

# 2005年台風14号における災害発生地域を対象とした 土砂災害発生基準雨量線の検討

## EXAMINATION ABOUT CRITICAL LINE FOR DISASTER OCCURRED AREA IN THE TYPHOON NO. 14 IN 2005

大石 博之<sup>1</sup>・松本 幸太郎<sup>2</sup>・古川 浩平<sup>3</sup>

Hiroyuki OHISHI, Kotaro MATSUMOTO and Kohei FURUKAWA

<sup>1</sup>西日本技術開発株式会社 (〒810-0044 福岡県福岡市中央区渡辺通1丁目1-1)

E-mail:h-ohishi@wjec.co.jp

<sup>2</sup>山口大学 大学院理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail:k-matsu@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>3</sup>山口大学 大学院理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail:furukaw@yamaguchi-u.ac.jp

**Key Words:** critical line, typhoon No.14, sediment-related disaster, RBF network, non-linear

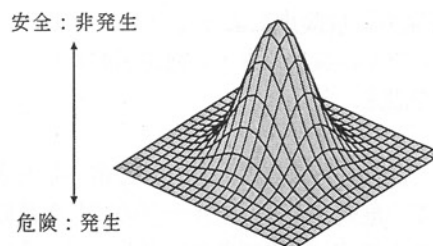
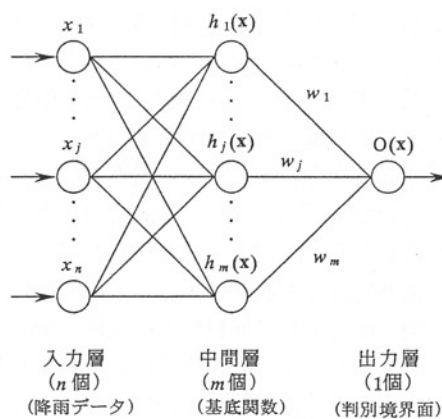
### 1. はじめに

2005年9月4~8日に掛けて九州・中国地方に豪雨をもたらした台風14号は、各地に多くの土砂災害を発生させた。山口県では、岩国市甘木地区で山陽自動車道の盛土斜面が崩壊し、家屋の全半壊と3名の犠牲者を出す大災害が発生した。また、岩国市の旧錦町・本郷村地区(以下、錦町地域)においても集中的に4件の災害が発生し、家屋の全・半壊が報告された。

本研究では、これら災害発生地域を対象にRBFネットワーク(以下、RBFN)を利用した非線形の土砂災害発生基準雨量線(以下、CL)<sup>1)</sup>を設定し、過去の降雨履歴との比較から台風通過時の降雨の規模を評価すると共に、災害発生に先んじた警戒情報を発信することの可否を検証した。また、錦町地域については既往の調査データを参考に、被災箇所の危険度を分析し、それに応じた斜面単位のCL設定にも取り組んだ。

### 2. RBFNの概要

CLの設定手法としてはこれまでいくつかの手法が知られているが、本研究においてはRBFNによる設定手法を利用した。この方法は、対象地域における過去の降雨履歴を数理的に学習することにより地域の降雨特性に応じた非線形のCLが作成できるものであり、デー



$$h_j(\mathbf{x}) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_j\|^2}{r^2}\right)$$

