

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450200

研究課題名(和文) 発展途上国における現地材料を用いた砂防施設の多面的な機能解析と計画手法の確立

研究課題名(英文) Planning and analysis of low-cost erosion control measures using local materials for developing countries

研究代表者

檜垣 大助 (Higaki, Daisuke)

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号：10302019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：山岳発展途上国ネパールにおいて、15-20年前にJICA治水砂防プロジェクトで試験実施したガリー侵食・河岸侵食への低コスト工法について、現地調査・測量と住民とのワークショップを行い、効果を評価した。ガリー侵食は、蛇かご堰堤、竹植栽、有用草本播種で安定し、潜在自然植生の森林や農地として復旧し、また現金収入の道が拓けた。シワリク丘陵の河岸侵食では、元河道幅を確保した土堤防構築で河床は安定し、氾濫も生じていない。その結果、堤内地の居住者数が増加した。ワークショップからは、いずれのケースでも自主土地管理規則の制定・順守と住民参加による対策・緑化事業が並行してなされることが重要であると言える。

研究成果の概要(英文)：We examined sustainable low-cost measures to control erosion of gully and riverbanks through the on-site evaluation of models site works adopted by the JICA water-induced disaster prevention projects of 15-20 years ago in Nepal. Gabion check dams and bamboo plantation in combination with plantation of useful grass on barren slopes have been well protecting the devastated lands from gully erosion in the Midland. Embankments keeping the original width of the river can have stabilized the previous riverbed level, thus promoting an increase in population around the river. It is also notable that community-based land management and execution of preventive works including reforestation is essential for effectiveness of adopted hardware measures.

研究分野：砂防学、応用地形学

キーワード：土砂災害対策 低コスト 発展途上国 ガリー侵食 河岸侵食 ネパール

1. 研究開始当初の背景

発展途上国では、現地材料を活用した砂防工法は、低コストでの設置や維持管理での住民参加も可能であり、実施の過程で住民の防災意識・知識の向上も期待できる点で重要である。大起伏・脆弱な地質で温暖多雨気候からなるネパールでは、蛇かごや植生を使った簡易な砂防工法が施工されているが、それが大起伏・脆弱な地質、多雨気候と乏しい予算状況の中でどの程度機能するか不明であった。

2. 研究の目的

本研究は、山岳発展途上国ネパールにおいて、持続的に機能する低コスト砂防施設の計画手法の確立を目的とした。主にガリー侵食・河岸侵食に対する既往の砂防施設について、1)対象箇所の地形変化プロセス、2)使用材料・施工法と施工後の機能状況、3)住民参加による施工・維持管理可能性、等から多面的に解析し、それらを踏まえて石・植生等の現地材料を活用した住民参加で実施可能な砂防施設計画手法を検討した。

3. 研究の方法

ネパールで 1993～1998 年度に実施された JICA 治水砂防技術センタープロジェクト(研究代表者も長期専門家として参加)の低コスト砂防工法モデルサイトの中から対象箇所を選定し、当時の写真・地形図・計画・設計図書等を現地で購入した。そして、測量等による地形変化の把握、構造物機能・破壊状況の調査、植生回復状況、住民経済状況の調査を現地で実施した。同時に衛星画像等も含めた写真比較で調査地の変貌を把握した。また、最終年度には、地域住民を対象にしたワークショップを開催し、研究成果を還元するとともに、対策実施の社会・経済的効果や今後の課題を聞き取り、現地材料を用いた住民参加による砂防計画手法のとりまとめのデータとした。

4. 研究成果

(1) ガリー侵食対策

ガリー侵食対策では、ヒマラヤ地域で事例の多い河岸段丘斜面での表面侵食も含めたガリー発達による荒廃地を対象とした。具体的には 1993 年～2003 年に上記 JICA プロジェクトで調査・試験施工したネパール中部トリスリ郡ピパルタールで、過去のガリー侵食・表面侵食量調査結果とその後間欠的に実施してきた地形変化測量結果や写真を対照し、侵食防止機能状況や植生回復状況を把握した。

対象地は、海拔約 600m の河岸段丘崖斜面にあり、砂礫層の上を洪水砂層起源のラテライトが覆い、約 60 年前の森林伐採による農地・家畜用採草地の開発によって急速にガリー侵食が進んだ場所である。JICA プロジェクトによる 3 つのガリー (RB4, RB5, RB5A) を対象に冠頭部での侵食量計測を 1994 年から

