

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760381

研究課題名(和文) 微視的な力のつり合いに着目した土壌侵食量の新たな確率的評価手法の開発

研究課題名(英文) Development of new probabilistic evaluation method of soil erosion focusing on the equilibrium microscopic forces

研究代表者

荒木 功平 (ARAKI, Kohei)

山梨大学・総合研究部・助教

研究者番号：00600339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：土の粒度等の情報を基に土粒子間の微視的な力のつり合いに確率論的考察を加え、降水に伴う土壌侵食の評価手法を開発した。具体的には降雨量から地中浸透量を減じ、表流量を求め、粒子接点でのつり合いから流出粒子の最大径を導き、粒径加積曲線における通過質量百分率を確率として表層体積に乗じることでリスク値として評価した。一方で国頭マージ土壌について、降雨装置を用いた土壌侵食実験、霧吹きを用いた表層せん断試験を行い、表層粘着力が高いほど抑制効果が大きいこと、表層粘着力は飽和度に依存することを示した。また、沖縄県宜野座村農地での現地実験で土砂流出への種々の適応策を検討し、植生や敷き砂の効果が大きいことを示した。

研究成果の概要(英文)：Based on the information such as the grain size, it was added to probabilistic discussed equilibrium microscopic forces between the soil grains. In particular, first, by subtracting the penetration from the precipitation it was calculated surface water. Then, it was led to the maximum diameter of the outflow particles from the equilibrium of a particle contact. Then, it was the probability the passing mass percentage in grain size accumulation curve. It was evaluated as a risk value by multiplying the surface layer volume. On the other hand, for Kunigami merge soil, it were subjected to soil erosion experiments using rainfall equipment and surface shear tests using a sprayer. It showed that the inhibitory effect of vegetation and sand mat is large.

研究分野：Unsaturated soil mechanics

キーワード：不飽和土 土壌侵食 特殊土 気候変動 適応策 現地実験 室内降雨装置 室内表層せん断

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化等の気候変動に伴う渇水や大雨の頻度増加が指摘され、各種産業への影響等が懸念されている。特に沖縄県では、亜熱帯特有の高温多雨気候により、農地や開発事業地から赤土等が流出しやすく、近年のゲリラ豪雨の発生等によるなお一層の負荷が懸念されている。

2. 研究の目的

本研究では、土の粒度分布、初期密度、初期含水量に基づき、土粒子レベルでの考察から降雨に伴う土の含水量の変化を予測し、表流量を求める。また、微視的な力のつり合いに着目する一方、表層粘着力や内部摩擦角の土中水分依存性を考慮して、表流量により流出する粒子の最大径を導き、粒度分布から流出粒子の存在確率を求めることにより、土壌侵食量の評価を試みる。また、室内(九州大学)・現地(沖縄県宜野座村)での土壌侵食実験により合わせて分析を行い、実現象の再現に必要な課題を明らかにする。

3. 研究の方法

入力情報である降雨量から、土中への浸透量を差し引くことで表流量を算出する。表流水に伴う粒子の不安定化は含水量の変動に伴う粘着成分と摩擦係数の変動を考慮して評価する。これにより、流出限界粒径を導き、粒度分布から存在確率を評価し、土壌侵食量を求める。

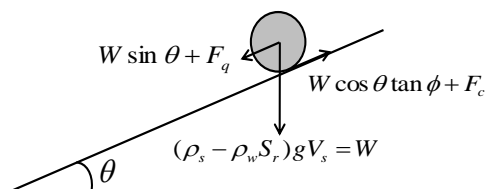


図-1 一粒子にかかる力のつり合い

そのために以下の試験方法を実施あるいは開発している。

(1) 遠心法による保水性試験

遠心法による保水性試験では、供試体が遠心力場に置かれることにより、高い土中水ポテンシャルまで測定でき、平衡するまでの時間も比較的短い。

(2) 水平浸潤試験

不飽和透水係数は比水分容量と水分拡散係数の積で表されるが、水平浸透試験装置はボルツマン変換法を用いて水分拡散係数を求める際に用いられる。

写真-3 に水平浸透試験装置を示す。給水開始後、所定の時間で給水を止め、各セルまでの距離と含水比、時間の関係を把握する。



写真-1 水平浸透試験装置

(3) 室内降雨装置を用いた流出実験

土槽の流末部には越流した表流水を捕捉するためのポケットを取り付け、捕捉した表流水はチューブを通してメスシリンダーに流れる仕組みにしている。土槽の底面は排水可能である。降雨装置の雨滴落下距離は250cmである。定水位状態を保つことができるタンクを取り付けた。実験は土槽の勾配を3% (1.7°) に固定し、10分ごとの表流水を捕捉する。その際、表流水に含まれる土砂の粒度を測定する。土砂流出量は表流量(ml)とその濃度(g/ml)を乗じて求める。

