

論 文

熊本県の最近の豪雨による斜面崩壊の調査研究

梶 原 光 久*
 鈴 木 敦 巳*
 北 園 芳 人**
 荒 牧 昭 二 郎***

Investigation of Slope Failure by Recent Heavy
 Rains in Kumamoto Prefecture

Mitsuhsa KAJIWARA*
 Atsumi SUZUKI*
 Yoshito KITAZONO**
 Shojiro ARAMAKI***

ま え が き

最近30年間で熊本は11回の大きな豪雨災害¹⁾を被った。

豪雨災害としては、河川の氾濫、地すべり、斜面崩壊及び土石(砂)流によるものがほとんどであるが、とくに斜面崩壊と土石(砂)流は急げきに発生し、予測が難しいために、これらによる人的被害が多い。しかも斜面崩壊は土石(砂)流発生を引き金となる現象と考えられるため、これを防止する事は防災上極めて有意義な事である。

本研究では、熊本県に於ける昭和55年と同57年の豪雨による地山斜面崩壊を中心に実態を調査し、得られた試料を解析し、豪雨による地山斜面崩壊を降雨量と斜面のもつ素因から予測する方法を検討した。

1. 降雨及び斜面災害の概要

1. 1 昭和55年8月豪雨による斜面災害²⁾

昭和58年11月30日 受付

* 工博 熊本大学教授 工学部土木工学科

** 工修 熊本大学助手 工学部土木工学科

*** 九州東海大学助教授 工学部土木工学科

7月下旬より断続的に大雨が降り、特に8月28日から30日にかけて熊本県北部に集中的に降った大雨で、この地方は多大な被害を受けた。この3日間降雨量は図-1.1に示すように菊池・阿蘇地方を中心に県北部に記録的な数字を示している。また、この3日間の主な地点に於ける降雨の時間分布は図-1.2に示す通りで、29日零時頃から12時頃までの第一波、同日18時すぎから30日6時頃にかけての第二波に集中しており、特に30日零時から未明にかけての数時間の降雨量は極めて多く、斜面崩壊の大部分は30日の未明に発生している。

図-1.1で、斜面崩壊の分布をみると、3日間連続降雨量が200mmを越えると崩壊が発生しているようである。

熊本県警の調べによるとこの豪雨災害の死傷者及び行方不明者は17名、がけくずれは81カ所、この人的被害やその他道路や鉄道或いは家屋の全・半壊のかなりの部分が斜面崩壊によるものである。

1. 2 昭和57年7月豪雨による斜面災害³⁾

梅雨前線による7月豪雨は大きく2波に分かれ、第一波は7月11日~14日、第二波は23日~25日であった。これらの大雨はいずれも県下全域に渡ったが、第一波では阿蘇地方と県南地方でとくに強く、4日間の連続

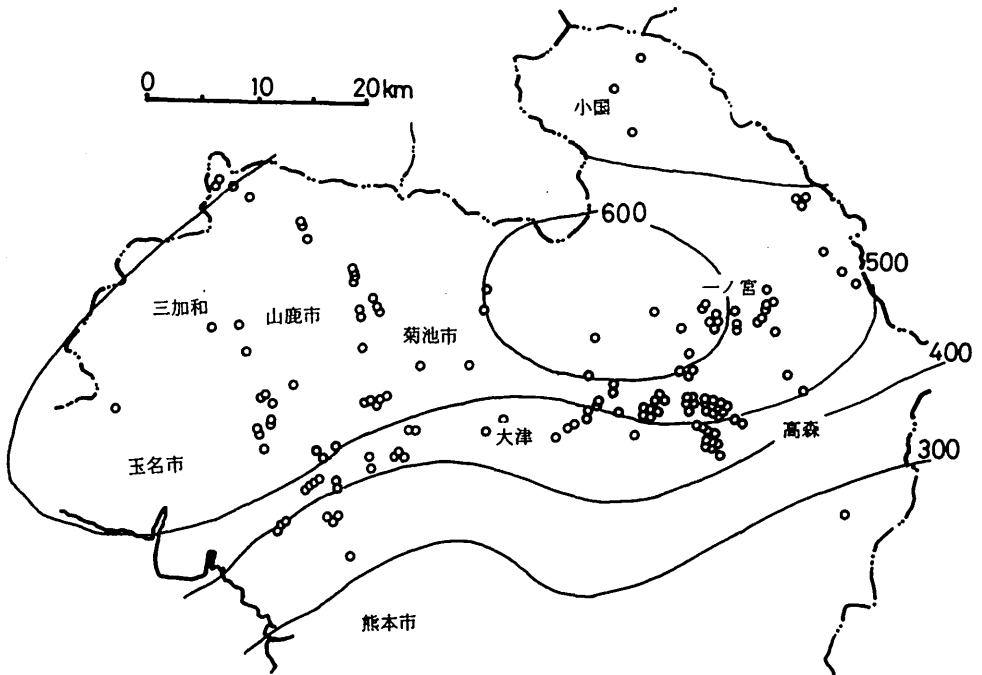


図-1.1 昭和55年8月28日～30日の連続降水量と地山斜面崩壊の分布

降雨量は600mmを越えており、第二波は長崎災害をもたらした前線によるもので、阿蘇地方、熊本市及び天草地方を結ぶ幅広い帯状の領域とくに大量の雨を降らせており、阿蘇及び天草地方では3日間連続雨量が500mmを越えた。

