

ネパールにおける低コスト工法について

桧垣大助*

1. はじめに

ネパールでは、乏しい防災関係予算に加えて、車道から歩いて数日以上かかる地域も多く、限られた資材で防災工事を行わなければならない。そのため低コスト工法は必須である。

氷河を頂くハイヒマラヤの北側にあるムスタン郡も、車道終点から徒歩で4日以上かかる所に位置する（資産家や外国人は途中まで空路で入れる）。そこでは、日本人N.G.O.が現地人とともに、新たな耕地を作るため河道横の氾濫原に空石積みで畔を作っていた。畔は、扁平な石を選びながら瓦状にかみ合うように積んで流水に対する強度を持たせ、洪水時に氾濫してきた流れによって畔の内側に細粒土砂が流入堆積することで、自然の力で平坦な耕地を作ろうという試みであった（河床勾配は1/100位の所）。



写真-1 ジクコーラ (川) のガリー浸食防止のための空石積み谷止工
(周囲は森林が回復している)

また、カトマンズ近郊の土壌浸食で荒廃した丘陵地では、ガリーに高さ1.5m以下の空石積みの谷止工を作って浸食防止を図り、住民が薪や家畜の餌を採ることのできる森林を回復させていた（写真-1：以下写真撮影個所を図-1に示す）。傾斜・起伏の小さいこの丘陵地では風化層が厚く、泥流や礫が流出することがないので、空石積みでも成功したのである。

これらは、自然の理にかなった安価な工法と言える。低コストな防災工法を考える時、工事費に加え、外力への耐久性、維持管理の容易さ、環境面への寄与や住民に現金収入の道を拓くなどの付加価値、工法の持続的な普及・発展性といった視点が必要となる。ここでは、山岳発展途上国ネパールの実態に合った低コスト工法(手法)とは何かを考えてみたい。

2. ネパールの自然の回復力とそれを活用した工法

ネパールの災害の実態や自然条件は、いろいろな所で紹介されているので触れないこととし、ここでは、同じ崩壊地や地すべり跡地の異なる時期の写真と比較しながら、まず、この国の自然の持つ回復力

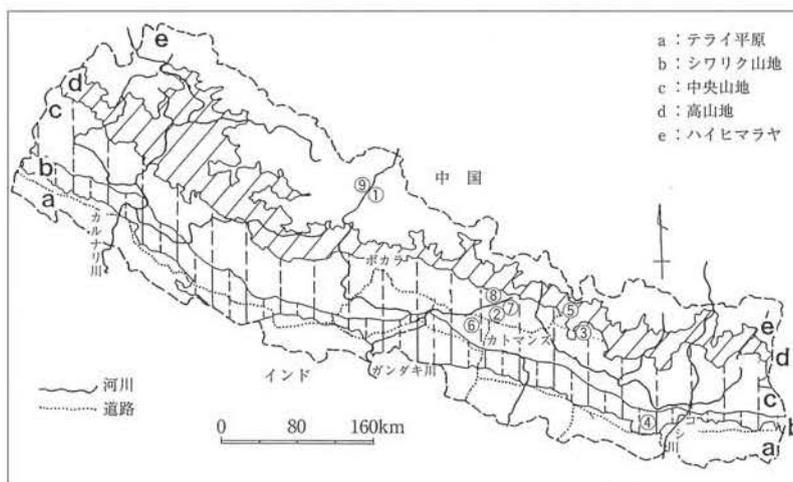


図-1 ネパールの地域区分と写真撮影個所①～⑨

* 弘前大学農学生命科学部助教授

といったものを見てみたい。

写真-2(1)、(2)は、カトマンズ西郊のハイウエー沿いにある牧草地斜面の表層崩壊地の推移を示している。崩壊地は45°程度の急傾斜の谷壁斜面にあり、幹線道路の通る対岸が地すべりを起こし始め、溪流が右岸側へ押し込まれ斜面脚部を浸食したため崩壊が始まったと見られる。1995年、幹線道路保全のため、この国ではめずらしく抑止工法（アンカー工）で地すべりを止めたが、1998年には崩壊地に自然に草や灌木が進入している。このような急斜面で1991年時点では拡大するかに見えた崩壊地も、河道位置を安定させたことで回復に向かっていることがわかる。

次に、写真-3(1)、(2)は、スイスの援助で1984年に完成したネパール中部を走るラモサングージリ道路沿いの地すべり地である。横ボーリングや明暗渠工による排水と、国内の道路防災では先ほどの例と唯2つと記憶しているアンカー工で地すべり対策がなされたが、同時に1991年にはハンノキが植えられた。それがわずか6年後には樹高10数mにもなる立派な森林になって地すべり地を覆っていた。

