

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

茨城大学 学生会員 ○磯秀幸 渡邊保貴 正会員 小峯秀雄
 フェロー会員 安原一哉 正会員 村上哲
 茨城県日立市企業局 非会員 豊田和弘

1. 背景・目的 水道事業の水処理過程では汚泥（以下，浄水汚泥と記述する）が排出される．現在，浄水汚泥は産業廃棄物に分類されており，「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に準拠した適切な処分が必要である．国土の狭い日本において，最終廃棄物処分場の確保が困難である現状から，道路の路盤・路床材料としての有効利用が期待されている^{1) 2)}．近年，浄水汚泥の効率的な脱水方法としてフィルタープレスによる加圧脱水処理が普及している．加圧脱水処理により排出される脱水ケーキ（以下，加圧脱水浄水汚泥と記述する）は，原水の濁度，水温等の水質により団粒形状が変動する．また，団粒形状の変動は，加圧脱水浄水汚泥の破碎性の変化にも影響するものと考えられる．したがって，均一な品質を求められる路盤・路床材料として加圧脱水浄水汚泥を有効利用するためには，その団粒形状や破碎性が道路構成材料としての力学的特性に及ぼす影響を調査しておくことが重要である．そこで本研究では，排出時期による加圧脱水浄水汚泥の団粒形状の差異を定量的に評価して，団粒形状および破碎性の違いによる室内 CBR 特性の変化とそのメカニズムについて考察した．

2. 使用した試料 使用した試料は茨城県日立市森山浄水場から排出された加圧脱水浄水汚泥である．加圧脱水浄水汚泥の原水は久慈川からの取水であるため，その周辺の地盤を構成する関東ロームを主体とする物質と考えられる．したがって表 1 には，加圧脱水浄水汚泥の物理的・化学的性質とともに関東ロームのそれらを併記した．加圧脱水浄水汚泥の土粒子の密度は $\rho_s=2.410\sim 2.518\text{ g/cm}^3$ であり，関東ロームの $\rho_s=2.689\text{ g/cm}^3$ と比べて小さい．強熱減量 L_i は 23.1~26.6%で関東ロームの 13.0%と比べて大きく，有機物を多く含むことがわかる．また，加圧脱水浄水汚泥の塑性指数は $I_p=103.2\sim 118.0$ であり関東ロームと比較して高く，保水性の高い材料であるといえる．

表 1 浄水汚泥の物理的・化学的性質

試料名	加圧脱水浄水汚泥		関東ローム
	A	B	-
排出時期	2009年7月	2009年11月	-
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.410	2.518	2.689
液性限界 w_L (%)	245.4	268.6	127.5
塑性限界 w_p (%)	142.2	150.6	69.1
塑性指数 I_p	103.2	118.0	58.4
強熱減量 L_i (%)	26.6	23.1	13.0

3. 加圧脱水浄水汚泥の団粒形状 加圧脱水浄水汚泥 A および B を四分法により分取して，長軸 d_1 (mm)，中軸 d_2 (mm)，短軸 d_3 (mm) をノギスにより測定した(図 1 参照)．そして，式(1)，(2)に示す細長率 q および扁平率 p の関係³⁾により，排出時期による加圧脱水浄水汚泥の団粒形状の変動を調査した．なお，サンプル数は 100 個とした．

