

2001年7月台湾で発生した豪雨の特徴と 土砂災害

CHARACTERISTICS OF HEAVY RAINFALLS AND SEDIMENT DISASTERS IN TAIWAN, JULY 2001

中川 一¹・戸田圭一²・牛山素行³・武藤裕則⁴・戸床文彦⁵

Hajime NAKAGAWA, Keiichi TODA, Motoyuki USHIYAMA,
Yasunori MUTO and Fumihiko TODOKO

¹正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

²正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

³正会員 農博 東北大学助手 工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06)

⁴正会員 工博 京都大学助手 防災研究所 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

⁵非会員 京都大学 工学部 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

The Typhoon 0108 (Typhoon Toraji) attacked the eastern and central Taiwan on 30 July, 2001. This typhoon brought about a heavy rainfall. In the central area of Hualien-ken and the southern area of Nantou-ken, the hourly rainfall more than 100 mm lasted three hours, and the total rainfall amounted to more than 400 mm, resulting in the occurrence of disastrous debris flow in many places in both Hualien-ken and Nantou-ken. The severe inundation flows also occurred due to both overtopping flows and bank breaches in Chosui River basin in Nantou-ken. By these river floods and sediment disasters, 214 persons were killed or missing and huge damages spread out all over the country. This paper summarizes the findings of these disasters obtained through the field survey. Moreover, estimation of debris flow hydrographs of the Tsingsui River in Taiko village, Hualien-ken and flooding and deposition processes on the fan of the river had been done by using one- and two-dimensional simulation models, respectively.

Key Words : heavy rainfall, sediment disaster, Taiwan, Hualien-ken, Nantou-ken, Taiko village, Typhoon 0108, numerical simulation

1. はじめに

2001年7月29～30日にかけて、台風0108号がもたらした集中豪雨により、台湾東部の花蓮県および台湾中部の南投県で400mmを超える豪雨が発生し、各県の多くの河川流域で土砂災害が発生した。とくに南投県の阿里山(標高2,406m)では7月29～31日の3日間の降水量が758mm、最大24時間降水量が715mmという豪雨となった。その結果、台湾最大の河川である濁水渓流域のいたるところで斜面崩壊や土石流が発生し、南投県の水里郷や信義郷では土石流の流出・氾濫で多数の人的・物的被害が生じた。南投県のこの地域は1999年の集集地震の震源地に近く、斜面崩壊の発生や多量の土砂の流出に地震の影響があったものと推察されるが、その影響を定量的に評価するに足る資料が入手できなかったため、ここではこれについては詳細には検討していない。台湾では1996年にも台風9608号により7月30～8月2日の4日雨量が1,994mm、最大24時間降水量が1,746mm(阿里山)にも達する記録的な豪雨が発生しており、今回の土砂

災害と1996年の災害とを比較することで地震の影響を間接的にはあるが検討している。

花蓮県の光復観測所や鳳林観測所でも400mmを超える豪雨を記録し、光復郷大興村の清水溪では推定流出土砂量150万 m^3 という大規模な土石流が発生し、死者・行方不明者41名という大災害となった¹⁾。

本研究では、今回の豪雨の特徴を明らかにし、花蓮県および南投県での土砂災害の概要を示すとともに、光復郷大興村で発生した土石流の規模を1次元のkinematic wave model²⁾を用いて推定し、これを流入境界条件に用いて土石流の氾濫堆積過程の再現を試みたのでその結果を報告する。

2. 豪雨の特徴

(1) 今回の台風と降水について

台風0108号は図-1に示すように2001年7月27日09時頃、フィリピン東方海上で発生した。その後ほぼ北西方向に進み、7月30日00時頃に台湾へ上陸し、台湾中部を横断して中国大陆に進み、7月31日09時頃

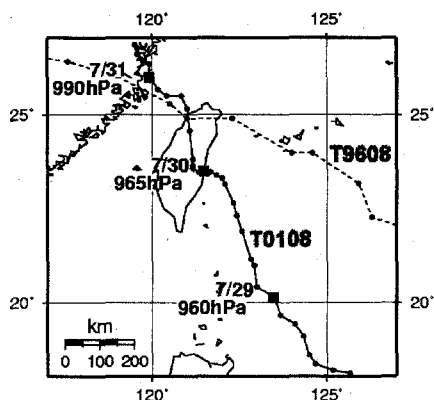


図-1 台風の経路 (■は各0時の中心位置)

