

集集大地震後の降雨で発生した崩壊に対する地震の影響について

—台湾大学溪頭実験林における長期データを用いた検討—

東京大学大学院 ○堀田 紀文, 康 怡慧, 執印 康裕, 鈴木 雅一
台湾大学農学院 魏 聰輝, 張 振生, 陳 信雄

1. はじめに

1999年9月21日に発生した集集地震によって、震源地を中心とした台湾中部各所で大規模な表層崩壊、地すべり性崩壊が発生した。また、その後発生した多くの斜面崩壊などにも地震の影響があったものと考えられている¹⁾。しかしながら、地震による影響を素因とした崩壊の発生については、元来台湾においては台風通過に伴う豪雨によって崩壊が頻発することもあり、地震後の崩壊の発生のみを取り上げて地震の影響の有無を検証することは困難である。著者らは前報²⁾において、溪頭実験林の長期にわたる林道の補修記録を用いて、崩壊発生と降雨の関係について検討を行った。結果として、地震後最初の崩壊は過去の事例と比較すると小さな日雨量を伴った降雨イベントで発生したことを示している。ただし、同程度の小さな降雨イベントで発生した崩壊も過去には存在した。本研究では、溪頭実験林での地震発生前の降雨-崩壊発生特性についてより詳細に検討を行った上で、地震後の降雨による崩壊への地震の影響の有無を示すことを目的とする。

2. 調査対象地と使用データ

2.1 台湾大学溪頭実験林

台湾大学溪頭演習林(実験林)は台湾中部の南投縣にある台湾大学演習林全42林班の1~6林班からなり、鳳凰山(1698m)の西側、標高800m~1600mに位置する。面積は2488haであり、植生は主にスギ人工林、竹林で、地質は砂岩、頁岩である。溪頭演習林は多くの観光客が訪れる行楽地として早くから開発が進められてきたことと関係して、林道の補修についての記録が詳細に残されている。

2.2. 本研究で用いた記録

台湾大学演習林は1949年に設置され、各種施業・工事など財務に関わる記録を中心に1951年からの台帳が存在している。本研究では、表1にまとめた林道を調査対象とした。大学池(University Pond)・神木(Giant Cypress Tree)・鳳凰(Phoenix)の各林道は、演習林内の「溪頭森林遊楽区」と呼ばれる地域を中心として設置されており、災害復旧の優先度が高く、作業台帳も多く残っている。これらの林道における崩壊の記録を各台帳から抽出して表2のようにまとめた。

また、降雨記録については、1941年から日降雨量が、1990年からは時間雨量も記録されている。

3. 溪頭演習林における降雨-崩壊特性

時間雨量が入手可能な1990年以降について岩元ら³⁾の手法に倣い、以下のように崩壊発生限界降雨について検討を行った。一連の降雨 $r(t)$ から次式で定義される τ 時間の累加降雨 $R(t, \tau)$ を求める。その後、種々の時刻に

表1 調査対象林道

Road	Year Constructed	Forest Compartments the road passes through	Total length (m)	Width (m)
University Pond	before 1960	2, 3, 6	1000	4
Giant Cypress Tree	1960	3, 6	5640	4
Phoenix	1977	3	5360	3

表2 崩壊記録一覧

Date	Number of slope failures			Location of slope failures	Mass deposition of slope failures	Precipitation data	Induced by typhoon	Volume number of the records
	A*	B*	C*					
1963.7	○	○	—	—	—	available	yes	251.1(2)(52)
1965.8	○	○	—	—	—	available	yes	251(54)
1967.7	○	—	—	—	—	available	yes	251.2(56)
1969.5	⑤	—	—	specifiable	—	available	no	419-2(58)
1969.9	○	—	—	—	—	available	yes	419-3(58) 545(58)
1970.9	①	—	—	—	—	available	yes	545(59)
1971.9	①	—	—	specifiable	—	available	yes	545(60)
1971.9	①	—	—	specifiable	—	available	yes	545(60) 419.1(2)(60)
1974~1977 Construction of Phoenix road								
1982.7	○	—	—	—	—	available	yes	419-1(2)(71)
1985.8	○	—	—	—	—	available	yes	545(74)
1986.5	○	—	—	—	—	available	no	419-1(1)(75)
1986.8	⑬	—	—	specifiable	specifiable	available	yes	419-1(1)(75)
1988.8	⑬	—	—	specifiable	specifiable	available	no	545(77)
1989.7	○	—	—	—	specifiable	available	no	545(2)(78)
1989.9	○	—	—	—	specifiable	available	yes	545(2)(78)
1990.8	○	○	—	—	—	available	yes	545(79)
1992.8	④	④	⑤	specifiable	specifiable	available	yes	545(81)
1994.8	—	—	—	—	specifiable	available	yes	395(2)(83)
1996.8	○	—	—	—	—	available	yes	395-1(2)(85)
1999.8	—	—	—	—	—	—	yes	266.4(88)
Chi-chi Earthquake								
2000.2	—	④	⑪	specifiable	—	available	no	269.1(89)
2001.7	①	⑪	⑬	specifiable	—	available	yes	266-4(90)
2001.9	—	—	—	—	—	—	yes	266.4(2)(90)
2002.5	—	—	—	—	—	—	no	266-4(91)

