

1.はじめに

1993年 7月19日から21日にかけてネパールの東部及び中央部を中心に襲った豪雨は、各地で洪水、土石流、地すべり、かけ崩れ等を引き起こし、公表発表で約1,500名の死者行方不明者を出す未曾有の大災害となった。筆者らはJICA(国際協力事業団)の長期専門家として、1991年10月から5年間の予定で開始されたネパール治水砂防技術センターに勤務しており、ネパール中央部に発生した土石流災害について概要調査を行ったのでその結果を報告する。

2.災害の概要

今回の豪雨災害は、ネパール全体75郡のうち44郡に被害を与え、被災人口約50万人(全人口の約3%)、全半壊家屋39,043戸、被害総額約110億円(年間国家予算の約18%)と見積られているが、情報網の乏しいネパール故に被害総額は過小に見積られている可能性が高い。経済インフラへの被害のうち主なものはカカ発電所導水管及び第2発電所用取水堰の土石流による破壊、バグティ川かんがい堰の壊滅的被害、カトビウーの主要4橋の流出などである(図-1)。

7月19-21日の2日間雨量の等雨量線図を図-1に示す。これによると豪雨の集中域は首都カトマंडゥ南方のマハラト山脈に沿っており、最大値はカカ発電所(カカ発電所近傍)の681mmで、これは年降水量の約3割に相当する。

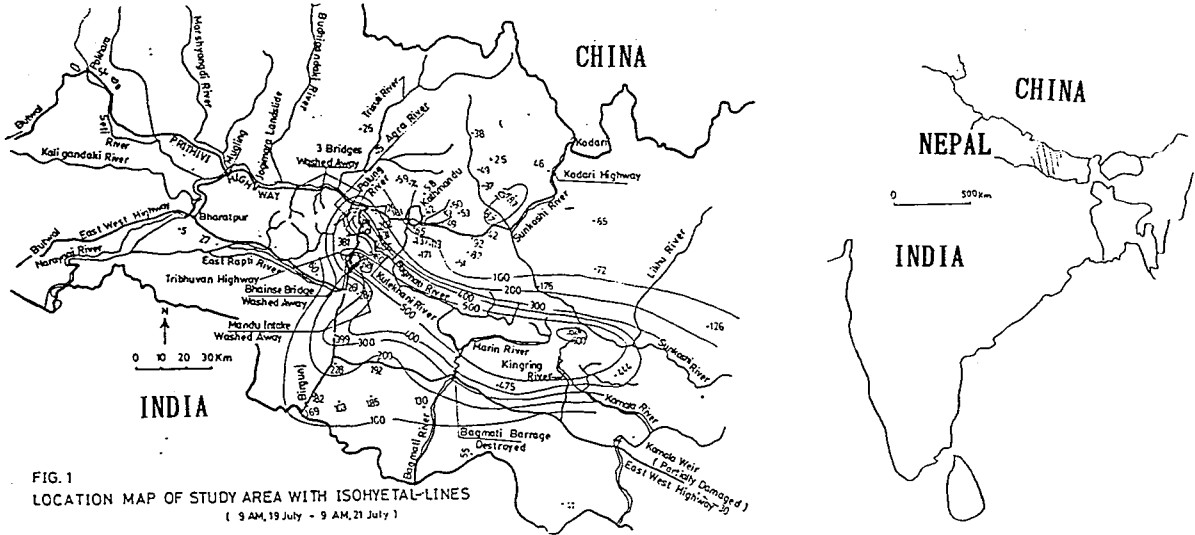


FIG. 1 LOCATION MAP OF STUDY AREA WITH ISOHYETAL-LINES (9 AM, 19 July - 9 AM, 21 July)

3.調査対象地域の地質概要

ネパールの地質区分は地形区分にほぼ対応して東西の帯状に分布しており、北からテラス海堆積物帯、高ヒマヤ中央結晶岩帯、低ヒマヤ堆積物帯、亜ヒマヤ(ソリカ)堆積物帯及びガンジ沖積帯となっている。高ヒマヤと低ヒマヤの間には主中央衝上断層が、低ヒマヤと亜ヒマヤの間には主境界衝上断層がそして亜ヒマヤとガンジ沖積帯の間にはヒマヤ前縁衝上断層の大断層がそれぞれ東西方向に走っている。

