

日本工営（株）

岡地 哲朗

小林 佳嗣

西野 謙

○深沢 浩

1. はじめに

1993年7月19日から21日の集中豪雨によって、ネパールの中南部を中心に大規模な土砂災害が発生し、多数の人的被害はもとより主要インフラも多くの被害を被った。クリカニダムは首都カトマンズの南西約15kmに位置し、ネパールの約40%の発電力をもつ唯一の貯水式発電が行われており、その集水域においても崖崩れ、地すべり、土石流が多数発生した。そして、流域内からの流出土砂がダム貯水池内に流入し、発電機能の低下に影響を与えることが懸念されている。このため、1994年9月にクリカニダム集水域の土砂生産ならびに土砂流出の状況調査を実施した（図-1）。本稿では、その現地調査結果の概要を報告する。

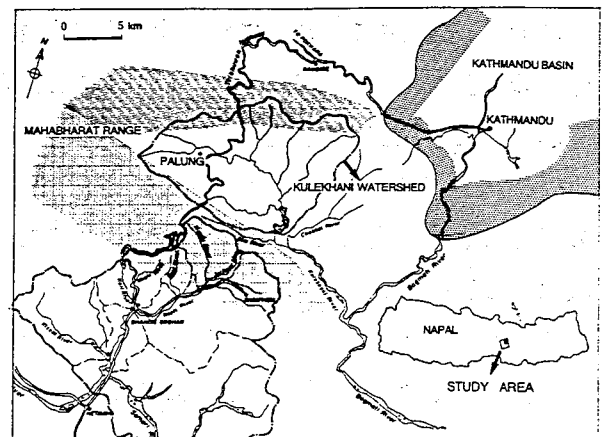


図-1 調査対象地域位置図

2. 地形・地質概要

クリカニダムの集水域（面積約126km²）は、地形・地質の特徴からほぼ東西に延びる3つの構造帯に区分できる。北帯（主にパルン川の左岸側）は、カトマンズ盆地と境される急峻な山稜と、それに続くならかで起伏のある山麓緩斜面を形成する粘板岩・砂岩・珪岩・石灰岩等の先カンブリア紀堆積岩を主体とする区域である。中央帯はクリカニダム集水域の主流パルン川（PALUNG KHOLA）の開析作用によって、深いゴルジ地形が形成され強変成作用を受けた結晶片岩の分布区域である。南帯（主にパルン川の右岸側）は急傾斜な斜面とガリー状の谷が連なり流域の最高峰であるマハバラート山脈を構成する中新世の花崗岩の貫入区域となっている。

3. 被災時の降雨状況

クリカニダム集水域周辺の6地点の雨量観測所の降雨記録から、7月19日の集水域の平均降水量は395mmと算定され、等雨量線図からは19日に集水域の北半分が

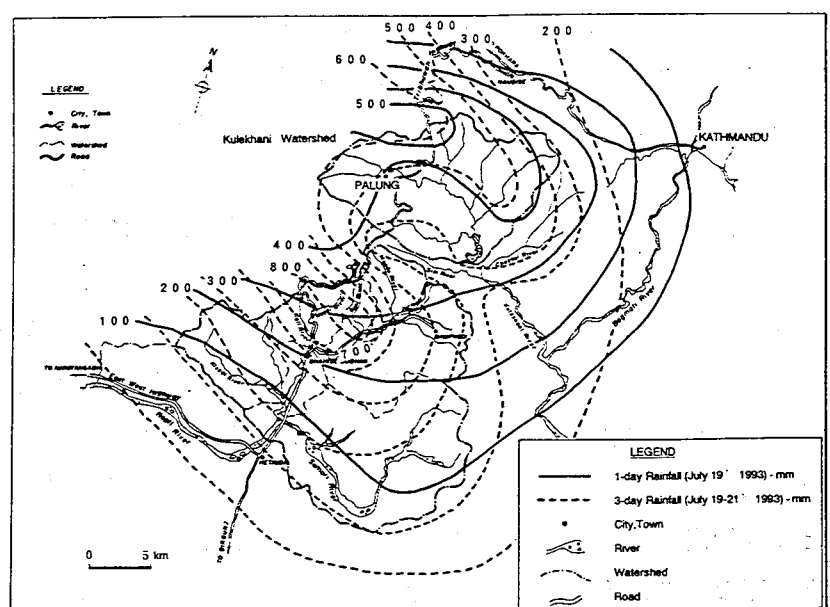


図-2 クリカニ流域周辺のハイエトグラフ

特に多く、その後20日から21日にかけては多降雨域が集水域の南側マハバラート山脈方面に移っていったことが判明している（図-2）。集水域のティストン（TISTUNG）では19日の日降雨量540mm、19日から21日までの3日雨量646mm、最大時間雨量70mm（19日10:00pm～11:00pm）が記録されている。

