

2016年6月の豪雨による広島県東部の土砂災害に関する調査

寺岡 奈実*・熊本 直樹**

(平成28年11月1日受付)

Investigations on Sediment Disasters in the Eastern Part of Hiroshima Prefecture Caused by the Heavy Rainfall in June 2016

Nami TERAOKA and Naoki KUMAMOTO

(Received Nov. 1, 2016)

Abstract

Heavy rainfall was observed in Hiroshima Prefecture in June 2016 and caused sediment disasters at many locations in the east part of Hiroshima Prefecture. We have analyzed the sediment disasters using two kinds of sediment disaster warning models. The models use the short-term rainfall index and long-term rainfall index to demarcate the threshold for sediment disasters (critical line: CL).

As a result, we found that that effectiveness of the warning models can be improved by using precipitation probability statistic data to demarcate the CL in case of above sediment disasters.

Key Words: sediment disaster, rainfall index, critical line

1. はじめに

2016年6月21日未明、梅雨前線の活発化で広島県内は各地で大雨となり、特に広島県東部で土砂崩れや道路の通行止めが相次いだ。さらに22日13時頃から降雨が強くなり、23日未明には時間雨量30mmを超える大雨となった。この大雨により福山市は河川氾濫により広域に浸水被害が発生するとともに、土砂崩れが多発した。同様に、尾道市、三原市、府中市などの県東部でも土砂崩れが多発し、さらに土石流も発生した。2016年7月6日付けの中国新聞によると、広島県東部の大雨による土砂崩れ被害件数は、尾道市で約2,700件、三原市で714件、福山市で486件であったと報道されている¹⁾。自治体によって被害の区分方法やカウント方法が異なるので単純に比較はできないが、広島県東部で土砂災害が多発したことは間違いない。

広島工業大学工学部環境土木工学科地盤工学研究室では、「行政だけに頼らない防災」を目指して、各家庭で土

砂災害の発生が迫っていることを判断できる手法(自主防災に用いる手法)の検討を行っている。すなわち、広島県内410箇所の雨量計の10分雨量、時間雨量、累加雨量、半減期1.5時間実効雨量、半減期72時間実効雨量などが「広島県防災Web」上で公開されている(10分更新)ので、これを利用して各家庭で危険度を判断することを目指している。特に10分雨量を加工して実効雨量が公開されているので、利用しやすい。採用する判定手法としては、後述の「提言案」及び「R」を考えている。

そこで、2016年6月下旬に広島県東部で多発した土砂災害を、判定手法「提言案」及び「R」を用いることによって事前に予測することができたかどうかを検討した。

2. 気象・降雨特性

2.1 広島県の2016年6月の降雨状況

広島県の気象(月報)²⁾によると、広島県の6月の降雨状況は次のとおりである。すなわち、上旬は梅雨前線や気

* 広島工業大学大学院工学系研究科建設工学専攻

** 広島工業大学工学部環境土木工学科

圧の谷の影響で曇りや雨の日が多く、7日は前線や湿った空気の影響により、世羅で67.0mm、広島で60.0mmの日降水量を観測している。中旬も梅雨前線や気圧の谷の影響で曇りや雨の日が多く、19日から20日にかけては梅雨前線が西日本に停滞し、大雨となった。下旬はさらに梅雨前線の影響で雨の日が多く、前半は梅雨前線の活動が活発となって大雨となり、22日に大竹で112mm、呉で100mm、23日に福山で70.5mmの日降水量を観測した。

例として、広島県防災 Web の観測情報に掲載されている雨量計測データを用いて福山特別地域気象観測所（以下では福山気象観測所と呼ぶ）で計測した6月の時間雨量及び累積雨量を示すと、図2.1のとおりである。図2.1を見ると、6月7日及び6月12日頃に時間雨量15mm程度の比較的強い降雨がある。6月19日未明及び6月21日未明に比較的強い降雨があり、6月22日13時頃に強い雨が降ったあと同日夕方は小康状態になり、同日20時頃から再び大雨になり、6月23日2時頃に豪雨になっている。6月22日12時から6月23日6時までの18時間に、146mmの降雨量であった。6月の月間雨量は531mmである。気象庁のデータによると、福山の6月の降水量の平年値は175mmであるので、2016年は平年の約3倍の降水量である。

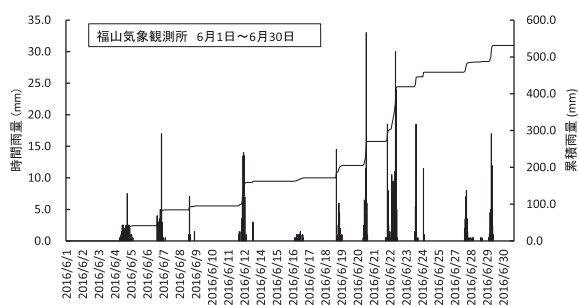


図2.1 2016年6月の福山気象観測所の雨量

2.2 2016年6月22日から23日にかけての気象

図2.2に2016年6月22日21時の天気図を示す。22日は梅雨前線が西日本～東海に停滞し、九州を中心に大雨となり、日降水量が福岡県大牟田で史上1位の300mm、長崎県佐世保で6月1位の266.5mmを記録した。この梅雨前線の影響により、広島県は22日13時頃から降雨が強くなり、23日未明には時間雨量30mmを超える大雨となった。

福山気象観測所の降雨量で考察したとおり、広島県では6月21日未明に比較的強い降雨があり、6月22日13時頃に強い雨が降ったあと同日夕方は小康状態になり、6月22日20時頃から大雨になり、6月23日2時頃に豪雨になった。文献4)にはアメダスのデータを用いて6月22日0時から6月23日12時までの累積雨量が示されており、

