

◆ 特集：大規模土砂災害対策 ◆

地質及び隆起量に基づく深層崩壊発生危険地域の抽出

内田太郎* 鈴木隆司** 田村圭司***

1. はじめに

深層崩壊の発生するおそれのある斜面を予測することは、大規模土砂災害を防止・軽減する対策を立案する上で極めて重要である。これまで、深層崩壊の発生するおそれのある斜面を予測することを目的に、深層崩壊地周辺の地形、地質、水文環境に関する詳細な調査・研究が行われてきた^{1)~5)}。例えば、羽田野 (1974) は、1953年の有田川災害における崩壊土砂量 10^5m^3 以上の37の崩壊事例について調査し、崩壊地周辺には小崖地形が、崩壊地上部には緩斜面があるという共通する特徴を明らかにした²⁾。また、千木良 (2005) は、2003年に発生した水俣市集川等における深層崩壊を対象に調査し、透水性の高い地盤の下に透水性が低い地盤が接する水理地質構造を有している斜面が深層崩壊の発生候補地として抽出される可能性を指摘した⁴⁾。これらの知見は、深層崩壊発生のおそれのある斜面の抽出に有効である可能性は高いものの、全国的に調査するためには膨大な時間や労力を要することとなる。

一方、寺戸 (1993) は、四国全域を対象に崩壊

土砂量 10^5m^3 以上の大規模な崩壊地の分布を空中写真判読により調査し、地質系統により崩壊地形の数に顕著な差があることを示した³⁾。また、浅井ら (1987) は、全国の崩壊土砂量 10^5m^3 以上の大規模崩壊事例を地形図より収集・分析し、隆起量の大きい山地ほど地形発達に及ぼす大規模崩壊の影響度が大きくなる可能性を指摘した⁶⁾。また、台湾、フィリピン、ニュージーランドのように隆起速度が大きいと考えられる地域で多くの大規模な深層崩壊が発生している⁶⁾。これらのことから、地質や隆起量は深層崩壊のおきやすさに影響を及ぼす可能性が高いと考えられる。

地質や隆起量は、地形、水文環境、地盤特性とは異なり、全国的に情報が整備されているため、日本全土の深層崩壊の発生危険度を評価するための有効な指標となりうる。しかし、地質や隆起量の違いが深層崩壊発生に及ぼす影響を定量的に検討した例はないのが現状である。そこで、深層崩壊発生危険斜面を抽出する第一段階として、地質や隆起量から、日本全土の深層崩壊発生危険度の評価を試みた。本研究では、既往の深層崩壊事例を収集・整理し、地質や隆起量の違いが深層崩壊

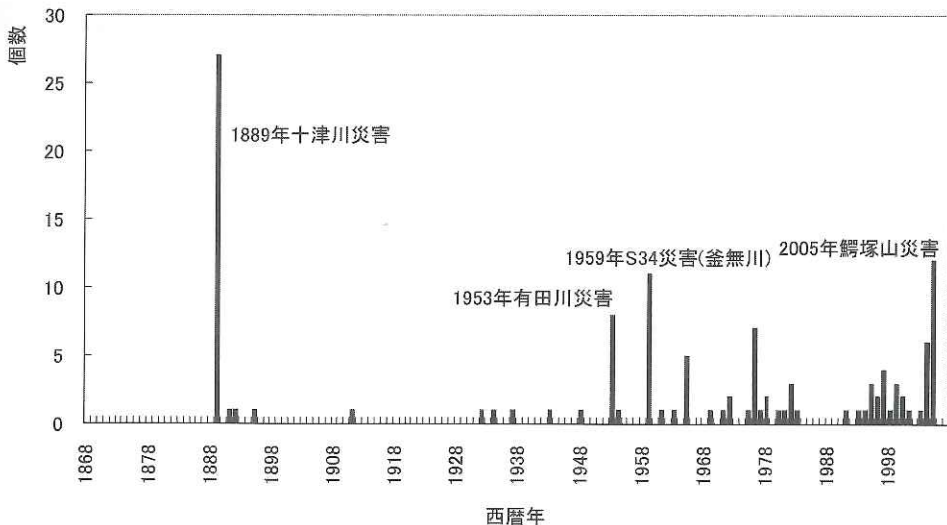


図-1 収集した深層崩壊事例の発生年

Evaluation of Deep-seated Slope Failure Susceptibility Using Geology and Rock Uplift Rate Database

