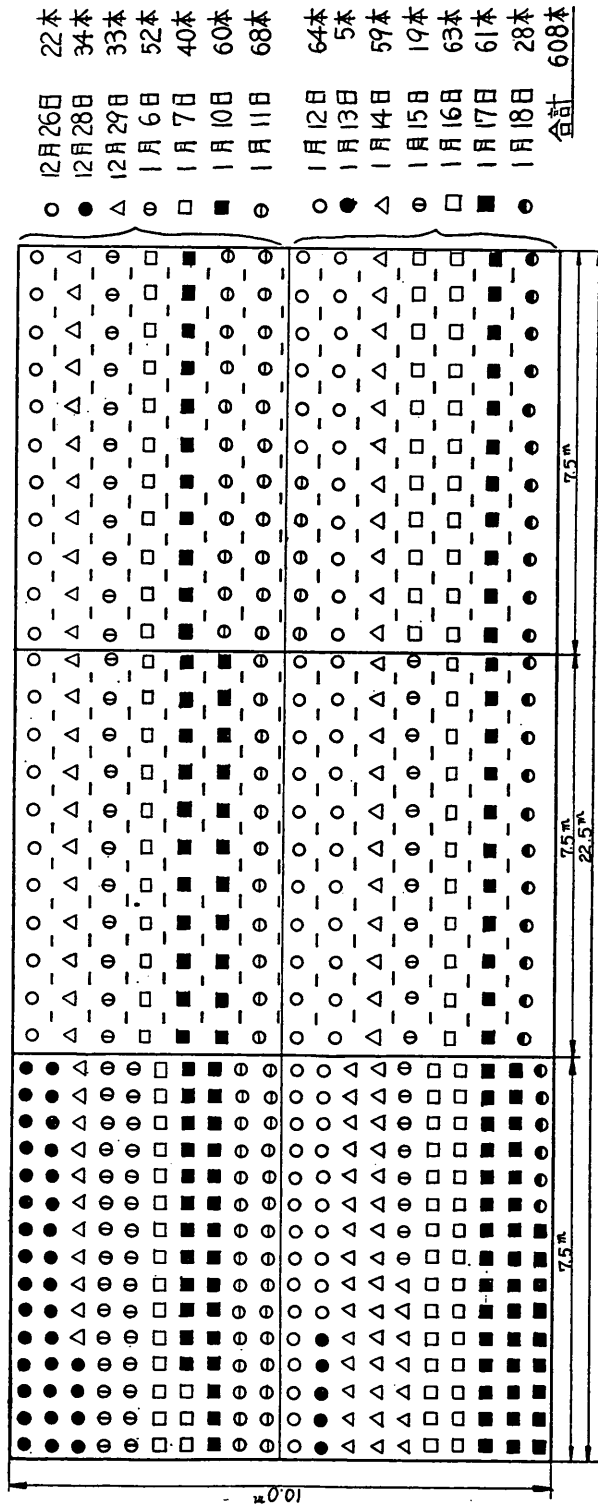


図-35 生石灰杭打設実績図

柳瀬重靖

表-14 ベーパードレーンおよび生石灰杭打設工事費

	単 位	ベーパードレーン (盛土工は) 打設工 (含まず)		生 石 灰 打 設 工	
		数 量	金 額	数 量	金 額
総 額	本	338	430,750 1,273円/本	608	2,283,635 3,756円/本
資 材 運 搬 工			63,875		118,625
クレーン車 10t吊	台/日	0.525	15,750	0.975	29,250
トラック 6t積	"	2.1	18,900	3.9	35,100
技 術 員	人	1.75	6,125	3.25	11,375
人 夫	"	10.5	23,100	19.5	42,900
打 設 準 備 工			61,300		148,825
クレーン車	台/日	0.35	10,500	0.65	19,500
技 術 員	人	2.0	7,000	6.5	22,750
機 械 工	"	2.0	5,400	3.25	8,775
薦 工	"	4.0	12,000	4.0	12,000
人 夫	"	12.00	26,400	39.0	85,800
測 量 工			11,690		21,710
技 術 員	人	0.7	2,450	1.3	4,550
人 夫	"	4.2	9,240	7.8	17,160
打 設 工			100,200		334,000
技 術 員	人	6.0	21,000	20.0	264,000
人 夫	"	36.0	79,000	120.0	70,000
打 設 機 解 体 工			39,400		90,175
クレーン車	台/日			0.5	15,000
技 術 員	人	2.0	7,000	3.5	12,250
機 械 工	"			1.75	4,725
薦 工	"	2.0	6,000	4.0	12,000
人 夫	"	12.0	26,400	21	46,200
機 械 損 料			68,600		924,300 (4,800×39+600,000)
打設機械	日	14	67,200	39	787,800
測量器械	"	14	1,400	39	3,900
発電機 50KVA	"			39	23,400
コンプレッサー 50HP	"			39	109,200
材 料			85,200		646,000
ベーパー, 生石灰	m	2,028	81,120	112 t	616,000
雑 材	式	1	4,080	1	30,000

