

改良された軟弱地盤の動的特性の挙動について (その 1)

齋藤 二郎 菊地 敏男
平間 邦興

Dynamic Properties of Improved Soft Ground (Part 1)

Jiro Saito Toshio Kikuchi
Kunioki Hiram

Abstract

It has become quite common to improve and utilize soft ground such as peaty ground as land development has reached out increasingly farther. Although there are various methods of stabilizing soft ground, most examinations of stabilization effects have been on static properties and the situation is that improvements in dynamic properties have not yet been clarified in many respects.

The authors have taken advantage of opportunities offered by actual projects to carry out various field and laboratory tests to gain an understanding of the improvement effects regarding dynamic properties of ground. This report is on the outcome of an attempt to determine changes in dynamic properties of ground consisting of fill on top of stabilized ground in the case of a certain ground stabilization project through comparisons with the dynamic properties of natural ground based on results of field tests such as seismic prospecting and microtremor observations mainly using boreholes.

概 要

国土開発が進むにつれ、泥炭性軟弱地盤のような劣悪な地盤をも改良して利用する場合が一般化している。軟弱地盤改良には種々の工法が採用されているが、その改良効果については静的性状の検討が殆んどであり、動的性状の改良効果については、いまだ明らかにされていないのが現状である。

筆者らは、これまで実際の施工地点を利用して、地盤の動的性状の改良効果を把握するための各種の現位置および室内試験を実施して、その究明を図ってきた。

この報文では、某工事における地盤改良の施行例を利用して調査を行なった内から、主としてボーリング孔を利用した弾性波探査、常時微動測定、現位置試験結果をもとに、改良後に盛土施工をした地盤の動的性状が自然地盤のそれと比較して、どのように変化したかを明らかにしようと試みたものである。

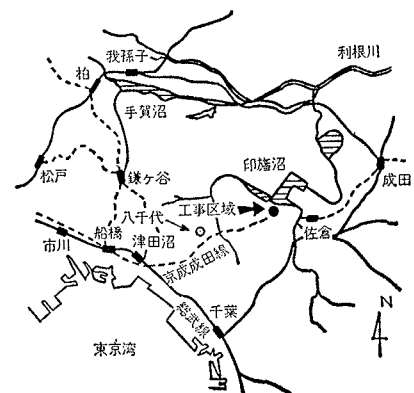
1. まえがき

国土開発が進むにつれ、泥炭性地盤のような劣悪な地盤をも改良して利用する場合が一般化している。軟弱地盤改良には種々の工法が採用されているが、その改良効果については静的性状の検討が殆んどであり、動的性状の改良効果については、いまだ明らかにされていないのが現状である。

筆者らは、これまで実際の施工地点を利用して、地盤の動弾性係数・剛性率・ポアソン比などで具体的に示される動的性状の改良効果を把握するため、弾性波探査・常時微動などの現位置試験、動的三軸試験・動的ネジリ試験などの室内試験を実施して、その究明を図ってきた。

