

2003 年 5 月スリランカ南西部水害調査報告

FIELD INVESTIGATION OF THE FLOOD DISASTER IN SOUTH-WEST AREA OF SRI LANKA OCCURRED IN MAY 2003

小松利光¹・田中 仁²・戸田圭一³・清水康行⁴・藤田正治⁵・石野和男⁶・風間 聡⁷
・牛山素行⁸・勝濱良博⁹・Srikantha Herath¹⁰・Bandara Nawarathna¹¹

Toshimitsu KOMATSU, Hitoshi TANAKA, Yasuyuki SHIMIZU, Keiichi TODA, Masaharu FUJITA,
Kazuo ISHINO, So KAZAMA, Motoyuki USHIYAMA, Yohihiro KATSUHAMA,
Srikantha HERATH and Bandara NAWARATHNA

¹フェロー会員 工博 九州大学大学院教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1)

²フェロー会員 工博 東北大学大学院教授 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

³正会員 Ph.D. 京都大学防災研究所教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

⁴正会員 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

⁵正会員 工博 京都大学防災研究所助教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

⁶正会員 工博 大成建設(株)技術センター (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

⁷正会員 博(工) 東北大学大学院助教授 環境科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

⁸正会員 博(農) 東北大学大学院講師 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

⁹正会員 日本工営(株)海外カンパニー水資源開発部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-5)

¹⁰正会員 Ph.D. 国連大学学術審議官 (〒150-8925 東京都渋谷区神宮前 5-53-70)

¹¹正会員 Ph.D. 京都大学防災研究所 P.D. (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

In the southwest of Sri Lanka, a heavy flood occurred on 17-18 May in 2003, which caused severe river inundations and landslides in a wide area. About 300 persons were killed, and houses, farm products and infrastructures were heavily damaged. In order to investigate this flood and sediment disaster from the hydrological and hydraulic aspects, the committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering, Japan Society of Civil Engineers (JSCE) delegated its members whose major are hydrology, hydraulic engineering and river engineering as a flood investigation team by JSCE. In this paper, results of the field investigation are shown for three river basins in Sri Lanka that were severely damaged by flood and landslide disaster induced by the heavy rainfall.

Key words : Sri Lanka, heavy rainfall, flood disaster, landslide disaster, field investigation

1. はじめに

2003 年 5 月にスリランカ南西部を襲った降雨は大規模な水害・土砂災害を引き起こし、約 300 人の死者と約 12 万人の被災者を出す大惨事となった。そこで、土木学会水工学委員会ではこの水害の調査を計画・実施した。スリランカは比較的小国で、開発途上国ということもあり、今回の水害を学術的に調査して得られる知見や教訓は、そのまま我国に当てはまるものではないとも考えられる。しかしながら、これらの調査研究の結果を通じて我国が学べるだけでなく、逆に我国がスリランカを初めとする多くの開発途上国を技術的に支援したり、お互いに連携して協力できることも明らかにされることを期待し、本調査を実施した。

2. 調査対象と 2003 年 5 月水害時の降雨概要

(1) 調査対象

水害調査の対象は、被害の大きかったスリランカ南西部に位置するカル川、ギン川、ニルワラ川の各流域とした。これらの流域の位置を図-1(a)に示す。これらの流域において現地調査を行うと共に、中央政府、地方行政機関、メディア、大学等においてインタビュー調査を行い、降雨およびこれにより引き起こされた災害に関する資料を収集した。

スリランカの地形は、標高によって中央高地、平原地帯および海岸地帯に分けられる。中央高地は、国土の中南部に位置する。平原地帯は海拔 30~200m に位置しており、国土の大部分を占める。スリランカの河川は、中央高地に源を発して、海に向かって放射状に流下している。中央高地では、河道はしばしば不連続な地形によって分断され、断崖や急斜面

