

平成 22 年 1 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2007-2008
 課題番号：19404008
 研究課題名（和文） 代替セメント材料による固化土ブロックの多機能化および社会基盤整備への適用
 研究課題名（英文） Improvement of Stabilized Soil Blocks by Alternative Cementitious Materials and Their Applications

研究代表者

杉浦 邦征 (SUGIURA KUNITOMO)
 京都大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：70216307

研究成果の概要：本調査研究では、アフリカ地域の人々が持続的に継承可能な基本労働ベースの「土のう」や「たたき（土間）」の日本古来の技術移転を「実践」し、その効果を「経済活動」、「規格（制度）」、「工学教育」などの視点から検討し、特に、アフリカ地域に「草の根」的に技術移転し、アフリカ地域における貧困削減を実現するとともに、工学教育を通じた国際人育成を行うことを上位の交流目標とした。平成 20 年 9 月 23-25 日にケニア・モンバサ市で開催された第 2 回アフリカの持続発展のための土木国際会議、教育セミナー・教育ワークショップ、並びに平成 21 年 9 月 25 日にタンザニア・ダルエスサラーム市で開催された第 2 回持続可能な開発のための社会基盤技術に関するセミナーを通して国際技術教育の実際や今後の課題について協議を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2008 年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			
年度			
年度			
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

研究分野：建設材料および自立型技術移転

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料

キーワード：セメント，ポゾラン，固化土，土のう，規格，国際研究者交流，ケニア

1. 研究開始当初の背景

貧困問題の解決が急務であるアフリカ地域の社会基盤は脆弱であり、人々の生活水準の向上や経済活動の障害となっている。この問題を解決するために、先進国による高度な技術による基盤整備が進められているが、一般に、先端技術による社会基盤施設の多くは、維持管理が困難で持続可能となっていない。本調査研究では、アフリカ地域の人々が持続

的に継承可能な基本労働ベースの「土のう」や「たたき（土間）」の日本古来の技術移転を「実践」し、その効果を「経済活動」、「規格（制度）」、「工学教育」の三つの視点から検討する。特に、アフリカ地域に「草の根」的に技術移転し、アフリカ地域における貧困削減を実現するとともに、工学教育を通じた国際人育成を行うことを上位の交流目標とする。

2. 研究の目的

具体的には、以下の二つの項目に関し、技術ニーズ調査、現地に特化した技術の確立、技術移転を行う。①社会基盤整備技術：土のうを用いた道路舗装および固化ブロックによる構造物建設に関して、第2回アフリカの持続発展のための土木国際会議において、技術交流を行う。②社会基盤施設の設計基準：ケニアおよび他の周辺アフリカ諸国の労働ベース技術に関して、規格化や法制度の視点で調査を行う。

3. 研究の方法

これらの調査結果に基づいて、開発整備の効果評価を行い、技術の展開について検証し、全体取りまとめ、総括を第2回アフリカの持続発展のための土木国際会議に行った教育セミナー・教育ワークショップを通して国際技術教育の実際や今後の課題について意見交換を進め、将来の課題について取りまとめる。

4. 研究成果

(1)はじめに

発展途上国では、ここ数十年都市部への人口移動が顕著になっている。特に、ケニアの主とであるナイロビでは、およそ人口の60%がスラム地域に居住していると言われている。しかし、そのスラム地域は国土の5%に過ぎず、スラム地域の居住環境が劣悪化しているといえる。また、ケニアでは、居住環境の劣化原因の一つとして、スタンダード（規格）の問題があると言われている。1968年に制定されたケニアのBuilding Codeは、ほとんどが旧宗主国であるイギリスの規格 British Standard を改変したもので、ケニアの実情に即したものとなっていない。このような状況は、安価で手に入りやすい建設材料の導入に障害となっている可能性がある。特に、発展途上国などの建設材料として注目されているものにSSB (Stabilized Soil Block)がある。この材料に対して先進国の認識度が低く、スタンダードも整備されていないため、途上国での明確な基準が得られず導入の障害となっている。

よって本研究では、はじめに建設材料のグローバルスタンダードに関する問題点について整理を行い、発展途上国の建設材料導入への影響について検討を行った。次に、ブロック材料のコードについて各国の基準を比較し、ケニアにおいてSSB普及の障害となっている要因について検討を行う。さらにケニア大地溝帯に広く分布する火山灰を安定剤として利用したPozzolanic SSBについて提案を行い、その力学的諸性質を明らかにするとともに、大体材料としての可能性を検討した。最後に、SSBを建設材料として導入し、