図-1.3には、降雨及び斜面崩壊の地域分布を示している。図中で等降雨線は、第一波のものを破線で示し、第二波のものを実線で示し、斜面崩壊地点は第一波によるものと第二波によるものととの区別はしていない。図から明らかなように、ほとんどの崩壊は連続降雨量で300mm以上領域に分布している。ただし、阿蘇地方では600mm以上であるにもかかわらず大規模な崩壊は見当たらない。この阿蘇地方の例外的現象の原因として、つぎのような事が考えられる。即ち、この地方に於いては、昭和55年8月豪雨の破壊力が今回のそれよりも上まわっていたためと考えられる。

図-1.4に、7月11～12日の間の降雨の時間分布の代表的なものを示す。

阿蘇地方に於いては、図-1.3に示したように11日～14日の総降水量は多いが、図-1.4によると、時間的な集中度はさほど高くない。それに比べて、県南部の五木及び田浦地方ではそれぞれ12日の午前2時～4時又は12日の午前9時～12時の間の集中度が高く、これら

の集中降雨群が多くの山腹斜面の崩壊をもたらし、とくに田浦地区では、これらの土砂が中小河川に流入し多くの河川災害を発生させた。

図-1.5は、7月23日～25日の代表的な地点に於ける降雨の時間分布を示す。熊本県北部及び天草地方では23日夕方より降り始めた雨が、24日の明方から夕刻までの間に波状的に強くなり、天草の本渡では23日夜半から未明にかけて、熊本市では朝の5～7時の2時間に、阿蘇黒川では午前10～11時の1時間にピークを示し、いずれも50mm/hr前後の集中豪雨となっており、これらの地方に於ける斜面崩壊による災害は、ほとんど24日の未明から午前中にかけて発生している。一方県南部では、北部よりやや遅れて降り始め、24日の夕刻から夜半にかけて強い集中豪雨がみられ、この地方での斜面崩壊の発生はやはりこの時間帯に集中している。

