

「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の開発と
貧困削減に向けた基礎的研究

2007年8月

福 林 良 典

要 旨

本研究では、開発途上国農村部における貧困の削減に寄与するため、農道の年間通行性を確保することを目的とする。そのためには農道を日々利用する住民自身が持続的に維持管理することを提案した。その具現化のため、まず現地材料を利用し、人力による、かつ整備効果の高い方法を開発した。そして、世界各地の農村部の貧困層の削減に寄与するには、この手法、意識を各地へ拡大する必要がある。これまでパプアニューギニア、フィリピン、ケニアにて農道整備を実施し、フィールドワークを進めた。この実績を基に、開発途上国農村部における農道整備手法の歩掛、積算資料を整理したことで、さらに他地域へ拡大することができる。

開発途上国農村部の農道は未舗装で幅員が一車線、約 3.0 m で、日交通量は 50 台未満である。乾季には車両走行性が確保されていても、雨季になると部分的に車両走行不能となる。農道の路床が軟弱で維持管理がなされない状態では、車両の交通荷重を支持できない。そのため車両走行に伴い、轍掘れが形成され車両底部と路面が接触し通行に支障が生じている。

そこで本研究では軟弱地盤の路床上に「土のう」を敷設し路盤を構築することで、交通荷重を支持し轍の形成を抑制する整備手法を開発した。「土のう」に関して必要な資材は中詰材の土と、それを包む袋材のみで、人力での施工が可能である。また従来の研究により「土のう」自身が大きな耐荷力を有することが明らかにされていた。これらの特性を活かし未舗装道路の通行性確保に「土のう」を適用した。

土のう袋材には開発途上国農村部でも見受けられるプラスチック樹脂の袋材（穀物用、肥料用）の利用を検討した。現地で入手可能な袋材に対して引張試験を実施し引張強度特性を把握した。その結果、「土のう」に輪荷重が作用した時に袋材に発生する引張力は、袋材の引張強度未満であり、この袋材を土のう袋として扱い路盤に適用可能であることがわかった。

中詰材には日本では「土のう」強度発現効果の大きい、内部摩擦角の大きい砕石を利用することが多い。開発途上国農村部で調達可能で有効な材料として、川砂利のような礫質土、砂質土が考えられる。各種中詰材を利用したときの「土のう」の圧縮変形特性について、圧縮試験を通して検証した。輪荷重相当の荷重作用時、変形量は砂質土を利用したときが最大で、次いで川砂利、砕石の順となった。現地では調達可能な材料の中から、変形量が最も小さくなる中詰材を利用する。砂質土を利用した場合には、「土のう」変形が生じ形成された轍部へ砂を補充する、「土のう」を新たに敷設する等の維持管理の頻度が、多く必要となる。

次に、実物大走行実験を通して、現地で有効な「土のう」締固め方法を確立した。「土のう」が本来有する強度発現のためには締固め作業が重要である。現地で住民自身が施工を行おうとするとき、プレートコンパクターのような施工機械の調達は困難である。そこで代替工法として木槌の打撃による方法を提案した。打撃方法、回数を調整しプレートコンパクターで締固め時と同等の効果が得られることがわかった。

続いて、軟弱地盤上での走行実験から、経済的かつ改修効果の高い標準断面として、タイヤ走行箇所川砂利を中詰した「土のう」を 2 層敷設し、「土のう」表面を川砂利で厚さ 5 cm となるように被覆する断面を提案した。「土のう」を利用しない、川砂利のみを敷設した断面と比較し走行性維持効果が大きいことを確認した。また、車両走行に伴い被覆層の砂利が飛散し消失した時には、ただちに補給することで整備効果が維持される。

以上のように国内における材料実験、実物大走行実験を通して、開発途上国農村部において住民自ら

が実施可能な「土のう」による未舗装道路整備手法を確立した。整備後再び路面状況が悪化しても、ここで開発した「手法を用い自分たちで整備することで、走行性を維持させることができる。次に実際に開発途上国にて農道整備を住民参加で実施しながら、開発した手法の施工性、経済性を検討した。また、現地住民に技術が浸透し、自発的に継続して道路整備の実施を実現する技術移転の方法を模索し、3つの地域で各地の社会環境を踏まえて3通りの手法で技術移転を行った。

パプアニューギニア内陸山間部において、「土のう」による未舗装道路整備手法を住民参加で実施した。施工性、経済性について確認し現地でも充分適用可能な技術であることを確認した。現地の道路管理制度を調べた結果、国会議員が出身選挙区内の道路整備のために割り当てられる予算の執行権を持つことがわかった。現地在住ボランティアを通して、ある国会議員と協議し、その選挙区内の3つの村で住民参加のもと、「土のう」による未舗装道路整備を実施した。その結果、農道の先端に1つの村がある場合、道に対するオーナーシップは高く、「土のう」により持続的に維持管理していく可能性があることがわかった。

フィリピンでは、「土のう」による未舗装道路整備手法について、現地 NGO から大きな関心が寄せられた。そこで技術移転にあたり、個別に NGO を対象とするのではなく、自発的に普及拡大していくことを目指して、地元の大学との連携プロジェクトを立ち上げた。大学には研究成果を地域の農村コミュニティや NGO へ還元するというシステムが確立している。そこで大学構内における「土のう」による歩道作成プロジェクトを、この大学スタッフをコーディネーターとし円滑に進め、技術移転を行った。このとき、労務費を抑えるために、「土のう」による歩道作成作業は現地大学学生が授業の一環として実施した。歩道は現地大学スタッフが中心となり、また彼ら独自の工夫を加えながら完成し、技術移転が進んだといえる。今後、この大学のネットワークを活かしこの地域で「土のう」によるインフラ整備技術が普及する可能性がある。

ケニアでは国際協力機構による技術協力プロジェクトの中で「土のう」による農道整備手法を実践した。ケニア農業省をカウンターパートとしており、農業省のネットワークを利用して現地コミュニティへ「土のう」による未舗装道路整備手法の技術が移転された。ある地域では「土のう」による道路整備をきっかけに、農民組織が橋の架替えを行い、路面を「土のう」で補修した事例が報告された。「土のう」という自分たちで実施可能なシンプルな工法で、有効な効果が得られると実感した人々が自信とやる気を出し、新たな問題解決につなげた事例である。このことが貧困削減につながると考えられる。

以上より、「土のう」による道路改修方法と歩掛、単位長さ当りの材料数量をまとめた。また、施工対象道路の交通量、現地調達可能な中詰材の種類をパラメーターに、「土のう」による道路整備の方法の施工単価をまとめた。このように施工方法、積算資料を整理し、開発途上国農村部で実施可能、かつ効果的な農道整備の1つ手法として確立された。

本研究ではこれまで述べてきたように、「土のう」を用いた未舗装道路整備手法の技術開発から、その技術の現地住民への定着化、道路整備を通じた現地コミュニティの活性化、世界各地での普及に至る、土木技術者による具体的で有効な、国際協力の新しいアプローチ手法を構築した。

目次

第 1 章 序論	1
1.1 背景	1
1.1.1 日本の国際協力の趨勢	1
1.1.2 土木からの国際貢献	3
1.2 本研究の流れと本論文の構成	5
第 2 章 貧困削減に向けたアプローチ手法	7
2.1 概説	7
2.2 農村開発	7
2.2.1 農村開発の意義	7
2.2.2 JICA による農村開発	7
2.3 本研究で取り組む問題	9
2.3.1 開発途上国における道路事情	9
2.3.2 農村接続道路の整備状況	14
2.4 問題解決に向けたアプローチ	16
2.4.1 本研究の流れ	16
2.4.2 「土のう」による未舗装道路改修方法の開発	17
2.4.3 農村コミュニティの活性化	18
2.4.4 技術移転の拡大	18
2.5 住民参加型インフラ整備事例	19
2.5.1 ケニア，マラケットにおける灌漑水路維持管理の事例	19
2.5.2 日本，山古志村における手堀トンネルの事例	20
2.5.3 開発への応用	22
2.6 本研究の目的と特徴	23
2.6.1 本研究の目的	23
2.6.2 本研究の特徴	23
第 3 章 「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の開発	25
3.1 概説	25
3.2 「土のう」の強度発現メカニズム	26
3.3 土のう袋材の引張強度試験	27
3.3.1 土のう袋材	27
3.3.2 試験方法	28
3.3.3 試験結果と考察	30
3.4 「土のう」の圧縮強度試験	32
3.4.1 実験概要	33

3.4.2	試験結果と考察	34
3.5	実物大走行実験	36
3.5.1	目的と実験パラメーター	36
3.5.2	実験ケース	37
3.5.3	アスファルト舗装上走行実験の概要	37
3.5.4	アスファルト舗装上走行実験結果と考察	38
3.5.5	粘性土地盤上走行実験の概要	41
3.5.6	粘性土地盤上走行実験の結果と考察	41
3.5.7	改修効果比較走行実験の概要	43
3.5.8	改修効果比較走行実験の結果と考察	44
3.5.9	間詰材と表層被覆材の効果の検証	45
3.6	「土のう」による改修道路の耐久性	46
3.7	結論	47

第4章 パプアニューギニア農村部での

「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の適用.....49

4.1	概説	49
4.2	パプアニューギニア共和国	49
4.2.1	基本情報	51
4.2.2	人間開発指数	51
4.2.3	地方行政単位	52
4.2.4	道路管理体制	53
4.3	Kundiawa/Gembogl District における施工事例	53
4.3.1	施工対象道路	53
4.3.2	資材調達方法	55
4.3.3	施工方法	56
4.3.4	3ヶ月後の路面状況	57
4.3.5	Kundiawa/Gembogl District における施工事例より得られた知見	59
4.4	Unggai/Benna District における施工事例	60
4.4.1	資材調達方法	61
4.4.2	施工対象道路	61
4.4.3	施工方法	63
4.4.4	4ヶ月後, 一年後の様子	65
4.4.5	技術の拡大	66
4.4.6	施工歩掛	66
4.5	結論	68
4.6	今後の研究課題	68

第5章 フィリピン, ケニアでの

「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の適用71

5.1	概説	71
5.2	パプアニューギニア，フィリピン，ケニアでの技術移転に向けたアプローチ手法	72
5.2.1	パプアニューギニアにおける技術移転に向けたアプローチ手法	72
5.2.2	フィリピンにおける技術移転に向けたアプローチ手法	73
5.2.3	ケニアにおける技術移転に向けたアプローチ手法	73
5.3	フィリピンの州立大学との学生参加型道路改修による大学連携	75
5.3.1	Mariano Marcos State University の機構	76
5.3.2	Mariano Marcos State University 構内における道路整備プロジェクト	77
5.3.3	結論	86
5.4	ケニアにおける技術協力プロジェクトでの	
	「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の実践	88
5.4.1	小規模園芸農民組織強化計画プロジェクト	89
5.4.2	小規模園芸農民組織強化計画での「土のう」による農道整備手法の実践	91
5.4.3	ケニアで調達可能な「土のう」用資材	92
5.4.4	Kericho District での「土のう」による未舗装道路整備の実践	95
5.4.5	ケニア農村部における「土のう」による	
	住民参加型未舗装道路整備の実践	104
5.4.6	結論	114

第 6 章 結論117

参考文献

謝辞

第 1 章 序論

1.1 背景

1.1.1 日本の国際協力の趨勢

日本は現在、世界で最も経済、産業が発達した国の一つであり、様々な工業製品や技術を海外に輸出し生活の安定を保持している。しかしその一方で、産業の土台となる石油・木材などの原材料や、生活に必要な食材、衣料品などの多くを開発途上国からの輸入によって賄っている。従って、このように大切なパートナーである開発途上国に対して日本が援助を行うことは、その国の生活レベル向上に役立つばかりか、途上国の安定や発展により日本の安全や繁栄を支えるためにも欠かせない¹⁾。

また、今世紀に入り貧困、紛争、環境破壊、エイズなど地球規模の問題は深刻化している。グローバル化が進む中、これらの問題は遠い世界の問題ではなく、日本は国際社会の一員として、世界の国々と協調しながら解決の道を模索していかなばならない。このような使命感から、日本は1954年以降、開発途上国への経済協力を実施してきている。日本の政府開発援助（ODA）事業額は1990年代では世界1位、2001年以降ではアメリカに次いで世界第2位の額となっている。一方、国民1人当たりの負担額ではノルウェー、ルクセンブルク、デンマークが上位を占め、日本は経済協力開発機構/開発援助委員会（OECD/DAC）の加盟国22カ国中15位である（2005年）¹⁾。1997年以降国内の経済情勢を反映してODA予算は減少し続けており、このままでいけば日本は英国、ドイツ、フランス等に抜かれ、5位になる可能性もある。しかし、依然世界有数の援助国であり、DAC諸国の中で我が国の国際協力の指導力が問われている。また、独立行政法人国際協力機構の緒方貞子理事長は国際協力を日本の文化に、と呼掛けている²⁾。

2000年9月には、189カ国が一同に会する、至上最大の国家首脳会合、国連ミレニアムサミットがニューヨークで開催された。そこで、21世紀における国際社会全体が共有すべき目標として「ミレニアム宣言」が採択された。この宣言は、公正で持続的な世界平和を構築するために、平和・安全保障及び軍縮、開発及び貧困撲滅、共有する環境の保護、人権、民主主義及びグッドガバナンス、弱者の保護、アフリカの特別なニーズへの対応、国連の強化、の7つのテーマに関して、国際社会が連携・協調していくことを合意したものである³⁾。さらに、最も緊急に取り組まなければならない課題である「開発及び貧困撲滅」について、具体的な目標であるミレニアム開発目標（以下、MDGs）がまとめられた。ここでは以下に示す8つの目標（MDGs）と18のターゲットが設定されており⁴⁾、国際社会が共有すべき重要な目標として、明確な数値目標と、2015年という達成期が定められているのが特徴である。

目標1：極度の貧困と飢餓の撲滅

ターゲット1：2015年までに、1日1ドル未満で生活する人々の割合を1990年の水準の半数に減少させる。

ターゲット2：2015年までに、飢餓に苦しむ人々の割合を1990年の水準の半数に減少させる。

目標2：普遍的初等教育の達成

ターゲット3：2015年までに、全ての子供が男女の区別なく初等教育の全課程を修了できるよ

うにする。

目標3：ジェンダーの平等の推進と女性の地位向上

ターゲット4：初等・中等教育における男女格差を可能な限り2005年までに解消し、2015年までには全ての教育レベルにおける男女格差を解消する。

目標4：乳幼児死亡率の削減

ターゲット5：2015年までに、5歳未満児の死亡率を1990年の水準に比べて3分の2減少させる。

目標5：妊産婦の健康の改善

ターゲット6：2015年までに、妊産婦の死亡率を1990年の水準に比べて4分の3減少させる。

目標6：HIV/エイズ、マラリア及びその他の疾病の蔓延防止

ターゲット7：HIV/エイズの蔓延を2015年までに阻止し、その後減少させる。

ターゲット8：マラリアとその他の主な疾病の発生を2015年までに阻止し、その後発生率を下げる。

目標7：持続可能な環境の確保

ターゲット9：持続可能な開発の原則を各国の政策や計画に組み込み、環境資源の損失を阻止し、回復を図る。

ターゲット10：2015年までに、安全な飲料水を継続的に利用できない人々の割合を半減する。

ターゲット11：2020年までに少なくとも1億人のスラム居住者の生活を大幅に改善する。

目標8：開発のためのグローバル・パートナーシップの推進

ターゲット12：開放的で、ルールに基づいた、予測可能でかつ差別のない貿易及び金融システムの更なる構築を推進する。

ターゲット13：最貧国の特別なニーズに取り組む。

ターゲット14：内陸国及び小島嶼開発途上国の特別なニーズに取り組む。

ターゲット15：国内及び国際的な措置を通じて、開発途上国の債務問題に包括的に取り組み、債務を長期的に持続可能なものとする。

ターゲット16：開発途上国と協力し、適切で生産的な仕事を若者に提供するための戦略を策定・実施する。

ターゲット17：製薬会社と協力し、開発途上国において人々が必須医薬品を安価に入手・利用できるようにする。

ターゲット18：民間セクターと協力し、情報・通信分野の新技术による利益を人々が得られるようにする。

日本の最大の援助実施機関である独立行政法人国際協力機構（以下、JICA）では一人ひとりの命の尊厳や生活を守る、という「人間の安全保障」⁵⁾の概念に基づき、開発途上国のMDGs達成を支援するとともに、その成果の持続を目指した取り組みを行っている。これまで以上に「人々」に着目、人々の生活基盤であり、国や地域の経済成長を支え、貧困削減に役立つようなインフラ整備を実践し、MDGsへの貢献を目指す動きがある⁶⁾。

MDGsの達成を目指していく中で、持続的な成長を実現するために、物や資金を提供するだけの一

過性の支援ではなく、途上国のオーナーシップを尊重したうえでの、内発的なプロセスへの支援が必要不可欠である。そこで、途上国の人々の能力を高め、自分たちの抱える課題を自ら解決できるようエンパワーしていくことを目指す、キャパシティ・ディベロップメントが積極的に進められようとしている⁶⁾。

このように、開発の進め方については、これまでの経済的な生産性や効率性を重視する経済開発援助から、保健、教育、水、栄養など人々の生活に直接裨益するような基本的社会サービスを重視する「人間中心」の開発目標へ転換している。また、開発活動の主体は、途上国の「住民」自身であり、途上国政府や援助国、援助機関などの役割はその支援であるというように開発アプローチも変化している。表 1-1⁷⁾に開発の進め方についての新旧対照表を示す。

表 1-1 開発の進め方新旧対照表⁷⁾

	新	旧
目標	人間開発・基礎社会開発	経済発展・経済開発
支援組織	民主的地域組織	官僚的・統制的中央組織
計画	住民による発展的計画	専門家による青写真の作成
優先事項と実施の決定	住民による民主的な決定	専門家による一方的な決定
実施形態	参加型・自主的	外部主導型・報酬の支払い
実施のペース	住民のペースで	予算の実施期間にあわせて
事業の規模	小規模	大規模
対象へのアプローチ	包括的	セクター・分野別
援助機関の役割	自助努力の支援	計画の遂行
利用する資源	地域の人材と資源	外部の資金、資材と技術者
技術の使用	適正な地域技術の適用	高度な外部技術の移転
環境との関係	調和的	制御的
性差への配慮	高い	低い、全く無い
評価	住民により継続的・頻繁	専門家により短期的・一回
結果	自立・積極的相互作用	援助への依存・疎外・孤立

1.1.2 土木分野からの国際貢献

土木学会の土木学会倫理規定、第3条には、土木技術者は、「固有の文化に根ざした伝統技術を尊重し、先端技術の開発研究に努め、国際交流を進展させ、相互の文化を深く理解し、人類の福利高揚と安全を図る。」とある⁸⁾。我々日本の土木技術者は、国際社会共通の課題である、「貧困削減」に対してどのように貢献していくことができるであろうか。

土木は鉄道、道路ネットワーク、港湾、上下水道、ダム、発電所の建設等、社会基盤の整備を通して日本の近代化に大きく貢献してきた。この経験に基づき、さまざまな形で世界各地の開発途上国の発展に寄与してきている。その活動は土木学会誌^{9), 10), 11)}や地盤工学会誌^{12), 13)}にも取り上げられており、

日本の土木技術者が世界各地で活躍してきている様子が伺える。具体的な活動として、ODA事業での橋梁の架設、道路整備、空港建設などのインフラ整備事業、地盤工学会や土木工学会などの学会活動を通じた国際交流、海外での地震や水害などの災害調査、遺跡の修復事業に携わる例が紹介されている。

このような、これまでODAで実施されてきた大規模な社会インフラ整備の援助が、環境破壊を進め住民レベルに利益が還元されていない、との批判を受けたことから、近年は住民参加型の事業や技術者教育など、人に重点がおかれたプロジェクトが実施されるようになった¹⁴⁾。一例として、インドネシアの電化プロジェクトを紹介する⁹⁾。このプロジェクトの概要は、小規模水力発電を地方に建設し農村部に電力を供給しようとするものである。計画建設段階から現地住民をまきこむことでオーナーシップを醸成し、発電機設置後の電化事業を（施設の維持管理、料金収集など）を住民自身が進めていくことが実現された。

本研究は、開発途上国の住民の笑顔（写真 1-1）のために何か貢献したいとの思いのもと、途上国にてフィールドワークを展開し、問題点の把握、その解決にむけた地盤工学技術を利用した戦略の立案、実践、その手法の世界各地への展開をすすめたものである。この活動の背景には現場主義、発想の転換、素材を活かすといった日頃の研究姿勢がある。その結果、本研究では、大手ゼネコンでもなく、文系の国際開発学の権威でもなく、国際開発専門コンサルタントでもなく、NGO でもない、大学土木工学研究グループが貧困削減を目指した全く新しい形での国際協力活動となっている。



写真 1-1 農民の笑顔（パプアニューギニア，ケレナガ村にて）

1.2 本研究の流れと本論文の構成

本研究の流れについて、図 1-1 で本論文の構成とともに説明する。

まず、開発途上国の農村部の貧困の原因の一つである、雨季に農道の通行性が確保されないという問題に対してその解決を図ることとする。その解決には、住民参加による道路維持管理が不可欠である。そのためには、人力施工で現地材料を利用しながら最大限の改修効果が発揮されるような、道路整備手法の開発が不可欠であった。本研究では、日本の伝統技術の一つである「土のう」の利用が有効ではないかと考え、「土のう」を用いた道路整備手法の開発を進めた。その際、常に開発途上国農村部での自然条件、経済状況を想定し住民参加で実践することを念頭においた。

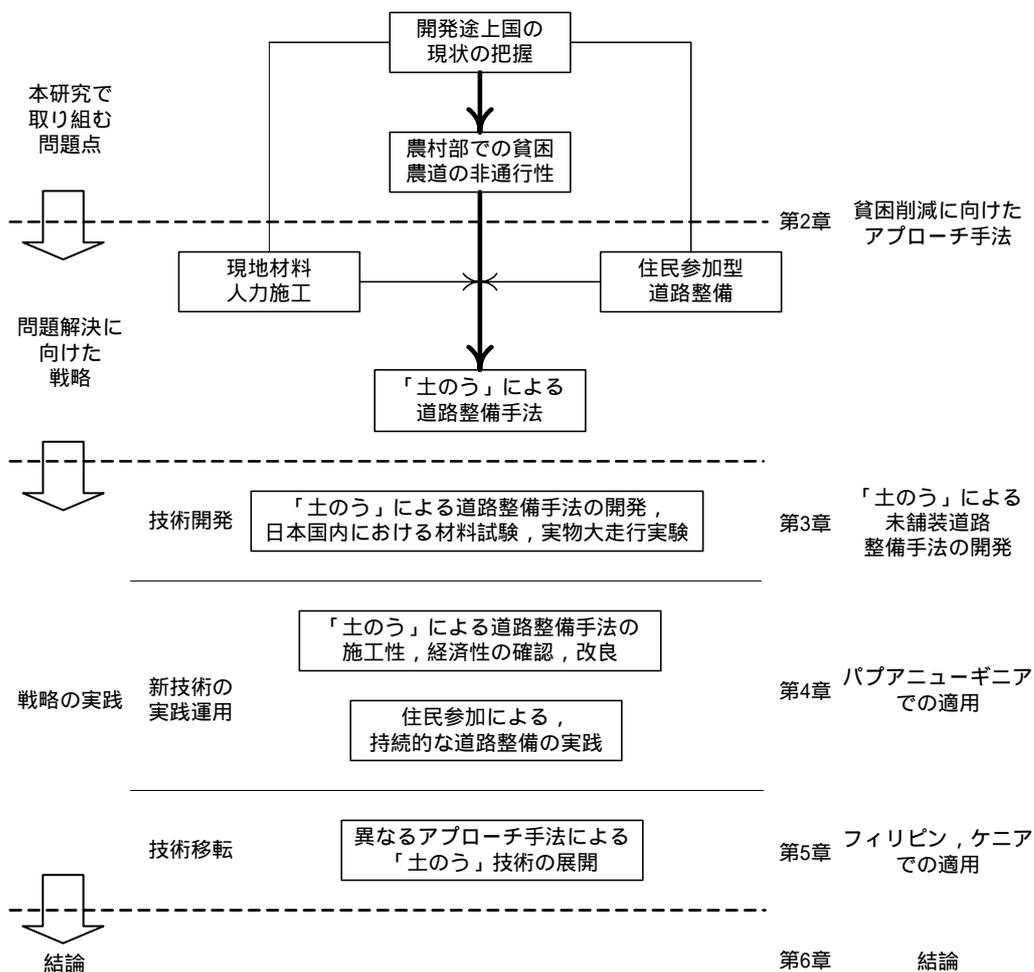


図 1-1 本研究の流れと本論文構成

「土のう」については我が国において、従来から洪水対策等で利用されてきている。近年の研究¹⁵⁾では、その耐荷力が 200 kNにも及ぶことが証明され、擁壁や建物基礎など永久構造物にも利用されている。

このように、問題点の設定とその解決に向けた戦略について、本論文の第 2 章で整理する。

続いて問題解決に向けた戦略の基礎である、「土のう」による道路整備手法の開発について第 3 章で述べる。開発途上国にて「土のう」を道路構造に適用するために、日本国内にて材料試験や実物大実験を通して開発を進めた。そして、「土のう」を利用することの有効性を検証するとともに、道路改修標準断面を提案した。

ここで開発した技術の実際の開発途上国農村部での施工性、経済性、適用可能性を調べるためにオセアニアのパプアニューギニア独立国の農村部において現地住民らとともに道路整備を行った。そして、現地在住日本人ボランティアと連携して、パプアニューギニアでコミュニティに入り、技術移転を進め現地住民による持続的な道路整備を実現にいたるモデル事例を構築した。ここでの活動は第 4 章にまとめた。

さらに「貧困削減」の目標に少しでも寄与するためには、一国内のみでの活動ではなく、「土のう」による道路整備手法を短期間で拡大していくことが求められる。そのためにこれまで、先に述べたパプアニューギニア独立国の他に、フィリピン共和国、ケニア共和国で「土のう」による未舗装道路整備を実践した。住民参加による道路維持管理の実現のためには、各地域の文化や社会環境などをふまえたアプローチ手法による技術移転が求められる。上記の 3 カ国において、3 通りのアプローチ手法にて「土のう」による未舗装道路整備を実践した。パプアニューギニアでは、ボランティアとして直接コミュニティにアクセスし、フィリピンでは地元の大学と連携し農村コミュニティへの技術移転を進め、ケニアでは独立行政法人国際協力機構の実施する技術協力プロジェクトで、現地政府の農業省のネットワーク、農民への影響力を利用した技術移転を進めている。以上の活動について第 5 章にまとめる。

そして最後に、第 6 章で本論文を総括するとともに、本論文で得られた知見をまとめ、今後の課題を示す。

第 2 章 貧困削減に向けたアプローチ手法

2.1 概説

第 1 章で示したように、国際的に貧困問題の重要性が再認識され、多くの援助機関が貧困削減を重点課題としている。その貧困削減のための方策として、多くの援助機関では農村開発プロジェクトを実践している。日本の最大規模の援助実施機関である独立行政法人国際協力機構（以下、JICA）も、これまで多くの農村開発プロジェクトを実践してきた。そこでまず、本章では 2.2 で農村開発の意義、JICA による農村開発プロジェクトの進め方について概観する。次に 2.3 で農村開発のための課題であり、かつ本研究で対象とする問題について説明する。そして、その問題解決に向けたアプローチ手法を 2.4 で説明する。ここでは現地住民が、我々外部者により実施されるプロジェクトやその後の開発過程を自らのものと認識して、自立行動を起こすために住民参加を前提としている。住民参加型インフラ整備の実現のためにどのような条件整備と開発アプローチが必要なのか、ヒントを得るために 2.5 で過去の事例を示す。そして最後に 2.6 で本研究の目的、特徴をまとめる。

2.2 農村開発

2.2.1 農村開発の意義

世界の貧困人口の約 4 分の 3 は農村部住民である¹⁶⁾。多くの開発途上国では全就労人口の過半数が農業従事者であり、GDP のうち大半を農業が占めるような農業国である。したがって農業産業の発展はその国の開発に欠かせない。このように農村部への開発協力は、「貧困削減」に向けた重要なアプローチである。

農村開発を通して、農村部住民の生活、所得の向上を目指す。このことが実現されれば、農村から都市への人口流入を抑制することが可能になり、また、都市部貧困層が農村へ戻ることで、都市における貧困も減少すると考えられる。

2.2.2 JICA による農村開発¹⁷⁾

農村部の貧困には、以下に挙げるような多様な面がある。収入が得られない、保健医療サービスが受けられない、教育が受けられない、劣悪な衛生環境、政治・政策過程に参加し意思決定に影響を与えられない、病気・災害・紛争等から自らを守ることができないなどである。経済協力開発機構/開発援助委員会 (OECD/DAC) の「貧困削減ガイドライン」では、貧困を 5 つの能力が欠如している状態と定義している。このように多様な面を持つ貧困に対しては、総合的な援助プログラムが必要である。JICA では農村開発を進めるにあたり、図 2-1 に示す 4 つの能力の向上を開発戦略目標としてあげている。各々について下記に説明する。

(1) 経済能力の向上

農業所得や地場の農外所得の向上を目指す。農業所得の向上は農産物の価格の安定や中間搾取を減少させること（農道の建設、市場の整備等）と、生産性自体の向上（農業の多角化、農業技術普及、灌漑設備等の生産基盤整備等も含む）などの活動に分けられる。

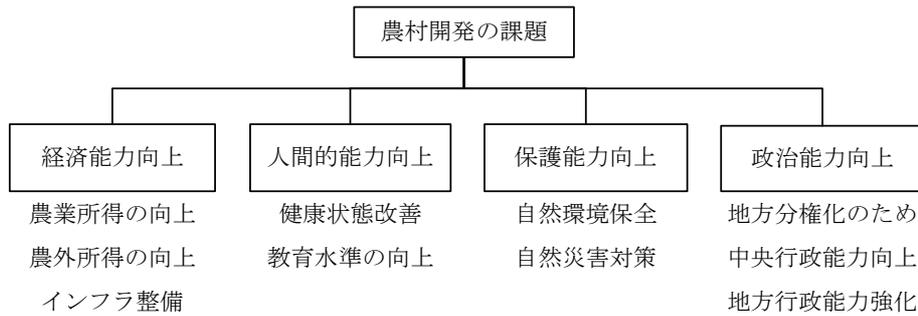


図2-1 農村開発の開発戦略目標¹⁷⁾

農外所得の向上とは、収穫された一次産物を加工し付加価値をつけることで、収入の増加と雇用機会の増大を促す。このことにより、人口増加に伴い、新たな耕地可能な土地を増やすことが困難な場合にも、都市部へ出稼ぎに出ずとも、農村部で農外所得により生計を立てることが可能である。

経済基盤を整えるために交通・通信などのインフラ整備も必要である。農村部の貧困の原因として、生活に必要な情報が得られないことや、通勤可能な範囲が限られたり、外部との交流が限られていることがあげられる。そのため、地方電化、通信整備網、地方道整備、公共交通等の交通・通信の強化が重要となる。

(2) 人間能力の向上

公共医療サービスの拡充や、衛生状態の改善を通して農村部住民の健康状態を改善する。農村部においては、栄養を十分に摂取できない、予防接種を受けられない、悪衛生な環境での生活といったために健康を害しやすい環境にある。また一旦病気になったときに、公共医療サービスが十分でなく、適切な治療を受けられないことが挙げられる。そこで病院や診療所の設置、看護師の訓練、井戸掘り、トイレの建設などのプロジェクトが実施されてきている。

教育水準の向上も、住民の生計向上のために非常に重要な要素である。識字能力が向上すれば農業指導書の内容を理解することができ、また住民を取り巻く社会に関する情報を得ることもできる。さらに、学歴はよりよい職を得るのに重要な要素であることも多い。そのために、学校の建設、教員の訓練、奨学金制度の建設などの支援活動を行っている。

(3) 保護能力の向上

保護能力とは、飢餓、災害、紛争、犯罪、暴力、疫病等のショックに対し自分を守ることができること、DACの「貧困削減ガイドライン」では定義している。農村開発においては、災害から住民の身を守ることが求められる。貧しい住民は傾斜地の地滑り箇所や河川敷の洪水に遭いやすい場所に耕作地を有しており、災害に対する脆弱性が高い。そこで、治水砂防、自然環境保全の対策、土壌保全などの対策活動を行う。

(4) 政治能力の向上

農村開発とは、地域の多様かつ特殊な条件に対応した開発計画を策定し、住民の参加を得て協力を実施していくものである。このような開発協力を実施していく場合にはその国の政府と連携して実施していく必要がある。特に地域のニーズに敏感に反応するには、地方政府の強化が重要となる。農村地域に適した開発計画策定には、住民の意見の計画への反映や開発への住民参加、現有する資源の動

員といった作業が必要でこれには地元行政官のマネジメント能力の向上が必要となる。また、プロジェクト後、持続的に地域に適した計画を立案し自立発展を進めていくためには、地方政府の行政能力の向上が必要である。そのために地方行政官、地方議員の能力向上を支援する。

本研究では、(1)経済能力の向上を目指し、農道の整備を進めることで農産物の価格の安定や中間搾取を減少させ、農業所得の向上に寄与しようとするものである。

2.3 本研究で取り組む問題

2.3.1 開発途上国における道路事情

開発途上国の道路事情について概観する。対比のためにまず、欧米諸国の道路の発展の歴史を紹介する。経済的・社会的環境の変遷、技術の進歩、交通手段の発達とともに道路構造も変化してきている。また、開発の事例として我が国、日本の道路事情の変遷について述べる。日本も実は戦後10年、1950年代までは未舗装道路が主であり、戦後の復興の中で急速に舗装化が進んだ¹⁸⁾。その後、開発途上国の道路事情を文献、現地調査の結果をもとに説明する。

(1) 道路構造変遷の歴史

道路構造の変遷の様子を交通手段の進歩とともに表2-1¹⁸⁾・¹⁹⁾に示す。道はヒトが二足歩行するようになり生まれた。30万年ほど前のスペインで発見された遺跡では、象の大腿骨が横一列に並べられていた。これは原始人が獲物の肉を運び出すときに、足を取られないように考案されたものと言われており、道路の原形といえる。

BC 1600年ごろには、古代クレタ島では石灰岩と玄武岩をモルタルで固めた舗装道路が見られた。この道路断面からわかるように当時から、路面排水の重要性を認識しており道路両側には側溝を設けている。このように排水施設の整備は道路整備の基本であるといえる。BC 620年のバビロンの王の道は人馬が通行する軍用として表2-1中に示すような道路が建設された。これはアスファルトと砂を混ぜたモルタルで、レンガを3層以上重ねて基礎とし、中央部は石灰岩の板石を敷き並べていた。その後しばらく舗装技術の大きな発展は見られなかった。

1500年代ごろよりフランス、イギリスで2輪、4輪馬車の利用が増え5t積み、10t積みの馬車も現れ重量交通が増加した。それに伴い、鉄製の車輪の通行を支えるような堅牢な道路が出現した。1810年代にはフランス、イギリスで割栗石の上に碎石を敷設して道路を構築する技術が確立された。これらの工法は馬車交通に対する耐久性を考慮したものであるが、交通の主体が自動車となった現代の道路舗装技術の基礎となった。すなわち、自動車などの交通荷重を支えるためには地山である路床上に、路盤と呼ばれる層を構築することが重要である。そしてこの時代から通行性を維持するには、徹底した維持管理を絶え間なく行う必要があるとされてきた。

1900年代に入ると、自動車が実用化され主な交通の主体として普及してきた。そこで欧米諸国ではアスファルト舗装などの道路構造が発達し普及している。

これまで見てきたように、欧米では交通手段が人、動物の歩行から馬車という重量交通となり自動車社会へと推移してきた。その変遷とともに道路構造についても、交通荷重に耐えうるような構造へと発達してきたことがわかる。ところが、開発途上国では、馬車時代を経ずに人、動物の歩行中心の

表2-1 道路の歴史

年代	場所	道路構造	道路断面図	主な交通手段
30万年前	スペインの遺跡	象の大腿骨の敷設		ヒト, 二足歩行
BC 1600	古代クレタ島	石灰岩または玄武岩 + モルタル	<p>*1</p>	人歩行
BC 620	バビロンの王の道	アスファルトモルタル レンガ 石灰岩	<p>*2</p>	人歩行 動物 (馬, 牛)
1810年代	イギリス フランス	割栗石+砕石	<p>*3</p>	馬車
1900年代以降	イギリス フランス アメリカ	砕石路盤 + アスファルト舗装	<p>表層 (5 cm) 下層路盤 (20 cm) 上層路盤 (15 cm)</p>	自動車

*1: 文献(18)より引用
*2: 文献(19)より引用
*3: 文献(19)より引用

交通から一足飛びに自動車交通が導入されている。従って既存の道路は、とても自動車交通荷重に耐えうるものではなかった。このことは実は、日本の1950年代の道路事情も同様であった。そこで、主に戦後、日本の道路の発展の歴史を概観する。

(2) 日本の道路の発展の歴史

江戸時代までには5街道など道路ネットワークが整備されてきたが、道路構造はほとんど地山の状態で交通の主体である人、馬の歩行を支えるのに十分なシンプルなものであった。明治時代に入って鉄道中心の輸送に変化したため、道路交通が重量交通へと移行しなかった。明治36年ごろより日本に自動車が伝わり、ようやく自動車荷重に耐えるようなアスファルト舗装化が始められようとした。しかし、大正時代の恐慌、第2次世界大戦の影響で戦後まで舗装化はほとんど進まなかった¹⁸⁾。

戦後、日本の道路状況は、外国人からは「日本には道路がない。道路用地があるだけだ」と皮肉られるようなありさまであった²⁰⁾。国道でさえ、雨が降ると泥田状となり(写真2-1²⁰⁾)、晴天が続くと砂ぼこりがたち散水せざるを得ない(写真2-2²¹⁾)という状態であった。

1950年代ごろから外国援助も受けながら日本各地で舗装化が進められた。その過渡期でアスファルト表層工だけでなく砂利層を表層とする未舗装道路整備手法も確立された。

次に開発途上国の道路事情について述べる。



写真 2-1 泥田状の国道²⁰⁾



写真 2-2 国道沿いに住む住民による散水状況²¹⁾

(3) ケニアの道路事情²²⁾

東アフリカのケニア国の道路事情を開発途上国の道路事情の一例として記す。

ケニア国内の道路総延長は約198,000 kmで規格道路と規格外道路に大別される。規格道路は総延長が約63,942 kmで、国際幹線道路、主要都市間を結ぶ幹線道路から、地方部の村間を連結する道路に至るまで、交通量や用途によって規格が定められている。規格道路は道路所轄機関である道路公共事業省によって管理されている。このような開発途上国における舗装化された幹線道路の建設工事は、ドナー機関の援助により実施されることが多い。このような高規格の幹線道路に関しては、世界銀行によって開発されたHDM-4²³⁾という道路投資選択を評価するための道路開発・管理システムを用いることで、対費用高価の高い開発と管理計画を選択することができる²⁴⁾。また、幹線道路整備の計画、設計、施工、維持管理にいたる工程のガイドライン²⁵⁾も整備され、援助機関により実施されてきた道路整備プロジェクトでの施工実績のデータベース²⁶⁾がワールドバンクによりまとめられている。

表 2-2 規格道路, 規格外道路の道路延長と路面タイプ (ケニア)

	路面タイプ	舗装		未舗装		計
		アスファルト	表面処理	砂利	土	
規格	延長 (km)	1,508	7,163	27,902	27,369	63,942
	割合 (%)	2	11	44	43	100
		13		87		
規格外	延長 (km)	2,129	0	6,456	125,441	134,035
	割合 (%)	2	0	5	93	100
		2		98		
計	延長 (km)	3,637	7,163	34,367	152,810	197,977
	割合 (%)	2	4	17	77	100
		6		94		

規格外道路は総延長約 134,000 km であり, 他の省庁, もしくは地方自治体により管理されている。規格道路からさらに枝線として分岐し, 農村部とを接続する農村接続道路などが規格外道路に含まれる。表 2-2 に規格道路, 規格外道路の道路延長を路面種類毎に示す。これより, 全規格道路中, 舗装率 (ここでは路面タイプがアスファルト, 表面処理である道路延長 / 全道路延長とする) は 13 %, 規格外道路では 2% となっている。規格道路, 規格外道路を合わせても 95% が未舗装道路である。日本では規格道路延長が約 1,187,638 km で舗装率は 79% である²⁷⁾。フランスやイギリスでは舗装率は約 100% である²⁷⁾。このように開発途上国では先進国と比べ道路の舗装化が著しく遅れている。

(4) 地方都市から農村部における道路状況

図 2-2 に地方都市の市場から農村部までの道路ネットワークの模式図を示す。都市間を結ぶ幹線道路は, ドナー機関の援助や国家主導プロジェクトによる整備が進み舗装されている (写真 2-3)。しかし, 一旦舗装された幹線道路においても, 陥没したりポットホールが形成されている箇所が見受けられる (写真 2-4)。先進国では早急に補修がなされるが, 開発途上国においては財政的に苦しく, 維持管理が進んでいない。幹線道路から農村部へと向かう主要道路は未舗装ではあるが, 2 車線で日交通

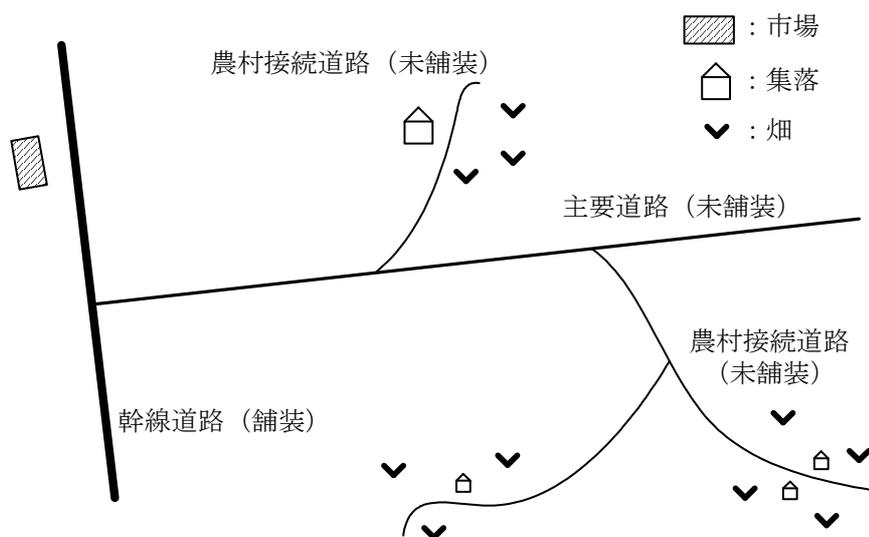


図 2-2 農村部の道路ネットワーク模式図



写真 2-3 幹線道路の様子



写真 2-4 幹線道路の陥没箇所



写真 2-5 主要道路の様子



写真 2-6 農村接続道路の様子



写真 2-7 走行不能となった車両

量が 100 台以上²⁸⁾と利用者が多いため、道路管理者である地方行政により予算の許す範囲で、時折砂利の敷設やグレーダーによる路面の整形が行われている(写真 2-5)。さらにその主要道路と農村、畑を接続する農村接続道路になると、1 車線で日交通量が 50 台未満²⁸⁾となる。優先度が低くなり、十分な予算を持たない道路管理者の地方行政によっては、有効な整備がほとんどなされていない状態である(写真 2-6)。

農村接続道路は、村にとって市場や都市部への重要なアクセス手段である。しかし、整備不足のため、雨期には部分的に通行不能となるところがある(写真 2-7)。通行不能となる範囲がたとえ 10 m であっても、そのために、収穫作物を市場へと出荷できず、収入が得られない。またバイヤーが町から

畑まで買い付けに来ることができない。このことが農村部における貧困の原因となっている²⁹⁾。

本研究では、この農村接続道路の年間通行性を確保し、農村部と市場のアクセスを可能にすることで農村部の貧困削減、収入向上に寄与することを目指す。

2.3.2 農村接続道路の整備状況

道路管理者である行政が予算不足のために、道路整備を行うことができないのであれば、その地域に住む村の住民が一体となって道路整備を自分たちで行うことが解決策として考えられる。古来、日本にも「道普請」という慣習があった。住民がボランティアで自分たちの道具を持ち寄り道直し作業に参加し、地域の普段自分たちが利用する道を整備するというものである（写真2-8²¹⁾）。

