

新潟県中越地震における斜面災害の要因分析

西田 京助¹・國生 剛治²・石澤 友浩³・原 忠⁴

¹中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

E-mail:nishida@civil.chuo-u.ac.jp

²中央大学 理工学部 土木工学科 教授 工博

E-mail:kokusho@civil.chuo-u.ac.jp

³中央大学 理工学部 土木工学科 助教 工博

E-mail:ishizawa@civil.chuo-u.ac.jp

⁴国立和歌山工業高等専門学校 助教 工博 (〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77)

E-mail:haratd@wakayama-nct.ac.jp

2004年の新潟県中越地震では4000箇所以上の斜面崩壊が発生した。国土交通省がまとめた新潟県中越地震情報集約マップにより斜面崩壊箇所とその規模に与える要因の分析を試みた。崩壊のタイプを7つに分類し、震央距離、地震の入射エネルギー、斜面勾配、崩壊の方向、地層構造や地質年代に着目して検討した。また、道路、河川、池への影響についても分析した。

これらの分析より、この地震で大規模な崩壊を起こしているのは、主に流れ盤滑りであることがわかった。さらに、地震の入射エネルギーと斜面の崩壊が密接に関係していることが明らかとなった。また、今回判別した斜面崩壊のうち、約20%の崩壊では道路、河川、池のいずれかに被害を与えていることがわかった。

Key Words : Niigataken Chuetsu earthquake , slope failure , input energy

1. はじめに

2004年新潟県中越地震での被害の特徴として、何よりも斜面崩壊の多発が上げられる。国土交通省がまとめた新潟県中越地震情報集約マップから今回判読された斜面崩壊は4000箇所以上あり、河道閉塞や道路の封鎖、棚田や養鰻池の崩壊など多大な被害を及ぼした。

今後の同種の地震災害に備えるためには、今回の災害について詳細に分析し、斜面崩壊の発生メカニズムの解明を図るとともに、被害を軽減させるための方策を提案していかなければならない。ここでは、そのような背景の下で進めてきた研究により、これまで分かったことの概要を紹介する¹⁾。

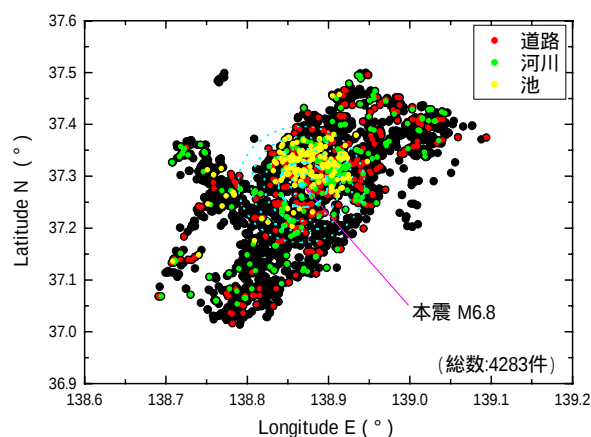


図-1 本研究で読み取った崩壊斜面の位置と本震の震央

2. 斜面崩壊の影響因子の詳細分析

図-1 は国土交通省の中越地震情報集約マップ (<http://zgate.gsi.go.jp/chuetsujishin/index2.htm>; 2004年10月24

日とそれ以降に複数の航測会社で撮影された写真を6次にわたり判読し、2004年12月末で取りまとめたものより本研究で判読した旧山古志村・小千谷市および周辺での今回の地震による大小の崩壊斜面合計4283箇所をプロットしている。崩壊斜面のうち、道路・河川・池が影響を蒙ったものについては別の色で示している。道路・河川については被災地の中山間地全域に広がり、池については旧山古志村周辺に集中していることが分かる。図中には2004年10月23日17時53分に発生した本震の位置も記入している。また、本震についての震央距離2km~10kmの同心円を2kmきざみで重ね書きしている。斜面崩壊箇所とその規模（崩壊の影響面積）に与える各種要因の分析を試みた。