広く普及させるためのシナリオを提案し、模擬的なシミュレーションによりその可能性を検討した。

(2)グローバルスタンダードに関する各国の現状

欧州においては、ウィーン協定によるISO（国際標準化機構）とCEN（ヨーロッパ標準化機構）との連携により、本来地域規格であるはずのENがISOとなる道が用意されている。このような状況に対し、後手となっている日本などはウィーン協定の改定を提案している。一方北米では、ANSI（米国国家標準協会）による戦略が展開されている。この機関の役目は、諸外国の規格制度による貿易障害の防止・除去、ポテンシャルの高く規格化途中の国へのアウトリーチ活動（例：中国）である。また特別なケースとして、中国への戦略がある。これはWTO加盟を交換条件に、中国市場の開放と米国式の建築士資格を中国で認めさせた事例である。弁護士資格、公認会計士資格など、知的専門家の国家資格を国際的に統一して優位に立つとするアメリカの戦略の一環と考えられている。また日本においては、明確な行動原理が示されることは稀である。大きなMotivationとしては、日米通商摩擦に端を発する米国からの圧力により、毎年米国から「米国政府要望書」と称する文書が提示され、その項目に則り制度改革が進められている。ただし一部では「アジアスタンダード」の合意形成に向けて活動を行っている。

他方、途上国であるケニアでは、KS (Kenya Standard) の整備が進められている。KSのほとんどがISO、BSの複製であるため、不釣合いな規格化の内容をそのまま踏襲している場合が多い。しかし一部ローカルスタンダードの制定が行われている。特にSSB (Soil Stabilized Block) に関する規定はKBSにより提案されており、これはIBC (International Building Code: ICCアメリカの標準化機構によるもの) による「Masonry (レンガ)」規定を上回る内容となっている。

(3)SSB (Stabilized Soil Block)

SSBは、途上国における安価な建設材料として提案されている。特に、製作過程に大きな設備を必要とせず、現場にある土壌を使って作成するため、都市部以外の地域でも簡単に作成することができるものである。この材料は、環境問題の観点からも注目を集めており、途上国だけでなく北米やフランス、ニュージーランドなどにおいても適用が考えられている。

最初に、レンガ材料 (Masonry materials) に対する各国のコードを比較する。表-1に各国の該当するコードを示す。また表-2には要求性能を示す。KSにおける要求性能は他と比べても妥当なものであり、コードの存在がSSB

普及への障害となっていないことがわかる。現地での状況調査の結果、SSB 普及の大きな障害は、以下の4つにあると考えられる：

- 1) 安価な石材の存在：表-3 に各材料の価格を示す。ナイロビでは安価で質の高い石材が手に入るため、積極的にSSBを利用しない状況にある。
- 2) 養生に要する時間と場所：ナイロビ近郊のスラム地域では、養生のための土地が少なく、さらに養生に約一週間必要であるため、積極的に利用する環境にない。
- 3) 新しい材料に対する抵抗：保守的な理由により利用しない場合がある。さらに「土」を使うというイメージが貧困を連想させるため積極的に利用しようとはしていない。
- 4) SSBに関する知識を有する人間の不足：そもそもSSBに対しての知識を有し、技術を伝播できる人間が少ない。

表-1 レンガ材料に対する各国コード

Standard	Specification
AS (American Standard)	Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale) (C 62-01)
NMS (New Mexico State Adobe Building Code)	New Mexico State Adobe Building Code (1991) Section 2413
ES (European Standard)	Specification for masonry units – Part 1: Clay masonry units (BS EN 771-1:2003)
NZS (New Zealand Standard)	Engineering Design of Earth Buildings (NZS 4297)
KS (Kenya Standard)	Specification for stabilized soil blocks (KS 02-1070: 1993)

表-2 レンガ材料に対する要求性能

	Compressive strength	Water absorption	Density
AS	8.6~17.2MPa	20~25%	-
NMS	4.4~5.3MPa	4%	-
ES	Must be declared	-	More than 1000kg/m ³
NZS	1.3~1.8MPa	-	-
KS	2.5MPa	15%	More than 1600kg/m ³

(4) Pozzolanic SSB の提案

前述のとおり、Pozzolan を利用し安価なSSBを創出できれば、SSBを普及できる可能性がある。よってケニアにおけるPozzolanの分布を調査するとともに、Pozzolanにより長期安定化させたSSBを作成し、その特性について検討を行う。まず大地溝帯におけるPozzolan調査を行った。その結果、地中レー

表-3 ナイロビ近郊における建設材料費の比較

material	Price(Ksh)	Place	
Stone block	15	Juja	
	20	Juja	
	25	Nairobi	
	28	Nairobi	
Clay brick	34.8	Kenyatta University	
Concrete block	41	Nairobi	
	45		
	56		
	82		
SSB	manual	12	Kitui
	machine	14	
	manual	8.7 ~ 14.4 (this study)	JKUAT
Cement (50kg bag)	630	Thika Road	
	640	Juja	
	630	Thika town	

