

高速道路切土斜面に被害をもたらした降雨の評価の妥当性について

- アメダス線形補間データとレーダー・アメダス解析雨量の空間的誤差 -

東北大学 芳賀奈津美 風間基樹 加村晃良
東日本高速道路株式会社 長尾和之 宇佐美学
株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北 澤野幸輝

1. はじめに

高速道路切土盛土斜面では豪雨に対する維持管理が課題となっている。東北地方の高速道路では、1993年から2017年までの23年間に豪雨以外の湧水等を原因とするものも含む斜面災害が切土で102件、盛土で111件生じた。このうち降雨や台風に起因した斜面崩壊は切土で92件、盛土で90件であり、2002年には2か月で36件の崩壊事例が報告されている。

現在高速道路では、時間雨量または積算雨量が基準値を超過した場合に、斜面崩壊の危険性があると判断して通行規制を行うといった対応をしている。この基準は過去の経験に基づいて、ある区画ごとに画一的に設定された値であり、基準値を超過した際には広範囲を一様に点検・巡視する必要があることから、災害対応の遅延リスクがある。また、基準雨量に達したとしても、実際には事前通行止めや規制が不要であったというケースや、一方で基準雨量に達する前に災害が発生してしまうといった未捕捉災害が発生してしまうケース、双方の問題を抱えている。これを踏まえ、地盤工学会では、道路ネットワーク全体の通行止め時間が効果的に縮減していくように、対応策の選択および対応事業の計画を立ててゆく必要があるとしている¹⁾。

このように効率的な維持管理体制を実現するためには、素因・誘因に基づく危険度評価等が求められるが、未だにその評価方法は確立されていない。そこで本研究では、斜面崩壊の大きな誘因の1つと考えられる降雨パターンに着目し、東北地方の高速道路切土斜面で過去に大きな被害を出した事例を分析し、降雨パターンと切土斜面被害発生との関係について考察する。特にここでは、アメダス観測所における降雨データとレーダー・アメダス解析雨量データの空間的誤差を分析した。

2. 使用データ

東北地方の高速道路切土斜面が降雨を誘因として崩壊に至った事例についての分析を行った。盛土と比較して切土は本線から斜面の状況を直接確認できるため、被災時刻と発見時刻の時間差が小さい傾向にある。また被災の時期は夏季に集中していることも分かっている²⁾。全92件の切土斜面被災事例のうち1998年の台風4号と2002年の台風6号影響を受け崩壊したとみられる24事例(12事例ずつ)を対象に分析した。雨量データの評価には2つの時間降雨量を用いた。1つ目は対象とする斜面から直近3ヵ所の気象庁アメダスデータ³⁾を直線距離で線形補間したもの(図1参照)であり、もう1つは地上の雨量計を組み合わせで解析したレーダー・

*Validity of the evaluation of rainfall that caused damage to cut slopes of expressway by Natsumi Haga, et al.

アメダス解析雨量³⁾ (以下, 解析雨量) である。

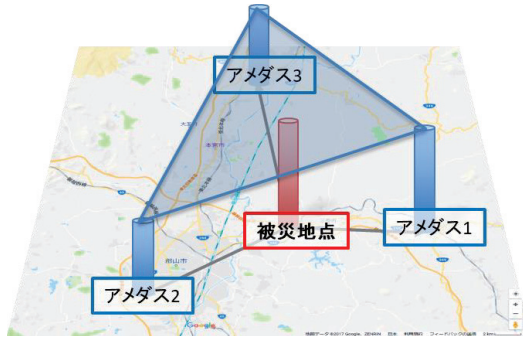


図1 アメダスデータから被災地点の雨量を推定する線形補間法の概念図

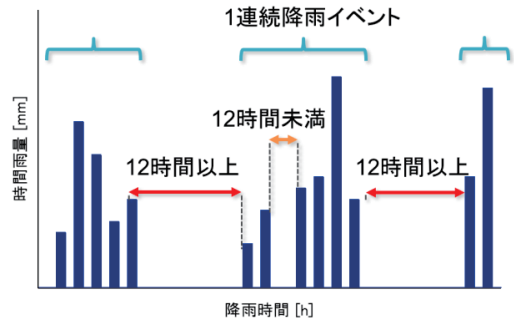


図2 1つの降雨イベントの抽出方法

対象とする崩壊地点は岩手、宮城、福島 of 三県に分布する。解析雨量が存在するのは 1988 年 4 月以降であり、2001 年 3 月までは 5km 四方メッシュ、2001 年 4 月からは 2.5km 四方メッシュが採用されている。本研究の検討では 1988 年以降の降雨を対象とした。また、各時間雨量データから降雨イベントを抽出する際には 12 時間連続で時間雨量 0mm の場合を降雨イベントの区切りとした (図 2 参照)。

