有機質軟弱地盤の改良に関する2〜3の研究

斎藤二郎　丸山誠
木村薫　上野裕治
平間邦興

Some Field Studies on Improvement of Poor Ground Containing High Organic Soils

Jiro Saito　Makoto Maruyama
Kaoru Kimura　Yuji Ueno
Kunioki Hirama

Abstract

A lime pile system was made use of as protection for railway tracks against effects of banking works on poor ground beside the tracks at Usui, Sakura City, Chiba Prefecture. The geological distribution of this area consists of a diluvial terrace deposit and an alluvial deposit of a drowned valley. The alluvial deposit is extremely soft as evidenced by N-value in the standard penetration test of 0, while its thickness is 10 m. There were some questions about attempting improvement by the lime pile system such as whether driving of the lime pile system might cause large displacement of the tracks and whether the lime would have good effect in stabilization of organic soils. Therefore, before the actual work, some field tests were carried out to examine these questions. This report is on the outline of the field tests and results of the measurement performances of instruments.

概　要

千葉県佐倉市臼井地区の宅地造成工事において京成電鉄軌道に接する軟弱地盤上の盛土基礎を生石灰パイル工法による地盤改良によって軌道の防護対策とした。当地区は，洪積台地とこれを削る谷底に沖積層が堆積したおぼれ谷である。沖積層はG.L－10m前後の層厚でN値は0とかなり軟弱である。生石灰パイルによる地盤改良を行なうに当り問題となる点は，現在の電鉄軌道が軟弱地盤上に浮き基礎の状態にあり，生石灰パイル打設時に軌道の変位が懸念されることと，表層の腐植土層に対して生石灰による改良効果がどの程度であるかが疑問であることなどである。これらの問題を調査する目的で本格的施工の開始に先立ち，試験工事を行ない検討することとした。以下その概要と諸計器による動態観測の結果につき述べる。

1.　まえがき

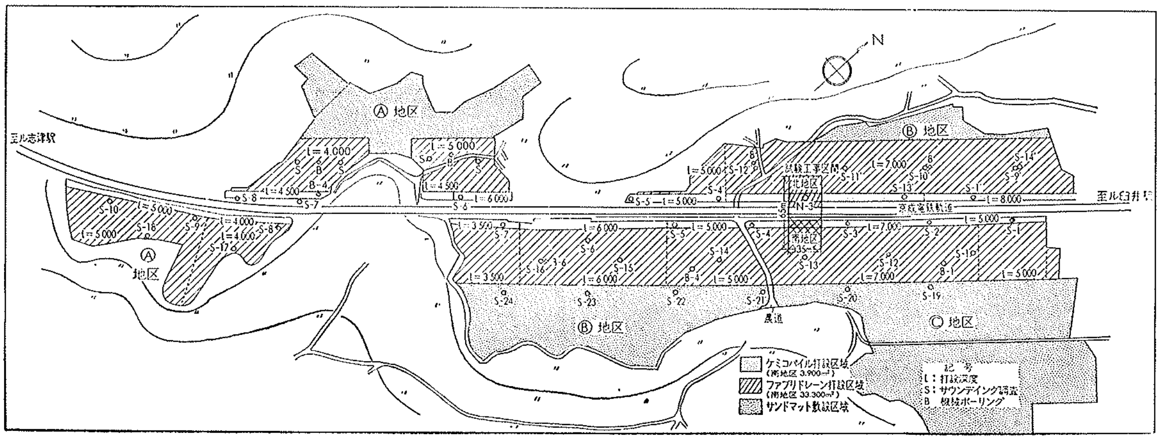
近年，市街地域における建設工事の急増に伴ない鉄道や高速道路などの構造物に近接して土木工事を行なうケースが増えている。特に交通が頻繁でかつ列車が高速で通行する鉄道など保安規準の厳しい場所で近接工事を行なう際は，いうまでもなく軌道に及ぼす影響について事前に十分調査，検討し慎重に工事を進めなければならない。