なお、図-1.4及び1.5に示した地方以外でも70mm/hr以上の最大雨量を記録した町村もあり、とくに天草の河浦町では103mm/hrが記録されている。

7月11日～14日及び同日23日～25日の豪雨災害に於ける死傷者及び行方不明者は合わせて43名に上り、がけ崩れの発生件数は324件に上った。

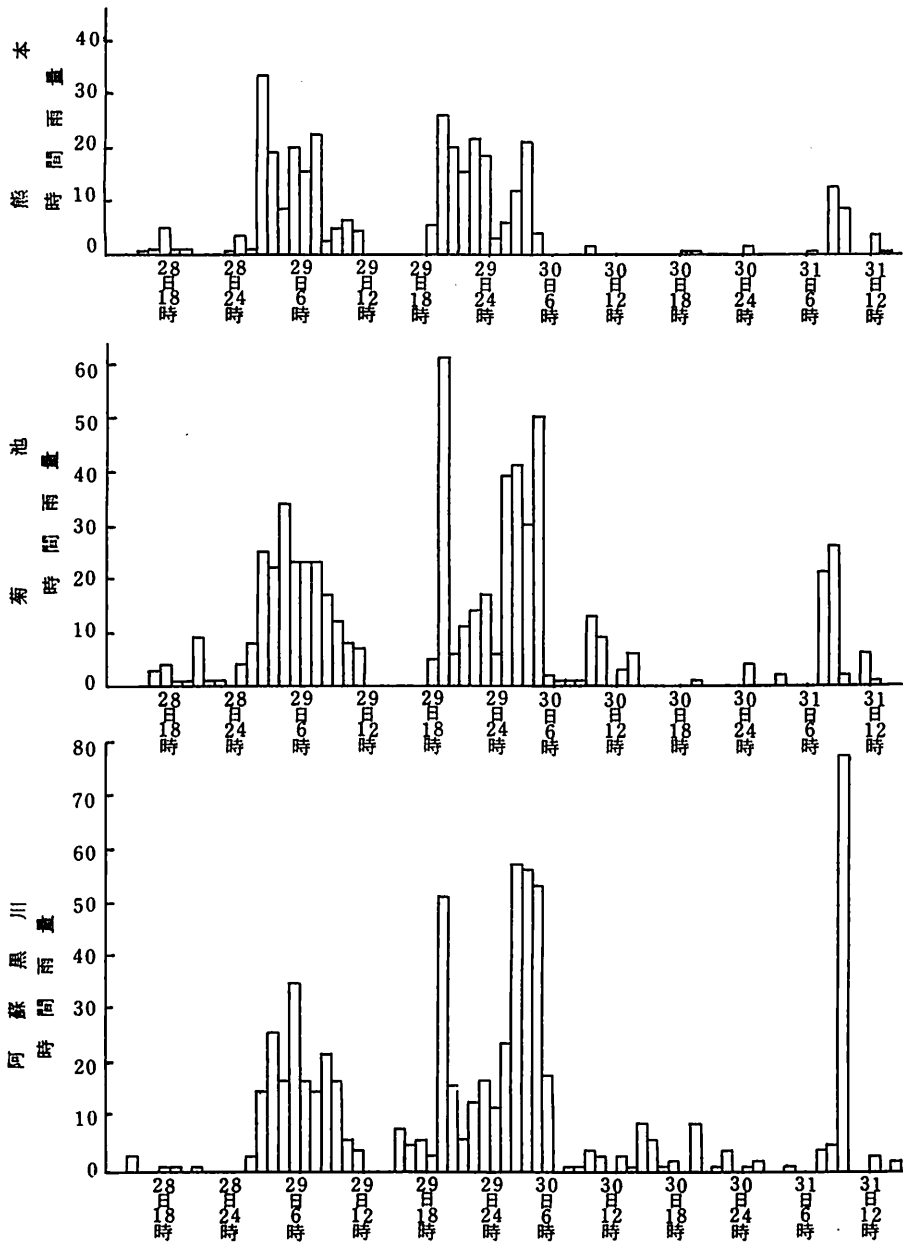


図-1.2 昭和55年8月28日~31日の時間雨量分布図

2. 斜面崩壊の素因についての考察

斜面崩壊を発生させる要因としてはいろいろあり、いずれを誘因或いは素因とみなすかは判断の難しい所であるが、少くとも、降雨は誘因とみなさざるを得ない。ここでは、豪雨による斜面崩壊を対象として、降

雨のみを誘因とみなし、斜面に属する要因をすべて素因とみなすと、経験的に主な素因として、地形、地質及び土質、植生、湧水の有無、及び過去の崩壊の有無が考えられる。上記の豪雨による代表的な斜面崩壊例を挙げて、それらの例に於いてこれらの要因がどのように働いているかについて考察する。

