攪拌機を用いた浅層混合処理工法に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON SURFACE SOIL STABILIZATION USING MIXING-MACHINE

吉津利洋 —— *1   福島敏活 —— *2

Toshihiro YOSHIZU —— *1   Toshikatsu FUKUSHIMA —— *2

キーワード:

地盤改良, 一軸圧縮試験, 関東ローム, 固化材, 施工管理

Keywords:

Soil improvement, Unconfined compression test, Kanto loam, Soil stabilizer, Construction management

In construction process of surface soil stabilized ground, mixing work developed to construction work largely improve construction quality.

In this paper, effective quality of mixing is investigated through a series of plate loading tests and compression tests and density tests and sieve analysis tests carried out in actual Kanto-loam. As a result, it is concluded that enough construction quality can be expected and, mixing machine compared with normal work.

1. はじめに

小規模や狭小地における浅層混合処理工法（以下、改良地盤工事という）では、汎用のショベル系掘削機のみ使用が一般的である。しかし、掘削機のみでは攪拌性能が劣るため、施工品質のバラツキが多く、品質の安定性に欠けることが懸念される。そこで、混合作業前にあらかじめ、「攪拌機」で原土を裁断することにより、従来の掘削機のみによる施工品質を向上できる工法¹⁾を提案した。

ここで、提案工法と従来工法の施工機器の比較図を図1に示す。

図1 従来工法と提案工法の機器比較

写真1 「攪拌機」の使用状況

写真2 「攪拌機」の攪拌翼

写真3 原土の裁断後の確認（メッシュワイヤによるふるい分け）

図1に示す作業手順の「原土の裁断作業」とは、掘削した原土を層厚さ 30cm 程度の厚さで地表地盤面まで移動した所で仮置きし、その原土に対して「攪拌機」を用いた走行運転を実施する作業（写真1 参照）のことを言う。ただし、この層厚さとは、攪拌機の攪拌翼同寸法（写真2 参照）の 30cm としたためである。この裁断作業を実施することにより、原土（土塊）の大きさが 80mm 以下になる。作業後の確認として、全ての原土に対し、メッシュワイヤ

*1 (株)尾形研究室 室長・工修
(〒931-8312 富山県富山市豊田本町3-14-15)

*2 (株)ソイルテック 技術部長

*1 General Manager, Ogata Research Complex, Corporation, M. Eng.

*2 General Manager, Soil-Tec Corporation

(#80mm) で通過した原土 (写真 2 参照) のみを次工程に使用することとした。

2. 実験目的

改良地盤で、混合攪拌の影響が顕著に施工品質に現れる地盤の一つである関東ローム地盤 (5 件) を対象として、従来工法 (タイプ I) と先に述べた提案工法 (タイプ II) の施工品質の比較実験を行い、提案工法の優位性を確認することを目的とした。ここで、従来工法とは、攪拌装置の装備されていない汎用のショベル系掘削機を用い、かつ混合攪拌作業は、1 工程とする工法を対象とした。

3. 実験概要

関東ローム地盤条件を表 1 に、各地盤での試験項目概要を表 2 に示す。

表 1 試験対象の地盤条件一覧

No	土 質	湿潤 密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	固化材 添加量 (kg/cm ³)	改良 範囲 (m ²)	改良 厚さ (m)
T1	ローム	1.375	94.5	150	4×2	2.0
T2	ローム	1.403	85.5			
T3	ローム	1.305	93.8			
T4	ローム	1.389	85.9			
T5	ローム	1.196	95.1	250	2×2	2.0

表 2 試験対象の各試験項目一覧

No	T1	T2	T3	T4	T5
試験項目					
(1) 原土のふるい分け試験	—	—	—	—	○
(2) 角形供試体の密度試験 および一軸圧縮試験	—	—	—	—	○
(3) コア供試体の 一軸圧縮試験	○ 材齢 28 日	○ 材齢 28 日	○ 材齢 28 日	○ 材齢 28 日	○ 材齢 7 日
(4) 改良地盤の平板載荷試験	○	—	—	—	—

