乾湿繰返し作用を受けた流動化処理土の耐久性及び溶出特性

福岡大学工学部　学生会員　前田辰也　　福岡大学大学院　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、建設発生土の大量リサイクルが期待できるスラリー安定処理工法である。しかし、将来的に維持・修繕に伴う再掘削の可能性があり、これら掘削された流動化処理土（以後、掘削流動化処理土）の循環利用に関する研究はほとんど進んでおらず、廃棄物として処理されている現状にある。これでは処分場延命のための一時回避にしか過ぎない。そこで本研究では、**図-1** に示すように流動化処理土の循環利用方法を確立することを目的としている。その中でも循環利用に伴う流動化処理土の耐久性に関する研究事例[2]は数少なく、循環利用を確立させて行くためにも今後更なるデータの蓄積が必要となる。本報告ではその前段階として 1）流動化処理土の力学特性をはじめ、2）乾湿繰返し作用を受ける流動化処理土の耐久性及び溶出特性、3）石炭灰を混入させた流動化処理土の耐久性改善効果について報告する。

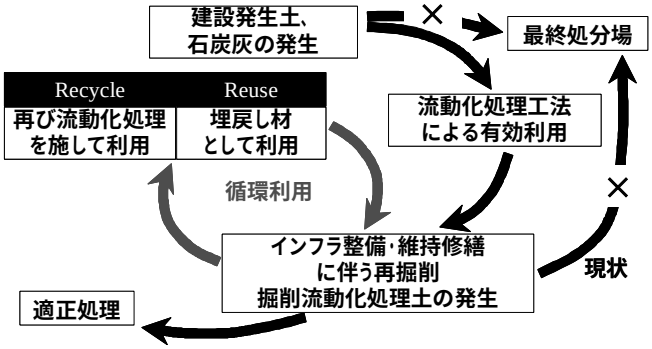


図-1　本研究における循環利用のシナリオ

表-1　物理試験結果

土質材料	土粒子密度 ρ_s(g/cm^3)	含水比 w(%)	塑性指数 Ip(%)	コーン指数 q_u(kN/m^2)
第2種建設発生土	2.641	20.0	15.83	4120
泥土a	2.609	24.6	29.30	166
石炭灰	2.357	0	N.P.	N.D.

表-2　流動化処理土の品質規定[1]

用途	適用対象	試験項目	基準値
埋設管の埋戻し	ガス管 上下水道管 など	一軸圧縮強さ	130kN/m^{2}以上600kN/m^{2}以下
		フロー値	140mm以上
		ブリージング率	3%未満
		湿潤密度	1.40g/cm^{3}以上

2. 実験概要　実験試料として、建設工事により発生した第 2 種建設発生土と泥土 a（浚渫土を原位置安定処理工法によりセメント固化処理されたもの）の 2 種類を用いて流動化処理土を作製した。なお、固化材として高炉セメント B 種を用いた。また、泥土を用いた流動化処理土については、石炭灰（JIS A 6201：フライアッシュⅡ種）を添加した検討も行った。これら 2 種類の建設発生土と石炭灰の物理試験結果を**表-1** に示す。

表-3　実験に用いた流動化処理の配合と品質

土質材料	セメント量 (kg/m^3)	石炭灰混入率 (%)	発生土 (kg/m^3)	石炭灰 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	フロー値 (mm)	ブリージング率 (%)	湿潤密度 (g/cm^3)
第2種建設発生土	75	0	875	-	644	265×265	0.328	1.594
泥土a	100	0	720	-	691	240×240	0.98	1.511
	100	10	780	87	631	255×255	0.99	1.598
	100	20	720	180	615	250×250	0.91	1.615
	100	30	630	270	611	260×260	1.32	1.611

