

III-120 極軟弱地盤中の生石灰工法における改良効果についての考察

電々公社 正員 山内 研

/ まえがき

東京湾沿岸は各地で埋立工事が盛んに行なわれているが、この埋立土砂はそのほとんどがポンプ浚渫船により吸上げられた海底土砂をパイプラインにより送り込まれて形成された人工埋立土である。その土質状態は極く軟弱な砂質シルトで、 N 値もほとんど0に近い。当土質に対する地盤改良工法として生石灰杭工法を選定し、その改良効果ならびに施工中の問題点等を列挙し今後の検討に対する考察を加えたものである。

B. 土壤試驗結果一覽表

2 現地の土質性状

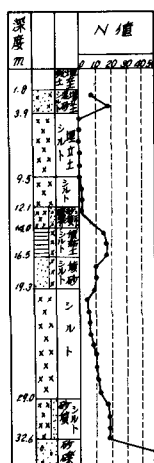
1) 地 層

住居台、山手台の東方に位置し、東部下町の沖積低地の上に、昭和40年以降人工物に埋立てられた土質であり、砂質土を不規則にレンズ状あるいはシューム状に夾在する全体的には粘性土の地質で、その下部には上部東京層といわれる硬質粘土層、東京砂礫層からなっている。

2) 土質

当現場の標準的土質は図-1、表-1のとおりである。埋立土層はG.L.

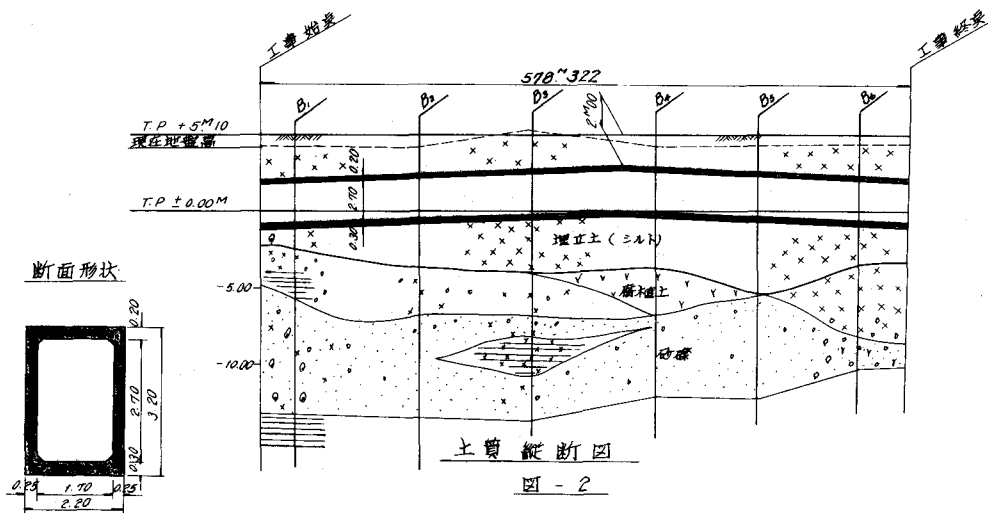
B_3 柱狀圓



4 - 1

試料 NO		1	2	3	4	5	
深さ m		50.58	75.93	10.06	21.26	24.24	
基本物理特性	粒状比重 G	2.655	2.713	2.670	2.695	2.669	
	含水率 w	1.44	1.48	2.02	1.70	1.74	
	含水比 w_p	113.0	101.0	23.0	58.5	45.0	
	液限 L	2.93	2.68	0.63	1.52	1.19	
	塑限 P	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	
	液性指数 I_L	0	0	0	0	0	
	塑性指数 I_P	9	1	33	1	2	
	土質分類	M	53	32	19	69	69
	注記	C	38	68	20	31	30
	土質分類	粘土	粘土	砂質土	砂質土	砂質土	砂質土
物理特性	平均保水率 U	—	—	—	—	—	
	液性限界 w_L	81.5	79.2	—	60.9	50.5	
	塑性限界 w_P	28.5	24.0	—	30.7	29.0	
	塑性指数 I_P	53.0	49.2	—	30.2	21.2	
	液性指数 I_L	—	—	—	—	—	
物理特性	液性指数 I_L	CH	CH	CH	CH	CH	
	流動指数 I_F	9.2	7.7	—	13.0	5.8	
	透水係数 K	—	—	—	—	—	
	圧縮係数 μ	0.120	0.156	0.192	0.080	0.098	
	圧縮率 C_c	0.163	0.191	0.156	0.060	0.035	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
物理特性	飽和度 S_e	0.92	0.92	0.92	0.9		

