

平成17年度

# 自然公園等施設整備委託

- 土砂流出長期変動調査 -

平成18年2月

国立大学法人 東京大学

## 目 次

0 . 調査結果の概要 .....	1
1 . 目的と実施内容 .....	2
1 . 1 目的 .....	
1 . 2 実施期間 .....	
1 . 3 実施項目 .....	
1 . 4 実施体制 .....	
2 . 調査内容 .....	3
2 . 1 河内川（中川川）流域の土砂流出の長期変化	
調査方法 .....	3
調査結果および考察 .....	3
2 . 2 河内川流域内における土砂流出分布	
調査方法 .....	6
流域内の土砂流出分布の推定 .....	6
航空写真について .....	7
航空写真の性質とオルソ化 .....	8
航空写真による堆砂状況の判読 .....	8
本年度の調査対象堰堤 .....	9
堰堤貯砂容量の推定 .....	11
調査結果および考察 .....	11
対象となる堰堤流域の位置と面積 .....	11
堰堤の概況と履歴・堆砂状況 .....	12
堰堤貯砂容量の推定 .....	32
河内川（中川川）流域内における土砂流出（生産）分布 .....	32
3 . まとめと今後の予定 .....	35
4 . 引用文献 .....	36

## 0 . 調査結果の概要

チーム名	水と土再生調査	グループ名	水と土G	整理 番号	
調査名	中・下流での土砂流出長期変動調査				
調査責任者	東京大学大学院農学生命科学研究科 助手 堀田紀文				
対応する政策課題名					

### (調査目的)

丹沢山地からの土砂流出の実態とその長期変動を明らかにすることを目的とする。また、丹沢山地において土砂流出を引き起こす要因について明らかにする。

### (調査方法)

検討対象流域を三保ダム上流の河内川(中川川)流域とし、既存資料を用いた解析を行う。まず、三保ダムの堆砂データを用いて、河内川流域全体での土砂流出量とその長期変動を把握する。次に、河内川流域内に多数存在する砂防堰堤について、満砂までに要した年数を航空写真から読み取り、流域内の土砂流出量の分布を求める。砂防堰堤の貯砂容量は既知であるので、満砂までに要した年数と砂防堰堤上流の流域面積が判明すれば、当該流域における土砂流出量が求められる。以上から得られる流域内での土砂流出の分布が堰堤流域の特性を反映していると考えられることから、崩壊地・植生・地形指数の分布との関係を調査することによって、丹沢山地における土砂流出の要因を検討する。

### (調査結果)

三保ダムの堆砂データより求めた河内川流域からの土砂流出は、経年的に顕著な変化を生じず、浸食深換算で平均 2.03mm/year で安定していた。河内川流域内の各堰堤流域の土砂流出量を求めたところ、推定された浸食深の平均値が 2.09mm/year ~ 2.75mm/year (範囲は推定条件による)と河内川流域全体の浸食深と近い値になった。推定に用いた堰堤流域の面積を集計すると流域の 53%と十分の面積を持ち、本調査で推定された流域内の土砂流出量分布は妥当であると考えられる。推定結果から、流域内での土砂流出量が堰堤流域ごとに大きくばらつくことが明らかになった。特に、東沢堰堤流域など、流域東部からの土砂流出量が大きいことが示された。流域東部では、関東大震災の際に大面積崩壊が発生しているが、その後は顕著な崩壊が発生していないことから、長期間にわたる崩壊履歴が土砂流出に関する流域特性を決定していることが示唆される。本調査で得られた土砂流出分布によって、今後そのような検討を行うことが可能である。

### (今後の予定)

本年度得られた河内川流域内での土砂流出分布について、引き続き崩壊履歴や地形指数、植生との対応についての調査を行い、土砂流出に影響を及ぼしている要因を明らかにする。

## 1. 目的と実施内容

### 1.1 目的

本調査の目的は、以下の二つである。

- ・丹沢山地からの土砂流出の実態とその長期変動を明らかにする
- ・丹沢山地において土砂流出を引き起こす要因について検討する

丹沢山地の山地・溪流環境を考える上で、土砂流出の実態を把握することは重要な課題である。特に近年、シカによる食害や、人工林の手入れ不足のために林床の植生が失われることによって、丹沢山地における土壌浸食が進むことを危惧する声があがっている。

本調査はそれらの問題を直接対象とはしていないが、比較的長期間・広域からの土砂流出の実態とその要因を明らかにすることは、個別の課題を検討していくバックグラウンドとして重要であると言える。

### 1.2 実施期間

本報告書では、平成 17 年 7 月から平成 18 年 2 月までの成果が中間報告として取りまとめられている。

### 1.3 実施項目

1.1 で示された目的を達成するために、以下のような調査を実施した。

河内川流域における長期土砂流出量の把握

三保ダムにおける堆砂データを用いて、河内川流域からの土砂流出量を算出した。

河内川（中川川）流域における流域内の土砂生産分布の推定

三保ダム堆砂データのうち、河内川流域より流入してきた土砂量の長期変動を示した上で、河内川流域内の土砂生産分布を、砂防堰堤等の堆砂状況を航空写真による履歴調査によって推定し、両者の比較を行う。この検討によって、砂防堰堤の履歴調査による土砂生産量推定手法の妥当性を確認した上で、流域内での土砂発生源を絞り込むことが可能になる。なお、ダム流出データと堰堤、及び堰堤間の土砂流出量の比較を行うにあたって、土砂流出量を単位面積あたりの年平均浸食速度に換算している。

### 1.4 実施体制

本調査は、主に既存資料（ダム堆砂資料、航空写真や数値地図、各砂防堰堤の諸元が記載された過去の調査報告書類など）の解析によって行う。各種資料の収集については適宜事務局と連絡を取りつつ、ほとんどの作業については、東京大学大学院において実施する。必要に応じて、東京大学大学院の学生アルバイトに作業を依頼する。

## 2. 調査内容

### 2.1 河内川（中川川）流域の土砂流出の長期変化

#### 調査方法

三保ダムの堆砂量に基づいたダム流域における浸食速度の算定に、既往研究（Ohmori（1978）、Yoshikawa（1974）、藤原ら（1999））と同様に下式を用いた。なお下式は、山地河川流域において浸食によって生産された土砂はすべて河川によって運搬され流域のダムに堆積し、堆砂量は浸食量を表すという仮定に基づいている（Ohmori（1978）、Yoshikawa（1974）、藤原ら（1999）、宮崎・大西（1994））。

$$E = Sv \div Sa \div Y \times (1 - P) \quad \dots (式1)$$

E：浸食速度（mm/yr）、Sv：ダム堆砂量（1,000m<sup>3</sup>）、Sa：流域面積（km<sup>2</sup>）、Y：期間（yr）、P：空隙率

ダムの堆砂は、浸食前の岩石と比較して空隙が多く、密度が小さい。そのため、この密度差を補正する必要がある。本調査では密度差の補正に用いる空隙率 P の値には、既往研究（Ohmori（1978）、芦田ら（1983）、藤原ら（1999））と同様の 30% を採用した。丹沢を含んだ全国における、ダム堆砂データを中心とした既存資料を整理する。

#### 調査結果および考察

三保ダムの流域図を図 - 1 に示す。（流域図、流域面積は国土数値情報から求めた）三保ダムについては、流域内の 3 つの主な河川の流域面積も同時に示してある。

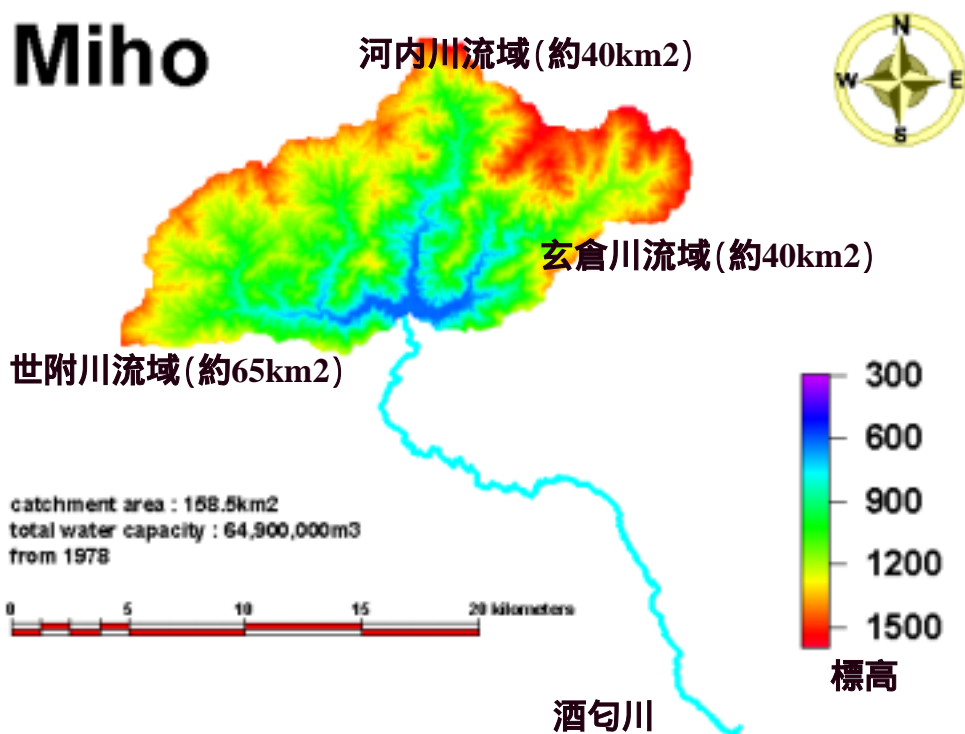


図 - 1 三保ダム流域図

三保ダム流域は西丹沢に位置し、1979年からの堆砂データが存在している。また、三保

ダムへは主に世附川，河内川，玄倉からの流入があるが，それぞれの河川からの流入土砂量が取得されている．また，浚渫量についての記録も残されており，土砂流出量の検討を正確に行うことが可能である．

丹沢山地から三保ダムへの流入土砂量を示したものが図 - 2 である．各河川からの流入土砂量も同時に示している．三保ダムへの土砂流入量は平成 15 年までで約 700 万立米であり，当初計画の倍以上の速度で堆砂が進行している．また，細かな増減はあるが，全期間を通して明確な土砂流入傾向の変化は認められず，宮崎・大西（1994 & 1998）に従えば，堆砂量が一様増加するタイプ A に分類することが可能である．

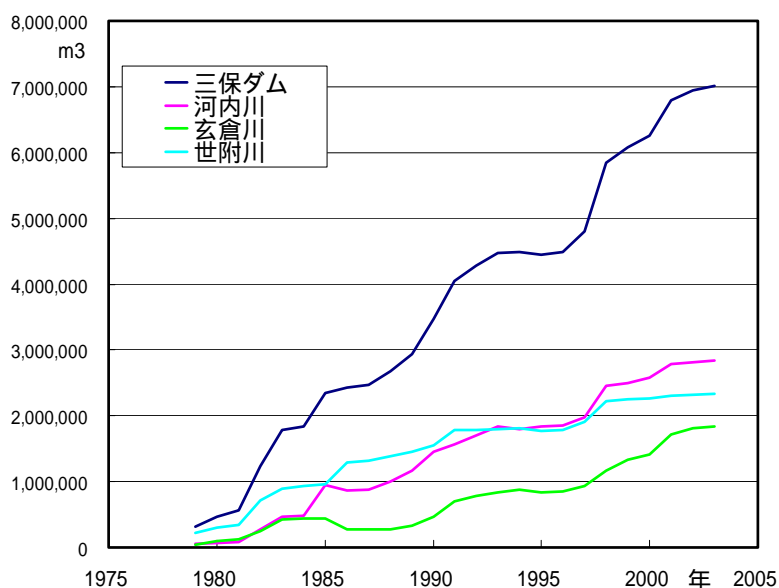


図 - 2 三保ダムへの流入土砂量

次に，三保ダム流域と，三保ダム流域内の各流域からの土砂流出量について，全期間の土砂流出量を流域面積で割って浸食深として示したのが表 - 4 である．三保ダム流域では，平均年浸食深が 1.24mm であり，特に河内川流域での浸食（土砂流出）が顕著である．

表 - 1 三保ダム流域内の浸食深

流域	流域面積 (km <sup>2</sup> )	高度分散量 (m)	平均年侵食深 (mm/year)
三保ダム流域	158.5	96.7	1.24
河内川流域	39.1*	109.1	2.03
玄倉川流域	39.0*	114.5	1.32
世附川流域	63.1*	79.1	1.04

\*流域面積は数値地図より計算 浸食深は空隙率(0.3)を考慮

図 - 3 には，三保ダム流域全体での年浸食深と河内川流域での年浸食深の関係を示して

いる。図から、両者の間に明確な相関があることが分かる。したがって、図 - 2 で示された流入土砂量の年ごとの細かな変化は、崩壊の発生などによる流域に依存した局所的な特性の変化によって生じているのではなく、降雨特性など、広い地域で影響を与える要因の変化によって生じていると考えられる。このことから、対象期間においては、河内川流域では土砂流出特性を変化させるような現象は発生しておらず、表 - 1 に示した平均年浸食深 (2.03mm) は、1979 年以降大きな変化のない土壌浸食特性を反映したものと考えられる。

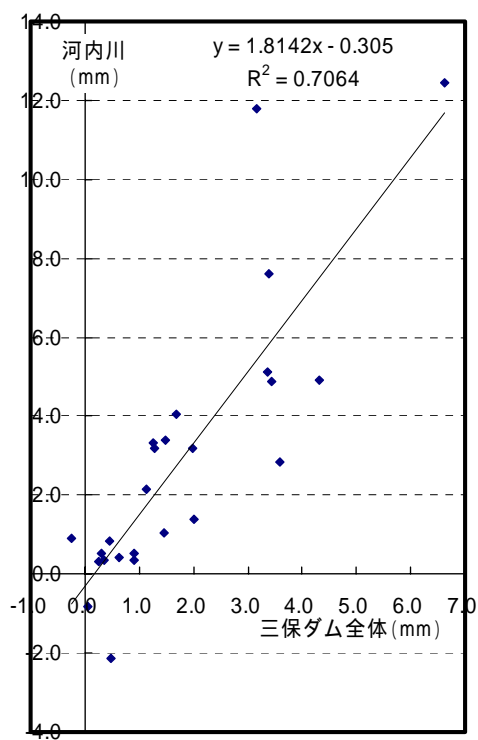


図 - 3 三保ダム全体での年浸食深と河内川流域での年浸食深の関係

## 2.2 河内川流域内における土砂流出分布

### 調査方法

前節で示された丹沢山地河内川（中川川）流域からの比較的長期・広域からの土砂流出に対して、それらが流域内でどのように分布するかを示す。

#### 流域内の土砂流出分布の推定

本調査では、流域内の土砂流出量分布を推定するにあたって、流域内に多数存在する砂防堰堤の情報をを用いることとした。砂防堰堤はその目的に応じて 山脚固定ダム， 縦浸食防止ダム， 河床堆積物流出防止ダム， 土石流対策ダム， 流出土砂抑制・調節ダムの 5 種類に分類され，1 つの堰堤で 2 つ以上の目的を兼ねる場合もある（建設省河川局（1997））。堰堤の型式についてはその設計段階でダムサイトの地形，地質，そのダムの目的に対する適合性，安全性および経済性などを考慮して決定されるが，自重によって外力に抵抗する重力式コンクリートの堰堤が大部分である。重力式コンクリートに代表される非透過型の砂防堰堤は直上流に土砂を堆積させ，下流における河床上昇を抑制するほか，満砂後は元河床勾配より緩やかな勾配の堆砂地を形成することで，洪水時には減勢効果とともに，一時的に土砂を堆積させ，その後時間の経過とともに土砂を徐々に流下させて元の安定勾配に戻す調節効果を発揮することが知られている。