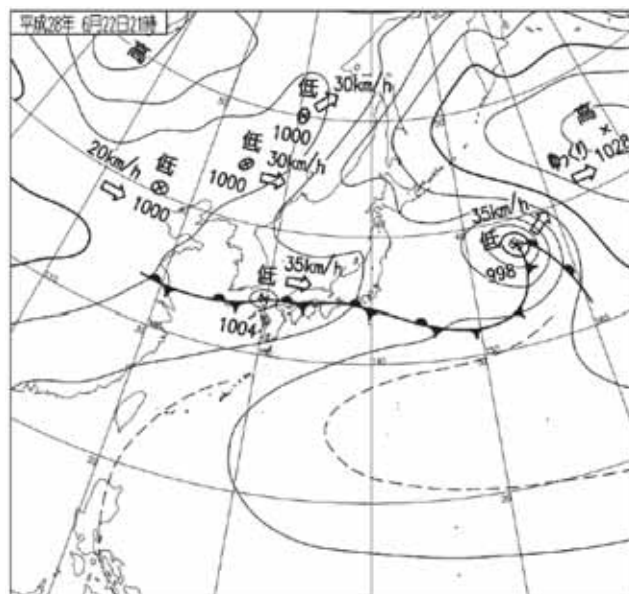


図2.2 2016年6月22日21時の天気図
(文献4)から引用)

それを引用すると図2.3のとおりである。図2.3によると、6月22日0時から23日12時の間の累積雨量は、瀬戸内海沿岸部に沿って多く、どちらかという広島県東部ではなく広島県西部の降雨が多い。

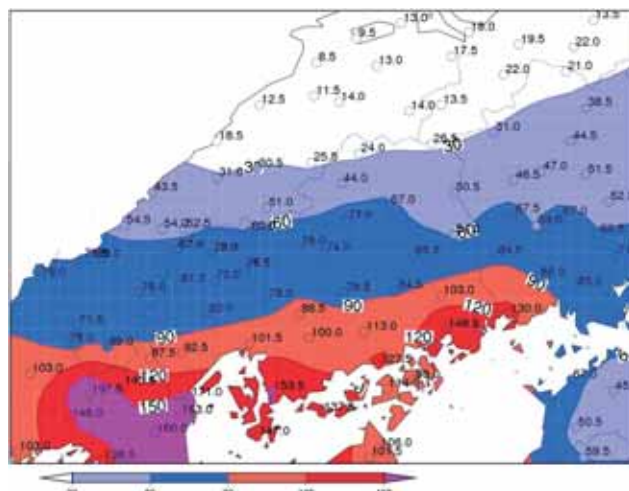


図2.3 2016年6月22日0時～23日12時のアメダス
降水量積算図(単位:mm)(文献4)から引用)

時間帯をさらに絞って広島県内の降雨量を考察する。図2.4～図2.11に広島県防災 Web で使用している広島県南部の雨量観測基地の、2016年6月22日8時～23日6時の時間雨量及び累積雨量を示す。引用した雨量計の位置は図2.12に赤く塗り潰して示している。

時間雨量をみると、広島県南部で25mm/h規模以上の「強い雨」から「激しい雨」の範疇に入る降雨が見られる。その中でも時間雨量が多い地区は、毘沙門台、呉、江田島などの広島県西部で、40mm/h以上である。三原、尾道、福山などの広島県東部は、多いところで25～30mm/h程度

である。累積雨量では呉が最も多く、次に大竹、江田島も多い。累積雨量では広島県東部の尾道や福山も140mm～160mmと多いが、広島県西部よりも多雨であったというほどではない。

以上から、2016年6月22日から23日にかけて広島県の南部全域で強い降雨があったが、どちらかという広島県西部の降雨が多く、東部の降雨量は西部を越えるものではなかったと言える。



図 2.12 広島県防災 Web で使用している雨量観測基地³⁾
(赤く塗りつぶしている基地は本論文での引用箇所)
(広島県防災 Web の地図に加筆した)

3. 災害の状況

3.1 概要

災害の状況を中国新聞の報道からおっってみる⁵⁾。2016年6月22日の朝刊では、福山市では58箇所で土砂崩れが発生、尾道市では21日正午現在109箇所で土砂崩れが発生、三原市では土砂崩れや道路冠水が約90件発生したと報道されている。また、同じく22日の朝刊で、呉市吉浦西城町や東畑一丁目で土砂崩れが発生し、住宅が被災したことが報道されていて、広島県東部だけでなく芸南地区も被災した。日が変わって6月22日夜から23日にかけての豪雨で災害が拡大し、6月24日の朝刊では福山市は広域に冠水し、土砂崩れが247箇所に及んだ。また6月25日の朝刊では、大雨による災害発生件数は24日午後5時現在で1064件と尾道市が発表したと報道されている。

6月30日の朝刊では、広島県東部4市2町の土砂崩れは約3300件に上り、そのうちの約2300件が尾道市の土砂崩れと報道されている。7月6日の報道では、土砂災害発生件数は尾道市約2700件、三原市714件、福山市486件などとされている。ただし、尾道市は通報件数をカウントしているのに対し、福山市は職員が現地確認した件数を集計するなど、自治体によって集計方法が異なるとのことで

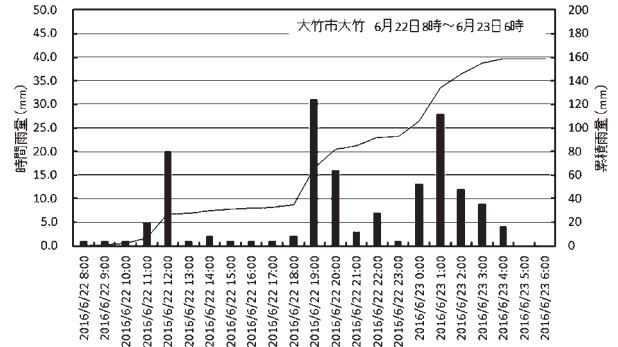


図 2.4 6月22日8時～23日6時の雨量
(大竹市大竹)

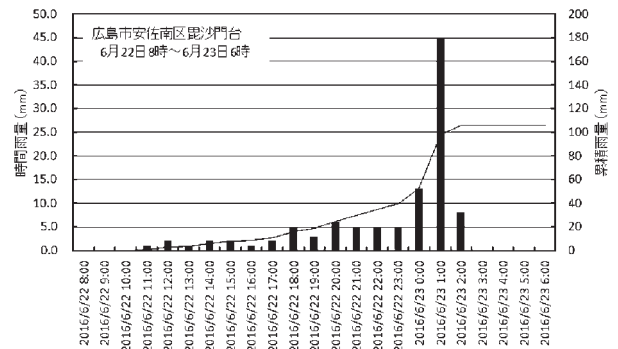


図 2.5 6月22日8時～23日6時の雨量
(広島市安佐南区毘沙門台)