表-1 収集した資料リスト

No.	資料名等	著者名等	年次
1	砂防学会誌「新砂防」(災害報告)	(社)砂防学会	—
2	(独)防災科学技術研究所HP http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/disaster/index.htm	(独)防災科学技術研究所	—
3	二次災害の予知と対策 No.1-4	二次災害防止研究会	1986.10-1990.3
4	土砂災害の実態	(財)砂防・地すべり技術センター	1983-
5	砂防学会誌「新砂防」 シリーズ大崩壊1-20	(社)砂防学会	1985.5-1989.3
6	土木研究所資料 第2544号 地震に伴う大規模斜面崩壊に関する研究	建設省土木研究所	1988.2
7	第3回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	(社)土木学会西部支部	2006.8
8	宮崎県における災害文化の伝承	宮崎県土木部	2006.3
9	主要災害調査 第35号 1997年7月鹿児島県出水市針原川土石流災害調査報告	科学技術庁 防災科学技術研究所	
10	姫川支川蒲原沢土石流災害と危機管理に関する調査研究	(社)土木学会 蒲原沢土石流災害調査特別委員会	1998.3
11	第30回 砂防学会シンポジウム講演集 複合型土石流のメカニズムとその対策について	(社)砂防学会	1988.10
12	第37回 砂防学会シンポジウム講演集 異常豪雨による土砂災害とその対策	(社)砂防学会	2005.10
13	鰐塚山山系土砂災害対策検討委員会 報告書	鰐塚山山系土砂災害対策検討委員会	2006.3
14	大規模崩壊による山地地形の変化	寺戸恒夫	1977
15	越美山系災害史	建設省越美山系砂防工事事務所	1998.10
16	天然ダムと災害	田畑茂清、水山高久、井上公夫	2002.8

発生に及ぼす影響を定量的に明らかにする。その上で、深層崩壊発生危険度から日本全土を5つ程度の地域に分類することを試みた。

2. 解析に用いた既往資料

2.1 深層崩壊に関する資料

本研究では、「表土層だけでなく、深層の地盤までもが崩壊土塊になる現象」を深層崩壊とし、これまでの研究^{1)~6)}を参考に、平均崩壊深が概ね5m以上、かつ崩壊土砂量が 10^5m^3 以上の崩壊を収集の対象とした。なお、本研究では、地すべり危険箇所あるいは同防止区域に該当する箇所で起きた崩壊現象については検討の対象から除いた。事例収集の対象は、明治期(1868年)以降に降雨あるいは融雪により発生した深層崩壊とし、既往文献中に発生場所、発生年月日が明記されているものを対象とした。調査した文献の一覧を表-1に示す。本研究では122事例の情報が収集できた。

収集した深層崩壊122事例について、発生数を年代順に整理すると図-1のようになる。1889年の十津川災害及び1953年の有田川災害において多くの事例があるものの、それほかの多くは最近50年に発生した事例であり、50年以上前の事例は、

表-2 用いた地質区分

No.	地質年代区分	岩種区分	地質体区分
1	第四系	堆積岩	付加体以外
2	第四系	火山岩	付加体以外
3	第三系	堆積岩	付加体以外
4	第三系	堆積岩	付加体
5	第三系	火山岩	付加体以外
6	第三系	火山岩	付加体
7	第三系	深成岩・変成岩	付加体以外
8	中・古生界	堆積岩	付加体以外
9	中・古生界	堆積岩	付加体
10	中・古生界	火山岩	付加体以外
11	中・古生界	火山岩	付加体
12	中・古生界	深成岩・変成岩	付加体以外