4. 土砂生産状況

クリカニ流域の土砂災害については、上流部のパルン（PALUNG）周辺の土石流が被害規模や土砂量などの点から最も顕著で、よく知られている（ネパール治水砂防技術センターを中心とした一連の報告、最新では岡本他：新砂防, Vol 47, No. 5, 1995）。それによれば上流フェディガオン（PHEDIGAON）集落を襲った土石流は、上流の3支溪流（BHATTEKHORIYA, GHATTE, DANGADE KHOLA）より発生し、その3支溪の合流点に巨大な土石流扇状地を形成した。土石流扇状地の規模は、面積230,000km²、体積469,000km³で、主に流れ盤に沿った風化岩地すべりが発生源であるとされている。

今回の調査では、パルン周辺の代表的な土石流発生溪流（PHEDIGAON, GHARTI, KITINI KHOLA）の他に貯水池までの主流と支川全域の溪岸および溪床の状況を把握した（図-3）。地すべり地は、主にパルン川溪岸部右岸側に特に多い。風化岩地すべり型が多く、規模は大きいもので幅約250mに達する。みかけの深さは、浅いもので3～4m、深いもので10m以上になる。

洪水後の1994年3月撮影（縮尺1/20,000）の空中写真判読からは、多数の崩壊地が抽出される（図-3）。それらの大部分は、1993年洪水時に形成された新規発生崩壊地であると判断される。よって、当時の崩壊状況を把握するため、単位面積当たりの崩壊面積率を計測し、現地調査で得られた平均崩壊深を乗じて崩壊地生産土砂量を求めた。崩壊面積率は、縮尺1/25,000地形図に転写した崩壊分布図から、地質別および分布密度によって3区域に分けて、代表的な箇所（空中写真に欠測や不鮮明な部分があるため）を1km²のメッシュで囲って崩壊地面積を計測した。その結果、崩壊面積率の区域は花崗岩地域（G、9.2%、平均崩壊深3m）、結晶片岩ないし粘板岩地域で崩壊分布密度が高い地域（S₁、5.9%、平均崩壊深4m）、および主に粘板岩地域で崩壊分布密度が低い地域（S₂、4.0%、平均崩壊深2m）に分けられる（図-4）。崩壊深も地質毎に異なり、それはまた崩壊形態の特徴にも表れる。G地域の崩壊地は、表層の赤色化した風化花崗岩部分をガリー状に細長く浸食している。部分的には粒径1m以上の円礫が多数混在し、土石流の供給源となっている。S₁地域の崩壊地は、結晶片岩が向斜構造をもつために、その流れ盤に沿った風化岩地すべりの形態を示すものが優勢である。S₂地域の崩壊地の分布はそれほど多くないが、主として勾配に影響され急傾斜の攻撃斜面上や山腹斜面上にみられる。求められた全崩壊地生産土砂量は、約 $18,500 \times 10^3 \text{ m}^3$ になり、流域内山地部において全面積の約37%を占める花崗岩地域の崩壊土砂量が、全崩壊土砂量の約60%（約 $11,200 \times 10^3 \text{ m}^3$ ）にあたる。

5. 土砂堆積状況

土石流が発生した花崗岩地帯にある溪床上流域の多くは、溪床堆積物が残存しておらず基岩が露出している。そして、本川との合流部の谷口では、1993年7月の土石流で形成されたと推定される主に巨礫よりなる崖錐が形成されている。花崗岩地域以外では、カニガオン川（KHANIGAON KHORA）で上流に崩壊地が多数分布している為に幅60m程の崖錐がパルン川との合流部に形成されている。また、ティストン川との合流点より下流部で長さ約500mの土石流堆が形成されている。調査当時で既に現河床と土石流堆の堆積面の間に、その後の開析により約4m程の比高が生じていた。

1993年7月の豪雨前後における貯水池堆砂状況を比較するために音響測深機を用いた浅深調査が実施されており、それから河床縦断面を作成した（図-5）。1993年3月と12月の縦断を比較すると明らかに短

