

1953年の7.18水害を対象とした 斜面崩壊の素因分析

AN ANALYSIS OF ENDOGENOUS FACTORS FOR SLOPE FAILURES CAUSED BY 7.18 FLOOD DISASTER IN 1953

田内裕人¹・藤田三四郎²・江種伸之³

Hiroto TANOUCHI, Sanshiro FUJITA and Nobuyuki Egusa

¹和歌山大学システム工学部 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930 番地)

E-mail: tanouchi@center.wakayama-u.ac.jp

²京都府庁 (〒602-8570 京都市上京区下立売通新町西入藪ノ内町)

³和歌山大学システム工学部 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930 番地)

E-mail: egusa@center.wakayama-u.ac.jp

Key Words: 7.18 flood disaster, slope failure, endogenous factor, aerial photograph, GIS

1. はじめに

紀伊半島は、これまでに何度も豪雨による土砂災害に見舞われてきた。特に十津川水害(1889年)と7.18水害(1953年)は歴史的な災害として記録されており、2011年の紀伊半島大水害はこれらに匹敵する災害である。本研究で対象とする7.18水害は1953年7月17日から18日にかけて活発化した梅雨前線が和歌山県中・北部に停滞したことで発生し¹⁾、特に被害が大きかった有田川流域での災害は有田川水害と呼ばれている²⁾。この水害は紀伊半島北部から南部まで広い範囲で起きているが、残されている記録は最も被害の大きかった旧花園村(現かつらぎ町花園)が中心で、それ以外については数少ない。その一方、同年12月には林野庁により被害が大きかった旧花園村を中心に広範囲で空中写真が撮影されている。そこで、本研究では、これら空中写真を収集して、できるだけ広範囲で斜面崩壊地(以下、崩壊地)を抽出し、地質や地形などの特徴を分析することで、7.18水害としての土砂災害の素因(主に地形)について考察した。

2. 気象条件³⁾

1953年7月14日黄海北部に発生した低気圧は東

進し、17日から18日にかけて日本海中部に達した。南西にのびる寒冷前線は低気圧の東進とともに南西に進んだ。16日時点では朝鮮半島南部を通り、17日時点では日本海西部より対馬海峡(朝鮮海峡)に伸びていたが、その後低気圧に近い方のみ東進し、尾部はゆっくり南進した。図-1¹⁾に示すように、18日午前3時には低気圧は日本海東部にあり、その中心から閉塞した前線が東海道付近までのび、そこから停滞前線となり、さらに西に伸び、南近畿を横断し四国北部を通り対馬海峡に達した。そして、この前線付近では一帯に雷雨が発生して各地に豪雨をもたらした。特に紀伊半島中部山岳地帯には集中的な豪雨

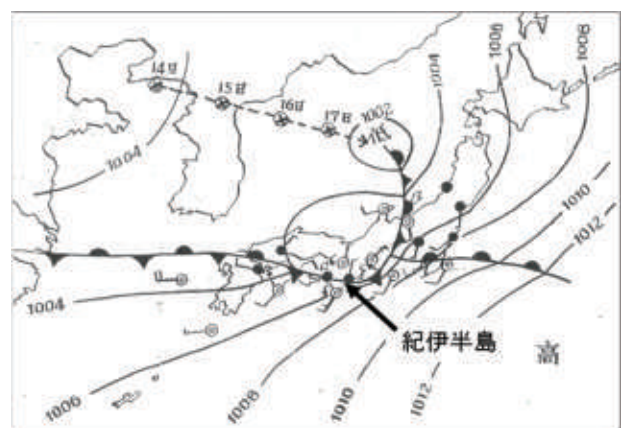


図-1 1953年7月18日午前3時の天気図¹⁾を一部改変

が短時間に降りそそぎ、これらの雨が一時に和歌山県中部地区の各河川に流入し、有田川、日高川等は決壊し、甚大な被害に至った。また、各地で土砂災害が多発した。この前線はその後日本付近で南北に振動しながらも停滞して、18日から19日にかけても雨は降り続いた。19日午後一旦収まったが、20日の午後再び強い雨となり、21日にいたって前線は日本海へ北上した。

