

下水汚泥焼却灰を利用した流動化処理土の強度特性と配合設計

早稲田大学 学生会員 ○神谷 雄三

早稲田大学 学生会員 山口 洋志

東京地下鉄(株) 辻 雅行

東京地下鉄(株) 川野 政廣

早稲田大学 正会員 赤木 寛一

1. はじめに

建設汚泥に対しては、最終処分場の残余年数問題、環境への影響、依然として低い建設汚泥再利用化率の 3 つの問題が存在する。近年よく行われるようになった都市再開発事業や地下鉄工事等で発生する建設汚泥に関しては、適切な処理を行い廃棄せず再利用することが求められている。また、各自治体では、下水処理施設の整備に伴い下水汚泥焼却灰が年々増加しており、その処理が問題となっている。

そこで本研究では、地下鉄建設工事より排出される建設発生土および下水汚泥焼却灰の有効利用を図るため、掘削後の埋戻しに使われる流動化処理土としての利用を検討した。

2. 試料と実験の概要

実験に用いた土質材料及び下水汚泥焼却灰の物性値を表 2.1 および 2.2 に示す。

試験項目	土質材料					
	砂質土	粘性土	調整泥水1	調整泥水2	川砂	高炉スラグ
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.70	2.64	2.74	2.59	2.67	2.97
液性限界 ω_L (%)	NP	32.95	76.98	70.29	—	—
塑性限界 ω_p (%)	NP	17.26	31.53	28.15	—	—
塑性指数 I_p	—	—	45.45	42.14	—	—
粒度 礫	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	47.40
分布	粗砂	27.22	15.11	2.13	0.54	59.97
	細砂	39.69	33.69	22.75	21.80	25.26
	シルト	20.27	25.78	36.23	37.52	2.88
(%) 粘土	12.82	25.42	38.90	40.14	0.00	0.00
細粒分含有率 ω_c (%)	33.09	51.20	75.13	77.67	2.88	0.79
強熱減量 ω (%)	1.57	3.06	6.19	4.46	0.94	0.24
pH	6.54	6.43	9.83	8.46	8.51	10.89

試験項目	下水汚泥焼却灰				
	焼却灰1	焼却灰2	焼却灰3	焼却灰4	焼却灰5
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.61	2.57	2.64	2.92	2.56
液性限界 ω_L (%)	NP	NP	NP	NP	NP
塑性限界 ω_p (%)	NP	NP	NP	NP	NP
塑性指数 I_p	—	—	—	—	—
粒度 礫	0	0	0	0	0
分布	粗砂	7.26	0.11	0.1	22.48
	細砂	15.38	5.34	24.41	39.51
	シルト	57.09	44.41	65.64	23.75
(%) 粘土	20.27	50.14	9.85	14.26	18.28
細粒分含有率 ω_c (%)	77.36	94.55	75.49	38.01	91.71
強熱減量 ω (%)	0.94	0.56	0.58	2.32	1.65
pH	8.67	6.48	7.46	11.07	8.02

実験は、試料配合→フロー試験(180～300mm)→密度試験(1.5g/cm³ 以上)→ブリージング試験(1%)以内)→湿潤養生→一軸圧縮試験(13N/cm² 以上)→溶出試験→砒素、セレン、六価クロムの ICP 分析という手順で行った。固化材は高炉 B 種セメントを用いた。なお、いずれの配合時にも砒素、セレン、六価クロムの溶出量は環境基準値以下であった。

3. 実験結果

3.1 強度条件を満たす配合

焼却灰量／固化材量比と 28 日強度の関係を示すと図 3.1 のようになる。図 3.1 より、焼却灰量／固化材量が 0.5 を超えると急激に強度が低下する。基準強度である 13N/cm² を満足するためには、焼却灰量／固化材量比を 0.5 以下とするのが適切であると言える。

3.2 下水汚泥焼却灰の添加量が与える影響

下水汚泥焼却灰の添加量が強度特性に及ぼす影響を図 3.2 に示す。図 3.2 より、いずれの固化材量においても焼却灰量が増加するにつれ一軸圧縮強度が低くなっている。この要因とし

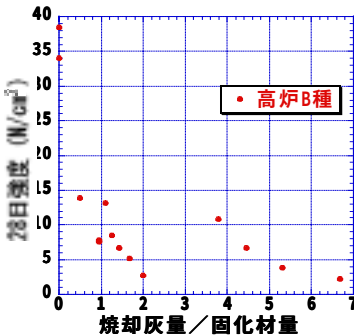


図4.1 焼却灰量と固化材料と28日強度の関係

キーワード：建設汚泥、下水汚泥焼却灰、一軸圧縮強度、細粒分含有率、リン含有量

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部 T E L 03-5286-3405

て、下水汚泥焼却灰中に含まれるリンの影響が考えられる。下水汚泥はリンを多く含有しており、下水汚泥が焼却され下水汚泥焼却灰になっても五酸化リン(P_2O_5 、以下リンと呼ぶ)として含まれている。リンはクリンカー化合物に影響を及ぼすことが知られており、主に $3CaO \cdot SiO_2$ の化合物からなる短期強度発現が大きなエーライトを減少させ、短期強度発現が小さい $2CaO \cdot SiO_2$ の化合物からなるビーライトを増加させる働きを有する。この作用でセメントの水和反応、凝結反応が妨げられて強度が低下したと考えられる。