図-2 ガウス関数

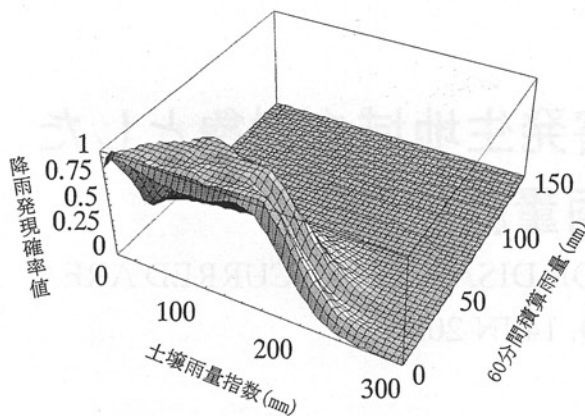


図-3 判別境界面の例



図-4 山口県 台風14号災害発生位置図

タの大半を占める非発生降雨データを重要視することで安全領域となる降雨規模を特定する方法である。以下にRBFNによるCL設定手法の概要を記す。

RBFNは、脳や神経回路網をモデルとした階層構造で入力層、中間層、出力層の3層からなり(図-1)、中間層の出力には放射基底関数(RBF)であるガウス関数(図-2)を用いている。入力層となる降雨データ(発生、非発生)を中間層の基底関数(ガウス関数)によって処理・出力し、重み付けと重ね合わせによって発生・非発生判別境界面(図-3)を構築する。この判別境界面の山が高い領域は災害発生の確率の低い安全領域を表し、山の高さが低くなるにつれて危険性の高い領域であることを表す。非線形CLは、この判別面の等高線を用いて設定するものである。この手法では対象地域の降雨特性を反映した精度の高いCLを設定することが可能となり、災害の見逃しを減らすだけでなく、懸案であった避難情報の空振りをも大幅に低減することが可能である。

また、本手法の大きな特徴として、斜面単位でのCLを設定できることが挙げられる。一般的には、ある地域に対して1本のCLを設定することが行われているが、同じ地域内にある斜面でも個々に災害の危険性は異なっているため、同じ雨に対して崩れやすい箇所と崩れにくい箇所が混在している。RBFNを用いた非線形CLの設定手法では、以下の手順で斜面毎の危険度に応じた個別CLを設定することができる<sup>2)</sup>。

- ① 斜面を災害発生の危険度によってグループ分け。各々のグループでの災害発生・非発生履歴を用いて非線形CLを設定。
- ② 各グループで設定したCLの基底関数の重み値を求める。ここで、危険度の高いグループのCLの基底関数の重みは小さく、危険度の低いグループのそれは大きくなるので、その関係の近似式を基底関数毎に求める。

表-1 RBFNの計算パラメータ

	項目	数値	
結合係数の抑制パラメータ	$\lambda_{max}$	100	10
	$\lambda_{min}$	1	10
グリッド間隔	$\Delta R$	降雨の最大値/60	
基底関数の半径	r	$\Delta R$ の7倍	

- ③ 上記近似式に対象となる個別斜面の危険度を代入することで、その危険度に応じた判別境界面を得ることができる。

本報告ではこの方法を利用し、個別の斜面単位でのCLを作成した。

### 3. 災害発生地域のCL検討

図-4に台風14号による山口県内での災害発生箇所の位置図を示す。山口県内では、岩国市甘木地区で山陽自動車道の盛土斜面の崩壊により3名の犠牲者が出たほか、錦町周辺で集中的に災害が発生した。本稿ではこれらの地域を対象として、非線形CLの検討を行った。

#### 3.1 岩国市甘木地区のCL検討

当該地点の災害は盛土法面の崩壊であり、斜面内に設けられた排水設備の機能が降雨規模に対応しきれていなかったことが指摘されている。このため、いわゆる自然斜面の崩壊とは異なる原因で発生したものと位置付けることができる災害である。しかしながら、1991年の建設後14年間に渡って災害が発生しなかったことから考えれば、この間に経験した降雨の規模と今回の台風の降雨の規模を比較することで災害発生時の状況が平常時に対してどれほど危険な状況であったかを知ることができる。と考え、分析を試みた。

