

まさ土斜面崩壊要因の地域的比較

Regional Comparison of Slope Failure Factors of Decomposed Granite Soil

小堀 慈久* (Shigehisa Kobori)

キーワード：まさ土／斜面崩壊／呉市まさ土災害／昭60年7月災害／写真判読／現地調査
(IGC:C1/C9)

1. まえがき

瀬戸内海沿岸一帯は風化花崗岩からなる、いわゆる、まさ土地盤の典型的な地域で、毎年6月から9月の梅雨の長雨や台風の襲来による集中豪雨時には各地で斜面崩壊が起きている。まさ土斜面における崩壊の引き金となる要因は降雨の地盤浸透である。図-1に示す一般的なまさ土の粒径分布からもわかるように、まさ土は粒径0.10mm以上のものが90%から85%を占める粒状体の集合で、残る10%から15%は粒径0.10mm以下の砂質シルトから成っている。この0.10mm以下のシルトの粘着力はまさ土の構造組織の結合材として大きな働きをしている。まさ土における適度の含水比はサクシオンによる見掛けの粘着力が働き、構造組織の結合を高める。これらはまさ土の大きな特徴であり、長所であると思われる。しかし、降雨が地表から地中へ浸透し、地下水圧が高まると、サクシオンの低下に伴う見掛けの粘着力が減少するとともに、地下水流による細粒土の移動が起これ、土の構造自体を崩壊させ、高含水比となり自重の増大したまさ土地盤の表層部が滑落する。これがまさ土斜面崩壊、特に表層崩壊のメカニズムである。

さて、まさ土災害は、まさ土の分布域に必ずしも一樣に起こるものではなく、降雨強度等の誘因は別にしてそれ以外の素因である地形、地質、植生等の種々の要因、及び社会的条件による土地利用にも大きく依存して起っている。しかし、従来の研究では、地域、特に広島と呉地域における斜面崩壊の要因分類を行つている例は少ない。わずかに、呉市の昭和42年災害について、武井、福島ら¹⁾が崩壊の要因分析を行っている。そこでは21要因について検討を行い、植生、水系模様、土地利用等を主要因として結論付けている。本研究では、広島と呉地域における斜面崩壊の要因分析を行うために、要因として斜面勾配、表土層の厚さ、土地利用、貫入抵抗値、植生、斜面形式、崩壊歴、排水施設等の6~8要因を取り上げて行った。そして各要因が崩壊規模、崩壊分布、及び崩壊形態にどのような影響を与えているかを検討する事と、また図-2に示す広島市と呉市との地域における崩壊状況の比較を行う事を目的としている。本研究で用いた調査データは、昭和60年7月災害データを中心とし、これまでの斜面崩壊資料、空中写真資料の判読結果も加えながら検討する。

2. 調査対象地域

第一調査地域である広島市は中国山地から流れ来る一級河川の太田川と多くの支流によって形成された扇状地にある都市である。近年、地域の中核都市として政令指定都市に定められて以来、都市の整備とともに市街化の拡大が計られ周辺の山間部も広島市に繰り入れられている。このことから市内周辺の山地での斜面崩壊も多いが、ここでは旧市街地であり、また崩壊頻度の最も高い広島市西区を選び調査した。図-3に示す西区は、市の拡大に合わせ根根を越え、山間部の平地、緩勾配地の宅地化

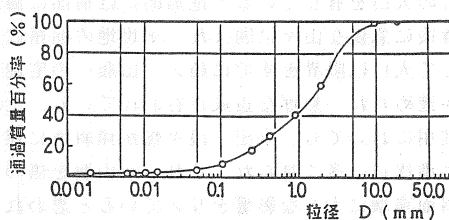


図-1 まさ土試料の粒径加積曲線

* 呉工業高等専門学校 土木工学科 助教授

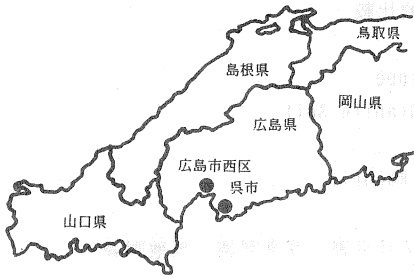


図-2 位置図

が急速に進められた。昭和60年7月災害の地域は、山陽本線西広島駅より北西部、約7.6 km²の地域である。この地域は、太田川と広島湾を前面に、左右と後部を山に囲まれた典型的な谷型地形であり、谷底部には主要道路があり、谷上部まで至っている。その道路に沿った傾斜地に住居部が拡がり、谷上部では地山を開発し、大規模な団地が拡がっている。傾斜地の宅地利用は駅周辺でも見られ、道路網も複雑に入り組んでいる。地質的には中世代白亜紀末に貫入し、中国地域に広く分布している広島型黒雲母花崗岩から成り、石英以外は変質したまま土化の進展が著しい。²⁾

他方の第二調査対象地域は、図-4に示す呉市で、斜面災害の代表的な地域となっている。戦後の大災害例だけでも3~4例あり、小災害程度なら毎年のように被害報告が出されている。呉市の崩壊要因の特徴は急傾斜地域という地形的要因が最も大きく、次に無理な土地利用にある。戦前は軍港として栄えた呉市は、良好な港湾と背後に、500m~600mの山並みを持ち、その時代には有効な立地条件であったと言える。戦後も造船を柱とする重工業が栄え、当時の人口からは減少しているものも今も20数万の人口を有している。地形的には前面に海域、背後に急峻な山々に囲まれ、平坦地の面積に対して人口は限界をすでに越え、山腹への宅地化が進められ、無理な造成が行われている。土地利用においても、水田、段々畑が傾斜地に建つ宅地周辺に多く見られ、それらが山腹を傷め、斜面崩壊に大きな影響を与えていると思われる。

3. 調査結果にみる地域比較

3.1 崩壊地の分布

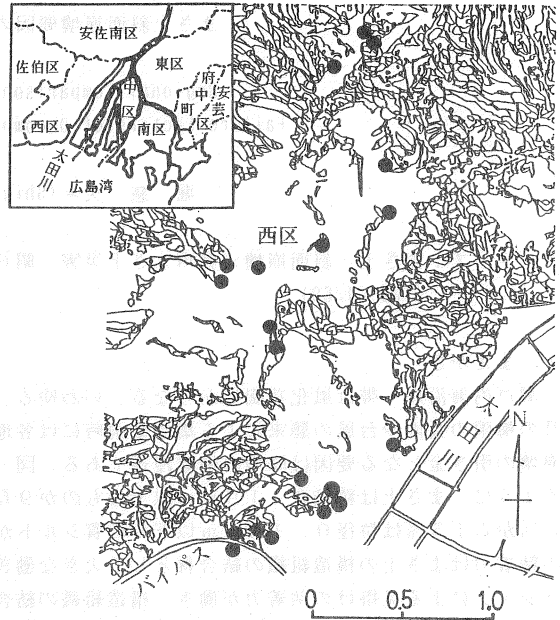


図-3 崩壊地調査地域(広島市西区) (Km)