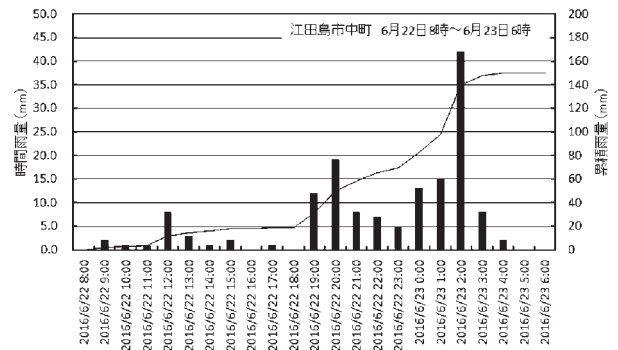


図 2.6 6月22日8時～23日6時の雨量
(江田島市中町)

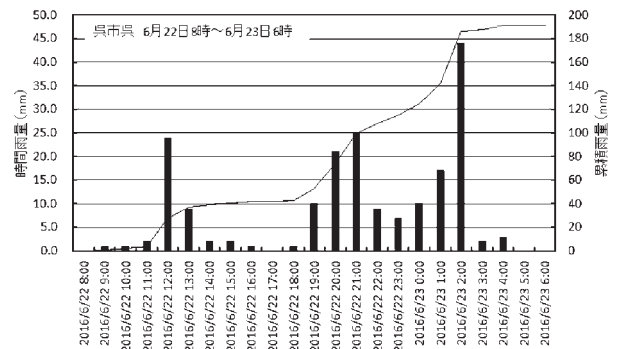


図 2.7 6月22日8時～23日6時の雨量
(呉市呉)

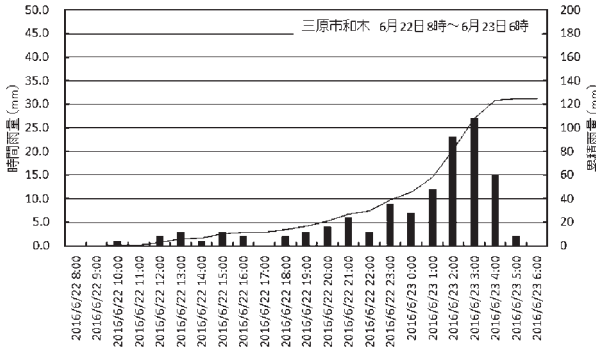


図 2.8 6月22日8時～23日6時の雨量
(三原市和木)

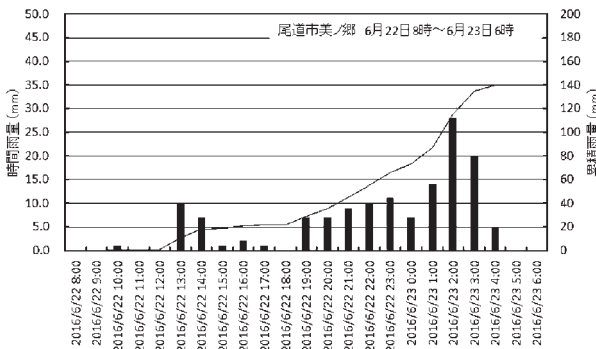


図 2.9 6月22日8時～23日6時の雨量
(尾道市美ノ郷)

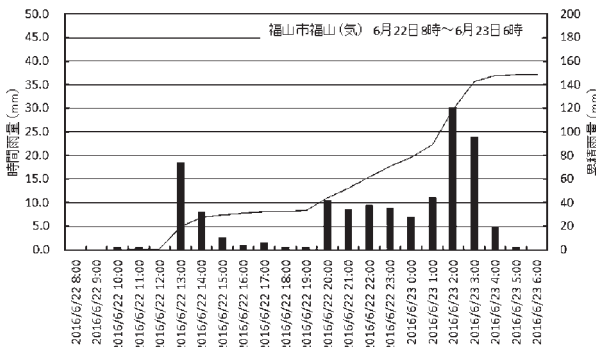


図 2.10 6月22日8時～23日6時の雨量
(福山市福山(気))

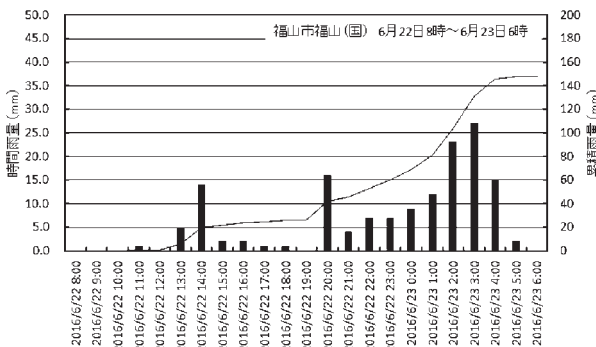


図 2.11 6月22日8時～23日6時の雨量
(福山市福山(国))

ある。

以上から分かるように、集計方法は統一されていないが、雨量が広島県西部よりも少ないのに広島県東部に発生件数が集中している。また、広島市安佐南区、呉市、江田島市はかなりの雨量であるにもかかわらず大規模な土砂災害になっていない。

3.2 道路関連土砂災害発生状況

3.1節では中国新聞の報道に基づいて広島県内の土砂災害発生状況を概観した。3.2節では、道路情報に基づいて土砂災害発生状況をとりとめる。

3.2.1 国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所管内被災状況

2016年6月下旬の豪雨により発生した国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所管内の土砂災害を図3.1に示す。図3.1は福山河川国道事務所から頂いた情報を、国土地理院の電子地図に赤い丸で記入したものである。尾道市と福山市の間、三原市の東部及び生口島で被災している。



図 3.1 福山河川国道事務所管内の土砂災害
(事務所から頂いた情報を国土地理院電子地図に記入)

