

氏名	この たかひこ 今野 隆彦		
授与学位	博士(工学)		
学位授与年月日	平成24年3月27日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 土木工学専攻		
学位論文題目	亀裂性岩盤の切土斜面崩壊に関する限界雨量の評価と ハザードマップへの適用		
指導教員	東北大学教授 真野 明		
論文審査委員	主査 東北大学教授 真野 明	東北大学教授 田中 仁	
	東北大学教授 風間 聡	東北大学准教授 有働 恵子	

論文内容要旨

第1章 序論.

わが国では斜面崩壊が土砂災害のうち 65%を占め、これを原因とする死者・行方不明者数が多いことを挙げ、今後の斜面崩壊の防災にハザードマップが必要なことを述べた。これまで、亀裂性岩盤地帯の斜面崩壊と降雨を同時に研究した例がほとんどないことを指摘した。亀裂性岩盤斜面における限界雨量の予測とすべり方向を考慮したハザードマップの作成が本研究の目的であることを述べた。限界雨量は、降り始め以前の 24 時間が無降雨で、崩壊までの積算降雨と定義した。

第2章 既往の研究とハザードマップの現状.

岩盤斜面崩壊の形態分類について説明し、平面すべりとクサビすべりが本研究の対象であることを示した。亀裂性岩盤における斜面の安定度の評価手法は経験的手法、極限平衡法および連続体型解析があるが、本研究では平面すべり、クサビすべりに一般的に用いられる極限平衡法による安定計算式を採用した。岩盤斜面崩壊の研究は、平面すべり、クサビすべりですべり方向、角度を中心にステレオネットを使用した解析などがあるが、降雨条件を同時に評価した研究はほとんどない。

現在、土砂災害のハザードマップは各市町村が作成し、各戸に配布、公表することになっている。現状の整備率は全国の各市町村の約 4 割程度である。土砂災害のうち斜面崩壊のハザードマップは急傾斜地の分布を示したものである。しかし、急傾斜地の定義は、保全対象のある斜面で傾斜 30 度以上、高さ 5m 以上の斜面となっている。亀裂性岩盤の分布地では地質的分離面が斜面崩壊の原因の一つであり、斜面崩壊の方向性があることから、ハザードの評価が実態と合わない部分がある。また、ハザードマップに降雨条件を示すことも必要で、亀裂性岩盤斜面の崩壊と限界降雨について研究する必要性を述べた。

第3章 斜面崩壊のパラメータの抽出と限界降雨.

第3章では本研究の目的のひとつである亀裂性岩盤の斜面崩壊に関する限界降雨の予測式を提案した。図-1に

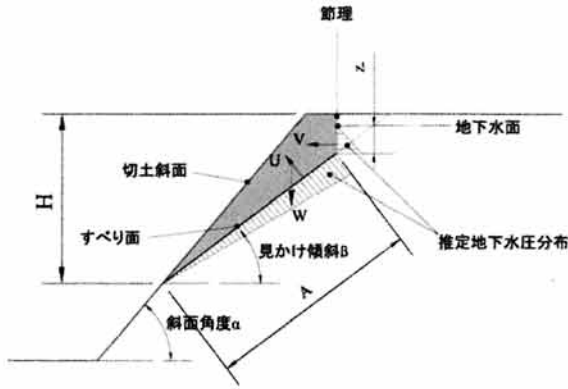


図-1 平面すべり安定計算概念図

平面すべりの安定計算概念図を示す。極限平衡法による安定計算式(1)の展開により斜面の傾斜 α 、すべり面の見かけ角度 β （くさび崩壊の交差線の角度）とすべり面のせん断強度がパラメータであることを示した。さらに、風化程度と硬さからせん断強度を間接的に推定するため、岩盤のヤング率 E 、岩石の一軸圧縮強度 σ_c を採用した。

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \cdot \tan \phi}{W \sin \beta + V \cos \beta} \quad (1)$$

