# 地震時の天然ダムおよび土石流の 発生特性に関する考察

# 常田賢一1

# <sup>1</sup>正会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1) E-mail:tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

2008 年岩手・宮城内陸地震では,地震に伴って発生する地すべりや斜面崩壊を誘因とする天然ダムお よび土石流の発生が地震災害の主要な特徴として着目された.いずれの現象も地震時の災害形態として 認識されているが,既往地震での発生事例が少ないことから,当該地震の事例は貴重であり,その発生 特性を吟味する意義は高い.本研究は,2008 年岩手・宮城地震および既往地震における天然ダムおよび 土石流の発生事例に基づいて,これらの発生特性の検討を行った.そして,2008 年岩手・宮城地震(14 事例)と既往地震(11 事例)の天然ダムおよび土石流(2 事例)の発生要因の分析および要因間の関係 の考察の結果から,地震に起因する天然ダムおよび土石流の発生特性に関する幾つかの知見を得た.

Key Words: Earthquake, Landslide, Slope Failure, Landslide Dam, Natural Dam, Debris Flow

# 1.はじめに

集中豪雨や地震により地すべりや斜面崩壊が発生し, 河道に流入,堆積することにより河道が閉塞されると, 河川水が貯留されて天然ダムが形成される.この天然ダ ムは,上流側に対しては湛水や斜面崩壊,下流側に対し ては決壊による土石流や洪水の危険性があるが,2008 年岩手・宮城内陸地震(以下,岩手・宮城地震と呼ぶ) では地震に起因する天然ダムが多数発生し,地震災害の 特徴の一つとなった.同地震での天然ダムは,国土交通 省東北地方整備局により15地区が報告<sup>1)</sup>されているが, 著者は同データに基づいて,天然ダムの基本的な発生特 性に関する分析を実施している<sup>2)</sup>.

また,天然ダムの既往事例では,田畑ら<sup>3</sup>が井上ら<sup>4</sup>お よび旧建設省中部地方建設局<sup>5</sup>が収集した事例に最近の 事例を追加することにより,約 500 年前から西暦 2000 年までに発生した 29 災害において形成あるいは決壊し た 79 件の天然ダムの既往事例を整理している.また, これらの事例以外では,2004 年新潟県中越地震(以下, 中越地震と呼ぶ)での2事例が報告されている<sup>637</sup>.

一方,集中豪雨や地震により発生した地すべりや斜面 崩壊による土砂が河道に流入し,流下することにより土 石流が発生する.この土石流は山津波と呼ばれるように, 下流側での河岸決壊,河床,家屋等の埋塞の危険性があ るが,岩手・宮城地震では地震に起因する土石流が発生 し,地震災害の特徴の一つとなった.土石流は降雨を誘 因とする事例が大多数であり,地震による事例は少ない.

近年の事例では 1984 年長野県西部地震で発生した事例<sup>®)</sup> があるが,岩手・宮城地震においても顕著な土石流とし て報道されたのは1事例<sup>®</sup>であり,本研究で土石流とし て扱った1事例を加えても2事例にすぎない.

本研究は,天然ダムに関する岩手・宮城地震の15事 例,田畑らの事例から抽出した17事例および中越地震 の2事例の合計34事例を基礎資料として,絞り込みを 行った25事例に関した地震時の天然ダムの発生特性お よび岩手・宮城地震の土石流の2事例に関した地震時の 土石流の発生特性の分析,考察を行った.

2.地震による天然ダムの発生特性

#### (1)対象とする天然ダムの事例

本研究において,基礎資料として検討の対象とした地 震に起因する天然ダムの事例の一覧を表-1 に示す<sup>(),③,④,</sup> <sup>7</sup>.同表において,No.1~No.15 は岩手・宮城地震の事例 であるが,No.13 の荒砥沢は巨大崩壊のために規模等が 明示されていない.また,No.16 およびNo.17 は中越地 震の事例であり,同地震において発生したとされる5事 例のうち,本格的な復旧が実施された代表事例として対 象とした.さらに,No.18~No.34 は田畑らにより整理さ れた天然ダムのうちの地震に起因する17事例である.

