深層混合処理工法による改良体を対象とした品質確認・推定手法[†]

藤 井 衛* 川 村 政 史** 田 村 昌 仁***
渡 辺 一 弘**** 溝 口 栄二郎*****

Quality Evaluation Method for Soil-Cement Column by Deep Mixing Method

by

Mamoru FUJII*, Masashi KAWAMURA**, Masahito TAMURA***,
Kazuhiro WATANABE**** and Eijirou MIZOGUCHI*****

The present report concerns the results of experiments on evaluation methods of quality of soil-cement column by deep mixing method. Six improved soil columns in sandy ground and four improved soil columns in loam ground were prepared with different number of remolding respectively. And three kinds of quality evaluation methods were examined for these columns. These evaluation index were variation of resistivity, coefficient of variation of resistivity, coefficient of variation of unconfined compressive strength. We have developed a resistivity method capable of evaluating the quality variations of improved ground immediately after the construction by the axial resistivity changes of cone sensors pressed in the hardening body. At least 100kg/m³ of binder content is necessary to determine resistivity of improved body. The resistivity measuring cones have the Schlumberger type-4 electrode resistivity meter, 25 mm in diameter and 200mm in length. Resistivity meter was penetrated into improved column. Applying current at every 50 to 100mm advance, electrical potential was determined. From results of these experiments, we found the existence of correlation between various kinds of evaluation index and blade rotation number. Especially, variation of resistivity and the coefficient of variation of the compressive strength of improved body became small when the blade rotation number increased. Further more, we could show the appreciate blade rotation number for these ground based on these results.

Key words : Deep mixing soil stabilizing method, Electrical resistivity, Quality evaluation, Improved soil column, Blade rotation number, Coefficient of variation in unconfined compressive strength

1 は じ め に

固化材と土とを原位置で攪拌混合して地中に改良体を構築する深層混合処理工法においては、土と固化材を一体のものとして確実に固結することが必要である。改良体は、必ずしも均質である必要はなく、用途・目的に応じた品質を保っていればよいが、設定した施工仕様のもとで、どの程度の均質性を有しているかを把握することは極めて大切なことである。コアボーリングにより強度や固結状況を確認することが品質確認の基本であるが、地盤条件や施工条件によっては未固化な土塊を含む場合もあって強度試験の評価自体が難しいので、同一の固結状況であっても評価方法や評価者によって推定する品質が大きく異なることもある。このため、経験や実績が工法の信頼性を考えるうえで重要な尺度となっているが、できれば発注者や設計者が判断しやすい定量的な性能評価手法があるとなお良い。本文は、深層混合処理工法を対象とした改良体の性能評価手法のうち、特に比抵抗測定法の適用性について述べたものである。なお、本研究で対象

とした改良体とは、機械式深層混合処理工法における改良部分としている。

2 かく拌性能の評価方法

2・1 評価項目および実験概要

改良体の品質は、地盤条件はもとより、工法によってかなり異なる場合がある。したがって、改良体の品質は同一配合条件であっても、工法毎に独自性を有するかく拌機械や推進速度、回転数などによって異なることが考えられる。かく拌性能は、個別工法の種類を問わず、共通の枠内で表示することが望ましい。ここでは、砂質地盤およびローム地盤の模擬地盤を築造し、それぞれかく拌混合度の異なる複数の改良体について、羽根切り回数¹⁾の大きさを換え、これと3種類の品質評価手法から求まるかく拌混合度との関連性について検討を行った。

羽根切り回数とは、ここでは式(1)より算出される「見かけの羽根切り回数」¹⁾のことを言う。

$$m = \Sigma(n \times r_i) / v_i \quad (1)$$

m : 見かけの羽根切り回数 (回/m)

[†] 原稿受理 平成 15 年 4 月 8 日 Received Apr. 8, 2003

* 正 会 員 東海大学工学部建築学科 〒259-1292 平塚市北金目, Dept. of Arch. and Building of Eng., Tokai Univ., Kitakaname, Hiratsuka, 259-1292

** 日本大学生産工学部建築工学科 〒275-8575 習志野市泉町, Dept. of Arch. and Architectural Eng., College of Industrial Tech., Nihon Univ., Izumi-cho, Narashino, 275-8575

