

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	大規模地震後の降雨により発生した土砂移動の特徴と土砂災害発生リスクに関する研究 (Study on sediment transport characteristics and risk of landslide occurrence due to rainfall after a major earthquake)
氏 名 (Name)	後根 裕樹

大規模地震後は、地震前よりも降雨による土砂移動が発生しやすくなると考えられている。地震後の降雨により発生した土砂移動について複数の事例があり、一部では甚大な被害を及ぼしている。また、このような二次的な被害を防止・軽減するために、土砂災害警戒情報では、発表基準 (CL) を暫定的に引き下げる措置 (暫定 CL) がとられている。

しかし、地震後の降雨により発生した土砂移動について、発生形態や発生場等の特徴をとりまとめた研究例は少なく、特に地すべりに対しては、土砂災害警戒情報の対象外であり、地震後の降雨による発生リスクや特徴が明らかとなっていない。また、暫定 CL は、長期的な運用等により、土砂災害警戒情報の精度低下を招いたとの報告もあり、精度向上が課題となっている。暫定 CL の精度向上にあたっては、地震がその後の降雨による土砂災害に及ぼす影響の大きさや影響範囲、影響期間、条件等のリスクに関する情報を得ることが重要である。

そこで、本研究は地震後の降雨により発生する土砂移動の特徴やそれに伴う土砂災害発生リスクを解明することを目的とした分析を行った。

本研究の主要な成果を以下に示す。

- (1) 地震後の降雨により発生した土砂災害に関する資料文献の収集・整理結果に基づき、土砂移動の発生場の特徴や、メカニズムなどの特徴を総説的にとりまとめた。その結果、地震後の降雨により発生した土砂移動は、主に地震時の崩壊の拡大や、新規崩壊、土石流であり、主に震央から 40km 以内、震度 6 弱以上、最大加速度 400Gal 以上を記録した範囲で発生した傾向にあることなどが確認された。さらに地震の影響として、地震動による地盤剛性・土質強度の低下、地震時に発生した亀裂、地震後の崩壊土砂の流出が考えられた。
- (2) 地震後の降雨により発生する地すべりの特徴や発生リスクを明らかにするため、平成 16 年新潟県中越地震を対象として、中越地方で発生した地すべりの時空間分布を調査した。その結果、川口北東部にある約 17 km×17km の地域では、中越地震時に地すべりが多発し、地震後に地すべりの発生数が地震前と比べて増加した特徴がみられた。この地域で地震後に発生した地すべりは、中越地震の最大加速度が 800~1000 Gal、震度 6 強と揺れが大きく、地震時に地すべりが多発したエリアに多く分布する傾向がみられたほか、地震後に発生した地すべりは、発生時の 3・10 日間雨量が、地震前に発生した地すべりより少ない傾向にあり、これらの要因として中越地震による影響が考えられた。また、この地域における地震後の地すべりの発生面積は、地震時に発生した地すべりの発生面積に比べるとかなり小さかった。この理由として、大規模な地すべりの多くは地震時に滑動し安定化したため、地震後は、地すべり滑動が認められなくなった可能性が考えられた。
- (3) 地震がその後の土砂災害発生に及ぼす影響の多寡や影響期間・条件等を明らかにするため、国内で

発生した12の大規模地震を対象に、地震前後の降雨データや土砂災害データ(がけ崩れ, 土石流)をもとに、土砂災害が発生した降雨とそれ以外の降雨を集計の上、土砂災害の発生率を地震前後の震度エリア・降雨規模別に比較した。その結果、平成28熊本地震では、地震後1年目における土砂災害の発生率が地震前より顕著に増加したことが確認され、他の地震よりも先行地震の影響が大きかったことを指摘した。また、その理由として、熊本地震では地震後にまとまった降雨を経験するまでの期間が約3か月程度と他の地震より早かったため、地震直後の地盤剛性の低下による影響を大きくうけた可能性を示唆した。

- (4) 熊本県阿蘇地域において、熊本地震前後の平成24年7月豪雨と平成28年6月豪雨時にそれぞれ発生した土砂移動を対象として、CLの捕捉率を調査した結果、平成28年6月豪雨時の土砂移動は、H24年7月豪雨時の土砂移動に比べCLによる捕捉率が28%低くなり、熊本地震の影響に伴う予測精度の低下が定量的に示された。また、平成28年6月豪雨時の土砂移動発生に貢献した要因を把握するために実施した判別分析により、土砂移動発生には傾斜量が大きく寄与したこと、熊本地震時の最大加速度は降雨指標の2/3程度、寄与した可能性などを考察した。

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目

(Dissertation Title)

大規模地震後の降雨により発生した土砂移動の特徴と土砂災害
発生リスクに関する研究

(Study on sediment transport characteristics and risk of
landslide occurrence due to rainfall after a major earthquake)

氏 名 (Name)

USHIRONE Yuki

This study analyzed the characteristics of sediment transport caused by post-earthquake rainfall and the effects of earthquakes on subsequent sediment transport, and examined the risk of landslides caused by post-earthquake rainfall. In the study, we collected and organized the material literature on landslides caused by post-earthquake rainfall, and conducted analyses using seismic motion and rainfall data, landslides, and laser profilers for large-scale earthquakes that occurred in Japan. The main results were as follows.

