

Estimation of Earthquake Induced Slope Failure Potential of Mt.Hakusan

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Miyajima, Masakatsu, Kitaura, Masaru, Okuno, Yohei メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00029537

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



白山における地震時の斜面崩壊危険性の評価

宮島昌克¹・奥野洋平²・北浦 勝¹

Estimation of Earthquake Induced Slope Failure Potential of Mt. Hakusan

Masakatsu MIYAJIMA¹, Yohei OKUNO² and Masaru KITaura¹

Key Words: earthquake, hazard, Mt. Hakusan, slope failure

1. はじめに

石川県と岐阜県の県境に位置する白山は、急峻な地形、多雨・多雪の気象状況および軟弱な砂岩・頁岩互層からなる地質状況を有しており、古くから土砂災害が多発している。そのため 1912 年から石川県によって初めて治山事業が開始され、1927 年には国の直轄事業として本格的な砂防事業が開始、1962 年には地すべり防止区域に指定されている。土砂崩壊の起因としては降雨や雪解け水などが主たるものであるが、この他に内陸型の地震が考えられる。特に白山は周囲を複数の断層帯に囲まれており、地震が発生する可能性が高い地域にある。また、白山を源流とする手取川は、河床勾配が大きい急流河川であるため、通常の河川よりも短時間で土砂や洪水が下流の生活地域へ到達する危険性が高い。そのため地震が発生した場合、斜面崩壊によって発生した大量の土砂が手取川から流出し、下流の白峰地区などに甚大な被害をもたらす恐れがある。

本研究は、地震発生時に大規模な土砂の崩壊が起こる可能性やその規模を推定することを目的とする。これらは防災対策を考える上で、重要な資料となり得る。三霊山の 1 つである白山は、毎年約 5 万人の登山客が訪れている観光地でもある。したがって登山客の安全を考える上でも、本研究は重要である。

本研究では、まず過去の地震で土砂崩壊の生じた地点を全国の事例から抽出して距離減衰式を用いて最大加速度を計算し、土砂崩壊が発生しうる加速度を推測した。それを、過去に白山周辺で地震が発生した際の白峰観測所における推定最大加速度と比較して、過去の地震で白山で土砂崩壊が発生した可能性を検討した。また、過去の土砂崩壊の記録を用いて、土砂の崩壊量と崩壊地点の最大加速度の関係を、傾斜角や地質を考慮した上で検討した。こうして得られた結果を基に白山の地震による斜面崩壊危険性の評価を行った。

2. 白山周辺地域の特徴と災害史

2.1 白山の概要

図 1 に白山の位置を示す。白山は 2,703m の標高を有する独立峰であり、御前峰と剣ヶ峰、大汝峰の 3 つの峰が山頂部を形成している。白山には複数の地すべりブロックが存在しており、最も規模の大きいものが甚之助谷地すべりである。

この周辺は、御前峰から南の別山に伸びる稜線の西側直下の斜面であり、溶岩流の噴出によって形成された緩斜面である南龍ヶ馬場を除けば、斜面傾斜 30° を超える急峻な地形となっている。甚之助谷地すべりは標高 1,200m から 2,100m の区域に位置しており、全国でも

¹ 金沢大学大学院自然科学研究科 (Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University)

² 魚津市土木部 (元 金沢大学学生) (Department of Civil Engineering, Uozu City Office)