砂防堰堤の規模によって，ダム直上流に堆積する貯砂容量は決定される。堰堤の竣工から満砂までの間に要した期間が明らかになれば，以下に示すように貯砂容量を満砂までの期間で割ることによって，堰堤上流の流域からの年流出土砂量を求めることが出来る。また，流域面積で割ることによって浸食深に換算することが可能である。

$$\text{平均浸食深} = \text{砂防堰堤の貯砂容量} / \text{満砂までの年数} / \text{流域面積}$$

砂防堰堤の満砂期間から求められる土砂流出量に着目して，流域内の土砂流出・土砂移動について検討した例は過去にもある（例えば日浦（1991），清水・新谷（1998））。砂防堰堤から求められる土砂流出の情報は，過去の一時期のみに限定される点や，そのために大きな土砂移動イベントの影響を受け易い点，などの問題も指摘されているが，流域内の多数の堰堤を対象とすることでそれらの問題を克服できることや，流域内の土砂流出特性を空間的・時間的に多様な条件で検討できる利点が大きいと考えられている。

ただし，砂防堰堤が満砂するまでに要した期間についての情報は丹沢山地では報告書などの記録としては十分に残されていない。本調査では，満砂までの期間を，航空写真を時系列に追跡し，砂防堰堤の状態の変化から満砂したタイミングを読み取ることによって求めた。航空写真は後述のように必ずしも毎年撮影されているわけではないために，満砂までの期間はある範囲で求められるから，推定される浸食深も誤差を含むこととなる。しかしながら，砂防堰堤の貯砂容量は，直上部の堆積勾配などによっても変化し，満砂前に堰堤を通過する土砂が存在することも考えられるため，元来精度の高い検討には適していない可能性があるのも事実である。その上で，本調査においては流域全体からの土砂流出量（浸食深）が堆砂データによって求められていることから，ここでは流域内の分布の大小



を求めることを第一の目的としてこの検討を行うこととした。

#### 航空写真について

航空写真は様々な分野において広く利用されており，砂防分野においても災害後の調査や崩壊地調査，砂防・治山計画の立案，経過調査を目的として頻繁に利用されてきた(例えば，高橋(1967)，牧野(1969)藤原(1970)，秋谷(1979)，中越(1996)，日浦ら(2004))。航空写真は，広範囲または多地点の情報を一度に得られる点，現地に行くことなくしてその場所の状況が視覚的に明確になる点などの利点が挙げられる。しかも比較的安価で簡易な手続きにより手に入れることが可能である。航空写真は主に都市部を撮影する国土地理院関係のものと主に森林地域を撮影する林野庁関係のものの大別され，国土地理院関係のものは日本地図センター(東京都目黒区)で，林野庁関係のものは日本森林技術協会(東京都千代田区)に問い合わせれば入手可能である。いずれも手に入れたい撮影箇所を標定図から選んで注文する。標定図は撮影箇所のほかに撮影年次や撮影機関などの諸元が記載されている。表 - 2 に，丹沢山地で撮影された航空写真の一覧を示す。

表 - 2 丹沢山地で撮影された航空写真一覧

撮影年	写真番号	コース	撮影機関
1954 (S29)	B102-	155,156	神奈川県
1963 (S38)	山 307	C2-3,4	林野庁
		C3-6,7	
		C4-7	
		C1-6	
1967 (S42)	KT-67-5X	C2-6,7	国土地理院
		C3-6	
		C4-5	
		C7-38	
1970 (S45)	CB-70-8Y	C8-40	国土地理院
		D10-4	
1973 (S48)	-	D11-6,7	神奈川県
		D12-8,9,10,11,12,13	
		D13-12,13,14	
		D14-16,17	
		D15-14,15,16	
		D16-15	
		C11C-17	
1975 (S50)	CCB-75-17	C12B-19	国土地理院
		C2-8,9,10	
1977 (S52)	CKT-77-2	C3-6,7,8	国土地理院
		C4-5,6,7	
		C3-5,6	
		C4-8,9	
1978 (S53)	山 812	C5-8,9	林野庁
		C6-12	
		C17-6,7	
		C18-5,6	
1983 (S58)	CB-83-4X	C19-4	国土地理院
		C7-38,39	
		C8A-9	
1988 (S63)	KT-88-2X	C1-6,7	国土地理院
		C2-7,8	
		C3-5,6	
		C4-5	
1993 (H4)	CKT-93-1X	C1-6,7	国土地理院
		C2-6,7	
		C3-5	
		C4-5	

表 - 2 には，航空写真の撮影年，写真番号，コース，撮影機関を整理してまとめた。使用した航空写真は，国土地理院，林野庁，および神奈川県によって撮影されたモノクロ 2

倍引伸ばし写真である。また、撮影機関が国土地理のものについては一部に空中写真画像データ（解像度：10  $\mu\text{m}$ (2540dpi)）を併用した。

航空写真の中には、戦前に撮影されたものも一部に存在するが、日本全国をカバーするものは戦後に米軍によって撮影されたものももっとも古い。その後、国土地理院や林野庁、県庁、民間撮影機関などによっておよそ5年おきに、ほぼ全国的に撮影されてきた。現在、本格的な撮影の開始から約50年経過したこともあり、近年では長期間に渡る崩壊地の変化や植生の経年変化を明らかにすることが可能となった(例えば相浦ら(1996)、沼本ら(1999)、鈴木(2001)、鈴木(2002a)、鈴木(2002b))。

ただし、撮影地点によっては長期間撮影されていない場合もあり注意が必要である。また、山陰が強い場合やハレーションにより、見たい地点で情報を得られない場合もある。このような場合、衛星写真との併用や必要に応じて現地調査を検討する必要がある。

#### 航空写真の性質とオルソ化

航空写真はカメラのレンズで結像された中心投影画像である(佐藤(1974))。そのため画像の中心(主点)から離れるに従い放射線方向に傾く性質がある。すなわち写真の中心から離れた部分は実際よりも外側に倒れた形に写っている。また、航空写真画像は地上の起伏に応じて、その標高の違いなどから実際とは異なった歪みを生じる(西尾(1964))。こうした写真画像の歪みを正しく補正することをオルソ化(正射化)と言い、オルソ化された写真画像をオルソフォト(正射写真)と呼ぶ。また、撮影された時期によって使用したカメラの持つ焦点距離や撮影高度の違いなどから写真画像の縮尺はそれぞれ異なっている。

本研究における航空写真のオルソ化手法は、スキャナで読み込んだ写真画像データを市販のソフトウェア(Adobe社 Photoshop)を使用して写真画像の持つ歪みや縮尺を補正する簡易オルソ化手法(沼本(2000))を用いた。簡易オルソ化手法は、同様にスキャナで読み込んだ地形図画像データを背景として、航空写真レイヤーを撮影時期ごとに貼り付け、透過表示にした上で、地形図にあわせて縮尺や歪みを変形させ地形図と一致させていくものである(フィッティング)。さらに階調補正を行って明るさやコントラストを調整することで、撮影時期や時間によって異なる色調の補正を行う。

オルソフォトの作成にはステレオペアの写真フィルムを用い、オルソフォトスコープなどの装置によって微小部分を少しずつ印画紙に焼付けて作成する方法と、航空写真をデジタル化して計算機処理によって作成する方法(デジタルオルソ)がある(日本林業技術協会(2001))。今日ではパソコンを用いた簡単なデジタル処理でオルソフォトを作成することもでき、上記の簡易オルソ化手法もそのようなオルソ化手法の一つである。

#### 航空写真による堆砂状況の判読

航空写真に写し出されている様々な情報を読み取ることを判読という。重力式、アーチ式コンクリートの堰堤は施工後、上流域からの土砂流出に伴ってその直上流で堆砂が進行していき、堆砂地が形成される。およそ5年おきに撮影されている航空写真を比較することで、堆砂の進行状況とともに堆砂地への土砂の流入状況のある程度把握することが可能

である。

調査対象とする砂防堰堤について、施工直前か施工後の写真のうち最も古くに撮影された航空写真から最新の航空写真までを用いて、施工から最近までの堆砂状況を目視により判読した。使用した航空写真は全てモノクロ密着単写真であり、写真上で堆砂地上の裸地(堆積土砂)は白色～淡灰色、湛水池や流路は濃灰色、植生は淡黒色～黒色に写る。堰堤の規模や航空写真の状態によっては、満砂時期の特定が困難であるようなケースがあることも予想される。次年度以降の調査で、満砂時期の特定が困難なケースについては、清水・新谷(1998)の用いた方法と同様に、堆砂地へ侵入した植生に対して成長錘などを用いた現地調査を行うことなどが有効であると考えている。

本調査では比較的規模の小さいダム工も調査対象としているため、単写真で満砂・未満砂の判断が困難な場合には、必要に応じて立体視を行って、満砂・未満砂を確認した。満砂・未満砂の判定は、堰堤天端に堆砂面が到達した時点で満砂とした。

#### 本年度の調査対象堰堤

河内川流域は、古くから治山・砂防工事が行われてきたため、流域内に存在する砂防・治山施設も他の二流域に比べて多い。河内川流域内の堰堤のうち、堆砂期間が航空写真が存在する期間と重複しており、航空写真判読によって堆砂状況が読み取れる堰堤を検討対象とした。三保ダム上流の中川川流域に存在する堰堤のうち、建設から満砂に至るまでに上流に新規堰堤の建設がない、または、上流に存在する堰堤はすでに対象堰堤施工以前に既に満砂している堰堤を調査対象とした。また、本調査は主に空中写真を使用して解析するため、山陰が強く、写真判読が不可能なものや、長期間にわたり空中写真が撮影されていない期間が存在する堰堤については調査対象から除外した。中川川流域で上記条件を満たす堰堤は、旧直轄で現在は神奈川県土木部により管理されている砂防堰堤や、神奈川県林務課所轄で砂防堰堤より比較的規模が小さいダム工など、全部で16基である。

表-2で示された航空写真は、必ずしも丹沢全域を網羅しているわけではないので、対象堰堤において航空写真の撮影が行われているかどうかは、標定図により確認する必要がある。表-3に、本年度の検討対象とした16堰堤と航空写真の撮影履歴の対応表を示す。表-3において、各堰堤名は、旧直轄の砂防堰堤については当時の名称、神奈川県林務課所轄のダム工については施設番号、特定の名称や施設番号がないものについてはその堰堤が存在する細地区名(溪流名)を便宜的に堰堤名として使用した。堰堤に関する情報は、主に「平成9年度三保ダム堆砂対策砂防計画調査報告書」(神奈川県(1998))を参照した。各堰堤の施工年については、S47災以前に施工された堰堤が9基、S47災後に施工された堰堤が7基である。台帳などで確認できなかった堰堤の施工年は、航空写真の読み取りによって、施工が行われた期間として示している。

表 - 3 丹沢山地で撮影された航空写真

No.	堰堤名	完成年	空中写真撮影年																																																								
			53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01								
1	31-3	1970	神								林				国			国			神					国	林																											神					
2	31-33	1974	神								林				国			国			神						国	林																												神			
3	室窪沢(41-13)	1977	神								林				国			国			神						国	林																												神			
4	42-77	1977	神								林				国			国			神						国	林																												神			
5	東沢(仮)	1964-66	神								林				国			国			神						国	林																											神				
6	東沢中流	1967	神								林				国			国			神						国	林																											神				
7	西沢下流	1963	神								林				国			国			神						国	林																												神			
8	51-31	1977	神								林				国			国			神						国	林																												神			
9	板小屋上流	1979	神								林				国			国			神						国	林																												神			
10	オイダン沢(仮)	1974-76	神								林				国			国			神						国	林																												神			
11	44-21	1974	神								林				国			国			神		国				国	林																													神		
12	44-18	1955-63	神								林				国			国			神		国				国	林																													神		
13	44-15	1955-63	神								林				国			国			神		国				国	林																														神	
14	湯ノ沢下流	1959	神								林				国			国			神		国				国	林																													神		
15	53-23	1970-72	神								林				国			国			神		国				国	林																														神	
16	53-18	1956	神								林				国			国			神		国				国	林																															神

国:国土地理院撮影 林:林野庁撮影 神:神奈川県撮影 :国土地理院・林野庁撮影

### 堰堤貯砂容量の推定

各調査対象堰堤の計画貯砂量は「神奈川県土木部（松田土木事務所）所轄施設一覧」および「神奈川県林務部（足柄上行政センター）所轄施設一覧」を参照した。さらにこれらから計画貯砂量の情報を得られないものについては松田事務所の台帳から計画貯砂量を調べた。しかし、調査対象とする堰堤のうち 9 基については計画貯砂量が分からなかった。そこで計画貯砂量が明らかでない 9 基の堰堤については貯砂量の推定を行った。

推定方法は、まず、2万5千分の1地形図の対象堰堤が存在する箇所を地形図の縮尺と合わせて拡大し、そこに堰堤位置および満砂時の堰堤堆砂地を移写した。次に、堰堤長および堆砂地長（天端から堆砂地の最上流までの距離）を、縮尺を合わせて測定した。さらに堤高は同一溪流に存在する堰堤の堤高の値を代入した。堆砂地形状を三角錐と仮定すると、貯砂量  $V_s$  (  $m^3$  ) は

$$V_s = \frac{1}{3} \times B \cdot L \cdot H \quad (1)$$

である。ここで、 $B$  は堰堤長、 $L$  は堆砂地長、 $H$  は堤高である。

### 調査結果および考察

#### 対象となる堰堤流域の位置と面積

表 - 3 に示した各堰堤を数値地図上にプロットし、GIS ソフト ( TNTmips ) を用いて各堰堤流域の境界と面積を求めた。河内川 ( 中川川 ) 流域内の各堰堤流域を図 - 4 に示す。