雨の激しい地域に観測地点がなかったため、最多雨量域の雨量は推察によるほかないが、有田川、日高川の水源地帯は500mm以上と推定されている³⁾。

3. 研究方法

(1) 1953年に撮影された空中写真の収集

7.18水害時の降雨による被害は紀伊半島のかなりの範囲に及んでいたため、1953年11月15日から翌年2月9日にかけて林野庁により災害後緊急撮影を目的とした空中写真が撮られた。縮尺は1万5千分の1、または3万分の1である。撮影時期の太陽高度が低いため陰影部(特に北側斜面)が多く、かつ画像のサイズが小さい(7インチ×7インチ)が、この空中写真には有田川流域および周辺の崩壊地が記録されている。図-2は今回収集した空中写真の範囲である。最も被害の大きかった旧花園村を含み広範囲に及ぶ。

(2) 空中写真のオルソ化

空中写真では、高い建物や山間部、また写真の中心から外周に行くに従ってひずみが生じ、このような状態では、計測を行うことも地図と重ね合わせることもできない。このひずみを修正することをオルソ補正といい、この補正をかけた空中写真のことをオルソ画像と呼ぶ。本研究では、空中写真のオルソ画像化にはAgisoft社のPhotoScan(Ver.1.3.4)を使用した。これは、空撮デジタル画像から、高精度DSMやオルソモザイク画像、鳥瞰図などを作成するソフトウェアである。図-3はオルソ化後の空中写真の例である。

(3) 崩壊地の特定

崩壊地の特定にはESRI社のArcGIS(Ver.10.4.1)を使用した。オルソ化した空中写真をGISに取り込み、崩壊地点の源頭部にポイントをとった。ただし、災害前の空中写真は存在しないので、災害前後での比較ができない。そのため、対象とする豪雨による崩壊でない地点を選定している可能性を否定できず、解析精度に影響を与えていることも有り得る。なお、



図-2 空中写真の収集エリア



図-3 オルソ化後の空中写真

有田川上流域(旧花園村およびその周辺)については既往資料²⁾による崩壊分布図(図-4)が存在し、本研究においても図-4に示された崩壊地以外の崩壊地は判読されなかった。図-5は上記で述べた方法で空中写真にポイントを取った結果である。特定した崩壊地は7044地点に及んだ。なお、その中には旧花園村エリアの資料(図-4)から確定できた1178地点を含む。

(4) 崩壊地の素因(主に地形)の抽出

特定した崩壊地に対してGISを用いて素因(主に地形)を抽出した。地質データとしては、産業技術総合研究所地質調査総合センターの20万分の1日本シームレス地質図(基本版)を用いた。ただし、20万分の1地質図幅「和歌山」の名称を基本にしたうえで付加体と正常堆積層を区分し、付加体については花園付加体、湯川付加体、井谷付加体、清水付加体(和歌山図幅のチャート・緑色岩・碎屑岩コンプレックス)に変更している。

傾斜角、傾斜方向、起伏量、斜面形状(平面曲率、断面曲率)は、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ(以下、10mメッシュDEM)を用いて



図-4 有田川水害の資料による崩壊箇所²⁾

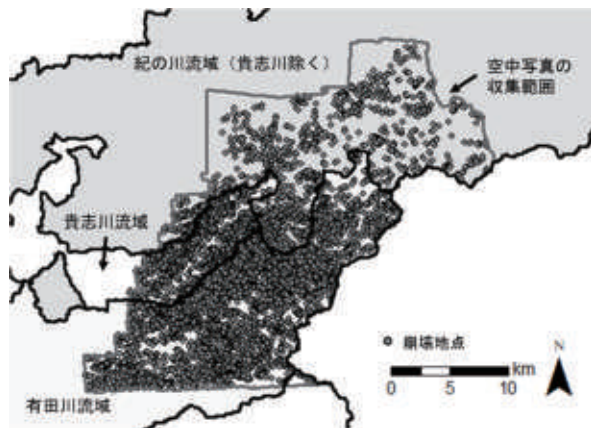
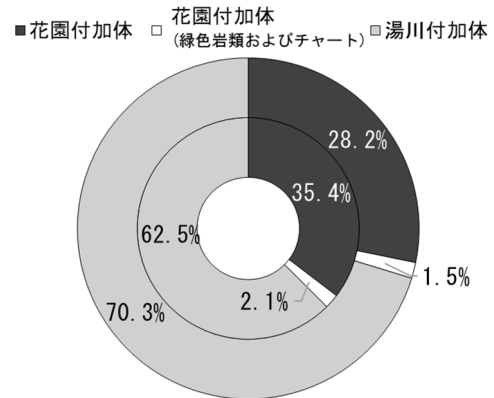