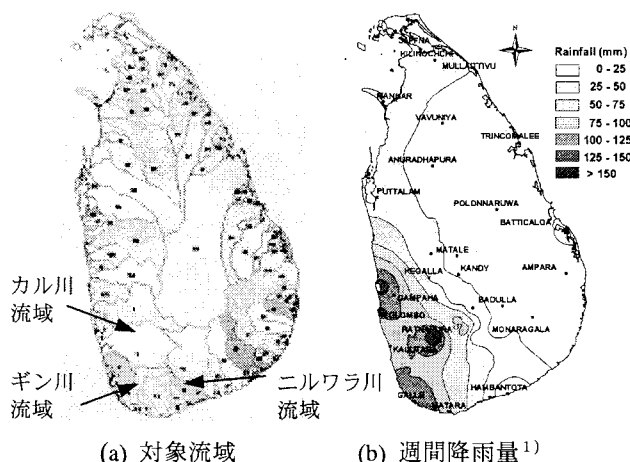


図-1 調査対象3流域と災害時の週間降雨量

では数多くの滝や急流が形成されている。これらの河川は、平原地帯に出ると流速が落ちて、氾濫原やデルタを蛇行して流れる。

(2) 2003年5月水害時の降雨概要

2003年5月にスリランカ南西部を襲った洪水および土砂による災害時の降雨特性として、①5月には珍しいサイクロンの停滞、②サイクロンの停滞による継続降雨、③土壌水分飽和後の集中豪雨、の三点が挙げられる。

北緯6度から10度の間という低緯度に位置するスリランカでは、ここ百年の間でもサイクロンの上陸は20回を下回り、その到来時期も11月～12月にほぼ集中している。今回のサイクロンは2003年5月11日から5月19日にかけてゆっくりとした速度でベンガル湾を北上し、モンスーンを刺激して、スリランカ南西部に大雨を降らせた。図-1(b)は災害発生(5月16日～18日)の前、5月6日～13日の1週間のスリランカ全国の降水量分布である。スリランカ南西部においては、100mmを越える1週間雨量を観測している。

特に、カル川流域のラトナプラにおいては、5月1日から災害前日の5月15日までに、図-2に示すとおり、600mmを超える降雨を観測した。これによって、災害発生地域の土壌水分はすでに飽和していたと考えられる。その後の、5月16日には、ラトナプラにおいて156mm、引き続き5月17日には146.5mmの激しい降雨を観測した。特に、5月17日3時～21時までの18時間の継続降雨で366.1mmを観測しており、その中の14時～15時の間には、99.8mmの時間雨量を観測している。すなわち、土壌水分飽和後の集中豪雨が、土石流など災害の要因となる事象発生の直接の原因になったと考えられる。

3. カル川流域における災害

(1) 洪水災害

カル川はスリランカの中部に位置する流域面積2,690km²、幹川流路延長約100kmの河川である。スリランカ政府(灌漑局)の資料によれば、平均年間降

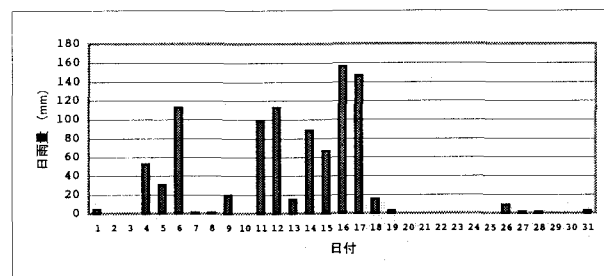


図-2 2003年5月のラトナプラ観測所日雨量

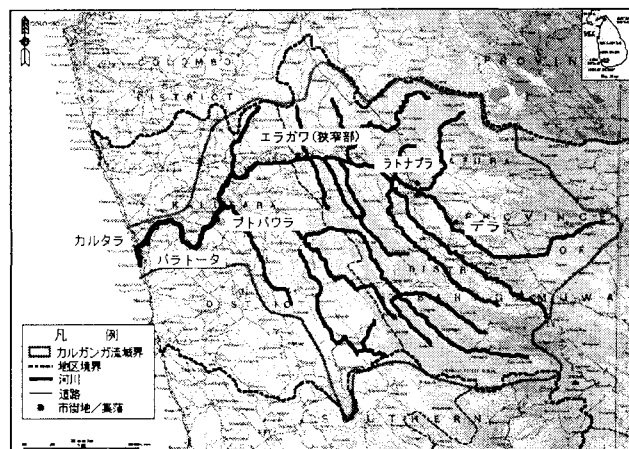


図-3 カル川流域図

雨量が4,000mmで年間総流出量が73億m³で、その降雨量はわが国の年間平均降雨量の約2倍である。カル川の流域は図-3に示すように上流の盆地状地域(ラトナプラ地区)と下流の低平地地帯(カルタラ地区)の2つに分けられる。源流の山岳地帯から河口までの標高差は約2,250mであるが、上流端から始めの36kmで、標高2,250mから14mにまで急激に落下していることから、その流路の大半は勾配が1/5,000程度の緩勾配河川である。さらに、流域の特徴としては下流低平部と上流盆地の境界地点が流路幅約50mの狭窄部となっており、これが上流盆地内での洪水氾濫を助長する一因になっている。

