

深層混合処理改良地盤の掘削を目的とした 低強度調整改良法に関する研究

西林 清 茂 松尾 龍 之
細谷 芳 己 小日向 隆

Studies on Soil Improvement Method Controlling at Low Strength for Excavation of Ground Treated by the Deep Mixing Method

Kiyoshige Nishibayashi Tatsuyuki Matsuo
Yoshimi Hosoya Takashi Kohinata

Abstract

Recently, there have been many cases in which ground treated by deep mixing has been excavated when digging inside retaining walls, caissons, and shield tunnels. Laboratory tests were therefore performed for the development of a new version of the Deep Mixing Method (D.M.M.) by which low strength can be obtained ($q_u = 5 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$).

The following results were obtained :

- (1) It will be difficult to obtain uniform low strength if the conventional method with ordinary portland cement is used, that is, decreasing the injection quantity of cement slurry and diluting the thickness of the slurry.
- (2) Low strength can be easily obtained by the D.M.M. using a new kind of cement-lime hardening agent.

概 要

土留め掘削、ケーソン沈設、シールド工事などで地盤改良のために深層混合工法を適用する場合、改良された部分を掘削することがあるので、一軸圧縮強度で数 kgf/cm^2 程度の低い強度に調整可能な注入施工方法や、新しい固化材の開発を目的とした実験を行なった。

その結果、以下の成果を得た。

- (1) 従来のセメントスラリーの注入率を減らしたり、濃度を薄くするなどによって注入施工を調整する方法では、低強度にしてなおかつ均質な改良固結体を得ることは難しい。
- (2) 新たに開発した低強度調整用固化材を使用すれば、通常の注入施工方法で均質でかつ低強度の改良固結体が得られる。

1. まえがき

従来、深層攪拌混合工法に関する施工法、施工機械の研究は、“いかに品質の優れた高強度固結体を造成するか”に研究の目的を置いたものが主体であった。しかし、最近では深層攪拌混合工法によって地盤改良した後、地盤の安定を確保して、なおかつ掘削を容易にするための低強度調整改良の必要性が高まっている。例えば、土留め掘削工事における掘削敷上部地盤の改良、ケーソン、深礎工事における沈設地盤の改良、あるいはシールド工事における掘進地盤の改良などである。

一般的には、セメントの添加量を少なくしたり、水や

ベントナイトを加えて強度を抑える方法が採られている。しかし、このような方法では、たとえ室内配合試験で所要の強度を満たす配合量が求められても、過少添加のため現場での強度発現が極端に小さく、しかもばらついたり、高含水状態のために圧縮性や耐久性が劣る品質となったり、セメント反応を阻害するため長期的な品質の確保に難点があるなどいろいろな問題が生じる。特に強度発現性の高い対象土に対しては、この低強度調整改良のための品質管理が極めて難しくなるのが現状である。

そこでこの研究では、従来の深層攪拌混合工法の施工方法を大幅に変えることなく、このような低強度調整が簡単に行なえ、しかも長期的に安定した品質が得られる

安定材の開発と施工法の確立を目的として、室内配合試験およびモデル混合実験を行ない、その結果所期の成果を得たので以下に報告する。

なお、この報文中でいう低強度とは、一般の深層攪拌混合工法で得られる数 10 kgf/cm² の圧縮強度に比較して小さいという意味で、室内配合の圧縮強度で 5~10 kgf/cm² 程度の強度を考えている。

2. 試験概要

2.1. 室内配合試験

(1) 試料土

試料土には、表-1 に示す東京都港区内の旧東京湾海成粘土を使用し

た。今回の室内配合試験の目標強度は、上述のように一軸圧縮強度(28日材令)で $q_u=5\sim10$ kgf/cm² 程度と設定し、低強度を維持させる期間は 1~3 箇月とした。

土粒子の比重 G_s	2.700	
調整含水比 $\omega(\%)$	109.8	
単位体積重量 $\rho_t(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.428	
液性限界 $\omega_L(\%)$	88.7	
塑性限界 $\omega_P(\%)$	47.6	
塑性指数 I_p	41.1	
粒 度	砂 分 (%)	7.0
	シルト分 (%)	42.0
	粘土分 (%)	51.0
有機物含有量 $L_{ig}(\%)$	8.2	