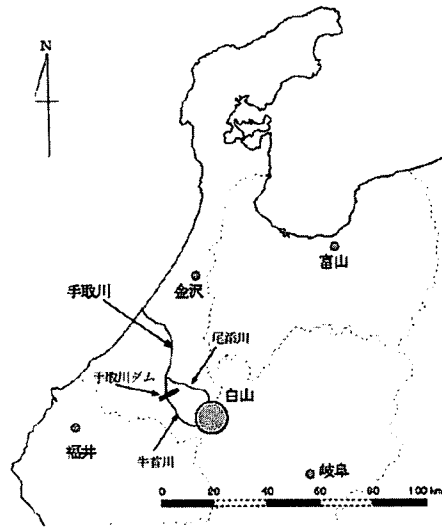


図1 白山の位置

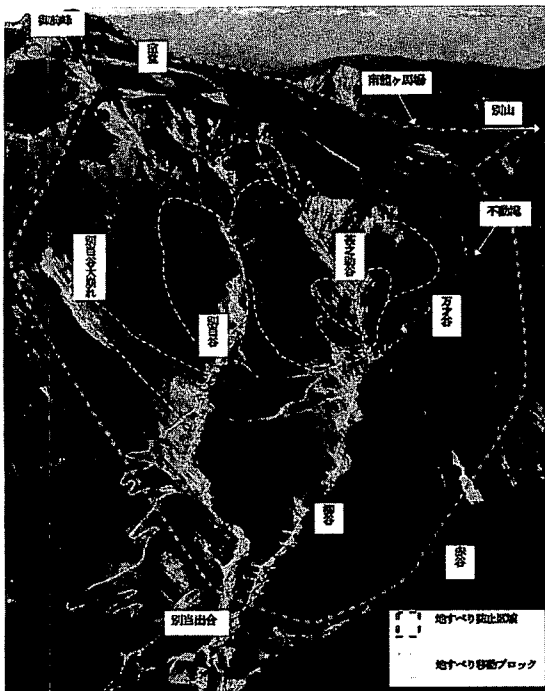


図2 地すべり防止区域の航空写真¹⁾

極めてまれな高山地域にある大規模地すべりである。地すべり防止区域は御前峰を最高点とし、甚之助谷を中央に別当谷・柳谷・万才谷を含む区域である。図2に国土交通省によって撮影された地すべり防止区域の航空写真¹⁾を示す。

2.2 白山周辺の地質状況

国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所(2003)「甚之助谷地すべり」¹⁾から転載した甚之助谷地すべりの断面図を図3に、甚之助谷地すべりとその周辺

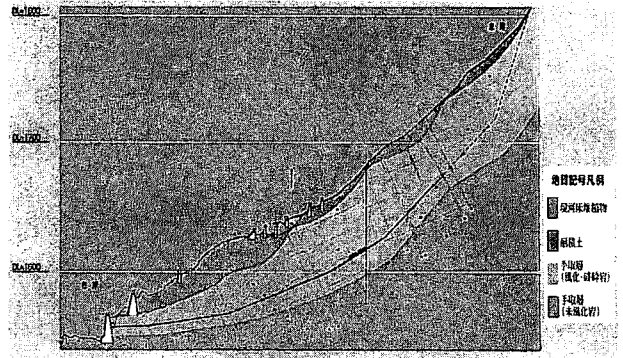


図3 甚之助谷地すべりの断面図¹⁾

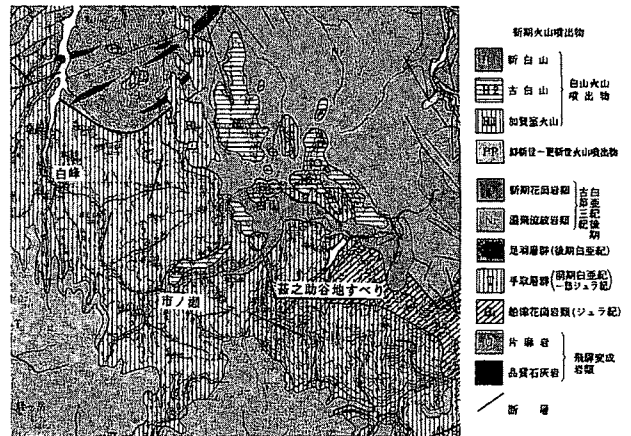


図4 白山周辺の地質図¹⁾

の地質図を図4に示す。白山の基盤岩は古生代の飛騨片麻岩であり、その上に中生代ジュラ紀～白亜紀前期の湖成堆積層である手取層群の頁岩・砂岩互層及び礫岩が広く分布している。手取層群の上を白亜紀の濃飛流紋岩、そして第四紀の古白山火山噴出物(10万年前)、新白山火山噴出物(1万年前)が覆っている。

白山を構成している地質のうち、手取層群は、構造運動による破碎と熱水変質あるいは温泉変質によって粘土化し、破碎と風化が著しくなっている。また断層の破碎帯が縦横に存在しているため、これらを伝わって豊富な地下水が被圧耐水層に流入し、間隙水圧が増加しやすい状況となっていることから、地すべりが発生しやすい地質といえる。

