

令和元年6月24日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05745

研究課題名(和文) あらゆる地盤・環境に適応できる未舗装道路整備法とサブサハラへの適用法に関する研究

研究課題名(英文) Road improvement methods applicable to problematic sections in Sub-Saharan Africa

研究代表者

木村 亮 (KIMURA, MAKOTO)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：30177927

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：サブサハラ・アフリカで、車両の通行性確保が困難となる膨張性粘性土地盤、洪水箇所、急こう配部での未舗装道路の整備手法を、実施工を通して検討した。現地の経済状況を鑑み、沿線住民の参加で現地材料の利用を基本とした。急こう配箇所や水浸箇所では整備上の必要性を判断し、コンクリートも利用した。各問題箇所での整備手法を、施工断面や整備効果とともに提示することができた。小規模の未舗装道路の通行困難箇所に対して、本研究で提示された工法を適用することで、サブサハラ・アフリカ広域での通行性の改善につながる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サブサハラ・アフリカでの小規模の未舗装道路整備には、経済的な制約から現地調達材料と人力施工による整備手法であれば実現性が高い。実現性の高い方法でかつ、車両の通行性確保が困難となる膨張性粘性土地盤、洪水箇所、急こう配部に対して有効な整備手法を提案したことは、今後サブサハラ・アフリカ広域での通行性の改善につながると考えられ、社会的意義が大きい。従来の性能設計に対し新たに中間的な出来形を定義しその性能を示すことになり、学術的にも意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：Road improvement methods applicable to the problematic section where expansive soil is prevailing, over-flooded, and with steep gradient, were examined and proposed through actual construction. Considering the financial constraints, the method is to be labor-based and requiring locally available material. Thus, they are practical for low volume roads. At the same time, with consideration of engineering requirement at the problematic sections, it is decided technically that concrete is utilized in the proposed method. By taking suitable one of the proposed methods, most of the problematic sections of unpaved road in Sub-Saharan Africa could be improved to be annually accessible.

研究分野：地盤工学

キーワード：未舗装道路整備手法 膨張性粘性土地盤 洪水箇所 急こう配

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

1. 研究開始当初の背景

国際社会は2015年を期限としミレニアム開発目標の達成に向け努力してきた。その一つである貧困削減について世界的には達成されたとする一方、サブサハラ・アフリカでは目標に達していない。継続し積極的に取り組むべき課題である。

サブサハラ・アフリカでは都市部の大規模インフラ整備が進む一方、貧困層の多くが住む農村部は援助機関や行政の支援から取り残され、人々の生活道路は未舗装のまま整備が不十分である。雨季には泥濘化し車両や歩行での通行が困難となり、市場、学校、病院へのアクセスが制限されてしまうことが、貧困から抜け出せない大きな要因である。

木村らはこの問題解決のため、4Lアプローチ(簡易(Low technology)で、人力(Labour based)による施工が可能、安価(Low cost)で現地調達材料(Local resource))による、土のうを利用した未舗装道路整備手法を開発し、その普及活動を進めた。その施工性や整備効果は各地で認められつつあり、ケニア国道路整備5ヶ年計画(2013-2017)では若者雇用促進にもつなげる未舗装道路維持管理手法として、土のう工法が取り上げられた。

一方、これまでの普及活動の中で、膨張性粘性土地盤上や、山岳部の急こう配部、湿地帯における未舗装道路の整備法について、現行手法では十分な効果が得られず、さらなる工夫の必要性が認識された。現地調達可能材料にも地域性があり、あらゆる地盤・環境に適用できる未舗装道路整備法を開発する必要がある。

土のう工法について説明またはデモを実施したサブサハラ・アフリカの国々では、4Lアプローチからの斬新で具体的な解決策として、土のう工法に高い関心がある。今後、未舗装道路が整備され人々の生計向上に寄与するには、4Lアプローチで効果的な手法を草の根で普及・定着させる必要がある。そのために、各国固有の条件下で実施性が高いように工夫された土のう工法など、未舗装道路整備法を確立しその仕様を道路管理者に示すことが求められている。

2. 研究の目的

サブサハラ・アフリカの特徴的な条件下で適用できる、未舗装道路の標準整備法を開発し体系化する。広域の多様な環境に応じて標準整備法を部分調整し適用することで、各地で未舗装道路通行性向上に寄与することを目的とする。

