

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310129

研究課題名(和文) 地盤生態系の富栄養化による微生物活動が促進する力学的劣化と地盤災害の誘発シナリオ

研究課題名(英文) Scenario of Ground Hazards Promoted by Bio-deterioration Caused by Mechanical Strength Due to Eutrophication of Ground Ecosystems

研究代表者

二神 種弘 (Futagami, Tanehiro)

広島工業大学・工学部・名誉教授

研究者番号：20104078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,100,000円、(間接経費) 1,530,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地盤生態系の富栄養化による微生物の増殖活動が促進する地盤の力学的劣化を解明し、合理的な地盤災害誘発の精緻シナリオを作成することを目的とし、分子生物学的手法(DNA群集構造解析)を含む生態学的視点を取り入れた複合的な「地盤生態系の富栄養化と地盤災害の誘発機構」に関する新学術分野(地盤災害生態工学)の開拓を行うもので、税収が伸び悩み財政の逼迫が予想される今後の少子高齢化社会での国土防災保全の総合的かつ効果的対策を行うための重要な研究となり、地盤生態系の富栄養化による増殖活動が地盤を力学的に劣化していることを検証し、その研究成果を国内外の関係学会で発表し、ホームページに掲載した。

研究成果の概要(英文)：This research was conducted by taking account of biological aspect (ecosystems and molecular biology) not only physical aspect in order to detect the hypothesis of eutrophication of ground ecosystems promoted bio-deterioration of mechanical strength of the ground. Through the research, the hypothesis was detected and obtained the precise scenario of geo-hazard promotion by the eutrophication of ground ecosystems. This research may become the founder of the environmental geo-hazard engineering.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会安全システム科学・自然災害学・防災学

キーワード：DNA群集構造解析 土砂災害 地盤の富栄養化 地盤の生物劣化 地盤災害環境工学 微生物 生態系 自然災害

1. 研究開始当初の背景

(1)農学(土壌学)や生物学的地質学の分野では、微生物の働きが岩石を土に変え土を団粒化させることは定説となっている(西尾(1997))が、地盤の生物(特に、微生物)による力学的劣化に関する研究は、わが国では十分に行われていなかった(大山, et al.(1999)、Song, Matsukura, et al.(2007)等)、陽田(1995)、木宮一邦(1992)、周藤賢治、小山内康人(2002)。しかし、欧米では、土木工学、地盤地質および環境工学の分野における微生物の研究は、その重要性により関心が高かった((Howsam, P. (ed.) (1990)、Esther (2006)等、Kort O. Konhauser (2006)、Ivanov, V. (2010))。

(2)近年、斜面地盤災害の現地踏査を通じて、土砂災害を誘発する一つの要因として、斜面生態系の変化が浮かび上がってきた。斜面生態系の変化とは、人々の生活様式や農業生産方式の変化による燃料や肥料の原料として樹木・落葉を使用しなくなったため有機堆積物が増加し、降雨のあるたびにこれらの有機堆積物が地下に移動し、地盤が富栄養化(肥えて湿る)してきたことである。地盤の富栄養化は、微生物の増殖活動の好適条件を整え、虫歯菌が硬い歯をボロボロに蝕むように、地盤の風化・団粒化による力学的微生物劣化(菌耕)を誘発するものと考えられる。

(3)地盤の富栄養化による微生物の増殖活動が促進する力学的劣化と地盤災害を結び付けた研究は、本研究代表者等の研究(二神(2002)等)を除きあまり見当たらないので本研究を行うことにした。

2. 研究の目的

(1)本研究は、地盤災害発生機構について、分子生物学的(DNA 群集構造解析)や生態学的観点も取り入れ、地盤生態系の富栄養化による地盤の微生物の増殖活動が促進する地盤の力学的劣化することの仮説を検証し、発生機構を解明することを目的とする。

(2)以上の研究成果を踏まえ地盤災害誘発の合理的な精緻シナリオの作成を行う。

3. 研究の方法

(1)地盤災害現場調査

微生物・富栄養化調査(分子生物学的手法(DNA 群集構造解析)および走査型電子顕微鏡観による微生物形態観察、C-N アナライザーによる富栄養化物質の測定)を行う。
土質調査

