

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

住友金属パイプエンジ (株)	非会員	伊藤 智、	広島工業大学大学院	非会員	佐々川 学
元広島工業大学	非会員	笠原 雅人、	広島工業大学	フェロー会員	〇二神 種弘
広島工業大学	正会員	酒井 久和、	広島工業大学	非会員	角川 幸治
(財) 建設工学研究所	フェロー会員	櫻井 春輔、	大成建設 (株)	正会員	藤原 靖
			大成建設 (株)	非会員	服部 弘通

1. はじめに

近年、斜面災害調査を通じ、土砂災害を誘発する1つの要因として、山地斜面生態系の変化が浮かび上がってきた。山地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堆肥として樹木・落葉を使用しなくなったため落葉などの有機堆積物が増加し、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を誘発するものと考えられる。

本研究は、地盤生態系の富栄養化により微生物による地盤の力学的劣化を解明し、土砂災害誘発シナリオの作成が目的である。本研究の成果は、土砂災害の防止・軽減のために、ハザードマップ作成等の多方面での活用が期待される。

今回現場調査で訪れた山口県防府市は、平成21年7月21日から中国・九州地方で豪雨の発生により甚大な被害を受けた場所である(写真-1参照)。21日からの活発な梅雨前線の影響により、中四国・九州地方で大雨となり山口県内各地では大規模な土砂災害や浸水被害が発生し、17名の尊い命が奪われた。家屋の損壊や浸水、道路の損傷など、住民の生活や経済活動に大きな打撃を与えた。特に山口県防府市では家屋浸水や斜面崩壊によって多くの人的被害を伴う災害に見舞われた。

2. 現場調査

山地斜面の富栄養化を調べる目的で崩壊危険斜面と非崩壊危険斜面において調査を行った。

(1) PANDA-2 用いた測定

PANDA-2を用いて貫入抵抗、貫入深度の測定を行った。

本論文では、崩壊危険斜面層と非崩壊危険斜面の定義を以下のようにしている。

- ・崩壊危険斜面：腐葉土(有機堆積物)が多く、地盤が軟弱で近い将来崩壊の危険が高い斜面。
- ・非崩壊危険斜面：集中豪雨によって、斜面が崩壊し表土が流出した状態で、硬質な裸地となり今後しばらくは崩壊の危険性が低い斜面。



