

掘削された流動化処理土の再生利用を考えた再生流動化処理土の力学特性

福岡大学大学院 学生会員 大住隼斗 福岡大学工学部 学生会員 久富優二
 福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 福岡大学工学部 正会員 藤川拓朗

1.はじめに 流動化処理工法¹⁾は処理土の流動性を生かし、地下鉄、共同溝、埋設管等の埋戻し材料として多く利用されている。しかしながら、その中で水道管、ガス導管等といったライフラインの埋戻し材に流動化処理土を用いた場合、その維持修繕に伴い、数年後には掘削される可能性が十分に考えられる。ここで、それら掘削された流動化処理土が再利用・再生利用されなければ、これまでの有効利用が単なる一時凌ぎとなってしまう。そこで本研究では、掘削された流動化処理土（以後、掘削流動化処理土）に再び流動化処理を施し（再生流動化処理土と定義する）有効利用を行う方法を提案しその評価を行った。

2.実験概要

2-1 実験に使用した試料 流動化処理土

の作製に使用した試料の物理特性を表-1に示す。建設発生土は、建設工事に伴い発生した3種類の建設発生土を用いた。

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 (kg/m ³)	2.608	2.664	2.620
含水比 (%)	30.2	34.2	21.3
塑性指数 _p	29.25	25.3	13.8
コーン指数 (kN/m ²)	302	104	60

泥土については2種類用いているため、本報告ではそれぞれ泥土a、泥土bと区別する。各試料の粒径加積曲線を図-1に示す。

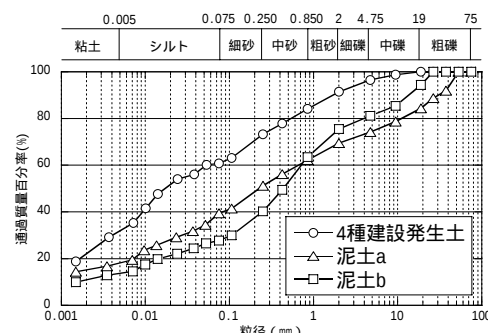


図-1 試料の粒径加積曲線

2-2 流動化処理土 流動化処理土の作製方法は、水、各建設発生土、高炉セメントB種を

ホバートミキサーで混合攪拌し、設定したセメント量に対し、フロー値が250±20mm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させた。養生後は7, 28日経過後にそれぞれ一軸圧縮試験を行った。

表-2 埋戻し基準を満たした流動化処理土の配合条件および品質管理結果

使用した建設発生土	配合条件				品質管理結果				
	セメント量 (kg/m ³)	建設発生土 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	W/C	フロー値 (mm)	Br率 (%)	湿潤密度 (t/m ³)	q _u -7日 (kN/m ²)	q _u -28日 (kN/m ²)
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	265
品質基準					160以上	3未満	1.3以上	130以上	500未満

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させた。養生後は7, 28日経過後にそれぞれ一軸圧縮試験を行った。

表-3 掘削流動化処理土の物理特性

流動化処理土作成時の条件	打設から掘削までの日数 (日)	掘削後の物理特性				文中での表記
		土粒子密度 (kg/m ³)	含水比 (%)	塑性指数 _p	コーン指数 (kN/m ²)	
第4種 C=125kg/m ³	28	2.588	95.8	28.0	N.D.	掘削土A
泥土a C=75kg/m ³	28	2.718	79.8	28.6	943	掘削土B
泥土b C=75kg/m ³	28	2.644	55.0	20.7	1036	掘削土C
泥土b C=75kg/m ³	300	2.588	47.6	N.D.	5250	掘削土D

Cはセメントを表す

2-3 掘削流動化処理土 本研究で検討を行った結果、埋設管の埋戻しを考えた流動化処理土の埋戻し基準²⁾を満たす配合条件は表-2に示すように、第4種建設発生土を用いた場合にはセメント添加量125kg/m³、泥土a、泥土bの場合では75kg/m³であることが明らかになった。掘削流動化処理土は、この埋戻し基準を満たした配合条件における処理土を容器内に打設し28日後に掘削し解砕したものとした。ここで、打設から掘削までの日数を主に28日とした理由は、流動化処理土は時間経過に伴う強度増加を考慮して、一般的に28日材齢時の一軸圧縮強度で評価される³⁾ためである。また、比較のため打設後300日経過した流動化処理土の掘削も行った。解砕は、コーン指数試験（JIS A1228）で定められた粒径³⁾（9.5mm以下）になるまでプラスチックハンマーを用いて行った。その後、物理試験を行った結果を表-3に示す。