すべり面と引張亀裂に作用する間隙水圧 U, V は地下水

位変化の関数であり、古典的な水収支式から地下水位変化は容積率と降雨の関数となることが知られている。この関係から、斜面崩壊時の限界降雨 r が斜面傾斜 α 、すべり面の見かけ角度 β 、岩盤のヤング率 E 、岩石の一軸圧縮強度 σ_c の4パラメータから求められることを示した。

次に、本研究の対象地である亀裂性岩盤斜面の崩壊が多い宮城県牡鹿半島における崩壊データの収集を行った。73箇所の斜面崩壊データのうち、崩壊時間が明確な6箇所で現地の斜面傾斜、地質構造、風化程度の確認を行った。硬さと風化程度の定性的なデータは牡鹿半島の大型構造物の試験データを外部指標として岩石の一軸圧縮強度 σ_c 、岩盤のヤング率 E を用いて評価した。さらにインタクトな岩石強度・岩盤のヤング率で標準化を行い、対数線形重回帰分析を行って、式(2)に示す限界雨量 r の予測式を提案した。

$$r = 400 \cdot (\sigma_c / 194)^{0.12} \cdot (E / 5000)^{0.28} \cdot (1 / \sin \beta)^{0.77} \cdot (1 / \tan \alpha)^{0.77} \quad (2)$$

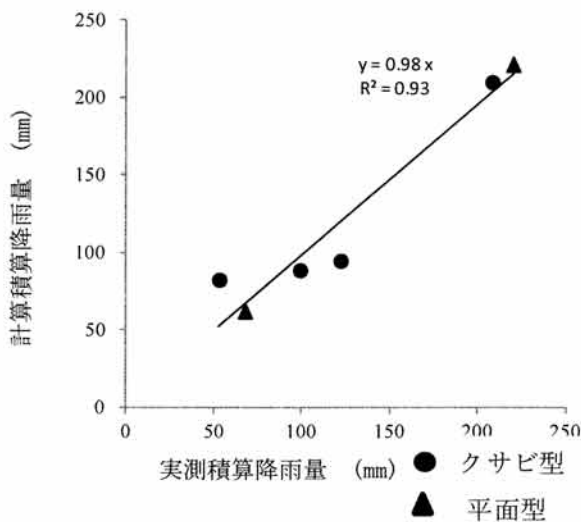


図-2 予測式による限界降雨と実測値の対比

式(2)を用いた限界降雨 r の計算値と実測値の対比は図-2のようであり、よい相関がある。また、主要なパラメータである斜面の傾斜 α とすべり面の角度 β の指数は理論式からもその妥当性が証明された。

第4章 寄磯地区のハザードマップ

第4章では石巻市寄磯浜地区のハザードマップの作成について述べている。図-3に示すように寄磯地区を断層と褶曲で6地質構造区に区分し、このうち人家の多い2地質構造区で、節理面、層理面、劈開面、断層面の不連続面データを収集した。このデータをステレオネットにプロットし、各地質構造区の代表的なすべり面の抽出を行った。さらにこの代表的な