*** 国際地震工学センター 〒305-0802 つくば市立原, International Inst. of Seismology and Earthquake Eng., Tatehara, Tsukuba, 305-0802

**** 都市基礎整備公団 〒231-8315 横浜市中区本町, Urban Development Corporation, Naka-ku, Yokohama, 231-8315

***** (株)テノックス 〒107-8533 東京都港区赤坂, Tenox Corp., Minato-ku, Tokyo, 107-8533

ni : 掘削翼とかく拌翼の枚数 (枚)

ri : ロッドの回転数 (rpm)

vi : 昇降速度 (m/分)

深層混合処理工法の実績評価は、Fig. 1 に示すようにかく拌混合度と羽根切り回数との関係からあらわすことができる。「かく拌混合度」の評価方法としては、抜き取りコアの強度・変動係数²⁾、未固化状態での電気比抵抗の変動係数³⁾、改良体内部の土塊混入率の定量的調査⁴⁾、X線やサーモグラフィなどを用いて改良体内部を可視化する方法⁵⁾、着色砂を用いてかく拌後の状況を観察する方法などがある。⁶⁾ Fig. 1 のようなかく拌性能の表示を得るためには、均質な地盤を対象とした施工試験と「かく拌混合度」(Degree of mixing) の適切な評価が必要であり、この評価が非常に重要である。ある評価方法により、Fig. 1 のような表示結果が得られたとすると、A 工法は B 工法よりもかく拌性能が高く、少ない羽根切り回数で施工しても品質に欠陥が生じにくいと判断でき、施工能率を高めることができると予想される。また、Fig. 1 のような性能表示が可能であれば、施工能率・経済性などを考慮した合理的なかく拌条件を設定することができるものと考えられる。

本実験では「かく拌混合度」の評価方法として、比抵抗分布、比抵抗の変動係数およびコア供試体の一軸圧縮強さの変動係数の 3 種類の方法を取り上げ、土質別にその性能が表示できるかどうかを検討した。

2.2 実験方法

電気比抵抗測定は、地下水調査法などとして広く用いられているが、コラムに対する適用実験^{7~9)}から、①セメント添加量が 1m^3 あたり 100kg 以上の割合でほぼ均一にかく拌されていると比抵抗が $(0.1 \sim 8) \Omega \cdot \text{m}$ を示す。②比抵抗のばらつき、変化が大きいかく拌が十分でない。この測定による改良体の品質評価の対象は改良体の連続性の評価であり、今回は、比抵抗値のばらつき・変化を指標とする定量的な品質評価法を検討することにした。測定は、4 個の電極 (シュランベルジャー配置) が取り付けられている比抵抗コーン (Fig. 2) を未固化段階の改良体に圧入しながら、連続的に比抵抗値を測定するものである。コーン貫入速度は毎秒 1cm とし、測定間隔は $5 \sim 10\text{cm}$ 間隔とした。

評価試験は次のように行った。砂質土の改良体については、Fig. 3 (a) に示すように $\phi 1000$ のモールド内にて Table I の物性を有する 5 つの模擬地盤を作製し、Fig. 3 (b) に示す手順にて羽根切り回数を掘進・引上げ速度の増減により変化させた $\phi 600$ 、長さ 1m の改良体を築造した。未固化の状態では比抵抗を測定し、硬化後に掘起こし、Fig. 3 (c) に示す位置にて断面を切断し、コアを採取した。Fig. 4 に模擬地盤に築造した改良体の模式図を示す。なお、ローム地盤の場合には、モールドを使用せず、そのまま原地盤に改良体を築造した。Table II にロームの物性を示す。試験手順は砂質土の場合と同様であるが Fig. 5 に示すように 2 つの断面数について調査を行って

Fig. 1. An example of evaluation method for deep mixing method.

Fig. 2. Measuring system of resistivity.

Fig. 3. Relation between vertical distribution of blade rotation number and measuring points.

Table I. Physical properties of sandy soil.

Wet Density ρ_t t/m ³	1.510	
Dry Density ρ_d t/m ³	1.286	
Density of soil particle ρ_s t/m ⁴	2.763	
Water content ω %	17.40	
Void Ratio e	1.148	
Degree of Saturation Sr %	41.88	
Relative Density Dr %	43.48	
Grading	Gravel %	1
	Sand %	89
	Silt %	6
	Clay %	4

Fig. 4. Measuring position of improved column.