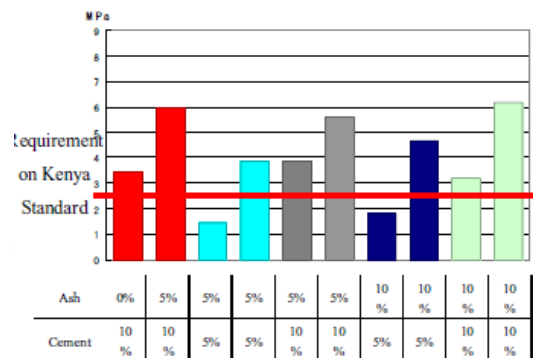


図-1 RCSにおける圧縮強度結果

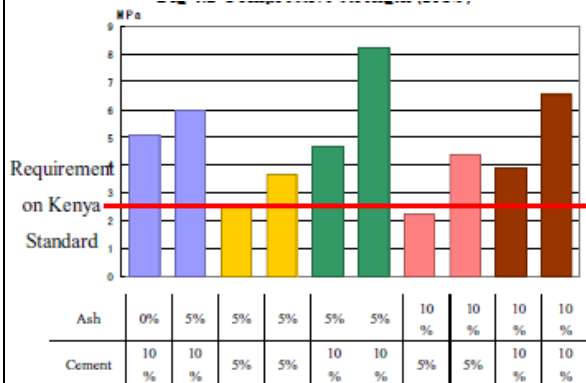


図-2 Murramにおける圧縮強度結果

ダーを用いた調査により、Great Rift Valley 最深部付近において 10m 程度の深さまで Pozzolan が分布していることがわかった。次に PSSB を作成し、圧縮試験を行った。その結果を図-1、図-2 に示す。これより、Murram を用いた場合最も大きな強度を発現することがわかった。またこの場合、5%程度のセメント量でも十分SSBスタンダードの基準を満たすことがわかった。

(5)SSB 普及のためのシナリオ創出

SSB を効果的に普及させるためのプロジェクトを提案し、普及までのシナリオ構築を行う。ここでは二つの可能性について想定し、それぞれのシナリオを展開する。シナリオの概要を表-4 に示す。一つ目のシナリオは日本の援助機関主導によるもので、主に JICA な

どが建設を行う公共施設に SSB を利用するというものである。もう一つはコミュニティリーダー主導するもので、外部機関は機材提供のみを行う。これら二つのシナリオを比較した場合、コミュニティリーダーを中心として公共施設を SSB で作成することが、普及に対して最も効果的であることがわかる。

表-4(a) SSB 普及のためのシナリオ 1 案

表-4(b) SSB 普及のためのシナリオ 2 案

		Scenario 1				Scenario 2	
Project Goal		Acquisition of houses and jobs by those living in slum areas in Nairobi		Project Goal		Improvement of dwelling condition in rural areas	
Phase 0	User (Initiator)	(A) Outlander (government, NGO, JICA, AICAD, university etc)		Phase 0	User (Initiator)	(C) Community leader (e.g. village mayor,) OR (A) Outlander (government, NGO, JICA etc)	
	Beneficiary	(B) Those living in slums in Nairobi			Beneficiary	(D) Local people in rural areas	
	Location	Empty land outside Nairobi			Location	Indigenous community in rural areas	
Phase 1		Initiation and design by (A) ↓ Hiring SSB technician ↓ ✓ Employment and training of (B) ✓ Selection and purchase of materials and machines		Phase 1		Proposition of project toward and acquisition of funding from (A) ↓ ✓ Hiring SSB technician ↓ ✓ Employment and training of (D) ✓ Selection and purchase of materials and machines	
Phase 2		Construction of symbolic public building (school, church etc) by using SSB, supported by hired SSB technician		Phase 2		Construction of symbolic public building (school, church etc) by using SSB, by forming a small team	
Phase 3		Monitoring of sustainability of the project by (A) (Using automatic machine) (Using manual machine) Initiating a small SSB company and hiring (B)		Phase 3		Monitoring of sustainability of the project by (D) (Using automatic machine) (Using manual machine) Initiating a small SSB company and hiring (D) .	
Overall Goal		Dissemination of the projects all over Kenya and poverty reduction !!		Overall Goal		Dissemination of the projects all over Kenya and poverty reduction !!	

