

地質の異なる斜面での降雨に起因した 表層崩壊の地域特性

岡 信彦*・風間秀彦**・芥川眞知***・
小田匡寛****

本研究は、主に砂質層、泥質岩並びにロームの被覆する地域で降雨により崩壊した斜面を対象に、地盤構成並びに要因の分析から地域特性について検討したものである。

崩壊発生に影響の高い要因は、地域によってあまり差異はなく斜面勾配、降雨、崩壊歴等であるが、その中のカテゴリーには地域的な差異が認められる。そしてこれらの原因として、斜面表層部の構成や土質性状等が関連している。

Key Words : slope failure, quantification theory, site characteristics, rainfall

1. ま え が き

台風および集中豪雨等による斜面崩壊は、毎年発生しており、人命の損傷、家屋や各種公共施設の倒壊など数多くの被害をもたらしている。関東地方では特に千葉県で斜面崩壊による災害が多く、その崩壊の多くは表層崩壊である。

降雨に起因した自然斜面の表層崩壊は、地形、地質、土質、植生等多くの要因が複雑にからみあって発生すると考えられる。斜面崩壊に関する既往の研究には、統計的手法によりその要因を明らかにしようとする研究と工学的アプローチによって崩壊機構を究明しようとする研究がある。前者は、沖村ら¹⁾や小橋ら²⁾のように数多くの事例を統計処理によって崩壊の原因となる要因を抽出し、崩壊の予知へと結びつける研究などがそれにあたる。一方、後者は実際の崩壊を土質工学的などの観点から崩壊機構を解明するもので、西田ら³⁾や八木ら⁴⁾による研究などがそれにあたる。従来の研究は、前者のみの研究や後者のみの研究がほとんどである。また、今回の研究対象の一つとした成田層群の砂質層地盤では、大久保⁵⁾のアンケートによる要因分析や芥川・風間ら^{6),7)}による斜面の不安定化と崩壊との関係や崩壊予知の限界降雨量などの研究がある。これら研究の多くは、単一地盤を対象にしていること、また要因分析には最も重要な要因である降雨量等を除いて解析していること、仮に降雨を要因に入れても降雨と崩壊の関係のみでその他の要因がないこと等の問題点も挙げられる。

そこで筆者らは、千葉県の泥質岩地盤・砂質層地盤、栃木県のローム被覆地盤等の地質条件の異なる地域でか

つ降雨により斜面が崩壊した地域を対象に、土性図等のデータから断面的な特徴を土質工学的な観点からとらえると同時に、平面的な広がりについては数量化理論Ⅱ類による要因分析を行い、崩壊発生の予測に重要な要因を検討した。そして、斜面の工学的性質と要因分析の両者に関連づけるとともに地質の異なる斜面に対してその地域性を明らかにすることを目的とした。

2. 対象地域と崩壊の概要

(1) 対象地域の概要

対象地域は、豪雨等によって斜面崩壊が発生することが多い千葉県と昭和61年8月の台風10号によって斜面が崩壊した栃木県茂木町とその周辺である。

千葉県については、新第三紀上総層群の主に泥質岩からなる県南部の地域(以下泥質岩地域と呼ぶ)と第四紀成田層群の主に砂からなる県北東部から房総半島中央部の地域(以下砂質層地域と呼ぶ)である。

栃木県茂木町周辺は、古生代および新第三紀の堆積岩を基盤岩としており、それをロームが被覆している(以下ローム地域と呼ぶ)地域である。

(2) 崩壊の概要

本研究において対象とした降雨による崩壊状況を以下に述べる。なお、これらの降雨の詳細は、4.(1)に説明する。

千葉県の昭和45年7月1日降雨により発生した崩壊箇所は、千葉県の報告⁸⁾によると夷隅川が圧倒的に多く、総計3,500箇所にとんでいる。これら崩壊の大部分が泥質岩地域で発生している。これまで、千葉県で発生した気象災害のうち、特に大規模であったといわれる昭和13年6月の降雨では山崩れは625箇所を数え、崩壊箇所は比類のない数であった。

昭和46年9月6日から8日にかけての降雨により発生した崩壊は主に砂質層地域と泥質岩地域であり、その

* 正会員 東電設計(株)第一土木本部応用地質部課長
(〒110 台東区上野 3-3-3)

** 正会員 埼玉大学 工学部建設基礎工学科

*** 理博 日特建設(株)常任顧問

**** 正会員 工博 埼玉大学教授工学部建設基礎工学科

箇所は嶋らの報告⁹⁾によると、昭和45年よりもさらに大きく約8,000箇所にも及んでおり56名の尊い人命が失われた。

栃木県の昭和61年8月4日～5日の降雨により発生した崩壊箇所は千葉県に比べてはるかに少なく約300箇所であり、4名が死亡した。

3. 斜面表層部の構成と工学的性質ならびに崩壊の特徴

(1) 調査の概要

各地域において表層崩壊を起こした箇所の斜面表層部の構成と工学的性質を明らかにするために、代表的な地点を選んで土質工学的な調査を行った。

千葉県泥質岩地域と砂質層地域では、代表的な復旧斜面3～4カ所と、それぞれ崩壊斜面に隣接し崩壊をまぬがれた不安定と思われる斜面で、静的コーン貫入試験を行い、また、土質構成を調べるために数個のテストピットを掘って詳細な観察をするとともに、攪乱・不攪乱試料を採取して土質試験を実施した。また、泥質岩地域では崩壊をまぬがれた隣接斜面で現場透水試験を行った。

栃木県ROOM地域では、益子町の崩壊上部の未崩壊斜面においてテストピットによる表層断面の観察、ピットとオーガーボーリングによって採取した試料の土質試験を実施した。また鳥山町の未崩壊の不安定と思われる斜面において、ボーリング及び標準貫入試験を行うとともにテストピットの掘削、土研式簡易貫入試験等を実施した。

