

表層混合処理工法における混合精度の検証

岐阜工業高等専門学校・環境都市工学科 国際会員 ○吉村 優治
株式会社東洋スタビ 正会員 若原 千恵
国立研究開発法人土木研究所（岐阜工業高等専門学校卒業生）京田 達郎
国土交通省中部地方整備局（岐阜工業高等専門学校卒業生） 澁谷 真由

1. はじめに

表層改良は、築造構造物に必要な地耐力が不足する場合に、地盤の表層から2～3mまでを対象として、原位置で、目的に応じた必要強度を有する改良層を造成する工法の総称である。表層混合処理工法は、原位置においてスタビライザやバックホウ等の機械により、土に石灰系やセメント系の添加材を添加・混合して、土中の水分との水和反応や粘土鉱物との反応、あるいはソイルセメント的固化反応によって地盤を改良するものである。

表層混合処理工法は、わが国の地盤の表層土が火山灰系や沖積世粘性土によって広く覆われていること、造成された埋立地盤もセメンテーション効果が期待できず土質が悪条件にあることが多いことから、必然的に多用され、工法も大きく発展してきた。わが国においてこれらの工法の原理的な研究は1960年代頃までには終わっており、その後、経済発展を背景とする社会的ニーズの高まりによって機械や固化材の組合せを中心とする工法システムの開発が促進され、広く実用化されるに至った。表層混合処理工法は開発当初、道路の路床・路盤に適用されて発展してきたが、高度経済発展に伴い臨海埋立地の開発が盛んになり、浚渫埋立法による高含水比軟弱地盤のトラフィカビリティの向上、掘削土の処理、さらには各種基礎などを目的として1970年代から急速に開発実施された¹⁾。現在では、構造物の支持、仮設工事、道路の路床・路盤および液状化被害の抑制等に用いられ、改良目的、改良深さおよび施工法等の分類では多岐にわたる技術範囲を含んでいる。

一般に表層混合処理は、広範あるいは長総延長に対して行われることが多く、施工の効率性と改良層の品質確保が要求される。現在、土と固化材を混合する安定処理工法では、品質確保のために、室内で配合試験を行って得られた強度に対して現場で想定される強度の比を用いて管理されている²⁾。すなわち、標準の試験方法³⁾に従い、室内で土と固化材を混合攪拌し、供試体を作成した後、所定の養生条件で養生し、強度試験を行うことで得られる強度を100%として、施工後に現場から採取した試料について、室内と同条件で供試体を作成後、養生し、強度試験を行って得られる強度との差を、(現場/室内)強度比として、現場固化材添加量を決定する設計手法である。この(現場/室内)強度比は、室内配合試験と現場施工における条件の違いを調整するもので、施工機械と室内配合試験用混合機械の攪拌性能による混合程度の相違、養生温度の相違に起因する強度の差、および改良区域での土質のばらつきや含水比の相違による現場強度の変動を含めて経験的にカバー²⁾しようとする考え方である。さらには、施工機械や土質が同じでも、混合性能により(現場/室内)強度比を変更する必要がある²⁾。なお、セメント系固化材の場合の最少添加量は50 kg/m³程度といわれている²⁾。改良層の品質向上のための研究成果として、養生温度、土質の違いによる基礎データは数多く報告されているが、施工機械の混合程度(以下、混合精度とする)に関する定量的データの報告はほとんど無い。

そこで、本研究は、概ね均質で比較的含水比の影響を受けにくい砂質土地盤を施工ヤードとして準備し、表層混合処理工法における各種施工機械(最大混合深さが異なる3種類のスタビライザ、自走式土質改良機、バックホウ)の混合精度の検証を行ったものである。地盤改良において、混合精度が良いとは、強度が大きく、ばらつきの小さい(均質)地盤を形成することである。

Examination of Solidification Mixing Accuracy at Surface Soil Stabilization ; YOSHIMURA Yuji (National Institute of Technology ,Gifu College), WAKAHARA Chie (Toyosutabi Co., Ltd.), KYODA Tatsuro (Public Works Research Institute) and SHIBUYA Mayu (Chubu Regional Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)

表-1 自走式原位置混合処理走行型 STB の仕様比較⁴⁾

機械名	本研究での略称	型式	作業速度	最大掘削深さ	ロータシフト量	ロータ回転数	刃の回転方向
			[m/min]	[mm]	(左右共) [mm]	[rpm]	
STB360C(1.2)	STB1.2	CS360SDクローラ式	0~10	1200	650	0~54	進行方向に回転
STB360C(1.0)	STB1.0	CS360-2改クローラ式	0~10	1050	500	0~100	進行方向に回転
STB360C(0.7)	STB0.7	CS360クローラ式	0~10	700	500	0~130	後ろ方向に回転