2.3 白山における歴史的災害

白山の歴史時代の災害については、700年代初めから1600年代中ごろまで周期的に噴火し、1659年に最後の噴火活動を起こしたと文献に記録されている。706年、1042年及び1554年～1659年の三回の活動期を

統計的に見ると、噴火の活動周期は100～150年であり、1つの活動期間を経て、約300年の休止期へと続いていることがわかる。この周期に従うと、現在白山は休止期の終わりから活動期の始めにあたるといえる。次の活動期に予想される新たな火山活動、溶岩流、火砕流及びそれによって生じる地震活動は地すべりの安定性に影響すると懸念されている。

これまでに白山で発生した斜面災害のうち、記録が残っている中で最も被害の大きかったものは1934年の別当崩れである。2日間で約466mmを記録した激しい豪雨によって、別当谷の右側斜面の斜面崩壊が引き起こされた。崩壊土砂は土石流に発展し、手取川に沿って日本海まで流下し、112名の命が失われ、240戸の家屋が倒壊し、手取川下流の市ノ瀬村落が完全に壊滅した。現在でもその斜面崩壊跡が残っており、当時の災害の凄まじさを物語っている。

最近では、1999年に別当谷で降雨によって斜面崩壊が引き起こされ、地すべりダムが形成された。この際、別当谷に監視カメラと警報システムがこの地すべりダムを監視するために設置されたが、その後、地すべりダムはゆっくりと崩壊したため、大きな被害は発生していない。2001年には推定崩壊土砂量2万m³の斜面崩壊が別当谷左岸で発生している。2004年5月17日には、豪雨によって別当谷で推定崩壊土砂量17万6千m³の斜面崩壊が引き起こされ、別当谷に架けられていたつり橋が流出している。

3. 地震を起因とした土砂崩壊事例の検討

3.1 全国の土砂崩壊地点における最大加速度の推定

白山における地震時の斜面崩壊危険度の評価を行うに当たり、まず過去に全国で発生した土砂崩壊地点の推定最大加速度から、土砂の崩壊が発生する可能性を推測できるかを検討した。最大加速度の推測には、福島・田中が提案した以下の距離減衰式²⁾を用いた。

$$\log A_{\max} = 0.51M - \log(D + 0.006 \cdot 10^{0.51M}) - 0.0034D + 0.59$$

A_{\max} : 基盤上での最大加速度 (gal : cm/s²)

M : 気象庁マグニチュード

D : 断層からの最短距離 (km)

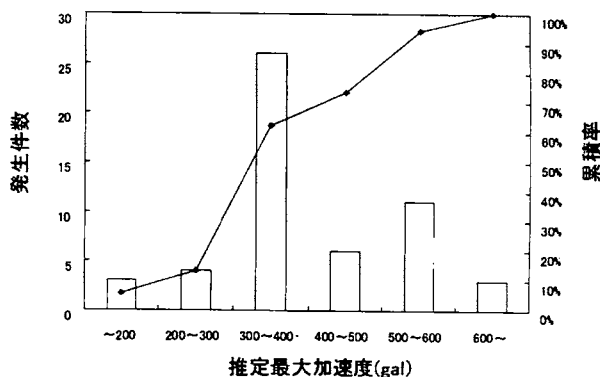


図5 推定最大加速度と土砂崩壊発生件数³⁾

上式は、ほぼ硬質地盤における最大加速度の平均的な値を与える式である。そのため今回の計算は、対象とした地点がすべて硬質地盤であると仮定して行うこととした。

対象とした土砂崩壊は、建設省河川局砂防部(1995)「地震と土砂災害」³⁾に掲載されていた大規模土砂崩壊の事例から、本研究の条件に沿うものを抽出した。具体的な条件としては、内陸型地震を直接の誘因として発生したものとして、海溝型地震を誘因とした事例は考慮しないものとした。これは海洋型地震の震源は陸地から比較的離れている場合が多く、土砂崩壊の事例が少なかったからである。土砂崩壊の規模に関しては、記録が残っていた江戸時代以前は100万m³以上のものを、明治時代以降は1万m³以上の事例を中心に抽出した。その結果、条件に合う大規模土砂崩壊を引き起こした地震は23事例、抽出した大規模土砂崩壊は53箇所となった。これらの地点における最大加速度を福島・田中式を用いて算出した。