不連続面によって形成されるクサビすべりの交差線から各地質構造区のすべり方向と角度を検討した。クサビす

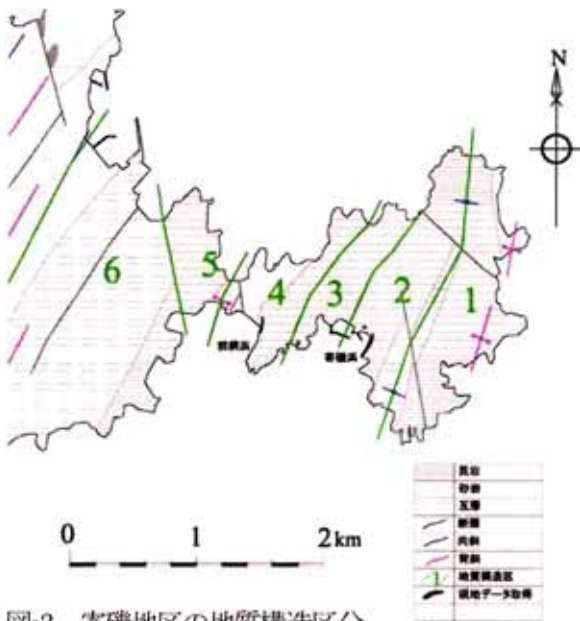


図-3 寄磯地区の地質構造区分

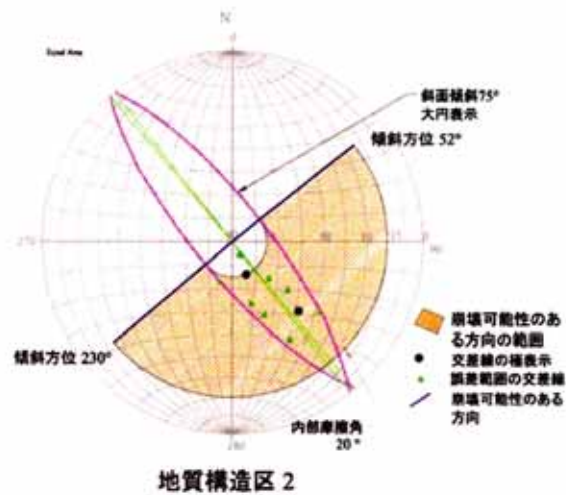


図-4 すべり方位と傾斜の検討図

べりは斜面の傾斜 α ，クサビを形成する2面のすべり面の交差線角度 β とすべり面の内部摩擦角 ϕ が次の関係にあるとき発生する。

$$\phi \leq \beta \leq \alpha \quad (3)$$

この関係を示したのが、図-4である。ここでは、地質構造区2で、斜面傾斜 $\alpha = 75^\circ$ ，内部摩擦角 $\phi = 20^\circ$ の場合で2点の黒丸で示される交差線との関係で、着色部がクサビすべり方位を示している。限界雨量はこの交差線の角度を使用して、斜面の岩石の硬さと風化程度を設定することにより式(2)で計算が可能である。石巻市と気象台の土砂災害に関する警報を参考として、限界雨量 60mm, 80mm, 100mm に対応する斜面角度を計算し、すべり方向とあわせ寄磯地区のハザードマップの試作を行った。試作に使用した各地質構造区のすべり方位と角度は表-1に示す。

表-1 各地質構造区のすべり方位と斜面傾斜(°)

地質構造区	すべり方位(°)	限界雨量 (mm)		
		60	80	100
1	121-25	62	52	44
2	52-230	60	50	-
3	36-212	65.5	56	48.5
4	33-215	63	53.5	45.5
5	-	-	-	-
6	137-33	66	57.2	49.3

試作には、GISソフト(Arc GIS v.10)を使用し、10mメッシュの数値標高データを使用して解析、作図した。解析精度は15mメッシュであり、今回の予測式の解析に用いた斜面崩壊データの平均値とほぼ同程度の精度を確保している。

第5章 まとめと今後の展望

第5章では本研究の結論と今後の展望について整理している。本研究で得られた結論は次のとおりである。本研究においては、堆積性の亀裂性岩盤の切土斜面崩壊について、斜面崩壊が発生する限界雨量が斜面傾斜 α ，クサビすべりの交差線の角度または平面すべりの見かけ傾斜 β ，岩盤のヤング率 E ，岩石の一軸圧縮強度 σ_c の4パラメータの関数であることを示し、斜面崩壊の限界雨量の予測式を提案した。この式により、4個のパラメータで亀裂性岩盤地帯の斜面崩壊の限界雨量が推定できる。

