深層混合処理工法における計測施工に関する研究

STUDY ON THE MONITORING IN DEEP MIXING METHOD

畠 昭治郎*・檜垣 義雄**・青井 実***・芦田 恵樹****

By Shojiro HATA, Yoshio HIGAKI, Minoru AOI and Shigeki ASHIDA

DMM (Deep Mixing Method) is an effective soil improvement method. In this study, the indoor test was practiced with a model apparatus of mixing machine and the mixing mechanism was considered to investigate the relationship between soil properties and the resisting moment, penetrating resistance on mixing blade of mixing machine. From this investigation, the method was proposed to estimate the kind and the properties of original ground soil.

The field test was practiced with actual DM-machine to ascertain the results of the indoor test. Moreover, two methods, the measurement of density and water contents with Radio-Isotope, and the work-done analysis, were proposed and verified to appraise the quality of treated soil in field. From these results, the possibility for electro-mechanical control in DMM is considered.

Keywords: deep mixing method, soil improvement, monitoring, field experiment

1. はじめに

深層混合処理工法は、軟弱地盤内に石灰系、セメント系の改良材をスラリー状での圧送または粉体のままでの空気搬送により添加し、原地盤と均一に攪拌混合して地盤内に強度の高い安定処理土を形成し、軟弱地盤を改良する工法である¹⁾。本工法は他の軟弱地盤改良工法に比べ高い強度に改良できることや、周辺の構造物に対する影響や騒音、振動、大気汚染といった建設公害がきわめて少ないことなど多くの利点を有している。そのため隣接施工など特殊用途に多く用いられてきている。反面工費が高くなるため、一般的な用途では敬遠されがちである。これは1つに設計や施工法に関して未完成の部分が多く、必要以上に安全側に施工を行わなければならないことが原因となっていると考えられる²⁾。

施工法の未完成的な部分の1つとして、本工法が他の軟弱地盤改良工法と同様に地盤内で施工されるため、施工状況を直接みることはできず、施工精度の判断は計測値

に頼らざるを得ないにもかかわらず、現状の施工管理は施工中の計測値が有効に用いられていないことが挙げられる。たとえば施工は、本工法における強度の発現が原地盤の土性に大きく影響されるにもかかわらず、わずかな数本の事前サンプリングによる調査結果のみに基づいて行われており、施工中の計測値は改良効果に対して有効に用いられていない。すなわち局所的な土性の変化は考慮せず、施工設定条件（攪拌回転数、引き抜き速さ、改良材供給量など）を一定に保つように施工されているが、改良体の品質にばらつきが生じては、いくら均一な施工を行っても意味がない。このように本工法における品質の向上には、施工中の計測値を用いて、局所的な土性の変化に対処し得る施工を行うことが有効である。また改良体の品質の評価は、施工の1か月後に改良体が完成した後に行われるコアサンプリングによってなされており、施工中の計測値はまったく用いられていない。

本研究では、攪拌翼にかかる抵抗モーメントと原地盤の強度との関係に着目し、攪拌翼貫入の際に原地盤の土性を的確に把握する方法について模型を用いた実験を行って検討した。さらに模型実験の結果について実機による現場実験を行い、その内容を検証した。これらの結果に基づき、実際の施工において攪拌翼貫入の際に原地盤の土性を把握する方法を提案した。今後これを用いて

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科
(〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 京都大学技官 工学部土木工学科 (同上)

*** (株) 神戸製鋼所
(〒651 神戸市中央区脇浜町1-3-18)

**** 正会員 工修 (株) 神戸製鋼所 (同上)

引抜時に局所的な土性の変化に対処し得る引抜吐出による改良施工を行うことができるようにするものである。

また施工中の計測値を用いた改良体の施工品質を仕事率で表示する方法を提案し³⁾、現場実験においてその妥当性を検討した。これによって施工直後に、全改良体に対して品質の評価を行うことができる。