十津川災害及び有田川災害を除くと、10事例だけであった。

2.2 地質及び隆起量に関する資料

地質分布の解析には、「100万の1日本地質図第3版 CD-ROM 第2版 ((独)産業技術総合研究所 地質調査総合センター発行)」を用いた。本研究では、地質年代区分、岩種区分、地質体区分の観点から、165種類に分類されている地質を表-2に示す12種類に再区分した。

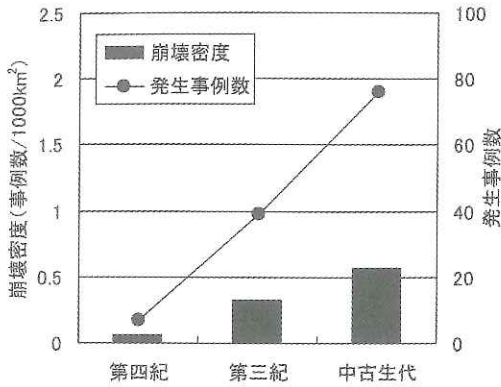


図-2 地質年代と深層崩壊発生数と崩壊密度

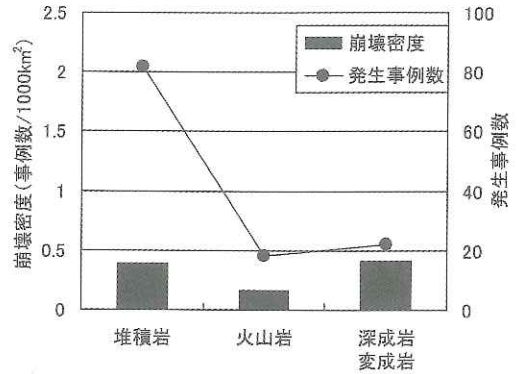


図-3 岩種と深層崩壊発生数と崩壊密度

また、第四紀隆起量の分布は、第四紀地殻変動研究グループ(1968)によって作成された集成隆起沈降水量図を用いた。集成隆起沈降水量図は、第四紀の隆起沈降水量を侵食平坦面の海拔高度から求める地形学的方法と第三紀と第四紀の境界層準の分布高度から求める地質学的方法から求め、作成されたものである。

3. 結果

3.1 深層崩壊発生箇所分布状況

今回収集した122事例では、北海道、関東地方及び近畿北部地区には発生事例がなく、また九州北部地区や中国地方(各2事例)には発生事例が少なかった。さらに、東北地方も比較的少なく、6事例である。これに対して、九州南部地区、四国地方、近畿南部地区、中部地方、北陸地方では多くの発生事例があり、深層崩壊地の分布は地理的に偏在していた。

3.2 深層崩壊の密度、発生数と地質の関係

地質年代と1,000km²あたりの崩壊発生数(以下、「崩壊密度」と呼ぶ)と深層崩壊発生数の関係を図-2に示した。崩壊密度、発生事例数とも中生界の地域で最も大きく(崩壊密度0.57、76事例)、続いて第三系(崩壊密度0.32、39事例)、第四系(崩壊密度0.06、7事例)の順であった。

次に岩種ごとの崩壊密度と発生数を図-3に示した。崩壊密度が最も大きいのは深成岩・変成岩地域(0.41)で、続いて堆積岩(0.39)、火山岩(0.17)の順である。一方、発生事例数は堆積岩地域で最も多く(82事例)、深成岩・変成岩(22事例)、火山岩(18事例)の順であった。

地質体で見ると(図-4)、崩壊密度は付加体地域(1.10)で付加体以外の地域(0.16)に比べて6倍以上大きかった。また、発生事例の約58%が付加体地域(71事例)で発生していた。