今回の調査対象となったバグティ川、カカ川、キティ川、ジュリカト、マヌ、及びアガ川流域は低ヒマヤに属し、キカソグ川は亜ヒマヤに属する。低ヒマヤは先カンブリア紀の弱変成の堆積層が主であるが、調査区域では強い変成作用を受けたカトマंडゥコプレックスのビバクルー(先カンブリア紀)に属する大理石、片岩、珪岩等が分布する。また調査区域内のマハラト山脈主稜を東西方向に中新世の花崗岩が貫入している。

亜ヒマヤは新3紀から4紀にかけて、ヒマヤ山脈の急激な隆起に伴い浸食されて麓にたまった堆積層で、下層より、下部、中部、上部ソリカ層と呼ばれ泥岩から砂岩、礫岩と上位に向かうにつれて次第に粗粒化している。キカソグ川周辺のカマ川右岸側はすべて上部ソリカ層である。

4.バグティ村周辺の土石流対策

マカワグル郡バグティ村周辺ではバグティ川本川をはじめいくつかの支川において土石流が発生した。近傍の雨量観測所ティストンでは日雨量(19日午前9時から)が540mm(年降水量の約3割)とネパール観測史上最大値を記録し、時間最大雨量は65mm(19日午後9時から)であった(図-3)。4章では、被害の特に激しかったバグティ川キティ川、カカ川について調査結果を述べる。

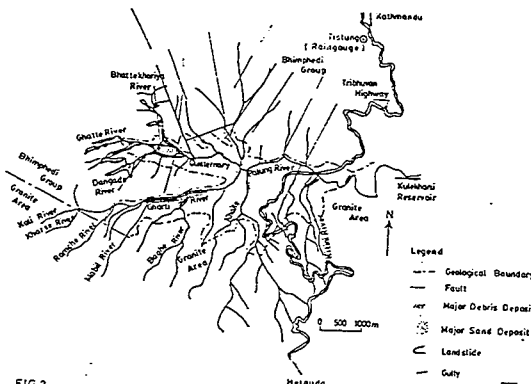


FIG. 2 LOCATION MAP OF PALUNG RIVER, GHARTI RIVER AND KITINI RIVER

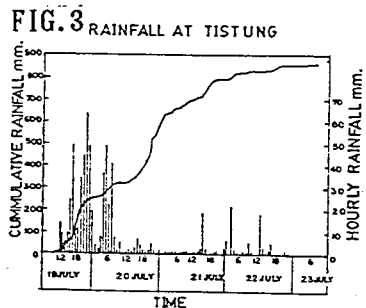


FIG. 3 RAINFALL AT TISTUNG

4-1 W川の土石流

W川は本川上流に発生した土石流の堆積地（フエイガノ地点）における流域面積3.7 km²、平均河床勾配13.8°を有し、この土石流により死者62名、全半壊家屋45戸と1箇所当たりの土砂災害（1993年7月）としては最大の犠牲者をだした。

土石流は3本の溪流（ワコリ、折及びゆり川）から発生し、その合流点付近に堆積した（図-2）。上流の地質はビバツルグの片岩、千枚岩及び変成質砂岩で概ね北傾斜（約30°）の層面を持ち、流れ盤に沿った岩盤すべり（面積崩壊率5.4%、平均崩壊深3m、生産土砂量約589,000 m³、平均傾斜36°）が土石流の発生源となっている。岩盤すべりの原因は発達したジョイントに沿って雨水が浸透し、間隙水圧が上昇して層理面に沿って岩盤の崩壊が生じたことによるものと思われる。実際W川の左支川は南傾斜となっているため、同じ地質構造で断層が多いにもかかわらず、崩壊密度は小さく土石流は発生していない。

フエイガノ地先の扇状地には巨石（最大径4.6m）を含む土砂（巨石分の代表粒径15-30cmで形状は四角ばっている）が勾配約6°で469,000 m³堆積した。村人からの聞き取りによると土石流の発生は19日午後9時以降から夜中にかけてであるが人により一定しない。

