

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02247

研究課題名（和文）道路網のレジリエンス・マネジメントに資する土構造物の維持管理技術の高度化

研究課題名（英文）Advanced maintenance management technologies for geotechnical structures to resilience management of road network

研究代表者

宮田 喜壽 (Miyata, Yoshihisa)

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・教授

研究者番号：20532790

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、道路網のレジリエンス・マネジメントに資する土構造物を対象にした維持管理技術の高度化を目的とし、1) 土構造物の性能劣化過程の解明、2) 土構造物の予防保全技術の開発、3) 浸透作用および予防保全効果を考慮した土構造物の性能評価の構築、の3つを研究した。1) では、盛土材および地盤補強材の劣化や長期材料特性を明らかにした。2) では、既存技術の検証実験を行うとともに、サウンディング機能を有する新たな予防保全技術を構想し、その妥当性を検証した。3) では、浸透作用・予防保全効果の影響を考慮した極限つり合いモデルおよび有限要素法の構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、頻発する自然災害を経て、国土強靱化が国の施策として進められているが、その概念に基づく構造物の設計・維持管理法は十分に確立されていない。一方、我が国においては老朽化しつつあるインフラが数多く存在する。予防保全を合理的に進めていく必要があるが、その具体的な方法には大きな課題が残されている。国土強靱化を進める上で、道路網の大部分を占める土構造物のレジリエンス・マネジメントを適用する意義は大きい。本研究によって得られた土構造物の性能劣化およびそれに対する予防保全技術の成果は、頻発する自然災害への対応および老朽化しつつあるインフラ問題の解決に貢献する。

研究成果の概要（英文）：This study aims to advance maintenance and management techniques for soil structures that contribute to the resilience management of road networks. The following three types of research were performed. 1) To investigate the degradation process of soil structures and their performance, 2) To develop preventive maintenance techniques for soil structures, and 3) To build the performance assessment of soil structures considering infiltration action and preventive maintenance effects. Obtained results are as follows. 1) Deterioration and long-term material properties of soil and reinforcing materials were clarified. 2) The existing countermeasure technologies were validated, and a new preventive maintenance technology with sounding functions was developed and validated. 3) A limit equilibrium method and a finite element method were developed, which can consider the effects of critical seepage action and preventive maintenance effects.

研究分野：地盤工学

キーワード：土構造物 維持管理 レジリエンス 予防保全

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

数多くの被災事例の分析を経て、災害時のインフラ機能のレジリエンス・マネジメントを適切に行う重要性が認識されている（国土強靱化基本計画 2014 など）。インフラ機能のレジリエンスは、災害時の機能低下と復旧にかかる時間の関係で表されるレジリエンス・トライアングルという指標で評価できる（Bruneau 2003）。構造物の老朽化がなく、予防保全を施さないという最も単純化した条件では、レジリエンス・トライアングルはインフラの供用期間を通して一定とみなされる。しかし実際は、インフラを形成する構造物の老朽化の影響は無視できず、供用期間が長くなるに従い、機能低下とレジリエンス・トライアングルの影響が顕著になる。この場合、適当な時期で予防保全を行えば、その影響を小さくできる。予防保全によるレジリエンス・マネジメントは効果的で、これを合理的に実行するための技術を早期に確立する必要がある。社会基盤を支えている道路網に対し、レジリエンス・マネジメントを適用する意義は特に高い（Frangopol 2017）。道路網は様々な構造物から構成されるが、土構造物の割合が圧倒的に多い。土構造物は、盛土材、排水工、のり面保護・擁壁工、補強材などからなるが、そのいずれもが供用に伴い劣化する可能性がある。

上記の背景において、申請者は道路網の大部分を構成する土構造物を対象にレジリエンス・マネジメントに資する維持管理技術の高度化のための研究を行うべきとの考えに至った。現在、頻発する自然災害を経て、国土強靱化が国の施策として進められているが、その概念に基づく構造物の設計・維持管理法は十分に確立されていない。一方、我が国においては老朽化しつつあるインフラが数多く存在する（内閣府 2013）。予防保全を合理的に進めていく必要があるが、その具体的な方法には大きな課題が残されている。申請者はこれまで土構造物の性能設計について研究を進め、構造物の性能を確率論的に評価する方法やリスクベースの設計法について成果を取ってきた。その内容をさらに一歩進め、レジリエンス・マネジメントの確立に貢献できるような学術的成果を挙げれば、頻発する自然災害への対応および老朽化しつつあるインフラ問題を解決できると考えた。