3.2.2 広島県管轄道路の被災状況

広島県防災 Web の緊急ニュース欄に平成 28 年 6 月 25 日 2 時 30 分時点の災害規制状況が掲載された⁶⁾。この資料には道路が規制された原因として、土砂崩れ、道路損壊、倒木、大雨、冠水、落石が挙げられ、規制件数としては 78 件が掲載されている。この中で、規制理由が「土砂災害」となっているものを抽出すると、57 件あり、その 57 件を行政区毎に図示すると、図 3.2 のようになる。

図 3.2 から、道路の規制数としては呉市が最も多く、17 件である。広島県東部の市、すなわち三原市、尾道市、福山市、府中市を合計すると 28 件であり、これに竹原市と大崎上島町を加えると計 31 件となり、道路についても広島県東部の被災が顕著であったという印象を受ける。

図 2.3 と図 3.2 を比較すると、降雨は広島県の瀬戸内海

沿岸部に沿って多く、どちらかという大竹市付近の広島県西部が多いのに対し、大竹市、廿日市市では広島県管轄道路の土砂災害による規制数はゼロである。



図 4.2 広島県管轄道路の土砂災害による規制数 (広島県防災 Web の地図に加筆した)

4. 判定手法と被災状況の関連性の検討

4.1 検討する判定手法

第1章で述べたとおり、著者らは「行政だけに頼らない防災」を目指して、各家庭で土砂災害の発生が迫っていることを判断できる手法の検討を行ってきており、採用する判定手法としては、「提言案」及び「R」を考えている。

「提言案」は1993年に建設省(現国土交通省)が主催した「総合土砂災害対策検討会」で提言された手法である。この方法は、降水量データから半減期72時間の実効雨量及び半減期1.5時間の実効雨量を計算し、図4.1に示すように前者を横軸に、後者を縦軸にとったグラフにプロットする。図4.1の白丸は土砂災害が発生しなかったケース、黒丸は土砂災害が発生したケースで、これらのプロットした丸を仕分ける形で線を引くことができる。この線を「土砂災害発生規準線(critical line, CL)」と呼んでいる。時々刻々の降雨の半減期72時間及び半減期1.5時間の実効雨量を提言案のグラフにプロットすると図4.2に示すような曲線が得られる。この曲線をスネークラインという。提言案を用いて降雨を監視し、スネークラインがcritical lineに近づくと危険状態に近づいていると判断し、スネークラインがcritical lineを超えたら土砂災害が発生しても不思議ではない状態になったと判断する。

この提言案は演算が簡便でタンクモデルとの相関もよく、汎用性もあるとされ、がけ崩れだけでなく土石流に対しても適用可能と評価されている⁷⁾。この方法の短所としては、critical lineが $y=ax+b$ という二つの変数(二つの指標)を用いた形になっているので、判断しにくいという

ことが挙げられている⁷⁾。

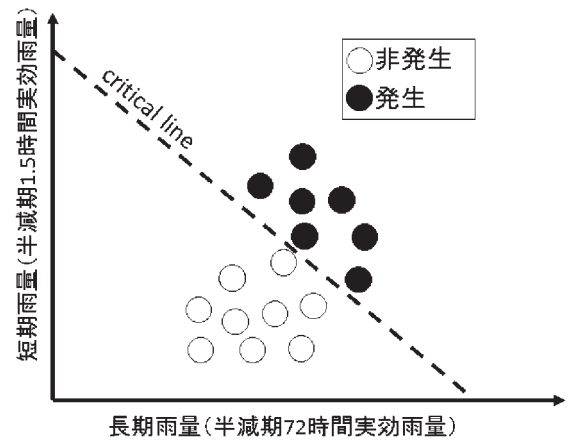


図 4.1 提言案

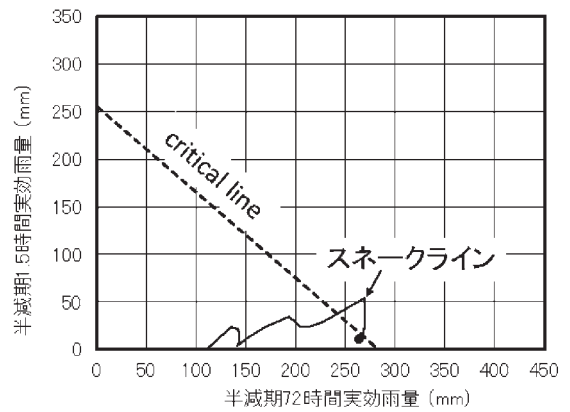


図 4.2 提言案グラフ上のスネークライン

提言案が半減期72時間及び半減期1.5時間の実効雨量という二つの指標を用いているのに対し、雨量指標Rは雨の降り方によって変化する一つの指標を用いて危険状態を予測するものである。Rでは、提言案で用いられている長期実効雨量と短期実効雨量を用いる。すなわち、長期実効雨量(例えば半減期72時間実効雨量) R_w 及び短期実効雨量(例えば半減期1.5時間実効雨量) r_w を用いて式(1)により R_{fw} を算定する。次に式(2)を用いて雨量指標R'を計算する⁸⁾。

$$R_{fw} = \sqrt{(R_1 - R_w)^2 + a^2(r_1 - r_w)^2} \quad (1)$$

- ただし、 R_w : 長期実効雨量 (mm)
- r_w : 短期実効雨量 (mm)
- R_1 : 座標上の横軸基準点
- r_1 : 座標上の縦軸基準点
- a : 重み係数

$$R' = R_{fw0} - R_{fw} \quad (2)$$

ただし、 R_{fw0} : 原点0と基準点 $B(R_1, ar_1)$ の距離

なお、Rと土砂災害の程度の目安は表4.1のとおりとさ

れている⁹⁾。

表 4.1 R の目安⁹⁾

Rのレベル	土砂災害の程度
125mm 程度	がけ崩れが発生する。
175mm 程度	山地崩壊が発生し始める。
250mm 程度以上	土石流に発展する。
400mm 以上	大規模災害になる。

提言案は半減期 72 時間の及び半減期 1.5 時間の二つの実効雨量を用いるので、グラフ上でないと土砂災害の危険度がわかりにくいということが指摘されているのに対し、R はひとつの指標を用いるので分かりやすいという特徴がある。とくに空間的分布と時間的推移の表示、すなわち地図上に時々刻々の危険度をマッピングするのに R は適している。