実施した。複数のふとん籠堰堤の設置やタケ植栽によるガリー侵食防止試験施工や、ネパール産のセメントを用いたコンクリートによる PNC 板土留工や階段工を表面侵食防止用に 1995-99 年にかけて行った。1994～2000 年の侵食量調査から、ガリー侵食は、乾季のラテライト層での乾燥クラック形成と雨季の崩落及びガリー底への土砂堆積、その後の豪雨による土砂の流出、によって進むことが分かっている (Higaki et al, 2005)。タケは、ガリー底の土壌水分量の多い崩落土砂において成長が良いことや、竹籠、垣根など住民のさまざまな用途に使えることから選定した。その後、2003 年、2011 年、2013 年に現地調査を行い、ガリー侵食の推移や植生回復状況、土地利用の変化を把握した。

冠頭部のガリー侵食量は、未施工状態と一部施工中の時期を含む 1994 年 1 月～1997 年 9 月と 1997 年 9 月～2003 年 9 月までの期間で、それぞれ RB4 で 0.21m と 0.18m, RB5 で 3.4m と 1.0m, RB5A で 1.4m, と 0.6m であった。両期間の年平均降水量が前者で 1780mm/年、後方で 2200mm/年と後方が大きかったにもかかわらず侵食量はかなり減っていた。RB5A のタケは、100 株計 5 千ルピー (約 8 千円) の初期投資により住民参加で植栽した。並行して土地利用者グループを組織して違法伐採には罰金を取る規則を実施したことによって良く保全され、2013 年 11 月時点では、冠頭部からガリー底が全く見えないまでに広がった (図-1)。その結果、侵食がおさまった。



図-1 森林の回復が進んだガリー侵食対策地 (上: 1995 年 6 月, 下: 2016 年 3 月)

一方で、表面侵食防止の PNC ブロックは、2011 年時点ですべて盗まれており、一部は地

元住民の流し台に使われていた。この施工は住民参加方式でなく DPTC 直営で行ったことと、その施工によって住民の目に見える直接的な利益が生まれなかったため、JICA プロジェクト終了で監視人が解雇された後、このような結果になったと判断された。

また、上述の地区に近い同じ地形条件のガリー・表面侵食斜面では、ガリーで 1998 年にふとん籠堰堤とその堆砂地に屋根材に使われる有用草本ネピアグラスを住民参加で種播し、表面侵食斜面でスタイロ、モラセスなど籐などに使える草本で緑化を図った。その結果、2013 年には、ガリー周辺は潜在植生の高さ 10m 以上のサラノキ (*Shorea Robusta*) の木が覆い、ラテライトの荒廃斜面はアグロフォレストリーで利用され、夏はトウモロコシ、秋にはヒエが植えられ、またマンゴーが収穫されていた。

以上の結果から、持続的な土壌侵食の防止には、現地地形変化に合った施工方法で住民参加を主体に行い、住民の直接利益になるような施工材料の利用が荒廃地の回復に有効と言える。

(2) 河岸侵食対策

ネパール南部に位置するシワリク丘陵は、ヒマラヤ前縁衝上断層により活発に隆起している地域であること、中新世以降のモラッセ堆積物である固結度の弱いシワリク層からなることで、崩壊やガリー侵食が活発である。さらに、近年のマハバラート山脈やテライ平原からの移住に伴った農地の拡大や森林伐採等が激しい地域であることから、ネパールの中でも最も水・土砂災害の起こりやすい地域の 1 つとなっている。そこで、同丘陵東部に位置するカジュリ川流域において、20 世紀後半以降の流域の環境変遷を、空中写真を用いた時系列変化、現地調査による河床変動等について検討した。

対象としたカジュリ川流域は、流域界の標高が約 400m と低く、上部～下部シワリク層の砂礫層・砂岩/シルト岩からなる。年間降水量は約 1900mm であるが、通常流水がなく、雨季における高強度の降水時に短時間での出水がみられ、この際に氾濫や河道の側方移動が起こる (Higaki, 1999)。また、流域の生産土砂が風化しやすい砂岩/泥岩や河成砂礫層であるため粒径が小さく、フラッシュフラッドタイプの出水で河床・河岸物質が下流に運ばれやすいことがこの地形的な原因であると考えられた。