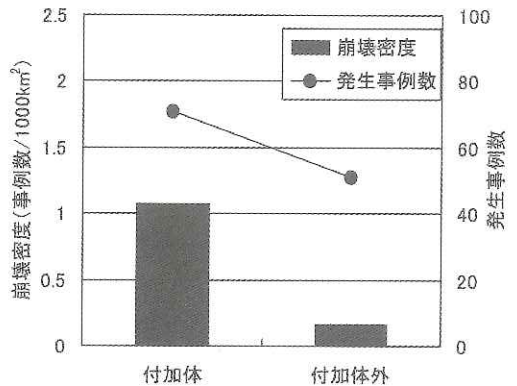


図-4 付加体と深層崩壊発生数と崩壊密度

3.3 深層崩壊の密度、発生数と隆起量の関係

第四紀隆起量と崩壊密度、発生事例数の関係を図-5に示す。第四紀隆起量が增大するに従って、崩壊密度が大きくなる傾向があった。第四紀隆起量が500m以下の場合、崩壊密度は0.09、0.12であった。第四紀隆起量が500~1000mの地域では崩壊密度は0.31、0.33で、第四紀隆起量が500m以下の地域に比べて約3倍大きかった。さらに、第四紀隆起量が1,000~1,500m、1,500m以上の地域の崩壊密度はそれぞれ2.0、3.8で、第四紀隆起量500m以下の地域に比べ1オーダー以上大きかった。

発生事例数は、第四紀隆起量が1,000~1,500mの地域で最も多く、39事例あった。また、第四紀隆起量が500~750m、750~1,000mの地域では、それぞれ30事例発生していた。すなわち、第四紀隆起量が500m以上の地域で全体の約85%、750m以上の地域で全体の約70%の深層崩壊が発生していた。

3.4 地質区別の隆起量-崩壊密度関係

次に、第四紀隆起量と崩壊密度の関係を地質年代、岩種、地質体に区分して、図-6~8に示した。なお、これ以降の解析において、地質、隆起

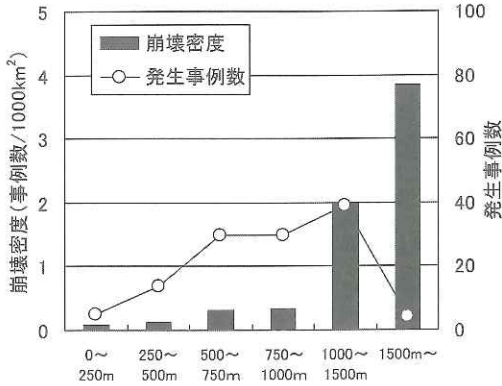


図-5 第四紀の隆起量と深層崩壊発生数と崩壊密度

量によりカテゴリーを細分化した際に、各カテゴリーの面積が小さくなりすぎると、誤差が大きくなる（事例が増減により崩壊密度が大きく増減する）ことを考慮し、出来るだけ各カテゴリーの面積が5,000km²以下にならないようにした。そこで、第四紀隆起量が1,000m以上の地域は、地質により細分化した場合、面積が極めて小さくなる可能性があるため、第四紀隆起量が1,000m以上は1つのカテゴリーとして検討した。

図-6~8に示したように、地質年代（第四系の地域を除く）、岩種、地質体によらず、概ね第四紀隆起量の増大に従って崩壊密度は増加した。

また、地質年代別に見ると、第三系、中生界の地域は、第四紀隆起量に関係なく、崩壊密度は第四系の地域に比べて概ね大きかった（図-6）。一方、第三系と中生界の崩壊密度を比較した場合、第四紀隆起量が500m以下及び1000m以上の場合は第三系が大きく、第三系と中生界の崩壊密度の大小関係は第四紀隆起量により変化した（図-6）。

次に、岩種ごとの第四紀隆起量と崩壊密度の関係を検討する（図-7）。第四紀隆起量が1,000m以上及び250m以下の領域では、崩壊密度は深成岩・変成岩が最も大きいのにに対し、250~1,000mの場合、堆積岩の崩壊密度が最も高かった。すなわち、岩種ごとの崩壊密度の大小関係は第四紀隆起量により異なった。