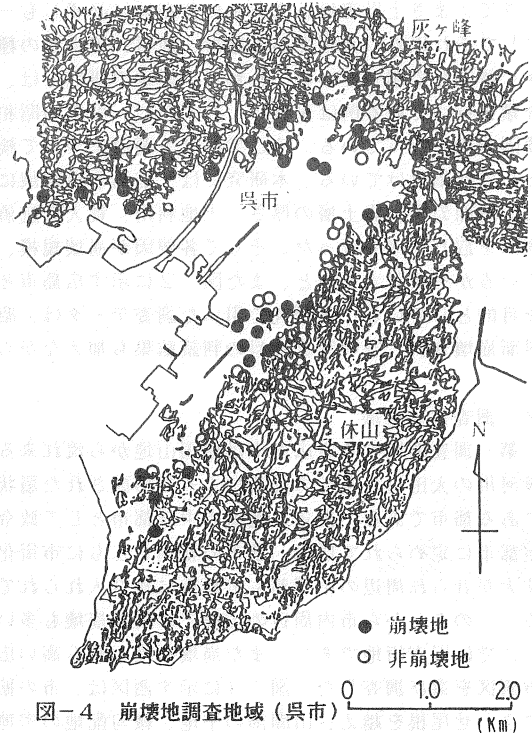


図-4 崩壊地調査地域(呉市) (Km)

今回の調査は昭和60年7月の集中豪雨による斜面崩壊状況を知り広島市と呉市について比較検討するのが目的である。まず崩壊地の分布を図-3に示す広島市の場合から述べる。³⁾ この地域を3つの地域に分けて考える。第1の地域は南部にあたる山陽本線西広島駅周辺である。この地域は旧市街地であり、また海岸線が近いにもかかわらず地形的に起伏が大きく斜面高が高い。崩壊地は居住年数の長い住宅の庭や畑地に多い。この南部で発生した9ヶ所の崩壊地に共通している点は急傾斜地である事、上部の土地利用は畑地、庭等の露出地盤が多い事であるとともに、斜面防災工がほとんど施されていないか、あるいは不完全の状態である事である。貫入試験の結果、50~70cmの深さがあり表層の厚い事がわかる。第2の地域は西区の中央部にあたり、この20年の間に新しく造成された所である。この地域での崩壊の特色は崩壊規模が大きく、その規模は斜面高さ20~30m、幅10~20mである。また、この地域では、新しく切土、盛土を行った事により地盤が不均衡になった事、湧水や雨水の排水処理が不十分であった事等が崩壊原因に関係していると思われる。地山開発には防災上、自然形態の変化への対応、維持管理に細心の注意が必要である。第3の地域は西区の北部にあたり、高地であるところから住人も古くから住んでいる人が多い。崩壊例は山腹斜面で見られるような表層崩壊の傾向が強い。これらの崩壊例の中には、地山からの湧水により地盤が緩んでいる所へ、集中豪雨が重なったため、高さ6mの自宅前庭のほとんどが崩壊し、自宅前面の地形が変わってしまった例もある。広島市西区の場合は比較的、緩やかな斜面勾配の割には崩壊面積、崩壊土砂量が大きい。これは表層の厚さに起因するものであるが、地質的な要因等とどのように関係しているのか調査検討することが今後の課題である。

次に図-4に示す呉市の崩壊分布について述べる。⁴⁾ 崩壊件数は100件を越しているが、今回はそのうちの46件について調査を行った。調査基準は崩壊規模の比較的大きかった、高さ5m×幅5m×厚さ0.5m程度の崩壊地を目安とした。呉市の斜面災害との戦いは歴史的なものがあり、毎年のように起きる災害の防止とその被害を最少限度に押さえる対策をいかにとるべきかが都市整備を行う以前の重要な問題であった。従って、防災工事もかなり行われているがまだ完全ではない。呉市の特徴は急傾斜地である事、その山腹斜面を住居、畑地等に利用されている事、表層風化の進んだまさ土地帯である事が挙げられる。崩壊の分布域を見ると市街地を囲む山腹斜面の全体で見られる。図を見ると、崩壊の分布が特に密なのは宮原地区と中畑地区であり、次に二河地区、川原石地区、辰川地区と続いているのがわかる。宮原地区は背後に標高500mの休山を控え、頂上まで水平距離にして約1.5kmの急傾斜地である事、また、海上交通への利便性及び臨海工業地帯としての立地条件の良さにより人口密集地となり、斜面利用が急速に広がっていったことなどが、この地区が崩壊多発地帯となった原因と考えられる。次の中畑地区は風化の進んだ砂質ロームのまさ土が分布している所である。この地域は特に傾斜地での農耕が盛んな所で、段々畑が高所にまで広がっている。そして、これらの農耕地と住居地域での崩壊が多い。灰ヶ峰の麓から二河、川原石地区付近にかけては住居地域と山腹の境界部での崩壊が多い。すなわち、崩壊は住宅の直ぐ裏山、山腹に沿った道路の上部斜面、山に接した畑地の斜面、山沿いの墓地斜面等で起こっている。これらの山沿いの農耕地や墓地では、切土斜面がそのままの状態で放置されていることが多く、防災工の不備が原因であることが多い。

3. 2. 斜面勾配の分布

広島市西区の斜面勾配の分布は、図-5に示す通りである。図より、25~29°の勾配を持つところが26%と最も多く、25~39°では全体の約75%を占めており、この勾配が広島市西区の代表的な勾配と言える。西区南部の西広島駅周辺は斜面高が高く、急傾斜地が多い。また崩壊規模も大きい、そして1つの斜面で複数の

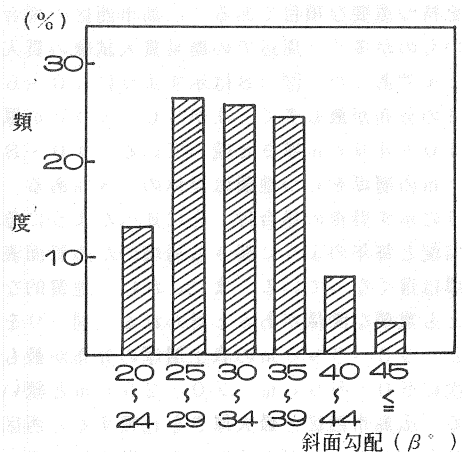


図-5 斜面勾配の分布 (広島市 西区)

崩壊が起きている所もある。従って、この地域では表層地盤の風化がかなり広がっているとされる。西区の中央部、北部の地域の斜面勾配は南部と比較すると緩やかではあるが、崩壊規模は大きい。崩壊の原因としては、新たな開発によってこの地域の地盤が乱された事、降雨、湧水の排水経路や排水量が設計や予測を越えたものであったと考えられる。次に図-6は呉市の斜面勾配の分布を示したものである。図では35~39°の勾配が27%と最も多く、次に40~44°と続いている。25~44°で全体の約70%を占めている。この図の非崩壊地の測定位置は広島県が急傾斜地崩壊危険区域として指定している地域や崩壊のあった近隣の斜面での調査値である。非崩壊地の場合は、35~39°の勾配が多く、25~39°までが71%となっており、崩壊地よりも5°程度低くなっている。網干ら⁵⁾は昭和42年7月呉市災害の崩壊斜面勾配の調査で図-7に示す頻度累積曲線を出している。この図でも自然斜面と盛土斜面の両方で30~40°の勾配が約60%あり、今回の調査とほぼ同様の傾向を示している。呉市の傾斜地の特徴はかなりの急傾斜地である事と市街地面積の約7割がいくらかの勾配をもった傾斜地である事である。これは、もともと平野部の面積が不足していることに起因しているが、この斜面利用の問題は、急傾斜地に適切な防災工を行う事と斜面利用に一定の基準を設ける事によって、幾分軽減されるものと思われる。