3.3 発生土、泥水等の添加材料の違いが強度に及ぼす影響

埋戻し材への添加材料が異なるとその細粒分含有率が変化するので、同一の細粒分含有率 F_c を有する試料ごとに固化材添加量の違いによる強度変化を図 3.3(1)～(3)にまとめた。実用化を考慮し安全率を見込んだ管理強度を $25N/cm^2$ とすると、実験個数は十分でないが管理強度を満たす配合は、焼却灰／固化材比が 0.3 の場合で $F_c=35\%$ の場合に流動化処理土 $1m^3$ あたり固化材量は 77kg 以上、 $F_c=43\%$ で 86kg 以上、 $F_c=52\%$ で 90kg 以上となる。

3.4 下水汚泥焼却灰を利用した流動化処理土の配合設計

以上の結果を総合して、 $F_c=35\%$ の場合について添加した焼却灰によるリン含有率をパラメータとして固化材添加量と 28 日強度との関係を取りまとめたものが図 3.4 である。同じ固化材量であれば、リン含有率が大きいほど 28 日強度が低下することが明らかである。図 3.4 は下水汚泥焼却灰を利用した流動化処理土の強度発現に影響する固化材量、焼却灰添加量および細粒分含有率の関係を一元的に表現しており、その配合設計に利用できる。

4. まとめ

本研究では、下水汚泥焼却灰を利用した流動化処理土の強度発現機構について実験的に調査し、その配合設計法について検討した。未だ実験個数が不足しているので今後さらに実験を継続するとともに、現場規模での強度発現と溶出状況についても調査を行う予定であるが、その基本的な性状とその配合設計の方針について有用な情報が得られた。

謝辞：本研究は、(社)トンネル技術協会「新埋戻し材の調査・研究特別委員会」において実施された調査・研究成果の一部を取りまとめたものであり、記して関係各位に謝意を表する。

参考文献：1) 深谷他：セメントコンクリート材料科学、技術書院 2) 野尻他：下水汚泥焼却灰のコンクリートへの有効利用について、コンクリート工学年次論文集、Vol.22, No.2, 2000 3) 松下他：下水汚泥焼却灰を混入したコンクリートの性質、JCA PROCEEDINGS OF CEMENT & CONCRETE, No.51, 1997 4) 神谷他、第 40 回地盤工学研究発表会、2005 年 7 月、投稿中

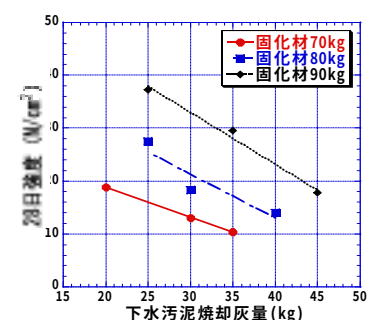


図 3.2 下水汚泥焼却灰量と 28 日強度の関係

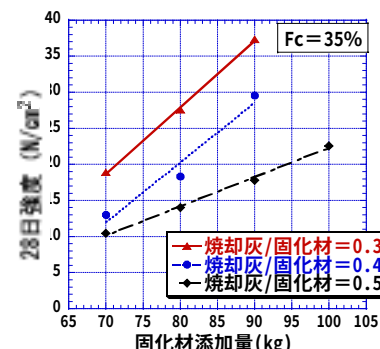


図 3.3(1) 固化材添加量と 28 日強度の関係

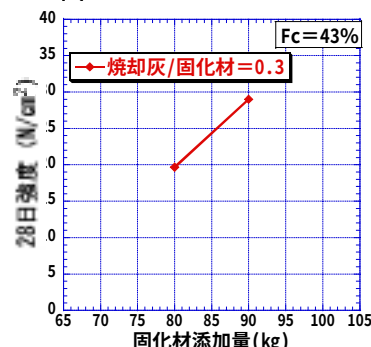


図 3.3(2) 固化材添加量と 28 日強度の関係

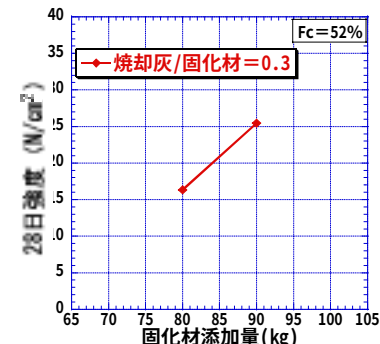


図 3.3(3) 固化材添加量と 28 日強度の関係

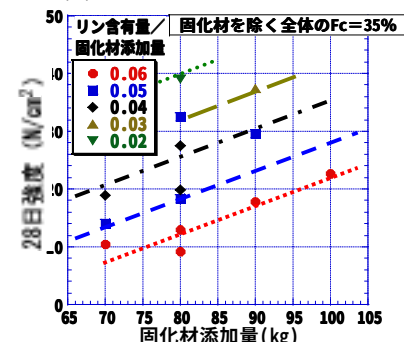


図 3.4 リン含有量／固化材添加量と 28 日強度の関係