図-5 特定した全崩壊地点 (7,044 地点)

計算し、ArcGIS(Ver.10.4.1)のSpatial Analystツールを用いて算出した。

傾斜角は、10mメッシュDEMから崩壊源頭部が含まれるメッシュ周辺の標高から、最も落差が大きくなる方向を算出した後、落差を正接の逆関数によって角度に変換して求めた。起伏量は、10mメッシュDEMをポイントデータに変換し、それを50mメッシュのポリゴンに空間結合させ、そのポリゴン内にある最高標高と最低標高の差を起伏量とした。斜面形状の平面(横断)曲率および断面(縦断)曲率は、10mメッシュDEMから、崩壊源頭部が含まれるメッシュとその周辺を取り囲む8つのメッシュ(すなわち9メッシュ)の標高を用いて算出した。断面曲率は傾斜方位(すなわち上述の傾斜角の方向)の曲率を、平面曲率は傾斜方向から垂直方向の曲率であり、凸形状を正の値として計算した。曲率は、斜面に接する円の半径Rの逆数を100で除した値として計算される。平面曲率(尾根, 谷, 平行)は、崩壊地の斜面形状を3つに分類し、平面曲率(以下pl)が $pl \leq -0.5$ の場合を谷型、 $pl \geq 0.5$ の場合を尾根型、 $-0.5 < pl < 0.5$ の場合を平行型とした。一方、崩壊地の断面曲率(凸, 凹, 直線)は、崩壊地の斜面形状を3つに分類し、断面曲率(以下sl)



(内：崩壊地・外：旧花園村エリアの対象地域全体)

図-6 崩壊地と対象地域全体の地質割合 (旧花園村エリア)

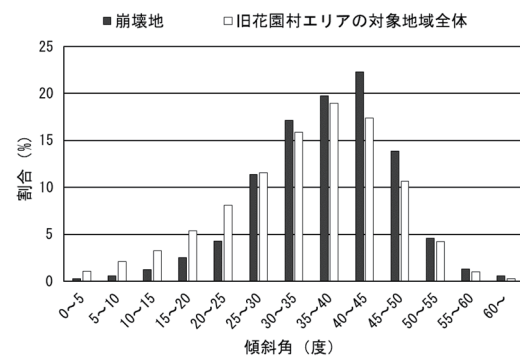


図-7 崩壊地と対象地域全体の傾斜角割合 (旧花園村エリア)

が $sl \leq -0.5$ の場合を凸形、 $sl \geq 0.5$ 場合を凹形、 $-0.5 < sl < 0.5$ の場合を直線形とした。

なお、分析で用いたデータは、当時のものが得られなかったため、2016年のものを使用した。

4. 結果と考察

(1) 旧花園村エリア

ここでは、まず特に被害が大きく、崩壊地が特定されている旧花園村およびその周辺(旧花園村エリア、図-4)における崩壊地の特徴を分析する。

図-6に旧花園村エリアの対象地域全体の地質割合を示す。このエリア全体が花園付加体と湯川付加体で占められているが、エリア全体の割合に対して花園付加体での崩壊が若干多くなっている。

図-7に対象地域全体と崩壊地の傾斜角の割合を示す。ここでは、傾斜角40度以上45度未満が最も多く全体の22.3%を示し、対象地域全体と比較すると比較的高角度の崩壊地が多い。傾斜角30度以上の崩壊地は全体の79.6%を占めている。

