

浄水汚泥と建設発生土を混合した土の力学的特性

九州工業大学工学部 正会員 ○永瀬 英生 廣岡 明彦
九州工業大学工学部 学生会員 小笠 元裕
(株)松尾設計 (元九州工業大学学部生) 本河 祐一

1. はじめに

現在、わが国では環境への配慮とその有効利用を目的とし、発生した浄水汚泥をグラウンド用土、育苗土、セメント原料などに利用している。しかし、それらの利用が安定的で有効的な処理方法とは言えない状況である。そこで、有効的な処理方法として第二種改良土（埋戻材）への利用が挙げられる。この第二種改良土の作製は管路布設工事等における埋戻土の材料として、浄水汚泥を利用できる効率的な再資源化と言える。よって、本研究では、浄水汚泥、建設発生土およびそれらの混合土の物理的特性をもとに、コーン指数 $q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$ 、細粒分含有率 $F_c \leq 10\%$ 、修正 CBR 値 $\geq 20\%$ の条件を満たす第二種改良土の作製を目的とする。

2. 試料・供試験体作製・実験方法について

試料には3か所の浄水場から発生する3種類の浄水汚泥と建設発生土を用いており、浄水汚泥と建設発生土を混合したもの、その混合土に改良材を加えたもの、そして建設発生土に改良材を加えて、それに浄水汚泥を混合するものの3通りの方法で供試体を作製した。

実験は3種類の試験ケースで行った。ケース A では浄水汚泥と建設発生土を混合し、乾燥密度を最大値の95%に調整した供試体を用い修正 CBR 試験を行った。また、混合率、浄水汚泥：建設発生土=100：0、50：50、20：80、0：100とした。ケース B では混合率、汚泥 C：建設発生土=20：80の混合土に改良材を添加した供試体を用いコーン指数試験と粒度試験を行った。改良材は混合土の乾燥重量に対し表2に示される割合で添加した。ケース C では作製した供試体を用い粒度試験を行った。供試体の作製方法として、ケース C-1 では浄水汚泥を絶乾状態としたものを試料とし、ケース C-2 では自然含水比(11.5%)の建設発生土に乾燥重量の5%のセメントを添加した供試体と建設発生土が含水比(15.0%)となる水と同量のセメントを混合(調整 I：発生土にセメントを添加し水を加える、調整 II：セメントに水を加え液状にし、発生土に加える)した供試体、ケース C-3 ではケース C-2 の調整 I の方法で添加するセメント量が1、3、5%のときの供試体、ケース C-4 では自然含水比(211.5%)の汚泥 A とケース C-3 のセメント量5%の供試体を混合率、汚泥 A：発生土=1：9、2：8、3：7 で混合した供試体をそれぞれ作製した。

3. 修正 CBR 試験・コーン指数試験・粒度試験

表1はケース A の試験結果を示したものである。ケース A では、乾燥重量での浄水汚泥と建設発生

表1 ケース A の試験結果

浄水汚泥	混合率 (%)	修正 CBR (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)
汚泥 A	100	24.3	0.913
	50	25.3	1.465
	20	41.8	1.705
汚泥 B	100	28.2	1.140
	50	43.6	1.529
	20	19.8	1.704
汚泥 C	100	36.8	1.141
	50	28.7	1.505
	20	20.1	1.659
発生土	100	12.4	1.911

表2 ケース B の試験結果

改良材の種類	改良材混合率 (%)	コーン指数 q_c (kN/m^2)	細粒分含有率 F_c (%)
生石灰	1	1047	67.3
	2	1416	52.1
	3	1753	42.0
セメント	3	921	49.3
	10	2090	33.4
	20	2583	10.0

土を各割合で混合し、最適含水比に調整したものの修正 CBR 値がおおよそ 20%以上であることが示されている。しかし、試料となる浄水汚泥、建設発生土ともに細粒分含有率は 10%以上であり、理論上それらの混合土の細粒分含有率が 10%以下にならない。そこで、細粒分含有率を低下させる方法として改良材を加えた結果を表 2 に示す。

表 2 はケース B の試験結果を示したものである。ケース B では、どの改良材においても混合率の増加に伴い、細粒分含有率は低下し、コーン指数は増加傾向にある。このことから改良材を加えることは細粒分含有率を低下させ、また、コーン指数の増加傾向から強度の増加がみられることから修正 CBR 値が増加するものと思われる。

表 3、4、5、6 にはケース C の試験結果を示している。表 3 はケース C-1 で作製した供試体の細粒分含有率を示したものである。3 種類の浄水汚泥の塊は乾燥していくと徐々に硬化する特性があり、絶乾状態にすることで浄水汚泥の塊が崩れないときの細粒分含有率を知ることができ、表 3 では各浄水汚泥の細粒分含有率は 10%以下の値を示している。

表 4 にはケース C-2 で作製した供試体の細粒分含有率を示している。自然含水比の建設発生土にセメントを添加した供試体ではセメントが水和反応を起こすための十分な水分量に達していなかったため、含水比の調整を行った供試体に比べ細粒分含有率が低下しなかったと考えられる。調整 I では発生土とセメントが均一に混合され、後に水を加えることで発生土全体にセメントが付着し、細粒分含有率が低下したものと思われる。また、調整 II では先に水を加えたため、セメントを加えるとまばらに水和反応を起こし、発生土全体に均質にセメントが付着せず、調整 I に比べ細粒分含有率は低下しなかったと考えられる。

表 5 はケース C-3 で作製した供試体の細粒分含有率を示したものである。この試験では、セメント混合率の増加に伴い細粒分含有率が低下している。また、セメント混合率 5%のとき細粒分含有率 5.80%と表 3 の 3.06 の値をもとに乾燥重量における混合率、汚泥 A : 発生土 = 1 : 9、2 : 8、3 : 7 での細粒分含有率を計算すると、順に 5.53%、5.25%、4.98%となり、10%以下となる。しかし、浄水汚泥の含水比が高くなれば、実際は混ぜ合わせる作業により、浄水汚泥の塊が崩れ、より値が高くなることが予想される。表 6 にはケース C-4 で作製した供試体の細粒分含有率を示している。実験で得られた細粒分含有率は計算値より若干小さい値を示す結果となった。

4. まとめ

本研究によって得られた結論は以下の通りである。

- ・ 最適含水比における浄水汚泥と建設発生土の混合土の修正 CBR 値はほぼ 20%以上となった。
- ・ 混合土に改良材を加えることにより細粒分含有率が低下し、コーン指数が増加した。
- ・ 浄水汚泥とセメントを加えた発生土の混ぜ合わせ作業による細粒分の発生を含め、混合土の細粒分含有率は 10%以下の条件を満たした。

表 3 浄水汚泥(絶乾)の
細粒分含有率(ケース C-1)

浄水汚泥	細粒分含有率%
汚泥 A	3.06
汚泥 B	0.15
汚泥 C	2.49

表 4 改良した建設発生土の
細粒分含有率(ケース C-2)

建設発生土	細粒分含有率%
改良前	25.04
自然含水比 11.5%	20.52
含水比 15%調整 I	5.80
含水比 15%調整 II	11.86

表 5 セメント量の変化に伴う建設発生土の
細粒分含有率(ケース C-3)

セメント混合率%	細粒分含有率%
1	20.24
3	7.80
5	5.80

表 6 改良した混合土の
細粒分含有率(ケース C-4)

汚泥 A : 発生土	細粒分含有率%
1 : 9	4.78
2 : 8	3.58
3 : 7	3.93