

16. 地形量に基づく地震時斜面崩壊危険箇所の抽出手法について

The extraction method of topography based seismic slope failure hazard assessment

Toshiaki Nishimura, Mutumi Fujimoto, Syuichi Hasegawa

○西村俊明（復建調査設計株式会社）

藤本 睦（復建調査設計株式会社）

長谷川修一（香川大学工学部）

1. はじめに

21 世紀前半に発生する危険性が高いとされる東南海・南海地震時には、膨大な数の斜面崩壊が発生し、交通ネットワークが遮断されるため、多数の集落が孤立することが懸念されている。被害を軽減するためには、事前に斜面崩壊が発生する場所を抽出し、適切な対策を行う必要がある。

地震時に発生する斜面崩壊の多くは小・中規模の表層崩壊であり、その発生には遷急線や凸状の急傾斜面など地形的な特徴が大きく影響していることが過去の地震災害からわかっている。そこで、国土地理院発行の 25000 分の 1 地形図から作成されている 10m メッシュ DEM(Digital Elevation Model) から、地形量として斜面勾配と平均曲率を算出し、内田他¹⁾による経験式を用いて地震時に崩壊発生の危険性がある斜面を抽出する方法を検討した。

また、本手法がどの程度の精度で斜面崩壊の発生場所を的中させることができるのかを明らかにしておくことは、今後の災害対策を行う上でも重要である。そこで本研究では、東南海・南海地震と同様に海底を震源とする 2007 年新潟県中越沖地震において斜面崩壊が最も集中して発生した柏崎市西山町の沿岸部周辺に本手法を適用し、その適合性の検証を行った。

2. 地形量に基づく斜面崩壊予測手法

過去の地震による斜面崩壊事例の調査を行った結果、地震時に発生する斜面崩壊の多くは小・中規模の表層崩壊であることが分かった。また、急傾斜の受け盤斜面や、頂上斜面から谷壁斜面に変わる遷急線付近などの斜面形状の条件が大きく影響を及ぼしていることも判明した。そこで、兵庫県南部地震による六甲山地における崩壊分布をもとに構築された経験式¹⁾を用いて崩壊危険度の評価を行った²⁾。この経験式は、地震時斜面崩壊危険度を判定する説明変数に斜面勾配、平均曲率、最大加速度を用い、崩壊の発生・非発生を目的関数(F)とした判別分析手法で、各因子にかかる係数を決定し、導出されたものである(式(1))。F が正のとき崩壊が発生すると判定され、F が負のときは崩壊しないと判定される。なお、最大加速度は、中央防災会議による南海地震の模擬地震波の最大加速度である 346.68gal を設定した。

$$F=0.075 \times [\text{斜面傾斜}(\text{°})] - 8.9 \times [\text{平均曲率}] + 0.0056 \times [\text{最大加速度}(\text{gal})] - 3.2 \quad \dots \text{式(1)}$$

F：判別得点

2.1 DEM の種類と性能の比較

DEM を選定するためのモデル斜面として高知県南国市領石地区の斜面を用いた。DEM の選定においては、(a)航空レーザー測量から得られた、1m メッシュ DEM から作成した 10m メッシュ DEM。(b)既存の航測地形図の等高線を内挿した 10m メッシュ DEM。等高線は GIS(ILWIS3.3) 上で、1本1本手作業でデジタル化された(以降、地形図(1/2500)とする)。(c)国土地理院発行の 2万5千分の 1 地形図の 10m 間隔等高線から作成した市販されている 10m メッシュ DEM(以降、地形図(1/25000)とする)の三種類を用いて斜面勾配、平均曲率を求め、斜面崩壊危険度 F を算出し、性能と利用性の検討を行った。

その結果、斜面傾斜は、航空レーザー測量による 10m メッシュ DEM が急傾斜の地形が適切に表現された。地形図(1/2500)による 10m メッシュ DEM は比較的緩傾斜に表現されており、谷地形が強調される傾向が見られた。また、地形図(1/25000)による 10m メッシュ DEM は最も緩傾斜に表現された。

平均曲率は航空レーザー測量による 10m メッシュ DEM は谷、尾根地形ともに非常に詳細に表現された。地形図(1/2500)による 10m メッシュ DEM は谷地形が強調され、尾根地形が緩くなる傾向が見られた。また、地形図(1/25000)による 10m メッシュ DEM は谷、尾根地形ともに緩く表現された。