図-8に対象地域全体と崩壊地の傾斜方向の割合を示す。崩壊地においては、傾斜方向は南が最も多く

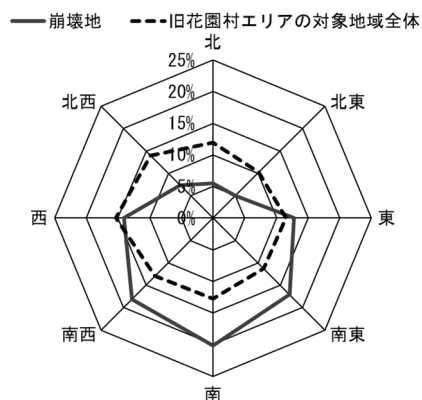


図-8 崩壊地と対象地域全体の傾斜方向割合(旧花園村エリア)

全体の20%を示していた。対象地域の傾斜方向割合は東西南北がほぼ均等であるが、崩壊地の傾斜方向割合は南向きの傾向が見られた。傾斜方向が南東から南西の崩壊地は全体の55.3%(東と西を加えると82.2%)であった。

なお、使用した空中写真は冬場に撮影されたため陰影部になっている北側斜面が多い。その影響で北側の崩壊地が少なくなり南向きの崩壊傾向となっている可能性が否定できない。ただし、ここで分析した崩壊地は図-4によって崩壊地が特定されている。それでも南向きが多かったということは、空中写真の陰影部の影響は考えられるものの、南向きという崩壊地の傾斜方向の特徴は変わらないと推察される。

南向き斜面の崩壊が多かった理由の一つとしては、当時の風向きが考えられる。7.18水害は発達した停滞前線による豪雨により発生した。停滞前線の北側の地域では西、南向き、南側の地域では東、北向きの風向きとなる。7.18水害時の天気図(図-1)では、ちょうど紀伊半島の中央付近に前線がかかっている。詳細な位置関係は判別できないが、前線の南側に位置していたため北向きの風が卓越していた可能性が考えられる。すなわち、崩壊地の傾斜方向が南向き傾向となったのは、この北向きの風により南斜面に風雨が集中し、その影響で南斜面に崩壊が集中したと推察される。

図-9に対象地域全体と崩壊地における起伏量の割合を示す。図に示したように崩壊地において起伏量30m以上35m未満が最も多く全体の18.9%を示していた。起伏量30m以上の崩壊地は全体の74.3%であった。対象地域全体と比較すると、起伏量30～45mで崩壊が多かったことがわかる。

図-10に崩壊地の斜面形状の割合を示す。斜面形状は平面曲率を尾根型、平行型、谷型の3通り、断面曲率を凸形、直線形、凹形の3通りに分け、その組み合

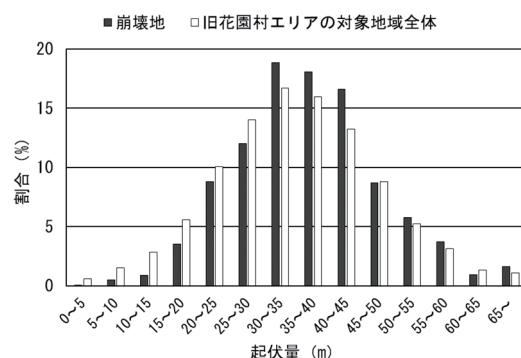


図-9 崩壊地と対象地域全体の起伏量割合(旧花園村エリア)

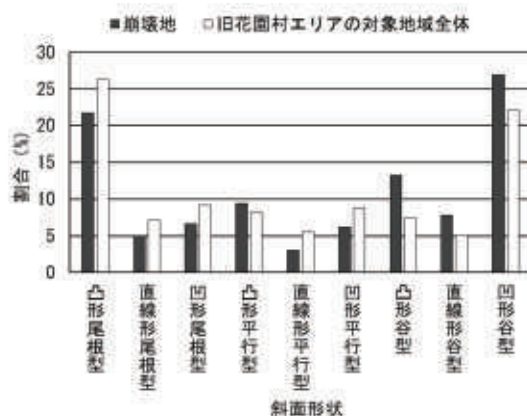


図-10 崩壊地と対象地域全体の斜面形状割合(旧花園村エリア)

