

高分解能衛星画像から抽出したDEMによる 台湾大甲渓流域の土砂移動分析

SEDIMENT MOVEMENT ANALYSIS USING DEM EXTRACTED FROM HIGH-RESOLUTION SATELLITE IMAGES IN THE DA-CHIA RIVER WATERSHED IN TAIWAN

白石貴司¹・筒井健²・中川英朗³・三谷泰浩⁴・江崎哲郎⁴

Takashi SHIRAIISHI, Ken TSUTSUI, Hideaki NAKAGAWA, Yasuhiro MITANI, Tetsuro ESAKI

¹九州電力株式会社 土木部 海外・新規事業グループ (〒812-8720 福岡市中央区渡辺通2丁目1番82号)

E-mail:takashi_shiraishi@kyuden.co.jp

²NTT データ株式会社 第一公共システム本部 イメージソリューション統括部

³西日本技術開発株式会社 土木本部

⁴九州大学大学院工学研究院 環境システム科学研究センター

Key Word: Sediment movement, DEM, SPOT5, High-resolution satellite image, Mindulle

1. はじめに

台湾中部の台中県を流れる大甲溪中流域には、台湾電力公司所轄の5つの水力発電所(下流側から馬鞍, 天輪, 谷関, 青山, 德基)があり, その合計総出力は約110万kW, 年間発電電力量は, 約2.6TWhに上る. これらの水力発電所は, 1952年の運転開始以来, 台湾における主要電源の一つとして, 長年にわたって電力の安定供給に寄与してきた.

しかしながら, 1999年9月21日, 台湾南投県の日月潭の南西9.2km, 大甲渓流域から約50kmを震源とするマグニチュード7.3の集集(Chi-Chi)大地震により, 大甲渓流域では, 多くの地すべりや斜面崩壊が発生した. さらに地震後, 大甲渓流域は, 数回の台風に伴う豪雨に見舞われ, 地震時の崩壊土砂を主とした2次的な崩壊を起こしたため, 各支流で土石流が発生し, 電力施設に甚大な被害を及ぼした.

特に, 2004年7月の敏督利(Mindulle)台風(台風7号)では, 5日間で1000mm以上の降水量を観測し, 大量の土砂がダム貯水池や地下発電所内に流入し, 5つ全ての発電所が発電停止となる被害を受けた. その後, 復旧工事は, 行われているものの2006年3月末現在, 未だに発電を再開できない発電所もある.

発電設備に被害を与えた地すべり, 斜面崩壊, 土石流に伴う土砂移動は, 大甲溪の全流域に亘って発生していることから, 電力施設の復旧計画の立案, 今後の土砂管理計画立案のため, 広域に亘り土砂移動の変遷を把握できる技術の開発が求められている.

人工衛星によるリモートセンシングは, 1回の撮影範囲が大きく, 近年高分解能化が進み(SPOT5衛星の場合, 60km*60km(=3,600km²), 分解能2.5m), その周期性からアーカイブが多数存在するという特長があり, 広域を対象とした地表面の変遷を把握する手法の一つとして注目されている.

本研究では, 高分解能衛星画像のステレオ解析により作製したDEMを用いて, 広域の土砂移動の変遷を把握する手法を提案する. まず, 台湾大甲溪中流域の谷関水力発電所ダム集水域を対象として, SPOT5画像から2004年7, 8月の敏督利台風, 艾利(Aere)台風(台風17号)前後のDEMを作製し, 地上GPS測量による基準点データにより, 製作したDEMの標高値の精度検証を行った. 次に, 台風前, 台風後のDEMの標高値の差から, 台風により発生した土砂移動に伴う崩壊及び堆積土砂量を支流毎に算出した. 本算出結果を基に, 支流域及び流域全体の土砂移動の特徴を分析した.