ある農村部では住民自身で農村接続道路の整備を実施している様子が見受けられた。途上国農村部で一般的によく見受けられる補修方法を写真2-9の赤く囲った部分に示す。粒径が50mm程度で粒度分布の悪い粗骨材を撒き出し締固めていないケースや、径100mm程度の大きな礫を轍箇所敷設している。この場合、交通荷重作用時に礫が路床地盤内に沈下する、飛ばされるなどの原因で消失してしまいその整備効果は持続しない。その結果、住民はあきらめ、行政もしくは外国援助団体による整備を待つだけになってしまう。



写真2-8 道普請（十津川村，昭和27年）²¹⁾



a) 粗骨材のみを撒出し



b) 礫を敷設

写真2-9 従来の道路補修方法

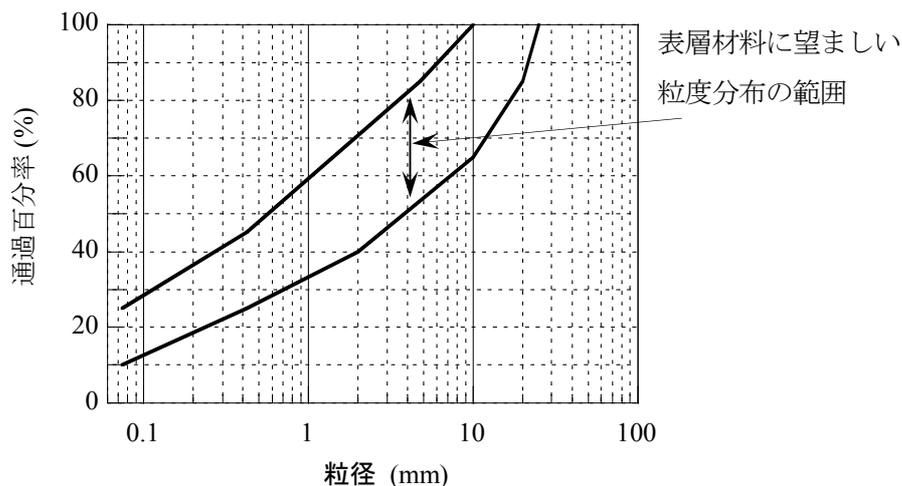


図 2-3 表層材料に望ましい粒度分布³⁰⁾

砂利道は、粗粒材のかみ合いと細粒材の粘着性により強度が維持される³⁰⁾。細粒土は粗粒材の間隙を埋めて粘着力を発揮するとともに、乾季においては水分を保持して土の安定を維持し、雨季には膨張して水の浸透を防ぐのに役立つ作用をする³⁰⁾。図 2-3 に表層用材料として砂利の望ましい粒径分布が示されている³⁰⁾。途上国農村部で道路整備に使う砂利や碎石の粒度分布を規定しても、それを知る手段がなく意味がない。しかし、粗い礫のみを敷設するだけでなく、砂など細粒分も混合するとよいという正しい知識とそれを実践する方法を現地に伝達することも、通行性確保に向けた 1 つの対策であると考えられる。

路床の土質が粘性土で軟弱地盤である場合、砂利道では雨季に表層材の砂利が路床の粘土地盤中に埋没してしまうためにその整備効果は長続きしない。対策として先進国では、路盤層を厚くしローラーやコンパクターという締固め機械で十分締固め、強固な路盤を構築する、もしくは路床の地盤改良を行うことが考えられる。が、開発途上国農村部ではセメント材の調達が困難である場合が多い。また締固め用機械、セメントと地山の攪拌混合機も普及していない。十分な締固めがなされないようではたとえ砂利や碎石を調達し撒き出したとしてもその効果を発揮しえない。

農村接続道路の整備にあたり、克服すべき問題点を以下にまとめる。

- 1) 雨季に泥濘化しトラフィカビリティを失う問題土の路床
- 2) 農村住民の、車両通行性確保のための道路整備に対する基本的な知識、技術の不足
- 3) 農村部住民自身の道路整備意欲の欠如

2.4 問題解決に向けたアプローチ

では、農村接続道路をどのように整備すればよいのか。

これまでも農村接続道路の通行性確保の重要性について認識し、その整備手法について述べた文献³¹⁾がある。しかし、農村接続道路の整備は、各現場にあわせて対処方法も異なるため排水施設の整備、道路横断勾配、縦断勾配の確保など一般論的な整備手法が述べられているにとどまる。また、理想とする完成形を示すのみでその実践は誰が、どのような予算のもとで、どのような方法で、行うのかが明確でないために、これらの文献で記された内容が現場でどう活かされているかは不明である。また、人力施工による道路整備手法についても紹介されているが³²⁾、住民が持続的に実施できるような仕組みの構築が重要であると考えられる。

そこで、木村^{33),34)}は以上のような開発途上国農村部の現状を見極めた上で、農村接続道路は普段その道を利用する現地の住民自身が、人力施工で現地調達可能材料を利用しかつ、改修効果の高い整備手法により継続して整備を進めることでその通行性を維持することを提案している。自分たちが普段利用する道を自分たちで整備することで、住民は自信を持つことができる。同時に、オーナーシップが醸成され生活改善への意識が高まり、自分たちの問題は自分たちで解決していくことができる。このように、コミュニティが活性化され、農村部における貧困削減につながると考えられる。

2.4.1 本研究の流れ

本研究では、木村^{33),34)}の構想の具現化を進める。まず人力による施工が可能で、現地調達可能材料を用い、改修効果が高いシンプルな道路整備手法を開発する。次にこの手法により、現地で住民参加で道路補修を行い、通行性の向上と技術の定着をはかる。その後、持続的な維持管理が行われるように、現地コミュニティ内での道路維持管理体制の構築を図る。このような道路維持管理を通してコミュニティの活性化をはかる。さらに世界の貧困削減に貢献できるよう、短期間で各地への技術移転をすすめる。本研究の流れを図2-4に示す。

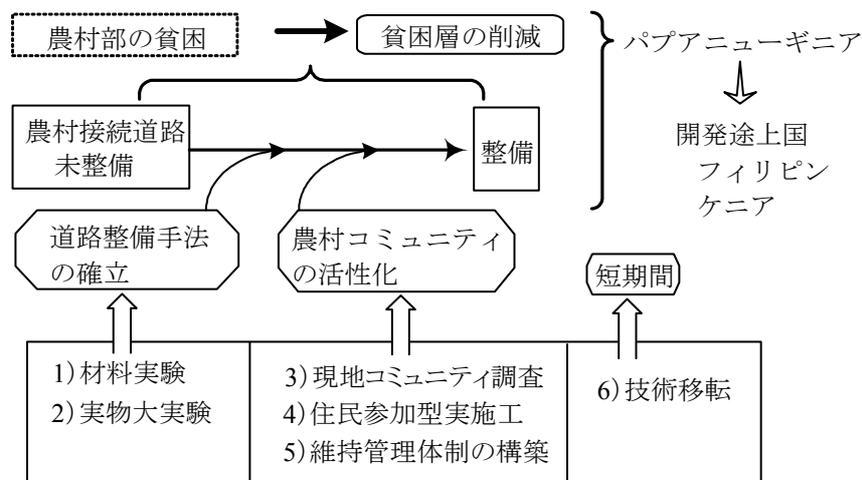


図2-4 本研究の流れ

2.4.2 「土のう」による未舗装道路改修方法の開発

人力施工で現地調達可能材料を利用しかつ改修効果の高い整備手法として、「土のう」による未舗装道路改修方法の開発を進めた^{29), 35)}。「土のう」は従来より国内にて河川の氾濫抑制など仮設構造物として利用されてきたが、「土のう」については従来の研究により200~300 kNの耐荷力を有することなど、その性能が証明され、国内で建物基礎地盤の補強や擁壁等に利用されている実績がある³⁶⁾。これまで、道路構造物には、アスファルト舗装の路盤材として交通荷重への支えと振動抑制効果を期待して利用されてきた事例はある。しかし、開発途上国において、未舗装道路の通行性確保のために利用された事例はほとんどない。本研究では、対象とする開発途上国で住民自身による実施を前提とし、現地で調達可能な資機材による施工を想定しながら、通行性を確保する手法の開発を進めてきた。

「土のう」で必要となる資材には中詰材と袋材がある。中詰材については、現地発生土や川砂利などの利用が可能である。

袋材については、日本で利用されているものはポリエチレン製、もしくはポリプロピレン製というプラスチック樹脂の袋材で、口部に紐があらかじめ取り付けられており、引張ることで中詰材がもれないように口部の固定ができるような構造となっている。開発途上国では、米やとうもろこし、砂糖などを詰める袋材、肥料用の袋材としてプラスチック樹脂の袋が広く利用されている。これらは、口部を固定する紐があらかじめ取り付けられていないので、別途固定用の紐を用意する必要があるが、土のう袋として十分利用可能であると考えられる。

また、東アフリカやマダガスカルは、コーヒー豆袋として使用されているサイザル麻袋(写真2-10)の生産地である。主な生産地域を図2-5³⁷⁾に示す。この地域は、サイザル麻の栽培(写真2-11³⁸⁾)とその加工による袋生産(写真2-12³⁸⁾)という中小家内工業が盛んであった。ところが近年プラスチック樹脂の袋材におされ気味でサイザル業界は斜陽である。ここでサイザル麻袋の「土のう」袋としての利用という新たな需要を生み出すことができれば、サイザル農家や麻袋生産業を活性化することができる。これは2.2.2 (1)で述べた農外所得の向上につながると期待される。

以上のような現地で調達可能な袋材料について、「土のう」として道路整備に利用する際に適するののか、材料実験を通して把握した。



写真2-10 サイザル麻袋

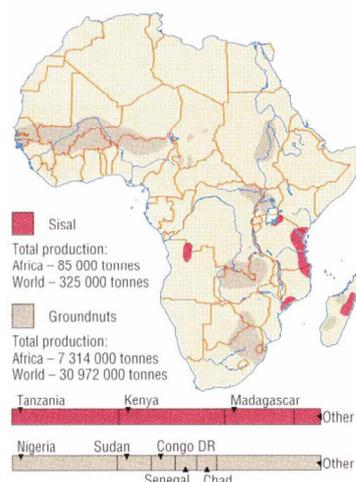


図2-5 サイザル麻生産地³⁷⁾



写真 2-11 サイザル麻畑の様子³⁸⁾



写真 2-12 サイザル麻の加工の様子³⁸⁾

次に、農村接続道路は一車線、日交通量 50 台未満であるのでその交通荷重を雨季にも支え通行性を確保できるような「土のう」による道路構造を決定するために、実物大走行実験を行った。ここでは現地の環境を想定し地盤条件、施工条件を設定した。この実験結果を通して改修標準断面、施工方法を確立し、現地へ適用していくこととした。

「土のう」による道路整備手法は、人力施工の単純な技術である。そのため老若男女を問わず住民自身が道路整備に参加することができる。実際に現地で住民参加のもとで道路整備を実施しながら施工性、経済性、適用性を検討した。

2.4.3 農村コミュニティの活性化

「土のう」による道路整備技法をいかにして現地コミュニティへ提案し根付かせることができるか。我々が現地に赴き、滞在している間のみには道路整備が行われるのではなく、技術を習得した住民自身が持続的に整備を進めていく体制作りを進めることが重要である。本研究では道路整備手法を開発するとともに、いかに現地住民が我々の提案する手法を自分たちのものとし、自分たちの道の整備を進めるようコミュニティを活性化していくか、が大きな研究テーマである。このことが実現してはじめて開発した技術が有効であるといえる。

本研究ではこれまで、オセアニアのパプアニューギニア独立国の農村を訪れ現地に滞在しながら、住民参加を得て、「土のう」による道路整備を実践してきた。4つのコミュニティでの施工を通して、住民参加による道路整備の実現に向けたノウハウを蓄積した。そして、あるコミュニティでは持続的な維持管理を行っている様子が確認されており、提案する農道整備のモデル事例が構築された。

2.4.4 技術移転の拡大

世界の貧困削減に寄与するには、上記の道路整備を通じたコミュニティ活性化へのアプローチ手法を各地へ拡大していく必要がある。各開発途上国において政治制度や経済、文化の違いがあり、開発した技術をいかに導入するかは、現地に適した方法があり工夫が必要である。

本研究ではこれまでパプアニューギニア独立国、アジアのフィリピン共和国、アフリカのケニア共和国の3カ国で、3通りの手法で農村コミュニティへアクセスし、「土のう」による未舗装道路整備の実践からコミュニティ活性化に向けた活動を進めた。

2.5 住民参加型インフラ整備事例

コミュニティの住民自身によるインフラ整備の実践とはどういうことなのか、具体的なイメージを持つために以下の2つの事例を紹介する。これらの事例は各コミュニティの内発的動機づけより実行されたものであり、ドナー国や援助機関が主導で実施されたものではない。しかし、これらの事例を分析することで、援助対象コミュニティ内での道路維持管理体制構築に向け、外部者としてどのような条件整備と開発アプローチが有効であるか、ヒントが得られると考えられる。

2.5.1 ケニア、マラケットにおける灌漑水路維持管理の事例³⁹⁾

ケニアのマラケット県のケリオバレーには、標高差 1,400 m を 12 km の水路で導水している灌漑水路がある。これは西暦 1600 年ごろに建設されたと考えられている。この時代、現地の人々は鉄を所有しておらず、木と石の道具で水路を切り開き場所によっては木材の橋をかけ、水を通している。隙間には草をつめ泥を被せ水漏れを最小限に抑えている。このように人力と現地自然材料を用いて灌漑水路を作成し、これを現代に至るまで 400 年もの間利用し続けている。なぜ、このような灌漑水路ができたのか、どのようにして今まで維持管理がなされてきているのか。特別な技術や強烈な個性を持つリーダーが代々続いてきたわけでもない。コミュニティがまとまり、意思決定の仕組みや青年男子の労働への参加等のルールを定めた「システム」を作り上げた結果、可能となっている。この事例から、現代のコミュニティによる道路整備の実現に向けたヒントがあると考えられる。

(1) 灌漑水路の作成

図 2-6 にケリオバレーの断面図と土地利用の様子を示す。この地域に住む人々はエルゲヨ崖の斜面地に家を作り、ケリオバレーの谷底で農作業を営んでいる。ケリオバレーでの降水量は一定とならずいつも旱魃と飢餓の脅威にさらされていた。そこでコミュニティ内のある知恵者がエルゲヨ高地からケリオバレーへ水を引いてくることを提案した。最初は途方もない計画だと敬遠されたが、やはりこの方法しかない、とのことでコミュニティが一体となって施工を進めた。長老がルートを指示し、若者が堀り、女性たちが食べ物を運んできた。ここで、長老とは、年長者であり普段の言動、リーダーシップ、知恵によりコミュニティから尊敬をうけ選ばれている。コミュニティによる施工を通して、写真 2-13⁴⁰⁾、写真 2-14⁴¹⁾に示すような水路が完成した。

(2) 灌漑水路の維持管理

灌漑水路が完成すると、水の分配、維持管理について協議された。コミュニティの意思決定権を有する複数の長老らが完成した水路の運営委員会のメンバーとなった。水の分配などに関しての会議は、その長老らが召集して行われ、水利用者全員が出席した。ここで維持管理のためのルール（当番制、担当範囲、点検時間など）が定められていた。そして破損箇所や清掃が必要な箇所が見つければ、修理のための組織的な共同作業が行われてきた。集会にて作業日、時間、修理方法について決定され、コミュニティ内の全成人男性にはボランティアで参加の義務が課せられた。共同作業に参画しない不履行者には懲罰がくだされた。

このように、コミュニティによる灌漑水路の維持管理が 400 年間今日に至るまで続けられてきた。

ここではケニアの水路の事例を紹介した。高度な技術や材料を用いるのではなく、現地の材料、材木、草木の葉、泥を利用し、道具も石や木で人力による作業で作りに上げた。これらの自然材料で作っ

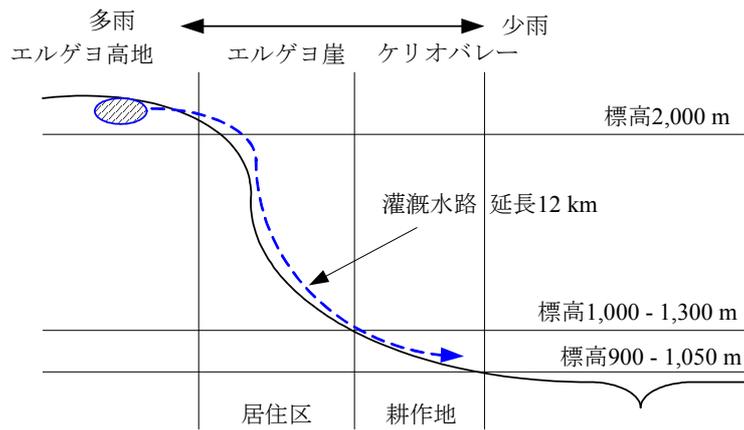


図 2-6 ケリオバレーの断面図と土地利用³⁹⁾



写真 2-13 山肌の灌漑水路（矢印箇所）⁴⁰⁾

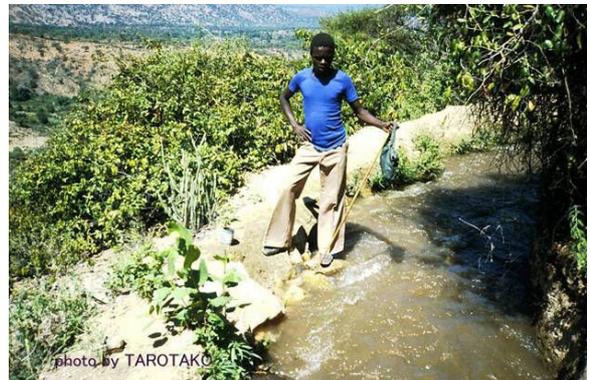


写真 2-14 灌漑水路の様子⁴¹⁾

た灌漑水路は確かに漏水し大雨のときには壊れる。しかし、上記のような維持管理体制を構築することで400年間にわたり利用されてきている。

本研究では道の整備について、現地材料を有効に活用しコミュニティによる維持管理、マネジメントを実践することで雨季にも通行可能な整備を進める。たとえ補修した道路が徐々に痛んできたとしても、住民たちで直ちに補修できるという点が重要である。

2.5.2 日本、山古志村における手掘トンネルの事例⁴²⁾

新潟県山古志村小松倉には、日本最長の手掘り隧道(トンネル)、中山隋道がある(図2-7, 写真2-15)。高さ1.8m、幅1.2m(掘削当時)、全長922メートルである(図2-8, 写真2-16)。このトンネルは昭和8年より小松倉の住民が16年をかけてツルハシで掘り(写真2-17)、昭和24年に貫通させた。以後新トンネルが貫通するまで49年間、住民の暮らしを支える道として利用された。

平成10年に新トンネルに役割を託し閉鎖された。現在では県の保護を受け、崩落の危険性のある箇所が補修されて人道として遺され、土木遺産として認定されている。このトンネルはどのような経緯で作られ、16年という長い年月、しかも昭和大恐慌や第2次世界大戦という混乱時期を経て完成に至った経過を見る。ここに、現代において開発途上国農村部での道整備、農村インフラ整備に通じるヒントがあると考えられる。

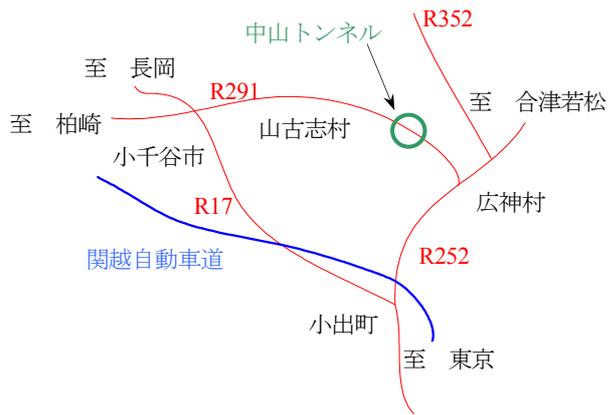


図 2-7 中山トンネルの位置図



写真 2-15 トンネル坑口（小松倉側）
（左が中山トンネル，右が中山隧道）

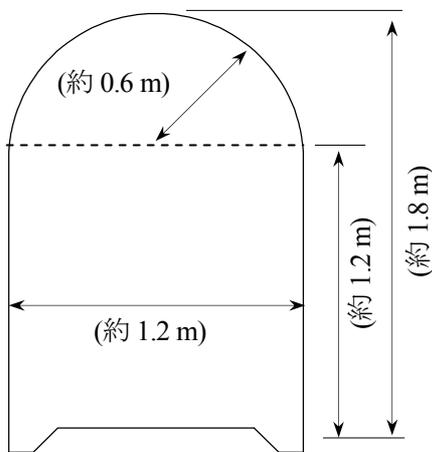


図 2-8 トンネル断面図⁴²⁾



写真 2-16 トンネル内の様子

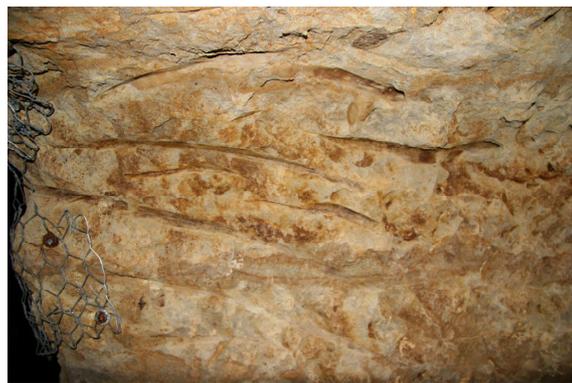


写真 2-17 つるはしの跡

山古志村は積雪 7~8 m の豪雪地帯である。山塊に囲まれた村の中でも最深部に位置する小松倉は昭和 8 年当時約 60 世帯が住んでいた。養蚕・コメ・炭焼きしか生産物が無い集落には病院や商店などがなく、用事がある時は険しい中山峠を越えるしか方法がなかった。また、片道 2 時間近い道りを妊婦や病人を背負って運ぶなど状況は厳しく、吹雪の時には死者も出た。

山古志村の住民たちは中山峠にトンネルがあれば、年間を通して平坦で安全に短時間で町まで行くことができる、との想いは長年抱きつつ、その膨大な計画、費用の大きさにあきらめており、実現に至っていなかった。そのような状況の中、何人かの村の有力者が、県会議員に相談にいった。当時から村自力で解決できない問題に対しては県の協力を仰いでいた。そこでトンネルを掘ろうとするルートが、村道認定され次に県道認定されれば県から援助が出るとのことであった。まず住民自らが資金や労働力を提供しながら掘り進め、施工中に県からの援助が得られることを期待しつつ、20年かかってでも掘り進めようということになった。

ところが、集落内でもトンネル掘削に対して賛成派と、このような非現実的な計画に貴重な村人の時間や財産を使わせるわけにはいかないという反対派との軋轢が生じた。そのため、村道認定について集落内での合意形成がなかなか進まなかった。賛成派は反対派に対する意地もあり、身銭を切って集落外から測量技師を呼び、農閑期の冬に限り交替で掘り始めた。徐々に行政の支援も取り付け、村人達の団結も高まり、太平洋戦争中の4年間の中断を経てついに昭和24年に貫通した。

この事例からは現状の問題を改善しようとまず自分たちが行動することの大切さ、一方でコミュニティ内での合意形成を得ることの難しさを学ぶことができる。そして農村インフラ整備の進め方として、農村インフラ整備のためのグループの組織化、そしてそのグループの集団として地方行政への協力を要請し、資金を確保するなどのヒントを提供してくれている。開発途上国で住民参加で道路の維持管理を進めようとするときにも、この事例が参考になると考えられる。

2.5.3 開発への応用

前述した2つの事例の特徴を表2-3にまとめる。表2-3より、表1-1で見たように開発の新しい進め方と共通点が多いことがわかる。

表 2-3 住民参加型インフラ整備事例の特徴

	マラケット	山古志村
目標	灌漑用水の確保	社会サービスへのアクセスの確保
実施組織	民主的地域組織	
計画	住民による計画	
優先事項と実施の決定	住民による民主的な決定	
実施形態	参加型・自主的	
実施のペース	住民のペースで	
事業の規模	小規模	
利用する資源	地域の人材と資源	
技術の使用	適正な地域技術の適用	
結果	400年間に渡る灌漑水路の維持管理	トンネル貫通

このような開発を進めることは、現地住民やコミュニティの活性化（エンパワーメント）を推進することとも言える⁷⁾。活性化は外部からの働きかけのみによって起きうるものではなく、住民の心理的な側面に左右されるところが大きい。上記の事例でも、開発計画の自己決定、自身が中心となって開発を進めているという制御感、開発を自分のものだとして認識するオーナーシップ、自身の潜在能力への気づき、開発がうまく行っているという効力感、集うこと（組織化）による高揚感を住民が感じることで活性化が進んでいると言える。

本研究では、持続的な住民参加による農道整備の実現のために、ここで示した事例のように現地住民やコミュニティの活性化が進むようなアプローチを実施する。

2.6 本研究の目的と特徴

2.6.1 本研究の目的

本研究の目的を以下にまとめる。

- 1) 農村接続道路（未舗装）を雨季においても車両通行可能となるよう整備する。
- 2) ある開発途上国農村部の住民が自分たちで農村接続道路の整備・維持管理をしていく社会システムを構築し、農村コミュニティを活性化する。
- 3) 上記の手法を他の開発途上国にも短期間で広め、各地の農村コミュニティを活性化し、貧困削減に貢献する。

2.6.2 本研究の特徴

本研究の特徴は、貧困削減へのアプローチの1つとして下記に示すような技術開発からその適用、拡大までを一貫して行っていることである。

- 1) 施工対象地が開発途上国農村部であるという制約条件下（限られた予算、現地調達可能材料の有効利用、人力施工）での有効な技術の開発
- 2) 開発された技術の現地導入による施工性の検討、改善
- 3) 現地コミュニティにおける、新技術を利用した持続的な道路維持管理実施のための体制づくり
- 4) 多様な地域で、各地の社会環境にあわせた技術移転の展開

第3章 「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の開発

3.1 概説

本章では開発途上国農村部の未舗装道路に対して雨季においても車両通行性を確保するために、「土のう」を利用した道路整備手法の開発に向け、実施してきた実験とその結果について述べる。

第2章で見たように、開発途上国では人や動物による交通から急に自動車交通へと移行したため、道路の状態が交通形態の変化、交通荷重の増加に追従していない状態である。

車両通行性が失われる原因としては、下記の点が挙げられる⁴³⁾。

- 1) 路床土質が粘性土で軟弱であり、通行車両重量を支持できない。
- 2) タイヤと路面間ですべりを生じ、十分な推進力を確保できない。

ここで開発途上国での農村接続道路の整備基本方針を確認しておく。

たとえ、未舗装道路でも地山の路床が十分な支持力を有し、タイヤと路面間で十分な推進力が確保できれば通行性に支障はない。熱帯地域に属す開発途上国では乾季においては通行性は維持されるが、雨季になり、路面に水が溜まると泥濘化し轍掘れが形成され、タイヤと路面間にすべりが発生し通行性が失われる場合が多い。したがって、路床の支持力を維持し推進力を確保するためにはまず、路面に水が溜まらないよう排水施設を確実に整備することが重要である。

路床が元々軟弱地盤で通行車両重量を支持できない場合も多く見受けられる。先進国では地盤改良、良質材との置換・締固めなどの手法によって支持力を付加することが考えられる。しかし、途上国農村部では改良材や攪拌機、締固め機の調達が困難であり、これらの手法が有効であるとは言えない。そこで本研究では実施可能な対応策として、現地調達可能な材料を用い人力施工による「土のう」を利用した路盤を路床上に構築することを提案する。そのため「土のう」で構築された路盤による、通行性維持効果を検証する。

「土のう」は水防団により洪水時に河川の氾濫防止のために用いられ、災害復旧時に仮設工として積み上げる使われ方が一般的である。しかし、近年の研究により、「土のう」の性能が評価され軟弱地盤上の建物基礎として、また擁壁としてなど多様な用途に利用されている⁴⁴⁾。ここで「土のう」の特徴、利点を以下に示す。

- 1) 必要となる材料は袋材と中詰材であり、開発途上国農村部においても材料の調達が容易である。
- 2) 大規模な重機を必要とせず、人力のみでの施工が可能であり、環境にやさしい。
- 3) 「土のう」自体の耐荷力は200 kN～300 kNである。
- 4) 水浸、ヘドロ状態の地盤にも適用し、補強することができる。
- 5) 道路整備以外にも、建物基礎、河川堤体の補強、斜面の安定化工法等汎用性がある。

なお、「土のう」は簡便な手法であるが故に、その性能を最大限に活かすには丁寧な施工（「土のう」中詰材量の設定、十分な締固めなど）が求められ、現地適用時には施工手法を確実に伝達する必要がある。

日本国内にて、「土のう」がアスファルト舗装道路の路盤材として利用されている事例がある⁴⁵⁾。ここでは日本国内で調達可能な資材に対し、プレートコンパクターなどの締固め機械を利用した施工を行った。「土のう」がアスファルト舗装の路盤として、上層の舗装体から受ける荷重を支え、凍上防止、交通振動の減衰に有効であることを証明した。本研究では開発途上国農村部で現地住民自身が車両通行性を確保するために、

実施可能な道路整備手法として「土のう」を利用した未舗装道路改修手法を開発した。

そのために明らかにすべき点は以下の通りである。

- 1) 現地で調達可能な土のう袋材, 中詰材の材料特性
- 2) 交通荷重作用下での「土のう」の変形挙動
- 3) 「土のう」の配列と施工方法
- 4) 「土のう」の整備効果

本章ではまず、「土のう」の強度発現メカニズムを概観する。交通荷重が作用する路盤としての利用のために、「土のう」に求められる材料特性について明らかにした。これに基づき現地調達可能な材料を選定した。そして選定された材料による「土のう」による路盤構造, 施工方法について検討した。

本章では、「土のう」による道路改修手法の開発に向けて以下のような実験を行ったのでその結果について報告する。

a) 土のう袋材引張強度試験

開発途上国において調達可能な土のう袋材を選定した。これらの輪荷重作用下での挙動を, 袋材の引張強度試験を通して検討した。

b) 「土のう」圧縮試験

中詰材の種類, 輪荷重が「土のう」に局所的に作用する場合の影響を調べるため圧縮試験を実施した。

c) 実物大走行実験

現地調達可能な材料を中詰材として利用し路盤を構築した時の走行性や, 有効な締固め方法を検討するため, 実物大走行実験を実施した。この実験を通して軟弱地盤上で雨季においても車両通行性を確保するような「土のう」による道路改修断面を提案した。

3.2 「土のう」の強度発現メカニズム

Matsuoka and Liu⁴⁶⁾により粒状体を中詰材とした「土のう」自体の耐荷力 F の算出について, 式(1)が提案されている。十分締固められた「土のう」に外力が作用すると中詰材は正のダイレイタンスを起こすが, それを土のう袋が拘束することで袋に張力が生じる (図 3-1)。ただし, たとえ中詰材の体積が一定でも「土のう」形状がより扁平になろうとすると袋が引張られ張力が生じる。また, 発生する張力の大きさは土のう袋周長に沿って均一ではないが⁴⁷⁾, ここでは一定と近似している。この張力により中詰材に拘束応力がかかる。このような応力状態 (図 3-2) で中詰材がせん断破壊する極限状態にあるとして「土のう」の強度 F を求めている。

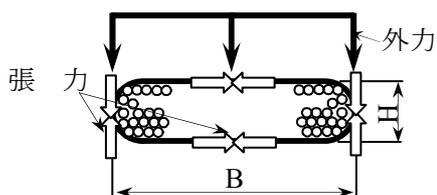


図 3-1 「土のう」に作用する応力

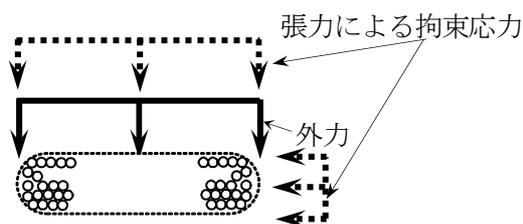


図 3-2 中詰材に作用する応力状態

$$F = 2T \times \left\{ \frac{B}{H} K_P - 1 \right\} \times L \quad (1)$$

$$\text{ただし, } K_P = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

ここに、 T :土のう袋材の引張強度 [kN/m]、 B :「土のう」の幅 [m]、 H :「土のう」の高さ [m]、 L :「土のう」の奥行き [m]、 ϕ :土のう中詰材の内部摩擦角 [°]である。

式(1)より、「土のう」自体の耐荷力は、土のう袋の引張強度や、土のう寸法、中詰材の内部摩擦角の影響を受けることがわかる。また、Lohaniら⁴⁸⁾より、「土のう」上下面の水平変位の拘束条件により圧縮強度が影響を受けることも明らかにされている。このような特性を踏まえ、現地で「土のう」として利用する材料を選定し、道路構造への適用性を検証した。

3.3 土のう袋材の引張強度試験

道路路面に「土のう」を用いるには、車両走行時に作用する輪荷重を受けて土のう袋に生じる引張力が、袋材の引張強度以下であるかを検討する必要がある。そこでまず、開発途上国で生産されている袋材の中からサイズや構成繊維の織密度をもとに、土のう袋として利用しうる材料を選定し、道路構造への適用可能性を判断するためにその引張強度を確認した。

3.3.1 土のう袋材

日本で今日利用されている主な土のう袋材はポリエチレン製の袋であり、中国産のものが普及している。一方、開発途上国においても都市部ではポリエチレン製の袋が生産され、農村部でとうもろこし袋、砂糖袋、米袋、肥料用袋として利用されている。これらの袋材を土のう袋として転用することを検討した。

またある地域では、プラスチック樹脂の袋材が普及する前まではコーヒー豆や穀物の出荷時に利用されていた、麻袋の生産が続いている。サイザルやジュートなど麻の栽培から繊維の抽出、袋への加工までを担う地域的小規模工業により製造されている。このような麻袋を土のう袋として使用することも検討した。麻袋を利用する利点は、下記の通りである。

- 1) 天然素材で自然にやさしい。
- 2) 新たな需要の創出により、麻袋生産の地域的小規模工業の活性化につながる。

そこで表 3-1に示すような袋材について、引張特性を調べるために、引張強度試験を実施した。No.1の袋材は日本で一般的に土のう袋として利用されているもの、No.2はある開発途上国で生産され砂糖袋として、No.3はケニアでコーヒー豆用として利用されている麻袋である。

表 3-1 引張強度試験を実施した袋

	単位	No.1	No.2	No.3
名称		輸入土のう（中国産）	砂糖用	コーヒー豆袋
素材		ポリエチレン	ポリエチレン	サイザル麻
サイズ	m	0.60 × 0.48	0.63 × 0.46	0.92 × 0.74
重量	g/袋	46.0	52.2	1190.2
単位重量	g/m ²	79.9	90.8	874.0
織密度	本/2.54 cm	9	13	6
写真				

3.3.2 試験方法

電気油圧式万能試験機を用いて引張試験を実施した。表 3-1 に示される袋材はいずれも縦、横方向で同質繊維を利用しており織密度も同様であるが、縫製の工程上横糸がやや劣化する。そのため、袋周長方向では上下方向に比べてその引張強度は低下する傾向がある。

そこで袋材の引張強度を安全側で評価するために、袋周長方向の引張強度を調べた。各袋材から周長方向を長さ方向として幅5 cm、長さ40 cmの試験片を採取した。両端10 cmは万能試験機の上下のチャックへのつかみしろとし、つかみ間隔20 cmの試験片を一分間に20 cmのスピードで引張载荷を行った。この方法は「JIS L 1096 一般織物試験方法」に準拠した。

(1) 実験ケース

「土のう」が路面に使われる場合、降雨下で湿潤状態となった時の特性を把握する必要がある。また、車両が通過するたびに载荷と除荷が繰り返されるため、土のう袋に繰り返し引張力が作用することによる影響を評価する。そのため本実験では、表 3-1 に示される No.1～No.3 の袋材に対して、それぞれ乾燥状態と湿潤状態の供試体を用意し、一方向载荷および繰り返し载荷（ある一定荷重まで载荷し除荷する操作を 20 回繰り返す）の 2 種類の载荷方法で引張試験を実施した。

乾燥状態の供試体は大気中で保管したもの、湿潤状態は 24 時間以上水中養生したものである。

(2) 輪荷重作用時に「土のう」袋に発生する張力

「土のう」に輪荷重が静的に作用した時に土のう袋に発生する張力を算出する。袋材の引張強度がこれ以上であることを確認する。また繰り返し引張载荷時にはこの荷重に至るまでの载荷と除荷を繰り返す。

土のう袋に発生する張力は以下の手順で算出した。

- 1) 対象車両を決定。
- 2) 輪荷重を算出。
- 3) タイヤ接地面積を算出。
- 4) タイヤ接地圧を算出。
- 5) タイヤ接地圧を「土のう」全面に作用させ、極限状態にあるとし式(1)より袋材に生じる張力を

算出.

対象車両は開発途上国の農村部での施工対象となる道路の交通事情から2t車とする.

2t車の最大積載時の輪荷重を下記式(2)より求める. 積載荷重の前輪, 後輪への振分率は1:4とした. これは道路橋設計時に作用させる自動車荷重(T荷重)の考え方を参照している⁴⁹⁾. このように算出された積載荷重の後輪作用分と車両重量より決定される後軸重の和の1/2を輪荷重とする.

輪荷重の値から, 式(3)よりタイヤ接地半径を求める⁵⁰⁾. これは, 各国各機関((社)日本自動車タイヤ協会など)が定める輪荷重とタイヤ接地半径の関係の中で, 平均的でありかつ簡便な1次式により定められたものである⁵¹⁾.

式(2)で求めた輪荷重をタイヤ接地面積で除して接地圧を算出する(式(4)参照). 輪荷重が「土のう」に作用する状況を図3-3に示す.

$$P = \frac{W_s}{2} + \frac{2W_c}{5} \quad (2)$$

$$a = 0.12 + 0.001P \quad (3)$$

$$q = \frac{P}{a^2 \pi} \quad (4)$$

ここで, P : 輪荷重 [kN], W_s : 軸重量 [kN], W_c : 積載重量 [kN], a : 接地半径 [m], q : タイヤの接地圧 [kN/m²]とする.

2tダンプの軸荷重は $W_s = 13.2$ kN, 積載重量は $W_c = 20.0$ kNとして算出した. これは実際の2t車(車名: マツダ, 型式: KC-WG6AD)の車検証に記載のデータに基づいている. このとき接地半径は $a = 0.135$ mとなり, タイヤの接地圧は $q = 255.0$ kN/m²となった.

ここで式(1)を用いて輪荷重作用時に土のう袋に発生する張力 T を算出する.

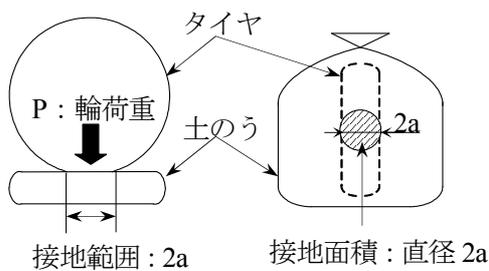
$$F = 2T \times \left\{ \frac{B}{H} K_p - 1 \right\} \times L \quad (1)$$

$$\text{ただし, } K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

F にはタイヤ接地圧が「土のう」全面に均等にかかるとして(図3-4)「土のう」1袋が受ける圧縮荷重を算出しその値を代入する. 「土のう」全面に作用する荷重は次式により算出する.

$$P_s = q \times B \times L \quad (5)$$

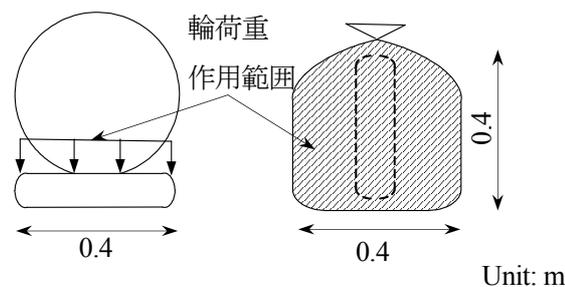
ここで, P_s : 「土のう」1袋が受ける圧縮荷重 [kN], B : 「土のう」の幅 [m], L : 「土のう」の奥行き [m]



(a) 側面図

(b) 平面図

図 3-3 輪荷重作用状況



(a) 側面図

(b) 平面図

Unit: m

図 3-4 「土のう」に作用する荷重

(引張荷重算定時)

とする。

「土のう」形状は、 $B=0.4\text{ m}$ 、 $L=0.4\text{ m}$ の四角形と近似する（図 3-4）。式(5)より、 $P_s=40.8\text{ kN}$ となる。この時土のう中詰材がせん断破壊する極限状態にあるとし、式(1)の $F \sim P_s = 40.8\text{ kN}$ を代入する。

次に中詰材の内部摩擦角 ϕ を決定する。自然の砂で内部摩擦角が 30° 以下になることはまれである⁴⁴⁾。よって安全側で、式(1)の ϕ に 30° を代入し算出する。

以上より、土のう袋に発生する引張荷重 T は 4.6 kN/m となる。よってある袋材を「土のう」として道路構造に適用するには、その袋材の引張強度は 4.6 kN/m 以上である必要がある。

そこで現地で調達した袋材が、 4.6 kN/m 以上の引張強度を有するかを確認する。また、実際の輪荷重のように、載荷除荷が繰返された時の引張抵抗特性を把握する。

3.3.3 試験結果と考察

(1) 袋材の引張強度

図 3-5は表 3-1中のNo.1～No.3の供試体について、一方向で引張荷重を行った試験結果である。引張荷重を袋材1 m当りに換算し縦軸に、横軸はひずみを表示している。袋材を構成する繊維の一部が破断に至り引張荷重が低下し始めるまで荷重をする。この時の最大引張荷重を袋材の引張強度とする。袋材の状態は各々乾燥、湿潤状態で試験を行った。

No.1の袋材の引張強度は、乾燥、湿潤状態でほとんど変わらず 6.0 kN/m となった。また初期剛性にも違いは見られない。袋繊維が撥水し水分を吸収せず、強度に違いは見られなかった。

No.2の袋材の引張強度は、乾燥状態では 14.0 kN/m 、湿潤時には 12.0 kN/m となり引張強度は約 14.0% 低下した。これは、袋繊維が水分を吸収したために強度が低下したと考えられる。しかし、この時でも計測された引張強度は輪荷重作用時に土のう袋に発生する引張荷重（ 4.6 kN/m ）の2倍以上で十分な強度を有すると言える。

No.3のサイザル麻袋の強度は乾燥時で 14.5 kN/m 、湿潤時で 12.7 kN/m となった。また引張荷重～ひずみ曲線の初期の勾配を見ると、湿潤状態では剛性が低下していることがわかる。これは袋を構成する麻繊維が水分を吸収し、引張抵抗力が低下したためと考えられる。サイザル麻製の袋材の特徴として破断に至るひずみが、No.1, 2のポリエチレン製の袋材と比較すると小さい。延性には劣るものの、路面に利用するための十分な強度を有する。

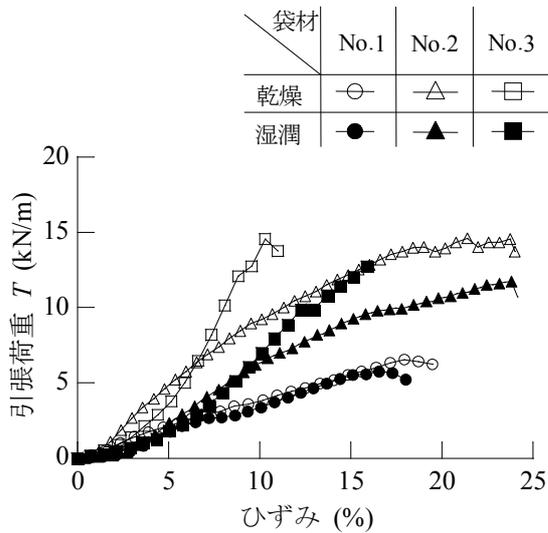


図 3-5 引張荷重～ひずみ関係（一方向載荷時）

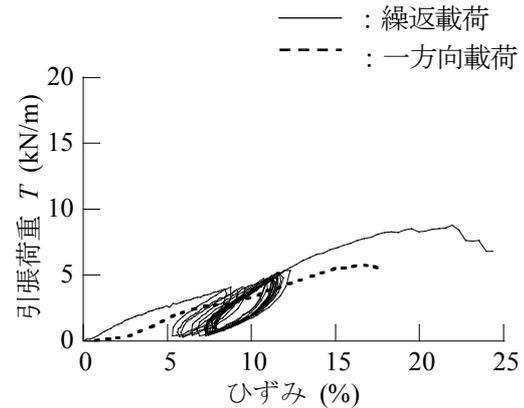


図 3-6 引張荷重～ひずみ関係（No.1 湿潤）

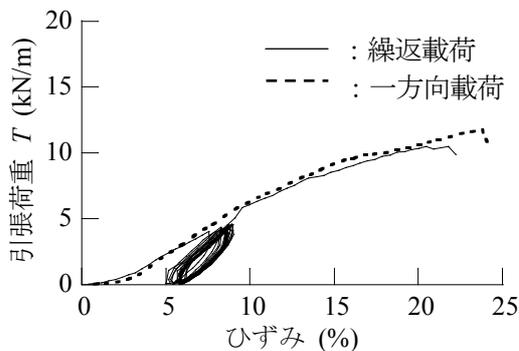


図 3-7 引張荷重～ひずみ関係（No.2 湿潤）

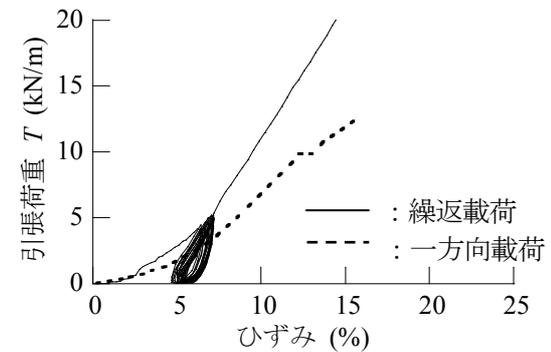


図 3-8 引張荷重～ひずみ関係（No.3 湿潤）

(2) 繰返し引張載荷時の特性

図 3-6, 図 3-7, 図 3-8はNo.1～No.3の各袋材の湿潤状態の供試体に対して, 4.6 kN/mの引張荷重を作用させ除荷するという繰返し載荷を20 回行った後, 破断に至るまで載荷した時の結果である. 試験は変位制御で実施した. 荷重計の値が4.6 kN/mの引張強度を示した時に手で載荷方向を反転させた. そのため, 実際には4.5 ～6.0 kN/mの幅での繰返し載荷となった. 湿潤状態の供試体の一方向載荷時の試験結果と比較し, 繰返し載荷が引張強度に及ぼす影響を調べた.