3. 研究の方法

サブサハラ・アフリカにおけるトライアングル構想として東、西、南に3拠点を選定し、あらゆる地盤・環境に適用できる未舗装道路整備法の開発と社会実装に関する研究を行った。

東部では、ケニア、エチオピアにて研究活動を実施した。ケニアでは4Lアプローチによる未舗装道路整備手法の社会実装を焦点に、研究活動を行った。市場志向型農業の普及を目指す事業にて、農家グループが実施しうる農道の通行性の向上や維持のための手法として、土のう工法が有効か検証し、また農業政策での農道整備が実現可能か確認した。また若者の雇用促進に、簡便で労働集約的である土のう工法がどのように採用され、貢献するかを事例を通して検証した。

エチオピアではアジスアベバ科学技術大学と連携し、膨張性粘性土が分布する地域での土のう工法の適用性の検証を試験施工を通して行った。道路管理者であるエチオピア道路公社の協力も得て連携し、実道路上で試験施工を行った。

西部では、当初コートジボワールでの活動を想定した。実際には、研究協力者である国際協力NGOが拠点を置き農道整備事業を実施するブルキナファソで、洪水箇所やまた地方都市内における未舗装道路整備手法を検討した。

南部ではモザンビークまたはマダガスカルにて、現地の気象、地形、土質条件下で土のう工法の適用性の検証や、現地で施工性の高い4Lアプローチによる道路整備手法の検討を計画した。しかし、いずれの国でも、本研究事業期間中に研究協力者である国際協力NGOによる未舗装道路整備に関する事業が実現しなかったため、研究活動は実施していない。しかし、タンザニアのモザンビークとの国境近くの丘陵地にて、急こう配道路の整備手法を検討した。

以下の表1に、研究対象地域と実施国、各国での研究課題をまとめる。

表1 研究対象地域と研究課題

| 地域   | 東部                                  |                             | 西部                       | 南部                      |
|------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 国    | ケニア                                 | エチオピア                       | ブルキナファソ                  | タンザニア<br>(モザンビークとの国境周辺) |
| 研究課題 | 市場志向型農業普及事業と、若者雇用促進事業での土のう工法の適用性の検討 | 膨張性粘性土の分布する地盤上での簡便道路整備手法の検討 | 洪水箇所や地方都市内の未舗装道路の整備手法の検討 | 丘陵地の急こう配道路の整備手法検討       |

#### 4. 研究成果

##### (1) 市場志向型農業普及事業での土のう工法を利用した農道整備

ケニアでは園芸農業が盛んである。園芸作物を市場へ運搬する、もしくは買い手が畑まで車で引き取りに来ることで、換金され農家は収入を得ることができる。農家の収入向上のためには、市場価値の高い園芸作物を生産し、高値が付く時期に出荷することが重要である。生産能力や市場判断能力が必要であるが、畑と幹線道路を結ぶ農道の車両通行性を向上することも、不可欠である。そこで農家グループに対し、現地の材料を利用し人力施工が可能な土のう工法の研修が行われた。本研究では、この研修による効果の検証を行った。

土のう工法で農道の通行性が改善され、出荷量の増加、作物販売価格の上昇など効果が確認された。しかし、農業事業を統括する農業省単独では、道路整備に不可欠な路盤や表層材を十分な量だけ調達することができず、整備範囲の拡大や持続的な道路整備が困難であった。中央政府農業省を通して、インフラ省や地方自治体のインフラ担当部署への、強い協力要請が不可欠であることが明らかになった。結果として、インフラ省が主体となる事業で、4Lアプローチの土のう工法も普及、定着が進むと考えられる。

