

施工条件を考慮した盛土の築造・供用過程における応力解析 Stress analysis on construction and in-service to embankment considering construction conditions

鈴木 聡恵 (福島高専・産業技術システム工学専攻) 金澤 伸一 (福島高専・都市システム工学科)
Satoe Suzuki, National Institute of Technology, Fukushima College
Shin-ichi Kanazawa, National Institute of Technology, Fukushima College
FAX: 0246-46-0843, E-mail: stzu1030@gmail.com

In recent years, many examples of soil structure collapse due to heavy rainfall have occurred. Because of this, it is urgent to establish a method to evaluate and examine long-term embankment structure quality. Japan's conventional design method insufficiently evaluates embankments. Although this method is shifting to a performance-based design to cope with recent abnormal weather, an effective design method has not yet been established. Therefore, this research performs an initial stress analysis of embankment, accounting for differences in construction conditions. Notable in this study, is the comparative analysis of results, considering the initial water content ratio, one layer of discharge thickness, rolling compaction, and other given structural conditions that differed from conventional design standards. Based on the dynamics of unsaturated soil, the rainfall intensity was analyzed in order to confirm the variation of the initial stress due to rainfall. Lastly, and most critically, the dynamic change in embankment performance by the aging was analytically expressed, and the optimal structural conditions of embankment, grouped by rainfall history, was examined.

1. はじめに

現在、盛土構造物の評価手法に関する設計手法として安全性や耐震性等の要求性能を考慮した性能設計に移行しつつある。排水対策や安全性を考慮した設計が十分に検討されてきたにも関わらず、近年多発している突発的な集中豪雨による盛土構造物の崩壊事例が数多く報告されており、崩壊メカニズムの明確化や盛土構造物の品質を長期的に評価・検討する手法の確立が急務となっている。

これまで鈴木ら¹⁾は、締固め試験を模擬した解析から得た複数の含水比と、複数の施工条件を考慮した盛土構造物の初期応力解析を行っている。そこで本研究では、盛土構造物の長期性能および盛土内部の応力挙動を把握するため、不飽和土の力学に基づき、締固め～築堤～供用過程の降雨履歴や複数の施工条件を考慮した解析を行った。一層の撒き出し厚さ、締固め強さ、施工速度を従来の施工手法とは異なる施工条件を考慮して解析を行い、従来の施工条件と新たな施工条件の築堤結果の違いを比較検討した。また、供用期間10年分の降雨を盛土に与え、経時変化に伴う盛土内部の力学挙動変化を解析的に表現し、盛土構造物の最適な施工条件の設定の検討を行った。さらに供用10年後の盛土に突発的な集中豪雨を与える解析も行い、どのような挙動を経て破壊に至るかを解析的に検討した。

2. 供用過程の降雨浸透

2. 1. 研究方法

本研究では、不飽和土/水/空気連成有限要素解析コード(DACSAR-MP)を用いて供用過程の降雨浸透を考慮した解析を行い、力学挙動変化を解析的に表現した。築堤時点までの研究フローは、鈴木ら¹⁾と同様である。Fig. 1に解析領域を示す。解析領域に供用10年分の降雨を与え、応力変化を検討した。供用過程におけるせん断ひずみの挙動推移を数値的に把握するため、盛土内部の要素、法先の要素、法面中央の要素、法肩の要素を抽出し、グラフを作成した。Fig. 2に一層の厚さが0.3m, 0.5m, 0.6mの盛土から抽出した要素を示す。

