平成 25 年 10 月伊豆大島土砂災害 における家屋被害状況

BUILDING DAMAGES DUE TO SEDIMENT DISASTER ON IZU OHSHIMA IN OCTOBER, 2013

二瓶泰雄¹・永野博之²・大槻順朗³・焼田航⁴・梶純也⁵

Yasuo NIHEI, Hiroyuki NAGANO, Kazuaki OTSUKI, Wataru YAKITA and Jyunya KAJI

¹正会員 博 (工) 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 博 (工) 八千代エンジニアリング 名古屋支店河川・水工部
(〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦3-10-33)

³正会員 博 (工) 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

⁴非会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (同上)

⁵正会員 修 (工) パシフィックコンサルタンツ(株)

In Oct., 2013, typhoon no.1326 brought heavy rain, which exceeded totally 800 mm and showed 120 mm per hour, in Izu Ohshima. Then huge sediment disaster has occurred in Motomachi area, located at west part of Izu Ohshima. In this study, we clarify building damages due to the sediment disaster. For this, we conducted field survey for building damage and inundation depth in the above area and also performed numerical simulation of mud flow to examine the fluid force on buildings. The results indicated that building damages in mountain and sea sides of the above area were caused by the fluid force of mud flow and channel clogging due to sediment and drift wood, respectively. The range of building damages in the sea-side area was limited 40- 60m from the Ookanazawa channel in the lateral direction.

Key Words : sediment disaster, mud flow, building damage, Izu Ohshima, heavy rain

1. 序論

東京都大島町では、2013年台風26号がもたらした湿った空気の影響で、同年10月16日午前2時ごろから1時間100mmを超える猛烈な雨が数時間降り続き、24時間の降水量が800mmを超える豪雨となった(図-1)。この豪雨により、東京都大島町では、多量の流木を伴う大規模な土石流(泥流)が夜間に発生し、2014年8月25日時点で死者36名、行方不明者3名という甚大な被害が発生した¹⁾。

これを受け、土木学会は地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会と合同で「平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団」を結成し、水工、砂防、地盤、地質などの様々な専門家による災害調査が行われた。その結果として、土砂災害の実態や泥流・流木の流下・堆積特性、土砂災害に係るハード・ソフト対策の効果等を取りまとめた成果報告書が公表されている²⁾。

本報では、大島町元町地区において集中的に生じた家屋被害特性に関する調査結果を報告する。また、家屋流失状況を検討するべく一次元泥流シミュレーションを行い、家屋に作用する流体力の評価指標³⁾を求める。なお、本成果の一部は標記調査団の活動によるものである。

図-1 時間雨量と累積雨量の時系列変化(東京都大島町大島, 2013/10/15-16)

2. 今次土砂災害の概要

(1) 気象状況

2013年10月10日21時にマリアナ諸島近海で発生した台風26号は、中心気圧は930hPa、中心付近の最大風速は45m/sに達する大型で非常に強い台風となった⁴⁾。その後、10

図-2 土砂災害発生地域全体の航空写真^⑥

月16日未明から朝にかけて勢力を保ったまま伊豆諸島や関東地方に接近し、その後、関東地方の太平洋沖を進み、同日15時頃に温帯低気圧になった。この台風26号の影響を受けて、東京都大島町大島では、図-1に示すように、10/16 0時の時点で累積雨量298mmであったが、その後の時間雨量は69.5mm、92mm、118mm、118.5mm、97.5mmと猛烈な雨が明け方まで継続し、総雨量824mmと10月の月降水量の平年値（329mm）の2.5倍に達する雨量が観測された。この大島観測地点は、後述する多くの人的被害が生じた泥流発生エリアに最も近い気象観測所である。なお、今回の豪雨は極めて局地性が高く、大島町大島の観測地点よりわずか4km北側に位置する北ノ山観測地点では、総降雨量は412mmと大島観測地点の半分であった。