熱帯低気圧に変わった。台湾上陸時の中心気圧は965 hPa, 中心付近の最大風速は35m/s、風速15m/s以上の強風半径は300kmであり、日本風の階級で表現すると「中型で強い台風」であった。

台風の通過により、台湾各地では7月29日から降雨が始まり、30日をピークとして31日まで降り続いた。31日の降水量は各地ともわずかであり、ほぼ29～30日の2日間に発生した降雨イベントであると考えてよい。台湾交通部中央気象局および台湾国立成功大学防災研究中心提供による降水量の資料を元に積算降水量分布図を作成すると図-2のようである。阿里山の758mmを最大とし、台湾中部の山岳地帯を中心に豪雨が発生したことがわかる。

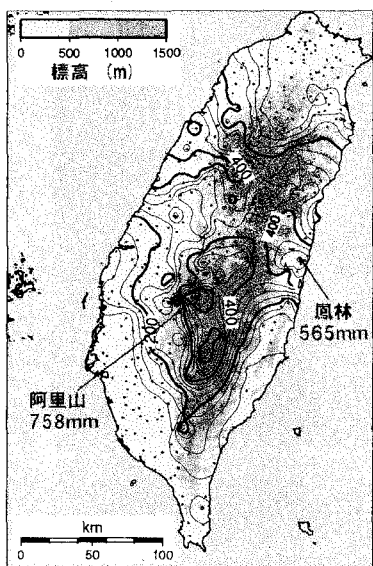


図-2 2001年7月29日～31日の積算降水量分布

台湾国立成功大学防災研究中心の資料や花蓮県政府資料³⁾によると、図-3に示すように、南投県南部の望郷観測所では、1時間降水量が70mm程度の強い雨が7時間の内に4時間も降り、大規模な土石流災害が生じた花蓮県大興村付近の光復観測所では1時間に149 mm、3時間に390mmもの降水量を記録した。

(2) 今回の降雨と近年の豪雨との比較

阿里山における1997年以降の日降水量データを元に、月別の2日間降水量最大値を集計すると図-4の

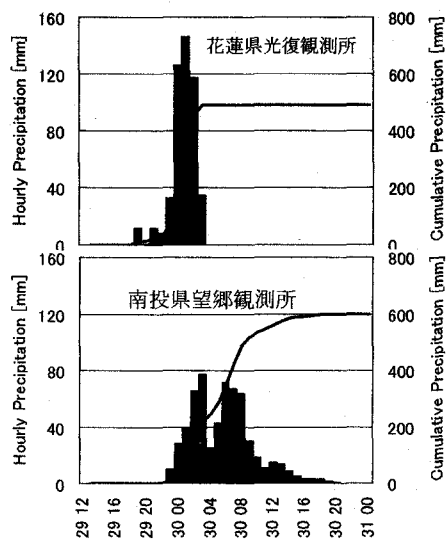


図-3 主要観測所の1時間降水量及び積算降水量

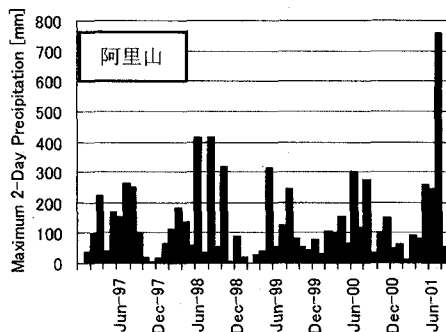


図-4 阿里山の2日降水量月別最大値(1997年1月～2001年8月)

