

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04692

研究課題名（和文）長寿命化を見据えた盛土構造物の健全性に関わる力学評価手法の確立

研究課題名（英文）Establishment of mechanics evaluation method for integrity of embankment structures for long life

研究代表者

金澤 伸一（KANAZAWA, SHINICHI）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：20580062

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：近年、気候変動による突発的豪雨によって盛土や河川堤防に代表される土構造物の崩壊事例が数多く報告されている。しかし、その崩壊に対する要因分析やメカニズムは十分に解明されていないのが現状である。そういった状況から、土構造物の安定に対する外的評価システム構築の必要性が求められている。そこで本研究では、築造から供用後に至るまでの降雨による内部の応力挙動の変化と、その後の断続的豪雨に伴う浸透による盛土崩壊メカニズムを実験と解析によって表現することで、土構造物が破壊に至るまでの降雨量と継続時間との関係を明らかにし、長寿命化を見据えた土構造物の長期供用過程での力学挙動の変化を定量的に評価する手法を構築する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土構造物の長期にわたる安全性の担保の観点から、合理的な性能評価解析技術とそれらを照査手法とする設計体系の整備が極めて重要である。また、本研究から得られる成果は、不飽和土を考慮した地盤工学における技術をベースにしながら、土構造物の挙動評価を長期的に行うことで品質評価に寄与すると考えられる。さらには、近年の外的作用による土構造物の劣化に伴い発生する力学挙動の変化を予測・説明することを可能にするツールとして、多面的な対策を創出することができるため、その社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：In recent years, there have been many reports of the collapse of soil structures such as embankments and river embankments due to sudden heavy rains caused by climate change. However, the factor analysis and mechanism for the collapse are not sufficiently clarified at present. From such a situation, the necessity of constructing an external evaluation system for the stability of earth structures is required. Therefore, in this study, the changes in internal stress behavior due to rainfall from construction to the time of service, and the embankment collapse mechanism due to seepage due to intermittent heavy rains are expressed through experiments and analysis. By clarifying the relationship between rainfall and duration, we develop a method to quantitatively evaluate changes in mechanical behavior during long-term use of soil structures with a view to extending their service life.

研究分野：地盤工学

キーワード：不飽和土 盛土構造物 築造解析 降雨継続時間 集中豪雨

1. 研究開始当初の背景

近年、気候変動による突発的豪雨によって盛土構造物の崩壊事例が数多く報告され、毎年のように土砂災害に対する危険に苛まれているが、その崩壊に対する要因分析やメカニズムは十分に解明されていないのが現状である。土構造物の強度・変形特性は、降雨などの水理特性によって挙動が大きく変わることは広く知られている。また豪雨などの外的作用を要因として、その機能の低下が懸念される構造物も少なくない。一方で、近年では盛土構造物の設計手法として性能照査型設計法の導入が進んでおり、個々の構造物が設計耐用期間を通じて要求性能を満足することを照査する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、性能照査型設計法に求められる長期間の盛土構造物の挙動把握を行うため、2種類の勾配を持つ盛土に対して数値解析と模型実験を用いて、築造から供用後に至るまでの降雨による内部の応力挙動の変化と、その後の断続的豪雨に伴う浸透による盛土崩壊メカニズムを表現することで、土構造物が破壊に至るまでの降雨量と継続時間との関係を明らかにし、長寿命化を見据えた土構造物の長期供用過程での力学挙動の変化を定量的に評価する。

3. 研究の方法

数値解析は模型実験に倣い実施した。空気溶存型の不飽和土/水/空気連成有限解析コード(DACSAR-MP)を用いて模型実験の再現解析を行った。図1、表1、図2に使用した有限要素モデル、材料パラメータ、水分特性曲線を示す。本研究では、盛土の斜面勾配に着目した検討を行うため、急勾配盛土(斜面勾配1:1)と緩勾配盛土(斜面勾配1:1.8)の2種類を設定した。なお、これらは模型実験に準じて設定した。また、模型実験に倣って締固めを考慮した築造解析を行った。図3に築造解析の流れを示す。一層撒き出した後10kPaの締固めを5回繰り返し、これを盛土高さ300mmになるまで繰り返すことで再現した。築造後は80mm/hourの降雨を盛土天端・法面・基礎上面に与え、降雨解析を実施した。