算出した斜面崩壊危険度(F)が、尾根地形、特に遷急線で大きくなる傾向は三種類の DEM で共通している。航空レーザー測量による 10m メッシュ DEM は平均曲率で尾根・谷とも正確に地形を反映し、急斜面は急傾斜に表現されるため、斜面崩壊危険度(F)は大きくなる(図-1)。地形図(1/2500)による 10m メッシュ DEM の平均曲率は谷で強調され、斜面は緩实际より傾斜に表現されるため、斜面崩壊危険度(F)は航空レーザー測量 DEM と比較して小さくなる(図-2)。地形図(1/25000)による 10m メッシュ DEM においても、斜面崩壊危険度(F)が尾根で大きくなるという地形的な特徴が見られるが、スムージングによって全体的に斜面崩壊危険度(F)は小さくなっている(図-3)。

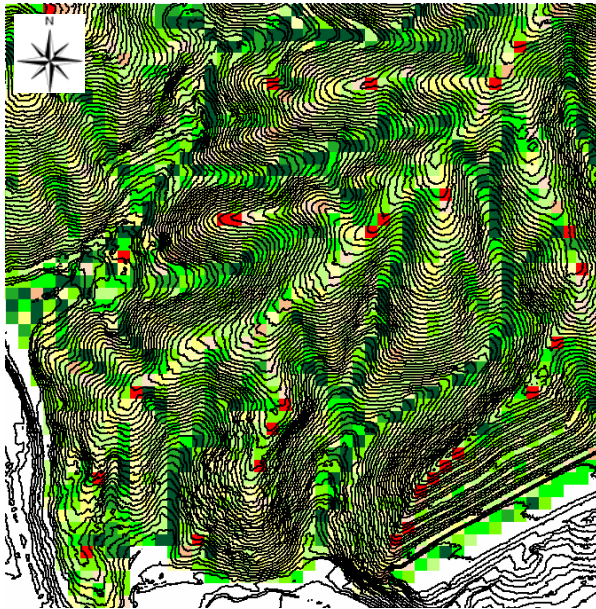


図-1 航空レーザー測量による 10m メッシュ DEM から算出した斜面崩壊危険度(F)

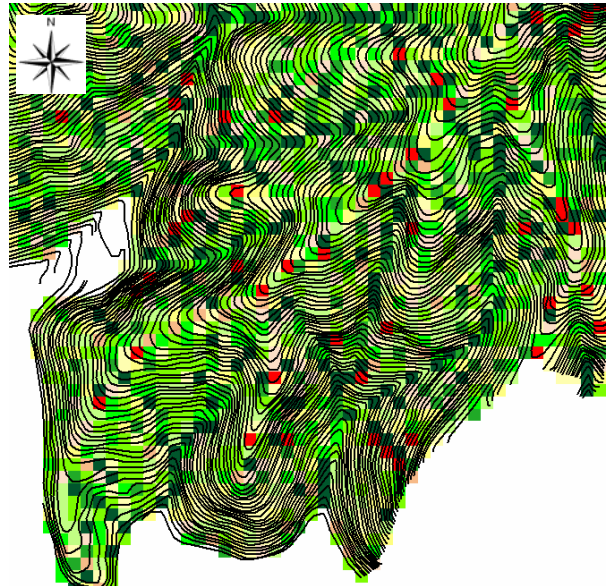


図-2 既存の航測地形図(1/2500)による 10m メッシュ DEM から算出した斜面崩壊危険度(F)