以上のように本研究は施工中の計測値を有効に用いて適切な計測施工と十分な施工品質の確認を可能にするもので、これにより本工法の機械的、電気的自動制御化をめざすものである。またこれはただ単に工費を安くおさえるだけでなく、本工法が種々の用途に用いられることで、多くの付加価値を生む可能性を含んでいる。

2. 攪拌翼による地盤状態の把握

(1) 室内模型実験^{4)~6)}

a) 実験試料および実験装置

実験は砂および粘土に対して行い、砂としては小豆島砂を、粘土としては深草粘土を用いた。それぞれの試料の特性を Table 1 に、また粒径加積曲線を Fig.1 に示す。なお深草粘土については、3種の圧密段階において実験を行い、それぞれ深草粘土Ⅰ（圧密荷重1 kgf/cm²）、同Ⅱ（2 kgf/cm²）、同Ⅲ（4 kgf/cm²）とした。

Table 1 Soil Index Properties of Syodoshima Sand and Fukakusa Clay.

	Syodoshima Sand	Fukakusa Clay		
Specific Gravity	2.65	2.69		
Soil Classification	S P _u	MH		
Liquid Limit (%)	————	52.4		
Plastic Limit (%)	————	31.4		
Plasticity Index	————	21.0		
		Consolidation Stage		
		I	II	III
Unit Weight (gf/cm ³)	1.74	1.77	1.81	1.83
Water Contents (%)	46.4	46.0	37.5	32.0
Void Ratio	1.23	1.23	1.01	0.86
Consistency Index	————	0.30	0.71	0.97
Unconfined Compression Strength (kgf/cm ²)	————	0.367	0.638	0.834

Fig.1 Grain Size Accumulation Curve of Syodoshima Sand and Fukakusa Clay.

実験に用いた装置の概要を Fig.2 に示す。攪拌軸の回転は油圧モータにより、昇降は軸を含め1.27 tf（フリクションロスを除く）の自重をもつ貫入部分をワイヤーロープで制御することにより行った。

また、実験に用いた攪拌翼の形状を Fig.3 に示す。

b) 実験内容

砂および粘土のそれぞれを均一に入れた土槽内に攪拌翼を貫入して、その際に攪拌翼にかかる抵抗モーメントと砂および粘土のコーン指数との関係について検討した。

実験は、1 m 当たりの翼攪拌数（羽根切り回数）を 20, 30, 40, 50, 60, 70 rev/m に設定、貫入速さを 8~20 mm/s まで 2 mm/s で等間隔に 7 点とり、そのとき決定される回転数 4.8~30.0 rpm の組合せの中から実験時の条件を設定、翼にかかる抵抗モーメントへのそれぞれの影響を調べた。

コーン指数はポータブル試験機（先端角 30°、底面直径 30 mm）を用いた単純コーン貫入試験により求め、抵抗モーメントはスリッピングを利用したトルク計を用いて電氣的に検出した。

c) 実験結果

Fig.2 Profile of Model Test Apparatus of Mixing Machine.

Fig.3 Mixing Blade.

Fig. 4 Relation of Resisting Moment to Cone Index obtained from the Model Test.

実験によって得られた抵抗モーメントとコーン指数の関係の一例を Fig. 4 に示す。ここで回転数は 15 rpm、貫入速さは 10 mm/s である。これをもとに、砂および粘土のそれぞれについて抵抗モーメントとコーン指数の関係を比例関係としてとらえると、試料の違いによる影響は比例係数や切片の相違によって現われることがわかる。なお粘土については、試料Ⅰ、Ⅱ、Ⅲとも、同じ傾向を示したので 1 つに合せて扱った。

さらにこれと同時に回転数や貫入速さの違いによる影響を検討したが、有意な差異を認めるにはいたらなかった。

(2) 現場検証実験

a) 事前調査

今回の現場実験は、新潟県南魚沼郡六日町西泉田地先の伊田川左岸で、昭和 60 年 7～8 月に行った。実験区域の付近において行われたシンウォールサンプリングにより得られた柱状図を、同一地点で行われた標準貫入試験の結果と合わせて Fig. 5 に示す。また同時にサンプリングによる不攪乱試料の採取位置も示す。