図5に算出した推定最大加速度と土砂崩壊発生件数の関係を示す。これより推定最大加速度が300galを超えると崩壊の発生件数が飛躍的に増加しているのが分かる。

3.2 推定最大加速度を用いた崩壊土砂量の予測

3.2.1 推定最大加速度と崩壊土砂量の関係

前節で算出した推定最大加速度の値から崩壊土砂の量を推測できるのかを検討した。まず推定最大加速度と崩壊土砂量の散布図を図6に示す。

同図から、推定最大加速度が300gal～400galの範囲内で最も規模の大きい4億m³を超える崩壊が発生していること、600gal以上の範囲では1千万m³をこらうじて超える崩壊が1件発生しているだけであることがわ

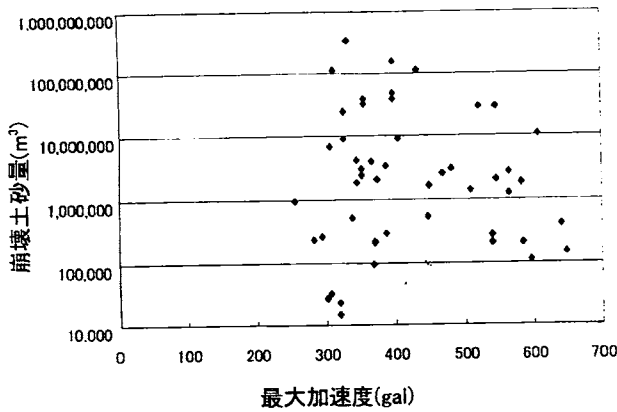


図6 推定最大加速度と崩壊土砂量の関係

かり、推定最大加速度と崩壊土砂量の相関を明確に読み取ることができなかつた。これは推定最大加速度が600galを超える事例が少なかったことや崩壊地点の地質や斜面勾配などを考慮していなかつたためであろう。そのため崩壊地点の地質や斜面勾配を考慮することとした。

3.2.2 地質による分類

まず、崩壊地点における地質を考慮する。図7に地質と土砂崩壊の発生件数及び崩壊土砂の量の関係を示す。白山周辺に多く分布している火山岩噴出物の地域で土砂崩壊が多く発生しているのがわかる。またこの地域では100万 m^3 以上の規模の土砂崩壊が占める割合が多く、1億 m^3 を越える崩壊も発生していることがわかる。このことより火山噴出岩が分布する地域では大規模な土砂の崩壊が発生しやすいといえる。また、中・古成界が分布している地域では、火山噴出岩が分布する地域と比較すると、土砂崩壊の発生件数こそ少ないが崩壊土砂の量が100万 m^3 を超える事例ばかりであった。このことから、土砂の崩壊は発生しにくいものの、一旦崩壊が起ると大規模な崩壊が起きる可能性が高い地質であるといえる。

つぎに、それぞれの地質における推定最大加速度と崩壊土砂量の関係を検討する。地質ごとの推定最大加速度と崩壊土砂量の関係を図8に示す。このうち火山噴出岩が分布している地域では、推定最大加速度が350gal～400galの範囲で土砂崩壊が最も発生していた。また崩壊土砂量の平均値は、約1,920万 m^3 であった。ただし崩壊土砂の量は300gal～400galの範囲内で分散していたため最大加速度と崩壊土砂の量の関係は読み取りに

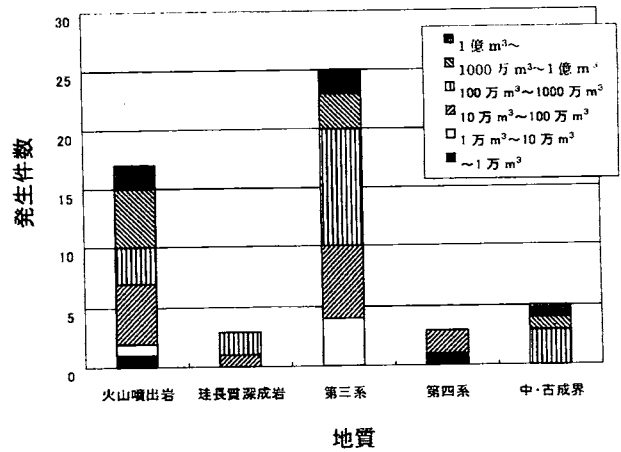


図7 地質と土砂崩壊発生の関係

く。この地質では、500galを超える範囲で最大加速度が増加しているにも係わらず崩壊土砂の量が減少している傾向が見られた。このことから、火山噴出岩が分布する地域では最大加速度の大小によらず大規模な崩壊が起こりうるといえる。