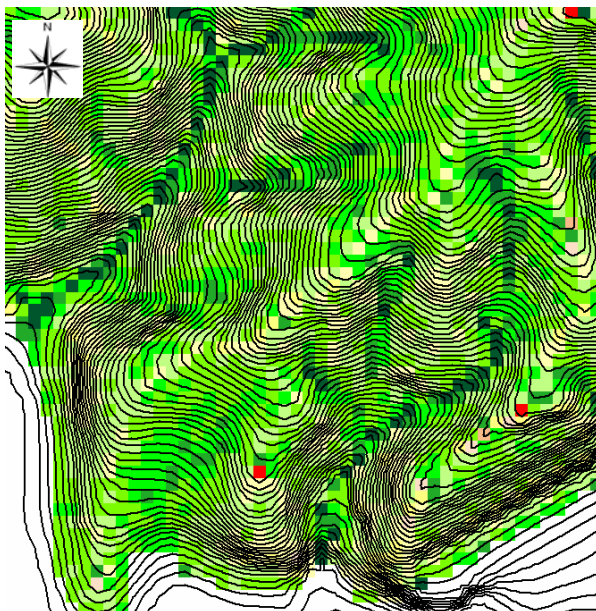
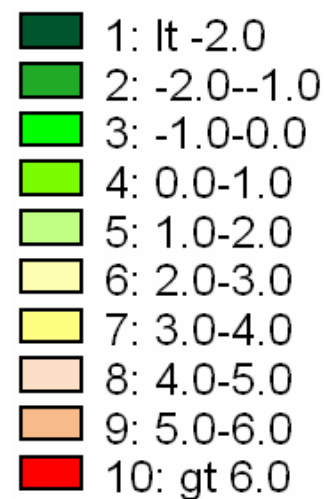


図-3 地形図(1/25000)による 10m メッシュ DEM から算出した斜面崩壊危険度(F)



2.2 使用 DEM の決定

航空レーザー測量は、1m メッシュ DEM の作成も可能で、平均曲率・斜面勾配とともに微地形を正確に反映していることから、局所的に斜面崩壊危険度(F)が大きい箇所を適切に抽出することが可能である。しかし、航空レーザー測量には比較的多くの費用がかかるため、広域的な評価を行う際には不経済となる。

また、2千500分の1程度の航測地形図からデジタイジングを行い、500×500mの範囲の10mメッシュDEMを作成するには膨大な時間がかかり、広域的な評価を行うには適切でない。また、法面など等高線の無い所では作業不可能である。

一方、国土地理院発行の2万5千分の1地形図から作成された10mメッシュDEMは、三種類の中で最も安価であるが、10m間隔の等高線を基に作成されているため、斜面勾配は実際よりも緩く、平均曲率の絶対値は小さくなり、結果として斜面崩壊危険度(F)も小さくなる傾向にある。しかし、斜面崩壊危険度(F)が尾根で大きくなる地形的な特徴はとらえられている。

以上のことから総合的に判断すると、東南海・南海地震のような超広域的な被害が想定される場合においては、2万5千分の1地形図から作成された10mメッシュDEMを用いて斜面崩壊危険度(F)を算出し、危険箇所の抽出を行うのが適当であるといえる。

3. 検証地点の概要

3.1 新潟県中越沖地震の概要

2007年7月16日午前10時13分頃、新潟県中越沖(北緯37.5度、東経138.6度)で、深さ17kmを震源とするマグニチュード6.8の地震が発生した。新潟県柏崎市、長岡市、刈羽村、長野県飯綱町で震度6強を、新潟県上越市、小千谷市、出雲崎町で震度6弱を観測した(図-4)。また、柏崎市西山町池浦観測所では1000galを超える大きな加速度を観測した。今回の地震は、北西-南東方向の張力軸を持つ逆断層型の地震であったと考えられている。