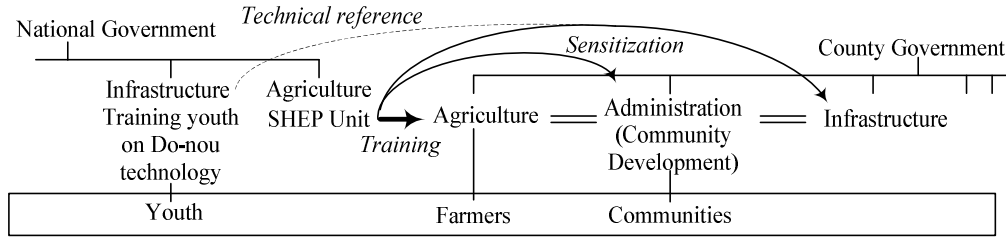


図1 中央政府農業省からインフラ省や地方自治体への農道整備に向けた協力要請の様子

##### (2) 若者雇用促進に向けた土のう工法の適用性

ケニアでは、土のう工法の習得を通して若者の雇用促進につながる研修実施体制(図2)が確立された。資産を持たず教育機会に恵まれてこなかった若者にとり、彼らの居住区域での土のう工法の研修と道路整備(図3)が、起業に向けた大きな機会となっている。簡便な技能を身に付け社会貢献を体験することで、今後の起業に向けたやる気と自信の醸成につながる。ケニア政府はその若者に対して、国立研修機関での研修を無償で受ける機会を提供した。この研修コースを修了することで、National Construction Authority (NCA)にて建設会社としての登録をすることが可能となり、若者が公共事業へ参入することが可能となった。なお、この研修コースは、道路維持管理に関する総合的な技能に土のう工法を含めた内容で、期間は6週間である。

図2中A.の土のう工法研修からC.国立研修機関での研修を受けた若者のうち、約2割が約3年間のうちに起業し、事業活動を継続させている。今後は研修機会を得た若者のより多くが起業するような取組が求められる。研修生の選抜条件の設定や、事業活動を開始させる際の支援体制の充実が必要と考えられる。

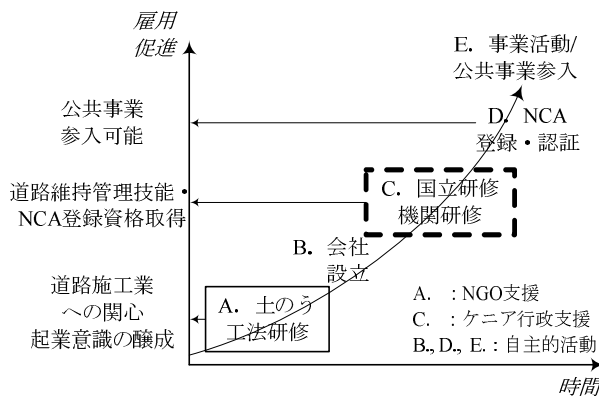


図2 起業に向けた研修の流れ



図3 若者への土のう工法の研修

##### (3) 膨張性粘性土の分布する地盤上での簡便道路整備手法の検討

エチオピアでは国土の10%以上の範囲で、膨張性粘性土が分布している。膨張性粘性土を路床とする道路では、深さ方向に約1mの範囲を良質土に置換する対策が取られている。小規模道路では、十分な良質土を確保できず置換層厚が20~30cmに限定され、路面の沈下量が大きい(図4)。そこで、エチオピア道路公社の協力を得て、土のうによる道路整備手法の試験施工を行った。協力機関であるアジスアベバ科学技術大学が、日本側研究者らと打合せをし実施した。エチオピア道路公社の低交通量道路設計ガイドラインの規定に沿い、路盤材料を調達した。

その路盤材を土のうち詰め材とした。路床高を計測し記録後、土のうを2～3層敷設し、その後土のう表面を厚さ50mmの表層で被覆した。

図5は試験施工を終え約2年間が経過した後の、路面の様子である。路面排水や交通により、表層が消失し、土のうがむき出しとなっている。その後通過交通のタイヤ等との摩擦により袋材が破断している。土のうの拘束効果は失われているが、これまでに締固めが進んでおり、路面に大きな沈下は見られない。

道路の横断方向の両端部でも土のうが露出し、摩擦や紫外線の影響で袋材が破断している。路面排水等により浸食が進むことが想定されるため、端部では玉石での補強など対策を検討する必要がある。

この研究活動を受け、膨張性粘性土に対しては、在来植物由来のセルローズ系土質改良材を開発し適用手法の確立を目指す、アジスアベバ科学技術大学等との国際共同研究プロジェクトが2019年度より開始されることになった。