2. 研究対象地域の概要

(1) 地形・地質

本研究の対象地域は、大甲流域の中でも特に土砂災害が大きい谷関水力発電所ダムと德基水力発電所ダムとの間の集水域（約 150km²）とした。図-1 に研究対象地域の位置図、衛星画像を示す。

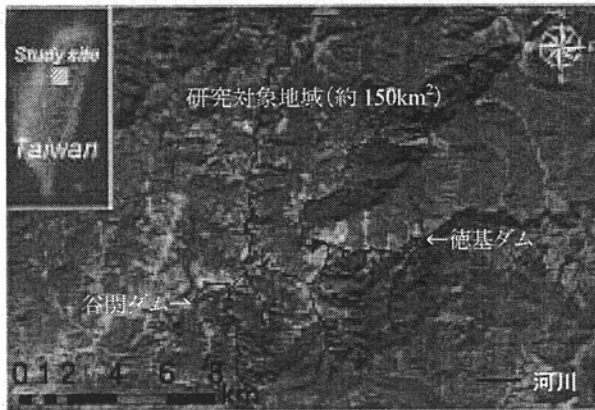


図-1 研究対象地域位置図、衛星画像

台湾は、ユーラシアプレートとフィリピン海プレートの衝突による隆起で形成されたと考えられ、3000m を越える中央山脈をはじめとする急峻な山脈が南北に走っている。研究対象地域は、中央山脈の北西部側の雪山山脈の南部に位置する。

大甲溪は、台湾中部を代表する河川の1つで、研究対象地域の中央部を東北東から西南西方向に蛇行しながら流下する。研究対象地域の標高は、最西部の河床部の約 EL600m から最東部の山岳部の約 EL3500m まで及んでおり、その高低差は、2000m 以上である。周辺斜面の傾斜角は、30~60 度と比較的急峻である。

研究対象地域においては、山岳部は樹木が繁茂しているが、地すべり、斜面崩壊、土石流が発生し裸地となっている箇所や過去の河床部を示す河床砂礫も多く見られる。一方河床部には、河床堆積物、段丘堆積物が広く分布している。

地質は、主に第三紀の頁岩、粘板岩、千枚岩、砂岩からなり、褶曲構造も数多く見られる。

(2) 地震¹⁾

研究対象地域の半径 50km 以内においては、1900 年以降、マグニチュード 5 以上の地震が 125 回発生し、そのうち 120 回が震源深さ 35km 以下の比較的浅い地震である。特に、被害が大きかったのが、1999 年 9 月 21 日、台湾南投県の日月潭の南西 9.2km、研究対象地域から約 50km を震源として発生したマグニチュード 7.3 の集集大地震である。台湾内政部の

発表によれば、集集大地震は、台湾全体で 9000 箇所以上の地すべり、斜面崩壊を発生させるとともに、建物の全壊約 1 万戸、死者 2000 名以上という甚大な被害を及ぼした。図-2 に集集大地震における最大加速度分布図を示す。集集大地震時の研究対象地域における最大加速度は、250~400gal（震度 6 相当）であった。

