

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月19日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04039

研究課題名(和文) 有用微生物を用いた新たな地盤環境改善技術と国土保全への新展開

研究課題名(英文) Geo-environmental improvement techniques using useful microorganism and new approach to land preservation

研究代表者

大嶺 聖 (OMINE, Kiyoshi)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：60248474

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地盤環境改善技術として以下の結果が得られた。

1) 有用微生物の添加による塩害土壌の回復とひもを用いた省水型灌水方法を提案した。2) 底泥の含水比低下手法および微生物の混合による影響：導水ホースを用いたため池底泥の排水効果を検討するとともに、微生物による排水性の効果を明らかにした。3) 導水ホースを用いた斜面内地下水の排水技術：道路斜面で湧水が見られる長崎と沖縄の斜面に、新たに開発した導水ホースを設置し、降雨時の斜面からの排水量を測定し、最大で5L/min程度の量が確認できた。4) 斜面安定性(強度定数)を評価するための簡易現場試験法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最近の集中豪雨では土砂災害により甚大な被害が生じているが土砂災害の危険度を迅速に評価するとともに危険性の高い区域の地盤環境をより安定に保つための国土保全の新たな手法が求められている。本研究では、新たな地盤環境改善技術と斜面安定性の評価法を確立するために、有用微生物の添加による土質特性の変化、および土中水の排水効果の評価を行った。有用微生物による地盤環境の改善効果を明らかにするとともに、斜面災害の危険性のある地区での現場試験を実施した。これらは、地盤環境改善および斜面の安定性を向上させることができるため、国土保全への新たな技術として期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, the following results were obtained as the ground environment improvement technology.

1) Recovery of salt-affected soil by the addition of useful microorganisms and a water-saving irrigation method using strings were proposed. 2) The effect of the dewatering method of bottom sediment and the effect of the mixture of microorganisms was examined by using a water hose, and the effect of drainage by microorganisms was clarified. 3) A newly developed water-leading hose is installed on the slopes of Nagasaki and Okinawa where spring water can be seen on the road slope, and the amount of drainage from the slopes during rainfall is measured. The maximum amount of about 5 L/min could be confirmed. 4) A simple in-site test method was proposed to evaluate slope stability (strength constant).

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤環境改善 有用微生物 斜面安定 排水 簡易現場試験 塩害土壌

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 自然災害から国民の生命および財産を保護するためには、長期的に国土保全を推進する必要がある。特に、最近の集中豪雨では土砂災害により甚大な被害が生じているが、土砂災害の危険度を迅速に評価するとともに、危険性の高い区域の地盤環境をより安定に保つための国土保全の新たな手法が求められている。

(2) 福島原発事故で放射性セシウムが福島の森林に広く残留しており、土壌流出や地下水・河川等への拡散が懸念されている。このような汚染土壌を含めた地盤災害対策は、国際的にも非常に関心の高い地盤環境問題である。

2. 研究の目的

(1) 新たな地盤環境改善技術として、有用微生物の添加による土質特性の変化、塩害土壌の回復、および汚染物質の溶出抑制効果の評価を行う。

(2) 導水ホースを用いた斜面内地下水の排水技術、底泥の含水比低下手法および節水型灌水技術による土中水分の制御法を検討する。

(3) 斜面安定性の評価法を確立するための簡易現場試験法を提案し、斜面災害の危険性のある地区での現場試験を実施することにより、その有効性を検証する。

3. 研究の方法

(1) 身近で安全な微生物として乳酸菌や光合成細菌を用いる。まさ土、火山灰性粘性土、有明粘土、赤土など様々な土壌を用いて、微生物添加による土質特性の変化を調べる。また、微生物添加の有無によるセシウムの濃度と窒素の溶出量の関係を明らかにし、汚染物質の溶出抑制効果を確認する。

(2) 斜面内地下水の排水技術として導水ホースの開発を行う。また、導水ホースによるサクシオンやひもを用いた底泥の含水比低下手法への適用を行う。さらに、ひもを用いた節水型灌水技術による土中水分の制御方法の有効性の確認を行う。