同表における「堰止タイプ」と「土砂移動の形態」の 分類は,田畑らの整理を岩手・宮城地震および中越地震 の事例に準用した.ここで,土砂移動形態は岩手・宮城 地震が崩壊,中越地震が地すべりで明確であるが,その

			-				
No.	地震名	地区名等	堰止タイプ	土砂移動の	堰止幅W	堰止長L	堤止土量∨
1		出手 1 · 小河 回 地区			( 11 )	( III ) 60	$(+m^2)$
2	2008年岩手・宮城内陸地 震	石于「、小冲尿地区 出手)、古略々	a		200	700	1 720
2		石于之,仰到之际地区	a	朋场	200	100	1,730
3		石于3 : 槻木平地区 当手4 · 須川地区	a	朋場	120	100	00
4		石于4 . 須川地区 出手「 . 产去川地区	a	朋场	130	260	12 600
5		石于 5 . 准文川地区	a	朋场	200	200	12,000
0		呂城I:坂ト地区	a	朋場	20	08	90
/		呂城2: 浅巾地区	a	朋よ	220	220	300
8			а		200	520	490
9		宮城4:温湯地区	а	朋喂	80	580	740
10		宮城5:湯ノ倉温泉地区	а	崩壊	90	660	810
11		宮城8:湯浜地区	а	崩壊	200	1,000	2,160
12		宮城10:川原小屋沢地区	а	崩壊	170	400	210
13		宮城6:荒砥沢地区	-	-	-	-	-
14		宮城7:沼倉地区	а	崩壊	120	130	270
15		宮城 9 : 沼倉裏 沢地区	а	崩壊	160	560	1 , 190
16	2004年新潟県中越地震	寺野地区	а	地すべり	123	260	303
17		東竹沢地区	а	地すべり	168	320	656
18	- 1586年天正地震	天正・(帰雲山)	а	土石流	700	600	19000
19		天正・(大白川下流)	С	土石流	250	400	1000
20		天正・ ( 大白川上流 )	С	土石流	300	300	1200
21		天正・(庄川下流)	а	崩壊・地すべり	400	750	30000
22	1662年琵琶湖西岸地震	琵琶湖西岸・(町居崩れ)	а	崩壊・地すべり	350	362	24000
23	1683年日光・南会津地震	日光・南会津(五十里)	С	崩壊・地すべり	700	400	3800
24	1707年宝永地震	宝永・大谷崩れ(大池)	С	崩壊・地すべり	500	650	4000
25	- 1847年善光寺地震	善光寺・犀川(岩倉山)	а	崩壊・地すべり	650	1000	21000
26		善光寺・柳久保川(柳久保)	а	崩壊・地すべり	150	250	650
27		善光寺・裾花川(岩下)	а	崩壊・地すべり	300	250	1200
28		善光寺・当信川	а	崩壊・地すべり	250	400	4000
29	1858年飛越地震	立山・鳶崩れ(湯川・泥鱒池)	С	土石流	620	700	12000
30		立山・鳶崩れ(真川)	С	土石流	600	200	400
31	1891年濃尾地震	濃尾地震・根尾西谷川	а		235	250	1800
32	1923年関東地震	関東地震・震生湖	а	崩壊・地すべり	120	200	180
33	1949年今市地震	今市地震・七里	a	崩壊・地すべり	50	100	4.5
34	1984年長野県西部地震	王滝村・御嶽山	a	土石流	7	30	1.2

表-1 我が国における地震に起因する天然ダムの事例<sup>(),3),6),7)</sup>

注1)堰止めタイプ a:谷壁斜面の崩壊による、b:本川上流からの土砂流出による、c:支川上流からの土砂流出による

注2) 土砂移動の形態 「崩壊or地すべり」:谷壁斜面で表層崩壊や地すべりが発生し、崩壊地の直下で堰止め。「土石流」:谷壁斜面 上部や支渓流で表層崩壊や地すべりが発生し、崩積土が流下して泥流・土石流化し、河道をせき止め。 注3)網掛けは検討対象外。

他の既往地震は崩壊と地すべりが区分されていない。

ここで,本研究では崩壊斜面の直下で構築される天然 ダムを対象としたので,34 事例のうちの堰止タイプa, かつ土砂移動形態が崩壊あるいは崩落・地すべりによる 天然ダムとした.従って,検討対象として絞り込んだ天 然ダムは,表-1 で網掛けをした9事例(No.13,18,19, 20,23,24,29,30,34)を除いた25事例である.