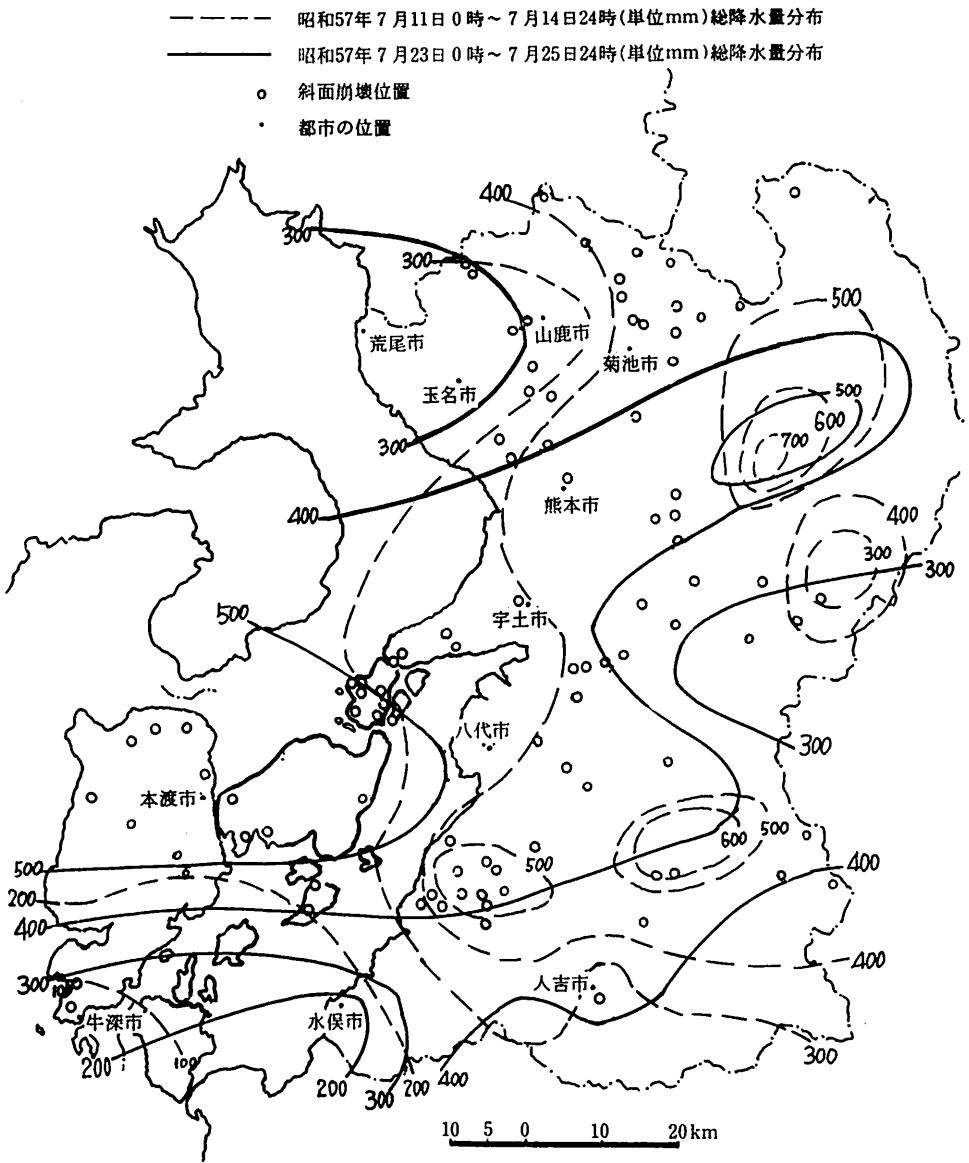


図-1.3 昭和57年7月豪雨の降雨と地山斜面崩壊の分布

2. 1 台地斜面の崩壊

熊本県の中心部の阿蘇外輪の外側では、阿蘇の火砕流堆積物による台地が発達している。この台地は表面を火山灰質粘性土(黒ぼく、赤ぼく、及び灰土)で被われ、端部の斜面は $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の比較的緩傾斜を呈している所が多い。台地は地形上、降雨時における水の浸透が多く、表土の風化が著しいが、この台地でも表土の厚さは5 m程度で、斜面は竹林、杉林或いは栗林で被

われ、上部平坦地は田畑として利用されている所がほとんどである。また母岩である溶結或いは未溶結凝灰岩はクラックに富み、斜面下端部に湧水がしばしば認められる。

これらの地域の表土である黒ぼく(有機質火山灰土)、赤ぼく(黄褐色火山灰質粘性土)及び灰土(未溶結凝灰岩風化土)の土質学的分類指数を図-2.1に示す。黒ぼく及び赤ぼくは、非晶質鉱物を主粘土成分とするアロフェン質火山灰土で、自然含水比が高く、液性限界

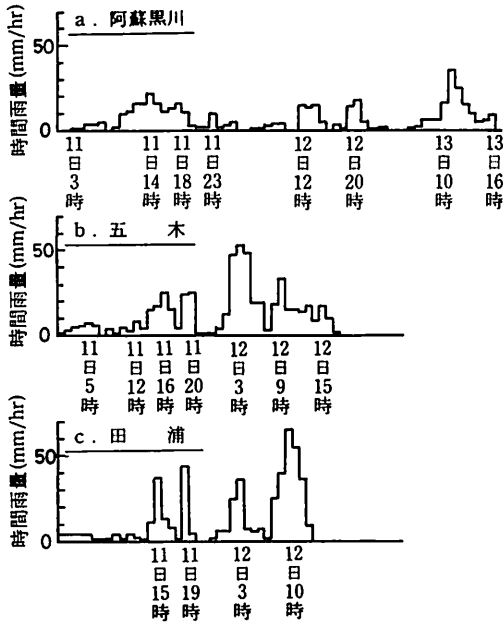


図-1.4 昭和57年7月11~12日の時間雨量

(L.L.)の割に塑性指数(I_p)が低い、力学的に不安定な土である。中でも黒ぼくは多量の有機物を含み、上記の性質が顕著である。灰土はカオリナイトないしはハロイサイトを主粘土成分とし、多少の珪酸塩非晶質鉱物を含み、広義の火山灰質粘性土である。この灰土は、上記の黒ぼくや赤ぼくに比べて、自然含水比(W_n)、液性限界ともにさほど高くはないが、液性指数が1或いは1以上のものもあり、攪乱に対して、極めて鋭敏である事と、マサ土のような浸水による強度低下が顕著である事の二つの重大な土質工学上の弱点を有してい