不攪乱試料により得られた各種土質定数を Table 2 に、粒径加積曲線を Fig. 6 に示す⁷⁾。

以上に示したような一般的な土質調査に加えて、実験区域内 4 点において三成分コーン貫入試験を行った。これにより本地点の土性を表わすコーン指数、周面摩擦および間隙水圧の深さ方向に連続な値が得られた。計測結果の一例を Fig. 7 に示す⁸⁾。

b) 実験区域

全実験区域の平面図を Fig. 8 に示す。丸印は改良体の位置を示し、丸の大きさは改良断面を表わす。また横の数字はその改良体番号である。室内模型実験の検証は改良体 1～6 および 20～25 の 12 本において行った。また C-2～5 は三成分コーンの計測地点を、RI-A、RI-B、RI-C は、後述の RI による密度・水分量計測の計測点を示す。RI-A が事前計測、RI-B および RI-C は改良

Fig. 5 Boring Log of the Test Field.

Table 2 Index Properties of the Field Soil.

Boring Number	B - 1			B - 2		
	3 m	6 m	9 m	3 m	6 m	9 m
Specific Gravity G_s	2.715	2.680	2.573	2.672	2.657	2.649
Soil Classification	ML	ML	CH	CH	CH	CH
*Ignition Loss Lig (%)	0	1.980	6.217	1.417	2.121	2.500
Liquid Limit w_L (%)	42	49	67	58	57	53
Plastic Limit w_P (%)	29	31	35	29	32	29
*Plasticity Index I_P	13	18	32	29	25	24
*Activity A_c	0.59	0.58	1.19	0.88	0.74	0.75
Water Contents w_n (%)	57.3	60.2	58.1	53.6	56.7	49.6
*Water Contents(mean) w_n' (%)	54.7	61.3	62.2	52.7	52.0	63.2
*Consistency Index I_c	-0.98	-0.68	0.15	0.18	0.20	-0.43
Unit Weight γ_t (kg/cm³)	1.690	1.603	1.063	1.693	1.742	1.670
*Void Ratio e	1.485	1.631	1.600	1.408	1.382	1.674
Unconfined Compression Strength q_u (kgf/cm²)	0.266	0.471	0.856	0.406	0.519	0.809
Failure Strain ϵ_f (%)	12.9	4.2	9.0	12.7	6.1	6.8
Modulus of Deformation E_{50}	15.1	25.1	27.5	17.7	27.4	25.3

* : Calculated Value

Fig. 6 Grain Size Accumulation Curve of the Field Soil.

室内模型実験で得られたコーン指数と抵抗モーメントとの関係以外に、周面摩擦と抵抗モーメントにも同様の関係があることが現場実験において新たにわかった。実験により得られたこの関係を Fig. 12 に示す。それぞれの土について周面摩擦と抵抗モーメントが比例し、また土の種類によってその比例係数と切片が変化することがよくわかる。

(3) 攪拌翼にかかる抵抗力の解釈

a) 攪拌翼にかかる抵抗力

簡単のため翼の片方のみについて検討する。また翼の径方向に分布してかかる抵抗力を集中荷重として考え、その着力点は半径の 1/2 の点とする。

着力点の断面において、攪拌翼にかかる抵抗力を Fig. 13 のように考える。ここに刃面の水平となす角を θ 、進行方向を φ とし、刃面の面積を A 、進行方向に対する投影面積を S とする。また、刃面にかかる抵抗力を刃面に垂直方向に $\sigma \cdot A$ 、刃面にそった方向に $\tau \cdot A$ とし、刃先にかかる抵抗力を H 、これらを合わせた全体の抵抗力を F とする。 H と F についてはその刃面方向の抵抗力をそれぞれ H_θ 、 F_θ とし、進行方向成分は H_φ 、 F_φ とする。