表-1 斜面崩壊の記号分類

a	b	c	d	e	f	g

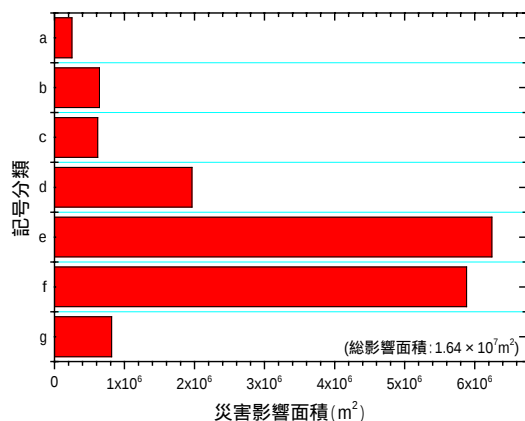
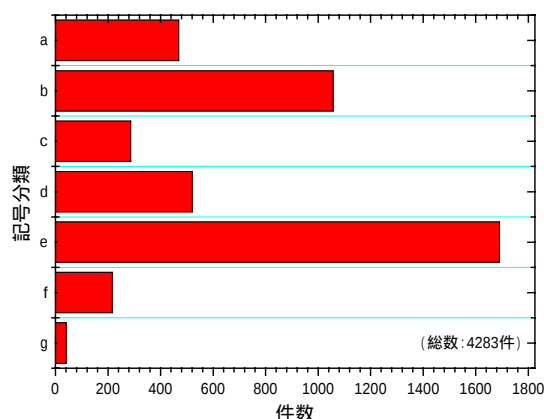


図-2 記号分類別の斜面崩壊発生件数と災害影響面積

(1) 崩壊タイプと個数の関係

国土交通省の災害状況図にはいろいろな記号により斜面崩壊が表されている。ここでは、それらを表-1の7タイプに分類してその個数を数えた。このうち、a~cは比較的小規模な崩壊で、dは崩壊直前の滑落崖のみ発生、e~gは比較的大規模な崩壊で、そのうち、eは明確な滑落崖の見えない崩壊、fは滑落崖を伴う崩壊、gは土石流タイプで崩壊の長さが幅に対して極端に大きいものである。

図-2は崩壊タイプ別の崩壊発生件数と影響面積を示したグラフである。比較的大きな崩壊であるタイプeが1700箇所以上もあり、この中越地震による斜面崩壊の規模の大きさが顕著に表れている。さらに比較的小規模な崩壊であるタイプbも多い。小規模な崩壊ほど読み取りにくく、見逃されている可能性があり、実際にはさらに多くの崩壊が発生していると考えられる。また、タイプdも多く、大きな崩壊にまでは至っていないが開口した滑落崖が多く発生していることがわかる。また、a~cは件数が多いわりに災害影響面積は小さく、逆にf、gは、件数が少ないにも関わらず影響面積が大きいことが読み取れる。