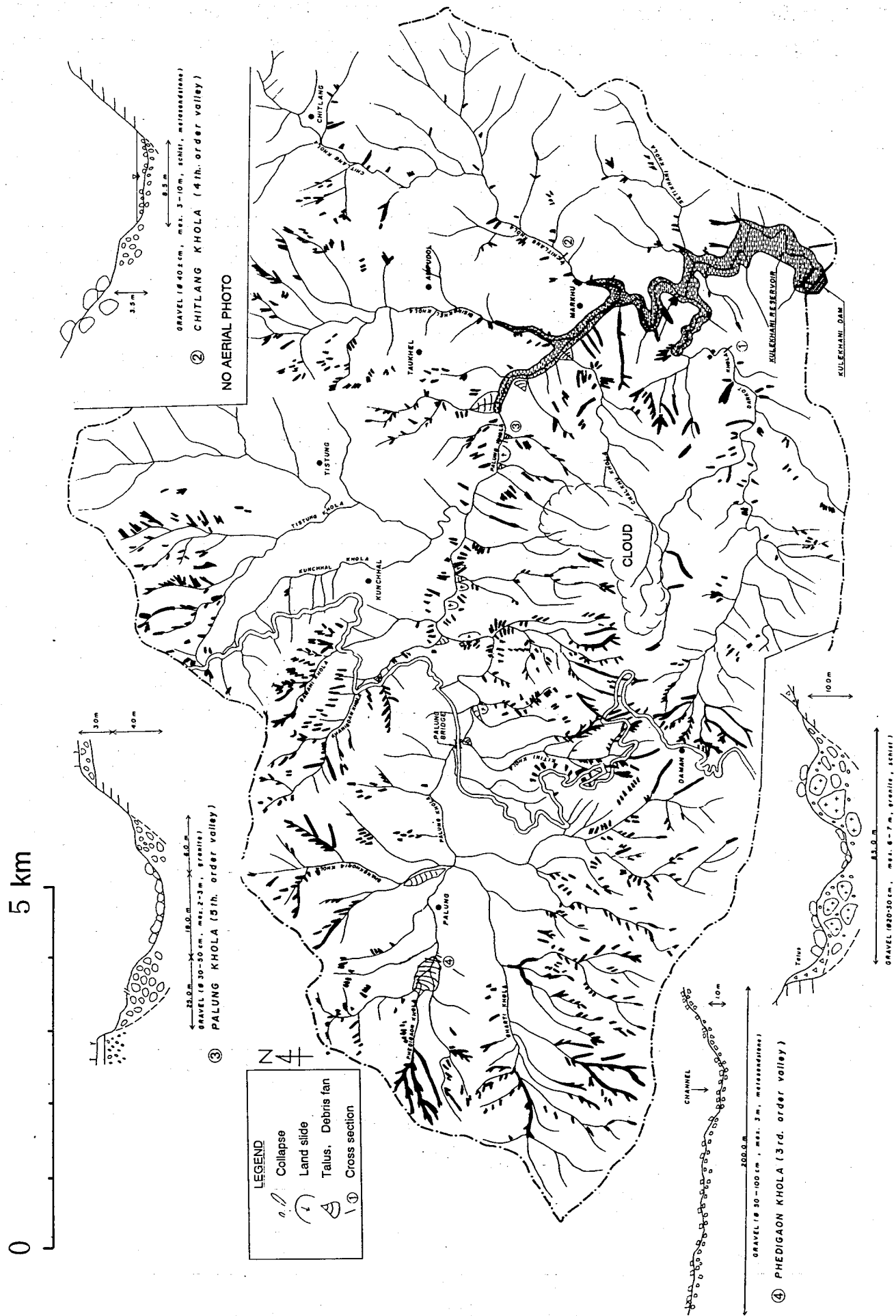


図-3 クリカニ流域の1993、7月発生の崩壊地分布と主要河川横断面図（1994、9月測量）

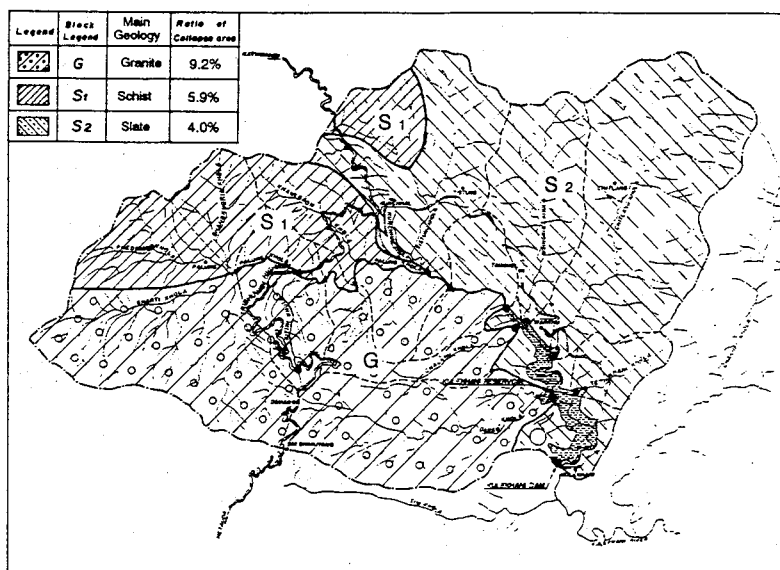
期間で多量の土砂が堆積したことがわかる。形成された三角州を内部構造的にみると、特に死水領域内での底置層と背水域上流端での前置層の発達が著しい。1993年3月から12月の間に貯水池内に堆積した土砂量は、約 $4.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ と見積もられる。