(2) 斜面表層部の構成と工学的性質

a) 千葉県泥質岩地域

泥質岩地域の崩壊の形式はほとんどの場合基盤が泥岩からなり、その上にある表土や風化層が崩壊する、いわゆる表層すべりである。

テストピットにおける土性図を図-1に示した。樹木の根は泥岩の上部までで、深くても1mくらいである。しかし、杉の太い根の部分はきわめて浅く、地表面に平行に木を中心に半径50cmくらいしか及んでいないことがわかった。表層は黑色表土、礫混じり粘土(下部ほど礫の量多く径が大きい)、泥岩の風化層(上部の軟らかい部分)からなる。その厚さは50～130cmで局部的には厚い所もある。泥岩の軟らかい部分からなる風化層のさらに下部は割れ目が発達した硬い泥岩があり、これが一種の不連続面を形成していると考えられる。また、礫混じり粘土は不規則に角礫を含んでいて、表層土は全般的に不均質である。表層土の土質工学的特性は深さによっても異なるが、それをまとめたものを以下に示す。

湿潤密度	$\rho_t = 1.30 \sim 1.60 \text{ g/cm}^3$
飽和度	$S_r = 65 \sim 90\%$
透水係数	$k = 10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$

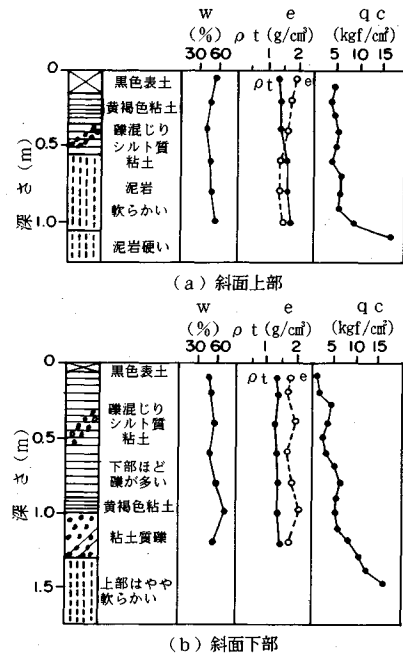


図-1 千葉県泥質岩地域の土性図⁹⁾ (大原町)

粘着力(一面せん断) $c = 0.2 \sim 0.6 \text{ kgf/cm}^2$

せん断抵抗角(ϕ) $\phi = 15 \sim 30^\circ$

なお、せん断試験における垂直応力は0.5～2.0 kgf/cm^2 である。 e , ρ_t , w などは深さ方向に対して著しい差はないが、コーン支持力は深くなるにつれて高くなっている。すなわち、表土は $q_c = 2 \sim 4 \text{ kgf/cm}^2$ 、礫混じり粘土は $q_c = 3 \sim 8 \text{ kgf/cm}^2$ 、泥岩の上部は $q_c = 6 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ である。降雨により土が飽和したときの強度低下を調べるために不攪乱試料を水に浸して飽和に近い状態($S_r = 90 \sim 95\%$)にしてから一面せん断を行った。水浸によるせん断強度の低下は2割程度であり、 c , ϕ ともに低下した。

崩壊の場合の透水性は非常に大きな問題であるため、斜面で変水位の現場透水試験を行った。透水係数は $k = 1.2 \sim 0.7 \text{ cm/s}$ であり、室内実験の結果の100～1,000倍であった。これは、現場では割れ目や礫と礫の間からの水の浸出があるためである。また、透水前後にコーン支持力を求めた結果によると、礫混じり粘土は飽和状態になると当初の強度の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ になる。これは一面せん断の結果に比べて著しい差がある。

b) 千葉県砂質層地域

コーンペネトロメーターによる貫入試験結果のうち、千葉県小見川町での代表的なケースを図-2に示した。(a)は崩壊・復旧(掘削・整形)後4～5年を経た斜面の断面であり、(b)はそれに隣接する未崩壊斜面である。地形的には(b)も(a)と同様ゆるい谷型をしており、

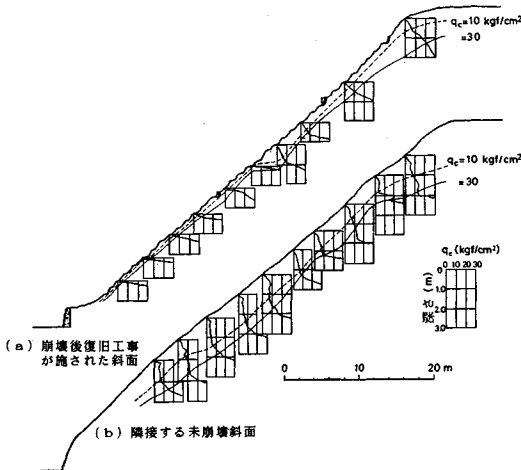


図-2 崩壊・未崩壊斜面のコーン支持力による断面図⁶⁾ (小見川町)

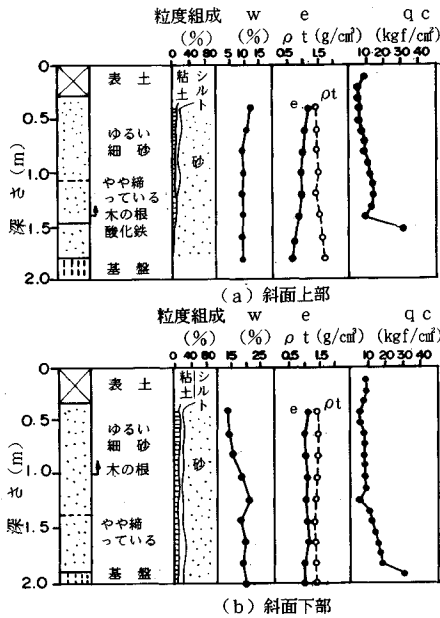


図-3 千葉砂質層地域の土性図⁶⁾ (小見川町)

小規模な古い崩壊痕跡があって、樹木の著しい根曲がりが見られる。

テストピットにおける土性図の例を図-3 ((a)は斜面上部, (b)は斜面下部)に示した。(b)の表土下のゆるんだ砂層の一部は古い崩積土である。

表層土は、細粒分が20%以下と少なく、粒径のよくそろった典型的な砂質土であるが、両方のテストピットとも、粘土分は深部より地表部の方がやや多い。表層土の大まかな物性は、含水比10~20%、湿潤密度1.3~1.6 g/cm³、間隙比1.1~1.4であった。