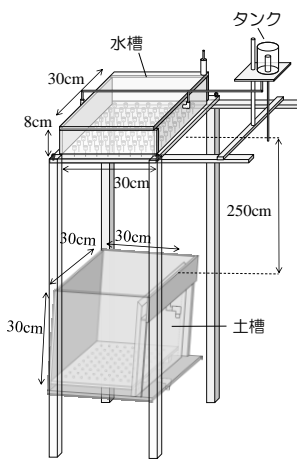


図-2 降雨装置模式図

(4) 室内表層せん断試験

図-3 に示す室内表層せん断試験装置を作した。本装置は栗原らが開発した表層せん断試験装置の改良版である。より精度の高い実験を行えるようにモーター付き載荷装置を用いて水平方向の引張を自動で行えるようにした。

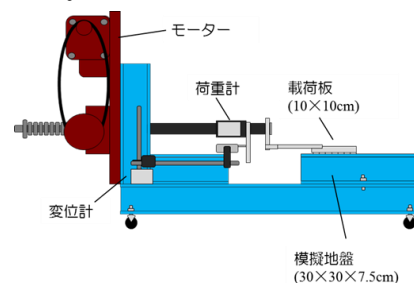


図-3 室内表層せん断試験装置模式図

(5) 現地実験

写真-2 のように、国頭郡宜野座村松田地区で農地を借用し、赤土流出抑制効果を把握するための実験環境を整備した。

図-4 のように、実験項目は、裸地(無対策)

除草)、耕作放棄地(無体策:雑草有り)、種々の適応策(敷き草やグリーンベルト、微生物利用、堆肥混入)に加えて、気候変動を踏まえた新たな適応策として敷き砂を立案し、これら適応策の効果を把握している。

図-5のように、インターネットを通じてリアルタイムで気象・土壌水分をモニタリングできる情報共有型のシステムを導入した。気象計と土壌水分計の設置位置は図-4を参照されたい。



写真-2 現地実験 (宜野座村)

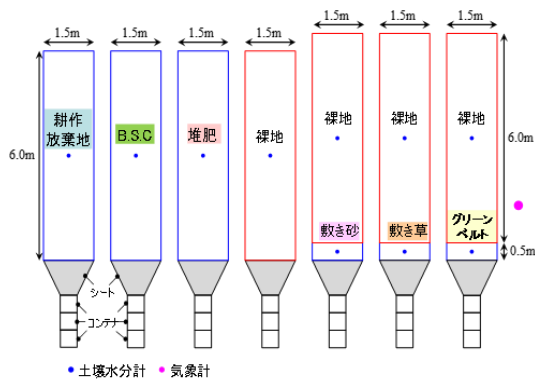


図-4 実験項目・実験区画概要

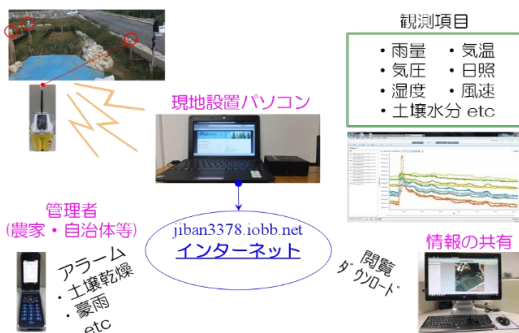


図-5 モニタリングシステム概要

#### 4. 研究成果

##### (1) 遠心法による保水性試験

図-6に示すように、国頭マージについて間隙比~サクシオン~飽和度関係を得ることができた。

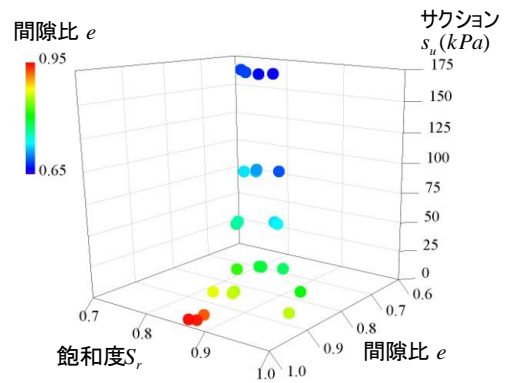


図-6 国頭マージの体積変化水分特性曲線

##### (2) 水平浸潤試験

図-7のように、豊浦砂や国頭マージの水平浸潤曲線を表現できる関数を導いた。パラメータの物理的意味等は今後の課題となっている。

$$w - w_0 = \frac{C_1 \cdot \exp(-C_2^2 \cdot x^2)}{1 + \exp\left\{C_3 \cdot \left(\frac{x^2}{x_c^2} - 1\right)\right\}}$$