ここでは，千葉県佐倉市臼井地区の宅地造成工事において京成電鉄軌道に接する軟弱な盛土基礎地盤を生石灰パイルによる地盤改良を行ない電鉄軌道の防護対策としたのでその結果を報告する。

臼井地区は，千葉県の北東部に位置しており地質的にみて下総台地の北部，標高10m〜30mの洪積台地と，これを削る谷底に沖積層が堆積する溺れ谷である。沖積層は，G.L－10m前後の層厚でN値が0とかなり軟弱であり，表層の2m〜4mに腐植土が堆積する劣悪な地盤である。

宅地造成工事を計画するに当り，当地区の軟弱地盤処理に関する一般的な問題のほか特に京成電鉄軌道沿いの盛土工事をどの様に行うかにつき種々検討した。

現在，この地区を京成電鉄成田線が通っており軌道沿いに接する軟弱地盤上の盛土個所は，電鉄軌道をは



図—1　試験工事地区

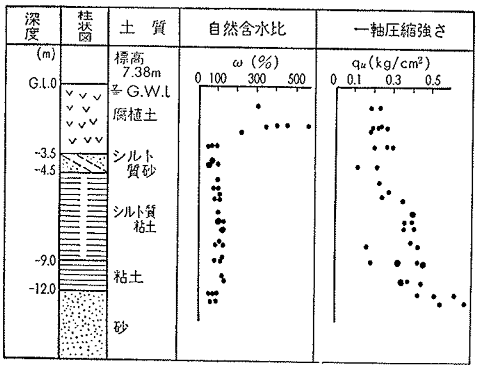
さみ両側でそれぞれ430mおよび550mとかなり広範囲にわたっている。

工事開始に先きだち電鉄側との接衝は，この地区を100kg/hで電車が通行するものとし軌道の許容変位として，上下方向に7mm，水平方向に5mmの規準が示され，これにもとづく軌道の防護対策を検討することとなった。

防護対策として当初，種々の対策工法が考えられたが工期，工費ならびに当地区軟弱地盤の特殊性を考え生石灰パイルによる地盤改良工法を採用することに決定した。

地盤改良工法として，これまで各種の工法が試みられているが粘性土を対象とするドレーン工法は，本工事の場合，低盛土（平均盛土高さ1.5m～3m）であるため圧密の促進による改良効果があまり期待できないことと，速効性ならびに確実性についても同様にあまり期待がもたれないなどの理由により生石灰パイルによる急速な地盤改良効果およびパイル自体による土留的な作用効果をも期待して生石灰工法を採用したしだいである。

生石灰パイルによる地盤改良区間は，一様ではない



図—2　試験地盤の土質

が約10mの有機質軟弱層の所々にサンドシームをはさんでいる。これら軟弱層のうちコーン指数 $q_c\angle 4\,kg/cm^2$ 程度までを対象とし粘着力 $C=3t/m^2$ を目標強度として打設総延長約300,00mを計画した。

生石灰パイルによる地盤改良工事を行なうに当り，問題となる点は，現在の京成電鉄軌道が軟弱な地盤上に浮き基礎のような状態にあり生石灰パイルの打設時における軌道の変位が懸念されることと有機質土層に対して生石灰改良効果がどの程度期待がもたれるかである。