(3) 斜面安定性の評価法を確立するための簡易現場試験法として、コーン貫入試験とスパイラル杭の引抜試験による土の強度定数の推定を行う。斜面災害の危険性のある地区での現場試験を実施することにより、その妥当性の確認を行う。

4. 研究成果

(1) 本研究では、微生物の散布の有無による影響を実験的に評価する。室内試験では、赤土の国頭マーヅ、黒ぼく、有明粘土を用い、光合成細菌もしくは乳酸菌を土に散布した。図-1 に液性限界を、図-2 に塑性限界の値を示す。試料の特性が異なる中で、光合成細菌・乳酸菌の散布を施したものを対象試料毎に比較すると、液塑性限界は図に示すとおり、値が増加する傾向にあることがわかる。また希釈の倍率が100倍と10倍とでは、10倍の試料の方が大きい値にある。さらに液性限界が増加することから、圧縮性が大きくなる特性へと変化していると考えられる。屋外試験では微生物を実際に散布し、原位置透水試験と動的コーン貫入試験を行う。微生物を散布してから約1ヶ月後の変化を評価した。今回は光合成細菌を1000倍に希釈し、1畝に対し5L散布する。透水試験は、原位置透水試験器(ゲルフパーミアメータ)を用いた。降雨の影響を受けないビニールハウス内で行い、地表から20cm・40cmの箇所を試験対象とする。試験孔に注水し、孔内水位が安定後、試験器具に水を注ぎ、栓を上げ水頭差を生じさせ、1分ごとに水位の変化を記録し、安定した値を継続的に測定し、平均値を求める。原位置透

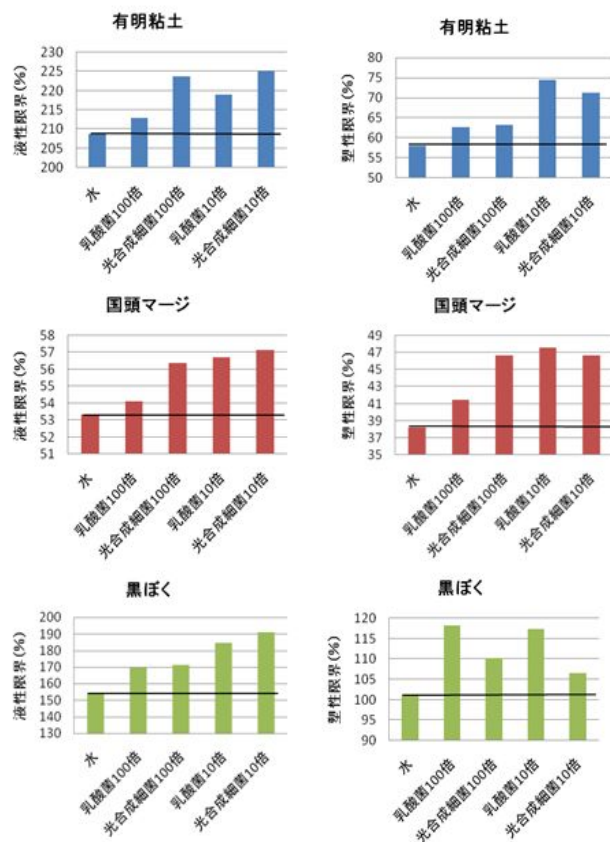


図-1 液性限界比較

図-2 塑性限界比較

水試験結果から、試験前後で透水係数に変化が見られる。透水係数が微生物の散布によって、地表から 20cm・40cm の両場所共で大きくなっている。つまり、散布前のまき土は水はけが悪い状態であるが、散布後には改善が見られることがわかった。

(2) 本研究では、作製した導水ホースを用いて地下水の排水を行い、排水量に変化が見られるかを調査する。地下水の排水は、サイフォンの原理と導水ホース中のアクリル紐による毛細管現象によって行う。サイフォンの原理は、対象の範囲の水が一度なくなると、その対象範囲に再び水が加えられても作用しない。しかし、吸水性の良い紐をホースの中に入れることで、毛細管現象が生じ、紐から供給された水でホース内部が満管状態になることによって、サイフォンの原理を再び働かせることができる(図-3)。