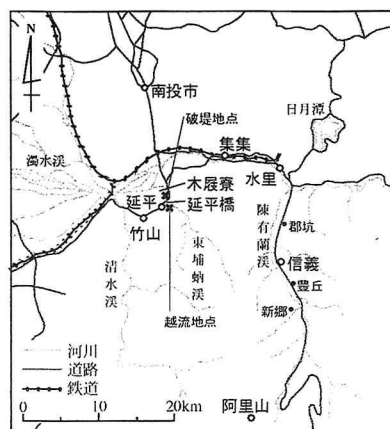
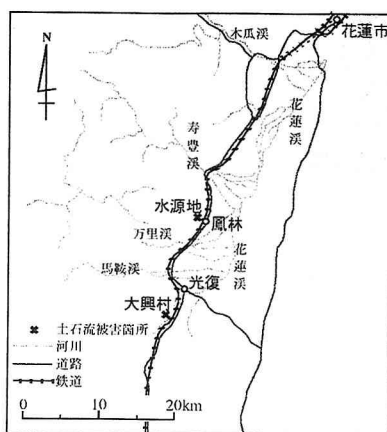
ようになる。阿里山では2日降水量300mm前後の降雨イベントは毎年発生しているが、今回のような豪雨は少なくとも最近5年間は発生していない。

台湾中部における最近の顕著な豪雨イベントとしては、1996年7月30日～8月1日の台風9608号による豪雨が知られている⁴⁾。この豪雨時の最多雨域も今回と同様の阿里山付近であった。阿里山における積算降水量は1,994 mm、最大24時間降水量1,748 mm、最大1時間降水量112 mmで、1時間降水量80 mm以上の降雨が12時間以上連続した。阿里山以外にも豪雨を記録した地点は多く、たとえば今回の豪雨において、積算降水量600 mm以上の雨域は阿里山を中心とした30～40 km四方の範囲でしか確認できないが、台風9608号の際には、図には示していないが阿里山付近の東西30～40 km、南北100 km程度の範囲に見られるほか、北部にも見られた。台風9608号の豪雨時の阿里山における24時間降水量1,748 mmは、世界最大記録に近い記録であり、台湾においても突出した記録と思われる。今回の豪雨が発生した地域において比較的近年に、今回を大きく上回る豪雨イベントがあったことは確かである。

3. 被害の概要

(1) 台湾全体の被害概要

本台風による人的被害は、台湾全土で死者103名、行方不明者111名であった。地域別に見ると、図-5



図－5 地域別死者・行方不明者数 図－6 花蓮県での主要な土石流被災箇所 図－7 南投県での主要な土石流被災箇所

に示すように台湾中部の内陸・山間部である南投県の被害が特に多く、標高3,000 m級の山岳が続く中央山脈をはさんで東側に位置する花蓮県の被害がこれに次ぐ。台中市で7名の被害があるが、その他の大都市での人的被害はなく、平地部の県の人的被害も少ない。また、死者・行方不明者のうち少なくとも121名以上が土砂災害による犠牲者であり、今回の事例は洪水による被害よりも、土砂災害による被害が中心であった(台湾国立成功大学の資料および台湾行政院内政部消防署の資料による)。

前述の1996年台風9608号による死者・行方不明者は73人であり¹⁾、今回の被害は、少なくとも人的被害に関しては、1996年の事例を大きく上回っている。台風9608号と台風0108号による被害の比較を気象データと比較してまとめたものが表－1である。これより、台風9608号による降雨規模が圧倒的に大きいにもかかわらず、台風0108号の方が被害は大きいことがわかる。これは1999年の集集地震による多量の不安定土砂の生産、強震動による斜面土層の安定性の低下が原因しているのではないかと推察されるが、その詳細は不明である。今後の検討課題としたい。なお、台湾でこのような大きな台風被害が生じたのは、1963年に死者312名を記録したグロリア台風以来約40年ぶりである。

表－1 台風9608号と0108号の比較

	台風9608号	台風0108号
上陸時中心気圧	930hPa	965hPa
上陸時中心付近の風速	53m/s	35m/s
降雨が記録された期間	1996/7/30-8/2	2001/7/29-7/31
期間内最大積算降水量	1,994mm: 阿里山	758mm: 阿里山
最大24時間降水量	1,746mm: 阿里山	715mm: 阿里山*1
最大1時間降水量	113mm: 阿里山	149mm: 光復
死者・行方不明者数	73人	214人*2
家屋の全半壊	1,383戸	1,611戸 (南投, 花蓮*3)
道路損壊による通交止	101カ所	111カ所
電話の不通	205,000戸	71,000戸(7/31)