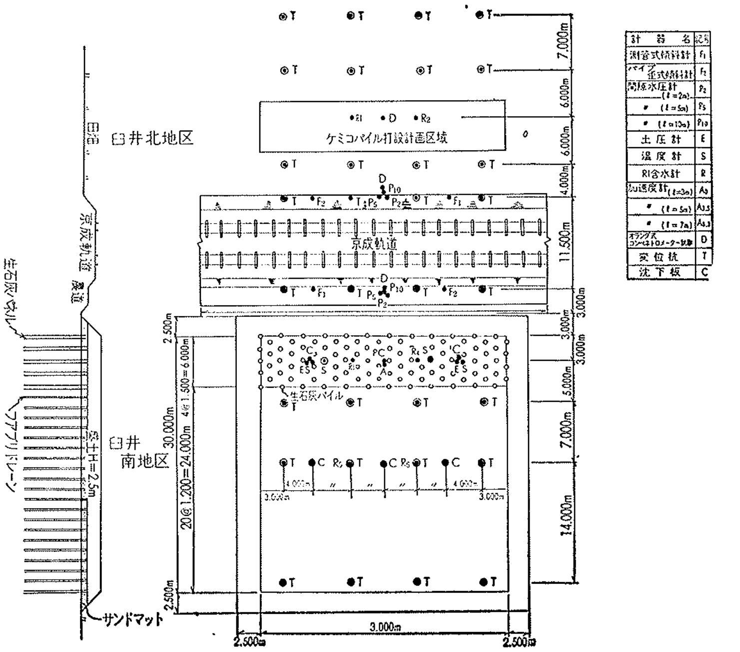
これらの問題に関する工事の施工計画は，電鉄軌道敷の両側5m～6m巾を地盤改良を行なわず盛土の法尻が出る程度とし，施工機械のトラフィカビリティー確保からも軟弱地盤全域にわたりシートならびにサンドマットによる表層処理を行なって盛土施工時の地盤表層の動きを抑える。また，生石灰パイルの打設は，極力振動を避けるとともにパイルの打設順序についても軌道への影響が少ないと考えられる２～３の打設方法につきあらかじめ検討することなどである。

以上のように生石灰パイルによる地盤改良工法の採用に当っては，現場の施工方法ならびに改良効果などにつき種々の検討すべき問題点が残されたため本格的な施工の開始に先きだち試験工事を行ない調査，検討することとした。

2.　動態観測の計画

試験工事は，図—１に示す電鉄軌道沿いの軟弱地盤の代表的と考えられる場所で実施した。試験地区の土質は，図—２に示すごとくＧ．Ｌ－12mまで有機質の軟弱層であり，サウンディング調査結果によれば表層の腐植土とその下位に続くシルト層との接触面下約１m程度が特に軟弱である。

図—３は，試験地区における埋設計器の配置を示す



図—3　埋設計器の配置

計　器　名	記号	設置深 (m)	数量 (ヶ)	摘　　要
測管式傾斜計	F_1	12	2	坂田FD-1300T
パイプ式傾斜計	F_2	12	2	坂田FG-11B
間隙水圧計($\ell=2$m)	P_2	2	2	坂田PD-2P　容量2 kg/cm²
〃　($\ell=5$m)	P_5	5	2	〃　容量3 kg/cm²
〃　($\ell=10$m)	P_{10}	10	2	〃　容量4 kg/cm²
土圧計	E	5	2	水平垂直2成分 坂田PD-150　容量10kg/cm²
温度計	S	5	2	熱電対温度計 max300°C
RI含水計	R	10	6	中性子水分計（挿入型） γ線密度計（挿入型）
加速度計($\ell=0$)	A	3	1	共和歪みゲージ式加速度変換器　容量　2G
〃　($\ell=35$m)	〃	5	1	〃
〃　($\ell=63$m)	〃	7	1	〃
変位杭	T		36	木　製　7×7cm×150cm
沈下板	C		6	固定板式
オランダ式コーンペネトロメータ試験	D		ヶ所 回 4×2	

表—1　埋設計器一覧

ものである。地表ならびに地中の変位観測計器として変位杭，沈下板，傾斜形式地中変位計およびパイプヒズミ式地中変位計を設置した。

生石灰パイルによる地盤改良効ならびに盛土の載荷による軌道ならびに基礎地盤の間隙水圧の動きを調査する目的で電鉄軌道の法尻下に間隙水圧計を埋設した。

また，生石灰と土中の水分との消化発熱による含水比低下および，パイルの膨張圧力による地盤の圧密促進を調査する目的から土中温度計，土圧計ならびにラジオアイソトープ（RI）による土の密度，含水量測定用の導管を埋設した。さらに地盤改良の効果確認は，改良前後の機械ボーリングによるサンプリングとダッチコーンによるサウンデング調査を実施した。