中・古成界が分布する地域では、最大加速度にかかわらず崩壊土砂の量が100万 m^3 を超えていた。しかし、事例が少なかったため、最大加速度と崩壊土砂量の関係は明確ではない。また、事例が少ないものの崩壊土砂量の平均値は約7,170万 m^3 と非常に大規模であった。

火山噴出岩、中・古成界の両地質においてグラフの崩壊土砂量の値が分散しており、最大加速度と崩壊土砂量の関係が明確ではなかつたので、加速度レンジごとの平均崩壊土砂量を考慮することとする。

図9に、最大加速度を250galから500galまで、50galごとの5つに分類した加速度レンジごとの平均崩壊土砂量を示す。同図より、火山噴出岩が分布している地域では、最大加速度の増加に伴って平均崩壊土砂量が増加していることがわかる。このため、最大加速度を計算することで、崩壊土砂量をある程度推測することは可能であると考えられる。しかし、中・古成界が分布している地域では事例が少なく、例外的な大規模崩壊事例を含んでいたためか、最大加速度と崩壊土砂量に負の相関が表れた。さらにより多くの事例を収集し、最大加速度と崩壊土砂量の関係を検討にする必要がある。

3.2.3 斜面勾配による分類

崩壊地点の斜面勾配を考慮する。まず、図10に全国

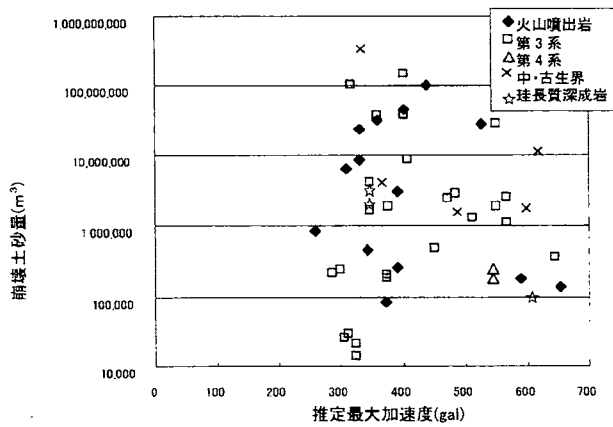


図8 地質ごとの推定最大加速度と崩壊土砂量の関係

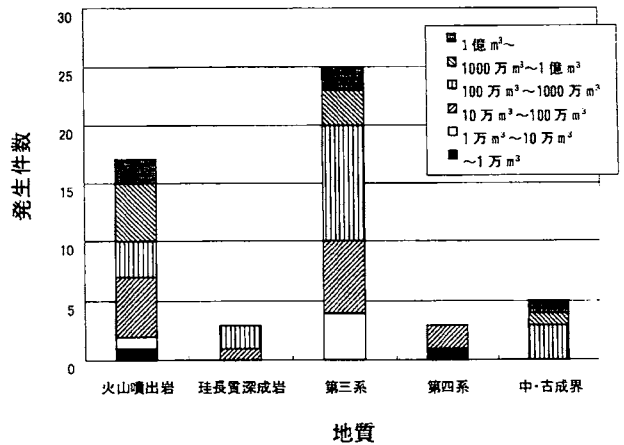


図10 斜面勾配と土砂崩壊発生件数の関係

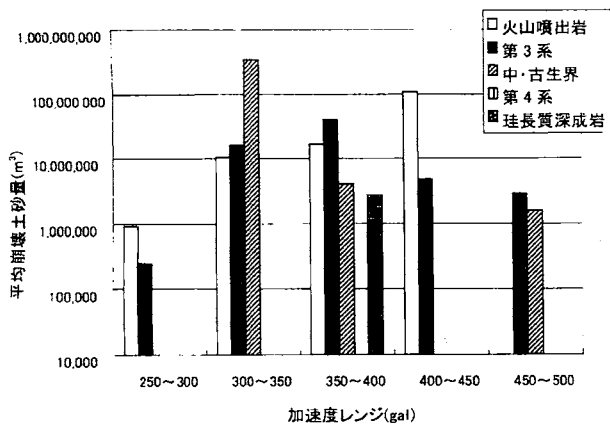


図9 加速度レンジごとの平均崩壊土砂量

53箇所の崩壊地点における斜面勾配と土砂崩壊発生件数関係を示す。同図より、斜面勾配が $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の斜面で集中して土砂崩壊が発生していることがわかる。 40° を越える急斜面で土砂崩壊が少ない原因は、堅固な岩盤により構成され安定度が高いことや、急勾配斜面の数が少ないためと考えられる。

