

低拘束圧領域における内部侵食がまさ土の強度特性に与える影響

山口大学	学生会員	○若松	知季
山口大学	正会員	鈴木	素之
山口大学	学生会員	石丸	太一

1. はじめに 日本における近年の豪雨は、短時間に狭い範囲で非常に激しく降ることが特徴として挙げられ、各地に甚大な被害をもたらしている。この降雨によって引き起こされる災害は、ため池堤体の崩壊も挙げられ、昨年の西日本豪雨災害ではため池とその下流での被害があった。ため池堤体の崩壊タイプの一つに浸透破壊があり、発生要因として内部侵食による細粒分流出が考えられる(図-1)。細粒分流出とは、土を構成する粗粒分と細粒分のうち、浸透流の影響で細粒分が流れ出てしまう現象である。しかし、目視では確認することのできない少量の内部侵食が地盤や堤体の強度特性に与える影響は必ずしも十分に明らかにされていない。本研究では、供試体下部から排出された土砂を回収できるようにペDESTALに漏斗状のくぼみ(図-2)を設けた三軸圧縮試験機を用いて浸透を行った後、排水せん断試験を行うことで、間隙比の変化と土粒子の侵食や移動がせん断強度にどのような影響を与えるかを検討した。

2. 使用した土試料および試験方法 本試験では宇部まさ土を土試料として用いた。西日本では堤体にまさ土を使用したため池が存在する²⁾。図-3に宇部まさ土の粒径加積曲線を示す。Kenny and Lau³⁾によると、まさ土は内部侵食を起こしやすい粒度分布を有している。また、浸透による細粒分流出は細粒分含有量が多いほど起こりやすいと想定されるため、本試験では細粒分含有率 F_c を約5, 10, 15%の3通りに設定した。供試体は空気乾燥させたまさ土を初期含水比10%になるように加水し、目標間隙比 $e_0=0.50, 0.60$ となるように内径5cm, 高さ10cmの二つ割りモールドを用いて突固めを行い作製した。ここで、 $e_0=0.50$ は締固め度 $D_c=90\%$ を想定しており、これを密詰めのケースとする。 $e_0=0.60$ は $D_c=85\%$ を想定しており、これを緩詰めのケースとする。作製した供試体はペDESTALに設置し、その後、背圧100kPaを作用させ間隙圧係数B値が0.95以上であることを確認した後、有効拘束圧 $\sigma'_c=30\text{kPa}$ で圧密を行った。次に、集水ポットの容量(785ml)が一杯になるまで浸透を行った後、ひずみ速度0.2%/minで軸ひずみが15%に至るまで排水せん断を行った。試験終了後、排出土砂の質量、濁度を測定し、侵食状況の評価を行った。