牡鹿半島中央東部の寄磯浜地区で、地質構造区分と分離面の調査を行い、ステレオネットを使用した解析で、

クサビすべりの方位と角度を求め、すべり方位と限界雨量予測式から警戒雨量に対応する斜面傾斜求め、GISソフトを使用して、図-5 に示す寄磯地区の限界降雨による斜面崩壊ハザードマップを試作した。この方法により、地質構造区を設定して、その地区のハザードマップの作成と道路や住宅に関する切土のり面の安定斜面の方位と傾斜を設計できる。

今後の課題と展望は次のとおりである。斜面崩壊データは、GPS 機能を搭載した電子機器の普及で、今後の収集が容易になり、発生時間の正確なデータが集まることが期待され、限界降雨の予測式の精度向上を図ることが期待される。外力として地震を対象外としたが、亀裂性岩盤ではクサビすべりの方位と角度が重要であることは限界雨量と同じであり、今後の研究に期待したい。

本研究で検討した限界降雨の予測式は同種の中古生層の堆積岩類や亀裂性岩盤の斜面崩壊に理論上適用可能であり、すべり方位と角度の検討は、道路、住宅地などの新設、新築計画で予防的に活用できる。ハザードマップは、身近な防災の基本情報であり、住民の生活に密着したものでなければいざという時に役に立たない。このためには、現地の地形・地質条件を反映したハザードマップを作製して地元を提供し、丁寧な説明によって理解を深めてもらうことがソフト対策の重要課題であろう。このため、今後も斜面崩壊をはじめとした土砂災害の防災・減災に取り組んでいきたい。