### 2. 研究の目的

現在の社会基盤整備において、強靱性の確保とインフラの老朽化への対応が課題になっていることから、道路網、そしてその大部分を構成する土構造物を対象にレジリエンス・マネジメントに資する維持管理技術の高度化について検討した。まず、交通・降雨の組合せ作用条件における盛土、重力式擁壁、補強土壁の性能劣化過程を模型実験で明らかにし、さらに所定の段階で排水パイプ・補強鉄筋を土構造物に打設する予防保全技術の妥当性について検討した。次に、予防保全の効果を考慮できる土構造物の性能評価法を構築し、道路網のレジリエンスを強化するためのマネジメント法を提案することを目的として研究を実施した。

### 3. 研究の方法

本研究は土構造物のレジリエンス・マネジメントにおける予防保全技術の検討とその予防保全の効果を検討した性能評価法の構築を目指すものである。

#### （1）土構造物の性能劣化過程に関する検討

①浸透履歴の影響を調べるための土の変形強度試験：浸透作用による土の性能劣化過程を明らかにするために、浸透作用が土の構造および力学特性に与える影響を明らかにするための実験を実施した。

②地盤補強材の長期材料試験と評価モデルの構築：土中の力学および化学条件を再現可能な促進クリープ試験法について検討を行い、高分子補強材の長期材料特性と土中環境条件の関係を明らかにするための実験を実施した。

③浸透作用による土構造物の変状メカニズムの解明：土構造物の背面から所定の浸透作用を与える浸透模型実験法について検討し、浸透条件と土構造物の変状・崩壊挙動の関係を明らかにするための実験を実施した。

#### （2）土構造物の予防保全技術に関する検討

①既存技術の検証実験：排水工、変形抑制工およびそれらを併用した予防保全技術について、その効果を明らかにするための浸透模型実験を実施した。

②サウンディング機能付き予防保全技術の開発：排水パイプを土構造物に打設する際、その貫入抵抗で土中の状態を把握する新しい保全技術を開発するための実験を実施した。

③予防保全による土構造物の地盤定数推定法の構築：②の実験結果より、深い基礎の支持力評価を対象に構築された空洞膨張理論を援用し、地盤定数を推定する方法を検討した。

#### （3）浸透作用および予防保全効果を考慮した土構造物の性能評価に関する検討

①浸透作用・予防保全効果の影響を考慮した極限つり合いモデル：浸透模型実験の結果より、地盤内水理条件と地表面形状の変化を考慮した極限つり合いモデルを構築するための検討を行った。

②豪雨による土構造物の崩壊形態を再現するための数値解析法：豪雨による土構造物の変状を有限要素法で再現する方法について検討を行った。

③予防保全を考慮した性能評価モデル：これまでの成果をとりまとめ、供用中の性能劣化、予防

保全の効果、その後の再劣化を考慮した土構造物の性能評価モデルを検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 土構造物の性能劣化過程に関する検討

浸透作用の影響について、広範な動水勾配条件で浸透力が計測可能な透水試験装置を用いて検討した。広く盛土材として使用されるまさ土を対象として、浸透作用による土構造の変化を調べた。その結果、浸透初期には土粒子の流入による目詰りが発生し、その後、土粒子が流出する内部侵食が進行することを明らかにした。浸透作用によって細粒分が移動し、目詰りおよび内部侵食が発生することから、その際の体積変化の有無を考慮して、土構造変化が大きく4パターンに分類されることを考察した。それぞれの土構造を模擬した供試体に対して一面せん断試験を行い、土構造変化と力学特性の関係を調べた。その結果、内部侵食条件では、細粒分が減少することでせん断強度は減少すること、目詰り条件では、細粒分の流入によって供試体のせん断強度は大きくなるが、細粒分含有率が15%を超えるとせん断強度が大きく減少することを明らかにした。内部侵食のみでなく、目詰りにおいても土のせん断強度は低下することから、浸透作用による土構造変化を適切に評価する必要性のあることを示した。

地盤補強材の長期材料特性を明らかにするために、土中の力学および化学条件を再現可能な促進クリープ試験を実施した。まず、試験法に関する基礎的な検討を行い、補強材の引張方法や供試体作製方法および促進試験のための温度調整方法を決定した。次に、施工時の損傷、土中拘束、クリープ荷重などの条件を変化させた実験を行った。結果より、施工時に損傷した補強材が土中での長期クリープにおいて、変形して破断するまでの挙動を明らかにした。さらに、施工時の損傷、土中拘束、クリープの影響を統一的に考慮した補強材の長期強度評価法を提案し、本評価法によって土の種類や施工法などの現場条件、構造物の設計寿命を考慮した設計強度の評価が行えることを示した。

浸透作用による土構造物の変状メカニズムを明らかにするために、土構造物の背面から所定の浸透作用を与える浸透模型実験を行った(図-1)。本装置は、地下水位のみならず土構造物の地表面形状の経時変化を計測できる。これにより浸透作用を与えた際の、土構造物の地下水位と地表面形状の関係を明らかにすることが可能である。結果より、浸透作用によって、盛土のり尻部での局所的破壊と、その領域での土の消失による新たなすべりの発生が繰り返し生じる進行破壊的挙動を示すことを明らかにした。

