

東京農業大学大学院農学研究科 ○土井康弘
 国際協力事業団派遣専門家 桂川裕樹
 林野庁治山課 飯島康夫

1. はじめに

ネパールの山岳地帯は急峻な地形と脆弱な地質に加え、年平均 4,000mm を越える降雨が誘因となり、雨期には頻繁に土石流が発生している。多発する土石流は多くの人命を奪い、社会基盤を破壊し、国の発展を妨げている。災害を防ぐ、あるいは被害を軽減する対策を構築するためには、実態調査を行い基礎資料を蓄積する必要があるが、大きな災害以外調査が行われた事例はほとんどない。

このような状況下、2000年5月12日の早朝5時過ぎ、ネパール中央部、パルパット郡クスマの溪流（Gajaute Khola, 流域面積 0.36 km²）で土石流が発生した。土石流は郡土壤保全事務所（DSCO）敷地境界の石積み壁を破壊して建物に到達し、事務所1階の窓を破って侵入した泥水は、事務所内に設置してあったパソコン等の事務用品を破壊した。事務所に達した石礫の一部は建物の外壁により停止したが、後続土石流は土壤保全局事務所の左右に分流して下流側のブロック塀を破壊し、約 50m 下流のポカラ・バグルン道まで到達した（図-1）。人的被害はなかったものの、事務用品の損害に加え、土砂の除去や境界ブロック・事務所の外壁修繕等にかかる費用を合わせると 635,000 ルピー（約 100 万円）が見積もられた。筆者らは土石流の現場を調査する過程で、事務所の2階に宿泊していた職員から発生時の様子を聞くことができた。この土石流の概要調査と資料収集の結果、今後の対策に関する知見を得たので報告する。

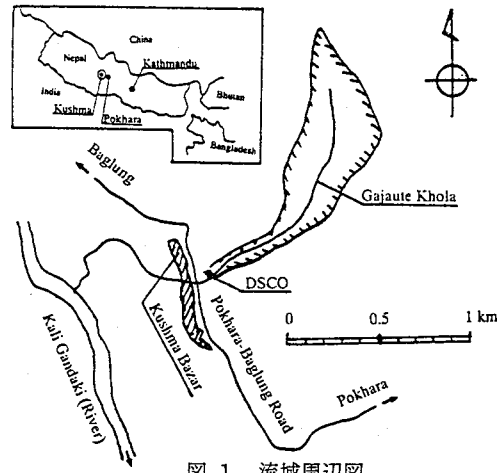


図-1 流域周辺図

2. 土石流の概要

2.1 発生源と降雨

土石流の発生源である Gajaute Khola 溪流の縦断面図を図-2に示す。流域内で斜面崩壊は発生しておらず、土石流は渓床・渓岸侵食により発生している。土壤保全事務所を起点として溪流沿いに上流 1.75km 地点から、侵食が始まっていた。流下幅は3~7m であり、河床には最大粒径 120cm, 主に 15~50cm 程度の石礫がほぼ全域にわたって堆積していた。

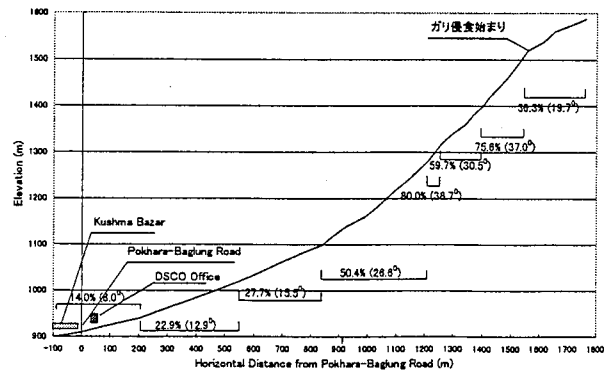


図-2 Gajaute Khola 溪流縦断面図

事務所から 100m 下流に雨量観測計が設置されていた。

発生前から 12 日間の日雨量変化を図-3に示す。土石流発生の 5 日前に日雨量 36 mm, 前日に日雨量 6 mm, 土石流発生当日の日雨量は 62 mm と記録されている。職員の証言から、当日の早朝、突然発生した集中豪雨が約 30 分間続いたこと、その後雨は降らなかったことが明らかになっている。

2.2 流下・堆積状況

石礫の堆積状況を見ると、事務所上流 16m の地点にあった竹林により、土石流の流下経路が事務所方向に変えられたことが推測された。これにより流下方向左側にある民家は被災を免れた。竹林は土石流の直撃を受けたにもかかわらず、そのままの状態が残った。事務所付近に堆積した土石の最大粒径は 80cm であり、20~40cm 程度のものが多かった。事務所外壁に接して堆積した石礫は事務所 1 階の