*A: University Pond, B: Giant Cypress Tree, C: Phoenix

における $R(t, \tau)$ のうち最大値 R_m を求め $R_m(\tau)$ と τ の関係を図 1 にプロットした。

$$R(t, \tau) = \int_{t-\tau}^t r dt \cdots (1),$$

$$R_m(\tau) = \max\{R(t, \tau)\} \cdots (2)$$

1990 年以降、集集地震までの崩壊発生時の降雨と、崩壊非発生時の最大降雨イベントのデータ（太線）が示されている。また、地震後の崩壊発生イベントに関しても破線で示した。まず、崩壊発生事例について、地震後の 2000 年 2 月、2002 年 5 月は別としたとき 1999 年 8 月の崩壊発生時の降水量が極めて小さいことに気付く。1999 年 8 月のデータは後で検討を行うとしてひとまず除外し、それ以外に 4 件ある地震前の崩壊事例と崩壊非発生時の最大降雨イベントの比較を行う。ここで、崩壊発生イベント下限の R_m 曲線と崩壊非発生時の R_m 曲線が一致する点の τ の値が到達時間を示し、 R_m の値が降雨量の限界を示す。図 1 から、1999 年 8 月を考慮しない場合に、崩壊発生時の下限となる 1992 年 8 月と崩壊非発生時の上限である 1998 年 8 月の R_m 曲線の交点より、 τ が 10 時間、 R_m が 265mm 程度となり、

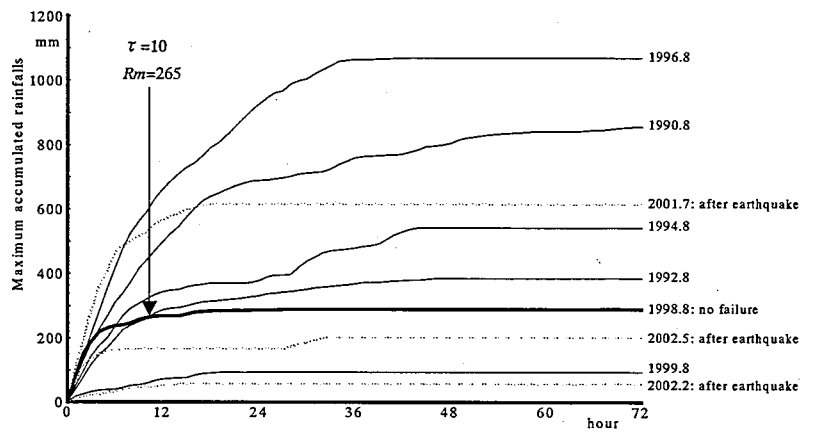


図 1 溪頭演習林の降雨

溪頭実験林で発生する崩壊の多くは、台風など短時間に集中した降雨によって斜面が飽和することによって生じていると推定でき、日雨量によってある程度崩壊の発生が予測できると考えられる。

表 2 の崩壊事例について、崩壊を生じさせた降雨イベントの最大日雨量と比較してみると、ほとんどの崩壊が日雨量 200mm 以上の降雨イベントで発生しており、図 1 の結果に対応していると言える。しかしながら、上で「例外」とした 1999 年 8 月と同様、小さな日雨量で発生した崩壊も数件確認された。長く続く降雨によって生じる地盤の軟弱化なども安全率の低下に影響すると考えられるため、短期的な降雨強度とは別に評価することも重要だと考えられる。それらの降雨イベントについて、連続降雨量について比較したのが表 3 である。各降雨イベント中の最大の n 日間雨量を示している。 n が 1 の時の値は最大日雨量である。また、経験的な指標として日本で広く用いられる「土砂災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針（案）」の実効雨量⁴⁾も同時に示した。表より、地震前に小さな日雨量で発生した崩壊も、比較的大きな連続雨量を伴った降雨イベントによって発生していることが分かる。

4. 集集地震後の崩壊発生状況

次に、集集地震がその後の崩壊発生に及ぼした影響の有無についての検討を行う。地震後に降雨と比較可能な崩壊は 3 件発生している。地震後初めての崩壊である 2000 年 2 月は、表 3 から分かる通り最大日雨量 56.5mm でも連続雨量でも過去最小の値で崩壊が発生している。地震発生から 2000 年 2 月までに大きな降雨イベントが発生していないこと、この降雨規模で記録上過去 3 番目の崩壊発生件数（15 件）であることから、地震の影響を大きく受けた崩壊であると考えられる。

5. まとめ

本研究において、台湾大学実験林の長期に渡る林道補修記録を用いることで可能となった崩壊と降雨の対応についての検討から、集集地震後発生した崩壊には地震の影響が現れている事が示された。溪頭実験林では集集地震時に本研究で対象とした林道では崩壊が発生していない。本研究の結果は、地震によって直接的な被害が生じなかった場合にも、その後の二次的な被害が生じ得ることを示しているという意味においても重要だと言える。

参考文献

1 中川ら、水工学論文集、第 47 巻、pp.595-600、2003、2)堀田ら、平成 15 年度砂防学会研究発表会概要集、pp.286-287、2003、3)岩元ら、砂防学会誌、Vol. 43, No. 3, pp. 3-8、1990、4)矢野ら、砂防学会誌、Vol. 43, No. 4, pp. 3-13、1990