

# 掘削された流動化処理土が再生利用時の力学特性に与える影響

福岡大学 工学部 正会員 ○藤川 拓朗  
福岡大学 工学部 正会員 佐藤 研一  
福岡大学大学院 学生会員 久富 優二

## 1. はじめに

建設発生土の有効利用技術である流動化処理土<sup>1)</sup>は、流動性に優れ複雑な管路や狭小な部分への埋戻し材として利用されることが多い。しかしながら、これら埋設管等の埋戻し材として利用された場合、インフラ整備、維持修繕、災害復旧などに伴い将来的に再び掘削されることを視野にいれておかねばならない。その際、掘削された流動化処理土（以後、掘削処理土）が有効利用されずに処分されてしまえば、処分場延命化のための単なる一時的な回避にしかならない点に十分注意が必要である。本研究では、管路等の埋戻し材として用いられた流動化処理土が維持修繕に伴い再掘削された際に、再び流動化処理（以後、再生流動化処理）を施し、再生利用することを目的としている<sup>2)</sup>。本報告では、掘削処理土が再生流動化処理土の力学特性に与える影響について報告する。

## 2. 実験概要

**2-1 流動化処理土** 表-1に示す各々の建設発生土に、水、高炉セメントB種を混ぜ合わせホバートミキサーを用いて処理土を作製した。その際、処理土1m<sup>3</sup>あたりのセメント量を所定量に固定し、フロー値が250±20mになるように配合を決定した。その後、作製した試料のフロー値(JHS A 313-1992)、湿潤密度、ブリーディング率(JSCE-1986)を測定し、直径φ5×高さh10(cm)の塩ビ製モールドに打設した。翌日整形、翌々日に脱型し、ラップに包み20℃一定の恒温室で養生

表-1 試料の物理特性

試料名	第4種建設発生土	泥土a	泥土b
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.608	2.664	2.620
含水比 (%)	30.2	34.2	21.3
塑性指数 I <sub>p</sub>	29.25	25.3	13.8
コーン指数 (kN/m <sup>2</sup> )	302	104	60

させ、養生7、28日経過後にそれぞれ一軸圧縮試験(JIS A 1216)を行った。作製した流動化処理土の配合および得られた品質管理値を表-2に示す。

表-2 流動化処理土の配合と品質管理結果

使用した建設発生土	セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	建設発生土 (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C	フロー値 (mm)	Br率 (%)	湿潤密度 (t/m <sup>3</sup> )	q <sub>u7</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	q <sub>u28</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
第4種	125	660	706	5.7	260	0.51	1.491	132	425
泥土a	75	780	683	9.1	250	0.13	1.538	150	331
泥土b	75	1030	586	7.8	260	1.00	1.681	172	309
品質基準					>160	<3	>1.35	>130	<500

**2-2 再生流動化処理土** 流動化処理土を容器に打設し所定の養生経過後（4種及び泥土aについては28日、泥土bについては28日・300日経過後）に掘削し、プラスチックハンマーを用いて9.5mm以下になるまで破碎したものを土質材料として使用した。表-3にそのときの掘削処理土の物理特性を示す。

表-3 掘削処理土の物理特性

流動化処理土作製時の条件	打設から掘削までの日数 (日)	掘削後の物理特性		
		土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 (%)	塑性指数 I <sub>p</sub>
第4種+C=125kg/m <sup>3</sup>	28	2.588	95.8	28.0
泥土a+C=75kg/m <sup>3</sup>	28	2.656	79.8	28.6
泥土b+C=75kg/m <sup>3</sup>	28	2.644	55.0	20.7
泥土b+C=75kg/m <sup>3</sup>	300	2.588	47.6	N.P.