表-1 試料土の土性

(2) 固化材

固結土の強度発現抑制方法として次の 2 タイプとした。

- ①一般的な普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比で調整する方法
- ②低強度調整に寄与すると考えられる材料を混合する方法

この試験では、低強度調整用の混和材として各種材料を選定したが、ここではそのうち最も効果の大きかった石灰系安定材を普通ポルトランドセメントと組み合わせで用いた結果について示す。なお、配合に用いた固化材はスラリー状とし、その添加率は土の湿潤重量に対する重量比とした。

2.2. モデル混合試験

(1) モデル混合機

使用したモデル混合機を図-1 に示す。攪拌翼は実機の縮尺の 1/3 の 2 軸モデルを使用した。

(2) モデル地盤

試験地盤は、上記粘土にセメント 50 kg/m³ を加えた土を直径 $\phi=80$ cm×深さ $L=1.3$ m の円形土槽に投入し、初期地盤強度 $q_u=0.2\sim0.3$ kgf/cm² になるように調整した。

(3) 低強度調整改良方法

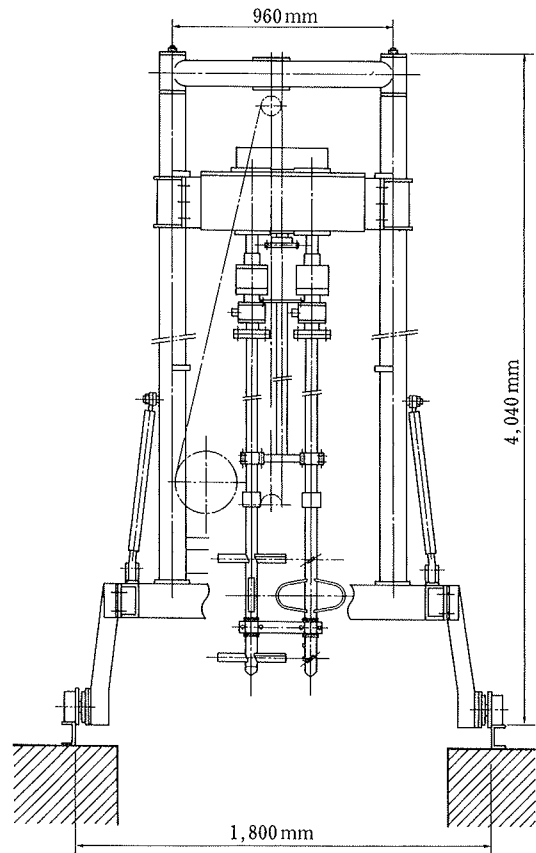


図-1 モデル混合機

次の 3 方法について改良効果を比較検討した。

- ①セメントスラリーの注入率を減少させる方法
- ②セメントスラリーの濃度を薄くする方法
- ③強度発現抑制効果が大きい低強度調整用固化材を用いる方法

(4) 試験方法

モデル混合の各種試験条件は、実施工とほぼ同じ次のような攪拌仕様で行なった。

- ・攪拌軸回転数：貫入時 25 r.p.m., 引抜時 40 r.p.m.
- ・攪拌軸昇降速度：貫入時 0.5 m/min, 引抜時 1.0 m/min
- ・注入方法：貫入時攪拌軸より吐出

なお、改良深さはすべて $H=1$ m である。

改良強度の調査は、図-2 に示す 5 箇所から $\phi 75$ mm× $l=1$ m のシンウォー

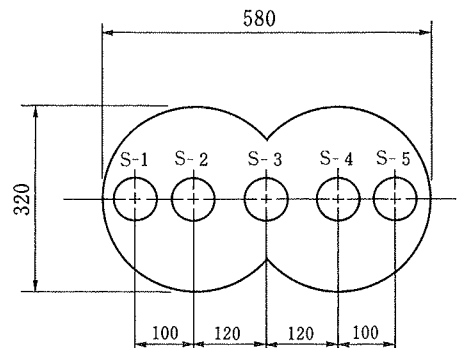


図-2 固結土サンプリング位置

ルチューブで固結土を採取し、標準養生した後、材令14日で一軸圧縮試験を行なった。改良効果の判定は、採取した固結土の平均強度、強度の変動係数、およびパイル中心部の固結強度 q_{uc} と外周部の固結土強度 q_{up} の比 $R=q_{up}/q_{uc}$ の値を比較した。