2-1 供試体作製方法　流動化処理土は埋設管の埋戻しを用途対象とし**表-2** に従って作製した。流動化処理土の作製方法は、水、建設発生土、そして固化材である高炉セメント B 種をホバートミキサーで約 8 分間混合撹拌し、目標フロー値が 250±20mm になるように配合設計した。その後、作製した試料のフロー値（JHSA 313-1992）、湿潤密度、ブリージング率（JSCE-1986）を測定した。混合撹拌した試料を、直径 φ5×高さ h10(cm)の塩ビ製モールドに打設した。そして、固まり次第整形、脱型を行い、ラップに包み 20℃一定の恒温室で養生させた。養生日数は 7, 28 日とし、各養生経過後に一軸圧縮試験を行った。実験に用いた流動化処理土の配合と品質を**表-3** に示す。表中の石炭灰混入率とは、主材＋石炭灰に対する石炭灰の割合（重量比）を表したものであり、グラフ中では FA と表記する。

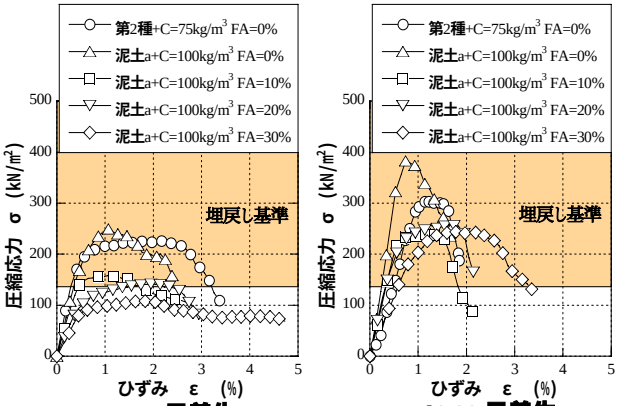
表-4　乾湿繰返し試験条件

供試体の条件	石炭灰混入率 (%)	1サイクル工程	溶出試験 実施サイクル数	一軸圧縮試験 実施サイクル数
泥土a 28養生 C=100kg/m^3	0	湿潤7日 乾燥7日	湿潤過程 1サイクル 経過ごと	1 2 4 8 16
	10			

2-2 乾湿繰返し試験と溶出試験方法　**表-4** に示す条件の下、設定したサイクル数で一軸圧縮試験と溶出試験を行い流動化処理土の乾湿繰返し作用における耐久性及び溶出特性について検討を行った。なお、湿潤過程 7 日間、乾燥過程 7 日間を 1 サイクルとした。湿潤過程においては pH5.8～6.3 に調整した純水を L/S（液固比）=10 で浸漬させた。また、サイクル経過後の浸漬液をろ過したものを検液とし、ICP プラズマ発光分析装置を用いて Ca, T-Cr, Pb, B を定量した。

3. 実験結果及び考察

3-1 各種流動化処理土の品質　**表-3** に示すようにフロー値、ブリージング率、湿潤密度はいずれも品質規定を満たす結果となった。その中のブリージング率に着目すると、石炭灰は非塑性な材料であるため、石炭灰混入率の増加に伴いブリージング率は増加する傾向にあるものの、いずれの条件においても埋戻し基準の 3%未満を満足する結果となった。また、湿潤密度は石炭灰混入率の増加に伴い増加する傾向を示した。これは、石炭灰は球形の微細粒子であるため混入率を増加することで流動性が増し[3]、フロー値を得るために必要な単位水量を減らすことができることに起因していると考えられる。



a) 7 日養生　　b) 28 日養生

図-2　一軸圧縮試験結果

3-2 各種流動化処理土の力学特性　**図-2** に各種流動化処理土の一軸圧縮試験結果を示す。養生日数の増加に伴いいずれの条件においても一軸圧縮強さは増加し、破壊ひずみは減少することがわかる。この傾向は、石炭灰を添加しない場合に特に顕著にみられる。**図-3** にセメント量と一軸圧縮強さの関係、**図-4** に石炭灰混入率と一軸圧縮強さの関係を示す。土質区分に関わらずセメント量の増加に伴い強度が増加し、養生日数の増加に伴い強度が増加している。また、石炭灰混入率に着目すると、石炭灰を混入させることで強度低下が見られるものの、その後の混入率の増加に伴う過度な強度低下は見られないことが分かる。しかしながら、石炭灰を 30%以上混入させると埋戻し基準を満足しなくなることから、石炭灰の添加には適切な添加量が存在するため注意が必要である。