降雨データは災害発生地域に最も近いアメダス観測局である玖珂(所在地:岩国市玖珂町植山)での観測値を用いることとし、今回災害のあった山陽自動車道が建設

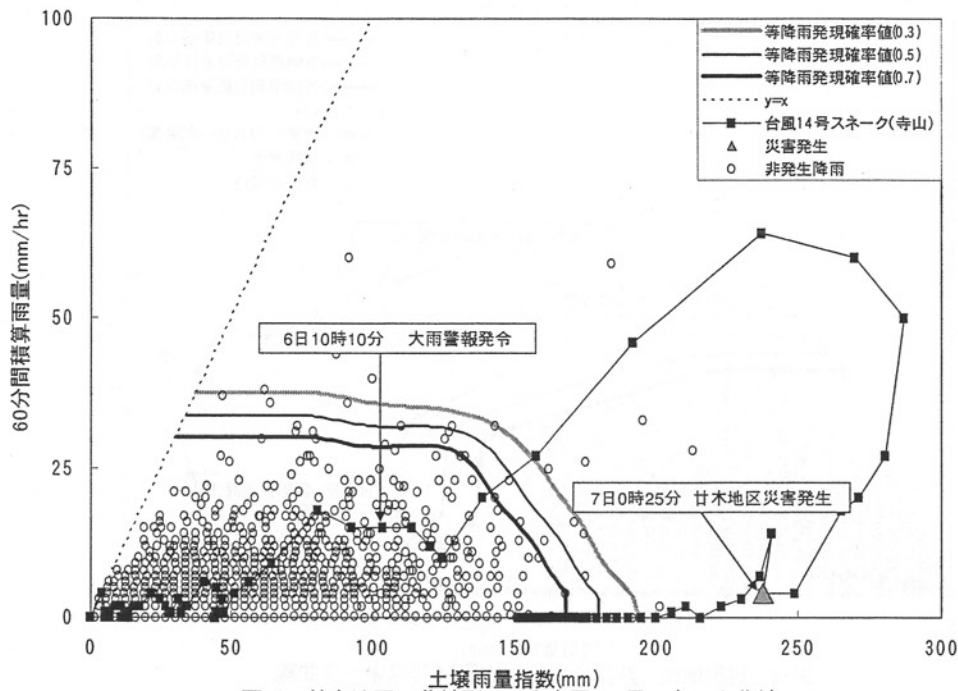


図-5 甘木地区 非線形CLと台風14号スネーク曲線

された1991年から2003年までのデータを収集した。この期間中、当該地区の山陽自動車道において今回と同様な災害の発生はこれまでに例がない。このため、全ての降雨データは非発生降雨として分析を実施した。RBFNによるCLの設定は、非発生データの集積により安全領域を特定することが基本概念であることから、このような条件での分析も問題なく可能である。また台風通過時の降雨量の推移については、山口県の雨量局のうち災害発生地点に最も近い寺山観測所のデータを使用した。

CL作成のための降雨指標についてはいくつかのものが提案されているが、本報告では短期降雨指標には60分間積算雨量、長期降雨指標には土壌雨量指数を採用することとした。土壌雨量指数は、降水が土壌中にどの程度蓄えられるかを把握するための指数で、大雨に伴う土砂災害の危険性を判断するための情報の一つとして開発されたものである。その値は直列3段のタンクモデル貯留高の合計値で求められる。これまでの、各気象台が過去10年間の土壌雨量指数の履歴順位と現況の降雨を比較することによって、土砂災害の危険度を予測する方法で用いられてきたが、最近の研究により<sup>3)</sup>60分間積算雨量との組み合わせが非線形CLの指標として有効であることが報告されており、本研究ではCL作成のための降雨指標として採用した。なお、RBFNの計算パラメータは表-1に示すものを用いた。

図-5に作成した非線形CLを示す。図中に示したCLは、閾値(等降雨発現確率値)0.3、0.5、0.7の3本である。同図の中に台風14号通過中の一連の降雨量をグラフとしてプロットして示した(以下、スネーク曲線)。この図より、今回の台風の降雨規模が著しく大きなものであったことがわかる。この降雨は6日15時には全てのC

Lを超過しており、災害発生の9時間以上前には危険性が高い状況に達したことが判定できたことが認められる。

また、当該地域の大雨警報は6日10時10分に発令されていた。現在各県で進められている気象庁との連携に基づく土砂災害警戒情報<sup>4)</sup>は大雨警報の発令を前提としたものであるが、仮に山口県でも情報発信システムが整っていれば、有効な情報が配信された可能性が十分考えられる。