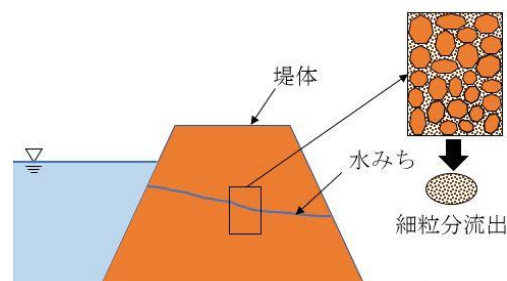


図-1 内部侵食による細粒分流出のメカニズム

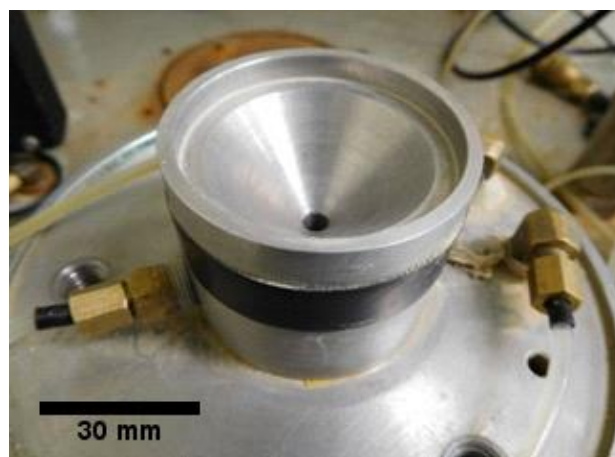


図-2 漏斗状のくぼみを設けたペDESTAL

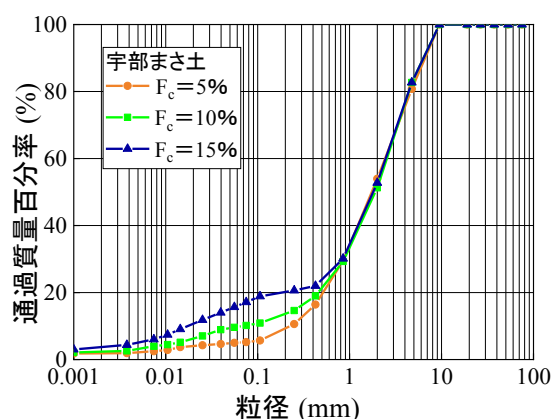


図-3 土試料の粒径加積曲線

キーワード 内部侵食, 浸透流, ため池堤体

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之 Tel: 0836-85-9303

3. 試験結果と考察 本研究では圧密や浸透を行うことで土粒子の流亡や供試体の体積変化によって間隙比が変化していくことに着目し、浸透後の間隙比の算出を試み、せん断時の最大軸差応力 q_{max} と間隙比の関係を考察した。間隙比の算出において、本研究では、土粒子の流亡による土粒子の密度 ρ_s の変化は一定とし、乾燥密度 ρ_d の変化は考慮して間隙比の算出を行った。体積変化に関しては、本試験で用いた試験機では浸透時の体積変化を測定することができない。そこで、浸透時に測定可能な軸変位の変化量からおおよその体積変化を求めることにした。以降、浸透による供試体の体積変化を考慮した場合の浸透後の間隙比を e_A 、体積変化を考慮しない場合の浸透後の間隙比を e_B とする。ただし、浸透による体積膨張はないものとした。図-4(a)~(c)にそれぞれ $F_c=5, 10$ および 15% における軸差応力 σ -軸ひずみ ε_a 関係を示す。 $F_c=5\%$ では密詰めの場合の $250\mu m$ メッシュを用いた場合、透水を行うことにより、応力・ひずみ関係の立ち上がりの接線勾配が若干緩やかになり、最大軸差応力 q_{max} が低下した。これは浸透によって細粒分が抜け出すことで、脆弱な箇所が局所的に現れたと考えられる。 $F_c=10\%$ では緩詰めの場合において、浸透を行わないケースのピーク強度が浸透を行ったケースよりも強くなった。これは緩詰めであったため、供試体の間隙比が大きくなり、土粒子が移動しやすく、移動した結果、土粒子同士のかみ合わせがよくなったためと考えられる。

図-5(a)~(c)にそれぞれ $F_c=5, 10$ および 15% における各間隙比 e と q_{max} の関係を示す。浸透を行わないケースでは圧密後の間隙比 e_c と q_{max} の関係を、浸透を行ったケースでは e_A 、 e_B と q_{max} の関係を表している。図-5に浸透を行わないケースにおいて e_0 を変化させた条件での e_c と q_{max} の値から作成した強度基準線を示している。この強度基準線と e_A 、 e_B のとりうる範囲との関係から強度比較を行った。 $F_c=5\%$ においては e_A 、 e_B の変化に関係なく、浸透を行ったケースの方が q_{max} の値は小さく、密詰めの場合の $250\mu m$ では q_{max} に約 25% の差が生じた。これは、 $F_c=5\%$ では間隙比が大きいことから、供試体内部において土粒子が移動しやすく、土粒子が抜け出すことで脆弱な部分が局所的に現れたためと考えられる。また、緩詰めの場合では、浸透を行うことで、浸透を行わないケースの q_{max} より大きくなった。これは、密詰めするときよりも体積変化が大きくなった