(2)岩手・宮城内陸地震における天然ダム

当該地震では,岩手県内の5事例および宮城県内の9 事例が対象となるが,国土交通省東北地方整備局により 天然ダムの規模(堰止長,堰止幅および概算崩落土砂 量)が公表されている<sup>1)</sup>.表-1に規模の諸元を示すが, 概算崩落土砂量は堰止土量とした.これらの14事例の 発生の位置図を図-1に示す.同地震では天然ダムの発生 特性に関する資料として,国土地理院による正射写真お よび地形図が得られており,それに基づいて詳細な分析 を実施している<sup>2)</sup>.ここでは,分析結果のうちの堰止土 量に関して特記し,後述する既往地震における天然ダム を含めた検討,考察の基礎資料とする. 前記分析<sup>2)</sup>では,他の地区と比較して堰止土量が極端 に多い岩手県5の産女川地区を除き,斜面崩壊型に分類 した 13 事例の天然ダムに関して発生規模の特性を検討 している.それによると,斜面崩壊型の場合,堰止長,



図-1 天然ダムの位置図(2008年岩手・宮城内陸地震)1)





堰止幅および堰止土量の関係を線形として,平均値ある いは上限値を(1),(2)および(3)式で定式化している.

【VとLの関係】

平均 V=1.76×L (R<sup>2</sup>:0.906) (1.1) 上限 V=2.5×L (1.2) 【VとWの関係】

平均 V=5.08×W (R<sup>2</sup>:0.535) (2) 【LとWの関係】

上式において,相関が高いのはVとLの関係であり, VとWあるいはLとWの相関は高くない.平均で評価す る場合は(1.1)式が,上限で評価する場合は(1.2)式 が適当であるが,両式は図-2のように図示される.

#### (3)既往地震における天然ダム

表-1 に示した中越地震での 2 事例および田畑らが整 理した 9 事例の天然ダムの特性を検討した.前者の 2 事 例は地すべりによるものであるが,後者の 9 事例は表-1 の土砂移動の形態が崩壊・地すべりとされており,斜面 崩壊型とも地すべり型とも判別ができないので,崩壊・ 地すべり型と呼ぶ.なお,天然ダムの規模の定義につい て,中越地震の 2 事例の天然ダムの最大長および最大幅 は,それぞれ堰止長および堰止幅に対応させた.また, 堰止土量について,中越地震では堰き止め土砂量と地す べり土砂量とが区分されていたが,堰き止め土砂量を堰 止土量とした.

これらの 11 事例について, 堰止土量と堰止長の関係 は図-3 で得られる.同図を両対数の表記としたのは, 既往の天然ダムにおいて堰止土量に大規模なものが多い こと,田畑らの整理方法に準じていることによる.崩 壊・地すべり型天然ダムの平均的な関係は(4)式で定式 化できる.

V = 7 × 10<sup>-7</sup> × L<sup>3.703</sup> (R<sup>2</sup>:0.800) (4) ここに、V:堰止土量(千m<sup>3</sup>),L:堰止長(m) 図-3に示すように、VとLの相関係数は0.800であり、 相関は高い.