温暖で雨季には1500mmを超える降雨のある中央山地では、このように植生の回復は驚くほど早い。そんなわけで、この国では、バイオエンジニアリング（Bio-engineering：植生工法）といって、崩壊や表面浸食の進む斜面で、まずふとん籠や石積みなどの基礎工で斜面を最低限安定させ、同時に樹木や草の播种植栽を行う防災対策が行われていて、幹線道路でよく用いられる。この工法の背景には、鉄線の腐食その他でふとん籠や石積みが壊れる頃には急速に成長した植物が斜面を保全してくれるという考え方がある。抑止工効果はもちろんだが、幼木期に家畜の侵入を防ぐなど適切な管理をすれば、環境的にも良い工法と言える。

バイオエンジニアリングは、河岸浸食の防止にも使われている。どの河川もヒマラヤ山脈から平原に出た所で網状河川となり、河岸浸食や河道変化が激しい。図-2は、ヒマラヤの南端に位置するシワリク丘陵（山地）から流れ出るラカンデヒ川が、テライ平原に出た所で河道が最近どのくらい広がっているかを、空中写真を使って見たものである。1978年からわずか12年

間で河道面積は10%位増えていて、その原因は土砂氾濫によるよりも河岸浸食である。護岸工事は、インドが主に自国の保全のため堤防建設を援助したコシ川のような大河川を除いて、ほとんどが局所的にしかなされていない。写真-4は、ドイツの援助によるチュリア（シワリク丘陵の別名）森林育成プロジェクト（Churia Forestry Development Project）で、住民参加によって1996年に作られた護岸工である。河床勾配1/140程度の扇状地性平野のところで、高さ1.5mの堤防にふとん籠水制を等間隔に設け、その間や堤防上に家や家具の建材となるシッソ（マメ科）の木などを植えている。各水制間に土砂が堆積したところへ木を植え、木が洪水時に堤防を洗う流水の減勢効果を果たすというものである。ただ、堤防設置区間上流には何も対策が施されていないため、1998年には上流から流路が変わって水衝部となった堤防の一部が流出した。

バイオエンジニアリング工法の実施マニュアルは、政府道路局によってイギリスの援助を得ながら作成されていて、技術者向け研修も行われている。しかし、必ずしも斜面の浸食現象に合った工法が選択されず、斜面安定化や緑化がうまくいっていない場合もある。水資源省/JICA治水砂防技術センター（DPTC）では、今後各工法評価の参考とするため、代表的なバイオエンジニアリング実施サイトの



写真-2 カトマンズ西郊の崩壊地の植生回復。(1)1991年2月、(2)1996年11月



写真-3 ラモサングージリ道路沿いの地すべり地。(1)1991年2月：裸地化している周辺全体が地すべり地、(2)1997年11月：地すべり地をすっかり覆ったハンノキ林

浸食防止効果と緑の回復状況のモニタリングを始めた。

3. そのほかの一般的な治水・砂防工法の実態

この国で防災工事が進んでいるのは、幹線道路や発電施設などの国家的インフラに対するものであるが、多くは外国援助に頼っているのが実情である。一例として写真-5は、前出のラモサングージリ道路沿いの崩壊・地すべり対策である。この道路やポテコン川の峡谷沿いを走るチベットへ抜ける道路沿いでは、山麓に岩盤崩壊や地すべりなどで落ちてきた土砂が厚い崖錐を作っていて、そこに背後斜面から水がどんどん供給されるので、あちこちで地すべりが起こっている。地すべり対策として、資金援助のもとでふとん籠や練石積の擁壁と明暗渠排水工に植生工法の組み合わせがよく行われている。横ボーリング工による地下水排除も行われているが、一般的な工法とは言い難い。

護岸工事で最も一般的な材料は鉄線ふとん籠である。鉄線は防錆のため亜鉛メッキされているが磨耗には弱く、流送土砂の多いヒマラヤの河川では長持ちしない。また、水制工では脚部の洗掘のためや、籠の網目に対し充填する石の大きさや積み方が配慮されないため、中抜け・変形を起こして転倒してし