つぎに、斜面勾配ごとの推定最大加速度と崩壊土砂量の関係を検討する。図11に斜面勾配ごとの推定最大加速度と崩壊土砂量の関係を示す。同図より白山と同様の斜面勾配が $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の地点では、推定最大加速度が $350\text{gal} \sim 400\text{gal}$ の範囲で土砂崩壊が最も発生していることがわかる。また $300\text{gal} \sim 350\text{gal}$ 、 $500 \sim 600\text{gal}$ の範囲でも多くの崩壊が発生しているのが読み取れる。斜面勾配が $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の範囲では、全体的に崩壊土砂の量が多かったためかその平均値は $4,650\text{万m}^3$ であった。最大加速度と崩壊土砂量の関係は明確に現れなかったが、図からもわかるように、 $300\text{gal} \sim$

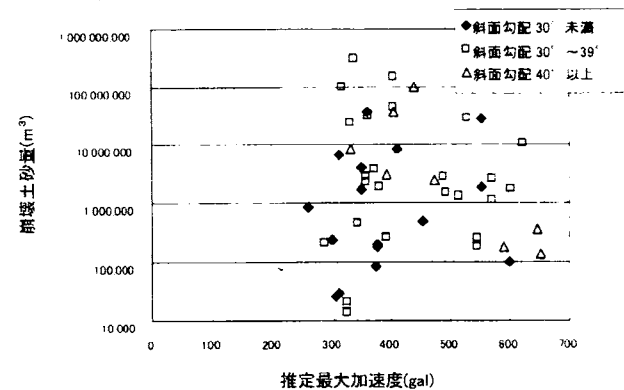


図11 勾配ごとの推定最大加速度と崩壊土砂量の関係

400gal の範囲では崩壊土砂量は広く分散していたが、 $500\text{gal} \sim 600\text{gal}$ の範囲内では 100万m^3 を超える事例が多く、最大加速度の増加に伴い崩壊土砂量が増加傾向にあることを示しているといえる。しかし、斜面勾配が $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の地点では、 $300\text{gal} \sim 400\text{gal}$ の地点の方が $500\text{gal} \sim 600\text{gal}$ の地点よりも崩壊土砂量が多かった。これは 500gal を超える事例が少なかったこともあるが、小さい最大加速度でも大規模土砂崩壊が発生するというを示唆しているといえる。

つぎに、地質と同様に加速度レンジごとの平均崩壊土砂量を検討する。加速度レンジは、地質と同様に最大加速度が 250gal から 500gal の範囲を 50gal ごとに分けて分類した。図12に加速度レンジごとの平均崩壊土砂量の値を示す。

同図より、斜面勾配が $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の地点では、最大加速度と平均崩壊土砂量の間にも負の相関が表れている。これは $300\text{gal} \sim 350\text{gal}$ の範囲内で 1億m^3 を超