2-4 再生流動化処理土 再生流動化処理土の作製方法は水、掘削流動化処理土、セメントをホバートミキサーで5分間混合攪拌し、流動化処理土と同様に供試体を作製し試験を行った。また、掘削流動化処理土は9.5mm以下になるまで、プラスチックハンマーを用い破砕を行ったものを使用した。

表-4 再生流動化処理土の配合条件および品質管理結果

使用した土質材料	配合条件				品質管理結果		
	セメント量 (kg/m ³)	掘削土 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	W/C	フロー値 (mm)	Br率 (%)	湿潤密度 (t/m ³)
掘削土A	100	508	771	7.7	250	0.33	1.379
	125	500	766	6.1	250	0.21	1.391
	150	490	761	5.1	240	0.06	1.401
掘削土B	50	525	790	15.1	260	0.64	1.365
	75	510	788	10.5	260	0.48	1.373
	100	480	791	7.9	270	0.39	1.371
掘削土C	50	770	693	13.9	240	0.80	1.513
	75	750	692	9.2	260	0.55	1.517
	100	700	703	7.0	250	0.49	1.503
掘削土D	50	824	665	13.3	255	0.02	1.539
	75	821	658	8.8	240	0.00	1.554
	100	810	654	6.5	230	0.00	1.564

表-4 に本研究で検討を行った再生流動化処理土の配合条件および品質管理結果を示す。再生流動化処理土は流動化処理土に比べ湿潤密度が低くなる傾向にある。これは、再生流動化処理土作製に用いた掘削流動化処理土の含水比が建設発生土と比べて高いことと、解泥に伴う単位水量の増加が起因していると考えられる。

3. 実験結果及び考察

3-1 再生流動化処理土の力学特性 図-2

に流動化処理土と再生流動化処理土の水セメント比 W/C と 28 日養生時の一軸圧縮強さ q_u の関係を示す。図は、流動化処理土と再生流動化処理土を比較するため、これまで本研究で検討を行ってきた流動化処理土の結果⁴⁾と、今回作製した再生流動化処理土の結果をプロットしたもの

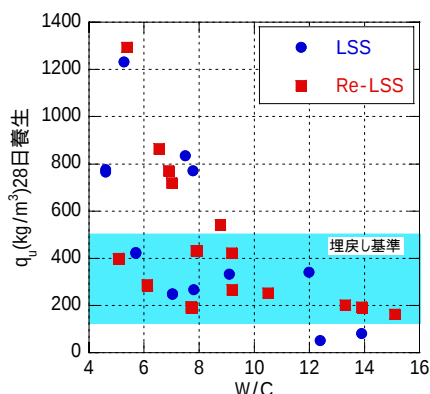


図-2 W/C と q_u の関係

であり、以下も同様に結果を整理した。また、流動化処理土は LSS、再生流動化処理土は Re-LSS と表記する。図より、流動化処理土と再生流動化処理土の一軸圧縮強さ q_u はともに水セメント比 W/C に依存していることが分かる。図-3 に流動化処理土と再生流動化処理土の 7 日養生と 28 日養生時点での一軸圧縮強さ q_u の関係を示す。流動化処理土および再生流動化処理土ともに相関性が見られ、両者は $q_{u28}=2.2q_{u7}$ と養生 28 日までにける強度発現はほぼ等しいことが分かる。図-4 に流動化処理土と再生流動化処理土の一軸圧縮強さ q_u と変形係数 E_{50} の関係を示す。また、図には 7, 28 日養生の結果だけでなく、56, 91, 182 日養生時点での結果も同時にプロットした。図より、両者は高い相関性を持っており、流動化処理土は $E_{50} = 160q_u$ 、再生流動化処理土は $E_{50} = 170q_u$ という近い値を示した。よって、再生流動化処理土のように一度セメント固化させたものに再びセメントを添加しても、剛性の増加はほとんど生じないことが判明した。