b) 攪拌翼にかかる抵抗力と周面摩擦との関係

周面摩擦は、計測面にそって土が動くときにその面にかかる単位面積当たりの力である。これを刃面にあてはめると

$$\tau = a \cdot f_s \dots\dots\dots (1)$$

と考えることができる。 a は比例定数である。そこで攪拌翼にかかる抵抗力の刃面方向の成分について考えると次式が得られる。

$$\begin{aligned} F_\theta &= H_\theta + \tau \cdot A \\ &= H_\theta + a \cdot f_s \cdot A \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

実際のデータを用いて次のように F_θ を計算し、 F_θ と $f_s \cdot A$ の関係を示すと Fig. 14 のようになる。

$$F_\theta = F \cos(\theta - \beta) \dots\dots\dots (3)$$

ただし F は攪拌翼にかかる抵抗力、 β はその抵抗力のかかる方向と水平とのなす角で以下のように表わされる。

$$F = \sqrt{(Tor/r)^2 + (Res/2)^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{Res/2}{Tor/r} \dots\dots\dots (5)$$

ここに Tor は抵抗モーメント、 Res は攪拌翼の貫入抵抗、 r は翼径の 1/2 である。

この図をみると、それぞれの土について $f_s \cdot A$ と F_θ が比例し、式 (2) がうまく表わされていることがわかる。また比例定数 a および切片 H_θ については、砂質土と粘性土の間で、相違がみられる。

c) 攪拌翼にかかる抵抗力とコーン指数の関係

- F : Resistance acted on the Blade
- H : Resistance acted on the Tip of the Blade
- $\sigma \cdot A$: Resistance acted on the Surface of the Blade (vertical to the surface)
- $\tau \cdot A$: Resistance acted on the Surface of the Blade (parallel to the surface)
- φ : Moving Direction
- θ : Clearance Angle

Fig. 13 Resistance acted on the Blade.

Fig. 14 Relation of F_θ to $f_s \cdot A$.

Fig. 15 Relation of F_θ / S' to Cone Index.

コーン指数は、コーン進行方向に対してかかる抵抗力をこの投影面積で割った値である。この考えに基づき、攪拌翼についても進行方向にかかる抵抗力 F_φ をその投影面積 S で割った値をとりあげ、コーン指数との関係について検討した。

攪拌翼にかかる抵抗力 F_φ は、

$$F_\varphi = H_\varphi + \sigma \cdot A \sin(\theta - \varphi) + \tau \cdot A \cos(\theta - \varphi) \dots\dots\dots (6)$$

のように表わされる。また投影面積については攪拌の繰り返しによる強度の低下を考慮し、1 度攪拌した部分を

2 度目あるいはそれ以上に掘削する分には、実験の結果に基づき、全層にわたって 2/3 を掛けて計算し、 S' としてこれを用いた。

ここで F_ϕ/S' とコーン指数との関係を Fig. 15 に示す。それぞれの土についてコーン指数と F_ϕ/S' が比例していることがよくわかる。この関係を式で表わすと次のようになる。

$$F_\phi/S' = a' \cdot q_c + b \quad \cdots \cdots (7)$$

ここに a' , b は定数であり、

$$b = [\sigma \sin(\theta - \phi) + \tau \cos(\theta - \phi)] \cdot A/S' \quad \cdots \cdots (8)$$

である。

(4) 攪拌翼による原地盤の把握方法

以上により、攪拌翼にかかる抵抗力と原地盤のコーン指数や周面摩擦の関係が明らかになった。またこれらの関係に及ぼす土の種類の影響も、2 種類ではあるが考慮することができた。

