

排水機能を考慮した盛土の降雨浸透解析

新潟大学 非会員 ○齊藤 日向子 新潟大学 正会員 金澤 伸一
新潟大学 正会員 山下 大輝

1. 研究背景・目的

近年、突発的豪雨による盛土の破壊が多発し、それに起因して、盛土の築造方法および対策工が重要視されている。近年の気象状況において、今年 2023 年の上半期では日本各地で記録的大雨が続き、土砂災害による被害が多発した。国土交通省によると、台風第 2 号については、和歌山県で 127 件、静岡県で 53 件発生し、計 321 件の土砂災害が発生したことが報告されている¹⁾。

甚大な災害に対しても盛土の健全性を保ち、防災・減災に資するためには、転圧強度、敷き均し厚さ、転圧回数といった施工方法のほかに、盛土内部の水を外部に排出し、盛土の強度を高めるための排水対策も重要となる。その排水対策の 1 つには排水パイプの敷設がある。排水パイプによって盛土内部に浸透した水分を盛土外部に排出することで、盛土の弱体化を防止する効果がある。そのため、排水パイプの機能をより効果的に発揮させることで、盛土崩壊の抑止に寄与できると考える。

また、排水パイプに関する実験的研究は数多く行われているが、不飽和土を対象とした解析による排水パイプの有効性は深く検討されていない。

そこで本研究では、排水パイプを考慮した盛土の降雨浸透解析を実施することにより、排水パイプの敷設による効果を数値解析によって表現し、築造後の盛土の強度の維持を図る。そのことで、今後、さらに数値解析の有効性を高めることが可能になる。

2. 解析条件

本研究では不飽和土/水/空気連成有限要素解析コード DACSAR-MP²⁾を用いた降雨浸透解析を行った。また、本解析では、一般的に用いられるシルト混じり砂を想定した。なお、図 1 に解析領域および排水パイプの敷設箇所、図 2 にシルト混じり砂における水分特性曲線、図 3 にシルト混じり砂における締固め曲線、表 1 に材料定数を示す。

本解析コードにおいて、排水パイプに適応させるため、プログラムの改良を行った。具体的に、排水パイプの敷設領域において、間隙水圧 PW が負の値から正の値に転じるときに自動的にゼロに切り替えるように対応させた。なお、図 4-1 に水圧に関するプログラムのフローを示す。

対象とする盛土は天端幅 3m、下端 12m、高さ 6m とし、水理境界は、上下端を排水境界、基礎地盤左右端を非排水境界とした。排水パイプは、長さを 4m とし、線形のものであるとして検討した。

降雨解析については、築造後に排水パイプを設置させた後、盛土天端、斜面部、および基礎地盤上面に

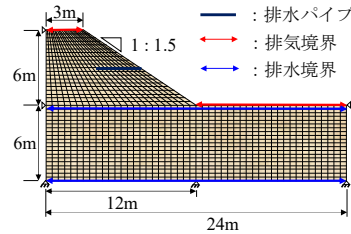


図 1. 解析領域

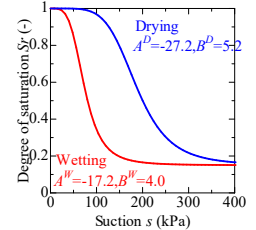


図 2. 水分特性曲線

表 1. 材料定数

λ	κ	M	m
0.120	0.012	1.33	0.8
n	n_E	a	ν'
1.0	1.3	10.0	0.33
k_w (m/s)	k_s (m/s)	e_0	G_c
1×10^{-5}	1×10^{-3}	1.0	2.7
S_{c0}			
0.15			

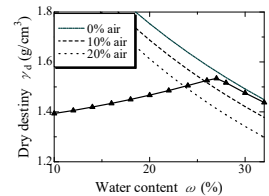


図 3. 締固め曲線

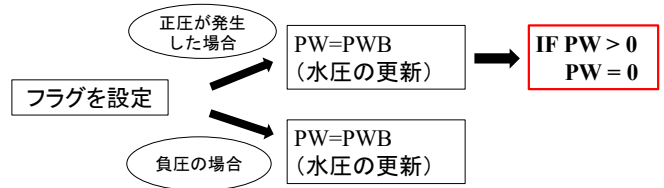


図 4-1. 水圧に関するプログラムのフロー

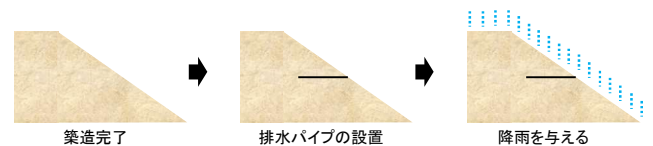


図 4-2. 排水パイプの設置フロー

降雨強度 200mm/day の流量を 1 日継続して与えることで再現した。なお、図 4-2 に排水パイプの設置フローを示す。

3. 解析結果

図 5 に降雨継続中の飽和度 S_r の変化を示したものを、図 6 に飽和度 S_r とサクシオン s の経時変化を示す。なお、結果は排水パイプを設置しなかった場合と設置した場合の 2 パターンを示している。

まず、排水パイプを設置しなかった場合では、図 5 より、盛土内部、表層部ともに飽和度の増加が生じ、盛土全体で飽和化が進行していることがわかる。

また図 6 より、盛土内部では降雨開始直後に飽和度が減少し、サクシオンの増加が生じているのに対

し、法面・のり肩では降雨中、継続して飽和度が増加し、サクシジョンの減少が続いており、盛土斜面から盛土内部へと順に降雨が浸透していることが確認できる。法先では大きな飽和度の増加、サクシジョンの減少が生じず、これは締固め度が高い基礎地盤では水分が浸透しにくいからであると考える。

