

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14247

研究課題名（和文）備蓄 - 緊急適応 - 撤去を考慮した災害道路復旧用ステレオバイオ地盤補強材の開発

研究課題名（英文）Development of deployable geocell reinforcement for disaster road restoration considered the process of stockpiling, emergency application and removal

研究代表者

宮本 慎太郎 (Miyamoto, Shintaro)

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

研究者番号：60782711

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、被災後の道路を早期に復旧する地盤技術を開発することを目的として、主に以下の4つの課題について検討した。1)展開構造を有する災害復旧用地盤補強材の高度化、2)被災状況に応じた補強方法の高度化に関する模型実験、3)環境負荷低減を見通した補強材の材料試験、4)クライシスマネジメントに資する性能評価法の提案。一連の検討結果をまとめ、道路および道路盛土を早期に復旧する地盤補強材の開発と地盤技術を提案した。さらに、地盤変形予測モデルと性能評価法の基本的な枠組みを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

道路の早期復旧や本復旧までを見通した復旧技術の構築は非常に重要であり、急務の課題となっている。そのような中で、本研究は、常時の備えから緊急復旧、本復旧などを見通した地盤技術の構築を行っている。復旧技術についても、道路の路盤から舗装部までを対象にした技術に加え、道路盛土の崩壊を想定した復旧技術を提案している。実験結果より、復旧技術の高度化を図るとともに、補強効果の評価法を提案している。道路の早期復旧技術の進展、地盤補強技術の適用性拡大という両方の分野において、新たな知見を提示できたと考える。

研究成果の概要（英文）：This research project has aimed to develop geotechnical technology for disaster road restoration and has conducted four main tasks: 1) development of deployable geocell reinforcement for disaster road restoration, 2) Physical modeling of advanced reinforcement technology considering the damage situation, 3) Material testing on reinforcement materials with reducing environmental impact, 4) Proposal of performance evaluation method contributed to crisis management. Geotechnical technology for road restoration was proposed, and the test results provided the basic framework for the ground deformation prediction model and performance evaluation method.

研究分野：地盤工学

キーワード：道路復旧 地盤補強技術 展開構造 バイオ素材 性能評価

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

被災後の緊急輸送を確実に確保し、迅速に機能させるためには、盛土の早期復旧技術の進展が必要不可欠である。早期復旧技術の現状をみると、土工（盛土の再構築、拡幅等）以外では、大型土のうが最も多く、その他では補強土工や蛇籠・鋼製枠が適用されている。しかし、災害現場特有の制約条件に加えて、土構造物の大型化や二次災害の深刻化により、既往の復旧技術では対応が困難になっている。申請者はこれまでに、緊急時の使用性に着目して展開構造を有する地盤補強材を開発してきた。研究を通し、1) 災害後の迅速な対応における、常時からの備えと緊急時の対応方法の検討、2) 様々な被災状況へ適応させるための補強方法の検討、3) 本復旧を行う際、早期復旧時の資材をスムーズに撤去、もしくは廃棄する技術の検討、4) 災害時のマネジメントにおいて、早期復旧による道路性能の評価方法の検討、が重要であると考えた。

本研究では、災害時に備えた「備蓄」、災害後の「運搬/施工」、種々の被災状況への「適応」、本復旧を見通した「撤去」を考慮した新たな災害道路復旧用地盤補強材（「ステレオバイオ地盤補強材」と称する）を開発した。さらに、様々な被災状況を考慮した補強方法の検討や災害時の道路のクライシスマネジメントに資する性能評価法の提案した。

2. 研究の目的

本研究では、備蓄－緊急適応－撤去のプロセスを考慮した新たな災害道路復旧用地盤補強材を開発し、迅速に道路を復旧可能な地盤補強技術の確立を行うことを目的とした。本目的を達成するために、①展開構造を有する災害復旧用地盤補強材の高度化、②被災状況に応じた補強方法の高度化に関する模型実験、③環境負荷低減を見通した補強材の材料試験、④クライシスマネジメントに資する性能評価法の提案、の4つを検討した。

3. 研究の方法

① 展開構造を有する災害復旧用地盤補強材の高度化

展開構造とは、折り畳んだ収納状態から必要に応じて展開利用可能な構造物を構築する技術である。本研究では、一枚のシートを立体展開してセル構造体を構築する展開式セル補強材（以下、単に「セル補強材」と称す）を提案した。セル補強材は、従来の補強材において構造的弱点になりやすい熱融着部が無く、展開時の展開角度を変化させることで、現場条件に合わせて配置できるものである。セル補強材の展開条件と補強材の三次元形状を解析し、補強材量が少なく、展開が容易で、大きな補強効果が発揮される構造を検討した。