図-3 崩壊・地すべり型天然ダムの堰止土量と堰止長の関係 (既往地震:11事例)

(4)地震による天然ダムの発生特性

岩手・宮城地震および既往地震の天然ダムの比較,集約化を行う.まず,図-2 で定式化した岩手・宮城地震の13事例について,図-3 と同様に両対数で表記すると図-4 が得られる.同図から,斜面崩壊型天然ダムについて,堰止土量と堰止長の平均的な関係は(5)式により定式化できる.

$$V = 0.180 \times L^{1.333}$$
 (  $R^2$  :0.862 ) (5)

ここに、V:堰止土量(千m<sup>3</sup>),L:堰止長(m)

次に, 堰止土量の多い岩手県5の産女川地区を加えた 岩手・宮城地震の14事例および既往地震の11事例を合 わせた25事例について, 堰止土量と堰止長の関係は図-5となる. 同図から, 堰止土量と堰止長の平均的な関係 は(6)式により定式化される.

V = 0.008 × L<sup>1.978</sup> (R<sup>2</sup>:0.525) (6) ここに、V:堰止土量(千m<sup>3</sup>),L:堰止長(m)

(6) 式は図-5 の実線であるが, 岩手・宮城地震の 13 事例の(5) 式の点線と既往地震の11 事例の(4) 式の



図-4 堰止土量と堰止長の関係(岩手・宮城内陸地震:13事例)



図-5 堰止土量と堰止長の関係(25事例)

破線とでは分布傾向が異なるので,25 事例全体の相関 は高くない.そこで,堰止長が小さい領域では岩手・宮 城地震のデータが多いことから図-5 の点線により,他 方,大きい領域では安全側の図-5 の破線により代表さ せることとし,堰止土量の単位をm<sup>3</sup>に変えた(7.1)式 と(7.2)式の組み合わせで定式化する.

# 3. 地震による土石流

(1)岩手・宮城内陸地震におけるドゾウ沢の土石流

この土石流は震源に近い東栗駒山の中腹を発生源としたが,国土地理院は土砂崩落の位置,土量,流下経路などについて,地震発生(6月14日)直後の6月15,16日に撮影した空中写真に基づいて詳細に調査し,報告している<sup>10)</sup>.同報告によると,図-6のように土砂崩落は駒の湯温泉の上流約4.8 km地点で,東栗駒山の標高が



図-6 土石流の発生源と流下経路<sup>10)</sup>

1360 mの斜面で発生したとされている.また,崩落土 砂の規模は,長さ約200m,最大幅約300m,最大厚さ約30m,崩壊土砂量約150万m<sup>3</sup>と推定され,この土砂 が最大高低差約190mの斜面を崩落後,土石流となって 駒の湯温泉の地点までの約800mの標高差を一気に流れ 下ったと推察している.

本文では,当該土石流の発生地点および到達地点の条件,つまり両地点の河床勾配に着目した.ここで,河床 勾配は,国土地理院により地震直後に撮影され,公表さ れた正射写真<sup>10)</sup>および地形図<sup>10</sup>に基づいて図上計測によ り算出した.写真-1 は崩壊斜面および土石流の発生地 点付近の正射写真と地形図を重ねたものであるが,土石 流の痕跡が明確に示されている.また,図-7 および図-8 は土石流の発生地点および到達地点の地形図である. 正射写真および地形図の対比により,土砂崩壊の発生斜



写真-1斜面崩壊および土石流の発生地点付近(ドゾウ沢)®



図-7 斜面崩壊および土石流の発生地点付近(ドゾウ沢)<sup>10</sup>



図-8 土石流の到達地点:駒ノ湯温泉付近(ドゾウ沢)<sup>10</sup>

面,土石流の発生地点および到達地点の河床勾配を読み 取った.ここで,土砂崩落の上端の標高は1,360m,土 石流の発生地点は1,200m,到達地点は540m,流下延長 は4.8kmとなり,各勾配は以下の通りである.

> 崩壊斜面の勾配:21.4° 土石流の発生地点の河床勾配:14.8° 土石流の到達地点の河床勾配:5.0° 土石流の発生地点と到達地点の平均河床勾配: 7.8°

(2)岩手・宮城内陸地震における産女川の土石流

天然ダムの発生地区として報告されている岩手5の産 女川地区の正射写真を写真-2に示す.これより,崩壊 土砂は下流部に流下していると判断できるので,本研究 ではドゾウ沢と同様な斜面の崩壊土砂による土石流の発 生地点として考えることにした.