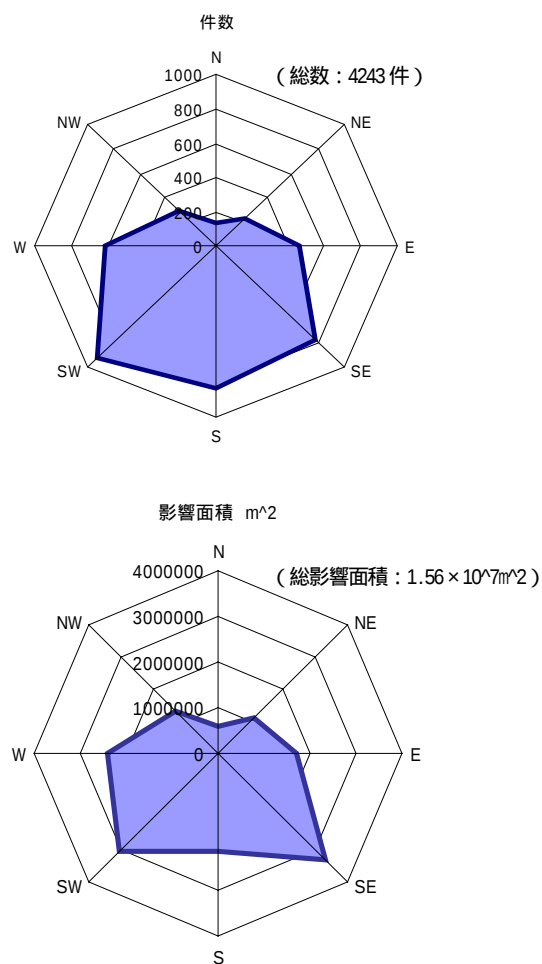


図-3 崩壊発生方向と個数および影響面積

(2) 崩壊発生方向と崩壊個数・面積の関係

崩壊発生方向を8方位に分類し、崩壊発生個数・面積との関係を調べた。崩壊発生方向は原則として滑落崖の向きから判断したが、等高線も参考とした。また、複雑な崩壊形状で判断できない場合は、この整理の対象から除外した。

図-3は個数と影響面積の方位別表示である。これより、南東から南西の方向に崩壊発生の卓越方向があり、個数では南西方向、影響面積では南東方向が最大を示す。一方、北東から北西方向までの崩壊は、個数・面積ともに極めて少ないことが分かる。これにはこの地域の谷の発達方向や向斜・背斜軸の方向、さらに地震動の卓越方向などが関わっているものと思われるが、今後さらに検討が必要である。

(3) 斜面勾配と崩壊発生個数・面積の関係

崩壊範囲の斜面勾配と崩壊発生個数・面積の関係を調べた。種々のタイプの崩壊について斜面勾配を一義的に決めるのは困難であり、ここでは単純化のため崩壊影響

範囲内の最高標高と最低標高との差を水平距離で除して求めた。この整理法ではかなりの誤差を含む可能性があるが、大方の傾向を見ることはできよう。

5度きざみにわけ、各角度きざみでの崩壊の個数と影響面積のヒストグラムを図-4に示している。崩壊個数については20°～35°の範囲が最も多いが、それ以下や以上でも多くの崩壊が起きていることが分かる。一方、崩壊面積については10°～25°の範囲が大半を占め、10°未満の緩斜面や35°を超える急斜面での崩壊面積の割合は極めて小さいことが分かる。また、同図には、受盤、流盤、横盤の分類も示している。急勾配になるほど受盤の個数は多くなるが、影響面積はそれほど大きくない。逆に流盤は緩勾配での影響面積が大きいことが明瞭にわかる。これは、比較的緩勾配の流盤では大規模な崩壊が起きていることに対応していると思われる。また、個数・面積ともに10°以下の斜面の割合は極めて少ない。以上の結果より、新潟県中越地震では流盤が大規模な斜面崩壊を引き起こしたことは明らかである。

