

## 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

東北大学 芳賀奈津美 金鍾官 河井正 風間基樹  
 東日本高速道路株式会社 長尾和之 高橋卓也  
 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。降雨による切土盛土斜面の被害を防ぐためには、地質・地形・供用年数等の素因と、降雨量・降雨強度・地震動等の誘因に基づく危険度評価が求められる。しかし、未だにその危険度評価方法は明確になっていない。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崩壊した事例を分析し、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。

### 2. 被害発生の分析方法

東北地方の高速道路斜面が崩壊した事例は、盛土斜面では1993年8月27日から2011年6月24日の約17年10カ月の間に83件、切土斜面では1993年2月7日から2010年7月30日の約17年6カ月の間に85件であった。切土の被害は道路を通行する車両が直接的に発見することが多く、被災時刻と発見時刻の時間差が小さい。一方で盛土の被害は通行車両から直接発見できないことが多いため、被災時刻と発見時刻が一致しない可能性が高い。このため本研究では対象を切土斜面に絞って分析を行った。また図1に示すように、全85件の切土斜面崩壊事例の内、被害の発災時期は他の月が0件~3件程度であるのに対し、7月に25件、8月に29件、9月に22件と夏季に集中しており、融雪等の降雨以外の季節的影響は少ないと言える。このことから1998年8月に発生した台風4号と2002年6月に発生した台風6号の際に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。1998年の台風4号および2002年の台風6号における被災事例一覧をそれぞれ表1,2に示した。表2において、番号15,16,60の地点では被災斜面の緯度経度が特定できなかった。このため実際に分析に用いたのはこの3地点を除く9地点である。図2は、1998年の台風4号の際に被災した斜面の位置を青いピンで、2002年の台風6号の際に被災した斜面の位置を赤いピンでそれぞれ航空写真上

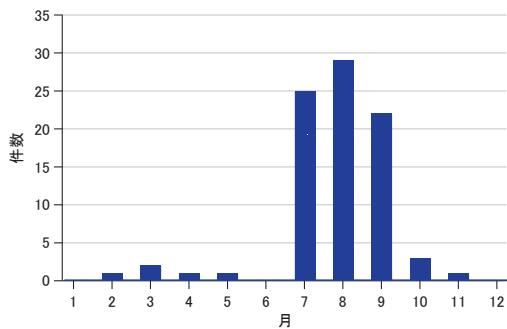


図1 切土斜面被害発災時期分布

\*Analysis of rainfall pattern that caused damage to cut slopes of expressway in Tohoku district by Natsumi Haga, Jongkwan Kim, Tadashi Kawai, Motoki Kazama, Kazuyuki Nagao, Kouki Sawano, Takuya Takahashi

表1 1998年台風4号による切土崩壊地点の諸元一覧

対象切土斜面番号	路線名	開通年度	被災時供用年数	アメダス1		アメダス2		アメダス3	
				地点名	距離(km)	地点名	距離(km)	地点名	距離(km)
71	東北自動車道	1973	25	白河	8.6	長沼	11.8	石川	20.1
49			23	梁川	8.1	茂庭	9.1	福島	10.3
48		1975	23	梁川	9.3	茂庭	8.7	福島	8.5
44			23	二本松	6.1	福島	10.2	鷲倉	19.2
87		磐越自動車道	23	船引	10.8	郡山	17.5	二本松	14.6
53			3	郡山	11.7	船引	18.1	二本松	12.1
11			3	船引	13.2	郡山	15.4	二本松	13.4
84			3	船引	3.1	小野新町	15.1	二本松	19.1
83			3	船引	2.5	小野新町	13.0	郡山	26.3
46			3	船引	6.3	小野新町	7.9	川内	23.1
86			3	船引	4.9	二本松	17.3	郡山	23.3
47			3	船引	14.1	郡山	14.6	二本松	13.0

