

汚泥改良システムの開発 DEVELOPMENT OF SLUDGE PROCESSING SYSTEM

鏡田昌孝*・桂川哲行**

By Masataka KAGAMIDA and Tetsuyuki
KATSURAGAWA

1. はじめに

建設現場などから発生する大量の汚泥は、環境への配慮や用地確保など様々な面で大きな問題となりつつあり、「処理処分過程の管理」や「資源としての再活用」などの指導（平成3年10月施行のリサイクル法など）が急速に強化されてきている。当社では、このような状況に対応するための一環として、高濃度浚渫の研究開発を進めており実用段階に入っている。しかし、搬出される浚渫汚泥は、運搬・処分といった立場からみると高含水の状態であるため、その性状改善技術が強く望まれている。さらに再利用の観点からは、浚渫汚泥を改良し客土や盛土などへの有効利用が可能となるシステムが求められている。また、同様の理由から、シールド工事など地下掘削工事においても、そこから発生する汚泥（産廃対象土）を一般残土並みに改良処理する技術が望まれている。

これらのニーズに対応する技術の一つとして、汚泥を連続的に固化改良することにより土砂搬出時の運搬性を向上したり、埋め立てた場合にも所定の強度を確保する方法が有望視されている。このため、当社では適応範囲の広い連続固化改良処理装置の開発と、これを核とした改良工法の確立を目標に研究開発を進めてきた。そして、今回、新しく土砂改良システム「DEI-KON SYSTEM」を開発した。

2. 「DEI-KON SYSTEM」の概要

「DEI-KON SYSTEM」の処理概念を図-1に示す。本システムは、掘削工事から発生する軟泥や高濃度浚渫土などの高含水土を処理目的に応じた改良材と連続固化改良処理装置により改良処理するものである。改良材には、主に、塑性化材、固化材、軽量化材の3種類を用いている。塑性化処理では、流動性の高い土砂の運搬性を向上させることができ、処理直後に車両やベルトコンベアによる運搬が可能となる。固化処理では、処理土に所定の強度を発現させることにより、盛土材や路盤材等への再利用が可能となる。軽量化処理では、固化材と軽量化材を併用して混合することにより処理土に強

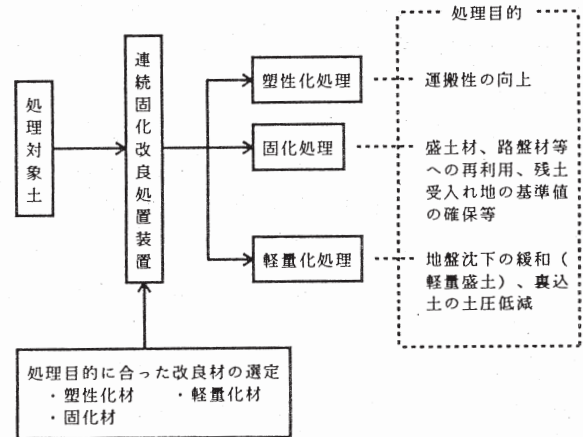


図-1 「DEI-KON SYSTEM」処理概念図

度を発現させると共にその重量を減少させることができる。そのため、処理土を盛土や構造物の裏込土に利用する場合には、盛土の際に生ずる地盤沈下の緩和や裏込土圧の低減を図ることができる。その他に、処理土の運搬性の向上を図るとともに所定の強度を確保するといった塑性化処理と固化処理も両方の改良材を併用することにより可能となる。

3. 連続固化改良処理装置とその特徴

連続固化改良処理装置とその処理概念をそれぞれ写真-1および図-2に示す。本装置は、主に土砂ホッパー、2つの改良材ホッパー、土砂および改良材フィーダ（スノーシューバ）、および二軸パドルタイプのミキサーから構成されている。そして、土砂ホッパー内に投入された土砂を土砂フィーダにより二軸ミキサー内に定量供給するとともに改良材ホッパー（図-2中の無機系ホッパーもしくは高分子系ホッパー）から目的に応じて1種類あるいは2種類の改良材を添加し攪拌混合処理するものである。

土砂フィーダ（スノーシューバ）の断面を図-3に示す。土砂フィーダは、中央の星型のローターが回転することにより、凹部に入った土砂を下の二軸ミキサーに供給するバッチ式処理になっている。また、ローターの下には土砂掻き取り装置が装備されており、凹部に付着した土砂を取り除く仕組みになっている。そのため流動性の高い土砂や付着性の強い粘性土に対しても安定した供