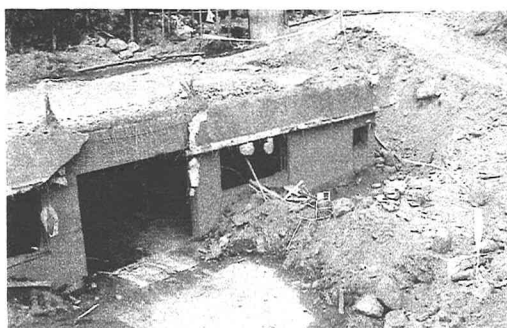
*1 2001年7月30日の日降水量

*2 内、121人以上が土砂災害による犠牲者

*3 南投県は2001年8月16日現在、花蓮県は2001年9月19日現在

(2) 各地の被害概要

花蓮県では7月30日未明より激しい雨に襲われ、山沿いの多くの地域で土石流が発生した。この中で大



写真－1 花蓮県光復郷大興村で発生した土石流



写真－2 南投県水里郷上安村で発生した土石流

規模なものが8箇所が発生したが、そのうち光復郷大興村と鳳林鎮鳳義里水源地で大きな被害が発生した(図－6)。大興村では村を流れる清水溪で30日未明に土石流が発生し、家屋16戸が全壊、5戸が半壊し、死者は26名、行方不明者は15名に上った(写真－1)。流出土砂量は150万m³程度と推定されている¹⁾。また鳳義里水源地では土石流で住宅1戸が全壊し、死者5名、行方不明者1名が生じた。花蓮県は大理石の産地として有名であるが、今回の土石流災害は片岩地帯で発生している。

南投県の中央山脈、玉山山脈西側の濁水溪支川の陳有蘭溪沿いでも7月30日未明から朝にかけて激しい豪雨にあい、その結果、多数の土石流、土砂流が発生した。代表的な箇所は図－7に示すように、水里郷上安村、信義郷豊丘村、新郷村であり、いずれも死者・行方不明者が10名以上に上っている。また、陳有蘭溪に沿って道路や橋梁の損害が顕著であった。写真－2は水里郷上安村郡坑で発生した土石流によ

る家屋被害の様子であり、背後の山で多数の斜面崩壊が発生していることが分かる。流下してきた巨礫は礫岩が主体である。

4. 花蓮県光復郷大興村で発生した土石流の再現 (1) 発生土石流の規模予測

今回の土砂災害でもっとも被害が大きかった地域の一つである花蓮県光復郷大興村で発生した土石流の規模を推定する。用いたモデルは広い粒度分布を考慮した土石流、掃流状集合流動および掃流砂を一貫して取り扱える一次元土砂流出モデルである²⁾。

対象とする大興村の清水渓流域は図-8(国立成功大学防災研究中心提供)に示すように、北溪(流域面積約6km²)と南溪(流域面積約4km²)とからなる。下流に発達した扇状地を貫流する清水渓沿いに集落が発達し、住家201戸、人口約1,600人が主に第一次産業に従事していた¹⁾。

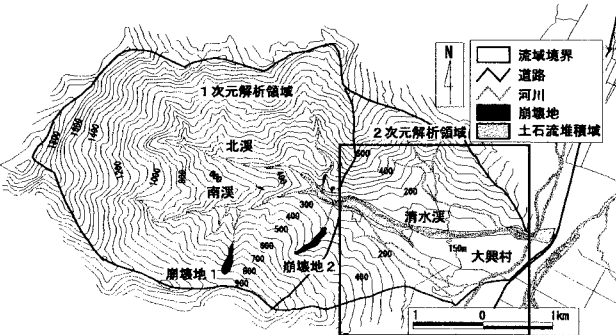


図-8 計算の対象とする大興村清水渓流域

図-9に示すようにこの流域を38個のサブ流域に分割し、河道を50m毎に178個に分割して河道網を作成した。また、地形図(1/5,000)をもとに河道幅を図-10のように設定した。南溪およびその支川の縦断面形を図-11に示す。なお、河道幅と勾配をもとに河道幅が40m以上の区間を「下流」、30mの区間を「中流」、10mおよび20mの区間を「上流」と定義した。これは土石流発生区間での河床堆積土砂の粒度分布が不明なため、各区間で異なった粒度分布を与えた場合の発生土石流の規模と質を検討するためである。