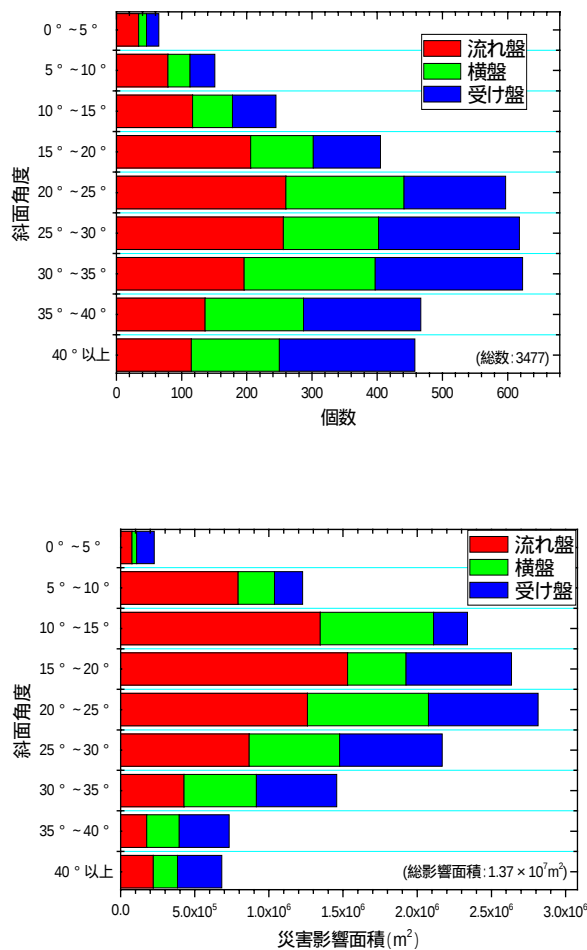


図-4 斜面勾配区分別の崩壊個数と影響面積

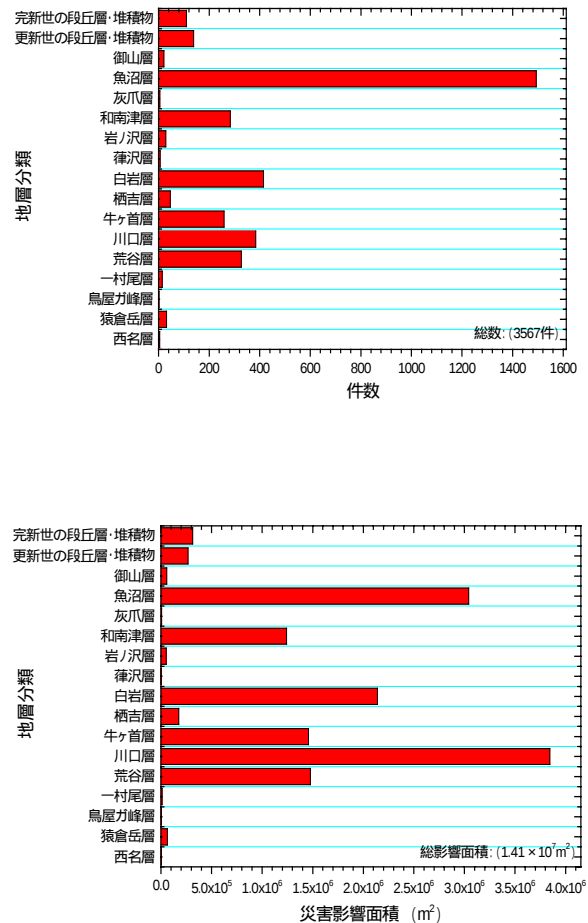


図-5 地層区分と崩壊斜面の個数および影響面積の関係

(4) 崩壊範囲の地層と崩壊発生個数・面積の関係

地質調査所発行の地質図（5 万分の 1 縮尺；小千谷，長岡，十日町，岡野町，柏崎）での斜面構成岩と崩壊発生件数の関係を検討した．地質分類は，時代の新しい方から古い方へ順に，完新世の段丘層，更新世の段丘層，御山層，魚沼層，灰爪層，鮮新世の和南津層，岩ノ沢層，葎沢層，白岩層，栖吉層，牛ヶ首層，川口層，中新世の荒谷層，一村尾層，鳥屋が峰層，猿倉岳層，西名層の 17 種類の地層である．崩壊が 2 種類以上の地層にまたがっている場合は，最大の面積を占める地層で代表させている．図-5 は地層別の崩壊発生件数と地質別の崩壊影響面積を表している．魚沼層，川口層，白岩層が上位 3 位であり，更新世・鮮新世・中新世の中では必ずしも新しい地質ほど崩壊が多い傾向は表れていない．