パードレーン，生石灰杭各々1本あたりの単価は1,273円および3,756円であるが，前者には載荷盛土の金額が含まれていないこと，後者では打設機の本体を遠隔地より借用運搬しているために損料が割高になっていることに注意せねばならない。したがって，両者の差はより少くなるべきであり，また，一工区で生石灰杭によりおそらく10日以内の期間で到達したであろうと思はれると同程度の効果をペーパードレーンで期待するには，50cm正方形配置に打設した場合でも，盛土高2.5m程度2～3段階の載荷により少くとも100日以上 of 載荷期間を必要とするので，ここに掲げた工費の相異だけで優劣を論ずることには無理がある。たゞし，生石灰杭工法は埋立初期の非常に含水比の高い時期には多量の安定剤を要するので有利ではない。なお，この工費は，試験工事で施工量も少いために割高になっていることはいうまでもない。

3.4 現地実験に関するまとめ

現地実験においては，前述のごとく，埋立地盤の成層状態の複雑であったこと，地表面の滞溜水の生石灰杭内への流入が完全に防止できなかつたこと，予算と期間の制約上調査観測が幾分不足であったことなどの問題点はあるが，実験結果をまとめれば次のごとくなる。

a) 50cm正方形配置，直径20cmの生石灰杭打設により地盤の強度は $q_u=0.05\text{kg/cm}^2$ から $q_u=0.3\text{kg/cm}^2$ 程度に増加したと思はれる。また，含水比は65～90%から50～70%に低下した。

b) 含水比の低下量は生石灰杭が消化後その間隙を飽和するまで間隙水を吸収した場合の計算値に近い。

c) 生石灰杭の脱水作用による処理地盤の圧密度は，生石灰杭と同径の砂柱に置換えて計算した値に近い。たゞし，生石灰杭打設後の沈下量は石灰杭の膨脹量を考慮した値より非常に小さく，この理由は不明である。

d) 生石灰杭の打設方法は，土の間隙水以外の水の流入が防止できれば従来のサンドドレーン打設と同じで良い。

e) 処理地盤表面の滞溜水や地盤内に滞水砂層などが存在する場合は脱水効果が阻害されるので，地表面の排水に注意し，事前に成層状態を確認する必要がある。

f) 生石灰を取扱う作業員は濡れた皮膚などとの接触による発熱のための傷害を防止するため，防塵マスク，防塵眼鏡，手袋，作業衣の着用，その他，作業靴などにも地表面の発熱に対して注意すべきである。

4. あとがき

現在までに混合処理効果に関して実験を行った沖積粘土の試料は3種類であるが，地域的にはかなり離れた場所の土であり，生成母岩も異なる筈であるが，いずれも生石灰により安定効果を生ずることを示している。吾国の沖積粘土が加水ハロイサイトを含む場合が多いとすれば，ほとんどの沖積粘土は生石灰処理により硬化安定を得られるものであり，この安定工法が有効に活用できるものと考えられる。

生石灰杭工法に関しては，消化およびその後の脱水機構，これに伴う地盤の収縮あるいは沈下などの問題に関して，室内実験および条件の単純な地盤での現地実験を行い，更に複合地盤としての支持力などについての検討を行う必要がある。現在，沖積粘土に対する生石灰杭による安定処理は各所で実施されており，施工後4～7日程度の期間で所期の改良効果を達成しているようで，従来の力学的圧密排水工法に比べれば載荷のための材料，期間を必要としないので著しく工期を短縮できる利点を示している。

現場における実際の工事では処理材料が多く，化学反応の規模が大きく，特に発熱の影響などは室内実験の場合とはかなり相異すると思はれ，また，混合，転圧，生石灰杭の密度など現場の条件により異なるので，必ず現場実験を行って効果を確認する必要がある。

港湾工事においては，沖積粘土に対する混合処理は安定剤は何であれ，現在の所，適用範囲は埋立地などの陸上の地表面部分の安定処理にほぼ限定され，生石灰杭工法は施工上海中工事での問題点が残る。今後はこれ等の工法の特徴である速効性を活用するために，両者の併用など施工法の開発により海中工事においても深層処理においても適用されるべく実用化の研究を推進することが必要である。

謝 辞

本研究に関する実験および観測の大部分は当研究室員光本司，石塚忠久，阿部喜代志（現小樽高校教諭），酒井正寛技官が行ったものであり，施工資料，材料，X線回折に関しては小野田セメントKKケミコライム開発室の御協力を頂いた。また，現地実験については，関係諸機関の各位から種々御尽力を賜った。ここに各位に対して衷心より謝意を表する次第である。

柳瀬重靖

参 考 文 献

1. 中瀬他：関東ロームおよび成田層砂の土質試験，港湾技研資料，No.47，1968年6月，p.76～88
2. 日本港湾コンサルタント：軟弱埋立地盤改良調査実験報告書，1968年3月
(1968.9.30 受付)