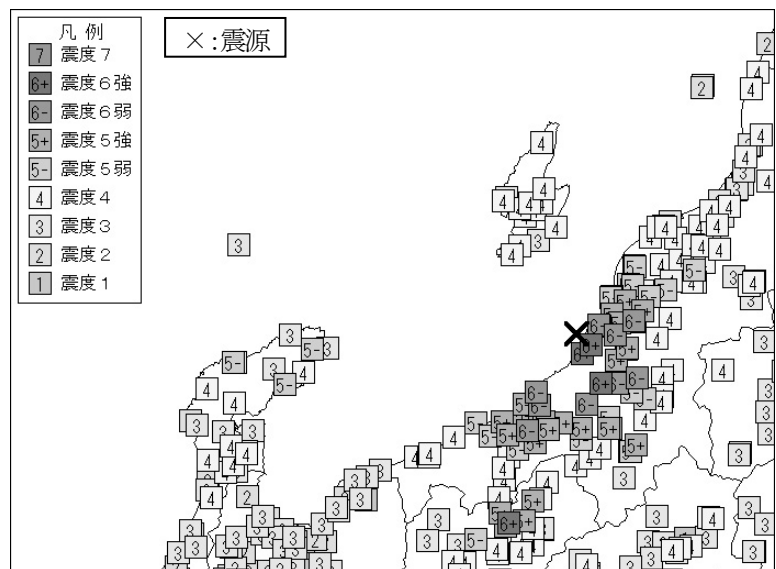


図-4 新潟県中越沖地震の震度分布(気象庁発表)⁴⁾

3.2 斜面災害の概要

地震による斜面崩壊は、早期復旧が可能な小・中規模の表層崩壊と復旧に時間を要する大規模崩壊・地すべりに分類することができる。本地震では2004年新潟県中越地震で発生した斜面崩壊・地すべりと比較して、大規模崩壊・地すべりの発生個数が非常に少なく、JR青海川駅近くの斜面崩壊に代表されるような小・中規模の表層崩壊が多数を占めた。これらの崩壊は遷急線や凸状の急傾斜面の表層土の崩壊であり、海岸線の段丘礫層と風化火山岩海蝕崖の急傾斜面に集中して発生していた(図-5)。これらの斜面崩壊による人的な被害はなかったものの、海岸線や山間部を中心に国道、県道その他合わせて21箇所道路が通行止めとなった。北陸自動車道では上越インターチェンジから長岡ジャンクションにかけて段差やトンネルに損傷が見られたが、翌朝の7月17日には片側通行・速度制限等の規制は一部であるものの通行が可能となった。長岡市大積千本町では地すべりによって国道8号線が寸断されたが、災害から一週間経った7月23日には通行可能となった(図-6)。国道352号線柏崎市椎谷-大崎区間では幅約250m、高さ100mに渡り斜面が崩壊し、約30000m³の土砂が道路を塞いだ(図-6)。この崩壊斜面には脆弱な箇所が残っており、応急の復旧工事もできない状況となっていた。近くの県道が迂回路となったが、同国道は災害時や東京電力柏崎刈羽原発での事故発生時などの避難道路に位置付けられており、国の事業採択を受け、新たにトンネルを建設する復旧工事が着手されている⁶⁾。