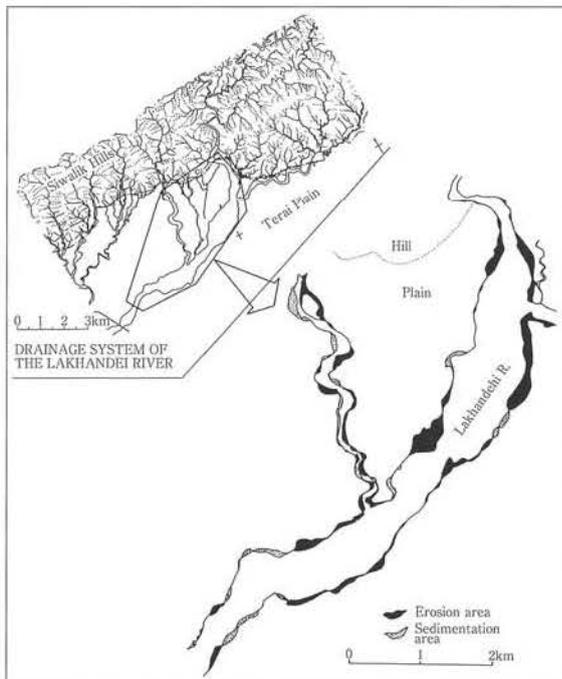


図-2 ラカンデヒ川の河道拡大
(黒塗りの部分が1978~1990年に浸食され河道となった範囲)

まう例も多い。材料の強化は直ちにコストに跳ね返るが、工法選択や適切な配置・設計、石の充填のしかたなどは、投資効果を上げるための重要な点である。また、工事は住民が作業員となって行われることが多く（コントラクターの下で賃労働として、また住民参加型事業では無報酬や食料支給などで）、住民レベルでの熟練工の養成も重要であり、発注者によるしっかりした工事監督の実施も、効果/コストを高めるための重要な課題と言える。

竹を用いた丸型の護岸工（バカリ）もポカラ市郊外の村で用いられていると言う（JICA（1998）：西部山間部総合流域管理計画調査報告書による）。これは、直径2~2.5m、高さ0.5~1m、基部の深さ0.5mの竹籠製で寿命は2~3年とのことである。残念ながら筆者は見えていないが、竹は物資を運ぶ籠（ドッコ）や生活に多くの用途がある。そこで、根の張る竹を護岸・水防林として育てることを目指し、生きた竹による護岸工といったもの考えて良いのではなかろうか。



写真-4 植生工法による護岸工——水制工の間と堤防にはシッソ（背の高い木）とベサラム（匍匐性で流水の力に強い）が植えられている



写真-5 山留ふとん籠擁壁と整形された法面に作られた暗渠工

政府土壤保全流域管理局では、流域の土地や森林など天然資源の保全と適切な利用、村落の発展などを目的として土壤保全・流域管理事業をやっている。その中で崩壊やガリー浸食の対策工事を行っているが、住民の利便を直接の目的としながら結果的に土砂流出を減らすのに役立っているものもある。

山地で歩道（踏み分け道）は生活を支える重要な基盤であるが、人や家畜の踏圧で固まった道は、雨季には水路になりやすい。その結果、歩道のガリー化や周辺農地への流入水による浸食が起こる。坂道に石段を敷くことによって歩道保全と排水路の両機能を持たせるトレール改良事業が行われているが、これは人為的な浸食の防止にもなっている。また、家畜の飲み水確保などのため尾根近くにため池が作られる。ただ、これは深さ1m、表面積100㎡以下程度で雨の若干の流出抑制になっている程度である。

ところで、ここで触れておかなければならないのは、斜面に広大に広がる階段農地（段々畑）の問題であろう（写真-6）。ヒマラヤの山地農業を代表するようなこの耕作のしかたは、実はモンスーンの強い雨による農地の土壌流出を防ぐための住民の知恵が作ったものである。ところが、実際には畑作の階段農地は数度くらいの下り傾斜になっていることが多いので、土壌流出が起こりやすい。これは崩壊・地すべりやガリー浸食による農地喪失とともに大きな問題で、土壌養分の流出に加え、最近の人口増加に伴い農地を過度に利用しようとするため、山間農地での土地生産性は低下傾向にあると言われている。そこで、最近、流域管理プロジェクトの中で階段農地の水平化が提唱され、試行的であるが改良を図っている所もある。さらに、作物・家畜・樹木を合わせて生産するように土地利用するアグロフォレストリーも推進されている。例えば、図-3にあるような階段畑地の畔部分に果物など換金作物を植えたり、家畜の飼料も採れる樹木も混ぜて植えることで、住民に直接の利益をもたらし、同時に土壌浸食も抑制されるという一石二鳥とも言える手法も始まっている。