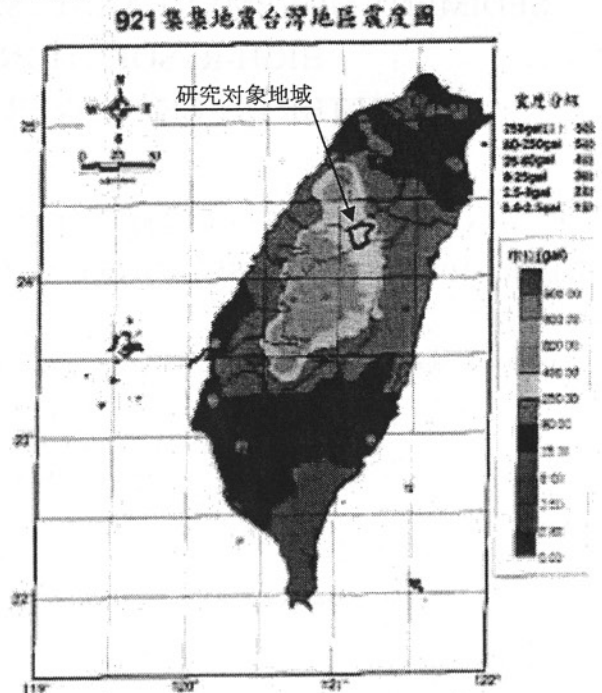


図-2 集集大地震最大加速度分布

(3) 降雨

台湾は、毎年十数個の台風が上陸または近辺を通過する台風の常襲地域である。研究対象地域近傍の谷関雨量観測所の 1949~2001 年の年間平均降水量は、2,611mm であり、台湾全体の平均 2,500mm に比べて若干多く、特に 6~9 月の台風時に集中豪雨が発生している。

研究対象地域は、集集大地震後数回にわたって台風に伴う豪雨に見舞われており、特に 2004 年 7 月の敏督利台風では、5 日間で 1433.5mm の降水量が観測された。表-1 に、谷関雨量観測所における集集大地震後に襲来した主な台風による総降水量を示す。

表-1 集集大地震後の主な台風による総降水量
(谷関雨量観測所)

台風名	期間	台風による総降雨量(mm)
桃芝台風	2001.7.29-7.31	362.5
敏督利台風	2004.7.1-7.5	1433.5
艾利台風	2004.8.23-8.27	847.0

(4) 土砂災害の状況

大甲河流域には、5つの水力発電所（総出力約110万kW）があるが、集集大地震直後には、土砂移動による被害はほとんど見られなかった。しかしながらその後発生した桃芝台風、敏督利台風、艾利台風に伴う豪雨により、大甲溪の各支流で土石流が発生し、大量の土砂が大甲溪本流へ流れ込んだ。特に、敏督利台風の際には、各水力発電所ダム貯水池や地下発電所に大量の土砂が流入し、発電所の長期間停止という甚大な被害となった。

以上のことから、研究対象地域では、集集大地震により、大甲溪の各支流斜面で地すべりや斜面崩壊が発生して、大量の崩壊土砂が各支流河床部に堆積し、その後、2次的な地すべり、斜面崩壊、土石流及び土砂移動の過程に至ったと考えられる。

3. ステレオ衛星画像による3次元地形モデル

(1) データセット

本研究では、2004年7,8月に発生した敏督利、艾利台風による土砂移動の状況を把握することを目的として、表-2に示す分解能2.5m、パナクロマティックモードの視差角度の異なる複数の衛星画像（フランス SPOT5 衛星搭載の HRG センサにより撮影）²⁾を用いて、研究対象地域を含む20km×20kmの範囲の台風前後のDEMを作製した。

表-2 本研究で使用する衛星画像

時期	台風前	台風後
撮影日	2003. 7. 13 2003. 7. 27	2004. 10. 12 2004. 11. 1 2004. 11. 12
視差角度	-2°, +20°	-22°, +8°, +19°

(2) 3次元地形モデル(DEM)の作成方法³⁾

図-3にステレオ解析によるDEM作成の基本原則を示す。左右画像それぞれのセンサ投影中心をO1, O2, 3次元座標を求めようとする対象をQ, Qに対応する左右画像の対象ピクセル位置をP1, P2とすると、

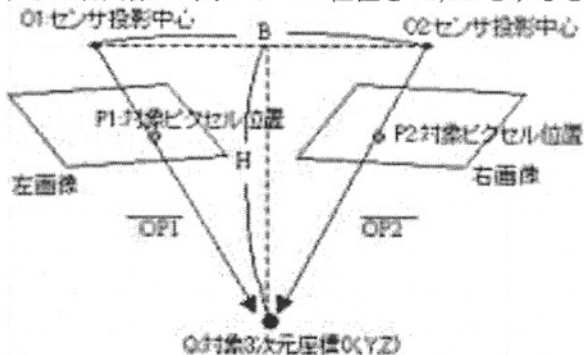


図-3 ステレオ解析によるDEM作成の基本原則

O1, O2の位置や視差角度は、SPOT衛星の軌道情報から既知であることから、O1, O2間の距離Bが求まり、さらに、O1, O2からP1, P2への各視線ベクトルOP1とOP2の交点としてHが求まるため、Qの3次元座標が算出できる。