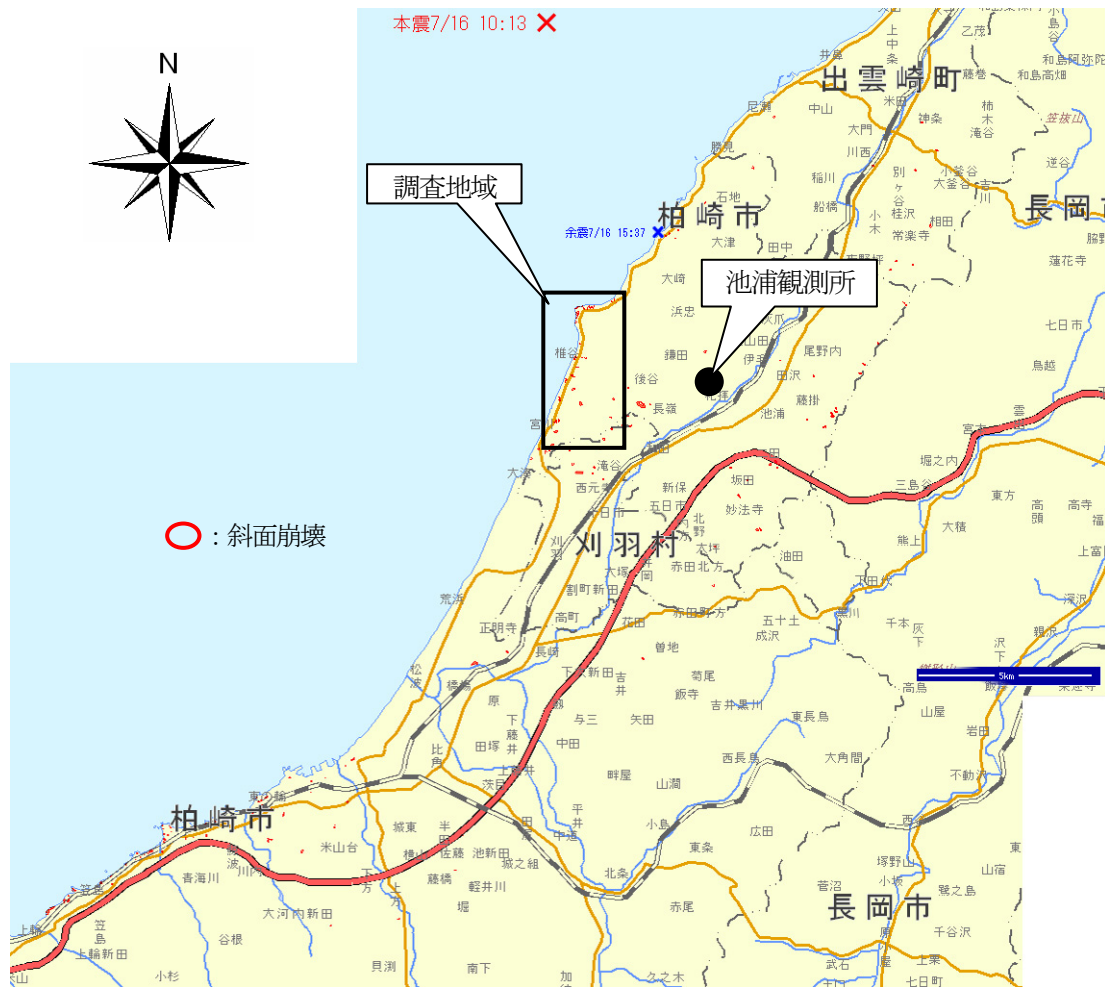


図-5 新潟県中越沖地震による斜面崩壊分布図⁵⁾

3.3 検証地点の選定

柏崎市西山町の沿岸部周辺(図-5)は、本震の震源地から比較的近く、池浦観測所(図-5 参照)では1018.9galの最大加速度が観測された。この地域で発生した斜面崩壊は地震時に多発する、遷急線や凸状の急傾斜面からの小・中規模の表層崩壊によるものであった。崩壊箇所は被災地の中で最も集中しており、国道352号線柏崎市椎谷-大崎区間を含む5箇所で行き止りとなっていた。これらのことから、当地域を本手法の検証地点に選定した。



図-6 通行止めとなった国道352号線柏崎市椎谷-大崎区間(2007/7/28撮影)

4. 検証方法と検証結果

4.1 検証方法

検証方法は以下の通りである。

- ①空中写真判読を行い、斜面崩壊の分布図を作成する(図-7)。
- ②現地調査を行い、斜面崩壊の種類や形態を調べ、上記の分布図の確認を行う。
- ③地形図(1/25000)による10mメッシュDEMを用いて、対象地域である新潟県柏崎市西山町周辺の斜面崩壊危険度(F)の算出を行う。最大加速度には前述の1018.9galを設定した。
- ④GIS上で斜面崩壊危険度(F)と斜面崩壊分布図を重ね合わせ(図-8)、崩壊発生斜面内のピクセルの斜面崩壊危険度(0以下~10以上までの12段階)を抜き出し、対象地域内の各斜面崩壊危険度(F)の全ピクセル数で除し、その発生確率の考察を行った。

