

降雨強度と継続時間に着目した盛土の応力解析

新潟大学大学院 学生会員 ○ 山下 大輝
 新潟大学 正会員 金澤 伸一

1. 研究背景・目的

近年、気候変動によるゲリラ豪雨や台風、線状降水帯の増加によって土構造物の崩壊事例や被害が数多く報告されている。特に盛土構造物は宅地・道路・鉄道の建設の際に広く用いられており居住・交通・運搬など様々な観点から我々の生活に欠かせない社会基盤構造物であり、その崩壊における被害は甚大で、これを抑制する必要がある。そのため盛土構造物は本来、降雨浸透による変形特性の向上を考慮して施工時に締固めによる管理が行われているが、構造物が破壊に至る要因分析やそのメカニズムは十分に解明されていないのが現状である。また、既に築造された盛土構造物に関しては長期的な安全性や近年の複雑化した降雨を十分に考慮した設計とは言えないもの事実である。その中、地盤工学の分野では近年、実構造物を再現した様々なシチュエーションでの応力挙動を把握することができるところから、数値解析を用いたアプローチが注目されている。ところで本研究では、短時間の集中豪雨を想定した降雨解析を行い、降雨強度と降雨継続時間に着目した観点から盛土の地盤内挙動を把握することを目的とする。

2. 解析条件

本研究では、空気溶存型の不飽和土/水/空気連成有限解析コード(DACSAR-MP)¹⁾を用いて盛土構造物の築造および降雨解析を行った。図-1に解析領域を示す。解析領域は、縦15m×横45mの基礎地盤と天端幅3m、下端12m、高さ6mの盛土を想定した。変位境界は基礎下端を水平・鉛直固定、基礎右左端、盛土左端を水平固定、水頭境界は盛土部天端および斜面、基礎上面を排水条件、空気境界は全面で排気条件とした。また、盛土材料は基礎地盤を含めて全域で砂混じりシルトを想定し、初期飽和度を70%に設定した。図-2、表-1に材料パラメータ、水分特性曲線を示す。築造解析に関しては、基礎地盤発生後、一層0.3mの撒き出しを行い、30tローラーを想定した荷重を撒き出した盛土上

面に与える。これを盛土高さ6mまで計20層繰り返すことで締固めを再現した。図-3に築造フローを示す。降雨解析については、築造後は盛土天端と斜面部に各降雨を想定した流量を与えることで再現した。降雨解析で与える流量については気象庁が発表している雨の強さと降り方²⁾を参考に、表-2に示す計5通りの降雨強度を与えることで降雨強度の違いによる盛土内の力学挙動の把握を試みた。なお、本研究では短時間の集中豪雨を想定するために各降雨強度において最大1日間の降雨を与えた。

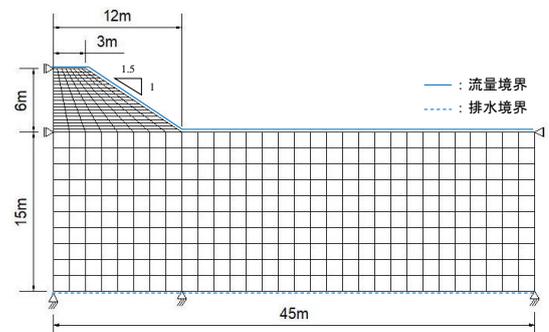


図-1 有限要素メッシュ図

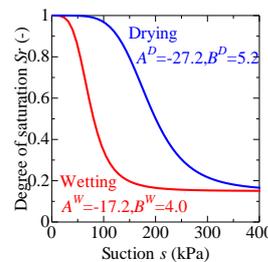


図-2 水分特性曲線

表-1 材料パラメータ

λ	κ	M	
0.120	0.012	1.33	
m	n	n_g	
0.80	1.0	1.0	
e_0	ν	S_{r0}	G_s
1.0	0.33	0.15	2.7
k_x [m/day]	k_y [m/day]	ρ_a [t/m ³]	
0.87	0.87	0.0012	

表-2 降雨強度

No.	降雨強度	備考
1	15mm/h	やや強い雨
2	25mm/h	強い雨
3	40mm/h	激しい雨
4	65mm/h	非常に激しい雨
5	80mm/h	猛烈な雨

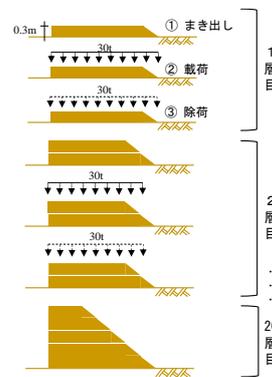


図-3 築造解析フロー

キーワード 盛土, 集中豪雨, 降雨解析, 有限要素解析
 連絡先 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050 新潟大学工学部 地盤環境研究室 TEL 025-262-7479