また、未崩壊不安定斜面について次のことが認められた。すなわち、地表下0.3~0.4 m位までは表土があり、

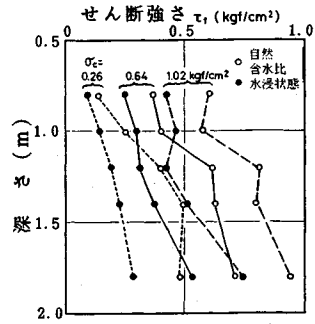


図-4 乱さない試料のせん断強さ⁶⁾

その下には十分にゆるんだコーン支持力 $q_c \approx 10 \text{ kgf/cm}^2$ 未満の風化層がある。この風化層は地表からの深さが1~1.5 mの所までであり、ゆるみが顕著で植生の根系が密に入り込んでいる。さらにその下部には根系の進入は少ないが、ゆるみはまだかなり顕著な状態が20~50 cm位続き、以深は急激にゆるみが弱まって、まもなく $q_c > 30 \text{ kgf/cm}^2$ になり、そして深部は固くてコーンが貫入しなくなる。図-3あるいは図-2(b)で見られるように、 $q_c \approx 10 \text{ kgf/cm}^2$ より以深ではコーン支持力はやや不連続的に急増する。 q_u , q_c が大きく変化するのはほぼ $e=1.0 \sim 1.2$ 付近である。

これ以外の不安定斜面のコーン貫入試験やピット掘削の結果からもほぼ同様な結果が得られた。したがって成田層斜面の成層構造は、地表から表土、根系で補強された顕著なゆるみ帯、根の進入の少ないゆるみ帯、安定地山という順序になっている。

テストピット中の各深さから採取した不攪乱試料を用いて、自然状態(飽和度30~50%)及び水浸状態の一面せん断試験(CD)を行った結果を図-4に示した。両状態とも深さとともにせん断強度が増大する様子が明瞭に認められる。また水浸状態の強度は自然状態に比べて明らかに低く、ときには甚に満たない。また、深さ1.2 mにおいて自然状態ではせん断強度が大きいのに対し水浸状態では逆に強度低下していること、この地点の崩壊直後の調査から崩壊深さが1~1.5 mであったことから、滑落面はこの強度不連続面であったといえる。

c) 栃木県ローム地域

調査結果を図-5, 6に示した。ボーリングやテストピットの結果から地域によって違いは認められるものの、地質層序は概ね地表から表土、ローム、軽石、ローム、風化岩、新鮮岩になっている。また、未崩壊斜面において土研式簡易貫入試験機を用いて土質構成を調査した。この試験は、5 kgfのおもりを高さ50 cmから落下させ、コーンを10 cm貫入させるのに要する打撃回数 N_c を求めるものである。ロームの N_c は深さが増すに

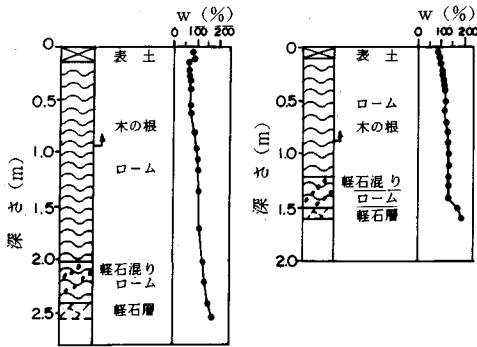


図-5 栃木ローム地域の土性図 (益子町)

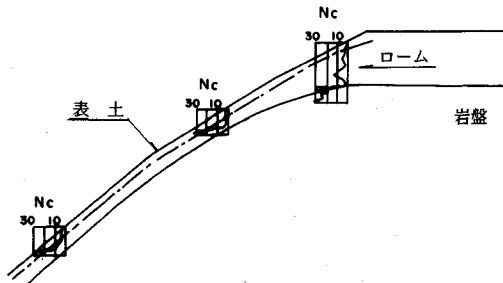


図-6 未崩壊斜面の土研式簡易貫入試験による断面図 (栃木ローム地域烏山町)

つれて若干の漸増かほぼ横ばい傾向を示しており、風化岩に入ると30以上の値を示している。含水比は、ロームでは深度が増すにつれて高くなり、軽石層では180~200%とかなり高い値を示している。また、テストピットの結果から植生の根系が深さにして1 m程度の所まで入り込んでいる。

また、崩壊直後の状況において軽石層や岩着部付近から湧水が認められることから、これらの透水性が高いと推定される。

(3) 崩壊の傾向

昭和46年9月、昭和63年8月及び平成元年8月の降雨により千葉県泥質岩地域と砂質層地域の斜面が、また、昭和61年8月の降雨により栃木県ローム地域の斜面が崩壊した実例を基に、崩壊の傾向について検討を加えた。

崩壊を起こした斜面の平均勾配は、泥質岩地域では30~53°、砂質層地域では30~60°であり、ローム地域では25~40°で、泥質岩地域および砂質層地域に比べ緩くなっているようである。また、ほとんどの斜面が谷型斜面(水平断面形)で崩壊が発生している。

崩壊深は泥質岩地域では0.5~2.8 mでほとんどが1.5 m以内であり、砂質層地域では0.3~1.5 mでほとんどが1.0 m以内である。ローム地域では0.4~4.0 mであり、崩壊深の浅い方が斜面勾配が急で、深くなるに