現地での河床材料の粒度分布が不明であるため、これを大胆に仮定せざるを得ない。ここでは、現地調査で得た流出土砂の写真等を参考にして、粒径階を15段階にとり、図-12に示すような河床材料組成を仮定する。そして「中流」の粒度分布を上流、中流、下流全域に与える場合と上流、中流、下流の各々に与える場合とを考える。

移動可能な溪床堆積物の厚さも不明なため、ここ

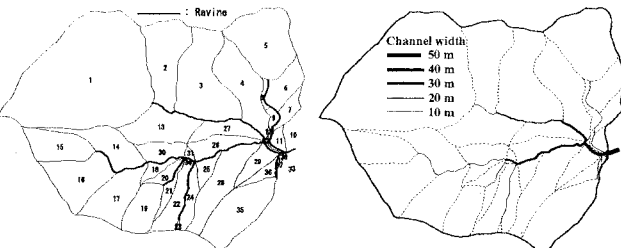


図-9 サブ流域

図-10 河道幅

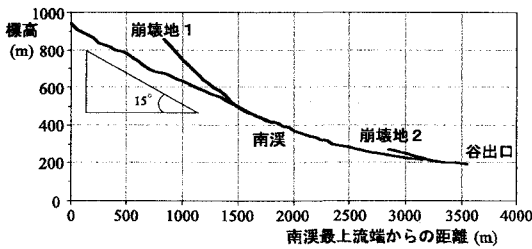


図-11 南溪およびその支川の縦断面図

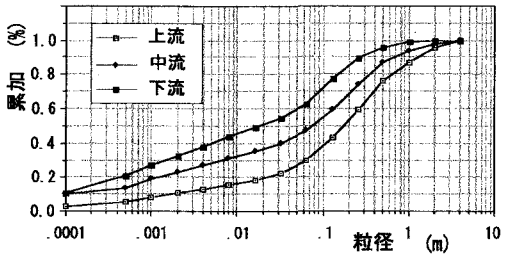


図-12 計算に用いた粒度分布

ではこれを5mの場合と10mの場合の2通りを考える。ただし、内部摩擦角より大きな河床勾配を有するメッシュでは基岩が露出しているものとして、敷均した土砂は侵食されない(固定床)ものとした。

図-8には大規模な新規斜面崩壊が2カ所示されている(崩壊地1の面積:3.24ha、崩壊地2の面積:3.95ha)。両崩壊地の崩壊深が不明であるため、ここではこれを2mと仮定して崩壊の発生を考慮した場合と考慮しない場合の検討を行う。すなわち、崩壊を考慮する場合には崩壊土砂濃度を50%と仮定し、これを10秒間崩壊地の下流端の河道メッシュに単位幅流量(崩壊土量を一致)で強制流入させる。なお、崩壊継続時間および崩壊土砂濃度の値が発生土石流規模に与える影響については精査できていないが、2、3の試行計算により、ほとんど影響しないことが確認されている。これは、崩壊を模擬したことにより、これが引き金となって河床材料の侵食による土石流が惹起されるためであると考えられる。また、崩壊発生時刻も不明なため、ここでは時間降雨強度が100mmを超える時刻で崩壊が発生したと仮定する。すなわち、7月30日0:00に両崩壊が同時に発生したとする。結局、計算ケースは表-2に示す4通りである。なお、計算には図-3に示した花蓮県光復観測所の降雨データを用いることとし、2001年7月29日17時~30日7時までの15時間にわたって計算する。

表-2 計算ケース

CASE No.	計算条件		
	崩壊	堆積厚(m)	粒度分布
1	なし	5	全域に中流の粒度分布を使用
2	あり	5	同上
3	あり	10	同上
4	あり	5	上流、中流、下流で個別に使用