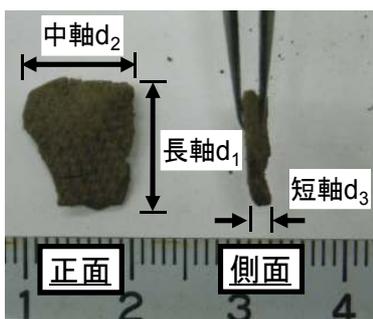


図 1 加圧脱水浄水汚泥の長軸 d_1 ，中軸 d_2 および短軸 d_3

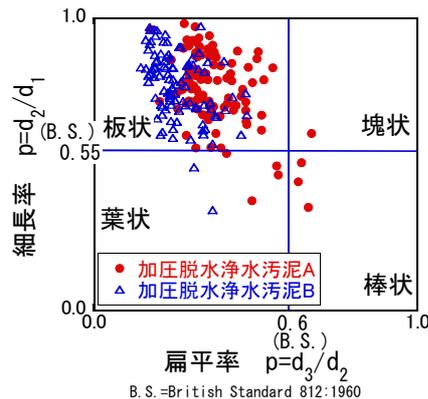


図 2 加圧脱水浄水汚泥の形状分類

$$q = d_2/d_1 \dots(1) \quad p = d_3/d_2 \dots(2)$$

加圧脱水浄水汚泥 A および B の短軸 d_3 の平均値はそれぞれ，5.57mm および 2.92mm であり，加圧脱水浄水汚泥 A の方が 2.65mm 大きいことがわかった．図 2 にそれぞれの団粒形状の分類を示す．加圧脱水浄水汚泥は排出時期によらず 90%以上が板状であることがわかった．加圧脱水浄水汚泥の短軸 d_3 は脱水時にフィルタープレスに注入される汚泥の濃縮濃度により決定される．濃縮濃度は原水の濁度，水温等の水質により異なるため，加圧脱水浄水汚泥の短軸 d_3 は排出時期により変動する．

キーワード 廃棄物 地盤材料 粒径 CBR

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

4. 団粒形状および破碎性着目した加圧脱水浄水汚泥の道路構成材料として

の室内CBR特性

加圧脱水浄水汚泥は排出時に約180%の含水比を呈するため、実施工において道路構成材料として乾燥過程で用いることが現実的である。そこで本研究では、E-c法により加圧脱水浄水汚泥AおよびBの供試体を作製して室内CBR試験(JIS A 1211:2009)⁴⁾を実施した。図3に乾燥過程における室内CBR試験の結果を示す。加圧脱水浄水汚泥AおよびBの含水比は、それぞれ20%~110%程度、20%~150%程度の状態において道路の上層路床として適用可能である10%以上のCBRを満たす。いずれの加圧脱水浄水汚泥も、乾燥に伴い約50%の含水比までCBRが増加することが確認された。図4に含水比低下過程における団粒間の接触面積により異なる摩擦抵抗がCBR特性に及ぼすメカニズムの模式図を示す。約50%以上の含水比においては、間隙水を多く含むため土粒子が移動しやすい状態にある。そして、含水比の低下に伴い土粒子は移動しにくくなり、土粒子間の摩擦抵抗が増加するため、CBRが増加すると推察される。約50%以下の含水比においては、締固め後に加圧脱水浄水汚泥の強固な団粒形状が保持されるため、含水比が高い状態と比較して、団粒間の接触面積が小さくなり摩擦抵抗が比較的小さくなるので、さらなる含水比の低下に伴いCBRが減少したと考えられる。

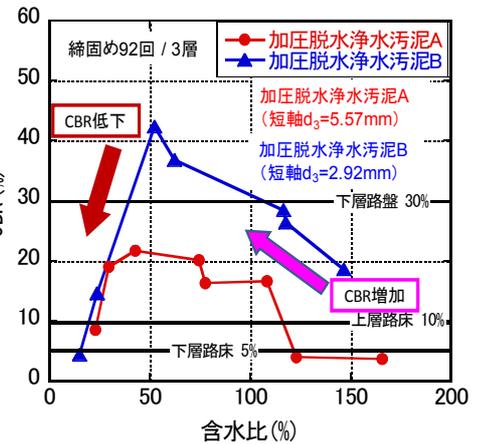


図3 乾燥過程における CBR 試験の結果

図4に含水比低下過程における団粒間の接触面積により異なる摩擦抵抗がCBR特性に及ぼすメカニズムの模式図を示す。約50%以上の含水比においては、間隙水を多く含むため土粒子が移動しやすい状態にある。そして、含水比の低下に伴い土粒子は移動しにくくなり、土粒子間の摩擦抵抗が増加するため、CBRが増加すると推察される。約50%以下の含水比においては、締固め後に加圧脱水浄水汚泥の強固な団粒形状が保持されるため、含水比が高い状態と比較して、団粒間の接触面積が小さくなり摩擦抵抗が比較的小さくなるので、さらなる含水比の低下に伴いCBRが減少したと考えられる。