前述のとおり、著者らは各家庭で土砂災害の発生が迫っていることを判断できる手法の検討を行ってきており、判定手法としては、「提言案」及び「R」を推奨している。その理由は、次のとおりである。

広島県内 410 箇所の雨量計の 10 分雨量、時間雨量、累加雨量、半減期 1.5 時間実効雨量、半減期 72 時間実効雨量などが「広島県防災 Web」上で公開されている。このデータは 10 分更新されているので、ほぼリアルタイムで各家庭で取得できる。この公開されている半減期 1.5 時間実効雨量及び半減期 72 時間実効雨量を提言案のグラフ上にプ

ロットすれば、土砂災害の危険度を各家庭で直ちに知ることが出来る。すなわち、自分達で何ら計算することなく、ほぼリアルタイムのデータを使用して判断できる。一方、R も基本的に半減期 1.5 時間実効雨量及び半減期 72 時間実効雨量を用いるので、Web 上のデータを用いて容易に計算可能であり、指標がひとつであるので危険度を理解しやすい。

そこで以下では「提言案」や「R」を用いれば 2016 年 6 月下旬に広島県東部で発生した多数の土砂災害を予測できたかどうか、検証する。

4.2 提言案で使用する CL 及び R で使用する定数類

広島県東部で採用すべき提言案の critical line (CL) が不明であるので、以下では文献 10) の「降水量のデータがない場合」の CL を使用する。文献 10) には「地域条件」(火山域か否か)、「降雨条件」及び「地質条件」の三つの条件に関する CL が示されており、「降雨条件」及び「地質条件」による CL は表 4.2 のとおりであり、以下ではこれを使用する。なお、表 4.2 中降水量のランク分けは、文献 10) では表 4.3 のように示されている。

R の計算ではいくつかの定数が必要であるが、それらは次のようにした。

$$a=3.0$$

$$R_1=600\text{mm}$$

$$r_1=200\text{mm}$$

$$R_{fwo}=848.5\text{mm}$$

表 4.2 提言案の CL (降水量のデータがない場合)¹⁰⁾

conditions	cases	critical line
rainfall	low rainfall region	$y=-0.90x+206.4$
	average rainfall region	$y=-0.90x+287.3$
	heavy rainfall region	$y=-0.90x+361.6$
geology	granite zone	$y=-0.90x+254.6$
	volcanic ejection zone (active)	$y=-0.90x+304.9$
	volcanic ejection zone (inactive)	$y=-0.90x+357.7$
	tertiary sedimentary	$y=-0.90x+339.8$

表 4.3 降水量のランク分け¹⁰⁾

降水量のランク	100 年超過確率規模の日雨量
low rainfall region	250mm/day 未満
average rainfall region	250mm/day 以上 350mm/day 未満
heavy rainfall region	350mm/day 以上

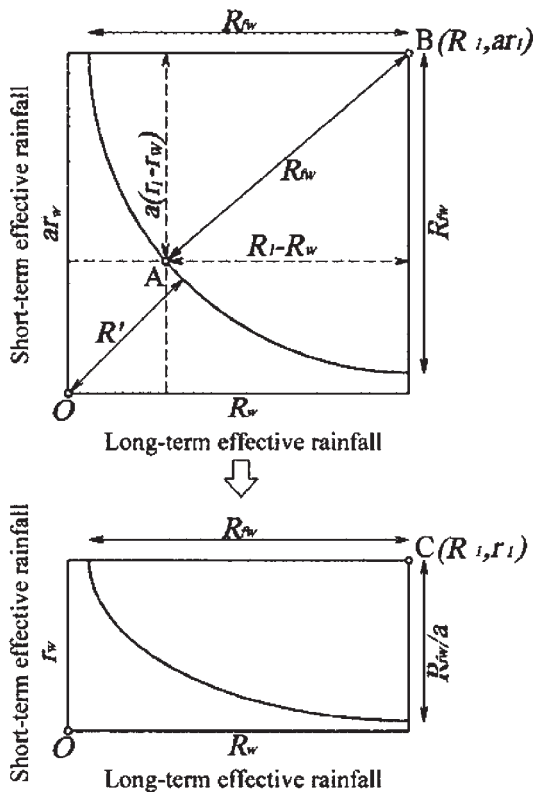


図 4.3 指標 R_{fw} 及び R の定義 (文献 8) から引用)

4.3 提言案グラフ上のスネークライン

大竹市大竹、江田島市中町、呉市呉、尾道市美ノ郷、福山市福山(気)、福山市福山(国)の 2016 年 6 月 22 日 7 時 0 分 ~ 6 月 23 日 6 時 0 分までの降雨のスネークライン

を、図 4.4 ~ 図 4.9 に示す。いずれも各地区で雨量の多い箇所を選んだ。大竹は24時間の雨量が160mm近くに達し、江田島市中町及び呉は時間雨量が40mmを超え、呉は24時間の雨量が190mm規模に達している。東部の尾道及び福山は、東部の中では雨量の多い雨量計測場所を選んだが、西部に比べると時間雨量、累積雨量ともに少ない。

図 4.4 ~ 図 4.9 のグラフには降雨条件で決められた CL と地質条件で決められた CL を示している。なお、CL の妥当性を検討するためにはスネークラインに災害が発生した時刻のマークを入れるべきであるが、災害発生時刻が不明であるので、マークを入れていない。

広島県東部における土砂災害を提言案で予測できたかどうかという点に関しては、第 5 章で検討する。

4.4 雨量指標 R の推移

図 4.10(a) に広島県西部地区の、図 4.10(b) に広島県東部地区の、2016年6月22日7時0分~6月23日6時0分までの雨量指標 R の推移を示す。