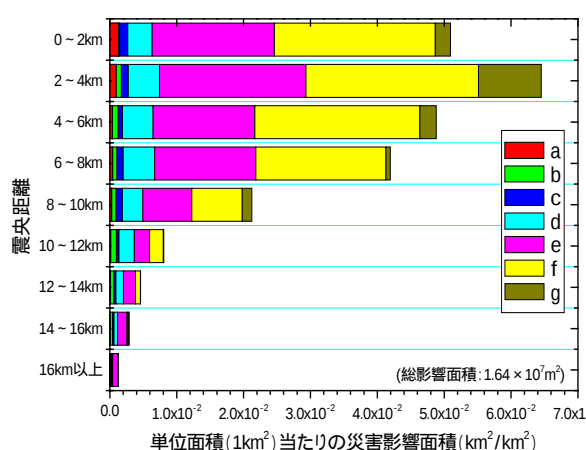
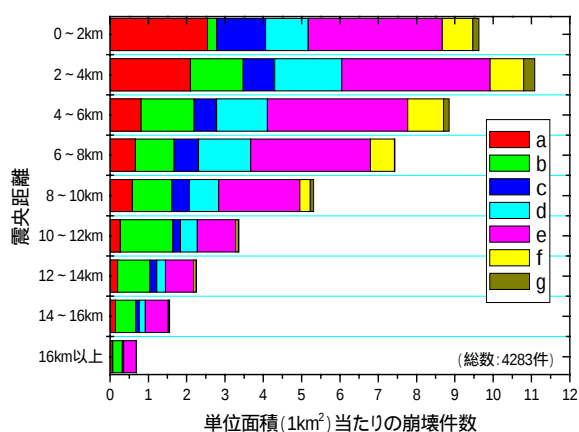


図-6 本震の単位面積当たり（1km²）の崩壊個数と影響面積

(5) 震央距離，入射エネルギー²⁾と崩壊発生個数・影響面積の関係

図-6 には本震の震央距離区分ごとの 1km² 当たりの崩壊斜面個数と影響面積の関係を表している．震央距離が 8km 程度までは 1km² 当たり 7 個以上で 0.04km² 以上の崩壊が発生しているが，10km より外側では個数は 4 個以下で，面積は 0.01km² 以下と明らかに低下している．したがって，本震が斜面崩壊に主要な影響を与えた場合には，震央距離 8～10km が今回の斜面崩壊が高密度に生じた閾値として考えられる．

次に，震央距離が小さくなると地震の入射エネルギーが急激に大きくなることから，入射エネルギーと斜面崩壊の関係を調べて見た³⁾．

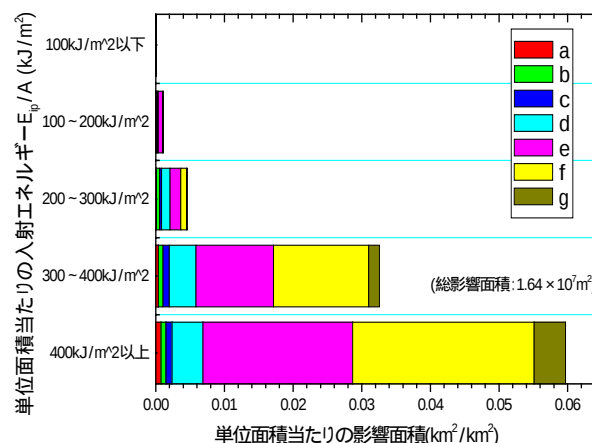
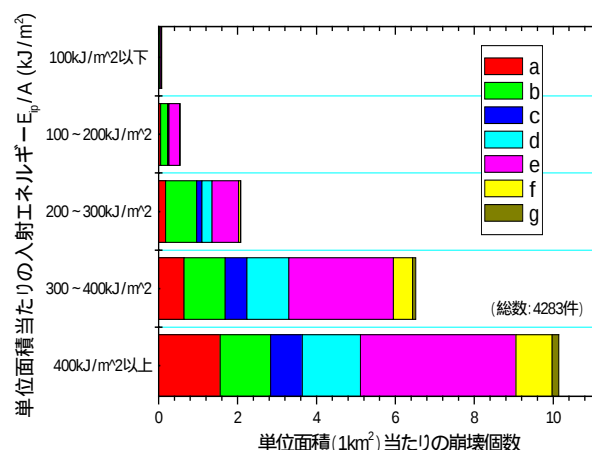