(1) The results of the collection and compilation of the documentary literature indicated that the sediment transport caused by post-earthquake rainfall was mainly expansion of collapses due to earthquake, new collapses, and debris flows. These sediment transports tended to occur mainly within 40 km from the epicenter, in areas where the seismic intensity was lower than 6 and the maximum acceleration was higher than 400 Gal. The effects of the earthquake were divided into three categories: reduction of soil stiffness and soil strength, earthquake-induced cracks, and secondary post-earthquake movement of collapsed sediment.

(2) The characteristics of landslide distribution after the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004 were investigated using spatiotemporal data on landslide from 2001 to 2016 in the Chuetsu region, Niigata Prefecture. In the northeastern part of the Kawaguchi region (covering approximately 17×17 km²), the occurrence of landslide increased after the earthquake. Most of the landslides after the earthquake in this region tended to be distributed in areas where many landslides occurred at the earthquake and where the maximum acceleration and/or seismic intensity were high. In addition, in some case, the amount of rainfall immediately before the occurrence of landslides during the rainy seasons (June - November) after the earthquake was smaller than that before the earthquake. Moreover, 77 % of the landslide after the earthquake indicated areas of less than 1×10³ m², which tended to be considerably smaller than those before and at the earthquake.

(3) To examine the impact of earthquakes on the occurrence of landslides caused by subsequent rainfall and its period, the number of rainfall events before and after the earthquakes, the number of landslide occurrences, and the periods of high intensity rain after the earthquakes were investigated for 12 large earthquakes. 9 of the 12 earthquakes increased the rate of landslides (number of rainfall events triggering landslides/ number of total rainfall events) in the first and second year after the earthquake compared to pre-earthquake period. In the case of the Kumamoto

earthquake, in the first year after the earthquake, areas with more significant seismic intensity at the time of the earthquake tended to have a larger increase in the rate of landslides than in the pre-earthquake period. 8 of the 12 earthquakes had a much smaller increase in the rate of landslides compared to the pre-earthquake period than the Kumamoto earthquake, and the increase tended to be in the areas with intensity levels of 4 or 5 lower at the time of the earthquake. The three earthquakes did not increase in the rate of landslides in the two years after the earthquake compared to the pre-earthquake period.

In the case of the Kumamoto earthquake, torrential rains two months after the earthquake caused many landslides. On the other hand, the other earthquakes tended to occur landslides caused by torrential rains at least 3 months after the earthquake or to have less number of rainfalls and smaller rainfall magnitudes than the Kumamoto earthquake.

(4) Multiple analyses were conducted for sediment transport due to the Kumamoto earthquake in the Aso region and the June 2016 heavy rainfall two months later to identify the capture rate of the criteria (critical line) indicating the risk of landslide occurrence, characteristics of sediment transport, and the impact on the occurrence of sediment transport.

As a result, in the heavy rainfall that occurred about two months after the Kumamoto earthquake, the critical line capture rate decreased by 28% compared to the pre-earthquake heavy rainfall in July 2012.

Results of discriminant analysis, the overall contribution of slope gradient was large for both the sediment transport that occurred during the Kumamoto earthquake and the June 2016 heavy rainfall event. The magnitude of the impact of the maximum acceleration caused by the Kumamoto earthquake on sediment transport during the June 2016 rainstorm was estimated to be about 2/3 of the rainfall at the time the sediment transport occurred.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	後根 裕樹
審 査 委 員	主 査：鈴木 素之
	副 査：中田 幸男
	副 査：中島伸一郎
	副 査：吉本 憲正
	副 査：森 啓年
論 文 題 目	大規模地震後の降雨により発生した土砂移動の特徴と土砂災害発生リスクに関する研究 (Study on sediment transport characteristics and risk of landslide occurrence due to rainfall after a major earthquake)

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

大規模地震の発生後は、地震前に比べて降雨による土砂移動が発生しやすくなる。実際に、地震後の少量の降雨によって土砂災害が発生した事例も報告されている。このような二次的な被害を防止・軽減するために、土砂災害警戒情報の発表基準 (CL) を揺れが大きかった地域を対象に暫定的に引き下げる措置 (暫定 CL) がとられている。

しかし、地震後の降雨により発生した土砂移動について、発生形態や発生場等の特徴をとりまとめた研究例は少なく、特に地すべりに対しては、土砂災害警戒情報の対象外であり、地震後の降雨による発生リスクや特徴が明らかとなっていない。また、暫定 CL は、長期的な運用等により、土砂災害警戒情報の精度低下を招いたとの報告もあり、精度向上が課題である。暫定 CL の精度向上にあたっては、地震がその後の降雨による土砂災害に及ぼす影響の大きさや影響範囲、影響期間、条件等のリスクに関する情報を得ることが重要である。

