

転圧シミュレーションによる締固め管理を考慮した降雨浸透解析

新潟大学大学院 学生会員 ○ 湯嶋颯太
 新潟大学 正会員 金澤伸一
 新潟大学大学院 学生会員 飯田輝良

1. はじめに

近年、集中豪雨や地震が多数発生しそれら外的要因によって盛土が崩壊し機能しなくなる事例が報告されている。また、記録的短時間大雨情報の発表頻度が増加傾向にあり、降雨強度の変化が顕著となっている。築造した盛土が管理基準値を満足するために設計基準が適用されており、その基準には品質規定と工法規定がある。盛土築造では特に後者を考慮して決定しているが工法規定は経験則に基づいている。外的要因の激甚化により工法規定や斜面の安定照査だけでは盛土の安全を担保できなくなっている。さらに降雨浸透の履歴によりこれまでの設計基準では盛土がこれからの降雨状況には対応できない可能性がある。そのため盛土の初期応力状態と降雨浸透の状況の把握が重要である。

近年、土木業界では DX 化が進んでおり、解析上で盛土の安全性を評価できれば労働力不足を補うことができる。そこで本研究では転圧シミュレーション¹⁾による締固め管理を実施し降雨条件を与えることで降雨浸透の履歴について考察する。

2. 解析条件・方法

本研究では解析コードに不飽和土/水/空気連成有限要素解析プログラム (DACSAR-MP)²⁾を用いる。盛土築造にはシルト混じり砂を用いて、表 1 に同材料の材料定数、図 1 に水分特性曲線を示す。掘削による整地を考慮し盛土層の途中に図 2 のような水平部を設ける。

図 3 に盛土の解析領域と境界条件を示す。施工時の撒き出し厚を考慮して 1 層当たりの厚さを 0.3m と設定し実務的な解析を模擬した。締固め度を 90% としたときの管理基準値を満足する間隙比は 0.83 となる。荷重はロードローラーによる締固めと捉え、等分布荷重を用いた静的転圧による移動荷重を想定した。全層 2 往復ずつ荷重した後、天端の間隙比が管理基

準値を満足するために天端に追加で 2 往復荷重を行った。盛土築造後 30 日間放置してから降雨を発生させる。降雨量は実際に発生した豪雨を参考にして表 2 に示す 2 つのパターンで天端、斜面、基礎地盤に降らせた。本研究では降雨以外の外的要因は発生させない。

3. 解析結果

まず図 4 に築造終了時点での盛土の a) 間隙比と b)

表 1 材料定数

| λ | κ | M | m | S_{r0} | k_a (m/day) | p'_{sat} (kPa) |
|-----------|----------|-------|-------|----------|---------------|-------------------|
| 0.120 | 0.012 | 1.333 | 0.8 | 0.15 | 87.0 | 基礎：10.0 盛土：6.0 |
| n | n_E | a | ν | G_S | k_w (m/day) | e_0 |
| 1.0 | 1.3 | 10.0 | 0.33 | 2.7 | 0.87 | 1.0 |

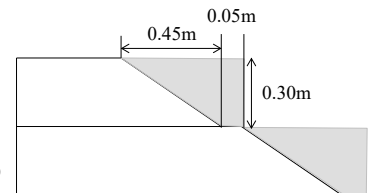
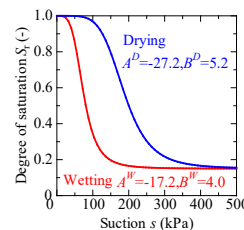


図 1 水分特性曲線

図 2 掘削部分

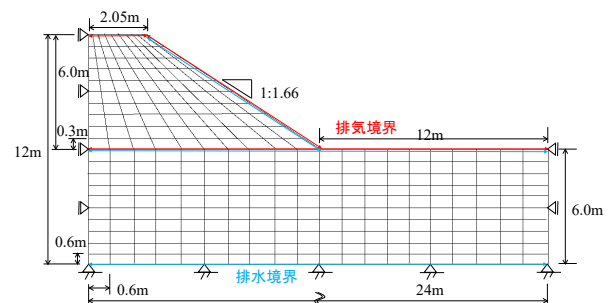


図 3 解析領域・境界条件

表 2 降雨量

| パターン1 | | パターン2 | |
|------------|---------|------------|----------|
| 0 ~ 30分 | 10mm/h | 0 ~ 20分 | 40.5mm/h |
| 30 ~ 80分 | 120mm/h | 20 ~ 30分 | 300mm/h |
| 80 ~ 90分 | 30mm/h | 30 ~ 90分 | 0.5mm/h |
| 90 ~ 110分 | 2.0mm/h | 90 ~ 130分 | 1.0mm/h |
| 110 ~ 135分 | 50mm/h | 130 ~ 190分 | 3.0mm/h |