図-9は斜面崩壊地点および土石流の発生地点の正射 写真と地形図の重ね合わせである.図中の2本の直線は 崩壊斜面の勾配を算出するために描いたものであり,両 直線による斜面の平均勾配は25°である.また,図-10 は土石流の流下した範囲の地形図であるが,流下延長は 1.3kmである.図-9および図-10から,崩壊斜面の上端 の標高は1,035m,土石流の発生地点は800m,到達地点 は610mとなり,各勾配は以下の通りである.

> 崩壊斜面の平均勾配:25° 土石流の発生地点の河床勾配:8.8° 土石流の到達地点の河床勾配:4.7° 土石流の発生地点と到達地点の平均河床勾配: 8.3°

(3) 地震による土石流の発生特性

のり面工・斜面安定工指針<sup>11)</sup>によれば,土石流の発生 形態の一つとして山腹崩壊土砂の流動化があるが,ドゾ ウ沢および産女川の土石流は地震時の山腹崩壊土砂の流 出に相当している.また,土石流の発生要件として,急 な勾配,十分な水および移動し得る土砂の三要素が挙げ られているが,本研究では定量的に把握できる河道勾配 の条件について,以下のように推察した.

a)土石流の発生位置

土石流の発生位置の河道勾配は,ドゾウ沢で14.8°, 産女川で8.8°である.前者の崩壊土砂量は150万m<sup>3</sup>,



「写真-2 斜面崩壊および土石流の正射写真<sup>10</sup> (産女川)



図-9 崩壊斜面付近:正射写真<sup>10</sup>と地形図<sup>10</sup>の重ね合せ (産女川)



図-10 土石流のルート(産女川):地形図<sup>10)</sup>

後者の堰止土量は 1,260 万m<sup>3</sup>であり,後者が遙かに多い. しかし,ドゾウ沢では全崩壊土砂が移動し得る土砂とし て 4.8 kmに亘り流出したのに対して,産女川では崩壊 土砂の一部の流出であり,流下延長は 1.3 kmに止まっ ている.ここで,産女川の崩壊位置での河道勾配がもう 少し緩いと流出しなかったと考えると,例えば 8°程度 が崩壊土砂の流出の有無の限界勾配であり,それ以上が 流出ゾーンと考えられる.

ここで,のり面工・斜面安定工指針<sup>11)</sup>によれば,土石 流の多くは勾配が 15°以上の渓床に発生するとされる が,ドゾウ沢はほぼこの範囲にあるものの,産女川はこ れより緩い勾配での発生を示唆している.

b)土石流の流下範囲あるいは到達位置

土石流の流下範囲の下流端における河道勾配は,ドゾ ウ沢で 5.0°,産女川は 4.7°であり,これらの 2 事例 では 5°程度の河道勾配の位置が土石流の到達限界であ る.また,流下範囲の平均河道勾配は,ドゾウ沢で 7.8°,産女川で 8.3°であり,これらの 2 事例では 8°程度の河道勾配の位置が土石流の到達限界である.

これらの結果を勘案すると,岩手・宮城地震では河道 勾配が5°程度あるいは平均河道勾配が8°程度となる 最遠位置が、土石流の到達範囲であったと考えられる.

ここで,のり面工・斜面安定工指針<sup>11)</sup>によれば,土石 流の大半は渓床勾配 10°以下,2°以上の区間で停止堆 積するとされている.この渓床勾配の範囲はやや広いが, 岩手・宮城内陸地震の2事例はこの範囲にある.

### 4.おわりに

本研究は地震時の斜面崩壊を共通の誘因とする天然ダ ムおよび土石流について,最新のデータである岩手・宮 城内陸地震に加えて既往地震も考慮して,発生特性に関 して実施した事例分析である.その結果,事例数として は少ないものの,以下のように幾つかの知見が得られた.