4-2 杉川土石流

杉川はW川の右支川で流域面積1.9 km²、平均河床勾配10.9°を有し、この土石流により死者6名、全半壊家屋13戸の被害を出した（図-2）。

花崗岩から成る上流域のうち崩壊の著しい0.3 km²を調査した結果²⁾（図-4）によると、面積崩壊率36%、平均崩壊深1.5m、生産土砂量162,000 m³、平均傾斜41°というとても高密度の崩壊が発生した。これらの崩壊が土石流の引き金となり、流下途中溪床及び溪岸から過去の土石流堆積物を巻き込んで発達し、W川合流点手前で土石円錐を形成して停止した。

この土石円錐は巨石が先端部に集中して盛り上がった形をしており、その粒度分布は非常に均質で最大径3.2 m、代表粒径約0.9 mで堆砂勾配は約4°、堆積土量は約55,000 m³である。また巨石分の形状は丸みがかっている。村人からの聞き取りによると土石流の発生は19日午後9時半-10時である。

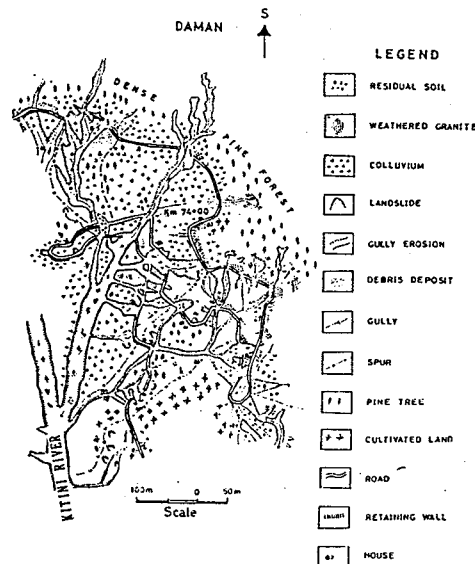


FIG. 4
ENGINEERING-GEOLOGICAL MAP OF A PART OF THE
TRIBHUVAN HIGHWAY BETWEEN SHIKHARKOT
AND DAMAN

4-3 加川土石流

加川はW川の右支川で流域面積9.5 km²、平均河床勾配7.0°を有し、当溪流に発生した土石流は人家10数戸を崩壊したが人的被害はなかった（図-2）。

当溪流の上流及び右岸側は花崗岩、左岸側はビバツルグに属しており、土石流の発生源となった崩壊はほとんど花崗岩地帯に分布している（左岸側は南斜面で受け盤となっている）。杉川と同様、河床及び河岸段丘には過去の土石流による花崗岩の巨石が多数分布している。

本土石流の特徴は巨石分の堆積地が特に明確でなく、その粒径は下流に向かうにつれて徐々に小さくなっている点である。これは主に地形条件及び河床材料の形状（丸い）によるものと思われる。ワコリ川（本川上流）とマビ川合流点付近の堆砂勾配は3-4°、巨石分の代表径は1-3 m程度でその形状は丸い。村人からの聞き取りによると土石流の発生は19日11時0時頃である。

5. マズ川流域の土石流災害

マズ川は東マテ川右支川で流域面積20km²、平均河床勾配10.5°を有し、マハート山脈の南斜面を流下する。マズ川本川及び左支川のジュリット川の土石流によって別カ発電所のマズ取水堰及び導水管が破壊された(図-5)。近傍の雨量観測所ニブワタルでは前述したように今回災害における2日間雨量の最大値(681mm)を記録し、時間最大雨量は63mm(20日午後9時から)であった(図-6)。

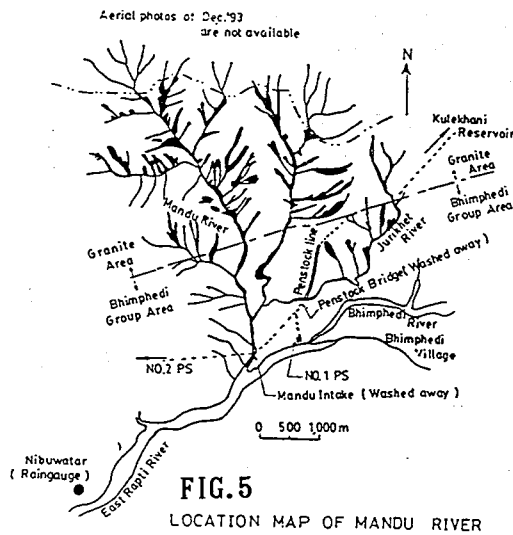
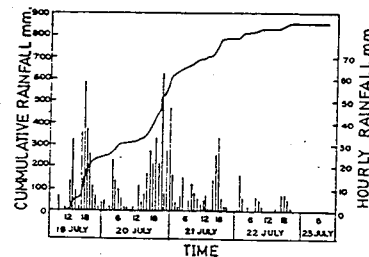