上流の盆地地帯の中心都市であるラトナプラ市は四方の山地からの河川が集中する地点に位置し、河川勾配もここで急に緩やかになるため洪水被害が発生しやすい。2003年5月の洪水水位は最大で23.9mMSLに達しており、これは観測史上第4位の記録である²⁾。市街地での冠水深は3mを超えており、大部分の家屋の1階は水没した。ラトナプラでの最大流量は約1,300m³/secと推定され、これは50年確率洪水程度とのことである。

今回の洪水災害の原因は3点に集約されており、それは①極端な緩勾配(約1/5000)、②前節に詳述したあまりにも大量の雨、③エラガワ地点の狭窄部による堰上げということである。

カル川のラトナプラ市内からやや上流部集落の住民の話によれば洪水はこの建物の屋根近くまで来たそうである。また、住宅の内部も見せてもらったが、今でも腰以上の高さにはっきりとした痕跡が残って

いた。住民等の話しを総合すると、ラトナプラ市内も近郊の村でも洪水氾濫は激流が襲ったというよりは徐々に浸水し、避難時間も十分にあったようである。これはやはり洪水の原因は狭窄部による堰上げの影響が徐々に上流に及んだことによるものと考えられる。写真-1はカル川上下流の中間地点に位置するエラガワの狭窄部であり、河道幅は50m程度である。確かにこの断面では $1,000\text{m}^3/\text{s}$ を超える流下能力は期待できないと思われる。

下流のカルタラ周辺の低平部でも至る所に水位痕跡が残されていた。この周辺の氾濫も上流同様にゆっくりとした氾濫で死者・行方不明者はいないとのことである。日本の急流河川の外水氾濫状況に比べるとさほど深刻さは感じられなかった。

(2) 土砂災害

ラトナムプラ州においては多くの箇所でも崩壊が発生し、これにより122名もの人命が失われた。写真-2(a)、(b)は、このうちもっとも多くの崩壊箇所を数え、8名の死者を数えたハブゴダにおける最も大きな崩壊地の状況を示したものである。写真-2(a)は崩壊直後、写真-2(b)は2004年4月における調査時点の崩壊地の様子を示したものである。ここで8名が生き埋めになった。崩壊や土石流の発生プロセスについてはこれらの写真だけからはわからないが、結果的には頂上付近に崩壊地が見られ、崩壊土砂が二手に分かれて流下した様子が見られる。このうち、写真右側の土砂移動の痕跡にそって溪谷が形成されており、左側の土砂移動の痕跡は、小さな尾根を越えた土砂移動によるものである。

写真-2(b)の1年後の状況を見ると、崩壊土砂はほとんど流送され、河道にほとんど土砂が残っておらず、河床が粒径の大きな石礫で覆われている。また、崩壊土砂の移動経路に沿って失われた植生は、1年後には十分回復している様子も伺える。

山腹中腹部には民家が見られる。この周辺は山腹が茶畑として開発され、農作業への利便性のため危険な山腹に家を立てて生活している。このような森林の伐採と居移住地の森林への進入が土砂災害を拡大させた要因の一つであると考えられる。現地での聞き取り調査によると、行政側は住居を移すことを住民に勧告しているが、ほとんどそれに応じないとのことである。

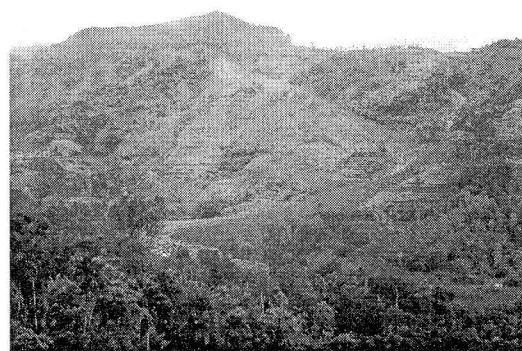
このハブゴダにおける崩壊はデルゴダ川をせき止め、一時的に天然ダムが形成されたと推測されている。この天然ダムの形成と破壊は下流で橋の流失を引き起こしたとされているが、氾濫による大きな人的被害があったという報告はなされていない。