表-2 自走式事前混合処理固定型
リテラの仕様⁵⁾

改良機械			KOMATSU
混合機	混合方式		リテラ BZ210
			ソイルカッタ
			3軸ロータリーハンマ
			アフターカッタ
	最大許容塊	mm	200
	同化材ホッパー容量	m ³	3
	最大土砂供給能力	m ³ /h	150 ^o
走行	シユール幅	mm	500
	接地圧	kPa	74
	走行速度	km/h	3.2
本研究での略称			リテラ
			*土をほぐした状態の場合

2. 施工機械

本研究では、次に示す 5 種類の施工機械を用いた。スタビライザの仕様比較を表-1、リテラの仕様を表-2 に示す。

また、全 5 種類の施工機械の外観と混合部詳細を表-3 に示す。

1) 自走式原位置混合処理走行型

- ①バックホウ (320E, キャタピラージャパン(株)製) (略称: BH)
機械の進行速度, 攪拌時間等はオペレータによって異なる。
- ②スタビライザ ((株)小松製作所製)
 - ②-最大混合深 1.2m STB_CS360SD (略称: STB1.2) ※
 - ②-最大混合深 1.0m STB_CS360-2 (略称: STB1.0) ※
 - ②-最大混合深 0.7m STB_CS360 (略称: STB0.7)

※(株)小松製作所製を一部改良

2) 自走式事前混合処理固定型

- ①リテラ (BZ210, (株)小松製作所製) (略称: リテラ)

3. 混合精度検証試験概要

3.1 試験実施日および試験場所

1) 試験日: 2017年6月13日(火)~20日(火)

試験は梅雨の時期ではあったが、試験前, 試験中, 雨に降られたのは6月1日(木)と7日(水)の2日だけであり, 混合精度検証に及ぼす降雨の影響はほとんど無いと判断できる。

2) 試験場所: 各務原市那加桐野町

施工ヤード (略称: 各務原) の土質性状および室内配合試験結果を表-4 に示す。なお, 施工ヤードの材料は, 土質をできるだけ均一にするため, 粒径が 40mm 以下となるようにあらかじめ調整している。

また, 室内配合試験については, (株)東洋スタビ本社 (岐阜県揖斐郡大野町公郷 3261-1) 試験室にて, JCASL-01³⁾ に示す方法で固化材添加量 30, 50, 70kg/m³ ごとに供試体を 3 本作製し, 7 日間養生した後, 一軸圧縮試験を行った。供試体の締固めエネルギーは, 540kJ/m³ (供試体寸法: φ50mm×100mm, ランマー: 質量 1.5kg, 落下高 20cm, 突き固め回数: 3 層, 12 回/層) である。なお, 養生は試験室内の養生室にて, 温度はエアコンで 20±3°C に管理し, 水槽を湿潤箱の代用として適用した。

表-3 施工機械の外観と混合部詳細^{4), 5)}

本研究での略称	BH	STB1.2	STB1.0	STB0.7	リテラ
外観					
混合部	 スケルトンバケット	 進行方向に回転	 進行方向に回転	 後ろ方向に回転	 一次切削混合 混合機に入った土と固化材の力により切削混合。 ソイルカッタ 二次衝撃混合 3軸ロータリーハンマにより掘削時に、固化材を均一に混ぜる。 アフターカッタ 三次衝撃混合 アフターカッタにより、さらに掘削を深める。 アフターカッタ

3.2 施工ヤードの土質性状と施工方法

混合精度実証実験は、**図-1**に示すように幅2m×長さ20mの施工ヤードを設定した。施工ヤードに1m³あたりの添加量が50kgになるように普通ポルトランドセメントを配置・散布し、深さ60cmを混合後、ブルドーザにより整正し、幅方向に3地点(L, C, R)、延長方向に3地点(A, B, C)、深さ方向に3地点(表面付近、深さ15cm付近、深さ35cm付近)(**図-1**参照)の合計27地点において小型のバックホウを用いて速やかに掘削を行い、約3kgの混合土を採取した。試料採取が終了した時点で、採取位置付近を混合深さまで溝掘し、目視観察ならびにフェノールフタレイン溶液を噴霧して写真撮影を含む目視観察をおこなった。

また、BHについては、標準施工量(200 m³/日)⁶⁾から混合土量1m³当たり1.5分間の混合を目安とし、オペレータの技量により混合度合いや運転の癖が変わるため、標準的な技量を有するオペレータ選定し、1試験中は1人のオペレータが一貫して運転した。その後、10ton(日立建機(株)製 CP210、運転質量12,920kg、締固め幅2275mm)タイヤローラーで8回転圧した。自走式事前混合処理固定型のリテラについては、標準施工量(300 m³/日)⁶⁾から1分あたりの混合土量を1m³として、10分間の製造時間のうち、製造開始から20秒毎に9分までに製造される混合土を合計で27試料採取した。

施工ヤードでの混合精度試験状況(STB0.7)を**図-2**、各種混合機械の運転仕様を**表-5**に示す。

なお、混合土の一軸圧縮試験は、室内配合試験と同様に JCSL-01³⁾に準拠したが、供試体作製時の試料調整については、ふるいによる混合をさけるために9.5mm以上の礫がある場合は手で取り除く程度とし、固化材混合後、供試体作製が終了するまでに要する時間の目安は1時間とした。現場で作製した供試体は、室内配合試験と同様に(株)東洋スタビ本社試験室で7日間養生後、一軸圧縮試験をおこなった。

