

◆ 特集：大規模土砂災害対策 ◆

# レーザープロファイラーを用いた地震時形成天然ダムの即時抽出手法

小山内信智\* 内田太郎\*\* 伊藤英之\*\*\*

## 1. はじめに

2004年10月23日17:56頃に発生した新潟県中越地震では、信濃川水系魚野川右支川の芋川流域において、1つの川筋に複数の天然ダムが生じた。これらのうち、特に東竹沢地区で生じた天然ダムは規模が大きく、河道閉塞発生地点の上流側に湛水が生じ、家屋への浸水被害も生じた<sup>1)</sup>。さらに、道路網が地震により寸断されたため、地上踏査から天然ダムの形成箇所を全貌を明らかにすることが困難であった。

大規模な天然ダムの決壊は、下流域に甚大な被害を及ぼすことがあることから<sup>2)~4)</sup>、その形成時においては、迅速な災害状況の把握と対策の決定、および実行が不可欠である。天然ダムの発生箇所の把握手法として、地上踏査以外に、ヘリコプター等による空からの目視による確認、空中写真による判読などがあげられる<sup>5)</sup>。いずれの手法も有効であると考えられるが、天然ダム形成直後の湛水が進んでいない段階においては、これらの手法による抽出には、目視、抽出する人の経験に負うところが大きく、困難である場合がある<sup>6)</sup>。

一方、近年、災害直後の地形変化を把握するため、航空レーザー測量による地形データ取得手法が確立され、実際の災害現場で用いられることが多くなった。これまでも航空レーザー測量データ

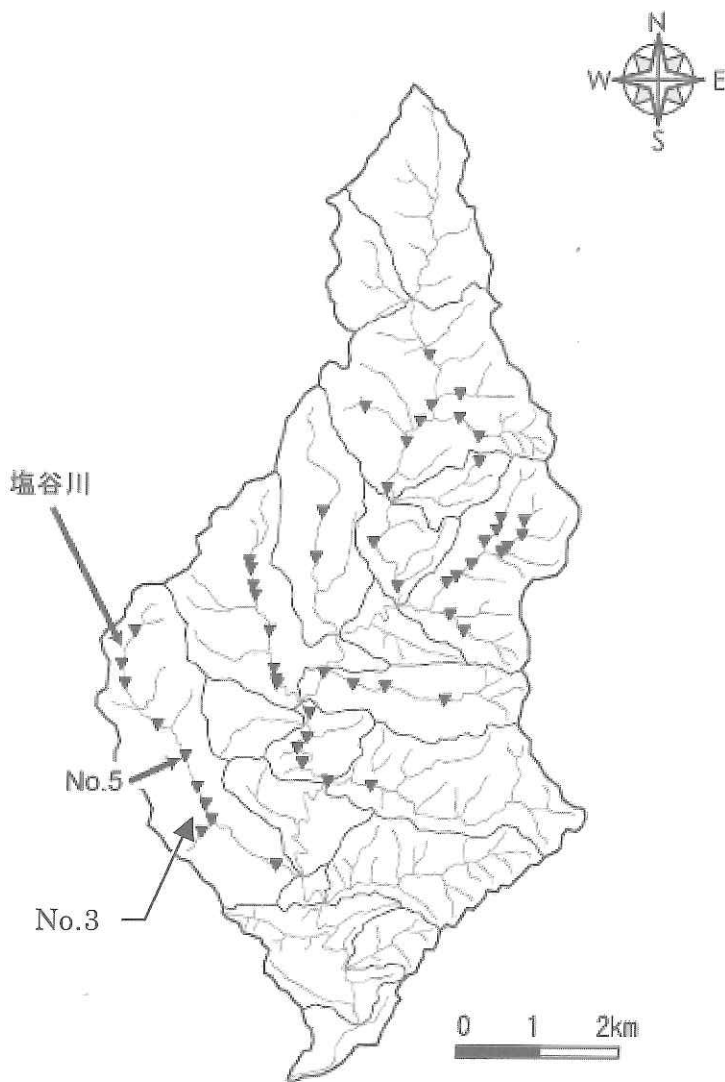


図-1 検討対象流域と河道閉塞箇所抽出図  
(黒三角は河道閉塞箇所を示す)

により、天然ダム形成箇所の抽出の可能性が指摘されてきた<sup>7)</sup>。

本研究では、新潟中越地震発生直後(2004年10月28日)に取得したレーザープロファイラーデータ(以下、LPデータ)を用いた、河道閉塞箇所の即時自動抽出手法について検討する。

Real time Extraction Method for Natural dam Formation Triggerred by Earthquake, Using the Lazar Profiler Surveying.