3. 解析雨量と線形補間雨量

3.1. 1998 年台風 4 号被災地点概要 (一部)

1998 年の台風 4 号の被災点のうち、磐越自動車道 50.7~66.2kp に位置する 7 つの切土斜面に関して 5km 四方の解析雨量を適用すると、連続した 4 つのメッシュに区切ることができる。図 3 に被災地点とメッシュの配置、線形補間に用いたアメダス観測所の概略位置関係を示す。またグレーの破線位置における地形断面図が下部のグラフである。この 4 つのメッシュにおいて、1995 年から 1998 年までの 4 年間の各時刻における解析時間雨量の標準偏差を比較し、偏差の大きい上位 10 の時刻を表 1 にまとめた。()内の数値は各被災地点の線形補間雨量を示す。7 番目と 9 番目は被災時刻を含む降雨イベント内の時刻である。2 番目の時刻では隣り合うメッシュの解析雨量に最大 43mm/h、同地点を示す 2 種類の雨量間に最大 45mm/h の差が見られる。図 3 の

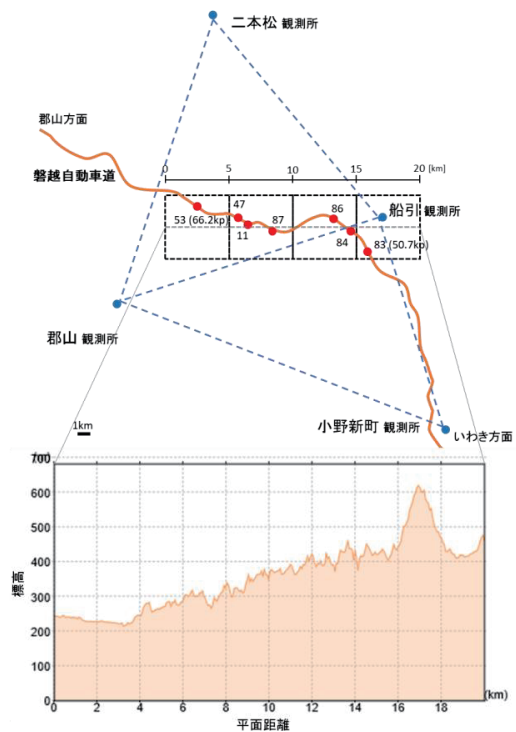


図3 被災地点平面図と

4メッシュの東西に沿った標高⁴⁾

地形断面を見ると、20kmの間に標高差が約400mある地点を含むことがわかる。さらに広域の地図を見ると、地点83を含むメッシュには標高700mを超える山が存在していた。この標高の違いが降雨をもたらす雲の動きに影響を与え、地上の降雨量に違いを生み出していると考えられる。

表1 1998年台風4号による被災地点の線形補間時間雨量と解析時間雨量の比較

	日付	偏差	被災地点位置の解析雨量(補間雨量) [mm/h]			
			地点53	地点11,47,87	地点84,86	地点83
1	1998/7/22 8:00	19.6	50 (18)	12 (14,15,13)	3 (2,2)	2 (2)
2	1997/7/24 15:00	18.8	0 (0)	3 (0,0,0)	45 (0,0)	2 (0)
3	1997/7/21 16:00	18.1	43 (0)	31 (0,0,0)	4 (0,0)	0 (0)
4	1995/7/24 16:00	17.1	40 (0)	0.4 (0,0,0)	0.4 (0,0)	0.4 (0)
5	1997/7/24 16:00	16.1	0.4 (0)	7 (0,0,0)	40 (0,0)	2 (0)
6	1997/8/26 18:00	12.2	31 (9)	14 (7,8,6)	2 (0,0)	0.4 (0)
7	1998/8/29 10:00	9.8	0 (4)	0 (8,7,10)	21 (7,14)	18 (15)
8	1998/9/22 15:00	8.9	21 (11)	18 (8,8,6)	4 (3,1)	0 (1)
9	1998/8/29 8:00	8.9	22 (12)	8 (9,9,7)	0.4 (3,1)	0 (1)
10	1997/8/4 16:00	8.4	1 (2)	0.4 (5,4,6)	14 (4,9)	20 (9)