(3) 土砂災害対策

スリランカでは、持続可能な、長期、短期地すべり災害の管理および居住計画、居住地域の選択における規準、手引きのために、地すべりのハザードマップの作成が進められていた。ラトナプラでは今回の災害の前にハザードマップが完成していた。し



写真-1 カル川のエラガワ付近の狭窄部



(a)



(b)

写真-2 ハブゴダにおける崩壊

かし、このマップは有効には使われなかったようであり、この点を踏まえた災害対策が模索されている。

土砂災害直後の対策として、住宅移転、土地収用、復旧作業、崩壊地の監視などが行われた。

これからの対策としては、まず、地すべりハザードマッププロジェクトが挙げられる。ハザードマップは50000分の1および10000分の1の地図に対して作られている。このハザードマップは、土地利用、地形、傾斜、土壌、地質、水文学的情報などを考慮して、四段階の危険度で作成されている。

その他の今後の対策として、地方政府等による建築許可プロセスの強化が挙げられている。すなわち、都市開発計画を策定する際に災害ポテンシャルデータを組み入れること、地すべり危険地域での建設のガイドラインを提供すること、保険や特別税などに

よる開発行為の制御，建築法規の遵守などである。また，災害情報の普及を通じて自覚の形成を促進し，雨季における観測に関するコミュニティーベースのボランティア機構の形成，防災設備の装備，早期の警報体制，危険地域における建設の回避，危険地域への移住の回避などを推し進めようと考えている。

4. ギン川流域における災害

(1) 洪水概要

ギン川はスリランカ南部のゴール県を流れる河川であり，その流域面積は 947km^2 ，河道長は 112km である（図－4 参照）。2003 年 5 月 17 日の早朝までにギン川の上流部を中心に豪雨が発生した。河口から 20km 上流に位置するギン川上流のネルワで洪水氾濫が発生し，氾濫水は下流の堤内地を 3～4 日かけて流下した。堤内地で溢れた水は水門を開放しても堤外に吐けなかった模様である。洪水氾濫時，場所によっては氾濫水の流れも速く，浸水深も 2m を越すなどし，また避難所への経路も浸水したため，一部の地域では避難は困難をきわめた。この水害で 17 名が亡くなり，またインフラ施設や農作物に甚大な被害が生じた。

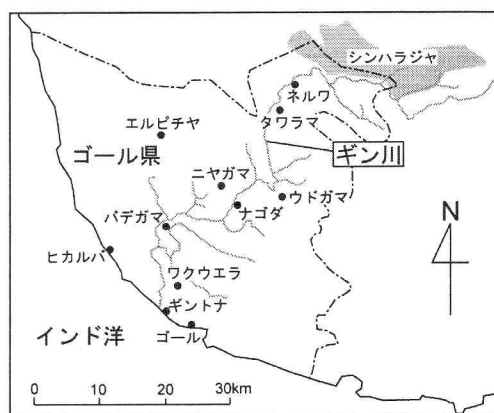
2003 年 5 月 17 日の早朝の段階で，シンハラジャの森林地帯は 350mm を超える豪雨に襲われた。その頃は河川の水位は平常時と変わらなかったが，昼頃までに水位は急激に上昇した。そして，夜までにネルワ地区は浸水し，ギン川の水位は今までにないほどに上昇した。ネルワの低地では洪水氾濫が発生し，村人達は洪水の猛威にさらされた。同日夜，タワラマ地区でも同様の状況となり，交通は完全に遮断された。5 月 18 日の早朝，ナゴダおよびニヤガマ地域も洪水の影響を受ける状況となり，同日の夜までには，バデガマ，エルピチャ，ヒカルバ，ゴール地域が洪水被害を受けた。

ギントナのギン川河口では，今回の洪水流量を流下させる十分な能力がなく，河川水位がせき上がった。ゴール郊外に位置する，ゴールとコロンプを結ぶ国道の橋脚地点では，橋の床板の 0.6m 下まで水位が上昇した。このような状況に鑑みてゴール県では，橋脚付近に溜まってできた砂州を一部開削することにより，ゴール市内の洪水氾濫を何とか回避した。