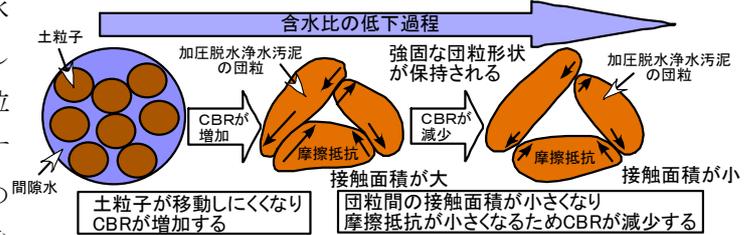


図4 含水比低下過程における団粒間の接触面積により異なる摩擦抵抗が CBR 特性に及ぼすメカニズムの模式図

上記のメカニズムを検討するために、締固め前後における加圧脱水浄水汚泥AおよびBを用いて、ふるい分けにより粒径加積曲線を求めた(図5参照)。加圧脱水浄水汚泥BはAと比較して短軸 d_3 が小さいため、突固めにより団粒形状が破碎され、締固め試験後に平均粒径が2.4mmから0.9mmに低下するとともに、特に2mm~9.5mmの範囲の団粒が細粒化していた。加圧脱水浄水汚泥BはAと比較して、2mm以下の団粒を多く含むので団粒間の接触面積が大きくなり、摩擦抵抗が大きくなるためCBRが増加したと考えられる。また、室内CBR試験において貫入ピストンを貫入する際に、加圧脱水浄水汚泥の団粒が破碎されると考えられる。図6に加圧脱水浄水汚泥の破碎性に起因する室内CBR特性の差異に関するメカニズムの模式図

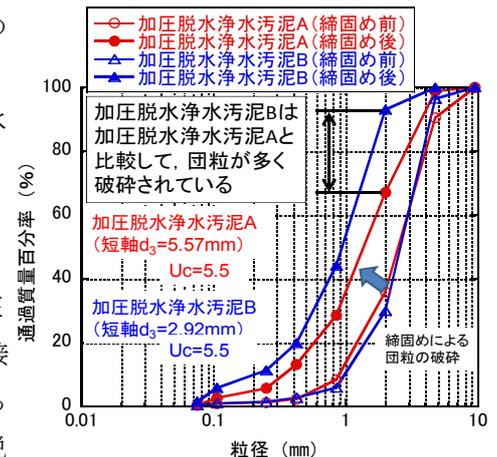


図5 締固め試験の前後における粒径加積曲線

を示す。加圧脱水浄水汚泥の団粒が破碎されることより、破碎された団粒が間隙を充填して密になるため摩擦抵抗が増加すると考えられる。したがって、加圧脱水浄水汚泥BはAと比較して短軸 d_3 が小さいため、貫入ピストンを貫入する際に団粒の破碎が顕著に生じたことによりCBRが増加したものと考えられる。

5. 結論 団粒形状と破碎性の観点から加圧脱水浄水汚泥の道路構成材料としての室内CBR特性に及ぼす影響について考察した。その結果、団粒形状によりCBRが変動することが明らかとなった。また、加圧脱水浄水汚泥を約20%~110%の含水比に乾燥することにより道路の路床として利用できることがわかった。

<参考文献>

- 1) 古河幸雄, 曾津大三, 藤田龍之: 浄水汚泥の地盤材料への利用に関する研究, 土木学会論文集 C Vol.46 No.1, pp.67-78, 2006.
- 2) 蛭田俊明, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 渡邊保貴, ペジエヒョン, 豊田和弘: 砂質土との混合による浄水汚泥の地盤工学的有効利用の検討, 第44回地盤工学研究発表会論文集(CD-ROM), 2009.
- 3) 最上武雄編著: 土質力学, 技報堂, p.895-933, 1969.
- 4) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説一二分冊の1, pp.393-408, 2009.

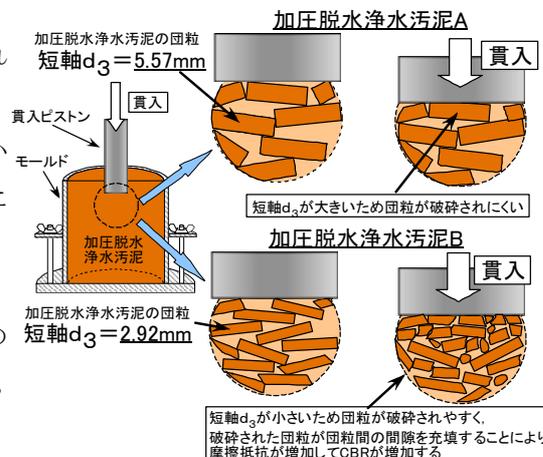


図6 加圧脱水浄水汚泥の破碎性に起因する室内 CBR 特性の差異に関するメカニズムの模式図