4. ネパールにおける低コスト防災工法（手法）を考える

3章で述べてきた土壤保全・流域管理事業は、最近住民参加を実施の原則

としているが、これはネパールに限ったことではなく、UNDP/FAOの資料（P. N. Sharma and M. P. Wagley（1996）：Case studies of People's participation in Watershed Management in Asia, Part I, UNDP/FAO）によるとアジア各地で推進されている。その理由は、流域の水・土地などの天然資源のユーザーはそこに生活する住民であり、その管理は流域全体に展開している住民の生活の中でなされるべきという考えにある。住民参加による事業は、事業の計画・実施・完了後の維持管理というすべての段階で行われており、事業ガイドラインによると、流域・土壤保全のための住民教育なども工事等の実施に先立って行われ、住民が事業内容や目的を理解し、実施に同意してからスタートするようになっている。実際の工事や植林などは、資材購入など政府側が提供する部分と、資材運搬や土木・植栽作業など住民が無報酬で行う部分からなっているので、政府独自でやるのに比べ事業費の低減になる。乏しい予算の割に保全すべき土地が広大なネパールでは、住民参加による事業実施は画期的な理念と言えよう。

住民参加による工事では、政府技術者指導のもと住民が扱える工法（技術）でなければならない。こ



写真-6 階段耕地に人家が点在するネパール中央山地の風景
（手前は1993年土石流の出た所）

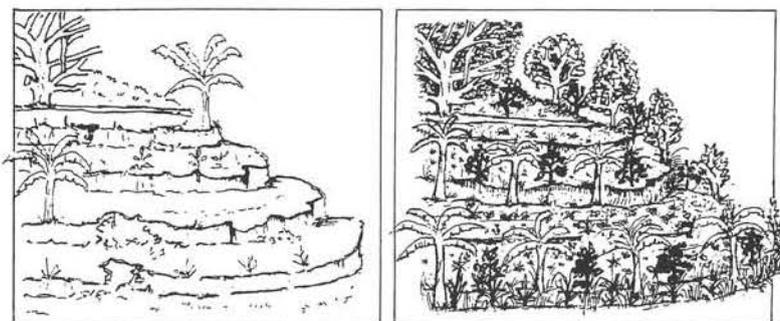


図-3 アグロフォレストリーの一例（ICIMOD, 1995）
（左：従来の階段農地、右：アグロフォレストリーによる階段農地）

のため、地形や山地の荒廃状況によって適用には限界があることは否めない。ここで大事なことは、アグロフォレストリーの例に見るように、対策が住民の利益に直接、すぐに帰するものでなければならないことである。そうでなければ、貧困にあえぐ住民には理解されず、工事実施は危うい。このような工法（技術）は、住民間で他地域へも展開されていく可能性があり、いわゆるセルフサステナビリティを持つ点で、まさに低コスト工法（手法）と言える。以下、治水砂防技術センターと土壤保全局が行った一例を紹介しよう（詳しくは、K.K.カルキ・楡垣大助：ネパールにおける住民参加による土壤保全の意義、砂防と治水122号）。

カトマンズから北西に車で3時間のところにあるヌワコット郡ピバルタル地区は、河岸段丘崖の斜面がはげしくガリー・表面浸食を受け、赤土が覆っていることもあって植生が回復せず荒廃地となっていた（写真-7）。このため住民は薪や家畜の餌の確保・作物栽培に苦慮してきた。1994年、村人たちは土壤保全局の郡土壤保全事務所とともに、比較的起伏の小さい荒廃地のガリー・土壌浸食（写真-8(1)）



写真-7 ガリーと表面浸食で荒廃したピバルタルの段丘崖斜面



写真-8 ガリーは住民参加工事で緑に覆われつつある。(1)1995年7月、(2)1998年12月 (DPTC, 1999より)

に立ち向かうこととし、①住民は土壤保全事業にかかる労働力を提供し、事務所は必要な資材や技術指導を提供する、②土地の利用者グループを組織して土地保全に関する責任を政府と共有する、ことを決定した。まず、荒廃地での家畜放牧と草の採取禁止の規則を作り、違反者から小額の罰金を取ることにした。浸食の進むガリーに2基のふとん籠砂防ダムが作られたが、それが1997年には満砂し、そこに屋根材などに使えるネピアグラスという草（政府が提供）を植え、住民はその種を売ることによって現金収入の道が開けた。さらに治水砂防センターでは、住民参加でガリー頭部拡大防止のためPNCブロックを用いた植生工法を行うとともに、村人の女性のみからなるグループを組織し、彼女らとともに浸食の進む赤土の斜面にせき悪地に強い改良型の草（これも種が現金収入になる）を植えた。その結果、写真-8 (1)、(2)に見るように荒廃地に緑が回復してきている。その後、ほかの地域から見学に来る者も現れ、村人はそういう人から研修料を取っているとの話を聞いた。