図4 膨張性粘性土地盤上の道路で土のう工法で整備する前の様子



図5 土のう工法で整備され2年が経過した時の様子

#### (4) 洪水箇所や地方都市内未舗装道路の整備手法の検討

熱帯性気候の道路では、雨季には水没してしまう箇所がある(図6)。ここでは路面高を約50cm上げ、路面をコンクリート舗装する対策が提案された(図7)。水没期間を短くすることができる。セメントは近隣の地方都市で購入した。配合や打設、養生、仕上げについて指導した結果、参加した住民らは容易にこれらの技術を習得した。雨季には水没するがその期間は短くなり、沿線住民は十分便益を認識した。雨季と乾季で水位の変動が大きい地域で、水没箇所対策として、ここで提案される構造物は有効であると考えられる。年間を通じて水没せず通行性を確保するには、架橋が必要となりその費用が大きくなる。その費用を調達できず、対策がなされていなかった。ここで提案される中間的な出来形の構造物が、有効であると考えられる。

また地方都市内の道路整備に際し、これまで現金を必要としながらその機会に恵まれなかった女性を雇上した。彼らにとって貴重な現金収入機会となった。これまでも現金収入の機会の提供を目的に、労働集約型の工法での道路整備事業は行われてきた。しかし、作業者は主に男性であった。女性が実施可能な作業も多くあり、十分な道路整備効果が得られること、また労働集約型事業において女性の雇上も重要であることが示唆された。



図6 雨季に水没する箇所



図7 路面かさ上げとコンクリート舗装



図8 都市部における道路整備の様子



図9 女性の参加による道路整備

( 5 ) 丘陵地の急こう配道路の整備手法の検討

Mkoma II 村と国道間の道路の縦断勾配は図 10 のようであった。中間部の延長 530 m の区間の平均勾配は 16.0% である。現地調査からこの縦断条件を把握し、最も通行性の確保が困難なこの急こう配区間を、コンクリート舗装することとした。できるだけ勾配をゆるくし幅員を確保するため、急カーブ部 ( 図 11 ) では土のうを利用して擁壁を設置した ( 図 12、13 )。Mkoma II の住民が参加し、日本人専門家の短期派遣と現地で雇上された作業長と業務調整役の指示のもとで、約 200 日間作業を行った。施工業者の雇上なしに、施工を終えた。

丘陵地の急こう配道路の整備手法として、この施工事例が参考になると考えられる。最も通行性の確保に支障をきたす区間に資源を集中させ、コンクリート舗装を行った。日本人専門家の短期派遣と、現地人の作業長、業務調整役の駐在により、コストを抑えて施工をほぼ計画どおりに行うことができた。

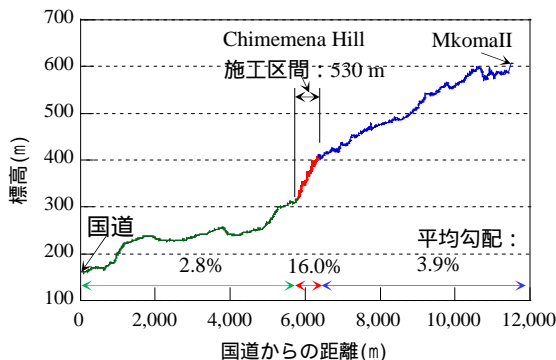


図 10 対象道路の縦断図



図 11 急カーブ部の施工前の様子

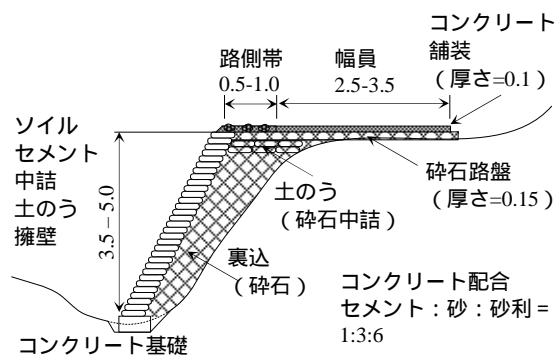


図 12 急カーブ部の道路断面



図 13 急カーブ部の施工後の様子

( 6 ) まとめ

サブサハラ・アフリカの特徴的な条件下として、膨張性粘性土地盤、洪水箇所、急こう配部での未舗装道路の整備法を検討した。いずれのケースも住民参加による実施体制であり、施工業者は含まれていない。材料には現地材料の利用を原則としながら、整備上の必要に応じてコンクリートを利用した。各特徴的な条件下での整備手法を、実施工を通して示すことができた。サブサハラ・アフリカでの生活道路整備に向けた、モデル事例となる。