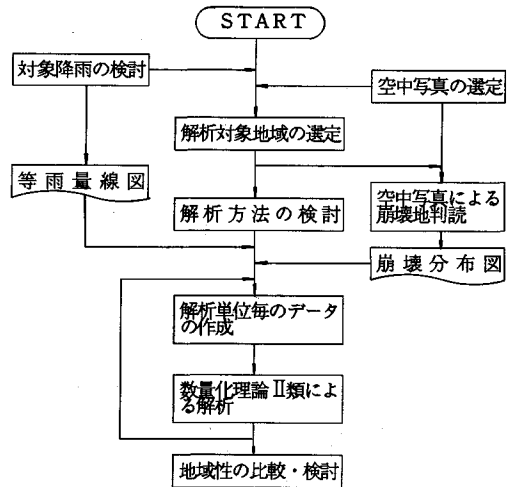


図-7 斜面崩壊の要因分析の流れ図

したがい緩くなる傾向が認められる。

千葉県の崩壊は、大部分が表土及び基盤の風化層を含めた表層であり、かつその崩壊形状は、板状ないし層状である点に特徴づけられる。

4. 多変量解析による要因分析

(1) 要因分析方法

要因分析方法の流れ図を図-7に示した。要因分析を行う地域は地質の異なる3箇所からそれぞれ選定し、対象降雨前後の空中写真から崩壊地を判読し、それを地形図(縮尺1:10,000)に移写し、崩壊分布図を作成した。それを基に数量化理論Ⅱ類を用いて解析した。

要因分析を行った地域は、泥質岩地域では富津市と大原町を東西に結ぶ地域(図-8④地域)であり、砂質層地域では市原市と袖ヶ浦町周辺の地域(図-8⑤地域)で、ローム地域では喜連川町から益子町に至る地域(図-9③地域)である。

対象降雨は、斜面崩壊を多く発生させ、かつ崩壊の状況を空中写真で確認できる降雨を選定した。

千葉県では、昭和45年7月1日および昭和46年9月6日~8日の降雨で、前者は大多喜付近にピークがあり時間最大雨量約115 mm、総雨量約370~440 mm、後者は勝浦付近にピークがあり、時間最大雨量約120 mm、総雨量約560 mmであった(図-8参照)。栃木県では、昭和61年8月4~5日の降雨で茂木~烏山付近にピークがあり時間最大雨量約60 mm、総雨量約320 mmであった(図-9参照、レーダーアメダス雨量合成図を使用)。

使用した空中写真は以下のとおりである。

- ・千葉県泥質岩地域 昭和41年10~11月撮影
- 昭和46年4月撮影

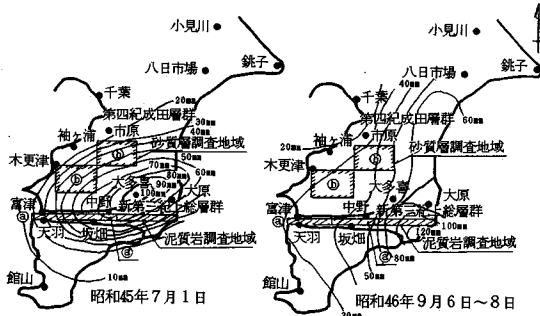


図-8 千葉県調査位置及び等雨量線図 (1時間最大雨量)

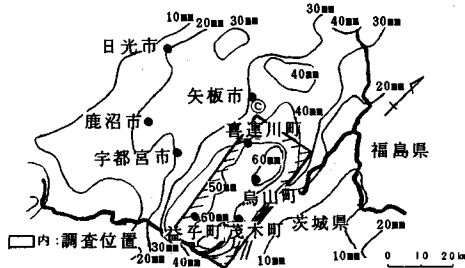


図-9 栃木県調査位置及び等雨量線図 (1時間最大雨量)

昭和49年12月～50年2月撮影

- ・千葉県砂質層地域 昭和45年4～5月撮影
- 昭和49年12月～50年3月撮影
- 昭和61年5～6月撮影
- 昭和63年10～11月撮影
- ・栃木県ローム地域 昭和59年5～8月撮影
- (一部昭和61年4～6月撮影)
- 昭和61年8月撮影

数量化理論Ⅱ類の目的変数は、崩壊の有無である。上記の対象範囲を200mの格子間隔に区切り、格子で囲まれた区域を一解析単位とし、平坦部は解析から除外した。解析に用いたメッシュ数は、泥質岩地域1918、砂質層地域200、ローム地域540である。

要因およびカテゴリーは、既存文献^{(1), (2), (10)~(12)}等から崩壊と関連の深いものを選定し、表-1のとおりとした。なお、ここでいう崩壊歴とは2時期の空中写真を用いて、調査対象とした地域の同一メッシュ内に存在する前時期の空中写真で認められた崩壊地をいい、個数で表している。

検討ケースは、以下に示すケース毎にどのような共通点や相違点があるかを検討した。

① 地質が一定の地域で2年連続で大降雨の影響を受けた場合

表-1 要因・カテゴリー一覧表

要因	カテゴリー
1時間最大雨量	0~30mm、31~80mmは10mm間隔、81~100mm、101mm以上
3時間最大雨量	0~50mm、51~110mmは10mm間隔、111~150mmは20mm間隔、151~180mm、181mm以上
24時間最大雨量	0~130mm、131~290mmは20mm間隔、291mm以上
斜面最大勾配	0~28°、30~60°は2°間隔、62°以上
起伏量	0~20m、21~130mは10m間隔、131m以上
崩壊歴	崩壊歴個数を0から1個間隔
標高	0~300mは50m間隔、301m以上
斜面の向き	北、北東、東、南東、南、南西、西、北西斜面とした。
谷密度	谷すじの本数を0から1本間隔
斜面形状	水平断面形を直線型、尾根型、谷型の3種類に、垂直断面形を等脊、凸形、凹形の3種類に区分し、それらの組み合わせにより9種類に分類した。また、その他に複合型斜面と顕著な谷型斜面を加えて、11種類とした。
森林面積	0~19%、20~100%は10%間隔
植生	高木、低木、裸地、伐採地
地質	千葉県では砂質層、泥質岩に区分し、栃木県では、第四紀、第三紀、先第三紀に分類した。