5 月 19 日の昼には，河川水位は上流域では徐々に低下し，県や市町村は被害査定や被災者の救援を開始した。

(2) 被災概要

17 名が今回の水害で死亡したが，そのうち地すべりでの死者は 6 名。残りは洪水による死亡者である。他の県と比較して，洪水による死亡者が多いのが特徴的である。被災世帯は約 $32,000$ 戸，被害が最もひどかったのは，ネルワ，タワラマ，ナゴダ，ニヤガマ，バデガマ，そしてゴールである。



図－4 ギン川流域図



写真－3 内水氾濫対策用のポンプ場

洪水氾濫時，場所によっては氾濫水の流れも速く，浸水深も 2m を越すなどし，また避難所への経路も浸水したため，一部の地域では避難は困難をきわめた模様である。避難所は学校や公共の施設である。洪水の状況を，住民はラジオや TV のメディアを通して把握していた。県が避難情報を出し，各村に伝達した。村の集落ごとに情報が伝えられた。避難行動に関して言えば，一部遅れた住民もいたが避難は比較的首尾よく行われた模様である。避難・救援活動は軍隊（海軍）が精力的にその役割を担った。避難・救助のための船は漁業関係者の提供を受けた。

ギン川の治水整備に関しては，河口から 12km 付近までの下流区間しか堤防が整備されていない。ギン川の下流部は低平地で雨期の雨が多いため，堤内地の内水排除に力点が置かれている模様である。雨期にはギン川の水位が上がるため，支川の水はギン川本川に自然流下できないためポンプ排水している（写真－3）。洪水対策は中国の援助により，1975 年に開始された。10 年確率降雨を対象とした $5,000\text{ha}$ の水田の洪水防御，10 箇所のポンプ場の整備が実施された模様である。下流付近に川幅 30m 程の分水路があったが，その水理設計も中国が行った模様である。

ギン川の流域全体での水防災の計画はない。まとまった雨が降れば，今回のような外水氾濫は再び発生する可能性は高い。また，内水氾濫もその対策は十分とは言いがたい。

氾濫の規模、人命を失う可能性の大きさから外水氾濫対策がきわめて重要である。堤防の延長などは経費も時間もかかるので、まずは予警報システムの整備や情報伝達も含めた避難システムの整備、水害の危険性を認知させる防災教育の普及から始めるべきであろう。

今回の水害では、洪水氾濫の規模のわりに避難は円滑に行われた模様であるが、TV やラジオといったマスメディア以外の災害情報伝達は、地先では拡声器を含む口コミによる方法が中心であったと思われる。点在する集落の住民に迅速に正しい情報を伝え、住民を早期に安全に避難させることが重要課題であり、県や市町村から各集落への情報連絡網の整備、集落コミュニティ内での迅速な情報伝達と避難行動体制の準備・強化を図る必要がある。また浸水実績図などは災害後直ちに作成して、記録として整理するとともに、防災教育の教材として有効活用することが望ましい。

さらに洪水氾濫時の救助・救援システム、氾濫終了後の復旧システムの整備も重要な問題である。流域の広い範囲で洪水氾濫が生じた際に、被害状況をいかに迅速かつ適確に把握するか、道路が寸断されて孤立した集落の住民をいかに救助するか、また食料や救援物資をいかに集配するか、避難所で長期間の避難所生活を余儀なくされる被災住民をいかに支援するかなどが今回の水害で再認識された課題である。救助・救援に関しては、役所（県、市町村）と警察、軍隊の連携が、復旧に関しては役所と住民、そしてボランティアの連携が重要であると考えられる。これらのことは、2004 年 7 月のわが国の新潟や福井における豪雨災害とも関連するところがある。

5. ニルワラ川流域における災害

(1) 洪水概要

ニルワラ川はスリランカ南部地方のマータラ県に位置し、北緯 $6^{\circ} 13'$ から $5^{\circ} 55'$ と東経 $80^{\circ} 25'$ から $80^{\circ} 38'$ に位置する（図-5）。源流は中央山岳域の標高 1,050m ダニヤヤとラウワナにある。流路長は 70km であり、県都のマータラ市でインド洋に注ぐ。流域面積は 1,070km² で、源流部分の山岳域は森林域であり、赤黄ポドゾルで覆われている。中腹域はゴムやお茶、スパイスの植林域で、平野のほとんどは水田となっている。山岳域の河床は急勾配で岩盤であり、下流域において勾配は小さくなる。