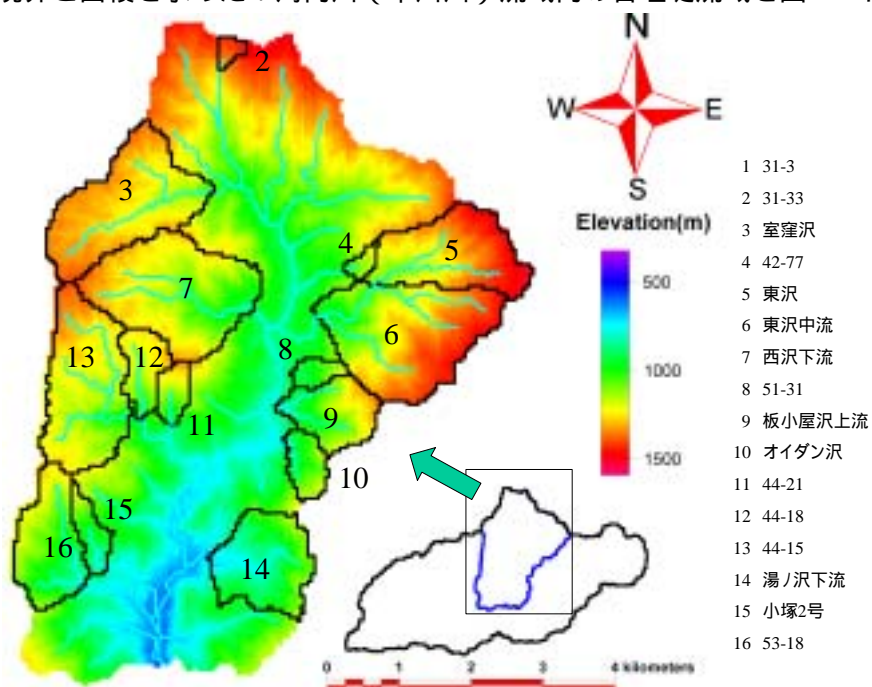


図 - 4 : 対象堰堤流域位置図

図 - 4 より、対象とした堰堤の流域は河内川（中川川）流域内に広く分布していること、堰堤流域は全て河内川（中川川）本流を含まないことが分かる。したがって、対象堰堤の堆砂量から推定される河内川流域内の流出土砂量の分布は、支川流域または斜面における土砂生産量の分布を反映すると推測できる。なお、31-33 堰堤流域は 31-3 堰堤流域内、東沢中流堰堤流域は東沢堰堤内の入れ子状の流域である。

#### 堰堤の概況と履歴・堆砂状況

図 - 4 の各堰堤の堆砂状況について、写真判読結果を時系列的に整理して表 - 4 に示す。表 - 4 において、それぞれの満砂までの年数を図の右欄に記入した。満砂までに要した年数は、厳密には、満砂が確認された年次とそれ以前で未満砂が確認された年次の間となるが、ここでは、航空写真により満砂が確認された年次を満砂年として取り扱った。したがって、本調査で求めた推定土砂流出量の最大値と最小値は、施工年次未確認の堰堤について航空写真の読み取りから得た施工年が取り得る期間から求めている。

表 - 4 航空写真判読から読み取った対象堰堤の堆砂期間

堰堤名(番号)	施工年	年次												満砂までの年数		
		1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995						
1 31-3	1970						満									3
2 31-33	1974															3
3 室窪沢(41-13)	1977								未							6
4 42-77	1977								未							6
5 東沢(仮)	1964-66			x	未		未	満								7-9
6 東沢中流	1967						未	満								6
7 西沢下流	1963						未	満								10
8 51-31	1977									未						6
9 板小屋上流	1979															4
10 オイタン沢(仮)	1974-76								x	満						1-3
11 44-21	1974									未	満					3
12 44-18	1955-63	x				未	満									5-12
13 44-15	1955-63	x				満										1-8
14 湯ノ沢下流	1959															18
15 53-23	1970-72						x	未						未		21-22
16 53-18	1956					満										7

○:堰堤の施工年次 未:未満砂である年次 満:満砂が確認された年次 ■:施工から満砂までの期間

表 - 4 より、堰堤の堆砂期間にはかなりのばらつきがあることが見て取れる。また、いくつかの堰堤は昭和 47 年の豪雨（S47 災）時に満砂しているように見える。以下に、表 - 4 の各堰堤についての情報、航空写真から読み取れる現地状況、堆砂状況についての説明を行う。なお、堰堤名に（仮）とついているものは、正式な堰堤名が不明で、本調査にあたって便宜的に名前を付けたものである。

#### < 1 > 31 - 3 堰堤

31 - 3 堰堤は中川川最上流域にあたる白石沢本流に存在する計画貯砂量 1,515m<sup>3</sup> のダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 5 に示す。図 - 5 より、1970 年に施工後、1973 年に満砂しており、満砂期間（施工から満砂するまでの期間：以下同様）は 3 年である。S47 災の際

に流出した土砂により満砂したものと推定される。施工時は中川川最上流に位置する堰堤であったが、満砂後は 31 - 3 堰堤上流に順次堰堤が施工されている。

#### < 2 > 31 - 33 堰堤

31 - 33 堰堤は中川川白石沢上流ザレノ沢に存在するダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 6 に示す。図 - 6 より、S47 災後の 1974 年に施工されたが、1977 年には満砂しており、満砂期間は 3 年である。S47 災後も上流から著しい土砂生産があり、施工後、短期間で満砂に至った。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、貯砂量は（1）式によって推定した。

#### < 3 > 室窪沢（41 - 13）堰堤

室窪沢堰堤は中川川上流右支川の室窪沢に存在する計画貯砂量 1,075m<sup>3</sup> のダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 7 に示す。図 - 7 より、S47 災後の 1977 年に施工、1978 年を経て、1983 年に満砂しており、満砂期間は 6 年である。

#### < 4 > 42 - 77 堰堤

42 - 77 堰堤は中川川上流左支川の榊小屋沢に存在する計画貯砂量 347m<sup>3</sup> のダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 8 に示す。図 - 8 より、S47 災後の 1977 年に施工、1978 年を経て、1983 年に満砂しており、満砂期間は 6 年である。

#### < 5 > 東沢(仮)堰堤

東沢(仮)堰堤は中川川上流左支川の東沢に存在するダム工である。本堰堤は所轄が不明であり、諸元も不明である。本堰堤の施工前後からの時系列変化を図 - 9 に示す。この堰堤については施工年次の情報が残されていないが、図 - 9 より、1963 年にはその存在は確認できず、1967 年には存在していることから、1964 年から 1967 年にかけて施工されたものと考えられる。S47 災直後の 1973 年に満砂しており、満砂期間は 7 年から 9 年の間である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、(1) 式を用いて貯砂量を推定した。

#### < 6 > 東沢中流堰堤

東沢中流堰堤は中川川上流左支川の東沢に存在する計画貯砂量 200,000m<sup>3</sup> の旧直轄砂防堰堤である。本堰堤は神奈川県土木部（松田土木事務所）所轄施設である。上述の東沢(仮)堰堤とは入れ子状に存在する。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 10 に示す。図 - 10 より、1967 年に施工後、1973 年に満砂しており、満砂期間は 6 年である。本堰堤も S47 災時の土砂流出の影響により満砂したと考えられる。

#### < 7 > 西沢下流堰堤

西沢下流堰堤は中川川上流右支川の西沢に存在する計画貯砂量 43,000m<sup>3</sup> の旧直轄砂防堰堤である。本堰堤は神奈川県土木部（松田土木事務所）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 11 に示す。図 - 11 より、1963 年に施工後、1973 年に満砂し

ており、満砂期間は10年である。本堰堤もS47 災時の土砂流出の影響により満砂したと考えられる。

#### < 8 > 51 - 31 堰堤

51 - 31 堰堤は中川川中流左支川の石堂沢に存在するダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 12 に示す。図 - 12 より、S47 災後の1977年に施工、1978年を経て、1983年に満砂しており、満砂期間は6年である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、(1)式を用いて貯砂量を推定した。

#### < 9 > 板小屋上流堰堤

板小屋上流堰堤は中川川中流左支川の板小屋沢に存在する計画貯砂量15,680m<sup>3</sup>のダム工である。本堰堤は神奈川県土木部（松田土木事務所）所轄施設である。施工時に直上流に堰堤の存在が確認できるものの、既に満砂している。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 13 に示す。図 - 13 より、S47 災後の1979年に施工され、1983年には満砂しており、満砂期間は4年である。なお、堰堤直上流には別の堰堤が存在するが、本堰堤施工時には既に満砂している。

#### < 10 > オイダン沢(仮)堰堤

オイダン沢(仮)堰堤は中川川中流左支川のオイダン沢に存在するダム工である。本堰堤は所轄が不明であり、諸元も不明である。本堰堤の施工前後からの時系列変化を図 - 14 に示す。この堰堤については施工年次の情報が残されていないが、図 - 14 より、1973年にはその存在は確認できず、1977年には存在していることから、1974年から1976年にかけて施工されたものと考えられる。S47 災直後の1973年に満砂していないものの1977年には満砂しており、満砂期間は1年から3年の間である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、(1)式を用いて貯砂量を推定した。

#### < 11 > 44 - 21 堰堤

44 - 21 堰堤は中川川中流右支川の大滝川藤嵐沢に存在するダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 15 に示す。図 - 15 より、S47 災後の1974年に施工され、1975年を経て、1977年に満砂しており、満砂期間は3年である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、(1)式を用いて貯砂量を推定した。

#### < 12 > 44 - 18 堰堤

44 - 18 堰堤は中川川中流右支川の大滝川マスキ沢に存在するダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 16 に示す。この堰堤については施工年次の情報が残されていないが、図 - 16 より、1954年にはその存在は確認できず、1963年には存在していることから、1955年から1963年にかけて施工されたものと考えられる。S47 災前の1967年に満砂しており、満砂期間は5年から12年の間である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、前述



の手法を用いて貯砂量を推定した。

< 13 > 44 - 15 堰堤

44 - 18 堰堤は中川川中流右支川の大滝川マスキ沢に存在するダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 17 に示す。この堰堤については施工年次の情報が残されていないが、図 - 17 より、1954 年にはその存在は確認できず、1963 年には存在していることから、1955 年から 1963 年にかけて施工されたものと考えられる。S47 災前の 1963 年に満砂しており、満砂期間は 1 年から 8 年の間である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、(1) 式を用いて貯砂量を推定した。

< 14 > 湯ノ沢下流堰堤

湯ノ沢下流堰堤は中川川下流左支川の湯ノ沢に存在する計画貯砂量 159,000m<sup>3</sup> の旧直轄砂防堰堤である。本堰堤は神奈川県土木部（松田土木事務所）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 18 に示す。図 - 18 より、1959 年に施工後、1977 年に満砂しており、満砂期間は 18 年である。本堰堤も S47 災時の土砂流出の影響により満砂したと考えられる。

< 15 > 53 - 23 堰堤

53 - 23 堰堤は中川川下流右支川の小塚沢に存在するダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 19 に示す。この堰堤については施工年次の情報が残されていないが、図 - 19 より、1970 年にはその存在は確認できず、1973 年には存在していることから、1970 年から 1972 年にかけて施工されたものと考えられる。1993 年に満砂しており、満砂期間は 21 年から 22 年の間である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、(1) 式を用いて貯砂量を推定した。

< 16 > 53 - 18 堰堤

53 - 18 堰堤は中川川下流右支川の小塚沢に存在するダム工である。本堰堤は神奈川県林務課（足柄上行政センター）所轄施設である。本堰堤の施工後からの時系列変化を図 - 20 に示す。図 - 20 より、1956 年に施工後、1963 年に満砂しており、満砂期間は 7 年である。また、本堰堤は、計画貯砂量の記録がなく、(1) 式を用いて貯砂量を推定した。