図-7 地震の入射エネルギーと崩壊個数および影響面積

単位面積当たりの入射エネルギー E_{ip}/A は震源からのエネルギーの球面減衰を仮定して

$$E_{ip} / A = E / (4\pi R^2) \quad (1)$$

ここに E : 地震動の全エネルギー R : 震源距離
地震動の全エネルギー E はGutenberg-Richterの式⁴⁾

$$\log E = 1.5M + 11.8 \quad (2)$$

により計算している。

図-7のヒストグラムは、本震についての単位面積当たりの入射エネルギーと崩壊個数、影響面積の関係を示している。今回の崩壊地点における最大の入射エネルギーが 438kJ/m^2 であり、入射エネルギーが大きくなるほど崩壊個数が大きくなっていることがわかる。また、災害影響面積についても 300kJ/m^2 を超えたあたりから急激に大きくなっている。これらのグラフより、地震の入射エネルギーが大きいくほど、斜面崩壊が起こりやすく、また崩壊規模も大きくなっていることが明瞭にわかる。

また、崩壊個数ではタイプfはあまり多くないのにも関わらず、影響面積では 300kJ/m^2 を超えたあたりからかなりの割合を占めており、大規模な崩壊が発生するのは 300kJ/m^2 以上のエネルギーが入射したときであることがわかる。

各地点に到達する入射エネルギーを3D表示すると図-8のようになる。

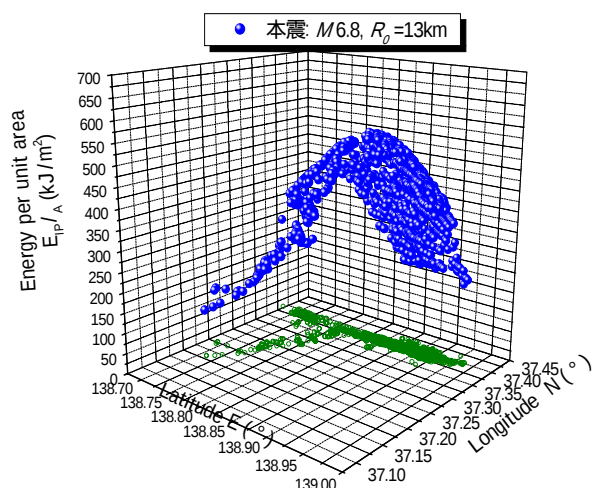


図-8 各地点に到達する入射エネルギー

(6) 道路、河川、池への影響について

旧山古志村とその周辺は、鯉の養殖が主要な産業となっており、多くの養鯉池がある。よって、道路や河川ばかりでなく、池への影響も非常に重要な課題である。

図-9は全斜面崩壊個数のうち、各種施設に影響を与えた個数の割合とその内訳を示したグラフである。国土交通省の中越地震情報集約マップ上で、斜面崩壊の影響範囲と道路、河川、池が多少でも重なっているものを全てカウントした。全体の20%近くはいずれかの施設を巻き込む、あるいは土砂が堆積するなどの影響を与えている。そのうち道路が479件と最も多く、河川については287件、池を巻きこんでいる崩壊も200箇所以上ある。

道路の被害として、盛土部が崩壊したものや、崩壊土塊が道路に達したものがあつた。河川への影響の287件のうち、自然斜面の崩壊により河道閉塞を引き起こしたものや、土砂が河川に流れた程度の比較的小規模の崩壊もあつた。また、池の影響については、棚田や溜池として利用されているところで、それらが液状化やパイピングによる大崩壊を起こしたものや、崩壊土塊中に池が巻き込まれていたものもあつた。一つの崩壊で道路、河川、池への被害を併発しているものも多く見られた。特に、道路、河川、池へ全て影響を及ぼしている崩壊は12箇所あつた。それらは東竹沢や寺野地区の滑りをはじめ、いずれも大きな崩壊である。今後、道路、河川、池に影響を及ぼしたものの中で、さらに細分化して分析していく予定である。