4. 実験方法

4.1 原土のふるい分け試験

「攪拌機」による原土の裁断性の有無を確認するために、無作為に 10 箇所を選定し、ふるい分け試験による通過率を計測した。ただし、試験に使用する「ふるい」の大きさは、#80mm を使用した。ここで、タイプ II の原土の裁断前後のふるい分け試験の状況を写真 4 に示す。

写真 4 ふるい分け試験の結果状況 (裁断前・裁断後)

4.2 角形供試体による密度試験および一軸圧縮試験

改良地盤において、均等な混合攪拌が実施できれば、供試体による湿潤密度のばらつきも少ないと判断 2) できる。そこで、各層ごとに 3 体の角形供試体 (□50×50 t=100) をショベル系掘削機のバケットで 50mm 圧入して、角形供試体の密度を計測した。その後、材齢 7 日の湿空養生 (20±3℃) で、一軸圧縮試験 (JIS A 1108 コンクリート圧縮試験方法に準拠) を行った。ここで「角形供試体」とは、コア供試体の圧入長さは 200mm であり、実施工における採取後の補修作業が手間である。また、圧入面積を小さくすると圧入採取が出来なくなる。そこで、供試体の圧入面積を大きくし、かつ圧入長さを短くした供試体の採取できる鋼製型枠を考案し、その型枠で得られた供試体を角形供試体とした (写真 5 参照)。

4.3 コア供試体による一軸圧縮試験

整地作業終了後、塩化ビニール管 (φ100) をショベル系掘削機のバケットで 200mm 圧入して、供試体 21 体を採取した。採取したコアを材齢 7 日または 28 日の湿空養生 (20±3℃) した後、一軸圧縮試験 (JIS A 1108 コンクリート圧縮試験方法に準拠) を行った。

4.4 改良地盤の平板載荷試験

材齢 7 日後、試験荷重 45.7 (kN/m²)、設計支持力 15.2 (kN/m²)、試験回数 1 回の平板載荷試験 (「地盤の平板載荷試験方法・同解説 (社) 地盤工学会」に準拠) を行った。ただし、載荷板の径は φ300mm とした。

写真 5 角形供試体の整形状況・供試体の計量状況

5. 実験結果

5.1 原土のふるい分け試験

原土のふるい分け試験の結果を表 3 に示す。ただし、タイプ I (従来工法) は、原土の裁断作業がないものとして表記した。

表 3 ふるい分け試験の結果

工法種別		タイプ I	タイプ II	
No	回数	原土の通過率 (%)	裁断前の通過率 (%)	裁断後の通過率 (%)
T5	1	70.1	55.3	100.0
	2	33.3	55.4	100.0
	3	27.3	62.9	100.0
	4	53.4	56.9	100.0
	5	67.4	50.6	100.0
	6	54.1	70.4	100.0
	7	47.3	62.2	100.0
	8	64.5	68.2	100.0
	9	93.2	59.2	100.0
	10	63.2	65.2	100.0
	平均	57.4	60.6	100.0

5.2 角形供試体による密度試験

タイプⅠおよびタイプⅡの角形供試体（15 体）の湿潤密度の計測結果および圧縮試験結果を、表 4 および表 5 に示す。

表 4 供試体による密度試験および圧縮試験結果（タイプⅠ）

採取 深度 (m)	供 試 体 No	改良地盤の湿潤密度		改良地盤の圧縮強度	
		湿潤密度 ρ_c (g/cm ³)	平均 湿潤密度 ρ_c (g/cm ³)	圧縮強度 q_{ufc7} (kN/m ²)	平均 圧縮強度 q_{ufc7} (kN/m ²)
GL-0.3	1	1.467	1.442	420	327
	2	1.400		247	
	3	1.459		314	
GL-0.7	1	1.492	1.471	386	361
	2	1.469		339	
	3	1.453		357	
GL-1.1	1	1.441	1.452	392	372
	2	1.461		379	
	3	1.455		345	
GL-1.5	1	1.484	1.452	451	384
	2	1.462		441	
	3	1.410		261	
GL-1.9	1	1.496	1.445	353	381
	2	1.393		269	
	3	1.446		520	
平 均			1.452	—	365
変動係数 (%)			2.13	—	20.6