さらに、施工ヤードの改良前(原地盤)・地盤改良後(1日後、7日後、28日後)に、試料採取場所以外の場所(A-B地点、B-C地点の中間点付近)において、キャスポル(株)マルイ製)を用いて簡易支持力測定試験を実施している。

キャスポルは、加速度計を内蔵したランマー(直径50mm、質量4.5kgのランマーを45cmの高さから地面に自由落下)が地盤に衝突した際に得られる「衝撃加速度(Ia値)」と地盤定数との相関関係を利用し、CBR、粘着力(c)、内部摩擦角(φ)、コーン指数(qc)、道路の平板載荷試験から得られる地盤反力係数(K30)などの推定が可能であり、キャスポルで求める衝撃加速度値の影響は、測定面から深さ20cmの範囲である⁷⁾。

表-4 施工ヤードの土質性状と室内配合試験結果

土質名	俗称		砂質土 細粒分質炭質砂 (SFG)	
	工学的分類名	工学的分類記号		
自然含水比	W_n	%	12.7	
土粒子の密度	ρ_s	g/cm ³	2.677	
粒度	石分(75mm以上)	%	0.0	
	礫分(2~75mm)	%	35.2	
	砂分(75μm~2mm)	%	41.4	
	シルト・粘土分(75μm未満)	%	23.4	
	最大粒径	mm	37.5	
コンシシス	液性限界	W_L	---	
	塑性限界	W_P	---	
	塑性指数	I_P	NP	
締固め	試験方法		A-b法	
	最大乾燥密度	ρ_{dmax}	g/cm ³	1.910
	最適含水比	W_{opt}	%	12.6
	一軸圧縮強さ	q_u	kN/m ²	72
配合試験	試験方法		JCASL-01 ³⁾ (セメント協会標準試験方法)	
	固化材		普通ポルトランドセメント	
	養生日数	d	日	7日(温度約20°C)
	添加量 ^{※1}	C	kg/m ³	30 50 70
	一軸圧縮強さ	q_{ul}	kN/m ²	454 873 1413

※1 標準土1m³に対する添加量

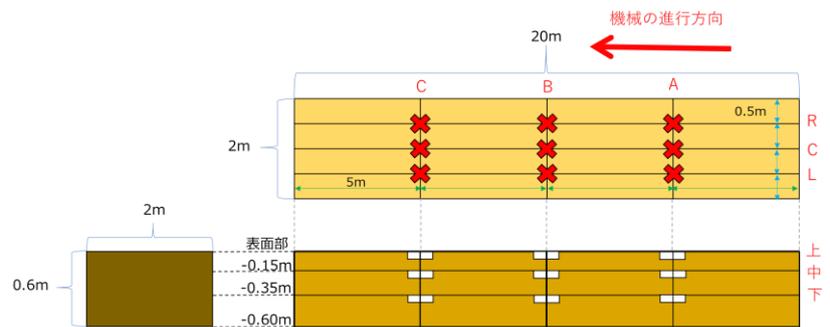


図-1 スタビライザ, BHの施工ヤードと試料採取位置



図-2 混合精度試験状況 (STB0.7)

4. 一軸圧縮試験結果

4.1 箱ひげ図

混合精度の検証を行うに当たり、強度と均質性を視覚的に示すに「箱ひげ図 (box&whisker plot)」を用いる。箱ひげ図は、データの分布やばらつきをわかりやすく表現するための統計グラフであり、データの母集団の確率分布のタイプに関わらず、データの分布を表現することができる。箱の位置が上にあるほど強度は大きく、箱の高さ・ひげの長さが短い方がデータのばらつきは小さいことを表す。箱ひげ図は、図-3 に示すように、最小値、最大値、第一四分点、第二四分点 (中央値)、第三四分点を用いて作成できる。

一軸圧縮強度について、各種施工機械毎の 27 地点における各混合土の 3 本の平均値に対する各供試体の相対誤差は式(1)で表すことができる。

$$\text{相対誤差} [\%] = \frac{\text{測定値} - \text{平均値}}{\text{平均値}} \times 100 \quad \dots (1)$$

この各種施工機械の相対誤差は、図-4 に示すように各 27 地点 (試料) の混合土による供試体 3 本の平均一軸圧縮強度に対する 81 データのばらつき程度を示している。この相対誤差を表す箱ひげ図は、位置 (中央値=第二四分位数: 50 パーセント) が 0 に近いほど、さらに箱の高さ・ひげの長さは短い方がデータのばらつきは小さいことを表している。図-4 から以下のことが明らかである。