3.2. 地点11の解析雨量と線形補間雨量

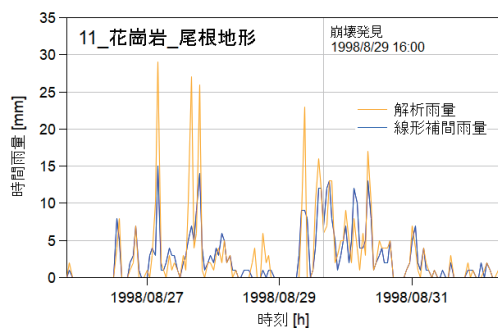


図4 地点11_時刻歴時間雨量

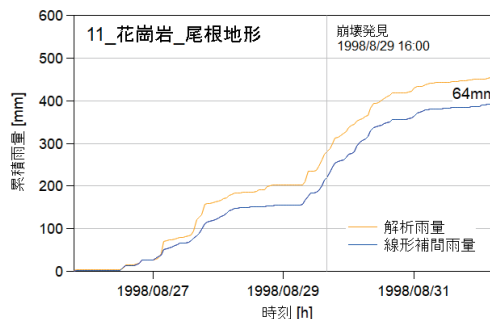


図5 地点11_時刻歴累積雨量

1998年8月の台風4号による被災地点11に着目し12時間連続で時間降雨量が0mmの場合を降雨イベントの区切りとして被災時の降雨イベントを抽出した。図4は被災時降雨イベントの時刻歴時間雨量、図5は累積雨量である。この被災時刻を含む降雨イベントの降り始めから降り終わりまでの時刻は、解析雨量、線形補間雨量においてそれぞれ1998/8/25 17:00～1998/9/1 8:00、1998/8/25 20:00～1998/9/1 4:00であった。この地点では被災時降雨イベントにおける2つの時間雨量の増減のタイミングは概ね一致したが、同時刻における2つの値は最大20mm/h異なった。線形補間雨量では時間雨量の最大が15mm/hであるのに対して解析雨量ではほぼ2倍の29mm/hであった。また解析雨量では15mm/hを超える時間雨量が6回記録されている。図5をみると被災時の累積雨量は解析雨量が280mmで線形補間雨量より60mm多く、最終的な累積雨量は解析雨量が456mm、線形補間雨量が392mmでその差は64mmであった。他被災地点でも同様に解析雨量が線形補間雨量を上回る傾向が見られた。

1998 年被災の地点 11 において解析雨量と線形補間雨量の時間雨量の差が大きい時刻を抽出した。比較範囲は解析雨量が存在する 1988 年 4 月から被災した 1998 年の末までの 10 年 9 ヶ月である。表 2 にはこの間の解析雨量と線形補間雨量の差が大きい時刻とその時間雨量を 2 つの時間雨量の差が大きい順に並べた結果の上位 18 位まで（上位 20 の時刻と時間雨量）を示した。これを見ると、上位 17 までの時刻全てにおいて解析雨量が線形補間雨量を上回る結果となった。線形補間雨量が解析雨量を最も大きな差で上回った時刻は 1997/8/26 17:00 でその差は 9mm/h であり、解析雨量が上回った時の最大差 31mm/h の 3 割程度の値であった。これらのことから、比較を行った期間において、解析雨量が線形補間雨量よりも大きい値を示す傾向にあるということが言える。また、表の網掛け部分は被災時刻を含む降雨イベント内に含まれる時刻を示しており、斜面被害をもたらした降雨イベントにおいて時間雨量の観測方法の違いが分析結果の違いに影響をもたらすことが示唆される結果となった。

表 2 被災地点 11_解析-線形補間雨量比較

	日付	時間雨量 [mm/h]		
		解析雨量	補間雨量	差(解析-補間)
1	1997/7/21 16:00	31	0	31
2	1995/8/11 12:00	22	1	21
	1997/8/22 21:00	22	1	21
4	1998/8/27 16:00	27	7	20
5	1995/8/13 18:00	19	0	19
6	1995/8/3 0:00	32	15	17
7	1995/8/16 15:00	24	8	16
8	1998/8/27 4:00	29	15	14
	1998/8/29 9:00	23	9	14
10	1995/7/13 10:00	17	5	12
	1998/8/27 19:00	26	14	12
12	1996/7/27 20:00	11	0	11
	1998/7/29 22:00	21	10	11
14	1995/3/17 18:00	15	5	10
	1997/11/27 0:00	28	18	10
	1998/8/12 10:00	21	11	10
	1998/9/22 15:00	18	8	10
18	1995/8/16 14:00	12	3	9
	1997/8/3 17:00	11	2	9
	1997/8/26 17:00	1	10	-9