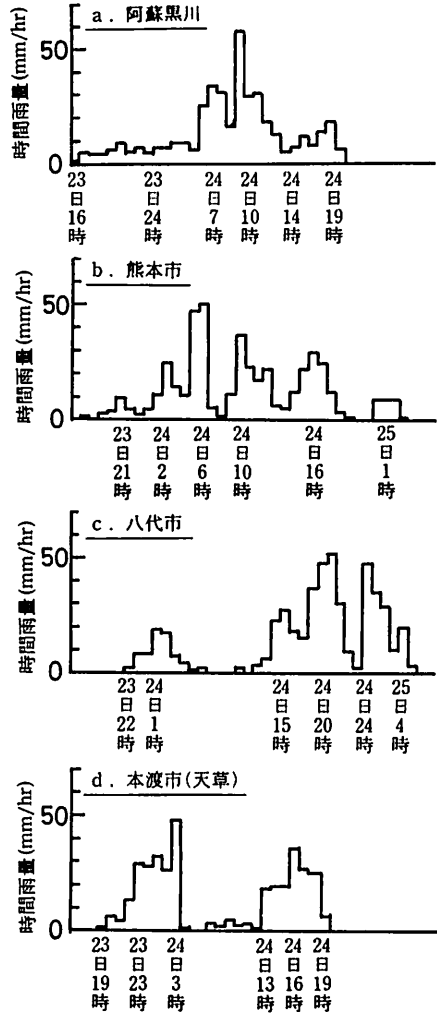


図-1.5 昭和57年7月23日~25日の時間雨量

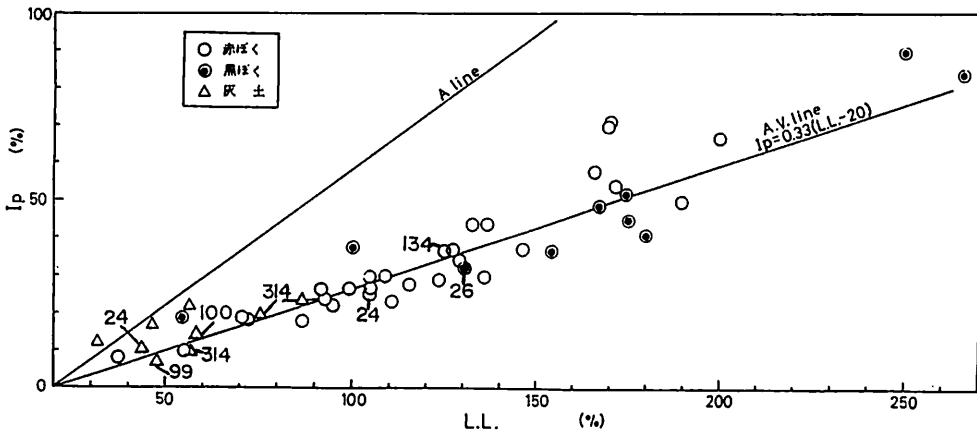


図-2.1 被災地点とその他の地点の土質の比較

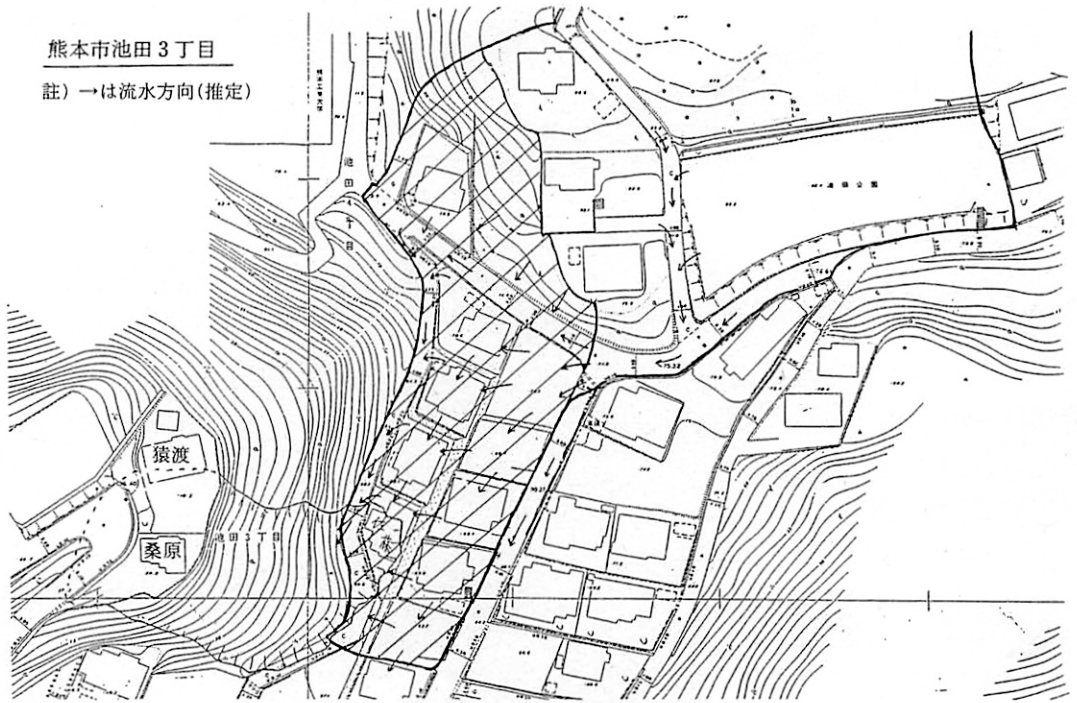


図-2.2 熊本市池田3丁目の崩壊

る。

このような地形と地質及び土質条件が、この地方の台地斜面崩壊の最も重要な基本的要因であり、台地平坦部の土地利用方法や、斜面の植生は、むしろこれら地形、地質及び土質条件の影響を強く受けるものと考えられる。

また、このような台地地形は熊本市を中心とする都市及びその周辺部に多いため、その斜面崩壊による災害は物的及び人的被害を大きくしている。

図-2.2及び写真-1は、昭和57年7月23日～24日の豪雨で崩壊した熊本市池田町3丁目の灰土台地斜面の崩壊地とその周辺を示す。崩壊斜面の傾斜は 22° 、地表は草地で両側に竹林が迫っている。台地部は最近10年ほどの間に出来た新興団地で、団地造成中(約8年前)に同じ斜面が崩壊しており、草地及び斜面上部の道路の不自然な線形が過去の崩壊の形跡をとどめている。崩壊面積は約 $1,600\text{m}^2$ 、崩土量は $9,800\text{m}^3$ で、この崩土で斜面下部の桑原氏宅が全壊し、4名の犠牲者が出た。