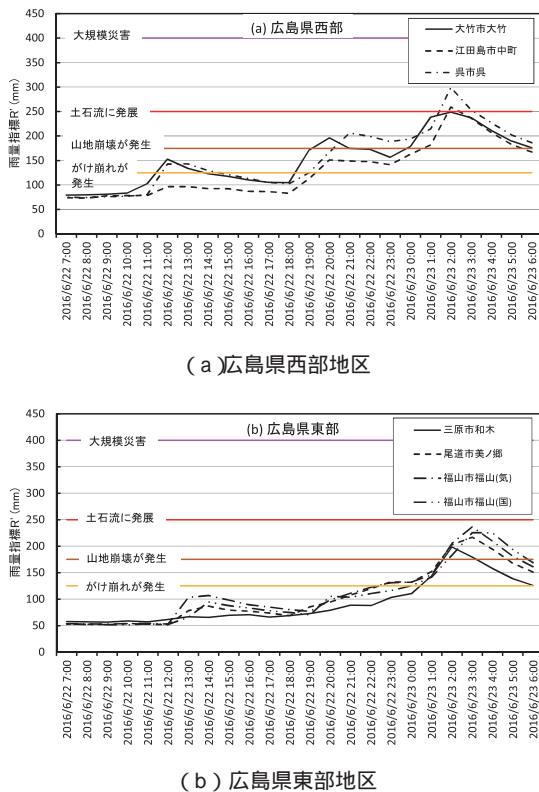


図 4.10 雨量指標 R の推移

の図から、地質条件で定められている CL には東部のスネークラインは到達していないことが分かる。したがって、地質条件で定めた CL では広島県東部で多発した土砂災害は予測できなかったと言える。一方、降雨条件で定めた CL と広島県東部のスネークラインを比較すると、スネークラインは「low rainfall」の線に到達している。災害発生時刻が不明であるので、適切に予測できたと断言はできないが、少なくとも「low rainfall」の CL を用いれば予測できた可能性はある。広島県西部地区についてみると呉地区のスネークラインは「average rainfall」に達し、大竹及び江田島市中町は「average rainfall」に近い状態に到達している。

図 5.1 は再現期間 50 年の 24 時間降水量である、図 5.1 は表 4.3 と降水量ランクの条件は一致していないが、この図から、広島県西部は「average rainfall」地域あるいはそれよりわずかに雨量が少ない地域、広島県東部は「low rainfall」地域と解釈して降雨条件による CL 用いることによって災害を予測できる可能性があると考えられる。地質条件による CL では広島県東部の災害は予測できなかった。



図 5.1 再現期間 50 年 24 時間降水量 (文献 11) から引用)

5. 考察

5.1 提言案

この調査の本来の目的である「提言案で広島県東部の土砂災害を予測できたか」という点について考察する。広島県東部のスネークラインは図 4.7 ~ 図 4.9 である。これら

5.2 雨量指標 R

図 4.10(b) をみると、2016年6月22日22時頃から R は「がけ崩れが発生する」という線を超えはじめ、6月23日2時頃から「山地崩壊が発生し始める」という値を超えている。これは「6月22日夜から23日にかけての豪雨で災

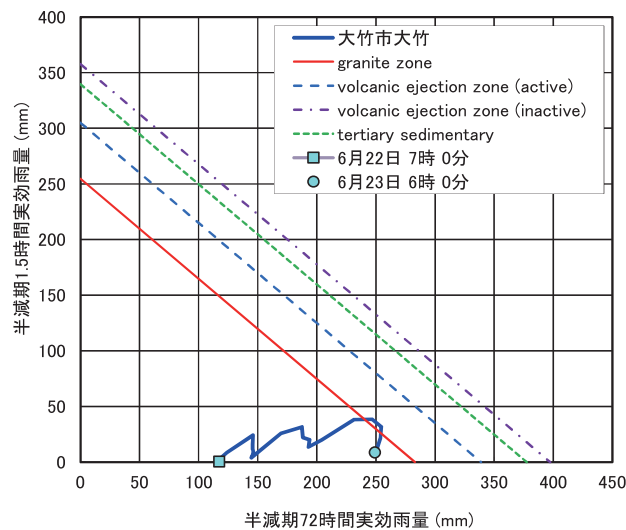
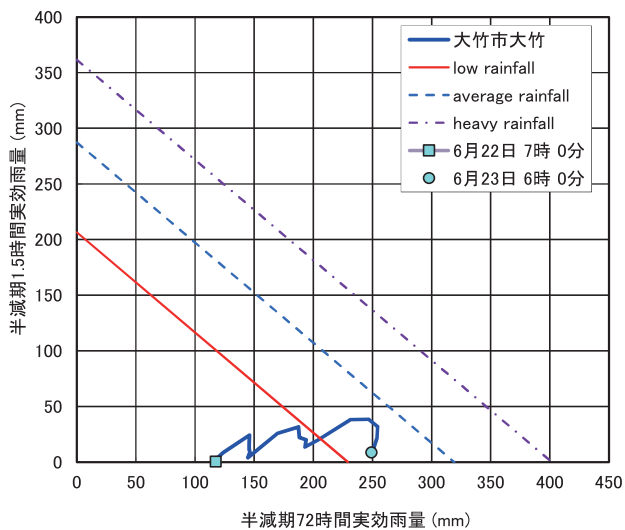


図 4.4 提言案のスネークライン（大竹市大竹）

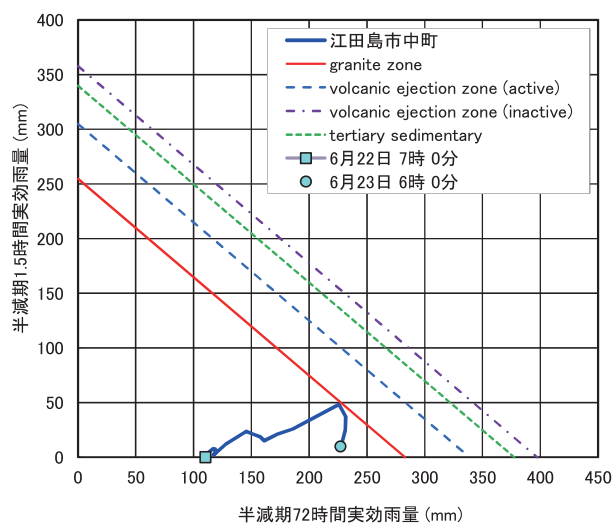
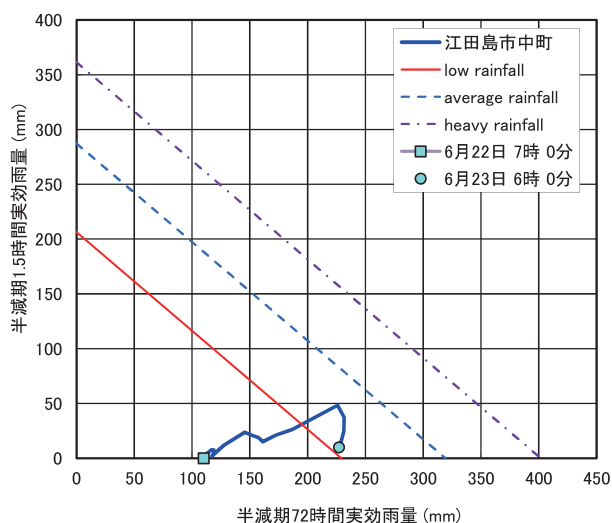