3. 試験結果

3.1. 室内配合試験結果

図-3は、普通ポルトランドセメント単独の結果であり、水セメント比

$W/C=1.0, 1.2, 1.5$ とした時の添加率 a_w' と一軸圧縮強度 q_u の関係である。 $W/C=1.0$ では、実用的な添加率 $a_w'=15\sim30\%$ で $q_u=40\sim60 \text{ kgf/cm}^2$ と極めて高い強度が発揮されている。この試料土にセメント添加率を変えないで水量を増し、 $W/C=1.2, 1.5$ に増加させると強度は低下するが、依然として $q_u > 10 \text{ kgf/cm}^2$ と高く、しかも材令28日から91日にかけての長期強度の伸びも大きいことがわかる。従って、このような高強度発現性をもつ試料土を W/C の配合で制御するには、極めて多量の水を加えることになり、施工面・品質面で問題が残ると考えられる。

次に、図-4は石灰系安定材を混和材とする次の3種類の低強度調整用固化材による試験結果である。

A種固化材……標準の低強度調整用固化材

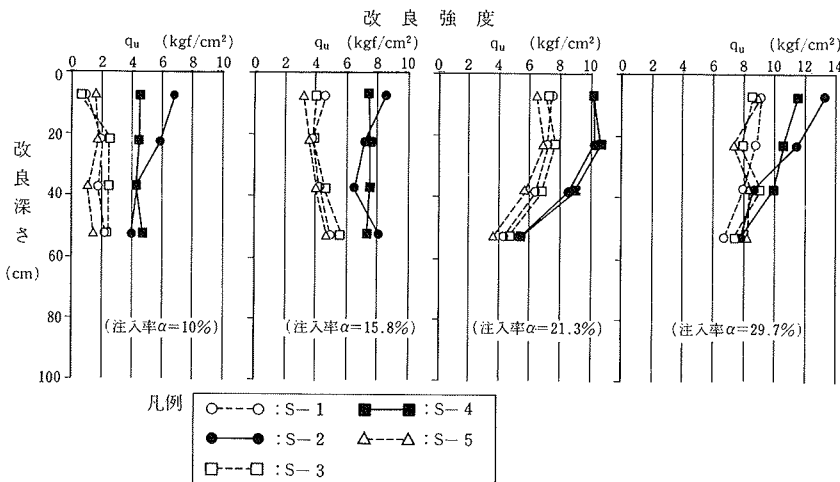


図-5 注入率の変化と改良強度

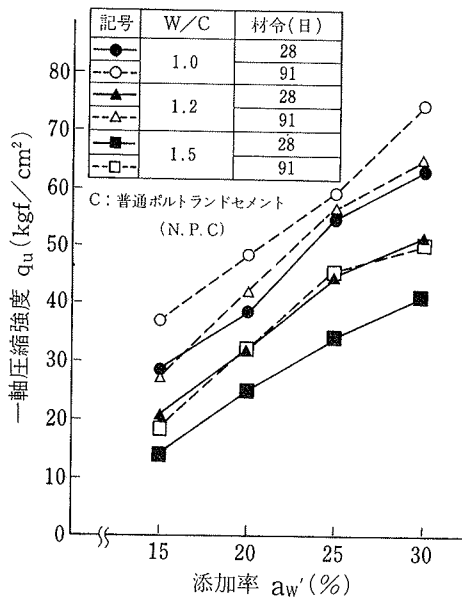


図-3 $a_w'-q_u$ の関係 (普通ポルトランドセメント)

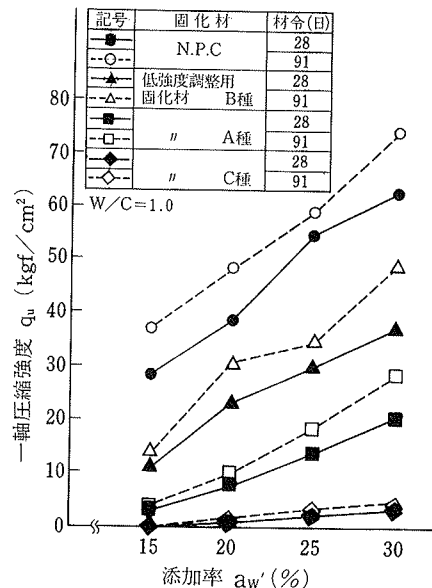


図-4 $a_w'-q_u$ の関係 (低強度調整用固化材)