表2 2002年台風6号による切土崩壊地点の諸元一覧

対象切土斜面番号	路線名	開通年度	被災時供用年数	アメダス1		アメダス2		アメダス3	
				地点名	距離(km)	地点名	距離(km)	地点名	距離(km)
54	東北自動車道	1973	29	郡山	1.6	長沼	13.1	玉川	15.7
55			29	蔵王	2.3	白石	11.5	亘理	20.0
25			29	玉川	13.2	長沼	12.1	白河	12.6
88		1975	27	茂庭	8.2	梁川	10.2	福島	7.6
41			27	梁川	5.8	茂庭	11.9	白石	13.6
51		1978	27	梁川	5.2	白石	9.8	茂庭	16.1
29			24	衣川	6.8	一関	6.7	大東	23.1
75	山形自動車道	1988	14	蔵王	2.9	新川	13.3	岩沼	23.1
60	磐越自動車道	1992	10						
8	常磐自動車道	1999	3	広野	8.2	平	12.5	-	-
15	仙台北部道路	2002	0						
16			0						

に示したものである。被災斜面の位置を表すピンの横の数字は表1,2の対象切土斜面の番号である。また地名とともに示された雨雲のマークは、対応する気象庁のアメダス観測所の位置を示す。図3,4はさらにイベントごとに被災地点とその雨量推定に用いたアメダス地点を表している。これらをみると、1998年台風4号による被災地点はすべて、東北自動車道または磐越自動車道の福島または郡山事務所管轄内の比較的狭いエリアに集中していることがわかる。一方、2002年の台風6号における被災地点は岩手、宮城、福島の3県にまたがって南北に広い範囲に分布している。