## 2. 天然ダム形成箇所の航空レーザー測量結果

ここでは、芋川左支川の塩谷川におけるLPデータを用いた天然ダム形成箇所の測量事例について検討する。

塩谷川の流域では、10箇所もの天然ダムが生じており、そのうち2つ（図-1中のNo.3およびNo.5）は、斜面の深層崩壊によって形成されたものと考えられ、その閉塞規模も比較的大きい。

図-2に、No.3の天然ダム形成箇所における地震直後、約1ヶ月後の空中写真を示す。地震直後の10月24日に撮影された空中写真では、天然ダム形成箇所の上流側に顕著な湛水は認められず、天然ダムは明瞭ではない。一方、地震から約1ヶ月後の11月26日に撮影された空中写真では顕著な湛水域が認められ、容易に天然ダム形成箇所を抽出することができる。

図-3に、No.3の天然ダム形成箇所におけるLPデータから作成した縦断面図を示す。図-3より、天然ダム上流側で顕著な逆勾配区間がある。11月26

日の縦断面図からは、天然ダムの下流側において、侵食・堆積による地形変化が見られるものの、天然ダムの天端の標高は10月29日と比較して、ほとんど変化していないことがわかる。しかし、湛水の影響のため、天然ダムの上流側で顕著な逆勾配は見られず、ほぼ水平な区間が見られるのみであった。

## 3. 天然ダムの即時抽出法の検討

### 3.1 自動抽出手法

図-3に示したとおり、天然ダム形成箇所では、上流側の湛水が生じるまでは、縦断面図に顕著な逆勾配が見られると考えられる。そこで、本研究では、取得されたLPデータを用いて縦断面図を作成、河道沿いの「逆勾配」を自動抽出することにより、天然ダム形成箇所を把握することとした。

まず、1mメッシュで取得されたLPデータから2m等高線を出力した上で、谷線を引き、谷線沿いの縦断面図を作成した。その上で、縦断面図上で逆勾配箇所を自動的に抽出した。