表 5 供試体による密度試験および圧縮試験結果（タイプⅡ）

採取 深度 (m)	供 試 体 No	改良地盤の湿潤密度		改良地盤の圧縮強度	
		湿潤密度 ρ_c (g/cm ³)	平均 湿潤密度 ρ_c (g/cm ³)	圧縮強度 q_{ufc7} (kN/m ²)	平均 圧縮強度 q_{ufc7} (kN/m ²)
GL-0.3	1	1.522	1.498	500	414
	2	1.468		320	
	3	1.504		423	
GL-0.7	1	1.498	1.486	452	391
	2	1.472		337	
	3	1.487		385	
GL-1.1	1	1.463	1.481	318	394
	2	1.458		321	
	3	1.523		542	
GL-1.5	1	1.470	1.466	365	397
	2	1.491		447	
	3	1.438		379	
GL-1.9	1	1.514	1.488	504	416
	2	1.486		406	
	3	1.464		337	
平 均			1.484	—	402
変動係数 (%)			1.68	—	18.3

5.3 コア供試体による一軸圧縮試験

各地盤条件により採取したコア供試体（21 体）の一軸圧縮強度の結果の平均値を表 6 に示す。

5.4 改良地盤の平板載荷試験

タイプⅠおよびタイプⅡの平板載荷試験における加力結果を表 7 に、履歴曲線を図 2 に示す。

表 6 コア供試体による一軸圧縮試験結果

No	材 齢 (日)	タイプⅠ (従来工法)		タイプⅡ (提案工法)	
		平 均 圧縮強度 q_{ur} (kN/m ²)	変動係数 V_{qr} (%)	平 均 圧縮強度 q_{ur} (kN/m ²)	変動係数 V_{qr} (%)
T1	28	263	23.3	266	15.5
T2	28	257	21.3	268	15.6
T3	28	256	24.6	272	16.8
T4	28	258	24.0	263	12.5
T5	7	371	29.7	422	16.3

表 7 平板載荷試験の加力結果

No	工 法 種 類	応力 σ (kN/m ²)	載 荷		除 荷 δ_2 (mm)
			変位 δ_1 (mm)	傾き $\Delta\delta_1/\Delta P$	
T1	タ イ プ Ⅰ	0.0	0.00	—	5.01
		5.7	1.65	0.289	6.12
		11.4	2.65	0.175	6.57
		17.1	3.40	0.132	6.82
		22.9	4.17	0.133	6.98
		28.6	4.80	0.116	7.10
		34.3	5.50	0.118	7.18
		40.0	6.35	0.149	7.23
		45.7	7.26	0.160	7.26
		平均	—	0.159	—
	タ イ プ Ⅱ	0.0	0.00	—	4.36
		5.7	1.15	0.202	4.84
		11.4	2.14	0.174	5.08
		17.1	2.89	0.132	5.31
		22.9	3.66	0.133	5.38
	タ イ プ Ⅱ	28.6	4.22	0.098	5.55
		34.3	4.72	0.088	5.63
		40.0	5.22	0.088	5.68
		45.7	5.68	0.081	5.68
		平均	—	0.124	—

応力(σ)-変位(δ)曲線

図 2 応力(σ)-変位(δ)履歴曲線

6. 考 察

6.1 原土のふるい分け試験

表3の結果から、原土自体の通過率が60%前後であるのに対し、「攪拌機」を使用したタイプⅡの裁断後の通過率の値が全て100%となり、「攪拌機」に裁断性能があることが示された。

