浸透流解析を用いた降雨及び地下水浸透による盛土内水位上昇に対する検討

山口大学　学生会員　○知花　大夢
山口大学　正会員　中田　幸男

1．はじめに

近年，集中豪雨が増加傾向にあり，豪雨による盛土崩壊が発生している．一昨年の平成 30 年 7 月豪雨においても，複数個所で盛土崩壊が発生した．その事例の 1 つである広島県の広島呉道路 [1]では，最大時間雨量が観測された時間から，長時間経過後に盛土崩壊が発生しており，崩壊メカニズムの推定が必要とされた [2]．盛土崩壊の原因としては，盛土内の地下水位が，降雨による法面からの雨水と地下水の浸透によって上昇し，飽和度状態に変化に伴う強度特性を引き起こしたことが挙げられる．本研究では，広島県呉道路の盛土崩壊事例を参考に，浸透流解析を行うことで，降雨及び地下水浸透による盛土内部の水位上昇の検討を行うものである．

2．浸透流解析概要

別途実験を行った盛土模型 [3]をモデルとして，2 次元非定常飽和・不飽和浸透流解析を実施した．図 1 に解析モデルを示す．盛土模型は広島呉道路の災害箇所 [2),4)]の断面図を参考に，基盤勾配 20°，および法面勾配 34°となるように設定した．盛土模型の高さは 46cm で，約 1/50 スケールとなっている．盛土は宇部まさ土を用いて作成した．盛土の法尻に当たる右端は幅 1cm，高さ 5cm となるように珪砂 4 号を用いて作成し，透水性を高くした．これは，災害発生個所における透水性の高い補強土壁を再現するためである．降雨は法面のみに与えた．地下水は土層の左端面から盛土内に浸透させ，現場での背後域からの地下水流入を再現している．左端面の水位の高さは，初期を盛土左端の基盤高さと同一の 0cm とし，浸透時には盛土左端と同一の 10cm で一定とした．表 1 に解析に用いたパラメーターを示す．透水係数はまさ土部分が2.82×10^{-5} m/s，法尻の珪砂の部分は1.0×10^{-3} m/sとした．不飽和浸透特性は，既存盛土材のまさ土を用いてカラム試験を行い，VG モデルにより水分特性曲線および比透水係数を求めた値を用いた．図 2 に不飽和浸透特性と VG モデルに用いたパラメーターを示す．本解析では吸水過程（赤線の結果）の不飽和浸透特性を用いた．

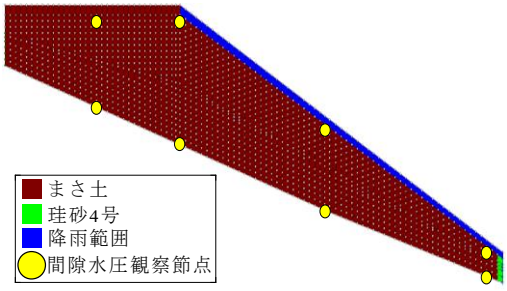


図 1　解析モデル

表 1　解析パラメーター

降雨強度 (mm/hr)	k(まさ土) (m/s)	k(珪砂4号) (m/s)	有効間隙率	比貯留係数
11.52，120	2.82×10^{-5}	1.67×10^{-3}	0.2	1.0×10^{-4}