### 31-3堰堤

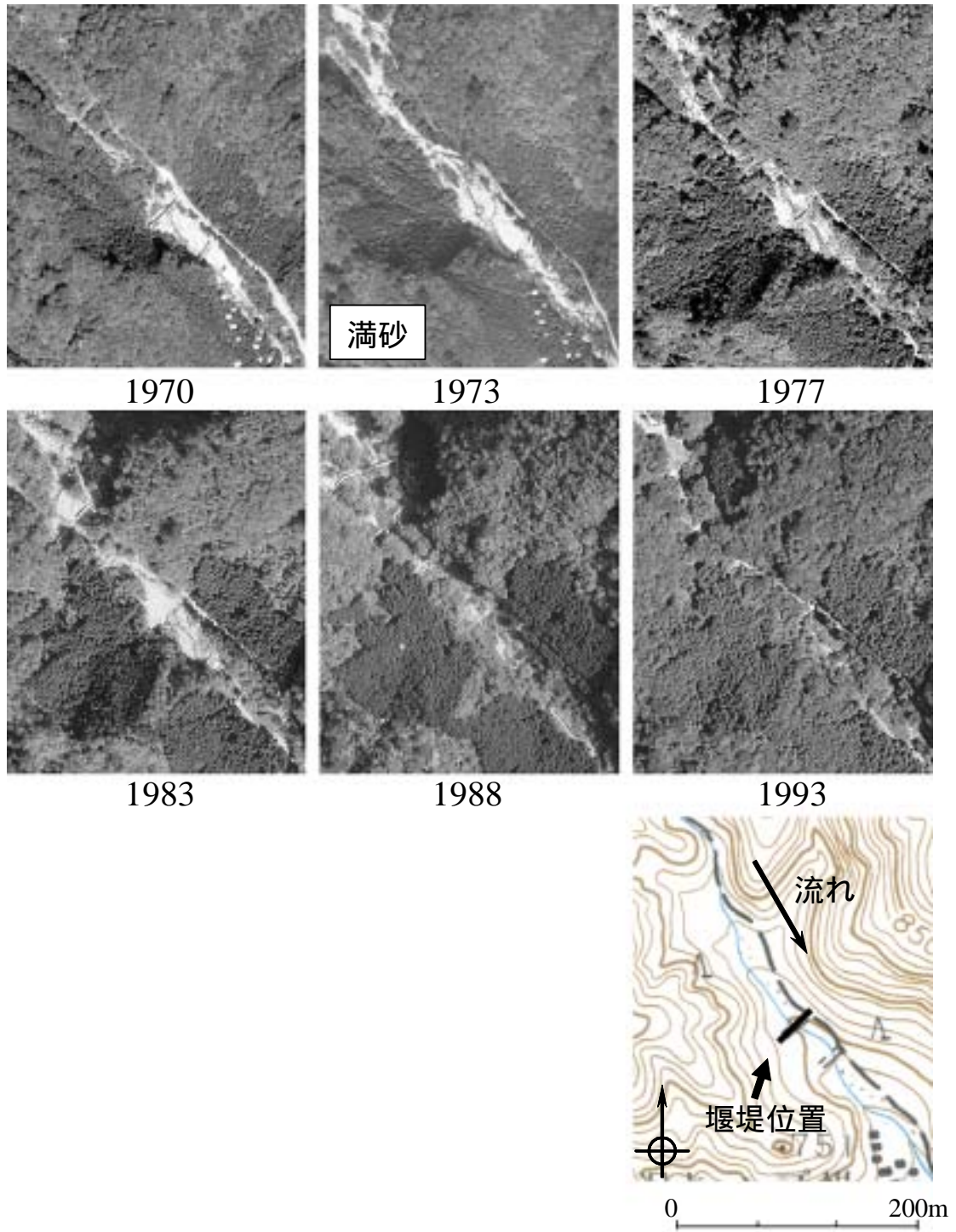


図 - 5 31 - 3 堰堤の経過

31-33堰堤

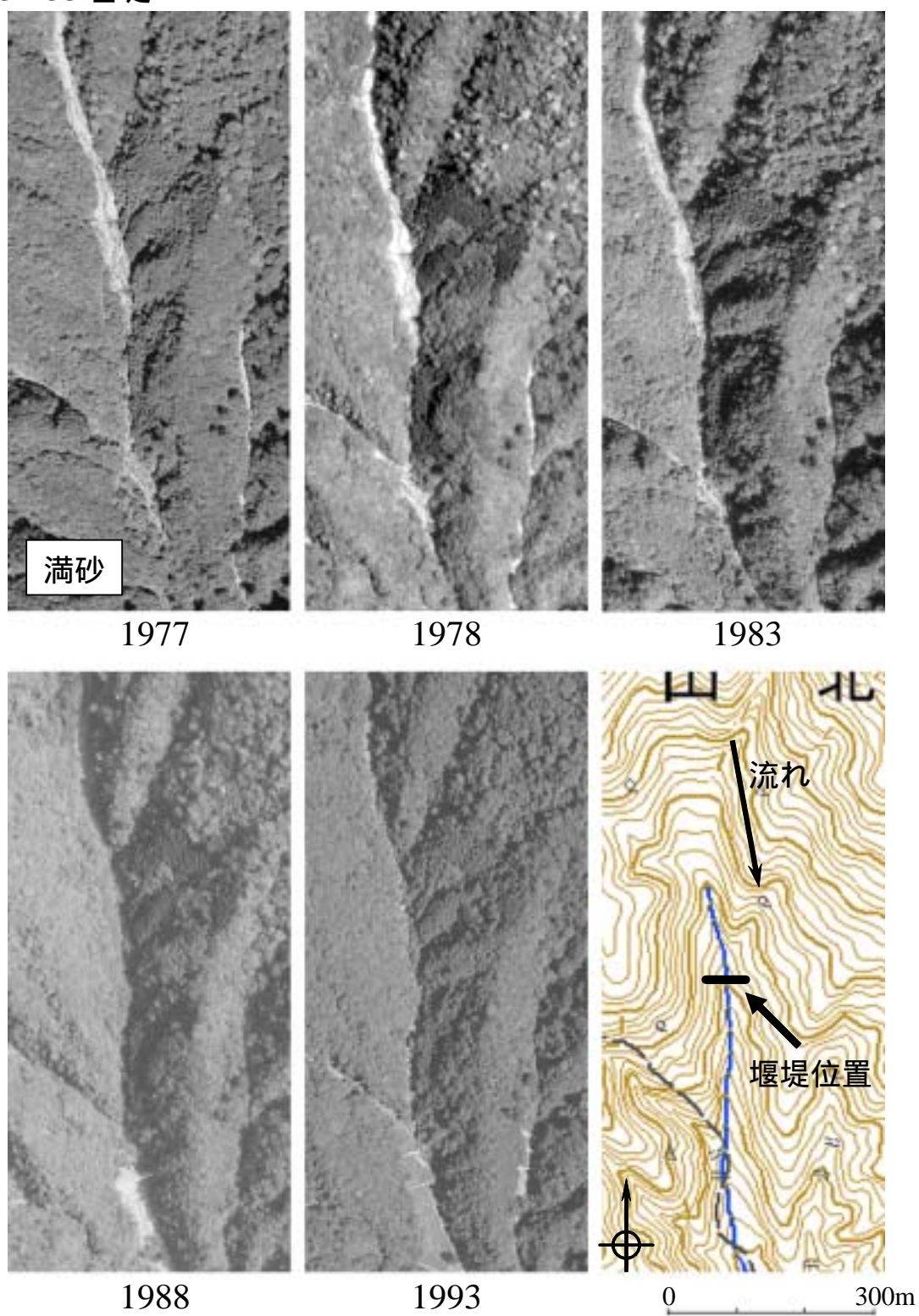


図 - 6 31 - 33 堰堤の経過

# 室窪沢堰堤

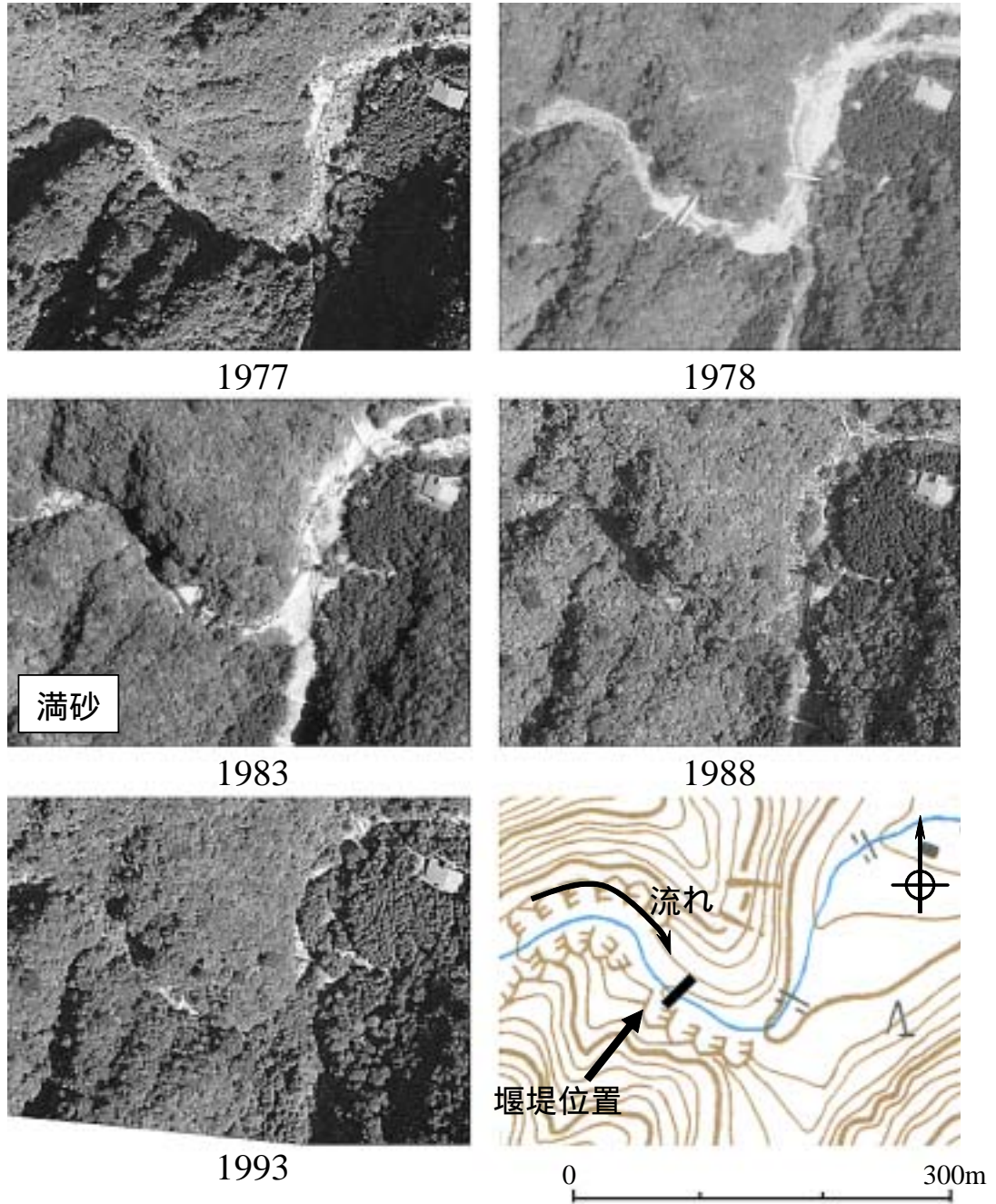


図 - 7 室窪沢 ( 4 1 - 1 3 ) 堰堤の経過

42-77堰堤

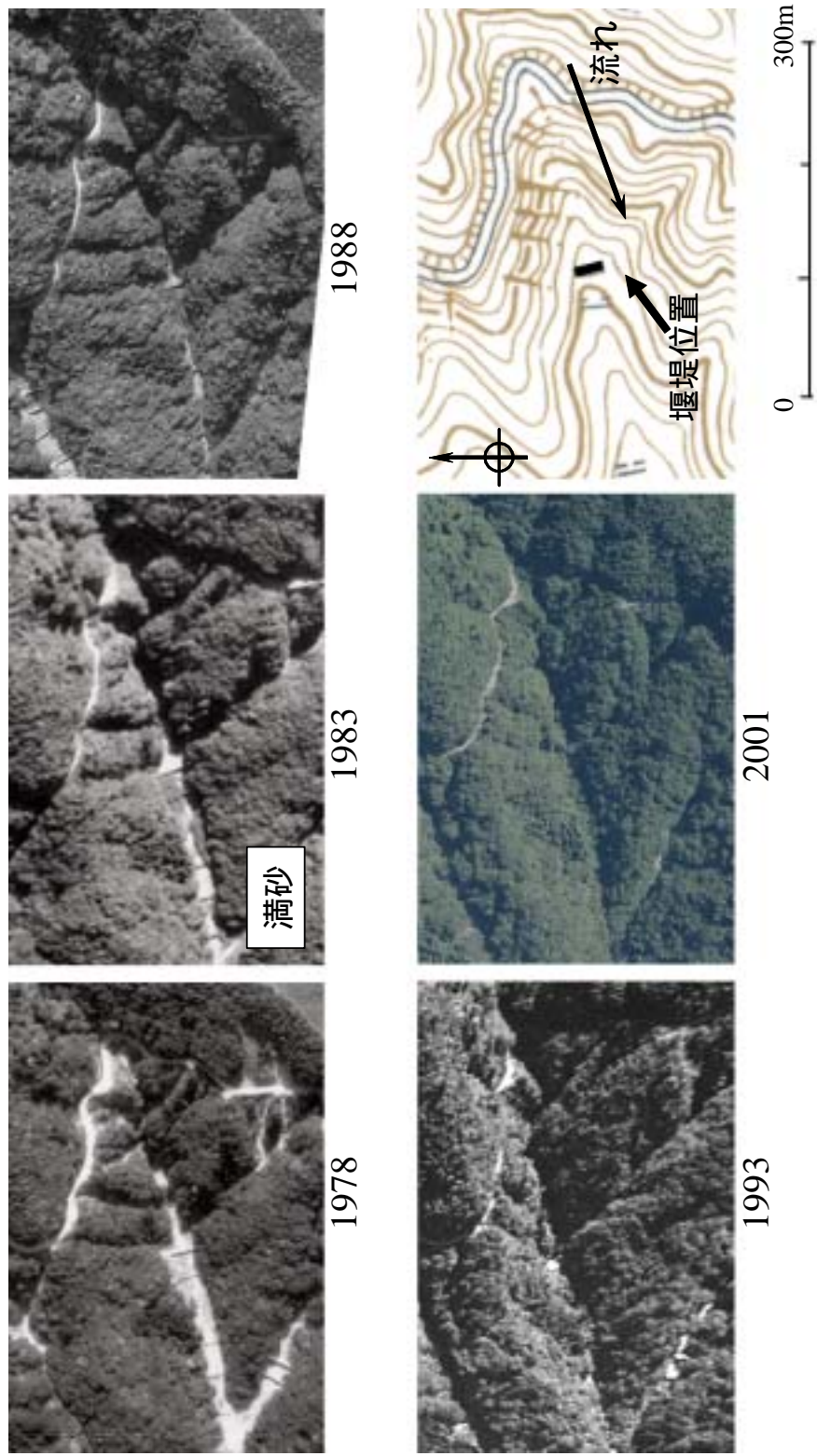


図 - 8 42 - 77 堰堤の経過

東沢堰堤

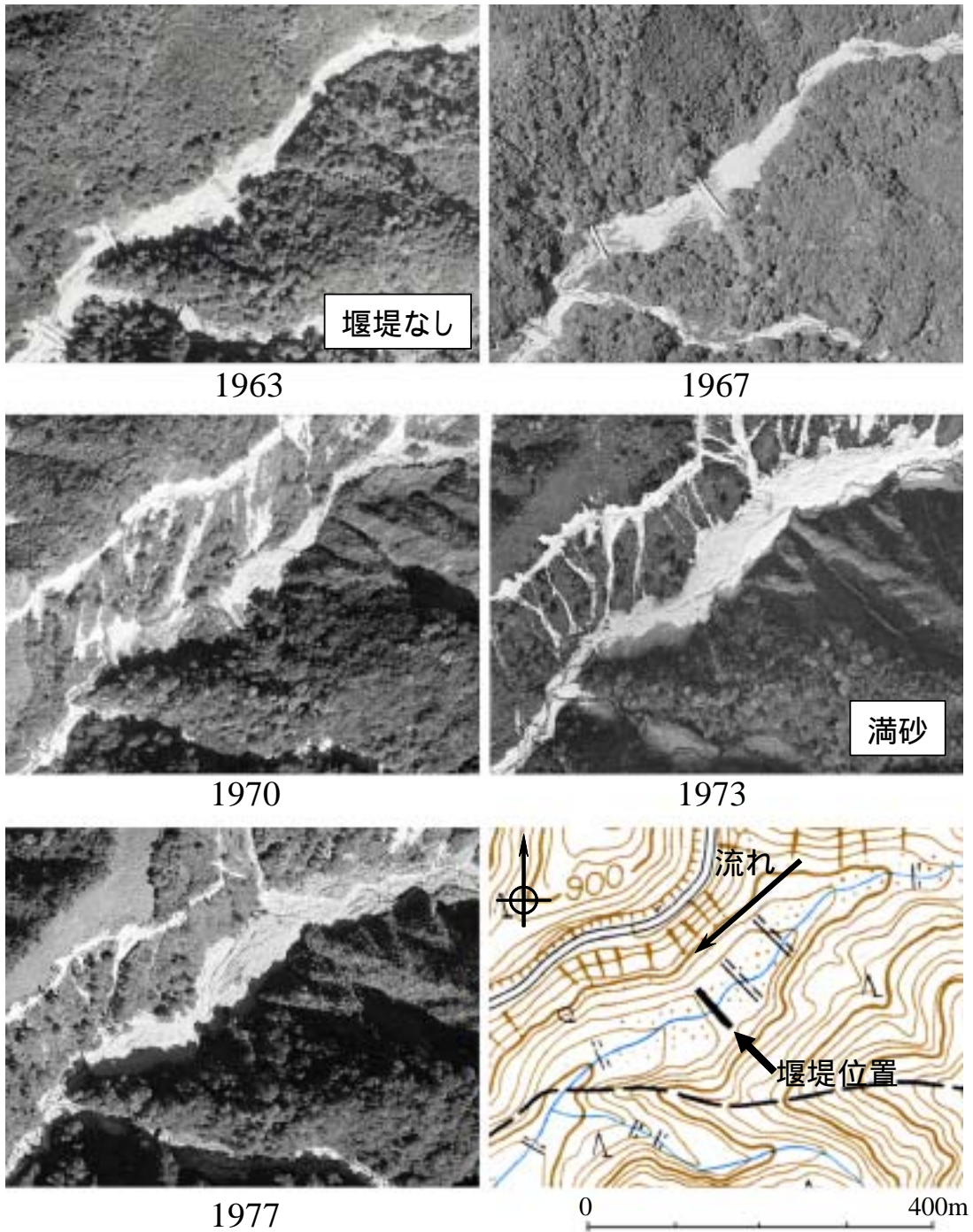
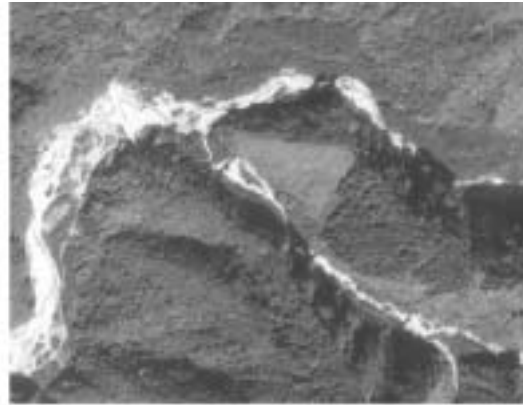