図-3 導水ホース中にアクリル紐

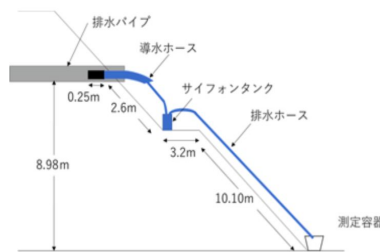


図-4 現場実験概要図

現場実験では、長崎県長崎市平間町の長崎自動車道に面する法面に設置されている排水パイプの中で、排水量が 1L に満たない箇所を対象として実験を行った。測定期間は 2017/8/13~2018/1/31 で行った。対象の排水パイプは、2016 年 6 月の排水量が 0.9L であった。同時刻の雨量を測定するために現場に雨量計を設置した。実験の様子を図-4 に示す。図-5 に 10/14~16 の排水量の結果を示す。最大値は約 9.067L/min であり、0.2~0.4mm/10min の雨が直前までに降り続いていたことが確認できる。6 月の排水量は 0.9L であり、導水ホース設置後の排水パイプの排水量の最大値は 9.067L/min であり、6 月で約 18 倍と増加していることが確認できた。

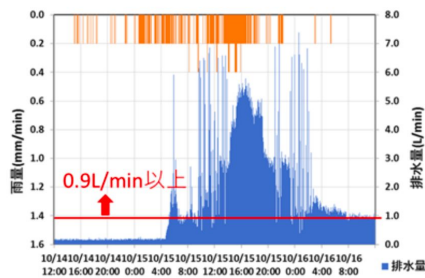


図-5 導水ホースの既存の排水パイプの実験結果

一方、佐賀県玄海町薬用植物研究所にて節水型灌水装置(上面ひも給水)の作製を行った。上面ひも給水による栽培イメージを図-6 に示す。給水槽についてはポルトタップの設置位置により水位を任意の高さに保つことができる。ビニルホースについては、内径 15mm のものを使用している。ビニルチューブは 40cm 間隔で配置し、ナイロンひもを

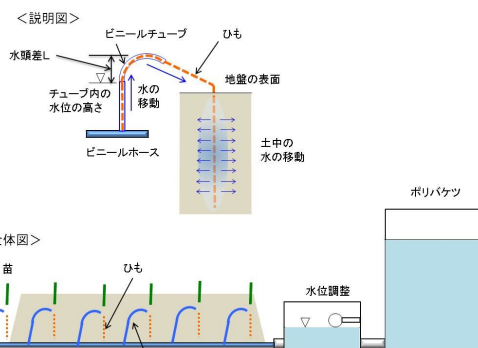


図-6 上面ひも給水による栽培イメージ

深さ 50cm まで挿入した。この砂地盤でウラルカンゾウ苗の育成を行った。その際ひもから深さ 80cm、水平方向 80cm 間の含水比を測定する。灌水装置の設置から約 5 カ月間後の含水比の分布を図-7 に示す。一定期間供給し続けることで、砂中下部に水分が集中するが、植物を生育するには十分な水分量を確認できた。

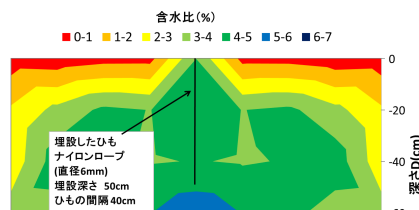


表-1 コーン貫入試験とスパイラル杭引抜試験による強度定数の推定値
図-7 砂地盤での現地実験における含水比分布

(3) 原位置強度を簡易に測定する方法として、ポータブルコーン貫入試験とスパイラル杭の引抜試験を用いた強度定数の推定を行う。コーン貫入・引抜試験の説明図を図-8 に示す。コーン貫入試験では一般に用いられるコーン(先端角 30°、断面積 314 mm²)を使用し、引抜き試験ではスパイラル杭(杭の長さ 220mm、直径 25mm)を用いた。いずれも斜面に対して垂直に挿入する。コーン貫入試験は数回試験を行い、貫入量 50mm の貫入抵抗力の平均値をコーン断面積で除した値を