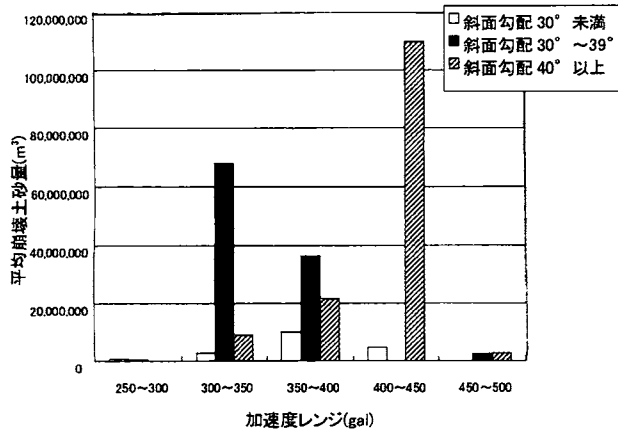


図12 加速度レンジごとの平均崩壊土砂量

える大崩壊が2件発生しており、300gal~350galの地点よりも350gal~400galの地点の事例が多かったためである。

4. 白山における崩壊の発生可能性と崩壊土砂量の推測

4.1 白山周辺で発生した過去の地震時の最大加速度の推定

4.1.1 最大加速度の推定

白山周辺で過去に発生した地震時の白山における最大加速度を、福島・田中式²⁾を用いて推測した。白山の基盤岩である飛騨片麻岩は非常に強固な岩石であるため、ほぼ硬質地盤における最大加速度の平均的な値を与える福島・田中式を適用することが可能であるといえる。

計算に用いる地震は、白山から半径150km以内に震源が存在し、実際に大規模な土砂崩壊が発生したと記録が残っている、マグニチュード(以下、Mと略記する)7.0~8.0前後の内陸型地震の中から抽出した。これは白山の斜面崩壊危険性を評価するにあたって、将来発生する可能性が高い地震を評価する必要があるからである。白山周辺には活動度の高い断層が集中しており、M7.0前後の地震の発生確率は数十年に1回程度である。またM8.0前後の地震に関しても、1つの断層帯では数千年に1回程度の発生確率だが、中部地方だけでこのような断層帯が8箇所分布しているため、白山周辺での発生確率は数百年に1回程度と考えられる。震源が半径150km以内にあったものを採用したのは、M8.0前後の内陸型地震時には、被害を受ける範囲が震源から半径70~150km程度と考えられるからである。しかし海

表1 過去の地震の規模と断層から白山との距離³⁾

発生年	地震名	M	白山との距離(km)
1586.1.18	天正地震	7.9	31.5
1662.6.16	琵琶湖西岸地震	7.6	92.3
1847.5.8	善光寺地震	7.4	152.5
1858.4.9	飛越地震	7.1	30.6
1891.10.28	濃尾地震	8.0	38.4
1948.6.28	福井地震	7.1	38.5
1961.8.19	北美濃地震	7.0	21.4
1984.9.14	長野県西部地震	6.8	97.2

洋型地震に関しては、白山は内陸部に位置しているため、M8.0以上の巨大地震が発生したとしても白山が受ける影響は少ないと思われるため、考慮しないこととした。

計算に用いた各地震の名称とその規模、発生年代及び起因となった断層帯と白山の最短距離をそれぞれ表1に示す。最大加速度を算出する地点は白山の白峰観測所とし、断層との最短距離は、過去の地震の起因と推測されている断層帯と白峰観測所との最短距離として算出した。

計算結果を図13に示す。このうち最大加速度が230galを超えた4つの地震発生時に白山で土砂の崩壊が発生したという記録が残っている。最大加速度が230gal程度で土砂の崩壊が発生する可能性が高いことより、全国の事例と比較して白山で崩壊が発生する危険性は高いといえる。

4.2 想定地震発生時の最大加速度の推定

白峰観測所における、周辺の断層帯を起因とする地震発生時の最大加速度を福島・田中式を用いて推測した。なお最大加速度を求める地点は白峰観測所とし、断層からの距離も白峰観測所と各断層帯の最短距離として計算した。計算に用いる断層帯は、白山から半径100km以内に分布し、地震発生時にM7.0前後と予想されているものから抽出した。いずれの断層帯も活動間隔は数百~数千年に一回程度であるが、最新の活動時期がずれていることから、白山周辺で内陸型地震が発生する可能性は高いといえる。計算に用いた断層名と予想される地震の規模、断層と白山の距離を表2に示す。