本研究では、まずSPOT5衛星ステレオペア画像、衛星センサモデル、衛星軌道データ、衛星姿勢データを用いて、撮影時の衛星画像の視線方向を表した幾何学モデルを作成した。次に、幾何学モデルに基づいて、参照画像の各画素に対応する検索対象画像の画素位置を画像マッチング処理により照合し、対応付けた2つの画素位置に関する2本の視線方向の交点から3次元座標を算出した。これを対象地域全体にわたって5m間隔で行い、さらに地上基準点データ、樹高データにより補正し、DEMを作成した。図-4に作成した敏督利、艾利台風前後のDEMを示す。

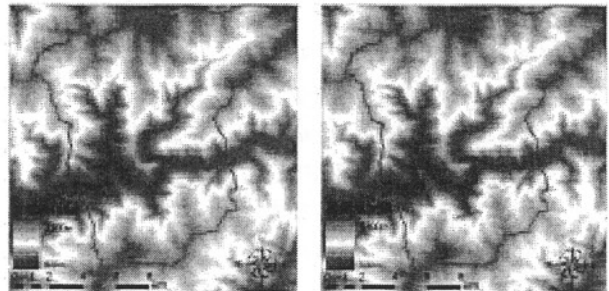


図-4 敏督利、艾利台風前後のDEM

(3) 3次元地形モデル(DEM)の高さ精度

研究対象地域内で標高変化がなかったと考えられる10箇所の地上GPS測量結果を用い、台風前後のDEMの精度評価を行った⁴⁾。表-3に地上GPS測量と敏督利、艾利台風前後のDEMの高さの比較を示す。

表-3 地上GPS測量とDEMとの比較(単位:EL)

No	GPS 測量	台風前 DEM		台風後 DEM	
		標高値	差(m)	標高値	差(m)
1	1501.7	1503.0	+1.3	1501.4	-0.3
2	1461.8	1461.2	-0.6	1463.3	+1.5
3	1238.5	1236.7	-1.8	1238.4	-0.1
4	966.3	963.6	-2.7	963.1	-3.2
5	1086.6	1084.6	-2.0	1080.8	-5.8
6	829.2	830.0	+0.8	829.0	-0.2
7	894.2	898.2	+4.0	895.1	+0.9
8	1453.1	1453.5	+0.4	1454.0	+0.9
9	1453.7	1455.6	+1.9	1453.5	-0.2
10	2043.2	2042.8	-0.4	2041.3	-1.9
差の標準偏差		2.1		2.2	

表-3 のとおり、GPS 測量との標高差の標準偏差(1 σ)は、台風前で 2.1m、台風後で 2.2m であった。

上記 DEM の高さ精度の評価結果は、道路や建物敷地内など土砂移動のない平らな場所で行われた地上 GPS 測量結果との比較に基づくものである。

斜面では、1 画素の面積に対応する実際の面積が大きくなることから、DEM 作成におけるマッチング処理における誤差が大きくなると考えられる。筆者らが、同様の方法で別地点を対象に作成した DEM と同地点で実施した地上レーザースキャニング測量結果とを比較した結果、その標高差の標準偏差 (1 σ) は、斜面傾斜角が 30° 以下の箇所では 2.5~3.5m、30° 以上の箇所では 3.5~5.5m であった³⁾。