ここに、 $C_1, C_2, C_3, x_c$ : フィッティングパラメータ

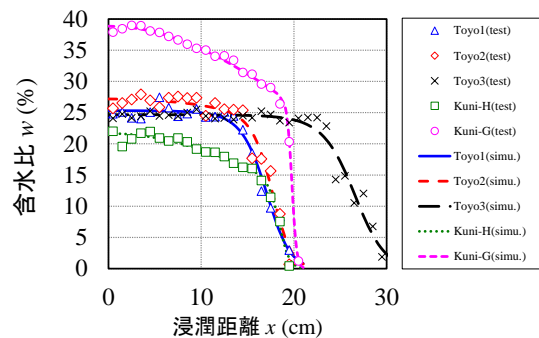


図-7 水平浸潤曲線 (豊浦砂、国頭マージ)

##### (3) 室内降雨装置を用いた流出実験

図-8, 9に降雨実験とモデル予測の時間と流出最大粒径, 赤土流出量の関係を示す。降雨実験の結果とモデル予測を比較すると、時間雨量 30mm/h の時はモデル予測では降雨開始 30分まで表流水は発生せず土砂流出は起こらないのに対し、降雨実験の結果では降雨開始 10分で土砂流出は起こっている。降雨時間 180分での流出最大粒径は実験値で 0.0571mm, モデル予測値 0.0572mm, 赤土流出量は実験値が 4.52g, モデル予測値が 4.37g と非常に近い値になった。このことから、モデル予測は時間雨量 30mm/h で有効だと言える。一方、時間雨量 90mm/h では流出最大粒径はモデル予測の方が大きく、赤土流出量は実験値の方が大きな値となった。時間雨量 90mm/h に関しては今後も深く検討していく必要がある。

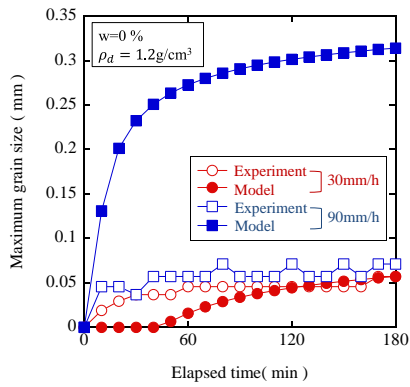


図-8 時間~流出最大粒径関係

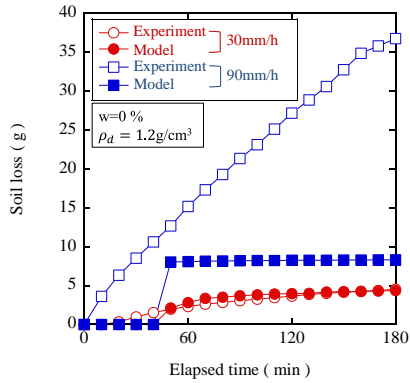


図-9 時間~赤土流出量関係

(4) 室内表層せん断試験

図-10, 図-11 に霧吹き回数と表層粘着力, 内部摩擦角の関係を示す。表層粘着力は, 霧吹き回数約 250 回までは増加するが, それ以降は緩やかに減少している。表層内部摩擦角は, 霧吹き回数を増加しても概ね横ばいであり, 土中水分に依存しないと考えられる。

