

浄水汚泥の排水せん断特性に及ぼす初期乾燥密度の影響

茨城大学 学生会員 本橋悠 渡邊保貴
 茨城大学 正会員 小峯秀雄 正会員 村上哲 フェロー会員 安原一哉

1. はじめに

浄水汚泥は水道事業における浄水過程で発生する汚泥であり、産業廃棄物に分類されている。現在、浄水汚泥は主にセメント原料や、園芸・グランド用土などに再利用されており¹⁾、道路構成材料への利用についても検討されている^{2),3)}。以上のような有効利用の多様化により、我が国における浄水汚泥の有効利用率は増加傾向にある¹⁾。しかし、2008年度における有効利用率は63%であり¹⁾、最終処分場の確保が困難であることや処理コストの問題からも、有効利用手法をさらに多様化し、有効利用率を増加させる必要がある。そこで本研究では、浄水汚泥の盛土材料などといった地盤工学的な有効利用方法の提案を



写真1 加圧脱水浄水汚泥

目的とし、浄水汚泥のせん断特性を調査した。浄水汚泥を盛土材料として用いる場合、他の土質材料と同様に十分に締固め、必要とされる強度特性を確保する必要がある。しかし、実施工においては、室内試験で求めた最大乾燥密度まで締固めることができない場合がある。既往の研究⁴⁾により実施された道路路床材を対象とした試験施工においても、実施工時の乾燥密度は $\rho_d=0.62\text{g/cm}^3$ であり、室内試験で求めた等含水比での最大乾燥密度の90%程度であった。そのため、浄水汚泥を盛土材料として用いるためには、初期乾燥密度の変動が強度変形特性に与える影響を把握し、定量的に評価する必要がある。そこで本研究では、含水比一定において浄水汚泥の初期乾燥密度を変化させることにより、浄水汚泥のせん断特性に及ぼす初期乾燥密度の影響を調査した。

2. 試料の概要と土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法

本研究で用いた試料は、茨城県日立市の森山浄水場より2010年10月に採集した加圧脱水浄水汚泥(土粒子の密度 $\rho_s=2.45\text{g/cm}^3$)である。本試験では、浄水汚泥を「突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210:2009)」⁵⁾により突固め、作製した供試体をスプーンを用いてほぐし、2mmふるいにかかけ、ふるい通過分を三軸圧縮試験の試料として用いた。試料の初期含水比は、 $w_0=45\%$ とした。本試験では、最大乾燥密度 ρ_{dmax} を供試体作製時の初期乾燥密度 ρ_{d0} で除した締固め度 D_c を用いて、 $w_0=45\%$ における最大乾燥密度 ρ_{dmax} に対しての供試体の締固めの程度を示した。

表1 供試体の初期状態

No.	初期乾燥密度	最大乾燥密度	締固め度	初期含水比
	ρ_{d0} (g/cm^3)	ρ_{dmax} (g/cm^3)	D_c (%)	w_0 (%)
Case1	0.86	0.88	98	44.9
Case2	0.78		89	45.1
Case3	0.65		74	45.4

本試験の供試体は、所定の乾燥密度を目標とし、直径50mm、高さ100mmとなるようランマーを用いて動的締固めにより作製した。表1に供試体の初期状態を示す。

図1に本研究で用いた三軸圧縮試験装置の概略図を示す。本試験では、供試体作製後、圧密圧力10kPaを負荷し、供試体内に二酸化炭素を1時間通気し、その後、脱気水を600ml以上通水した。通水終了後、拘束圧一定において背圧を150kPa作用させて供試体の飽和を促進させた。本試験における全ての供試体は、B値が0.95以上であった。供試体の飽和完了後、圧密圧力10kPaを15分毎に載荷し、圧密圧力50kPaまで等方圧密した。圧密終了後、排水状態において拘束圧一定のもとでひずみ速度0.1%/minで軸方向に圧縮した。

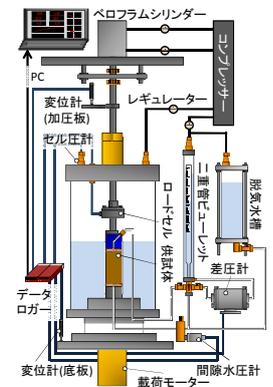


図1 三軸圧縮試験装置概略図

キーワード 廃棄物 浄水汚泥 せん断

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL:0294-38-5163

3. 浄水汚泥のせん断挙動に及ぼす初期乾燥密度の影響

図2に本試験より得られた軸差応力～せん断ひずみ関係を、図3に体積ひずみ～せん断ひずみ関係を示す。図2より、初期乾燥密度が高い供試体においてはひずみ軟化挙動を示したが、初期乾燥密度の低下に伴い、ひずみ硬化挙動を示す傾向にあった。また、図3より、体積ひずみについては、初期乾燥密度の高い供試体ほど顕著な正のダイレイタンスーを示す傾向が認められた。

図4に最大軸差応力 q_{max} と締固め度 D_c の関係を示す。図4より、締固め度の増加に伴って、最大軸差応力は増加することが明らかとなった。 $D_c=74\%$ のケースにおいては最大軸差応力が $D_c=98\%$ のケースの63%程度であり、締固め度 D_c の増加に伴って、軸差応力は線形的に増加するといえる。