- ①中央値は、STB1.0 が最も小さく、BH が最も大きい。
- ②箱の高さは、STB1.0 が最も短く、BH が最も長い。
- ③ひげの長さは、STB1.0 が最も短く、BH が最も長い。
- ④中央値絶対値の小さい順: BH < STB1.0 < STB0.7 < STB1.2 < リテラ
- ⑤箱の短い順 (中央値±25%のデータ数): STB1.0 < リテラ < STB0.7 < STB1.2 < BH
- ⑥ひげの短い順 (ひげは異常値を 1 点でも含むと長くなる): STB1.0 < リテラ < STB0.7 < STB1.2 < BH

以上のことから、図-4 からは、STB1.0 施工では、ばらつきの小さい (均質) 地盤を形成し、BH 施工では、ばらつきが大きい。しかし、図-4 の示す一軸圧縮強度の相対誤差からは、改良地盤の強度が大きいか否かを判断できない。

各種施工機械毎の混合土全 81 本 (27 地点×3 本/地点) の一軸圧縮強度の箱ひげ図が図-5 である。この一軸圧縮強度を表す箱ひげ図は、位置が上にあるほど強度が大きく、箱の高さ・ひげの長さは短い方がデータのばらつきは

表-5 各種混合機械の運転仕様

本研究での略称	型式/仕様 (最大攪拌深度)	回転数 r.p.m	混合速度 m/分	標準作業量 ⁶⁾ m ² /日
STB1.2	CS360SD(1.2m)	40	1.5	800
STB1.0	CS360-2改(1.0m)	80		
STB0.7	CS360(0.7m)	80		
本研究での略称	型式/仕様	混合土量 分/m ³	標準作業量 ⁶⁾	
BH	320E-0.8m ² スケルトンバケット	1.5	200m ² /日	
リテラ	BZ210-自走式	1.0	300m ² /日	

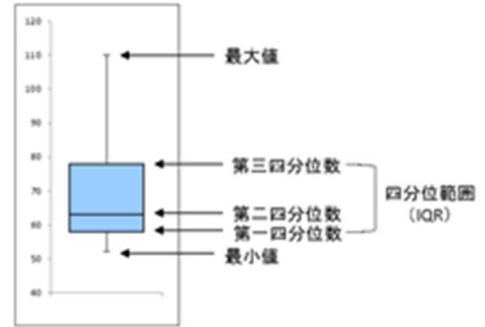


図-3 箱ひげ図

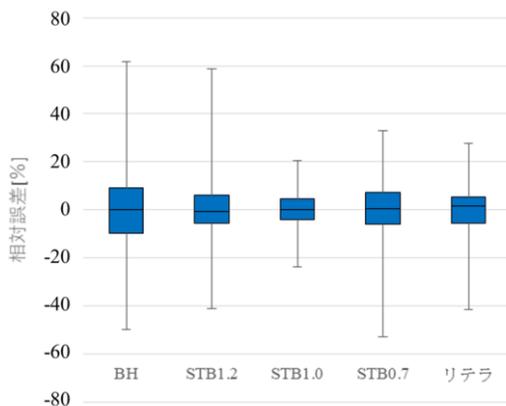


図-4 一軸圧縮強度 (各地点 3 本の平均値) に対する相対誤差 (81 データ) の箱ひげ図

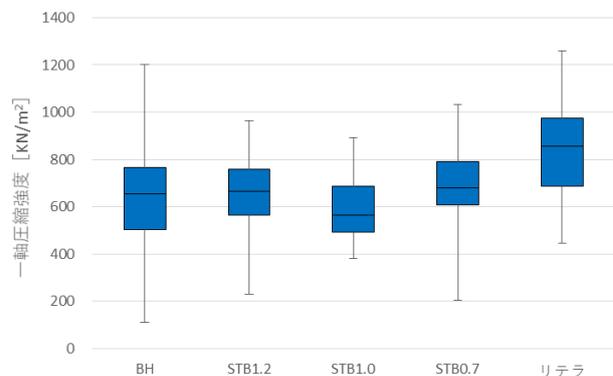


図-5 一軸圧縮強度 (81 データ) の箱ひげ図

小さいことを表しているのので、**図-5** から以下のことがわかる。

- ①中央値は、リテラが最も大きく、STB1.0が最も小さい。
- ②箱の高さは、STB0.7が最も短く、リテラが最も長い。
- ③ひげの長さは、STB1.0が最も短く、BHが最も長い。
- ④中央値の大きい順：リテラ>STB0.7>STB1.2>BH>STB1.0