また、図-8から、付加体では、付加体以外と比べて、第四紀隆起量が250m以上のいずれの領域でも、崩壊密度が大きいことがわかる。

4. 考察

4.1 崩壊密度の影響因子の抽出

4.1.1 第四紀隆起量の影響

第四紀隆起量の違いにより、深層崩壊の崩壊密

度は0.09~3.8まで変化し、40倍以上の大きな差が見られた（図-5）。一方で、地質年代、岩種、地質体による崩壊密度の差は、それぞれ10倍、2.4倍、7倍以内であった。また、図-6~8に示したように、地質年代、岩種、地質体によらず、崩壊密度と第四紀隆起量には正の相関が見られた。以上の結果から、第四紀隆起量は崩壊密度に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

4.1.2 地質年代の影響

第四系の崩壊密度は、第四紀隆起量によらず、第三系、中生界に比べて小さかった（図-6）。

一方、第三系と中生界の崩壊密度を比較した場合、地域全体では、中生界で第三系に比べて大きかったものの（図-2）、隆起量-崩壊密度関係には、明瞭な大小関係は見られなかった（図-6）。また、図-9に示したように、堆積岩、火山岩は中生界、深成岩・変成岩は第三系においてそれぞれ崩壊密度が大きく、崩壊密度の高い地質年代は岩種によって異なった。一方、図-10に示したように、地質体が同じ場合、第三系と中生界で

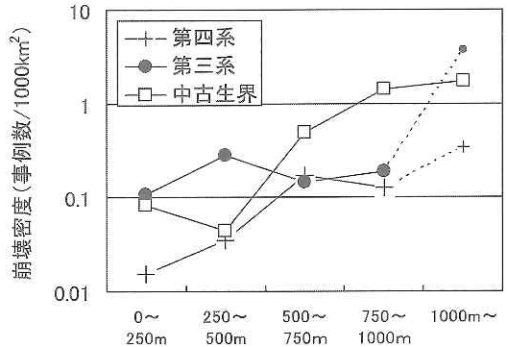


図-6 地質年代と第四紀隆起量と崩壊密度の関係（第四系、第三系の隆起量1000mm以上の領域は面積5000km²以下であるため点線で示した）

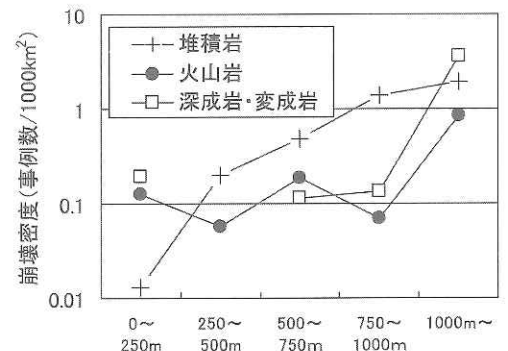


図-7 岩種と第四紀隆起量と崩壊密度の関係

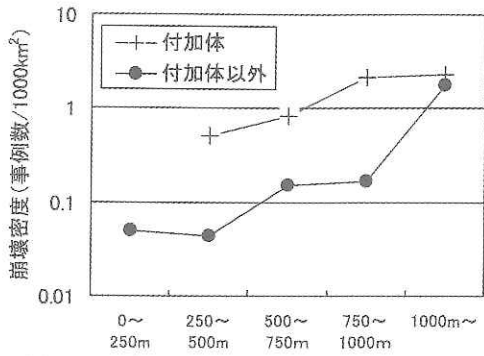


図-8 地質体と第四紀隆起量と崩壊密度の関係

崩壊密度は明瞭な差が見られなかった。以上の結果から、地域全体の崩壊密度が、中生界で第三系に比べて大きかった(図-2)のは、地域に占める付加体の割合が中生界(44%)で第三系(6.9%)に比べて大きいためであると考えられる。すなわち、崩壊密度に第四系かそれ以外かの違いは影響するものの、第三系と中生界の違いは崩壊密度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