実際に施工管理にこれを用いる方法としては、まず現場において二成分コーン貫入試験（コーン指数、周面摩擦）を数地点で行うか、もしくはコアサンプリングにより土の種類を確認した後、同一地点に攪拌翼を貫入して抵抗モーメントおよび攪拌翼の貫入抵抗を計測し、攪拌翼にかかる抵抗力を計算して、式 (2), (7) における比例係数を求める。これを用いれば、1 本 1 本の改良施工に対して次に挙げる 4 項目のうちどちらか 2 項目を計測すれば、残りの 2 項目を推定することができ、的確な土性の把握が可能となる。

- ① 攪拌翼貫入時にかかる抵抗力
- ② 原地盤のコーン指数
- ③ 原地盤の周面摩擦
- ④ 原地盤の土の種類

ところで今回述べた方法は、サンプリングあるいはコーン貫入試験と攪拌翼貫入の際の計測値の併用により原地盤の状態を把握するものであり、本研究の本来の目的である、攪拌翼から得られる計測値のみによる地盤内の状態の把握を可能にすることはできなかった。今後本研究をさらに進めこの方法を確立することは、深層混合処理工法における的確な計測施工を可能にしていこうと、重要な課題である。

なお、攪拌翼による原地盤の把握方法として現在、今回述べた方法以外に、攪拌翼を回転させずに貫入し、そのときに翼にかかる荷重と変位の関係などから単位変位当たりの荷重変化率や単位時間当たりの荷重変化率、攪拌翼の貫入速さを求め、これらを用いて原地盤の土の種類を判別する方法⁸⁾を、また攪拌翼貫入の際に翼にかかる抵抗力の水平となす角を考慮することにより、粘着力の違いによる原地盤の土の種類の判別を行う方法⁹⁾を検討中である。

(5) 本工法におけるコーン指数、周面摩擦計測の意義

今回の実験で、一般的な土質調査のほかにコーン指数、周面摩擦の計測を行った。そこでこれらの計測値を用い Schmertmann による土質分類を行い、本工法への適用性について検討した。

コーン貫入試験は力学試験であるため、土質分類にはあまり広く用いられていない。しかし、コーン貫入試験で土質分類を行えば、深さ方向に連続な土質データが得られるだけでなく、サンプリングより簡単にまた多くの地点においてデータが得られ、本工法において各土質に対する適切な施工を行ううえでかなり有効なものとなることが考えられる。

今回の実験により得られた計測値を用いて、Schmertmann による土質分類を行った一例を Fig. 16 に示す¹⁰⁾。なおこの図に記入した点の各層の分類は現場で行った 4 地点の事前調査に基づいたものである。これを見ると、各層が明確に判別できることがわかる。またサンドマットおよび表土は改良の対象外なので除外するが、砂質層と粘性土層についてそれぞれ改良後の強度発現状況をボーリングコアの一軸圧縮強度によってみると、粘性土層ではまずまずの改良強度が得られたのに対し、砂質層については過剰に強度がでていたりあるいはボーリングコアが切れたりしており、適切な改良が行えなかったことがわかった。これは改良材が砂質層に不向きであったことや砂質層に適した攪拌を行うことができていなかったことが原因と考えられる。いずれにせよ今回行った Schmertmann による土質分類が、改良後の強度発現の状況を明確に反映することがわかった。

以上のように、施工前のコーン貫入試験による Schmertmann の土質分類の適用が、精度のよい施工を行うための適切な施工管理に有効であることがわかった。またこれは、今後攪拌翼によるコーン指数、周面摩擦の推定方法を検討していくことが本工法にとって十分に有効なものであることも示している。

Fig. 16 Soil Classification by Schmertmann.