### 3.2 錦町地域のCL検討

降雨データは災害発生地域に最も近いアメダス観測局である羅漢山(所在地:岩国市美和町秋掛字羅漢)での観測値を用いることとし、1976~2004年までのデータを収集した。当該地域の災害発生履歴についても降雨データと同じ期間のデータを収集した。また、台風通過時の一連降雨のスネーク曲線を作成するための観測データは、リアルタイムで観測値が公開される山口県の雨量観測局:羅漢を使用した。CL作成の降雨指標は岩国市甘木地区と同様に60分間積算雨量と土壌雨量指数を用い、RBFNの計算パラメータも同じく表-1に従った。

図-6に作成した非線形CLを示す。図中に示したCLは閾値(等降雨発現確率値)0.3、0.5、0.7の3本である。同図の中に台風14号の一連降雨をスネーク曲線で示した。図にプロットされている過去の降雨データと比較して、今回の台風の降雨規模が著しく大きなものであったことがわかる。この降雨は6日16時には図示した全てのCLを超過しており、6日17時に発生した本郷村の災害であれば1時間前、7日未明に発生した錦町の災害であれば10時間程度前には危険性が高い状況に達したことが判定できたことが認められる。また、当該地域への

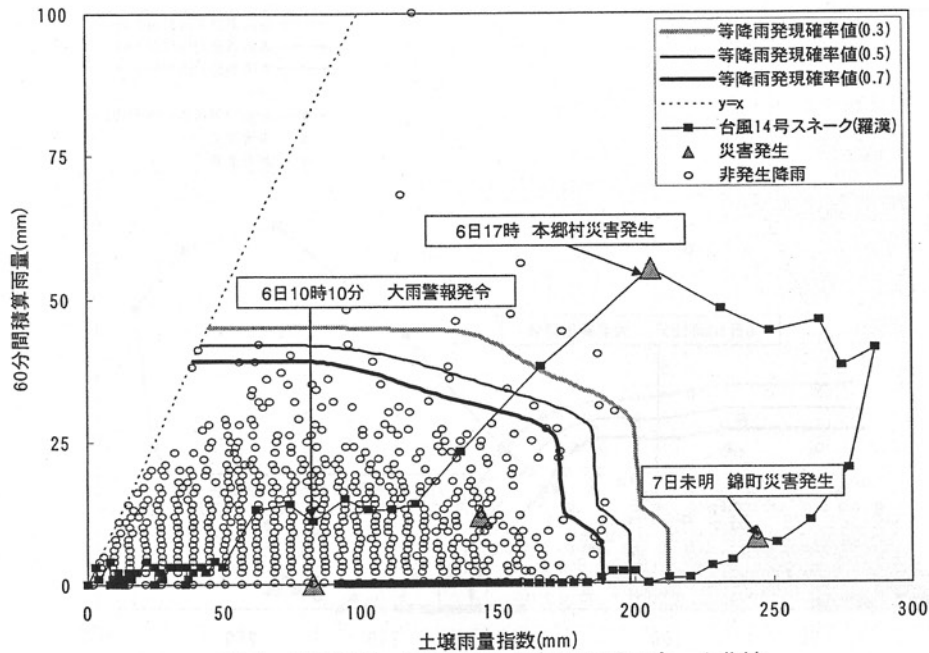


図-6 錦町地域 非線形CLと台風14号スネーク曲線

表-2 急傾斜地崩壊危険箇所 地形・地質要因一覧

要因区分	カテゴリ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
急傾斜地崩壊箇所の延長(m)	75以下	76~125	126~175	176~225	226以上				
地形要因	傾斜度(°)	61以上	51~60	41~50	31~40	30以下			
	斜面高さ(m)	20以下	21~40	41~60	61~80	81以上			
	斜面方位	西向き	北向き	南東向き	北東向き	南向き	北西向き	南西向き	東向き
	斜面形状	直線	尾根	谷					
	上位地形の方向	他	北向き	北東向き	南東向き	西向き	南向き	北西向き	南西向き
	横断形状	平坦な斜面	斜面下部に凹凸	斜面全体に凹凸	斜面上部に凹凸	オーバーハング			
	瀧急線	不明瞭	有						
	瀧急線の位置	上部	無	下部	中部				
地質土質要因	地表の状況	風化・亀裂の発達なし	粘質土	礫混り土砂質土	風化・亀裂が発達	亀裂が発達 転石・浮石			
	表土の厚さ(cm)	81以上	61~80	41~60	21~40	20以下			
	地盤の状況	火山砕屑物	硬岩	段丘堆積物	崩積土	強風化岩	軟岩		
	岩盤斜面の亀裂(間隔)(cm)	50以上	30~50	10~30	10以下				
	岩盤斜面の亀裂(開口急斜の規模)	無	小	大					
	斜面と不連続面の傾斜関係	f	a	d	c	g	e	b	
	斜面の風化状況	非常に堅硬 風化無し	非常に堅硬 新鮮	わずかに 風化変質	風化作用 一部粘土化	完全に 風化土壌化			
環境要因	植生の種類	裸地	竹林	広葉樹	針葉樹	草地	針広混交		
	樹木の樹齢	20年未満	20~40年	40年以上					
	伐採根の状況	無	有						
	湧水(有無)	有	無						