4.1.3 岩種の影響

図-9に示したように、第四系では、堆積岩、第三系では深成岩・変成岩、中生界では堆積岩がそれぞれ崩壊密度が最も大きく、地質年代により崩壊密度の高い岩種は異なった。また、図-11に示したように、付加体以外では、崩壊密度は深成岩・変成岩、火山岩、堆積岩の順に大きく、付加体では、堆積岩、火山岩の順に大きく、地質体により崩壊密度の大きい岩種が異なった。

以上のように、崩壊密度の高い岩種は、第四紀隆起量(図-7)、地質年代(図-10)、地質体(図-11)により異なった。また、岩種による地域全体の崩壊密度の差は2.4倍と、地質年代、地質体、第四紀隆起量による差に比べて小さかった(図-3)。これらの2つの結果から、第四紀隆起量、地質年代、地質体に比べて、岩種が崩壊密度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

4.1.4 地質体の影響

付加体の崩壊密度は、第四紀隆起量(図-8)、地質年代(図-9)、岩種(図-11)によらず、付加体以外に比べて高かった。また、地質体による崩壊密度の差は約7倍と比較的大きかった(図-4)。これら2つの結果から、地質体は、崩壊密度の大小に明らかな影響を及ぼしていると考えられる。

4.2 深層崩壊発生危険地域の抽出

前節の考察の結果、深層崩壊の発生に影響を及ぼす因子として、①第四紀隆起量、②地質年代が第四系であるか否か、③地質体の3点が挙げられ

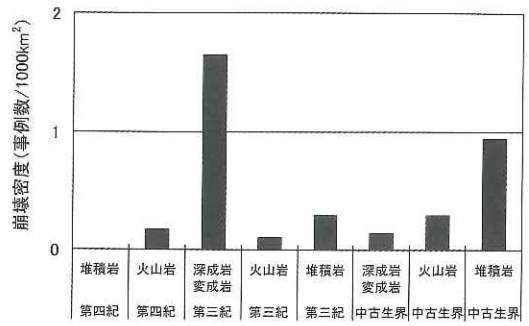


図-9 地質年代と岩種および崩壊密度の関係

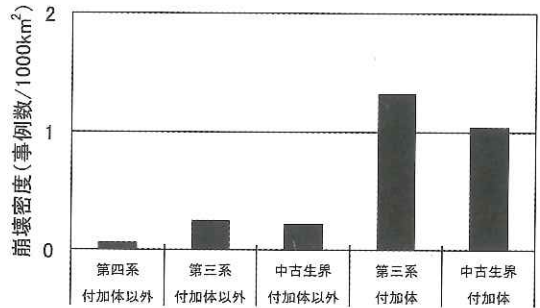


図-10 地質年代と地質体および崩壊密度の関係

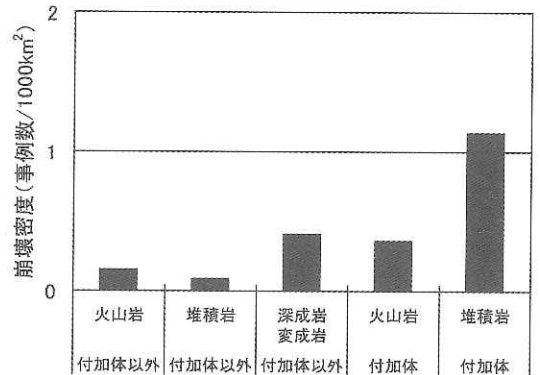


図-11 岩種と地質体および崩壊密度の関係

た。そこで、これに従い分類し、崩壊密度を全国平均(0.32)で除した結果を図-12に示す。図-12に基づき、崩壊密度を深層崩壊の発生危険度と考えると、表-3に示すように日本全土の深層崩壊発生危険度は4つに分類できた。

表-3の分類に従うと、特に深層崩壊の危険性の高い地域は面積で全国の約8%で、全国平均に比べて5倍以上深層崩壊の発生危険度が高い。また、この5倍以上深層崩壊の発生危険度が高い地域以外にも全国の約13%の地域で、深層崩壊の発生危険度は全国平均より高かった。表-3の分類において、深層崩壊の発生危険度が全国平均より高い約21%の地域で、約80%の深層崩壊が発生