② 被災状況に応じた補強方法の高度化に関する模型実験

被災状況に応じた補強方法を検討するために、1) 道路に土砂が流入した場合や道路に亀裂などが生じた場合を想定して、道路の路盤から舗装部を担うようにセル補強材を配置・補強する技術、2) 道路盛土自体が崩壊した場合を想定して、盛土のり面を復旧する技術、を主に検討した。セル補強材の構造を検討し、最適な復旧技術を探るための模型実験を行った。1)のケースでは、車輪の移動載荷模型実験を、2)のケースでは、降雨による浸透作用を模擬した浸透模型実験を行った。それぞれセル補強材の展開構造や、その他の併用技術による効果を明らかにし、道路および道路盛土を復旧する新しい地盤技術を提案した。

③ 環境負荷低減を見通した補強材の材料試験

セル補強材を構成する高分子材料の短期・長期材料特性を把握し、セル補強材の展開構造や被災状況、補強方法を考慮したセル補強材の高度化を図るための検討を行った。具体的には、補強材の土中促進クリープ試験を行い、補強材の短期・長期材料特性を評価した。補強材の高度化の第一段階として、高分子材料に作用する鉛直応力、クリープ荷重の違いや、施工時の損傷の有無が高分子材料の土中クリープ特性に及ぼす影響を把握した。試験方法を確立するとともに、短期から長期の材料特性を評価する方法を検討した。ステレオバイオ補強材の実用化に向けて、基礎的なデータを取得することができた。

④ クライシスマネジメントに資する性能評価法の提案

上記①～③の検討結果を元に、セル補強材を敷設した道路の性能設計を行う基本的な検討を行った。まずは、無補強・補強地盤を対象として、車両の走行回数に応じて地盤の変形を予測する地盤変形予測モデルと車両の通行可能性を考慮して地盤性能を評価する方法を構築した。さらに、地盤変形予測モデルをベースとして、地盤の許容変形量を規定し、通過可能な車両重量と通過回数を評価できる性能評価法を提案した。

4. 研究成果

① 展開構造を有する災害復旧用地盤補強材の高度化

一枚のシートを立体展開してセル構造体を構築する災害復旧用地盤補強材を提案した。まず道路盛土の天端および道路路盤から舗装部までを復旧するセル補強材として、これまでに提案した標準型の展開式セル補強材(図-1)に加え、中詰め土を容易に締め固めるための中詰め用孔を設けた補強材、中詰め土-セル壁面の摩擦を強化した補強材、高さの異なるセル構造体を交互に配置した新しい展開構造を有する補強材(「セル・グリッド型」と称す、図-2)を開発した。次に、崩壊した道路盛土を復旧するセル補強材として、盛土のり尻に配置する高い透水性を有する不織布系高分子材料で構築した箱型補強材、盛土のり面を構築する傾斜のついた補強材を開発した。それぞれの補強材の補強効果を模型実験によって検証した。