(2)斜面災害地盤の力学的安定性解析を行う。

(3)合理的な地盤災害誘発の精緻シナリオの作成を行う。

4. 研究成果

本研究は、従来の物理学的観点のみならず、地盤の生物学的(分子生物学的(DNA 群集構造解析)や生態学的)観点による地盤の現地調査により、地盤生態系の富栄養化が地盤内の微生物の増殖活動を活発にし、そのことが地盤を力学的に劣化させることを検証し、精密な地盤災害発生機構の解明(地盤生態系の富栄養化が微生物の増殖活動によって誘発される地盤災害の誘発シナリオの作成)を行ったもので、地盤災害生態工学を創出する意義あるものとなり、今後の、少子高齢化で税収が伸び悩み財政が逼迫する時代における、国土防災保全の総合的かつ効果的な研究となる。特に以下の成果が得られた。

(1)地盤が富栄養化すると、地盤中の微生物の増殖活動にとって重要な富栄養化物質(炭素や窒素)が増加し、水の移動が容易になり微生物が多く生息し、微生物による地盤の力学的劣化を生じ、地盤の支持力(硬度)が低下し、地盤災害を誘発することが検証された(図1、2、表1参照)。

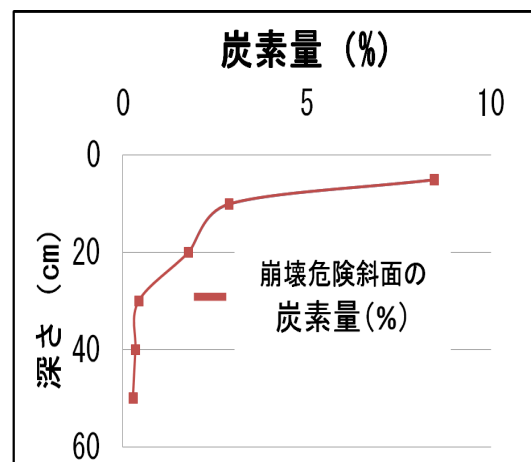


図1 炭素量の深さ方向の分布

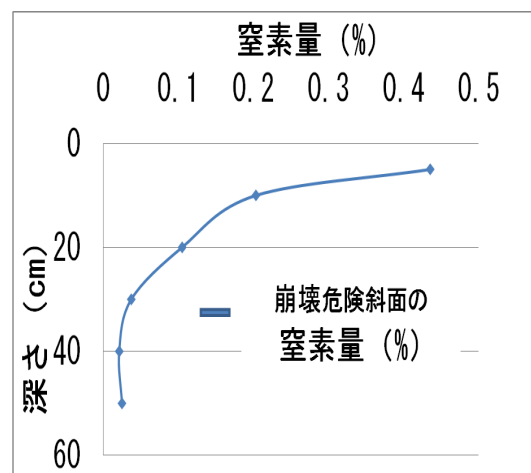


図2 窒素量の深さ方向の分布

表 1 山中式土壌硬度計による硬度と支持力の測定結果

測定番号	深さ m	硬度 mm	支持力
			kP
1	0.05	7.0	79
2	0.10	12.0	189
3	0.30	13.3	228
4	0.60	15.3	314
5	0.80	15.5	319
6	0.85	17.5	426

(2)地盤の浅いところ(富栄養化したところ)と深いところと(富栄養化していないところ)のDNA群集構造解析を行った結果、富栄養化している浅いところの試料と富栄養化していない深いところの試料を比べると、微生物の様相は大きく変わっており、分子生物学的にも、斜面生態系の微生物学的変化は土石流の発生を促進の可能性があることが分かった(写真1参照)。