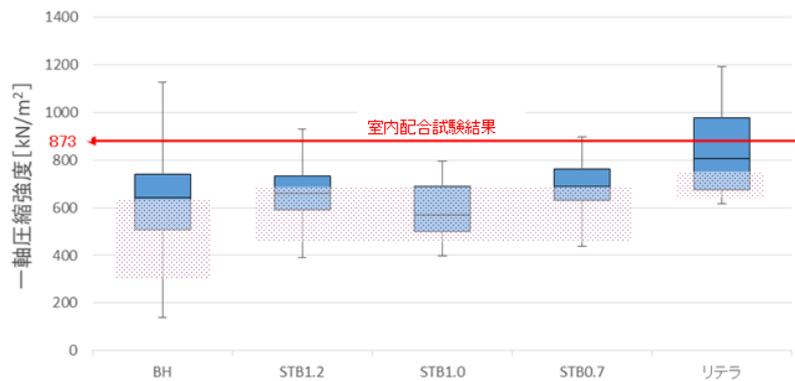


図-6 各地点の平均一軸圧縮強度（27 データ）の箱ひげ図

⑤箱の短い順（81 試験のうち中央値±25%のデータ数）：STB0.7<STB1.2<STB1.0<BH<リテラ

⑥ひげの短い順（ひげは異常値を1点でも含むと長くなる）：STB0.7<STB1.2<リテラ<STB1.0<BH

⑦BHのひげは1088kN/m²（最小112～最大1200 kN/m²）と大小両側へ極端に長く、高強度から低強度の供試体があることから固化材が十分に攪拌混合されていない可能性が高い。

一方、**図-6**は、施工ヤード毎に採取した27地点（試料）の混合土による供試体3本の平均一軸圧縮強度による箱ひげ図を示しており、各種施工機械毎の幅方向3地点、延長方向3地点、深さ方向3地点、全27地点のばらつき程度を示すものである。通常は、この図に示す3本の平均一軸圧縮強度が、室内で配合試験を行って得られた強度に対する（現場/室内）強度比を示すものである。なお、この**図-6**には、室内配合一軸圧縮強度（3本の平均873kN/m²）および設計図書（**表-6**参照）^{2),8)}による各施工機械毎の（現場/室内）強度比範囲（）を併記している。**図-6**から以下のことがわかる。

- ①**図-5**と同様に、中央値は、リテラが最も大きく、STB1.0が最も小さい。
- ②**図-5**と同様に、箱の高さは、STB0.7が最も短く、リテラが最も長い。
- ③**図-5**と同様に、ひげの長さは、STB1.0が最も短く、BHが最も長い。
- ④中央値の大きい順：リテラ>STB0.7>STB1.2>BH>STB1.0
- ⑤箱の短い順（27地点のうち中央値±25%のデータ数）：STB0.7<STB1.2<STB1.0<BH<リテラ
- ⑥ひげの短い順（ひげは異常値を1点でも含むと長くなる）：STB1.0<STB0.7<STB1.2<リテラ<BH

⑦BHのひげは987kN/m²（最小139～最大1126 kN/m²）と大小両側へ極端に長いことから、固化材が十分に攪拌混合されていない地点がある可能性が高い。

⑧リテラは多くの地点（27地点中11地点）で室内配合一軸圧縮強度（873kN/m²）を上回っている。

先にも述べたように、地盤改良において、混合精度が良いとは、強度が大きく、ばらつきの小さい（均質）地盤を形成することである。ここで、**図-4～6**の箱ひげ図を用いて行った混合精度の検証方法について一考する。

ばらつきのみを検証するのであれば、一軸圧縮強度の相対誤差を示した**図-4**の箱ひげ図が適当であるが、強度の大きさをまったく考慮できない。強度も重要な混合精度を示す指標であるので、**図**

表-6 各種混合機械の（現場/室内）強度比（粉体固化材混合方式）^{2),8)}

固化材の混合方式	改良の対象	施工機械	（現場/室内）強度比
粉体	軟弱土	スタビライザ	0.5～0.8 ²⁾
		バックホウ	0.3～0.7 ²⁾
		自走式	0.7～0.9 ⁸⁾
	ヘドロ 高含水有機質土	クラムシェル バックホウ	0.2～0.5 ²⁾

表-7 各施工機械の箱ひげ図データおよび統計データ一覧

施工機械	BH	STB1.2	STB1.0	STB0.7	リテラ	
箱ひげ図データ (kN/m ²)	最大値	1126	930	797	898	1194
	75%	742	735	689	764	976
	中央値	643	659	571	688	808
	25%	508	591	501	630	674
	最小値	139	390	397	439	616
	箱の高さ	234	144	188	134	303
	ひげの長さ	987	540	400	459	578
統計データ (kN/m ²)	平均値	645	665	590	696	837
	標準偏差σ	217	130	119	108	171
	変動係数	34	20	20	15	20
	±0.675σ（50%）	293	175	161	146	231
	±σ（68.3%）	434	260	238	216	343
	±2σ（95.4%）	569	619	549	659	777
	±3σ（99.7%）	1302	779	715	647	1028

-5, 6の一軸圧縮強度の箱ひげ図において、強度を中央値の大きさ、ばらつきを箱の高さあるいはひげの長さにより、判断するのが良いと考える。また、**図-5**は一軸圧縮強度全データについて箱ひげ図を作成しているため、強度が著しく異なる異常なデータ（たとえば、試料採取ミス、供試体作製時の人為的ミス、一軸圧縮試験時のミスなど）を1点でも含むとひげは極端に長くなってしまふ。したがって、混合精度を評価するには、各地点の平均一軸圧縮試験データで作成した**図-6**の中央値により強度、箱の高さあるいはひげの長さにより、あるいは**図-5**の全データの箱ひげ図を用いるのであれば中央値により強度、箱の高さによりばらつきを評価するのが妥当であろう。