2. 2. 解析結果

Fig. 3に本研究で想定した施工条件 Case1-3の供用10年

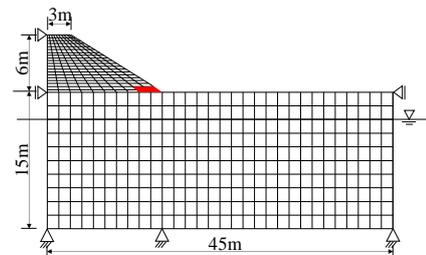


Fig. 1 解析領域

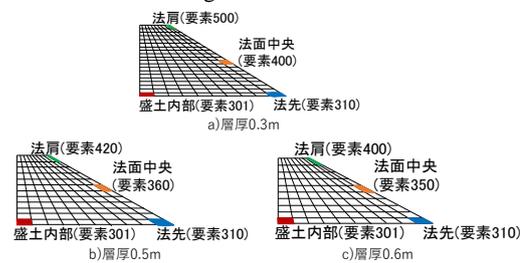
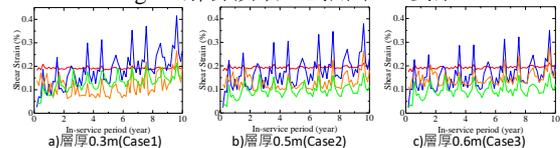
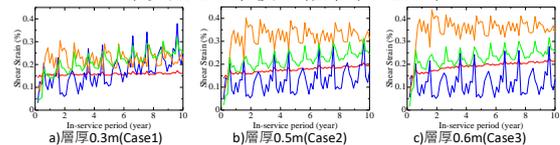


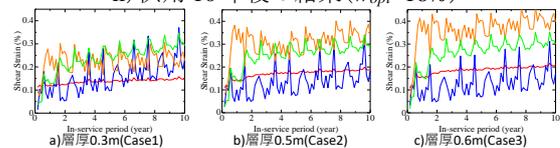
Fig. 2 解析領域から抽出した要素



i) 供用10年後の結果 ($w=16\%$)



ii) 供用10年後の結果 ($w_{opt}=18\%$)



iii) 供用10年後の結果 ($w=20\%$)

Fig. 3 Case1-Case3のせん断ひずみの経年変化

間におけるせん断ひずみの経年変化を示す。 $w=16\%$ で築堤を行った場合、層厚の高さに関わらず供用初期の時点では盛土内部が最も弱部になり、供用開始後 10 年経過した時点では法先が最も弱部になる傾向を示した。次に、 $w_{opt}=18\%$ で築堤を行った場合、供用初期は、層厚の高さに関わらず盛土内部が最も弱部になる傾向を示したが、供用開始後 10 年経過した時点では層厚を 0.3m で施工した場合は天端が最も弱部だが、層厚を 0.5m、0.6m で施工した場合は法面中央～天端にかけて弱部になる傾向を示した。そのため表層滑りが発生する可能性があることが示唆される。築堤時に転圧強度を一定としたため、層厚が高くなるにつれて締固め効果は発揮されにくい。法面は元来、締固めを行いつらぬ箇所だが供用開始 10 年経過時点で締固め効果の不均一性が顕著に現れ、層厚が高くなるほど法面中央が最も弱部になったと考えられる。 $w=20\%$ で築堤を行った場合のせん断ひずみの経年変化は、最適含水比 $w_{opt}=18\%$ で施工を行った場合と同様の傾向を示した。これらのことから層厚 0.5m、0.6m で施工を行うと供用開始 10 年経過時点で $w_{opt}=18\%$ を閾値として表層滑りが発生する可能性が高いと考えられる。

3. 集中豪雨を模擬した解析

3. 1. 研究方法

近年多発している突発的な集中豪雨(10mm/h, 50mm/h, 100mm/h)を供用 10 年経過時点の盛土に与え、盛土内部の応力変化や浸潤面の形成機構を解析的に検討した。Table 1 に盛土に与えた降雨量²⁾について示す。用いた解析コードは供用過程と同様である。解析領域上端は排気条件で降雨強度に応じた流量境界を与えた。実地盤において地表面が飽和すると、降雨は表層流となることから、本解析において流量境界は供用 10 年後の盛土地盤の浸透能を超える降雨浸透が発生しないように解析中で流入量を調整している。そして、盛土内部の浸潤面の形状を把握するため降雨 30 分後、60 分後の浸潤線を可視化した。

3. 2. 解析結果

Fig. 4 に $w=16\%$ の盛土に 10mm/h の降雨量を与えた場合の a) 降雨 30 分後、b) 60 分後の浸潤線を、Fig. 5 に同様の解析領域に 50mm/h の降雨量を与えた場合の a) 降雨 30 分後、b) 60 分後の浸潤線を示す。降雨 30 分後の時点で 100mm/h の降雨量を与えた盛土は崩壊していたため、10mm/h と 50mm/h の降雨量を与えた結果のみを示す。