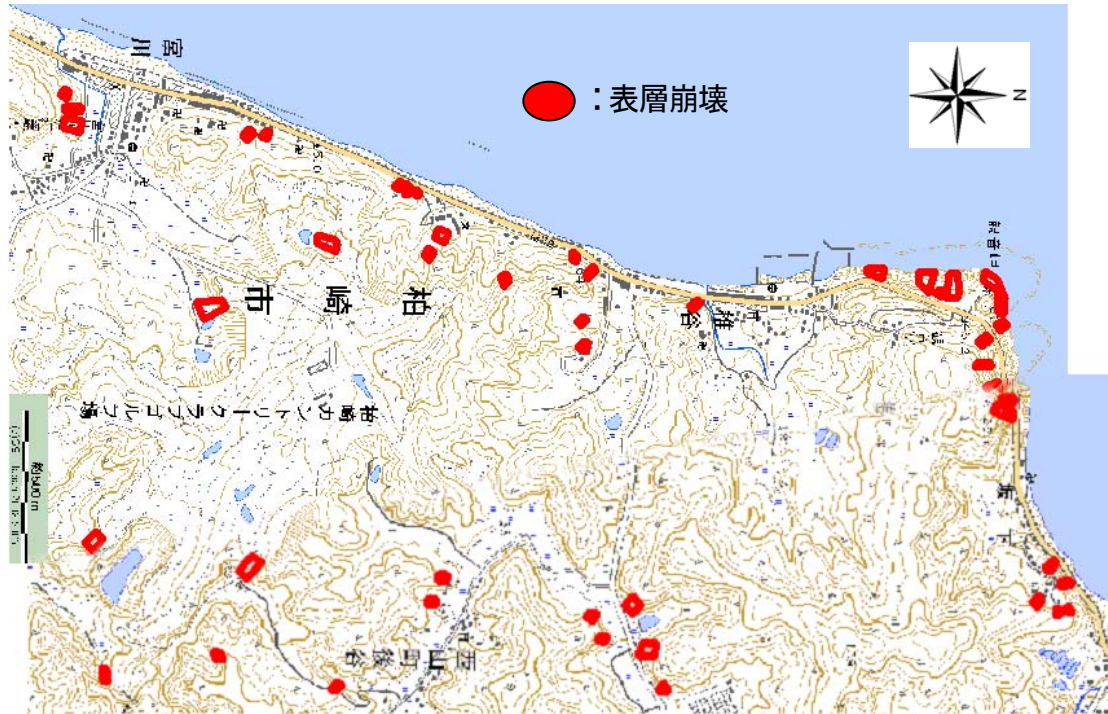


図-7 2007年新潟県中越沖地震による柏崎市西山町周辺の斜面崩壊分布図
(国土地理院25000分の1・地形図「宮川」の一部に加筆)

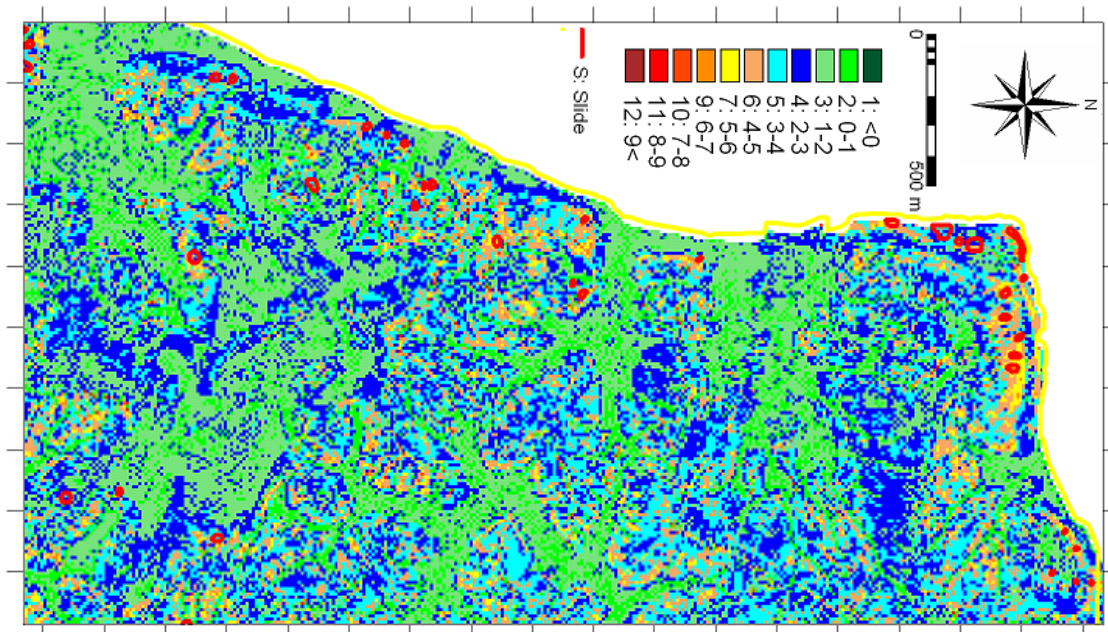


図-8 柏崎市西山町周辺の斜面崩壊危険度(F)と崩壊分布

4.2 検証結果

発生確率の検証結果を図-9 に示す。斜面崩壊危険度(F)の値が 0 よりも小さい値の場所では崩壊は発生していなかった。斜面崩壊危険度(F)の値が 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 では崩壊発生確率が 2%以下と非常に低い確率となっている。斜面崩壊危険度(F)の値が 5-6, 6-7, 7-8, 8-9 では 2.4%から 3.4%とやや高くなっている。9以上の箇所では 4.3%と最も高い確率で崩壊が発生している。