図 - 9 東沢（仮）堰堤の経過

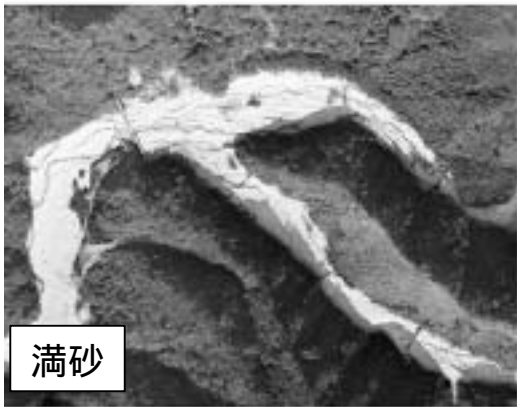
東沢中流堰堤



1967



1970



満砂

1973



1978



1988



堰堤位置

流れ

0 500m

図 - 10 東沢中流堰堤の経過

# 西沢下流堰堤

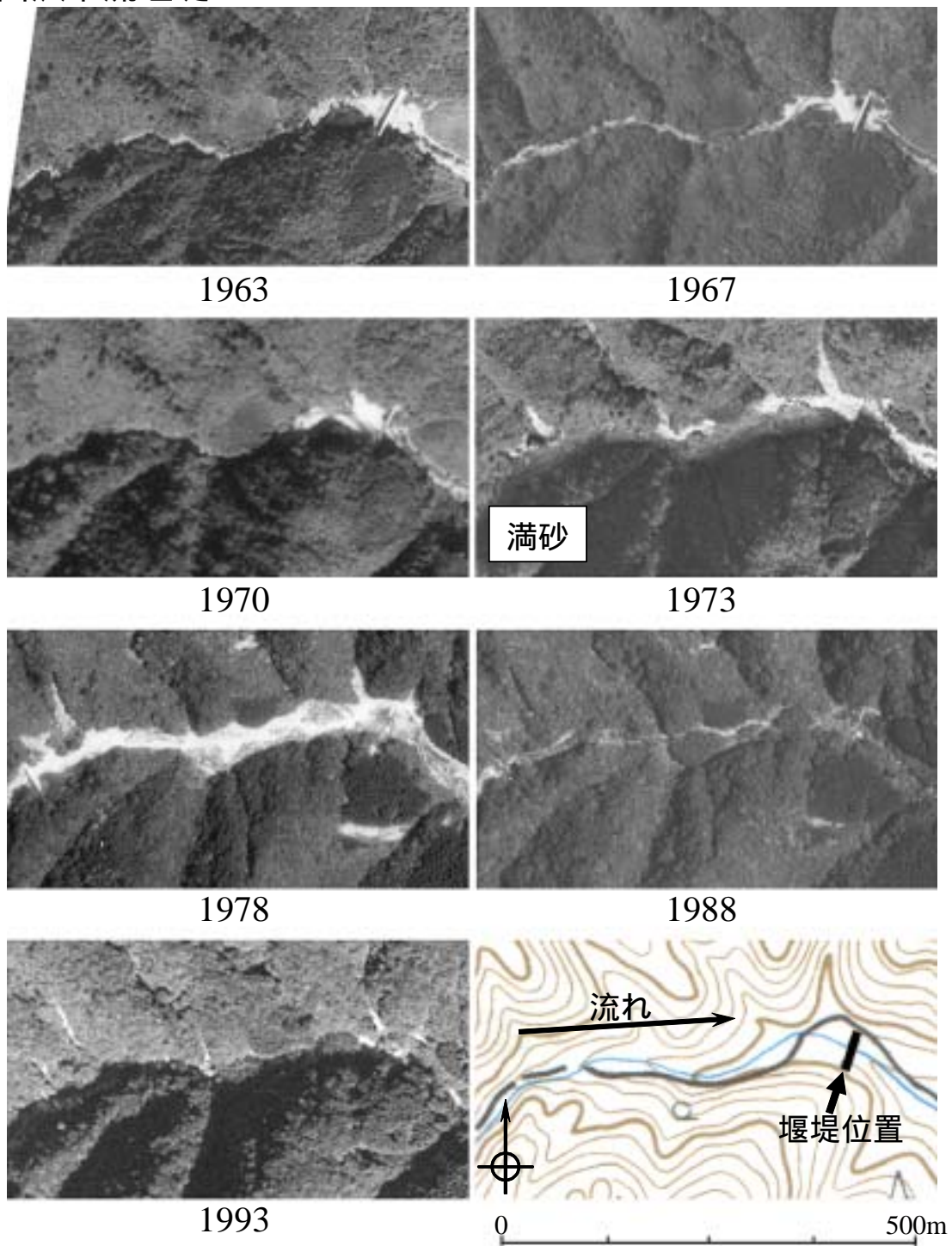


図 - 1 1 西沢下流堰堤の経過



51-31堰堤

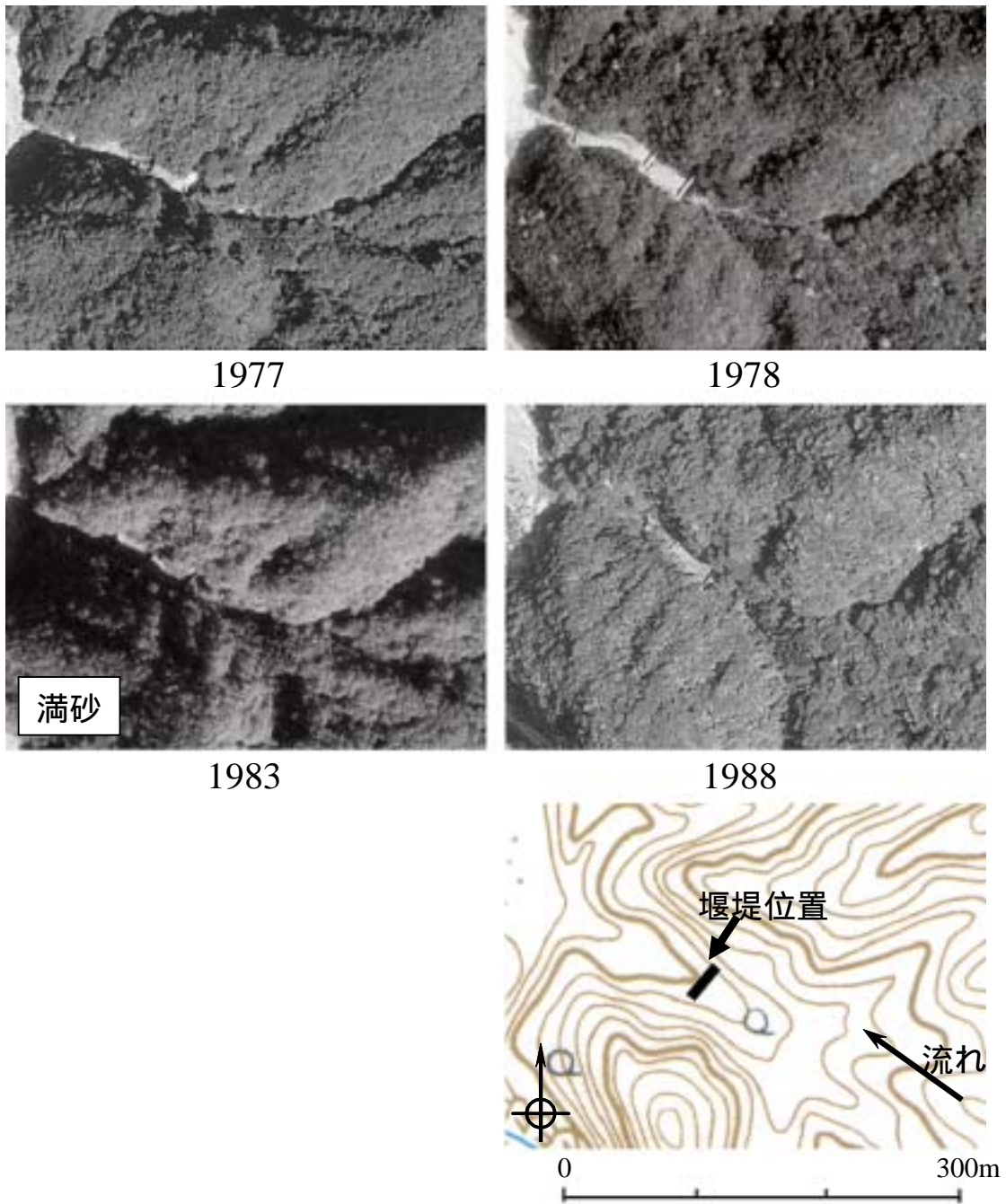


図 - 1 2 5 1 - 3 1 堰堤の経過

### 板小屋上流堰堤

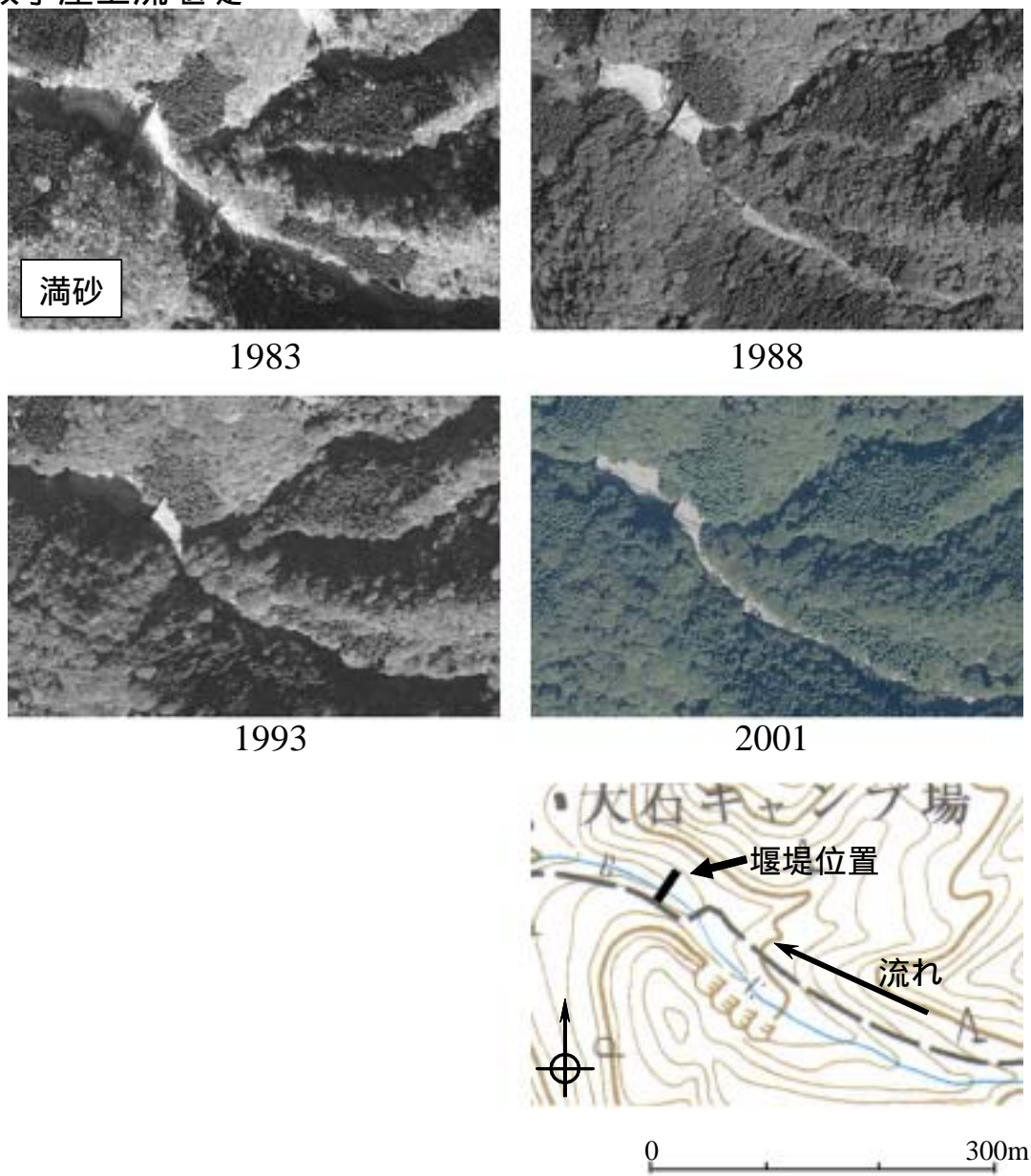