表 - 1



И - 2

-8m程度でN値はほとんど0に近く、粒度分布は70%が粘土である。粘着力は一軸圧縮強度の $\frac{1}{2}$ もつた場合 $C = 0.6 \sim 0.25 \frac{\gamma}{m}$ と小さく、その他圧密特性については図-2の如く、埋立完了時までの想定自然圧密はほぼ70%程度の圧密を完了していると思われる。

3. 生石灰灰工法の検討

改良範囲としては構築上面より下部側に6~10mの所で、謂ゆる上部有楽町層までを改良範囲として図-3のごとく計画し、その設計条件としては下記の通りである。

設計条件および改良粘着力のチェック

N 値 G.L.-12mまでほぼ0

含水比 $w = 100 \sim 110\%$

粘着力 $C = \frac{\sigma_u}{2} = 0.6 \sim 0.25 \div 1.0 \frac{\gamma}{m}$

設計改良粘着力計算式 $C' = C_0 + m \cdot \Delta P \cdot \left(\frac{d_i}{d_e} \right) \dots \dots (1)$

C' : 改良時粘着力 $\frac{\gamma}{m}$

C_0 : 原地盤粘着力 $1.0 \frac{\gamma}{m}$

$\alpha = 0.2$

$\Delta P = 60 \frac{\gamma}{m^2}$

d_i : パイル径 35cm

d_e : 試験筋に $4d_i > d_e$ より $d_e = 115$ とする

上記諸数値を(1)式に入れて改良粘着力を求めれば

$$C' = 1.0 + 0.2 \times 60 \times \frac{0.35}{1.15} = 4.7 \frac{\gamma}{m}$$

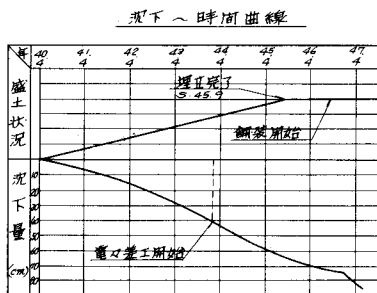


図-2

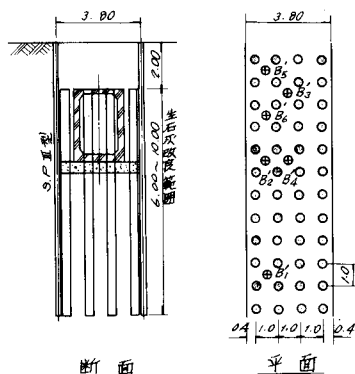


図-3

由 調査位置

4. 生石灰灰打設後の調査結果

生石灰灰打設により、打設前後の効果測定を図-3により実施した。各種測定結果から見ると、生石灰の反応が実際に終了と判断されるのが当該現場の場合は打設後20日程度であったので一応打設後21日時点の測定結果を中心にした。

4-1. 物理試験結果

表-2に示した如く、打設前後の効果に対する向上の形跡は見受けられるが全体的からみれば塑性限界は打設前の30%前後のものが打設後65~85%の範囲を示し、一才粘性限界についてみれば打設前の80%前後のものが打設後には60~100%の値を示し何れもバラツキがあった。