ここで、「逆勾配」は、上流測定点と下流測定



2004/10/24



2004/11/26

図-2 地震発生直後と約1ヶ月後の空中写真の比較（グラビアP.3参照）  
（約1ヶ月で湛水が進行しているのがわかる）

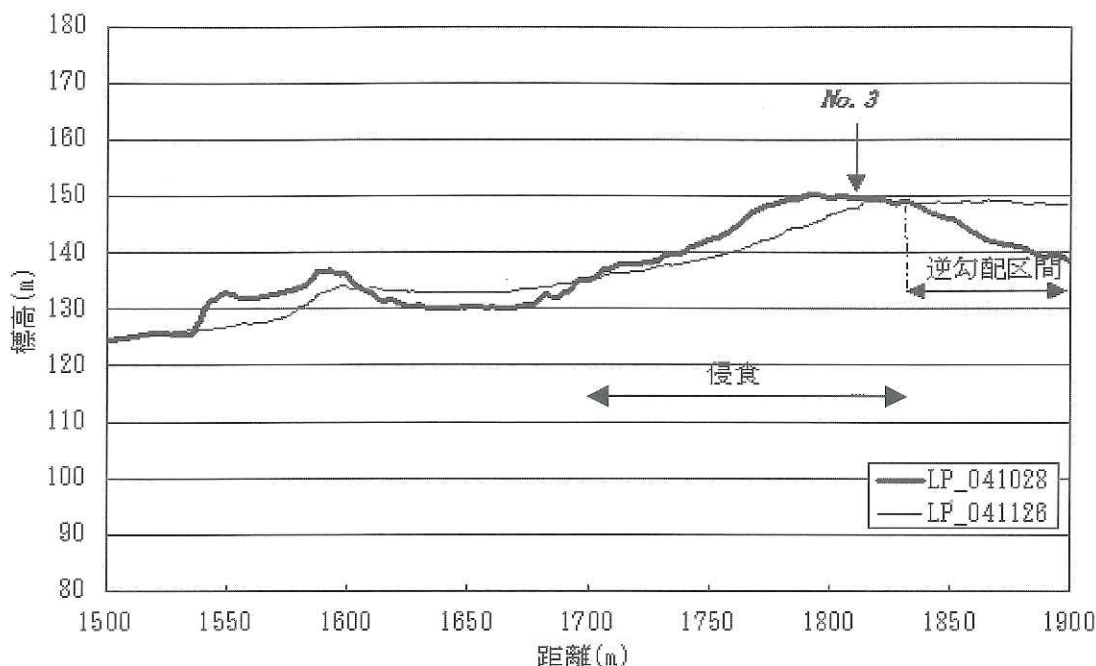


図-3 LPデータから作成した地震発生直後(2004年10月28日)と約一ヵ月後(2004年11月26日)の縦断比較

点の標高差 ( $z$ ) が基準標高差 ( $dz$ ) より大きい場合と定義した。なお、上流測定点と下流測定点の水平距離 ( $x$ ) は10、20、50、100m、 $dz$  は1、2、5、10mとして、16通りの抽出条件 ( $x$ 、 $dz$ ) について、自動抽出の精度について検討した。本方法の概念図を図-4に示す。

### 3.2 手法の妥当性の検証

#### 3.2.1 使用したデータ

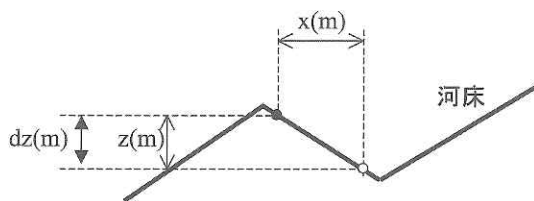
本研究では、新潟県中越地震で天然ダムが数多く形成された芋川流域全域を対象とした。使用したデータは2004年10月28日のものであり、1mメッシュで得られた1ピクセルあたり20cmの解像度を有する。

#### 3.2.2 検証方法

本研究では、2004年10月28日あるいは11月26日に撮影された空中写真判読から顕著な湛水が確認された箇所を、「天然ダム形成箇所」とした。同手法で抽出された「天然ダム形成箇所」は51箇所であった(図-1)。

3.1で示した抽出条件で抽出された箇所のうち、「天然ダム形成箇所」を「正答」、「天然ダム形成箇所」以外の箇所を「誤抽出」、「天然ダム形成箇所」のうち、3.1で示した手法で抽出できなかった箇所を「抽出もれ」とした。

#### (a) 天然ダムとして抽出



#### (b) 天然ダムとして抽出されない

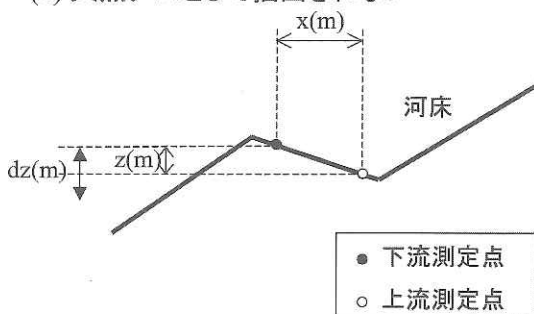


図-4 天然ダムの即時抽出の概念図

#### 3.2.3 検証結果

抽出結果を表-1に示す。正答数は基準標高差 ( $dz$ ) に強く影響を受け、 $dz$  が1mの場合に正答率 (正答数を正答数と抽出もれ数の和で除した値)

表-1 抽出結果

dz	1m				2m				5m				10m				
	x	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m	100m
正答		26	23	24	20	14	17	17	14	2	4	7	7	0	1	2	2
抽出漏れ		25	28	27	31	37	34	34	37	49	47	44	44	51	50	49	49
正答率		0.51	0.45	0.47	0.39	0.27	0.33	0.33	0.27	0.04	0.08	0.14	0.14	0.00	0.02	0.04	0.04
誤抽出		91	78	41	16	17	16	10	6	0	1	0	0	0	0	0	0

が40～50%程度であったが、dzが5m、10mの場合には正答率は概ね10%以下であった。

誤抽出数はxおよびdzの両方に依存していた。dzが1mの場合、16～91箇所の誤抽出が見られたが、dzが5m以上になると、ほとんど誤抽出は見られなかった。このことから、誤抽出は、高さは1～2m未満の橋などの構造物等が影響していると考えられる。

一方、正答率が最も多いケースはdz = 1m、x = 10mのときで、51%であった。ただし、この条件で抽出した場合、誤抽出の数は91箇所になり、正答数の3倍以上であった、また、誤抽出を許さない場合、最も正答率が高いのは「dz = 5m、x = 50m」もしくは「dz = 5m、x = 100m」の場合であるが、正答率は14%程度であった。