(2) 発生土石流の計算結果

下流端における各計算ケースの流量ハイドログラフを図-13に示す。図-14に下流端における流砂量

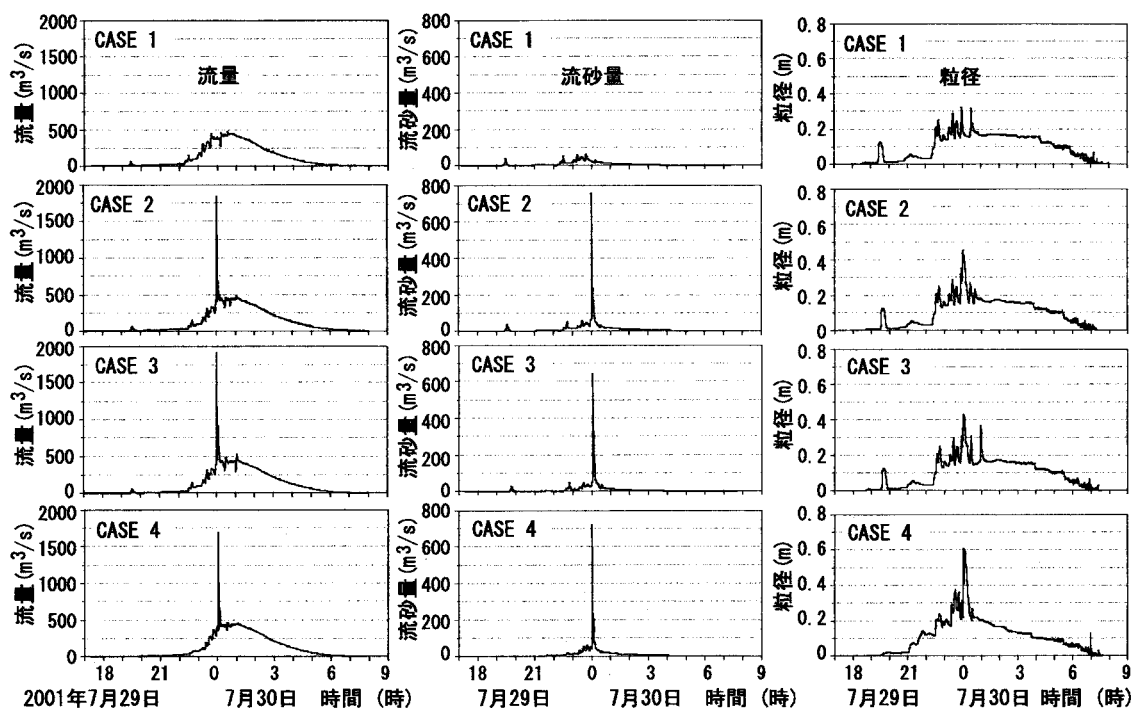


図-13 谷出口での流量の計算結果

図-14 谷出口での流砂量の計算結果

図-15 谷出口での粒径の計算結果

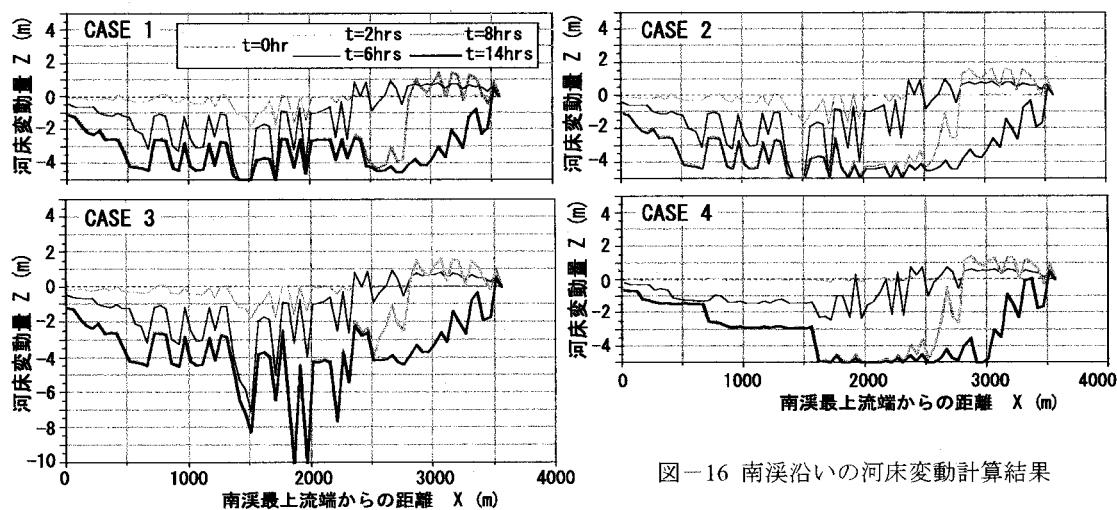


図-16 南溪沿いの河床変動計算結果

の、図-15に平均粒径の時間変化の計算結果をそれぞれ示す。これらの図より以下のことがわかる。すなわち、崩壊を考慮した場合には流量、流砂量、粒径に対してその影響は大きく、崩壊発生時期には明確な流量、流砂量のピークが生じているが、崩壊を考慮しない場合は流量、流砂量ともピークは生じていない。初期河床堆積土砂厚が5mでも10mでもその影響はこの流域においては顕著でない。これは、移動可能な堆積土砂を侵食するに足る十分な流量が形成される河道が中流部以下にしか無いためであると考えられる。このことは南溪沿いの河床変動計算結果である図-16から類推される。なお、図中の $t=0$ は7月29日17時に対応している。同図より南溪の上流端から1,500～2,500mの約1kmの区間で河床が約10mまで侵食されていることがわかる。また、粒度分布を上流、中流、下流にそれぞれ与えた場合(CASE 4)には、その影響は流量、流砂量に対してはあまり大き

くないが、平均粒径にはかなり影響を及ぼし、土石流の流動形態中と考えられる期間においては、平均粒径がやや大きくなっている。図-16より、CASE 4においては上流部での侵食が他のケースと比べて小さいが、これは上流域で与えた河床材料の粒度分布の平均粒径が他の場合と比べて大きく、河床材料が移動可能となるのに必要な水深が相対的に小さくなったためであると考えられる。