写真-1 調査現場となった山口県防府市鈴屋十七集落の災害直後の航空写真

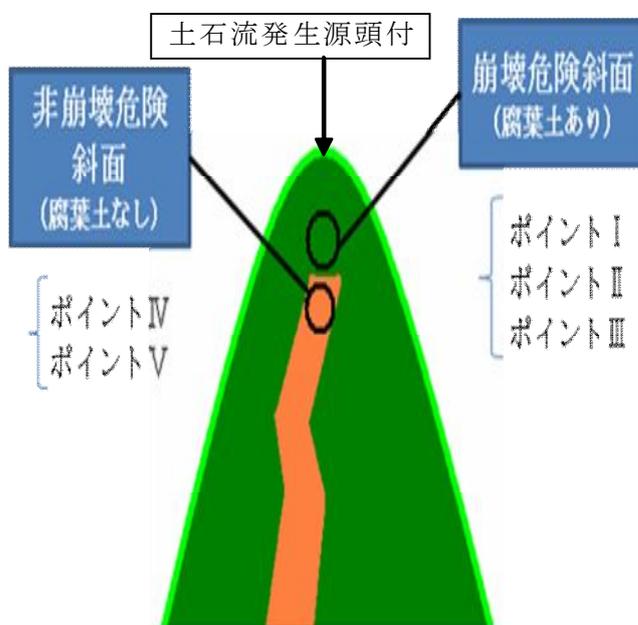


図-1 調査地点概要図

・調査内容

崩壊危険斜面では源頭部から2m付近の3箇所と、非崩壊危険斜面では2箇所測定を行った。調査地の

状況を以下の表 - 1 に示す。



写真 - 2 崩壊危険斜面の山地斜面

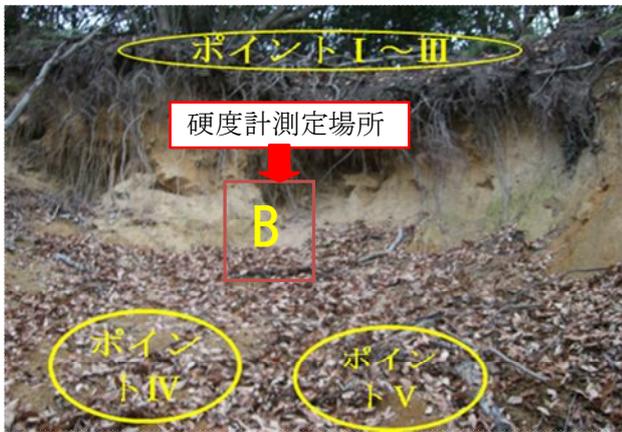


写真 - 3 非崩壊危険斜面の山地斜面

表 - 1 各調査地点の地盤状況

測定場所	腐葉土の有無と厚さ	土の種類	勾配	貫入深度
ポイント I	有 : 0.05m	まさ土	約 30°	2.2m
ポイント II	有 : 0.05m	まさ土	約 30°	1.5m
ポイント III	有 : 0.05m	まさ土	約 30°	1.5m
ポイント IV	無 : 0m	砂礫土	約 40°	0.1m
ポイント V	無 : 0m	砂礫土	約 40°	0.13m

・測定結果

PANDA-2 によるポイント I ~ V の貫入抵抗の変動を比較したものを図 - 2 に示す。

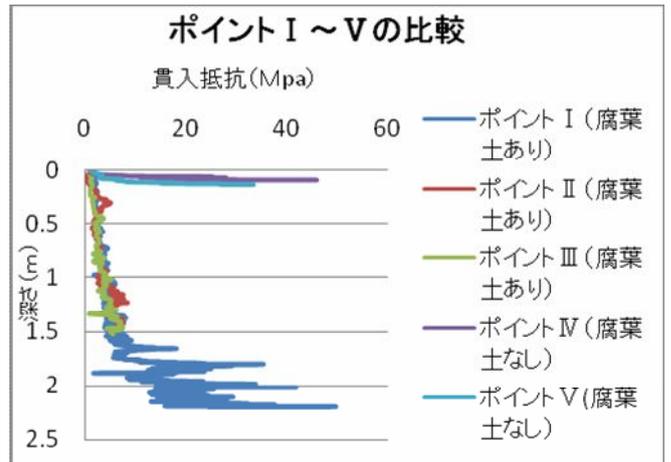


図 - 2 ポイント I ~ V の貫入試験結果

(2) 硬度計を用いた試料採取地点の支持強度の測定 (写真 - 2 に示す A 地点及び、写真 - 3 に示す B 地点において支持力を測定)

本測定は、土石流発生源頭付近の崩壊危険斜面と非崩壊危険斜面において、山中式硬度計を用いて支持強度をそれぞれ測定し両地盤の支持強度の違いを比較するものである。

・支持強度測定結果

以下に、深さにおける硬度指数と支持強度の比較を示す (表 - 2、3 参照)。

表 - 2 土石流発生源頭付近の硬度指数 支持強度測定結果 (崩壊危険斜面)

崩壊危険斜面 (崩壊源頭直上 2 m)		
深さ (m)	硬度指数 (m)	支持強度 (P) (98kN/m ²)
0.05	0.002	17.069
0.10	0.006	63.965
0.20	0.007	79.217
0.30	0.008	96.281

表 - 3 土石流発生源頭付近の硬度指数 支持強度測定結果 (非崩壊危険斜面)

非崩壊危険斜面 (崩壊源頭直下 3 m)		
深さ (m)	硬度指数 (m)	支持強度 (P) (98kN/m ²)
0	0.003	27.006
0.03	0.014	255.230
0.05	0.025	1369.327
0.05 以深	地盤が硬質で測定不能	

(3) 採取試料の微生物観察

山口県防府市大字鈴谷十七集落で土試料を採取し、走査型電子顕微鏡を用いて観察した。

・観察方法

斜面災害発生現場で採取した崩壊危険斜面での試料は深さによる違いを見るため、0.05m、0.1m、0.2m、0.3m、0.4m、0.5m と分けて採取した試料を白金によるコーティングをした後、低真空凍結乾燥法により観察した。

・深さ 0.5m の採取試料（崩壊危険斜面）

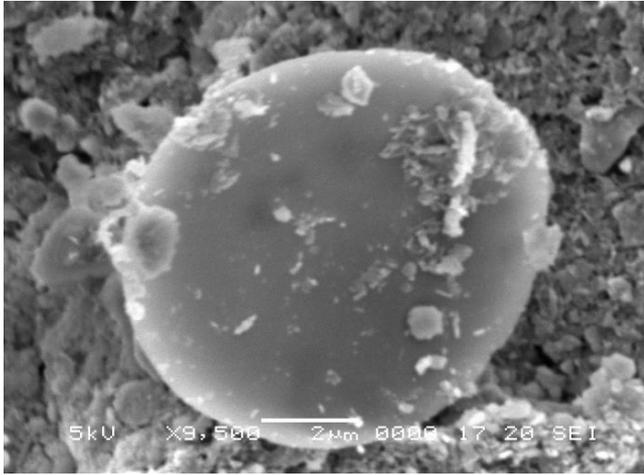


写真 - 4 深さ 0.5m の球菌微生物
(観察倍率 9500 倍)

