P-054

崩壊発生降雨特性の評価手法についての一考察

－降雨強度－継続時間法（I-D 法）および地形因子を取り込んだ概念モデルとの比較結果－

○執印康裕（宇都宮大学），堀田紀文（筑波大学），松英恵吾（宇都宮大学）
有賀一広（宇都宮大学），田坂聡明（宇都宮大学）

１．はじめに

豪雨を誘因として発生する土砂災害によって毎年，多くの人命・財産が失われており，警戒・避難基準のための豪雨特性の基準値設定（あるいは評価手法）に関する研究は世界中でおこなわれている。豪雨の評価手法について概観すれば，1)降雨特性のみ対象として解析するもの，2)降雨浸透計算及び斜面安定解析を組み合わせた所謂プロセスモデルによるもの，の２つに区分される。世界中において提案されている降雨特性のみを評価の対象とする研究を概観すれば，代表的な手法の一つとして，平均降雨強度－継続時間の関係から基準線を設定する経験的な手法による研究がある。この手法は最初 Caine (1980) によって提案されたものである。Caine（1980）は降雨と崩壊・土石流の発生関係について世界中で報告されている 70 あまりの研究事例を収集し，地質・地形条件や降雨特性の違いにもかかわらず，一雨の継続時間と平均降雨強度の関係を整理することで崩壊・土石流の発生の有無が以下の一つの基準線で分離される可能性があることを示している。

$$I = 14.82D^{-0.39}$$

但しＩ：平均雨量強度(mm/hr)，Ｄ：降雨継続時間（hrs）である。この手法は経験的手法ではあるが，解析に必要とされるデータは降雨データ及び崩壊・土石流等発生の有無のみであり，極めて単純かつタフな構造を有している。このことから本手法は，崩壊・土石流の引き金となりうる降雨の評価手法に関するランドマーク的研究として位置づけられ，現在に至るまで多くの地域でＩ－Ｄ法による基準線の提案がなされてきている。しかしながら本手法は崩壊発生の主要な素因である地形の影響は考慮されていない。このことを解決するためには，プロセスモデルによる手法が必要となる。これまで数多くのモデルが提案されてきているが，モデルを厳密な意味での物理モデルとして取り扱う立場にたつと，必要とされる入力パラメータ（土層厚，土質強度，透水係数等）の設定は斜面スケールに限っても困難であり，解析対象範囲を広域に適用することは，ほぼ不可能であると考える。そこで，本事例においては，地形要因を取り込むことが可能なプロセスモデルを概念モデルとして取り扱い，Ｉ－Ｄ法との比較結果について検討したのでここに報告する。

２．研究対象地及び手法について

解析対象地として宇都宮大学農学部附属船生演習林を設定した。本演習林は，高原山系に連なる南北に走る細長い山塊の西斜面に位置しており（およそ北緯 36 度 45 分 －48 分，東経 139 度 47 分 － 50 分），標高は 260 － 600 ｍの範囲にある。基盤地質は第三紀層石英粗面岩である。本演習林を解析対象地として選定した理由は，1)1998 年の 8 月末の台風 4 号による集中豪雨によって演習林内 36 箇所の複数地点で表層崩壊が記録されていること，２)地形効果を取り込むことが可能なプロセスモデルを適用するのに最低限必要な数値標高地図が 10m グリッドで整備されていること，以上の 2 点による。降雨データとしては，船生演習林近傍に設置されている気象庁の塩谷アメダス観測点（北緯 36 度 45 分，東経 139 度 50 分，標高 225m）の 1994 年から 2003 年までの 10 年間の時間雨量データを使用した。なおこの期間において，崩壊が多発したのは，1998 年の 8 月末の台風 4 号によるものだけであり，それ以外の降雨においては同規模の崩壊は発生していない。

表-1　モデル設定パラメータ

計算設定諸元	設定値
水の単位体積重量: γ_w (kN/m^3)	9.81
湿潤土の単位体積重量: γ (kN/m^3)	17.66
有効間隙率　λ	0.35
有効飽和透水係数: k (m/hr)	1.8
有効土層厚: Z (m)	1.0
有効内部摩擦角: ϕ (degree)	30.0
有効粘着力: C (kPa)	0.5-6.5

地形の影響を取り込んだプロセスモデルは Okimura and Ichikawa(1985)によって提示されたモデルを基本としたものであり，数値地形モデルの各セルにおいて，降雨による地下水位計算および無限長斜面安定解析式による安全率値を算出することが可能な構造を有している。なおモデルパラメータの設定値として Okimura and Ichikawa(1985)を参考として表１に示す条件を設定している。表-1 に示すとおり，有効粘着力のみを 0.5kPa 刻みで変化させ，それ以外のパラメータ値は全セルにおいて均一に与えている。なお本モデルにおいて安全率が１を下回るグリッド面積を算出し，これを評価の基本指標として用いた。解析手順は以下のとおり

である。手順 1)1994 年から 2003 年までの 10 年間の降雨時系列データの各降雨イベントへの区分け。各イベントは，前後 24 時間無降雨状態が続いたときを一つの降雨イベントの区切りとして定義している。手順 2)豪雨イベントの抽出。豪雨イベントの抽出にあたってはCaine（1980）の基準線を上回るものを豪雨イベントとして定義して抽出している。手順 3)両手法から導き出される豪雨の指標値による比較検討。以上 3 手順によって，検討を行なった。