No.1の袋材は繰返し時, 残留ひずみが5.0%から8.0%へと推移した. 推移幅は3.0%である. 再載荷時の勾配はほぼ一定であり, 剛性の低下は見られない. 繰返し後の袋材の引張強度は8.0 kN/mと一方向載荷時の引張強度 (6.0 kN/m) よりやや大きくなった.

No.2の袋材での残留ひずみの推移は5.0%から6.5%で, その推移幅は1.5%とNo.1の袋材よりも小さい. 再載荷時の傾きは繰返し中一定であり, 剛性の低下は見られない. 繰返し後破断に至る載荷過程では, 一方向載荷時の荷重ひずみ曲線と同じ挙動を示し, 破断時の強度も変わらない. 繰返し載荷による引張強度の低下は見られない.

No.3のサイザル麻では残留ひずみが4.0%から6.0%で推移し, 繰返し時剛性の低下は見られない.

繰返し後の引張強度は一方向載荷時よりも大きくなった。

No.1, No.2の袋材はともにポリエチレン製であるが、単位面積当たり重量や、織密度はNo.2の袋材の方が大きい(表 3-1参照)。そのため引張強度はNo.2の袋材の方が大きくなり、繰返し時の残留ひずみの推移量も小さく弾力的である。しかし、No.1の袋材では乾燥湿潤状態による引張強度の差は見られなかったが、No.2の袋材では湿潤時に強度が低下する様子が見られた。これは、No.1の袋材は撥水するが、No.2の袋材では水分を吸収し強度が低下したのではないかと考えられる。同様な素材ではあるが、繊維素材の製造、縫製工程の違いが影響していると考えられる。

「土のう」による整備の対象となる道路の規模は日交通量が50 台未満の未舗装の農村接続道路²⁸⁾としている。今回の実験での繰返し載荷回数は20 回である。繰返し載荷時に剛性、強度の低下は見られない。繰返し時の荷重は、輪荷重を土のう全面に作用しているとして繰返し荷重を設定しており、実際に道路面に利用した場合よりも約3倍の引張荷重が作用している。このことから、これらの袋材の引張特性からは、施工対象としている道路にはNo.1~No.3の袋材料は適用可能であると考えられる。

サイザル麻はポリ系繊維の袋材に比べて硬質繊維であり、「土のう」として利用したときの施工性、中詰材が洩れないような口部の固定方法の開発などの課題が残る。また、ケニアのある袋工場にて価格調査を行ったところ、通常日本で利用される土のう袋、No.1と同程度のサイズのサイザル麻袋の生産は可能であるが、一枚当りの価格が約150円ということであった (No.1袋材：20 円/枚、No.2袋材：約25 円/枚)。同工場で生産される同サイズのポリエチレン製の袋は一枚当り約20円であり、サイザル麻袋の値段はその約7倍である。今後「土のう」としての利用が実用化し需要が増え、大量生産できる体制となれば価格はさらに下げることができると考えられる。現地でさらに開発を進める予定である。

3.4 「土のう」の圧縮強度試験

3.2で中詰材の内部摩擦角が、「土のう」の耐荷力を左右する因子の一つであることを示した。開発途上国の農村部で「土のう」を作成しようとするとき中詰材を調達する必要がある。凹凸係数が小さい粒状体は内部摩擦角も大きく⁴⁴⁾「土のう」の強度発現に有利である。しかし、工場生産される碎石は現地での調達は困難である。そこで調達可能な中詰材としては川砂利やまさ土のような砂質土が挙げられる。そこでこれらの中詰材として用いたときの「土のう」の強度特性を圧縮強度試験を通じて明らかにする。また、「土のう」が建物基礎、擁壁に利用される場合には「土のう」全面に圧縮荷重が作用するが、道路路盤として利用する際には、通過車両の輪荷重が局所的に作用することが考えられる(図 3-9)。そこで、「土のう」中央部、端部に輪荷重が作用する様子をモデル化した圧縮試験を実施し「土のう」の変形挙動を把握する。

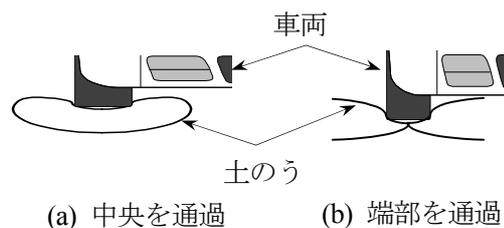


図 3-9 タイヤ通過位置による「土のう」の変形の違い

3.4.1 実験概要

(1) 中詰材

本実験では中詰材としては、図 3-10に示すような粒度分布を持つ6号砕石、川砂利、まさ土を用いた。ここでは内部摩擦角の影響を明らかにするため、砕石の中でもより大きな内部摩擦角を有する粒度調整された6号砕石 ($\phi = 44^\circ$)⁴⁴⁾を利用してはいる。

(2) 供試体用「土のう」

日本で一般に用いられる土のう袋のサイズは 480 mm×600 mm である (表 3-1 参照)。これに中詰材 0.016 m³ を詰め、ある一定の位置で口部を固定し締固めると、「土のう」のサイズは 400 mm×400 mm×100 mm となる。しかし、本実験で利用する万能試験機の載荷板は ϕ 160 mm の円形である。そこで、供試体に均一に荷重をかけるために、1/2 サイズの「土のう」に対して圧縮試験を行った。試験用土のう袋のサイズは 240 mm×300 mm とし、これに中詰材 0.002 m³ を詰め鉄板で叩いて締固め、「土のう」のサイズを 200 mm×200 mm×50 mm とした。なお、袋材は表 3-1 中 No.1 を利用した。

(3) 載荷方法

載荷は引張強度試験と同様、電気式油圧万能試験機を用いた。実際に道路構造として「土のう」を2層敷設することを検討しており、圧縮強度試験でも2層に積み重ねた供試体に対して載荷を行った。

擁壁や建物基礎地盤の補強に「土のう」が用いられる場合、全面に荷重がかかる。それに対して「土のう」が道路構造に適用される場合、タイヤ幅で局所的に荷重が作用する。そのため、図 3-9のようなタイヤの通過位置の違いによる、「土のう」の圧縮挙動への影響を把握する必要がある。そこで、図 3-11に示す3通りの載荷パターンで実験を行った。

- a) 全面載荷：供試体と載荷板の間に鉄板 (250 mm×250 mm×5 mm) を介して「土のう」の上面全面に載荷
- b) 中央部分載荷：タイヤ幅を想定した幅100 mmの鉄板を介して「土のう」中央部に載荷
- c) 端部部分載荷：タイヤ幅を想定した幅100 mmの鉄板を介して「土のう」端部に載荷

輪荷重の作用範囲は図 3-3で示すような、半径135 mmの円状となるが、車両走行時の荷重は進行方向に連続して作用する。よって、圧縮試験では輪荷重が作用する様子を、載荷幅100 mmで土のう全長にわたる面荷重でモデル化する。圧縮試験で用いる土のうサイズは実際の「土のう」の1/2であるが、輪荷重作用幅を想定した載荷幅は実際の載荷幅270 mmに対して1/2以下の幅100 mm となった。

実験は3種類の中詰材の「土のう」に対して3通りの載荷方法で合計9通りの実施した。

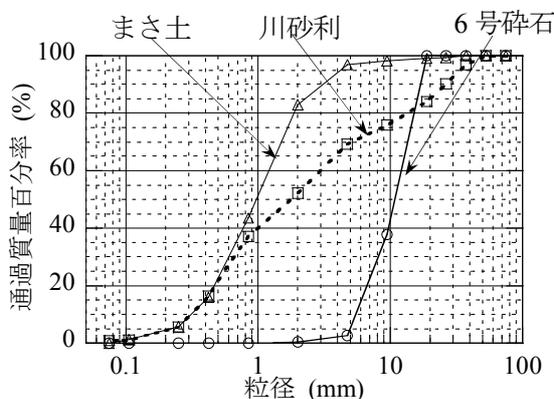


図 3-10 中詰材の粒径加積曲線

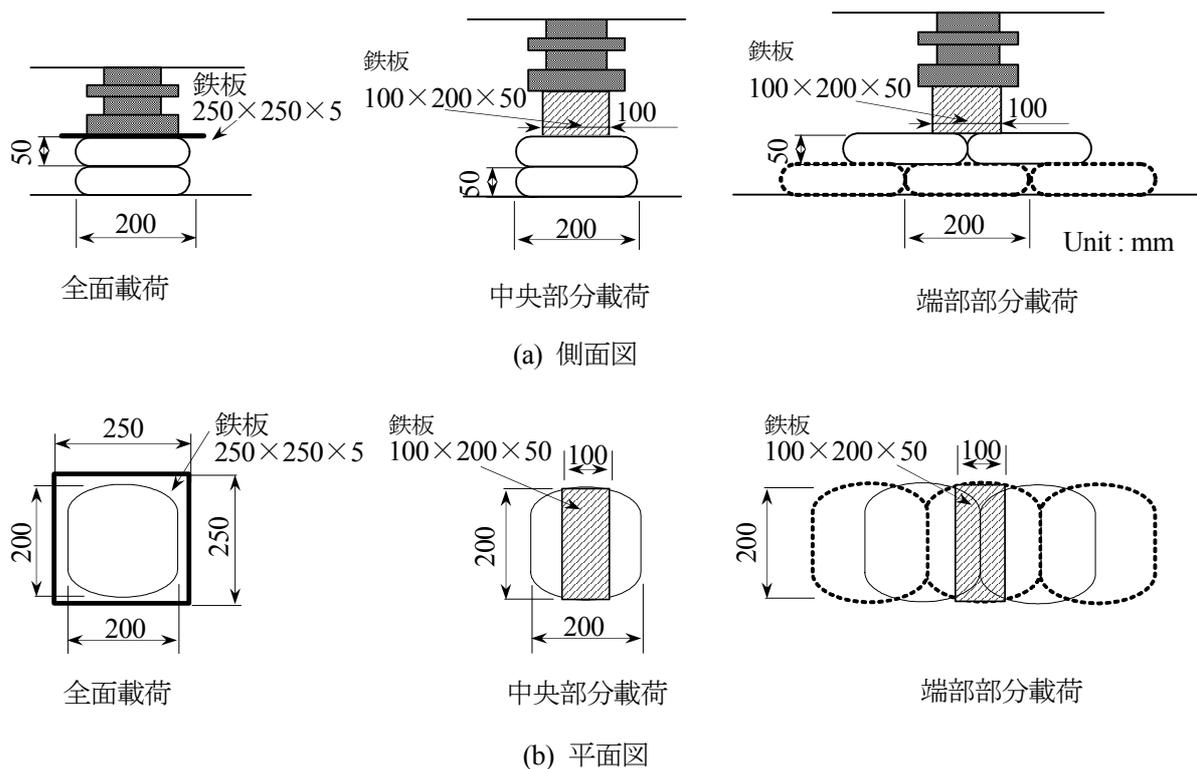


図 3-11 载荷パターン

3.4.2 試験結果と考察

(1) 中詰材の種類と「土のう」の圧縮強度特性

図 3-12は全面載荷時の圧縮ひずみ～荷重関係である。いずれの中詰材の時でも載荷初期においては「土のう」の圧縮強度発現までにはわずかではあるが変形が生じている。その変形量は、まさ土の場合が一番大きく、次いで川砂利、6号砕石の順となっている。

「土のう」自体の耐荷力は3.2で述べたように、中詰材が正のダイレイタンスーを起し、それを土のう袋が拘束し袋材に張力が生じることで発現する。粒度分布特性よりレキ分が多い6号砕石では、わずかな変形量で正のダイレイタンスー効果が生じ、袋材の張力が発生し強度が発現する。砂分が多くなるとダイレイタンスー効果は小さくなり袋材の張力が発生するまで変形が進み、「土のう」圧縮強度発現が遅れると考えられる。このことから載荷前に「土のう」に対して十分締固めを行い、外力作用時には袋材の張力が直ちに発揮される状態としておくことが重要である。

6号砕石、川砂利の場合はほぼ同様の荷重～ひずみ曲線となるが、まさ土では図 3-12で示すように荷重～ひずみ曲線は下に凸の形状となっている。

(2) 载荷パターンと「土のう」の圧縮強度特性

各载荷パターンでの圧縮強度特性を調べる。中央部分載荷時の試験結果を図 3-13に、端部部分載荷時の試験結果を図 3-14に示す。

中央部分載荷時では荷重～ひずみ曲線は全面載荷と同様の形状を示した。6号砕石では載荷初期より強度発現し、続いて川砂利、まさ土となった。強度発現以降の勾配は川砂利、6号砕石、まさ土の順に大きい。まさ土では下に凸の形状となりひずみが20.0%を超えると勾配が大きくなる。6号砕石でひずみが12%を過ぎたあたりで勾配がゆるくなっている。これは、袋材が6号砕石の角部との接触で破れ

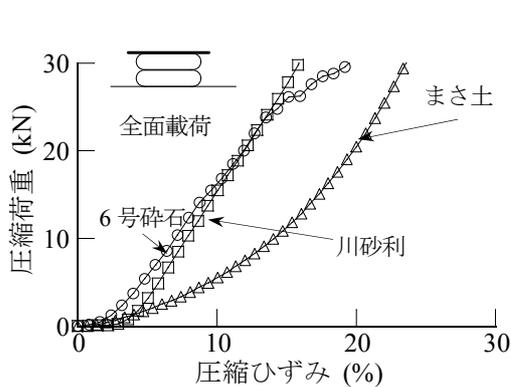


図 3-12 圧縮荷重～ひずみ関係 (全面載荷)

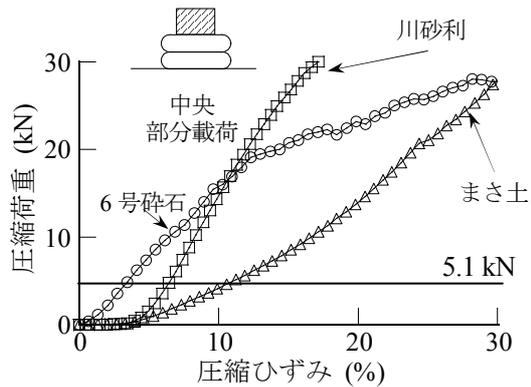


図 3-13 圧縮荷重～ひずみ関係 (中央部分載荷)

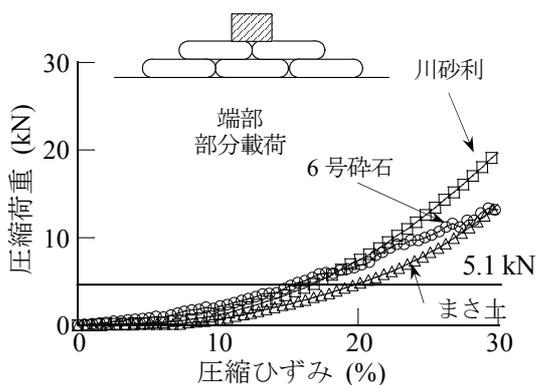


図 3-14 圧縮荷重～ひずみ関係 (端部部分載荷)

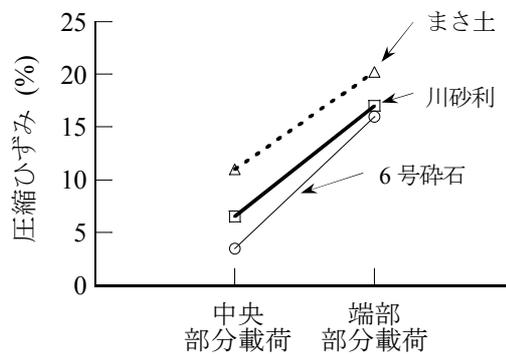


図 3-15 5.1 kN 載荷時のひずみ比較

たためと考えられる。実際に試験終了後の「土のう」の様子を見ると上下面が破断している様子が観測された。

端部部分載荷では3種類の中詰材のいずれの場合も強度発現が遅れ荷重～ひずみ曲線は下に凸の形状となっている。ひずみ20.0%までの挙動をみても同ひずみに対する荷重は、大きい方から6号砕石、川砂利、まさ土となっている。

3.2でタイヤ接地圧は 255.0 kN/m^2 と算出された。この圧縮強度試験ではタイヤ巾を想定した載荷板面積が $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ であるので圧縮荷重が5.1 kNのときが、2 t車が走行時に「土のう」が受ける力に相当すると考えられる。そこで、各中詰材、中央、端部部分載荷時で圧縮荷重5.1 kN時のひずみについて図 3-15中にて比較する。ただし、圧縮試験では静的に荷重をかけているので実際の輪荷重とは異なる点に留意する必要がある。

図 3-15より圧縮ひずみは、いずれの載荷パターンにおいても中詰材がまさ土、川砂利、6号砕石の順に大きくなる。川砂利と6号砕石のひずみの差は、いずれの載荷パターンでも3%未満であり、中詰材に川砂利を利用したときの「土のう」の圧縮特性は、6号砕石を用いたときに近い挙動を示すと考えられる。中詰材が川砂利の場合、5.1 kN載荷時、ひずみは中央載荷では6.5%、端部載荷では17.0%となった。端部載荷ではひずみが大きく発生している。「土のう」が路盤に利用され、端部をタイヤが通過時には沈下量が大きく発生する可能性がある。

ここでは、万能試験機上での圧縮試験であり、剛な台に置かれた「土のう」供試体を載荷した。実

際には路床が軟弱地盤であるときに、その上に「土のう」を敷設して路盤を構築し、作用する輪荷重を支持することを検討していく。このときの「土のう」の変形量は、圧縮試験時の剛な台上に置かれた「土のう」が静的圧縮荷重を受けて生じる変形量とは異なることが予想される。しかし、ここで得られた载荷パターンによって「土のう」変形量が異なるという結果を受け、下記のような提案をすることができる。「土のう」の配列は、道路縦断方向でタイヤ通過位置に土のう端部という弱部が連続しないように、**図 3-16**のように一層目と二層目で、また一層目では縦断方向に隣接する「土のう」を千鳥状に配列することが望ましい。また、土のう表面を砂利などで被覆すれば、輪荷重が「土のう」に対して局所的に作用することの影響を軽減できると考えられる。

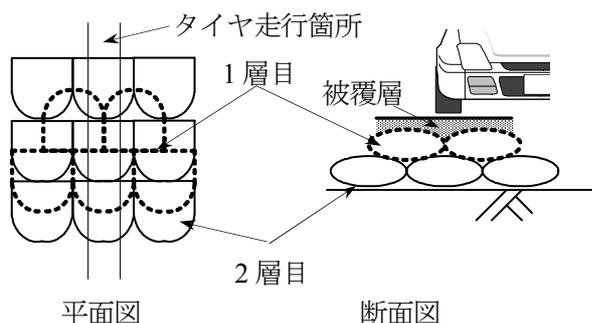


図 3-16 「土のう」敷設方法

3.5 実物大走行実験

3.5.1 目的と実験パラメーター

雨季にトラフィカビリティが失われるような未舗装道路に対して、「土のう」を用いて通行性を確保する手法を検討する。通行性を確保するためには車両は路面に支持され、タイヤと地表面間の滑りを最小として十分な推進力を得る必要がある⁴³⁾。そこで実際に「土のう」で作成した道路上で車両を走行させて、路面沈下量や走行性を把握した。ここでは、**図 3-17**に示すようなIからVまでのパラメーターを設定している。この実験を通じて、開発途上国農村部という物資の調達が制限される条件下でも、最大限通行性を確保しうる「土のう」による道路改修手法を提案する。

ここで使用した土のう袋は、**表3-1**中No.1の袋である。

「土のう」作成方法について、現場に適用可能で作業性を考慮した手法を提案する必要がある。現地で秤を調達し、中詰材の質量を計測し調整することは困難である。一方、体積を制御することは、例えば水汲みなどで日常に使用されているプラスチック容器を用いることで可能である。そこで、中詰材の投入量を 0.016 m^3 とし、土のう口部の固定位置、方法を定め、土のう袋内の空間の体積を常に一定とした。この条件下で**図 3-17**で設定した各パラメーターの影響を調べる。また土のう層数は作業性よりすべて2層としている。

実物大走行実験で用いた中詰材は、砕石、川砂利、まさ土である。ここでは圧縮試験の場合と異なり砕石には、安価で実用的な粒度調整を行っていない砕石を用いた。これらの粒度分布を**図 3-18**に示す。砕石と川砂利は同様の粒度分布を示すが、その製造過程の違いより、凹凸係数⁴⁴⁾が異なると考えられる。つまり砕石は、その凹凸係数は川砂利より小さく、内部摩擦角は大きくなると考えられる⁴⁴⁾。

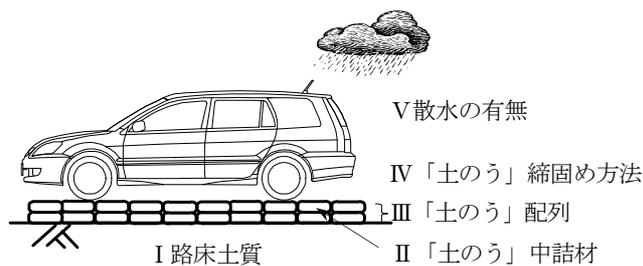


図 3-17 実験パラメーター

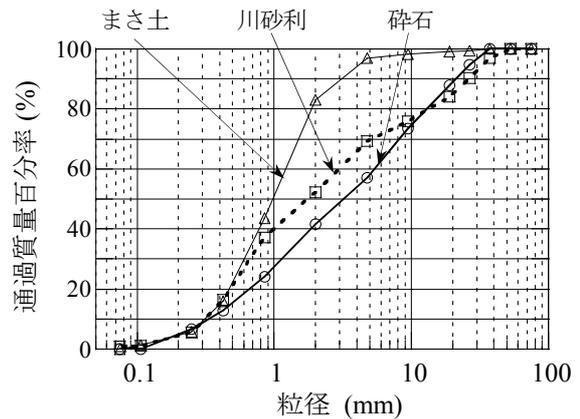


図 3-18 各中詰材の粒度分布

碎石については水浸した基礎地盤の補強時に「土のう」が用いられる際に中詰材として利用される事例があり⁴⁶⁾、道路においても有効であると考えられる。しかし、碎石は工場生産となり開発途上国農村部での調達が困難である。代替として現地調達可能と考えられる礫質土である川砂利、砂質土であるまさ土の有効性を検討する。

3.5.2 実験ケース

以下に示す3種類の実験を実施した。「土のう」の輪荷重作用下での変形特性を把握し、軟弱地盤上での通行性確保の効果を検証する。

(1) アスファルト舗装上走行実験

まず「土のう」上の車両走行性を検証する。沈下が微小で無視しうるアスファルト舗装上に「土のう」を敷設し、車両を走行させ走行回数と路面沈下量を計測する。この時変化させたパラメーターは、中詰材、配列、締固め方法の3点である。「土のう」自身が走行車両を支持しうるかを、実際の輪荷重作用下で路面沈下量を計測することにより判断する。また、「土のう」表面とタイヤ間で滑りが生じずに車両に推進力を与えることができることを確認する。

「土のう」の強度発現には十分締固めることが重要である。日本では一般的にプレートコンパクター（以下、プレート）が用いられる。しかし、開発途上国農村部においては、その価格は1台約20万円と高価であるために調達が困難である。そこで代替の人力による有効な締固め方法を確立する。

(2) 粘性土地盤上走行実験

次にトラフィカビリティが確保できないような粘性土地盤上で、「土のう」を敷設し走行試験を行いその改修効果を検証した。ここでは、中詰材の種類、配列について検討した。

(3) 改修効果比較走行実験

これまで、開発を進めてきた「土のう」を敷設した道路断面箇所と、川砂利のみを敷設した断面箇所の走行性を比較検討した。

3.5.3 アスファルト舗装上走行実験の概要

「土のう」の中詰材はまさ土、川砂利、碎石の3種類である。現地で利用性の高いまさ土や川砂利の、土のう中詰材としての適用性を、碎石の場合と比較検討した。

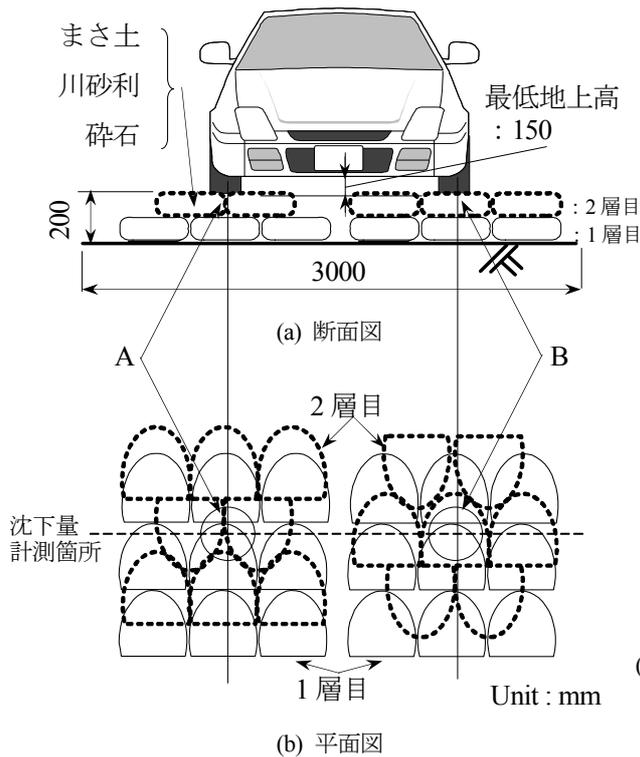


図 3-19 実験概要図



写真 3-1 路面沈下量計測状況

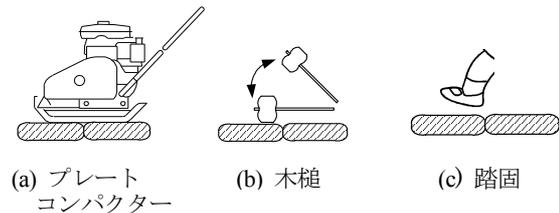


図 3-20 締固め方法

図 3-19に実験概要図を示す。走行ヤードは幅3.0 m，延長5.0 m である。3.4の圧縮試験結果より輪荷重の作用箇所により「土のう」の変形挙動が異なることが考えられることから，図 3-19 (a) 断面図に示すようにA点では「土のう」端部を，B点では中央部をタイヤが走行するように配列した。図 3-19 (b)の平面図に示す位置で走行前，5回，10回，20回，40回，50回，60回，80回，100回，150回走行後に，路面沈下量を計測した。写真 3-1に計測状況を示す。ある定められた回数走行後，横断，鉛直方向ともに所定の位置に水平に基準棒を設置し，そこから路面までの鉛直距離を，水平方向に10 cm 間隔で標尺を用いて計測した。計測後基準棒は取り外し，車両走行を再開した。以下，この手順を繰返し150 回走行まで行った。

走行試験に用いた車両は最低地上高150 mm，車体重量1.5 t（車検証記載データによる）の一般乗用車である。現地での走行状況を想定し，時速10 km未満の徐行運転とした。ここでは散水せずに実験を行った。

締固めは図 3-20に示す3通りの方法で行い，走行性を比較検討した。プレートにて「土のう」表面を4 往復する方法と，1つの「土のう」に対して木槌で10 回打撃し締固める方法，1つの「土のう」を10 回踏固める方法の3通りである。開発途上国農村部では機械の調達が困難な場合に有効な締固め方法を把握する必要がある。木槌や踏固めによる締固め方法で，プレートでの締固め時と同等の効果が得られるかを検証した。

3.5.4 アスファルト舗装上走行実験結果と考察

「土のう」上を走行中，土のう表面とタイヤとの間に通行に支障となるような滑りは生じなかった。実験初期の段階では走行に伴い土のう表面に沈下が生じる。まさ土を中詰めし踏固めて締固めた時は，

20 回走行時には轍掘れが深くなり車両底面と路面が接触しそれ以降の通行は不能となった。これ以外のケースでは、走行回数80 回以降は沈下量は収束し走行に支障は生じない。

図 3-19中のA 点、B 点における圧縮ひずみと走行回数との関係を、中詰材の種類ごとに図 3-21 に示す。ここで、アスファルト舗装面はほとんど沈下しないため、計測された沈下量は「土のう」の変形量とみなすことができる。そこで図 3-21ではひずみで表示している。

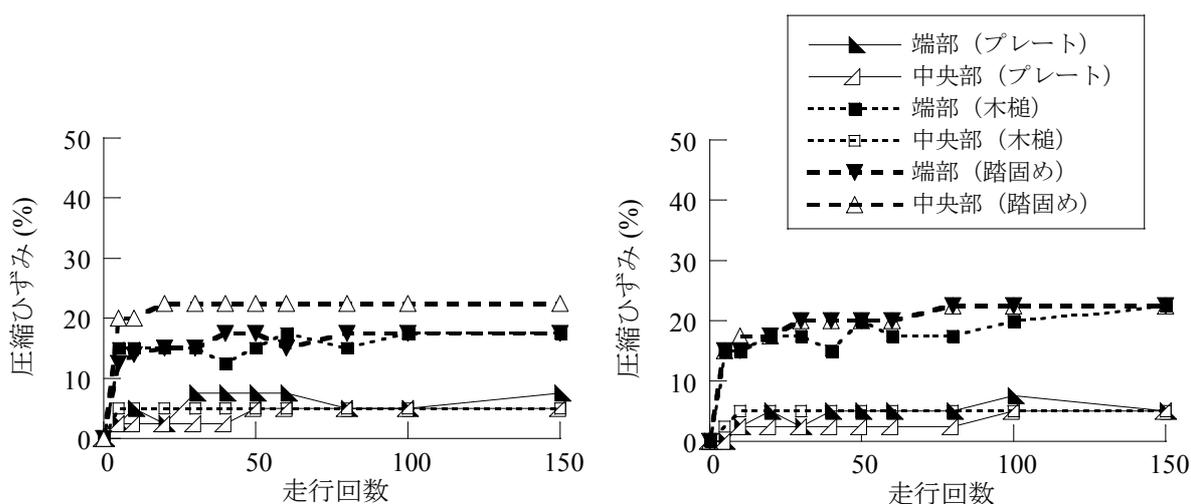
中詰材がいずれの場合でも、踏固めによる締固め時には変形量が、3通りの締固め方法の中で最も大きくなった。これは、踏固めでは「土のう」が十分締固められず、袋材の張力が発揮されるまで変形を許すためである。

「土のう」中央部をタイヤが走行する際には、プレート、木槌による締固め時のひずみと走行回数との関係はほぼ同様である。従って、両者の締固め効果は同等であるといえる。

しかし、タイヤが「土のう」端部を走行するときには中詰材が碎石、川砂利の場合には、木槌で締固めた場合は踏固め時と同等のひずみが発生している。

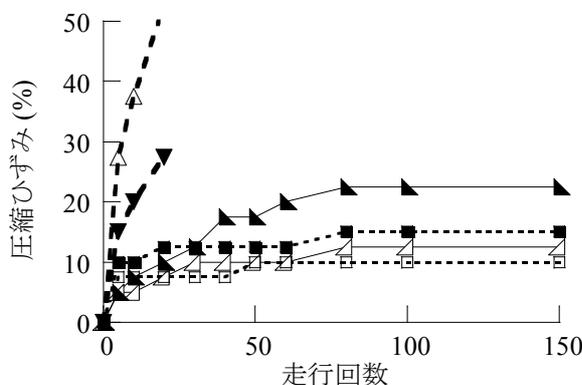
なお、中詰材がまさ土の時、プレートでの締固め時の変形量が木槌で締固め時よりも大きくなっている。これはまさ土のような砂分が多い粒度分布が悪い土質の締固めにはプレートコンパクターのような微小な振動を与えず木槌による打撃による手法が締固め効果が高いことが考えられる。

(1) 締固め方法と「土のう」変形量



(a) 圧縮ひずみ～走行回数関係 (碎石)

(b) 圧縮ひずみ～走行回数関係 (川砂利)



(c) 圧縮ひずみ～走行回数関係 (まさ土)

図 3-21 圧縮ひずみ～走行回数関係

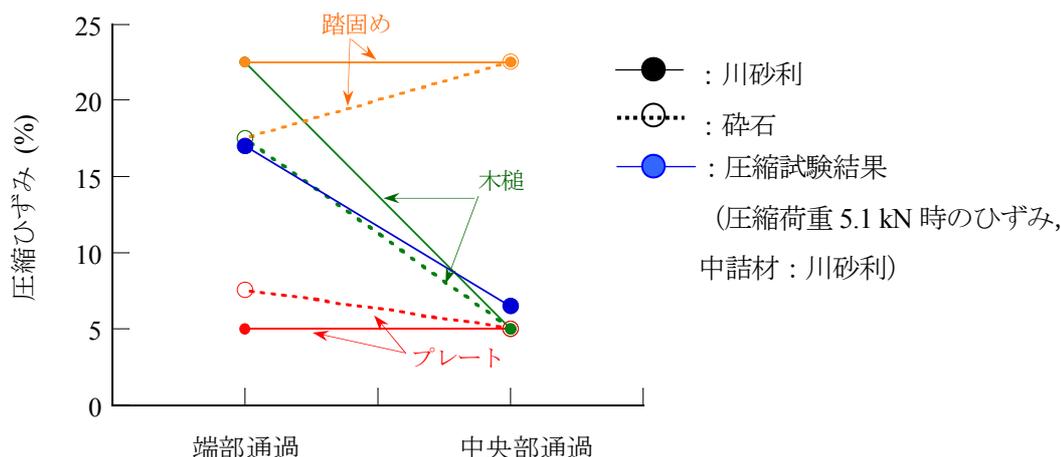


図 3-22 タイヤ通過箇所と走行回数 150 回時のひずみ

プレートの調達が困難な現地では、代替として踏固め、もしくは木槌の打撃による締固め方法が考えられる。その効果を検証する。ここで、変形収束時（走行回数150 回時）に生じるひずみ量を、タイヤ通過箇所（「土のう」の端部（図3-19中A）と中央部（図 3-19中B））と、3 通りの締固め方法、中詰材が川砂利と砕石の場合で図 3-22で比較検討する。

まず、中詰材に川砂利を用いた場合について検討する。プレートで締固めた時はタイヤ走行箇所が土のう中央部でも端部でも大きな差は見られず、150 回走行後のひずみ量は約5.0%であった。

踏固め時は中央部、端部走行の場合で20.0%以上のひずみが発生し変形が大きい。

木槌で締固めたケースは中央走行時は5.0%でありプレートによる締固めケースと近い値を示すが、端部走行の場合では22.5%のひずみとなる。端部における締固めが十分でなかったことを示す。プレート時と同等の締固め効果を得るには、「土のう」端部の打撃回数を増やすなど入念に締固める必要がある。

これまで中詰材に川砂利を利用した場合について述べてきたが、図 3-22より、砕石を中詰めした場合も同様の傾向を示すことがわかる。

以上より、中詰材に川砂利を利用し木槌の打撃により締固められた「土のう」は、砕石で中詰めされプレートで締固められた「土のう」と、中央部輪荷重作用下で同等の変形特性を持つと言える。

3.4の圧縮試験で、川砂利を中詰めした「土のう」の中央部と端部に、輪荷重作用時と想定される圧縮力が5.1 kNを示すときのひずみを図 3-22にあわせて示す。中央部分載荷では6.5%，端部部分載荷では17.0%である。走行実験では木槌による締固め時に中央部通過時に5.0%，端部通過時には22.5%とひずみが生じており両者の結果はほぼ定量的に一致するといえる。

(2) 中詰材の種類と「土のう」変形量

木槌の打撃による締固めで、「土のう」中央部をタイヤが走行した時に、変形量が収束する走行回数とそのときの変形量を中詰材の種類別に図 3-23で比較する。収束時のひずみは、砕石、川砂利ともに5.0%であり、それに至る走行回数は5 回と10 回である。砕石と川砂利を中詰材に利用した場合、「土のう」の変形については同様の性質を示す。中詰材がまさ土の場合は、50 回走行以降、ひずみ量は10.0%で一定となり収束している。他の2 種類の中詰材での挙動に比べて、収束に至るまでの走行回数、収束時のひずみの値が大きくなっている。

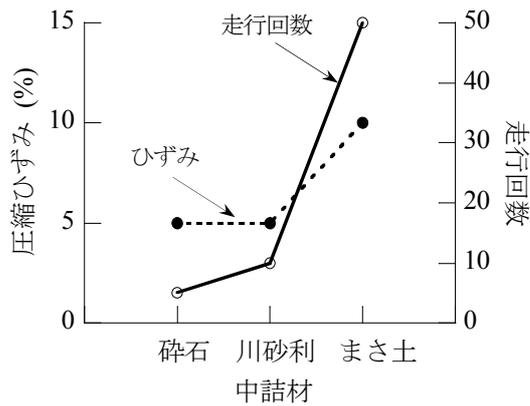


図 3-23 変形収束時のひずみと走行回数
(締固め方法：木槌)



写真 3-2 走行実験状況

以上の結果から、現地で調達可能な中詰材として川砂利を用い、木槌の打撃による締固め方法の適用性が確認された。ただし、土のう端部の締固めには留意する必要がある。

なお、川砂利が施工箇所近くで調達できない場合、まさ土のような砂分をより多く含む土質材料を利用せざるを得ない。この場合図 3-23で示したように生じるひずみ量が大きくなることから、形成された轍部に砂を補充する、「土のう」を置換するなどの維持管理の頻度が大きくなると考えられる。

3.5.5 粘性土地盤上走行実験の概要

現地の雨季に通行不能となるような軟弱地盤を想定し、幅3.0 m、延長5.0 mの範囲で深さ方向に0.5 m、粘性土で置換した実験ヤードを作成した。この粘性土の液性限界時の含水比は75.0 %、塑性限界は25.0 %である。実験前の粘性土地盤表面の含水比は40.0～42.0 %であった。

トラフィカビリティーを確認するため、ポータブルコーン貫入試験を実施し、地盤のコーン貫入抵抗を計測した。深さ0.1 mの範囲では600.0 kN/m²未満であり表面は泥濘化している。また、深さ0.5 mの範囲でもコーン貫入抵抗は1,000.0 kN/m²未満となり、支持力不足のために、トラフィカビリティーを確保するのが困難な地盤であるといえる⁵²⁾。この軟弱地盤上に「土のう」を敷設し車両を走行させた。

計測項目は走行回数と路面沈下量である。沈下量の計測方法は、アスファルト舗装上走行実験と同様である。

中詰材には先の舗装上走行実験で用いたものと同様のまさ土、川砂利、砕石の3種類である。

「土のう」の敷設はアスファルト舗装上走行実験と同様に図 3-19 (a), (b)に示すような配列としており、沈下量計測箇所では車両片輪は「土のう」中央部に、他方は「土のう」端部を通過するようにした。

「土のう」を各層敷設後、プレートで4往復して締固めた。走行車両は最低地上高150 mmの乗用車であり、散水せずに実験を実施した。走行実験の様子を写真 3-2に示す。

3.5.6 粘性土地盤上走行実験の結果と考察

(1) 中詰材の種類と走行性

図 3-24に20回走行後の道路横断方向の路面沈下量を示す。中詰材の種類に係わらずタイヤ通過箇

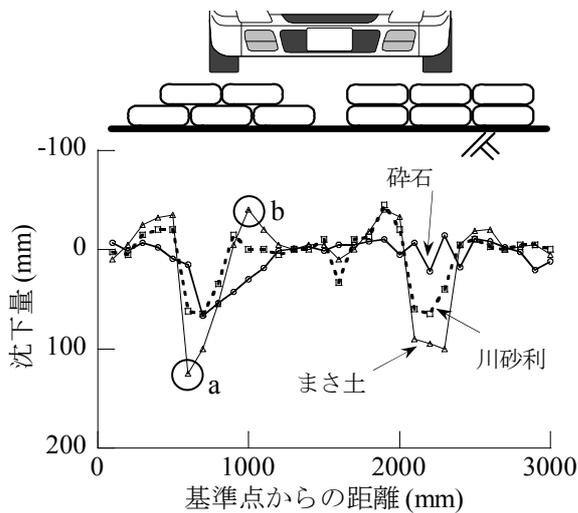


図 3-24 路面沈下量(20回走行時)

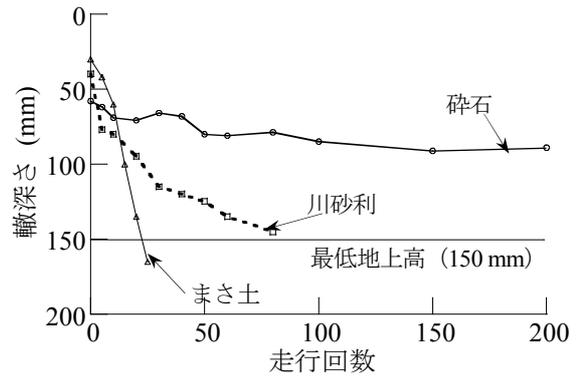


図 3-25 轍深さ～走行回数関係

所での沈下量が大きく、その近傍では隆起している。基準点からの距離が750 mmの近傍では「土のう」端部を、2250 mmの付近では「土のう」中央部をタイヤが通過している。ここではアスファルト舗装面とは異なり、粘性土地盤にも変形が生じている。タイヤが「土のう」中央部、端部を通過した場合で沈下量の出方に明確な差は見られなかった。これは、路面変形量が大きくなり走行時にタイヤの通過箇所が「土のう」中央部、端部と一定の位置にくるとは限らず、ずれが生じているためであると考えられる。

最深部の沈下量は、まさ土の場合に最大となり、以下、川砂利、砕石の順となる。中詰材が砕石である時、走行に伴う轍の形成が最も抑制されていると言える。ここで使用した車両の最低地上高は150 mmであり、路面の凹凸差が150 mm以上になると車体底部が路面と接触し走行不能となる。各中詰材について、轍深さを隆起部最高点と最沈下点（中詰材がまさ土の場合では図 3-24中b点とa点）の高低差として、走行回数との関係を図 3-25に示す。