6.2 角形供試体による密度試験および一軸圧縮試験

表4および表5から、全体の平均湿潤密度はタイプⅠが1.452 (g/cm³)であるのに対し、タイプⅡが1.484 (g/cm³)と高く、変動係数では、タイプⅡが低いことが示された。また、全体の一軸圧縮強度においても、タイプⅠに比べてタイプⅡの平均圧縮強度が大きく、変動係数が20%以下と低いことが示された。

また、採取深度ごとにおいても、タイプⅠに比べてタイプⅡの方が平均湿潤密度および圧縮強度がともに高いことが示された。

すなわち、タイプⅠに比べてタイプⅡの方が均一な施工品質が構築できることが示された。

6.3 コア供試体による一軸圧縮試験

表6の結果から、全ての試験場所で、タイプⅠに比べてタイプⅡの平均圧縮強度が高く、しかも変動係数が20%以下と低いことが示された。すなわち、タイプⅠに比較してタイプⅡの方が均一な施工品質が築造できることが示された。

6.4 改良地盤の平板載荷試験

表7および図2から、タイプⅠの平均傾きが0.159に対してタイプⅡの平均傾きが0.124と低く、しかも全ての載荷条件下で、タイプⅠに比べてタイプⅡの載荷変位量および、傾きも小さいことから、タイプⅠに比べてタイプⅡの方が改良地盤の強度が高いことが示された。

7. まとめ

7.1 原土のふるい分け試験

「攪拌機」の使用する提案工法では、「攪拌機」を使用しない従来工法に比べ、攪拌作業前にあらかじめ、原土(土塊)の大きさが小さくなるため、次工程の攪拌性能が向上に寄与するとともに、最終的な施工品質が安定化すると言える。

7.2 角形供試体による密度試験および一軸圧縮試験

従来工法に比べて提案工法は、平均湿潤密度の値が大きく、しかも変動係数が低い値を示すことから、従来工法に比べて提案工法の方が、均一な改良地盤の品質が得られると言える。また、一軸圧縮強度においても、提案工法が従来工法に比べて、平均圧縮強度が大きく、しかも変動係数が低い値を示すことから提案工法の優位性が示された。

ここで、採取した角形供試体の圧縮強度と湿潤密度の相関関係を図3に示す。図中のプロットした点は従来工法と提案工法で採取した角形供試体の30体である。

同図から、湿潤密度が上昇するに伴い圧縮強度も上昇する右上がり傾向が示された。すなわち、本実験では、湿潤密度と圧縮強度には相関関係があることが示された。

図3 圧縮強度と湿潤密度の関係

7.3 コア供試体による一軸圧縮試験

従来工法の変動係数の最大値が29.7%であるのに対し、提案工法の最大値は16.8%と低く、指針③に示された変動係数である20~45%を大きく下回っており、施工品質が均質であると言える。

7.4 改良地盤の平板載荷試験

従来工法に比べて提案工法は、改良地盤の強度が大きく、良好な施工品質が構築されることが言える。

8. おわりに

比較実験の結果から、原土をあらかじめ、「攪拌機」で攪拌するとした提案工法を用いることにより、原土が裁断され、固化材と均質に混合攪拌し、均質な施工品質が構築される。その施工品質は、従来工法に比較して、良好で安定した品質であることが示された。

今後は、「攪拌機」の裁断性能の影響が大きいと懸念される粘土地盤を対象とした従来工法との比較試験等を実施する予定である。

謝辞

本実験における各種施工に対して、青木達也氏、竹内長康氏に多大な労力を頂いた。ここに記して御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) ソイルテック：「セメント系固化材を用いた粉体方式の浅層混合処理工法（SHK工法）」、(財)日本建築センター、建設技術審査証明(建築技術)、BCJ-審査証明・78、2005.6
- 2) 坂本一允、福島敏活、吉津利洋：「モールドコアによる一軸圧縮強度と単位体積重量に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集B1、pp759~760、2005
- 3) (財)日本建築センター：「改定版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」、2002.11

[2005年10月3日原稿受理 2006年2月20日採用決定]