Fig. 4 の解析結果をみると層厚の高さに関わらず降雨 30 分後の時点では盛土の表層に沿って浸潤線が形成される傾向がある。また、層厚が 0.3m から 0.5m、0.6m と高くなるに伴い、盛土内部への降雨浸透量が多い。締固め効果の不均一性が 10mm/h の降雨量を与えた場合においても顕著に現れている。降雨 60 分後の結果をみると層厚の高さが高くなるにつれて盛土内部の浸透量が多く、締固め効果の違いがさらに顕著に現れている。

4. まとめ

本研究では不飽和土の力学に基づき締固め～築堤～供用まで一連の流れで解析を行い、集中豪雨を供用後の盛土に与えた解析を行ったことで飽和度上昇に伴うせん断変形の進行を理論的に検討することができた。

また、施工の効率や、盛土の安全性、コスト等を考慮すると本研究の条件下において最適な施工条件は土壌の含水比 $w=16\%$ で層厚を 0.3m とし、施工期間を短縮した施工条件が該当すると考えられる。

Table 1 盛土に与えた降雨量

降雨量(mm/h)	予報用語	降雨状況
10	やや強い雨	雨音で話し声がよく聞き取れない。 長雨の場合、災害の警戒が必要。
50	非常に激しい雨	滝のように降る。
100	猛烈な雨	傘は全く役に立たなくなり、圧迫感や恐怖を感じる。 重大な災害が起こる恐れが著しい。

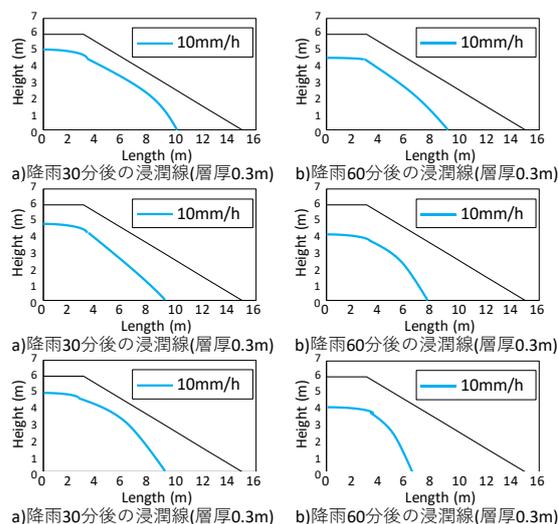


Fig. 4 $w=16\%$ の盛土に 10mm/h の降雨を与え続けた結果

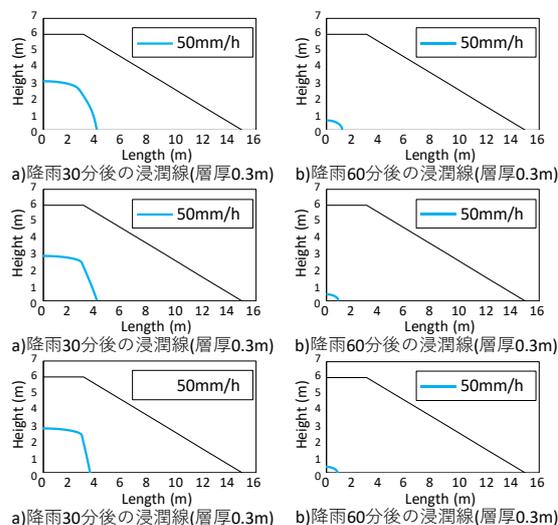


Fig. 5 $w=16\%$ の盛土に 50mm/h の降雨を与え続けた結果

参考文献

- 鈴木聡恵, 金澤伸一, 五十嵐日菜: 施工条件と締固め特性を考慮した盛土の応力解析, 第54回地盤工学研究発表会講演集, 地盤工学会, pp.1793-1794, 2019.
- 気象庁: Japan Meteorological Agency, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html