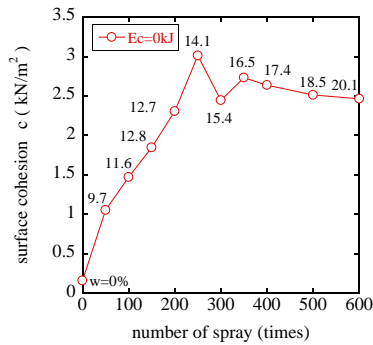


図-10 霧吹きの回数-表層粘着力関係

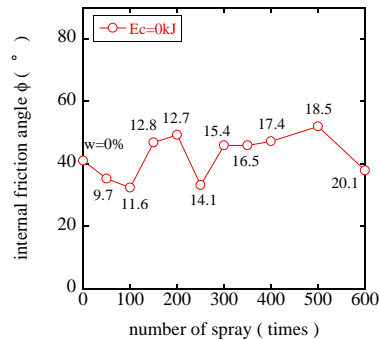


図-11 霧吹きの回数-内部摩擦角関係

(5) 現地実験

図-12 に累積赤土流出量の時系列変化を示す。また、図-13 に気象庁の東村観測所（宜野座村最寄りの観測所）で観測された日雨量・累積雨量を示す。

試験結果より、最も流出量が多い区画は裸地である。一方、最も流出抑制効果が高い適応策はグリーンベルトである。また、敷き草や堆肥を施用した区画では豪雨を記録している 7-8 月にかけての流出量が大きい。敷き砂を施用した区画では流出量の増加は少ない。敷き砂が豪雨対策として有効であると考えている。さらに、グラフより、B.S.C の適応限界は 4 ヶ月程度と推察している。

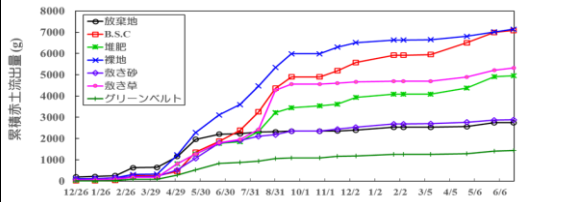


図-12 累積赤土流出量

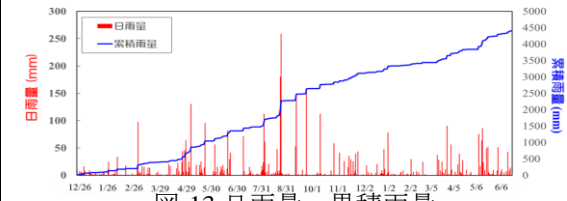


図-13 日雨量、累積雨量

図-14, 15 は 2012/5/24~6/22 の降雨、土壌水分状態を表している。5mm/h 以下の降雨でも体積含水率が上昇していることが分かる。

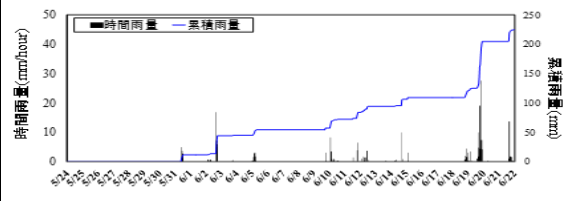


図-14 降雨

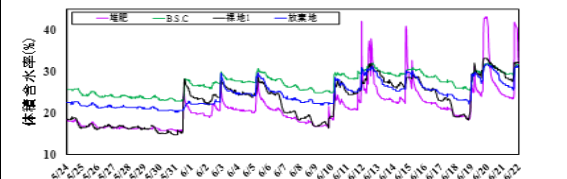


図-15 土壌水分状態

土砂の捕捉効果は設置方法（植え方や砂層の厚さ等）の依存度が大きい。表層飽和度管理には根茎や土の保水性・透水性が影響する。

今後、豪雨時の粒子接点力評価と共に、根茎や土材料の土砂流出抑制効果を保水性や透水性から定量的に評価することが課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