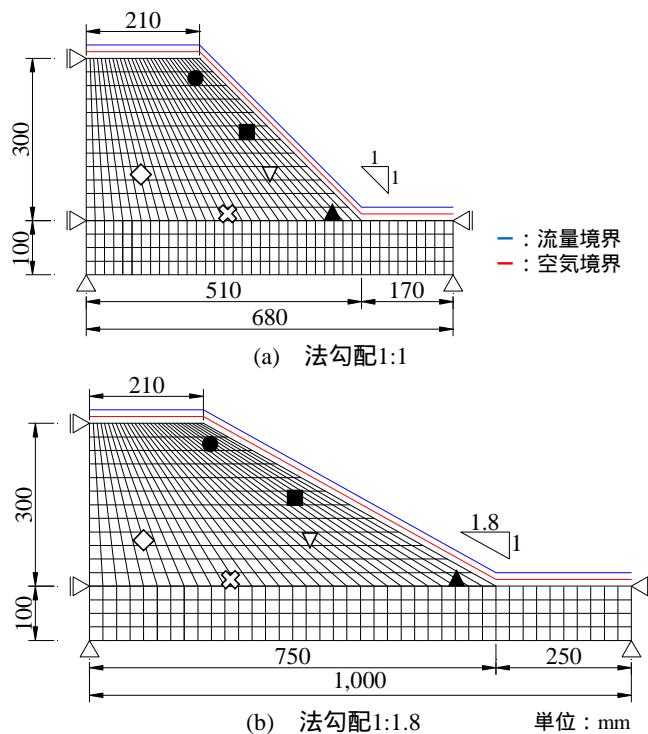


図1 有限要素モデル

表1 材料パラメータ

λ	κ	M	
0.025	0.0025	1.33	
m	n	n_E	
0.80	1.0	1.3	
e_0	ν	S_{r0}	G_S
0.70	0.33	0.15	2.7
k_x [m/sec]	k_y [m/sec]	ρ_a [t/m ³]	
1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.2×10^{-3}	

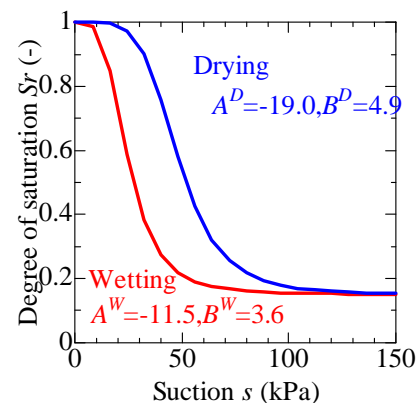


図2 水分特性曲線

4. 研究成果

(1) 再現解析と模型実験の結果

図4に、再現解析と模型実験における盛土部主要要素(図1参照)での飽和度とサクシヨンの経時変化を示す。なお、斜面勾配1:1.8の結果を抜粋している。まずサクシヨンに関しては、再現解析・模型実験ともに、降雨直後に法面でサクシヨンが大きく低下したのち、内部、深部までサクシヨンの低下が進行する結果となり、両者の結果に定性的な一致が確認された。

続いて、飽和度に関しては両者の結果に次のような共通点が確認された。

法尻部(図中)が最も早く飽和する。
浸透開始から飽和するまでの時間が概ね 40 分程度である。

法面上部(図中 と)は同じ挙動で飽和が進行する。

法面付近(図中 , ,)から内部(図中)にかけて飽和が進行する。

以上より、飽和度についても模型実験と数値解析で定性的な一致が確認された。さらに、図 5 に両者の浸潤面形成の様子を示すが、両者ともに浸潤面が盛土天端・法面から内部へと形成されており、こちらも良好な一致が確認された。よって、実現象と数値解析において定性的な一致が複数確認でき、その整合性を得ることができた。

(2) 斜面勾配に着目した崩壊機構の検討

図 6 に斜面勾配 1:1 および 1:1.8 における平均有効主応力の経時変化を示す。これより、斜面勾配に関わらず、降雨浸透に伴って法面付近(図中 , , ,)では