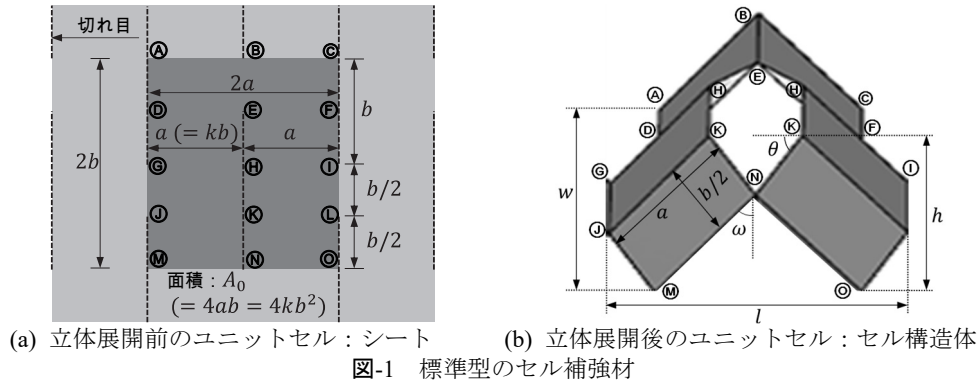


図-1 標準型のセル補強材

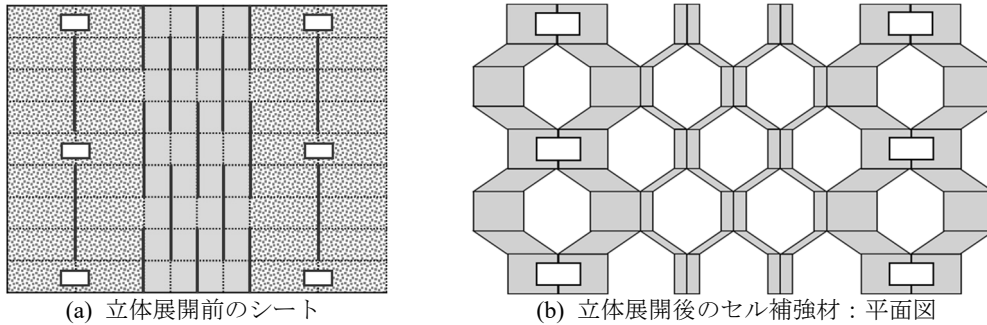


図-2 セル・グリッド型の補強材

② 被災状況に応じた補強方法の高度化に関する模型実験

道路路盤から舗装部までを復旧する技術を検討するために、車輪の移動載荷模型実験を行った。実験装置は図-5に示すようであり、車輪の鉛直荷重を一定にして水平方向に車輪の移動を行う模型実験である。実験ケースは、Case-1: 無補強, Case-2: 標準型のセル補強材, Case-3: 中詰め用孔を設置したセル補強材, Case-4: 摩擦を強化したセル補強材, Case-5: セル・グリッド型のセル補強材, である。実験結果より、展開式セルの展開角度が小さいほど、車両走行に対する補強効果は大きくなることを明らかにした。さらに、展開角度の大きな条件でも、セルと中詰め土とのまさつを大きくすることで補強効果は増加した。標準型のセル補強材よりも補強材量を約6割減少させたセル・グリッド型の展開式セルは、無補強と比べて2倍以上も車輪の鉛直変位を減少できることを明らかにした。

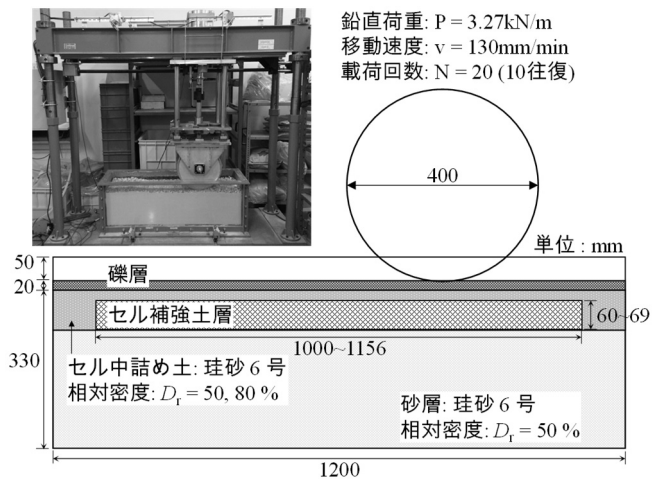


図-5 車輪の移動載荷模型実験装置

崩壊した道路盛土を早期に復旧する技術を検討するために、浸透模型実験を行った。実験装置は図-6に示すようであり、盛土背面より浸透作用を与える実験装置となっている。今回の実験では、基礎地盤を飽和させたのち、100mm ずつ水位を上昇させた。実験では盛土のり尻、のり面にセル補強材を設置したケーを基準とし、排水パイプや抑止杭を併用したケースを検討した。具体的には、Case-1: 無補強, Case-2: セル補強材でのり面とのり尻部を復旧, Case-3: Case-2 に抑

止杭を全面的に追加, Case-4: Case-2に抑止杭を局部的に追加, Case-5: のり尻部でセル補強材と排水パイプの併用 (のり面対策なし), Case-6: Case-2に排水パイプを追加の計 6 ケースである. 実験結果より, 無補強ではのり尻部から進行的な破壊が生じることを明らかにした. のり尻とのり面をセル補強材で復旧することで, 浸透作用に対する安定性を確保して盛土を復旧できることを確認した. 浸透作用が大きくなる場合には, 排水パイプや抑止杭を併用することで高い安定性を確保できることを明らかにした.

③ 環境負荷低減を見通した補強材の材料試験

セル補強材を構成する高分子材料の土中促進クリープ試験を行った. 試験装置は図-7に示すようであり, 土中の応力条件を再現してクリープ試験を行うことができる. 今回の実験では, 未損傷と損傷させた高分子補強材の土中クリープ特性を幅広い荷重レベルで検討した. 実験結果より, 未損傷の場合には土中・気中条件による違いはないが, 損傷では土中条件でよりひずみが進展することが明らかになった. 土中条件を考慮して高分子補強材の引張カーブ引張ひずみ-クリープ時間の関係性を評価した. ステレオバイオ補強材の実用化に向けて, 基礎的なデータを取得することができた.