3. 施工中の計測値を用いた改良体の品質評価

(1) RI による密度・水分量計測の導入¹¹⁾

施工後の改良体の品質評価は現状では事後ボーリングによる一軸圧縮強度試験に頼らざるを得ない。この方法は改良直後の評価が不可能なうえ、ボーリングコアのとれない部分については試験ができず評価が行えない、またボーリングによって改良体に乱れが生じてしまうなど多くの欠点を有している。そこで施工直後の原位置での品質評価の方法として、RI による密度・水分量計測の導入を提案する。

今回の計測には線源として密度計測に ^{137}Cs を 10 m Ci、水分量計測に ^{252}Cf を 50 μCi 用い、検出管には密度計測において GM 管を、水分量計測において ^4He 比例係数管を用いた。測定方法は挿入型検層計を用いた乱方式である¹²⁾。

この方法は改良材搬送による水や空気の影響状況を評価し、改良体の均一性を検討するものである。今回の現場実験は粉体噴射攪拌工法であるため、RI による密度・水分量計測により改良体に残された空隙の評価について検討した。改良体に対する計測結果を、原地盤の計測結果と合わせて Fig. 17 に示す¹²⁾。記号 RI-A が原地盤、RI-B および RI-C が改良体に対する計測結果である。なお計測地点については前出の実験区域平面図 (Fig. 8) を参照されたい。

まず改良体を原地盤と比較すると、密度 (単位体積重量) がやや大きくなり、含水量および含水比は小さく、飽和度も低下していることがわかる。これは改良材の混入をよく表わしている。ところが空隙率については改良材の混入よりも、搬送空気の影響により大きくなっている。このことは粉体噴射攪拌工法において大きな問題の 1 つだろうが、特に空隙が均等に散らず 1 か所に集中した場合には強度の面からも大きな問題となる。そこで改良体において計測された空隙率をみると、RI-B について深さ 6~7 m あたりに極端に空隙の大きな部分があることがわかる。これはそのすぐ上に含水量の大きな層が存在しているため、搬送空気が回収されずに改良体内に残されてしまったことを示しており、この部分は強度的にかなりの問題を残すと考えられる。RI-C の計測結果については深さ方向にほぼ一様な空隙率が得られ、均質な改良体を得られたことを表わしている。

以上のように改良体に対する RI による密度・水分量計測が、改良体内に残された空隙や水分量を施工直後に比較的短時間で評価し、改良体の均質性すなわち施工精度を判定する有効な方法であることがわかった。ただ本工法が強度管理を主としている以上、この方法を実際に施工管理に用いていくためには、RI による計測結果と

RI - A

RI - B

RI - C

Fig. 17 Results of the Measurement of Density and Water Contents with RI.

改良体の強度との関係を前もって何らかの方法で求める必要がある。特に空気や水の存在と強度の関係は、本工法において重要な課題として残されるだろう。さしあたっての利用法としては、事後ボーリングとの併用が有効であると考えられる。

(2) 改良体に対する仕事量による品質評価³⁾

施工中に改良体の均質性を評価する方法として、攪拌に要した仕事量について検討した。改良体作成中に攪拌に要した単位体積当たりの仕事量および単位時間当たりの仕事量 (仕事率) を次式により計算し、各深さに対し

Fig. 18 Work Done for Mixing per Unit Volume of Soil.

Fig. 19 Work Done for Mixing per Unit Time (Power).

て示したものが Fig. 18, Fig. 19 である。

$$\frac{W}{V} = (Tor \cdot 2\pi r + Res \cdot \frac{v}{n}) / \pi r^2 \cdot \frac{v}{n} \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{W}{T} = Tor \cdot \frac{2\pi n}{60} + Res \cdot \frac{v}{60} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 W は仕事量、 V は体積、 T は時間、 Tor は抵抗モーメント、 Res は攪拌翼の貫入抵抗、 r は翼径の $1/2$ 、 v は貫入速さ、 n は回転数である。なお改良体番号 31, 32 はそれぞれ RI 計測における RI-C, RI-B に対応する。