カジュリ川流域では、JICA・ネパール政府水資源省(現：灌漑省)および森林土壌保全省主体で、1997 年以降土堤防(主に 1998 年までに建設)・蛇かご護岸やごく一部でガリー侵食対策の谷止工が行われた。また、JICA プロジェクトで 1998 年には堤内地に住民参加で砂防林が造成されるとともに、その維持管理も目指し住民への流域管理研修も実施された。

経時的な衛星画像・空中写真(1964 年, 1978 年, 1992 年, 2003 年)により流域の環境変化を検討したところ、森林面積の減少・農地面積の拡大、河道の拡幅は 1992 年以前に大きく (Ghimire et al, 2006), 2003 年以降ではこれらは停滞していると判断された。また、JICA プロジェクトによる下流部の堤防は、年 1 回程度生じる河岸満杯流量を考慮し、平均的な元河道幅を確保するように設置した。さらに、1997 年の住民聞き取りから、平均年 10cm 程度の河床上昇が想定されたので、*Sisso* を主体とした砂防林が 15m 程度の樹高になる 5 年後頃に堤内地への氾濫が起こっても良いように堤高を決めた。2015 年の住民聞き取りでは、その後局所的なものを除き氾濫は起こっていない。これは、河床変動が抑えられていることと、堤防に蛇かご護岸また曲流部には水制を設置したことで、堤防下部の洗掘が抑えられていることによる。一方、1998 年植栽の砂防林は左岸側では樹高 10m 程度に育った 2002 年以降 2012 年までの間に消滅した。この原因は監視人不在となったことや病虫害などで住民が伐採したことによる。

堤防建設区間では、最下流部での河道が狭くなっている箇所で見られる顕著な堆積がみられたが、2016 年 3 月の測量結果や当時との写真比較から、顕著な河床上昇や堤防・護岸施設の破壊は生じていない(図-2)。その一方で、低地の中でも旧河道などの氾濫によって被害の生じやすい所への新たな居住地拡大もみられた。



図-2 河岸侵食対策箇所—施工後 15 年：堤防と水制が機能している(上：1997 年 5 月, 下：2013 年 10 月)

堤防建設による居住者増加が推定されたため、1964年空中写真の判読による地形分類、2003年、2010年、2013年におけるGoogle Earthの衛星画像から、経年的な家屋数の変化と地形毎の家屋分布をとらえた。また、2014年住民への聞き取りを行い、これらを基に調査地域の居住地の拡大過程について検討した。地形は高位より順に中位段丘面(M1面、M2面)、低位段丘面(L面)、沖積面(氾濫原1、氾濫原2)に区分される。各地形面に対する家屋件数の割合(2013年時点)は、中・低位段丘面で87.3%(M1面:40.3%、M2面:17.7%、L面:29.3%)、沖積面7.2%(氾濫原1:0%、氾濫原2:7.2%)、現河床面5.6%であった。出水時の被害を受けやすいと考えられる低地の家屋軒数の全体に占める割合は12.8%と低く、被害の受けにくい段丘上に家屋のほとんどが立地している。2003、2010、2013年の家屋件数の増加率は、中・低位段丘面では13~57%であるが、沖積面と現河床面においては2003から2010年にかけて最も増加しており、それぞれ143%、127%であった。

中・低位段丘面、沖積面、現河床に居住する2014年の住民への聞き取り調査では、ほとんどの住民が洪水や土砂災害に対する意識は高く、地元負担による蛇かご護岸の設置などの積極的な対策を継続している住民もみられた。また、河川の氾濫原に居住している住民に関しては、違法に家屋を建設している可能性もあった。

一方、上流の丘陵地では、カジューリ川上流で1-1.5mの河床低下が見られ、縦侵食で2002年度までに施工された支流のガリー侵食対策目的の谷止工は流出していた。また、2003年以降のカットオフによる流路変化によって河道拡大した箇所もあった。しかし、上流域ではガリー侵食荒廃地で植生被覆が進むなど、人為的なものも含め森林回復が見られた。2015年ワークショップでの意見聴取では、森林土壌保全省による流域保全事業での取り組みで薪・飼料採取などで村落共有林の利用規則が守られていることや、植樹・植生護岸などがなされていることが関係していると考えられた。

(3)山岳発展途上国における現地材料を用いた低コストなガリー・河岸侵食対策計画手法
以上述べた調査結果から、山岳発展途上国における低コストで持続可能な対策として、以下のような砂防計画が提案できる。