この例では、浸食防止を目的としつつ住民に現金収入の道を開いたことが重要である。次に、当たり前のことながら、現場の土砂や水の移動などの自然条件をよく考えて施設を計画することで、長期的な面で低コスト化が図られるという例を示す。というのは、案外ネパール人技術者には、現場の自然条件を見て対策を考えることの苦手な人が多いと感じられたからである。

初めに述べたムスタン郡にはツクチェ村という富山県利賀村と交流をしている所があるが、近年河岸浸食で村の土地がどんどんなくなっている。そこで、村では村人で組織するN.G.O.が浸食防止事業計画を



立て、幸いにして1997年外務省の草の根無償資金協力案件（総額約48,500ドル）に採択されたため、治水砂防技術センターが技術指導しながら対策が実施されることになった（図-4）。この中で、水河から流れ下る急流タバコーラ（Thapa Khola；コーラは川）の河岸浸食も、限られた予算で防止しなければならなかった。地形的には水の流れは右岸側へ向かうはずなのに異常に左岸に沿って流れていた（写真-8(1)）。これは、左岸にある水車小屋が原因であることがわかった。この川から小屋へ引く水は流量調節できないので、雨季には多量の水が小屋から排水されそれが左岸縁を毎年浸食する。このため本流の水が河床の低い左岸側へ寄せられ流れていると考えられた。そこで、水車小屋の排水路を整備し、また、運搬土砂が多く変化しやすい河道を中央から右岸へ持ってくるよう導流堤（ふとん籠製）を写真-9(1)(2)のように設けた。完成は1998年3月だったが、写真に見るように2雨季過ぎた1999年10月には流れは川の中央から右岸に移っていて、左岸の浸食は起こっていなかった。ただ、土石流が来たらひとたまりもないであろうが。

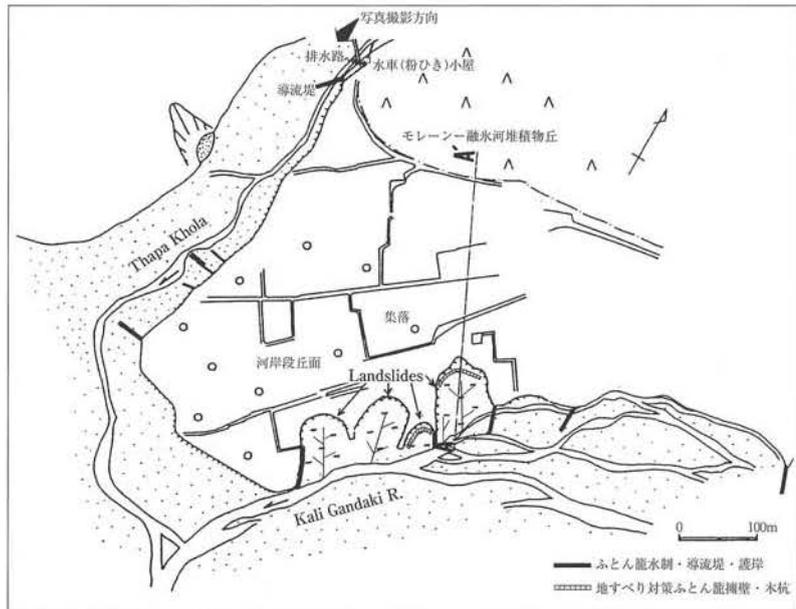


図-4 ツクチェ村の防災事業
（カリガンダキ川右岸とタバコーラ左岸の河岸浸食と地すべりの防止を図る）

5. 発展途上国における低コスト防災対策とは

ここまで紹介した工法（手法）はどれも弱々しく、日本の感覚では納得できるものではない。しかし、現地の社会・経済と自然の理に合った工法や手法なのである。今、流域環境の荒廃は貧困問題とセットになってネパールのみならずヒマラヤ周辺諸国を襲っている。問題をかかえる村でのこうした工法（手法）による貧困改善への小さな努力が、やがてネパール国内そしてこれらの国々に持続的に展開されていくことができれば、それが本当の低コスト対策と言えるのではなかろうか。

もちろん、重要インフラなどの保全には、大きな外力に耐える施設も必要である。ここでは触れなかったが、ハザードマップの作成と開発計画への活用も長い目で低コスト防災対策となろう。その中で情報の相互利用のためGISの活用などは、地形図と通



写真-9 導流堤と小屋排水路工によってタバコーラ左岸の水は左岸から大きく離れた。(1)1995年（田中明男撮影）——流れは異常に左岸に寄っている、(2)1999年10月

信手段が整備されつつあるネパールでの現在型低コスト対策かもしれない。