B種固化材……A種固化材よりも若干強度を上げるように配合された低強度調整用固化材
C種固化材……A種固化材よりも若干強度を下げるように配合された低強度調整用固化材

図より、低強度調整用固化材を用いたものは、普通ポルトランドセメント単独のものに比べて低強度調整改良の効果が明瞭であり、実用的な添加率の範囲で $q_u < 10 \text{ kgf/cm}^2$ を確保、制御することが可能である。また、低強度のものは長期強度の伸びも小さく、低強度安定材としてこの固化材は適していると考えられる。

3.2. モデル混合試験結果

3.2.1. セメントスラリー注入率を減少させる方法

水セメント比 $W/C=1$ のスラリー注入率(体積比)を $\alpha=10, 15, 20, 30\%$ と変化させた場合の改良強度調査結

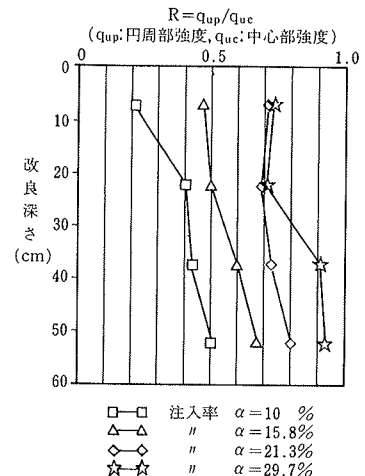


図-6 パイル中心部と外周部の強度比

果が図-5である。

注入率を変化させたどのケースも固結体中心部の強度 q_{uc} は、外周部の強度 q_{up} に比べて大きい。これは、セメントスラリーの吐出を攪拌軸部から行なっていることが起因していると考えられる。しかし、両者の比 R を深さ方向に示している図-6をみると、注入率 $\alpha=10\%$ では R の値が 0.5 以下であり、固結体の平面的な均一性に欠けているが、 α が 20% 以上になると R の値は 0.7 以上を示しており、明らかに平面的な均一性が向上している。

図-7は、各固結体で調査した全供試体の強度の平均値と変動係数である。注入率が増加すると当然平均強度が大きくなり強度のバラツキを示す変動係数の値が小さくなって品質にすぐれた固結体が得られている。逆に注入率が少なくなると、強度の平均値は小さくなるが、変動係数が大きくなり品質が悪くなっている。

以上の結果、低強度調整改良を得るためにセメントスラリーの注入率を減少させる方法では、確かに固結体の平均的な強度は小さくなるが品質が低下するため、注入率の低減に限界があることが認められた。

3.2.2. セメントスラリー濃度を薄くする方法 一般にスラリー系の深層攪拌混合工法では、スラリー濃度を水セメント比 $W/C=0.6\sim 1.0$ の範囲で施工するケースが多い。しかし、この試験では、低強度調整改良を目的として $W/C=1.0, 1.25, 1.5, 2.0$ と通常よりはかなり薄いスラリーを用いて混合試験をした。スラリーの注入率は $\alpha=20\%$ 一定である。各ケースの改良強度調査結果を図-8に示す。

図-9は、パイル中心部の固結体強度 q_{uc} と外周部固結体強度 q_{up} の比 R を求めたものである。いずれのケースも注入率が $\alpha=20\%$ であるため、 R は 0.5 以上を示しているが W/C の値が大きくなる。すなわちスラリー濃

度が薄くなるにしたがい若干 R が小さくなる傾向が見られる。

一方、図-10にまとめた固結体の平均強度と変動係数の比較では、 W/C の値が大きくなりスラリー濃度が薄くなると、平均強度は小さくなるが変動係数が $v=40\%$ 前後になり、固結体の品質が低下している。これは、粘性が高い粘土を対象とした場合、スラリーの濃度をあまり薄くすると通常の深層混合の攪拌仕様では、両者の混合性が悪くなるためと考えられる。

以上の結果、スラリーの濃度を薄くして改良強度を低く抑える方法は、 W/C を 1.5 以上にすると強度の低減効果が認められるものの、スラリーと粘土の混合性が悪くなり品質が低下するようである。