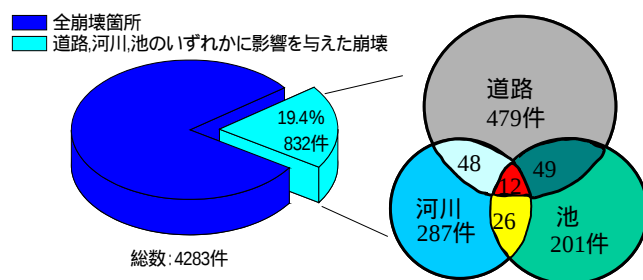


図-9 斜面崩壊の中で道路、河川、池のいずれかに被害を及ぼした割合と内訳

3. まとめ

今回の新潟県中越地震の斜面災害分析により、以下のような知見を得た。

- 1) 方位別では南東から南西の方向に崩壊発生の卓越方向がある。

- 2) 震央距離8～10kmが今回の斜面崩壊が高密度に生じた閾値として考えられる．
- 3) 流盤が大規模な斜面崩壊を引き起こした．
- 4) 新しい地質ほど崩壊が多いという傾向は見られなかった．
- 5) 地震の入射エネルギーが大きいほど，斜面崩壊が起こりやすく，また崩壊規模も大きくなっていることが明らかとなった．
- 6) 今回判別した斜面崩壊個数のうち，約20%は道路，河川や池などの構造物に影響を与えた．

今後，エネルギーと斜面崩壊との関連性について⁵⁾，さらに詳細に追求していく予定である．

謝辞；今回の調査は文部科学省科学技術振興調整費による委託研究開発（活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案，研究代表者：小長井一男）の一環として実施したものである．未筆ながら関係各位に感謝の意を表します．

参考文献：

- 1) 國生剛治ほか：平成18年度受託報告書「活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」第5章 活褶曲地帯の地質・地盤災害に関する研究（課題3）5.1.1 中越地震斜面災害の全体的特徴と地形・地質・地盤との関連の検討，土木学会，2007
- 2) 國生剛治，本山隆一：地震波の上昇波と下降波の分離による表層地盤でのエネルギー収支，土木学会論文集 No.652, 257-267, 2000.6
- 3) T. Kokusho and T. Ishizawa: Energy Approach to Slope Failures and a Case Study in 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake, Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfall 1-12 ATC3 Committee, ISSMGE Japanese Geotechnical Society, to be published, 2006.
- 4) Gutenberg, B. and Richter, C. F., 1956. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration (Second paper), *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 46, 105-145.
- 5) 石澤友浩，國生剛治：エネルギー法による地震時斜面変形量評価方法の開発，土木学会論文集C，Vol.62，論文No.4，pp. 736-746，2006

(2007.06.29 受付)

STATISTICAL STUDY ON INFLUENCING FACTORS OF SLOPE FAILURES DURING NIIGATAKEN CHUETSU EARTHQUAKE

NISHIDA Kyosuke¹⁾, KOKUSHO Takaji²⁾, ISHIZAWA Tomohiro³⁾ and HARA Tadashi⁴⁾

The 2004 Niigataken-Chuetsu earthquake triggered more than 4000 landslides or slope failures. All the failed slopes have been statistically analyzed in this research based on the database published by Ministry of Land and Transportation to identify significant factors influences the slope failures. The failures are classified into 7 types according to their configurations and the influences of slope inclination, sloping direction, epicentral distance, seismic energy, etc. are investigated with special focus on social infrastructures such as roads, rivers and ponds. It has been found that dip slip failure is highly responsible for major large sliding, the incident earthquake energy is controlling factor for major failure, and 20% of the sliding somehow affected the infrastructures.