わせによって9通りに斜面形状を分類した。これによると、凸形尾根型、凹形谷型の崩壊地が全体の48.7%を占めている。一般的に凹形斜面、谷型斜面は集水地形であるため崩壊が多いとされている⁴⁾。その一方、凹形斜面ではなく凸形斜面で崩壊が多くなったのは、遷急線付近での崩壊が多かった可能性が考えられる。なお、対象地域全体もほぼ崩壊地と同じ分布をしていることから、対象地域に多かった斜面形状で崩壊が多くなった可能性が高いといえる。

以上が旧花園村エリアの特徴である。

(2) 流域別の崩壊傾向

次に、今回特定した7044地点の崩壊地の特徴を分析する。ここでは、被害が大きかったといわれる有田川流域とその他の地域(本研究では紀の川流域)を比較する目的で、有田川流域と紀の川流域(貴志川流域含む)に分けて、崩壊地の地質・地形の分析を行った。なお、流域は国土数値情報流域メッシュデータを参考にする。調査対象地域の流域図は図-11の通りである。

有田川流域の崩壊密度は1km²あたり20.2地点と紀の川地域(9.2地点/km²)の2倍以上の値となっており、有田川流域で実際に崩壊が多発していたことがわか

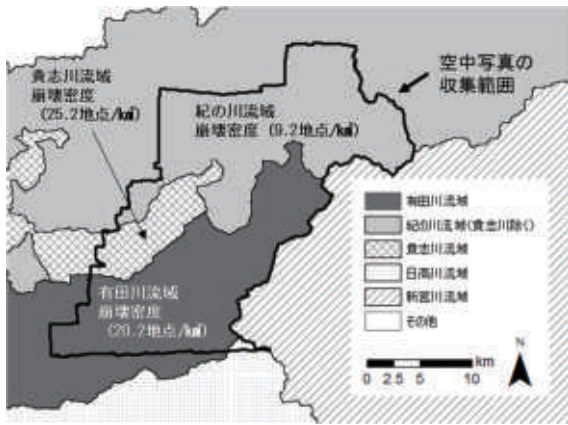
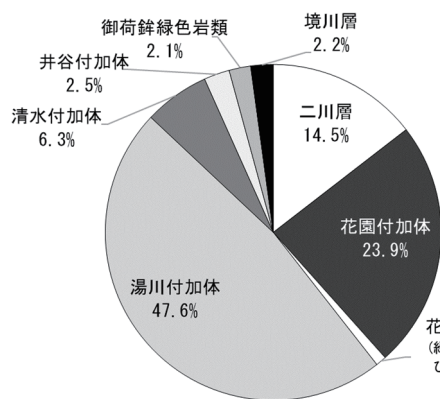


図-11 調査対象地域の流域図

る。ただし、紀の川水系でも貴志川流域に限定すると、崩壊密度は1km²あたり25.2地点となり、有田川と同等の崩壊密度である(図-5参照)。

図-12に崩壊地の地質分類を示す。両流域とも広範囲に分布する地質体(有田川流域では湯川付加体、花園付加体など、紀の川流域では花園付加体や三波川結晶片岩類など)で崩壊地が多い。ただし、有田川流域では全体の崩壊数は少ないものの、花園付加体の緑色岩類およびチャート、境川層で高い崩壊密度(38.4地点/km²)が見られた。次いで清水付加体が1km²



あたり31.3地点の高い崩壊密度となった。紀の川流域では有田川流域と同様に全体の崩壊数は少ないものの境川層で高い崩壊密度(196.5地点/km²)が見られた。次いで清水付加体が1km²あたり24.3地点の高い崩壊密度となった。境川層は片理面が高角に傾斜すること、清水付加体は層理面が高角に南傾斜であることがその要因と推察される。緑色岩類およびチャートは現時点ではその原因はわかっていない。