図 - 1 3 板小屋上流堰堤の経過

オイダン沢堰堤

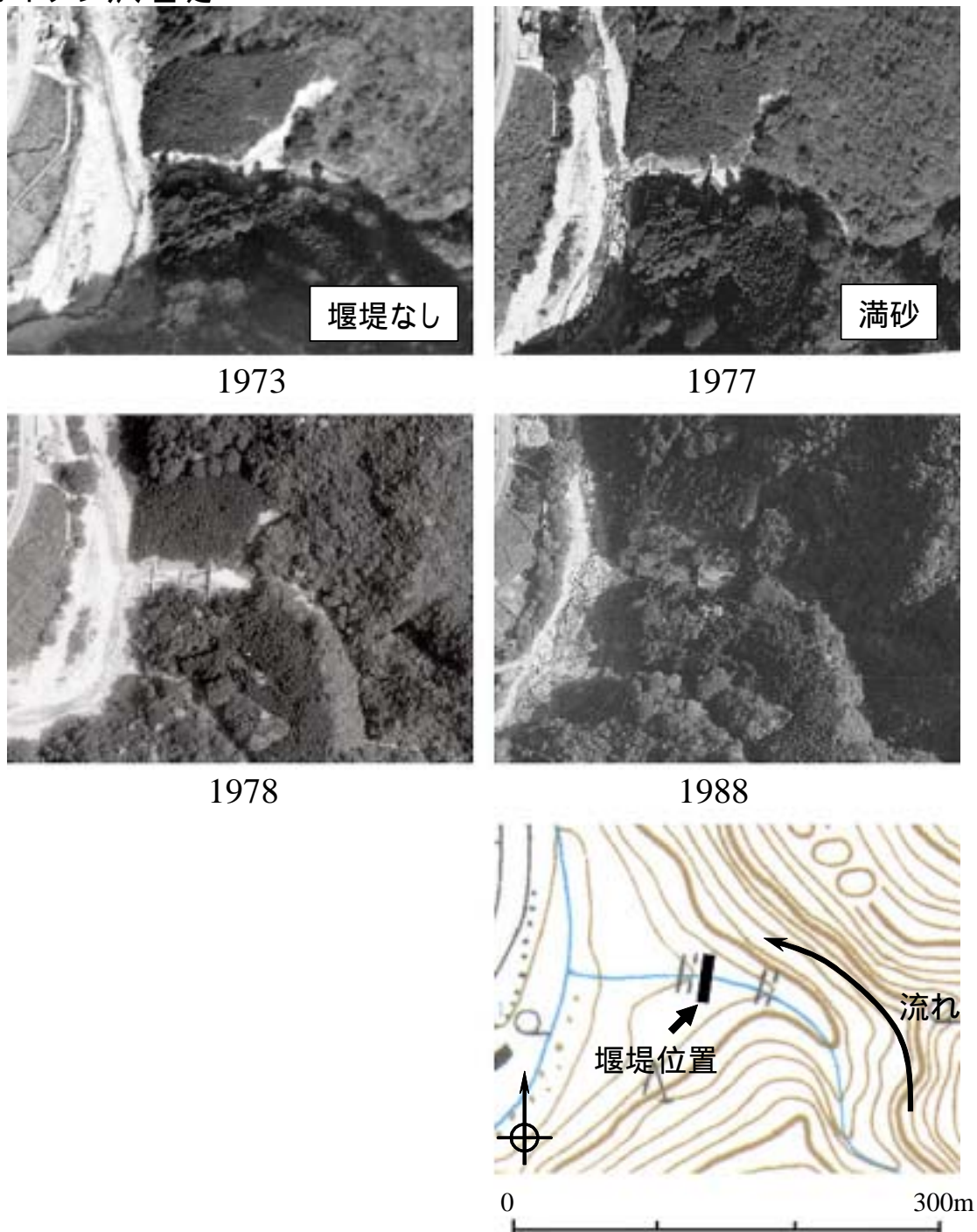


図 - 14 オイダン沢(仮)堰堤の経過

44-21堰堤

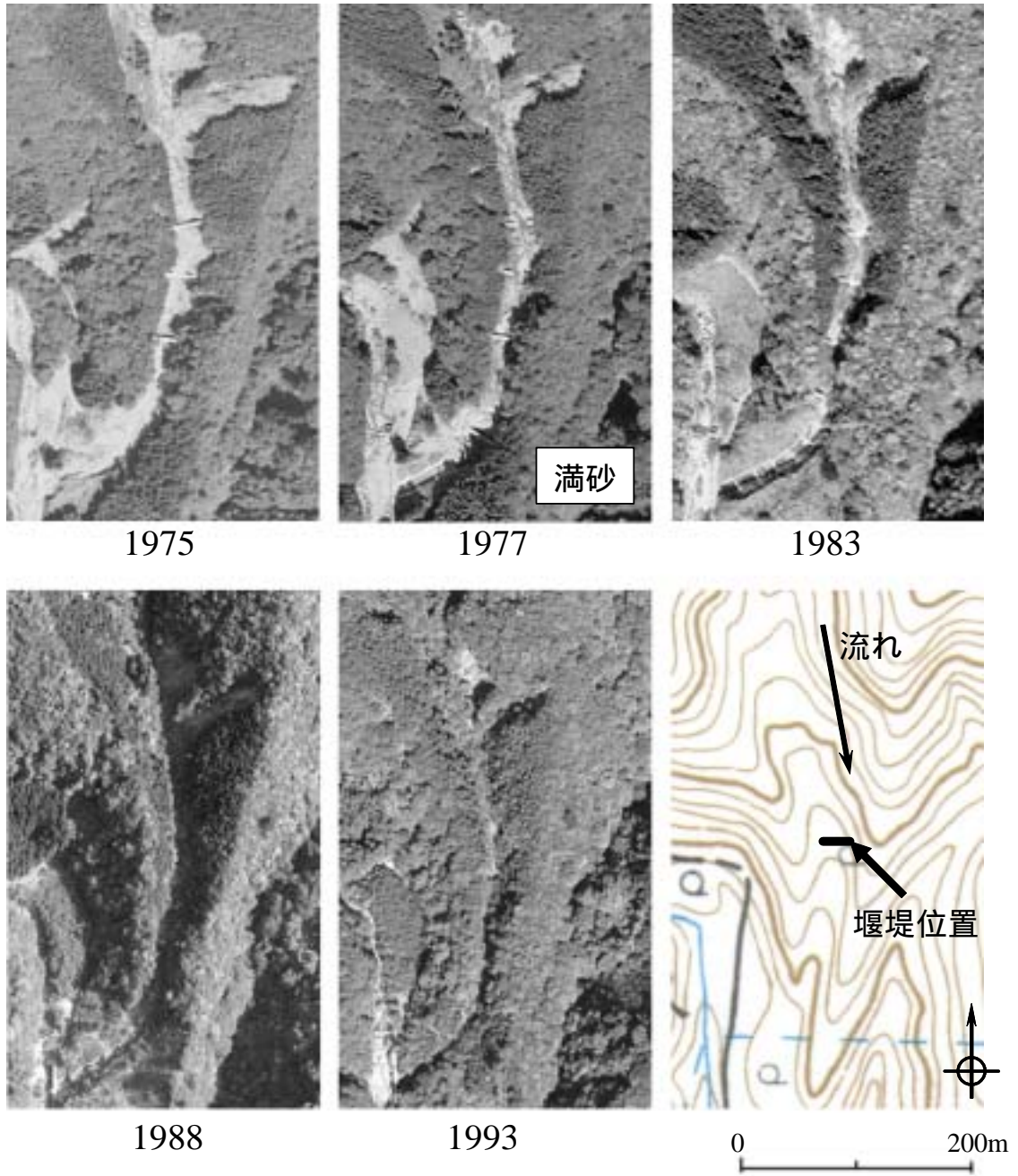


図 - 15 44 - 21 堰堤の経過

44-18堰堤

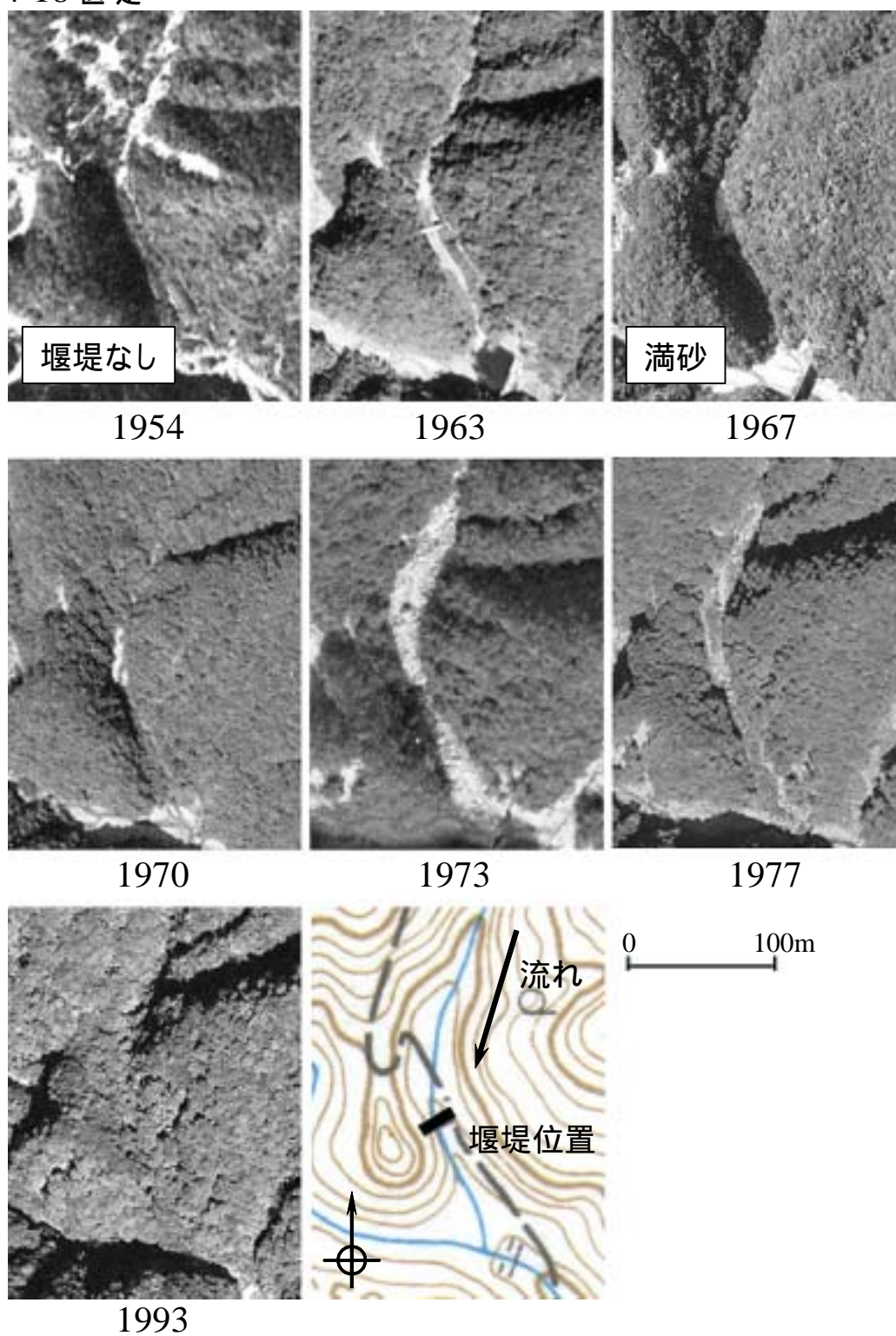


図 - 1 6 4 4 - 1 8 堰堤の経過

44-15堰堤

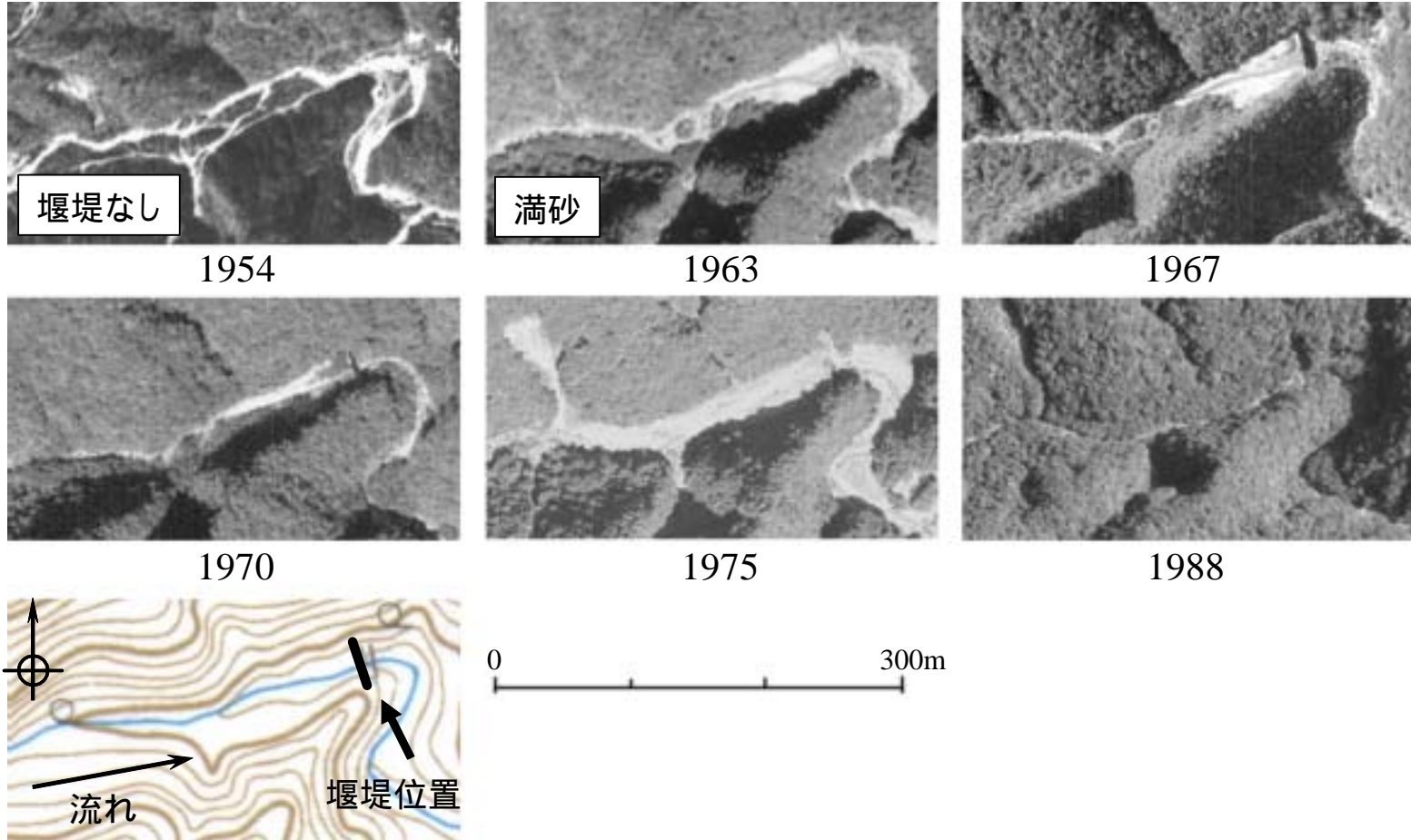


図-17 44-15堰堤の経過

湯ノ沢下流堰堤