図 4.5 提言案のスネークライン（江田島市中町）

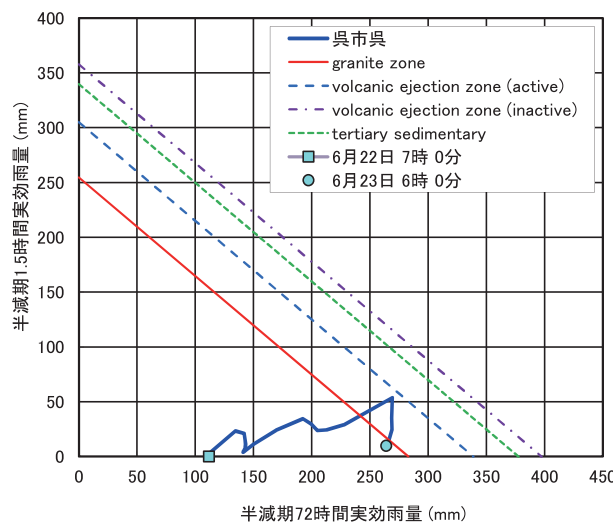
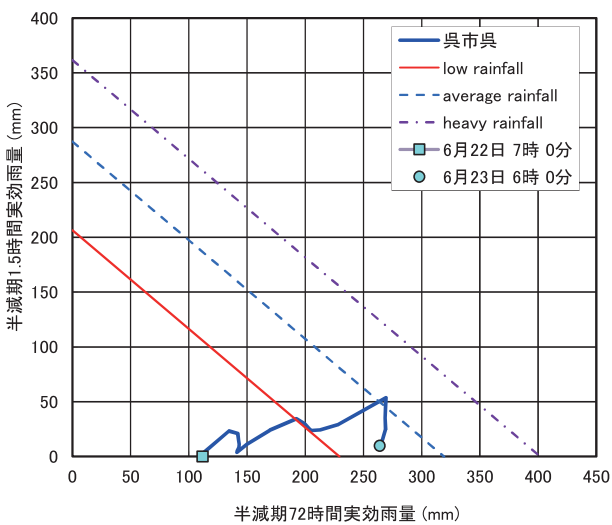


図 4.6 提言案のスネークライン（呉市呉）

2016年6月の豪雨による広島県東部の土砂災害に関する調査

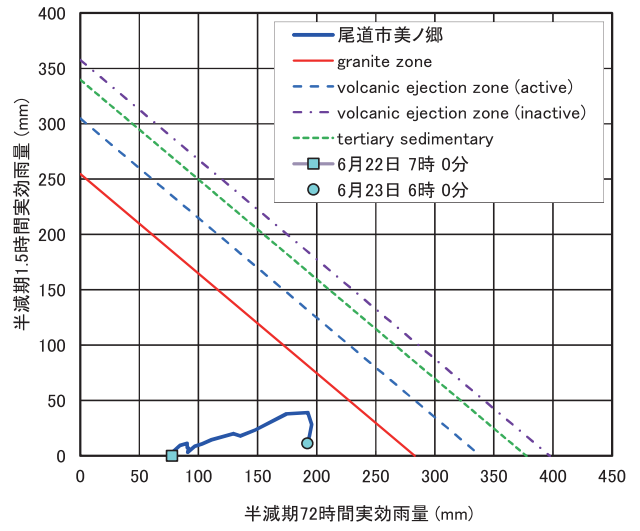
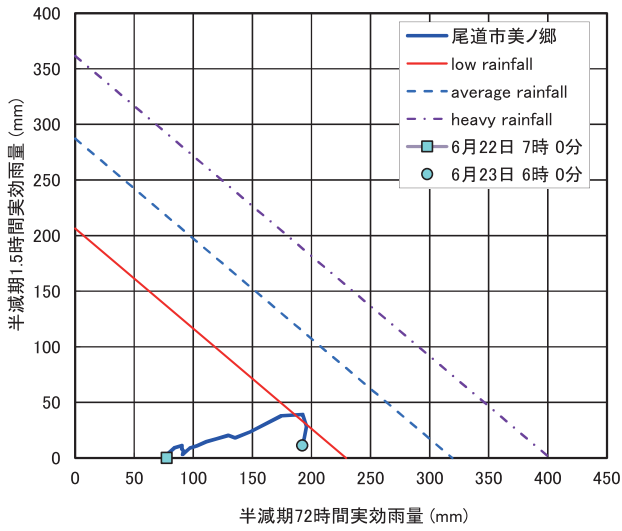


図 4.7 提言案のスネークライン (尾道市美ノ郷)