これより、まさ土では20回走行以降に、川砂利では80回走行時に轍深さが約150 mmとなり走行不能となった。

砕石では200回走行時でも轍深さは100 mm以下であり走行性が確保されている。

(2) 粘性土地盤の様子と「土のう」変形量

中詰材を川砂利としたケースでは80回走行後、車両底部が轍と接触し走行不能となった。その後「土のう」を撤去し、「土のう」表面沈下量計測時と同じ平面位置で粘性土地盤表面の沈下量を計測した。路面沈下量と粘性土地盤沈下量を図 3-26に示す。

粘性土地盤は最沈下点で45 mmの沈下量、隆起部の最高点で55 mmの隆起量となり、100 mmの高低差となった。

一方、路面では沈下量95 mm、隆起量60 mmであり、155 mmの高低差となっている。路面での最沈下点と粘性土地盤上での最沈下点は、車両走行に伴い「土のう」が平面方向にずれ「土のう」間に隙間が生じ、その部分の粘性土地盤が隆起するなどのために、必ずしも一致しない。しかし、ここでは路面沈下量と粘性土地盤沈下量の差（図 3-26中、Hの部分）を「土のう」2層分の変形量とする。これを舗装上実験における、プレートで締固めたケースで80回走行後に計測されたひずみ量と図 3-27

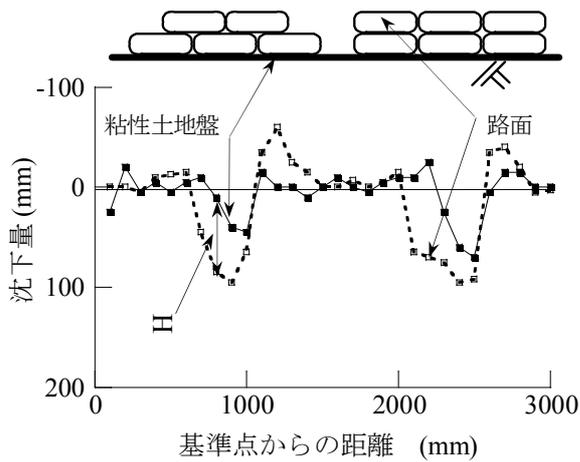


図 3-26 80 回走行時の路面，粘性土地盤沈下量
(中詰材：川砂利)

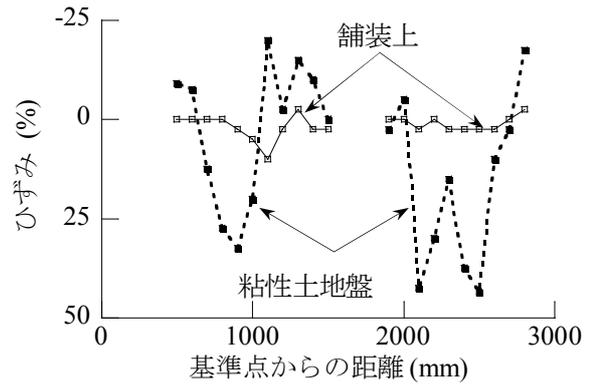


図 3-27 80 回走行時の「土のう」変形量
(中詰材：川砂利)

で比較する。走行回数は両者とも80回である。路床が粘性土の場合、「土のう」を介して輪荷重が伝わり粘性土地盤に沈下が発生する。そのため「土のう」自身の変形量は50.0%近くまで大きくなる。一方、舗装面は輪荷重作用時に沈下は生じないとみなすことができ、「土のう」自身の変形量は5.0%とわずかである。このように軟弱地盤上で「土のう」を敷設し輪荷重が作用すると、「土のう」自身の変形が進むことがわかる。

硬い盤上の締固められた「土のう」に外力が作用すると、中詰材が正のダイレイタンスをおこし、また「土のう」は扁平に変形しようとする。その結果、袋材には直ちに張力が生じ、中詰材に拘束応力が作用することで「土のう」の耐力が発揮され、変形量も抑制される。

一方、軟弱地盤上に置かれた「土のう」に外力作用時には、荷重が伝達され軟弱地盤が変形するとともに「土のう」自身の変形も進む。

そこで粘性土地盤上にシート、板状のもの、ワラなどを敷設するなどして面的に荷重を伝達することで粘性土地盤の沈下を抑制する。その上で「土のう」を敷設すると、「土のう」自身の変形が抑えられさらに走行性維持に寄与できると考えられる。今後これらの対策についてもその有効性を検証する。

3.5.7 改修効果比較走行実験の概要

これまでの実験結果より、開発途上国農村部で住民自身が「土のう」により道路改修を行うには、現地材料を利用することを前提とせざるを得ない以上、中詰材には川砂利を用い、木槌による締固めを行うことが有効であると言える。ここでは、現地で実施可能な施工方法と改修標準断面を提案する。そして川砂利のみを敷設した道路断面（砂利道）と「土のう」を敷設し路盤を構築した道路断面とで走行実験を行い、その改修効果を比較検討する。

川砂利のみを敷設することは、砂利道の構築と同等である。砂利道表層には図 3-28に示すような範囲の粒度分布の材料を用いることが有効とされている³⁰⁾。今回実験で利用した川砂利の粒度分布を調べるとこの範囲内にあることがわかった。砂利道の施工にあたっては材料の選定の他に締固めの過程が重要である。「土のう」厚さと同等の厚さ10 cmの砂利層の締固めには、ローラーなど機械を用いた場合には十分締固めることが可能であるが、人力による踏固めや木槌の打撃では締固めエネルギーが消散し、十分な締固めを行うことは難しいと考えられる。この点、「土のう」は3.2で示したように中

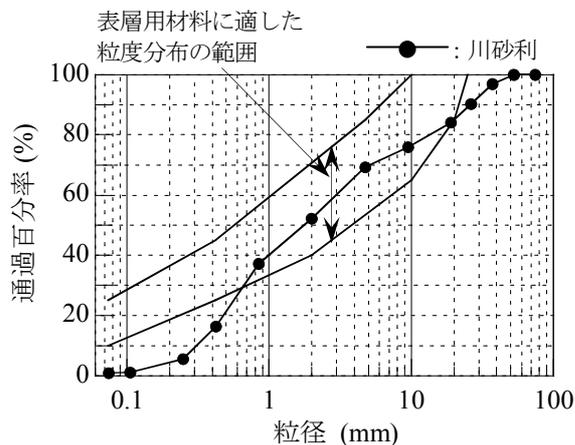


図 3-28 表層用材料に適した粒度分布と川砂利の粒度分布

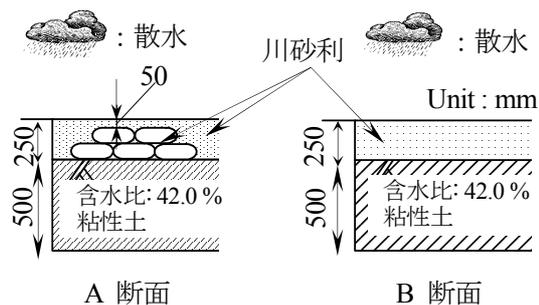


図 3-29 道路改修断面

詰材が土のう袋に包まれることで、一つ一つの「土のう」が人力による締固めを受けて十分に強度を發揮する。

このように施工性の面からも「土のう」を利用することは有効であると考えられる。

図 3-29に2通りの改修断面を示す。左右対称であるから半断面で示す。粘性土地盤の物性は3.5.5粘性土地盤走行実験と同様である。

A断面は粘性土地盤上にタイヤが通過する箇所に「土のう」を敷設し路盤を構築した。さらに「土のう」袋がタイヤとの摩擦により破断するのを防ぐために、川砂利で厚さ50mmとなるよう表面を被覆した。中詰材の川砂利が土のう袋により拘束され耐荷力を發揮するので、轍の形成は抑制されると予想される。

B断面は粘性土地盤上に厚さ250mmとなるよう川砂利を撒出した。A断面の整備部分と同じ厚さである。車両走行に伴い川砂利が周囲に広がり消失し、整備効果が持続しないと考えられる。

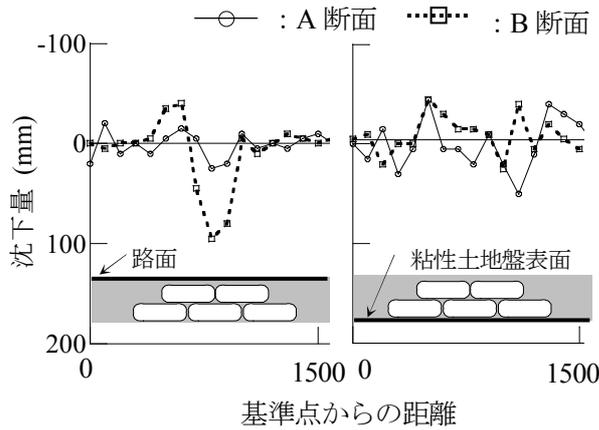
A断面では「土のう」各層敷設後に、3.5.4アスファルト舗装上走行実験結果を踏まえて「土のう」1袋につき木槌により10回打撃し締固めた。その後さらに「土のう」外周沿いを10回打撃し、端部においても中央部と同等の締固め度が得られるようにした。その後被覆材を撒き出した。

B断面では撒出厚が100, 200, 250mmの時点で木槌により締固めた。試験前に、時間降水量40mmの雨が30分間降り続いた場合を想定して、散水した後直ちに最低地上高150mmの乗用車により走行試験を行った。

3.5.8 改修効果比較走行実験の結果と考察

図 3-29中A断面, B断面における10回走行時の道路横断方向の路面沈下量を図 3-30 (a)に示す。左右対称であり半断面で示す。10回走行時にB断面では、轍深さが約150mmとなり、車体底部が路面と接触したため通行不能となり、この時点で実験を終えた。10回走行時のA断面での轍深さは50mmでB断面での轍深さの約33.3%に抑えられている。A断面ではその後も走行実験を続け、200回走行時に轍深さは125mmとなり、轍形成は100回走行以降収束傾向にある(図 3-31)。以上をふまえて現地で施工する際には、A断面を標準断面として提案する。

走行試験終了後、川砂利、「土のう」を撤去し路面沈下量計測箇所と同じ平面位置で、粘性土地盤表面の沈下量を計測した。結果を図 3-30 (b)に示す。A, B断面で、同走行回数後の粘性土地盤表面の



(a) 路面沈下量 (b) 粘性土地盤表面沈下量

図 3-30 路面・粘性土地盤地表面沈下量(10回走行時)

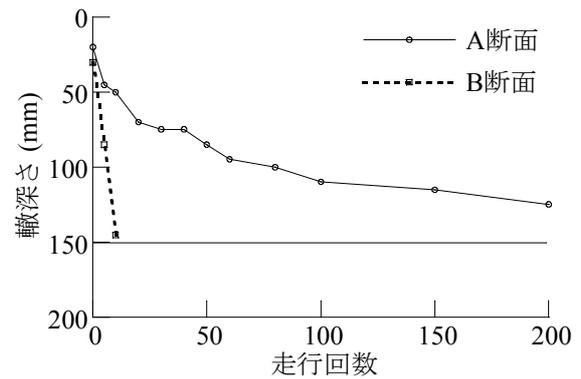


図 3-31 轍深さ～走行回数関係

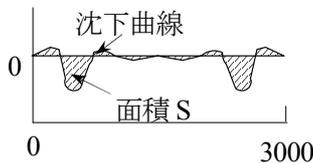


図 3-32 面積 S 算出図

表 3-2 面積 S 比較表(10回走行後)

	A 断面	B 断面
路面沈下曲線	1	1.74
粘性土地盤沈下曲線	1	0.97

変形量を比較するため、A 断面では再度同条件で走行試験を行った。10 回走行後に被覆層の川砂利、「土のう」を除去し粘性土地盤表面の沈下量を計測している。

ここで図 3-30 (a), (b)において、基準点からの距離が0 から3000 mmの範囲で、各沈下曲線と沈下量0 を示すラインとで囲まれた部分の面積S (図 3-32) を算出した。A 断面での面積Sを1とした時の B 断面での面積Sを表 3-2にまとめた。この面積は各々、計測断面における路面と粘性土地盤表面の変形量を示す。表 3-2より、A, B 断面で粘性土地盤表面の変形量には大きな差は見られなかった。一方、路面変形量には大差があることから、路盤部、土のう2層と川砂利の被覆層を合わせた部分の変形量と、砂利のみ厚さ250 mmの部分の変形量に大きな差が生じているといえる。A 断面では川砂利が土のう袋に拘束されており路面沈下量は抑制されるが、B 断面では車両走行に伴い川砂利が周囲に広がり図 3-30 (a)に示すような路面に大きな沈下と隆起が生じた。

このように、「土のう」で改修した道路断面では、土のう袋の拘束効果が発揮されており、川砂利を敷設したのみの道路断面に比べて通行性を確保する改修効果が大きいといえる。

3.5.9 間詰材と表層被覆材の効果の検証

ここで、3.5.5 粘性土地盤上走行実験の断面 (a 断面とする) と3.5.7 改修効果比較走行実験の断面 (b 断面とする) を図 3-33に示す。同じ地盤、交通荷重という条件で走行試験を実施しており、中詰材には同じ川砂利を用いている。締固め方法はプレートと木槌の打撃による違いがある。3.5.4(1)で見たように木槌による場合、「土のう」端部を入念に締固めることでプレートで締固め時と同等の締固め効果が得られると考えられる。よってこの両者の実験結果を比較し「土のう」周囲の間詰材と表

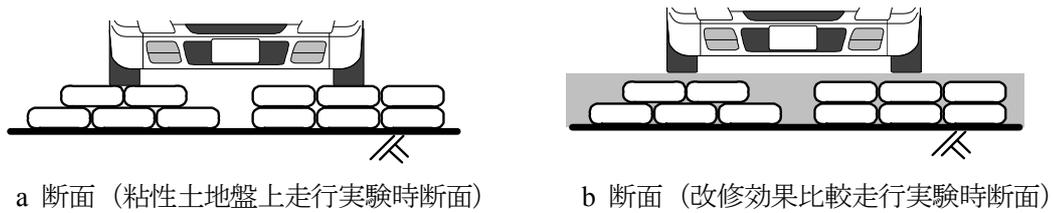


図 3-33 走行実験道路断面の比較

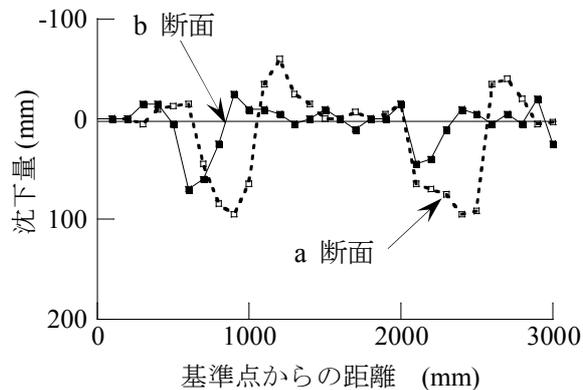


図 3-34 80 回走行時の路面沈下量 (a 断面と b 断面)

層（厚さ5 cm）の効果を検証する。

中詰材が川砂利のとき、80 回走行終了時の道路面沈下量を図 3-34に示す。ここで図 3-32に示す面積 S を算出し比較検討する。a 断面の「土のう」のみのときに沈下曲線と水平軸との囲まれた面積 S を1とすると、b 断面の間詰材、土のう表面を被覆した時には0.4となる。表層の荷重分散効果と「土のう」間の間詰め効果により路面変形量が抑制されていることがわかる。

「土のう」間詰材を敷設し、「土のう」表面はタイヤ摩擦の影響を除去し、かつ荷重分散効果を得るため5 cmの厚さで被覆することが有効である。

3.6 「土のう」による改修道路の耐久性

ここでは、図 3-29 A断面のように「土のう」を用いて改修された道路の耐久性について検討する。

土のう袋材がポリエチレン製の場合、地中にあっても表面が砂利により被覆されていれば、タイヤ摩擦を直接受けることなく、破れることはない。また、輪荷重を受けて繰返し引張力が作用するが、3.3で検証したように袋の破断には至らないと考えられる。よって袋材の拘束効果は持続し、通行性も維持される。従って、被覆層の砂利の供給を行うことが維持管理上重要となる。なお、本研究で対象としている日交通量50 台未満の農村接続道路においては、日常的な維持管理をしながら通行性を確保していくことが不可欠で、経済的となる²⁸⁾。

ここで実物大走行実験では200 回走行までの通行性を把握しているが、沈下量が収束傾向にあることからそれ以上走行回数が増えても通行性は維持されると考えられる。また、従来車両の通行は困難とされていた軟弱地盤条件下でも、「土のう」の敷設により走行性を確保しうる可能性がある。そして、振動ローラーやプレートコンパクターなどの締固め機械の利用ができない人力施工によるしかない場

合、砂利などを撒き出すのみの方法に比べて通行性を確保する改修効果が大きいことが、本論文に示した実験結果より言える。

本研究では、開発途上国農村部の未舗装道路の通行性確保を目的としている。経済事情を考慮すると、農道を、高価なアスファルト舗装などと同等の長期安定性を有する工法で整備することは現実的ではない。本研究での提案は、現地材料を用い人力施工を原則とし、最大限の改修効果が得られる道路整備手法を開発し、この手法を用いて現地住民自身による持続的な維持管理により通行性を確保しようとするものである。その手法の1つがこれまで本論文で述べてきた「土のう」による整備手法である。「土のう」のようなシンプルな技術であるからこそ、住民自身が道路整備に参画することができる。このことがオーナーシップを醸成し、持続的な維持管理につながると考えられる。その維持管理を通して、長期的に通行性が確保される。

また、土のう袋材に、3.2で述べたようにサイザル麻など自然素材を「土のう」袋材として用いることを検討している。この場合、地中においてバクテリアなどの効果で袋が消滅する可能性がある。その場合には、定期的に土のう自体の入替作業も必要となる。今後その頻度について照査していく。

3.7 結論

本章では開発途上国において住民参加型で未舗装道路の年間通行性を確保する手法として、「土のう」による道路改修方法の開発の過程を説明した。

これまで「土のう」は擁壁や建物基礎地盤の補強などの用途に応用されてきた。本研究では、未舗装道路の通行性確保のために道路の路盤材として利用する。道路構造へ適用するには、軟弱地盤上に敷設された「土のう」が輪荷重作用下で示す挙動を把握する必要がある。また、開発途上国で住民自身が道路整備に参画し持続的に維持管理できるように、現地調達可能材料を活用し、人力による施工方法を検討しなければいけない。

以上の点を留意し、「土のう」による道路改修方法の開発に向けて材料試験、実物大走行実験を進めた。これらの結果から得られた知見についてまとめる。

- 1) 開発途上国で調達可能な袋材として、砂糖や米用に利用されているポリエチレン製袋の土のう袋への適用性を検討した。また、農村部で麻の栽培から袋の加工まで行う中小企業の活性化の効果を期待し、環境にやさしい材料としてサイザル麻袋の利用も検討した。その結果、これらは十分な引張強度を有しており、最大積載時の2t車の輪荷重に対しても耐えうることが確認された。
- 2) 圧縮試験結果より輪荷重作用時の「土のう」の変形挙動を把握した。「土のう」端部に輪荷重が作用する時には変形量が大きくなる。道路に敷設する際には、タイヤ走行方向に「土のう」端部が連続しないよう図 3-16に示すような配列とする。
- 3) 「土のう」中詰材には、川砂利を利用することを検討した。川砂利を中詰材とした「土のう」は、輪荷重作用下の変形量は碎石を中詰材とした場合と同様の傾向を示す。
- 4) 木槌により「土のう」を打撃して締固めることで、プレートによる時と同等の締固め効果を得ることができる。このとき「土のう」の中央部のみならず、端部においても入念に打撃により締固めを行うことが大切である。
- 5) 軟弱地盤上の未舗装道路の通行性を確保するための改修断面を提案した。タイヤ通過箇所には2層「土

のう」を敷設し、表面を5 cmの厚さで被覆する（図 3-29 A断面）。

- 6) 軟弱地盤上に「土のう」を敷設した道路断面では、同厚分の川砂利を敷設したのみの道路断面よりも、10 回走行時に輪荷重が作用して道路表面に生じる沈下量は、約33 %に抑制される。この時、川砂利敷設断面では車両走行不能となったが、「土のう」敷設断面では200 回走行時でも走行性を維持している。沈下量が収束傾向にあることからさらに走行回数が増えても走行性が維持されると考えられる。「土のう」敷設による補修効果が高く、軟弱地盤上の未舗装道路の通行性維持に有効であることがわかる。
- 7) 「土のう」による改修断面の、表面被覆層の砂利を補充するなどの日常的な維持管理により、「土のう」による改修効果が持続される。
- 8) 間詰材や表層被覆材は路面沈下量抑制に有効である。ここでは中詰材、間詰材、被覆材が川砂利の場合にその効果を検証した。川砂利の採取が困難な場合に砂質土などの現地発生土を利用するときでも、間詰めや表層被覆によって「土のう」による走行性の維持能力が補強されると考えられる。

続いて、本章で開発した「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法により、実際に開発途上国農村部にて現地住民らの参加のもと農道整備を進めた。ここでの課題は下記の通りである。

- 1) 現地での施工性、経済性の向上
- 2) 現地住民が持続的に道路整備を実践する仕組みづくり
- 3) 「土のう」による農道整備手法の普及方法

第 4 章ではパプアニューギニアの内陸山間部における、「土のう」による未舗装道路整備手法の適用事例を報告する。上記の課題のうち、特に1), 2)について検討した事例を述べる。そして第 5 章ではフィリピン、ケニアでの「土のう」技術の適用事例について述べるが、ここでは特に上記の3) の課題について重点をおく。そして、実施工を踏まえ施工歩掛、材料数量をまとめ、「土のう」による未舗装道路整備手法を、開発途上国の農道整備の一手法として確立した。

第4章 パプアニューギニア農村部での「土のう」による 住民参加型未舗装道路整備手法の適用

4.1 概説

第3章では、開発途上国農村部の未舗装道路を雨季でもトラフィカビリティが確保されるように、住民参加で維持管理することができる「土のう」を用いた未舗装道路整備手法の開発を進めてきた。日本国内での材料試験や実物大走行実験を通して改修効果を検証し、標準断面、施工方法を提案した。本章では、実際に「土のう」を利用した道路整備手法をパプアニューギニア独立国農村部に適用し、住民参加で道路整備を実施した時の施工性・経済性を評価した^{53),54)}。さらに住民が持続的に道路を維持管理していくためには何が必要であるかを考察し、確立したモデル事例を紹介する。

農村部住民へ「土のう」による未舗装道路整備手法の技術移転し、道路維持管理体制構築のため、表4-1に示すスケジュールでフィールドワークを実施してきた。日本とは生活、文化、社会環境が全く異なるが、複数回にわたり同じ村を訪れることで現地住民と信頼関係を築くことができた。その結果、現地での活動はスムーズに実施された。

4.2 パプアニューギニア独立国

パプアニューギニアは日本の南約 5,000 km に位置する（図4-1）。世界で2番目に大きな島ニューギニア島の東側半分と600あまりの島々からなる。熱帯性気候に属し、乾季（6月～11月）と雨季（12月～5月）があり（ただしパプアニューギニア国内でも地域差あり）、気温は年間を通してほとんど変化がない。沿岸部の首都ポートレスビーで平均気温は年間で26度から28度で、年間降水量は約1,200 mmである⁵⁵⁾。

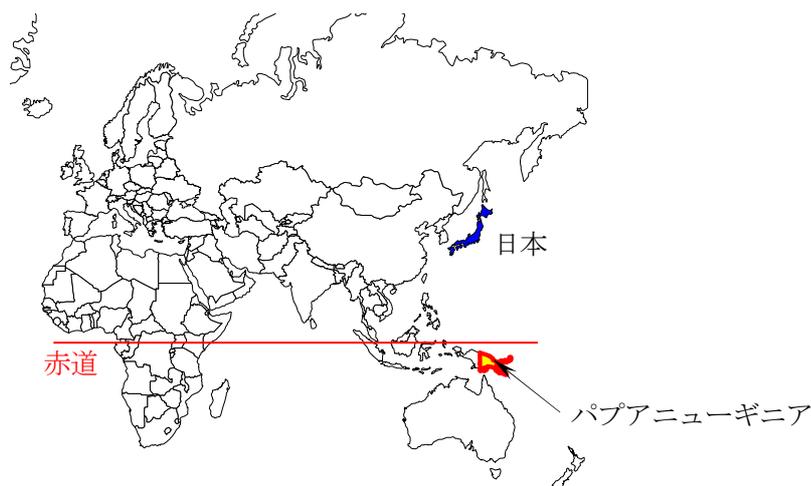


図 4-1 日本とパプアニューギニアの位置関係

4.2.1 基本情報

以下にパプアニューギニアの基本データを示す⁵⁵⁾。

- 1) 国名：パプアニューギニア独立国
- 2) 面積：462,840 km²（日本の約 1.25 倍）
- 3) 人口：約 518 万人（日本の約 1/25）
- 4) 人種：メラネシア系が主。500 の種族がいるといわれる。
- 5) 宗教：一部の山村では伝統的原始宗教があるが、キリスト教が広く普及している。
- 6) 言語：公用語は英語，共通語はピジン英語及びモツ語だが，全国で 500 以上の言語が使用されている。
- 7) 独立年月日：1975 年 9 月 16 日
- 8) 政体：英国女王を元首とする立憲君主制（当国人の総督が王権を代行）

基幹産業は農林業と鉱業である。主要農林産物はコーヒー，コプラなど，また主要鉱物は銅，原油，天然ガスである。

多くの種族が存在することが特徴で，現在でも部族間闘争は絶えない。統一国家であるものの国民意識が全く浸透していないといわれており⁵⁶⁾，また公共性の概念も持たないと思われる。行政の中核にいる政府高官らも同様であり，その結果，行政サービスが十分機能していない。独立前は統治していたオーストラリア政府により，道路などインフラの整備は実施されていた。しかし独立後 30 年以上たった現在，パプアニューギニア政府は十分な予算を持たずインフラ整備が進まないために，道路環境が独立前よりも悪化するという逆行現象が起こっている。

したがってこのような国で，政府や援助機関を当てにするのではなく，まず自分たちで身近な道路の整備を進めようとすることは生活環境改善に向けた大きな一歩であるといえる。

4.2.2 人間開発指数

表 4-2 に人間開発指数算出のための指標について示す。なお，日本のデータも併せて示す⁵⁷⁾。表 4-2 より，パプアニューギニアは一人当たりの GDP の値は低所得経済圏にあるものの，鉱物に恵まれるため，その中では比較的高い値となっている。

一方，成人識字率が 57.3 %，総就学率が 40.7 %と低い値となっている。基幹産業である農業により食料は自給自足できるものの現金収入が十分でなく，子供の養育費を準備することができない。そのため，子供たちは学校へ行くことができず，十分な教育が受けられていない。また，学校の先生も給料日には授業をしないなど，教員の質，教育システムに大きな問題がある。

表 4-2 パプアニューギニアの人間開発指標⁵⁷⁾

平均余命	成人識字率	総就学率	一人当たり GDP
55.7 才	57.3 %	40.7 %	2,543 US\$
138 位(177)	112 位(128)	156 位(172)	121 位(172)
82.2 才 *	99.0 % *	85.5 % *	29,251 US\$ *

()内は全統計数を示す。

*：日本のデータを示す。

4.2.3 地方行政単位

地方行政単位は中央政府の National Government の下に 20 の Province (州), さらに 89 の District (県) に分かれる. 国会は各 Province から 1 名選出される Governor と, 各 District 代表の Member of Parliament の合計 109 名で構成される. 各 District は Local Level Government, Ward, Village から構成される⁵⁸⁾ (図 4-2 参照). 各国会議員は政府より District Road Improvement Program という名目の予算が割り当てられており, 自分の出身 District 内の道路維持管理に充てることができる. 2006 年度予算では国家歳出が約 2,000 億円で, そのうち約 0.75% にあたる 15 億円が District Road Improvement Program に充てられている⁵⁹⁾. 1 つの District に対し約 1,700 万円となる. そこで農村接続道路の整備にあたり「土のう」による道路整備手法を採用する際には, 土のう袋材や砂利代, その運搬費などをこの予算から捻出し, 労働は住民らがコミュニティワークとして無償で行うというモデルの確立を目指した.

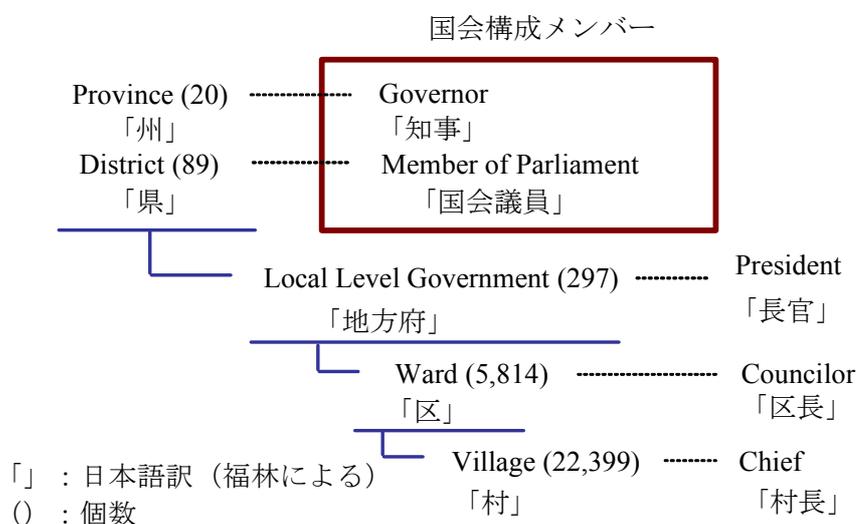


図 4-2 地方行政単位⁵⁸⁾

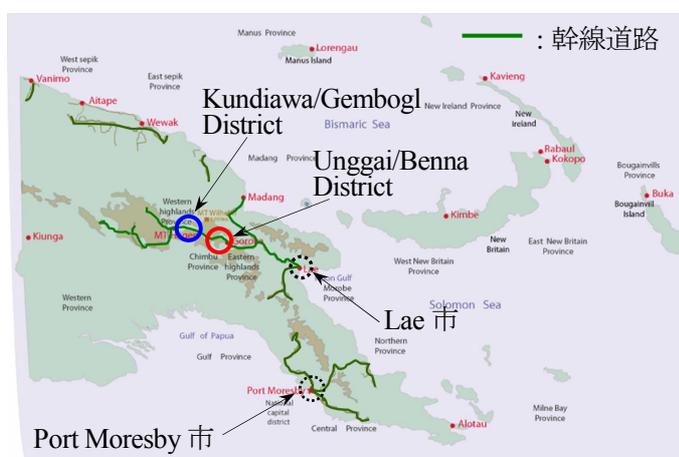


図 4-3 幹線道路網と施工箇所

4.2.4 道路管理体制

都市間を結ぶ幹線道路は外国資本の（アジア開発銀行， オーストラリア， 日本など）援助で建設されている。しかし， 図 4-3 で示されるように， 首都 Port Moresby 市とこの国一の工業都市である Lae 市間を結ぶ道は無く， 幹線道路網でさえ未発達な状態である。既設の道路の維持管理に追われ， 新たなネットワークのための幹線道路の建設は進んでいない。

この国の社会資本整備は Department of Works が担当している。各 Province にその出張機関である National Works の事務所があり， 国道の維持管理を担当している。しかし， 建設資材や機械を常備しておらず， 災害時など臨機応変な対応ができない。国道以外の道路は Provincial Works が管理しているが， 予算不足のためほとんど機能していない。

20 世紀初頭までの， 西洋文明に触れる前のパプアニューギニア国内の主な交通は人や家畜の往来が中心で， 道路はその交通荷重に耐えるもので十分であった。そこへ植民地政府により突然自動車もたらされ， 自動車交通に耐えうるよう道路整備が進められてきた。プランテーション農業が展開されたことから⁶⁰⁾， 農村部へも道路が建設された。農村部の道は未舗装ではあるが， 砂利敷設やグレーディングにより整備され自動車の走行性は確保されていた。しかし， その道路整備のノウハウはパプアニューギニアの人々に浸透しなかった。

独立後， 道路の維持管理はパプアニューギニア政府に委ねられたが前述したように， 十分な経済力がなく特に農村部道路については， 全く日常的な維持管理が行われていない。住民も自分たちで自動車の走行性を確保するための有効な道路整備の手段を持たず， また行政サービスを待つ姿勢がしみつき， 公共性の概念も持たないため道路は整備されないままとなる。その結果， 道路状況は悪化している。そのため換金作物の流通がうまくいかず， 農村部の貧困が改善されないという悪循環に陥っている。

そこで， このようなパプアニューギニアの経済， 道路事情を踏まえ， いくつかの農村部にて「土のう」による住民参加型道路整備を提案した。次章以降で施工性， 経済性について評価し， さらに持続性のために実施した技術移転時の工夫と確立したモデル事例を報告する。

4.3 Kundiawa/Gembogl District における施工事例

現地在住日本人より， 登山に訪れた際の途中の道の状況がひどく， 安価で住民自身で実施可能な道路整備手法はないかと相談を受けた⁶¹⁾。そこで 2005 年 9 月に 3 日間， パプアニューギニア内陸部（図 4-3 参照）の Chimbu Province の州都である Kundiawa 市の近くの村で， 住民らとともに「土のう」による未舗装道路整備作業を行った。この村は Kundiawa/Gembogl District に属す。その約 3 ヶ月後の 12 月に同箇所を訪れ路面状況， 維持管理状況を確認した。いずれの時期も乾季とされるが， 滞在中一時的に降雨が観測された。

4.3.1 施工対象道路

施工対象道路の様子を図 4-4 に示す。市場のある Kundiawa 市とパプアニューギニア最高峰の Mt. Wilhelm（標高 4,508 m）を結ぶ全長約 40 km の国道である。従って National Works の管理下にある。この山には海外からも登山客が訪れる。しかし， 道や途中にかかる橋の整備がされておらず， 車の故

障や通行障害による行程の遅れが危惧されている。また沿線の Gembogl 村では、その気候や地形の特徴を活かし、タマネギやイチゴの栽培がさかんである。しかし、降雨時には Kundiawa 市内の市場まで道が悪く車では運搬できない、またバイヤーも買い付けにくることができないため、換金できず腐らせてしまうものがある。この道が整備されれば、観光客の数が増え、また収穫物が換金される機会も増えるのでその経済効果は大きいと考えられる。

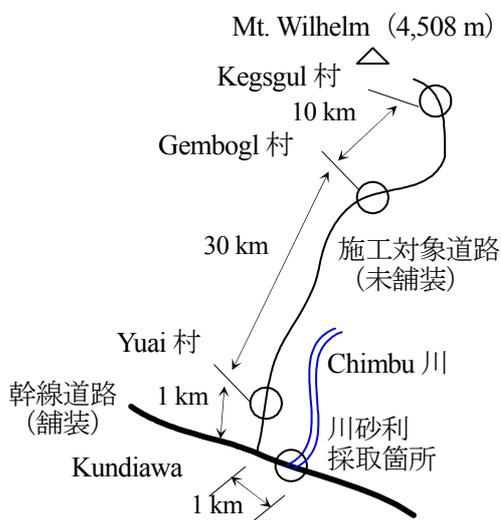
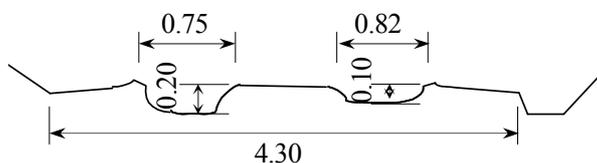


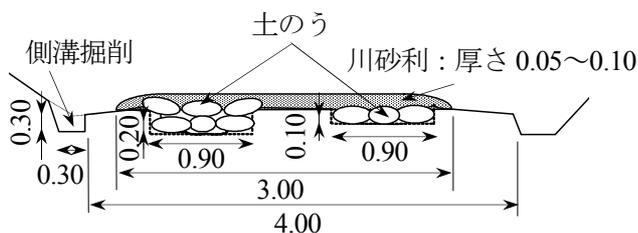
図 4-4 施工対象道路



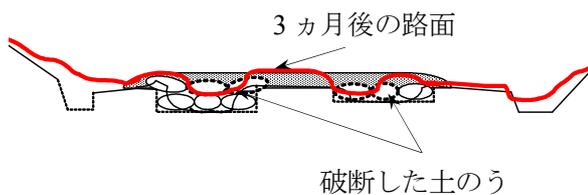
写真 4-1 道路状況 (整備前)



(a) 施工前



(b) 施工直後 (単位: m)



(c) 施工3ヶ月後

図 4-5 道路断面

この道沿線には約 80 の村があり約 15,000 人が暮らしている⁵⁸⁾。タウンに最も近い Yuai 村で交通量調査を実施したところ、時間最大交通量は 14 台で、日交通量は 78 台であった。交通量より、維持管理はコミュニティのレベルを超え、地方行政が積極的に維持管理の責任を負うような主要道路に位置づけられる²⁸⁾。通過車両は 4 輪駆動車や 2t トラックが主で、人や荷物を満載し走行している。

施工区間の作業前の道路断面を図 4-5(a)に、道路状況を示す。道路幅員が 4.30 m と広いため通行車両のタイヤ走行箇所は一定とならず、0.75 m～0.82 m の幅の広い轍が形成されている。また排水溝が機能しておらず、轍部分には雨水が溜まり路面は泥濘化しており路床は砂礫質細粒土である。厚さ約 0.1 m～0.2 m 程度の泥濘分を除去すると、これまでの整備作業で撒き出されてきたレキ混じりの層が現れる。

4.3.2 資材調達方法

(1) 土のう袋

土のう袋 1,000 袋を日本から運搬するとともに、同様のサイズで現地入手可能なポリエチレン製の袋 1,000 袋を用意した。これは Lae 市内（図 4-3 参照）において砂糖用袋として生産されているものである。日本で一般的に利用される土のう袋では、あらかじめ口部に紐が付けられており、中詰材投入後に縛ることで中身が漏れないようにすることができる。一方パプアニューギニアで生産される砂糖袋には、紐は取り付けられていない。別途紐を用意し、それで口部を結び固定する。施工前に袋材の適用性を確認するため、引張強度試験を実施し引張強度を確認している。袋の諸元を表 4-3 に示す。パプアニューギニアで生産される袋サイズは日本国内で一般的に利用される袋サイズとほぼ同等であるが、単位長さあたりの構成繊維数（織密度）が大きいことから、単位面積重量は大きく引張強度も日本で利用されるものよりも大きい。

(2) 中詰材

第 3 章で見たように、路面沈下量抑制には土のう中詰材には碎石が最も有効であるが、川砂利もそれに準ずる効果があることを確認している。現地では、碎石工場が整備箇所の近くに存在せず、碎石を利用するには積込費用や運搬費がかかる。そこで、施工箇所から約 2 km の距離の河原から、川砂利を採取し利用することとした。粒度調整はせず、粒径約 40 mm 以下のものを目視で判断し使用した。砂利の値段を河原の地主との交渉により、1 m³あたり 140 円とした。

表 4-3 土のう袋の諸元

項目	単位	日本国内	パプアニューギニア
名称		輸入土のう	砂糖用
生産国		中国	パプアニューギニア
サイズ	m	0.60×0.48	0.63×0.46
重量	g/ 袋	46.0	52.2
単位面積重量	g/m ²	79.9	90.8
織密度	本/2.54 cm	9	13
引張強度 [#]	kN/m	6.0	14.0
値段	円/袋	20	26

(# : 乾燥状態での引張強度を示す).