表-2 千葉県泥質岩・砂質層地域でのレンジと偏相関係数

要因	泥質岩地域 46年降雨対象		砂質層地域 降雨ほぼ一定対象	
	レンジ	偏相関係数	レンジ	偏相関係数
1時間最大雨量	0.53	0.19	—	—
斜面最大勾配	0.60	0.17	0.84	0.56
起伏量	0.43	0.14	1.08	0.38
崩壊歴	0.89	0.35	0.08	0.05
標高	0.15	0.06	0.08	0.06
斜面の向き	0.16	0.13	0.74	0.52
谷密度	0.39	0.18	0.53	0.44
斜面形状	0.39	0.11	0.69	0.57
森林面積	0.36	0.10	0.33	0.27
植生	0.17	0.08	0.03	0.06

(泥質岩地域・図-8 ③地域)

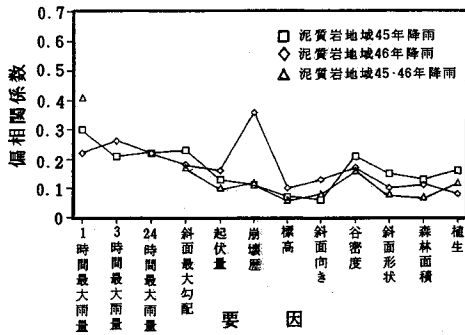
② 降雨が一定で地質が異なる地域を対象にした場合
(泥質岩地域・図-8 ④地域, 砂質層地域・図-8 ⑤地域)

③ 地質の異なる地域を対象にした場合(泥質岩地域, 砂質層地域, ローム地域)

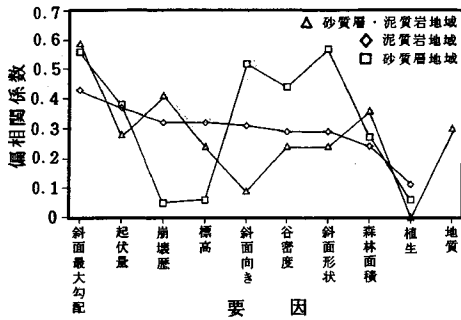
(2) 分析結果

a) 検討ケース毎の崩壊要因

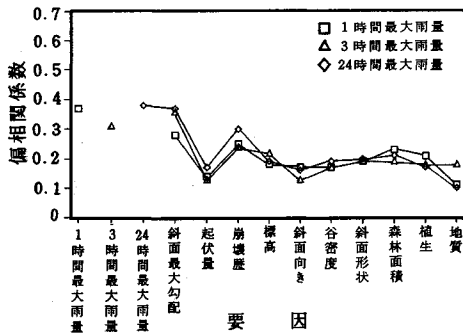
数量化の解析結果から崩壊発生に影響を与える要因を検討するにあたっては、一般にレンジと偏相関係数の2種類の数値がある。今回解析した結果のレンジと偏相関係数の一例を表-2に示した。これによると、レンジと偏相関係数とは比較的良く対応している。村上ら⁽¹³⁾によれば、この2種類の数値を比較すると、分析に採用される因子の数によって各因子についてのレンジが大きく変動するのに対して、偏相関係数は0と1の間の正規化された値をとるので、因子の影響程度を客観的に評価する場合には、後者の測度の方が有効であると述べている。



図一10 千葉県泥質岩地域の偏相関係数 (45年, 46年降雨を対象)



図一11 千葉県砂質層・泥質岩地域の偏相関係数 (降雨量はほぼ一定)

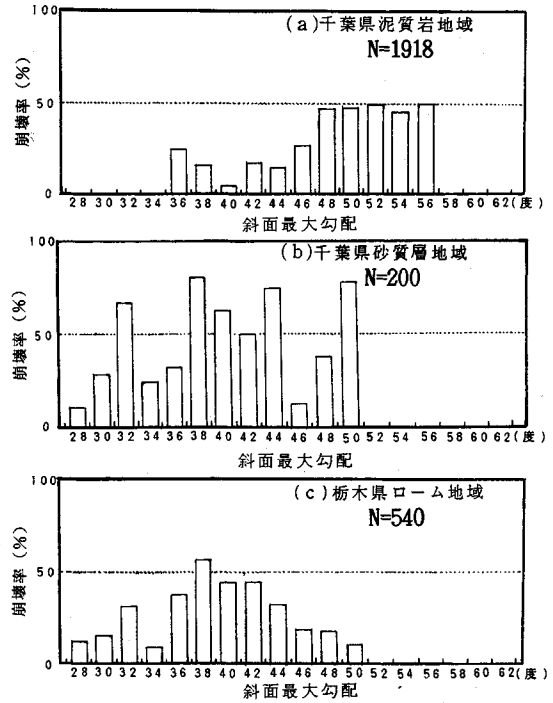


図一12 栃木県ローム地域の偏相関係数

したがって、影響因子の検討には偏相関係数を用いた。

要因相互の相関性について検討したが、低かったので棄却した要因はなかった。解析を行った結果、偏相関係数が0.6以下と低いが、これは要因の組み合わせやカテゴリ区分によって目的変数に対する的中率の精度を上げていくものであり、偏相関係数は低くても的中率は高い。しかし、目的変数に対する要因の寄与率は偏相関係数等による為、低くても指標になると考えられる。なお、図一10と12のグラフの雨量については線で結んでいないものがあるが、これは1種類の降雨量で解析したためである。

上記①の検討結果は図一10であり、千葉県泥質岩地



図一13 斜面最大勾配と崩壊率

域の昭和45年、46年の降雨を対象に2つの解析を行った。45年の降雨を対象にした場合、崩壊の発生に対する影響の高い要因は、降雨、斜面最大勾配、谷密度の順となり、46年の降雨を対象にした場合は、崩壊歴が最も高く、以下45年の場合と同様の結果となった。