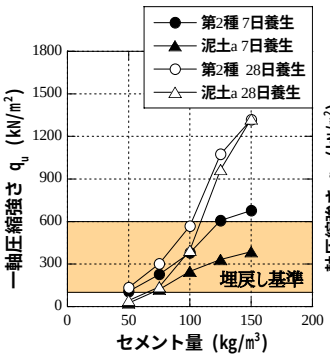


図-3　セメント量と一軸圧縮強さの関係

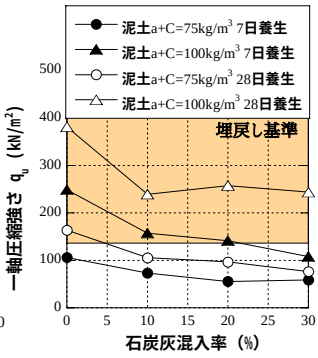


図-4　石炭灰混入率と一軸圧縮強さの関係

3-3 乾湿繰返しによる力学・溶出特性　**図-5** に泥土 a を用いて作製した流動化処理土のサイクル数に対する一軸圧縮強さと Ca 濃度の関係を示す。いずれのサイクルにおいても Ca の溶出が見られ、サイクル数の増加に伴い一軸圧縮強さは減少していることが分かる。強度が低下した要因として、供試体の間隙を埋めていた $Ca(OH)_2$ や珪酸カルシウム水和物（C-S-H）等のセメント水和物が供試体から溶出し、供試体をポーラス化させることで強度が低下したと考えられる[4]。また、**表-5** に各サイクルにおける重金属の溶出濃度を示す。いずれの重金属も基準値を超える溶出は見られないことから、土壌環境に与える影響はないといえる。今後は石炭灰を混入させた流動化処理土についても乾湿繰返し試験を行い、ポゾラン反応による耐久性改善効果について比較検討を行っていく予定である。

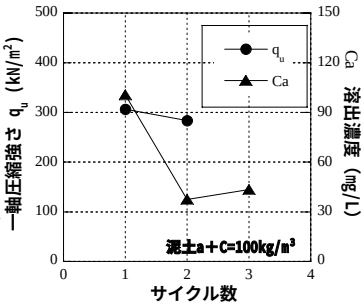


図-5　サイクル数に対する q_u と Ca 溶出濃度の関係

表-5　各サイクルにおける溶出濃度

条件	サイクル数	pH	ORP [mV]	Ca [mg/L]	T-Cr [mg/L]	Pb [mg/L]	B [mg/L]
流動化処理土 (泥土a+C=100kg/m3)	1	11.83	-282	100.5	0.00378	0.0047	0.1208
	2	9.99	-181	37.6	0.01500	0.0040	0.0754
	3	8.63	-106	43.4	0.00670	0.0080	0.0314

4. まとめ

1）石炭灰混入率の増加に伴いブリージング率は増加する。2）石炭灰混入率の増加に伴い、フロー値を得るための単位水量が低下するため湿潤密度は増加する。3）石炭灰入率の増加に伴い一軸圧縮強さは低下するため、埋戻し基準強度を満足する適切な添加量が存在する。4）繰返し作用を受けた流動化処理土は、Ca の溶脱に伴い一軸圧縮強度はサイクル数とともに低下する。5）いずれの流動化処理土からも土壌環境基準を超える重金属の溶出は見られないことから、周辺環境に対する影響は少ないと考えられる。

謝辞　本研究は(社)九州建設技術管理協会より、平成 22 年度研究開発助成「石炭灰混入型セメント改良土の循環利用に伴う力学・溶出特性」の一環で行ったものであり、記して関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】　1）久野悟郎：土の流動化処理工法, 技報堂出版, pp.204～205, 1997.　2）掘削処理土および再生流動化処理土の力学・溶出特性：藤川拓朗, 佐藤研一, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.4, pp.963-976, 2009.　3）日本フライアッシュ協会ホームページ：「フライアッシュの化学・物理的性質」http://www.japan-flyash.com/fchemiphysi.html　4）林宏親：「セメント安定処理土の長期強度特性　その 2　－室内実験による検討－」, 北海道開発土木研究所月報, No.612 号, 2004 年 5 月