図-13に崩壊地の傾斜角の割合を示す。流域別に分類しても最も崩壊が起きているのは傾斜角35度以上40度未満であった。30度以上の崩壊地割合は有田川流域が77.1%、紀の川流域が65.5%であり、有田川流域の傾斜角が紀の川流域より若干大きい傾向にあった。頁数の都合で図示はしていないが両対象地域全体でも有田川流域のほうが高角度の斜面が多く、その影響が崩壊地にも表れている可能性がある。

図-14に崩壊地の傾斜方向の割合を示す。有田川流域では南向きの崩壊地、紀の川流域では南西向きの崩壊地が最も多い。どちらの流域も南東から南西向きの崩壊地が60%近く、北西から北東の崩壊地が10%程度であり、同じような南向き傾向が見られた。両流域とも東西南北全ての方向に万遍なく斜面が分

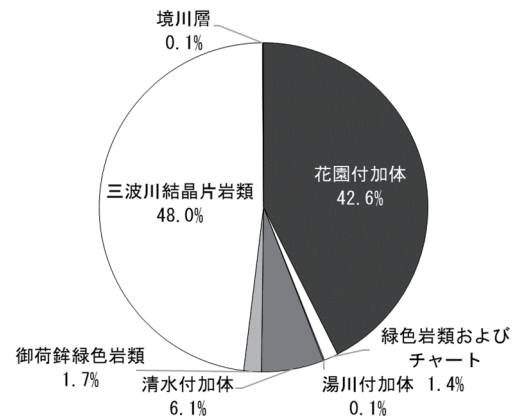


図-12 崩壊地の地質割合 (左：有田川流域, 右：紀の川流域)

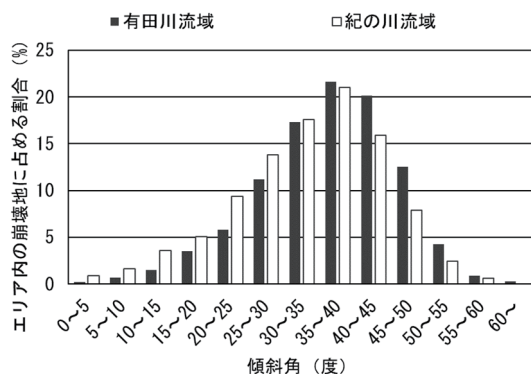


図-13 崩壊地の傾斜角割合 (有田川流域・紀の川流域)

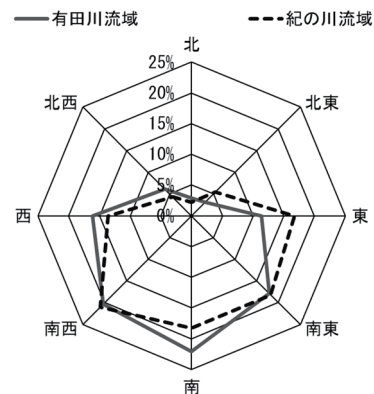


図-14 崩壊地の傾斜方向割合 (有田川流域・紀の川流域)

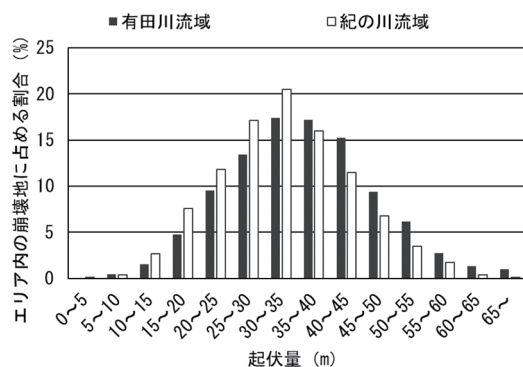


図-15 崩壊地の起伏量割合
(有田川流域・紀の川流域)

布していることから、崩壊地が南向き傾向に多くなったのは大きな特徴である。

図-15に崩壊地の起伏量の割合を示す。流域別に分類しても最も崩壊が起きているのは起伏量30m以上35m未満であった。30m以上の崩壊地割合を見ると有田川流域は70.3%、紀の川流域では60.4%であり、有田川流域の起伏量が紀の川流域よりも若干大きい傾向にあった。起伏量は、両地域全体との比較では大きな特徴は見られなかった。