Soil Type		Properties of Loam (II)
Classification mark		(VH ₂)
Wet Density		1.293 (g/cm ³)
Water Constant		113.1 (%)
Density of soil particle		2.777 (g/cm ³)
Void Ratio		3.575
Degree of Saturation		87.9 (%)
Grading	Gravel	0 (%)
	Sand	1.6 (%)
	Silt	52.4 (%)
	Clay	46.0 (%)
Liquid Limit		122.1 (%)
Plastic Limit		63.1 (%)
Plasticity index		59.0
Ignition Loss		13.8 (%)

Soil Type	Column No.	Diameter (mm)	Length (m)	Binder Content (kg/m ³)	w/c (%)	Advancement Speed (m/min)		Number of Rotation (r.p.m.)	Blade Rotation Number (time/m)	
						Penetration	Pull-up		1st Cross section	2nd Cross section
Sand	1	600	1.0	200	80	0.5	1	23	276	138
	2					0.5	2		230	115
	3					1	1		184	92
	4					1	2		138	69
	5					2	3		77	38
	1					0.5	1		540	216
Loam	2	1000	2.2	350	60	0.5	2	18	450	180
	3					1	1		360	144
	4					1	2		270	108

砂質土の深度方向の比抵抗分布を Fig. 6, 変動係数と

砂質土の場合、Fig. 6 に示すように羽根切り回数の多い No. 1 の比抵抗は $10\Omega \cdot \text{m}$ 程度で深度方向に一定の値を示しているが、羽根切り回数の少ない No. 5 の比抵抗は、 $10 \sim 40\Omega \cdot \text{m}$ 程度の範囲で深度方向にばらつきを有している。比抵抗の変動係数と羽根切り回数との関

Fig. 8. Resistivity distribution in improved columns of loam.

Fig. 9. Relation between coefficient of variation in resistivity and blade rotation number of improved column of loam.

Fig. 10. Relation between coefficient of variation in unconfined compressive strength and blade rotation number of sand.

係は、砂質土、ロームとも、Fig. 7とFig. 9に見られるように羽根切り回数が少なくなるほど、変動係数が大きくなっていることが確認できる。

(2) 一軸圧縮試験

砂質土の一軸圧縮強さ（材今28日）の変動係数と羽根切り回数との関係をFig. 10に示す。また、ロームにおける両者の関係をFig. 11示す。砂質土の場合には、

Fig. 11. Relation between coefficient of variation in unconfined compressive strength and blade rotation number of loam.

Fig. 10から明らかなように羽根切り回数が150回/m以上になると変動係数は20%以下となる。一方、ロームの場合では、Fig. 11より強度の変動係数の目標値を25%以下とした場合、400回/m程度の羽根切り回数が必要であることがわかる。

3 ま と め

以上、今回の実験により、比抵抗係数やコア供試体の一軸圧縮強さと変動係数と羽根切り回数との関係を整理することによって、その工法独自の地盤に適切な羽根切り回数を設定することができるとわかった。特に比抵抗測定法は改良直後のまだやわらかい状態化で改良体の品質を評価することができることから、改良体の性能評価手法としてきわめて優れている。今後、さらにこの方法によるデータの蓄積を行っていくつもりである。

参 考 文 献

- 1) 又吉直哉, 日比野信一, 吉田 茂, 加藤真也, 第30回地盤工学研究発表会, 2219 (1995).
- 2) 日本建築センター, “建築物のための改良地盤の設計および品質管理指針”, p.189 (1997) 日本建築センター.
- 3) 藤井 衛, 溝口栄二郎, 野村英雄, 田村昌仁, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 705 (1997).
- 4) 村山篤史, 秋山映雄, 青木 功, 第35回地盤工学研究発表会, 451 (2000).
- 5) 小川能克, 酒井幸雄, 太田和義, 田村昌仁, 藤井 衛, 小坂正和, 日本建築学会建築基礎の設計施工に関する研究資料, 5, 47 (1999).
- 6) 小松吾郎, 藤井 衛, 田村昌仁, 川村政史, 第35回地盤工学研究発表会, 425 (2000).
- 7) 小堀隆治, 渡辺一弘, 藤井 衛, 田村昌仁, 牧原依夫, 第35回地盤工学研究発表会, 443 (2000).
- 8) 田村昌仁, 藤井 衛, 青木 功, 小川能克, 武内義夫, 日比野信一, 神保俊次, 都築充雄, 加藤千博, 津田佳昭, 日本建築学会構造系論文集, 531, 95 (2000).
- 9) 田村昌仁, 渡辺一弘, 藤井 衛, 酒井幸雄, 新井厚生, 阿部秋男, 土と基礎, 48, 9 (2000).