ガリー侵食・河岸侵食への対策では、現在の地形変化プロセスとその量及び進行要因となる対象箇所の地形・地質構造の発達を捉えることが、まず重要である。そして、カタストロフィックに進むよりも経年的に進行しやすいこれらの現象では、住民でも実施可能な対策として、植生と簡易な土木構造物を併用した対策が有効であると言える。その実施には事業目的や内容、裨益効果についての

住民の理解を得て行うことが必要である。工法としては、住民自ら実施可能な対策や材料で、それが機能することによって住民が直接利益を得られるものが適している。

具体的には、ガリー侵食対策では、湿潤温暖地域でタケ植栽が有効であり、蛇かご谷止工等の併用で効果が出やすい。一方、ガリー発達の要因となるラテライトの露出した裸地の表面流出と侵食の防止には、ネピア・モラセス等の有用草本を含む播種による緑化が考えられる。

次に、扇状地あるいはモラッセ堆積物の2次移動で著しく土砂流出が多い河川では、未固結層からなる河岸の侵食対策で、現河道幅を維持するような河道の計画が提案される。それによる堤防・護岸設置が河床変動を少なくできる対策として有効と言える。その際、上流域での森林資源利用において住民参加による適切な管理が行われることが必要である。

参考文献

- Higaki, D. (1999) : Erosion and sedimentation problems in Nepal from the viewpoint of morphological development. *Journal of Nepal Geological Society*, 18, 309-318.
- Higaki, D., Karki, K. K. and C. S. Gautam (2005): Soil erosion control measures on degraded sloping lands: A case study in Midlands of Nepal. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 8(3), 243-250.
- Ghimire, S. K. and Higaki, D. (2006) : Rates, Processes and hazard evaluation of streambank erosion: A case study in the Siwalik Hills of the Nepal Himalaya. *地形* 27(3), 337-347.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Ghimire, S. K., Higaki, D., Bhattarai, T. P., Estimation of erosion rates and eroded sediments in a degraded catchment of the Siwalik Hills, Nepal, *Land* 2013-2, 2013, 370-391, DOI:10.3390/land203070.
- ② Ghimire, S. and Higaki, D., Dynamic river morphology due to land use change and erosion mitigation measures in a degrading catchment in the Siwalik Hills, Nepal, *International Journal of River Basin Management*, 13-1, 2014, pp. 27-39. DOI:10.1080/15715124.2014.963860.
- ③ Ghimire, S., Higaki, D., Koiwa, N., Kasai, M., Bhattarai, T. and Karki, K. : Assessment of soil erosion and

flood control measures in a small Siwalik Hill catchment of Nepal Himalaya, Interpraevent, Nara, 2014.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 檜垣大助・小岩直人・Ghimire, S.・葛西未央: ネパールトリスリ郡の JICA プロジェクトモデルサイトにおける土壌侵食防止対策箇所 15 年間の変化, 平成 26 年度東北地理学会秋季学術大会, 仙台, 2014.
- ② 小岩直人・檜垣大助, Ghimire, S., 葛西未央 Bhattarai, T., K. K. Kariki, and Amatya, S. C., シワリク丘陵東部カジュリー川流域における 20 世紀後半以降の環境変化と河床変動, 平成 26 年度東北地理学会秋季学術大会, 仙台, 2014.
- ③ 檜垣大助: 山岳発展登場国の土砂災害防災技術協力上の視点—ヒマラヤ地域の事例—, 第 54 回日本地すべり学会研究発表会, 山形, 2015.
- ④ 葛西 未央・檜垣 大助・小岩 直人・Sohan, K. Ghimire・Bhattarai, T., シワリク丘陵カジュリー川における堤防形成後の居住地選択, 平成 27 年度東北地理学会秋季学術大会, 仙台, 2015.
- ⑤ Yagi, H., Critical slope angle inducing landslides on dip slope by each geological type in central Lower Nepal Himalayas, The 5th Nepal Geological Congress, 2015, Kathmandu, Nepal (計 5 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

檜垣 大助 (HIGAKI, DAISUKE)

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号: 10302019

(2) 研究分担者

八木 浩司 (YAGI, Hiroshi)

山形大学・地域教育文化学部・教授

研究者番号: 40292403

井良沢 道也 (IRASAWA, Michiya)

山形大学・農学部・教授

研究者番号: 40343024

小岩 直人 (KOIWA, Naoto)

弘前大学・教育学部・教授

研究者番号: 70296002

(3) 研究協力者

葛西未央 (KASDAI, Mio)

SOHAN GHIMIRE

S. C. AMATYA

T. P. BHATTARAI

K. K. KARKI