表-7は**図-6**で使用した各施工機械の箱ひげ図のデータおよび統計データの一覧である。27のデータが正規分布をしていれば、箱ひげ図データと統計データの、中央値と平均値、箱の高さと平均値 $\pm 0.675\sigma$ 、ひげの長さと平均値 $\pm 3\sigma$ がおおよそ一致するはずである。この表によれば、

中央値 \approx 平均値

箱の高さ \approx 平均値 $\pm 0.675\sigma$

ひげの長さ \approx 平均値 $\pm 3\sigma$

であるため、施工ヤードの各地点の一軸圧縮強度は正規分布していない。詳細に観察すると、ほとんどが、箱の高さ $<$ 平均値 $\pm 0.675\sigma$ 、ひげの長さ $<$ 平均値 $\pm 3\sigma$ となっており、さらに箱の高さ、ひげの長さとも高強度側が大きくなっていることから、データ分布は正規分布よりもなだらかで右にスノが長い（強度が大きい）分布であると言える。しかしながら、概ね施工ヤードの各地点の混合精度は、**図-6**に示す箱ひげ図の中央値（ \approx 平均一軸圧縮強度）が強度を、箱の高さ、ひげの長さがばらつきを示しており、さらには強度の偏りについては中央値から上位、下位の長さ、長さにより判断できる。

4.2 (現場/室内) 強度比

前項では、混合精度を施工ヤード全体で施工機械毎に評価し、各地点の平均一軸圧縮強度（27データ）の箱ひげ図により、地盤改良の混合精度（強度およびばらつき）を検証するのが適当であることを示した。ここでは、各地点（3供試体の平均）の（現場/室内）強度比により、施工ヤードの幅方向、延長方向および深さ方向のデータを詳細に評価する。

図-7は、**図-6**（箱ひげ）で示された各地点の平均一軸圧縮強度（27データ）に対して、（現場/室内）強度比の頻度分布を示したものである。この頻度分布図からも、施工ヤード全体での施工機械毎の混合精度（強度およびばらつき）を視覚的に確認できる。

（現場/室内）強度比から現場での固化材添加量を決定する設計手法では、施工機械によって**図-6**の（ ）に示したように強度比範囲が異なる。ここでは、**表-6**に示すスタビライザの（現場/室内）強度比である0.5~0.8²⁾の範囲を3区分し、施工ヤードの幅方向、延長方向および深さ方向のデータを詳細に検証する。

各施工試験機毎に、施工ヤードの幅方向3地点（L, C, R）、延長方向3地点（A, B, C）、深さ方向3地点（表面付近、深さ15cm付近、深さ35cm付近）で採取した27地点（リテラは製造開始から20秒毎に9分までに製造される混合土を合計で27試料）の混合土による供試体3本の平均一軸圧縮強度による（現場/室内）強度比の3区分コンター図を**図-8**に示す。**図-8**から（現場/室内）強度比について以下のことがわかる。

①BHは他の施工機械に比べて全体的に強度比が小さい。

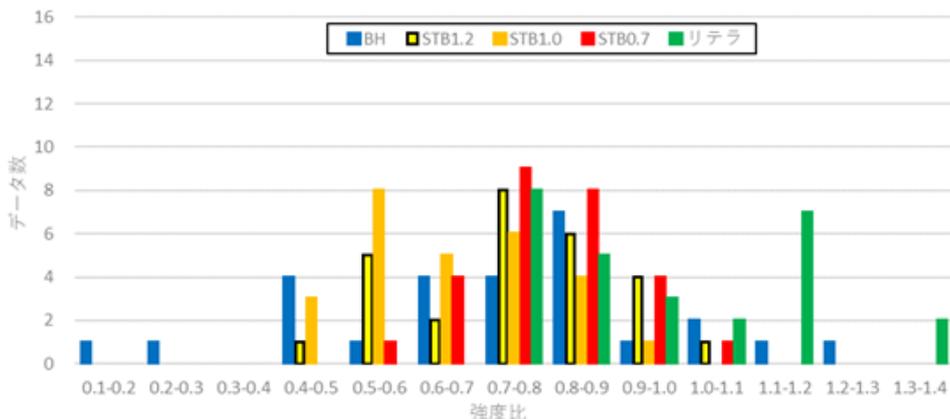


図-7 (現場/室内) 強度比の頻度分布図 (27地点：各地点3本の平均)