また 既往の研究⁶⁾により、浄水汚泥の $w_0=45\%$ における粘着力は、 $c_d=0\text{kPa}$ であることが明らかとなっているため、それを踏まえ、本試験結果を用いて各初期乾燥密度 ρ_{d0} における内部摩擦角 ϕ_d を算出した。図5に内部摩擦角 ϕ_d と締固め度 D_c の関係を示す。図5より、締固め度 D_c の増加に伴って、内部摩擦角 ϕ_d は増加する傾向が認められた。また、締固め度 D_c が90%以上になることで、顕著に増加する傾向を示した。

本試験により得られた内部摩擦角 ϕ_d においては、盛土の設計に用いる砂礫の内部摩擦角 ϕ_d と同程度(25～40°)の値⁷⁾を示しており、浄水汚泥は盛土材料としての利用することが可能であることが示唆された。しかしながら、締固め度 D_c が90%以下の場合、その内部摩擦角 ϕ_d は大きく低下するため、施工する際は、締固め度 D_c が90%以上となるよう、十分に締固めることが望ましいと考えられる。

4. まとめ

- (1) 初期乾燥密度の低下に伴い、ひずみ軟化挙動からひずみ硬化挙動へと推移する傾向を示すことが分かった。また、初期乾燥密度の高い供試体ほど顕著な正のダイレイタンスーを示す傾向にあった。
- (2) 最大軸差応力 q_{max} は締固め度 D_c の増加に伴い線形的に増加する傾向を示した。
- (3) 締固め度 D_c の増加に伴って、内部摩擦角 ϕ_d は増加することが分かった。特に、締固め度 D_c が90%以上となる場合、内部摩擦角は顕著に増加する傾向を示した。

【参考引用文献】1) 環境省：第58回循環型社会計画部会 厚生労働省資料, 2010. 2) 磯秀幸・渡邊保貴・小峯秀雄・安原一哉・村上哲・豊田和弘：加圧脱水浄水汚泥の団粒形状および破碎性に着目した道路構成材料としての室内CBR特性, 土木学会第65回年次学術講演会(CD-ROM), pp.317-318, 2010. 3) 渡邊保貴・小峯秀雄・安原一哉・村上哲・豊田和弘：浄水汚泥のアルミニウム溶出に関する環境影響評価手法の提案, 土木学会論文集 G, Vol.65, No.3, pp.188-201, 2009. 4) 磯秀幸・渡邊保貴・小峯秀雄・安原一哉・村上哲・豊田和弘：室内CBR値に基づく浄水汚泥の路床材としての品質管理方法の提案, 第46回地盤工学研究発表会(投稿中), 2011. 5) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の1-, 丸善株式会社, pp.373-383, 2009. 6) 本橋悠・小峯秀雄・安原一哉・村上哲：初期含水比に着目した飽和加圧脱水浄水汚泥の排水せん断特性, 第46回地盤工学研究発表会(投稿中), 2011. 7) 社団法人 土質工学会：盛土の調査・設計から施工まで, 社団法人 土質工学会, p.95, 1990.

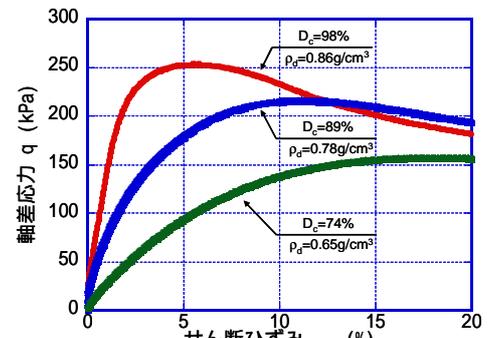


図2 軸差応力～せん断ひずみ関係

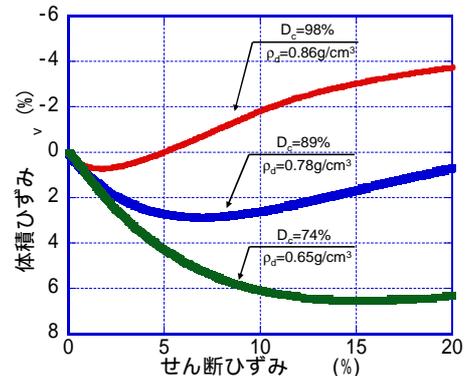


図3 体積ひずみ～せん断ひずみ関係

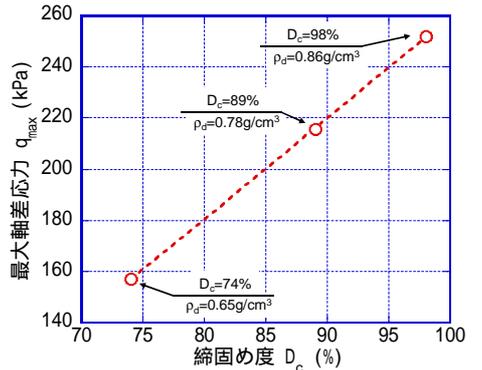


図4 最大軸差応力と締固め度 D_c の関係

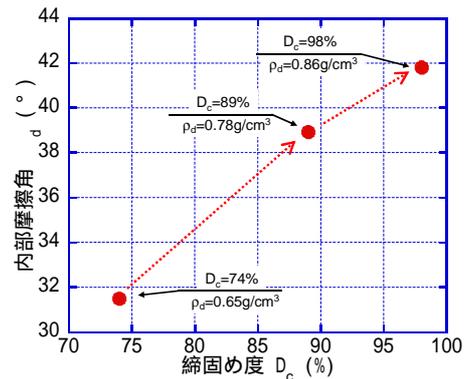


図5 内部摩擦角 ϕ_d と締固め度 D_c の関係