応力の減少が確認できる。これは、飽和度の上昇およびサクシジョンの低下に伴って応力が減少するものと考えられ、斜面勾配によらず法面付近から弱体化が進むことが示唆される結果となった。また、降雨開始からおよそ 20 分経過後に法尻部(図中)において大幅な応力減少が確認できるが、これは基礎部が先行して飽和する影響で、法尻付近において著しい応力減少が起こったものと推測される。このことから、盛土構造物全体を通して法尻付近が特に弱部となることが明らかとなった。実際、図 7 に示す通り、模型実験においても基礎部が先行して飽和しており、その影響で法尻付近から崩壊することが確認されている。続いて、各斜面勾配での応力状態を比較する。すると、斜面勾配 1:1 に比べて斜面勾配 1:1.8 では、同時刻における各要素の応力値が大きくなっており、急勾配盛土に比べて緩勾配盛土は弱体化の進行が遅いことが確認された。さらに、盛土崩壊までの時間を比較すると、斜面勾配 1:1 と斜面勾配 1:1.8 では約 5 分の差が確認でき、緩勾配盛土のほうが崩壊に対して安全であることも確認された。

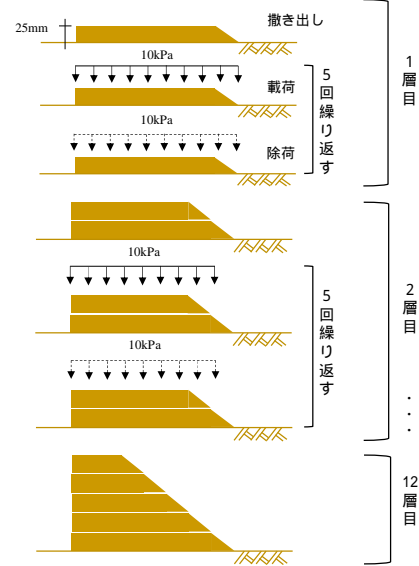
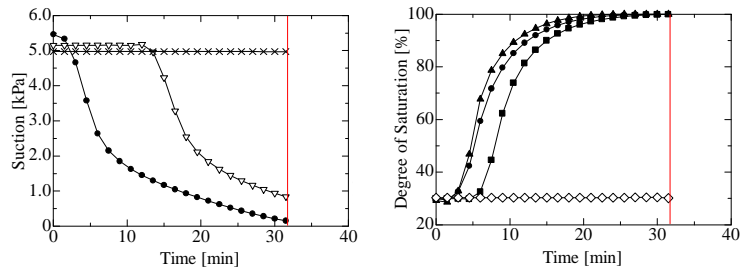


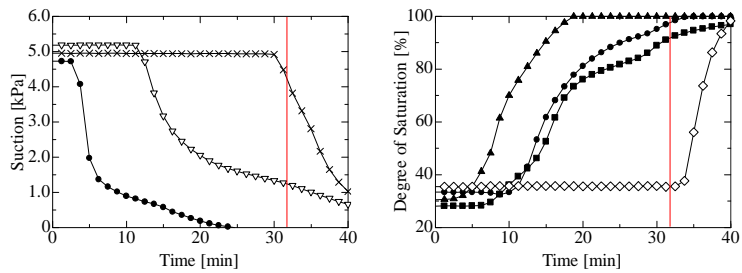
図 3 築造解析フロー



(a) サクシジョン変化

(b) 飽和度

(i) 数値解析

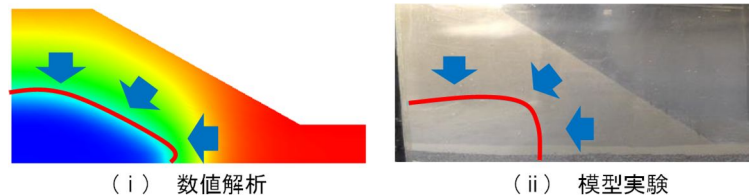


(a) サクシジョン変化

(b) 飽和度

(ii) 模型実験

図 4 飽和度・サクシジョンの経時変化



(i) 数値解析

(ii) 模型実験

図 5 浸潤面形成の様子

(3) まとめ

本研究では、模型実験とその再現解析を行い、飽和度とサクシンの経時変化を比較することで、数値解析の有用性を示した。さらに、降雨による盛土の弱体化は斜面勾配によらず法面から進行し、特に法尻付近が弱部となることが明らかになったことに加え、斜面勾配に着目すると緩勾配盛土は急勾配盛土に比べて弱体化及び崩壊に対して安全であることが数値解析により確認された。