この報文では、某宅地造成工事における地盤改良の

施工地点を利用して数多くの調査を行なった内から、主としてボーリング孔を利用した弾性波探査・常時微動測定、現位置試験結果を例にとって、改良後に盛土



図一 調査地点

盤の動的性状が自然地盤のそれと比較して、どのように変化したかを明らかにしようと試みたものである。

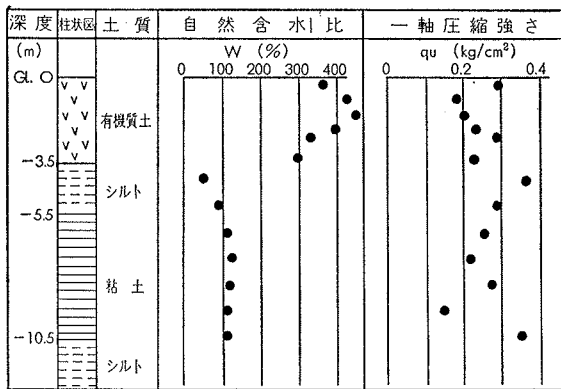


図-2 土質性状の柱状分布

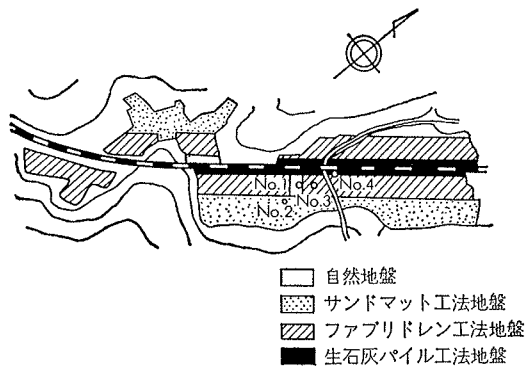


図-3 試験位置図

調査地点番号	地盤条件
No. 1	自然地盤
No. 2	サンドマット工法+2m50(計画高)
No. 3	ファブリドレン工法+2m50(計画高) サンドマット工法
No. 4	生石灰パイル工法+2m50(計画高) サンドマット工法

表-1 地盤条件

2. 地盤性状と試験方法

2.1. 地盤性状

調査地点は図-1に示すように千葉県佐倉市臼井地区である。下総台地の北東部に位置し、洪積台地とこれを削る谷に沖積層が堆積して、印旛沼の影響を受けたおぼれ谷である。沖積層は GL.-10m を超える層厚で、N値はほとんど0を示してきわめて軟弱であり、表層の 3~4m には泥炭性有機質土が分布する。

この地盤上に、それぞれサンドマット工法、ファブリドレン工法、生石灰パイル工法を施した後(改良深度、GL.-7m)、計画高 2.5m (圧密沈下量を含める

と約 4m) の盛土施工を実施した。試験時期は盛土完了の 600 日後であり、いずれも圧密度は大略90%を越えている。

土層分布は試験地点によって多少異なるが、その代表例を示したのが図-2であり、それぞれの試験位置と対応する地盤条件を一括して示したのが図-3、表-1である。

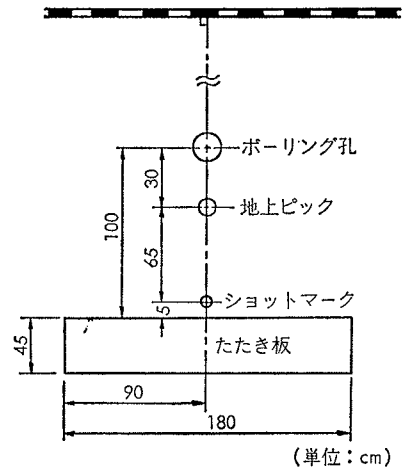


図-4 試験配置図

	測定計器	型式	備考
P S 検 層	検層用速度計	PISUY-I型 3成分用	固有振動数 14Hz
	増幅器	直流増幅器 12成分用	
	記録計	電磁オシログラフ 12ch用	
常 時 微 動	換振器	地中用速度サーボ 加速度計 3成分用	14 50Hz まで フラット
	増幅器	直流増幅器 3成分用	
	記録計	データレコーダー 7ch用	

表-2 測定計器

2.2. 測定方法

弾性波探査用換振器は、ボーリング孔における深さ方向の認意点の孔壁(φ86mmの塩ビケーシング)に設置し、地表と各々の深さにおける孔壁とで振源からの波動を同時観測する。測点はGL.-1mから 0.5m ピッチでGL.-12mの深さまで往復測定した。

SH波は 180×45×5(cm) の合板上に乗用車の前輪を載せて、両端をカケヤでたたくことにより発生させ、P波はカケヤで地面を直接たたいて発生させた。SH波のチェックは板の両端をたたいた時、波の立上りが逆転しているかどうかで確認した。試験時の配置状況を示したのが図-4である。