全体をしてみると、斜面崩壊危険度(F)の値が大きくなれば、崩壊発生確率が高くなる傾向が認められる。このことから F の値が大きければ大きいほど崩壊発生の危険性が高い斜面であるといえる。しかし、斜面崩壊の発生確率としては全て 5%よりも小さいものである。このことは、斜面崩壊の素因として、地形要因だけでなく、地質や植生等が複雑に影響しているためと考えられる。

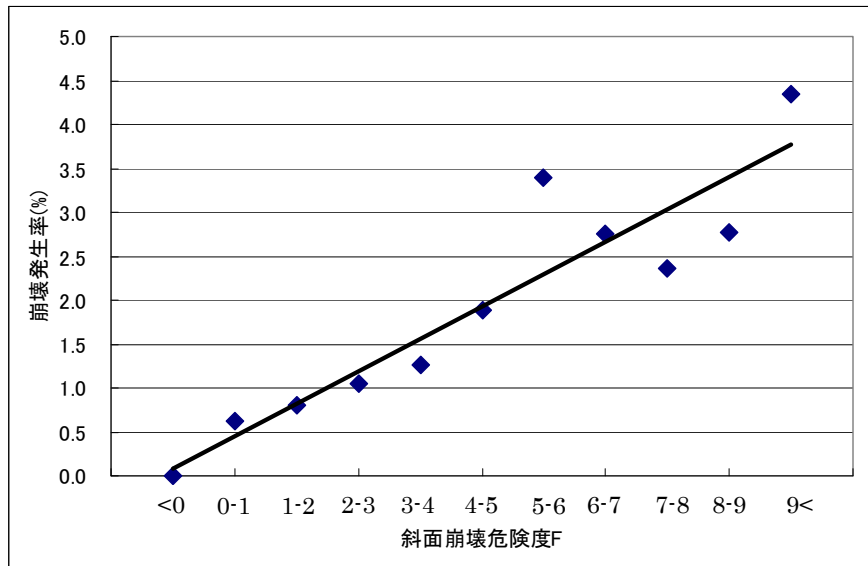


図-9 柏崎市西山町周辺における各斜面崩壊危険度(F)の崩壊発生率

5. まとめ

検証の結果、地形量に基づく斜面崩壊予測手法の 2007 年新潟県中越沖地震への適合率は最大でも 4.3%と低い値となったが、斜面崩壊危険度(F)の値が大きくなると、崩壊発生確率も大きくなるという関係を確認することができた。このことから、本手法は正確に斜面崩壊が発生する場所を抽出するための手法としてではなく、広域な対象地域から相対的に斜面崩壊が発生する危険性が高い地区を絞り込む予備検討に用いるのが妥当であると考えられる。

本手法を用いれば、抽出した斜面崩壊危険地区に対して、を抽出し、民家、避難所、道路、その他重要施設などの状況、非常時の交通ネットワーク等を総合的に判断した上で、効率的な対策を進めることが可能となる。

参考文献：

- 1) 内田太朗, 片岡正次郎, 岩男忠明, 松尾修, 寺田秀樹, 中野康雄, 杉浦信雄, 小山内信智: 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 204, 91pp., 2004.
- 2) 野々村敦子, 長谷川修一, 藤井紀綱, 林宏年: 航空レーザー測量を活用した地震時の斜面崩壊危険度の評価, 土木学会四国支部第 13 回技術研究発表会講演概要集, 250pp., 2007.
- 3) 西村俊明, 野々村敦子, 長谷川修一, 林宏年: 異なる DEM による地震時の斜面崩壊危険度の評価, 土木学会四国支部第 13 回技術研究発表会講演概要集, 252pp., 2007.
- 4) 気象庁: 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の特集
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/index.html
- 5) 国土地理院: 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震災害状況図
<http://www1.gsi.go.jp/geowww/saigaikiroku/0707-chuetsuoki/index.html>
- 6) 国土交通省北陸地方整備局: 道路情報 <http://www.hrr.mlit.go.jp/road/chuetsuoki/>