(2) 被害の概要

台風26号による土砂災害は東京都大島町各地で見られたが^⑤，特に元町地区周辺の大金沢において大規模な土砂災害が発生した。図-2は大金沢流域における土砂災害発生地域の全体の航空写真を示す^⑥。今回の被災地域は、14世紀に御神火スカイライン上方の割れ目噴火から流出した溶岩及びスコリア丘の分布^⑦と一致している。この水はけが良いと考えられている表層地盤に、局所的に猛烈な豪雨が発生したことにより甚大な土砂災害が生じたものと考えられる。

今回の泥流の経路は、図-2中の緑色の矢印のように、大きく二つ存在する。一つは、神達地区に流れ込んだ経路であり、もう一つは土砂堆積工に流れ込んだ北側の経路である。両方を合わせると、南北約600mの広い範囲から斜面崩壊が発生したことが分かる。火山灰性の地質で

表-1 東京都大島町の被災状況^①

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊			計
				床上浸水	床下浸水	浸水無	
住家	50	11	16	17	46	14	154
非住家	87	17	33	109			246
被災人数	114	23	28	30	100	29	324
被災世帯数	61	12	19	18	55	14	179

図-3 家屋被災状況の分類例

あるため、地質の空間的な変化が少ないことを考えると、これらの斜面崩壊は比較的近い時間に発生した可能性が高いが、起点が異なるため同時に発生して一気に下流に流れたとは考えにくく、数波に分かれて発生したものと考えられる。

今回の泥流による被災状況を表-1に示す^①。このように、住家・非住家共に全壊が顕著となっており、被害の大きさを物語っている。今回の土砂災害の被災人数は合計で324人（179世帯）に達し、これらは島全体の3.9%（世帯数で3.7%）に相当している。

3. 現地調査の概要

本災害における家屋被害を把握するために、後述の図-4に示す神達地区やその海側を調査範囲として、1) 家屋被害調査、2) 痕跡水深・水位調査、という2種類の調査を行った。1) の調査では、対象範囲における住宅地

図を持参し、地図上に記された建物の被害状況を確認し、家屋情報を収集した。ここでの家屋被災状況としては、「全壊」、「半壊大」、「半壊小」、「損壊無」の4つに分類した。被災状況の定義は、津波被災調査^{8)・9)}を参考に図-3に示すように、「全壊」は家屋が流失したもの、「半壊大」は家屋全体が壊れているもの、「半壊小」は破損が部分的か浸水のみのも、その他を「損壊無」とした。次に、2)の調査では、家屋や樹木に残されている痕跡（打撃痕も含む）の高さ（痕跡水深）をスタッフで計測し、一部の地点では合わせてVRS方式RTK-GPS（R4, Trimble製）を用いて現場標高を計測し、その値とスタッフで読み取った痕跡水深から痕跡水位を求めた。これらの調査を2013年12月26、27日に実施しており、発災から2カ月以上たち復旧も進んでいる箇所も多いため、家屋被災状況について過小評価している家屋もあり、今後、他機関の調査結果も踏まえて精査する必要がある。

4. 観測結果と考察

(1) 対象エリア全体の家屋被害状況

図-4は、調査対象範囲全体における家屋被災マップを色分けして表示している。ここでは、泥流の氾濫範囲も合わせて表示している。これより、神達地区において全壊家屋が集中していることが分かる。また神達地区の海側では、大金沢沿いに家屋の全壊や半壊大が記録されて

いる。全壊した家屋の状況としては、図-3に示すように、家屋の基礎や土台のみを残し、それ以外は全て流失していることが分かる。

堆積工に関しては、上流側のスリット工（流木止め）には、流木が多数引っかかっており、堆積工内も満砂状態であった。また、大金沢本川の堆積工では越流が確認されているが、その直下流に密集している家屋のうちわずかに1棟のみ半壊小であり、その他の大部分は被害が生じていない。このように堆積工による流木や泥流トラップはある程度機能しており、その下流被害を大きく軽減していることが分かる²⁾。

堆積工の下流の流路工である大金沢周辺の元町地区では、神達地区よりも狭い範囲で家屋被害が集中して発生している。これは、丸塚橋や元町橋にて流木と土砂による河道閉塞が生じ、泥流氾濫が発生したためと考えられる。これに関連して、流木が橋梁に引っ掛かることによる河道閉塞もしくは河道断面積減少による洪水氾濫は様々な水害で観測されている（例えば、近年では2012年九州北部豪雨災害¹⁰⁾）。そのため、山間部の渓流域で生じやすい流木起源の洪水氾濫を最小化するための橋梁設計の検討が不可欠である。