3.3 表土層厚の分布

表土層厚は斜面崩壊の規模、崩壊歴あるいは勾配と深い関係を持つ重要な項目である。広島市西区の場合、崩壊規模の大きいものが多く、周辺での簡易貫入試験の貫入深さは平均60cmであった。図-8は示すように60~69cmの表土層厚の分布が最も多く、次が50~59cm厚さ、40~49cm厚さと続いている。40~80cmの層厚をもつ地盤は全体の73%ある。図-9に示す呉市の場合は、先に述べたように急峻な勾配と毎年のように起きる崩壊のため斜面表土層厚は薄くなっている。またこれは、地質的な要因とも重要な関係があると思われる。図-9を見ると、30~39cmの表土層厚の分布が最も多く、次に50~59cm、20~29cmと続いている。広島市西区と最大厚さを比較すると西区は70~80cmが14%あり、呉市は60cm以上が5.6%である。これらのことから広島市西

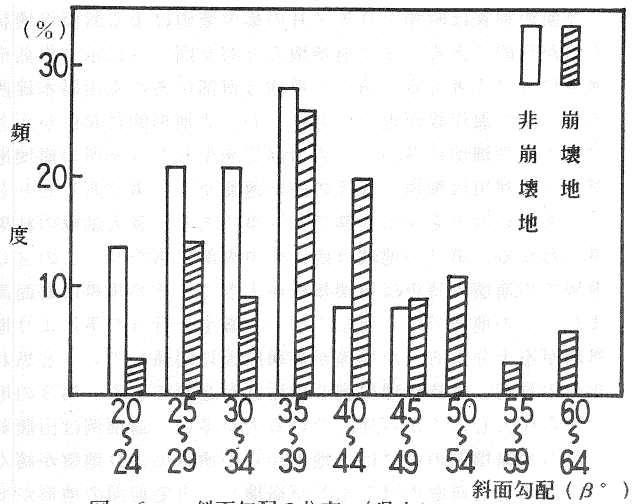


図-6 斜面勾配の分布 (呉市)

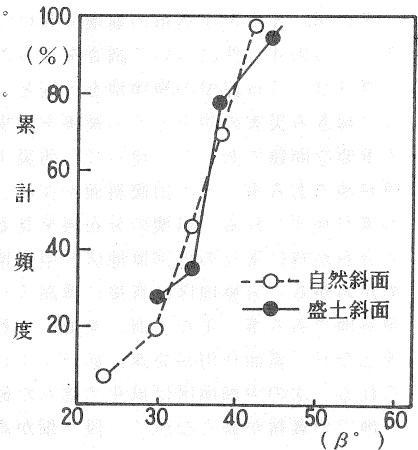


図-7 崩壊斜面の勾配の累計頻度 (s. 42.7 呉市災害)⁵⁾

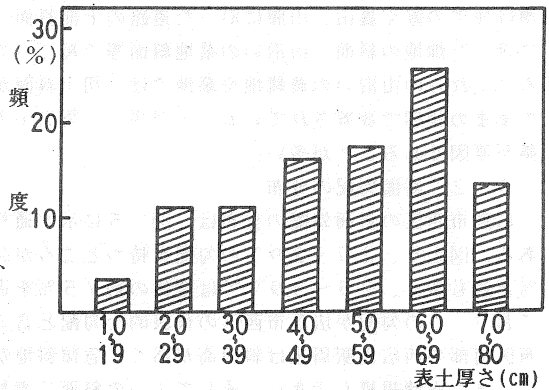


図-8 表土層厚の分布 (広島市西区)

区の方が表土層厚が厚いとともに、厚さの変化の幅も大きいことがわかる。

3.4 貫入抵抗値の分布

まさ土地域の現地地盤調査では簡易貫入試験機（コーンペネトロメーター）を用いた。本来、この試験機は軟弱地盤における車の走行の可能性を調べるために行われたものであるが、今日では簡便な地盤

の支持力の検査法としてよく用いられている。ここでは単管式の試験機を用いた。広島市西区の結果を図-10で示す。ここで○印は各測定地盤で20cm深さまで貫入した時の抵抗値 q_c (kgf/cm^2)を集計し、その頻度を百分率で表したものの

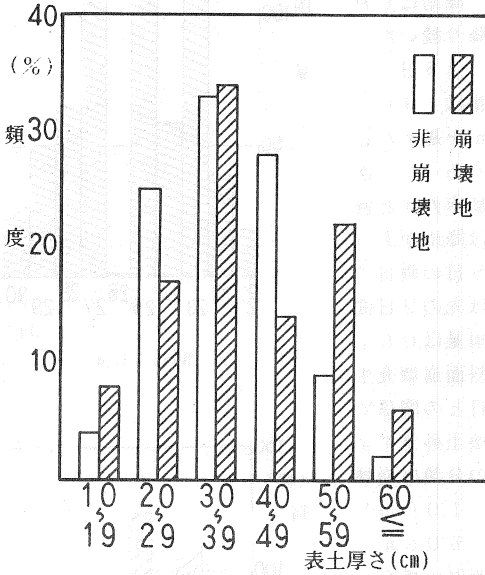


図-9 表土層厚の分布 (呉市)

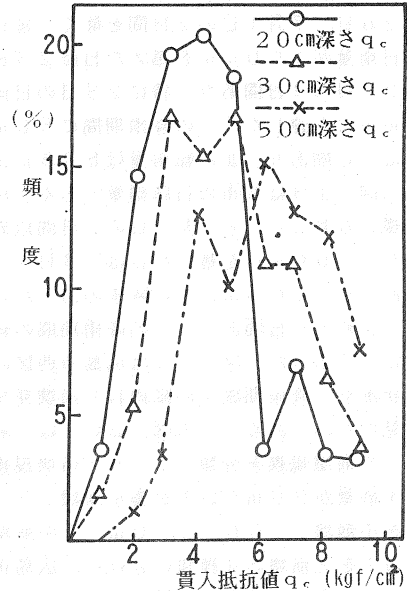


図-10 貫入抵抗値の分布 (広島市西区)

である。同様に△印は30cm深さの時の抵抗値 q_c であり、×印は50cm深さの時の抵抗値 q_c を示す。今、20cm深さを見ると、 $q_c = 4.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ でピークとなり頻度20%で、その後 $6 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ で急落している。次に30cm深さの q_c 分布は、 $3.0 \sim 5.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ と幅を持ったピーク値で17%の頻度である。50cm深さの場合のピーク値は、 $6 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ で頻度は15%となり、後は減少している。また、この図では深さが増すにつれてピーク時の貫入抵抗値が大きくなる傾向が若干見られるものの、各深さにおける貫入抵抗値の分布にそれほど差は認められない。このことは、50cm深さまで表土層の風化が平均的に進行していると言える。次の図-11に呉市の貫入試験結果を示す。20cm深さの時の抵抗値 q_c は $4 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 、30cm深さの時の抵抗値 q_c は $5 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 、50cm深さの時の抵抗値 q_c は $7 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ である。なお、50cm深さは若干ピークがとりにくい、平均的に $7 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ とした。呉市の場合には深さ毎に抵抗値のピークが明確に現れるとともに、深さが増すとその値も順当に増加している。以上の事柄をまとめると、西区の場合、50cm深さまでの表土層の抵抗値 q_c は $2 \sim 6 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ で、表土層全体がもろくなっているが、呉市の場合には表土層の深さにより貫入抵抗値 q_c に差が見られ、地表面からゆっくと風化が進んでいる様子がよくわかる。