*、**東洋建設(株)技術本部技術開発部（〒101 東京都千代田区神田錦町 3-7-1）

給能力を有している。

現在、本装置には時間当りの標準処理能力が8m³（008タイプ）、15m³（015タイプ）、および30m³（030タイプ）の3種類がある。それらの寸法および重量を表-1に示す。いずれのタイプも組立不要な可搬式で、

占有面積は6~8m²、容積は15~23m³と少ないスペースで施工が可能であり、用地確保の困難な都市土木や高さ制限のある施工場所への導入が検討しやすくなっている。



写真-1 連続固化改良処理装置（030タイプ）

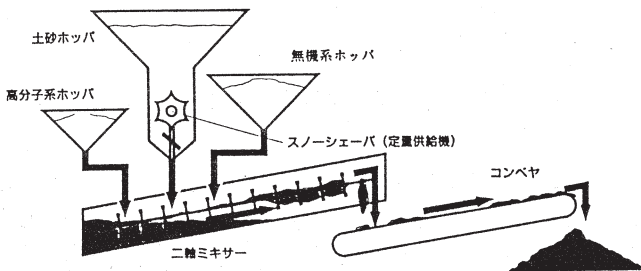


図-2 連続固化改良処理装置概念図

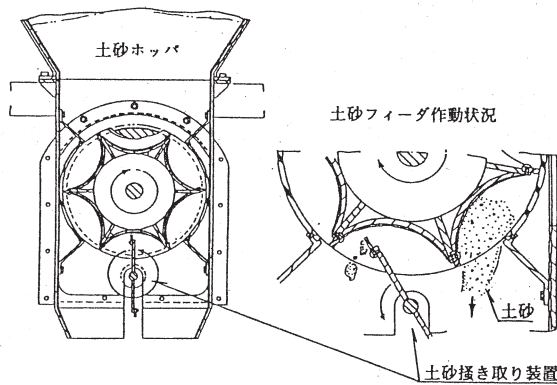


図-3 土砂フィーダ（スノーシェーバ）断面図

表-1 連続固化改良処理装置の寸法および重量

タイプ	時間当りの処理能力(m ³ /h)	寸法(mm)			占有面積(m ²)	容積(m ³)	重量(kg)
		幅	長さ	高さ			
008	8.0	1950	3000	2550	5.9	14.9	2880
015	15.0	2000	3650	2920	7.3	21.3	3840
030	30.0	2000	3750	3050	7.5	22.9	4880

4. 改良材とその特徴

本システムで使用する改良材の一般的な特徴を表-2、3に示す。改良材はいずれも市販品で、塑性化処理には高分子系改良材、固化処理にはセメント系・石灰系改良材、軽量化処理にはEPSビーズ（発泡スチロールビーズ）および気泡材を用いている。それらの改良材のうち高分子系改良材による塑性化機構を図-4に示す。高分子系改良材は土砂と混合すると、土砂中の水分と反応して土粒子表面を被覆する。そして、被覆された土粒子が団粒化するとともに土砂中の自由水を保水すると考えられる。高分子系改良材により処理された土砂を写真-2に示す。改良前の流動性の高い土砂が改良後見掛け上含水比が低下し塑性化されたのがわかる。

表-2 高分子系改良材およびセメント系・石灰系改良材の一般的な特徴

成分	有機系	無機系
	高分子系	セメント系・石灰系
一般的な添加量(土砂1m ³ 当たり)	1~5kg	20~100kg
適用土質	砂質土に適するが粘性土でも使用可能	広範囲の土質に適用の可能性がある
改良時間(ダンプ車で搬出可能な程度)	数十秒程度	30分程度
改良土性状	塑性化されるが、強度は期待できない。(強度増加のためにセメントを添加する場合もある)	添加量を増やすと改良強度が増大する。(qu=0.5~10kg/cm ²)
	中性土	強アルカリ土

表-3 軽量化材の一般的な特徴

製品名	特徴
発泡スチロールビーズ(三菱油化)	密度10kg/m ³ 、圧縮強度1.0kg/cm ² 、粒径2~3mm、不燃性。密度は種々のものがあり、其にともない圧縮強度も異なる。
起泡剤プロフォーム(瀬川工業)	セメント気泡剤(蛋白系)。セメントをはじめ、骨剤の人工、天然等を問わず沈殿、分離はせず安定し、セメントの凝結硬化を妨げない。