以下では、被害が集中した神達地区と大金沢沿いに分けて、家屋被災状況を記述する。

(2) 神達地区について

図-4 家屋被災マップ（全体）

図-5 浸水深マップ（上）と浸水深・地盤高の縦断分布（下）

図-6 大金沢沿いの家屋被害の縦横断分布

図-5は調査対象域の浸水深マップと大金沢沿いの浸水深・地盤高の縦断分布を示す。地盤高分布より、神達地区より山側は勾配1/4.6であるが、神達地区やその海側は勾配1/15であり、神達地区は勾配変化点に位置している。浸水深に着目すると、山側における浸水深は大きくて2～4mを記録しているのに対して、神達地区においては最大で6mに達し、海側では2m以下となっている。このように、神達地区では浸水深がピークとなり、これは同地区が勾配変化点に位置しているためであると推察される。なお、これらの浸水深は打撃痕も含んでおり、そのまま泥流の厚さとはならないことに注意されたい。このように、最大の浸水深となる神達地区で家屋流失が生じるほどの流体力が泥流から作用したかどうかを確かめる必要がある。そのための検討を5.の泥流シミュレーション結果を用いて記述する。

(3) 大金沢沿いについて

図-7 地形データ（元町橋(a)）と家屋被害の横断分布（元町橋下流(b), 元町橋からX橋(c), X橋から丸塚橋(d)）

大金沢沿いの家屋被害状況を詳細に検討するために、図-4の家屋被害マップを大金沢に沿って縦断・横断分布としてまとめたものを図-6に示す。図の縦軸は川（大金沢）からの横断方向距離であり、左右岸は分けずに図示している。また、家屋被害状況としては、図-4と同じく全壊、半壊大、半壊小、損壊無として表示している。これより、同区間の三つの橋（山側から丸塚橋、X橋（名称不明）、元町橋）の周囲で家屋被害が横断方向に拡大しており、橋梁での河道閉塞の影響が確認される。また、家屋被害が見られる横断方向の範囲は、半壊大を基準とすると、大きくて40m～60mまでとなる。

この様子をより定量的に検討するために、図-6の区間を3つのエリア（元町橋下流、元町橋からX橋、X橋から丸塚橋）に分け、家屋被害状況を数値化し、各区間の平均的な家屋被害横断分布を図-7に示す。ここでは、家屋被害の損壊無、半壊小、半壊大、全壊を1～4の整数でそれぞれ与え、その生データと5m区間毎の平均値を表示している。図中には、大金沢周辺の地形形状として、元町橋を通る横断方向の地形データを川からの距離にして右岸・左岸別に表示している。平均値として損壊無とな

表-2 土石流シミュレーションの計算条件

代表粒径 d	0.001 (m)
流速係数 ϕ	10.0
流路幅 B	100.0 (m)
時間刻み幅 Δt	0.50 (sec)
空間刻み幅 Δx	50.0 (m)
最密充填濃度 C_*	0.60
河床堆積層厚	0.5 (m)
河床の侵食速度係数	0.001
計算流路延長	1,400 (m)
供給崩壊土砂量	20,000 (m ³)
崩壊土砂の流出土砂濃度	0.60
計算期間	2013/10/16 2時~3時
崩壊開始時刻	2013/10/16 2:30:00
崩壊継続時間	90 (sec)

るのは50m前後であり、それより川側では何らかの被害がある。また、半壊以上となるのは、元町橋下流では見られないが、他の二区間では20~30mとなる。地形としては、川から50m離れると+2mもしくはそれ以上の標高差となる。大金沢沿いの浸水深が概ね2m以下であることを考慮すると、被災範囲と河川脇との標高差の関係は一つの目安となる。これらの結果は、避難行動の目安の一つとなるものであり、河道からの上記範囲内では垂直避難が極めて危険であることを示す。