図-16に崩壊地の斜面形状の割合を示す。流域別に分類しても凸形尾根型、凹形谷型の2つの斜面形状が突出して崩壊が多くみられた。有田川流域では48.5%、紀の川流域では46.6%であった。両地域全体でもこれら2つの斜面形状が共に20%を超えていたので、旧花園村エリアと同様に対象地域に多かった斜面形状での崩壊が多くなった可能性が高い。

以上のことから、有田川流域では崩壊密度は大きい崩壊地の素因の傾向は紀の川流域とあまり差が見られないという結果が出た。また、旧花園村エリアとの比較でも顕著な差は見られなかった。図-17は本研究で特定した崩壊地点を7.18水害時の降水量の図と重ね合わせたものである。被害が大きく、降水量が多い旧花園村は崩壊地点が多いが、降水量が少ない北部の紀の川流域に行くにつれて次第に崩壊地点は減少している。このことから7.18水害時に有田川流域で被害が特に大きかったのは、降雨の集中の影響が一番大きかったからだと推察される。

6. おわりに

本研究では、1953年7月の7.18水害を対象に、同年12月に撮影された空中写真を広域に収集し、これまで多くの記録が残されている旧花園村を含む広域での土砂災害の地質、地形などの素因を分析した。その結果、崩壊地の傾斜角、傾斜方位、斜面形状など

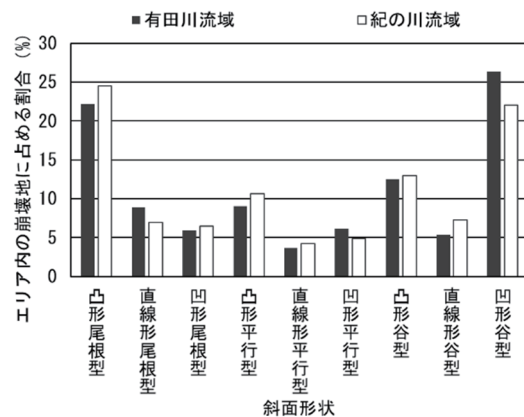


図-16 崩壊地の斜面形状割合
(有田川流域・紀の川流域)

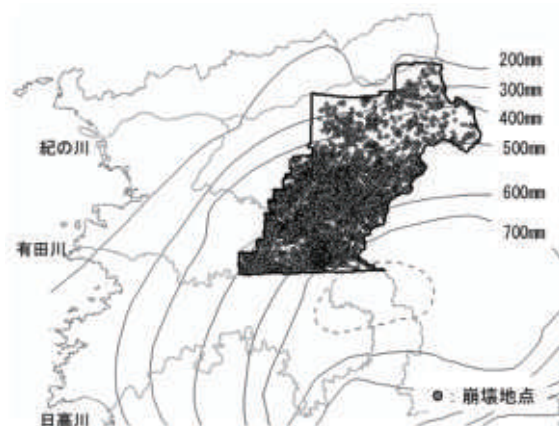


図-17 崩壊地と降水分布(累積雨量)

の特徴は明らかになったが、旧花園村の特徴、有田川流域とそれ以外の紀の川流域との違いなどは明確にならなかった。しかしながら、本研究は、これまで数多くの記録が残されている旧花園村よりも広域の土砂災害の特徴を分析した初めての例であり、その結果は貴重である。今後は、地質などに関して、より詳細な分析を行って、7.18水害の特徴をより明確にしていきたい。

謝辞: 本研究は、(一社)近畿建設協会平成29年度研究助成およびJSPS科研費JP18K04345を受けて行われました。GIS図面などの作成に平井千津子氏、地質に関しては後誠介氏の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 和歌山県:和歌山県災害史, pp.16-20, pp.136-148, 1963.
- 2) 藤田崇, 諏訪浩, 平野昌繁, 波田重熙, 石井孝行: 昭和二十八年有田川水害, 古今書院, 224p., 2006.
- 3) 近畿各大学連合水害科学調査団: 和歌山水害報告書, p.15, 1953.
- 4) 塚本良則, 小橋澄治: 新砂防工学, 朝倉書店, p.54, 1991.

(2018. 5. 18 受付)