大崩壊に至ったのは、24日の午前10時40分であったが、図中で斜面上端にあった佐藤氏宅の時計がそれより約5時間前の同日午前5時25分で止っていた事より、大崩壊の前駆現象として斜面上部の部分的な崩壊がす



写真-1 熊本市池田町3丁目の崩壊

でにその時刻から生じていたものと推察される。即ちもし、何らかの観測が行なわれて、その前駆現象をキャッチすれば、その後の大崩壊を数時間前に予測し得る事及びその前駆現象は降雨強度がピークに達した前後で(図-1.5の熊本市の降雨時分布参照)発生する事が示されている。

崩壊斜面には、図中にハッチした部分(約 $3,500\text{m}^2$)に降った雨の全部及びその他の太線で囲んだ部分に降った雨の一部が表面流出水或いは中間流出水として流入したと思われる。この時の表面流出排水は斜面

上端部の道路の線形の悪さと側溝の不完全さのため、斜面上部から斜面に大量に流れ込み、これが崩壊の直接的な原因になったものと推察される。

2.2 山地斜面の崩壊

山地斜面は一般に 30° 以上の急傾斜で、斜面上部には平坦地がなく、斜面内への雨水の浸透は比較的難しい。そのため、全体的には表土は薄く、2m以下の所が多い。しかし、水が集まりやすい局所的な凹地形の所や、過去の崩壊歴のある地点では、風化が局所的に進み、表土の厚さも3m以上になっている所も見られる。

地質的には、熊本県中北部では火成岩或いは変成岩が多く、南部では堆積岩或いは変成岩が多く、表土としては、これらの母岩の風化土と火山灰質土である。

これらのうち、火成岩や変成岩の斜面では、風化土が局所的に崩壊するケースが多い。この種の崩壊は一次崩壊で止まれば被害は少ないが、もしその崩壊が長い山腹斜面の上部で発生し、その崩土が流下して、途中の崩土を二次的に伴って流下した場合には、土砂流或いは土石流に発達し、大きな破壊エネルギーで多大な被害をもたらす。



写真-2 八代郡坂本村岳部落の崩壊

一方、堆積岩の風化、斜面でも、勿論局所的な小規模の崩壊は多いが、或る種の変成岩や第三期層の砂岩と頁岩の互相で、流れ盤斜面の場合は、風化頁岩層に沿った、大規模な地すべり崩壊を生じる事がある。このような地すべりの崩壊は、天草に於いて多く見られる。

植生に関しては、杉林、竹林、松林、その他の雑木林、及び草地であるが、崩壊は、竹林、杉の幼林及び草地に多く発生しているように見受けられる。

湧水の有無は、地形と地質の条件に支配されるが、やはり斜面崩壊を促進する一要因と考えられる。

写真-2は八代郡坂本村岳部落の7月24日夜半の崩壊例である(図-1.5のC参照)。斜面は平均勾配1.5割程度で斜面長は250~300mでほとんどが杉の植林で覆われており、最上部附近は松林、下端部には局所的に竹林もみられる。崩壊は斜面の上部約5分の1ぐらいの杉の幼林で覆われた所で発生し、崩土は土石流状に約200mの斜面を流下し、斜面下の道路(幅員約5m)と河川(幅約3m)を越えて、対岸の民家に流れ込み、民家の一部と納屋の全部を破壊したが幸いにして死者はなかった。崩壊面下端部には蛇文岩が流れ盤状に露出しており、表土は薄く1m前後で、表土と蛇文岩の間に湧水が認められた。

このような高所に発生する崩壊は前駆現象の発見がなされ難い上に、流下土砂は大きい破壊エネルギーを有しているため、極めて危険である。

以上述べた所を整理すると、斜面の崩壊はつぎのような条件の幾つかが満たされた所で発生している。

- 1) 30mm/hr以上の集中豪雨が数時間連続する。
- 2) 地形的に表流水が集まりやすい。
- 3) 地質或いは土質的に浸透水が集まりやすい。
- 4) 地形、地質或いは土質構成が力学的に不安定である。
- 5) 過去に崩壊或いは移動した形跡がある。
- 6) 地被条件が、裸地、草地、竹林、或いは幼林である。

3. 斜面崩壊の予知について

斜面崩壊による災害の防止或いは軽減対策は、まず崩壊の可能性、規模及び時刻を的確に予知し、それに基づいて立てられる事が最も望ましい。しかし、実際には斜面崩壊をそこまでの確に予知する事は現段階では不可能に近い。それは、斜面崩壊の発生には、極めて多くの要因が複雑に関与しており、現段階に於いて

は、これらすべての要因に関する正確な情報が事前に得られない事が最大の原因であろう。

豪雨による斜面崩壊の予知の手順としては、第一に誘因である降雨量による斜面崩壊の発生確率の推定、第二に外部に現われた素因に関する静的情報より、個々斜面の崩壊危険度の判定と崩壊規模の推定、第三に危険斜面の動態観測により、崩壊の可能性、規模、及び発生時刻を予知する事の三段階が考えられ、目下、関連分野で、それぞれの段階に関する研究が進められている。本研究では、上記の第一及び第二段階に関する研究を試みた。