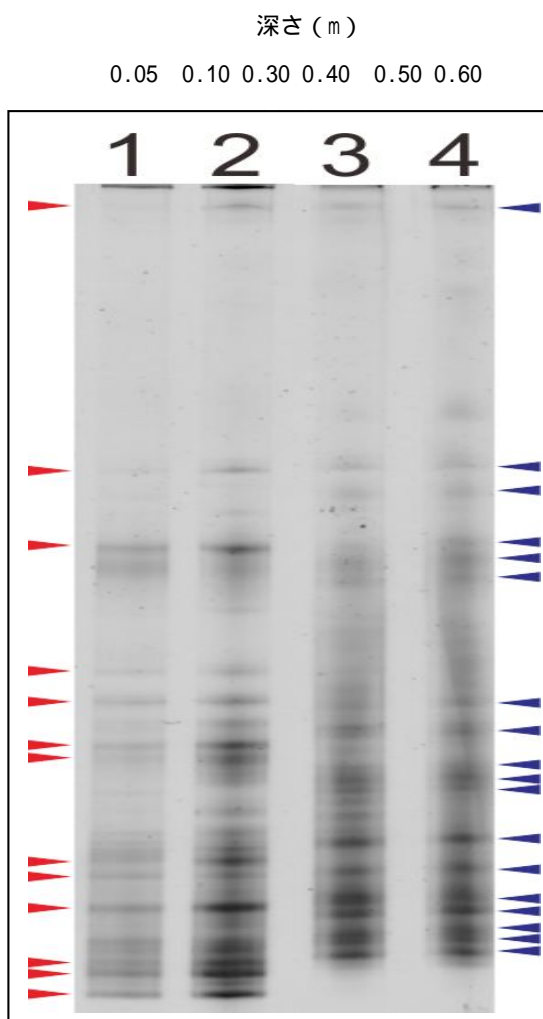


写真1 土壌抽出DNAのPCR-DGGE解析の結果

(3)以上により、地盤の富栄養化による力学的劣化の精密シナリオが図3のように得られた。

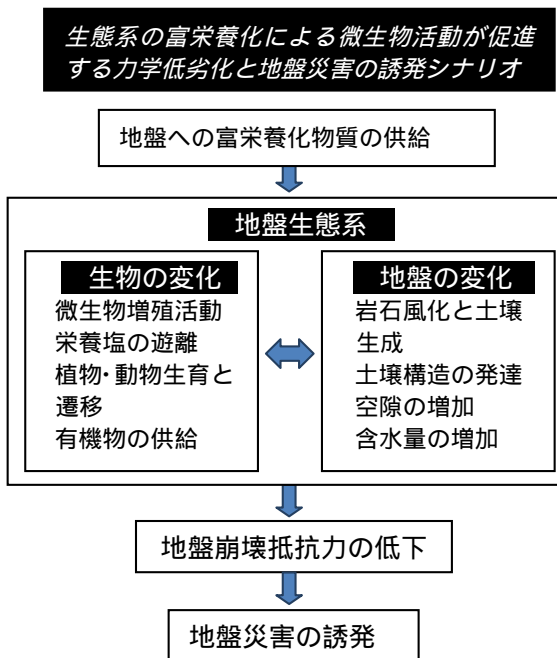


図3 地盤生態系の富栄養化による微生物活動が促進する力学的劣化と合理的な地盤災害の誘発の精緻シナリオ

5. 主な発表論文等

[学会発表](計6件)

嶋中貴史、酒井久和、竹澤麻衣、小野祐輔、2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢地すべりの解析シミュレーション、土木学会平成26年度全国大会第69回年次学術講演会、2014年9月10~12日、大阪大学 豊中キャンパス。

Koji Kakugawa, Tanehiro Futagami, Hisakazu Sakai, Yasushi Fujiwara, Shnsuke Sakurai, 他、Is Mechanical Deterioration of Land Caused by Microbial Activities、International Conference "New tools for sustainable management aquatic living resources、(AQUALIRES 2014)、2014年1月18日、Romanian Academy of Library, Bucharest (Bucharest, Romania)。

Tanehiro Futagami, Koji Kakugawa, Hisakazu Sakai, Yasushi Fujiwara, Shnsuke Sakurai, 他(2013): Debris Flow Promoted by Biodegradation of Mechanical Strength, The 5th International Geotechnical Symposium-Incheon (IGS-Incheon 2014)、2013年05月24日、Incheon National University (Incheon, Korea)

角川幸治、二神種弘、酒井久和、松田正明、近森直道、天野嘉了、藤原靖、服部弘通、櫻井春輔(2012): 地盤を力学的劣化させ

る富栄養物質の移動に関する研究、第57回地盤工学シンポジウム、平成24年度論文集、2012年11月22日、地盤工学会（東京都文京区）。
三輪建太、酒井久和(2011): 石積み擁壁の模型実験に対する不連続変形法の数値シミュレーション、日本建築学会大会、2011年8月25日、早稲田大学（東京都新宿区）。
酒井久和(2011): リスク評価に基づく道路ネットワークの耐震設計法を目指して - 土構造物・斜面の耐震信頼度解析 -、土木学会全国大会、2011年9月7日、愛媛大学（愛媛県松山市）。