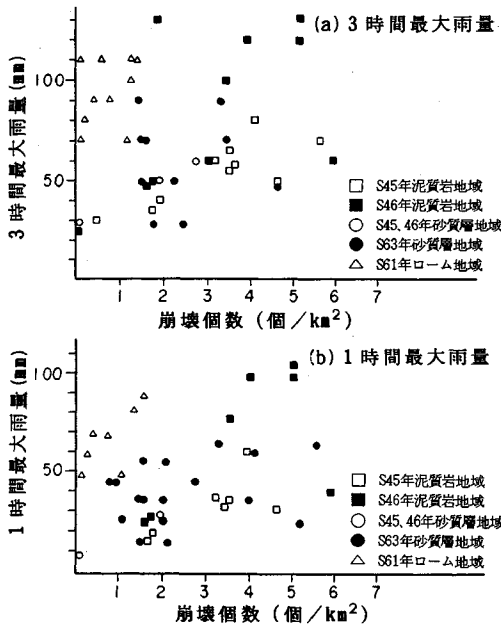
②の検討結果では、いずれの地域についても共通して高い要因は斜面最大勾配であり、その他泥質岩地域では、起伏量や崩壊歴が、砂質層地域では、斜面形状や斜面の向きなどが高くなっている。泥質岩地域・砂質層地域の両者を解析すると、地質は4番目となっている(図一11参照)。

③の検討結果では、ローム地域の崩壊の発生に対する影響の高い要因は、斜面最大勾配、降雨、崩壊歴などである(図一12参照)。

泥質岩・砂質層・ロームの3地域に共通して崩壊発生に影響の高い要因は、斜面最大勾配、降雨、崩壊歴等である。これらについて地域別の違いを以下に述べる。

b) 斜面最大勾配と地域性

各地域の斜面最大勾配と崩壊率の関係を図一13に示した。ここでいう崩壊率とは、同一勾配を有するメッシュにおける崩壊発生メッシュの割合をいう。泥質岩地域では、斜面最大勾配は36°以上で崩壊が発生し、48~56°でさらに多く発生(崩壊率50%程度)し、58~62°では崩壊は発生していない。砂質層地域では30°以下から崩壊が発生し、38~50°でさらに多く発生し、52°では崩壊は発生していない。



図—14 単位面積あたりの崩壊個数と1及び3時間最大雨量との関係

ローム地域では 30° 以下から崩壊が発生し、 $38\sim 42^\circ$ で崩壊率が50%程度になり、 $44\sim 50^\circ$ では崩壊率が低下し、 $52\sim 54^\circ$ では崩壊は発生していない。今回の分析は、泥質岩地域で斜面最大勾配が 62° 、砂質層地域で 52° 、ローム地域で 54° まで存在していたにもかかわらず、急勾配の斜面の崩壊率は低い。これは、急勾配になるとローム、風化土等の表層土がほとんど被覆していないためである。

c) 降雨と地域性

等雨量線図から各雨量毎に崩壊個数を計算し、等雨量面積で割った値をプロットしたものを図—14に示す。これによると、千葉県泥質岩地域・砂質層地域では3時間最大雨量が $25\sim 30$ mm程度、時間雨量が10 mm程度で崩壊が発生しているのに対し、栃木県ローム地域では3時間最大雨量が70 mm程度、時間最大雨量が $45\sim 50$ mm程度の降雨量で崩壊が発生している。また、泥質岩地域では昭和46年降雨での崩壊個数は、昭和45年降雨でのそれと比較して同じ降雨量に対し少ない。泥質岩地域と砂質層地域とは崩壊しやすさの程度はほぼ同程度であることがわかる。ローム地域は、泥質岩地域・砂質層地域と比べて崩壊するのに多量の降雨を必要とし、単位面積当たりの崩壊個数も少ないことがわかる。

d) 崩壊歴と地域性

図—15は、横軸に崩壊歴個数を取り、縦軸にはそれに該当するメッシュ数を白抜き棒グラフで表示し、その中で新たに崩壊したメッシュ数を黒塗り棒グラフで表示した。図—16では横軸は図—15と同じであるが、縦軸

は同じ崩壊歴個数を有しているメッシュのうちの降雨後に新たに崩壊が発生したメッシュ数の割合(崩壊率)を表示した。

これらによると泥質岩地域と砂質層地域では、崩壊歴が増えるにしたがい崩壊率が増える傾向にあるが、栃木県ローム地域では、崩壊歴があると崩壊率が減少する傾向にある。

e) その他の要因と地域性

斜面最大勾配、降雨、崩壊歴以外の要因について地域性の検討をした主な結果はつぎのとおりである。

・斜面形状

斜面形状は、水平断面形と垂直断面形を組み合わせている。崩壊の発生しやすい斜面形状は、泥質岩地域では谷型等斉斜面と谷型凹形斜面が、砂質層地域では谷型凸形斜面と谷型等斉斜面が、ローム地域では顕著な谷型斜面である。したがって、いずれの地域も水平断面形が谷型斜面で崩壊が発生しやすい。

・標高

いずれの地域についても比較的標高の高いところで崩壊が発生している。

・起伏量

泥質岩地域では起伏量が多くなるにつれて崩壊が増えているのに対し他の地域は起伏量にあまり関係なく発生している。

・斜面の向き

いずれの地域も顕著な特異性は認められない。

・谷密度

泥質岩地域では谷密度が多くなるにつれて崩壊率が増加するのに対し他の地域では1本でもあると崩壊しやすい。

・植生

サンプル数が少ないが、いずれの地域ともに裸地や伐採地では崩壊が発生しやすい傾向がある。高木と低木とを比較すると、いずれの地域ともにあまり差がない。

・森林面積

全体に森林面積が高く顕著な特異性は認められない。

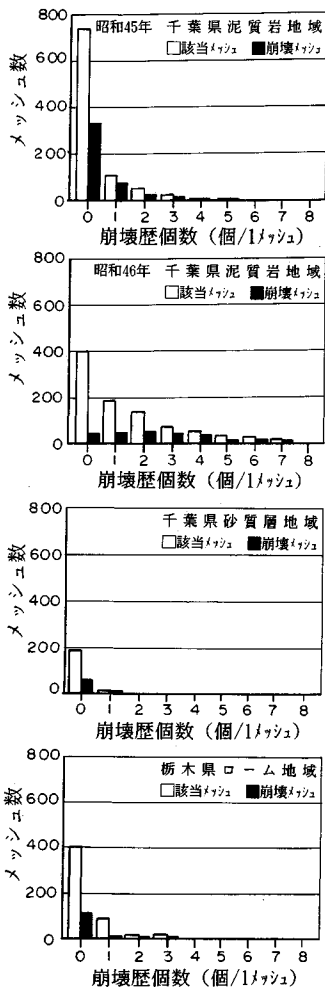
f) 崩壊発生場所の検討

今回分析を行った地域について崩壊地がどんな平面的位置に発生しているかを検討した(図—17参照)。それによると、いずれも平面的には沢部の周辺に多いことが判明した。これは、網干による検討結果¹⁰⁾と同様である。