5. 神達地区の家屋流失状況検証のための数値解析

(1) 数値モデルの概要

4.2 で示したように、神達地区における家屋被害状況の検証のために、泥流シミュレーションを行う。ここでは、図-5 に示す地形条件での泥流の流下特性を把握するために、非定常一次元モデルを用いる。基礎式はTakaoka et al.¹¹⁾と同じく、運動方程式と全相・固相における連続式、河床の侵食速度式とする。このうち侵食速度式は高岡¹²⁾により提案された式を採用する。河床の侵食または堆積の基準となる平衡流砂量は広範な流砂形態に適用可能な流砂量式¹³⁾により決定されるものとし、流砂濃度と断面平均濃度は等しい値をとるものと仮定した。なお、以下では、流路を長方形断面で近似し、側岸侵食は考えない。河床変動については、流砂濃度と平衡流砂濃度の大小関係により、侵食もしくは堆積が決まるものとした。本計算モデルの基本的妥当性は既存研究で示されている¹⁴⁾。

(2) 計算条件

計算に用いる諸条件を表-2 に示す。計算河道は、初期状況の推定が困難であるため、図-5 に示した現地調査結果より、計算断面の河床高を設定した。計算区間は、神達地区の山側から神達地区を通り大金沢を抜けるルートを想定し、下流端は河口から600m (標高約44m)、上流

図-8 最大水深(a)と河床変動高・家屋流失指標(b)の縦断分布

端は同2,000m (標高約200m)とした。また、流路幅は空中写真から図上計測し100mとした。また、後述のように、流路幅を変化させたケースの計算も行い、家屋流失指標の変化について比較・検討した。

境界条件として、上流端に流量、流砂濃度、水深を与えた。残流域からの横流入は微小として無視した。上流端流量には、雨水起源のものに崩壊土を含む流量を加えたものが与えられる。本研究では、上流端において飽和状態にある静止した崩壊土砂量が、ある崩壊流出土砂濃度で崩壊継続時間の間に泥流に変換されると想定した¹¹⁾。ここに、崩壊土砂量は見かけの体積表示である。計算区間上流端の流域面積全域が崩壊したとすれば、崩壊地面積0.114km²、平均崩壊深0.4mであることから、40,000m³を供給土砂量とした。また、既往報告¹⁵⁾における地震計の記録を参考にして、崩壊発生時刻は2:30、崩壊継続時間は90秒間とした。雨水起源の流量は合成合理式より算定した。洪水到達時間は土研式より20分とし、合理式の流出率は0.7とした。上流端水深は等流水深とした。粒径は1.0mm(=0.001m)とした。

(3) 計算結果および考察

一次元泥流シミュレーションにより得られた最大水深の縦断分布を図-8(a)に示す。最大水深は、上流端から下流にいくと増大し、河口からの距離1,000m地点付近で最大となる。図-8(b)は、計算終了時の河床変動高と家屋流失指標³⁾ $u^2 h^2$ の最大値の縦断分布を示す。この $u^2 h^2$ は、家屋への単位幅あたりの流体力($\propto u^2 h$)と水深 h の積であり、家屋へのモーメントを表す指標である。これより、

図-9 泥流の流下幅 B を変化させた場合における家屋流失指標の縦断分布

土砂の一部を残して流下した泥流は、縦断勾配の変化点に向けて堆積深が増加傾向になり、河口からの距離1,300m付近で大きく堆積する。家屋流失指標 $u^2 h^2$ の最大値は、ほぼ一定の値を示した後、縦断勾配の変化点から逡減した。田中ら³⁾が提案する家屋流失指標の閾値 $34[\text{m}^4/\text{s}^2]$ に着目すれば、神達地区より海側である河口からの距離1,300mより下流ではこの閾値を下回り、神達地区および神達地区より山側の区間では閾値を上回る。これは、4. で述べた調査結果のように、神達地区の大半の範囲で家屋流失指標を上回る結果となり、計算からも泥流による家屋流失が確認された。