参考文献

西尾道徳(1997): 微生物が森を育てる、自然の中の人間シリーズ「微生物と人間編2」, 農林水産技術会議事務局監修、農文協。
大山 隆弘、千木良 雅弘(1999): 堆積性軟岩の化学的風化特性の検討 化学的風化のメカニズムと風化速度、風化への微生物の影響、電力中央研究所報告、総合報告、U38。
Song, W., Matsukura, Y., et al.(2007): Effect of *Bacillus subtilis* on granite weathering, A laboratory experiment, *Catena*, 70, pp.275-281。
Esther, M.E. et al.(2006): Image Analysis for quantification of bacterial rock weathering, *Journal of Microbiological Methods*, Elsevier, 64, pp.275-286。
陽田(1995): 泥岩の微生物および化学的風化による地盤の隆起とその被害について、第40回地盤工学シンポジウム、pp.99-104。
Howsam P.(ed.)(1990): *Microbiology in Civil Engineering*, Proceedings of Federation of European Microbiological Sciences Symposium, Cranfield I. T., UK, E. & F.N. Spon。
二神種弘(2002): 7. 菌耕による微生物劣化の促進、生態系読本、暮らしと緑の環境学、地盤工学会、pp.13-14。
木宮一邦(1992): 地質学から見た岩石風化、シリーズ解説: 地質学と土質工学の接点、応用地質、第32巻、第3号、pp.22-31。
周藤賢治、小山内康人(2002): 岩石学概論・上 記載岩石学 岩石学のための情報収集マニュアル、共立出版、pp.54-231。
角川幸治、二神種弘、酒井久和、松田正明、近森直道、天野嘉了、藤原靖、服部弘通、櫻井春輔(2012): 地盤を力学的劣化させる富栄養物質の移動に関する研究、第

57回地盤工学シンポジウム、平成24年度論文集、2012年11月22日、地盤工学会（東京都文京区）。

Tanehiro Futagami, Koji Kakugawa, Hisakazu Sakai, Yasushi Fujiwara, Hiromichi Hattori, Shunsuke Sakurai (2013): Debris Flow Promoted by Biodegradation of Mechanical Strength, The 5th International Geotechnical Symposium-Incheon (IGS-Incheon 2014), 2013年05月24日, Incheon National University (Incheon, Korea)。

Koji Kakugawa, Tanehiro Futagami, Hisakazu Sakai, Masaaki Masuda, Yoshiaki Amano, Yasushi Fujiwara, Hiromichi Hattori, Shunsuke Sakurai (2014): Is Mechanical Deterioration of Land Caused by Microbial Activities, International Conference "New tools for sustainable management aquatic living resources, (AQALIRES 2014)、2014年1月18日、Romanian Academy of Library, Bucharest (Bucharest, Romania)。

嶋中貴史、酒井久和、竹澤麻衣、小野祐輔、(2014): 2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢地すべりの解析シミュレーション、土木学会平成26年度全国大会第69回年次学術講演会 2014年9月10~12日 大阪大学 豊中キャンパス。

Kort O. Konhauser (2006): *Introduction to Geomicrobiology*, Wiley-Blackwell。

〔その他〕
ホームページ等 <http://futagami-kaken.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

二神 種弘 (Futagami, Tanehiro)
広島工業大学・工学部・名誉教授
研究者番号: 20104078

(2) 研究分担者

酒井 久和 (SAKAI, Hisakazu)
法政大学・デザイン工学部・教授
研究者番号: 00360371

角川 幸治 (KAKUGAWA, Koji)
広島工業大学・生命学部・教授
研究者番号: 60441507

(3) 連携研究者

櫻井 春輔 (SAKURAI, Shunsuke)
神戸大学名誉教授、広島工業大学元学長、
(財)建設工学研究所元理事長
研究者番号: 40031067

藤原 靖 (FUJIWARA, Yasushi)
大成建設株式会社・技術研究所・土木研
究所・部長
研究者番号：30374060