ニルワラ川上流のボパゴダの水位を図-6 に示す。5 月 17 日から 18 日にかけて水位が急上昇し、最大 35ft(10.7m)を越えている。洪水期間の水位自動記録は観測範囲を超えていたため、痕跡による記録が図に記されている。最大水位の記録はおおよそ 5 月 18 日の午前 4 時半に生じたと推定されている。この上流に位置するピタベッタラの場合は流量換算されており、18 日の日流量 2,900m³/s を記録している。

ここから約 30km 下流のタルガハンゴダ排水機場では最大水位が 18 日の午前 3 時に記録されている。

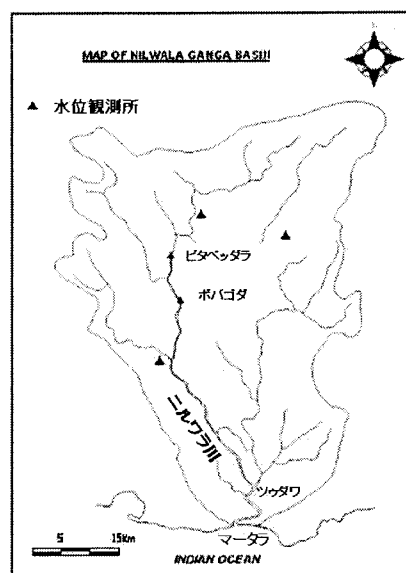


図-5 ニルワラ川流域図

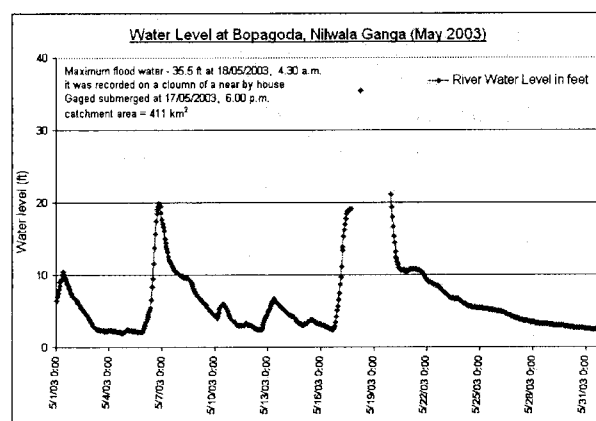


図-6 ニルワラ川上流のボパゴダの水位

上流の洪水ピーク時刻が下流より遅い理由として、18 日未明に下流の堤防が切断されたため、氾濫水が堤内に浸水し、本来の下流の洪水ピークが減少したからと考えられる。この推測は、切断されたと報告された時間（午前 4 時頃）から見て正しいものと思われる。図-7 からわかるように更に下流のツウダワでは 18 日から 19 日にかけて堤内の水位が上昇し、19 日になると堤内水位が堤外水位より高くなっている。本来堤防で守られている地域は標高の低い地域であるため、氾濫水が集中しやすい。また、排水機は洪水ピーク時に動かなくなっていたこともその原因である。降雨が継続していることもあるが、流域規模の割には下流において長時間にわたって高い水位が続いた。最終的に人々はこれらの氾濫水が水路を通じて自然流下によって排水されるのを待つことになった。以上の氾濫状況は主に右岸のことである。左岸では、堤防が切られることがなかったため、このようなことはなかった。ポンプによって順調に排水された。灌漑局の職員は、左岸では住居が堤防近くまで迫っており、堤防を切った場合の被害が容易に想像できるからと説明した。つまり右岸の堤防掘削地点の堤内地は、水田域が広がり住居がなく、