3.3. 地点 41 の解析雨量と線形補間雨量

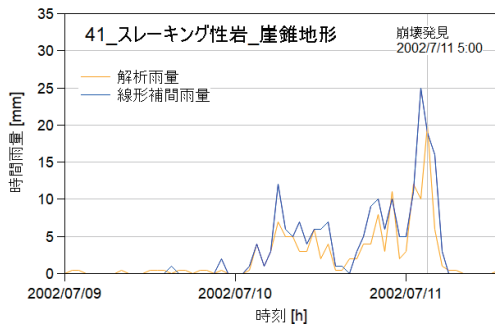


図 6 地点 41_時刻歴時間雨量

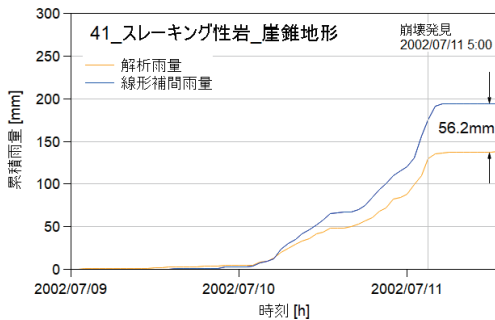


図 7 地点 41_時刻歴累積雨量

2002 年 7 月に発生した台風 6 号における被災地点 41 についても同様に時刻歴の時間雨量と累積雨量を比較した。結果を図 6, 7 に示す。被災時刻を含む降雨イベントの降り始めから降り終わりまでの時刻は、解析雨量、線形補間雨量においてそれぞれ 2002/7/9 4:00 ~ 2002/7/11 15:00, 2002/7/9 17:00 ~ 2002/7/11 7:00 であった。時間雨量最大値は解析雨量で 20mm/h, 線形補間雨量で 25mm/h であった。1998 年の台風 4 号の際に被災した地点 11 の例では解析雨量が線形補間雨量をほとんどの時刻の時間雨量で上回っていたのに対し、この例では線形補間雨量が解析雨量を上回る時刻が多い結果となった。2002/7/10 0:00 以降、降雨イベントが終了する 2002/7/11

15:00 までの 40 時間の間では解析雨量が線形補間雨量を上回ったのは 7 時間のみであり、その時間+雨量差の最大は 2mm/h であった。図 7 の時刻歴累積雨量を見ると、解析雨量、線形補間雨量の被災時の累積雨量はそれぞれ 129.6mm, 175mm であり、降雨イベント終了時の累積雨量はそれぞれ 137.8mm, 194mm でその差は 56.2mm であり、線形補間雨量が解析雨量の 1.40 倍であった。これは用いる雨量の選択で結果が大きく変わることを示す。

次に 2002 年の台風 6 号の被災地点 41 において、解析雨量と線形補間雨量の時間雨量の差が大きい時刻を抽出した。解析雨量が存在する 1988 年 4 月から被災した 2002 年末までの 14 年 9 ヶ月の間の解析雨量と線形補間雨量の差が大きい時刻とその時間雨量を上位 12 位まで (上位 14 の時刻と時間雨量) 並べた結果を表 3 に示す。表の網掛け部分は被災時刻を含む降雨イベント内の時刻と時間雨量を示している。これを見ると、上位 11 の時刻全てにおいて解析雨量が線形補間雨量を上回っていることがわかる。さらに線形補間雨量が上回った 12 位の時刻 2002/7/11 4:00 は 2002 年の台風 4 号の降雨イベントに含まれる時刻であった。また、この時の差は 15mm/h で、解析雨量と線形補間雨量の差が最大となった 1994/8/29 22:00 の雨量差 28mm/h と比較すると半分程度の差であると言える。

表 3 被災地点 41_解析-線形補間雨量比較

	日付	時間雨量 [mm/h]		
		解析雨量	補間雨量	差(解析-補間)
1	1994/8/29 22:00	30	2	28
2	1999/8/13 7:00	44	17	27
3	1999/7/16 21:00	24	0	24
4	1998/7/28 17:00	43	20	23
5	1990/8/7 16:00	22	0	22
	1999/8/18 14:00	23	1	22
7	2000/8/5 16:00	34	16	18
8	1989/7/22 15:00	17	0	17
	1996/10/4 15:00	18	1	17
10	1989/8/27 19:00	36	20	16
	1998/7/11 15:00	16	0	16
12	1988/8/30 23:00	19	4	15
	1994/8/5 19:00	15	0	15
	2002/7/11 4:00	10	25	-15