表 4-4 使用機材と所有状況

道具名	用途	所有状況
スコップ	掘削, 土のう中詰, 敷均	村人所有
バール	掘削	一部村人所有
ツルハシ	掘削	無
ブッシュナイフ	草刈, 紐切断	村人所有
一輪車	運搬	無
プラスチック容器	中詰量調整	無

(3) 使用機材

利用した機材と、村人の所有状況について表 4-4 に示す。バール、ツルハシ、一輪車、コンテナについては我々が準備した。中詰量調整用のコンテナは、Kundiawa 市内の食堂で使い古された食用油用のプラスチック容器（15 リットル用）を利用した。容器の天端をくりぬき、中に川砂利をすり切れまで投入した後、中身を土のう袋へと移す。このように中詰材の量を調整し常に一定となるようにした。

なお、河原から施工箇所まで「土のう」、川砂利の運搬に際しては、4t ダンプトラックをリースして利用した。

4.3.3 施工方法

施工対象道路の、舗装道路から約 1 km 進んだ地点の Yuai 村 (図 4-4 参照) にて作業を始めることとした。村人たちへ、国道ではあるものの自分達の生活に密着した道路であるので、ボランティアワークとして整備作業に参加するよう呼び掛けた。その結果、3 日間の作業期間中、日平均約 40 人もの村人の協力が得られた。Yuai 村の人口は 240 人であるので、約 16.7% の参加率である。事前に National Works のスタッフ、またこの District 選出の国会議員には、施工の許可を得るとともに協力を要請した。国会議員からは、District Road Improvement Program の予算より、約 20 万円のサポートがあった。そこで材料代を負担し、作業は村人らのボランティアで行った。

村人らに「土のう」による道路整備手法の概略について説明した後、河原での土のう作成作業班と、道路整備作業班とに分かれて施工を開始した。

路面での作業手順は下記の通りである。

- 1) 道路側溝の掘削, 整備
- 2) 路面泥濘分の除去
- 3) 「土のう」敷設
- 4) 「土のう」締固め
- 5) 川砂利撒き出し

「土のう」の締固めは、人力で一袋当たり 20 回踏みこむことで行った。しかし、施工途中に敷設された「土のう」上を車両が通過することがあり、その時の変形量が大きく観測されたことから、この手法では締固め不足と考えられる。第 3 章で、現地で実施可能で有効な締固め方法としては木槌による方法が

提案した。ここではこの知見が得られる前の段階での施工であった。

3日間で「土のう」を約1,500袋、川砂利を約28.0 m³使用し、施工延長は約36.0 mとなった。施工後の道路の様子を写真 4-2 に示し、施工断面図を図 4-5 (b) に示す。

ここでは轍部のみに「土のう」を敷設し補強した。「土のう」表面を、タイヤとの摩擦により破れるのを防ぐために砂利で被覆して仕上げている。そのため整備後ドライバーからはどの部分が「土のう」で補強されているかは確認できない。従って「土のう」による補強箇所を外れて走行することが考えられ、このときには新たな轍が形成されやすくなる可能性がある。タイヤ通過箇所が「土のう」により補強された部分に来るよう、車両を誘導する必要がある。そこで、図 4-5 (b) に示す道路断面の整備範囲の両端に杭を打つなどして目印を設け、その杭間を通過させるよう車両を誘導するなどの処置が必要である。もしくは、全断面に「土のう」を敷設することも検討されるが、この場合は単位長さの施工費用が増す。

幅員3 mの1車線道路では、幅が狭いためタイヤ走行箇所はほぼ同じ位置に来る。

図 4-5 (b) に示す断面で整備した時、道路幅員3.0 m、延長1.0 mあたりの資機材費用は表 4-5 のようになった。ダンプ費用については、全ダンプ費用を施工総延長、36.0 m で除すことで1.0 m あたりに換算している。表 4-5 からわかるように、4tダンプによる運搬費が1/2以上を占めている

そこで、河原付近を通過し村へ戻る車両により無償で、少しずつ「土のう」を運搬するなど、運搬費を抑える工夫をすることでさらに単価を下げることができる。

4.3.4 3ヶ月後の路面状況

我々が引上げた後でも持続的に通行性を確保するよう、現地住民自身により維持管理されていくことが重要である。そのために外部者ができることは、施工を通して「土のう」による道路整備手法のノウハウを確実に伝えることである。そしてさらに、コミュニティ内に資機材の調達から作業実施までの維持管理体制を構築するよう、働きかけをしていくことである。その成否はコミュニティのリーダーの統率力に負うところが大きい。

3日間の作業後、村人や村長らから今後自分達で維持管理をしていくから、一輪車とスコップを提供してほしいとの要望があった。側溝の断面確保や、路面への砂利の供給などの日常的な維持管理作業が重要である。これらの手法について村人へ伝授するとともに、道具を提供した。しかし、袋や砂



写真 4-2 道路状況（整備後）

表 4-5 資機材費用
(幅員3.0 m, 延長1.0 mあたり)

	使用数量	単価	合計	割合
土のう袋	22 袋	26 円/袋	572 円	37 %
川砂利	0.6 m ³	140 円/m ³	84 円	5 %
4tダンプ	-	-	890 円	58 %
合計	-	-	1,546 円	100 %

利の供給など、村人のボランティアを頼るだけでは困難な面があり、資金面での国会議員によるサポートや、National works による技術面からの支援が必要であるが、これらを調整することはできなかった。3 ヶ月後再び同じ村を訪れ、道の状況を確認した。このときの道路状況を図 4-5 (c)、写真 4-3 に示す。

提供した道具類は村人らにより管理されていたが、道路整備を行った形跡はない。道路脇の排水溝は土砂がたまり機能せず、泥濘が道路全幅にわたって広がっている。また、図 4-5 (c)に示すように、第1層の土のう袋が破れている。車両走行に伴い轍が形成され、被覆していた川砂利が側方へ押しやられる。土のう表面を直接車両が通行するようになり、タイヤとの摩擦に耐えきれずに破断に至ったと考えられる。破れた袋片の下で、泥にまみれながらも、中詰材の川砂利がよく締固められている様子が観測された。見た目では整備状況がわからないが、写真 4-4 で示すように安定した走行性が確保されていた。

村人の話によると維持管理作業をしようとする、National works の職員に止められたという。それは作業を行った村人が後に賃金を要求すると考え、事前に阻止しようとしたためであるらしい。

以上より、施工対象道路は国道で交通量も多いため、「土のう」による住民参加型の道路整備手法では対応できないことがわかる。幹線道路としての役割から、アジア開発銀行による舗装化プロジェクトの対象になっており、計画が具体化しているとのことであった。そこでその舗装工事が始まるまで自分達で維持管理を続けてはどうか、との提案に対しては村長や一部の住民が応えるのみでほとんどの村人は無関心であった。

この村で 2005 年 9 月に第 1 回目の施工を行った際は外国人が来て何かをするというものめずらしさ、3 日間という短期間での作業期間であったことから、道路補修に対して住民の参加は得られた。それから 3 ヶ月後 2 回目に我々が訪れたときには珍しさは既になく、施工期間は調査期間も含めて約 2 週間と長くなったことから、National Works や国会議員も含め大多数の村人は、住民参加型の「土のう」による道路整備手法に好奇心を失っていた。村人らはもし賃金がもらえるのであれば働くといった姿勢で、もはや自分達の生活道路としてのオーナーシップは醸成されていなかった。これは、Yuai 村は全長約 40 km の施工対象道路の Kundiawa 市の近くに位置し、沿線の他の村の車両の通過点であることから、自分達が道路整備に従事する目的意識が欠如していることによる。



写真 4-3 3 ヶ月後の路面状況



写真 4-4 3 ヶ月後の車両走行状況

4.3.5 Kundiawa/Gembogl District での施工事例より得られた知見

「土のう」による未舗装道路手法による実施工を通して、得られた知見をまとめる。施工方法についての課題は改良し、次の施工対象道路を模索することとした。

- 1) 「土のう」による道路整備作業は、人力施工であり開発途上国農村部住民に受け入れられた。
- 2) 締固め方法は、踏固めのみでは不十分で、木槌などによる、より丁寧な締固めが必要である。
- 3) 幅員 3.0 m (1 車線) の整備で、延長 1.0 m あたり、施工費は約 1,500 円となったが運搬費を低減することでさらに工費は下げることができる。
- 4) 施工対象道路の全幅員が 3.0 m 以上の道路になると、通過車両のタイヤ走行箇所が一定とならない。そこで轍部のみを「土のう」で補強した場合、「土のう」敷設箇所へタイヤを誘導する措置が必要となる。もしくは全断面にわたって「土のう」を敷設し補強する。

ここで、例として図 4-6 に幅員 4.0 m の道路を、タイヤ通過場所を定めその部分のみを「土のう」で補強した断面 (a 断面) と、全断面に「土のう」を敷設した断面 (b 断面) を示す。地山より道路面までの厚さは両者で同じとし、中詰材、間詰材、表面被覆材は全て同じ材料を使用したとすると、単位長さあたりの土のう袋の個数が異なる。袋代、川砂利の単価を表 4-5 に従うものとして両断面の単位長さ当りの材料費を表 4-6 で比較した。a 断面では 868 円、b 断面では 1,518 円となり、全断面に「土のう」を敷設すると材料費は単位長さあたり約 75 % 高くなる。

- 5) 維持管理を実施可能なものとするには、袋や砂利などの安価ではあるが必要な資材を用意するための資金、調達方法をも考慮したシステムを構築する必要がある。パプアニューギニアでは国会議員と村の住民が連携することが有効であると考えられる。
- 6) 行政管理下の道路や、沿線に多数の村がある場合、住民のオーナーシップは醸成されにくく、

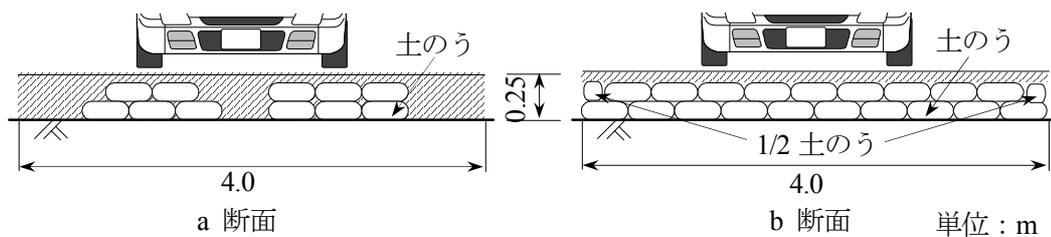


図 4-6 「土のう」による道路整備断面

表 4-6 単位長さ当りの材料費

	材料	単価	数量	小計 (円)	合計 (円)	割合
a 断面	土のう袋	26円 / 袋	28 袋	728	868	100
	川砂利	140円 / m ³	1m ³	140		
b 断面	土のう袋	26円 / 袋	53 袋	1,378	1,518	175
	川砂利	140円 / m ³	1m ³	140		

住民参加で維持管理するのは極めて難しい。道路管理者や、地方行政が中心となって整備するのが望ましいと考えられる。

7) 交通量や道路規模に応じた適切な維持管理手法を採用することが重要である。

4.4 Unggai/Benna District における施工事例

Kundiawa/Gembogl District での施工を通して得られた知見をもとに、新たな施工対象道路を選定した。

現地新聞記事より地元のインフラ整備活動に熱心な国会議員の情報を得、連絡をとり 2005 年 12 月に協議した。その国会議員は District Road Improvement Program の予算を利用して、材料代や労務費を負担しながら道路整備作業を展開している。また、自らグレーダー、トラックを所有し作業に従事させている。このような国会議員による道路整備活動の中で、農村接続道路を対象に、住民自身による人力のみで維持管理を行うことができる「土のう」による道路整備を行うことを提案した。すると国会議員が関心を示し、金ではなく知恵を提供して欲しいとの答えに、その出身である Unggai/Benna District 内の道路にて施工を行うこととした。2005 年 12 月に初めて Unggai/Benna District を訪れて以来、2007 年 6 月までに合計 5 回、あわせて約 2 ヶ月間滞在し活動を進めてきた。活動時期、内容については表 4-1 にまとめている。

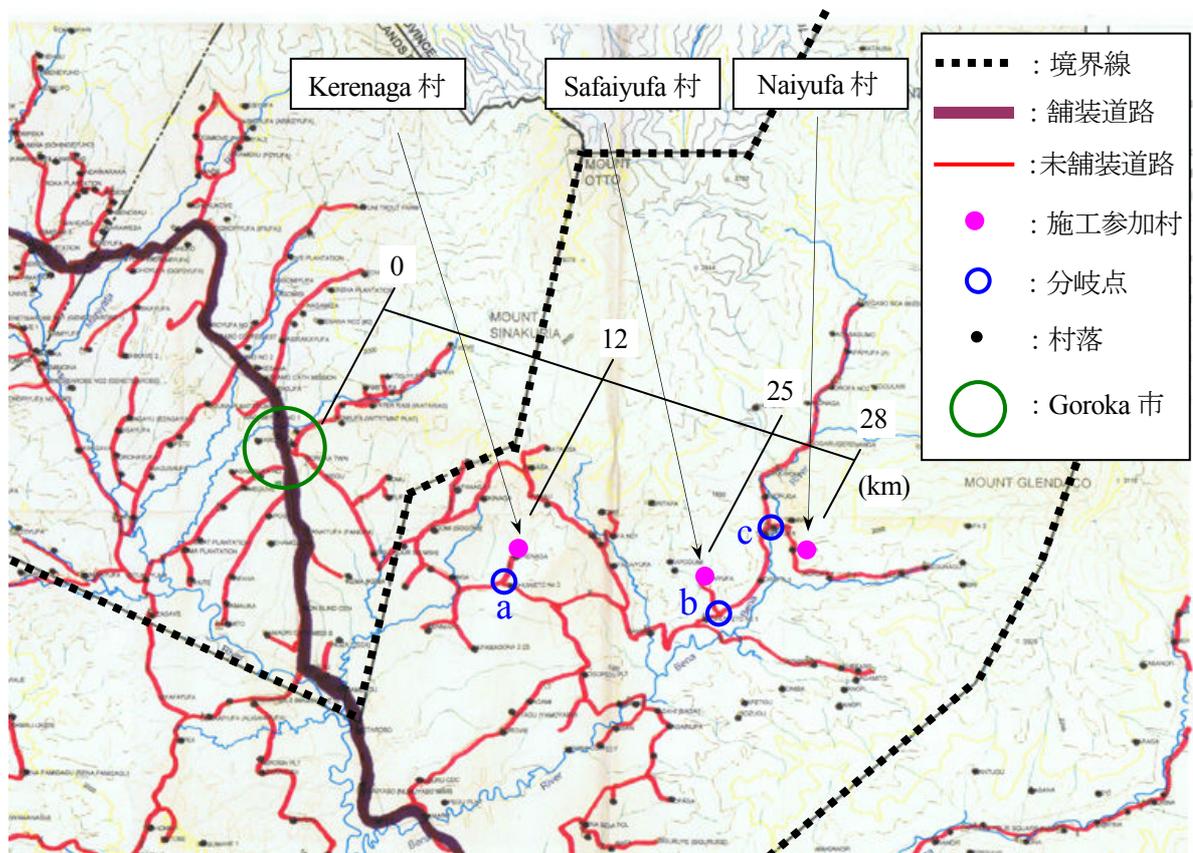


図 4-7 施工対象道路位置図

その国会議員より比較的住民組織化が進んでいる村(図 4-7 中, Kerenaga 村)の紹介を受けた。2006年3月にその村を訪れ4日間滞在し、主要道路から Kerenaga 村に至る農村接続道路の現況を把握し施工計画を立案した。同時に道に対する住民意識、生活習慣、現地調達可能材料を調査した。そして2006年5月に約2週間、村に滞在しうち6日間で住民らとともに施工を行った。それから約4ヶ月後の2006年9月に、再び Kerenaga 村を訪れ、我々が現地に滞在していない時の道の維持管理状況を確認した。そこで村人らによる管理が行われ、道が通行性を確保している状態であることを確認した。そして短期間で他地域へと「土のう」技術を拡大するために同 District 内の他の村へ(図 4-7 中, Safaiyufa 村, Naiyufa 村)と活動を広げた。この時、次の施工対象の村の住民に、事前に道路整備に参加し技術を習得させ、自分の村ではその村人が中心となって施工を行うなど短期間で技術を拡大していく工夫をしてきた。最初に施工を行ってから約1年が経過した2007年4月に Kerenaga 村の道路の様子を確認すると、十分通行性が確保されている様子がわかった。施工前の様子と比べて路面は整形されており、排水状態も良好で路面には溜水していない状態であった。

ここでは上記のような流れで活動を進め、年間を通して道路状況を調査してきた Kerenaga 村での施工事例を中心に報告する。

4.4.1 資材調達方法

土のう袋材や他の工具類の調達方法については前回と同様である。ここで用いた袋材はすべてパプアニューギニアで生産される表 4-3 に示したポリエチレン製の袋である。中詰材は、村内を流れる小川から川砂利を採取することとした。

4.4.2 施工対象道路

市場のある Goroka 市から約 12 km の距離にある Kerenaga 村(図 4-7)にて住民参加で道路整備を行った。住民意識が高く、本研究で提案する「土のう」による道路整備手法を実践するのにふさわしい村として国会議員より紹介を受けた。図 4-7 中、赤線で表示されるものは未舗装道路である。ここでターゲットとする未舗装道路は Goroka 市と分岐点 a を結ぶような主要道路(写真 4-5)ではなく、分岐点 a に接続するこの主要道路と村とを結ぶ、農村接続道路である。このような道では道路管理者による整備は予算不足のためほとんど期待できず、走行性確保のためには日々利用する住民たちによる維持管理が不可欠となる。



写真 4-5 分岐点(主要道路側から写す)



写真 4-6 村内の教会活動案内看板



写真 4-7 市場へ向かう村内の車両



写真 4-8 畑の様子

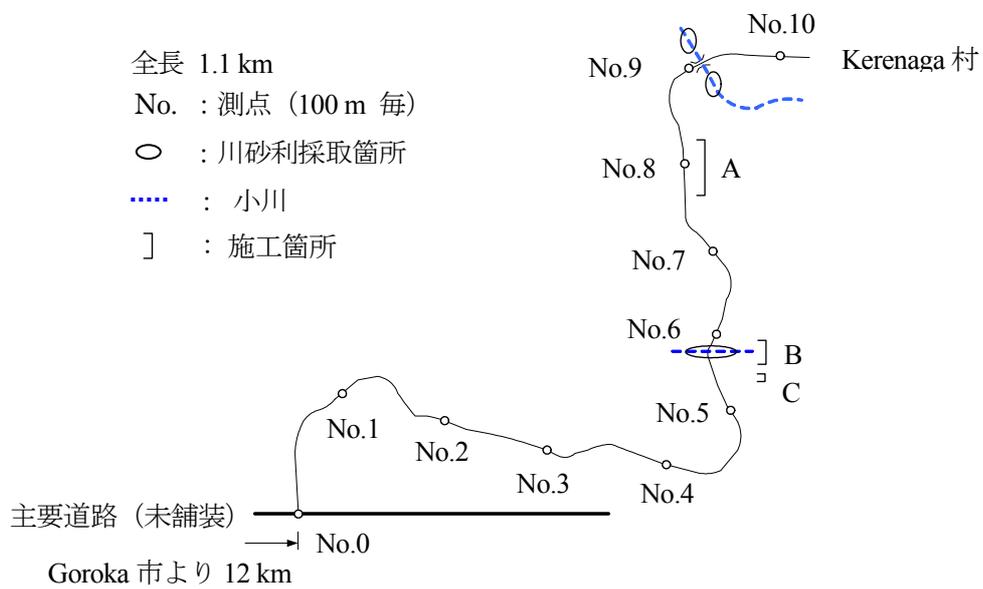


図 4-8 施工対象道路 (平面図)

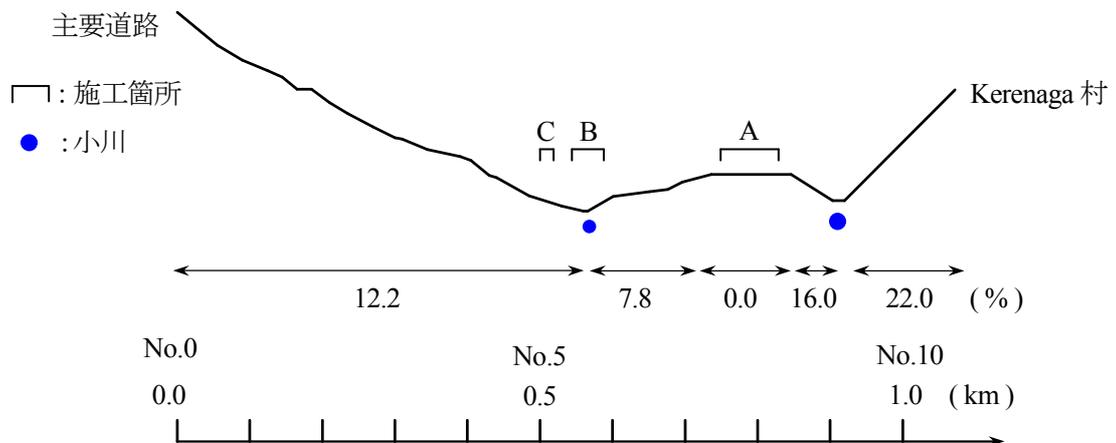


図 4-9 施工対象道路 (縦断面図)

施工対象道路は沿線に他の村はなく、道の突当りに位置する Kerenaga 村の住民のみにとっての生活道路であり、村人の道に対する意識は非常に高いと考えられる。また、村内には「ゴミを捨てるな」、「沿道の花を勝手に摘むな」、「つばをはくな」と規則を定めており、教会活動を中心に組織化されている（写真 4-6）。村内には車が 4 台あり（写真 4-7）、一日の交通量は平均 8 台～12 台である。コーヒー豆を中心に、いも、野菜、パイナップルなどを栽培しており（写真 4-8）これを Goroka 市の市場で換金して現金収入を得ている。

主要道路から分岐し、Kerenaga 村へ至る施工対象道路の平面図を図 4-8 に、縦断図を図 4-9 に示す。施工対象道路は幅員は約 3.0 m で一車線であり、全長は約 1.1 km である。図 4-9 に示すように、道路全延長の約 80% が勾配 10% 以上、残りの 20% が勾配 10% 未満となっている。今回は図 4-8、図 4-9 に示すように平坦な A、B、C の 3 箇所にて、合計約 140 m の範囲を「土のう」を用いて整備した。

ここでは施工箇所 B での施工概要について述べる。周りに比べて低くなっているサグ部では水が集積してくるが、排水設備が機能していないため、路面に水が溜まり泥濘化して路床は砂質細粒土である。またここは道両側に立つ木で日光が遮られ日射時間が短い。そのため路面は乾きにくく、常に泥濘化している。さらに、小川を横断する箇所ではパイプが埋設されており、埋戻しされている。路面は軟弱で深さ約 0.2 m の轍が形成されている（写真 4-9 参照）。

4.4.3 施工方法

国会議員から施工対象道路と村の紹介を受け、まず、2006 年 3 月に 4 日間で道の調査を行い、施工計画を立案した。この時、土のう作成方法を村人へ伝授した。その後、現地在住日本人ボランティアの協力を得て 2,000 袋の土のう袋を村へ届けたところ、村人は一人 12 袋と担当を決め、村近くを流れる小川（写真 4-10）より川砂利を採取し中詰めしていた。2006 年 5 月に施工のために訪れたときには、2,000 袋が既に中詰めされ道路脇に置かれていた（写真 4-11）。この「土のう」を利用し 6 日間で施工を行った。なお、この時、次の施工箇所となる Safaiyufa 村からも作業に加わる村人がおり、技術の伝承がスムーズに行われた。

敷設した土のう総数は 1,700 袋、採取した川砂利量は約 40.0 m³、日平均 25 人が働いた。なお土のう運搬作業を行った日は女性や子供も総動員し合計 65 人もの村人が参画した。全村人口が約 170 人であるので、平均で約 14.8% の参加率、運搬作業の日は約 38.2% の参加率であった。

村長がリーダーシップを発揮しながら、「土のう」による道直しのために住民を招集し、自ら労働の



写真 4-9 施工前の様子



写真 4-10 村近くを流れる小川の様子

先端にたち、村人たちは日々の農作業などの合間を縫って作業に参画した（写真 4-12 参照）。運搬作業が最も重労働となるが（1袋あたり 15~20 kg）、女性は頭に、男性は肩に担ぎ子供も加わり何度も河原と施工箇所を往復し作業を行った。時折、村人の所有する車も運搬作業に参画した。



写真 4-11 村人が自発的に中詰めした「土のう」



写真 4-12 作業状況

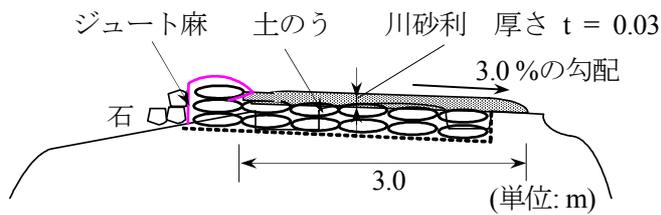
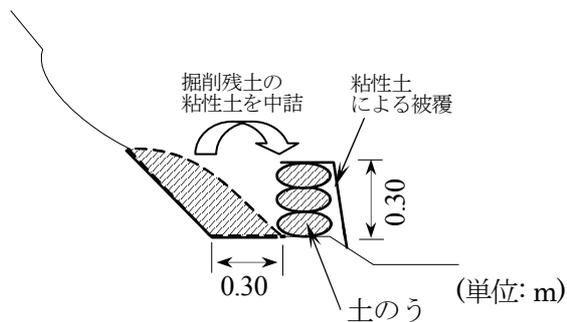


図 4-10 道路断面



写真 4-13 施工後の様子



(a) 土留め壁としての利用



(b) 竹材を利用した地下排水溝

図 4-11 「土のう」の土留め壁としての利用と現地材料の有効利用

作業手順はまず、パイプ埋設箇所の両側 10.0 m の範囲について、深さ、幅 0.3 m の側溝を掘り轍部に「土のう」を 2 層敷設し、表面に砂利を撒きだして被覆した。次にパイプ直上の埋戻し箇所は、補強のために横断方向全幅にわたって泥濘分を除去し、全面に「土のう」を 2 層から 3 層敷設した。なお、「土のう」の締固めについては、足で踏み整形した後に木槌で土のう中央部、端部を叩いて行った。

そして路面排水のために約 3.0 %の横断勾配を確保した。道路端部では「土のう」表面を紫外線から守るためにジュート麻や石で覆った (図 4-10 参照)。施工直後の様子を写真 4-13 に示す。

道路構造以外にも、現地発生の粘性土を中詰めした「土のう」を側溝の土留め壁として利用した (図 4-11 (a) 参照)。ここでは現地の粘性土で土のう表面を被覆し、紫外線の影響を防いだ。また現地材料の有効利用を考え、竹材をパイプとして利用した地下排水溝を施工した (図 4-11 (b) 参照)。このように多様な農村インフラの整備に、「土のう」や他の現地材料を有効に利用することを検討した。

施工費用は袋代などの材料費のみである。ここで利用した川砂利の採取については河原の土地所有権の問題はなく、コストはかからなかった。道路状況により土のう敷設方法が異なることや、紫外線除けのために利用したジュート麻などの付帯材料で単価は左右されるが、幅 3 m、長さ 1 m あたり 200 円から 800 円となった。

ここで、1 車線道路を厚さ 5 cm で簡易アスファルト舗装した時の施工単価と比較する。開発途上国農村部の道路整備費用を記した文献 (28) によると、いずれも資機材費込みで路床工では、1 m 当り 1,800 円、路盤工は 1,000 円、アスファルト表層工は約 2,800 円となり、舗装工としてはあわせて 5,600 円となる。したがって「土のう」による道路整備手法の単位長さ当りの施工単価は、アスファルト舗装工の 3.5 %~14.0 %となる。

4.4.4 4 ヶ月後、一年後の様子

施工後約 4 ヶ月後の 9 月に同じ村、Kerenaga 村を訪れた。道の整備状況は良好で、5 月施工直後とほぼ同じ状況であった (写真 4-14)。村長によると、現在村人にこの道の担当エリアを割り振り、2 週間に一度、村人らが点検、整備を実施しているという。整備用の土のう袋は残置しており、砂利も近くから調達可能であり環境条件に恵まれている。今後雨季に入るにあたっては頻度を増やして点検、整備をするように伝えた。

その後、2007 年 4 月に Kerenaga 村の路面状況を確認した (写真 4-15)。施工後約 1 年が経過しており雨季、乾季を経た状態である。約 1 年前の施工前の道路状況 (写真 4-9) と比べると轍掘は形成されておらず道路表面も泥濘化せずドライな状態となっていることがわかる。住民が維持管理を継続して行うことで、これまでの一年は道路通行性が確保されていることがわかる。引き続き経過状況を把握する予定である。

写真 4-15 では土のう袋が破れている様子が観測される。この部分は施工直後は紫外線の影響から土のう袋が破れないよう守るため、麻袋で被覆されていた。しかし、その麻袋は除去された。農村部においてはこのような麻袋は、丈夫で利用性が高いため道路補修に使用されていても盗られることがわかった。この場合、次の雨季が来る前に破れている「土のう」を除去し新しい「土のう」と置換することで修復される。村には維持管理用として土のう袋を残置しており、自分たちで持続的に補修を進めることができる。



写真 4-14 4ヶ月後の路面状況



写真 4-15 約1年後の路面状況

4.4.5 技術の拡大

国会議員は Kerenaga 村での施工状況を確認した上で、土のう袋代は支払うと約束をしさらに、図 4-7 に示す他の村での施工を要請してきた。このことから、土のう袋代は国会議員が負担し、道路整備は村人の住民参加で実施するという道路維持管理体制がこの District では構築されたといえる。現在までに Safaiyufa 村、Naiyufa 村にて「土のう」を利用し住民らによる道路整備を実施した。

4.4.6 施工歩掛

パプアニューギニアにおけるこれまでの施工実績をもとに、道路条件、補修断面、施工単価、施工歩掛を表 4-7 のようにまとめた。施工は現場合せとなるため、標準断面を定めるのは難しい。また、住民参加型での施工で農作業の合間に作業に従事する住民の正確な出面を抑えるのは困難である。しかし、表 4-7 のようにまとめることで今後新たな国、場所で「土のう」を利用し道路整備をしようとするときの施工計画を立てる際の参考データとなる。

表 4-8 はソルパック協会が参考資料としてまとめた標準歩掛⁶²⁾を元に、パプアニューギニアでの施工歩掛と比較できるようにまとめたものである。ただし、両者で下記のような条件の違いがある。

- 1) 日本の歩掛は中詰材の砕石が「土のう」敷設箇所の近くにほぐした状態で存在するという前提となっている。一方、パプアニューギニアでは川砂利採取箇所から「土のう」敷設箇所までの運搬（運搬距離については表 4-7 中に明記）、川砂利のほぐしという工程が加わる。
- 2) 袋材の構造上、日本では元々口紐が袋材に添付されており、口部固定時には中詰後、ひもを引張り緊結することで固定が可能である。パプアニューギニアで利用した袋材では、口部固定時には別途ひもを用意する必要がある。

パプアニューギニアでは一日の労働時間を、8 時間労働に換算している。日本ではバックホウ、クレーンの利用によって普通作業員 6 人で一日で 800 袋の「土のう」を作成、敷設するのに対し、パプアニューギニアでは人力のみ、29 人の労働で一日「土のう」320 袋の施工となる。

表 4-7 道路条件, 補修断面, 施工単価, 施工歩掛

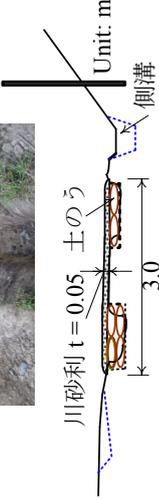
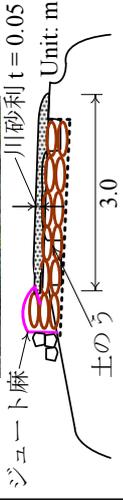
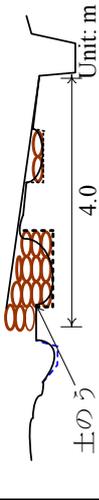
施工前			
施工後			
			
幅員 (m)	3.0	3.0	4.0
縦断勾配	平坦	平坦	平坦
路床土質	レキ混じり粘性土	レキ混じり粘性土	レキ混じり粘性土
日交通量 (台)	12	12	25
施工単価 (円/m)	200	800	450
施工ペース (m/日)	25	12	8
作業人数	25	35	15
作業時間 (時間)	4	4	6
砂利運搬距離 (m)	300	600	600

表 4-8 標準歩係の比較

作業内容	摘要	単位	日本	パプアニューギニア
			800袋当り	320袋当り
「土のう」作成（中詰）作業 「土のう」敷設作業	世話役	人	1	1
	普通作業員	人	6	29
	バックホー（運転手付）	日	1	
	クレーン（運転手付）	日	0.5	
	プレートコンパクター	日	0.5	（木植）

* 日本における標準歩掛については文献(62)を一部修正

4.5 結論

国内での実験を通して開発した「土のう」による未舗装道路整備手法を用いて、実際に開発途上国農村部において施工を行った。機械を使わない、人力によるこの工法の特徴は道を日々利用する住民自身が整備作業に参加できるということである。技術的に現地で有効であるのか、また、いかにして住民参加を得、技術を伝授し、持続的に住民自身で道路整備を実施していく体制を構築することができるのか、課題であった。主に2つの地域での施工実績を通して得られた知見をまとめる。

- 1) 「土のう」による道路整備手法は人力での施工が可能であり現地住民に受け入れられ、施工を行った結果道路の通行性が向上した。
- 2) 自ら整備した道ということでオーナーシップが醸成され、今後の持続的な維持管理につながる。
- 3) 「土のう」による道路整備手法は、幅員 3.0 m の 1 車線で日交通量が 10 台程度の農村接続道路の整備に有効である。
- 4) 延長 1.0 km 程度の農村接続道路で、その突当りに 1 つの村が存在する場合はその村の住民参加が得られやすい。
- 5) 幅員 3.0 m の 1 車線道路で延長 1.0 m あたり、200 円から 800 円での施工が可能である。
- 6) 「土のう」工法に不可欠な土のう袋代については、国会議員の裁量に任される国家予算、District Road Improvement Program の資金より提供し、施工は住民がボランティアで行うという持続性のある道路維持管理のモデル事例を構築した。
- 7) 「土のう」工法を提案した結果、ある村では村人への点検範囲の割振、定期的な点検日の設定といった維持管理体制が構築された。

4.6 今後の研究課題

今回施工を通して以下の課題が明らかになった。今後引き続き、フィールドワークを基にした研究・調査を進めていく予定である。

- 1) 農村接続道路は勾配箇所が多く、導線として通行性を確保するには、勾配箇所では路面が走行車両のタイヤから受ける反力が大きくなり、敷設した「土のう」が移動してしまう。そこで、「土のう」を互いに連結する、タイヤ通行箇所はソイルセメントで覆うなどの補助対策が必要である。今後、適切な手法を開発し実践する。
- 2) 中詰材として川砂利を利用してきたが、その調達が困難な場合がある。その場合、粘性土を含む現地発生土の利用など有効な対策を検討する。
- 3) 今回施工を行った箇所の経年変化を引続き調査し、「土のう」により整備された道路の耐久性を把握する。
- 4) 「土のう」による道路整備手法の適用範囲の一つの基準として、コミュニティによる管理が可能とされる最大日交通量が50台の道路に対する適用性を確認する。
- 5) 住民参加型道路整備を実践したことによる、住民組織の活性化や生活向上などの変化、効果を把握する。
- 6) モデル事例となった村を起点に、他の地域へも短期間で道路整備手法とその維持管理体制について拡大する。

本章では、パプアニューギニア内陸山間部にて実践した「土のう」による住民参加型道路整備事例について述べた。農道の通行性確保のために住民参加で実践する「土のう」による整備手法が有効であることが証明され、さらに改良を加えることでより有効な手法となりうることがわかった。

また、500以上の部族が存在し、独立後30年たつ現在でも部族間闘争が絶えず、統一国家の体をなしながら国民意識が浸透していない、公共性の概念を持たないといわれるパプアニューギニアにおいても、一本道の先端に居を構える部落の住民は、自分たちの利益と直結する農道整備に参画する可能性があることがわかった。また安価ではあるが不可欠な土のう袋代の財源の確保、持続性、国内での技術の普及のためには、この国家制度のDistrict Road Improvement Program を執行する現地国会議員と連携して実施する農道整備が有効であることがわかった。

このように各開発途上国で文化、社会制度は独自のものを有している。世界の貧困削減に寄与するため各地で、「土のう」による道路整備手法を普及しようとするとき、どのようなアプローチが現地住民にまで技術が浸透し、定着するのか、そして持続的に運用されるのか、を考察し実践することが重要である⁶³⁾。次章では、アジアのフィリピン、アフリカのケニアで実施してきたアプローチ手法について述べる。

第 5 章 フィリピン・ケニアでの 「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の適用

5.1 概説

本章では、「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法を世界各地へ拡大するべく、フィリピン、ケニアで活動した事例を示す。新技術を各国農村部の住民自身が持続的に運用していくように技術移転を進めるには、各地域の文化や社会環境を踏まえた上で、現地に適したアプローチ手法をとる必要がある。そして「土のう」による未舗装道路整備手法が広く世界で運用されるようになって始めて、本研究が目標とする貧困削減に寄与することができると考えられる。従っていかに適用範囲を拡大していくかは、本研究における重要な課題の一つである。

本研究ではこれまで、第 4 章で述べたようなオセアニアのパプアニューギニア独立国での「土のう」による未舗装道路整備の実施に加えて、フィリピン共和国での「土のう」を利用した歩道構築、ケニア共和国で未舗装道路整備を実施した（図 5-1）。各地域で技術の普及、定着化という技術移転に向けたアプローチ手法が異なる。まず、5.2 で 3 カ国での各アプローチ手法の特徴を述べる。そして、5.3 ではフィリピン、5.4 ではケニアでの「土のう」を利用した歩道構築、未舗装道路整備事例について述べる。3 カ国同時並行的に進めることで、今後どの地域のどのようなアプローチ手法が、どのような効果が得られるのか比較検討し、さらに他地域へ展開するときの参考資料としたいと考えている。

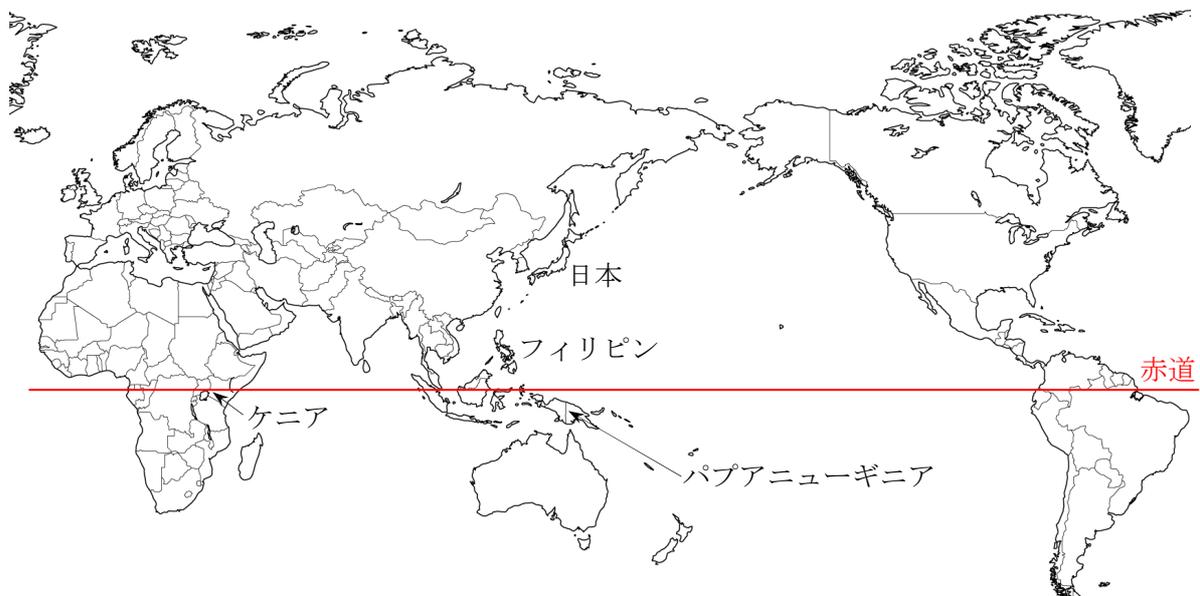


図 5-1 「土のう」による未舗装道路整備実施地域

5.2 パプアニューギニア，フィリピン，ケニアでの

技術移転に向けたアプローチ手法

5.2.1 パプアニューギニアにおける技術移転に向けたアプローチ手法

パプアニューギニアでは、ボランティアベースで「土のう」による未舗装道路整備を実施した。現地在住日本人ボランティアと我々京都大学の研究グループが協力し、活動を行った。現地在住日本人ボランティアは、新聞から得られる情報や、活動を行っている村やその周辺地域での日常の出来事、整備した道の経過状況、住民による維持管理作業実施状況、気象情報などを収集した。そして本研究グループがフィールド活動を行う際には、ベース基地としての居住環境や移動手段の提供といったサポートを受けた。このように、ボランティアでの活動は JICA などの援助機関の組織的な支援は得られないものの、その分自由な活動を行うことができた。3 カ国での活動のうち、最も現地コミュニティに近い場所で活動を実施した。

パプアニューギニアでは第4章でも述べたように500以上の部族が存在し、現在でも部族間闘争を繰返している。一方で、「ワントック」と呼ばれる同部族の中では互助意識が非常に強い⁵⁶⁾。現地コミュニティに入り住民参加で道路整備を実施しようとするとき、対象となる村の出身者、つまりワントックの協力者を得ることが重要である。

現地在住日本人からの、パプアニューギニアの最高峰、ウィルヘルム山へ通じる未舗装道路の改修を住民参加で安価な方法でできないかという相談を受け⁶¹⁾、現地活動をスタートさせた。まず、施工対象箇所と村を決定し、次にこの地域の道路管理者である Works のスタッフや国会議員に協力を呼びかけた。その上で本研究グループとボランティアチームが、「土のう」による道路整備を住民参加のもと実施した。偶然、ボランティアの知人がこの村の「ワントック」であったため、円滑にコミュニティを巻き込んだ道路補修作業を行うことは可能であった。しかし、日本人が来て何かをするという期待感や物めずらしさから、第一回の施工時には協力を得られたものの、持続的な活動へとは結びつかなかった。この事例から、道路の立地条件が住民参加を得られるかどうかの重要な要素の1つであることが認識された。例えば図5-2(a)に示すように施工対象道路の沿線に複数の村が存在する場合、市場に近い下流側の村(図5-2(a)中A村)に人々にとって、上流側の村(図5-2(a)中B村、C村)の人々の通行は通過交通にすぎない。補修により自分たちだけが便益を被るわけではなく、上流側の村の人々のために道路整備を実施しようというモチベーションは生じにくい。一方で図5-2(b)に示すように一本道の先端にA村のみが存在するような場合は、A村の人々の道を整備しようとする意識は高い。

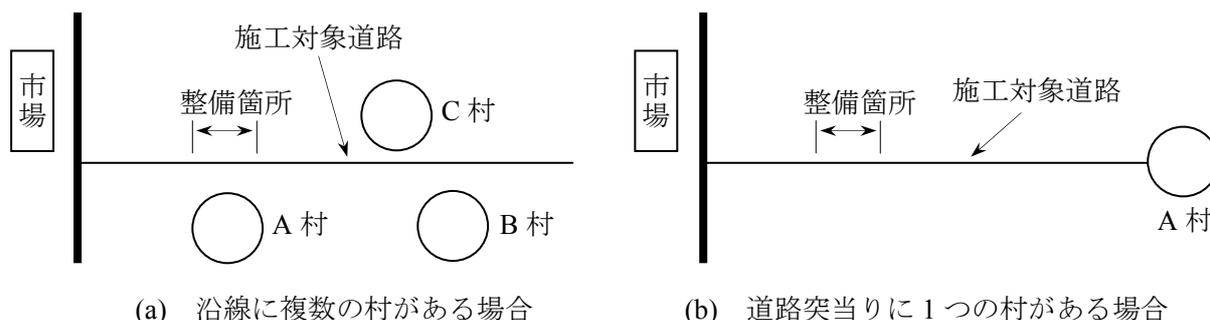


図5-2 施工対象道路の立地条件

上記の事例を踏まえ、地元選挙区の道路整備のための予算を有している国会議員と連携し、その管轄地域内のコミュニティにて住民参加型未舗装道路整備を実践することとした。現地新聞で、ある国会議員がしばしばその予算を有効利用し、農道の整備事業を展開していることが報道されていた。そこで我々京都大学のグループは現地在住日本人を通してその国会議員と連絡を取り協議した。「金ではなくて、知恵を提供してほしい」との言葉に、その選挙区内で「土のう」による道路整備を実施することにした。そして、現在その国会議員から紹介を受けたコミュニティで住民参加での未舗装道路整備を進めた。コミュニティは国会議員の紹介を受けて活動する我々に対して協力的であった。また、国会議員の所有する4輪駆動車、トラック、グレーダーなどの利用スケジュールを調整し、これらの機械も導入して作業を行えば、「土のう」工法と合わせてより効果的な道路補修が可能となる。

現地での活動について、この国会議員への反対派などの動きが心配されるが、これまでのところ妨害を受けるなどの問題は起きていない。また、国会議員は選挙制で District で一人しか選ばれないため、落選の可能性がある。落選した時には持続性について危惧されるが、その精神や事例を受け継ぐ他の国会議員が現れてくると考えられる。また職業訓練学校や、Works の職員への技術指導など他の展開も検討していく予定である。

5.2.2 フィリピンでの技術移転に向けたアプローチ手法

フィリピンでは、ルソン島北部にある Mariano Marcos State University と連携し、「土のう」を用いた学生参加型歩道作成プロジェクトを展開した⁶⁴⁾。この大学にて「土のう」による未舗装道路整備手法や、パプアニューギニアにおける住民参加型の農道整備事例を紹介した。この時地域の NGO のメンバーらが参加しており、「土のう」に対して大きな関心が得られた。

そこで NGO への技術移転を進めることにしたが、本研究グループが個別に各 NGO を訪れるのではなく、効率よく持続的に自己発展性を伴うやり方を模索した。その結果、Mariano Marcos State University と連携し、「土のう」を用いた学生参加型歩道作成プロジェクトを企画、実行することとした。Mariano Marcos State University の特徴として地元の NGO や地方政府、マスコミ、農村コミュニティとの関係が強いことが挙げられる。大学の研究成果を、農村部へ還元する仕組みが構築されている。「土のう」による未舗装道路整備手法を大学関係者へ技術移転すれば、我々が直接コミュニティを訪れるのではなく、現地人大学スタッフにより、コミュニティに向けて効率良く技術移転が進むと考えられる。この過程で「土のう」の利用方法について、現地在来の知恵と融合して新たな開発が進み、研究活動も活性化される可能性がある。

プロジェクトは、この大学の国際連携担当で生物学科の助教授をコーディネーターとしたことで、現地での活動準備、地域の NGO、コミュニティへの普及活動は円滑に進んだ。この助教授は京都大学国際融合創造センター（現、産官学連携センター）に客員教授として在籍していたことから、本研究グループとの打合せ、調整もスムーズに行われた。実施したプロジェクトの詳細は 5.3 で述べる。

5.2.3 ケニアでの技術移転に向けたアプローチ手法

ケニアでは JICA が実施する技術協力プロジェクトの中で、「土のう」を用いた農村インフラ整

備を実践し、その技術移転を進めている。日本とケニアの政府間技術協力プロジェクトであり、プロジェクトは日本の専門家とケニア側のカウンターパートである農業省、園芸公社の役人により実施されている。

ケニアにとっては農業は基幹産業となっている⁶⁵⁾。中でも野菜、果実、切り花などの園芸作物はケニア国の全輸出額のうち約18%を占めており⁶⁶⁾重要な外貨獲得産業となっている。そのため、農業省は農村部の末端まで広がるネットワークを確立しており、政府役人が農民グループへのサービス提供とその生産高など実態把握に努めている。そこで、農業省のネットワークを利用し「土のう」技術を全国的にかつ農民レベルに浸透させることを目指す。「土のう」による未舗装道路整備手法をケニア特有の条件（例えば東アフリカ特有の問題土、ブラックコットンソイルという地盤条件）に適応するように発展させ、それをマニュアル化し農業省発行の仕様書とすることで、全国農村部末端まで技術移転を進めることができると考えられる。詳細は5.4で述べる。