FIG. 6 RAINFALL AT NIBUWATAR



5-1 ジュリット川の土石流

ジュリット川の流域面積及び平均河床勾配は、破壊された発電所導水管の上流で2.9km²、12.9°である。流域内地質は最上流部が花崗岩で残りはビバツルブの雲母片岩、珪岩となっており、別カ第2発電所別カへの調査⁴⁾(1989)によれば崩壊、地すべりはビバツルブに多く、逆に花崗岩地帯は厚く森林に覆われ少ないことがわかっている。更に宮城⁵⁾(1992)によれば、当流域の崩壊、地すべり地形は計19箇所、平均崩壊深3.0m、平均崩壊土量7,300m³、残土量及び溪岸堆積量の計65,000m³となっている。

災害前後の空中写真(92年11月及び93年12月)判読によると、今回の土石流はビバツルブの既存の崩壊、地すべりの拡大及び崩積土、溪床・溪岸堆積物からの土砂供給の他、花崗岩地帯の谷の源頭部からの別カ浸食がそのまま土石流化した形跡がうかがえる。

導水管付近は土石流の流下域にあたり、河床勾配は約7°、河床材料のうち巨石分は片岩、珪岩がほとんどで花崗岩は少なく最大粒径65cm、代表粒径25-30cmで形状は四角ばっている。土石流発生時刻は村人からの聞き取り及び発電停止時刻(午後9時45分)から判断して19日午後9時半-10時と推察される。

5-2 マズ川の土石流

マズ川本川の土石流は花崗岩地帯の0次または1次谷の崩壊及び別カ浸食が引き金となり、途中溪岸、溪床浸食を伴って発達した。ジュリット川との合流点下流から堆積を開始し、途中マズ取水堰を完全に破壊し、マテ川本川流入後数km流下しているが、巨石分の大半は合流点下流1.5km以内の川幅の広がった区域に堆積した。取水堰周辺の堆砂勾配は約3°、土量は約130,000m³で巨石の最大寸法は9×16×7mと今回調査対象溪流の中で一番大きい。

土石流発生時刻は村人によると19日午後10時である。

6. マテ川の土石流

マテ川はマテ川の左支川で流域面積107km²、平均河床勾配5.2°を有し、この土石流によって、マテ川との合流点上流に位置していたカトビウエーの橋脚4本(2箇所)が流失した(図-1、この地点の河床勾配1.4°)。

流域内の地質は、ビバツルブの珪岩、片岩、千枚岩、石灰岩及び大理石が大半を占めるが、流域西部に一部花崗岩が見られる。マテ川上流の崩壊地と尾根をへだてて背中合わせの当川源頭部には巨大崩壊地が多数存在し、これが土石流の土砂供給源となったものと判断される。これらの崩壊地はビバツルブのテスト地層(頁岩、千枚岩、変成質砂岩)及び別カ層(雲母珪岩及び珪岩質片岩の互層)に多い。一般的に流れ盤斜面では平面岩盤すべりが多く、受け盤斜面ではくさび状すべりが多い。また千枚岩、頁岩及び片岩地帯では深層風化が著しく厚い残積土を形勢しており、平面もしくは円弧の風化岩あるいは崩積土すべりが顕著となっている。

中流部における河床材料調査によると(必ずしも本川下流の土石流本質材料とは同じでないが、下流部土石流堆積物はほとんど建設材料として採取されており調査が不可能)、巨石分の岩質は珪岩がほとんどで最大径2.2m、代表粒径1.5mとなっている。

村人からの聞き取りによると橋脚の流失時刻は20日午前4-5時である。

7. マカツ川川の土石流災害

マカツ川はマテ川の右支川で流域面積0.3km²、平均河床勾配8.7°を有し、マテ丘陵の北斜面を流下する

溪流である(図-1)。この土石流により人家6戸が損壊し4-5名の負傷者が出た。

当川の河床勾配は流域面積に比して緩やかで、中下流部は6-8°とほぼ一定で最上流部でも18-24°しかない。これはワリ層(亜マテ)が一般に北傾斜の層面を持ち、丘陵の北斜面では傾斜が緩く南斜面では急となっており、またワリ層自体の固結度が低いことため急な河床が形成されないことに起因しているものと思われる。河床には径数10cmの円礫が0.5-1.5m程度の厚さで上下流にわたって均一に堆積しており、これが土石流の発生源となったものと判断される。