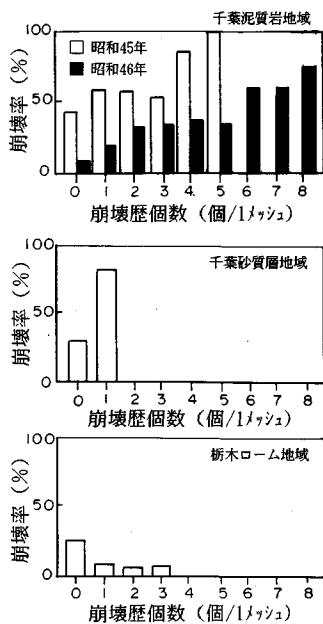
5. 考 察

3章および4章で述べた内容について以下に考察する。

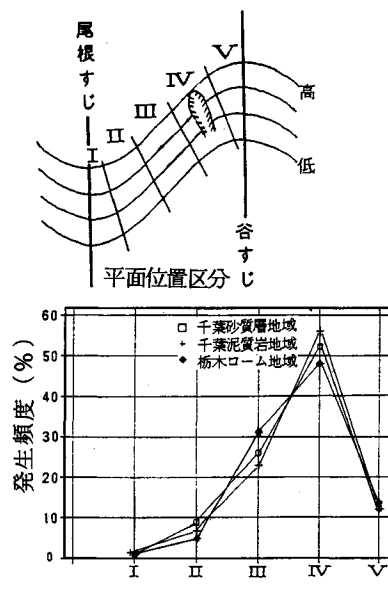
砂質層地域では表層土はゆるんだ風化土から構成され、泥質岩地域では礫混じり粘土等から構成され、これらは水浸によるせん断強度の低下が認められる。地表水



図—15 崩壊履歴個数と崩壊数の関係



図—16 崩壊履歴個数と崩壊率の関係



図—17 崩壊発生の平面的位置

の浸透による地下水位の上昇に伴い著しくせん断強度が低下し、表層崩壊が発生すると考えられる。水浸状態での一面せん断の結果を比較すると、砂質層の方が低減率が高い。

一方、ローム地域では、斜面表層部の構成が地域によって異なるものの概ね表土、ローム、軽石、ローム、風化岩の順となっており、厚さはさまざまである。ロームや軽石は含水比が高いため初期飽和度が高く、降雨等による飽和度上昇に伴う強度低下は考えにくい。崩壊の調査結果から砂質層地域では崩壊深が1.5 m以内と浅いのに対し、ローム地域では0.4~4 mであり、深いものも認められる。さらに降水量と単位面積あたりの崩壊個数との関係から、ローム地域は泥質岩地域や砂質層地域と比較して崩壊するのにかなり多量の降雨を必要とすることがわかった。また、崩壊直後軽石や岩着部からよく湧水が認められている。

要因分析の結果によると、斜面勾配については、砂質

層地域とローム地域が比較的類似した勾配で崩壊が発生し、泥質岩地域では他の2地域と比較してやや急勾配で崩壊が発生している。これは、泥質岩地域と砂質層地域では表層土の強度の違いによると考えられ、砂質層とローム地域では表層土の強度がほぼ同等ということは考えにくく、ほぼ同様の勾配で発生しているのは、ローム地域では軽石層等のパイピングによる崩壊であると推定され、泥質岩地域や砂質層地域では地下水位の上昇に伴うせん断強度の低下による崩壊であることに起因していると考えられる。

次に斜面勾配や斜面形状には、崩壊事例による検討結果と要因分析による地形解析結果(図—13参照)の2種類のデータがある。まず斜面勾配について検討すると、前者のデータは崩壊面のほぼ平均的な勾配であり、後者は崩壊前の地形の比高30~50 m間での勾配をとり斜面最大勾配として表している。両者を単純に比較することは出来ないが、平均的な勾配と最大勾配という点を考慮すれば、概ね一致した結果となった。

また、斜面形状については両者ともに水平断面形が谷型斜面で崩壊が発生していることがわかった。また、図—17によるといずれの地域でも谷型斜面内ではあるが、谷すじから少し離れたところに発生している。これは表層崩壊が、表流水や浅い地下水によって誘発されることと崩壊を起こす可能性を持つ表層土が谷すじでは侵食等により少ないことに起因していると考えられる。

次に、図—10の泥質岩地域で45年、46年の降雨での解析結果によると、崩壊の発生に影響を与える要因の中で、45年降雨では崩壊歴があまり効かず46年降雨で崩

壊歴が最も高くなった原因について考察する。図-16より、45年、46年ともに崩壊歴個数が増えるにしたがい崩壊率は増えている。しかし、45年では崩壊歴個数が0と1個以上での崩壊率にあまり差異がないのに対し、46年では崩壊歴個数が0の場合は崩壊が発生しにくく、1個以上の場合には崩壊しやすくなっていることに起因していると考えられる。また、崩壊歴については、ローム地域では崩壊が発生した場所付近に繰り返し起きにくいのに対し、泥質岩地域・砂質層地域ではむしろ崩壊が発生した場所付近に繰り返し起きやすい傾向が認められる。これは、ローム地域では表層土がロームという被覆物等であり、一度崩壊するとそれらが取り去られ新たに生成されにくく、また周辺の地域には不安定と思われる斜面が少ないのに対し、千葉県泥質岩地域・砂質層地域では、表層土が基盤の風化物であるため、一度崩壊してもその周辺でやや不安定と思われる斜面が多く、崩壊せずに残っており、次の多量の降雨によって崩壊を起こすためと考えられる。