常時微動測定は弾性波探査に用いたボーリング孔を利用して、地中・地表の同時測定によった。測定時間は外乱の少ない深夜、0時から3時にかけて実施した。

記録波形は速度で採取し、方向は線路軸方向である。弾性波探査と常時微動測定に用いた測定計器の仕様を表-2に示す。

3. 試験結果と考察

3.1. 弾性波の伝播速度

弾性波探査の結果から得られた記録波形 (SH波) と測点の深さとの関係を地盤条件ごとに示したのが図-5である。いずれも振源において波動が発生した瞬間

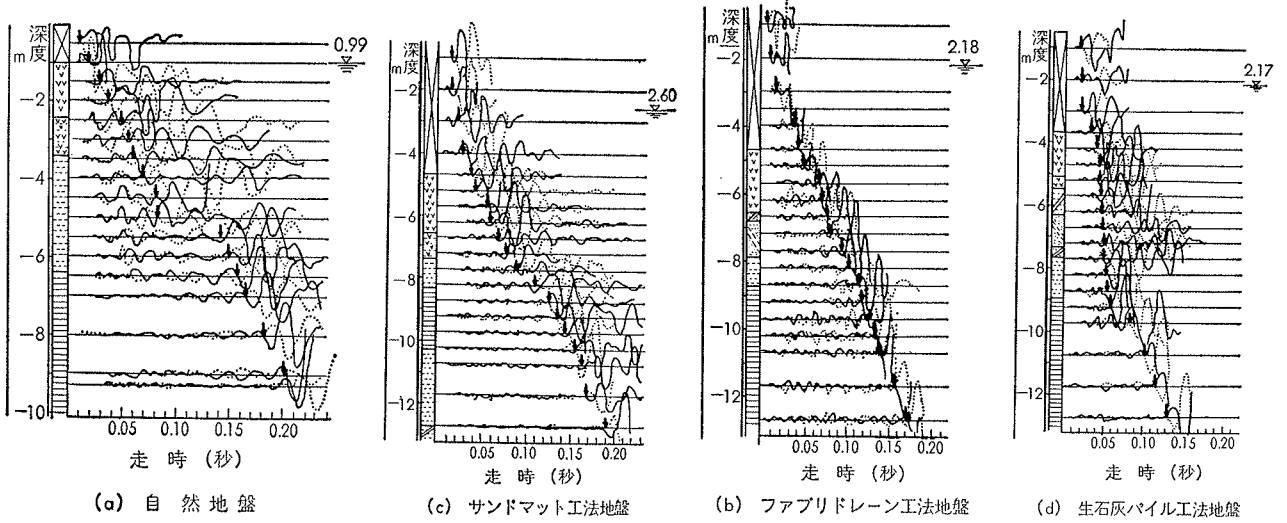


図-5 記録波計 (SH波) と測点の深さとの関係

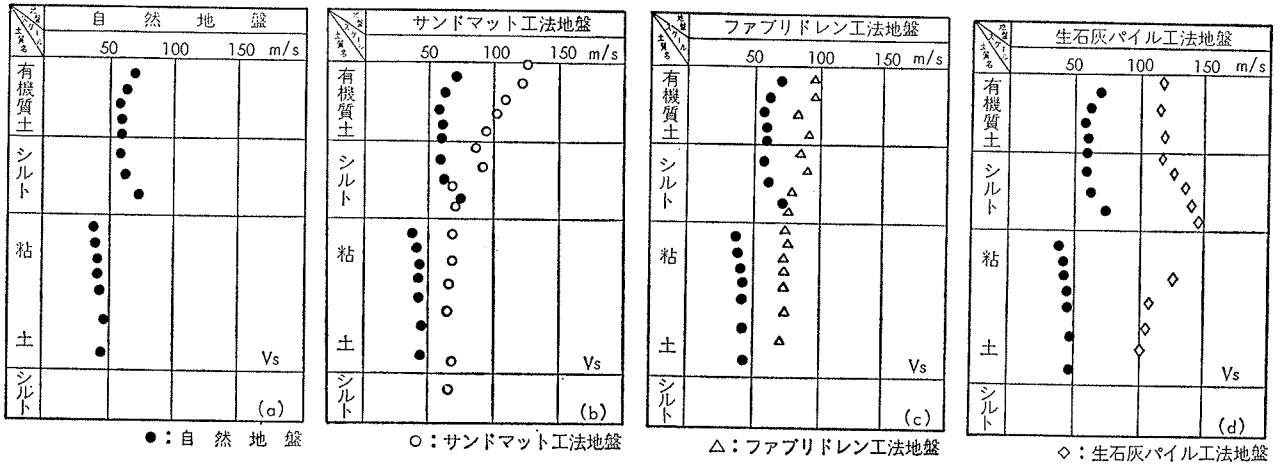


図-6 SH波の伝播速度

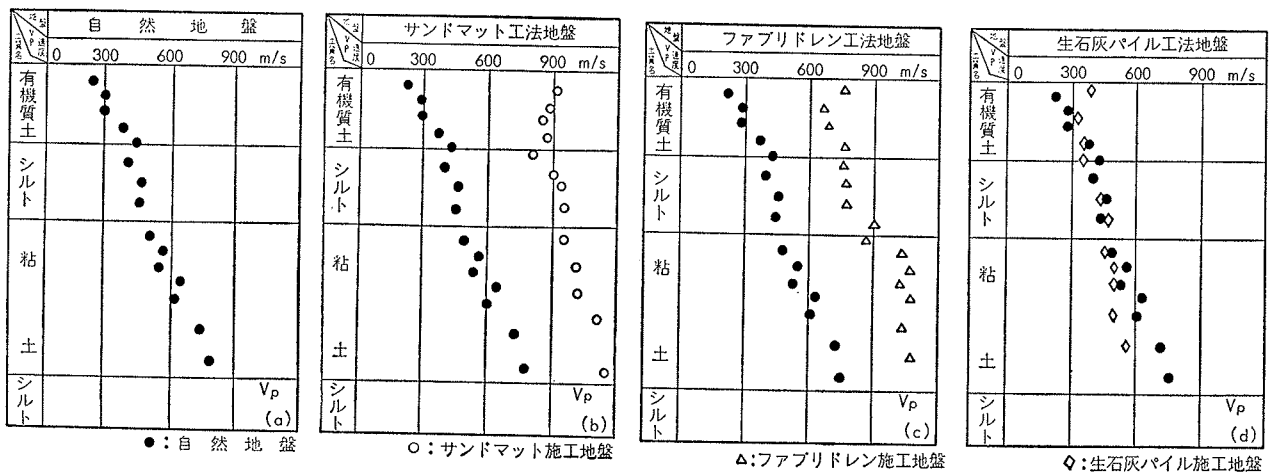


図-7 P波の伝播速度

を時間軸の原点にしてあり、図中の矢印は波動が各測点に到達した時間を示している。これらの記録から、各測点に波動が到達するまでの時間を読取って走時曲線を作成した。この走時曲線の勾配より、各土層の伝播速度が得られる。

それぞれの地盤条件ごとに、圧密沈下分を補正して土層分布に対応するSH波の伝播速度 V_s を求め、自然地盤におけるそれと比較したのが図-6である。改良工法を実施した地盤の V_s は、いずれも大きな改良効果が認められ、特に生石灰パイル、ファブリドレン工法の順に速くなっており、またサンドマット工法のみについても表層部の泥炭性有機質土層で速くなっている状況が明らかである。