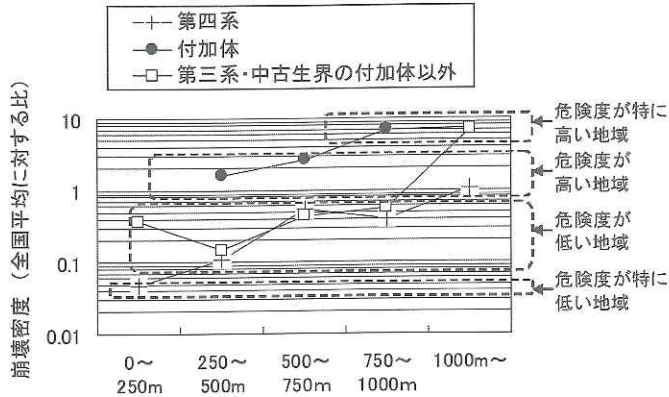


図-12 地質年代と形成過程および崩壊密度の関係

表-3 深層崩壊発生危険度による地域分類例

危険度	崩壊頻度 (全国平均に 対する比)	発生事例数	面積 (国土面積に 対する比)
特に高い地域	5倍以上	67	7.8%
高い地域	1～3倍	30	13.5%
低い地域	0.1～0.6倍	24	61.2%
特に低い地域	0.1倍以下	1	17.5%

していた。また、危険度の低い地域における発生事例のうちほぼ半分が火山岩地域で発生しており、火山岩地域の評価は今後更に検討する必要がある。

5. まとめ

日本全土を対象として、深層崩壊発生危険度を評価する目的で、明治期以降の深層崩壊について、崩壊密度と地質、第四紀隆起量の関係を調べた。その結果、①第四紀隆起量、②第四系の地域であるか否か、③地質体の3つが深層崩壊の発生に強く影響を及ぼしていることが分かった。一方、岩種による崩壊密度の違い、第三紀と中生界の崩

壊密度の違いは明瞭ではなかった。その上で、深層崩壊の発生危険度を4段階に分類する案を示した。今後は、既往の深層崩壊に関する詳細な調査事例に基づく知見^{2)～5)}等を基に、危険度が高いと判断された地域内から、崩壊発生危険斜面を特定できる手法の構築を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 町田 洋：荒廃山地における崩壊の規模と反復性についての一考察、水利科学, Vol.11, No.2, pp.165-182, 1987
- 2) 羽田野誠一：最近の地形学 8. 崩壊性地形 (その2)、土と基礎, Vol.22, No.11, pp.85-93, 1974
- 3) 寺戸恒夫：四国島における大規模マスマーブメント、香川県土質工学研究会テキスト (平成4年度), pp.24-35, 1993
- 4) 千木良雅弘：地すべり・崩壊の発生場所予測、土木学会論文集, Vol.62, No.4, pp.722-735, 2005.
- 5) 地頭菌 隆、下川悦郎、寺本行芳：深層崩壊発生場予測法の提案、砂防学会誌, Vol.59, No.2, pp.5-12, 2006
- 6) 浅井涌太郎、仲野公章、寺本和子：大規模崩壊の発生場の条件、土木技術資料, Vol.29, No.6, pp.287-292, 1987.
- 7) 例えば、S. G. Evans, R. H. Guthrie, N. J. Roberts, and N. F. Bishop : The disastrous 17 February 2006 rockslide-debris avalanche on Leyte Island, Philippines: a catastrophic landslide in tropical mountain terrain, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol.7, No.1, pp.89-101, 2007.
- 8) (独)産業技術総合研究所 地質調査総合センター：「100万の1日本地質図 第3版 CD-ROM 第2版」, 2003

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

鈴木隆司**



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・土石流チーム交流研究
員
Ryuji SUZUKI

田村圭司***



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 首席研究
員
Keiji TAMURA