これらの手法の社会実装に向け、市場志向型農業事業や若者雇用促進事業で道路整備を実践した。インフラ整備に係る省庁と連携することで、提案する施工方法の普及や実践が実現すると考えられる。この知見は、今後新たな国で未舗装道路整備を行う時に、効率的に連携機関を選定することに活かすことができる。

5 . 主な発表論文等

[ 雑誌論文 ] ( 計 4 件 )

Fukubayashi, Y., Daito, Y. and Kimura, M.: "Locally available geotextile for maintaining unpaved roads in developing countries to enhance community resilience", Procedia Engineering, ICSDEC 2016 - Integrating Data Science, Construction and Sustainability, 簡易査読有、Vol.145, pp. 348-355, 2016.  
DOI information: 10.1016/j.proeng.2016.04.087

Daito, Y., Fukubayashi, Y. and Kimura, M.: Participatory project to improve trafficability of unpaved road at delta in rural area of Bangladesh, Japanese Geotechnical Society Special Publication, 簡易査読有、Vol.5, No.2, pp.66-70, 2017.

<http://doi.org/10.3208/jgssp.v05.016>

大東優馬・福林良典・木村 亮：バングラデシュ・デルタ地帯における破砕レンガを有効活用した住民参加型農道整備、土木学会論文集 F5, 査読有、Vol.73, No.1, pp.1-11, 2017.  
福林良典・木村 亮：誰も取り残さない開発に向けた小規模道路通行性改善、国際開発研究、査読有、Vol.26, No.2, pp.19 - 30, 2017.

〔学会発表〕(計 8 件)

福林良典・本庄由紀・木村 亮：ケニアでの若者雇用促進政策における労働集約型道路維持管理手法の研修とその有効性の検討，第 17 回国際開発学会全国大会発表要旨集，2016.

大東優馬・福林良典・木村 亮：含水比および土のう枚数をパラメータとした土のうの CBR 値の検討，第 71 回年次学術講演会公演概要集，pp.405-406，2016.

芝村裕人・大東優馬・福林良典・木村 亮：発展途上国農村部における渡河構造物施工手法に関する施工内容および実施体制の検討，第 71 回年次学術講演会公演概要集 pp.15-16，2016.

大東優馬・芝村裕人・福林良典・木村 亮：フィリピン国の農村部における住民参加型の渡河構造物施工事業の計画と実践，第 51 回地盤工学研究発表会講演集，pp.2231-2232，2016.

Fukubayashi, Y. and Nzioka S. : Rural Road Improvement with Farmers Groups Initiatives for Promoting Market-Oriented Agriculture -Case Studies in Kenya-, Proc. of the 27th Annual Conf. of the JASID (Japan Society for International Development), 第 27 回国際開発学会全国大会発表要旨集，p.172，2016.

福林良典・木村 亮：誰も取り残されない開発に向けた草の根・人間の安全保障無償資金協力を活用した住民参加型生活道路整備 タンザニア、ムトワラ州ネワラ県の事例 ，第 18 回国際開発学会春季大会発表要旨集，pp.10-14，2017.

福林良典・木村 亮：フィリピン・ルソン島北部における零細稲作農民の農業収入向上事業における小規模道路渡河部構造物整備 生活インフラ整備支援の拡大に向けた、NGO 連携による取組事例 ，第 28 回国際開発学会全国大会発表要旨集，pp.256-259，2017-11.

福林良典・木村 亮：土のうで構築された路盤の性能評価に関する検討，第 53 回地盤工学研究発表会講演集，pp.1187-1188，2018.

〔図書〕(計 1 件)

Fukubayashi, Y. and Kimura, M.: Spot-Improvement of Rural Roads using a Local Resource-Based Approach: Case Studies from Asia and Africa, in Seth Appiah-Opoku (ed), International Development, Intech, pp. 89-117, 2017.

DOI information: 10.5772/66109

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ：<http://geomechanics.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：澤村 康生

ローマ字氏名：SAWAMURA, Yasuo

所属研究機関名：京都大学

部局名：工学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：20738223

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：成田 弘成

ローマ字氏名：NARITA, Hironari

研究協力者氏名：福林 良典

ローマ字氏名：FUKUBAYASHI, Yoshinori