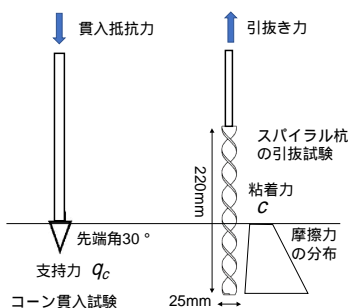


図-8 コーン貫入・引抜試験の説明図



図-9 調査位置

地表面の支持力とする。引抜試験は貫入深さを変えて、それぞれの引抜き力のピーク値を杭周面積で除して周面摩擦力と貫入深さの関係を求める。周面

摩擦力は貫入深さの影響を受けるため、貫入量がゼロに相当する値を地盤の粘着力とする。テルツァーギの浅い基礎の支持力公式で根入れ深さをゼロとし、コーン貫入試験から得られる支持力と引抜き試験から得られる粘着力を代入してせん断抵抗角を逆算により求める。サイトの全景と調査位置を図-9に示す。コーン貫入・引抜き試験を実施した地点は、斜面の①～⑤の5箇所である。地点①～③の上層部は強風化のまさ土で、地点①～③の下層部は弱風化の鬼まさに相当する。表-1に各地点の調査結果とコーン貫入・引抜き試験による強度定数の推定値を示す。地点

地点	湿潤密度 (g/cm ³)	コーン貫入抵抗 q_c (kN/m ²)	引抜き試験による粘着力 c (kN/m ²)	支持力公式より逆算した内部摩擦角 ϕ (°)
① (水平)	1.37	506.8	12.3	30.4
② (水平)	2.01	393.3	14.9	24.6
② (垂直)		403.4	14.7	25.2
③ (水平)	1.83	582.2	15.8	29.0
④ (水平)	1.80	679.4	2.0	50.3
⑤ (水平)	1.76	235.2	2.5	39.1

の水平・垂直方向のそれぞれの値をみると、平均貫入力、粘着力、内部摩擦角の3つの値はほぼ同値となった。このことから、強度推定試験は斜面に対して水平・垂直どちらの方向からでも試験が可能ということがわかる。強度推定結果から、地点①～③までの上層部は粘着力が12～16kN/m²となっていて、内部摩擦角は25～30°の値を示した。一方、地点④～⑤の下層部では粘着力がゼロに近く、内部摩擦角が大きな値を示した。よって、下層部は砂質土の特徴を示しており、上層部から風化が進んでいて下層部ではあまり風化が進んでいないことが、強度特性の点からも示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8件)

山脇敦・土居洋一・大嶺聖, プラスチック等が混入した廃棄物地盤の強度特性と現場試験方法, 土木学会論文集 C (地圏工学), 査読あり, 73(2), pp.212-223, 2017年4月

Kouhei Araki, Noriyuki Yasufuku, Kouhei Iwami, Kenichiro Okumura, Kiyoshi Omine, Khonesavanh Vilayvong, Arresting Rainfall-induced Red Soil Runoff in a Farmland by Inhibitory Adaptation Measures, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, peer review, 48(1) pp.72-81 2017年

Santos D. Chicas, Kiyoshi Omine, Justin B. Ford, Ken Sugimura, Using spatial metrics and surveys for the assessment of trans-boundary deforestation in protected areas of the Maya Mountain Massif: Belize-Guatemala border, Journal of Environmental Management, peer review, 187, pp.320-329, 2017年

Khonesavanh Vilayvong, Noriyuki Yasufuku, Kiyoshi Omine, Mitigating Rainfall-Induced Sediment Hazard and Soil Erosion Using Organic Amended Soil Improvement, Journal of Disaster Research, peer review, 11(6) pp.1228-1237, 2016年