④ クライシスマネジメントに資する性能評価法の提案

車両の通過回数と地盤の変形量の関係を予測するモデルを開発した. 本モデルは, 地盤反力係数, 車両重量, 車輪直径, 通過回数, フィッティングパラメータを用いて地盤の変形量を予測する実験 (経験) 式である. セル補強材の補強効果を地盤反力係数の増加として評価し, ステレオ補強材の剛性や形状を考慮した評価が可能になっている. 本モデルの妥当性を室内模型実験および実大走行実験の結果を元に検証し, 車両の通過による地盤の変形を精度よく評価できることを確認した.

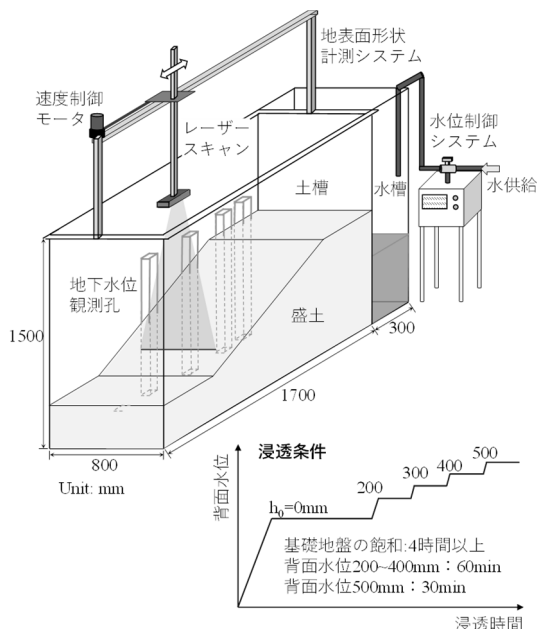


図-6 浸透模型実験装置

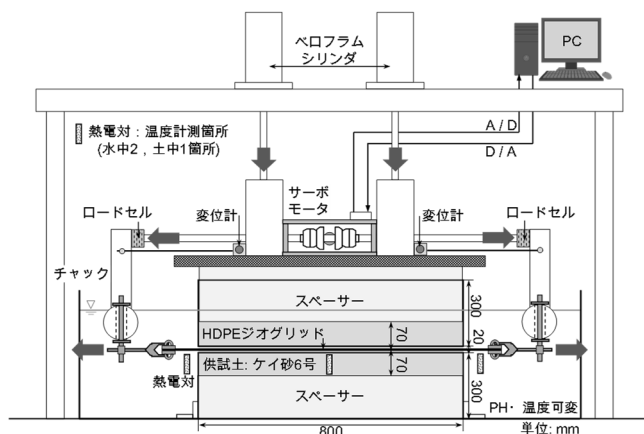


図-7 土中促進クリープ試験装置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 宮本慎太郎, 宮田喜壽	4. 巻 38
2. 論文標題 移動載荷条件におけるジオセルの地盤補強メカニズムに関する模型実験による検討	5. 発行年 2023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 150-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.38.150	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(応用力学)	6. 最初と最後の頁 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	4. 巻 37
2. 論文標題 鉛直載荷条件におけるジオセルの地盤補強メカニズムに関する模型実験による検討	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 63-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.37.63	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13件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Miyamoto,S. and Miyata,Y.
2. 発表標題 Confinement effects of geocell under direct shear conditions
3. 学会等名 12th International Conference on Geosynthetics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miyamoto,S. and Miyata,Y.
2. 発表標題 Laboratory evaluation of geocell reinforcement technology for road restoration (ISSMGE Bright Spark Lecture)
3. 学会等名 2nd International Conference on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miyamoto,S. and Miyata,Y.
2. 発表標題 Physical model tests of geocell reinforced soil foundation under moving wheel condition
3. 学会等名 9th International Symposium on Environmental Vibration and Transportation Geodynamics (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 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試験
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 展開式セルによる災害時道路復旧のための移動載荷模型実験
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ダワー バドマーラグ, 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 高分子地盤補強材の土中クリープ特性に関する促進実験
3. 学会等名 第51回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 原井汰朗, 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 展開式セル補強材による盛土の災害復旧技術に関する浸透模型実験
3. 学会等名 第51回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 ジオセル補強地盤の三次元移動載荷実験
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Miyamoto, Y. Miyata
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 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 ジオセル補強土を用いた災害時道路復旧技術に関する室内模型実験
3. 学会等名 第2回交通地盤工学に関する国内シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Xaivanhkham, 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 展開式セルによる補強地盤の移動載荷模型実験
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 伊藤好日, 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 災害時緊急道路への適用を想定したジオセルの三次元補強効果に関する模型実験
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 宮本慎太郎, 宮田喜壽
2. 発表標題 道路復旧に向けた展開式セル補強土技術の構想と室内基礎実験
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会講演集
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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