以上3地域での技術移転に向けた活動の特徴を表5-1にまとめる。

表 5-1 各国での技術移転への取組

技術移転国	活動形態	カウンターパート	コミュニティへのアクセス	資金
パプアニューギニア	ボランティア	現地国会議員	現地国会議員のネットワーク	ボランティア国会議員予算
フィリピン	大学連携	現地大学教員	現地大学のネットワーク	現状ではボランティア
ケニア	技術協力プロジェクト	農業省役人	農業省のネットワーク	プロジェクト予算

5.3 フィリピンの州立大学との学生参加型道路改修による大学連携

フィリピンでは全就業人口のうち約 37 %が農林水産業に従事している⁶⁷⁾。一方、農村部では住民の半数以上が一日 1 ドル以下の生活をする最貧困層である⁶⁸⁾。都市部と農村部で貧困の格差が激しい。

フィリピン、ルソン島北部にある Mariano Marcos State University (図 5-3, 以下, MMSU) という大学にて、「土のう」による住民参加型道路整備手法とパプアニューギニアでの実施事例を紹介したところ、この地域においても、雨季に農道の車両走行性が得られず困っているとのことで大きな関心が寄せられた。また、乾季にも農作業を行い収穫が得られるよう、農業用水をストックするため池を費用の安価な方法で構築できないかとの相談を受けた。日本国内において機械施工を前提としているが「土のう」を堤体として利用する手法の開発が進められている⁶⁹⁾。これを応用し、開発途上国農村部で住民が実施可能な「土のう」によるため池堤体の構築手法を確立することで、現地の要望に応えていきたいと考えている。

そこで、フィリピンにて「土のう」による未舗装道路整備手法を導入するために、MMSU 構内において学生参加型道路改修プロジェクトを立ち上げ実施している。これはフィリピン、ルソン島北部においては、ある州立大学が地域の NGO や農村コミュニティとの関係が強く、大学で得られた知見を農村部や NGO へ共有し還元していること、また農村部の問題を解決するための研究活動が行われている点に着目したことによる。その大学スタッフへ「土のう」技術を移転することで、その後は現地大学の仕組みの中で農村部への「土のう」技術の拡大につながることを想定している。大学の一研究グループが現地農村を訪れ、農村インフラ整備のデモンストレーションをするというだけでは技術を確実に伝承し持続可能なものとするのは難しい。「自分たちの問題は自分たちで解決する」ことを具現化するためにも、現地大学の研究活動、そして地域への普及活動の仕組みを利用することは大いに意義のあることである。

プロジェクトの全体工程を表 5-2 に示す。ここでは、Phase I~IV の 4 ルートの歩道構築計画のうち、既にこれまで実施した Phase I の歩道作成プロジェクトについて報告する。



図 5-3 MMSU 所在地

表 5-2 プロジェクトの全体工程

項目	年月		2006						2007					
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
MMSU大学視察, 「土のう」技術紹介	+													
プロジェクト準備				■	■	■	■	■						
プロジェクト出発式, Phase I 施工開始								■						
Phase I 施工									■	■				
Phase I 歩道完成, 併用										■	■	■	■	
Phase II 準備												■	■	

5.3.1 Mariano Marcos State University の機構

Mariano Marcos State University (以下, MMSU) はフィリピン, ルソン島北部の北イルコス州, Batac 市にある州立大学である。経済, 工学, 教育, 農学などの学部があり, 大学院も併設されている総合大学である。この地方で最大規模の図書館も有する。

この大学の組織図を図 5-4 に示す。President の下で3つの組織から成る。Administration, Planning & External Linkage は事務局と大学運営計画, 学外組織との連携を推進する部署である。海外の大学や組織と国際的にプログラムを立ち上げ実行している。Academic Affairs は各学部の学生教育, 研究活動を統括する。ここでは Vice President の直下に地域の貧困問題解決を目指す Regional Center on Poverty Studies があり, 各学部での研究内容, 成果を地域の貧困問題の解決に適用することができる。ここは現地の NGO と協働している。

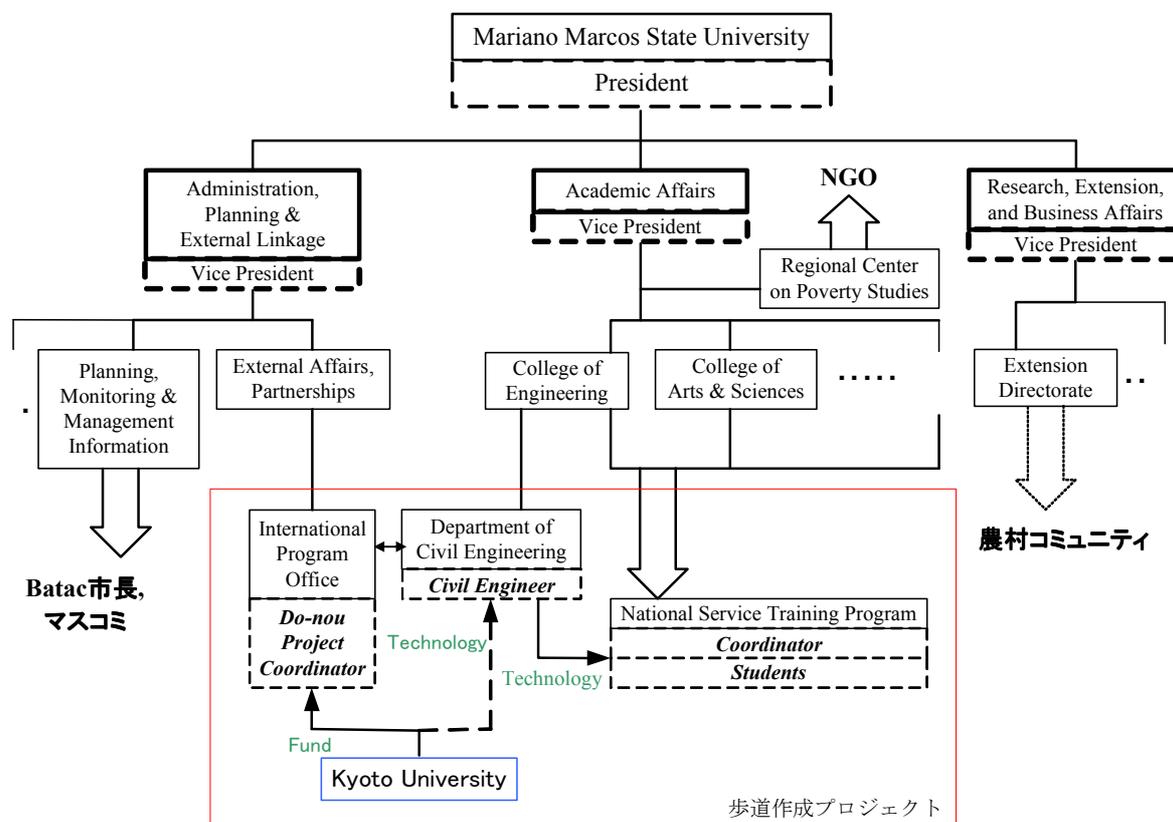


図 5-4 MMSU の組織図と歩道作成プロジェクト関与部署

3つ目は Research, Extension, and Business Affairs である。大学周辺地域の農家の生活レベルの向上を目的として、様々な分野の研究開発を推進している。バイオ有機農業の普及、果樹品種改良、ティラピア養殖技術、農産物のマーケティング戦略の指導などを地域の農家へ実施している。

フィリピンでは NGO の活動が活発で、MMSU が前述のように現地の NGO と連携しながら、地域の農家の生計向上のためにプロジェクトを立ち上げ実施するという共同体制が整っている。そこで、今回大学間連携プロジェクトを実施することとした。

MMSU には、大学の国際的な認知度の向上を目指し、研究、文化面での交流を深める国際連携、国際協力プログラムを推進する部署に属するある助教授がいた。今回の大学間連携のプロジェクトで実施するにあたり、土木工学科のスタッフではないが、全学的な活動の準備、地域のマスコミ、NGO との調整が実施可能な点を重要視し、コーディネーターとした。この助教授は 2006 年 5 月 1 日より 11 月 30 日までの 6 ヶ月間、客員教授として京都大学国際融合創造センター（現、産官学連携センター）に勤務しており、「土のう」技術、プロジェクトについて直接打合せを行った。プロジェクトの実施までの準備については、すべてこのコーディネータを窓口としておりその結果、プロジェクトに対する責任感、オーナーシップが芽生え、持続的に自分たちで進めていくと考えられる。そして、フィリピン、ルソン島北部において農村コミュニティへ「土のう」技術の移転、普及活動が実施されると考えられる。なお、歩道設置場所の地盤の許容支持力など専門的な事柄については、MMSU の土木工学科スタッフより情報提供を受けた。

5.3.2 Mariano Marcos State University 構内における道路整備プロジェクト

(1) 歩道構築計画

図 5-5 に大学構内の平面図を示す。ここに示すように、College of Arts and Science, College of Agriculture and Forestry と環状道路を結ぶ歩道、そして環状道路と Administration Building とを結ぶ、4 ルートの雨季でも通行可能な歩道の建設の要望があった。写真 5-1 は乾季で College of Arts and Sciences 側から環状道路を見た様子である。すでに歩道用の基礎が掘削されている。この周囲は水田として土地利用されていた。乾季では水田の地表面上を歩いて行き来することが可能である。しかし、雨季になると畑は水没し学生らは、図 5-5 中、既設道路のルートで Administration や、

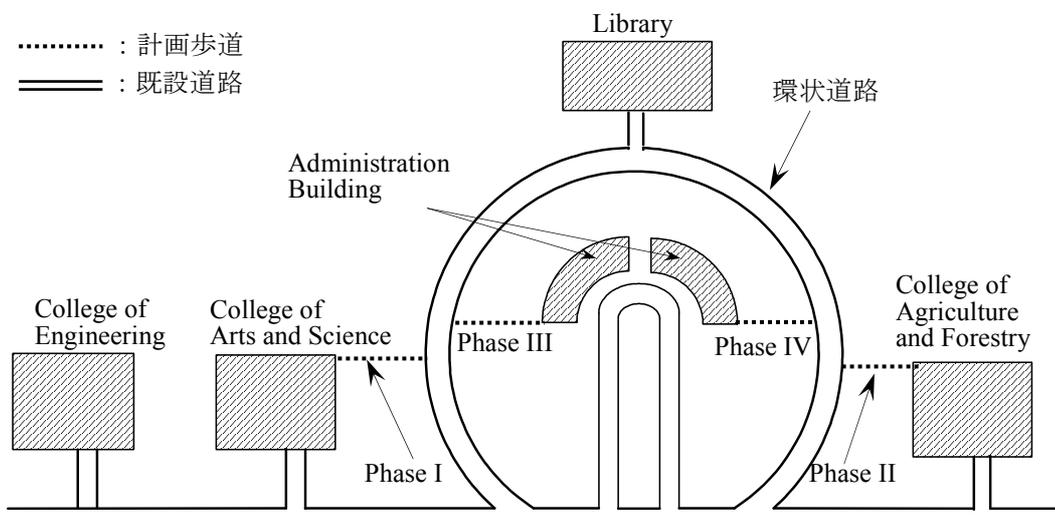


図 5-5 MMSU 構内平面図



写真 5-1 歩道建設箇所
(College of Arts and Sciences 側から
環状道路を見た様子)



写真 5-2 学内移動手段のトライシクル

Library に行かざるを得ず遠回りとなる．そのため写真 5-2 に示すようなトライシクル（乗合 3 輪バイク，構内移動時一回約 20 円）で学内の移動をすることになる．遠回りで時間がかかり不便であるが，ショートカットの道の構築には資機材費用や，労賃がかかるということで対策はされてこなかった．

そこで今回の大学連携プロジェクトではこのルートの歩道を構築することとし，人力施工が可能で安価な「土のう」による歩道構築計画を提案した．歩道断面図を図 5-6 に示す．作業は，フィリピンの州立大学では一回生の必修科目である，National Service Training Program (以下，NSTP) を利用することとした．これは，毎週土曜日に半日，大学近くの村を訪れ清掃活動など，ボランティア活動に従事するというものである．ここでは，このプログラムに，歩道作成作業に従事することを組み込んだ．学生にとっては単位取得のための参画であるが，自分の大学のインフラ整備に寄与することで，今後の維持管理に対するモチベーションもあがると考えられる．

土のう袋代，中詰用砂利代，その他歩道作成に関わる費用は本研究グループより提供することとした．学生の作業参加については，必修科目の一つであるため労務費は発生しない．

(2) 利用した資機材

土のう袋については，コーディネーターに日本やパプアニューギニアで利用したサンプルを渡し，これらと同様の素材，サイズの袋をフィリピン国内で製造されている袋の中から選定するよ

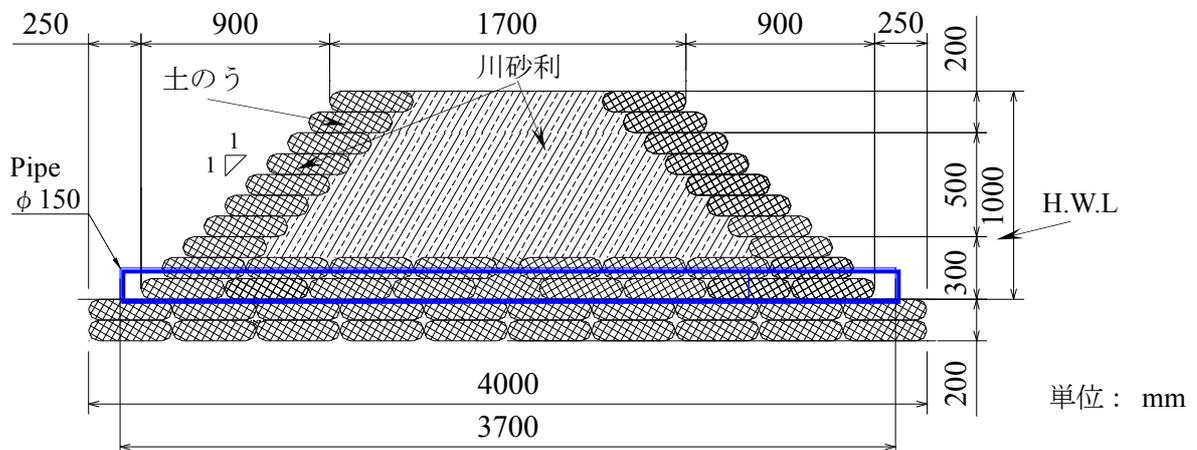


図 5-6 歩道断面図

う指示した。その結果、表 5-3 に示す、フィリピン国内で生産されているポリエチレン製の袋材を利用した。なお、ここでは比較のため、日本で一般的に利用される袋材（第 4 章、表 4-3 参照）、パプアニューギニアで利用した袋材（第 4 章、表 4-3 参照）と併せて示している。パプアニューギニアで調達した袋材と同様、口部を固定する紐はあらかじめ取付けられていないため、別途紐を購入し利用した。

表 5-3 袋材諸元

	単位	日本で利用	パプアニューギニア	フィリピン
名称		輸入土のう（中国産）	砂糖用	米用
素材		ポリエチレン	ポリエチレン	ポリエチレン
サイズ	m	0.60 × 0.48	0.63 × 0.46	0.62 × 0.46
重量	g/袋	46.0	52.2	51.0
単位重量	g/m ²	79.9	90.8	89.4
織密度	本/2.54 cm	9	13	10
引張強度	kN/m	6	14	

表 5-3 よりフィリピンで入手した袋材の素材はポリエチレン、単位面積重量は 89.4 g/m²、織密度は 10 本/2.54 cm であった。同素材の日本で一般的に利用されている袋材とパプアニューギニアで入手した袋材との中間的な値をとっていることから、引張強度についても 6.0 kN/m から 14.0 kN/m の中間値を示すと考えられる。従ってフィリピンで入手した袋材は、「土のう」として歩道用盛土の構築に利用するにあたって、十分な引張強度を有すると考えられる。

このようにプラスチック系樹脂の素材の袋の引張強度は、引張強度試験の実施が難しい開発途上国では、単位面積重量や織密度により引張強度を推測せざるを得ない。

ポリエチレン製の袋材の、紫外線にさらされ破断することについて、現地スタッフから危惧された。この点について「土のう」工法の特長の 1 つである、破れてもすぐに置換するなど容易に修復することができることを説明し、施工のみならず維持管理体制を合わせて構築すれば、大きな問題とはならないことを説明した。その上で実際には維持管理作業を低減するため、また景観に配慮し、土のう袋が紫外線に直接さらされないよう泥で被覆しその表面を植生する計画とした。

土のう中詰材については、大学敷地内での現地発生土は粘性土であり、取り扱いづらいこと、また現地大学近くで川砂利が採取されており調達が容易であることから、川砂利を利用することとした。現地土木工学科エンジニアより得られた情報によると、この砂利は統一分類法（米国法）で GP/CL と分類され、これは日本統一土質分類では細粒分混じり礫となる⁷⁰⁾。

ここでは、「土のう」を 7,500 個利用する計画であり、作業効率をあげるため締固めにはプレートコンパクターを利用した。

(3) 歩道設計計算

図 5-6 に示した断面の歩道について、地盤支持力の照査、基礎直下の「土のう」の破壊に対する検討、盛土の主働土圧と壁体である「土のう」間の摩擦抵抗について検討する。

MMSU の土木工学科エンジニアより現地地盤条件について表 5-4 のような情報を入手した。液性限界と塑性指数との関係を表した塑性図（図 5-7⁷¹⁾）より、現地地盤の土質はほぼ A 線上 (I_p

= 0.73 ($w_L - 20$), I_p : 塑性指数, w_L : 液性限界) に来ることがわかる. 従って高塑性の無機質粘土, もしくは高圧縮性の無機質シルトと有機質粘土に分類される. 粘性土地盤で, その許容支持力は 100 kPa であることから N 値 10 程度の粘性土地盤であるといえる⁷²⁾.

歩道建設箇所の原地盤の勾配はほぼ一定で, 取付道路との高低差が 1 m との報告を受けて図 5-6 に示すような断面を有する歩道を計画した. 盛土法面は, 紫外線の影響から土のう袋を守るために泥で被覆し種子を散布して植生することとした. そのため, 泥が付着しやすかつ, 経済性を考慮し法勾配を 1:1 としている. また盛土の準備工として基礎地盤を平坦に均し, 除根するために深さ 0.2 m まで掘削し, 「土のう」2 層分の基礎を設ける. さらに「土のう」を全面に 2 層積むことで, 「土のう」擁壁の高さを 0.8 m となるようにした. ここでは, 得られた現地地盤データについて, 詳細な試料採取箇所, 調査時期について明確でないこと, この歩道構築は「土のう」技術のデモンストレーションであり, 多くの人の見学対象となること, 学生の学内移動用の通路で半永久的に利用する必要があることから, 「土のう」を横断方向に全面に 4 層積み基礎を補強した.

歩道完成後, 雨季にはここで構築される歩道盛土により水の流れが遮断されることから, 排水ルートを確認するため 6 m ピッチに $\phi 150$ のパイプを設置した. 歩道ということで作作用させる活荷重は道路橋の設計基準に基づき, 5.0 kN/m^2 とする⁴⁹⁾. 載荷重の様子, 照査項目を図 5-8 に示す.

表 5-4 現地地盤データ

液性限界 (%)	70
塑性限界 (%)	36
塑性指数 (%)	34
許容支持力 (kPa)	100

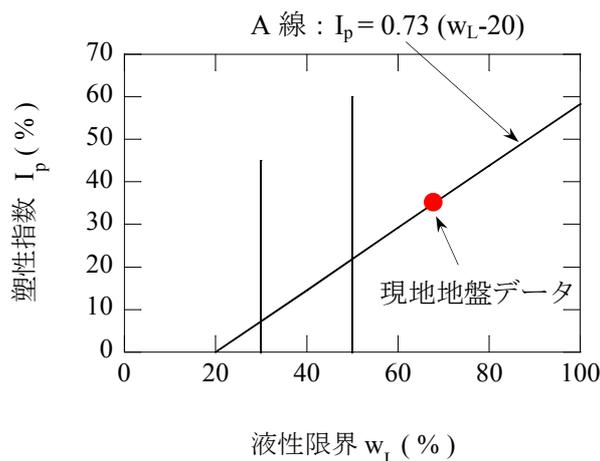


図 5-7 塑性図⁷¹⁾

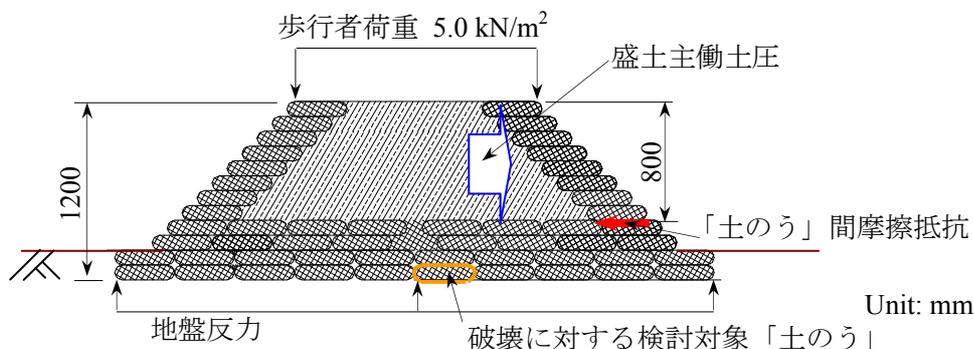


図 5-8 歩道載荷条件, 照査項目

1) 地盤支持力の検討

現地土木工学科エンジニアより歩道建設箇所の地山の許容支持力について、表 5-4 に示すように 100 kPa との報告を受けた。

支持地盤に作用する歩行者荷重, 盛土自重を算出する。盛土材となる川砂利の自重を 20 kN/m^3 とする⁷²⁾。土のう袋の自重は川砂利に比べて微小なためここでは無視する。基礎地盤より盛土天端までは 1.2 m, 歩行者荷重が 5.0 kN/m^2 が作用することから地盤反力は 29.0 kN/m^2 となる。これは支持地盤の許容支持力 (100 kPa) 未満であり安定である。

2) 「土のう」の破壊に対する検討

第 3 章 式(1)よりフィリピンで調達した資材により作成された「土のう」の破壊時の荷重を算出する。そして基礎直下の「土のう」の破壊に対する検討を行う。

第 3 章 式(1)式を再掲する。

$$F = 2T \times \left\{ \frac{B}{H} K_p - 1 \right\} \times L \quad (1)$$

$$\text{ただし, } K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

ここに, T : 土のう袋材の引張強度 [kN/m], B : 「土のう」の幅 [m], H : 「土のう」の高さ [m], L : 「土のう」の奥行き [m], ϕ : 土のう中詰材の内部摩擦角 [°]である。

5.3.2(2)で見たようにここで利用した土のう袋の引張強度は 6.0 kN/m 以上と考えられる。そこで安全側をみて引張強度を日本で利用される袋材と同等とし, 6.0 kN/m とする。

土のう袋の寸法は $46 \text{ cm} \times 62 \text{ cm}$ であるが中詰後の「土のう」寸法は, 第 3 章, 表 3-1 中の No.1 の袋材 (寸法 $48 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$) の場合と同様に幅 40 cm , 高さ 10 cm , 奥行き 40 cm とみなす。

ここで, 土のう中詰材には川砂利を利用するが, 擁壁の安定計算を進める上で道路土工指針に従ってその材料定数を決定する。そこで裏込め土が礫質土の場合, 内部摩擦角 35° と決定される¹¹⁾ことから, 同じ礫質土が土のう中詰材として利用されるため, 式(1)の ϕ に 35° を代入し算出する。以上より「土のう」が破壊にいたるとき「土のう」に作用する荷重は, 式(1)より 66.1 kN となる。

図 5-9 中, 最深部に位置する「土のう」に作用する荷重を算出する。ここでは盛土体の自重と歩行者通行時の荷重の合計を算出する。その結果最深部の「土のう」一袋に作用する鉛直荷重は約 5.0 kN である。よって「土のう」が破壊に至ることはない。

3) 擁壁の安定検討

擁壁の安定のためには, 「土のう」間のすべり (滑動) に対する摩擦抵抗力が, 盛土主働土圧による滑動力より大きいことが求められる。両者を算出し比較する。滑動力 F は下記式より算出される。

$$F = \frac{1}{2} \times Ka \times \gamma \times z^2 \quad (2)$$

$$\text{ただし, } Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

ここに, Ka : 主働土圧係数, γ : 裏込め材単位体積重量 [kN/m^3], z : 擁壁の高さ [m], ϕ : 裏込め材の内部摩擦角 [°]である.

次に「土のう」間のすべり (滑動) に対する摩擦抵抗力 F_s は下記式により算出される.

$$F_s = \gamma \times B_s \times z \times \tan \phi_s \quad (3)$$

ここに, γ : 中詰材単位体積重量 [kN/m^3], B_s : 「土のう」積み擁壁の横幅 [m], z : 擁壁の高さ [m], ϕ_s : 粗い中詰材入り「土のう」間の摩擦角 [°]である.

図 5-8 に示すように, 盛土天端から 800 mm の位置 ($z = 0.8$ m) で最大主働土圧が作用するので, この位置で「土のう」間の摩擦抵抗力と比較する. 裏込め材が川砂利で礫質土であることから, 単位体積重量は 20 kN/m^3 , 内部摩擦角 ϕ には 35° を代入する⁷²⁾. 式(2)より主働土圧は, 2.7 kN/m となる.

一方, 「土のう」間の摩擦抵抗は袋材にプラスチック樹脂の袋を利用し, 中詰材に粗い材料を利用した場合, 摩擦角は 31° となる⁴⁴⁾. 「土のう」積擁壁の横幅は「土のう」一袋分の 0.4 m となる. 摩擦抵抗力は式(3)より 3.9 kN/m となる.

盛土の主働土圧による滑動力に対して, 「土のう」間の摩擦抵抗力が大きいことから安定といえる.

(4) 「土のう」による道路整備プロジェクト

このプロジェクトの目的は下記の通りである.

- 1) 雨季でも通行可能である, 図 5-5 に示すルート of 歩道を作成する.
- 2) 「土のう」による盛土, 歩道作成ノウハウをデモンストレーションを通して大学関係者へ伝授する.
- 3) MMSU のネットワークを通して農村部へこの技術を移転し拡大する.
- 4) 施工を通して MMSU の研究者の活動を活性化する.

プロジェクトを実行するにあたって, 先に述べた MMSU の助教授をコーディネーターとした. 大学内でプロジェクトのスタッフチームが編成された. ここに土木工学科の教官が参画した. しかし, 我々の打合せ相手はコーディネーターのみとした. その結果, このプロジェクトに対する責任感が芽生え, 迅速にプロジェクトの運転資金の管理, 大学内での各部署の調整や, 土のう資材の段取り, NSTP の学生の調整, NGO との連携, マスコミによる取材, 地方行政府への紹介などが進められた (図 5-4).

砂利の種類を選定時など技術的な点については我々がサポートし, 適宜現地大学の土木工学科のスタッフと調整した. 本プロジェクトの Phase I として図 5-5 中の College of Arts and Science と

環状道路とを結ぶ約 55 m の歩道を作成した。

(5) 歩道構築作業の実施工程と施工歩掛

2月21日、MMSU 主催の Launching Ceremony より歩道の施工が開始された。Ceremony では、大学の President をはじめ、現地 NGO スタッフ、市長（実際には市長代理）、地元テレビ局の取材班らが参加しており、インパクトを与えることができた。我々は21日より24日までの4日間技術指導のために現地に滞在した。MMSU の土木工学科エンジニアにまず、「土のう」技術の概要、施工手順を伝授した。その後は彼らが中心となり、学生らを指導し作業を進めた。また、学生による作業を補佐するために、日常大学に勤務し構内の設備の維持管理をしている作業員を、平均で一日当たり3名雇い協力を得た。炎天下での重労働でもあり、また、フィリピンでは午前、午後食事の合間にスナック（お菓子等）を摂る習慣があることから、学生らには現地の習慣に習いスナックとジュースを差し入れた（一人当たり68円）。作業風景、休憩時の様子を写真5-3、写真5-4に示す。滞在した4日間では、「土のう」を約1,800個を敷設した。

我々が帰国した後も、プロジェクトスタッフが中心となって作業が継続された。毎週土曜日に NSTP の学生が午前、午後各々50人から60人が参加し4月10日までに「土のう」7,500個を敷設し、延長55mの歩道を完成させた（写真5-5）。路面には、現地土木エンジニアの提案によりセメントブロックが敷設された。「土のう」表面被覆のため、泥の付着を良くするため、ネットを張る様子（写真5-6）、もしくは藁と泥を混合させ付着させる（写真5-7）など、彼ら自身による工夫が見られた。歩道盛土法面を緑化しており雨季において水抜きパイプが機能し排水が進んで、歩道としての役割を果たしている様子が確認された（写真5-8）。

学期末（4月中旬）までに施工を終えるという目標で作業が進められた。進捗状況にあわせて、土曜日以外の日で、大学に勤務する作業員により作業が進められたときもあった。学生が参加した施工日数は10日間であった。実施工程について表5-5に示す。材料数量とその費用、各材料の全体費用に占める割合を表5-6に示す。袋代、口紐代を合わせて全体の約4割、中詰材、裏込材費用が約3割を占める。材料代のみでは、1m当り6,639円となった。また、材料費やスナック代、作業員への給与、プロジェクトの開始セレモニー費用なども含めた費用は表5-7のようになっている。このとき歩道1m当りの費用は11,500円となった。

今後は、図5-5に示す他の区間（Phase II～IV）においても、現地のプロジェクトコーディネーターとスタッフが中心となり、「土のう」により同様に歩道が構築される予定である。



写真 5-3 作業状況



写真 5-4 休憩時の様子



写真 5-5 歩道完成時の様子



写真 5-6 ネットを利用して被覆



写真 5-7 藁を泥と混合



写真 5-8 雨季での歩道の様子

表 5-5 実施工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
施工日	2/21	2/22	2/23	2/24	3/3	3/10	3/17	3/24	3/31	4/4
学生数 (人)	60	40	5	50	60	60	50	50	14	15
作業時間 (時間)	3	3	8	6	6	6	9	9	9	8
人・時間累計	180	300	340	640	1,000	1,360	1,810	2,260	2,386	2,506
作業員 (人)	3	3	3	3	4	4	4	5	4	4
作業時間 (時間)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
人・時間累計	24	48	72	96	128	160	192	232	264	296
主な出来高										
作成土のう数	380	370	120	930	1,320	1,320	1,525	1,535		
作成土のう数累計	380	750	870	1,800	3,120	4,440	5,965	7,500		
表面被覆作業 (m ²)									82	82
ブロック敷設 (個)										200

※上記作業日以外に、2/26-3/2、3/5-3/9の10日間、1日当り3人の作業員が作業実施

表 5-6 材料費集計表

項目	数量	単価 (円)	合計 (円)	比率 (%)
土のう袋	7,500 袋	21	157,500	43.1
口紐	85 roll	125	10,625	2.9
中詰材 (川砂利)	120 m ³	570	68,400	18.7
裏込材 (川砂利)	60 m ³	570	34,200	9.4
パイプ	9 本	2,775	24,975	6.8
ネット	8 m ²	1,688	13,500	3.7
セメントブロック	200 個	125	25,000	6.8
種子 (散布作業込)	164 m ²	188	30,938	8.5
合計			365,138	100.0

表 5-7 プロジェクト経費集計表

項目	合計 (円)	比率 (%)
材料費+機材 (締固機, 一輪車等)	443,087	70.2
スナック代 (808人, 68円/人)	54,944	8.7
労働者賃金 (67人, 800円/人・日)	53,600	8.5
一般経費 (式典準備, 燃料代等)	79,228	12.6
合計	630,859	100.0

ここで表 5-5 より、施工第 8 日目までで「土のう」7,500 袋を作成、敷設しており、このときまでに作業に従事した学生、作業員の人・時間の累計は作業員のみが施工に従事した分も含めると 2,732 人・時間となる。このことから、一日の労働時間を 8 時間とすると一人一日当たり、22 個の「土のう」を作成、敷設することになる。そこで、「土のう」作成、敷設作業の歩掛を日本、パプアニューギニア、フィリピンで表 5-8 で比較する。世話役は複数いても作業効率には大きく影響しないので 1 人とし、一日 800 袋の「土のう」を作成するのに必要となる人数、機械等で比較する。パプアニューギニアでは 4.4.6 で述べたように一日あたり普通作業員が 29 人で「土のう」320 袋を作成するので、これを単純に比例計算し、800 袋作成するのに必要となる作業員数は 73 人と算出される。実施工では作業人数にあわせた施工ヤード、道具の確保など他の要因により作業効率は大きく左右されるので、この算出方法は現実的ではなく、比較のためのものである。

日本ではバックホウ、クレーンの利用により普通作業員 6 人となっている⁶⁰⁾が、フィリピンでは 37 人となる。日本とフィリピンでは、どちらも中詰材が土のう敷設箇所近くにはほぐされた状態で存在することが前提条件であり、また締固めにはプレートコンパクターを利用し同条件であるため、この人数の差がバックホウ、クレーンの利用効果、そして一人工あたりの作業性の違いと考えられる。

パプアニューギニアでは、バックホウ、クレーン、そしてプレートコンパクターを利用しない条件で普通作業員人数がフィリピンの場合の約 2 倍となっている。これはプレートコンパクターの使用の違いだけでなく、パプアニューギニアでは、中詰材の川砂利を採取場にてほぐし、また土のう敷設箇所まで運搬する（運搬距離 1 km 以内）工程が入るためこのような差が生じたと考えられる。

表 5-8 「土のう」作成、敷設に関する作業歩掛

作業内容	摘要	単位	日本	フィリピン	パプアニューギニア
			800袋当り	800袋当り	800袋当り
「土のう」作成（中詰）作業 「土のう」敷設作業	世話役	人	1	1	1
	普通作業員	人	6	37	73
	バックホウ（運転手付）	日	1		
	クレーン（運転手付）	日	0.5		
	プレートコンパクター	日	0.5	1	（木植）

5.3.3 結論

これまで大学連携による技術移転の事例について報告した。以下に主な点をまとめる。

- 1) フィリピン、ルソン島北部の北イルコス州においては、農村コミュニティや NGO と協力関係を持っているのは現地の大学であった。そこで、まず大学間連携で技術移転のためのプロジェクトを実施した。今後この大学の普及プログラムを通して農村コミュニティへ「土のう」によるインフラ整備が普及する可能性がある。

- 2) 現地大学のスタッフをプロジェクトのコーディネーターとし、準備を進めた。調整相手をこの一人に絞ったことで、現地大学スタッフ側にオーナーシップが醸成された。その結果、迅速に準備が進みまたこの大学の持つネットワークを最大限に活かすことができた。
- 3) 道を利用する学生自らが、授業科目の一環として歩道作成作業に従事した。そのため作業員を雇用した場合に比べ労務費を抑えることができた。
- 4) 我々の現地滞在は4日間であったが、「土のう」技術はシンプルであり現地大学スタッフへの技術移転はスムーズに行われた。歩道路面にブロックを敷設する、法面被覆のために、ネットを敷設したり藁と混合し付着しやすくするなど、彼ら独自の工夫が見られた。今後オーナーシップを発揮して、彼ら流の手法で Phase II ~ IV の歩道の構築が実施される可能性がある。

この後、実際にこの大学を発信源として農村部で「土のう」を用いてインフラ整備が進められていくか、確認する。施工期間中にはこの地域の NGO と小規模ダム整備手法について協議した。また完成した歩道の様子も現地 NGO へと公開されていた。今後 NGO によりどう展開していくか確認するとともに、小規模ダムの建設に向けて適宜技術的なバックアップを実施していく予定である。

5.4 ケニア共和国における技術協力プロジェクトでの、「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法の実践

ケニアで JICA が実施する技術協力プロジェクトの小規模園芸農民組織強化計画の中で、「土のう」による農村インフラ整備手法の技術移転を進めている。

ケニアでは農業が国の基幹産業であるため、国の政策として農業の振興は重要な課題である⁶⁵⁾。そのため農業省は、中央政府から農村部コミュニティに至る各地方行政単位に人員を配置し、農村部の現状を正確に把握して行政に活かし、また政策を確実に農村部での実践につなげるためのネットワークを構築している。このネットワークを利用し農村部住民への「土のう」技術の移転を実施している。図 5-9 にケニアにおける地方行政単位と、配備されている農業省スタッフを示し、「土のう」による農村インフラ整備手法がケニア農村部コミュニティへと技術移転が進む構図を示す。プロジェクトスタッフがプロジェクト対象 District の District Agricultural Officer と連絡をとることで、既存のネットワークを活かしスムーズに農村コミュニティでの研修や技術移転を行うことができる。

このプロジェクトは 2006 年 8 月より実施されており 2009 年 8 月までの 3 年間の予定である。このプロジェクトの概要について説明し、筆者が 2007 年 3 月、4 月と短期専門家としてケニアに派遣され現地で実施した「土のう」による未舗装道路整備手法の技術移転の事例と、その後のプロジェクトの進捗について述べる。

ケニアにおける「土のう」による道路整備手法の技術移転に向けたアプローチ手法の特徴を以下にまとめる。

- 1) ケニア政府農業省のネットワークを利用することで、全国農村部への技術移転が可能となる。
- 2) 農道というインフラ整備を、農業省との技術協力プロジェクトにおいて実施している。

道路整備のプロジェクトは、従来、道路管理者である道路公共事業省を通したやり方が主であった。しかしここでは行政上の担当区分にとらわれず、農道を常に利用し、整備することで直接便益を受ける住民へ、自分たちで実施できる整備手法と維持管理手法の技術協力を

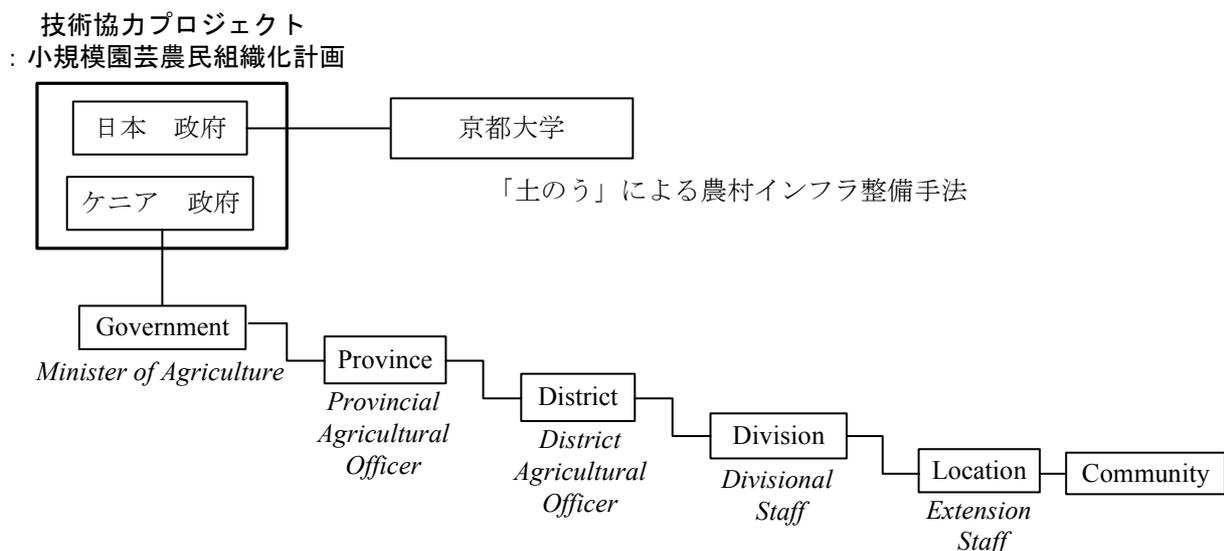


図 5-9 ケニアの地方行政単位と農業省ネットワークを利用したコミュニティへの技術移転

実施している。

- 3) 「土のう」による道路整備手法は、これまで雨季になると車両走行不能となっていた路床において、走行性を確保しうるような有効な解決策となりうる。

ケニアには東アフリカ特有の問題土、膨張性粘土のブラックコットンソイルの土質が広がっている⁷³⁾。路床がこの粘性土の場合、雨季に通行性を確保することが困難でありこれまで、その問題は認識されていたが⁷⁴⁾、有効な対策は提案されてこなかった。

ここでは具体的な対策として、「土のう」による整備手法を提案している。

- 4) プロジェクトの実践を通して、農道をはじめ農村インフラの問題点を把握し、その解決に向けた研究開発が必要な場合、現地大学のスタッフの協力を得て進めていく体制が整っている。

2004年9月に京都大学にて地盤工学分野で博士号を取得し、現在ジョモケニヤッタ農工大学の講師である Dr. Too らと共同で、現地特有の条件下での「土のう」の有効な利用法の開発を進めている。このことは、現地研究者の研究活動の活性化につながり、ケニア人が自国の貧困削減に向けた研究を行うことになる。

これまでに、ブラックコットンソイル上で「土のう」を敷設した時の走行実験等が実施された(写真5-9)。



(a) 雨季を想定し水を張った状態の実験ヤード (b) 「土のう」を敷設し走行実験を実施

写真 5-9 ケニアで実施された走行実験の様子

5.4.1 小規模園芸農民組織強化計画プロジェクト

(1) 概要⁷⁵⁾

ケニアの農業セクターはGDPの26%、外貨獲得の60%、雇用の80%を占め、国家経済の重要な役割を果たしている。ケニア政府は、経済再生戦略書“Economic Recovery Strategy for Wealth and Employment Creation”(以下、ERS)において、「雇用機会創出の促進」と、「農村部における貧困削減」を掲げており、これらの達成に寄与するため、農業部門の活性化を最重要課題として挙げている。

上記ERSをもとに、農業省では、家畜漁業開発省等とともに、農業の再活性化に焦点を当てて、2004年3月に農業再活性化戦略“Strategy for Revitalizing Agriculture”(以下、SRA)を作成した。その中で両省は、食料安全が重要であることに加え、利益や商業を目的とした農業を勧めていくことを目指すとしており、そのために、園芸分野の振興が重要であると位置づけている。園芸分

化され、小規模園芸農家の生計が改善されることを目標としている。ここで、農民組織とは、同じ種類の作物を生産、出荷している農家が集合したもの、同じ灌漑水路を利用するもの、宗教上のまとまりなどがある。従って必ずしも隣接する農家が同組織に属するとは限らない。

小規模園芸農民組織の運営能力の強化とはここでは以下の3つの成果に到達することである。

- 1) 対象農民組織が園芸作物を適切に販売することができる。
- 2) 対象農民組織の園芸作物の生産量・品質が向上する。
- 3) 対象農民組織の生産基盤・流通インフラの整備実施能力が向上する。

(3) プロジェクトの展開, 進め方

上記のプロジェクト目標を達成するために以下の手順に基づきプロジェクトは実施される。

- 1) ベースライン調査
- 2) 教材・マニュアルの作成
- 3) 農業普及員及び農民組織に対する研修
- 4) 巡回指導
- 5) 先進地域視察・意見交換会
- 6) 次期研修へのフィードバック

5.4.2 小規模園芸農民組織強化計画での「土のう」による農道整備手法の実践

本プロジェクトで達成が求められる3つの成果のうち、3)対象農民組織の生産基盤・流通インフラの整備実施能力の向上に向けて、本研究で開発を進めてきた「土のう」による農道整備手法をベースに活動を行う。農道の走行性確保を重要課題としている農民組織に対して技術提供、指導を行い、今後住民自身で整備することができるように研修を行う。

表 5-9 にケニアにおけるこれまでの「土のう」による農道整備実施工程を示す。筆者は 2007 年 3 月、4 月と現地で活動した。

JICA プロジェクトにて「土のう」による農道整備手法を実施するのは初めてで、JICA スタッフには具体的な手法、有効性については把握しにくいという現実があった。そこで 2007 年 1 月にナイロビのケニア JICA 事務所にて「土のう」による未舗装道路整備手法やパプアニューギニアやフィリピンでの活動実績を示して説明した。そこで、ケニア JICA 事務所管轄の保健プロジェ

表 5-9 ケニアにおける「土のう」による農道整備実施工程

District	項目	年月							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Kericho	施工準備	■							
	施工			■					
	施工箇所経過状況確認				●		●		
Trans Nzoia	施工準備			■					
	施工				■				
	施工箇所経過状況確認				●	●			
Kisii	施工						■		

クトの中で保健センターへのアクセスの問題が生じていたことから、ここでまず「土のう」による道路整備を実施することとなった。この保健プロジェクトの都合上3月初旬に施工を終える必要があり、1月から2月にかけて、メールで情報交換しながら JICA ケニア事務所スタッフらによる現地視察、資材の調達、道路管理者との協議などの手続きが行われた。Kericho District (図 5-10 参照) で3月に7日間、約 22 m の範囲を「土のう」を利用して整備を行い、その後の経過状況の確認を行っている。

小規模園芸農民組織強化計画では、4つの対象 District 内で各 District Agricultural Officer が 10 の農民組織を選定する。その中で農村インフラ整備の必要性を感じ優先度が高いグループに対して研修を行い、彼ら自身のインフラ整備実施能力の向上を目指す。研修では「土のう」による農道整備手法を中心に技術移転を進める。この研修に先立ち、各 District で住民参加のもと、「土のう」による農道整備のモデル施工を行う。農民組織への研修の際には、モデル施工が実施された箇所を視察し、その効果を実感すると共にその作業に参画した住民らの意見のヒアリングを行うことで、学習意欲、効果の向上につながると考えられる。

2007年3月末に、Trans Nzoia District 内のコミュニティ、農道の現状について調査し、モデル施工に適す場所を選定した。そして4月に住民参加のもと「土のう」により約 576 m の農道を整備した。この施工を通してコミュニティはもとよりプロジェクトのカウンターパートに対して技術移転を行った。次に Kisii District でモデル施工を行うにあたり、カウンターパートらと事前調査を行い、道路整備手法について共に計画した。

2007年6月には Kisii District でカウンターパートのみでモデル施工が実施され、「土のう」により約 700 m の道路が整備された。残る対象 District においても順次実施される予定である。

今後は、農道以外にも小規模ダムなど他の農村インフラ施設の整備を進める予定である。そして研修教材、マニュアルを作成する。

ここでは2007年3月から4月にかけて、Kericho District, Trans Nzoia District にて「土のう」を用いた農道整備を実践した事例を報告する。今回のケニアでの活動成果について下記にまとめる。

- 1) ケニアで現地調達可能な材料を用いた「土のう」による道路整備手法の施工性、経済性を把握した。
- 2) 路床の土質条件がケニア特有の問題土であるブラックコットンソイルである場合でも、「土のう」による未舗装道路整備手法が雨季の走行性確保に有効であることが確認された。
- 3) 「土のう」による未舗装道路整備手法がプロジェクトスタッフへ技術移転された。
- 4) 「土のう」による住民参加型道路整備がきっかけとなり、現地住民組織がそれまで懸案であったがあきらめていた橋補修を自分たちで実施するという事例が見られた。
- 5) 今回の施工事例をもとに道路条件、施工条件に対する歩掛をまとめた。

5.4.3 ケニアにおける「土のう」に関する資材の調達

「土のう」による未舗装道路整備手法の実施には土のう袋、口紐、中詰材、「土のう」間の隙間を埋める間詰材、表面を被覆する表層材が必要となる。ケニアで調達した各資材について述べる。

(1) 土のう袋

表 5-10 袋材の諸元

	単位	日本で利用	パプアニューギニア	フィリピン	ケニア
名称		土のう	砂糖用	米用	穀物用
素材		ポリエチレン	ポリエチレン	ポリエチレン	ポリプロピレン
サイズ	m	0.60 × 0.48	0.63 × 0.46	0.62 × 0.46	0.60 × 0.45
重量	g/袋	46.0	52.2	51.0	42.3
単位重量	g/m ²	79.9	90.0	89.4	78.3
織密度	本/2.54 cm	9	13	10	10.5
引張強度 [#]	kN/m	6	14		6.5
単価	円/袋	20	26	21	22

(# : 乾燥状態での引張強度)

表 5-11 ポリエチレン, ポリプロピレンの物性⁷⁶⁾

	単位	ポリエチレン (PE)	ポリプロピレン (PP)
比重		0.94~0.96	0.9
引張強度	N/mm ²	20~39	40~45
ヤング率	N/mm ²	500~1500	1000~1300
耐熱温度	°C	120	105~140
耐候性		強	弱

首都ナイロビ郊外にあるプラスチック樹脂系の袋, またサイザル袋も作成している工場より購入した. ここで利用した袋材の諸元を表 5-10 に示す. 日本で一般的に利用されるもの, パプアニューギニア, フィリピンで利用したものの諸元もあわせて示す. 一般的にプラスチック樹脂系袋にはポ

リエチレン (以下, PE) 製とポリプロピレン (以下, PP) 製の袋があり, ケニア工場で生産されているものは PP 製であった. 表 5-10 に示すように日本で一般的に利用される土のう袋, パプアニューギニア, フィリピンで利用した袋材は PE 製であった.