②スタビライザ3機種種の強度比は、他の地点と比べて、延長方向C地点が小さく、幅方向C地点が大きい。

③スタビライザの3機種を比較すると、STB0.7は全地点で強度比が0.5以上であり、STB1.2では1地点、STB0.7では2地点が0.5を下回る地点がある。

④リテラは全採取時間で強度比が0.5以上であり、27このデータの内11個が室内配合一軸圧縮試験結果を上回っており、その内の8個は混合土製造開始から2'40"までに採取された混合土である。

ここでさらに詳細に考察を行う。

1)リテラが高強度を示した要因

図-9に一軸圧縮強さと試験時の供試体含水比の関係および各施工機械毎の試験時含水比範囲を示す。表-4に示す自然含水比12.7%は6月2日(金)に採取・測定しており、3.1 1)にも記したように現場試験施工の間は晴天が続き、特にリテラの試験施工は最終日の6月20日(火)であり、他の施工機械試験施工時よりも含水比が低かったと考えられる。土質材料では、最適含水比よりやや低含水比において最高強度を示すことから、リテラ施工時の含水比が低かったことも高強度を示した要因の一つと考えられる。

2)スタビライザ施工で幅方向C地点の強度が大きい要因

スタビライザの攪拌混合は、機械後部のロータ攪拌歯によるものであり、このロータ部は表-1の仕様に示したように左右に500~650mmの移動が可能であり、必ずしもロータ部は機械の中心にある必要はない。また、混合部の攪拌歯の形状等から、ロータ部内において、STB1.2では均一な攪拌が可能であるのに対し、STB0.7、STB1.0では中心部に比べ端部の混合性がやや劣るという特徴がある。

図-8を機械別に詳細に見て、STB0.7、STB1.0では幅方向C地点の強度がR地点、L地点に比べて大きくなっているのは、施工機械の混合特徴によるものであると考えられる。

3)スタビライザ施工のなかではSTB0.7の強度比が大きい要因

スタビライザの3機種を比較すると、STB0.7は全地点で強度比が0.5以上であり、STB1.0、STB1.2に比較して全体的に強度比が大きい(図-6によれば箱の高さも一番短い)。スタビライザの攪拌混合は、機械後部のロータ攪拌刃によるもので、当然のことながら最大混合深さが大きくなるほど、ロータ部は大きく、刃は長くなる。

本試験施工は混合深さが60cmであったため、ロータ部の容量(STB0.7:3850cm³, STB1.0:7850cm³, STB1.2:

BH	A			B			C		
	R	C	L	R	C	L	R	C	L
上	0.85	1.09	0.84	0.66	0.79	0.96	0.47	0.78	0.78
中	0.82	1.17	0.84	0.15	0.48	0.45	0.81	0.88	0.64
下	0.81	1.06	0.74	1.00	0.80	0.23	0.49	0.69	0.70
STB1.2	A			B			C		
上	0.81	0.92	0.71	0.90	0.85	0.68	0.78	0.98	0.72
中	1.06	0.78	0.87	0.96	0.75	0.89	0.71	0.83	0.45
下	0.81	0.60	0.84	0.84	0.82	0.74	0.67	1.00	0.75
STB1.0	A			B			C		
上	0.91	0.89	0.79	0.78	0.85	0.59	0.57	0.72	0.53
中	0.83	0.80	0.62	0.48	0.59	0.64	0.45	0.84	0.65
下	0.77	0.60	0.69	0.80	0.87	0.83	0.58	0.87	0.79
STB0.7	A			B			C		
上	0.72	0.86	0.99	0.97	1.03	0.85	0.77	0.82	0.50
中	0.72	0.95	0.84	0.70	0.89	0.74	0.75	0.72	0.66
下	0.84	0.70	0.95	0.79	0.89	0.83	0.75	0.71	0.68

(a) BH, スタビライザ

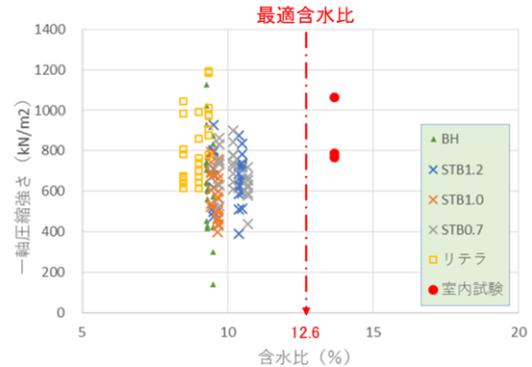
1									
1.153075	1.356243	1.367698	1.115893	1.004582	1.116838	1.037801	1.119129	0.892326	
20秒	40秒	1分	1分20秒	1分40秒	2分	2分20秒	2分40秒	3分	
2									
0.920544	0.773196	0.896907	0.750286	0.705613	1.124587	0.729668	1.196876	0.761741	
3分20秒	3分40秒	4分	4分20秒	4分40秒	5分	5分20秒	5分40秒	6分	
3									
0.983063	1.137457	0.852083	0.802978	0.875143	0.705613	0.845361	0.769759	0.736541	
6分20秒	6分40秒	7分	7分20秒	7分40秒	8分	8分20秒	8分40秒	9分	