これらの図をみると、改良体 31 については、全体にわたってほぼ一様な仕事率で施工がなされているが、改良体 32 では、深さ 2 m より浅い部分と深さ 5 m ~ 7 m のあたりで極端に仕事率が低下していることがわかる。これは改良材搬送のための空気が十分に回収されずに残っていること、あるいは改良材の添加がさほど強度の改善につながらないことなどにより、攪拌翼が土に対して有効な攪拌を行うことができなかったことを表わしていると考えられる。つまり改良体 31 は、全体にわたって均質な改良体が形成され、改良体 32 については、強度の弱い部分を有する不均質な改良体が形成されていると解釈することができる。このことは、実際に施工後の調査によって確認されており、この品質評価の方法が本工法において有効なものであることがわかった。

以上のように改良体作成中に攪拌翼がなす単位体積あるいは単位時間当たりの仕事量を計測することで、施工中に改良体の均質性すなわち施工精度の評価が可能であることがわかった。これにより、全改良体に対しての評価を行うことができる。また今回は仕事率が全体にわたって一様であるかないかの検討であったが、今後室内配合試験の攪拌エネルギーと施工現場における計測値の対比などから、攪拌のメカニズムを含めた定量的な検討を加えることで、改良体の強度に対する評価も可能となることも十分にうかがえた。

4. おわりに

以上のように、深層混合処理工法における施工中の計測値により、原地盤の把握および施工精度の確認、改良体の品質の評価が可能であることがわかった。本工法の施工の自動制御化に向けて、今後はこれらに対する対処法すなわち原地盤の把握を行った後、どのように改良材の種類、配合率、攪拌条件を設定すればよいのか、また品質の悪い改良体であると評価された場合に、次に何をすれば品質の改善につながるのかなどについて検討する必要がある。

また本工法をただ単に軟弱地盤改良に用いるだけでなく、改良材の補強材たとえば鋼管や鋼棒などを貫入し、基礎杭として用いるなど、本工法のさまざまな用法を検討し、本工法の利用価値を高いものにすることも、今後に残された興味深い課題である。

謝 辞：最後になりましたが、実験現場を提供して頂いた新潟県六日町土木事務所の皆様ならびに現場実験に際して協力を頂いた噴射攪拌工法研究会の皆様、特に鈴木昭彦氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 寺師昌明：総説深層混合処理工法，基礎工，Vol. 13, No. 2, pp. 2~9, 1985.
- 2) 奥村樹郎：深層混合処理工法の現状と普及化への問題点，基礎工，Vol. 13, No. 2, p. 1, 1985.
- 3) 島昭治郎・檜垣義雄・青井 実・鈴木昭彦：深層混合処理工法における柱体の早期品質評価法について，土木学会第 41 回年次学術講演，1986.
- 4) 芦田恵樹：攪拌翼による砂の強度特性の推定に関する基礎的研究，京都大学卒業論文，1984.
- 5) 島昭治郎：深層混合処理装置メカトロニクス化の基礎研究，研究報告書，1985.
- 6) 島昭治郎・檜垣義雄・芦田恵樹・青井 実：回転掘削における土質とトルクの関係，土木学会関西支部年次学術講演，1985.
- 7) 新潟県六日町土木事務所：魚野川筋河川激甚災害対策特別緊急事業伊田川筋軟弱地盤設計委託，調査報告書，1985.

- 8) 基礎地盤コンサルタンツ：深層混合処理地盤改良地盤の事前調査（三成分コーン貫入試験），調査報告書，1985.
- 9) 畠昭治郎・檜垣義雄・芦田恵樹・青井 実：深層混合処理工法における攪拌翼の貫入抵抗と地盤状態との関係，土木学会第40回年次学術講演，1985.
- 10) 岩井喜八郎：第3章オランダ式コーン貫入試験，土質調査試験結果の解釈と適用例，土質工学会編，pp.91～135.
- 11) 畠昭治郎・檜垣義雄・金子義信・青井 実：粉体噴射攪拌工法（DJM）におけるRIを用いた軟弱地盤の改良精度の判定について，第22回土質工学研究発表会，1986.
- 12) ソイルアンドロックエンジニアリング：DJM工法実験RI測定調査，調査報告書，1985.

(1986.4.8・受付)