対象とする斜面位置の雨量データの推定

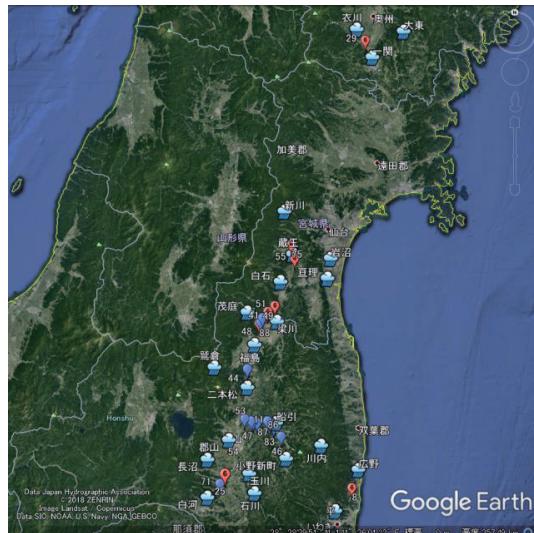


図2 2つの台風による切土崩壊地点

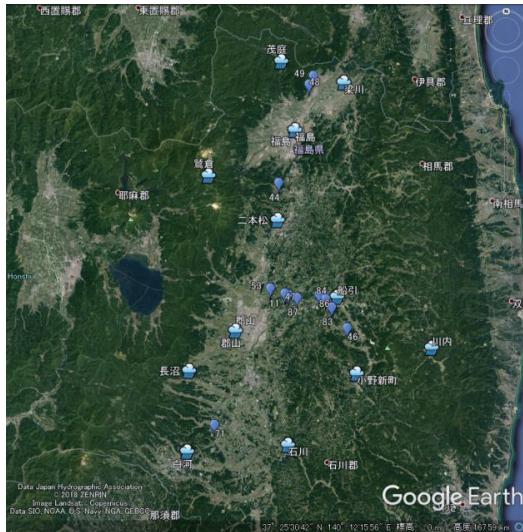


図3 1998年台風4号の切土崩壊地点

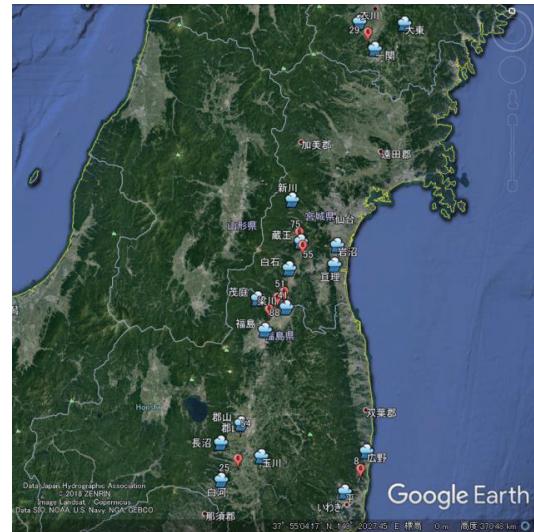


図4 2002年台風6号の切土崩壊地点

は、対象とする斜面を囲う直近3カ所の気象庁アメダス観測所における時間雨量を直線距離で線形補間した。具体的には、図5のように各アメダス観測所における時間雨量を結んで三次元の平面をつくり、作成した面に被災地点からおろした垂線の長さを対象斜面における推定時間雨量データとした。各アメダス観測所における時間雨量データが分析の対象期間内で欠けている場合には、その他2地点の時間雨量の時間ごとの平均値、または1地点の時間雨量を被災斜面における雨量データとして用いた。また2002年の台風6号の際に被災した番号8の地点は、海に近い場所に位置し被災地点を囲う3カ所目のアメダス観測所がなかったため、直近2カ所のアメダス観測所における時間雨量を用いた。この線形補間した時間雨量データから、現在高速道路の通行規制等の基準として用いられている時間雨量0mm（無降雨）が6時間続いた時点を区切りとする条件、または比較のために無降雨が12時間連続した時点を区切りとする条件で、1つの降雨イベントとした。はじめに崩壊発見日時から過去5年間において、被災発見日時を含む降雨イベントとそれを除いた累積雨量がTop3の降雨イベントを比較した。次に抽出する範囲を供用開始から2016年末までに広げ、累積雨量が100mmを超える降雨イベントすべてを比較した。