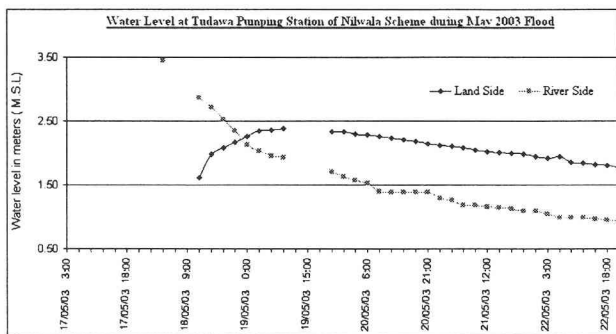


図-7 ツウダワ排水機場の水位



写真-4 ラウドスピーカーによる災害情報伝達

一見遊水地に見えるため住民に堤防を切ることへの罪悪感がなかったからだと説明した。

(2) 被災概要

ニルワラ川は過去 30 年間にわたって洪水氾濫が生じたことはなかった。そのため、住民のほとんどは洪水に対する経験をもたないため、その被害が拡大した。11 日から始まった降雨のため、テレビやラジオ、新聞から地すべり、洪水の危険性については報じられていた。住民もこれらの情報については認識していた。しかし、下流における 18 日の氾濫拡大についてはラウドスピーカーによる連絡があるまで住民は何も情報を持たない状況であった。灌漑省マータラ事務所は 17 日から対応を協議していたが、本格的に情報伝達を始めたのは氾濫が拡大してからである。ラウドスピーカーによる連絡は、スリーウェーや車による緊急措置的なもので、常設の防災スピーカーがあったわけではない(写真-4)。これらのスピーカーは大きい集落の電気屋に設置しており、住民への連絡が必要な場合に NGO の協力を得て、連絡される。しかし、氾濫拡大が時間的に先行したため、伝達が出来ない孤立した地域を生むことになった。地元住民の話によると、理由もわからず水位が上昇し、恐怖を感じたと言う。また、生活弱者を家族や近所の者がおぶって逃げたケースが数多くあった。しかし、避難する場所が指示されていたわけではなく、とりあえず近所の高台に避難している。孤立した集落は、18 日から 19 日にかけて軍隊やマー

タラの漁師による船によって救出された。18 日にマータラ事務所から軍隊と警察に救助依頼があり、軍隊は孤立した住民の救助と救援物資の運搬を、警察は避難誘導や交通誘導を行った。また、国際機関や NGO は 19 日以降、コロンボから救援物資、薬や食糧を持ち込んだ。一部、医療活動も行っている。18 日、19 日にはヘリコプターによる救援物資の輸送も行われている。氾濫地帯の幾つかの集落では、食糧の備蓄が行われていた。これは災害用ではなく、地元住民が年間の食糧として確保している分である。これらの食糧が被災民に配給された。また、一部の集落には漁のために小船が用意されており、救助するのに役立った。

6. おわりに

2003 年 5 月のスリランカ水害に関して調査を行い次の様な結論を得た。

- (1) 5 月には珍しいサイクロンの停滞により、降雨が継続し、初期の降雨により土壌成分が飽和した後、集中豪雨に見舞われた。
- (2) スリランカの河川の多くは上流域で急勾配、中下流域で極端な緩勾配となっており、上流域で地すべり・山崩れが多く発生し、中下流域では勾配が緩やかなことで流下が滞り水が溢れた。特にカル川ではエルガワ地点が自然の狭窄部となっており、水の流れを阻害するなど、地形の特殊性も水害を拡大させた大きな要因となっている。
- (3) 死者の多くは地すべり・土石流などの土砂災害によるものである。
- (4) 避難勧告や避難場所への誘導は必ずしもスムーズに行われた訳ではない。また避難場所は予め決められていたが、土砂災害を考慮していなかったため、必ずしも安全な場所とは言えなかった。

謝辞：本論文の現地調査を実施するに当たり、財団法人河川環境管理財団の補助を受けた。日本工営(株)の井上美公氏、蛭田隆司氏、薦 英夫氏、同コロンボ連絡事務所の村本俊一所長、小泉 慎氏には多くの情報ならびに種々の便宜を図って頂いた。ここに記して関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) Zubair, L.: The weather leading to the recent floods and landslides in Sri Lanka.
<http://iri.columbia.edu/~lareef/wcsl/May2003.htm>
- 2) 国際建設技術協会: 平成 15 年度建設事業基礎調査スリランカ民主社会主義共和国カルガンガ洪水対策計画調査報告書, 23p, 2004.

(2004.9.30 受付)