##### (2) 土構造物の予防保全技術に関する検討

既存技術の検証実験として、予防保全を施した土構造物の浸透模型実験を行った。本実験では、のり面に排水パイプを設置する排水対策、のり尻に蛇籠工を設置する変形対策、排水パイプと蛇籠工を併用する複合対策について検討した。結果より、排水パイプのみではのり尻の変状抑制には十分な効果を達成することが難しいこと、蛇籠工のみでは水位上昇による変状抑制は難しいこと、排水パイプと蛇籠工を併用すると、浸透作用が非常に厳しい条件でも盛土の進行破壊的変状を抑制できることを明らかにした。

排水パイプを土構造物に打設する際、その貫入抵抗で土中の状態を把握する新しい保全技術を構想した。上載圧作用条件で模型地盤に排水パイプを貫入させる模型試験を実施し、模型地盤条件を種々変化させた実験より貫入抵抗と地盤の強度定数との関係を調べた(図-2)。一連の結果より、排水パイプの貫入抵抗と地盤の強度定数の関係に一義的な関係があることを明らかにした。さらに、深い基礎の支持力評価を対象に構築された空洞膨張理論を援用することで、貫入抵抗値から地盤定数を推測できることを明らかにした。

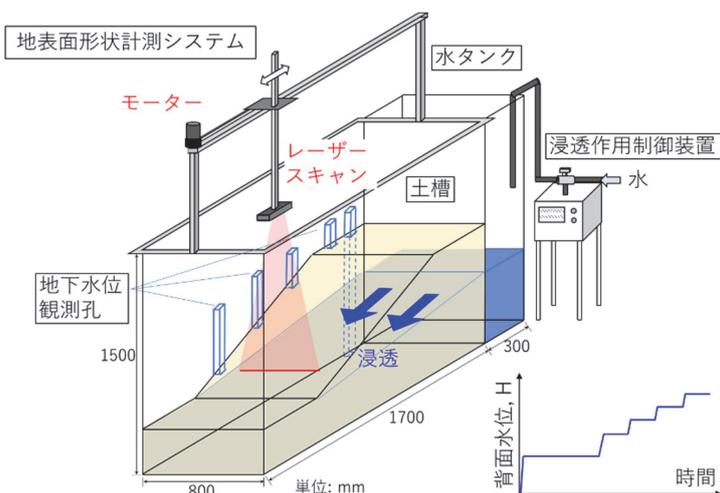


図-1 土構造物の浸透模型実験

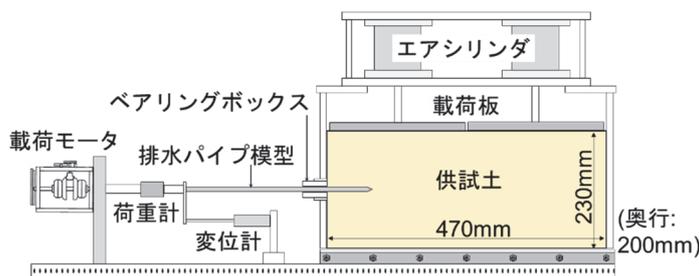


図-2 排水パイプの貫入模型実験

(3) 浸透作用および予防保全効果を考慮した土構造物の性能評価に関する検討

浸透模型実験の結果より、浸透作用および予防保全の効果を考慮した極限つり合いモデルを構築した。浸透作用による地下水位分布を Dupuit 法の拡張による水位分布モデルによって評価し、実験により明らかになった崩壊・堆積による地表面形状の変化を考慮できる極限つり合いモデルを構築した。予防保全技術として排水ハイプおよび蛇籠工をモデル化する方法を示し、予防保全の効果を考慮できるモデルとした。実験結果よりモデルの妥当性を確認した。

豪雨による土構造物の変状を有限要素法で再現する方法について検討した。浸透作用による地盤内水理条件と盛土材料の強度定数の変化を合理的に評価できれば、実際の崩壊形態を再現できることを示した。