3.5 日降雨量と崩壊発生の関係

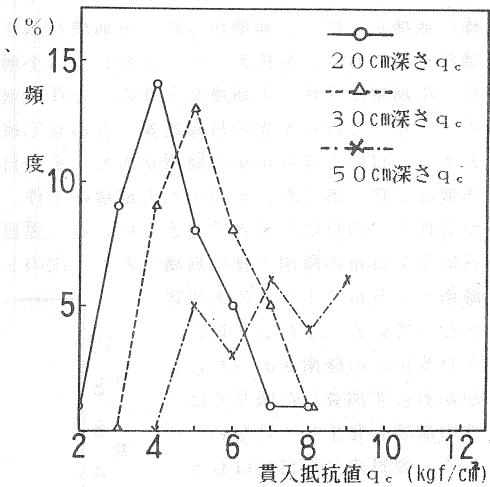


図-11 貫入抵抗値の分布 (呉市)

まさ土地盤の場合、斜面崩壊が発生する誘因としては第1に降雨が挙げられる。昭和60年6月21日から降り始めた雨は7月5日までほぼ連続して降り続き、広島県の瀬戸内海沿岸部に多くの被害を与えた。この時の広島市の日降雨量を図-12に示す。降雨は6月26日、7月1日の2日間を除く、毎日降り続いた。日雨量が100mmを越えた日は23日、25日、27日の3日間あり、特に23日の日雨量は140mmにも達した。この降雨期間に50mmを越えた日は7日間あり、また総雨量は833mmであった。次に図-13は呉市の日降雨量である。広島市西区と同様に6月26日と7月1日の2日間以外は降雨があった。100mmを越えた日は23日、25日の両日であった。50mm以上の降雨のあった日は先の2日間も含めて6日間あり、この降雨期間の総雨量は661mmであった。図-14は広島市西区の斜面崩壊発生状況を、降雨期間中の降雨日と崩壊発生日との関係で見たものである。この図においては、崩壊土砂量によって崩壊規模を分類している。崩壊規模の分類は崩壊土砂量が20m³以下を極小崩壊、20~100m³を小崩壊、100~500m³を中崩壊、500m³以上を大崩壊の4種類に分けた。広島市西区の場合、16日間に崩壊発生日数は6日間であった。崩壊件数の最も多かったのは25日で19件あり、その内容は極小崩壊が2件、小崩壊が6件、中崩壊が5件、大崩壊が6件の合計19件であった。28日には小崩壊が4件、中崩壊が3件、大崩壊が3件の10件の崩壊が起きている。これらを先の日降雨量と合わせて検討する。先ず23日に140mmの降雨があり、その日の崩壊件数は7件であった、その中で大崩壊が1件、中崩壊が2件でこの日は小災害で治まっている。翌日の24日は57mmの降雨で極小崩壊である。次の25日は降雨125mmで19件の大災害となっている。また27日に105mmの降雨があったにもかかわらず調査した限りでは1件の崩壊も発生していない。そして、翌日の28日には65mmの降雨で小崩壊が4件、中崩壊が3件、大崩壊が3件発生している。これらの事柄から当日の降雨量が100mmを越える事があっても直接崩壊にはつ

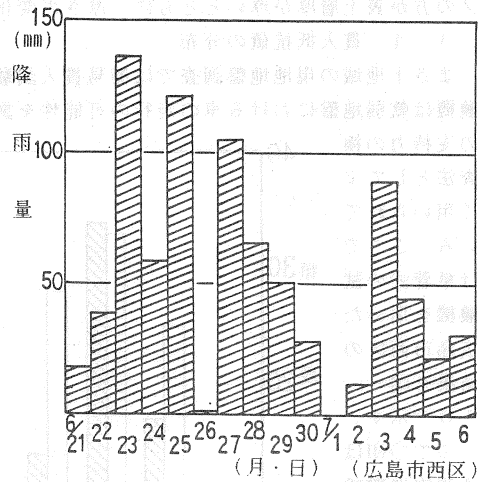


図-12 昭和60年6月~7月の降雨量 (広島市西区)

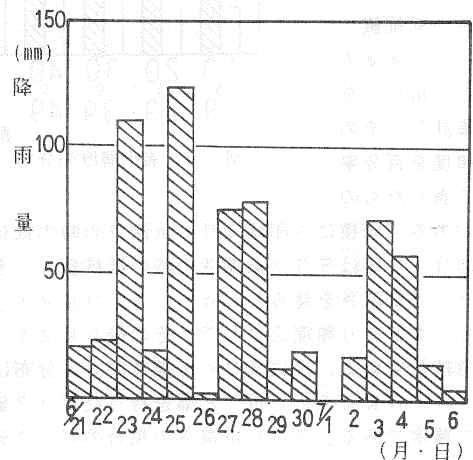


図-13 昭和60年6月~7月の降雨量 (呉市)

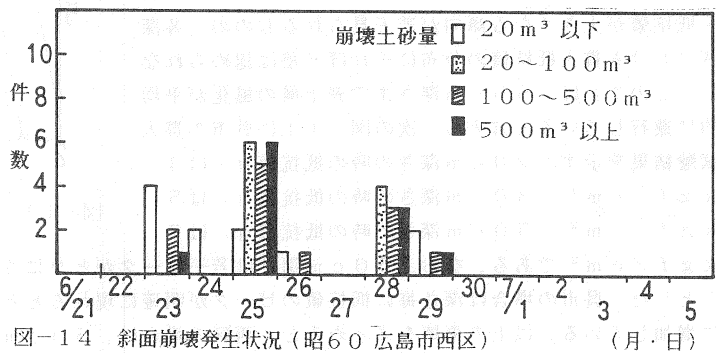


図-14 斜面崩壊発生状況 (昭60 広島市西区) (月・日)

ながら、崩壊が発生する場合はこれらの降雨が先行降雨となったときである。すなわち、前日までにある一定の降雨があり、さらに当日に集中的な降雨があった時に崩壊が集中して発生することが判った。

次に図-15は呉市における斜面崩壊発生状況を示したものである。広島市と同様の事が言える。崩壊が多発したのは6月25日と28日で、25日の125mmの降雨に対しては極小崩壊が44件、小崩壊が15件、中崩壊が3件、大崩壊が1件の合計63件で、28日の78mmの降雨に対しては合計62件の崩壊が起きている。この場合も広島市と同様に、いずれも100mm以上の先行雨量が存在している。広島市西区と呉市とを比較して異なっていることは崩壊規模である。西区では

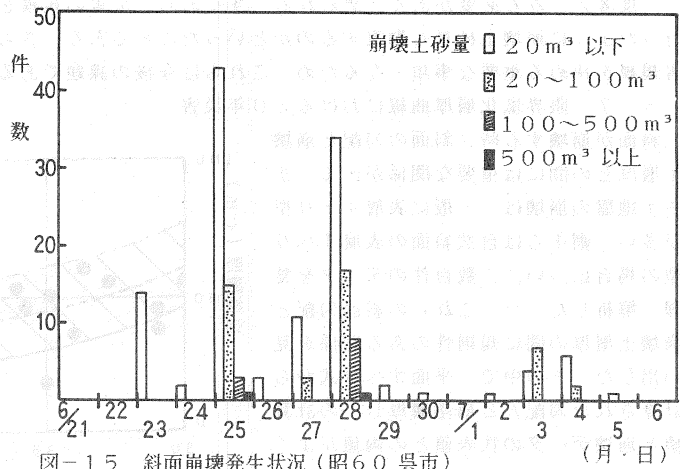


図-15 斜面崩壊発生状況(昭60 呉市)