3. 1 降雨量と崩壊件数の関係

昭和55年8月豪雨に於ける熊本県内の連続総雨量、日雨量、及び最大時間平均雨量と道路災害件数をグラフにしたのが図-3.1である。ただし、この道路災害は必ずしも切土斜面崩壊ばかりではないが、切土斜面崩壊が多く含まれている事より、切土斜面に関してもほぼ同様の傾向とみなして良い。

この図よりつぎの事が読みとれる。

- (1) 連続総雨量が200mmを越えると、災害件数が急激に増加する。
- (2) 日雨量が100mmを越えると災害件数が急増する。
- (3) 最大時間平均雨量が20mmを越えると災害件数が

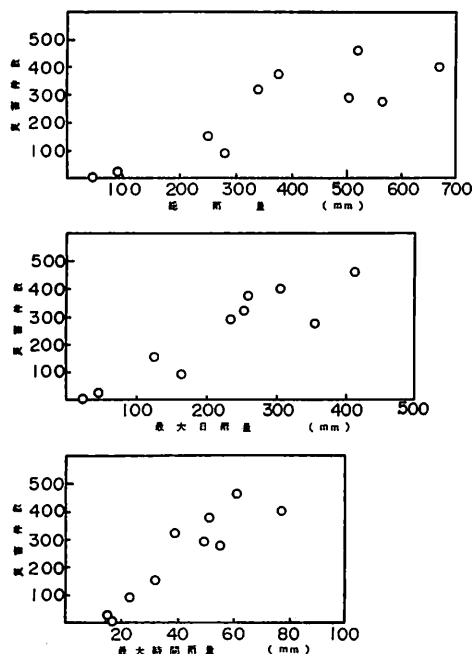


図-3.1 雨量と道路災害件数

急増する。

この傾向は前述のように昭和57年の7月豪雨の地山斜面の崩壊についてもみられるが、熊本県外の他の地域に関する報告⁴⁾と比べると、熊本県とほぼ似ているが、少い日雨量(200mmに対して100mm)で崩壊が急増し始めるようであり、火山地域の斜面の弱さが現れている。

3. 2 素因の静的情報による危険度の判定

素因の静的情報としては前述のように、地形、地質、植生、湧水の有無、及び過去の崩壊歴等に関する物が挙げられる。しかし、これらがすべて外から確認出来るわけではなく、地下水脈や地層の局所的な弱点を外部分からの確に知る事はよほど詳細なボーリング調査をしない限り不可能であり、また広い範囲に渡ってそのような調査を行う事も現実的は不可能である。そこで一般には止むを得ず、地図、航空写真或いは現地踏査によって容易に得られる情報のみによって斜面の危険度を判定せざるを得ない。

本研究では、最初の試みとして、灰土土地の多い県北部に於ける昭和55年8月豪雨時の連続総降雨量300~350mmの地域の94個の斜面を対象にして、現地踏査データを基に林の数量化理論II類^{5),6)}を用いて地山斜面の崩壊に対する各素因の寄与度と崩壊斜面と健全斜面の判定基準を求めた。即ち、斜面の傾斜を表土の性質が、崩壊に対する寄与が最も大きいという結果が得られた。しかし、斜面直高の影響が最も小さいというのは現実に矛盾しているようである。素因としては表の8項目(アイテム)を採用し、各アイテムを3~4のカテゴリーに分けた。各素因の寄与度は表-3.1のようになり、レンジの大きい素因ほど寄与度が大きである。崩壊斜面と健全斜面の的中率はそれぞれ72.7%と76.9%であった。また、表-3.1の結果を用いて、次の方法で斜面危険度を表わす点数を算出したところ、崩壊斜面はだいたい30点以上となった。

崩壊危険度点数の算出方法

各素因の寄与度(各アイテムのレンジの値)に応じて素因毎の重み(q)を与え、一方一つのアイテム内の各カテゴリーに、安全度が高いと思われる(カテゴリー数量の小さい)方から1, 2, 3, 4等の基準点(a_0)を定め、 q と a_0 の積をカテゴリー点数($a = a_0 q$)とする。かくして、各斜面に該当するカテゴリー点数の合計(y)をその斜面の危険度点数とする。すなわち、

アイテム j の重みを q_j とすると、

表-3.1 切土斜面崩壊の危険性におよぼすファクターの寄与度の判定結果

アイテム	RANGE	カテゴリー	該当するサンプル数	カテゴリー数量 ^{a)}
1. 斜面の傾斜	1.683	1. 60°以上	15	0.961
		2. 45°~60°	26	-0.156
		3. 30°~45°	34	0.099
		4. 30°未満	19	-0.722
2. 表土の土質	1.650	1. 粘性土	92	-0.035
		2. 砂質土	2	1.620
		3. 軟岩	0	—
		4. 硬岩	0	—
3. 表土の厚さ	1.030	1. 5M以上	6	0.840
		2. 2M~5M	41	0.200
		3. 2M未満	47	-0.191
4. 斜面の横断形状	0.802	1. 谷状	1	-0.770
		2. 平面状	82	0.032
		3. 尾根状	11	-0.170
5. 湧水の有無	0.684	1. 顕著に有り	0	—
		2. 多少有り	4	0.655
		3. 全く無し	90	-0.029
6. 地被物	0.667	1. 草地	26	0.332
		2. 竹林	24	0.239
		3. 杉林	9	-0.288
		4. その他	35	-0.336
7. 斜面上部の状態	0.594	1. 耕作台地	39	-0.340
		2. 非耕作台地	41	0.236
		3. 平坦部なし	14	0.254
8. 斜面直高	0.430	1. 50M以上	0	—
		2. 20M~50M	15	-0.153
		3. 10M~20M	40	0.235
		4. 10M未満	39	-0.195