また、流下幅に対する家屋流失指標の変化を図-9に示す。縦断分布は全ケースで同様の傾向となり、勾配変化点から下流に向かって減少する。また、流下幅を70mとした場合、計算領域の全区間において指標の値は閾値を超える結果となり、図-6および図-7に示した半壊大を基準とした被災範囲の傾向によく適合する。これらの計算結果は、本災害における被災特性をよく捉えたものとなっている。なお、本計算は、家屋流失が生じるほどの泥流発生の有無を調べるのが主目的であり、浸水深の精度検証は行っていない。そのためには詳細な現地データを含む平面二次元計算が必須であり、今後の課題とする。

6. 結論

本調査で得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 神達地区では泥流氾濫、下流の大金沢沿いでは流木・土砂の河道閉塞による氾濫が主な被災要因となった。
- 2) 渓流域における流木災害・洪水氾濫を防ぐための対策（例えば、流木を考慮した橋梁設計の検討）を早急に検討する必要がある。
- 3) 大金沢沿いの家屋被害の横断方向範囲は、全壊や半壊大の場合には、40～60m程度となった。これらの結果は適切な避難誘導に有用である。
- 4) 神達地区における家屋被害を検証するために一次元

泥流計算を行った所、神達地区の大半の範囲では家屋流失指標を上回り、泥流による家屋流失が確認された。

謝辞：大島町役場、東京都大島支庁、東京都建設局、国土地理院、国土交通省、島民の方々には、情報提供、現地調査等において、ご協力いただきました。本調査研究を推進するにあたり、公益社団法人土木学会、公益社団法人地盤工学会、一般社団法人日本応用地質学会、公益社団法人日本地すべり学会、公益財団法人河川財団河川整備基金「平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害調査」から援助を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 広報おおしま：災害臨時号、第9号 (<http://www.town.oshima.tokyo.jp/news/pdf/rinji20140901.pdf>), 2014.
- 2) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団：平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害調査報告書, pp.1-90, 2014.
- 3) 田中規夫・八木澤順治・飯村耕介・近藤康太：津波による海岸林および流失家屋が家屋被害に与える影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.1-301-I-305, 2012.
- 4) 気象庁 HP : http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2013.html.
- 5) 伊豆大島土砂災害対策検討委員会：伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書, pp.1-96, 2014.
- 6) (株)パスコ・セコム(株)：2013年10月台風26号豪雨災害（東京都大島町）, http://www.pasco.co.jp/disaster_info/131016/, 2013.
- 7) 伊豆大島火山地質図 1：25,000, 地質調査所, 1998.
- 8) 庄司学, 森山哲雄, 幸左賢二, 松富英夫, 嶋原良典, 村嶋陽一：2006年ジャワ島南西沖地震津波による家屋等構造物の被災分析, 海岸工学論文集, Vol.54, No.2, pp.861-865, 2007.
- 9) 前川俊明, 二瓶泰雄, 中田遥香：海岸砂丘・盛土による津波減災効果の検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.4, pp.1-1453-I-1458, 2013.
- 10) 土木学会九州北部豪雨災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨災害土木学会調査団報告, 2013.
- 11) H. Takaoka, H. Hashimoto and M. Hikida: Simulation of landslide-induced debris flow: The Atsumari debris flow disaster in Minamata City, Japan, *Proc. 4th Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, pp.353-363, 2007.
- 12) 高岡広樹：高濃度流れによる河道侵食と土砂流出に関する研究, 九州大学博士論文, 2004.
- 13) 橋本晴行, 朴埼璵, 池松伸也, 田崎信忠：急勾配移動床水路における様々の流砂形態に対する統合的流砂量式, 水工学論文集, 第47巻, pp.571-576, 2003.
- 14) H. Nagano, H. Hashimoto, K. Hadano and F. Maricar: Numerical simulation of the debris flow event at Ishihara district in Hofu City, Japan on July 21, 2009, *18th Congress of IAHR-APD*, 2012 (USB-ROM).
- 15) 防災科学技術研究所：防災科研の火山観測施設で観測された伊豆大島の土砂災害に伴う震動, http://www.bosai.go.jp/saigai/2013/img/20131021_02.pdf. (2014.9.30 受付)