3-2 流動化処理土作製時に添加したセメントが再生流動化処理土に与える影響

流動化処理土作製時に添加したセメントが再生流動化処理土の強度にどのような影響を及ぼすのか検討を行った。図-5 に泥土 b を用いて作製した流動化処理土と、その掘削流動化処理土（掘削日数は 28 日）を用いて作製した再生流動化処理土の養生日数と一軸圧縮強さ q_u の関係を示す。養生 28 日までの強度はほぼ同程度にも関わらず、182 日経過時点では再生流動化処理土の一軸圧縮強さ q_u は流動化処理土に比べ 2 倍程度大きくなっていることが分かる。この理由は、流動化処理土と再生流動化処理土の初期強度（7～28 日）に差が見られないことから、以下のような事が考えられる。掘削流動化処理土は初期に添加されたセメントにより、処理土自体の pH が建設発生土と比べてアルカリ性を呈している。さらに、セメントの成分である SiO_2 、 Al_2O_3 や水和によって生じる水酸化カルシウム $Ca(OH)_2$ を建設発生土より多く含んでいることになる。以上のことから、再生流動化処理土は流動化処理土に比べ、高炉セメントの使用に伴うスラグの潜在水硬性およびポゾラン反応がより発揮されやすい状態にあり、結果的に長期強度が流動化処理土に比べ大きくなったのではないかと考えられる。

4. まとめ 1) 一度セメント固化した処理土に再びセメントを添加し作製する再生流動化処理土は、流動化処理土と同等の強度発現が見込め、剛性の増加もほとんど生じないことが判明した。2) 再生流動化処理土は、初期に添加されたセメントの影響により、スラグの潜在水硬性およびポゾラン反応が卓越し、長期的に強度が増加する。

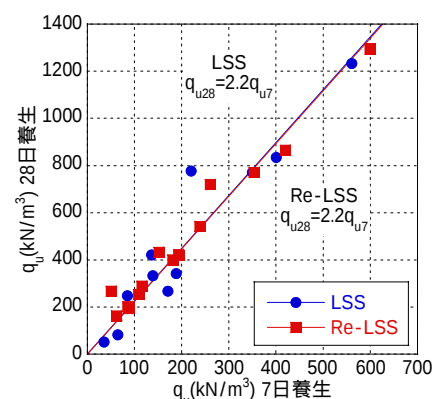


図-3 q_{u7} と q_{u28} の関係

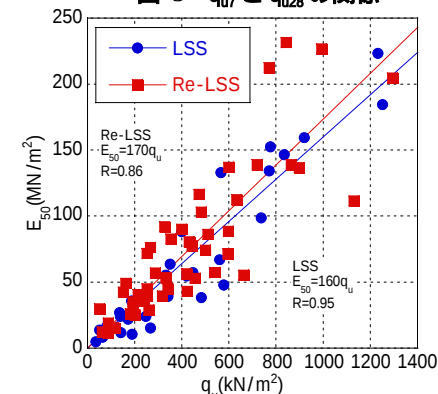


図-4 q_u と E_{50} の関係

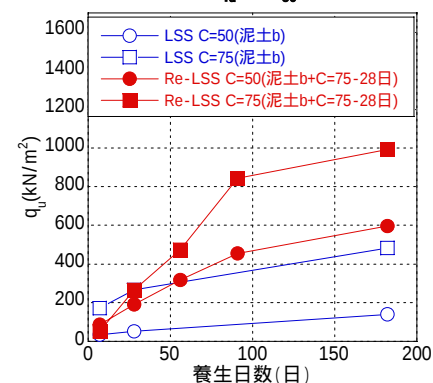


図-5 養生日数と q_u の関係

参考文献 1) 財団法人日本建設情報総合センター： <http://www.jacic.or.jp/> 2) 久野悟郎：「土の流動化処理工法」技報堂出版，pp.205，1997。 3) 建設省 土木研究所：「流動化処理土利用技術マニュアル」技報堂出版，2004。 4) 藤川拓朗：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。