3.3 考察

3.3.1 抽出もれの要因の分析

次に、抽出もれの要因について検討する。本手法において理論上抽出できないケースは、以下の3つに分けられる。

- ①上流計測点は天然ダムの一部であり、天然ダムの勾配が緩く抽出できないケース (図-5のケース1)

- ②上流計測点は河床であり、天然ダムの規模が小さいまたは河床勾配が急であり抽出できないケース (図-5のケース2)

- ③上流計測点が湛水域にあり、湛水面と天然ダムの天端の標高差が小さく抽出できないケース (図-5のケース3)

上記の3ケースのうち、ケース3については、塩谷川の例でも明らかなように、LP計測時期が地震直後で、湛水進行以前であれば抽出できた可能性があると考えられる。そこで、本研究では、ケース3で抽出もれとなる可能性がある箇所を検討から除外することにする。

ケース3で抽出もれとなる可能性がある天然ダムは、湛水域がxより大きく、かつ水面の影響で2点の標高差がdz以下の場合に生じる (図-5)。よって、以下の条件を満たす天然ダムを探索することによって行った。

$$(1 - L/L_0) h < dz \quad \text{かつ} \quad x < L_0$$

ここに、Lは湛水長、L<sub>0</sub>は想定湛水長、hは天然ダムの高さで (図-6参照)、Lは空中写真からL<sub>0</sub>及びhはLPの計測結果から求めた。

ケース3で抽出もれとなる可能性がある天然ダムを除外した上で、「正答」、「抽出もれ」を再度

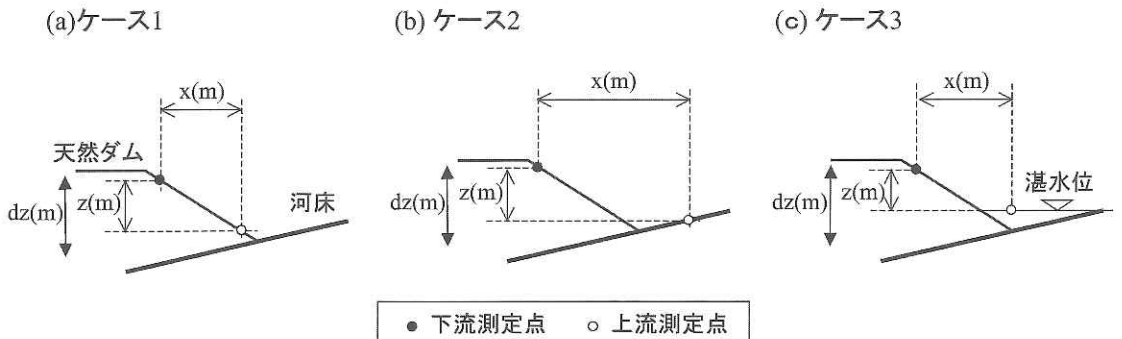


図-5 抽出もれとなるケース

算出した(表-2)。表-2より、ケース3となる可能性のある天然ダムを対象から除外した結果、正答率は上昇した。正答率は、dzが大きくなるに従い小さくなり、dzが1mのとき、52~65%であった。

3.3.2 天然ダムの高さ抽出結果

次に、ケース3で抽出もれとなる可能性のある天然ダムを除いた天然ダムについて、天然ダムの高さ抽出結果の関係を表-3に示した。

20m以上の天然ダムに関しては、dz=2m、x=100mの場合を除き、dzが1、2mの場合、100%抽出できた。一方、dzが5m以上の場合、抽出もれが生じ、dzが10mのとき、正答率は33%以下であった。

高さ10~20mの天然ダムに着目した場合、dzが1mのとき、正答率は50%、2mの場合、正答率は30~40%であった。一方、dzが5m以上では、正答率は33%以下であった。

高さ5~10mの天然ダムについては、dzが1mのとき、正答率は40~80%、2mの場合、正答率

は33%以下であった。また、高さ5m以下の天然ダムは、正答率は33%以下であった。

4. 天然ダムの即時抽出法の提案

天然ダムの即時抽出法の条件としては、

- ①被害が大きくなる可能性が高い、規模の大きい天然ダムを湛水の進行以前に確実に抽出できること
- ②緊急対応を的確に行うために、できるだけ誤抽出が少ないこと

そこで、規模の大きい天然ダムを20m以上とした場合、①の条件を満たすのはdzが1mの4ケースと、dzが2mのケースのうち、xが10~50mの計7ケースである。さらに、この7ケースについて、高さ10~20mの天然ダムの正答率についてみると、dzが1mの4ケースで50%、dzが2mの3ケースで40%であり、比較的差は小さかった。