4. 崩壊及び堆積土砂量

(1) 標高変化量の算出

本研究では、敏督利、艾利台風前後の SPOT5 画像及び DEM データを基に、研究対象地域の標高変化量を以下の手順で算出し、土砂移動量を評価した⁴⁾。

まず、台風後の分解能 10m、マルチスペクトルモードの SPOT5 画像から植生指標値 (NDVI 値) を算出し、研究対象地域における裸地を抽出した。次に、抽出された裸地の範囲において、台風前、台風後の DEM の標高値の差により、1 画素 (5m×5m) 毎に標高変化量を算出した。図-5 は、台風後の衛星画像上に算出された標高変化量を重ねたものである。標高変化量は、台風後の標高値が台風前の標高値よりも低い場合 (崩壊地) をマイナス、高い場合 (堆積地) をプラスで表している。

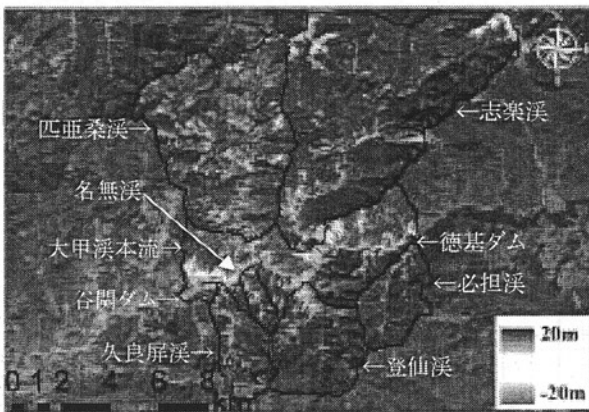


図-5 DEM の差分による標高変化図

マイナスの標高変化量の範囲 (崩壊地) は、概ね斜面部、プラスの標高変化量の範囲 (堆積地) は、概ね河川部に対応しており、地すべり、斜面崩壊、土石流の発生とこれらに伴う土砂の堆積の状況をよくあらわしている (図-4, 図-5 参照)。

筆者らは、2005 年 5 月に研究対象地域の 大甲溪本流沿いの崩壊地、堆積地の分布や規模を目視により調査した。図-5 に示す崩壊地、堆積地の分布や規模は、この現地調査結果とほぼ一致していた。

(2) 崩壊及び堆積土砂量の算出

崩壊及び堆積土砂量を台風前後の DEM の標高変化量を基に算出した。崩壊及び堆積土砂量は、画素毎の標高変化量に画素面積 (5m×5m=25m²) を乗じ、これを研究対象地域全域にわたって積分することで算出する。但し、崩壊土砂量は、研究対象地域の地質を考慮して、土工工事で一般的に用いられている砂及び砂質土の土量変化率 1.2⁵⁾ を考慮した。

本研究では、支流毎に土砂移動の特徴を分析するため、研究対象地域を 6 つの支流 (必担溪、志楽溪、登仙溪、匹亜桑溪、名無溪、久良屏溪) 及び大甲溪本流域の計 7 領域に分割し、崩壊及び堆積土砂量を算出した (図-5 参照)。表-5 に、各流域の崩壊地、堆積地の面積、土砂量及び流域外への流出土砂量の算出結果を示す。ここで、崩壊 (堆積) 率とは単位集水面積当りの崩壊 (堆積) 地の面積、崩壊 (堆積) 地の単位土砂量とは、単位集水面積当りの崩壊