同様の手法でP波の伝播速度 V_p を求め、自然地盤のそれと比較したのが図-7である。ファブリドレン、サンドマット工法の施工地盤では V_p の増大が顕著であるが、生石灰パイル工法地盤では自然地盤のそれと変わらないという特異な傾向が認められている。その原因詳細はさだかでないが、他の工法が圧密促進

に基づく間隙比の減少を期待するに対して、生石灰パイル工法地盤では生石灰の消化過程における急激な膨張・発熱・吸水作用に効果を期待するため、この過程で不飽和土化の可能性があり改良原理の違いに一因があると推定することも可能であろう。

3.2 地盤の動剛性率と土層分布

弾性波速度分布を用いて地盤各層の動剛性率 G を求め、自然地盤と改良工法施工地盤における動剛性率とを土層分布に対応して示したのが図-8である。

大略、次のような傾向が理解できよう。自然地盤では表層部の泥炭性有機質土層で $G \approx 40 \text{ kg/cm}^2$ を示し、その下位に分布する粘土質シルト層、有機質粘土層ではそれぞれ60, 25 kg/cm^2 程度で動剛性率が得られている。地盤条件ごとに検討すれば、生石灰パイル工法地盤の改良効果が最も顕著であり、自然地盤のそれと比較して泥炭性有機質土層で約3.5倍に、その下位の粘土質シルト層、有機質粘土層ではそれぞれ4.8, 6.7倍に増大していることがわかる。特に他の工法に比して表層部より下層へむかうほど改良効果の著しい傾向