土砂を改良する場合、目的に応じた改良材を選定する必要がある。しかし、高分子系改良材およびセメント系・石灰系改良材は多種多様なものが販売されている。その中から数種類の改良材を選定し室内配合試験により改良効果を比較した(表-4参照)。使用した土砂は、含水比が170%、粒度がシルト分以下95%の有機質土である。

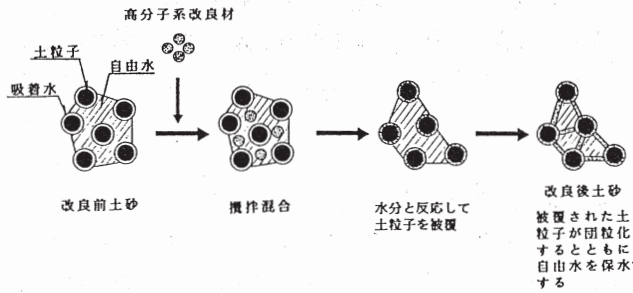


図-4 高分子系改良材による塑性化機構

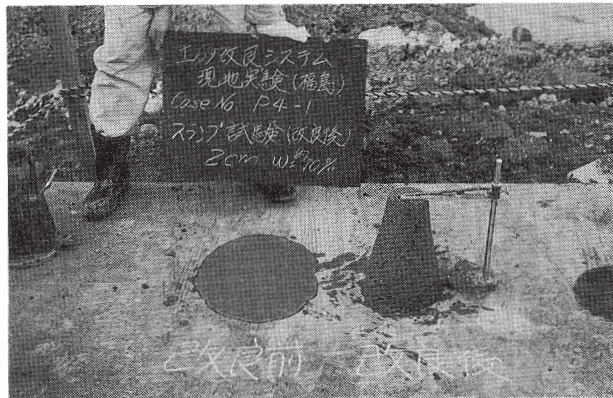


写真-2 高分子系改良材による処理土

高分子系改良材はセメント系・石灰系に比べ発現強度が低い。一方、セメント系や石灰系改良材は同じ種類のものであっても製品やその添加量により強度が大きく異なっている。また、高分子系改良材とセメント系改良材を併用したサンドロックSH100+ソイルフィックス20とソイルフィックス20のみを用いた場合とを比較するとソイルフィックス20の添加率が12%でもサンドロックSH100を併用することで強度が約1.7倍に増加している。このように改良効果は、使用する改良材や対象とする土砂の性状により大きく異なると推定される。そのため、本システムでは改良材の選定およびその添加量は施工前の室内配合試験により決定することとしている。

表-4 室内配合試験による各種改良材の比較

改良材名称		一軸圧縮強度(kg/cm ²) 材各1日				備考	
固 化	セメント系	添加率(%)	8.0	12.0	16.0	20.0	混合直後の改良効果は、最終で期待される。
	UKC-C (宇部興産)	0.44	1.10	1.92	2.35		
	CS-23 (日本セメント)	0.44	1.05	2.48	3.41		
	ソイルフィックス20 (秩父セメント)	1.05	2.48	3.59	8.42		
石 灰 系	添加率(%)	8.0	12.0	16.0	20.0	混合時に発熱作用がある。	
	グリーンライムLC-E (日本石灰工業)	0.62	0.87	1.05	1.80		
	ESC-L50 (大阪セメント)	0.87	1.18	1.24	1.67		
塑 性 化	高分子系	添加率(%)	0.3	0.5	1.0	高水分系は、最終強度は期待できない。	
	クリサットC101 (栗田工業)	≒ 0	0.06	0.06		高水分系は、最終強度は期待できない。	
	エルフレッシュK200 (日産化学)	≒ 0	≒ 0	≒ 0		高水分系は、最終強度は期待できない。	
	サンドロックSH10 (三洋化成工業)	0.06	0.09	0.12		高水分系は、最終強度は期待できない。	
混 合 型 固 化	添加率(%)	①0.2 + ②12.0				混合直後の強度は期待される。	
	①サンドロックSH100 + ②ソイルフィックス20	4.21					

5. 検証実験

5.1 土質条件

本システムを検証するために平成3年11月に北海道茨戸川土捨場において浚渫土を対象として、また、平成3年12月には福島県内の残土処分地において、推進工事現場から搬出された掘削土砂を用いて現地実験を行った。各現場での改良対象土の性状を表-5に示す。実験では原泥に加水し土砂の含水比を変化させ改良土の性状を調べた。