表-5 崩壊及び堆積土砂量の算出結果

支流名 (集水面積 km ²)	崩壊地		堆積地		流出土砂量 (千 m ³)
	面積 (千 m ²)	土砂量 (千 m ³)	面積 (千 m ²)	土砂量 (千 m ³)	
	崩壊率	単位土砂量 (m ³ /m ²)	堆積率	単位土砂量 (m ³ /m ²)	単位流出量 (m ³ /m ²)
必担溪 (8.3)	152	-1,373	163	1,350	-23
	1.8%	-0.17	2.0%	0.16	-0.003
志楽溪 (57.2)	2,564	-17,029	2,115	11,537	-5,491
	4.5%	-0.30	3.7%	0.20	-0.096
登仙溪 (13.6)	606	-5,400	453	3,264	-2,136
	4.5%	-0.40	3.3%	0.24	-0.157
匹亜桑溪 (36.2)	2,797	-20,945	2,011	13,806	-7,138
	7.7%	-0.58	5.6%	0.38	-0.197
名無溪 (2.1)	199	-1,674	158	1,271	-403
	9.5%	-0.79	7.5%	0.60	-0.191
久良屏溪 (7.3)	244	-1,317	334	1,849	531
	3.3%	-0.18	4.6%	0.25	0.073
支流域計 (124.7)	6,563	-47,737	5,234	33,076	-14,661
	5.3%	-0.38	4.2%	0.27	-0.118
本流 (25.5)	3,382	-23,513	2,508	16,681	-6,832
	13.2%	-0.92	9.8%	0.65	-0.267
流域計 (150.2)	9,945	-71,251	7,742	49,758	-21,493
	6.6%	-0.47	5.2%	0.33	-0.143

(堆積)土砂量, 単位流出量とは, 単位集水面積当りの流域外への流出土砂量である。

表-5 に示すとおり, 研究対象地域である谷関ダム集水域 (約 150km²) における崩壊面積は約 1,000 万 m² (集水面積の約 6.6%), その崩壊土砂量は約 7,100 万 m³ であり, 堆積面積は約 770 万 m² (集水面積の約 5.2%), 堆積土砂量は約 5000 万 m³ であった。したがって, 敏督利, 艾利台風前後に約 2,100 万 m³ の土砂が研究対象地域下流域へ流出したこととなる。

衛星画像のステレオ解析により作製した DEM の標高値の差による土砂移動量の把握は, DEM の精度向上という課題はあるものの, 地上からの測量や航空写真測量では難しい数 100km² 以上の広域を対象とした土砂移動の変遷を把握するための有効な手法の 1 つとなり得ると考えられる。

5. 土砂移動の特徴

(1) 流域毎の崩壊地, 堆積地の比較

a) 崩壊地の面積及び土砂量

研究対象地域全体の崩壊率は, 表-5 に示すとおり, 6.6% である。崩壊率を流域毎に比較すると, 大甲溪本流が, 13.2% と最も大きく, 名無溪 (9.5%), 匹亜桑溪 (7.7%) が研究対象地域全体の崩壊率を上回り, 最も崩壊率が小さいのは, 必担溪の 1.8% であった。

研究対象地域における崩壊地の単位土砂量は, 0.47m³/m² であり, これを流域毎に比較すると, 崩壊率同様, 大甲溪本流 (0.92m³/m²), 名無溪 (0.79m³/m²), 匹亜桑溪 (0.58m³/m²) が研究対象地域全体の単位土砂量を上回り, 必担溪 (0.17m³/m²) が最小であった。久良屏溪の崩壊率は必担溪の約 1.8 倍であったが, 単位土砂量は, 必担溪とほぼ同じレベルの 0.18m³/m² であり, 久良屏溪の崩壊規模が必担溪よりも小さいことを示している。

b) 堆積地の面積及び土砂量

研究対象地域全体の堆積率は, 表-5 に示すとおり, 5.2% である。堆積率を流域毎に比較すると, 大甲溪本流が, 9.8% と最も大きく, この他, 名無溪 (7.5%), 匹亜桑溪 (5.6%) が研究対象地域全体の崩壊率を上回り, 最小の崩壊率は, 必担溪の 2.0% であった。

研究対象地域における堆積地の単位土砂量は, 0.33m³/m² であり, これを流域毎に比較すると, 崩壊率同様, 大甲溪本流 (0.65m³/m²), 名無溪 (0.60m³/m²), 匹亜桑溪 (0.38m³/m²) が研究対象地域全体の単位土砂量を上回り, 必担溪 (0.16m³/m²) が最小であった。