崩壊発生に影響の高い地形要因として沖村¹¹⁾は、傾斜、表層土厚、集水面積の3つをあげている。このうち今回の解析結果においても傾斜、表層土厚は重要な要因であった。また、集水面積という要因自体は今回の解析には用いていないが、地表水の集まりやすさという観点から斜面形状を入れており、いずれの地域ともに谷型斜面で崩壊が発生しやすい結果となった。上記3つの要因が重要であることは今回の解析からも証明されたわけであるが、この他に崩壊歴もかなり重要な要因であることが今回明らかになった。

6. 結 論

本研究で得られた結論を要約して以下に示す。

(1) 崩壊発生に影響の高い要因は、降雨、斜面勾配、崩壊歴等であり、これらは地域的にほぼ同様の傾向が認められる。しかし、要因の中のカテゴリーには地域的な違いが認められる。

(2) ローム地域は、泥質岩地域・砂質層地域に比べて崩壊するのに多量の降雨を必要とし、また、単位面積当たりの崩壊個数も少ない。

(3) ローム地域では、崩壊が発生した場所付近に繰り返し起きにくいのに対し、泥質岩地域・砂質層地域では崩壊が発生した場所付近に繰り返し起きやすい傾向が認められる。

(4) 砂質層地域とローム地域ではほぼ同様の斜面勾配で崩壊が発生し、泥質岩地域ではそれよりやや急傾斜で崩壊が発生している。また、崩壊深と斜面勾配との関係でみると、砂質層地域では崩壊の深さが1.5m以内で斜面勾配が30°以上で大半の崩壊が発生しているが、ローム地域では崩壊深の浅い方が斜面勾配が急で、深く

なるにしたがい緩くなる傾向が認められる。

(5) 砂質層地域と泥質岩地域は、降雨の浸透によって飽和状態になると著しくせん断強度が低下し、崩壊が発生するのにに対し、ローム地域では、崩壊直後軽石や風化岩からパイピングによる湧水が認められ、これが崩壊に大きく寄与していると考えられる。崩壊が発生する斜面勾配の違いや崩壊発生に必要な降雨量の違いは、上述のことに起因していると考えられる。

なお、本研究のテーマである斜面崩壊は、きわめて地域性に富んだ現象であるので、今回の解析は地形的にも地質的にも限られた関東地方の斜面を対象に行ったものであり、評価手法も含め多くの課題を残している。今後、これらの課題を明確にしていく必要がある。

最後に本研究を遂行するにあたり、埼玉大学工学部吉中龍之進教授から頂いたご指導に対し謝意を表します。また元埼玉大学大学院生の笠井克哲氏、元学生の井野友也氏、加藤京子氏に数々の協力を賜った。末筆ながら、ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 沖村孝・杉本博：統計的手法による自然斜面崩壊の研究，土木学会論文報告集，No.290，pp.89~97，1979.
- 2) 小橋澄治・今井篤雄他：航空写真判読による斜面の安全度解析（Ⅰ），新砂防，Vol.84，pp.14~23，1972.
- 3) 西田義親・八木則男・二木幹夫：雨水浸透による地盤内発生間隙圧と斜面安定，土木学会論文報告集，No.262，pp.91~100，1977年6月.
- 4) 八木則男・矢田部龍一・山本浩司：雨水浸透による斜面崩壊，土木学会論文報告集，No.330，pp.107~114，1983年2月.
- 5) 大久保駿・服部泰英：千葉県で発生したげ崩れの特徴について，新砂防，Vol.86，pp.10~19，1973.
- 6) 芥川真知・風間秀彦：ゆるみによる砂質斜面の不安定化と表層滑落，応用地質，Vol.25，No.3，pp.32~40，1984.
- 7) 笠井克哲・風間秀彦：千葉県下の斜面崩壊予知とその地域性，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第3部，pp.864~865，1990.
- 8) 千葉県：昭和45年7月1日関東地方南部の大雨による千葉県水害報告書，1971年3月.
- 9) 嶋祐之他：「昭和46年台風25号による千葉県下災害の実態調査」報告書，1972.
- 10) 網干壽夫：自然斜面崩壊の予測に関する現状と問題点，地質と調査，No.3，pp.2~8，1987.
- 11) 沖村孝：地形要因からみた山腹崩壊危険度評価の一手法，新砂防，Vol.35，No.3，pp.1~8，1983.
- 12) 小橋澄治：六甲山系の崩壊発生状況について，新砂防，Vol.41，No.2，pp.5~12，1988.
- 13) 村上幸利・箭内寛治：数量化法による転落型落石の危険度評価，土木学会論文集，No.406，pp.223~231，1989年6月.
- 14) 村田重之・橋木武・平田登喜男・渋谷秀昭：降雨時斜面崩壊へ及ぼす浸透地下水の影響，土と基礎，Vol.36，NO.4，pp.45~50，1988.4.

-
- 15) 千葉県：昭和46年9月6日～7日秋雨前線ならびに台風
25号による千葉県災害報告書, 1971. 壊の地域特性, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要
集第3部, pp.184～185, 1991.
- 16) 岡信彦・小田匡寛・風間秀彦：降雨を対象にした斜面崩
(1992.4.30 受付)
-

SITE CHARACTERISTICS OF SLOPE FAILURES CAUSED BY RAINFALL

Nobuhiko OKA, Hidehiko KAZAMA, Sinji AKUTAGAWA and Masanobu ODA

In order to examine the occurrence of slope failure, we present some statistical results concerned with the factor of slope failures, which are occurred in sandy soil beds (Narita group), argillaceous rock beds (Kazusa group) and Kanto-loam beds. Site characterization was carried out using geological data analysis and quantification theory. In general, the results on the analysis show that (1) gradient of a slope, (2) rainfall and (3) existence of slope failures in the past are the main factors of slope failure. However their categories have some differences regionally, because of the conditional differences of slope surface and/or soil properties.