1. 平成 26 年 8 月豪雨による広島市土砂災害現地踏査・ヒアリング調査結果の速報, **荒木功平**, 川越清樹, 山中稔, ハザリカ・ヘマンタ, 原忠, 中澤博志, 熊本直樹, 齋藤修, 酒井直樹, 第 11 回環境地盤工学シンポジウム論文集, 査読有, (掲載決定), 2015. [https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1604:2012-12-19-01-43-31&catid=16:2008-09-10-05-02-09&Itemid=78](https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=1604:2012-12-19-01-43-31&catid=16:2008-09-10-05-02-09&Itemid=78)
2. 伊豆大島における大雨の頻度変動と平成 25 年台風 26 号に伴う土砂災害後の住民意識に関する一考察, **荒木功平**, 石井篤志, 第 11 回環境地盤工学シンポジウム論文集, 査読有, (掲載決定), 2015. [https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1604:2012-12-19-01-43-31&catid=16:2008-09-10-05-02-09&Itemid=78](https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=1604:2012-12-19-01-43-31&catid=16:2008-09-10-05-02-09&Itemid=78)
3. 振動台を用いた地震動による不飽和地盤の破壊形態に関する実験的考察, 藤森弘晃, **荒木功平**, 後藤聡, 北爪貴史, 第 11 回環境地盤工学シンポジウム論文集, 査読有, (掲載決定), 2015. [https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1604:2012-12-19-01-43-31&catid=16:2008-09-10-05-02-09&Itemid=78](https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=1604:2012-12-19-01-43-31&catid=16:2008-09-10-05-02-09&Itemid=78)
4. Evaluation of inhibitory effect by adaptation measures for red soil runoff from farmland due to heavy rainfall, Journal of Disaster Research, N.YASUFUKU, **K.Araki**, K.OMINE, K.OKUMURA, K.IWAMI, 査読有, Vol.10, 3, pp.457-466, 2015. <http://www.fujipress.jp/JDR/>
5. 富士山林道における融雪時の道路陥没とスコリアの土質工学的性質に関する研究, **荒木功平**, 鈴木雄祐, 後藤聡, 土木学会論文集 G (環境), (社) 土木学会, 査読有, Vol.70 (No.5), pp.I\_177-I\_182, 2014. <https://www.jsce.or.jp/collection/index.html>
6. Studies on the inhibitory effect by various adaptation measures for red soil runoff from farmland on field tests, **K.Araki**, K.Okumura, N.Yasufuku, K.Omine, Unsaturated Soils : Research & Applications, 6<sup>th</sup> International Conference on Unsaturated Soils (UNSAT2014), 査読有, pp.1447-1452, 2014. <http://www.unsat2014.com/>
7. Characteristics of Red Soil Loss during Short Time Heavily Rain, K.Iwami, **K.Araki**, 他 2 名, JS-Okinawa 2013 7th International Joint Symposium on Problematic Soils and Geoenvironment in Asia, 査読有, pp.131-134, 2013. <http://jgskyushu.jp/xoops/modules/JS-OKINAWA/>

8. Evaluation of the various adaptation measures to inhibit the red soil runoff based on field test, K.Okumura, **K.Araki**, N.Yasufuku, K.Omine, K.Iwami, JS-Okinawa 2013 7th International Joint Symposium on Problematic Soils and Geoenvironment in Asia, 査読有, pp.25-30, 2013.

<http://jgskyushu.jp/xoops/modules/JS-OKINAWA/>

9. 現地実験による赤土等流出抑制に向けた種々の適応策の検討, **荒木功平**, 奥村謙一郎, 安福規之, 大嶺聖, 第 10 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, (社) 地盤工学会, 査読有, pp.221-226, 2013. [https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1490%3A10-&catid=44%3A2008-09-14-21-10-47&Itemid=80](https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=1490%3A10-&catid=44%3A2008-09-14-21-10-47&Itemid=80)
10. 気候変動に伴う赤土等流出問題への宜野座村での現地実験による適応策研究, **荒木功平**, 奥村謙一郎, 安福規之, 大嶺聖, 土木学会論文集 G (環境), (社) 土木学会, 査読有, Vol.69 (No.5), pp.I\_117-I\_122, 2013. <https://www.jsce.or.jp/collection/index.html>
11. Studies on the inhibitory effect of red soil runoff by various adaptation measures on field tests, K.Okumura, **K.Araki**, N.Yasufuku, K.Omine, H.Hazarika, International Joint Symposium on Urban Geotechnics for Sustainable Development, 査読有, pp.140-143, 2012.
12. 九州の亜熱帯化と亜熱帯地域での土壌侵食問題への適応策効果把握の試み, **荒木功平**, 奥村謙一郎, 安福規之, 大嶺聖, 土木学会論文集 G (環境), (社) 土木学会, 査読有, Vol.68 (No.5), pp.I\_267-I\_272, 2012. <https://www.jsce.or.jp/collection/index.html>

[学会発表] (計 15 件)

1. 飽和度変化に着目した不飽和砂の動的挙動評価に関する実験的研究, 藤森弘晃, **荒木功平**, 後藤聡, 北爪貴史, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演論文集, (掲載決定), 2015.9.16-18, 岡山大学 (岡山県岡山市)
2. 降雨形態に着目した赤土の流出特性に関する実験的研究, 岩見康平, **荒木功平**, 安福規之, 第 50 回地盤工学研究発表会平成 27 年度発表講演集, (掲載決定), 2015.9.1-3, 北海道科学大学 (北海道札幌市)
3. 土粒子の力学条件に着目した土砂流出量算出モデルとその適用, 岩見康平, 荒木功平, 安福規之, 石蔵良平, ハザリカ・ヘマンタ, 平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2015.3.7, 琉球大学 (沖縄県西原町)
4. 振動台を用いた地震動による不飽和地盤の破壊形態に関する実験的考察, 藤森弘晃, **荒木功平**, 後藤聡, 北爪貴史, (社) 地盤工