Santos D. Chicas, Kiyoshi Omine, Pio Saqui, CLASlite algorithms and social surveys to assess and identify deforestation and forest degradation in Toledo's protected areas and forest ecosystems, Belize, Applied Geography, peer review, 75, pp.144-155, 2016年

M. Azizul Mogsud, Koki Sato, Muzamir Hasan, Nakata Yukio, Kiyoshi Omine, Seasonal variation of contaminated geo-environmental condition of Yamaguchi bay tidal flat, Japan, Regional Studies in Marine Science, peer review, 10, pp.27-31, 2016年10月

Santos D. Chicas, Kiyoshi Omine, Justin B. Ford, Identifying erosion hotspots and assessing communities' perspectives on the drivers, underlying causes and impacts of soil erosion in Toledo's Rio Grande Watershed: Belize, Applied Geography, peer review, 68, pp.57-67 2015年

[学会発表](計 15件)

大嶺聖, 杉本知史, 出口資門: 簡易現場試験による崩壊斜面の原位置強度の推定, 第61回地盤工学シンポジウム, 2018.

張子晨, 大嶺聖, 杉本知史, 白石幸基, 中原一貴: サイフォン導水ホースを用いた粘土表層部の簡易脱水法, 第13回地盤改良シンポジウム論文集, 日本材料学会, 2018.

李翠・大嶺聖・杉本知史・平川雄貴: 吸水ひも材を用いた節水型灌水と有機質肥料を用いた塩害土壌の改善効果, 第13回地盤改良シンポジウム論文集, 日本材料学会 pp.331-334, 2018.

Shimon Ideguchi, Kiyoshi Omine, Satoshi Sugimoto, Estimation of Strength Parameters of Solid Waste Materials by Core Penetration and Spiral Pile Pull Out Tests, Proc. of the International Congress on Environmental Geotechnics, 2018.

K. Shiraishi, K. Omine, S. Sugimoto, Z. Zhang and K. Nakahara, Application of Simple Drainage by Siphon Water-Leading Hose to Cohesive Soil, Proc. of International Symposium on Lowland Technology, 2018

白石幸基, 大嶺聖, 杉本知史, 敷田大輝: 地下水の排水および粘土の脱水効果を高める導水ホースの開発と適用, 第12回環境地盤工学シンポジウム, 2017.

大嶺聖・杉本知史・古賀敬大: 上面ひも吸水による節水型灌水方法と塩害・緑化対策への適

用, 第 12 回環境地盤工学シンポジウム, 2017.

Kiyoshi Omine, Satoshi Sugimoto, Water Saving Supply Method by Using Synthetic Fiber String for Desert Greening, Proc. of GeoAfrica 2017 Conference, 2017

Kiyoshi Omine, Satoshi Sugimoto, A Utilization Technique of Tsunami Sediments and Disaster Wastes Containing Salt, Proc. of Geo-Chicago 2016 (GSP), pp.311-317, 2016

大嶺 聖・杉本知史・アレクセイ コノプリョフ: 放射性セシウムの土壌および有機物への吸着・脱着特性, 第 11 回環境地盤工学シンポジウム, 2015.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 安福 規之

ローマ字氏名: YASUFUKU Noriyuki

所属研究機関名: 九州大学

部局名: 工学研究院

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 20166523

(2)研究分担者

研究分担者氏名: 杉本 知史

ローマ字氏名: SUGIMOTO, Satoshi

所属研究機関名: 長崎大学

部局名: 工学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 60404240

(3)研究分担者

研究分担者氏名: モクスト アジズ

ローマ字氏名: MOQSUD MD., Azizul

所属研究機関名: 山口大学

部局名: 創成科学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 40464408

(4)研究分担者

研究分担者氏名: コノプリョフ アレクセイ

ローマ字氏名: KONOPLEV, Aleksei

所属研究機関名: 福島大学

部局名: 福島大学環境放射能研究所

職名: 特任教授

研究者番号 (8 桁): 00745581

(5)研究分担者

研究分担者氏名: マルイ アツシ

ローマ字氏名: MARUI, Atsushi

所属研究機関名: 弘前大学

部局名: 農学生命科学部

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 80412451

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。