6. まとめ

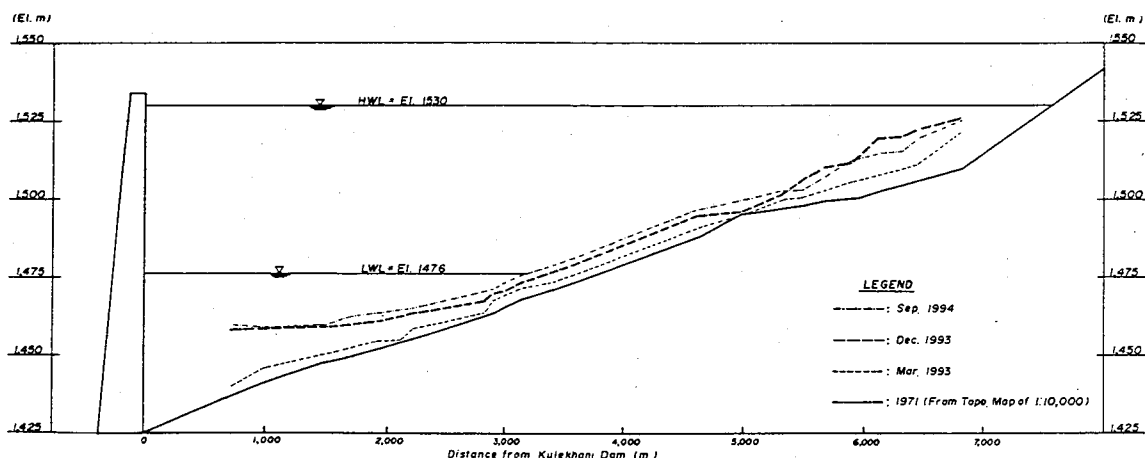
クリカニダム集水域では、1993年7月の豪雨の際に、多数の山腹崩壊、地すべり、土石流が発生し、河川の状態を大きく変化させた。しかし、災害以前には、長期間にわたり目立った洪水もなく、山地斜面も安定しており、生産土砂の流送が少ない河川であったことが知られている。また1993年災害前後（縮尺1/20,000）およびクリカニダム建設以前の空中写真を比較判読してみても、洪水前は崩壊地、地すべり地の数が非常に少なく、新期の土石流堆積地形も見られないことが分かる。これらのことから、クリカニ河流域は、平常出水では、山腹斜面や溪床堆積物は殆ど安定しているが、豪雨の際には急激な土砂生産（主に山腹斜面と一次谷）をもたらし、一時に多量の土砂を移動させるという特質を持つ流域であるといえよう。

また、集水域内では土砂の生産流出形態が地質分布によって異なる。粘板岩・珪岩等の分布域では、浅層の崖崩れが多く生産土砂は崖錐となって崩壊地下部に堆積し移動性に乏しい。結晶片岩の分布域では、片理面にそったやや深部にすべり面を有する風化岩すべりや岩盤地すべりが多く生産土砂は土石流化して合流点まで土砂を移動させている。花崗岩の分布域では巨礫を含んだ強風化土層の崩壊土砂が溪床や溪岸の堆積物を取り込んで流下して合流点まで土砂を移動させている。当集水域の地質による 1 km^2 当たりの崩壊生産土砂量比は粘板岩：結晶片岩：花崗岩＝1：3：3.7となる。

今回の調査で得られた生産土砂量から単元流域当たりの面積・河床勾配をパラメータとして求めた流出土砂量($5.9 \times 10^6 \text{ m}^3$)と1993年3月から12月の間に貯水池に堆積した土砂量($4.8 \times 10^6 \text{ m}^3$)と比較するとほぼ近似した値が得られた。



図－4 クリカニ流域の崩壊面積率区分



図－5 クリカニ貯水池の土砂堆積縦断面の経年変化