500m³以上の大崩壊は25日に6件、28日に3件等、合わせて11件発生しているが、呉市では全体でも2件である。これらのことから西区は崩壊件数は少ないが崩壊規模が大きく、呉市は崩壊規模はそれほど大きくないが、崩壊件数が多いことがわかる。これらの原因として西区は地形的に勾配が緩やかである事、風化した表土層厚が厚い事、これまで比較的崩壊歴が少ない事等が挙げられる。一方、呉市は急勾配と薄い表土層、多い崩壊歴等がこのような結果となった原因として考えられる。また呉市では7月に入っても小規模の崩壊が起きている事から表土層のごく浅い所での風化が進み、もろくなっていると思われる。6)

3.6 限界雨量曲線における60年災害

先に降雨量と崩壊発生件数について検討したが累積降雨量と当日の降雨量により災害の発生や災害規模にどのような影響を与えるのかを考える。網干ら7)は呉市のこれまでの災害をもとに、災害発生の前日まで2週間の総雨量と当日の日雨量をとって整理すると、災害発生を予測するための限界雨量曲線が得られる事を報告している。

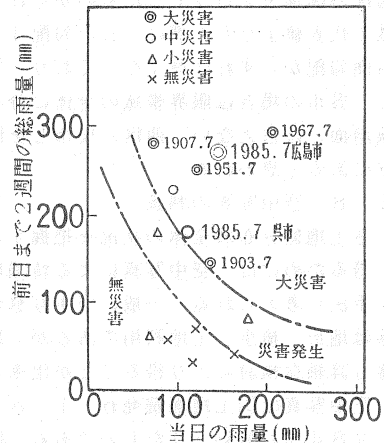


図-16 限界雨量曲線(網干ら7), 1972)

この曲線に60年(1985)7月災害をプロットしたものが図-16である。西区の場合では25日の前日までの総雨量は260mmで当日の雨量は125mmであった。図中では大災害の領域に入り、事実25日には大崩壊6件を含めて19件の崩壊があり大災害となった。次に呉市の場合、25日の前日までの総雨量は173mmで当日の雨量は120mmであった。図中では災害発生と大災害との境界線近くに

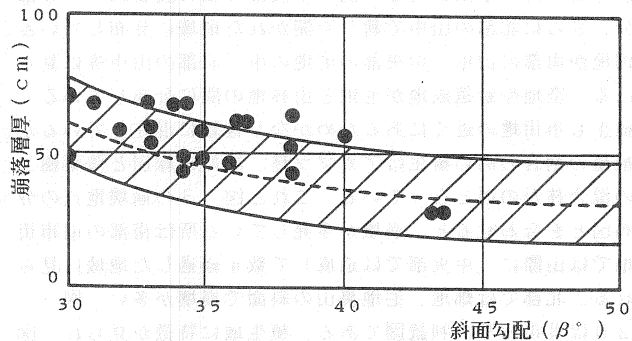


図-17 崩落層厚と斜面勾配の関係(広島市西区)

くに来る。この25日の崩壊件数は63件と多くなっているが内容的には極小崩壊が44件、大崩壊が1件で中災害と言える。これらの事を通して、集中豪雨による災害の規模を何によって規定するかも

う一度考えてみる必要があると思われる。すなわち、災害の規模を単に崩壊件数のみによるのか、今回行ったように崩壊土砂量も勘案するのかといったことである。さらには、人命や構築物の破壊状況も災害規模を決める重要な事項となるため、これらは今後の課題である。

3.7 限界風化層厚曲線における60年災害

斜面が崩壊する時、斜面の勾配と崩壊土層厚との間には重要な関係がある。まさ土地盤の崩壊は、一般に表層すべり型が多い。網干らは自然斜面の表層すべり型の場合について、数百件のデータを整理、解析した。⁷⁾ これらの斜面勾配と崩壊土層厚の間に規則性のある関係を見出した。その中で、平面すべり式から計算された勾配 β と崩落層厚H。の計算値と崩壊データの代表値との両値がよく合っている事を示した。広島市西区と呉市の崩壊地周辺斜面の風化表土層厚と斜面勾配の関係をプロットしたものがそれぞれ図-17と図-18である。西区の場合、斜線部分の限界帯域の代表値よりも上部に、また勾配 40° よりも左に大部分が分布している。これより西区の表土層は斜面勾配からすれば厚くなっており、特に限界帯域より上部にある測点は危険斜面であると言える。一方、呉市の場合には限界帯域の全体に分布しており、むしろ帯域の代表値曲線より下部に測点が集まり危険斜面とは言えない。西区と呉市とを限界風化層厚曲線から比較すると、西区の表土層の方が危険な状況にあると思われる。

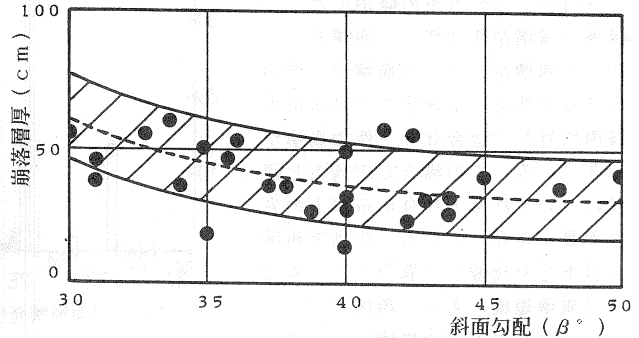
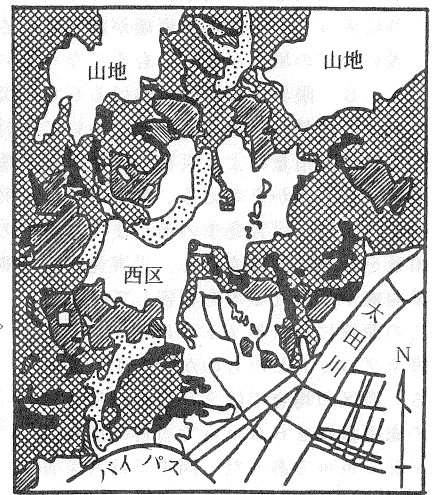


図-18 崩落層厚と斜面勾配の関係(呉市)

3.8 空中写真の判読

まさ土地盤分布域全体の状況を把握すると言った広域の情報を得るためには、空中写真による情報収集が最も簡便で適切な手法と考えられる。一般に空中写真から直接読み取れる情報は地形、植生、土地利用であるが、地表被覆物から地質情報も詳細な検討により得ることが出来る。⁸⁾ 今回、使用した空中写真は国土地理院発行、1/8000のカラー写真で1984年に撮影されたものである。図-19は広島市西区周辺の写真判読図である。宅地が太田川に沿った地域に、直ぐ北にあたる旧市街地、図の中央部の山に囲まれている部分、さらに北部の山中で新しく開かれた地域に分布している。畑地が南部の山中、中央部の宅地の中、北部の山中等に見られる。空地や新造成地が宅地と山林地の間に分布している。植生も市街地の近くにあるためかなり複雑に混在しているが被植の割合の高い植生はアカマツ林、次に常緑樹と落葉樹との混合林がの順となっている。これと図-3の崩壊地点の分布図とを合わせると、崩壊が多発している所は南部の旧市街地では山際に、中央部では造成して数年経過した地域に見られる。北部では畑地、宅地裏山の斜面で崩壊が多い。図-20は呉市の写真判読図である。植生域に特徴が見られ、図中の西部ではアカマツ林を中心にかなり繁茂している。一方、北部の灰ヶ峰斜面は畑地、草地と裸地が多い事、また混合林が多い事も挙げられる。図-4の崩壊地点と合わせて考える