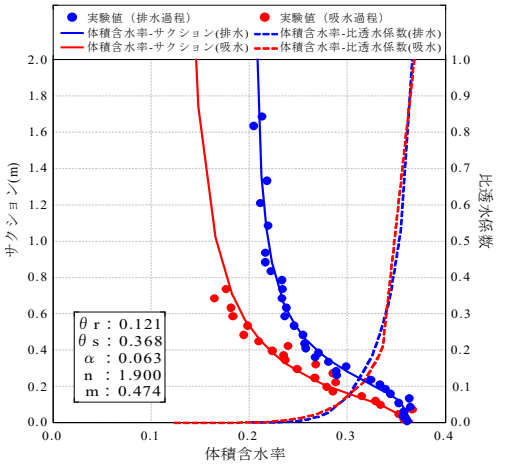


図 2　不飽和浸透特性と
吸水過程の VG モデルパラメーター

3．浸透流解析条件

解析は図 3 に示すように 7 条件で実施した．Case1 と case2 では，模型スケールで，実際の災害現場で冠水が発見された時の累計 350mm となるようそれぞれ 36 分間と 3.5 分間，先行降雨を与え，19 分間浸透を与えた．Case3 と case4 では，模型スケールで，災害が確認された時の累計雨量 530mm となるように，それぞれ 55 分間と 5.5 分間，雨のみを降らせた．Case5 と case6 では，模型スケールで，累計雨量が 350mm

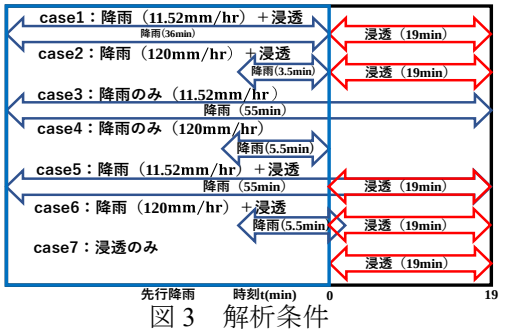


図 3　解析条件

キーワード　浸透流解析，浸透，盛土
連絡先　〒755-8611　山口県宇部市常盤台 2-16-1　山口大学大学院創成科学研究科　TEL：0836-85-9326

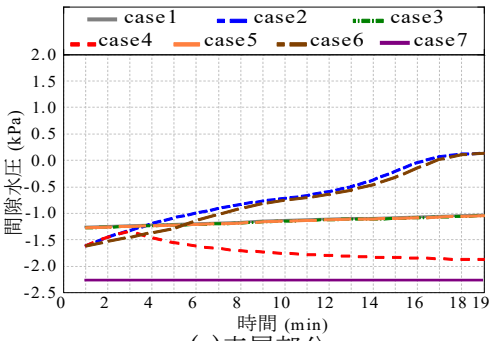
となるまで雨を降らせた後，浸透を与え，その後累計雨量 530mm となるまで雨を継続させた．Case7 に関しては雨を降らせず 19 分間浸透のみを発生させた．降雨条件は，case1，3，5 で11.52 mm/hrとした．この降雨条件は平成 30 年 7 月豪雨の時の降雨データを参考にしている[4]．Case2，4，6 では120mm/hrとした．これは，災害時の降雨強度が弱く長く降る降雨パターンに対して，降雨強度が強く短く降る降雨パターンで比較を行うためである．

4. 浸透流解析結果

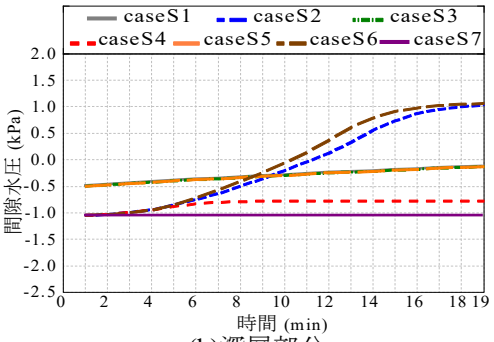
図 4 は法面中央直下の表層部と深層部における，各解析条件の間隙水圧の時刻歴である．表層と深層どちらにおいても，浸透開始時には降雨強度が弱い case1，3，5 が，降雨強度が強い case よりも高い間隙水圧を示している．これは不飽和状態の土では水が浸透しにくく，短時間で降る強い雨よりも時間をかけて降った弱い雨の方が浸透したからだと考えられる．しかし，浸透を与えた，表層部では 4 分後，深層部では 9 分後に case2，6 の間隙水圧が，case3，5 より高くなった．降雨強度が強く，降雨のみの case4 では，累計雨量が最大に達した後に間隙水圧が下がっている．浸透のみの case7 では，累計雨量までの時間では間隙水圧が変化していない．図 5 に深層部の各条件の間隙水圧が正となった時間と観測位置の関係を示す．図 5 から降雨と浸透が複合した条件では，法尻方向に行くほど間隙水圧が正となる時間は早くなり，浸透のみでは遅くなっていくことがわかる．これは，法面や法尻が降雨の影響を受けているためだと考えられる．また，間隙水圧の時刻歴や正となる時間の関係は先行降雨のみと浸透後も継続した時で，結果に差がなく，降雨強度が強い条件の方がより早い時間で間隙水圧が反応している．このことから，先行降雨が盛土内の水位上昇により影響を与え，降雨強度が強いほど水位上昇を促進させることがいえる．図 6 は図 3 に示す最終時間(19min)での圧力水頭コンター図である．これを見ても，case1 と case5 で水位や圧力水頭に大きな差はない．これらと比べると case7 の方が左端の盛土背面は浸透により飽和領域が広いが，法尻付近には水位が発生していない．これらのことからも浸透開始後の降雨の影響は見られず，先行降雨の影響が大きいことがいえる．以上のことから，先行降雨に加えて，浸透が複合的に発生することで，水位の上昇を促進さたといえる．