PP, PE の両者の性質は表 5-11 に示す⁷⁶⁾. 比重は両者とも水より軽い. 見た目や触感は類似している. 一方で PP は PE に比べて耐候性が低く, 引張強度は PP の方が大きい. このようなプラスチック樹脂素材は表 5-11 からわかるように, 引張強度, ヤング率など物性にはばらつきがある. そのため, 製造工場が異なれば袋材の引張強度にもばらつきがあると考えられる. これまで袋材の引張強度を調べてきた結果では, 日本で利用される土のう袋の引張強度が最小であった. そこで新たな袋材を土のう袋として利用する時には, 日本で利用される土のう袋の, 織密度, 1 m²あたり重量を基準とし適否の判定を行う. 具体的には表 5-10 より, 織密度が 9 本/2.54 cm 以上であるか, 1 m²あたり重量が 80 g 以上であることを確認する.

ケニア産, PP 製の袋材の引張強度は乾燥状態で 6.5 kN/m で 3.3 で見たように 4.6 kN/m 以上であることから「土のう」袋として道路構造に適用できるといえる. 耐候性については 5.3.2(2)で

も述べたように定期的な点検を行い、破損した「土のう」は置換する、もしくは紫外線の影響を防ぐために土のう表面を被覆するなどの方法で対処できる。

ここで、2.4、3.3で述べたように、天然素材で環境にやさしいサイザル麻袋を土のう袋として利用することも検討している。サイザルはケニア、タンザニア、マダガスカルで全世界生産の約26%が生産されている³⁷⁾。土のう袋として新たな需要を生み出すことができれば、サイザル麻農家、麻袋生産工業を活性化することができる。サイザル麻製袋も生産している現地の工場長に相談すると、土のう袋として利用するプラスチック樹脂製の袋材と同等のサイズの袋の生産は可能であるが、単価が約7倍、一袋辺り約150円するとのことであった。サイザル麻袋については3.3で検討したように引張強度は大きく、十分道路構造に適用できることが明らかになっている。しかし、縫い目の粗さの影響、プラスチック樹脂系繊維と比べサイザル繊維の厚さのために柔軟性に欠けること、などの問題点があり「土のう」としての実用化に向けてはさらなる研究開発が必要である。今後現地研究者を中心に開発を進める予定である。

(2) 口紐

日本で利用される土のう袋には一般的にあらかじめ口紐が取り付けられており、中詰後その紐を引張り結ぶことで中詰材がこぼれないよう口部を固定することができる。ケニアにおいて入手できる土のう袋は本来、砂糖やメイズなどの穀物、肥料用の袋材を代用している。あらかじめ口紐は取り付けられていないので、別途紐を用意し中詰後、口部を結んで固定する。

口紐は人力で引張っても切れず、縛るのに適した太さ、硬さのものを選ぶ。ここではサイザル麻製の紐を利用した。

(3) 中詰材

ケニアではマラムという良質材が採取される地域がある。ある地域から採取されたマラムの粒度分布を図5-11に示す。表層材に適するとされる粒度分布の範囲³⁰⁾もあわせて示す。マラムは粒度分布から工学的分類では砂質礫となる⁷⁷⁾。採取地域によって粒度分布は異なるが、表層材に適するとされる粒度分布範囲に比べて砂分が少ないものの、細礫分を多く含むことから未舗装道路の表層材として利用されている。農村地域を通る主要道路では、未舗装ではあるがマラムを撒き出しグレーディングをして整備されている箇所がある(写真5-10)。そこで、今回は道路補修箇所近くで採取されるマラムを中詰材、そして「土のう」間の隙間の間詰材として利用した。

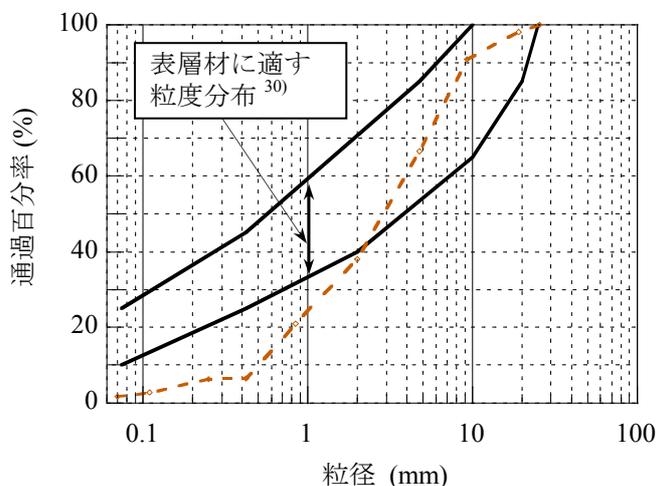


図 5-11 マラム粒度分布



写真 5-10 マラムを撒出し整備された道路

(4) 表層材

「土のう」表面を被覆し、輪荷重を直接受ける表層は良質材の利用が望まれる。今回のケニアでの施工にはマラムを表層材として利用した。

5.4.4 Kericho District での「土のう」による未舗装道路整備の実践

(1) 施工対象道路

JICA が支援している保健センターへのアクセスを雨季においても確保する必要があり、重機が必要とならない人力施工による「土のう」による道路整備を実施した。整備対象道路の平面図を図 5-12 に示す。幅員は 6.0 m から 8.0 m、交通量調査を実施したところ日交通量は約 200 台で、サトウキビを運搬するトラクターや乗合バスが通行していた（写真 5-11）。この道路の管理者は道路公共事業省傘下のこの地方を管轄する District road engineer で、事前に施工の了解を得た。沿線にはいくつもの村が存在し、施工箇所近くでは週二回市場が開かれる。また穀物集積場があり、農家から収穫されたメイズが運びこまれている。つまり、この道はある決まったコミュニティのみが利用する道ではなく、不特定多数の人々が往来する。路床の土質はブラックコットンソイルであり、路面にはこれまでの整備で敷設されてきた礫が混合している（写真 5-12）。施工実施時期は乾季であり、路面は乾いており、所々轍箇所が見られるものの通行性は確保されていた。雨季になるとブラックコットンソイルの含水比が高くなり泥濘化し、敷設された礫分は地中に埋もれてしまうために通行性確保の効果を維持できていないと考えられる。特に轍が大きく形成されていた No.1（写真 5-13）と No.2（写真 5-14）の箇所で整備を行った。

本来、「土のう」による住民参加型道路整備手法は、普段その道を利用する住民が自分たちで整備していくことを実現するために開発を進めてきた。施工対象道路としては一車線（幅員 3.0 m）の日交通量が 50 台程度の道を想定している。開発時の想定とは異なる条件ではあるが、人力施工で実施可能な「土のう」による道路整備手法の日交通量 200 台程度の道路への適用性を検証した。

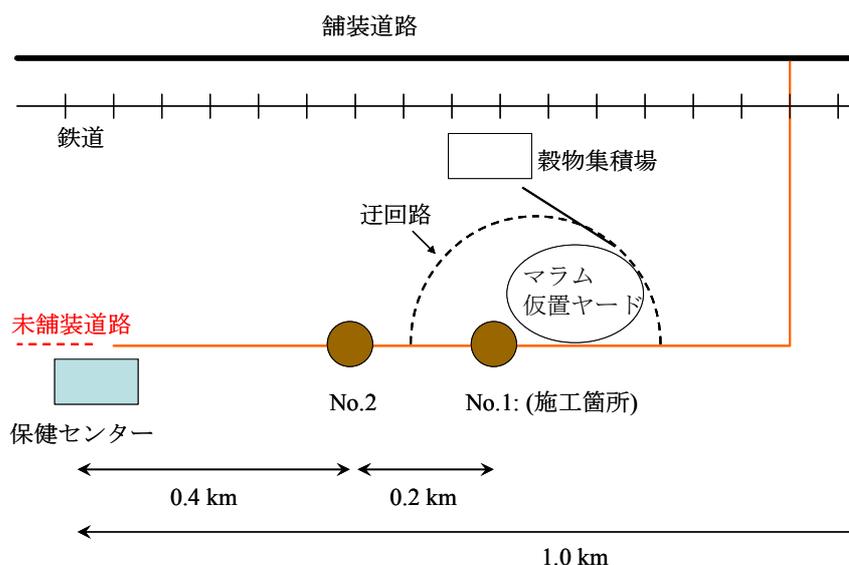


図 5-12 施工対象道路平面図



写真 5-11 通過車両



写真 5-12 礫が混在した路面

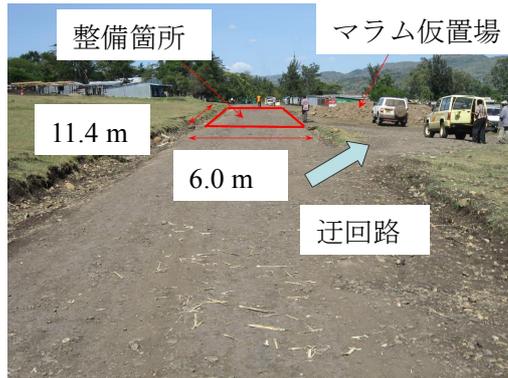


写真 5-13 No. 1 施工箇所

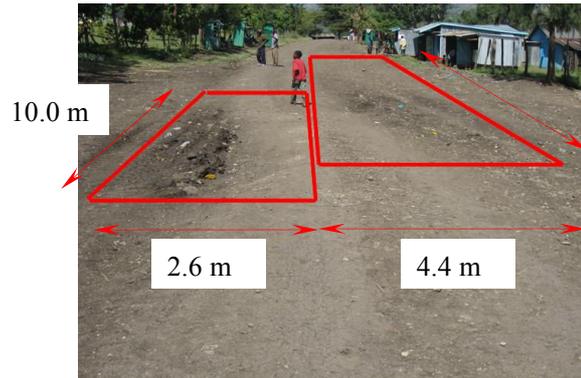


写真 5-14 No. 2 施工箇所

(2) 利用資機材

5.4.3 に示した袋材をナイロビから運搬し利用した。また口紐にはサイザル紐を利用した。

中詰材については施工対象箇所近辺の土質はブラックコットンソイルで、近くに川砂利やマラムを採取できる場所はなかった。岩を人力で砕いて碎石として売られている場所があったが、まとまった量が確保できないこと、運搬費用がかかることから採用しなかった。この道路管理者である District road engineer の紹介を受けた業者よりマラムを購入し、施工箇所近くのヤードに仮置きした。ここで得られたマラムは細粒分が多く粘土質で、一方で 500 mm 大の石分も含むものであった。500 mm 大の石分は除去しながら、中詰材、間詰材、表層材として利用した。

機材として調達したものは、一輪車、ショベル、鍬、鋤、ナイフといった農作業で普段農家が利用していると考えられるものである。今回はプロジェクト主導の「土のう」を用いた道路整備手法の試験施工であり、これらの道具はプロジェクトが調達している。土のう中詰材量の調整に、食用油の 20 リットル用コンテナを利用した。また、「土のう」の締固めのために、作業効率を考え JICA の他のプロジェクトよりプレートコンパクターを 2 台借り受け利用した。

実際に農村コミュニティが日々自分たちの利用する農道の整備の際には、道具類は自分たちで持ち寄り、締固めについては木槌の打撃によるなど現地で調達可能なものを利用して施工を進める。

(3) 作業形態

今回はケニアにおける「土のう」を用いた道路整備手法の試験施工であり、施工性、有効性を確認し、プロジェクトのカウンターパートへ技術移転することが目的であった。そこで保健セン

ターを運営する地元の委員会を通して道路整備作業への協力を呼びかけ、コミュニティから 20 人を雇い（日当一日一人 528 円）作業を実施した。作業を円滑に進めるため、地域とのパイプ役であり作業を総括する統括者、具体的に作業を指揮する作業指揮者、そして資機材を管理する資機材管理者を任命した。

(4) 施工期間

施工は 2007 年 3 月 7 日より 3 月 14 日までの 7 日間、朝 8 時 30 分より 17 時まで行われた。

(5) 施工内容

施工断面図を図 5-13 に示す。

No.1 箇所では図 5-13 (a) に示すように道路中央部で深さ約 35 cm まで掘削し、マラムで中詰めされた「土のう」に置換した。施工時期は乾季で、地表面より約 10 cm の範囲ではこれまでの整備で撒きだされた礫とブラックコットンソイルが混合し非常に固くなっており、掘削時には大変苦労した（写真 5-15）。施工延長は 11.4 m である。道路中央部を車両が走行する傾向があり、中央部では「土のう」を 3 層敷設した。横断排水勾配（5.0%）を確保するため端部では 2 層敷設した。そして、「土のう」表面を通過車両のタイヤから受ける摩擦と、紫外線から保護するため、道路中心付近で厚さ 5 cm となるようにマラムを撒き出し締固めた。

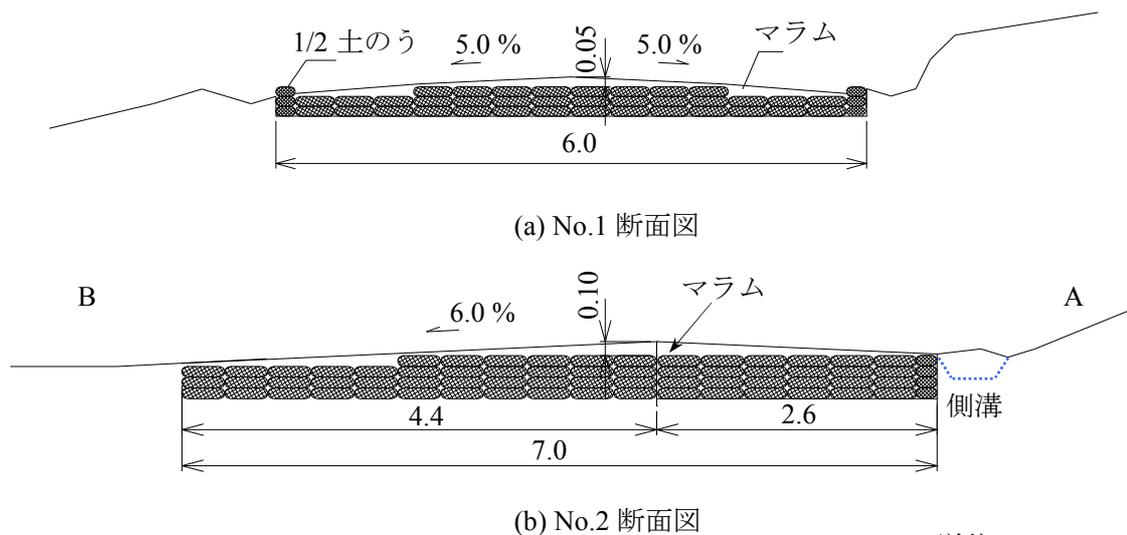


図 5-13 道路断面図



写真 5-15 掘削の様子

図5-13 (b) はNo.2 の施工箇所での施工断面を示す。形成された轍掘れの深さが最深部で約40 cmであったことから深さ約45 cmまで掘削し、マラムで中詰した「土のう」と置換した。施工延長は10.0 mである。路面横断勾配を確保するため図5-13 (b)中に示すように「土のう」を3層から4層敷設し、「土のう」表面が露出しないようマラムを撒きだして被覆した結果、表層の道路中心付近ではマラム層の厚さは10 cm となった。図5-13 (b)中、A側が斜面となっており雨季にはAの斜面から図5-13 (b)中Bの方向へと水みちができる。そこで道路縦断方向に排水路を整備するため側溝を設けた。しかし、流末の高さが固定されているため縦断方向に排水勾配を十分確保できず(1%未満)、水溜りが生じやすい状況は改善されなかった。

(6) 施工手順

「土のう」作成手順は下記の通りである。現地で均一な大きさと同等の締固め効果が得られるように投入する中詰材量と、中詰後の土のう袋内の空間の体積が一定となるように工夫している。作業の様子を写真5-16 に示す。

1. 食料油用コンテナ (20 リットル用) を容量16 リットルとなるように口部を切断する。
2. マラムをコンテナすりきれまで投入する。
3. コンテナ内のマラムを土のう袋へ移す。
4. 土のう袋の口部を、土のう袋内ににぎりこぶし一つ分の空間を確保した位置でサイザル紐でしばる。



(a)マラムをコンテナ上端まで投入する。



(b)マラムをコンテナから袋へ移す。



(c)土のう袋口部の固定箇所を調整し固定する。

写真 5-16 「土のう」作成手順

道路整備手法は下記の通りである。作業の様子を写真5-17に示す。

1. 補修箇所を明示し、所定の深さまで掘削する。
2. 「土のう」を敷設する。この時、縦横方向ともに2 m の範囲内に5 個敷設し、隙間を均等に設ける。これは締固め時に、「土のう」が扁平状に広がるスペースを確保するためである。
3. 「土のう」をプレートコンパクターで締固める。縦横方向に2回ずつ通過させる。一つの「土のう」に対しプレートコンパクターにより4 回締固める。
4. 「土のう」間の隙間を、礫とマラムで埋める。
5. 再度プレートコンパクターで締固める。
6. 次の層の「土のう」を敷設する。
7. 以下繰返し。
8. 最終層敷設完了後、「土のう」表面にマラムを撒きだしプレートコンパクターで締固める。この時路面勾配を道路中心から側溝側へと調整する。



(a) 「土のう」を等間隔で敷設する。



(b) プレートで締固める。



(c) 「土のう」間に石、マラムを撒きだす。



(d) 再度プレートで締固める。



(e) 最終層敷設，締固める。



(f) 表層材撤出し，締固める。

写真 5-17 「土のう」による道路整備状況

(7) 施工数量，単価

No.1 施工箇所は，2.5 日間で延長11.4 m の整備を行った。幅員6.0 mであるので施工面積は68.4 m²である。各資材の使用数量，施工費用は表5-12 のようになる。ここでは道路幅員が施工箇所であり広いため単位面積当たりの単価で比較する。1 m² 辺り約1,400円 となった。

No.2 施工箇所では，4.5 日間で延長10.0 m の整備を行った。ここでは幅員7.0 mであるので施工面積は70.0 m²である。各資材の使用数量，施工費用は表5-13 のようになる。マラム仮置きヤードから約200 m離れており，作成した「土のう」や間詰材，表層材としてマラムを運搬する必要があり，トラクターを利用した。1 m² 辺り約2,300円 となった。

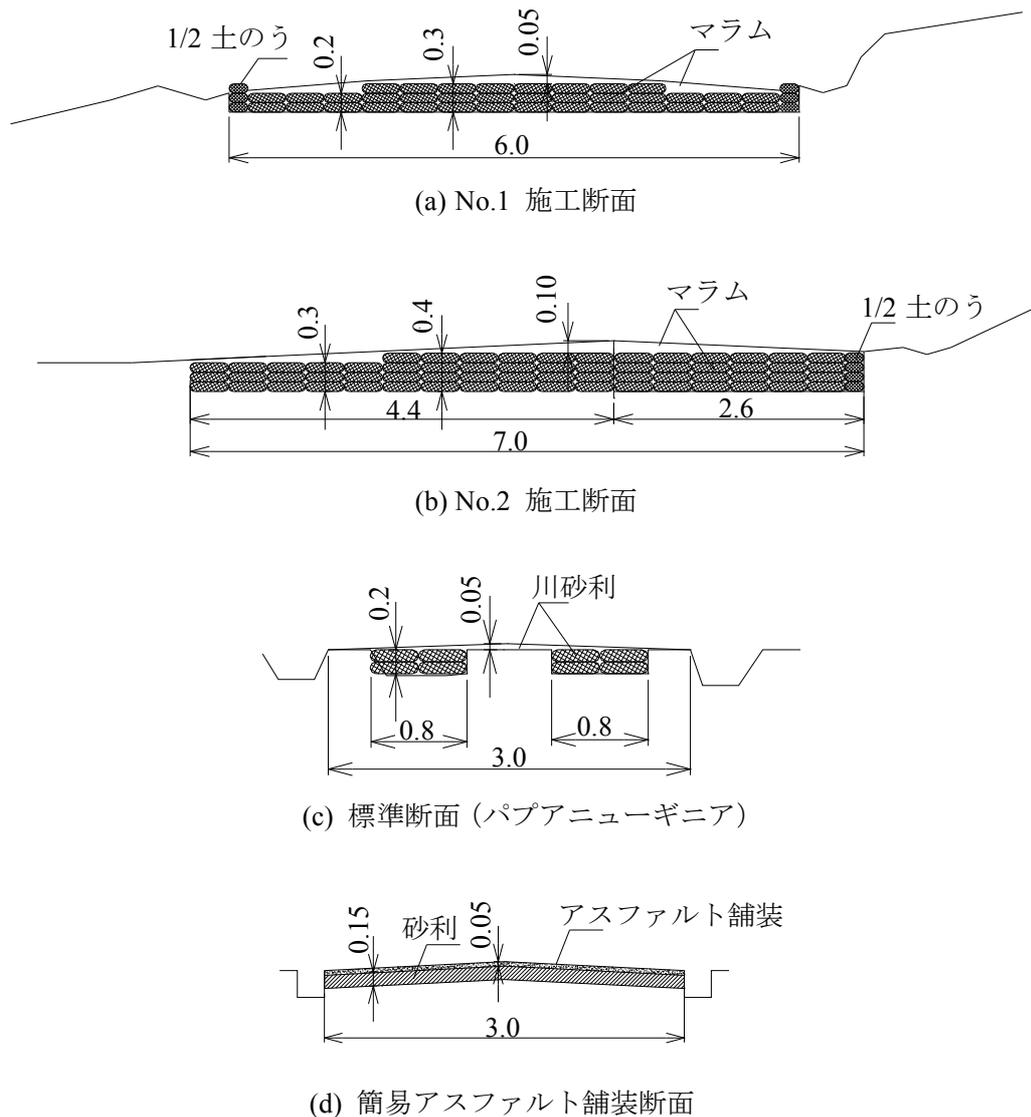
第4章で見たようにパプアニューギニアでの施工実績からは幅員3.0 m，単位長さ当り200円から800円となった。単位面積当たりに換算すると，70円から270円となる。また文献28)によると路床整形，路盤工（厚さ15 cm），表層アスファルト舗装工（厚さ5 cm）の断面では資機材費込みで幅員3.0 m，単位長さ当り5,600円，単位面積当たり1,900円となるデータがある。ここでKericho DistrictでのNo.1，No.2施工断面，パプアニューギニアでの施工時の標準断面，アスファルト舗装工の標準断面を図5-14に示す。

表 5-12 施工数量 (No. 1 断面)

項目	単位	単価 (円)	数量	合計 (円)	割合 (%)
土のう袋	枚	22	1,224	26,928	27.8
マラム (運賃込)	m ³	1,920	22.7	43,584	45.0
労賃	人・日	528	50.0	26,400	27.2
合計				96,912	100.0

表 5-13 施工数量 (No. 2 断面)

項目	単位	単価 (円)	数量	合計 (円)	割合 (%)
土のう袋	枚	22	1,624	35,728	22.3
マラム (運賃込)	m ³	1,920	40.2	77,184	48.1
労賃	人・日	528	90.0	47,520	29.6
運賃	式			6,880	4.3
合計				160,432	100.0



単位：m

図 5-14 道路整備断面

図 5-14 に示すように Kericho District での No.1, No.2 施工断面では置換層が厚いためその掘削に人力施工で労賃がかかっていること、中詰材、間詰材、表層材に利用したマラムが 1 m^3 当り 1,920 円と高価であることからこのように大きくコストがかかったと考えられる。

No.2 施工断面の施工単価は 2,300 円であり、図 5-14 (d) に示すような簡易アスファルト舗装工での標準的な単位面積当たりの施工費用、約 1,900 円より高くなった。ただし、今回の施工は 70 m^2 とわずかであった。一度に行う施工数量や耐久性なども考慮してコストを評価する必要がある。

道路整備については、施工対象道路の性格上求められる補修レベルに対して、適切な施工手法を選択する必要がある。ここでは、不特定多数の人々が利用し日交通量が 200 台で、収穫物を運搬するトラクターの通行も多いことから、これらの通行性を確保しうるようなレベルの整備を行った。作業の進め方や材料の段取方法によっても施工費は左右され、人力施工の「土のう」による道路整備手法がいつも安価であるとは限らない。

「土のう」による道路整備手法は、農村部において現地調達可能材料により住民自身が繰り返し

整備していくことを前提とし、これまで走行できなかった箇所を走行可能にする整備手法である。したがって本施工は本来の「土のう」技術の適用コンセプトとは異なり、やや高度な規格の道路へ適用しているといえる。

(8) 住民の反応と持続性への取組み

施工最終日には、現地のコミュニティが集会を開いてこの住民自身による道路整備について意見交換をした。この中でコミュニティのチーフより、「道直しはこれまでは District road engineer による維持管理に頼るだけであったが、自分たちでも整備を進めることができるということに気付いた」とのコメントが寄せられた。

今回の施工を一過性のものとしないう、持続的に維持管理を進めるために、カウンターパートの主導により作業に従事した住民を中心に暫定道路委員会が結成された（写真5-18参照）。これは、個人、コミュニティの首脳部だけでの合議制では資金繰りなどの問題対処は難しいが、14名の委員からなる委員会を構成し、各委員の受持担当を定め各自がその責任を全うする体制をとろうとするものである。このような組織化を経て個人ではできないことも、組織として対応することで実行性のある活動が期待できる。このことは第2章で紹介した山古志村のトンネル掘削時にも、村民らが委員制を導入し事業を進めたこと⁴²⁾と類似している。そして道具、土のう袋がこの暫定道路委員会に授与された。

その後雨季に入り、施工終了から約一ヵ月後、4月18日に再度施工箇所を訪れた。写真5-19(a)はNo.1、写真5-19(b)はNo.2の様子である。一部路面に溜水しているところもあるが、路面状況は安定しており通行性が確保されている。以前は通行性が確保できていなかった箇所が、「土のう」による整備の後に改善されているという住民の声もあった。また、暫定道路委員会を中心に自分たちで道路整備を進めている様子も見られた。

現地滞在プロジェクトスタッフより送られてきた6月22日の道路状況を写真5-20に示す。再び乾季への移行時期で乾燥しており、路面状況は良好である。「土のう」表面を被覆していた表層材が雨季に路面に流出した排水により流失しているため、再度被覆する必要がある。そして雨季に路面に流出する水量を削減するよう側溝や排水パイプなどの処置を施すことが求められる。

今後も継続して道路状況を確認し、「土のう」による道路整備手法の耐久性や住民らの維持管理実施状況について調査を続ける予定である。



写真 5-18 結成された暫定道路委員会



(a) No.1 施工箇所



(b) No.2 施工箇所

写真 5-19 道路状況 (2007 年 4 月 18 日)



(a) No.1 施工箇所



(b) No.2 施工箇所

写真 5-20 道路状況 (2007 年 6 月 22 日)

(9) 結論

Kericho District での施工より得られた結論を以下にまとめる。

- 1) ブラックコットンソイルの路床で、日交通量が 200 台という道路条件下で「土のう」による道路整備手法により整備を行った。中詰材、間詰材、表層材には良質材であるマラムを利用し、「土のう」を 3 層から 4 層敷設すると通行性が確保されている様子が確認された。
- 2) 乾季で路床は乾燥し、従来の整備により撒きだされた礫層のために掘削作業が人力では困難であった。例えばグレーダーによる掘削の後に、人力で「土のう」を作成、敷設締固めるなどの方法では、作業効率も上がりより低価格道路整備を実施できる可能性がある。
- 3) 「土のう」による今回の道路整備では単位面積当たりの施工単価は約 1,400 円から 2,300 円と高価になった。道路幅員、日交通量など道路条件に応じて補修レベルを設定し、それに適した経済的な施工方法を検討、採用すべきである。
- 4) 住民自身による維持管理のために暫定ではあるが道路委員会が組織化された。施工から一ヶ月後ではこの委員会を中心に維持管理が進められている様子を確認した。

5.4.5 ケニア農村部における「土のう」による住民参加型未舗装道路整備の実践

図 5-10 に示す Trans Nzoia District において、「土のう」による農道整備のモデル施工を行った。本来の小規模園芸農民組織化計画の活動は、対象 District の District Agricultural Officer が選定した 10 個の農民組織の中で、優先順位の高い課題として農道のトラフィカビリティー確保を挙げた農民組織に対して研修を行い技術移転をし、住民の農村インフラ整備能力の向上を計るというものである。ここでは研修実施の前段階のモデル施工であるので、プロジェクト側が対象コミュニティを選定した。

コミュニティの選定にあたっては、District Agricultural Officer が推薦するいくつかの Location を視察し現地コミュニティと話し合い、自分たちによる道路補修を実施する意図があるか、という住民の意識とモデル施工にふさわしい道路条件(他の農民組織からのアクセスが便利であることや、良質な中詰材、表層材が入手しやすいなど)によった。その結果、図 5-15 に示す Waitaluk Location にてモデル施工を行った。なお、図 5-15 はケニアの道路公共事業省が発行した道路地図であるが、施工対象道路はこのような道路地図には出てこないような道である。

ここでは施工事例について報告し、今回の施工実績を踏まえてまとめた道路条件、施工単価、歩掛を示す。今後研修プログラムを組み各地へ普及を進める時の基本データとなる。

今回のモデル施工は農民組織ではなくコミュニティを対象として農道整備を行った。しかし、プロジェクトでは、農民組織単位で発生した農道整備の要望に対して応えていくことになる。この際、農道を利用するのは組織のメンバーのみとは限らず、周囲のコミュニティを巻き込んで農道整備、研修を実施する必要がある。そのためには、コミュニティの情勢に詳しい、Division staff や Extension staff らを通じて、協力体制を構築する上でキーパーソンとなるような地域のリーダーと協議し、コミュニティ内の道路整備に対する合意形成を図る。

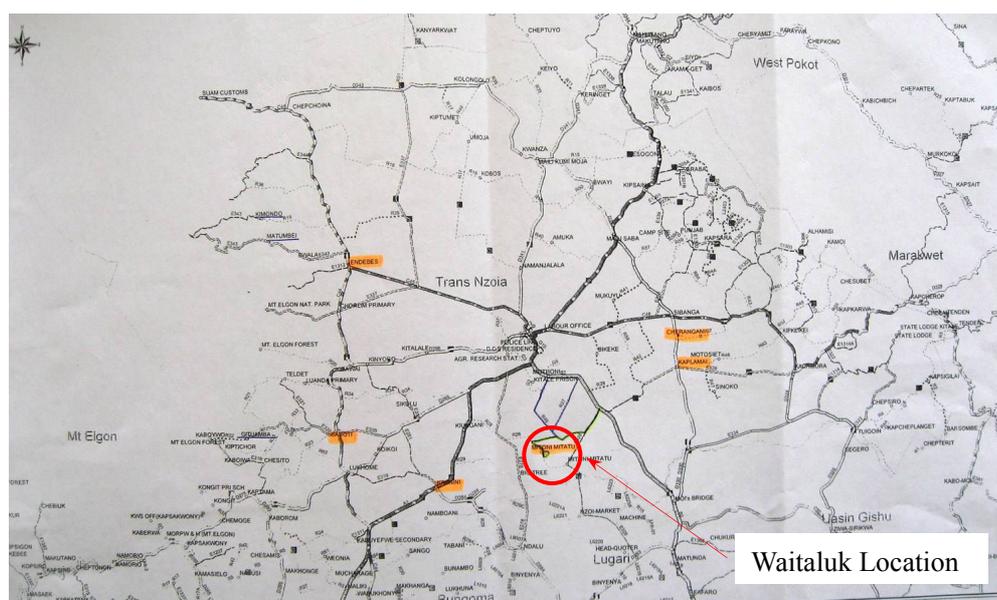


図 5-15 モデル施工実施箇所 (Trans Nzoia District)

(1) 施工準備

図 5-16 に示すような舗装道路より約 8 km の位置に存在する Waitaluk Location の保健センターにて集会を開き、カウンターパートにより本プロジェクトのコンセプトが説明された。District Agricultural Officer から連絡を受けた Division Staff, Extension Staff らにより、集会の準備が行われており、地域のコミュニティの人々が集まっていた。そこでコミュニティの人々の道路整備への関心、意欲を確認した。また、近くにマラムを採取できる箇所が存在したことから、彼らが指摘した補修の必要な箇所（図 5-16 中 A, B, C）で施工を行うこととした。舗装道路と接続する主要道路（未舗装）の、迂回路やショートカットの道が施工対象道路となった。施工対象道路の延長は 3 km から 5 km であるが、トラフィック能力が失われるような範囲はそのうち約 200 m から 500 m であった。施工箇所 B, C では、水路が横断しており雨季にオーバーフローし浸水し軟弱化していると考えられる。

施工箇所毎に施工グループが形成され、リーダーが任命された。住民側からの提案で作業時間は 8 時から 4 時までとした。プロジェクトは土のう袋、口紐、マラム、運搬代、ランチ代をサポートし、住民はボランティアで、普段自分たちが農作業で利用する道具（ショベルや鍬など）を持参し作業に参加した。

施工箇所 A では最寄のマラム採取場からの距離が約 1 km、施工箇所 B では約 2 km、施工箇所 C では約 0.6 km であり、マラムの運搬にはトラクターを利用した。Waitaluk Location 内のトラクターのオーナーからレンタルした。マラムの採取に際しては、各採取場の地主から購入した。これらの調達、値段交渉にはすべてこの地区担当の Extension Staff を通して行われた。

ここで施工に先立ち、道路管理者と協議し施工許可を得るとともに協力を要請した。図 5-15 に表示されている道路を主に管理するのは District Road Engineer で、この図 5-15 に出てこないようなマイナー道路を主に管理するのは自治省の Works Officer である。しかし、図面に表示されない道路でも

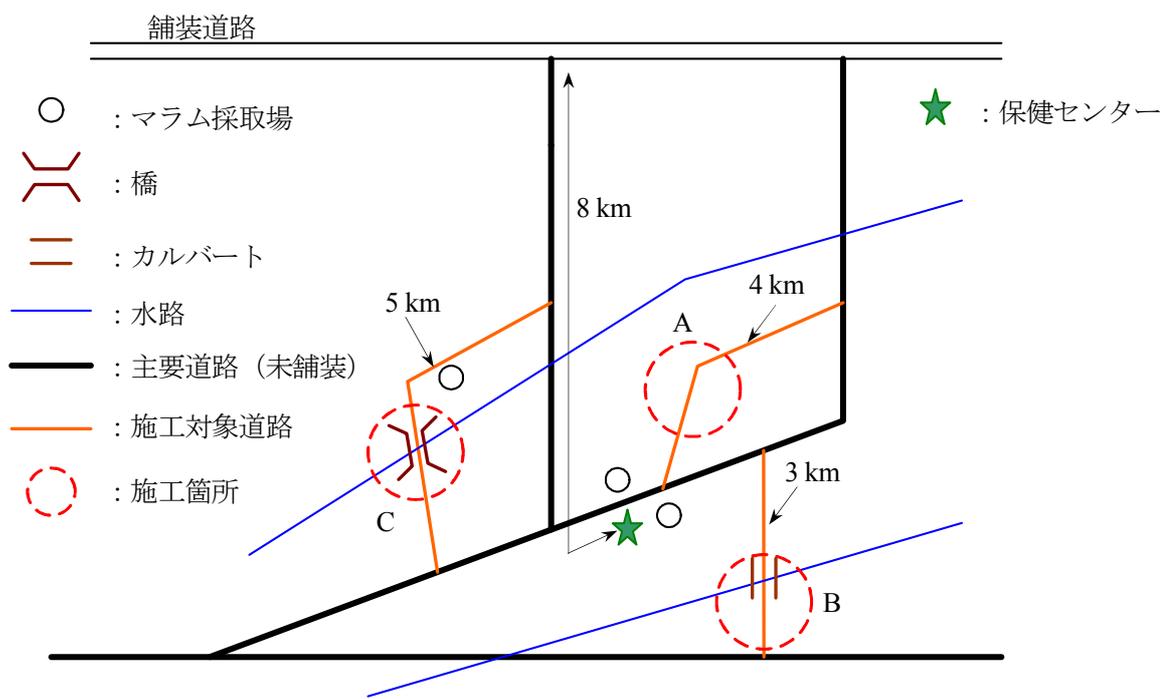


図 5-16 施工実施箇所

District Road Engineer による管理がなされている場合もあり，特にこのようなマイナー道路については管轄がどちらであるか明確な区別がつかないことが多い．そこで両者と事前に協議し施工承諾を得た．すると，自治省からは，利用予定のない日には所有するトラクターを無償で派遣するという協力が得られた．

施工は4月2日から13日まで，イースター休暇（6日から9日）をはさんで計8日間で行われた．

(2) 施工概要

図5-16に示す施工箇所A,Bの施工概要を説明する．施工箇所Cについては施工箇所Bとほぼ同様の施工断面となることから割愛する．

1) 施工箇所A

写真5-21，写真5-22に施工前後の様子，図5-17に道路断面を示す．

写真5-21に示すように道路幅員3.0 m，縦断方向勾配が約12%未満で路面に深いガリーが形成されている．降雨時には写真5-21(b)に示すように道路面を水が流れる．主な交通は自転車やロバの往来などが主でトラクターの交通量は一日10台未満である．ここでは路床土質が細粒分を多く含む砂で，交通量も少ないことから，側溝掘削時に生じる現地発生土を中詰材，間詰材として利用した．ただし表層については，この土では降雨時に含水比が高くなると細粒分が泥濁化し車両の走行に支障をきたすことから，良質材のマラムを運搬し「土のう」表面に撒きだした．施工手順を下記に示す．



(a) 施工前

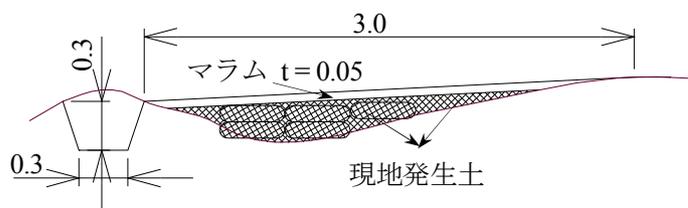


(b) 降雨時の様子

写真 5-21 施工前



写真 5-22 施工後



単位: m

図5-17 施工断面A

① 側溝の掘削 (写真 5-23)

ここでは道路両側は畑や家屋に土地利用されており、道路を拡幅することはできない。そこで道路幅員を確保するために片側のみに側溝を設ける。

② 側溝掘削時に発生する残土を土のう袋に投入

③ ガリー部に「土のう」敷設、締固め

④ 「土のう」間の隙間は現地発生土で間詰

⑤ 土のう表面をマラムで厚さ 5 cm となるように被覆、締固め

「土のう」中詰材量の調整方法は Kericho District での施工と同様である。締固めについては写真 5-24 に示すような道具を作成し利用した。

8 日間の施工期間 (内 3 日間は雨で午後の作業中止) で約 320 m を施工した。

道路延長が長く、縦断勾配も約 12 % であることから雨季には周辺の雨水が集積され、側溝を流れる流量、流速ともに増え、側溝の侵食が進みオーバーフローすることが懸念された。側溝途中に柵、もしくは堰を設けるなどの対策が考えられるが、ここで Extension staff より側溝の水を道沿いの畑へ引き込むような水路を作成しては、との提案がなされた (写真 5-25)。畑の地主の許可を得る必要があるが、畑内へ水路を引き込むことで畑内の土壌への水分補給に役立つというメリットもあるということであった。今回は地主の合意を得るには至らなかったが、このような Extension staff の農業に関連した知恵をうまく利用し、農村インフラが整備されていく可能性がある。



写真 5-23 側溝掘削状況



写真 5-24 土のう作成、締固め道具



写真 5-25 側溝に流れる排水と畑への水路 (案)

2) 施工箇所 B

写真 5-26, 写真 5-27 に施工前後の様子, 図 5-18 に道路断面を示す.