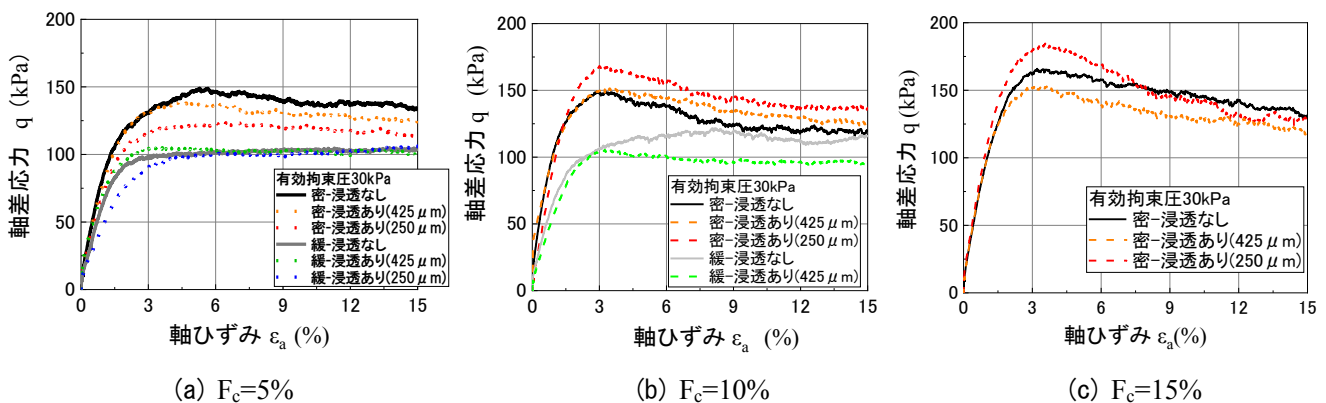


図-4 軸ひずみと軸差応力の関係

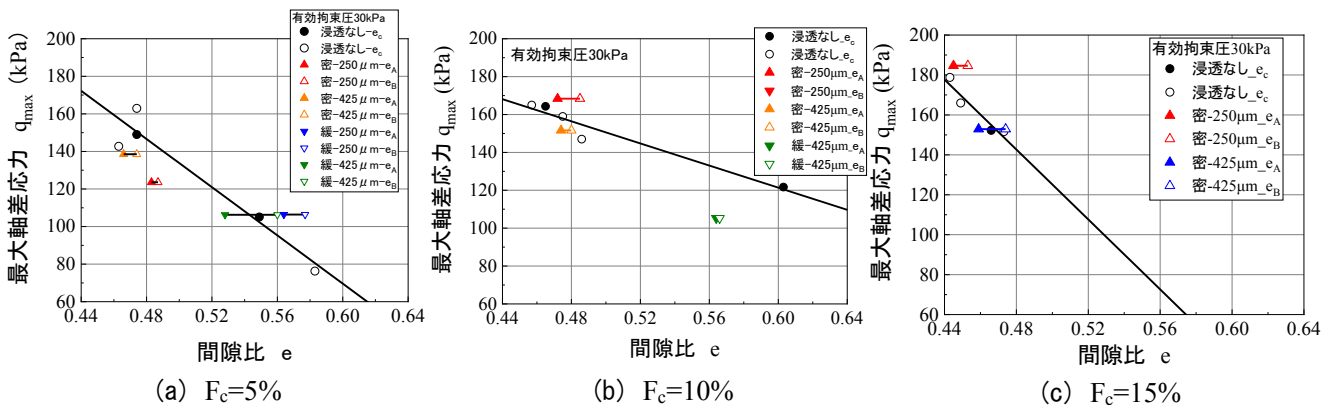


図-5 間隙比と最大軸差応力の関係

ことや土粒子のかみ合わせがよくなったためと考えられる。 $F_c=10\%$ では、密詰めのケースの $250\mu\text{m}$ において浸透を行わないケースよりも強度が大きくなった。 $F_c=15\%$ においても同様に密詰めのケースの $250\mu\text{m}$ において浸透を行わないケースよりも強度が大きくなる傾向が見られた。これらの要因として、細粒分含有率が増加することによって、供試体の間隙に目詰まりが生じたからと考えられる。