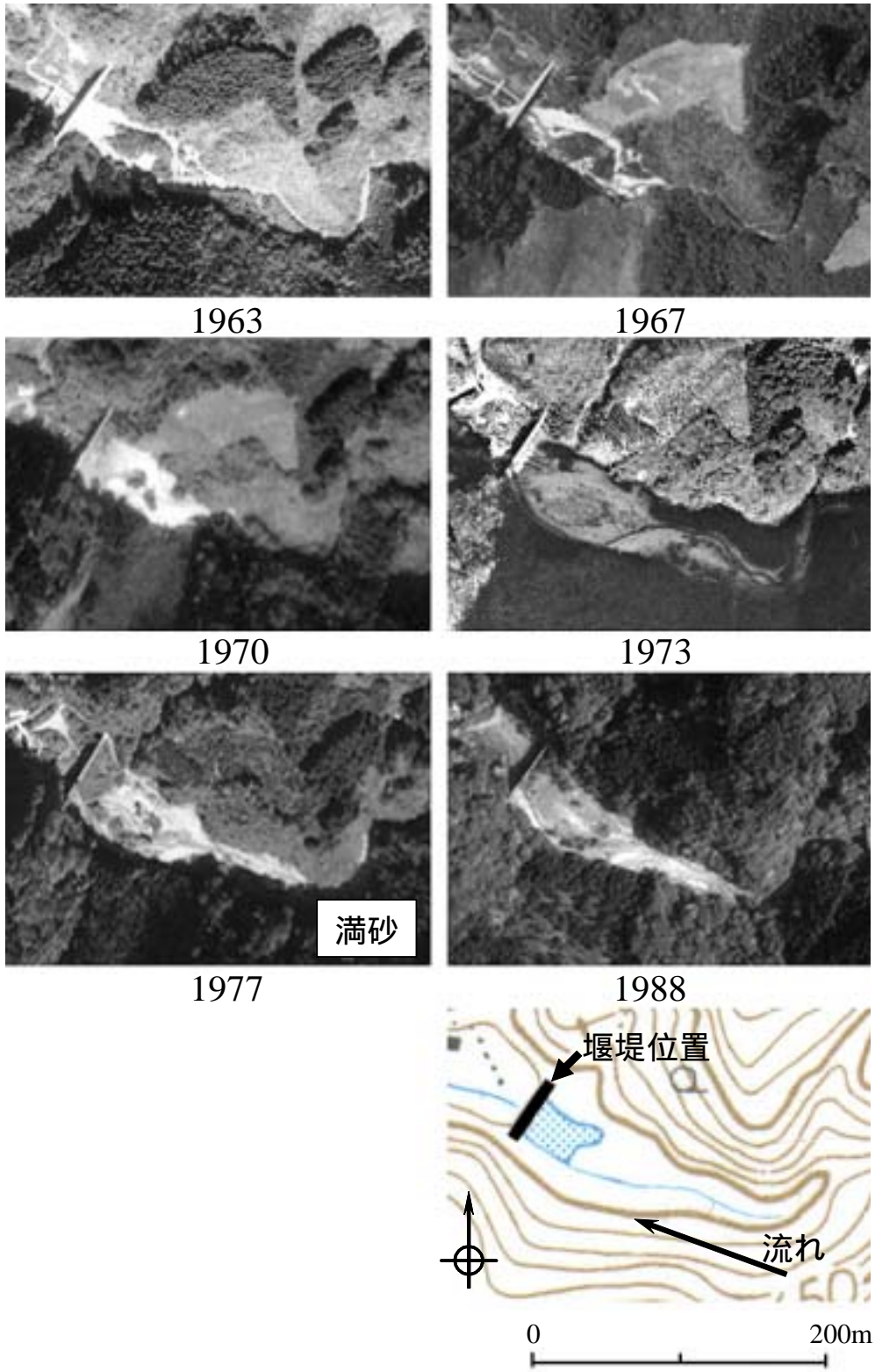


図 - 1 8 湯ノ沢下流堰堤の経過

53-23堰堤

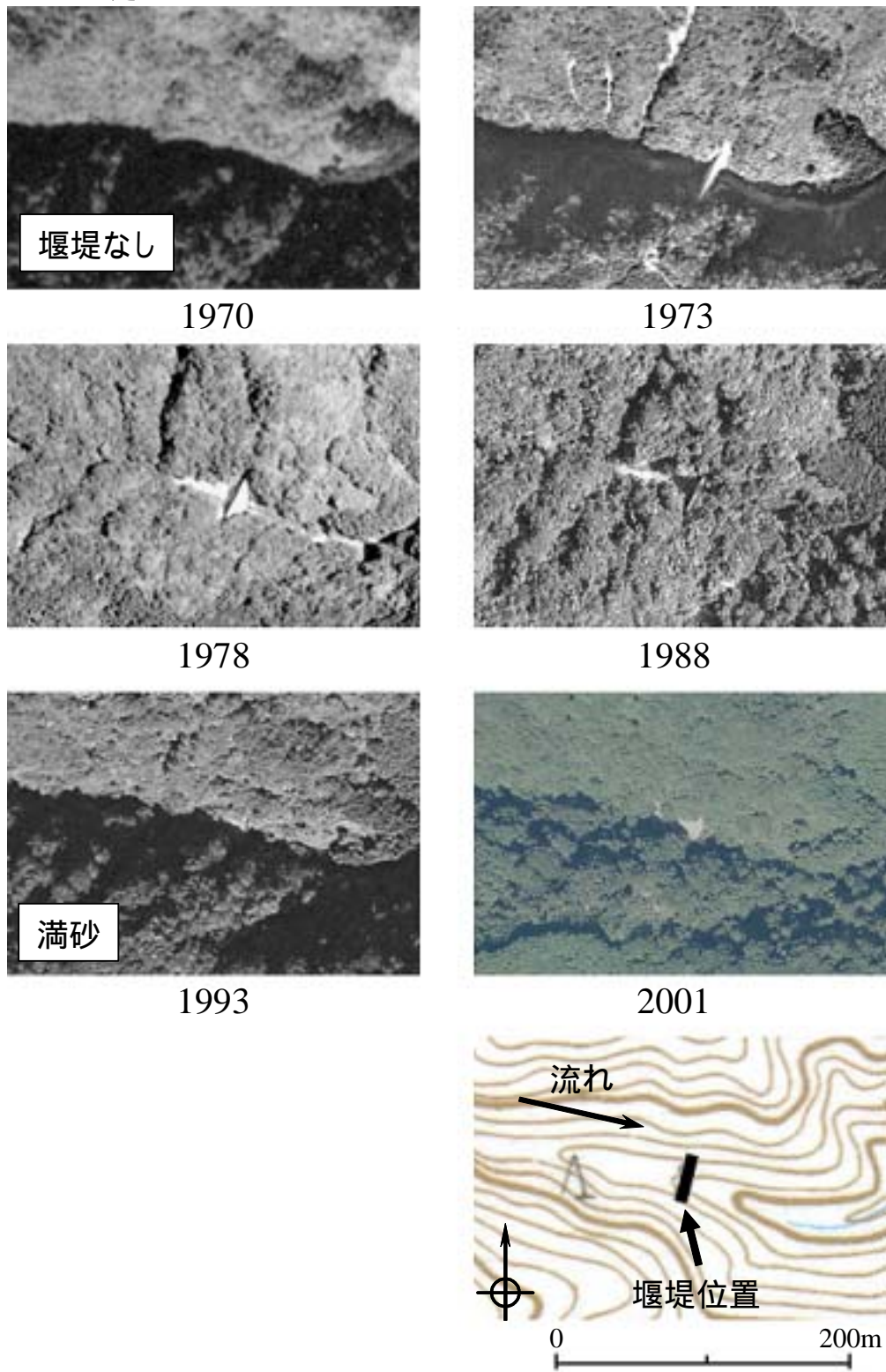


図 - 19 53 - 23 堰堤の経過



# 53-18堰堤

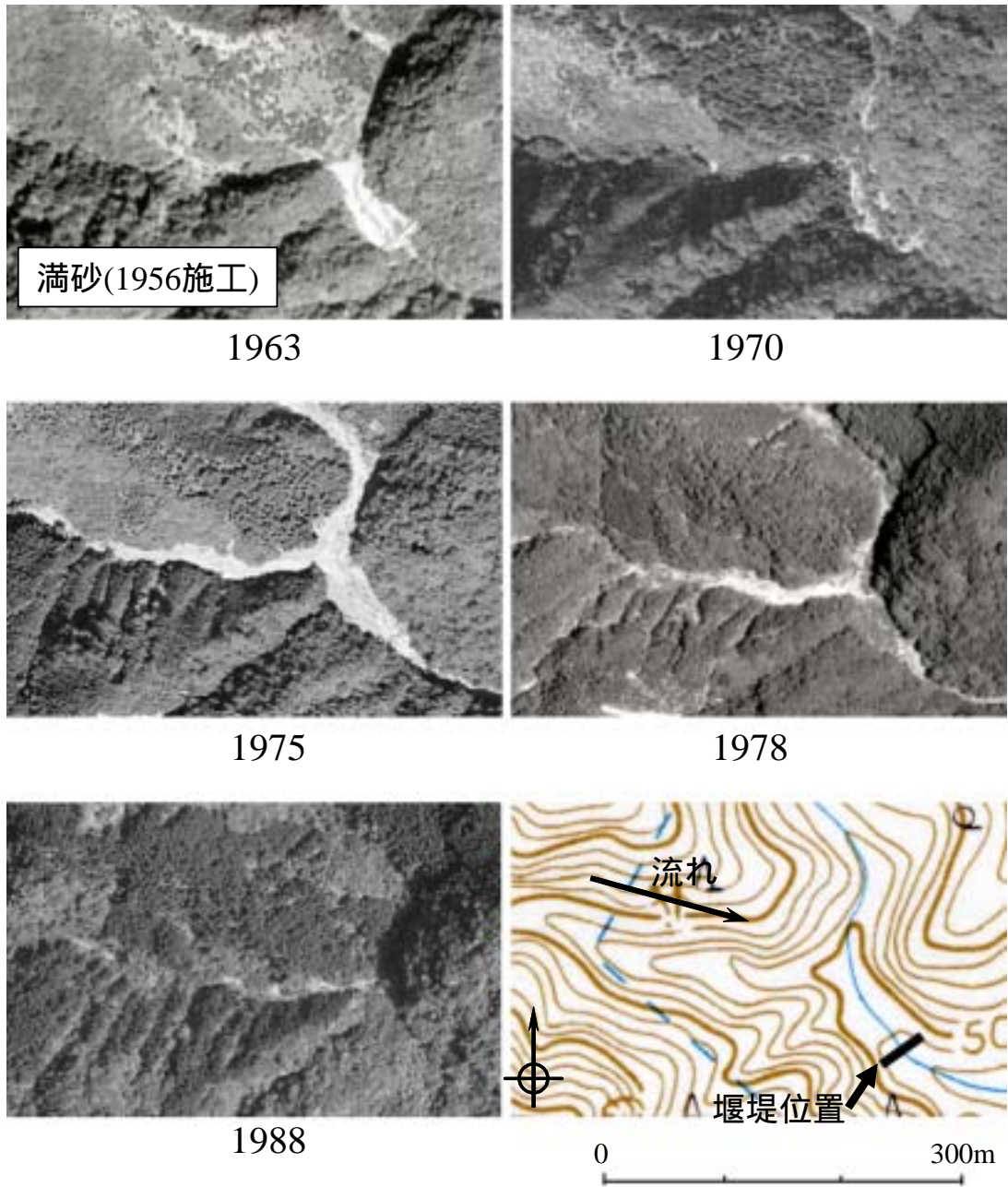


図 - 20 53 - 18 堰堤の経過

### 堰堤貯砂容量の推定

貯砂容量が不明の堰堤については、前述のように(1)式を用いて貯砂容量の推定を行った。(1)式の妥当性を検討するために、貯砂容量が既知の堰堤についても(1)式を適用し、推定された貯砂容量と既知の貯砂容量の比較を行ったのが図-21である。