	湧水(状況)	降雨時に 湧水あり	常時 シメシメ	常時湧水あり	斜面は乾燥				

大雨警報の発令は6日の10時10分に行われており、こちらも仮に土砂災害警戒情報の発信のシステムが整っていれば十分活用された可能性がある。

なお、図-6中に示される災害発生データのうち、2つの災害のデータが閾値(等降雨発現確率値)0.7のラインより内側に位置しているのが認められる。このように小さな規模の降雨で発生する災害は「散発発生」の災害と呼ばれ、従来のCL設定手法では事前にデータから除去することを推奨されていたものであるが、その抽出根拠に客観性を持たせることが非常に難しかった。RBFNによるCL設定では、このような散発発生データの事前に抽出する必要はなく、同等の降雨で災害が発生しない事例が十分にあれば災害の危険性は低い領域と判断

することができる。本例においても、散発発生記録を加味した上で十分な安全な領域として判断された結果として、図示したようなCLを得ている。

#### 4. 錦町地域における斜面単位でのCL設定

錦町地域で発生した4件の災害のうち、2件は急傾斜地崩壊危険箇所の指定がされていた地点であった。このような箇所については、土砂災害危険箇所調査結果のデータベース<sup>5)</sup>が整理されているため、これを参考に被災箇所の災害危険度を検証し、その危険度に応じた斜面単位のCLの設定を行うこととした。

表-3 要因データのカテゴリと災害発生確率一覧（地形要因のみ抜粋）

要因区分		カテゴリ								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	急傾斜地崩壊箇所の延長(m)	0.01064	0.03846	0.09524	0.05882	0.00000				
地形要因	傾斜度(°)	0.00000	0.00000	0.04706	0.01205	0.00000				
	斜面高さ(m)	0.02500	0.05000	0.04000	0.00000	0.02000				
	斜面方位	0.00000	0.00000	0.03846	0.00000	0.03448	0.00000	0.05000	0.03448	
	斜面形状	0.05495	0.00000	0.00000						
	上位地形の方向	0.00000	0.07143	0.00000	0.03226	0.00000	0.08571	0.00000	0.00000	0.00000
	横断形状	0.00000	0.00000	0.02113	0.08000	0.00000				
	遷急線	0.02479	0.03571							
	遷急線の位置	0.10000	0.01653	0.04348	0.04348					

表-4 発生得点法による危険度の算出法

危険箇所ID:1	調査結果	カテゴリ	発生確率
急傾斜地崩壊箇所の延長(m)	200m	4	0.05882
傾斜度(°)	45°	3	0.04706
斜面高さ(m)	30m	2	0.05000
斜面方位	北向き	2	0.00000
斜面形状	谷	3	0.00000
上位地形の方向	西向き	5	0.08571
横断形状	平坦な斜面	1	0.00000
遷急線	有	2	0.03571
遷急線の位置	中部	4	0.04348
合計(危険箇所の危険度)			0.32079