□ 市街地(宅地) ⊠ 道 路
 ▨ 空地(造成地) ⊞ 畑 地
 ▩ 草地・裸地 ⊞ 落葉・低木林
 ■ 常緑(アカマツ林)

0 0.5 1.0 (Km)

図-19 広島市西区の写真判読図

と、西部斜面では山際の急傾斜地、谷型地形の集水地等での崩壊が目立つ。北部の灰ヶ峰斜面は畑地、裸地等での崩壊が多く見られた。図の右側は標高500mの休山の北西斜面である。植生についてはかつて休山の7~8割を占めていたアカマツ林が今も図の右下部の宮原地区を主体に多く見られる。下部の警固屋地区では混合林が繁茂している。また下部の地区は斜面に段々畑や草地・裸地が多い。図中の休山における判読部は尾根までのものであり、反対側の無判読部と比較しても判るように、この地域は水平距離が短く傾斜が急である事がわかる。また図の上部に当る中畑地区は畑地が多く、土質が若干ローム化している。図-4の崩壊地点と合わせると休山の先端部の警固屋地区、中央部の宮原地区、上端部の中畑地区に崩壊地点が集まっている。原因としては急傾斜地である事、土地利用として畑地が多い事、植生が松枯れ等によって荒廃している事などが考えられる。

4. 数量化理論Ⅱ類による要因分析

4.1 解析手法

ここで用いられる数量化理論Ⅱ類は、「ある」、「ない」と言った、通常、数量で表すことのできない要因を有する現象の分類、及び要因分析を数量的に行う手法である。この手法では多変量データとして、数量の代わりに要因であるアイテム、その中の範疇であるカテゴリーへの反応で与えられる。また各サンプルがどのグループに属しているかが外的基準として与えられ、グループの数だけ外的基準がある。各サンプルの得点は

$$y_j = \sum \sum x_{i\alpha} \cdot a_{i\alpha} \dots\dots\dots (1)$$

なる線形式によって得られるものとする。ここで $x_{i\alpha}$ はサンプルがアイテム i 、カテゴリー α に対してとるダミー変数で、サンプルがアイテム i 、カテゴリー α に対して反応したときは $x_{i\alpha} = 1$ 、反応しないときは $x_{i\alpha} = 0$ である。係数 $a_{i\alpha}$ は実数であり、カテゴリー・ウェイトと呼ばれるものである。また外的基準によって分類されているグループを分離するのがこの手法の目的であり、次式で示す相関比 η^2 でグループ間がどの程度分離されているかを示す指標として用いられる。

$$\eta^2 = \frac{\sigma_B^2}{\sigma^2} \dots\dots\dots (2)$$

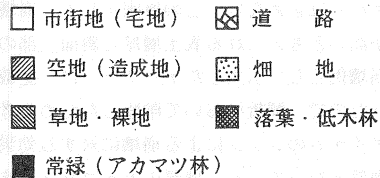
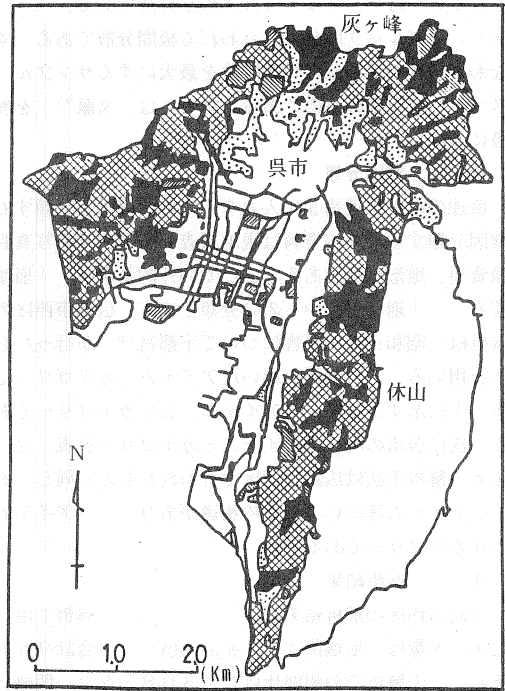


図-20 呉市周辺の写真判読図

表-1 広島市西区斜面崩壊の要因とカテゴリー (S. 60.7 災害調査)

アイテム	要因	カテゴリー			
		反応コード	カテゴリー-説明	反応コード	カテゴリー-説明
1	斜面形態	1	自然	3	人工(自然)
		2	自然(人工)	4	人工
2	傾斜角	1	< 30°	3	< 70°
		2	< 50°	4	70° ≤
3	斜面高	1	< 10m	3	< 30m
		2	< 20m		
4	オーバーハンク	1	有		
		2	無		
5	湧水等	1	有		
		2	無		
6	周辺の崩壊	1	有		
		2	無		
7	地質	1	まさ土	3	その他
		2	花崗岩		
8	地形	1	谷		
		2	谷以外		
9	植生	1	裸地	3	樹生地
		2	草地	4	その他

ここで σ^2 はサンプル・スコアの全分散である。 σ^2 はグループ間分散と言われる級間分散である。すなわち、この手法はこの相関比を最大にするサンプル・スコア y を求めるのである。詳しくは、文献⁹⁾を参考にされたい。

4.2 要因分類

前述の数量化理論Ⅱに入力するための要因を分類する。要因分類するための資料は現地調査データ、空中写真判読資料、地形図等である。ここで外的基準は、「崩壊する」、「崩壊しない」の2分類とする。広島市西区の解析は、昭和60年災害について宇都宮¹⁰⁾が行ったものを用いる。この解析で用いたアイテムとカテゴリーは表-1に示すように、9アイテム、26カテゴリーである。次に呉市の場合のアイテムとカテゴリーを表-2に示す。解析手法は広島市西区で行われたものと同じであるがアイテム等にいくらかの相違があり、13アイテム、64カテゴリーである。

4.3 解析結果

広島市西区の解析結果を図-21に示す。解析で用いたデータ数は、崩壊例45、非崩壊例50、合計95である。この解析での相関比は0.308となり、明確に分類できたとは言えない。この原因として、崩壊に対する効果が高いと考えられる表土層厚と斜面上部の加工状態が非崩壊例として引用したデータ⁶⁾に、記載されていなかったため、解析において削除したためと考えられる。各アイテムのレンジによる崩壊に対する効果順位の1位は地質となっている。地質のカテゴリーはまさ土、花崗岩、その他となっており、厚い表土層を伴っているまさ土斜面において崩壊が起きやすいことを考慮すれば崩壊要因の1位に来たことは理解できる。2位に湧水等が来ている。この要因も調査箇所の数から比較すれば湧水地点が多く見られたことや、崩壊土砂量 500m^3 以上の大崩壊地点の3割で湧水が認められたことから、上位に位置したものであると思われる。3位は傾斜角となっている。これは、西区の駅周辺、中央部で崩壊が繰り返される地域では急勾配の分布域が見られることと関連している。4位は斜面高となり、続いて斜面形態、植生、周辺の崩壊、地形、オーバーハングの順位となっている。次に呉市の場合について述べる。解析で用いたデータ数は崩壊例40、非崩壊例45、合計95で