これら一連の動態観測の計器とは別に生石灰パイルならびにファブリドレーンそれぞれによる地盤改良後の電車による振動の影響を調査する目的で加速度計を埋設した。表—1に埋設計器の数ならびに測定箇所を示す。

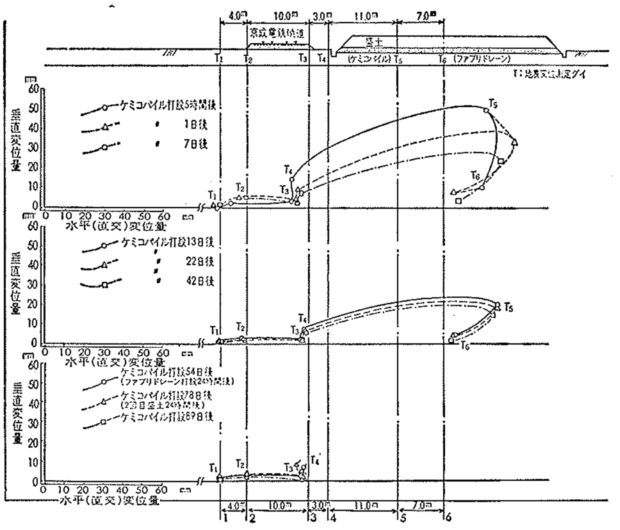
3.　動態観測の結果及び考察

3.1.　地表及び地中の変位

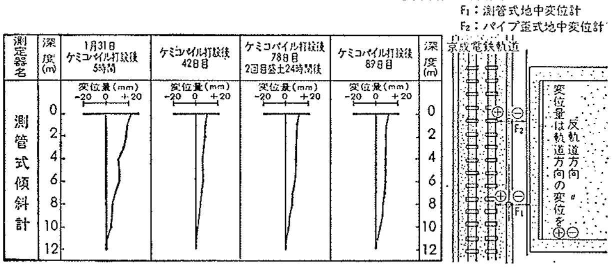
地表変位ぐいの測定結果を軌道の横断方向の代表線に沿って垂直および水平変位ベクトル量に合成して表わしたのが図—4である。

地盤の塑性的な流動に基づく側方の変形は，生石灰打設直後に最も大きく表われている。しかし，変形が軌道の反対方向に集中しており生石灰パイルの打設順序によって軌道の変位に及ぼす影響が異なることがわかる。パイル打設時の軌道の動きは，垂直5 mm，水平6mmの変位を生じたが電車の運行に際しての安全性には支障がないと判断された。

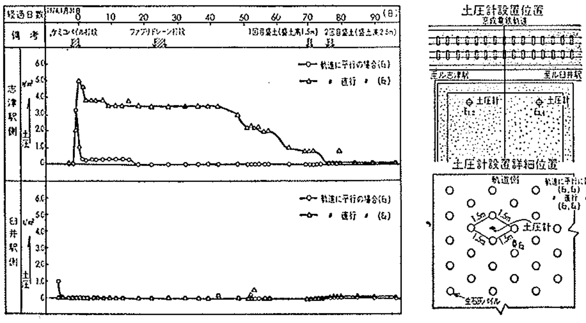
生石灰パイル打設後の変位は，時間の経過につれて急速に元に戻る傾向を示しており，生石灰の消化に伴なう吸水作用によって地盤の収縮現象が