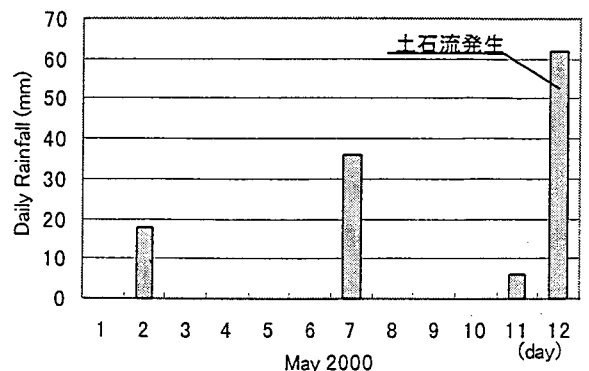


図-3 土石流発生日までの日雨量

窓の上縁（2.4m）まで埋め尽くし、行き場を失った後続土石流は DSCO 事務所を取り囲むように流下して下流側の境界ブロック塀を破壊し、さらにボカラ・バグルン道路に到達した。しかし道路より下流側のバザールまでには到達していない。事務所内には窓を破壊して泥水が侵入したが、窓の外側に防犯用の鉄格子が設置されており、石礫は鉄格子と建物の外壁により停止していた。事務所内に堆積した泥水は最大 1.3m にまで達していた。

2.3 目撃者の証言

表-1 目撃者の証言

土石流発生当時、土壌保全事務所職員 3 名が事務所に宿泊しており、そのうち 1 名は家族を見送るため時間を気にしながら早朝から起きていた。彼らに対するインタビュー結果より、時間と経緯を表-1 に紹介する。

時刻	状況
4:30	起床。雨は降っていなかった。家族が車で事務所を出発。どこまで行ったかと時間を気にしながらひげ剃りなどをしていた。
5:00	突然の豪雨が始まった。
5:15	山の方から雷音が聞こえた。同僚に何の音かと聞いたら「雷だろう」と答えた。それにしては長く続くと思った。
5:25	窓から外を見ると事務所上流側の石積み壁が倒れ、土石流が到達するところだった。1階に降りるとすでに泥水の海だった。
5:30	雨が小降りになった。
5:35	雨がやんだ。その日に降った雨はこの時間帯だけであった。

3. 今後の対策に関わる解析と考察

3.1 土石流発生の予測

今回の土石流は短時間の集中豪雨が誘因であ

ったことは間違いない。ネパールにおける雨量観測は測点数が十分でなく、またこれまでの土石流発生・非発生の降雨データもほとんどないため、雨量による土石流の予測は不可能な状態にある。今回のような集中豪雨が発生した場合、流域に住む住民は常に土石流に対する警戒をしておく必要がある。

土石流の前兆現象として雷のような音を聞いた、との証言があった。今後土石流を体験した住民の感じた前兆現象をとりまとめてその理由を考察し、警戒避難体制の構築に役立てていくことも、基礎的情報の少ない途上国において発生を予測する上で重要な資料になる。

3.2 土石流対策工

当地においてふとん籠を組み合わせる建設するチェックダムによる対策がとられている。このようなふとん籠、蛇籠による対策は護岸、土止め擁壁などにも利用されており、すでに技術的にも地元で行うことができる方法として広く受け入れられている。その効果についても実績があり、この工法は今後もネパールで継続してとられるべき重要な方法であることは間違いない。しかしその一方、蛇籠用のワイヤーはネパール側にとって高額であり、またその耐用年数も約 5～6 年とのことである。

今回土石流に直撃された竹林は、流下方向に対し 17° 流れを偏流させ、しかもそのままの状態ですっかりと大地に根を張っていた。この竹は平均直径 8cm、高さ 12m のものが約 40 本、長軸 3.5m、短軸 2.8m の楕円形状に密集していた。痕跡から推定すると土石流水深は 0.9m であった。 Manning 則が適用できるものとし、粗度係数を 0.1 と仮定して流速を推定すると 3.5 m/s、流速係数 3.1、流体力は 1.8×9.8 kN/m であった。これは木造家屋が半壊に至るほどの力である（水山ら、1989）。地形条件・下流の状況を考慮した上で竹林を構築し土石流を偏流させる方法は、比較的安価で有効な対策と思われる。竹の耐侵食性についてはすでに知られており（桧垣、2000）その効果を調べる試みが行われている（DPTC、1999）が、土石流に対する効果については未知である。その配置場所、植林方法、効果の評価など多くの検討すべき課題があるが、対策工として可能性は高い。

また事務所の壁に接して大量の石礫が 1 階の窓の高さいっぱいまで堆積したが、室内には泥水だけが侵入した。窓の外側には防犯用の鉄格子が設置してあり、その縦方向間隔は 6 cm、堆積した石礫径は約 20～40 cm であった。すなわち土石流は地形勾配が緩くなったことで流速が落ち、境界壁によりエネルギーが吸収されたことに加え、鉄格子により石礫と泥水の分離が行われ、土石流の堆積促進に寄与したものと思われる。

4. まとめ

以上現地調査を行った結果、土石流対策として竹林を利用できる可能性が明らかになった。今回の場合、土石流は竹林がなければ民家を直接襲っていた。この地域の家屋は石積みの平屋建てであり、通常であれば人的被害が発生していたものと思われる。調査資料を積み重ねる努力を続けるとともに、現地で可能な対策を早急を実施する必要がある。

参考文献

桧垣大助（2000）：ネパールにおける低コスト工法について，SABO, vol.66, p.25 - 30

水山高久，石川芳治，福澤誠（1989）：土石流による家屋の被災度の推定，土木技術資料 31-6, p.38-42

DPTC (1999): Final Report on Pipaltar Model Site, Water Induced Disaster Training Centre, 54 p.