3.2.3. 低強度調整用固化材を用いる方法 試験に用いた固化材は、先に示した低強度調整用固化材のうち、A種およびB種の2種類である。なお、試験は、2種類の固化材とも注入率 $\alpha=20\%$ 、30%、セメントスラリー濃度 $W/C=1$ の注入仕様で行なった。

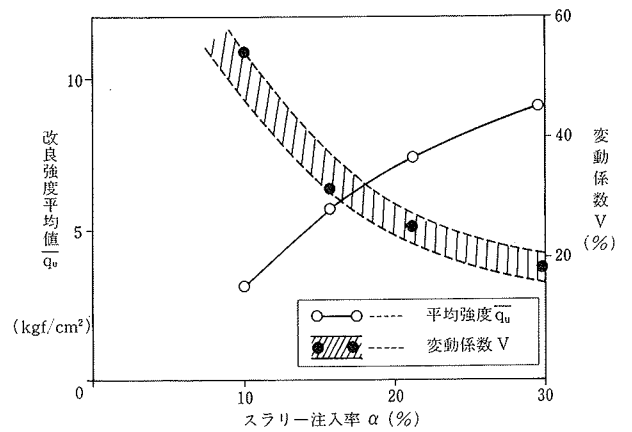


図-7 造成した固結体の平均強度と変動係数

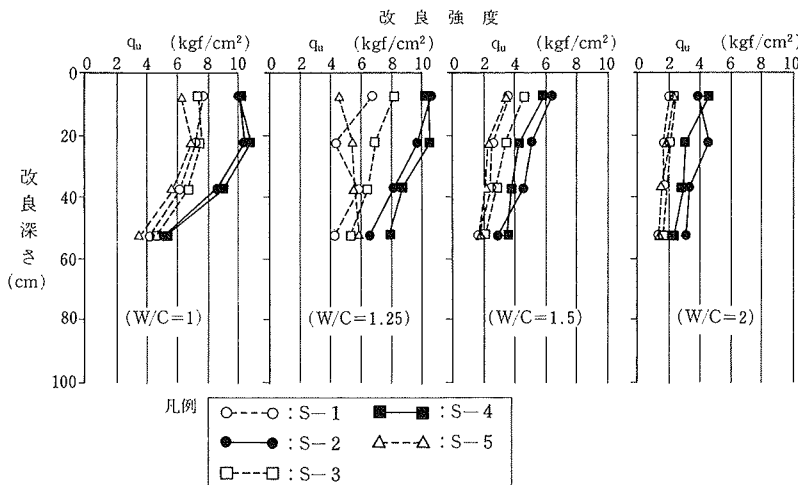


図-8 スラリー濃度の変化と改良強度

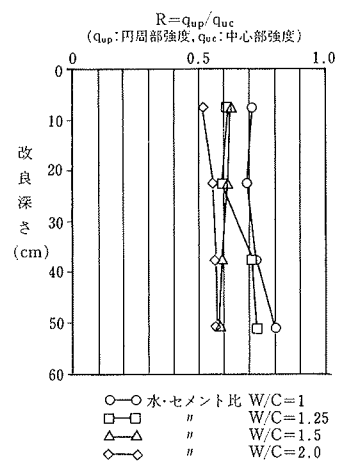


図-9 パイル中心部と外周部の強度比

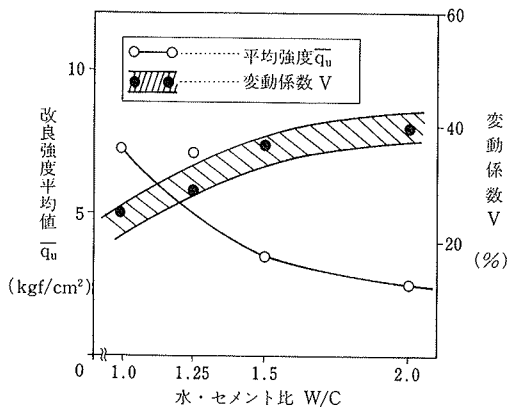


図-10 造成した固結体の平均強度と変動係数

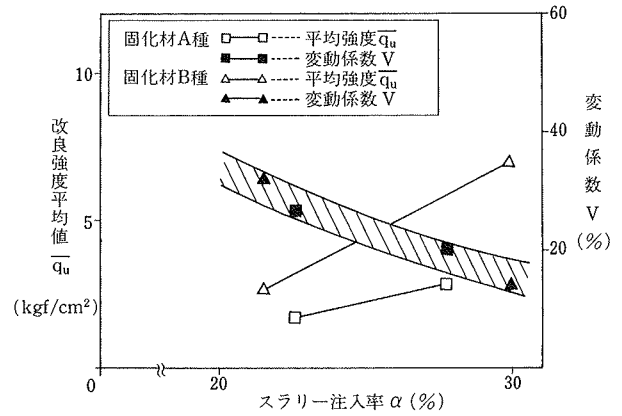


図-13 造成した固結体の平均強度と変動係数

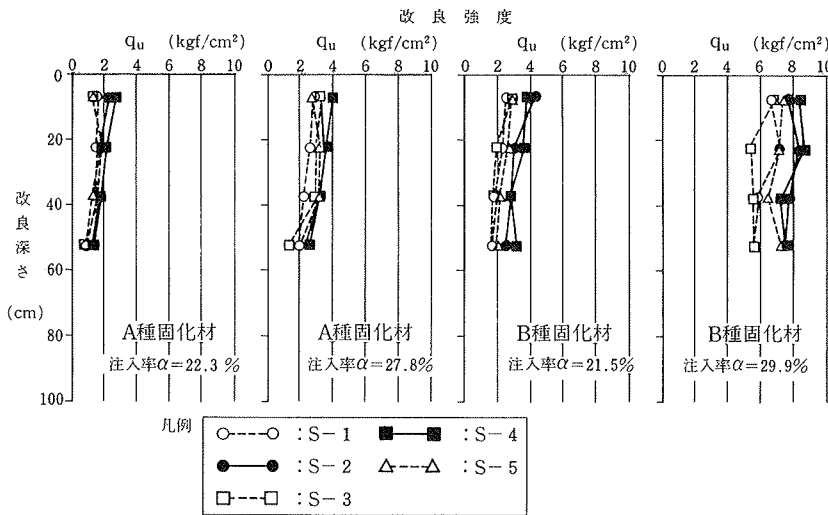


図-11 低強度調整用固化材を用いた場合の改良強度

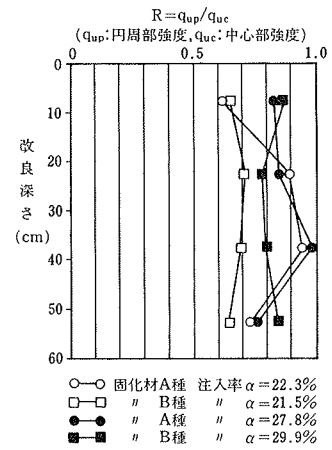


図-12 パイル中心部と外周部の強度比

各固結体の改良強度調査結果を図-11に示す。全体的に強度のバラツキが少ない良好な低強度固結体を得られている。