堆積地における以上の特徴は, 崩壊地のそれとほ

ぼ同様傾向である。このことは, 崩壊すれば, その周辺で堆積する, つまり斜面部で地すべり, 斜面崩壊, 土石流 (崩壊) が起って土砂が移動し, 河川及びその周辺で崩壊土砂が堆積するという土砂移動の過程を示しているものといえる。

C) 流出土砂量

研究対象地域から下流域への単位流出量は, 表-5 に示すとおり 0.14m³/m² であり, これを支流毎に比較すると, 大甲溪本流 (0.27m³/m²), 匹亜桑溪 (0.20m³/m²), 名無溪 (0.19m³/m²), 登仙溪 (0.19m³/m²) が研究対象地域全体の単位流出量を上回り, 必担溪 (0.003m³/m²) が最小であった。流出土砂量の以上の特徴についても, 崩壊地, 堆積地とほぼ同様の傾向を示している。

(2) 流域毎の土砂移動の特徴

a) 大甲溪本流

大甲溪本流は, 図-5 のとおり, 研究対象地域を東北東から西南西方向に蛇行しながら流下する。研究対象地域における河川長は約 14km であり, 河川勾配は 1.5° ~ 2.0° である。斜面傾斜角は, 概ね 30° ~ 45° であるが, 登仙溪との合流部から志楽溪合流部にかけては, 45° 以上の急峻な地形を形成している。

大甲溪本流は, 他の流域の中で崩壊率が最大で, 地すべり, 斜面崩壊, 土石流などによる崩壊は, 主に谷関ダムから久良屏溪との合流部の区間, 登仙溪から德基ダムの区間の左岸側で発生している。特に, 登仙溪から德基ダムの区間の志楽溪との合流部の直上流部で, 崩壊規模が大きい。

土砂の堆積は, 谷関ダムから德基ダムのほぼ全区間にわたって見られるが, 特に支流や溪流との合流部付近は, それらからの土砂の流れ込みにより堆積規模が大きくなっている。また, 河川が大きく蛇行する箇所の上流側でも堆積規模が大きくなる傾向がみられる。これは, 河川が蛇行することで, 河川幅が小さくなり, ここで土砂がせき止められるためであると考えられる。

b) 各支流域における崩壊地

各支流域とも, 基本的には主に河川及び溪流沿いの斜面で地すべり, 斜面崩壊, 土石流による崩壊が発生する特徴が見られる。

研究対象地域の北側に位置する志楽溪流域, 匹亜桑溪流域は, 河川の右岸側に地すべり, 斜面崩壊, 土石流による崩壊が発生する傾向があり, また最下流部から最上流部まで崩壊が発生している。

これに対し、南側に位置する必担溪流域、登仙溪流域、名無溪流域、久良屏溪流域は、崩壊地が下流域に集中し、最上流部にはほとんど見られない。これは、研究対象地域の南側境界付近の地形傾斜角が概ね 15° ～ 30° と緩傾斜であり、崩壊に対する安定性が高いためであると考えられる。

c) 各支流域における堆積地

研究対象地域の北側に位置する志楽溪、匹亜桑溪の平均河川勾配は、それぞれ 3.8° 、 6.6° と比較的緩やかであり、蛇行しながら流下し、大甲溪本流と合流する。このため、崩壊土砂は、河川及びその周辺に堆積する傾向が見られ、特に河川が大きく蛇行する箇所では、河川幅が小さくなりそこで土砂の流れがせき止められるため、蛇行部の上流側では、堆積規模が大きい。

一方、研究対象地域の南側に位置する必担溪、登仙溪、名無溪、久良屏溪の平均河川勾配は、それぞれ、 10.4° 、 18.7° 、 21.0° 、 13.4° と比較的急勾配であり、基本的には蛇行することなく大甲溪本流と合流する。このため、崩壊土砂は概ね河川に堆積することなく流下し、最下流部の緩傾斜の箇所に堆積するか、大甲溪本流へ流出する傾向が見られる。