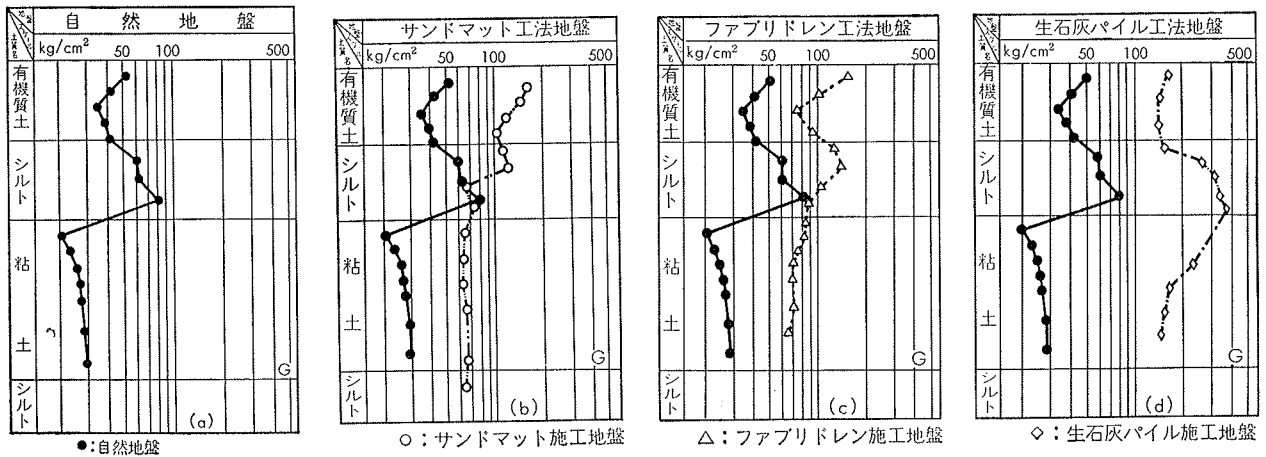


図-8 動剛性率と土層分布

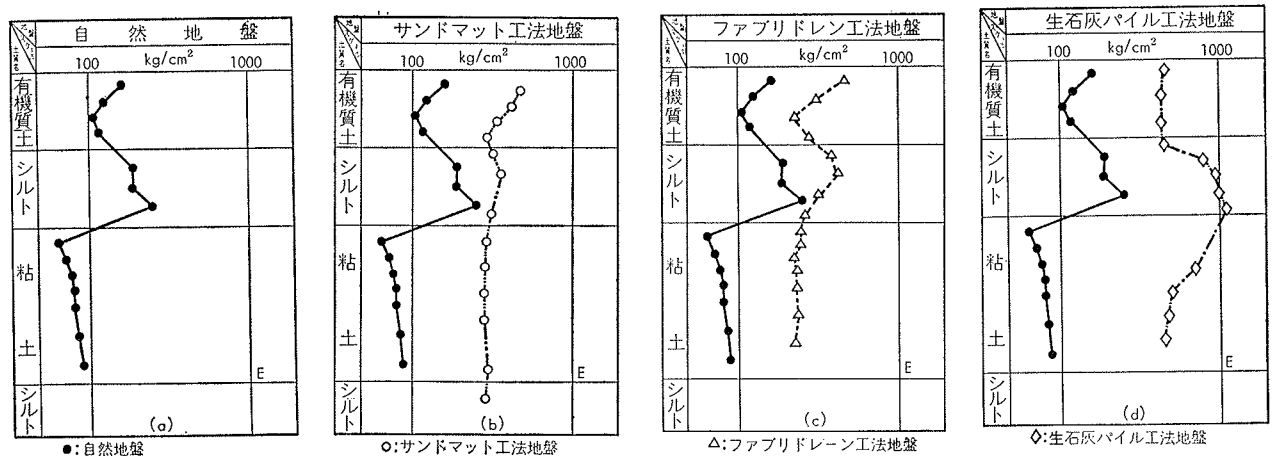
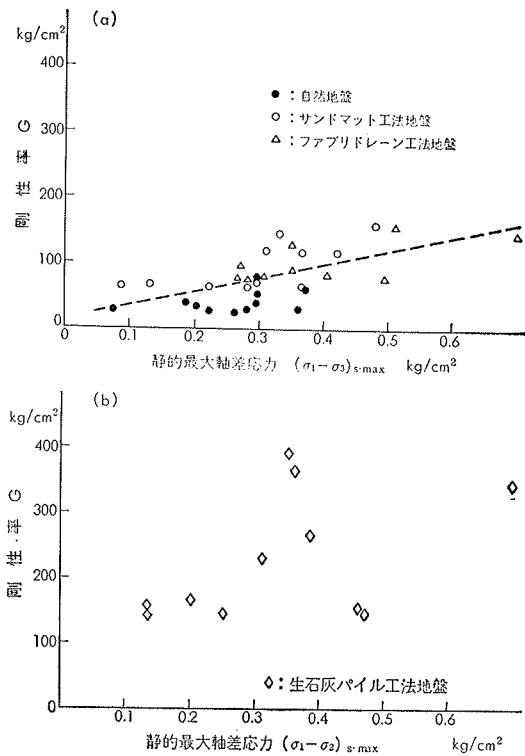