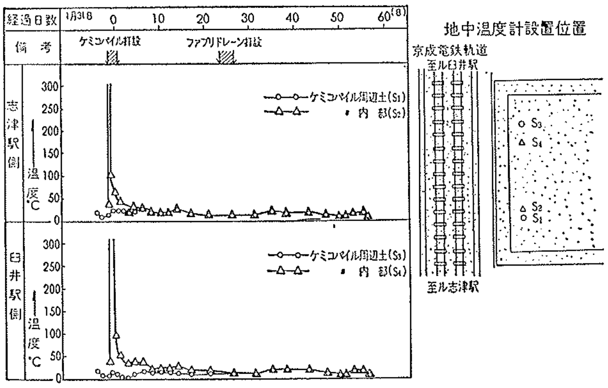
図—4　変位ぐい測定結果



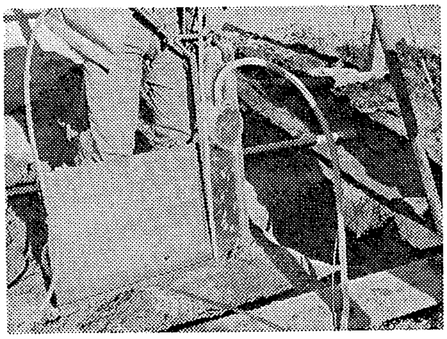
図—5　地中変位計測定結果



図—6　土圧計測定結果



図—7　地中温度計測定結果



写真—1　土圧計の埋設

生じたものと考えられる。

図—5は，生石灰パイル打設後の地中変位状況を示すものである。生石灰打設直後は，生石灰の膨張により地盤中の側方変位を生ずる。生石灰の消化吸水反応がある程度すすめば地盤の収縮現象が生じて変位が元に戻る傾向を示しており地表変位ぐいの動きと同様な傾向を示している。

3.2.　土圧及び間隙水圧の動き

間隙水圧計は，生石灰パイル打設区域の端部より6m離れた軌道敷の法尻に設置した。一般に生石灰パイル打設中の間隙水圧は，若干の上昇が認められるものの殆んど変化が無い。また打設後においても生石灰消化反応時のサクションの影響によると考えられる間隙水圧の低下の傾向を示しているが，ほぼ静水圧に一致した動きを示した。

生石灰パイルによる地盤改良のメカニズムとしては生石灰の消化反応過程で生ずるきわめて大きな膨張圧力による圧密の促進に主たる効果があると云われている。この膨張による土圧を調べる目的で土圧計を設置した。設置に当り幅20cm，長さ80cmの剛なプレートに土圧計を取付けて生石灰パイルのピッチの中間に設置した。

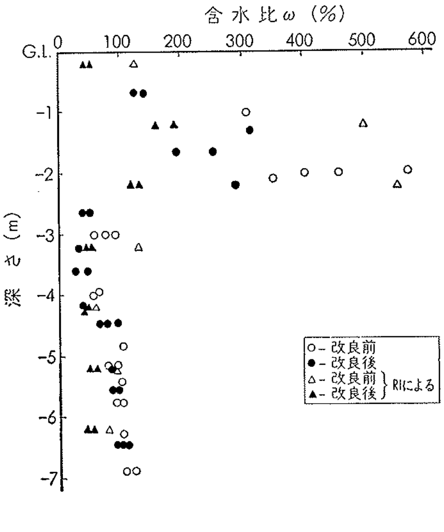
図—6から，増加土圧は最大で5t/m^{2}を示し，一般に云われているような膨張土圧より1オーダ低い土圧が計測された。ここで，生石灰の消化反応につき体積比で考えれば，生石灰CaO 1体積は水H_2O 1.06体積を吸収し消石灰$Ca(OH)_2$ 1.98体積になる。すなわち体積が約2倍に膨張する。しかし，同時にパイル周辺の土中水を吸収するので全体の体積変化は，少なくなる。さらに，今回のように盛土高さが低くかつ，地盤が軟弱で塑性流動の起しやすい土質では，膨張圧力を発生されるに十分な地盤の拘束圧を期待できないことなどにより膨張土圧が小さかったものと考えられる。