以上の理由によりSSBが普及していないと考えられる。しかし、Pozzolanを利用することで、さらに安価となれば、普及の可能性が生じるであろう。

以上の本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ・ グローバルスタンダード問題に対して整理を行い、先進国・途上国間に発生する規格化の問題を明確化した。
- ・ SSBに関する各国のコードを整理した結果、スタンダードがSSB普及の大きな障害となっていないことがわかった。また安価な石材の存在とSSBに対する劣悪なイメージ、建設業者の保守的なマインドが主な障害であることがわかった。
- ・ より安価なSSBであるPozzolanic SSBを提案し、ケニアにおけるPozzolanの分布およびPSSBの力学特性を明らかにした。その結果、Murram土に対してPozzolanを用いれば、5%程度のセメント量でも十分KBSの要求性能を満たすことがわかった。
- ・ SSB普及のためのシナリオを構築し、プロジェクトの効果を検証した。その結果、JICAなどの援助機関により公共施設をSSBで作成することが最も効果的であることがわかった。

なお、連携研究者であるケニア・ジョモケニヤッタ農工大学(JKUAT)のオヤワ准教授をトー講師のによって、JKUATキャンパス内の土のうによる道路建設の試験施工、土ブロック作成に適した現地土の調査を広く行い、東アフリカ地域における自立型技術移転のプロトタイプを実施し、周辺国にも波及し、第3国研修の有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ①福林良典, 木村亮, 「土のう」による住民参加型農道整備手法の開発と実践によるコミュニティ活性化へのアプローチ, 国際開発研究, 18-2, 153-166, 2009, 査読有
- ②福林良典, 木村亮, 開発途上国農村部の小規模インフラ整備に向けた技術移転手法の開発, 土木学会論文集 C, 65-2, 550-553, 2009, 査読有
- ③福林良典, 木村亮, 開発途上国農村部における金コン削減に向けた未舗装道路改修方法, 土木学会論文集 C, 63-3, 783-796, 2007, 査読有

[学会発表] (計 8 件)

- ①M. Kimura and Y. Fukubayashi, How to initiate communities in developing countries into self road maintenance Comment initier les communautés dans les pays en développement en termes d'auto entretien des routes, Proc. of the 17th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE, 3, 2653-2656, Alexandria, Egypt, 2009. 10. 9, 査読無
- ②Y. Oshima, K. Sugiura, Y. Itoh, Y. Kitane, Y. Mikata, Research Proposals of Structural Engineering for Tanzanian Application, Proc. of The second Seminar on infrastructure technologies for sustainable development, Dar es Salaam, Tanzania, S10-1-S10-8, 2009. 9. 25, 査読無
- ③E. Asano, Analysis on Human Development of African Road Engineers, Proc. of The second Seminar on infrastructure technologies for sustainable development, Dar es Salaam, Tanzania, S7-1-S7-6, 2009. 9. 25, 査読無
- ④M. Kimura and Y. Fukubayashi, An Approach To Maintain The Rural Infrastructure In Developing Countries, Proc. of The Second Seminar on infrastructure technologies for sustainable development, Tanzania, 2009. 9. 25, 査読無
- ⑤E. Asano, Human Resource Development of Kenyan Civil Engineers, Proc. of The first Seminar on infrastructure technologies for sustainable development, Mombasa, Kenya, 41-52, 2008. 9. 25, 査読無
- ⑥Walter O. Oyawa, Mathew Winja and L. M. Njuki, Re-engineering earth(soil) and local plants as sustainable building materials, Proc. of The Second Seminar on infrastructure technologies for sustainable development, Kenya, 19-23, 2008. 9. 25, 査読無
- ⑦ M. Kimura and Y. Fukubayashi, Goetechnique For Rural Infrastructures to Empower Communities (Theme Lecture), Proc. of the 13th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2 Post Conference Volume, Kolkata, India, 260-267, 2007. 12. 11, 査読無
- ⑧M. Kimura and Y. Fukubayashi, Maintenance of Unpaved Road on Problematic Soil Using Labor Based Technology in East Africa, Proc. of the 14th African Regional Conf. for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Yaounde, Cameroon, 253-260, 2007. 11. 28, 査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉浦 邦征 (SUGIURA KUNITOMO)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70216307

(2) 研究分担者

木村 亮 (KIMURA MAKOTO)
京都大学・産官学連携センター・教授
研究者番号：30177927

大島 義信 (OSHIMA YOSHINOBU)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：10362451

浅野 英一 (ASANO EIICHI)
摂南大学・外国語学部・准教授
研究者番号：90351684

伊藤 義人 (ITO YOSHITO)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30111826

山口 隆司 (YAMAGUCHI TAKASHI)
大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50283643

橋本 国太郎 (HASHIMOTO KUNITARO)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：40467452

(3) 研究協力者

福林 良典 (FUKUBAYASHI YOSHINORI)
特定非営利活動法人道普請人・代表

ウォルターオディエンボオヤワ
(Walter O. Oyawa)
ケニア・ジョモケニヤッタ農工大学・准教授

アラップキプタヌイトー
(Arap Kiptanui Too)
ケニア・ジョモケニヤッタ農工大学・講師