図-12にパイル中心部の固結体強度 q_{uc} と外周部の固結体強度 q_{up} の比 R を示している。この場合もスラリーの注入率が20%以上であるため、 R の値はほぼ0.7以上になっており、固結体の平面的な均一性が良好であることがわかる。

一方、図-13に示す各ケースの固結体の平均強度と変動係数をみると、B種固化材の注入率30%の固結体強度の平均値は若干大きい、他の固結体の強度は低く抑えられており、しかも変動係数が $v=30\%$ 以下で強度のバラツキが少ない高品質の改良が行なわれている。

4. まとめ

従来の注入施工仕様をそのまま流用し、低強度（室内

配合強度で $q_u=5\sim 10$ kgf/cm²) に改良調整することが可能な新しい固化材を開発し、室内配合試験およびモデル実験を行なってその有効性を確認した。

得られた主な結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 従来のセメントスラリーの注入率を減らしたり、濃度を薄くするなどによって注入施工法を調整する方法では低強度にしてなおかつ均質な改良固結体を得ることは難しい。

(2) 一方、新たに開発した低強度調整用固化材を使用すると、通常の注入施工方法で均質でかつ低強度の改良固結体を得られる。

最後に、本実験研究を進めるに当たり、奥多摩工業(株) 万波一朗、呉羽正三、小嶋利司の各氏に貴重な助言・協力を賜った。ここに記して感謝の意を表します。