図-17に下流端における流出土砂量の時間変化に関する計算結果を示す。最終的な流出土砂量は実質でCASE 1が約37万 m^3 、CASE 2が約50万 m^3 、CASE 3が約55万 m^3 、CASE 4が約45万 m^3 となった。 C_s を0.65として見かけの土砂量に換算すると最大のケースでも約85万 m^3 となり、空中写真解析から見積もられた150万 m^3 という値に比べてかなり過小評価となった。

この相違の原因としては、解析モデルにおける抵抗則や侵食・堆積速度の妥当性の問題、崩壊規模、

崩壊の模擬の仕方や粒径等、計算に用いた仮定の妥当性の問題、新規崩壊地がさらに存在する可能性があること、空中写真解析における堆積土砂厚の見積もり誤差などが考えられる。

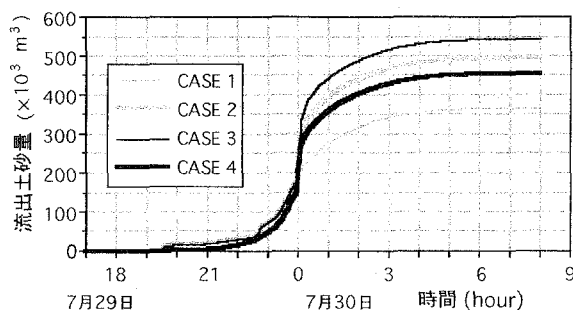


図-17 谷出口における流出土砂量の時間変化

(3) 大興村扇状地での土石流氾濫・堆積過程の再現

ここでは著者らがこれまで開発してきた二次元の土砂氾濫・堆積に関する解析モデル⁵⁾を適用することとし、一次元解析で得た流量、流砂量、粒径等を扇頂部の流入境界条件として用いて大興村扇状地での土砂氾濫・堆積過程の再現計算を試みる。

計算領域は前出の図-8の四角で囲った範囲である。標高データは1/5,000の地形図から等高線およびポイントの標高をディジタイザーで読み取って求めた。計算格子は20m×20mの正方形格子であり、総格子数は138(北方向)×133(東方向)=18,354である。