なお、再生流動化処理土の作製および品質管理は、流動化処理土作製時と同様な手順と方法で行っている。作製した再生流動化処理土の配合および品質管理値を表-4に示す。今回、流動化・再生流動化処理土ともに用いるセメント量を固定し、初期のセメント添加量が再生流動化処理土の力学特性に与える影響について検討を行った。

表-4 再生流動化処理土の配合と品質管理結果

使用した土質材料	セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	建設発生土 (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C	フロー値 (mm)	Br率 (%)	湿潤密度 (t/m <sup>3</sup> )	q <sub>u7</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	q <sub>u28</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
第4種 C=125kg/m <sup>3</sup>	100	508	771	7.71	250	0.33	1.379	86	190
	125	500	766	6.13	250	0.21	1.391	119	283
	150	490	761	5.08	240	0.06	1.401	178	396
泥土a C=75kg/m <sup>3</sup>	50	525	790	15.1	260	0.64	1.365	64	162
	75	510	788	10.5	260	0.48	1.373	109	258
	100	480	791	7.9	270	0.39	1.371	286	633
泥土b C=75kg/m <sup>3</sup>	50	770	693	13.9	240	0.80	1.513	91	195
	75	750	692	9.2	260	0.55	1.517	42	247
	100	700	703	7	250	0.49	1.503	241	718
泥土b C=75kg/m <sup>3</sup>	50	824	665	13.3	255	0.02	1.539	87	196
	75	821	658	8.78	240	0.00	1.554	242	542
	100	810	654	6.54	230	0.00	1.564	424	892

## 3. 実験結果および考察

**3-1 流動化・再生流動化処理土の力学特性** 図-1に流動化処理土と再生流動化処理土の7日養生から28日養生にキーワード 流動化処理土, 再生利用, 建設発生土, 一軸圧縮試験, 強度発現, 微視的構造観察

連絡先 〒8140-0180 福岡市城南区七隈8丁目19-1 福岡大学工学部 TEL:092-871-6631

にかけての強度発現の関係, 図-2 に変形係数と一軸圧縮強さの関係を示す. なお図中のプロットには, これまで本研究で検討してきた流動化・再生流動化処理土の結果<sup>2)</sup>も一部反映させている. 図中に示す凡例の LSS は流動化処理土, Re-LSS は再生流動化処理土を意味している. 流動化処理土と再生流動化処理土の設計強度に用いられる養生 28 日までの強度発現や処理土の剛性は, いずれも相関性が良く概ね同じ傾きを持つ一次式で表されることが分かる.

**3-2 流動化処理土作製に用いたセメントが再生流動化処理土の強度発現に与える影響**

図-3 に長期養生における流動化・再生流動化処理土の一軸圧縮試験結果を示す. 養生 28 日までにおいては, 両者の圧縮強度に差異は見られないものの, 再生流動化処理土は 28 日以降も著しい強度発現が見られた. また, 図-4 は流動化処理土が掘削されるまでの日数の違いが強度発現に与える影響について検討したものである. 結果より流動化処理土を掘削するまでの養生日数の違いが再生流動化処理土の強度発現に与える影響は少ないことが分かる. ここで, 再生流動化処理土の長期的強度発現のメカニズムを解明すべく, 走査型電子顕微鏡を用いてセメント水和生成物の微視的構造観察を行った(写真-1). 流動化及び再生流動化処理土ともに針状結晶のエトリンガイト ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ) が確認され, それらは再生流動化処理土に多く見られた. しかしながらエトリンガイトは間隙質( $C_3A$  及び  $C_4AF$ )と石膏の水和によって生成される結晶で, 主に養生初期の強度発現に寄与するものである. したがって, 両者の養生 28 日までの一軸圧縮強さに差がないことから, 流動化処理土に含まれていたエトリンガイトが併さって観察されたものと推察される. 他の要因として, 流動化・再生流動化処理

土作製に用いた主材に着目すると, 再生流動化処理土作製時に用いる掘削処理土にはセメントの水和生成物が含まれているため, 流動化処理土作製時に用いる建設発生土と比べアルカリ分を多く含んだ状態であると言える. これに固化材として高炉セメントを用いていることから, スラッグの潜在水硬性が卓越したと考えられる. 以上の結果, 再生流動化処理土の長期的強度発現の主要因は, 処理土作製に用いる土質材料の違いに起因していると考えられる.