3. 解析結果

図-4に降雨開始から6時間経過時および築造直後の平均有効主応力 p' 、飽和度 S_r 、サクシオン s の分布を、図-5に各降雨強度における飽和度の経時変化を示す。なお、図-4は盛土部分を拡大してある。まず、図-4に示す結果より、いずれの降雨強度においても築造直後に比べて盛土部天端、法面、基礎上面において飽和度が上昇していることが確認でき、それに伴って平均有効主応力の低下、サクシオンの消失が確認できる。これより、盛土法面から内部にかけて飽和が進行することで応力やサクシオンが低下・消失し盛土が弱体化することが示唆された。また、降雨強度に着目すると、降雨強度が大きくなるにつれて盛土法面から内部にかけて飽和度が顕著に高くなり、平均有効主応力とサクシオンも小さい値を示していることから、降雨強度が大きくなることで盛土法面から内部にかけて弱体化の危険性が高まることを示唆される。続いて、降雨継続時間に着目すると、図-5に示すようにいずれの降雨強度においても降雨継続に伴って盛土法面および内部の飽和度が進行していくことが確認できる。しかし、図中No.1,2は全体が一樣に飽和していくのに対して、図中No.3,4,5では盛土法面および天端、基礎上面(図中○, ●, △, □, ×)で急激に飽和度が上昇していることから、集中豪雨による盛土の飽和プロセスはNo.2とNo.3を境界に大きく2つに大別できると考えられる。

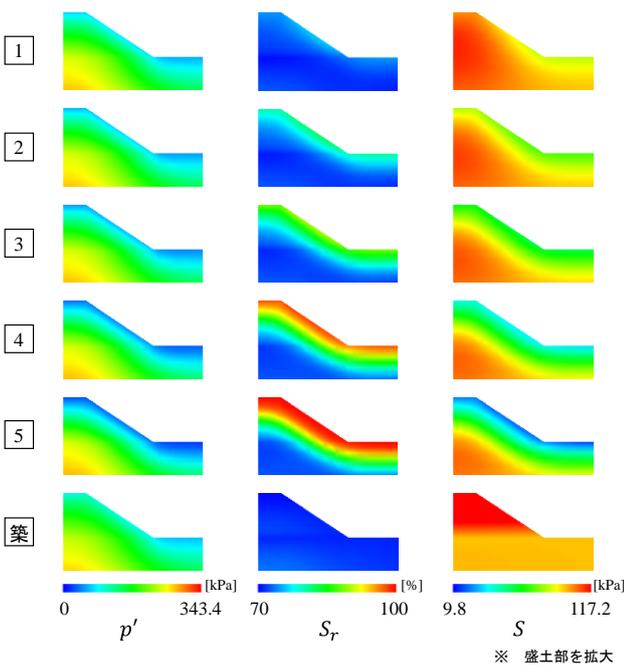


図-4 降雨強度別の地盤内挙動(降雨継続時間：6時間)

4. まとめと展望

本研究では、短期間の集中豪雨を模した盛土の降雨解析を行い、降雨強度と降雨継続時間の観点から以下の知見を得た。

- ① いずれの降雨強度においても盛土法面から内部にかけて飽和の上昇、応力の低下、サクシオンの消失が確認され盛土が弱体化することが示唆された。
- ② 降雨強度が大きくなるにつれ飽和による弱体化の危険性が高まることを示唆された。
- ③ 集中豪雨による盛土飽和のプロセスは「強い雨(25mm/hour程度)」と「激しい雨(40mm/hour程度)」を境界に大きく大別できると考えられる。

以上のように、一括りに集中豪雨といっても降雨強度や継続時間によって盛土の地盤内挙動には大きな違いや特徴があることを数値解析によって確認することができた。なお、本解析では材料一定、排水層なし条件であったため、今後は種々の材料や排水層を考慮して同様の解析を行うことで様々な視点から盛土の地盤内挙動を把握していきたい。

5. 参考文献

- 1) Kanazawa S, Igarashi H: ANALYSIS OF EMBANKMENT STRESS PRODUCED DURING CONSTRUCTION AND IN-SERVICE PHASES CONSIDERING EMBANKMENT GEOMETRIES, International Journal of GEOMATE, March., 2021, Vol.20, Issue 79, pp.68-73.
- 2) 国土交通省 気象庁：雨と風，2017.

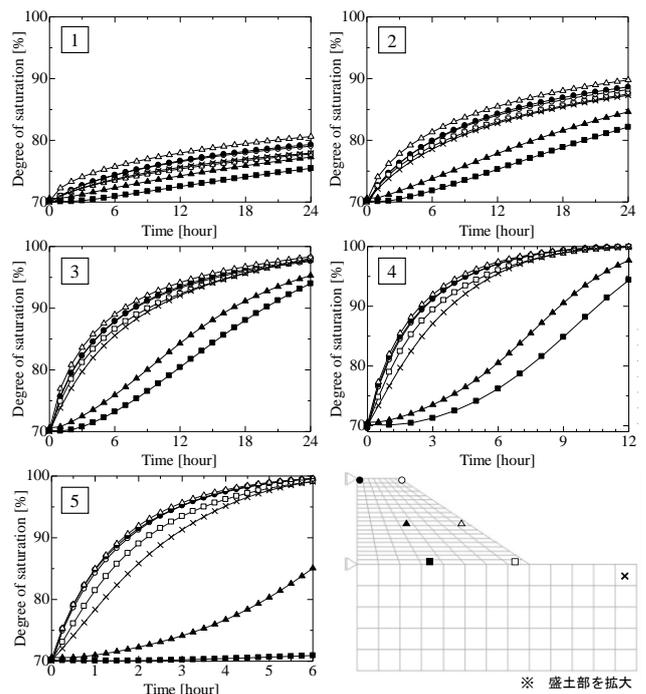


図-5 飽和度の経時変化