以上より、排水パイプを設置しない盛土に降雨強度 200mm/day の雨を継続して与えると、斜面上部をはじめとして盛土全体に飽和化が進行することが確認され、築造から供用まで長期的な視点を持って盛土の安全性を検討することが重要であるといえる。

一方、図 5 より排水パイプを設置した場合では、降雨を受けているものの、盛土全体で飽和度が減少し、盛土内部に浸透した水分を外部に排出していることが分かる。また図 6 より、降雨を与えた直後では法先、法肩で、一時的に飽和度が増加し、サクシジョンの減少が生じているが、その後緩やかに飽和度が減少している。このことから、排水パイプを設置することで、継続して降雨を受けているにも関わらず極端な飽和度上昇を抑えられ、盛土の弱体化を軽減できることがわかる。特に、排水パイプ付近ののり面中央部では飽和度が大きく減少しているため、排水パイプの本数を増やすことで、さらに盛土の弱体化を防ぐことができると考える。

以上から、排水パイプを設置することにより、盛土の設置個所のみならず、盛土内部・斜面部の両方において飽和化の防止に大きく寄与し、盛土崩壊の危険性を小さくできると考える。

また、排水パイプのみならず排水層を導入するな

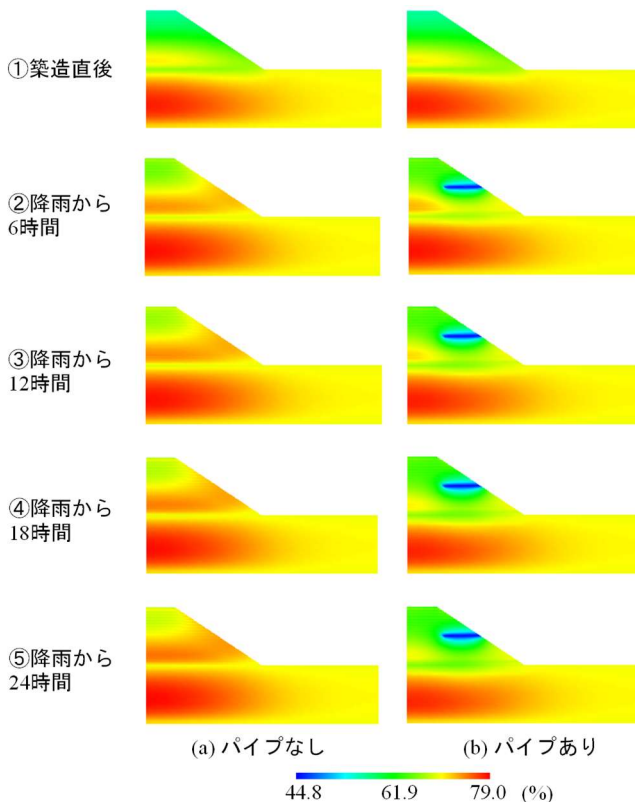


図 5. 地盤内挙動 (飽和度)

ど、対策工と工法規定に則った施工方法を総合的に考慮することで、盛土の強度特性の向上を図ることができると考える。

4. まとめ

本研究において、排水パイプを考慮した降雨浸透解析を行ったことにより、以下の知見を得た。

- ① 排水パイプを設置しなかった場合では、盛土表層部から内部へ降雨浸透が生じ、盛土全体が飽和化することが確認された。
- ② 排水パイプを設置した場合では、流量を与えているのにも関わらず、盛土全体で飽和度の減少が生じ、内部に浸透した水分を、外部へ排出していることが確認された。

以上のように、排水パイプが盛土全体に大きな影響を与えることが分かり、本解析ソフトの有効性をさらに高めることができた。

今後は、排水パイプの本数などの設置条件を多様化させる。さらに、排水層の導入も検討していくことで、より効果的な排水方法を検討していく。

5. 参考文献

- 1) 令和 5 年台風第 2 号による土砂災害発生状況：国土交通省
- 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，土木学会論文集，Vol.68, No.2, pp.291-298, 2012.

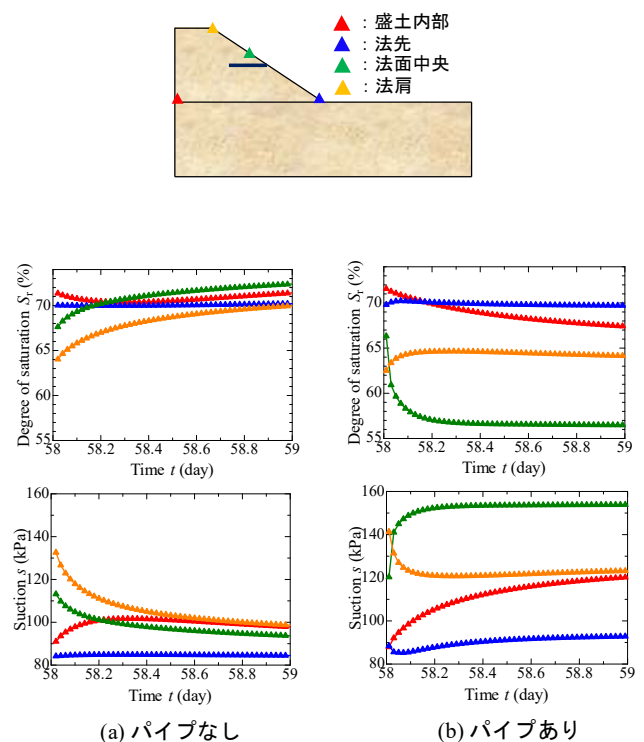


図 6. 飽和度・サクシジョンの経時変化