本土石流のうち一部はカラ川本川まで流下したものの、ほとんどの土砂は土石円錐上のワマ村の集落手前で停止しており、堆積勾配6-7°、土量は約3,300m³である。巨石分の粒径は非常に均質で円みがかっており、最大径、28cm、代表径10-15cmと他の土石流に比べて小さい。また堆積物は層状構造を呈していることから、流出形態は土石流というよりは土砂流に近いものだったと思われる。

村人からの聞き取りによると土石流発生は20日午後4-5時で、近傍(水平距離19km)の雨量観測所ソカがイでは19日午前9時からの日雨量221mm、翌日の日雨量403mm(年降水量約3,000mm)を記録した。

8.まとめ

ネパール中央部で1993年7月に発生した土石流について概要調査を行った結果、主に発生源の地質によって異なるタイプの土石流に分類することができた。1つは花崗岩地帯に発生するもので、ワリ川、カラ川及びマツ川がその典型である。これらはワリ層に発達した節理面に雨水が浸透することにより、間隙水圧が上昇して岩塊が崩壊したり、0次あるいは1次谷の源頭部からの削浸食によって、河床及び河岸が浸食されて発生するものである。堆積土砂の最大粒径は流域の比高差、河床勾配等により異なるが数mと大きく、形状も丸みがかっている。

もう1つはビバツル川の片岩、珪岩地帯に発生するもので、ワリ川が典型である。ワリ川、ワリ川はいずれも流域の大半はビバツル川に属するが、一部花崗岩地域にも有している。ここではある一定の方向を持った層理面に沿って岩盤すべり(平面状又はくさび状)が発生し、この崩壊がそのまま流動化して土石流となった形態が多いと判断された。堆積土砂の最大粒径は花崗岩地帯のそれよりも小さく、形状も四角張っている。

最後は上部ワリ層を上流域に持つ溪流で発生するもので、ワリ川がその典型である。ここでは未固結な礫岩を中心とする堆積層が、表流水の浸食によって流動化して発生する。堆積土砂の粒径はもともと上部ワリ層を構成する岩の礫径が数10cmと小さいため、上記2タイプに比して小さく、形状は丸い。土石流の誘因となった降雨はそれぞれの流域近傍のデータから、発生前の連続雨量が200-400mm、時間最大雨量が60mm程度と、日本の非火山地帯の土石流発生雨量とほぼ等しいかやや大きい。

最後に、本調査は筆者らの独自の調査によるもの他、8月26日~9月6日にかけて派遣されたJICAの国際緊急援助隊(専門家チーム)とその後派遣された短期専門家、ICIMOD(国際山岳総合開発センター)の日本人専門家及びネパールの大学中央地質部との合同調査の結果を含むものである。これらの関係各位のご協力に対して謝意を申し上げますとともに、現地調査及び資料提供で多大のご協力を頂いたネパール政府、在ネパール日本国大使館、国際協力事業団ネパール事務所、日本工営株式会社事務所の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉松弘行・山田孝・大井英臣：ネパールの1993年7月集中豪雨による土砂災害 新砂防vol.46, No4, 1993
- 2) M. R. Dhital, N. Khanal, K. B. Thapa : The Role of Extreme Weather Events, Mass Movements and Land Use Changes in Increasing Natural Hazards. ICIMOD(International Centre for Integrated Mountain Development), 1993
- 3) 矢田部龍一・高橋治郎・伊藤 一・大井英臣・岡本敦：1993年7月豪雨によるネパール中部ワリ川流域の斜面崩壊・土石流について・土質工学会、1993年12月
- 4) Second Kulekhani Hydropower Project, HMG/Nepal : Final Report on Disaster Prevention Master Plan in Upper Rapti River Basin. October 1989
- 5) 宮城豊彦：ネパール、マハラト山脈における斜面環境動態の把握 東北学院大学論文集、1992年2月
- 6) 石塚忠範：短期専門家派遣報告書。国際協力事業団、1993年10月