(4) C - N アナライザーによる炭素と窒素の測定

本実験の目的は、崩壊危険斜面で採取した試料土中に含まれる炭素・窒素の含有量を C - N アナライザーを用いて測定し、その微生物の栄養源となる炭素・窒素の含有量を測定することにより、土壌の富栄養化状態を判断するものである。

・測定機械

C - N アナライザー(写真 - 5 は広島工業大学新 2 号館 1 階の環境衛生実験室にて撮影)



写真 - 5 C - N アナライザー(左から検出部、反応部、記録計)

・測定結果 (崩壊危険斜面における炭素・窒素量測定結果)

図 - 3、4 に、地上からの深さと炭素・窒素含有量の関係を示す。

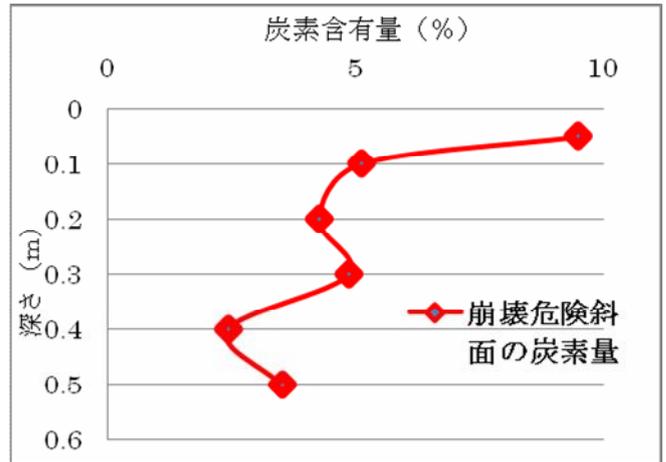


図 - 3 炭素含有量 (TC) 測定結果

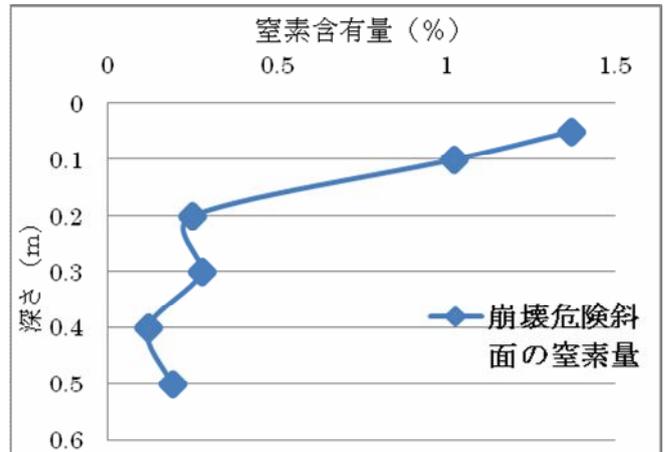


図 - 4 窒素含有量 (TN) 測定結果

3. 富栄養化による斜面の力学的劣化モデルの実験

本実験は、同じ斜面地盤モデルを 2 つ並べて (写真 - 6 参照) 作製し、一方に腐葉土を敷き、富栄養化斜面とし、腐葉土を敷かない斜面を非富栄養化斜面として、両斜面の支持強度の値を測点①~⑫の地点で山中式硬度計を用いて測定し、両地盤の比較実験を行う (写真左：腐葉土あり、写真右：腐葉土なし)。

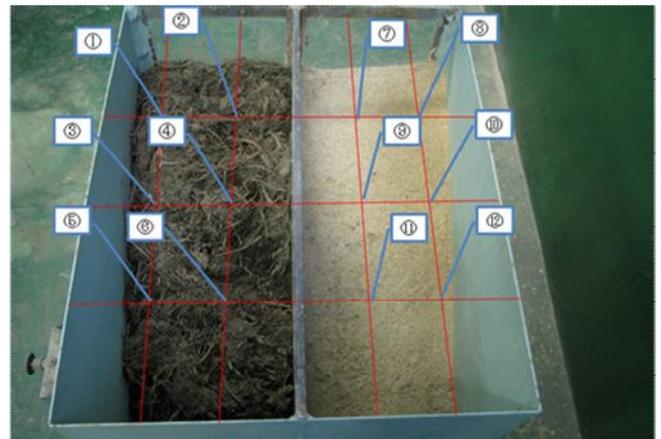


写真 - 6 硬度計測定場所

・支持強度測定結果

表 - 4 腐葉土を乗せたモデル (崩壊危険斜面)