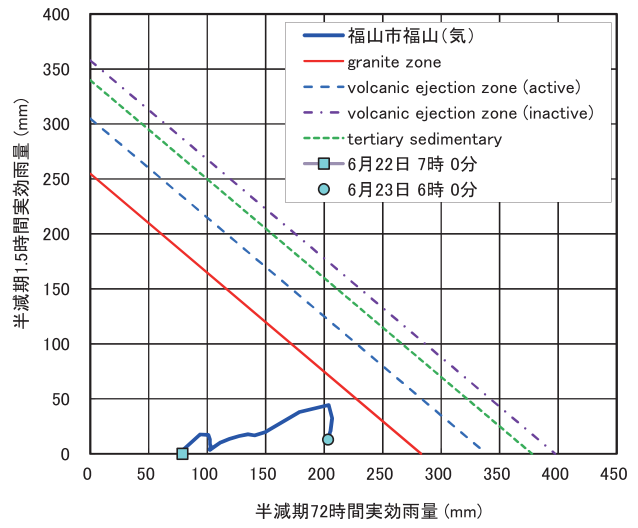
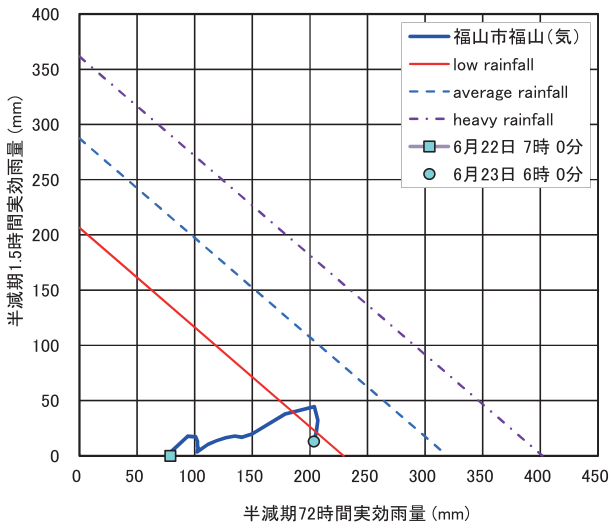


図 4.8 提言案のスネークライン (福山市福山(気))

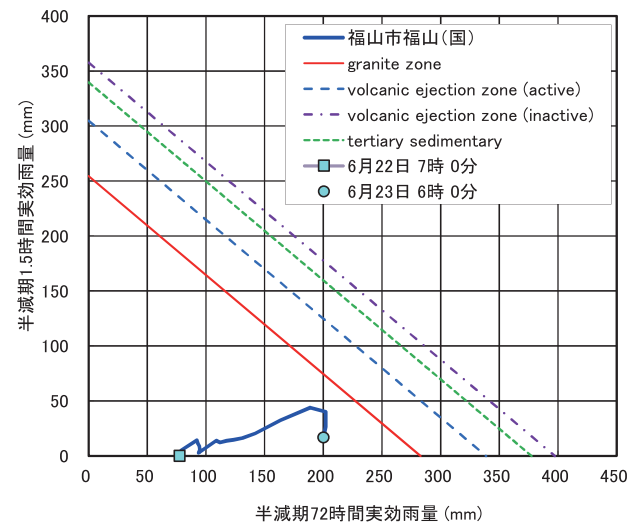
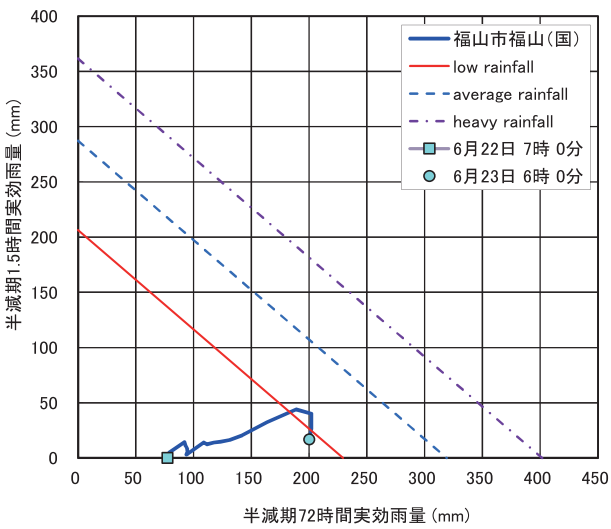


図 4.9 提言案のスネークライン (福山市福山(国))

害が拡大した」という報道内容に一致し、災害を予測できたと言える。しかし図 4.10(a)からは広島県西部は東部よりも厳しい災害が予測されるのに対し、呉市を除いて実際はそれほどでもなかったもので、さらなる R に関する検討が望まれる。

6. 結 論

著者らが推奨している「提言案」及び「 R 」を用いて 2016 年 6 月下旬に広島県東部で多発した土砂災害を予測できたかどうか、を検討して、次の結論を得た。

- (1) 文献 10) に示されている降雨条件の CL を用いると災害を予測できた可能性があり、地質条件の CL では予測できなかった。
- (2) R を用いても予測できた可能性がある。しかし広島県東部で災害が多発して西部では少なかったという点については傾向が一致しておらず、さらなる検討が必要である。

謝 辞

国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所の皆様には災害現場を案内及び説明して頂きました。また、呉工業高等専門学校森脇武夫教授、広島大学大学院土田孝教授、広島工業大学田中健路准教授、さらには地盤工学会中国支部地盤工学セミナー（広島地域）の皆様にも多くの御教示と示唆を頂きました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- 1) 村島健輔：土砂崩れ尾道突出 2700 件、中国新聞、

2016 年 7 月 6 日版(2016)

- 2) 広島地方気象台：広島県の気象，月報，平成 28（2016）年 6 月（2016）
- 3) 広島県防災 Web：http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/hdis/index.html（2016 年 10 月 5 日閲覧）(2016)
- 4) 広島地方気象台：平成 28 年 6 月 22 日～23 日にかけての広島県の大雨について，平成 28 年 6 月 23 日 16 時現在，気象速報（2016）
- 5) 中国新聞記事，6 月 22 日～7 月 6 日の朝刊（2016）
- 6) 広島県：災害規制状況，平成 28 年 6 月 25 日 2 時 30 分時点，広島県防災 Web，緊急ニュース，http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/hdis/index.html（2016 年 6 月 27 日閲覧）(2016)
- 7) 寺田秀樹，中谷洋明：土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法，国総研資料第 5 号，pp. 10-42（2001）
- 8) 中井真司，佐々木康，海堀正博，森脇武夫：警戒・避難のための雨量指標の改良，広島大学大学院工学研究科研究報告，Vol. 53, No.1, pp. 53-62（2004）
- 9) 土木学会，土木学会中国支部，地盤工学会：平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団 調査報告書，pp. 262-265（2014）
- 10) 水野秀明，小山内信智：平成 21 年度 台風委員会土砂災害警戒情報策定プロジェクト成果報告書，国土技術政策総合研究所資料，No. 570, pp. 3-15（2010）
- 11) 気象庁：確率降水量 地域別図（アメダス）中国西部，http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/rtpd/listRTPD_215.html（2016 年 10 月 11 日閲覧）(2016)