5. まとめ

本研究では，降雨及び地下水浸透による盛土内水位上昇に対する検討を行うために，浸透流解析を行った．その結果，降雨のみ，浸透のみでは盛土内部の地下水位上昇へ与える影響は小さく，先行降雨と浸透の複合によって，より水位が上昇することがわかった．



(a)表層部分



(b)深層部分

図 4 法面中央における間隙水圧の時刻歴

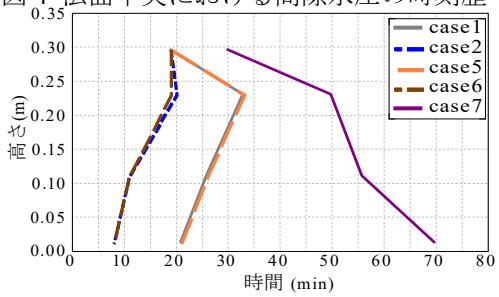
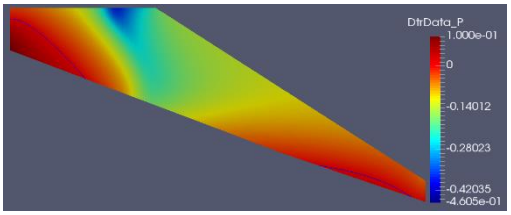
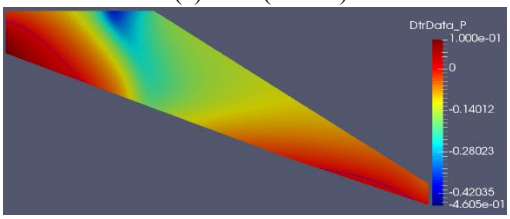


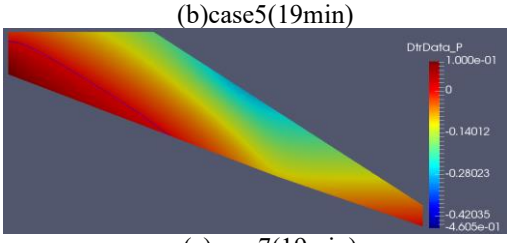
図 5 各条件の間隙水圧が正となった時間



(a)case1(19min)



(b)case5(19min)



(c)case7(19min)

図 6　圧力水頭コンター図

参考文献 1)下野宗彦ら：平成 30 年 7 月豪雨を受けた盛土の崩壊喪失, 令和元年度中国地方建設技術開発交流会配布資料, 岡山会場, 2019. 2)平井ら：飽和・不飽和浸透解析による盛土斜面安定評価, 第 54 回地盤工学会研究発表会, No.0896,2019. 3)知花ら：降雨及び地下水浸透による盛土崩壊に対する実験及び解析的検討,第 55 回地盤工学会,2020. 4)土木学会中国支部：2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告書，p505, 2019.