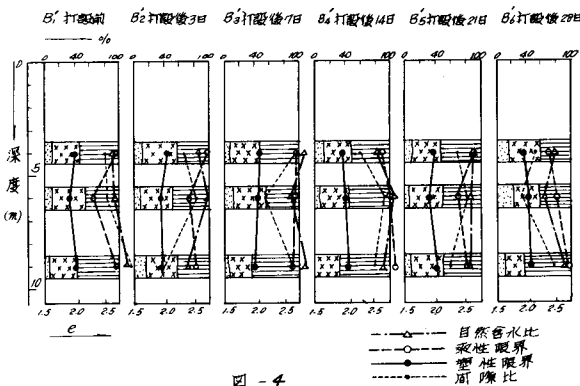


図-4

4-2 力学試験結果

1) 一軸圧縮試験

強度特性は図-6のとおりである。何れの深度でも打設後3日の強度が低下しており、漸次強度回復或いは増加を示している。これはあとで述べるベーンテストによる傾向にもあらわれており、打設時のリモールドによる強度低下から、シキントロソー効果と生石灰の効果によるものと判断され強度増加については打設後21日～28日の時点で終了し、数値的には1.5～2.5倍に改良されている。

2) 圧密試験

埋立土層のうちG.L.-9～10mにつりて、打設前後を比較し図-7に示したが、この外の深度につりても圧密係数はほぼ同一の勾配を示し、各深度に対する比較は表-3の通りである。

3) ベーンテスト

原地盤では打設時の震動等により急激に強度の低下を示しているが、一軸圧縮試験結果と比較した場合、低下はあまり低すぎて妥当性に欠けていようである。しかしその後の強度回復或いは増加は図-8からもわかる様に時間の経過と共にあがり、打設後21日～28日でほぼ安定の傾向を示している。

4) 沉下板測定結果

生石灰の急激な消化吸水膨張作用が生じれば地盤は側方あるいは地表面へ塑性変形を起すものと判断される。然し地表面の変化も測定結果のみからみると、地表面に対する盛り上り現象は、打設後7時間～20時間内におこりその高さも実測値では0.2～0.7cmであり、その後は沉下現象に変わり時間的には70時間程度で一定値になり、その沉下量は2.1cm程度であった。

5. 今後に対する考察

5-1 設計上の問題点

1) 埋立土のように極軟弱地盤中に生石灰杭工法による地盤改良を行う場合は、一般のボーリング調査の結果の他にサウンディングおよび圧入形式のサウンディング等の手軽で経済的な方法で多くの土質確認をすべきである。

2) 生石灰による極軟弱地盤中での改良粘着力は原地盤の粘着力が1.0

含水比の経過日数による変化

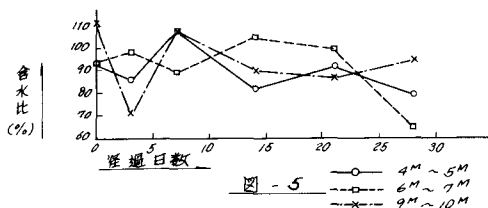


図-5

	① 打設前	② 打設後2日	③ 2-1	④ 3-1
単位体積重量 (g/cm ³)	4M 1.485 5M 1.475 9M 1.454	1.530 1.495 1.515	0.045 0.020 0.061	3% 1.3% 4.2%
空隙比 (e)	4M 2.44 5M 2.48 9M 2.92	2.30 2.64 2.50	0.140 — 0.42	5.7% — 14.4%
含水比 (w)	4M 92 5M 95 9M 106	89 100 96	3 — 10	3.3% — 9.4%