飽和度を示す。盛土内部と天端の間隙比は管理基準値を満足する間隙比を下回った一方、斜面は天端の転圧を増やしただけでは管理基準値を満足する間隙比を下回らなかった。飽和度は盛土の内部で 85%を超えており、道路工—盛土工指針³⁾によると、実施工において締固めた土が安定状態にあると言える。

次に図5にパターン1の降雨における飽和度分布の時系列変化を示す。築造完了時は盛土と基礎地盤の内部で大きく天端で小さかったが、時間の経過につれて法尻から飽和度が増加していき、水が盛土内部へと浸透していることが確認できる。上層15層目の内部では80~120分の間で4%増加し、天端から水が移動していると考えられる。さらに、法尻に溜まった水が基礎地盤へと浸透し、洗堀の危険が考えられる。

図6にパターン2の降雨における飽和度分布の時系列変化を示す。特に10分間で50mmの降雨があった20~30分の間では法尻での飽和度ははじめ76%だったが一気に98.4%まで22.4%増加した。パターン1では法尻の飽和度は30~40分の10分間で5.1%増加したため降雨量の違いが顕著に現れた。一方、法肩では飽和度が20分の時点では67.7%だったが、30分では98.5%となりこちらは30%以上増加して飽和土に近い形となった。これは強雨によって法尻から法肩、天端に向かって順に土が弾性変形から弾塑性変形に変化し、法肩を中心にサクシヨンの減少が大きくなったためである。

4. まとめ

本研究ではロードローラーによる締固めを考慮して移動荷重によって築造された盛土に降雨を与えた結果、降雨が長時間続くあるいは短時間で強い雨が降ることによって不飽和土の飽和度が急激に増加することが確認できた。その結果、法尻から盛土の洗堀が進み、法肩から盛土崩壊が発生して土砂災害の危険が高まることが考えられる。そのため近年の短時間で多量の雨が降る状況において盛土が崩壊しないよう転圧シミュレーションを用いて適切な締固め管理を行うことが必要であると考えられる。

今後は1日~数日の長期にわたる降雨パターンを想定して降雨解析を行い、盛土の応力状態や降雨浸

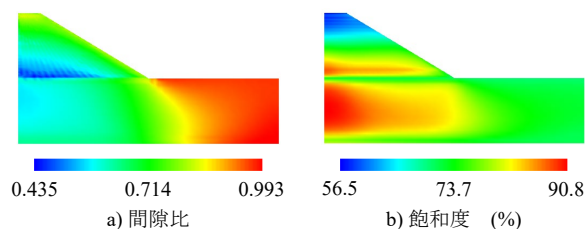


図4 築造終了時

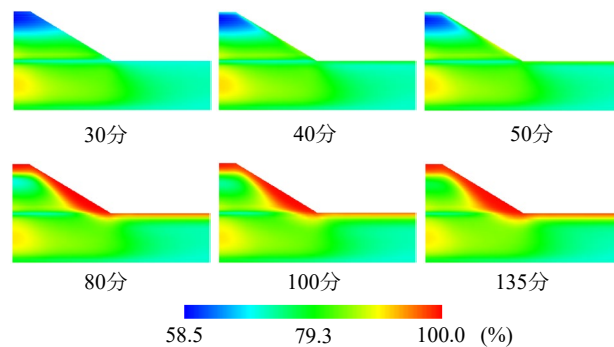


図5 飽和度分布 (パターン1)

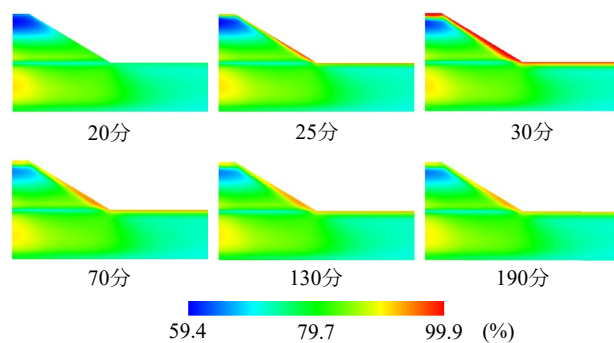


図6 飽和度分布 (パターン2)

透履歴について考察してより安定した盛土築造のための施工方法、対策について検討していきたい。

参考文献

- 1) 湯嶋颯太, 金澤伸一, 飯田輝良: 盛土築造における転圧シミュレーションの適用, 令和6年度地盤工学会第59回地盤工学研究発表会, 2024.
- 2) 金澤伸一, 豊嶋拓馬, 河井克之, 橘伸也, 飯塚敦: 土/水/空気連成有限要素法を用いた締固め土の力学挙動の解析, 土木学会論文, Vol 68, No.2, pp.291-pp.298, 2012.
- 3) 日本道路協会: 道路土工—盛土工指針 平成22年度版, 2010.