**4. まとめ** 同一セメント量における流動化・再生流動化処理土の養生 28 日までの強度発現及び剛性は概ね等しいものの, スラッグの潜在水硬性の卓越により再生流動化処理土の強度は流動化処理土と比べ長期的に強度が増加する.

**参考文献** 1) 久野悟郎:「土の流動化処理工法」技報堂出版, pp.205, 1997. 2) 藤川拓朗・佐藤研一:掘削処理土および再生流動化処理土の力学・溶出特性, 土木学会論文集 C, Vol. 65, No.4, pp.963-976, 2009.

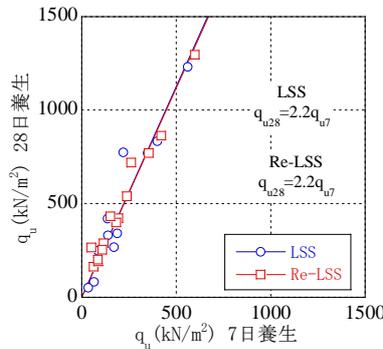


図-1 流動化・再生流動化処理土の強度発現

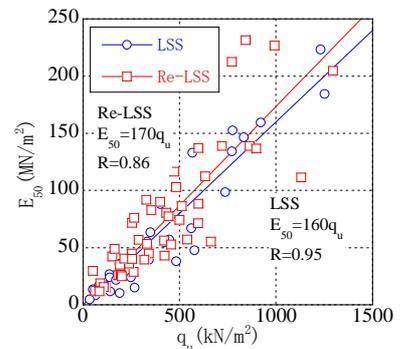


図-2 流動化・再生流動化処理土の変形係数と一軸圧縮強さの関係

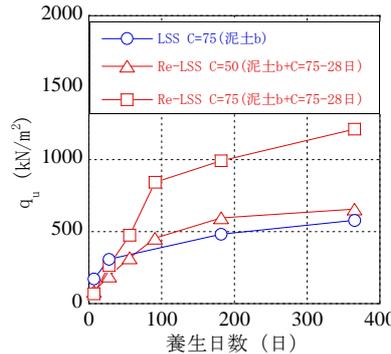


図-3 長期養生日数と一軸圧縮強さの関係

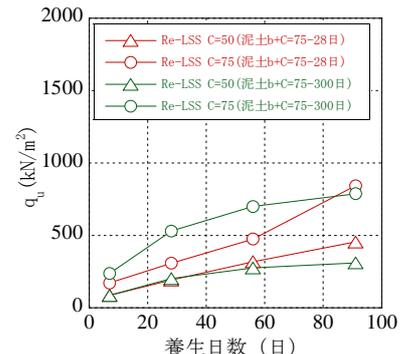
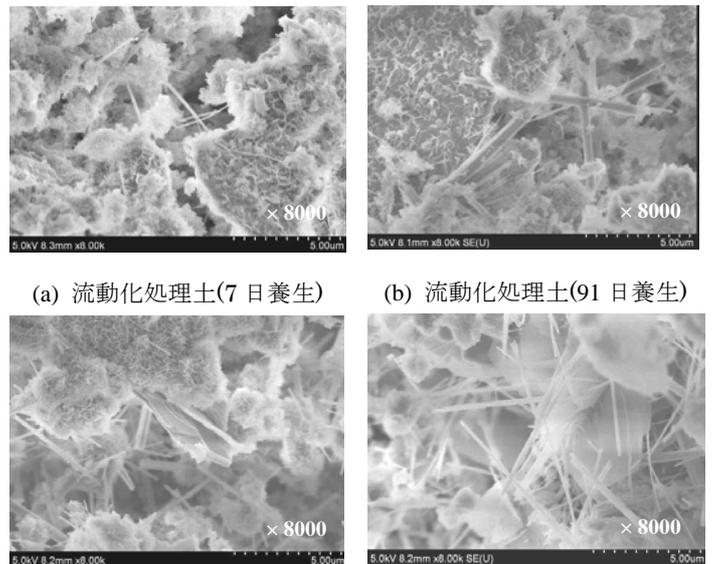


図-4 掘削日数に着目した長期養生日数と一軸圧縮強さの関係



(a) 流動化処理土(7日養生) (b) 流動化処理土(91日養生)  
(c) 再生流動化処理土(7日養生) (d) 再生流動化処理土(91日養生)

写真-1 流動化・再生流動化処理土の SEM 画像