図-9 動弾性係数と土層分布



図一10 動剛性率と最大軸差応力（静的）

が認められて、前述の如くこの工法の改良原理の特異性に起因すると考えることができる。ファブリドレーン工法地盤については、生石灰パイル工法地盤ほどではないが、かなりの改良効果を認めることができる。

またサンドマット工法地盤では、表層部の有機質土層における効果は大きいが下層へむかうほど効果が小さくなる。この傾向は、下層になるほど盛土荷重が分散して圧密効果の小さくなることを意味するものであり、特にサンドシームなどを含まない土層には不适当であることが理解できよう。

同様に、弾性波速度分布を用いて地盤各層の動弾性係数Eを求め、自然地盤と改良工法施工地盤における動弾性係数を土層分布に対応して示したのが図一9である。大略、動剛性率と同様の傾向を認めることができる。

3.3. 動剛性率と静的最大軸差応力

地盤中で受けていた拘束圧を推定し、これに等しい側圧の下で静的三軸圧縮試験（非排水条件）を行なって、得られた最大軸差応力とおのおのの対応する動剛性率との関係を一括して示したのが図一10である。

生石灰パイル工法の施工地盤については生石灰の消化過程における急激な膨張・発熱・吸水作用に加え、消石灰と粘土鉱物との各種の化学反応に基づいて粒度組成をはじめとする土性そのものを変えてしまうため、他の工法とは分けて別途に図示してある。

改良原理の

同じなファブリドレーン、サンドマット工法地盤および自然地盤については、多少のばらつきはあるが関連性の存在を推定することができる。生石灰パイル工法地盤については、特異な挙動が明確である。

3.4. 常時微動

得られた測定記録の内から、それぞれについて外乱の影響が少ないと思われる20.48secの区間を選び出し、FFTを用いてフーリエ解析を行なった。その代表例として自然地盤におけるフーリエスペクトルを示したのが図一11である。図中において、地中とはGL-12mのスペクトルを意味する。

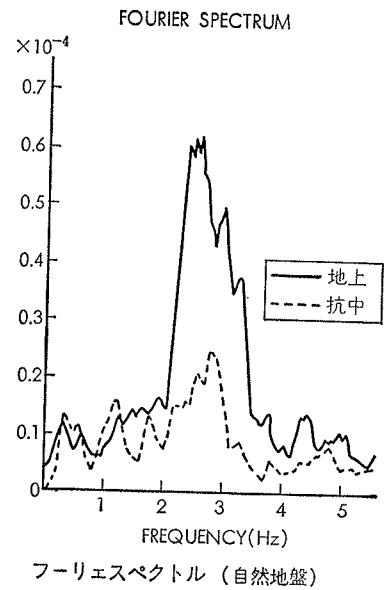
図からも明らかな如く、卓越振動数は地中、地表ともに2.5~3Hz付近に現われることがわかる。なお、Vsと土層厚から算出した振動数は、この値をやや下廻った。

4. あとがき

以上の如く、実際の地盤改良の施工地点を利用して、改良後に盛土施工をした地盤の動的性状が自然地盤のそれと比較して、どのように変化するかを明らかにしようとして試みてきた。

その結果、改良工法に応じて地盤の動的特性（特に剛性率）への改良効果を明らかにすることができた。また、この報文は現位置試験結果を主にまとめたものであるが、この一連の調査研究では、あわせて各種の静的および動的室内試験を実施している。これらの結果については次報へ譲ることとする。

この研究を進めるにあたり、当所、後藤洋三研究員に多大なる協力を得た。また、実験・解析にあたっては日産基礎工業㈱、上村光則氏と法政大学、山門明雄教授のもとで指導を受けていた加藤広司、中村幸男両君の助力に負うところが多い。謝意を表します。



図一11