表-5 錦町危険度算出結果（抜粋）

順位	ID	危険度	災害履歴
1	326   0028	1.0981	有
2	326   0020	0.9947	有
3	326   0023	0.9676	有(台風14号)
4	326    0088	0.9151	無
5	326    0101	0.8977	無
6	326   0033	0.8900	無
7	326   0051	0.8770	無
8	326   0025	0.8369	無
9	326    0021	0.8342	無
10	326   0005	0.8248	無
11	326    0050	0.8227	有
12	326    0099	0.8126	無
13	326    0117	0.8119	無
14	326    0080	0.8060	無
15	326    0052	0.8001	無
34	326    0046	0.7555	有(台風14号)

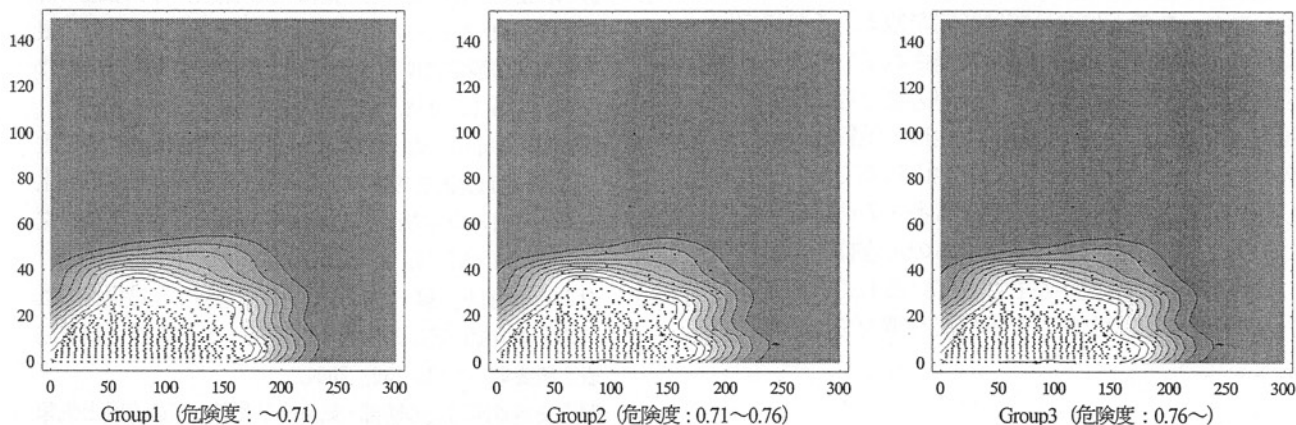


図-7 錦町急傾斜地崩壊危険箇所 危険度 Group1~3 の判別境界面

※全て縦軸は60分間積算雨量(mm), 横軸は土壌雨量指数(mm)