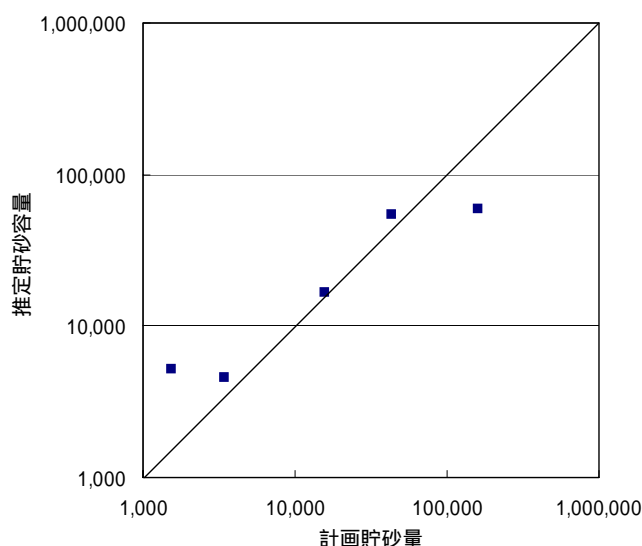


図 - 2 1 既知の貯砂容量と(1)式による推定値の比較

図-21から、既知の計画貯砂量と推定した貯砂量は比較的良好に対応しており、式(1)を用いて推定した貯砂量を計画貯砂量として解析に用いた。

### 河内川(中川川)流域内における土砂流出(生産)分布

ここまでの結果を総合して各堰堤流域の流出土砂量の推定を行った結果を表-5に示す。異なる面積の流域間で比較するために、流域毎の土砂流出量(生産量)は浸食深で示している。

表 - 5 各堰堤流域において推定された年浸食深

堰堤名(番号)	施工年(年)	流域面積(km <sup>2</sup> )	貯砂量(m <sup>3</sup> ) (灰色は推定値)	満砂までの 年数	空隙率考慮 MAX(mm/y)	空隙率考慮 MIN(mm/y)
1 31-3	1970	2.07	1515	3	0.171	0.171
2 31-33	1974	0.13	33333	3	59.829	59.829
3 室窪沢(41-13)	1977	2.51	1075	6	0.050	0.050
4 42-77	1977	0.13	347	6	0.622	0.622
5 東沢(仮)	1964-67	1.89	106667	7-9	5.644	4.390
6 東沢中流	1967	3.01	200000	6	7.752	7.752
7 西沢下流	1963	2.86	43000	10	1.052	1.052
8 51-31	1977	0.24	800	6	0.389	0.389
9 板小屋上流	1979	0.99	15680	4	2.772	2.772
10 オイダン沢(仮)	1974-76	0.44	800	1-3	1.273	0.424
11 44-21	1974	0.32	4000	3	2.917	2.917
12 44-18	1955-63	0.59	1500	5-12	0.356	0.148
13 44-15	1955-63	2.37	5400	1-8	1.595	0.199
14 湯ノ沢下流	1959	1.51	65000	18	1.674	1.674
15 小塚2号(53-23)	1970-72	0.38	1000	21	0.088	0.088
16 53-18	1956	1.39	10000	7	0.719	0.719

表 - 5 の堰堤の流域面積の総和は 20.83km<sup>2</sup> であり、河内川(中川川)流域面積(39.1 km<sup>2</sup>)の 53%を占める。したがって、ここで推定された土砂流出の分布は河内川流域全体の特徴を反映していると期待できるだろう。なお、31-33 堰堤流域において推定された年浸食深は約 60mm と非常に大きな値となっている。31-33 流域は最上流部に位置する狭い流域で、大規模な崩壊が発生した場合など、この程度の浸食深も生じる可能性はあるが、今後現地調査などで流域の状態を確認する必要があると考えている。

面積の違いを考慮した上で、表 - 5 の各堰堤流域の土砂流出量から平均浸食深を算出すると最大値で 2.75mm/year (2.39mm/year)、最小値で 2.45mm/year (2.09mm/year) となる(カッコ内の値は、31-33 堰堤での値を除外して算出したもの)。表 - 1 で示した河内川(中川川)流域の浸食深(2.03mm/year)と比較して同程度の値に収まっており、堰堤流域が河内川(中川川)流域の 53%を占めることと合わせて、本調査で用いた手法による土砂流出分布の推定結果は妥当なものであったと言えるだろう。堰堤流域が本流での土砂流出を取り扱っておらず、(土砂生産減でありダム堆砂データより大きな値を取ると予想される)斜面での土砂生産をより反映していると考えられることや、満砂時期の幅によって推定値が(現在の推定値より大きな値となるように)変動すること、ダム堆砂の時期と航空写真から読み取った堆砂時期が厳密に重なっていないことなど、正確な土砂流出量を堰堤流域とダムデータの間で比較する際には、さらに詳細な検討が必要になると思われるが、本調査で目的とする「土砂流出量の流域内分布」を相対的な値の大小で比較するにあたっては十分な結果が得られたと言える。

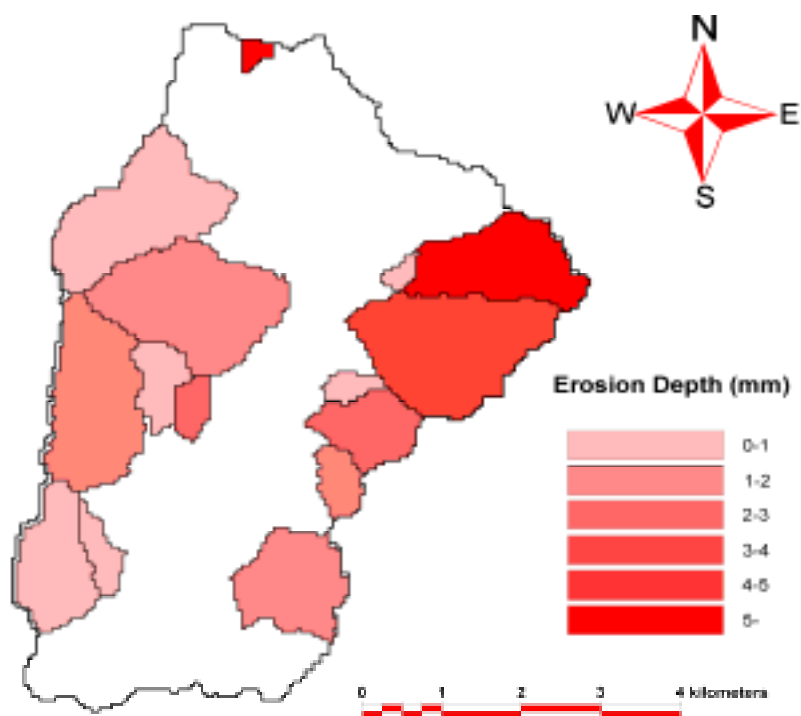


図 - 2 2 河内川流域内の浸食深分布

表 - 5 の結果を、流域内における分布図で示したのが図 - 22 である。一般に森林流域からの流出土砂量は 0.02mm/year ~ 0.2mm/year とされているのに対して、河内川（中川川）流域内には 0.2mm/year を下回る堰堤流域は、31-3, 室窪沢(41-13), 小塚 2 号(53-23) と数少なく、それらは流域西部に存在している。一方、東沢（仮）や東沢中流、や板小屋上流などの浸食深が 2mm を越えるほど大きな流域が流域東部に集中していることが分かる。東沢中流堰堤流域の浸食深に対して数分の一 ~ 数十分の一以下の流域も多く存在し、河内川流域内での土砂流出 / 生産量が大きくばらつくことが分かる。このことは、流域の条件や特性の違いによって、土砂流出量が大きく変わることを示しており、流域内の土砂分布を求めた上で流域条件の違いとの対応関係を比較する、という本調査の方針は、丹沢山地からの土砂流出の要因を検討する上で有効であると考えられる。

詳細については次年度以降検討を行うが、現段階で明らかになっている河内川流域の崩壊についての知見をもとに、流域内の土砂流出量分布について考察する。水・土チーム内の成果として、1923 年（関東大震災後）、1967 年、1978 年、1988 年、1999 年と長期にわたる河内川流域内の崩壊発生履歴が明らかになっている。大きな土砂流出量が確認された流域東部では、1923 年に大面積崩壊が発生しているが、それ以降は顕著な崩壊は発生しておらず、崩壊は主に流域西部で発生していた。本調査より、ダム堆砂の経年変化が比較的一定であること、航空写真の時系列変化から確認された（ダム堆砂に先行する）堰堤流域での土砂流出がダム堆砂とほぼ同程度であったこと、S47 災後の東沢からの激しい土砂流出が主に堆積物起源であるとの報告があること、などを総合すると、土砂流出分布は崩壊発生に対応しているが、一時的な崩壊発生に対応するのではなく、長期の崩壊発生履歴と対応している可能性がある。すなわち、各堰堤流域から流出する土砂は、かつて崩壊発生時に河道付近に堆積した土砂が以降の出水時に漸次流出していると理解することができる。東沢堰堤流域などでは、関東大震災時の崩壊の際に生じた移動可能土砂が現在にわたるまで影響を及ぼしている可能性があり、そうであれば、流域内での土砂流出分布を検討するにあたって、崩壊の長期履歴を追跡するなどが重要であると言えよう。一般に、崩壊地は比較的短期間で植生侵入などによって回復しているように見えるが、その影響が長期にわたって土砂流出に影響を与えることによって、崩壊履歴が土砂流出に関する流域特性を決定している可能性がある点が興味深い。

### 3. まとめと今後の予定

本年度の調査の結果として以下の項目が明らかとなった。

- ・ダム堆砂データから求めた河内川流域内の土砂流出量は、経年的に顕著な変化を生じず、平均して 2.03mm/year であった
- ・河内川流域において、堰堤の満砂までに要した期間を用いることによって、流域内の土砂流出分布の推定を行った
- ・用いた堰堤の流域を集計すると流域の 53%と十分な面積を持ち、推定された浸食深の平均値が 2.09mm/year ~ 2.75mm/year（範囲は推定条件による）と河内川流域全体の浸食深と近い値になることから、本調査で推定された流域内の土砂流出量分布は妥当であると考えられる
- ・推定結果から、土砂流出量のばらつきが非常に大きいことが明らかになり、特に流域東部からの土砂流出量が大きいことが示された

次年度は以下の項目について検討を行い、結果として、丹沢山地において生じる土砂流出がどのような要因によって引き起こされるのかを示す。

- ・本年度調査で得られた土砂流出量分布と、流域内における地形量、植生、崩壊地の各要素の分布との対応関係について検討を行い、丹沢山地で土砂流出を引き起こす要因について明らかにする
- ・上記検討で得られた丹沢山地での土砂流出の要因について、航空写真や地図から時系列変化を読み取り、丹沢山地における長期の土砂流出特性について推定する

#### 4. 引用文献 (文中の赤字部についてチェック. 昨年より減ってるはず)

- 相浦英春, 嘉戸昭夫, 長谷川幹夫 (1996) ブナ林の皆伐および針葉樹の造林が行われた多  
雪山地における表層崩壊の発生過程, 日本林学会誌, Vol.78, No.4, p.398 - 403
- 秋谷孝一 (1979) 治山の調査設計と航空写真, 森林航測, 125, p.3 - 8
- 芦田和男, 高橋保, 道上正規 (1983) 河川の土砂災害と対策. 森北出版.
- 藤原滉一郎 (1970) 航空写真による林地崩壊に関する研究, 北海道大学農学部演習林報告,  
第 27 巻, 第 2 号, p.297 - 345
- 藤原治, 三箇智二, 大森博雄 (1999) 日本列島における浸食速度の分布. サイクル機構  
技報. No.5, p.85-92.
- 日浦啓全 (1991) 山地流域における土砂移動に関する研究 砂防ダムの堆砂量の推移から  
みた流域内の土砂移動の実態について, 高知大学農学部演習林報告, 第 18 号, p.21  
- 35
- 日浦啓全, 海堀正博, 末峯章, 里深好文, 堤大三 (2004) 2004 年台風 10 号豪雨による徳  
島県木沢村と上那賀町における土砂災害緊急報告(速報), 砂防学会誌, Vol.57, No.4,  
p.39 - 47
- 神奈川県 (1998) 平成 9 年度三保ダム堆砂対策砂防計画調査報告書
- 建設省河川局監修 (1997) 建設省河川砂防技術基準(案)同解説計画編, 山海堂
- 牧野道幸 (1969) 空中写真と災害, 森林航測, 76, p.7 - 9
- 宮崎洋三, 大西外明 (1998) 貯水池の堆砂実績から見た流域の土砂流出についての研究.  
水文・水資源学会誌. 第 11 巻, 第 1 号, p.22-30.
- 宮崎洋三, 大西外明 (1994) 貯水池堆砂量の経年変化と比堆砂量に関する考察. 土木学  
会論文集. No.497, -28, p.81-90.
- 中越信和, 前河正昭 (1996) 75 年を経過した砂防植栽地におけるニセアカシア林の動態,  
森林航測, 179, p.10 - 13
- 日本林業技術協会 (2001) 森林・林業百科事典, p.94
- 西尾元充 (1964) 空からはかる, 技報堂, p.62 - 68
- 沼本晋也, 鈴木雅一, 長友幹, 蔵治光一郎, 佐倉詔夫, 太田猛彦 (1999) 航空写真を用い  
た崩壊地植生回復過程の検討 - 1970 年房総南部集中豪雨による崩壊跡地の 25 年間の変  
遷 -, 砂防学会誌, Vol.52, No.2, p.14 - 20
- 沼本晋也 (2000) 森林斜面における表層崩壊の動態に関する研究 東京大学千葉演習林に  
おける 1970 年豪雨事例を中心として, 東京大学大学院農学生命科学研究科 博士論文,  
p67 - 69
- Ohmori, H. (1978) Relief Structure of the Japanese Mountains and their Stages in  
Geomorphic Development. Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, No.10
- 佐藤直志 (1974) 空中写真の性質, 森林航測, 105, p.2 - 7

- 清水収，新谷融（1998）治山・砂防ダムの堆砂を用いた土砂流出速度の広域計測，平成 9 年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）研究成果報告書「森林時空間情報解析による流域変動履歴に関する研究」，p.30 - 38
- 鈴木雅一（2001）黒部川上流，廊下沢崩壊地の推移 航空写真を用いた崩壊発生後 25 年間の変化の検討 ，砂防学会誌，Vol.54，No.2，p.13 - 18
- 鈴木雅一（2002）航空写真による最近 57 年間の丹沢山地北部の崩壊地と森林の変遷，砂防学会誌，Vol.54，No.5，p.12 - 19
- 鈴木雅一（2002）航空写真で見る日本の森林の変貌，（社）日本治山治水協会，森林の公益的機能 新解説シリーズ 第 2 巻
- 高橋宏治（1967）治山調査における航空写真の判読利用について，森林航測，63，p.6 - 10
- Yoshikawa, T.( 1974 )Denudation and Tectonic Movement in Contemporary Japan. Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, No.6, p.1-14.