3.3.　地中の温度変化

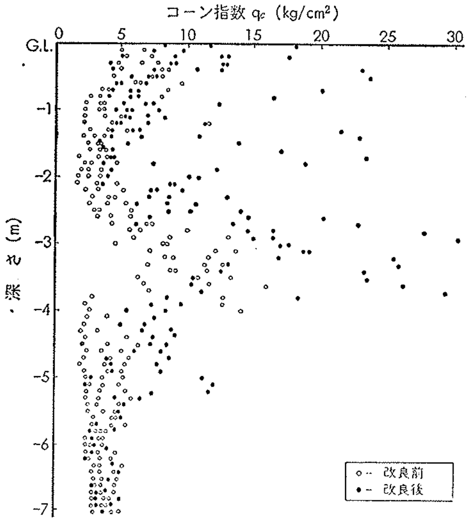
生石灰パイルの消化時の発熱効果を調べるためにパイルの内部およびパイル周辺の土中に最大300℃まで測定できる地中温度計を設置した。

生石灰パイル中の温度は，打設後約30分に著しい温度の上昇で認められる。打設後2時間経過後には300℃を越えて測定不能となった。一方，発熱後の温度降下は，24時間経過後に100℃まで降下し5日後には40℃と急激な降下を示している（図—7参照)。

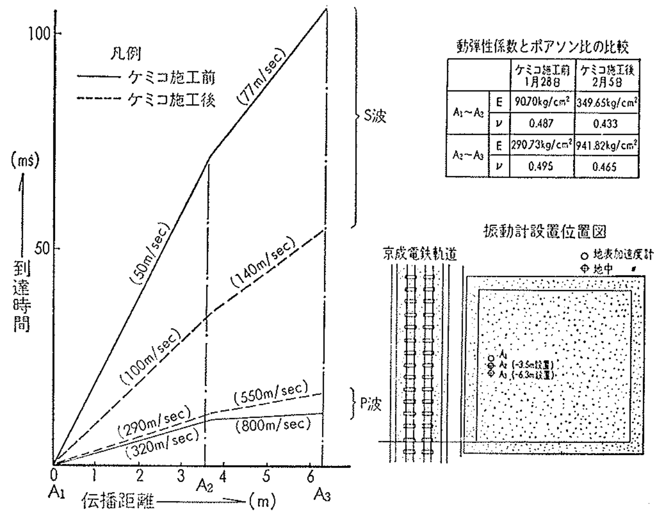
生石灰パイル中の温度上昇に比べて，パイル周辺の温度変化は少なく30℃程度の上昇にとどまっている。



図—8　含水比測定結果



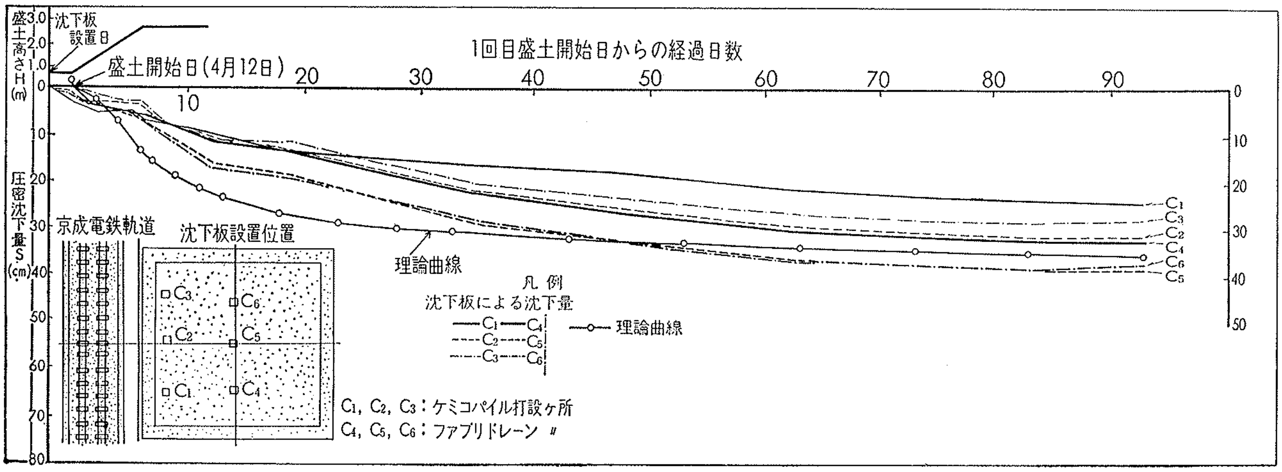
図—9 オランダコーンによる調査結果



動弾性係数とポアソン比の比較

		ケミコ施工前 1月28日	ケミコ施工後 2月5日
A_1～A_2	E	90.70kg/cm²	349.65kg/cm²
	ν	0.487	0.433
A_2～A_3	E	290.73kg/cm²	941.82kg/cm²
	ν	0.495	0.465