表-5 各実験の土質性状

改良対象土	北海道茨戸川浚渫土	福島県内推進工事掘削土砂		
	試料土番号	A	B	C
粒度分布(%)	4分(2000μm以上)	0	41.8	19.7
	砂分(74~2000μm)	43.1	40.3	49.5
	シルト分(5~74μm)	33.2	8.9	26.8
	粘土分(5μm以下)	23.7	9.0	4.0
コンシステンシー(%)	液性限界	49.5	NP	NP
	塑性限界	27.1	NP	NP
	塑性指数	22.4	NP	NP
土粒子真比重	2.62	2.66	2.70	
含水比(%)	51.8	29.5	39.1	
強熱減量(%)	7.3	2.1	3.5	
湿潤密度(g/cm ³)	1.72	1.98	1.86	

5.2 塑性化処理

高分子系改良材による改良結果を表-6に示す。改良効果の測定方法には、塑性度の測定にはスランプ試験(JIS A1101準拠)を、また、ダンプトラック等での運搬中の練り返しによる流動化を調べるためにフロー試験(JIS R5201準拠)を選定した。1~3kg/m³程度の添加量で一般残土並に運搬が可能な程度の塑性化が図れたことがわかる。

5.3 固化処理

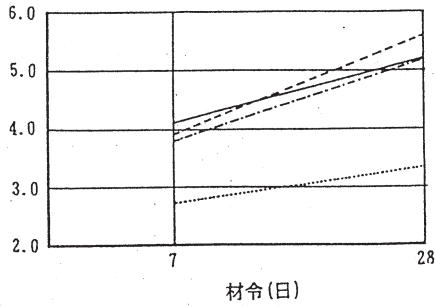
固化処理では、土砂と改良材との混合性を評価することを目的とし、二軸ミキサーの回転数による混合効率(本システムと室内配合試験の発現強度の比率)の変化を調べた。室内配合試験では、ソイルミキサーを用い3分間攪拌したものを試料とした。本システムと室内配合

試験の一軸圧縮強度を図-5に示す。改良材にはセメント系改良材を使用し、添加量は、ダンプトラックの走行可能な状態を想

表-6 高分子系改良材による改良結果

RUN	試料土番号	含水比(%)	添加量(kg/m ³)	スランプ値(cm)	
				改良前	改良後
1	A	53.0	1.0	25.0	3.6
2			3.0		0.5
3			5.0		0.5
4			1.0	25.0	7.0
5			3.0		3.0
6			5.0		2.0

一軸圧縮強度 q_u (kg/cm²)



試料土		A
土砂含水比(%)		53
セメント系改良材添加量 (kg/m ³)		100
RUN	ミキサー回転数 (rpm)	
7	90	
8	120	
9	150	
室内配合試験		

図-5 セメント系改良材による改良結果

定し一軸圧縮強度 $q_{u28} \geq 2.4 \text{ kg/cm}^2$ を確保するために必要な量とした。ミキサーの回転数を120rpm程度に設定することで混合効率が90%以上となり効率の良い攪拌混合が可能となることがわかる。

表-7 EPSビーズによる改良結果

RUN	試料土番号	含水比 (%)	セメント添加量 (kg/m ³)	EPSビーズ添加率 (Vol%)	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)		単位体積重量 (g/cm ³)	
					σ_7	σ_{28}	実験値	計算値
10	A	50.5	100	0	9.03	9.48	1.72	—
11				4.2	7.74	9.83	1.65	1.65
12				6.7	5.87	1.61	1.61	1.60
13	B	30.0	50	0	8.86	11.5	1.93	—
14				45.0	1.30	1.71	1.33	1.34