斜面作成から 115 日目		
地点番号 No.	硬度指数 (m)	支持強度 P (kN/m ²)
①	0.0195	568.4
②	0.0231	980.0
③	0.0198	588.0
④	0.0205	666.4
⑤	0.0203	646.8
⑥	0.0211	725.2
平均	0.0207	695.8

表 - 5 腐葉土を乗せていないモデル (非崩壊危険斜面)

斜面作成から 115 日目		
地点番号 No.	硬度指数 (m)	支持強度 P (kN/m ²)
⑦	0.0303	4165
⑧	0.0287	2744
⑨	0.0289	2940
⑩	0.0295	3332
⑪	0.0287	2842
⑫	0.0247	1323
平均	0.0285	2891

4. 地盤災害の誘発シナリオ

以上により、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が得られる (図 - 5 参照)。

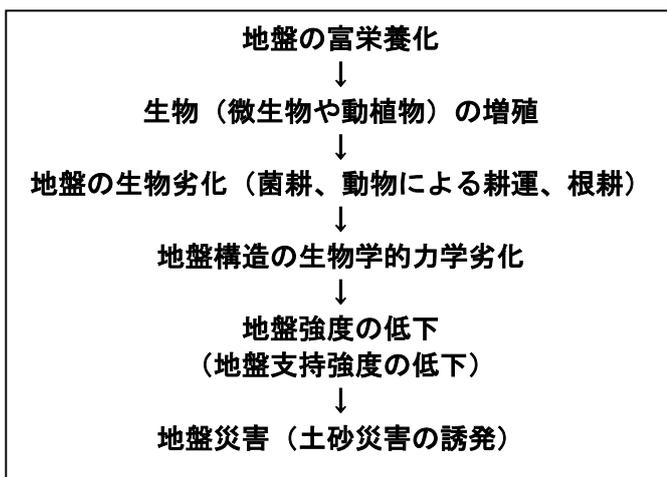


図 - 5 地盤生態系の富栄養化による微生物活動が促進する力学的劣化と地盤災害の誘発シナリオ

5. 結語

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するため、斜面災害発生地域の現場調査を通じて、様々な方法で検証を行った。その結果より、地盤生態系の富栄養化による地盤の力学的劣化が誘発されることが検証でき、それらによる地盤災害の誘発シナリオが概略得られた。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金 (基盤・B、課題番号 23310129) を受けている。記して謝す。

参考文献

- [1] Esther, M.E., C. Rodriguez-Jaramillo, M. C., Li, C. Y and Bashan, Y. (2006), "Image Analysis for quantification of bacterial rock weathering", *Journal of Microbiological Methods*, Elsevier, 64 275-286.
- [2] Fukuoka M. (1978), "*The One Straw Revolution - An Introduction to Natural Farming*", Rodale Press.
- [3] Futagami T., Ishii Y., Shima S., Yoshikuni H., Kaibara K., Okiyama K. and Haga H., (1999), "Heavy Landslides Caused by Transition of Hillside Ecosystems -- Microbial Work Owing to Eutrophication of Slopes (Microbial Plowing)", *Proceedings of Symposium on Slope Failure and Landslide Problems*, Shikoku Branch, Japanese Geotechnical Society, pp 89-98 (in Japanese).
- [4] Futagami, T., Terauchi, K., Adachi, T, Ogawa, K., Kono, T., Fujiwara, Y. and Sakurai, S. (2009), "Mechanical Deterioration of Ground Due to Microorganisms Activated by Eutrophication of Ground Ecosystems", *Proceedings of the International Symposium on Prediction and Simulation Methods for Geohazard Mitigation (IS-Kyoto)*, pp. 45-50.
- [5] Howsam, P. (ed.) (1990), "*Microbiology in Civil Engineering*", E.&F., N. Spon, An Imprint of Chapman and Hall, pp. ix-x.
- [6] Nanao, J. and Imai, Y. (1984), Mushibakun Daisuki (Do you like Toothache?) Akane Shobo (in Japanese).
- [7] Nobunkyo, ed. (1997), "*Bokashi Fertilizer Made by Indigenous Microbes*", Video Tape (in Japanese).
- [8] Odum E. P. (1983). "*Basic Ecology*", CBS College Publishing".
- [9] Suzuki, G. et al. (1995), "A New Drying Method: Low-vacuum SEM Freeze Drying and Its Application to Plankton Observation", *Bulletin of Plankton Society of Japan*, 42(1), pp. 53-62 (in Japanese).
- [10] 社団法人土木学会、地盤工学委員会他 (2007)、2009年7月山口県豪雨災害調査報告書 (速報版)