- 1)地震時の斜面崩壊に起因する天然ダムに関して,既 往地震においては11事例が該当すると見なせ,2008年 岩手・宮城内陸地震の14事例は新たな事例と追加でき るが,それらの発生特性に関して以下の知見が得られ た.
- (1-1) 岩手・宮城内陸地震の斜面崩壊型の天然ダムでは, 堰止土量と堰止長の平均的な相関関係は(1-1)ある いは(5)式により定式化できる.なお,堰止土量の 上限は(1-2)式により定式化される.
- (1-2) 既往地震の崩壊・地すべり型の天然ダムでは,堰 止土量と堰止長の平均的な相関関係は(4)式により 定式化できる.
- (1-3) 岩手・宮城内陸地震および既往地震を集約した崩 壊・地すべり型の天然ダムでは,堰止土量と堰止長の 平均的な相関関係は(7.1)式および(7.2)式により 定式化できる.
- 2) 地震時の斜面崩壊に起因する土石流に関して,既往 地震での事例が少ない中にあって,2008年岩手・宮城 内陸地震の2事例は個別事例的ではあるが,土石流の 発生特性解明の貴重なデータであり,それらの発生特 性に関して以下の知見が得られた.
- (2-1) 土石流の発生位置の限界河道勾配は 8°程度であ り,それ以上が土石流の発生ゾーンとなり,15°程度 では崩壊土砂の全量流出の可能性がある.
- (2-2) 土石流の到達範囲は,河道勾配が5°程度あるい

は平均河道勾配が8°程度となる最遠位置である.

謝辞:本研究における 2008 年岩手・宮城内陸地震で発 生した 15 事例の天然ダムの諸データの収集に際しては, 国土交通省東北地方整備局河川部河川工事課の加藤信行 課長および三浦英晃氏の協力を得ている.ここに,紙面 を借りて厚く感謝の意を表する.

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局:直轄砂防災害関連緊急事業記 者発表,平成20年6月19日
- K.Tokida: Natural dams built by sliding failure of slope during the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008, Is-Kyoto, 2009.
- 3) 田畑茂清・水山高久・井上公夫:天然ダムと災害,古今書院,2002.
- 4) 井上公夫・南哲行・安江朝光:天然ダムによる被災事例の 収集と統計的分析,昭和 62 年度砂防学会研究発表会概要 集,p.238-241,1987.
- 5) 建設省中部地方建設局:昭和 61 年度地震後対策調査検討業 務報告書,(財)砂防・地すべり技術センター,pp.119,1987.
- 国土交通省北陸地方整備局:新潟県中越地震-北陸地方整備局のこの一年-,第3章第12節芋川河道閉塞対策,平成 17年12月
- 7) 国土交通省北陸地方整備局:平成16年(2004年)新潟県中 越地震芋川河道閉塞における対応状況,平成16年12月
- 8) 土木研究所:昭和 59 年長野県西部地震被害調査速報,土木 技術資料,第 26巻,第11号,1984.11
- 9) 土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学 会合同調査団:岩手・宮城内陸地震調査速報会,平成20年 6月20日
- 10) 国土地理院 HP: http://zgate.gsi.go.jp/iwate2008/index.htm
- 11)(社)日本道路協会:道路土工 のり面工・斜面安定工指針, pp.21,平成11年3月

# STUDY ON LANDSLIDE DAMS AND DEBRIS FLOWS INDUCED BY EARTHQUAKES

# Ken-ichi TOKIDA

In the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008, landslide dams and debris flows were reported. The landslide dams blocked river channels, and the debris flows occurred severe damages. However both landslide dams and debris flows are typical disasters, the number of case histories on them are little in the past earthquakes. So the landslide dams and debris flows in the above Earthquake are very important to study them for the future.

In this paper, the fundamental properties both on 14 landslide dams in the above Earthquake including 11 ones in the past earthquakes in Japan and 2 debris flows in the above Earthquake were discussed. As a result, several lessons on the properties of landslide dams and debris flows can be obtained.