そこで、本研究は地震後の降雨により発生する土砂移動の特徴やそれに伴う土砂災害発生リスクを解明することを目的とした分析を行い、その結果を全 6 章の論文としてまとめた。

第 1 章では、研究の背景と目的、本論文の構成を述べた。

第 2 章では、地震後の降雨により発生した土砂移動に関する資料文献を収集・整理した結果をもとに、土砂移動の発生場、発生時の降雨量、メカニズム等の特徴をとりまとめた。

第 3 章では、地震後の降雨により発生する地すべりの特徴や発生リスクを明らかにするため、平成 16 年新潟県中越地震を対象に、その前後に発生した地すべりの時空間分布等を調査した。その結果、地震の震央付近において地震時に地すべりが多発し、地震後に地すべりの発生数が地震前と比べて増加した傾向がみられる地域を確認した。さらに、地震後に発生した地すべりは地震時に 800~1000 Gal、震度 6 強を経験したエリアに多く分布する傾向があること等を明らかにした。

第 4 章では、地震がその後の土砂災害発生に及ぼす影響の多寡や影響期間・条件を明らかにするための分析を行い、12 の地震を対象に降雨データ、地震動データ、土砂災害データ (がけ崩れ、土石流) をもとに、土砂災害が発生した降雨とそれ以外の降雨を集計の上、土砂災害の

(様式 9 号)

発生率を地震前後の震度エリア・降雨規模別に比較した。その結果、平成 28 年熊本地震では、地震後 1 年目において、土砂災害の発生率が地震前から最大 12%増加し、他の地震よりも先行地震の影響が大きかったことを指摘した。また、その理由として、熊本地震では他の地震よりも、地震後に中規模以上のまとまった降雨を経験するまでの期間が約 3 か月以内と他の地震より早かったため、地震直後の地盤剛性の低下の影響を大きく受けた可能性を示唆した。

第 5 章では、熊本県阿蘇地域において、熊本地震前後の平成 24 年 7 月豪雨と平成 28 年 6 月豪雨に発生した土砂移動を対象として CL の捕捉率を調査した。その結果、平成 28 年 6 月豪雨時の土砂移動は平成 24 年 7 月豪雨時の土砂移動に比べ CL による捕捉率が 28%低くなり、先行地震の影響に伴う予測精度の低下が定量的に示された。また、平成 28 年 6 月豪雨時の土砂移動発生に寄与した要因を把握するための判別分析により、土砂移動発生には傾斜量が大きく寄与したこと、熊本地震時の最大加速度は降雨指標の 2/3 程度寄与したこと等が明らかになった。

第 6 章では、第 5 章までの結果をもとに、地震後の降雨による土砂移動の特徴とそれに伴い発生する土砂災害発生リスクをとりまとめ、今後の課題・将来の展望を述べた。

本研究の知見は、これまでに経験的側面から説明されていた、地震後の降雨による土砂移動の特徴や土砂災害の発生リスクに対して、より定量的かつ客観的な説明に成功し、地震後の暫定 CL の適用期間・範囲、基準の引き下げ位置等の観点から精度向上に資する情報を有するものであり、地震後の降雨による土砂災害に対する警戒情報の出し方に有効な指針を与えるものである。

公聴会は対面及びハイブリッドの併用開催とし、学内外から 46 名の参加があった。公聴会における主な質問は、1) 判別分析において地質により各要因の寄与にばらつきがある理由、2) 分析に使用した土砂災害データの諸元、3) 地震後の降雨により発生する土砂移動の規模、4) 震度以外で影響エリアを絞りこむための有効な指標、5) 地震後の地盤剛性の低下要因等に関する事項であり、いずれの質問に対しても発表者からの確かな回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は以下のとおりである。（関連論文 計 3 編）

- 1) 後根裕樹, 西井稔子, 石井靖雄, 櫻本智美, 藤平 大: 平成 16 年新潟県中越地震後に発生した地すべりの分布特性について, 日本地すべり学会誌, Vol.57, No.2, pp.44-53, 2020.
- 2) 後根裕樹, 海原荘一, 中谷洋明, 坂井佑介, 瀧口茂隆, 木下篤彦, 北本 楽, 小杉 恵, 山本悟司: 地震後の降雨による土砂災害発生への影響因子とその相対的な寄与度について—2016 年熊本地震後の阿蘇外輪地域における分析事例—, 第 11 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.53-58, 2022.
- 3) 後根裕樹, 海原荘一, 中谷洋明, 木下篤彦, 北本 楽, 小杉 恵, 鈴木素之: 大規模地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼす影響, 砂防学会誌, Vol.77, No.6, 2025 (掲載決定) .