4. 解析雨量とアメダス雨量

解析雨量と線形補間を行う前のアメダス観測所における観測雨量 (以下アメダス雨量) の比較を行った。表 4 に船引アメダス観測所における解析雨量とアメダス雨量を比較した結果を示す。この船引観測所は図 3 の略図内で被災地点 83 と同じ 5km 四方メッシュ内に含まれる。比較範囲は 1988 年 4 月から 2002 年 12 月までとした。表 4 より、解析雨量がアメダス雨量を上回る際の最大差は 35mm/h であった。一方でアメダス雨量が解析雨量を上回る結果が出てきたのは 144 番目であり、その差は 4mm/h と小さい値となった。

表 4 船引観測所_解析-線形補間雨量比較

	日付	時間雨量 [mm/h]		
		解析雨量	アメダス	解析-アメダス
1	1994/8/20 11:00	35	0	35
2	1994/9/8 16:00	67	38	29
	2000/8/8 20:00	29	0	29
4	1994/8/9 14:00	24	0	24
5	1999/9/8 13:00	23	0	23
6	1990/9/20 0:00	38	17	21
	1999/8/21 18:00	21	0	21
8	1989/7/20 17:00	19	0	19
	1994/8/20 12:00	19	0	19
10	1994/5/27 17:00	20	2	18
...				
144	1988/4/13 11:00	1	5	-4

図 8, 9 はそれぞれ船引観測所における時刻歴時間雨量と累積雨量を示したものである。各雨量を比較すると、1988 年 4 月から 2002 年の間において解析雨量がアメダス雨量を上回る傾向が続いていることがわかる。同期間における各雨量の年間累積雨量平均を算出すると、アメダス雨量では 1173mm/年であったのに対して解析雨量では 1686mm/年とおおよそ 1.44 倍もの値を示した。

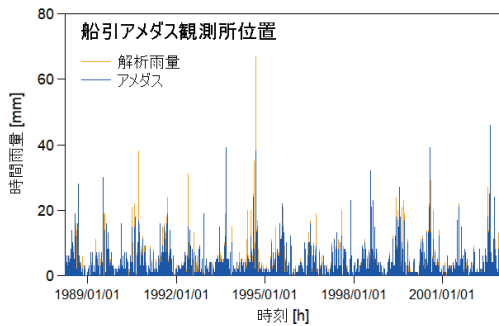


図8 船引観測所_時刻歴時間雨量

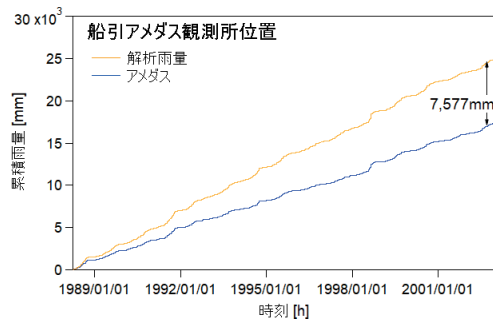


図9 船引観測所_時刻歴累積雨量

5. 結論

本研究によって解析雨量の隣り合う 5km 四方のメッシュ間で最大 40mm/h 以上、同地点における解析雨量と線形補間雨量の間に 40mm/h 以上の時間降雨量の差が生じることが分かった。これは周辺地形が降雨をもたらす雨雲の動きに影響を与えるためと考えられる。また線形補間雨量、アメダス雨量は解析雨量より小さい値を示す傾向にあった。したがって解析雨量を用いることで、広い範囲で安全側の評価が可能であると考えられる。

今後の課題としては、解析雨量を用いた斜面崩壊に対する降雨の影響分析を行うこと、降雨を代表とする誘因に加えて地質・地形・供用年数等の素因を組み合わせた評価を行うことが挙げられる。また本研究では分析対象を 1998 年の台風 4 号と 2002 年の台風 6 号の際の 24 件の被災斜面に限定していたが、今後は対象を拡大し、他の降雨災害で被災した斜面と健全な斜面を分析し比較することで斜面崩壊に大きく影響する因子を特定したいと考える。

参考文献

- 1) 地盤工学会 (2009) : 地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—, 地盤工学会 2007 年度会長特別委員会
- 2) 芳賀奈津美, 金鍾官, 河井正, 風間基樹, 長尾和之, 高橋卓也, 澤野幸輝 (2018) : 東北地方の高速道路切土斜面に被害をもたらした降雨パターンの分析, 東北地域災害科学研究論文集, Vol.54, pp.143-148.
- 3) 国土交通省気象庁, 各種データ・資料, www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html
- 4) 地理院地図, <http://maps.gsi.go.jp>