次に、これら7ケースについて、②の条件について検討する目的で、誤抽出数を比較する(表-1)。

表-2 ケース3となる可能性のある天然ダムを除いた抽出結果

dz	1m				2m				5m				10m			
	x	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m
正答	21	18	20	17	12	14	15	12	1	5	6	6	0	1	2	2
抽出漏れ	12	16	16	24	19	18	20	28	14	14	16	28	8	12	18	32
正答率	0.65	0.58	0.58	0.52	0.40	0.47	0.47	0.40	0.07	0.21	0.43	0.43	0.00	0.14	0.29	0.29

表-3 ケース3となる可能性のある天然ダムを除いた天然ダムの高さ別抽出結果

H	dz	1m				2m				5m				10m			
		x	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m	100m	10m	20m	50m
0~5m	正答	2	2	2	2	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	抽出漏れ	5	6	8	13	6	6	8	14	1	3	5	14	1	3	5	14
	正答率	0.29	0.25	0.20	0.13	0.00	0.14	0.20	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5~10m	正答	8	5	7	4	2	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	
	抽出漏れ	2	5	3	6	7	6	6	6	2	4	5	7	1	3	4	7
	正答率	0.80	0.50	0.70	0.40	0.22	0.33	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10~20m	正答	5	5	5	5	4	4	4	3	0	2	2	2	0	0	0	
	抽出漏れ	5	5	5	5	6	6	6	7	6	4	4	5	1	1	5	7
	正答率	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.30	0.00	0.33	0.33	0.29	0.00	0.00	0.00	
20m以上	正答	6	6	6	6	6	6	6	5	1	3	4	4	0	1	2	2
	抽出漏れ	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	2	2	5	5	4	4
	正答率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.17	0.50	0.67	0.67	0.00	0.17	0.33	0.33

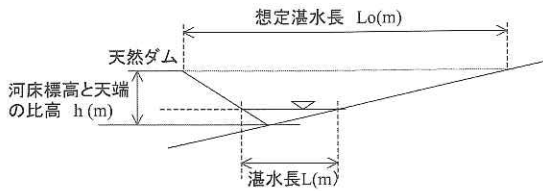


図-6 ケース3となる可能性がある天然ダムの模式図

誤抽出数が最も少なかったのは、 $dz$ が2m、 $x$ が50mのケースで、誤抽出数は10であり、その他のケースに比べて、 $1/9 \sim 2/3$ 以下であった。以上の結果、高さ10m以上の天然ダムを対象とした場合、現時点では、 $dz = 2m$ 、 $x = 50m$ として、逆勾配を探索する手法が天然ダムの即時抽出手法として最適であると考えられる。

## 5. まとめ

天然ダム形成後早期に航空レーザー測量が実施できれば、計測結果を用いて、河道沿いの逆勾配箇所を探索することによって自動的に高さ20m以上の規模が大きい天然ダムは抽出することができた。また、逆勾配を探索するにあたっては、水平距離50mで2m以上の標高差がある逆勾配箇所を天然ダム形成箇所とみなす手法が、規模の大きい天然ダムの抽出が可能な上、誤抽出が比較的少なく、最適な手法であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所 (2005) 平成16年 (2004年) 新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要、国土技術政策総合研究所資料No.24
- 2) 田畑茂清、水山高久、井上公夫 (2002) 天然ダムと災害、古今書院
- 3) 井上公夫、森 俊勇、伊藤達平、我部山佳久 (2005) 1892年に四国東部で発生した高磯山と保勢の天然ダムの決壊と災害、砂防学会誌 Vol.58 No.4, 3-12

- 4) Korup, O., (2002). Recent research on landslide dams-a literature review with special attention to New Zealand. Progress in Physical Geography 26, 206-235.
- 5) 建設省 (1992) 建設省総合プロジェクト、災害情報システムの開発報告書 第III巻基幹施設編
- 6) 水山高久 (2005) 天然ダムによる稼働閉塞とその対応、砂防と治水, 164, 112-114
- 7) 小山内信智、栗原淳一、藤澤和範、花岡正明 (2005) 地震に起因する土砂災害対策の現状と課題、土木技術資料, 47, No.12, 24-29.

小山内信智\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室長、農博  
Dr. Nobutomo OSANAI

内田太郎\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム主任研究員、博 (農)  
Dr. Taro UCHIDA

伊藤英之\*\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室研究官、博 (理)  
Dr. Hideyuki ITO