表-2 呉市斜面崩壊の要因とカテゴリー (S.60.7 災害調査)

アイテム 群	要 因	カテゴリー			
		カテゴリー コード	カテゴリー 説明	カテゴリー コード	カテゴリー 説明
1	斜面勾配	1	55°以上	5	35~39°
		2	50~54°	6	30~34°
		3	45~49°	7	25~29°
		4	40~44°	8	20~24°
2	表土厚さ	1	55cm以上	6	30~34cm
		2	50~54cm	7	25~29cm
		3	45~49cm	8	20~24cm
		4	40~44cm	9	15~19cm
		5	35~39cm		
3	土地利用 (上部)	1	放棄畑	4	宅地
		2	畑	5	道路
		3	段々畑	6	地山
4	貫入抵抗値 q (kgf/cm ²)	1	0~4kgf/cm ²	3	10~14kgf/cm ²
		2	5~9kgf/cm ²	4	15kgf/cm ² 以上
5	植 生	1	草地	4	竹林
		2	低木	5	松
		3	雑木		
6	樹木の直径	1	1~9cm	4	20~24cm
		2	10~14cm	5	25cm以上
		3	15~19cm		
7	斜面形式	1	切取り	4	コンクリート
		2	盛土	5	畑地
		3	石積・擁壁	6	自然斜面
8	斜面方向	1	北	5	北西
		2	南	6	北東
		3	西	7	南西
		4	東	8	南東
9	崩壊歴	1	4回以上	3	1回
		2	2~3回	4	無
10	排水施設	1	無	2	有
11	湧水	1	有	2	無
12	周辺地形	1	平坦斜面	3	峰先
		2	谷あい		
13	土の乾湿	1	湿土	2	乾土

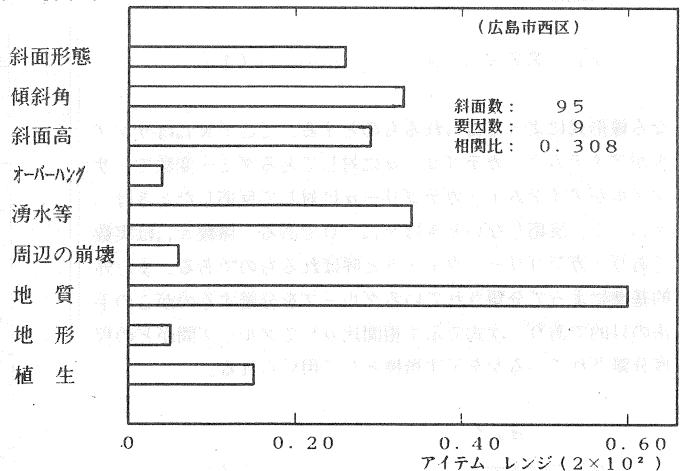


図-21 解析結果(9要因)

(宇都宮の解析結果より¹⁰⁾)

ある。解析は、まず表-2に示した13アイテムで行い、その中から崩壊に対する効果の弱い要因、すなわち樹木の径、斜面方向、湧水、周辺地形、まさ土の状態を除いた。そして再び8アイテムについて解析を行ったものが図-22である。相関比は0.547で高い値を示している。この解析におけるアイテムレンジの順位は1位に表土層の厚さが来ている。図-12の表土層の厚さの分布を見ると崩壊地と非崩壊地の差がはっきり出ており崩壊地の方が厚くなっている。この事が解析に反されたものと思われる。2位は土地利用となっている。この土地利用とは斜面上部の土地利用をさしており、呉市の崩壊地上部の土地利用は図-23に示すように畑地が全体の31%、宅地が26%、放棄畑が14%、地山が12%等となっている。一方、非崩壊地では段々畑で30%、地山で26%、畑地が16%、宅地が15%となっている。この調査値の違いから、このアイテムに対するレンジの大きさが理解できる。3位は崩壊歴となっている。これまでの崩壊歴から呉市の場合、大災害と言われるものが約20年、中災害が3~5年の周期で起っているとされており、小災害は毎年のようにどこかで発生している。このような事から周辺斜面の崩壊歴は重要な要因となると思われる。4位に斜面勾配が入っている。呉市は急傾斜地の代表的な地域であるのでレンジの効果としては少し低いように思われる。5位は植生である。崩壊の起きやすい植生は草類、低木で根の浅いもの、竹林も以外と崩壊例が多い。またアカマツの松枯れによる根の腐食等による空洞が崩壊の原因となることも多い。また植林された若い樹木の周辺には排水施設あるいは土止工等の治山施設も必要とおもわれる。このあとのレンジの順位は貫入抵抗値、斜面形式、排水施設であった。図-24はアイテムを6個に限定して解析を行った場合を示したものである。

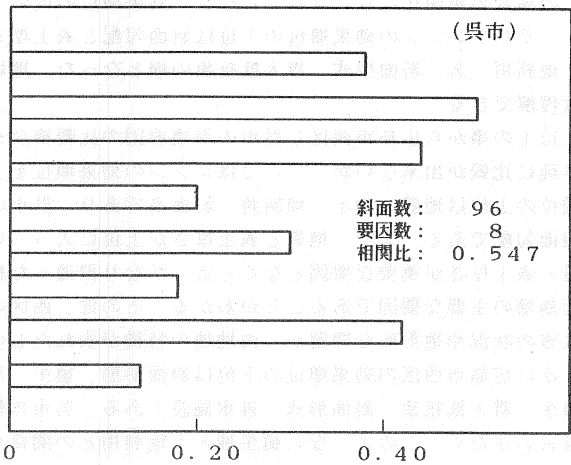


図-22 解析結果 (8要因)

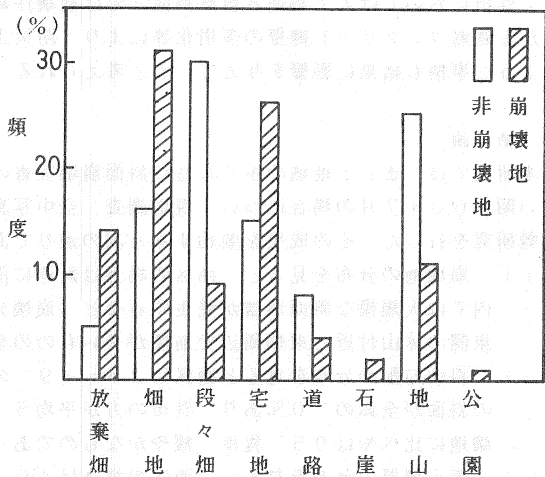


図-23 斜面上部の土地利用と斜面崩壊 (呉市)

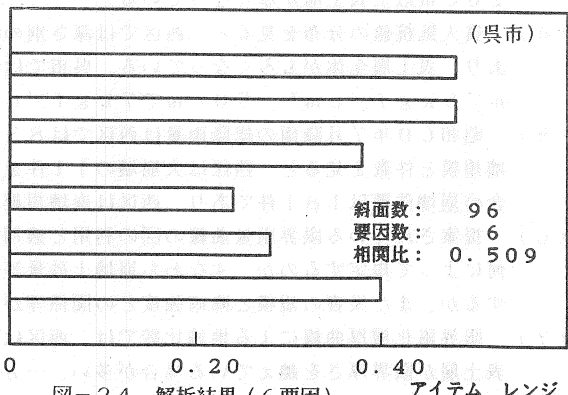


図-24 解析結果 (6要因)