計算結果を図14に示す。図より7つの断層帯がそ

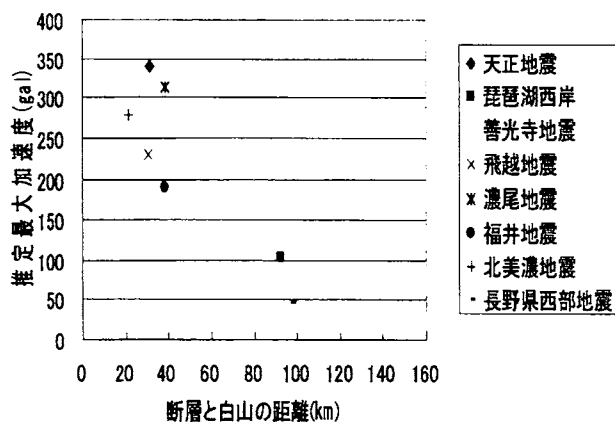


図 1 3 過去の地震時の白峰観測所における最大加速度
 それぞれ活動した場合に白峰観測所で最大加速度が230galを超える可能性がある。このうち5つの断層帯では、地震調査研究推進本部の長期評価⁴⁾より、今後300年以内に活動する可能性が10⁻³%未満と推測されているため危険性は低いといえる。しかし森本・富樫断層帯と福井平野東縁断層帯は、今後30年以内に活動する可能性が、それぞれ0～5%、0.2～0.4%と高いため、白山で崩壊が発生しうる規模の地震が起きる可能性は高いといえる。また、前章で行った検討結果に基づくと、これらの断層帯が活動した際の推定最大加速度では100万～1億m³の規模の崩壊が発生する恐れがあるといえる。

5. 結論

全国では最大加速度が300galを超えると崩壊の発生確率が高まるのに対し、白山では230galで崩壊が発生した事例がある。また白山周辺の森本・富樫断層帯や福井平野東縁断層帯は今後活動する可能性が高く、活動した際の白峰観測所における推定最大加速度が230galを超えることから、白山の斜面崩壊危険度は高いといえる。

またこれらの断層帯が活動した際の最大加速度の範囲では、全国の白山と同様の地質の地点で100万～1億m³の崩壊が発生しており、両断層帯が活動した際には同程度の規模の土砂が流出する恐れがあるといえる。

今後は、さらにより多くの過去の事例を収集し、最大加速度と崩壊土砂量の関係を明確にすることで、白山の斜面崩壊危険度をより正確に評価したい。

表 2 白山周辺の断層の規模と白山からの距離³⁾

断層帯名	M	白山との最短距離 (km)
庄川断層帯	7.9	46.9
跡津川断層帯	7.9	30.6
森本・富樫断層帯	7.2	33.3
福井平野東縁断層帯	7.6	29.4
砺波平野西縁断層帯	7.3	44.1
呉羽山断層帯	7.2	65.5
邑知渦断層帯	7.0	57.9
阿寺断層帯	(全体) 7.9	(北部) 54.3 (南部) 54.8
	(北部) 6.9	
	(南部) 7.8	
	7.8	
長良川上流断層帯	7.3	30.0
濃尾断層帯	7.7	46.8
境峠・神谷断層帯	7.6	88.5

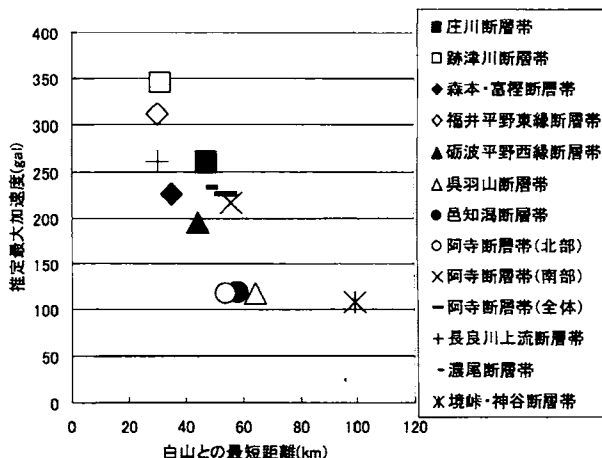


図 1 4 各断層帯が活動した際の白峰観測所における推定最大加速度

参考文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所：基之助谷地すべり，pp.1-11，2003.
- 2) Fukushima, Y. and Tanaka, T.: A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 84, pp. 757-783, 1990.
- 3) 建設省河川局砂防部：地震と土砂災害，砂防広報センター，pp.1-2, 1, 1995.
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：
<http://www.jishin.go.jp/main/>