(4) 土石流氾濫・堆積過程の計算結果

ほぼ一連の現象が終了したと考えられる7月30日7時における土砂氾濫・堆積分布の計算結果(CASE 1とCASE 4)を図-18に示す。ここでは示していないが崩壊を考慮したCASE 2、3ではCASE 4同様、扇頂部で10m近い土砂堆積が生じているが、これは現地調査を行った結果ともほぼ一致している。実際の土砂氾濫・堆積域は清水溪に沿って生じているが、計算では扇状地上に広がっている。これは1/5,000の地形図をもとにした地形解析では河道の標高を精度良く読み取れなかったことによると考えられる。CASE 1では流出土砂量そのものが過少であると考えられ、土砂氾濫・堆積範囲がかなり小さくなっている。

5. おわりに

本研究では、2001年7月29～30日にかけて台湾の花蓮県および南投県で発生した台風による豪雨の特性について分析するとともに、現地調査結果に基づいて両県で発生した土砂災害の概要を紹介した。また、1次元の河床変動計算を用いて大興村における発生土石流の規模予測を行った。その結果、流出土砂量が実績より過小に評価されたが、その原因の一つに崩壊地の個数が少なかったことが考えられ、今後さらに資料を充実させて詳細な検討を行っていきたい。

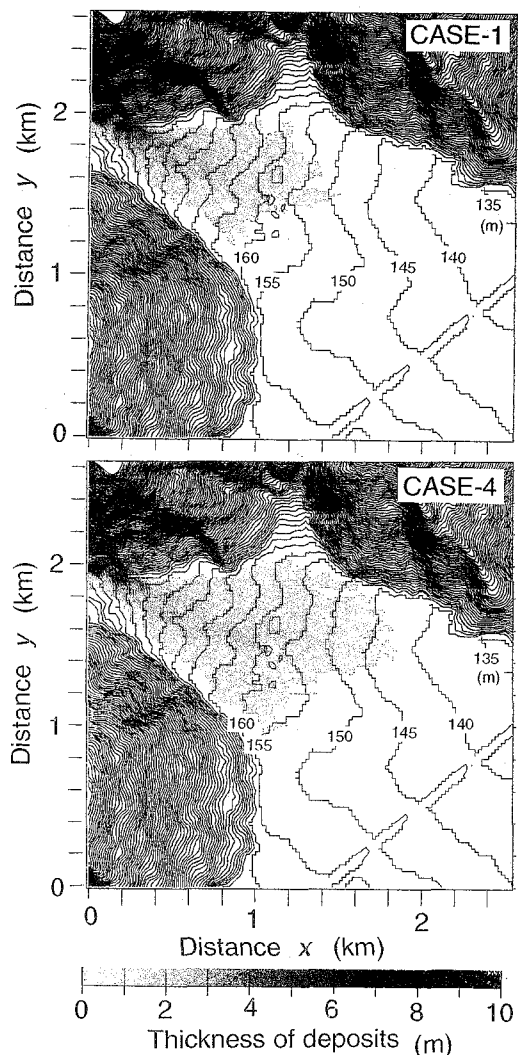


図-18 土砂氾濫・堆積分布の計算結果

謝 辞

現地調査を行うにあたり、台湾国立成功大学防災研究中心の謝正倫教授および同研究中心の工程組副組長の頼文基先生から絶大なるご協力を得た。ここに記して関係各位に深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 台湾行政院：大興社区土石防治整體治理規劃工程（期末報告），2001，39p.
- 2) 高橋保・井上素行・中川一・里深好文：山岳流域における土砂流出の予測，水工学論文集，第44巻，2000，pp.717-722.
- 3) 花蓮県政府：花蓮県桃芝台風災情簡報(中国語)，2001.
- 4) 国立台湾大学水工試験所：1996 賀伯台風侵台災害分析及檢討(中国語)，1997.
- 5) Nakagawa, H. and Takahashi, T.: Estimation of a debris flow hydrograph and hazard area, Proc. of the 1st Intern. Conf. on Debris Flow Hazards Mitigation, ASCE, 1997, pp.64-73.

(2002. 9. 30受付)