いずれの支流域においても、支流の最下流部から大甲溪本流との合流部付近において、上流域で発生した土石流によるものと考えられる土砂の堆積が見られる。特に、匹亜桑溪では、土石流による土砂移動と大甲溪上流域からの土砂移動が衝突し、広い範囲にわたって、大規模な土砂の堆積が見られる。

6. 結論

本研究では、台湾大甲溪中流域の谷関発電所ダム集水域(約 150km^2)を対象に、SPOT5ステレオ画像から作製した敏督利、艾利台風前後のDEMの標高差により、台風に伴う土砂移動量を算出するとともに、土砂移動の特徴を分析した。

DEMの標高差から算出された敏督利、艾利台風による研究対象地域における崩壊地の面積は約 1000万m^2 、崩壊土砂量は約 $7,100\text{万m}^3$ 、堆積地の面積は約 770万m^2 、堆積土砂量は約 $5,000\text{万m}^3$ であり、下流域への流出土砂量は約 $2,100\text{万m}^3$ であった。

DEMの標高差から抽出された崩壊地、堆積地を分析した結果、大甲溪本流、名無溪、匹亜桑溪の3流域が単位集水面積あたりの土砂移動が顕著であり、中でも大甲溪本流が崩壊率、堆積率とも最大であることがわかった。大甲溪本流では、主に河川左岸側

での崩壊が発生し、支流や溪流との合流部、河川の蛇行部の上流側で特に堆積規模が大きくなっている。

各支流の土砂移動の特徴は、研究対象地域の北側に位置する志楽溪、匹亜桑溪と南側に位置する必担溪、登仙溪、名無溪、久良屏溪では明確に異なっている。つまり、前者は、流域の全域で崩壊が発生し、崩壊土砂の一部は流域内に堆積するのに対し、後者は、流域の下流域のみで崩壊が発生し、崩壊土砂は最下流部に堆積するか、大甲溪本流へ流出する傾向があることがわかった。

従来、土砂移動の変遷の把握は、地上からの測量が可能な比較的狭い範囲を対象に行われてきたが、本研究で提案した手法によれば、地上からは寄付きが困難な流域最上流部や数 100km^2 以上の広域にわたる土砂移動の特徴を把握することが可能であり、広域を対象とした土砂移動の変遷の把握、砂防計画のための有効な手法の一つになり得ると考えられる。

今後はDEMの精度向上に加えて、崩壊地の形態(斜面崩壊、地すべり、土石流)の分析や本手法を利用して継続的な土砂移動の変遷の把握を行い、土砂移動の状況に応じた広域土砂管理・砂防計画への適用の検討が課題である。

謝辞:本研究に際しては、台湾電力公司電源開発部、中興工程顧問社の方から、情報提供や現地調査の際のサポートをいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (財)中興工程顧問社:大甲溪流域德基至馬鞍段取水區崩壊地暨土石流潜勢調査及因應對策研究 第一段階期末報告書, 2005. 11
- 2) www.spotimage.co.jp/html/511_554_555_.php
- 3) 筒井健・中川英朗・白石貴司・宮崎早苗・六川修一:人工衛星画像を用いた地形標高抽出手法の斜面災害への適用検討,リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム, 2001. 6.
- 4) K. TSUTSUI, H. NAKAGAWA, T. SHIRAIISHI, C. T. CHENG, S. D. YANG, S. ROKUKAWA, S. MIYAZAKI: Detection and volume estimation of landslides using DEM extracted from high-resolution satellite stereo images - A case study of landslides triggered by typhoon Mindulle and Aere in 2004 -, Geodynamics and Environment in East Asia International Conference, 2005. 11
- 5) 財団法人建設物価調査会:国土交通省土木工事積算基準平成15年度版, 2003

(2006. 5. 19 受付)