- 学会関東支部発表講演集 CD-ROM, No.構造 7-4, pp.122-125, 2014.10.3, 日本科学未来館・東京国際交流館（東京都江東区）
5. 早川流域における降雨～地盤～土砂流出関係の把握に向けた試み, 畠山敏輝, **荒木功平**, 後藤 聡, (社)地盤工学会関東支部発表講演集 CD-ROM, No.環境 1-5, pp.400-403, 2014. 10.3, 日本科学未来館・東京国際交流館（東京都江東区）
  6. 室内表層せん断試験装置を用いた赤土の表面抵抗性の把握, 岩見康平, **荒木功平**, 安福規之, ハザリカ・ヘマンタ, 石蔵良平, 第 49 回地盤工学研究発表会平成 26 年度発表講演集, pp.305-306, 2014.7.15-17, 北九州国際会議場ほか（福岡県北九州市）
  7. 土粒子の力学的安定条件に着目した流出限界粒径の算出に関する研究, 奥村 謙一郎, 安福規之, **荒木功平**, 大嶺 聖, ハザリカ・ヘマンタ, 石蔵良平, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.315-316, 2014.3.8, 福岡大学（福岡県福岡市）
  8. 室内表層せん断試験装置を用いた赤土の表面抵抗性の把握, 岩見康平, **荒木功平**, 安福規之, ハザリカ・ヘマンタ, 石蔵良平, 奥村謙一郎, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.371-372, 2014. 3.8, 福岡大学（福岡県福岡市）
  9. 沖縄県の気候変動と赤土等流出問題への適応策に関する一考察, **荒木功平**, 安福規之, 大嶺聖, (社)地盤工学会関東支部発表講演集 CD-ROM（ページ無）, No.環境 2-3, 2013. 日本科学未来館・東京国際交流館（東京都江東区）
  10. 気候変動に伴う赤土等流出問題に地域と取り組む適応策研究の試み, **荒木功平**, 安福規之, 大嶺聖, 奥村謙一郎, 岩見康平, Khonesavanh VILAYVONG, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演論文集, pp.13-14, 2013.9.4-9.6, 日本大学（千葉県習志野市）
  11. 降雨に伴う赤土（国頭マージ）地盤の表流水と流出粒度に着目した基礎的研究, 岩見康平, **荒木功平**, 安福規之, ハザリカ・ヘマンタ, 石蔵良平, 奥村謙一郎, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演論文集, pp.215-216, 2013. 9.4-9.6, 日本大学（千葉県習志野市）
  12. 現地実験による種々の適応策の赤土流出抑制効果に関する研究, 奥村謙一郎, **荒木功平**, 安福規之, 大嶺聖, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演論文集, pp.217-218, 2013. 9.4-9.6, 日本大学（千葉県習志野市）
  13. 気候変動に伴う赤土流出リスクの増大に備える適応策の実験的検討, 奥村謙一郎, **荒木功平**, 安福規之, ハザリカ・ヘマンタ, 第 48 回地盤工学研究発表会平成 25 年度発表講演集, pp.873-874, 2013.7.23-25, 富山

国際会議場ほか（富山県富山市）

14. 豪雨時の土砂流出に対する適応策把握の実験的研究, 岩見康平, **荒木功平**, 安福規之, 奥村謙一郎, 大嶺聖, ハザリカ・ヘマンタ, 石蔵良平, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.403-404, 2013.3.9, 熊本大学（熊本県熊本市）
15. 地域との気象, 地盤情報共有化による赤土流出対策の試み, 奥村謙一郎, **荒木功平**, 安福規之, 大嶺聖, ハザリカ・ヘマンタ, 石蔵良平, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.517-518, 2013. 3.9, 熊本大学（熊本県熊本市）

〔その他〕

ホームページ等

1. 九大地盤：赤土班  
<http://www7.civil.kyushu-u.ac.jp/geotech/akatsuchi/>
  2. 亜熱帯化先進地における水・土砂災害適応策の研究  
<https://sites.google.com/site/s822kyushuu/>
  3. 荒木研@梨大  
<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~karaki/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
荒木 功平 (ARAKI, Kohei)  
山梨大学・大学院総合研究部・助教  
研究者番号：00600339