図—10 弾性波速度測定結果



図—11 盛土荷重による地盤の圧密沈下

以上の結果から生石灰パイルの消化による発熱温度はきわめて高いが，その温度範囲はパイルのごく周辺に限られていると云える。したがって，地盤の含水比低下は，消化発熱の影響によるものの他，消石灰化したパイルのサクション作用による影響も考えられる。

3.4. 地盤の含水比及びコーン指数(q_c)の変化

地盤改良前後の地盤の含水比調査は，機械ボーリングによるサンプリング試料の土質試験と中性子水分計による含水量測定とから行なった（図—8参照)。

腐植土の含水比は，改良前に最大600%であったが改良後約300%まで低下した。また改良深度全域にわたり軟弱層の含水比低下が認められる。これまで生石灰の改良効果につき疑問とされていた高有機質土についても当試験工事に関する限り効果が認められる。

図—9は，地盤改良後30日経過後に実施したオランダコーンによる q_c 調査の結果を示すものである。

図から，G.L−1mまでの改良効果は主としてシート及びサンドマットの敷設による排水効果に基づくものと考えられる。G.L−1m～−6m の範囲についても q_c の増加が認められ特に G.L−3m～−4m の範囲におけるシルト質砂層の q_c 増加が顕著である。

以上，含水比の低下範囲と地盤強度増加範囲とは同一であり地盤強度の増加は，主として生石灰パイルの消化発熱作用あるいは吸水作用による含水比低下によるものと判断される。

3.5. 地盤の動的性状ならびに圧密沈下

改良地盤の動的性状の調査として，加速度計を地表と地中の深さ方向２箇所に設置して板たたき法による地盤の弾性波速度の測定を実施した。

図―10から，改良前の腐植土層については動的弾性係数Ｅ＝90.7kg/cm²，ポアソン比 μ＝0.487，また下位に分布する粘性土層では　Ｅ＝290.7kg/cm²，μ＝0.495 であるが，生石灰の改良によって，Ｓ波の速度だけでも２倍となっている。改良後のポアソン比は全体に減少の傾向を示し動的弾性係数は，腐植土層で3.9倍，粘土層で3.2倍ときわめて大きな改良効果が得られた。

図―11は盛土後の圧密沈下の状況を示す。盛土開始の３箇月前に盲排水工，シートおよびサンドマットの敷設を実施しており，このため盛土開始による圧密沈下量が 30cm 前後となった。地盤の圧密沈下量についてとくに腐植土層の沈下量が当初の予想よりも小さいが，上述した盛土施工前の条件を考慮に入れれば理論沈下量と実測値とに良い一致を示す。また，生石灰パイル工法実施区域の沈下量は，ファブリドレーン工法のそれに比べて小さく平均76%程度の沈下量を示しており，沈下阻止の効果が認められる。一般に圧密初期においては，理論沈下曲線の圧密速度が実測値のそれに比べて大きく，逆に圧密の後期においては実測値が大きくなる傾向は，これまでわれわれがよく経験してきたところである。

3.6.　あとがき

本報告は，動態観測の結果につき現在までに解析できたもののうちとりあえず報告するものであり，いずれ別の機会に解析結果の全容を報告したいと考えている。最後に，試験工事に関する諸問題につき御指導いただいた日大・浅川教授ならびに試験工事の実施に当り労をわずらわした㈱大林組臼井工事々務所，岡田所長および大越職員に深謝するしだいである。