この場合の相関比は0.509となり、効果順位の低いアイテムを除外しても相関比は改善されなかった。そしてレンジの効果順位の1位は斜面勾配と表土厚さの2つが同値で並び、3位に崩壊歴、4位が土地利用、あと斜面型式、貫入抵抗値の順となった。地域の性格からすれば、斜面勾配が上位となるのは理解できる。

以上の事から広島市西区と呉市の崩壊要因の比較検討を行う。ただ、解析に用いた要因が異なるため単純に比較が出来ないが、ここではレンジの効果順位を上位、下位に分けて述べる。広島市西区の効果順位の上位は地質、湧水、傾斜角、斜面高であり、呉市の順位の上位は表土厚さ、土地利用、崩壊歴、斜面勾配である。まず、地質と表土厚さが上位に入っている。これは先に述べたような観点に立てば地質と表土厚さが重要な要因となると言うかなり似通った結果となっている。また傾斜角、斜面勾配も斜面崩壊の主要な要因であることがわかる。その他、西区の湧水、呉市の土地利用、崩壊歴はこれまでの災害の状況や地形的な問題から両地域の特徴が表れたものと思われる。

次に広島市西区の効果順位の下位は斜面形態、植生、周辺の崩壊、地形である。呉市の順位の下位は植生、貫入抵抗値、斜面形式、排水施設である。呉市の植生については農耕地との混在で良好な環境とは言いがたく、このような植生域と土地利用との関係が不明確な所が多い。都市における植生の防災効果が失われつつあり再検討が必要である。また、斜面型式、斜面形態については地形や地質、施工法により異なるため多種類に分類できる。また、西区の場合、旧市街地と新市街地とでは斜面形態が異なり、呉市においては人工斜面と自然斜面とでは崩壊件数に差が出ている。人工斜面の場合、かつての石崖から鉄筋コンクリート擁壁の多用化等により、防災工の整備が進み崩壊の件数は減少しつつある。このような事柄も結果に影響を与えていると考えられる。

6. 結論

本研究では、まさ土地域の中でも特に斜面崩壊災害の代表的な広島市西区と呉市とを選び、比較的新しい昭和60年7月の場合について現地調査、空中写真判読、及び要因分析をし、崩壊要因の地域的な比較研究を行った。その成果を要約すると次の通りである。

- (1) 崩壊地の分布を見ると、西区の場合は鉄道に沿った地域で多発するとともに、北部の新市街地内では大規模な斜面崩壊が発生するなど、崩壊分布に片寄りが見られた。一方、呉市の場合、東側の休山付近と東畑周辺で崩壊が多いものの全体的には呉市全域に分布している。
- (2) 斜面勾配の分布を見ると西区は25~39°の斜面が全体の75%あり、呉市は25~44°の斜面が全体の70%あり、呉市の方が平均5°程度勾配が大きい。また、呉市の非崩壊地は崩壊地に比べやはり5°程度、緩やかなものであった。
- (3) 表土層厚の分布を見ると、西区の場合は40~79cmの表土層を持つ地盤が73%ある。一方、呉市の場合市の場合は30~59cmの表土層を持つ地盤が85%であり、西区の方が約20cm以上表土層が厚くなっている。
- (4) 貫入抵抗値の分布を見ると、西区では深さ別の強度差がなく、2~6kgf/cm²の範囲にあり、表土層全体がもろくなっている。呉市では地表から20cmで4kgf/cm²、30cmで5kgf/cm²、50cmで7kgf/cm²と地表から順に風化が進行している。
- (5) 昭和60年7月降雨の総降雨量は西区では833mm、呉市では661mmであった。その崩壊規模と件数を見ると、西区は大崩壊の11件を含め崩壊件数は44件、呉市は大崩壊の2件を含め崩壊件数は181件であり、西区は崩壊規模で、呉市は件数で勝っている。
- (6) 提案されている限界雨量曲線の図の利用と適用性について(5)のような場合、災害の規模を何によって規定するのか、すなわち崩壊土砂量等による崩壊規模であるか、あるいは崩壊件数とするか、また災害の規模と降雨強度との関係等が今後の検討課題である。
- (7) 限界風化層厚曲線による地域比較では、西区は限界帯域の代表値よりも上方に調査点が多く、表土層が限界厚さを越えている場合が多い。一方呉市は代表値よりも下方に調査点が多く、層厚からは危険斜面とは言えない。

- (8) 空中写真の判読によると西区では旧市街地の山際、中央部の造成後数年の地域、北部の畑地、宅地裏山の斜面等で崩壊が多い。呉市は北部、東部の斜面で農耕利用が多い灰ヶ峰、休山での崩壊例が他の斜面よりも多い。
- (9) 数理化理論Ⅱ類を用いた要因分析によると、崩壊に対する重要な要因は、西区の場合が地質的な状況、湧水、傾斜角、斜面高であり、呉市の場合が表土厚さ、土地利用、崩壊歴、斜面勾配であった。

今後の課題として(1)他のまさ土地帯を含めて、数多くの資料を収集、解析し、崩壊に対する要因分析を行う。(2)空中写真の詳細な判読と、判読技術の向上に努める。(3)斜面安定を考える上で土質力学的なまさ土の強度定数等を検討する。(4)まさ土地域の地質学等の基礎的要因の検討を行うことなどが挙げられ、これらの視点からも斜面崩壊の機構解明を進めていきたい。

謝辞：末筆ながら本研究をまとめるにあたり終始ご指導を賜った広島大学 網干壽夫名誉教授に心より深謝致します。また本文の執筆にあたり具体的で貴重な御教示を多くいただいた広島大学 森脇武夫先生に心より感謝する次第である。また現地調査に協力いただいた、長崎大学 秋本隆彦氏、熊谷道路(株) 谷口洋二氏、(株)竹中土木 旗見栄明氏、東洋道路(株) 山奥栄一氏に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 武井良道・福島康博(1974)：土地条調査報告書(呉地域)、建設省国土地理院、pp.39~79.
- 2) 宮原健二(1983)：中国地方におけるローカルな土、土と基礎、Vol.31, No.1, pp.49~57.
- 3) 網干壽夫・小堀慈久(1987)：都市部のまさ土斜面崩壊について－広島市西区の場合－、第39回土木学会中国四国支部学術講演概要集、pp.193~194.
- 4) 網干壽夫・小堀慈久(1988)：まさ土地域の斜面崩壊調査について－広島県呉市の場合－、第40回土木学会中国四国支部学術講演概要集、pp.280~281.
- 5) 網干壽夫・門田博知・吉国洋(1967)：昭和42年7月豪雨による呉市の災害の調査速報、文部省科研災害科学中国地区班・呉市、pp.75~181.
- 6) 網干壽夫・小堀慈久(1988)：まさ土斜面崩壊地域の比較調査－広島市及び、呉市の場合－、第43回土木学会年次学術講演概要集、pp.210~211.
- 7) 土質工学会編(1979)：「風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用」、土質工学会、pp.272~283.
- 8) 網干壽夫・小堀慈久(1980)：空中写真による山腹斜面崩壊と地形、地質、植生の関係－広島県休山の場合－自然災害資料解析、Vol.7, pp.117~125.
- 9) 河口至商(1978)：多変量解析入門Ⅱ、森北出版、pp.57~85.
- 10) 宇都宮緑(1986)：広島市における昭和60年7月豪雨によるまさ土斜面災害、広島大学工学部卒業論文pp.15~42.