次に、濁度と粒径の関係を調べるために、 $75\mu\text{m}$ 、 $106\mu\text{m}$ 、 $250\mu\text{m}$ 、 $420\mu\text{m}$ のふるいにかけた試料をそれぞれ 785ml の蒸留水に所定の量を入れた疑似排水を作製し、粒径ごとの濁度と濃度の関係を調べた。図-6 にその結果を示す。本試験における濃度とは排出土砂の全質量を集水ポッドの容量 785ml で除したものである。佐藤ら⁴⁾ が示したように、排出量と濁度には相関があることが分かった。また、実際の試験後の排水は、ほとんどのケースで作製した疑似排水の濁度よりも大きな値を計測した。これは、排出される土粒子には $75\mu\text{m}$ よりもさらに小さな粒径の土粒子が多く含まれていると推定される。また、メッシュ径のサイズによる濁度の傾向の違いは認められなかった。本試験では浸透量に制限があり、集水ポッドの容量が一杯になるまでに採集された土砂に対する評価であるため、今後はより大きな浸透量についても検討していく必要がある。

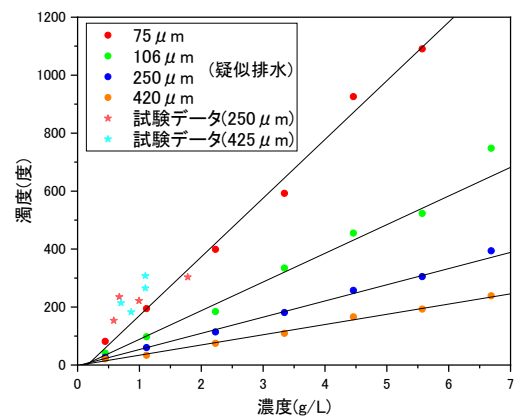


図-6 疑似排水濃度と濁度の関係

4. 結論 本研究で得られた結論を以下に要約する。

- 1) 細粒分含有率 $F_c=5\%$ の密詰めのケースでは、浸透を行ったいずれのケースにおいても強度低下がみられた。浸透による間隙比の増大から供試体内部での土粒子の移動がしやすく、また土粒子が抜け出すことで脆弱な部分が局所的に現れたと考えられる。緩詰めのケースでは、浸透を行ったケースの方が強度は大きくなった。密詰め時よりも間隙比が大きいため、密詰め時では移動できなかった土粒子が移動することで、かみ合わせがよくなったことが考えられる。
- 2) $F_c=10\%$ 、 15% の密詰めのケースでは、浸透を行ったケースにおいて、浸透を行っていないケースよりも強度が大きくなった。これは、細粒分含有率が増加することで、間隙の目詰まりが生じたためと考えられる。
- 3) 濁度測定による侵食状況の評価から、試験後の排水には、 $75\mu\text{m}$ よりもさらに小さい粒径の土粒子が多く含まれていることが確認された。一方、メッシュ径のサイズによる傾向の違いは観察されなかった。本試験では浸透量に制限があるため、今後は浸透時間についても検討していく必要がある。
- 4) 本研究では、浸透によって供試体質量が減少することから、土粒子の乾燥密度はこの減少分を考慮したが、間隙比は土粒子の密度を一定にして算出した。しかし、実際は細粒分の流出によって土粒子の密度は変化するはずであるため、土粒子の密度も今後は正確に算出していく必要がある。

参考文献

- 1) 堀俊和，毛利栄征，青山咸康：豪雨による農業用ため池の破壊原因と被災の特徴，農業土木学会論文集，218号，pp.253-263，2002。
- 2) 山本哲朗，宮崎晃一，勝部安昭，寺山 崇，三浦孝章，中野利春：2001年芸予地震により被災した東広島市内のため池調査，土と基礎，50巻，11号，pp.45-47，2002。
- 3) Kenny, T. C., Lau, D.: Internal stability of granular filters, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 22, pp. 215-225, 1985.
- 4) 佐藤真理，桑野玲子：流出水の濁度による土砂流出の定量評価，生産研究，66巻，4号，pp.613-617，2014。