写真 5-26 に示すように道路幅員 4.5 m, 縦断方向の勾配はほぼフラットであるが深い轍掘れが形成されている. 路床土質はブラックコットンソイルである. カルバートが敷設されているが, その内径, 敷設高に問題があり, 大雨時にはオーバーフローし道路が水没する. そこで, 交通量がやや多いこと (20 台/日), 路床土質がブラックコットンソイルであることから, 締固め効果が得られやすい砂質礫のマラムで中詰された「土のう」で轍箇所を修復する. その後路面は厚さ 5 cm となるようにマラムを撒きだし締固める (図 5-18 参照). 施工手順を下記に示す.

- a) 側溝の掘削
- b) 轍箇所を長方形に掘削し泥濘分を除去 (写真 5-28)
- c) マラムを採取場から施工箇所近くへ運搬
- d) マラムを「土のう」袋へ中詰
- e) 掘削整形された轍箇所に「土のう」を敷設 (2 層から 3 層), 締固め (写真 5-29)
- f) 「土のう」間隙間を間詰 (写真 5-30)
- g) 「土のう」表面を厚さ 5 cm となるようマラムで被覆 (写真 5-31)

8 日間の施工期間 (内 3 日間は雨で午後の作業中止) で約 112 m を施工した.



写真 5-26 施工前



写真 5-27 施工後

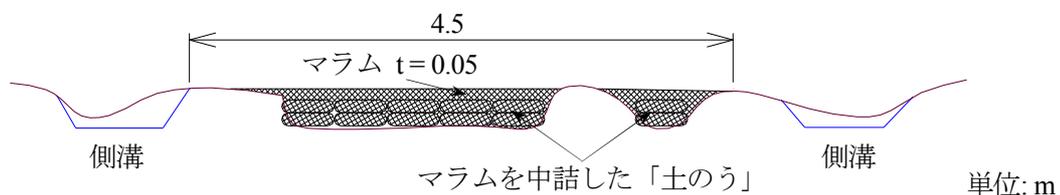


図 5-18 施工断面 B



写真 5-28 轍箇所掘削状況



写真 5-29 土のう敷設, 締固め



写真 5-30 締固め後の「土のう」の様子



写真 5-31 被覆状況

3) マラム採取場

今回の施工はモデル施工であり、土のう中詰材、表層材には良質材であるマラムの利用を原則とした。マラム採取場の様子を写真 5-32 に示す。採取にあたっては一端ほぐしてから、路面まで上げ、そこから運搬車両へと積み込む(写真 5-33)。

マラムの単価についてはこの Location では 1 t あたり、240 円という標準価格があるようでの採取場でも同じ価格であった。計量方法はトレーラー一杯分が 6 t というように、積込状況で判断されている。

4) 運搬

今回の施工ではマラム採取場から施工箇所までの距離が 1 km から 2 km で、マラムや「土のう」の運搬にはトラクターを利用した。施工箇所近傍で十分なスペースがある場合には、マラムを運搬して仮置きしそこで「土のう」中詰作業を実施した。仮置き場を確保できない場合には、マラム採取場で「土のう」を作成しトラクターで施工箇所まで運搬した。道路管理者である County Council が所有するトラクターを利用したり、その調整がつかない場合にはコミュニティ内の所有者からリースした。運搬手段についても施工性、経済性に大きく影響する。コミュニティ自身で調達可能な運搬手段として、ロバによる運搬など畜力輸送や一輪車を利用した人力輸送の方法も考えられる。



写真 5-32 マラム採取場の様子



写真 5-33 マラム積込状況

(3) 道路条件, コストと歩掛

これまで説明してきた施工箇所 A, B の道路条件, コスト, 歩掛について表 5-14 にまとめた。また, 施工箇所 A で 40 m (1 日の施工延長) あたり必要となる資材の数量を表 5-15 に, 施工箇所 B で 20 m (1 日の施工延長) あたり必要となる資材の数量を表 5-16 に示す。ここで, 施工箇所 A, B で代表的な修復断面を図 5-17, 図 5-18 に示したが, 施工延長全長にわたりこの断面で補修されたわけではない。表 5-15, 16 に示す資材の数量は, 各箇所で行った期間中に利用した全資材数量を施工延長で除した平均数量より算出した。マラムについては図 5-11 の粒径過積曲線より礫質土といえるので, 単位体積重量 2.0 t/m^3 とし, 利用数量を体積から重量に変換した。各材料の単価については, 今回の施工を通して現地で得られたデータに基づく。

表 5-14 道路条件, コスト, 歩掛

		単位	施工箇所A	施工箇所B
道路条件	幅員	m	3.0	4.5
	縦断勾配	%	12以下	0
	路床土質		ローム	ブラックコットンソイル
	日交通量	台/日	10以下	20以下
	路面状況		深いガリー	深い轍
使用材料	中詰材		現地発生土	マラム
	間詰材		現地発生土	マラム
	表層材		マラム	マラム
コスト	円/m	210	540	
施工性	1日当り施工延長	m/日	40	20
	作業人数	人/日	15	15
	作業時間	時間	7	7
備考	マラム採取場からの距離	km	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0

表 5-15 数量表（施工箇所 A, L = 40 m）

	単価		数量	計（円）	割合(%)
	単価	単位			
土のう袋	22	円/袋	200	4,400	48.4
サイザル紐	290	円/ロール	1	290	3.2
マラム	240	円/ton	9	2,160	23.8
トラクター（6 t 用）	1,120	円/往復	2	2,240	24.6
合計				9,090	100.0

表 5-16 数量表（施工箇所 B, L = 20 m）

	単価		数量	計（円）	割合(%)
	単価	単位			
土のう袋	22	円/袋	250	5,500	50.4
サイザル紐	290	円/ロール	1	290	2.7
マラム	240	円/ton	12	2,880	26.4
トラクター（6 t 用）	1,120	円/往復	2	2,240	20.5
合計				10,910	100.0

表 5-14 より施工断面 A で単位長さあたり 210 円、一日 15 人の作業人数が 7 時間労働で 40 m の施工が可能である。また表 5-15 より 40 m あたり、つまり一日あたり使用する材料は土のう袋が 200 袋、口紐用サイザル紐 1 ロール、マラムが 9 トン、その運搬に 6t 用トラクターが 2 往復となる。

また、施工箇所 A, B ともに単位長さあたりの施工費用のうち、約 50 % を土のう袋代が占め、残りをマラム代、運搬費で 2 分するような割合となった。

(4) 持続性へのアプローチ

農道の通行性確保のためには住民自身が今回の経験を通して、継続して整備することが重要である。しかし、そのためには安価とはいえ土のう袋や口紐、マラム、運搬などの費用がかかる。これらの調達方法について検討する必要がある。農民組織が団結し、地方行政府や他ドナー機関等に要望を出しその援助を得て材料代を確保してはどうか、といった案がカウンターパートからは寄せられた。

今回の施工経験を一過性のものとしないうちに施工最終日に、District agricultural officer を始め地方行政府の役人らも参加し住民らと集会を催した。ここで自分たちで行動することの大切さを強調するとともに、今後しばらく維持管理を続けるために、1,000 袋の土のう袋を施工箇所毎に提供した（写真 5-34）。また施工に参加した住民には「土のう」技術による道路整備に従事したことに対する証明書を発行し（写真 5-35）、啓発に努めた。



写真 5-34 土のう袋授与の様子



写真 5-35 証明書授与の様子

(5) コミュニティによる道路整備

農道整備を行おうとするとき、その利用者は研修対象組織のメンバーのみとは限らない。また、マラム採取場、ロバ、トラクターの所有者が研修対象組織のメンバーの中におらず、周囲のコミュニティの中にある場合がある。このとき、コミュニティが協力して作業にあたることで円滑に効率よく施工を進めることができる。このような協力体制で農道整備を実施するにはコミュニティ内で道路整備について事前に合意形成しておくことが重要である。

コミュニティの情勢に詳しい、Division staffや Extension staff らとともにこの点について協議し、協力体制を構築するのにキーパーソンとなるような地域のリーダーを通して合意形成を図ることとする。

(6) 「土のう」による農道整備を通じた農民組織活性化事例

図 5-16 に示す施工箇所 C では、施工範囲の中に写真 5-36 に示すような橋があった。橋の両側で約 110 m を「土のう」により整備を実施した。農道整備に参加した住民は、今回の施工が終了した後も「土のう」技術を利用し自分たちで道路整備を実施していくと約束した。この橋についても不安定であり、桁材などの材料さえ手に入れば自分たちで改修したいとのことであった。

モデル施工終了から約 1 ヶ月後、その橋が写真 5-37 のように改修されている様子が報告された。聞き取り調査によると、施工箇所 C で作業に従事したグループのリーダーが中心となって、材木 10 本、マラム 50 t を調達し 12 日間で橋の改修を行ったとのことであった。橋の断面図を図 5-19 に示す。桁材となった材木は森林を管理する地方行政に許可を得て自分たちで切り出し、路面には今回プロジェクトで伝授した「土のう」が利用された。桁を載せるアバット部の侵食防止のために壊れたカルバー



写真 5-36 破損している橋



写真 5-37 補修された橋

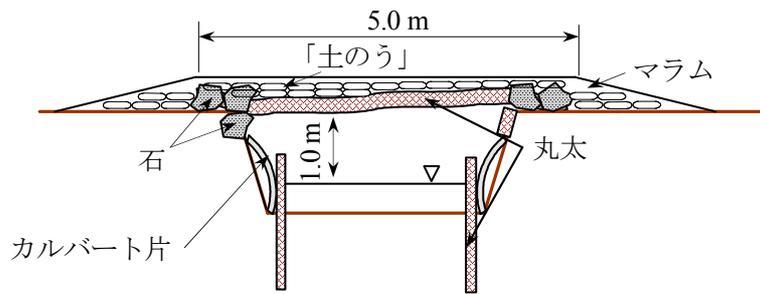


図 5-19 橋の断面図

ト片や石で防護されている。桁は全体にかさ上げされていてその両端をマラムを撒きだしてすりつけている。材料代、労働代を有償だったとしてこの橋の施工費用を積算すると約 30 万円になるとのことであった。今回のモデル施工がきっかけとなり、自信とオーナーシップが醸成され、このような橋の補修に至ったといえる。これまでは、村人たちは施工費用のためにあきらめていた、もしくは対処法がわからず放置してきた橋だが、「土のう」による道直しを通して自分達でも道を直すことができる、次は橋を直そうというやる気と自信につながり自分達で橋を補修するに至っている。「土のう」はこのような開発途上国農村部における人々の可能性を引き出す技術といえる。

(7) 結論

ケニア農村部において「土のう」を利用した住民自身による農道整備を実施した。この活動より得られた結論について下記に記す。

- 1) 「土のう」による農道整備は現地住民に受け入れられた。
- 2) 施工費用は幅員 3.0 m から 4.5 m で延長 1 m あたり 210 円から 540 円となった。土のう袋代が施工費の 50 %、中詰材、運搬費が各々約 20%となった。
- 3) 道路改修時に整備した側溝を流れる水を畑に誘導するなど、インフラと農場整備を連携させることも検討された。通行性確保以外の効果も期待できる。
- 4) 農業省のスタッフを通してコミュニティ内での作業、資機材の調達がスムーズに進んだ。
- 5) この活動を通してカウンターパートへの技術移転がなされ、Kisii District ではコミュニティの人々を指導しながら「土のう」を利用して 700 m の道路整備が行われた。
- 6) JICA の農業開発プロジェクトの中で「土のう」による農道整備手法の技術移転を進めたことで、2007 年 3 月から 7 月の 4 ヶ月間で約 1,300 m の道路が整備された。
- 7) 「土のう」による農道整備をきっかけとして、住民が自信とやる気を出し、新たに橋の改修を自分たちで実施した。

(8) 今後の課題

- 1) 他の農村インフラ（小規模ダム）整備や多様な農民組織から出てくる農村インフラ整備の要望に対処していく必要があり、「土のう」の適用範囲をさらに拡大する。
- 2) 中詰材にブラックコットンソイルを利用しようとするとき、団粒化した粘性土をいかに定量的に中詰を行うかなどの施工方法の確立し、その整備効果を検証する。
- 3) サイザル麻袋の、土のう袋としての実用化のための開発を進める。

5.4.6 結論

ここで、パプアニューギニア、フィリピン、ケニアでの「土のう」による道路整備の実績に基づき、日交通量に対する設計断面、利用中詰材と単位長さあたりの資材費（土のう袋代と中詰材）を表 5-17 にまとめた。土のう袋代は1枚 22 円とし、幅員 1 車線で路床は雨季には通行性が失われるような軟弱地盤を想定している。表中、中詰材料の値段はケニアでの調査結果より設定している。

日交通量が 20 台未満であればタイヤ走行箇所へ「土のう」を 2 層敷設する断面を標準断面として提案する。土のう袋代は単位長さあたり 220 円となり、中詰材が現地で調達可能（無償にて）材料を利用すれば、全材料費は 220 円となる。購入材料を利用した場合、例えばマラムを利用したときには 332 円となる。中詰材には碎石などの購入材料から、現地調達可能材料まで利用が可能とするが、砂や粘性土を利用するときには、維持管理の頻度が増す。

日交通量が 20 台より 200 台未満では全面に「土のう」を 2 層敷設する断面を提案する。ここでは粘性土は中詰材に不適とした。

日交通量が 200 台程度の道路に対しては全面に「土のう」を 3 層敷設する断面を提案する。ここでは粘性土、砂質土は中詰材に不適とした。

設計交通量が増えるとともに「土のう」層数が増え、また中詰材に良質材、すなわち購入材料を利用せざるを得ず施工単価も高くなる。また利用する中詰材料の品質により維持管理頻度も変わる。施工対象道路やその後の維持管理体制によって適切なレベルの整備手法を選択する必要がある。

農村部の畑から主要道路へ接続する道は日交通量 20 台程度であるから、現地住民の協力が得られる環境であれば日常的な維持管理を前提とし、中詰材料には現地調達可能材料の中から可能な限りよい品質のものを選定し利用すればよい。この時材料代は土のう袋代のみで 1 m あたり 440 円となる。

第 5 章ではフィリピン、ケニアにて本研究で開発した「土のう」による農道整備手法を、いかに現地の住民が自分たちのものとして持続的に運用することができるか、そして広く普及できるか、そのためのアプローチ方法について考察し、実践した事例を報告した。今では我々が指導した現地の人々のみで、現地住民の参加を得ながら「土のう」を利用した未舗装道路整備（フィリピンでは盛土、歩道の整備）を進めることができるようになり、施工延長も拡大した。

今後はプロジェクト終了後にも、「土のう」による農道整備が実施されるような仕組みを構築する必要がある。具体的にはフィリピン、ケニアいずれのケースも土のう袋代などはプロジェクトで提供した。プロジェクト終了後は現地住民自身が入手できるようにする必要がある。対策として現地の住民が組織化し、グループとして地方政府へ依頼する、もしくは地方行政が資材をストックし、現地住民が必要に応じて利用することを制度化する、グループで共同購入する等の方法で解決できる可能性がある。この可能性は、今回ケニアで、「土のう」による道直しののち、住民らが必要資材を自ら調達し橋を修復した事例により裏付けられる。このような行動を引き起こすことができる技術、それが「土のう」である。現地材料を利用し、身近な材料で人力施工でかつ、効果的な手法であったからだといえる。

「自分たちの問題は自分たちで解決する」ことに対して内発的動機付けを引き起こし、現地住民のエンパワーメントにつながる具体的な事例を構築した。

次章で本論文の結論を述べるとともに今後の課題について整理する。

表 5-17 「土のう」による整備断面と材料費（幅員3.0 m、延長1 mあたり）

設計日交通量	中詰材料 道路整備断面 単位：m	購入材料				現地調達可能材料		
		アスファルト	砕石	マラム	川砂利	砂	粘土	
20			2,000円/m ³	480 円/m ³	0 円			
200		910	552	440	440	440	440	
		2,325	1185	825	825	825		
2000		3,135	1,630	1,155	1,155			
		5,600						
	維持管理頻度						少 ← → 多	

第 6 章 結論

本研究では、世界の貧困問題の解決に向けての 1 つの具体的な手法を示した。土木工学技術を背景に、また大学という基礎研究の場を活かして「土のう」による未舗装道路改修方法の開発を行った。さらに、開発した技術は現地住民の習得、日常的な維持管理が対になるものであるから、開発途上国でのフィールドワークを実施し、技術移転を図った。その結果、あるコミュニティでは農道の通行性が改善され、その後の管理体制が機能し通行性が維持された。また、貧困削減に貢献するためには、「土のう」による農村インフラ整備技術を、効率的かつ有効な手法で広めていくことが不可欠である。その手法は全世界的に共通のものではなく、技術移転を進めようとする対象国や地域の文化や社会環境を踏まえて、模索しなければいけない。これまでアジア、オセアニア、アフリカ地域の 3 カ国で、3 通りの手法で現地コミュニティにアクセスし技術移転を進めてきた。各地で「土のう」を利用した農村インフラ整備手法が自らのものとして展開された。各章で得られた結論について下記にまとめる。

第 1 章では、まず、今日の国際協力の趨勢について概観した。国際社会が共有する、人間開発と貧困撲滅のための緊急に取り組みべき課題として、ミレニアム開発目標 (MDGs) という 2015 年までの数値目標があることを示した。そしてその達成に向けて日本を含む DAC 諸国や各援助機関がさまざまな活動を実施している。

次に、土木分野で実施されている国際協力の事例を紹介した。橋梁や高速道路の建設など大規模なものから、地方電化を推進する住民参加型といわれるインフラ整備のプロジェクト例を紹介した。本研究は、住民の潜在能力を引き出す技術の開発からその運用、そして世界へ拡大を図るという一環したものであり、他に類をみない斬新なアプローチをとっていることを示した。

第 2 章では、本研究における貧困削減に向けたアプローチ手法について具体的に説明した。貧困層の約 4 分の 3 が農村部住民であることから、農村部における貧困削減を目指す。農村開発は多くの援助機関でも貧困削減のための主要な分野として、幾多のプロジェクトが実施されている。そこで、本研究のアプローチが決して独りよがりでないことを示すため、日本で最大の国際協力実施機関である独立行政法人日本国際協力機構 (以下、JICA) の農村開発プロジェクトの開発課題を説明した。本研究では、これらを具現化するものである。主に農村部住民の収入向上を目指し、農村接続道路の通行性確保することを具体的な目標とした。

農村接続道路が雨季になると通行性が失われることは、農村部の貧困の一因として問題視されていた。しかし、その有効な対策は明示されてこなかった。本研究では、農村接続道路の年間通行性確保のために、「土のう」による未舗装道路整備手法の開発を進めた。一車線道路で日交通量 50 台未満という未舗装道路に対しては、現地材料を用い人力によるかつ有効な整備手法で、付近の住民が持続的に維持管理していくことが適した管理手法との考えによる。

次に、住民参加型インフラ整備の実現のためのヒントを得たケニアの灌漑水路、日本の手堀トンネルの事例を説明した。

最後に本研究の目的、特徴についてまとめた。

第3章では開発途上国において住民参加型で未舗装道路の年間通行性を確保する手法として、「土のう」による道路改修方法の開発の過程を説明した。未舗装道路で軟弱な路床上に、「土のう」を敷設して路盤を構築した時の通行性改善効果を検証した。

「土のう」を利用するには袋材と中詰材の現地調達が不可欠である。交通荷重作用下で利用する上で求められる引張強度を算出し、現地で入手可能なプラスチック樹脂の袋材が、利用可能であることを確認した。中詰材について、碎石の調達が困難である場合を想定し、代替として川砂利、砂質土を利用したときの通行性改善効果を把握した。また、「土のう」の強度発現には締固め作業が重要である。プレートコンパクターで締固め時と同等の締固め効果が得られる、人力で実施可能な木槌の打撃による締固め方法を確立した。

軟弱な路床上、タイヤ通過箇所に川砂利で中詰された「土のう」を2層敷設し、川砂利で「土のう」間の間詰め、表面を厚さ5 cmで被覆する断面（図3-20 A断面）を標準断面として提案した。砂利のみを敷設した道路断面と比較して、車両走行実験時に道路表面に生じる沈下量は約33 %に抑制され、その改修効果が高いことが明らかになった。

また、環境にやさしい天然素材であるサイザル麻袋の、土のう袋としての利用可能性を調べたところ、十分な引張強度を有することがわかった。さらに研究開発を進め土のう袋としての新たな需要を生み出すことができれば、サイザル麻の栽培から加工を担う小規模家内工業を活性化できる可能性がある。

第4章では、第3章で述べたような国内での実験を通して開発した「土のう」による未舗装道路整備手法を用いて、実際にパプアニューギニアの農村部において施工を行った。機械を使わない、人力によるこの工法の特徴は道を日々利用する住民自身が整備作業に参加できるということである。現地での施工性、経済性について、また、どのようにして住民参加を得、技術を伝授し、持続的に住民自身で道路整備を実施していく体制を構築することができるのかを考察し研究活動を進めた結果、住民自身が維持管理を進めるモデル事例を構築した。

人力施工である「土のう」による道路整備手法は、農作業に熟練している現地住民に受け入れられ、幅員3.0 mの一車線道路を延長1.0 mあたり200円から800円で施工することができた。日交通量10台程度の一車線道路での整備効果が確認された。

現地コミュニティへのアクセスのため、現地国会議員と協議を進め、その議員の選挙区内で紹介を受けた3つの村にて、住民参加のもと「土のう」による未舗装道路整備を実践した。国会議員には政府より選挙区内の道路整備のための予算が割り当てられており、その予算で土のう袋を調達することも協議された。いくつかの村での活動を通して、住民の道整備に対する意識はその道の立地条件によることがわかった。主要道路からの枝分かれした道路で、先端に1つの村が存在するとき、その村人の道補修に対するモチベーションは高いといえる。

ある村では、「土のう」による道路整備手法を提案したのち、村人へ点検範囲を割り振り、定期的な点検日を設定するという維持管理体制が構築された。「土のう」による道路整備後、1年経過後も補修箇所の通行性は確保されていた。

第5章では、「土のう」による未舗装道路整備手法を、第4章で示したパプアニューギニアの他にア

ジアのフィリピン共和国、アフリカのケニア共和国で適用、実践した事例を示した。世界の貧困削減に貢献するためには、短期間で効率的に住民レベルまで確実に技術移転を進め、その後は住民自らが持続的に展開していくことが必要である。各地域によって文化や社会環境が異なるため、最適な技術の導入方法を検討する必要がある。

パプアニューギニアでは、現地在住日本人ボランティアと連携し、現地情報を収集した結果、国会議員に割り当てられる選挙区内の道路維持管理用の予算のことが知りえた。そしてこの予算を有効利用し現地住民を巻き込みながら道路整備を実践している、国会議員と接触することができた。そこで協議した結果、その国会議員の施策のもと、「土のう」による道路整備手法を実践するに至った。これはボランティアによる活動であり、現地コミュニティと最も密な関係を持つことができた。今後もボランティアベースで、国会議員との連携や他援助機関との共同を目指し、現地での「土のう」による農道整備手法の普及を目指す。

フィリピン共和国では、「土のう」による農村インフラ整備手法を紹介したところ、ここでも現地 NGO を中心として非常に大きな関心が寄せられた。そこで、NGO への技術移転のアプローチ手法を検討した結果、現地農村コミュニティ、NGO と連携して研究成果の普及活動を活発に進めている州立大学との連携プロジェクトを進めた。この大学の土木工学科スタッフへ技術移転をし、その後大学のネットワークを利用し、広く技術が浸透していく可能性がある。また、大学スタッフにより「土のう」が現地に適した形で多様な構造物へと適用される可能性があり、研究活動を活性化することにもなる。

このプロジェクトでは、大学構内に高さ 1 m の盛土を構築しその上を学内移動用歩道として利用する構造物を施工した。労務費を低減するため、学生がある授業の一環で作業に従事した。歩道建設にあたって大学内の調整、プロジェクトの宣伝、NGO との協議など、一人のコーディネータがオーナーシップを発揮し、円滑に進めた。Phase I が終了したが、計画されている Phase II について自ら積極的に推し進めようとしている。「土のう」による歩道整備の手法はこの大学の土木工学科のスタッフに技術移転され、予定通り彼ら自身で完成させた。完成に至るまで彼ら独自の工夫も見られた。現地大学スタッフへの技術移転が進んだといえるので、ここから NGO、地域コミュニティへどう展開されていくか、確認する。

ケニア共和国では、JICA による技術協力プロジェクトの中で、「土のう」技術を利用した農村インフラ整備を展開している。ケニア国においては、農業省が中央から農村に至るネットワークを有しており、農業省出身のカウンターパートや、農村部に配属されているスタッフを通してスムーズにコミュニティへ入り、「土のう」による道路整備を住民参加型で実践することが可能であった。

東アフリカ特有のブラックコットンソイルという膨張性粘土の広がる路床に対しても、現地地で入手可能な砂質礫であるマラムを中詰した「土のう」により走行性が改善された。施工費用は幅員 3.0 m から 4.5 m で延長 1.0 m あたり、210 円から 540 円となり、土のう袋代が施工費の 50 %、中詰材、運搬費が各々約 20 % となった。

今回の施工を通してカウンターパートへ技術移転を進めたところ、自分たちでプロジェクト対象農民グループを指導し施工を進め、ケニアへ導入後約 4 ヶ月で 1,300 m の道路が整備された。このプロ

プロジェクト期間中にはさらに拡大する予定である。

あるコミュニティでは、「土のう」による農道整備をきっかけに住民が自信とやる気を持ち、橋の架替えを実行し自分たちの問題を自分たちで解決した。「土のう」による道路整備手法が、通行性が改善されるという効果だけではなく、住民の自信とやる気を引出した事例である。このことから、本研究で開発を進め、各地で適用してきた「土のう」による住民参加型未舗装道路整備手法は住民組織を活性化し、貧困削減に寄与するといえる。

各地での施工実績を踏まえて、「土のう」による標準的な農道整備断面と、その施工に要する人員、施工期間、材料数量を、中詰材の採取条件などとともに各地域でまとめた。今後、新たな地域での「土のう」による道路整備を計画、実施する際の基礎データとなる。

一車線の軟弱地盤の路床に対して、通行性を維持するための「土のう」による補修断面を、日交通量との関係で提案し、単位長さあたりの材料費をまとめた。「土のう」により道路整備を実施しようとするとき、対象道路の日交通量、調達可能な中詰材料をパラメーターにして、表 5-17 を用いて整備断面を決定する。日交通量が大きくなると層数が増え、使用する土のう数が増え材料費は高くなる。また中詰材料に現地発生土を利用しようとするとき、単価は抑えられるが維持管理頻度が多くなる。これらの特徴を踏まえて整備断面を選定する必要がある。

本研究ではこれまで述べてきたように、「土のう」を用いた未舗装道路整備手法の技術開発から、その技術の現地住民への定着化、道路整備を通じた現地コミュニティの活性化、世界各地での普及に至る、土木技術者による具体的で有効な、国際協力の新しいアプローチ手法を構築した。

今後の課題について下記に示す。引き続き、フィールドワークを基に世界の貧困削減に向けて、農村インフラ整備の活動を進めていく予定である。

- 1) 農村接続道路は勾配箇所が多く、導線として通行性を確保するには、勾配箇所でも有効な道路整備手法を開発する必要がある。勾配箇所では路面が走行車両のタイヤから受ける反力が大きくなり、敷設した「土のう」が移動してしまう。そこで、「土のう」を互いに連結する、タイヤ通行箇所はソイルセメントで覆うなどの補助対策が必要である。今後、適切な手法を開発し実践する。
- 2) 中詰材として川砂利、砂質礫を利用してきたが、その調達が困難な場合がある。その場合、粘性土を含む現地発生土の利用方法、利用時にはどのように車両通行性を確保するかについて検討する。
- 3) 今回施工を行った箇所の経年変化を引続き調査し、「土のう」により整備された道路の耐久性を把握する。
- 4) 住民参加型道路整備を実践したことによる、住民組織の活性化や生活向上などの変化、効果を社会科学的な側面からも把握する。
- 5) モデル事例となった村を起点に、他の地域へも短期間で道路整備手法とその維持管理体制について拡大する。
- 6) 小規模ダムなど多様な農村インフラに対して住民参加で実施可能な、現地資材を有効利用し人力による手法の開発を進める。

本研究では、3年間の研究期間で世界の貧困削減に向けた土木工学技術者からの1つのアプローチを確立した。世界の貧困削減に寄与するという目標を掲げているが、その達成には今後さらなる工夫、活動が必要で、多くの時間を要する。また、「土のう」技術を中心にすえながら、世界のさまざまな農村インフラの状況、構造に適した新たな技術開発を進めていく。日本の伝統技術をベースにした世界に誇る国際協力となりうる。そのため現在世界の3カ国で実施している「土のう」によるインフラ整備手法をさらに拡大し、MDGsの達成に向けて努力していきたい。

参考文献

- 1) 外務省：ODA とは，<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/nyumon/oda.html>. (2007/6/27 アクセス)
- 2) 国際協力機構：GUIDE TO JICA，2007.
- 3) JICA INFO-Site：ミレニアム開発目標（MDGs）への取り組み，
<http://www.jica.go.jp/infosite/mdgs/index.html>. (2007/6/18 アクセス)
- 4) 国連開発計画東京事務所：ミレニアム開発目標指標，
<http://www.undp.or.jp/aboutundp/mdg/mdgs.shtml>. (2007/6/18 アクセス)
- 5) 人間の安全保障委員会：安全保障の今日的課題 人間の安全保障委員会報告書，2003.
- 6) 国際協力機構：世界のよりよい明日のために，2007.
- 7) 佐藤 寛編著：援助研究入門 援助現象への学際的アプローチ，pp.282-320，アジア経済研究所，1996.
- 8) 土木学会：土木技術者の倫理規定，<http://www.jsce.or.jp/rules/rinnri.shtml>. (2007/6/18 アクセス)
- 9) 土木学会編：土木技術の開発途上国への貢献を考える「変わりつつある日本の ODA」，土木学会誌，Vol.87，No.1，pp.4-43，2002.
- 10) 土木学会編：開発途上国での奮闘，土木学会誌，Vol.89，No.3，pp.3-39，2004.
- 11) 土木学会編：土木と国際貢献 - 人間の安全保障 - ，土木学会誌，Vol.90，No.12，pp.11-26，2005.
- 12) 例えば，角前庸道：国際協力における JICA の技術協力とインフラ整備プロジェクト，土と基礎，Vol.51，No.1，pp.8-10，2003.
- 13) 例えば，渡辺邦夫，長田昌彦，小口千明：イラン，バム遺跡の修復に向けた国際協力，土と基礎，Vol.55，No.3，pp.15-17，2007.
- 14) 国際協力機構：ひとびとの希望を叶えるインフラへ，2004.
- 15) Matsuoka, H. and Liu, S. : New Earth Reinforcement Method by Soilbags (“DONOW”), Soils and Foundations, Vol. 43, No.6, pp.173-188, 2003.
- 16) World Bank : Rural Development Strategy, 2001.
- 17) 国際協力事業団：開発課題に対する効果的アプローチ 農村開発，2002.
- 18) 多田宏行編著：道路工学，オーム社，2003.
- 19) 阿部忠行，稲垣竜興：漫画で学ぶ舗装工学 基礎編，建設図書，2002.
- 20) 加藤宣利：回想のハイウェイ - 夢に挑んだ男たち - ，ぎょうせい，2000.
- 21) 新井宗幸監修：目で見ると五條・吉野の 100 年，p.99，郷土出版社，2006.
- 22) 国土交通省，国際建設技術協会：ケニア共和国 地方橋梁設計・維持管理技術支援計画 報告書，2005.
- 23) The World Road Association : Highway Development and Management Series, 2000.
- 24) 邢 健，吉田 武：HDM-4 の概要，舗装，Vol.36，No.3，pp.33-37，2001.
- 25) Bent Thagesen : Highway and Traffic Engineering in Developing Countries, E & FN Spon, 1996.
- 26) The World Bank Group : Road Software Tools, Road Cost Knowledge System, Rocks,
http://www.worldbank.org/transport/roads/rd_tools/rocks_main.htm. (2007/7/15 アクセス)
- 27) 日本道路協会：世界の道路統計 2004，2006.

- 28) Jerry, L. and Dieter, S. : Design and Appraisal of Rural Transport Infrastructure : Ensuring Basic Access for Rural Communities, World Bank Technical Report, No.496, 2001.
- 29) Kimura, M. and Fukubayashi, Y. : Establishment of Design for All-Weather Rural Access Road in East Africa Using Labor-Based-Technology for Empowerment of Agricultural Community, The Sixth ATWS KENYA CHAPTER International Conference, 2005.
- 30) 竹下春美, 宇都宮寿夫, 井上静三 : 最新土木施工法講座 第 1 巻 路床・路盤施工法, 山海堂, 1959.
- 31) Jack Hindson : Earth Roads, Intermediate Technology Publications Ltd., 1983.
- 32) International Labour Organization : Technical Brief on Labour Based Technology, <http://www.iloassist.org/lbt1.html>. (2007/5/1 アクセス)
- 33) 木村 亮編 : ミニ特集, 素材を活かす, 土木の原点を使った構造物, 土木学会誌, Vol.89, No.1, pp.51-61, 2004.
- 34) 木村 亮 : 大学教育における国際人育成の方法 - 貧困削減に向けた地盤工学的アプローチ -, 土と基礎, Vol.54, No.1, pp.12-15. 2006.
- 35) 木村 亮・福林良典・喜田 清 : アフリカ貧困削減に向けた地盤工学分野からのアプローチ手法の提案, 第 60 回土木学会学術講演会講演概要集, 第Ⅲ部門, pp.801-802, 2005.
- 36) Matsuoka, H. and Liu, S. : A New Earth Reinforcement Method using Soilbags, London, Taylor & Francis Group, 2006.
- 37) Macmillan Publishers : Primary School Atlas in Kenya, 1999.
- 38) 天然繊維 : マニラ麻, サイザル麻, ジュート, ケナフなどの硬質繊維 サイザル麻, http://ko-it.cocolog-nifty.com/photos/sisal_fiber/index.html. (2007/6/18 アクセス)
- 39) 日本福祉大学通信教育部編 : コミュニティマネジメント, pp.240-262. 2004.
- 40) アフリカ案内, ケニア中西部 マラクウェットランド, <http://www.rikkyo.ac.jp/~z5000002/kenya/pokot/irrigation.htm>. (2007/6/18 アクセス)
- 41) アフリカ案内, ケニア中西部 マラクウェットランド, <http://www.rikkyo.ac.jp/~z5000002/kenya/pokot/irrigation2.htm>. (2007/6/18 アクセス)
- 42) 三宅雅子 : 掘るまいか - 山古志村に生きる, 鳥影社. 2006.
- 43) Raymond, N. Y., Ezzat, A. and F., Nicolas, S. (北野昌則訳) : オフロード車両の走行力学, pp.73-94, 山海堂, 1986.
- 44) 松岡 元 : 地盤工学の新しいアプローチ - 構成式・試験法・補強法, pp. 215-225, 京都大学学術出版会, 2003
- 45) 松岡 元, 村松大輔, 木田勝久 : 「土のう」を用いた道路交通振動の低減法, 第 39 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2343-2344, 2004.
- 46) Matsuoka, H. and Liu, S. : A New Earth Reinforcement Method using Soilbags, London, Taylor & Francis Group, 2006.
- 47) 村松大輔, 張 鋒, H. M. Shahin : 土のう補強材地盤の有限変形を伴う支持力特性の数値シミュレーション, 地盤工学ジャーナル, Vol. 2, No.1, pp.11-23, 2007.
- 48) Lohani T. N., Matsushima K., Aqil U., Mohri Y. and Tatsuoka F. : Evaluating the strength and deformation

characteristics of a soil bag pile from full-scale laboratory tests, Geosynthetics International, Volume 13, No.6, pp.246-264, 2006.

- 49) 社団法人 日本道路協会：道路構造令の解説と運用, pp. 437-444, 1983.
- 50) 竹下春見：アスファルト舗装の構造設計に関する考え方, 舗装, Vol. 1, No.2, 1966.
- 51) 松野三郎・山下弘美編：舗装技術の質疑応答, 第1巻, pp.21-22, 建設図書, 1972. .
- 52) 地盤工学会：土質試験の方法と解説, pp.266-272, 2000.
- 53) 福林良典, 木村 亮, 岩本洋介, 三宅喜久恵：「土のう」による未舗装道路整備手法の開発 - パプアニューギニアにおける実施例 -, 第41回地盤工学会発表概要集, pp.25-26, 2006.
- 54) Fukubayashi, Y. and Kimura, M. : Participatory Method to Maintain the Unpaved Rural Roads with Do-nou in Papua New Guinea, 第61回土木学会年次学術講演会講演概要集, CS03, pp.187-188, 2006.
- 55) 東京書籍, 最新世界各国要覧 10 訂版, pp.106-107, 2000.
- 56) 庄野 護：パプアニューギニア断章, 南船北馬舎, pp.141-146, 2004.
- 57) United Nations Development Program : Human Development Report, 2006.
- 58) Papua New Guinea: Papua New Guinea 2000 National Census, 2000.
- 59) Minister for Finance and Treasury in Papua New Guinea: 2006 Budget Volume 1, 2006.
- 60) 大塚柳太郎編：ニューギニア - 交錯する伝統と近代 -, 京都大学学術出版会, 2002.
- 61) 木村 亮:JSCE.jp から生まれた海外ボランティア, 土木学会誌, 土木学会, Vol. 90, No.12, pp.82-83, 2005.
- 62) ソルパック協会, SOLPACK, No.5, 2003.
- 63) 小林達也：続・技術移転, 文真堂, 1983.
- 64) 木村 亮・福林良典：フィリピン州立大学との学生参加型道路改修による大学連携, 国際開発学会第8回春季大会報告論文集, pp.111-114, 2006.
- 65) 平野克己：図説アフリカ経済, pp.7-12, 日本評論社, 2003.
- 66) 二宮健二編：データブックオブ・ザ・ワールド 2007 年版, 二宮書店, 2007.
- 67) 外務省：各国・地域情勢, フィリピン共和国, (<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/philippines/data.html>) (2007/6/18 アクセス)
- 68) ウィキペディア：フィリピン共和国, (<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A3%E3%83%AA%E3%83%94%E3%83%B3>) (2007/6/18 アクセス)
- 69) 山崎真司・松島健一・毛利栄征：越流許容型ため池工法の越流実験, 第42回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1117-1118, 2007.
- 70) 三木五三郎・斉藤孝夫：土の工学的分類とその利用, pp.107-130, 鹿島出版会, 1979.
- 71) 赤井浩一：土質力学, pp.25, 朝倉書店, 1993.
- 72) 社団法人 日本道路協会：道路土工 - 擁壁工指針, 1999.
- 73) Waweru, S. G., Asano, E., and Kimura, M. : Problematic Soils in Kenya, Proc. of the International Symposium on Problematic Soils, Sendai, Japan, pp.325-328, 1998.
- 74) 浅野英一：道路の維持管理とその課題 - ケニアの道路維持管理の現状から -, 国際協力研究, Vol.17, No.2, pp.39-52, 2001.

- 75) JICA knowledge Site : 案件概要表, 小規模園芸農民組織強化計画プロジェクト,
http://gwweb.jica.go.jp/km/km_frame.nsf. (2007/7/30 アクセス)
- 76) 金子誠司 : 初歩から学ぶプラスチック接合技術, pp.166-169, 工業調査会, 2005.
- 77) 地盤工学会編 : 土質試験 - 基本と手引き -, pp.49-58, 2001.

謝 辞

本論文は、筆者が京都大学大学院 博士後期課程に在学した三年間に取り組んだ研究の成果をとりまとめたものです。本研究を行うにあたり、多くの先生方、先輩、同級生、後輩からご指導とご支援を賜りました。また各地でのフィールドワークに際しては現地在住日本人の方や現地の方から、多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表すとともに、御礼申し上げます。

京都大学教授 木村 亮 先生には、会社を辞めて研究者を目指す筆者に対して、大変興味深く、斬新なテーマをご提示くださいました。そして研究推進のための環境を次々と整えてくださいました。先生の温かく熱意あるご指導は一生忘れません。心より深く感謝いたします。また、大学研究者そして教育者としての先生のご姿勢に、敬服いたしております。

京都大学教授 岡 二三生 先生には、本論文の審査をして頂き、貴重なご意見を賜りました。ここに感謝の意を表すとともに、御礼申し上げます。

京都大学教授 杉浦邦征 先生には、本論文の審査をして頂きました。先生ご自身のアフリカでの研究活動を踏まえた的確なご助言を賜りました。また、お会いするたびに温かい励ましのお言葉を頂きました。ここに、深く感謝いたします。

名古屋工業大学名誉教授 松岡 元 先生には、ご自身が性能規定された「土のう」を本研究の目的である開発途上国農村部における貧困削減に向けたアプローチの核となる技術として利用することに、ご同意いただきました。御礼申し上げます。

京都大学教授 中川 一 先生には、実物大走行実験実施にあたり、快く宇治川水理実験所の敷地内に実験ヤードを提供してくださいました。ここから、世界に向けて発信しうる技術を開発することができました。深く感謝いたします。

京都大学教授 大津宏康 先生には、幅広いご経験と深い知識に裏打ちされた興味深いお話や助言をいただきました。御礼申し上げます。

京都大学教授 大西有三 先生には、博士後期課程へと再入学してきた筆者に対して、我が研究室の学生のように接してくださいました。先生の細やかなご配慮に深く感謝いたします。

京都大学助教授 岸田 潔 先生には、打合せ時や中間発表時においてご助言をいただきました。またお会いするたびに温かい励ましのお言葉も頂き、御礼申し上げます。

京都大学助教 稲積真哉 先生には研究に集中できる環境を整えて頂くとともに、研究活動や日々の大学生活に関する様々な相談に乗って頂きました。心より感謝申し上げます。

京都大学助教 大島義信 先生には万能試験機の利用を快く了解していただき、貴重なデータを収集することができました。また、ご自身のアフリカでの研究活動を踏まえた助言を頂き、議論できたことは大いに励まされました。御礼申し上げます。

京都大学技官 矢野隆夫 先生には、土質実験を実施する際に、多くの御協力、御助言を賜りました。深く感謝いたします。

独立行政法人国際協力機構、長期専門家 喜田 清 氏には、本研究着手時から国際協力の基礎、現地でのフィールドワークを円滑に進めるための極意を伝授していただきました。氏の専門家としての心構えには国の代表としての誇り、協力相手国への責任感にあふれており、敬服させられました。心より感謝いたします。

パプアニューギニア独立国での活動に際し、三宅喜久恵氏、(有) PNG ジャパンゴロカ支店、見形明美氏、現地バス会社経営、野沢和弘氏、元独立行政法人国際協力機構、シニア海外ボランティアの林 圭司氏には多大な協力をいただきました。また、西山 渡氏には第2回目の1ヶ月にわたる現地での活動に同行し、筆者の活動を支えていただきました。ここに深く感謝いたします。

フィリピン共和国では、Mariano Marcos State University, Associate Professor, Shirley C. Agrupis 先生にはプロジェクトコーディネーターとして、筆者らとの打合せを通じ、現地での活動を取り仕切っていただきました。心よりお礼申し上げます。

ケニア共和国では、独立行政法人国際協力機構、長期専門家 相川次郎氏、同 本庄由紀氏には同じ技術協力プロジェクトを推進するメンバーとして筆者の活動を支えていただきました。心より感謝いたします。また、Arap Too Jonah Kiptanui 氏 (現 Jomo Kenyatta 農工大学講師) には、ご自身の貴重な研究データを提供していただきました。お礼申し上げます。

さらに、日夜研究活動を共にし、筆者の実験補助をしていただきました。環境創造工学講座、土木施工システム分野の卒業生および在学生諸氏に感謝いたします。菊本 統氏 (現 日本学術振興会 特別研究員) には、その好奇心の旺盛さと真理の探究への姿勢に大いに刺激を受けました。磯部公一氏 (現 長岡技術科学大学助教) には、公私ともに筆者の相談相手になっていただきました。両氏に深く感謝いたします。岩本洋介氏 (現 戸田建設株式会社) には、本研究における実験や現地活動において多くのご支援をいただきました。筆者の研究活動は皆様の温かいご支援により支えられてきました。本当にありがとうございました。

最後に会社を辞め、再び学生生活を送るという筆者のわがままにもかかわらず、いつも精神面、生活面から応援してくれた両親、姉に感謝いたします。ありがとう。