表-2

一軸圧縮強度特性

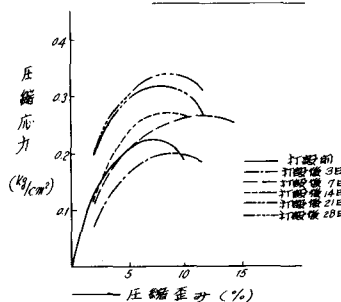


図-6

e-log P曲線深度 9M~10M

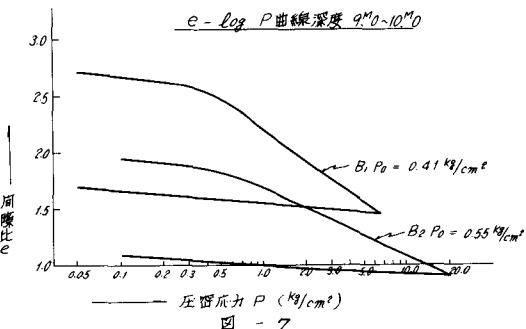


図-7

	打設前	打設後
深度 4~5m	E ₀ 2.6 P ₀ 0.3 kg/cm ²	2.1 0.6 kg/cm ²
深度 6~7m	E ₀ 2.8 P ₀ 0.35 kg/cm ²	2.1 0.6 kg/cm ²
深度 9~10m	E ₀ 2.7 P ₀ 0.4 kg/cm ²	2.1 0.55 kg/cm ²

表-3

$\frac{1}{20}$ 以下であれば概ね $40 \frac{1}{100}$ を改良限度の目安とした方が安全である。

3) 一般に生石灰の膨張圧力としては、室内試験結果が発表され、その圧力は凡そ $90 \sim 120 \frac{1}{100}$ の値が示されている。然し計画し、実際の現場での測定結果から判断して $10 \sim 60 \frac{1}{100}$ の範囲内で工事場所により使い分けをすべきであり、正確には試験工事による実測が望ましい。

4) 生石灰の改良効果としては、上記粘着

力の向上もさることながら、群杭効果による不等沈下防止および軟弱地盤での掘削作業のしやすさに主眼をもつて行くべきであると思う。

5-2 施工上の問題点

1) 従来生石灰杭の効果としては、早期にあらわれ、通常3日～7日程度と報告されているが、今回の工事例では21日間という効果に対する時間的実果も得られた。しかしこの後も隔々ではあるが脱本作用は効いているようである。

2) 打設方法としては、一才から計画通りの杭を規則正しく打設することなく、はじめは広いピッチで、次にその間というように一次、二次と分割して施工することにより少しでも効果のある様工夫することが肝要である。今回施工した結果として表-4にその例を示す。

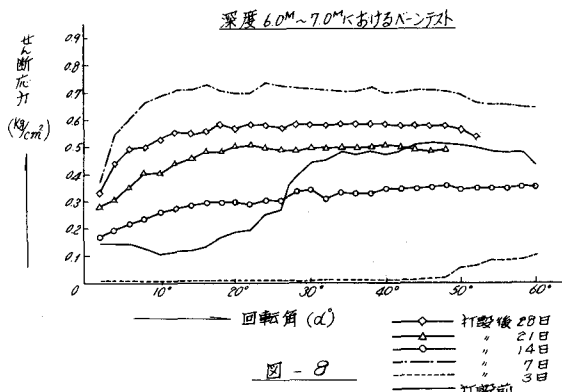
3) 打設後の改良効果に対する調査を行う場合、生石灰杭による改良地盤後の工費調査結果から想定する土質性状と、掘削過程における土質性状が少し異なり、試験値の改良に対する読み方の検討が必要と思う。本試験箇所は正才形配置による打設杭の杭から最も離れた奥

の調査結果のため最も改良効果の少ない位置である等にも原因があると思われる。

6. あとがき

生石灰による軟弱地盤改良の施工例は現在のところ、余り多とはいえないが、今後検討改良を加える事により有効な工法になると思われる。その信頼性も従来の薬液注入工法より大といえる。また薬液注入工法よりは一般助に経済的であるので、今後もさらに効果向上のため検討を加えよりよい工法といったしたい。

終りに本工事施工中における問題点の解明についで、その調査にご協力していただいた協和電設㈱、日本特殊土木工業㈱に対し深く感謝するものである。



測点No.22+10Mにおける改良過程一覽表

		粘着力		含水比		備考
		一次改良	二次改良	一次改良	二次改良	
調査箇所	No.22+10	0.4	1.0	2.0	110	含水比は図-13に推定した。
	No.25	0.7	1.3	2.0	90	
	No.28	0.8	1.5	2.0	90	

表-4