表-2 抽出された豪雨イベント特性

降雨番号	一雨量 (mm)	最大時間雨量 (mm/hr)	継続時間 (hours)	平均強度: I (mm/hr)
22	173	28	31	5.58
45	49	19	3	16.33
118	25	18	2	12.50
171	34	30	2	17.00
231	133	24	13	10.23
236	87	33	12	7.25
318	567	62	112	5.06
322	189	31	29	6.52
393	135	52	24	5.63
395	17	17	1	17.00
454	115	22	22	5.23
465	24	18	2	12.00
530	168	26	28	6.00
541	126	12	23	5.48
591	320	37	64	5.00

３．結果及び考察

1994 年から 2003 年の降雨時系列データは 698 の降雨イベントに区分され，そのうち 15 イベントがCaine（1980）の基準線を上回る豪雨として抽出された。図-1 に区分された降雨イベントの降雨強度－降雨継続時間関係を表-2 に抽出された豪雨特性の一覧を示す。降雨番号 318 番が崩壊を引き起こした豪雨イベントであり，それ以外の豪雨において崩壊は発生していない。崩壊発生には短時間降雨変化によるものと降雨全体の期間において影響を及ぼす２要因が関係しているが，I-D 法においては平均降雨強度の対数値と基準値との対数値による差（両対数表示における基準線との差）を，降雨期間全体が与える影響とみなして抽出し，イベント中の最大時間雨量を，短時間降雨変化が与える影響とみなしてプロセスモデルとの比較に使用した。一方プロセスモデルにおいては各時間における安全率 1 を下回るセル面積（以下 UCA）が算出されるが，各豪雨イベントにおいて最大となるセル面積（以下 PUCA）及び UCA の 1 時間あたり最大の変化面積を，I-D 法と同様にそれぞれ降雨期間全体が与える影響と短時間降雨変化が与える影響とみなして抽出した。PUCA の値は有効粘着力の値によって変化するが，計算の結果，いずれの条件でも降雨番号591のイベントが318番についで大きい値をとることが確認されたので，両イベントの差が最大になる条件の 5.0kPa を指標の算出に用いた。以上４つの指標を同じ基準で比較するため，各イベントにおいて算出される指標値を崩壊が発生した 318 番の値で除した値を比較に使用した(図-2 参照)。なお図-2 の横軸及び縦軸はそれぞれ降雨期間全体及び短時間降雨時系列変化が崩壊発生に与える影響の指標値を示している。図 2 より両手法とも良好に崩壊発生豪雨を区分することが解るが，プロセスモデルの場合には，両指標値のバラツキが I-D 法と比較して少なく，良好な相関関係を示している。このことは本地域においては一つの指標値のみを使用して崩壊発生降雨の識別が可能であることを示唆するものである。

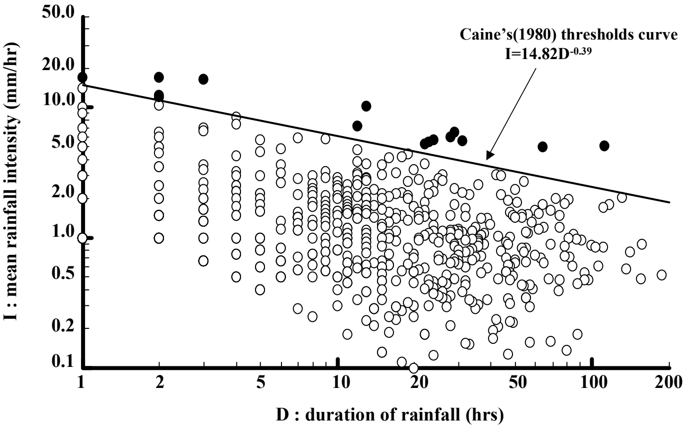

図-1 698 降雨イベントの I-D 関係

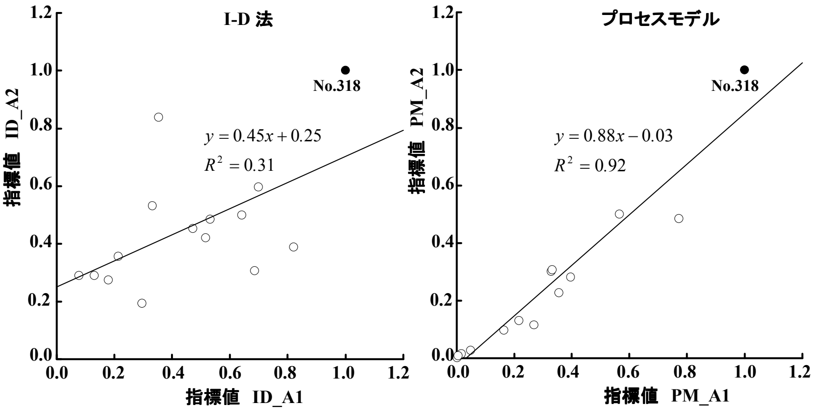

図-2 両手法による指標値の関係

引用文献：Caine, N.(1980)：The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows, Geografiska Annler. Series A. Physical Geography 62, 23-27

Okimura, T., Ichikawa, R.(1985)：A prediction method for surface failures by movements of infiltrated water in a surface soil layer, Natural Disaster Sci., Vol.11, 41-51