### 3. 分析結果 - 切土斜面被害と降雨量の時刻歴推移の関係 -

#### (1) 1998年台風4号

1998年8月25日に発生した台風4号の影響で、福島県内の磐越自動車道と東北自動車道に

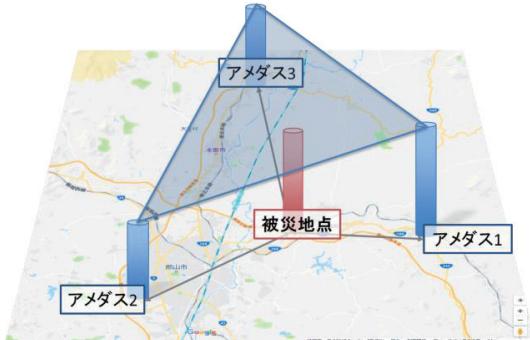


図5 対象地点の雨量データ推定方法

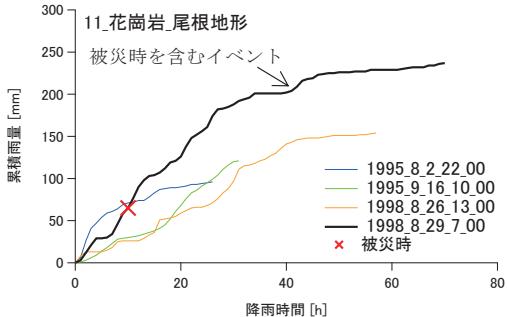


図6 地点 11\_6 時間区切りの時間累積

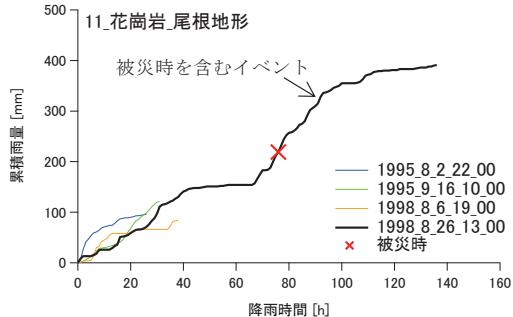


図7 地点 11\_12 時間区切りの時間累積

おいて 12 カ所の切土斜面崩壊の被害があった。図 6 は降雨イベントの区切りを 6 時間連続無降雨としたときの降り始めからの雨量曲線を表しており、被災発見時の累積雨量が過去 5 年間の最大累積雨量を下回る結果の例を示している。同様の例が 12 件中 3 件あった。結果を詳しく見ると 1998 年の台風 4 号の影響とみられる 1998 年 8 月 26 日から同月 31 日の間に 2 つの降雨イベントが抽出されていることが確認できた。一方、図 7 は同じ地点のデータでイベントの区切りを 12 時間とした場合であり、同台風による降雨とみられる 1998 年 8 月 26 日以降の降雨イベントが 1 つにまとまって、被災発見時における累積雨量が過去 5 年間の履歴最大値となつた。このことからイベントの区切りを 6 時間連続無降雨とする評価は不適当であると判断し、以後 12 時間連続無降雨を降雨イベントの区切りとする条件で分析を進めた。

## (2) 2002 年台風 6 号

2002 年 6 月 29 日に発生した台風 6 号の影響を受け、12 カ所の切土斜面で被害が発生した。図 8 はその一例で被災地点の供用開始から 2016 年末まで間に発生した累積 100mm を超す降雨イベントの時間 - 累積雨量すべてを表している。供用開始から被災時を含むイベントが発生するまでの期間の降雨イベントを実線で、被災後から 2016 年末までの降雨イベントを波線で描いた。被災時を含むイベントは黒色で強調し、その他橙色、緑色、青色、赤色で示した曲線はそれぞれ被災前に発生し、累積雨量や降雨強度の特徴的な降雨イベントを示している。結果を見ると過去に経験した最大累積雨量よりも少ない雨量で崩壊しており、崩壊に至るための明確な境界は見られなかった(12 カ所中 7 カ所)。

このような結果となった原因として、1991 年 10 月 9 日降り始めの降雨イベントでは降雨時間 19h~49h の 31 時間で時間雨量の合計が 11mm、73h~84h の 12 時間の時間雨量合計が 11mm と小さく、この間の平均時間雨量は 1mm 未満であった。これは降雨イベントの区切りと設定した 12 時間以上連続無降雨と近い状況であり、実質的にはそれぞれこれらの時間の前後で別の降雨イベントと区別できると考えられる。1998 年 8 月 26 日降り始めのイベントにおいても降

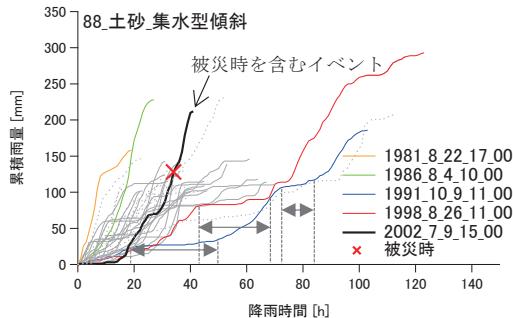


図8 2002 年台風 6 号代表地点時間累積

雨時間 43h~67h の 25 時間で合計雨量が 11mm 程度と、同様の傾向が見られた。

一方、1981 年 8 月 22 日降り始めのイベントや 1986 年 8 月 4 日降り始めのイベントに代表されるような一貫してグラフの傾きが大きいイベントで崩壊に至らなかった理由としては、供用年数が小さく切土斜面の劣化が進んでいなかったために、被災時よりも斜面本体が高い強度を有していたことが考えられる。