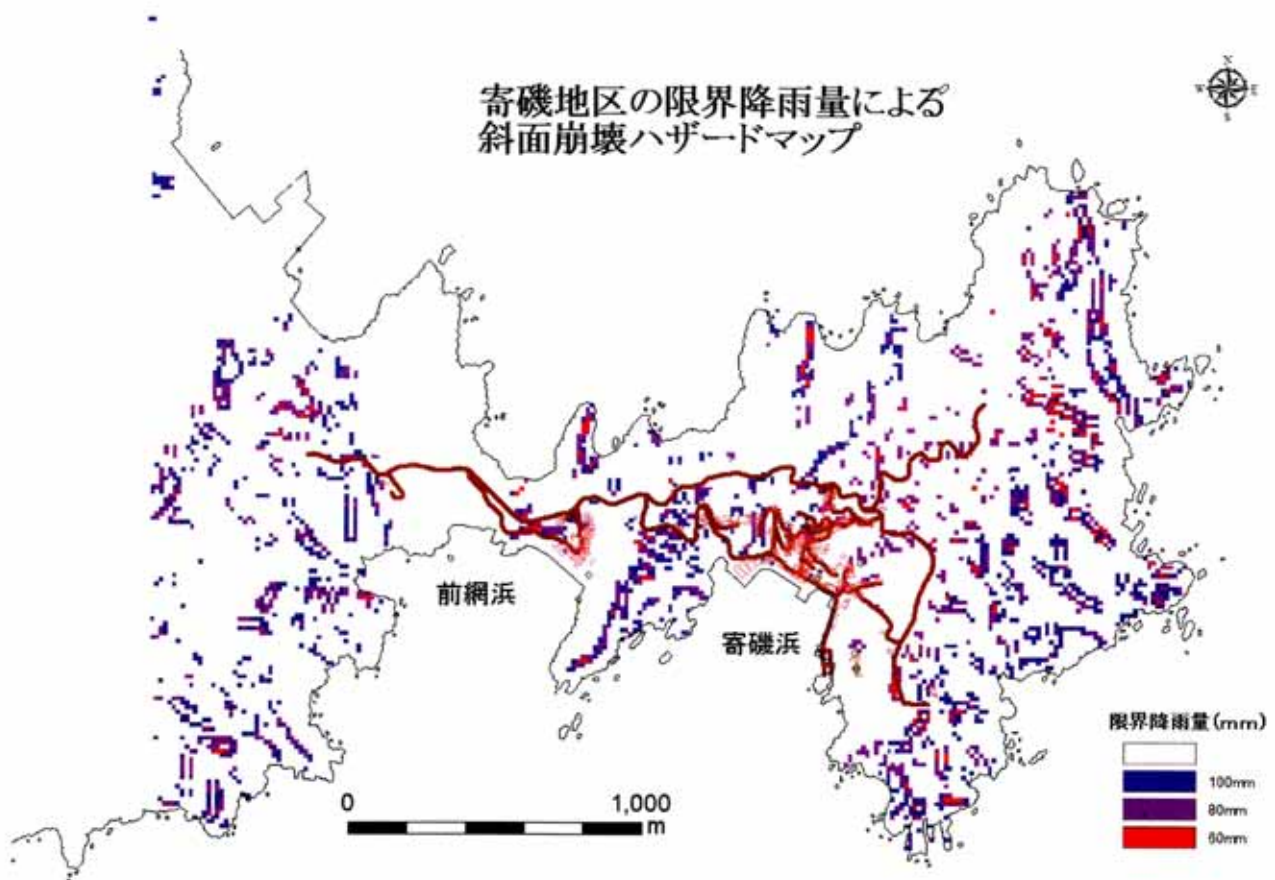


図-5 寄磯地区の限界降雨による斜面崩壊ハザードマップ

論文審査結果の要旨

我が国では斜面崩壊が土砂災害のうちの65%を占め、毎年多くの人命が失われている。これを予測し、危険地域を予め住民に周知することが、被害軽減に大きく貢献することになる。本研究は、予測精度が高く汎用性に優れた、亀裂性岩盤斜面崩壊限界雨量の予測手法を開発し、それをハザードマップに展開するための技術開発を目的として研究を行なったものである。

第1章は、序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章は、文献調査であり、既往の研究を調査し問題点を総括している。最初に崩壊形態の分類について説明し、本研究の解析対象として、主要な崩壊形態である平面すべりとクサビすべりを選択することが重要であることを示した。次に、解析手法として極限平衡法を発展させることが、解析結果の普遍性や少ないデータでパラメータ同定を可能にする適用性の高さを保証していること、また既往の研究でこの解析法に降雨条件を組み込んだ検討が行われていないことなどを示した。これらは、研究の枠組みを決める上で重要な整理である。

第3章では、斜面崩壊限界雨量の予測に関する技術開発を行った。極限平衡法による安定条件から、限界降雨には4個のパラメータ、岩石の一軸圧縮強度とヤング率、斜面傾斜角度、すべり面の見かけ角度によって評価できることを明らかにした。次に、崩壊が多数発生している宮城県牡鹿半島で、崩壊時間が明確な6か所データを収集し、崩壊時刻までの累積雨量を説明する4個のパラメータの対数線形回帰分析を行った。相関係数は0.99と非常に高く、高精度で限界降雨を予測できることを示した。また、回帰した指数も理論式と整合しており、汎用性の高い回帰式であることを示した。これは、従来崩壊発生の限界条件として個別に議論されていた、降雨条件、地形条件、地質条件を統合したものであり、画期的な技術開発である。

第4章では、石巻市寄磯地区にこの予測式を適用しハザードマップに展開するための技術開発について述べている。この地区を断層と褶曲により区分し、不連続面データ、斜面勾配データを収集した。石巻市が土砂災害に関して発表する警報雨量を超えたとき、斜面崩壊が発生する場所を特定しハザードマップに展開した。これは、警報雨量に対して各地域の斜面崩壊危険度を明示したものであり、早期避難などに直接活用され、被害軽減に結び付く効果的な技術開発である。

第5章は結論である。

以上のように、本研究は、高精度で汎用性の優れた斜面崩壊限界雨量の予測手法を確立し、これをハザードマップに展開したもので、防災工学の発展に大きく貢献する。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。