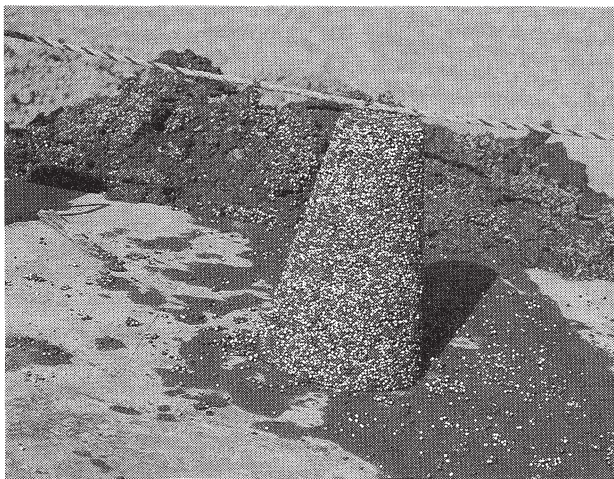


写真-3 EPSビーズによる処理土

表-8 気泡材による改良結果

RUN	試料土番号	含水比 (%)	セメント添加量 (kg/m ³)	気泡材添加率 (Vol%)	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)		単位体積重量 (g/cm ³)
					σ_7	σ_{28}	
15	C	49.0	100	0	2.95	4.66	1.720
16				26.0	1.68	2.20	1.494
17				37.0	1.30	1.71	1.360
18				54.0	0.21	0.39	1.256
19	C	57.0	100	0	1.23	1.62	1.660
20				26.0	0.69	0.93	1.494
21				37.0	0.55	0.72	1.257
22				54.0	0.28	0.42	0.994

5.4 軽量化処理

軽量化処理では、軽量化材単独では処理土の流動性や強度は改善されないためセメント系改良材を併用し、軽量化材と土砂の混合性を調べた。

セメント系改良材およびEPSビーズによる改良結果を表-7に示す。表中の単位体積重量の計算値は、EPSビーズが圧縮しないと仮定して算定したものである。表-7より、一軸圧縮強度はEPSビーズの添加量が多くなるほど低くなっている。また、改良後の単位体積重量の計算値と実験値とは良好な一致を示しておりEPSビーズが土砂とよく混合されたと考えられる。目視によってもその混合性は確認された(写真-3参照)。

気泡材についてもEPSビーズと同様の理由によりセメント系改良材を併用した。セメント系改良材および気泡材による改良結果を表-8に示す。また気泡材添加率と一軸圧縮強度および単位体積重量の関係を図-6、7に示す。図-6より、一軸圧縮強度は気泡材添加率が増加するとほぼ直線的に減少している。その勾配は土砂の含水比が低いほど大きい。また図-7より、単位体積重量は気泡材の添加率が増加するにつれて小さくなるが、含水

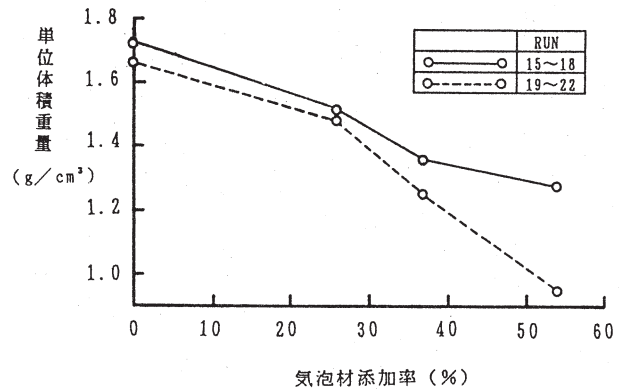


図-6 気泡材添加率と単位体積重量の関係

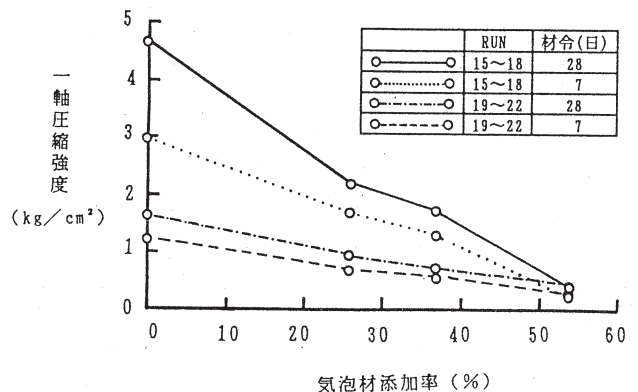


図-7 気泡材添加率と一軸圧縮強度の関係

比が低いほどその減少量は小さい。このことは、改良対象土の含水比が気泡の形成に大きく影響することを示唆する。よって、施工に際しては室内実験により改良土の性状を十分に検討する必要がある。

6. おわりに

連続固化改良処理装置を核とした土砂改良システムを開発しその確認実験を行った。今後は本システムとその前後工程となる処理対象土砂の供給方法、処理済み土砂の搬送方法、その組み合わせ、工法としての確立を図るとともに、処理能力、改良目的、用途等さまざまな要求に対応できるようシステムの充実を図っていく予定である。