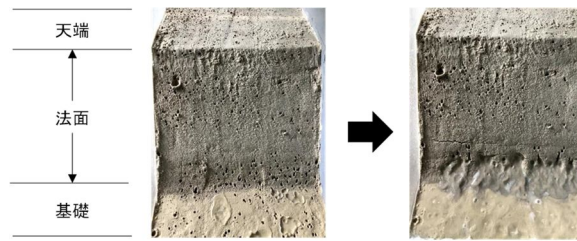


図7 模型実験における盛土崩壊時の様子

参考文献

(1) Kanazawa S., Toyoshima K., Kawai K., Tachi-bana S. and Iizuka A.: Analysis of mechanical behavior of compacted soil with F.E. method, journal of JSCE, No.68 (2), 2012, pp.291-298.

(2) Cabinet office, Government of Japan: About the damage situation related to Typhoon No. 19 etc. in the first year of Reiwa, 2020, pp.1-116.

(3) Ohno S., Iizuka A. and Ohta H.: Two categories of new constitutive model derived from non-linear description of soil contractancy, Journal of applied mechanics, 2006, pp. 407-414

(4) Nakamura E. and Kanazawa S.: Analytical study on quality evaluation of embankment structure with a view to longer life, International Journal of GEOMATE, Vol.20, Issue 78, 2021, pp.177-182.

(5) Japan road association: Road earthwork-embankment work guidelines, MARUZEN publishing, 2010, pp.1-310.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 kanazawa Shin-ichi	4. 巻 22
2. 論文標題 INFLUENCE OF RAINFALL INTENSITY ON INFILTRATION SURFACE FORMATION OF RIVER EMBANKMENTS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 pp.71-76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21660/2022.92.7560	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kanazawa Shin-ichi	4. 巻 20
2. 論文標題 ANALYSIS OF EMBANKMENT STRESS PRODUCED DURING CONSTRUCTION AND IN-SERVICE PHASES CONSIDERING EMBANKMENT GEOMETRIES	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 pp.68-73
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21660/2021.79.GX189	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kanazawa Shin-ichi	4. 巻 20
2. 論文標題 EXPERIMENT REGARDING MONTMORILLONITE CONTENT AND STRENGTH PROPERTIES IN BENTONITE UNDER THE INFLUENCE OF HEAT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 pp.22-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21660/2021.82.Gx235	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura, E., Kanazawa, S.	4. 巻 Vol.20, Issue78
2. 論文標題 Analytical study on quality evaluation of embankment structure with a view to longer life	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 pp.177-182
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kanazawa, S., Suzuki, S.	4. 巻 Vol.18, Issue65
2. 論文標題 Stress analysis of embankment due to different in construction conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 pp.1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 松田弘毅, 金澤伸一, 柳井正樹, 吉野修
2. 発表標題 様々な熱の影響によるベントナイトの膨潤特性
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下大輝, 金澤伸一, 江本久雄
2. 発表標題 降雨強度の違いによる密度変化が盛土構造物に与える影響
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 一条つばさ, 金澤伸一, 江本久雄
2. 発表標題 降雨強度の違いによる河川堤防の応力解析
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木颯人, 金澤伸一, 江本久雄
2. 発表標題 降雨強度の違いによる河川堤防崩壊機構に関する実験的検討
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 殿木雄大, 鈴木颯人, 金澤伸一
2. 発表標題 集中豪雨による盛土の排水機能への影響
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木聡恵, 金澤伸一
2. 発表標題 不飽和土の力学に基づいた盛土構造物の応力解析
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村えみか, 金澤伸一, 鈴木聡恵
2. 発表標題 施工条件を考慮した盛土構造物の初期応力解析
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木聡恵, 金澤伸一
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第23回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------