以上、道路網のレジリエンス・マネジメントの高度化に資する土構造物の維持管理技術について成果を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 宮田 喜壽, 宮本 慎太郎	4. 巻 37
2. 論文標題 広範な水頭差条件における不織布系ジオテキスタイルの垂直方向透水性能の試験と評価法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 pp.63-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.37.99	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 宮本慎太郎, 宮田喜壽	4. 巻 78
2. 論文標題 地盤模型実験におけるPIVを用いた変位場計測法に関する基礎的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2	6. 最初と最後の頁 pp.1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejam.78.1_1	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 宮本慎太郎, 宮田喜壽, Richard Bathurst	4. 巻 36
2. 論文標題 ジオグリッドの土中促進クリーブ試験に関する基礎的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 67-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.36.67	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 該当する
1. 著者名 高倉太希, 篠田昌弘, 宮田喜壽	4. 巻 36
2. 論文標題 長時間加振条件における補強土壁 - 基礎地盤系の動的相互作用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 9-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.36.9	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 Bathurst,R.J., Bozorgzadeh,N., Miyata,Y. and Allen,T.M.	4. 巻 58
2. 論文標題 Reliability-based design and analysis for internal limit states of steel grid-reinforced mechanically stabilized earth walls	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Canadian Geotechnical Journal	6. 最初と最後の頁 695-710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1139/cgj-2019-0820	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 野々山栄人, 宮田喜壽, Bathurst,R.J	4. 巻 77
2. 論文標題 SPH法による補強土壁の変形・損傷・破壊解析法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2(応用力学)	6. 最初と最後の頁 35-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejam.77.1_35	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 該当する

1. 著者名 宮田喜壽	4. 巻 69
2. 論文標題 地盤構造物の設計・施工・維持管理における不確実性への対応	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 5-8
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮田喜壽	4. 巻 68巻, 9号
2. 論文標題 道路土工構造物の点検と防災, 7.擁壁および補強土壁の点検に関する国内外の動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 42-50
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 安倍 京之介, 篠田 昌弘, 久保 哲也, 辻 慎一郎
2. 発表標題 補強土壁の集中豪雨による崩壊事例と検証解析
3. 学会等名 第50回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Suphanatkriangkrai, P., 宮本 慎太郎, 宮田 喜壽
2. 発表標題 攪拌混合系改良土の内部構造可視化実験
3. 学会等名 第50回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北島 壮人, 宮本 慎太郎, 宮田 喜壽
2. 発表標題 盛土用排水パイプへのサウンディング機能付与に関する基礎的検討
3. 学会等名 第50回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miyamoto, S. and Miyata, Y.
2. 発表標題 Development of accelerated creep test apparatus subject to soil confinement for geosynthetics
3. 学会等名 7th Asian Regional Conference on Geosynthetics (GeoAsia7)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miyata, Y. and Miyamoto, S.
2. 発表標題 Physical modeling of embankments reinforced with geotextile bags and horizontal drainage pipes
3. 学会等名 7th Asian Regional Conference on Geosynthetics (GeoAsia7) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田 喜壽, 宮本 慎太郎
2. 発表標題 浸透作用に対する盛土の1g 模型実験
3. 学会等名 第77回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田 喜壽, 宮本 慎太郎
2. 発表標題 広範な動水勾配条件における浸透力計測実験
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miyata, Y. and Miyamoto, S.
2. 発表標題 Development of physical modeling system for progress failure of embankment slopes under hydraulic action
3. 学会等名 Proc. of 3rd International Symposium on Risk Assessment and Sustainable Stability Design of Slopes (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重家一斗, 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 浸透作用による盛土構造物の変状メカニズムと予防保全に関する模型実験
3. 学会等名 第49回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木綾真, 宮本慎太郎, 多田毅, 宮田喜壽
2. 発表標題 広範な浸透条件におけるジオテキスタイルの透水性能に関する研究
3. 学会等名 第49回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nonoyama,H., Miyata,Y.
2. 発表標題 Visualization and computation analysis of granular flow caused by embedded rigid body motion
3. 学会等名 Proc. of 25th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野々山栄人, 宮田喜壽, Bathurst,R.J.
2. 発表標題 実大ジオグリッド補強土壁載荷実験のSPH 法による数値解析
3. 学会等名 土木学会 第24回応用力学シンポジウム講演概要集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Bathurst,R.J., Miyata,Y. and Allen,T.M.
2. 発表標題 Developments in analysis and design of PET strap MSE walls
3. 学会等名 4th Pan American Conference on Geosynthetics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小浪 岳治, 宮田喜壽
2. 発表標題 室内・現場データとPWRC設計モデルを用いた多数アンカー式補強土壁の信頼性解析
3. 学会等名 第62回地盤工学シンポジウムプログラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹下康輔, 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 広範な動水勾配条件における浸透作用メカニズム解明に関する研究
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡山卓司, 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 浸透作用が締固め土の力学特性に及ぼす影響に関する研究
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021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
研究分担者	篠田 昌弘  (Shinoda Masahiro)  (30462930)	防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・システム工学群・教授   (82723)	
研究分担者	野々山 栄人  (Nonoyama Hideto)  (00624842)	防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・システム工学群・准教授   (82723)	
研究分担者	宮本 慎太郎  (Miyamoto Shintaro)  (60782711)	防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・システム工学群・講師   (82723)	

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
---------	---------