雨量データを線形補間して用いる際に対象斜面の実際に経験する降雨の特徴を正確に反映できていない可能性も考えられることから、線形補間の前後の雨量データを比較することにより、データのばらつきを確認することとした。図 9 は、地点 88 における 1998 年 8 月 26 日 11 時からの降雨イベントについて、線形補間した時間雨量を用いた累積雨量と線形補完する前の 3 つのアメダス観測所における累積雨量をそれぞれ示している。このイベントにおける線形補間後の最終累積値は 293mm であった。累積値が最大となったアメダス福島観測所の同時間における累積雨量は 333mm であり、線形補間後の累積値と比較すると 40mm(14%) 上回った。またアメダス茂庭観測所における累積雨量が最小でその値は 259mm であり、線形補間後の累積値との差は -34mm(-12%) となった。このことから、近隣アメダスデータを用いた被災地点の推定累積雨量には最大 15%程度の差が生じると言える。

図 10 は図 9 と同地点、同イベントにおける線形補間した時間雨量と線形補間前の 3 つのアメダスデータの各時間における時間雨量の最大値最小値の差を表す。この例では降雨時間が 70h の時点において、線形補間後の時間雨量に対して各観測所の時間雨量最大値が +14mm(156%)、最小値が -8mm(89%) となった。ある時間における時間雨量は推定値と 150%程度異なる場合があると言える。

以上の結果から 3 つの観測所の時間雨量データのばらつきが確認でき、これは時間雨量を線形補間した値が実際の対象斜面の時間雨量とは大きく異なる可能性があることを示している。原因としては、雨雲の移動時間のために各アメダス観測所における雨量データの変動にタイムラグが生じていること、20km 程度ごと離れて位置するアメダス観測所の雨量データでは局地的な降雨を捉えるのが難しいことなどが挙げられる。

#### 4. 結論

本研究から次の結論が得られた。

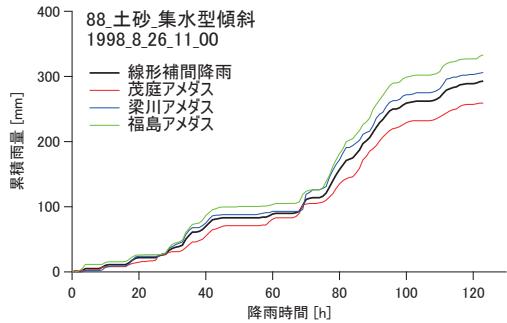


図 9 台風 4 号時の線形補間前後の累積雨量

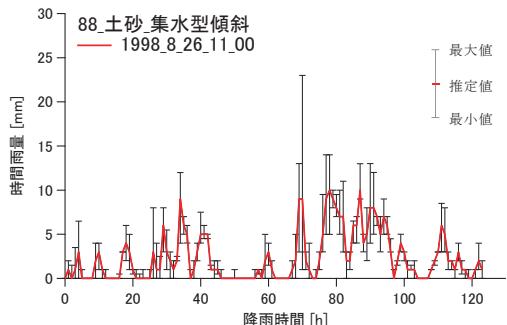


図 10 台風 4 号時の線形補間前後の時間雨量

- 1) 東北地方では切土斜面の被災時期は夏季に集中しており、融雪等の降雨以外の季節的影響は少ない。
- 2) 降雨イベントの区切りは無降雨が6時間続いた時で行うよりも12時間の方が適当と考えられる。
- 3) 被害地点の雨量データの評価として近隣のアメダスデータを線形補間して推定した時間雨量には最大15%程度、時間雨量には最大150%程度の差が生じた。

今後の課題として、以下の項目が挙げられる。

① 対象地点の推定雨量の精度向上

今回用いた降雨量推定方法より実際に近いと考えられるレーダーとアメダスデータから作成した降水量分布である解析雨量などを用いて、被災地点における降雨パターンを再評価する。

② 降雨強度や半減期の考慮

累積雨量の比較に加えて斜面含水量の半減期や降雨強度を考慮した分析が必要である。

③ 素因の分析

誘因である降雨パターンのみの分析に加えて、地質・地形・水理条件のような斜面ごとの素因の分析によって、各斜面の危険度を評価する必要がある。これは、近隣で被災しなかった切土斜面との比較により評価できると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省気象庁、各種データ・資料、[www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html](http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html)