(b) リテラ

図-8 (現場/室内) 強度比

凡例	強度比
STBの最低含水比	~0.5
STBの許容範囲内	0.5~0.8
STBの最高値以上	0.8~

コンター図



	BH	STB1.2	STB1.0	STB0.7	リテラ	室内試験
含水比 (%)	9.3~9.5	9.5~10.5	9.4~9.7	9.7~10.7	8.5~9.3	13.7

図-9 供試体含水比

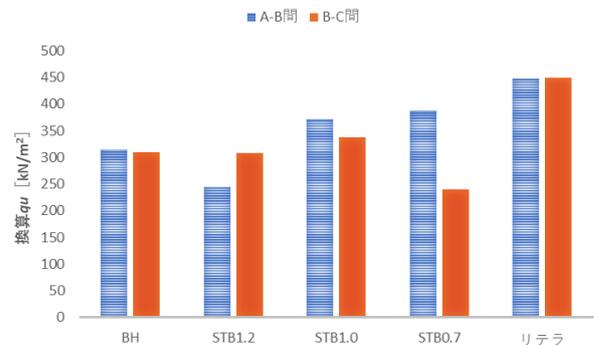


図-10 施工ヤード毎の簡易支持力測定による換算強度

11300cm³)は、STB0.7に比べSTB1.0は2倍、STB1.2は3倍になっており、容量が大きいほど混合時にロータ内の遊び(空洞部分)が大きくなるのが、STB1.0、STB1.2の強度比(図-6によれば均質性)を低下させた要因の一つと考えられる。

4.3 まとめ

砂質土地盤を施工ヤードとして、表層混合処理工法における各種施工機械(最大混合深さが異なる3種類のスタビライザ、自走式土質改良機、バックホウ)について混合精度(強度および均質性)の検証を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ・施工ヤード内の地盤強度分布は正規分布にはなっておらず、混合精度(強度および均質性)の検討には、地点毎に平均した強度による箱ひげ図が適している(図-6参照)。
- ・施工機械の比較では、リテラ(自走式土質改良機)による改良が最も強度を発揮し、スタビライザによる改良がばらつきは小さい。
- ・スタビライザ施工では、改良深さに合わない機械を使用することで改良精度が低下させる。(本研究とは直接関係しないが、これは機械やロータ部の攪拌刃の減価償却のことを考慮すれば、なおさらである。)
- ・スタビライザ施工では、ロータ部やキャタピラ位置を極力中央に保つべきである。
- ・バックホウ施工は、強度のばらつきが大きいことから固化材が十分に攪拌混合されていない可能性があるので注意を要する。
- ・混合精度検証の本研究とは直接関係しないが、必要な混合精度が得られるならば、施工効率の良い施工機械を使用し、改良時間を短縮すべきであろう。

5. 簡易支持力測定試験結果

3.2に記したように、混合精度実証実験用の試料を採取した後、10tonタイヤローラーで8回転圧して、地盤を整地している。施工ヤードでは、改良前(原地盤)・地盤改良後(1日後、7日後、28日後)に、試料採取場所以外の場所(A-B地点、B-C地点の中間点)において、キャスポルを用いて簡易支持力測定試験を実施している。参考のために、図-10に施工機械毎に地盤改良から7日後の換算一軸圧縮強さ(試験を5回実施他平均値)を示す。この結果は、概ね図-6で示した④中央値の大きい順：リテラ>スタビライザ>BHの結果と一致する。

6. おわりに

本研究は、砂質土地盤を施工ヤードとして、表層混合処理工法における各種施工機械(最大混合深さが異なる3種類のスタビライザ、自走式土質改良機、バックホウ)について混合精度(強度および均質性)の検証を行い、4.3に示したような成果を得た。今後は、粘性土、有機質土、ローム等の軟弱な土質材料についても、混合精度検証試験を計画(一部実施済み)しており、土質の違いによる施工機械毎の混合精度を評価する予定である。

参考文献

- 1) (株)産業技術サービスセンター：第3編工法編第1章表層処理工法第2節表層混合処理工法，実用軟弱地盤対策技術総覧，pp.629～631，1993.12.
- 2) (財)セメント協会：4 浅層改良，セメント系固化材による地盤改良マニュアル第4版，pp.105～140，2012.10.
- 3) (財)セメント協会：「セメント系固化材による改良体の強さ試験方法」，2006.
- 4) KOMATSU：GALEO BZ210-1 カタログ，(株)小松製作所製. No.DJSS645101.
- 5) TOYO SUTABI：STB360C(0.7)，(1.0)，(1.2)カタログ，(株)東洋スタビ，2016.5.
- 6) (一)建設物価調査会：国土交通省土木工事積算基準，2019年度版，2019.
- 7) (株)浅沼組・(株)マルイ：「地盤改良」に関わる技術評価証明報告書(第2回更新版)，(公)日本材料学会，p.44，2012.2.
- 8) KOMATSU：リテラ設計・技術資料，2010.9.