注) カテゴリー数量が大きいほど危険になる。

$$q_j = \frac{R_j}{R_{min}}$$

但し、 R_j , R_{min} はそれぞれ、アイテム j のレンジの値及び最小レンジの値
アイテム j のカテゴリー k の点数を a_{jk} とすると、

$$a_{jk} = q_j \cdot a_{0k} \quad (a_{0k} = 1, 2, 3, 4)$$

地山斜面 i の危険度点数を y_i とすると、

$$y_i = \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^g a_{jk} \delta_i(jk)$$

ただし、 $\delta_i(jk)$ は、斜面がアイテム j 、カテゴリー k に該当した時のみ1とし、他の場合はゼロとする。

この方法では、カテゴリーの基準点 a_0 の付け方に問題がある。即ち、ここでは一応、安全度が高いと考えられるものから1, 2, 3, 4の点数を与えたが、素

因によっては定量的なカテゴリーで規定される物と定性的なカテゴリーでしか規定できない物もあり、またいずれの場合も各カテゴリー間で基準点が上記のように1ずつ変化するという保証はない。この点に関して今後は多くの調査或いはモデル実験によるデータを集積し、これらを統計処理する事により、より一層現実的な基準点の付け方を探る必要がある。

また、数量化理論Ⅱ類を用いて、レンジを求めたり、崩壊斜面と健全斜面の判定基準を求める段階に於いて上記のような現実と矛盾した結果も得られており、その原因として次のような事が考えられる。

- 1) 理論自体に於いて、要因の相乗効果を評価出来ない。
- 2) カテゴリーの分け方によって、結果が変動する。
- 3) 対象が自然であるため、一つの要因に関して、あるカテゴリーにサンプルが片よる。
- 4) 調査する要因の数によって結果が変動する。

これらの問題点のうち、1)はこの理論を用いるからには致し方のない根本的な問題である。2)に関しては、カテゴリーの分け方を検討する事によって今後改良されるべき点であるが、地域によって最適な分け方が異なる可能性がある。3)は地域特性を反映しており、2)の改良に密接に関連する。4)に関しては情報の正確な要因数が多いほど判定精度は良くなるが、現実問題として、野外調査に於いて、経験的に重要であると判断されるにもかかわらず、正確な情報を得るのが困難な要因(例えば健全斜面の表土厚さや湧水の有無等)があり、これらに関する情報のあいまいさが、判定精度を落している。従って、今後は調査方法を開発する事によってこの点を解決しなければならない。

上のような問題点は残されてはいるが、このような理論の適用によって、数多くの斜面に対して、大ざっぱに危険度を評価する事が出来る。したがって、この

ような方法によって危険度が高いと判定された斜面に対しては、さらに詳細な調査を重点的に行ない、必要に応じて動態観測を行えば、地山斜面崩壊をある程度の精度で予知する事が出来よう。

む す び

今回の研究では、最近の熊本県内に於ける豪雨災害の実状を地山斜面の崩壊による災害に重点を於いて調査し、その結果に基づいて、第一に雨量による斜面崩壊の可能性の判定、第二に地山斜面のもつ要因による斜面の危険度の判定を試み、一応の成果が得られた。今後は、未だ改良すべき点を多く含む斜面の危険度の判定方法の改良を目ざすとともに、さらに予知の精度を上げるための斜面の動態観測による予知の方法に関する研究を進める予定である。

参 考 文 献

- 1) 鈴木敦己, 自然の怒り, 熊本大学公開講座テキスト「熊本の自然」, p.166, 1982.
- 2) 梶原光久他2名, 55.8.30集中豪雨による熊本県の地盤災害について, 自然災害特別研究突発災害研究成果「昭和55年8月九州及び北海道南西部の豪雨災害に関する調査研究」, pp.29-35, 1981.3.
- 3) 梶原光久他3名, 熊本県内の豪雨による斜面災害, 自然災害特別研究突発災害研究成果, 「昭和57年7月豪雨災害に関する調査研究」, pp.67-70, 1983.3.
- 4) 木宮一邦, 斜面崩壊と水, 「自然災害と水」(災害科学総合研究班), p.66, 1980.1.
- 5) 安田三郎他1名, 社会統計学, pp.109-114, 丸善, 1980.
- 6) 大久保 駿他2名, がけくずれ, 地すべり危険地予測のための数量化解析の適用, 土木技術資料, No.18, Vol.5, pp.10-15, 1976.