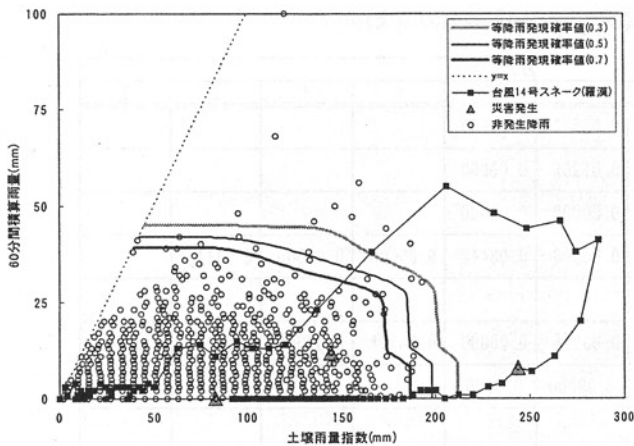


図-8 錦町被災箇所 326 I 0023 地点 (危険度 0.9676) の非線形CL

#### 4. 1 被災箇所の危険度の検討

地形・地質要因から災害の発生危険度を算出する方法は幾つか知られているが、ここでは、既往文献<sup>2)</sup>を参考に発生得点法による算出法に従った。危険度算出に用いた要因は表-2に示す21要因で、それぞれに表に示すようなカテゴリ分けを行って発生確率を算出した。この方法は、まず全データの災害発生実績を元に危険箇所の素因的要素である地形・地質要因のカテゴリ毎に災害発生確率を算出し(表-3)、それを災害危険箇所単位で合計した総得点をもって災害発生危険度とするものである(表-4)。算出結果の抜粋を表-5に示す。ここでは錦町の急傾斜地崩壊危険箇所の指定地175箇所(ランクI・II)の危険度を算出した結果、今回の台風で被災した326 I 0023は3位、326 II 0046は34位であった。共に危険度の上位にランクされていることから、素因的に考えても台風時に被災する可能性の高かった箇所と考えることができる。しかしながら、同等以上の危険度を有すると考えられる箇所も多数存在しており、それらの箇所で災害が発生しなかったことについては疑問が残る。これについては、各危険箇所において現状実施されている対策工の評価を加味した斜面危険度の評価が必要と考えられる。本稿で検討した危険度はあくまで地形・地質等の素因から導き出したものであり、いわば地山状態での危険度を表したものに過ぎない。現実的には多くの危険箇所には既に対策工が施されており、それらの災害抑制効果の程度によって災害の発生が左右されているものと考えられる。本件については対策工の実施状況調査を含め今後の課題としたい。

#### 4. 2 危険度に応じた斜面単位のCL設定

前節で算出した危険度を参考に、錦町の急傾斜地崩壊危険箇所を3つのグループに分け、それぞれで非線形CLを作成した。図-7に3つのグループの非線形CLを示す。このデータに基づいて基底関数の重みの近似を行い、任意の危険度の斜面に対する非線形CLを作成した。図

-8に災害発生があった326 I 0023地点(危険度0.9676)の非線形CLを示す。台風14号での災害をこのCLで予測しようとした場合、約10時間前にスネーク曲線がCLを超過しており、十分な時間的余裕を持って警戒・避難行動が取れた可能性がある。

### 5. まとめ

台風14号によって災害の発生が集中した錦町地域と岩国市甘木地区を対象に、非線形CLの作成を行った。その結果、両地域共に台風時の降雨は過去の降雨履歴の中でも著しく大きなものであったことが判明した。いずれの降雨も作成した非線形CLを大きく超過しており、甘木地区の場合で9時間、錦町地域の場合で1~10時間もの時間的余裕を持って災害発生の危険性を予測できた可能性が示された。また、錦町地域の災害発生箇所については危険度に応じた斜面単位のCLを作成したが、これも同様に災害予測が可能であったことが認められた。

現在、各都道府県では気象庁との連携により従来以上に高度な土砂災害警戒情報を発信するためのシステム作りが行われている。この土砂災害警戒情報は大雨警報の発令を前提として発信される情報であるが、今回の台風14号の降雨についても、設定したCLを超過する以前に気象庁から大雨警報が発令されており、情報の発信システムの整備次第では土砂災害警戒情報が発信された可能性もある。RBFNによる非線形CLは、土砂災害警戒情報を発信するシステムの基幹となるものと位置づけられているが、今後行政の防災システムの中で実際に活用されることにより、土砂災害による被害の軽減が実現されることが期待される。

#### 参考文献

- 1) 倉本和正・鉄賀博己・東 寛和・荒川雅生・中山弘隆・古川浩平: RBF ネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定に関する研究, 土木学会論文集, No. 672/VI-50, p.117-132, 2001
- 2) 倉本和正・守川 倫・鉄賀博己・荒川雅生・中山弘隆・古川浩平: 斜面要因を考慮した斜面毎の非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定方法とその崩壊予測精度, 土木学会論文集, No. 707/VI-55, p.67-81, 2002
- 3) 倉本和正・國友 優・内田太郎・寺田秀樹: 土砂災害のための降雨指標の統計的検討, 平成16年度砂防学会研究発表会要集, p.138-139, 2004.
- 4) 国土交通省河川局砂防部・気象庁予報部: 都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き, 2005
- 5) 山口県土木部砂防課: 急傾斜地危険箇所等点検調査データベース, 2000

(2006. 5. 19 受付)