

清水寺における雨量指標を用いた斜面崩壊警戒基準に関する研究

Study on criteria for slope failure based on rainfall intensity at Kiyomizu-dera

石田優子¹・藤本将光²・平岡伸隆³・大矢綾香⁴・酒匂一成⁵・深川良一⁶

Yuko Ishida, Masamitsu Fujimoto, Nobutaka Hiraoka, Oya Ayaka, Kazunari Sako
and Ryoichi Fukagawa

¹立命館大学専門研究員 衣笠総合研究機構 歴史都市防災研究所 (〒603-8341 京都市北区小松原北町58)
Senior Researcher, Kinugasa Research Organization, Institute of Disaster Mitigation for Urban Cultural Heritage, Ritsumeikan Univ.

²立命館大学助教 理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Assistant Professor, Department of Science and Engineering, Ritsumeikan University.

³立命館大学大学院 理工学研究科 博士課程後期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Doctoral Program, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University.

⁴立命館大学大学院 理工学研究科 博士課程前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Master's Program student, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

⁵鹿児島大学大学院准教授 理工学研究科海洋土木工学専攻 (〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-40)

Associate Professor, Graduate school of Science and Engineering, Dept. of Ocean Civil Engineering, Kagoshima University,

⁶立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Department of Science and Engineering

Kiyomizu-dera is located on the slope of a mountain. An evacuation warning system for slope failure has been operating since 2004, based on rainfall monitoring. To improve the accuracy of rainfall warning, data from 25 rainfall events since 1881, with slope failure potential, were examined. Several calculated rainfall indices were considered to find the optimum criteria at the Kiyomizu-dera site. The results indicated that, suitable combination of rainfall indices is the amount of 12 h of rainfall and cumulative rainfall, the first tank value of soil water index has possibility of effectiveness, and short-time half-life of effective rainfall index should be set longer.

Keywords : Slope failure, Rainfall indices, Criterion, Half-life

1. はじめに

清水寺は世界遺産「古都京都の文化財」として1994年に登録された京都市、宇治市（京都府）、大津市（滋賀県）に点在する17の神社仏閣等のうちの1つであり、778年に延鎮上人が音羽の滝上に観音を祀ったことが起源とされる。現在は北法相宗の大本山であり、12.3haの境内に国宝である本堂をはじめ、重要文化財に指定された15の伽羅が建立されている^{1), 2)}。京都有数の観光地である清水寺には日3万人、年間約500万人の観光客が訪れ³⁾、春の桜や秋の紅葉シーズンともなれば通常の1.5倍の観光客で賑わい、美しい境内や眼下に広がる京都市内の景観が楽しまれている。

酒匂ら⁴⁾は、代替性のない文化財および人命（観光客、周辺住民など）を守るための防災システム確立を目的とし、境内斜面に気象ユニットと間隙水圧計から構成されるモニタリングシステムを2004年に設置し、筆者らの研究グループは運用を継続して降雨時の斜面崩壊を監視している。このシステムでは、現地計測雨量に基づき算出された雨量指標が予め設定した警戒基準を超えると関係者に警報が送られる仕組みになって

いる。本研究は、警戒基準の精度向上を目的とし、実際に発生した3回の崩壊に基づき一般的な雨量指標の有用性を検証するとともに、実効雨量の最適化について検討するものである。

2. 境内の変遷と地形・地質的素因による斜面崩壊の危険性

過去の崩壊現象を今後の発生予測の基準とするために、素因、誘因、発生メカニズムについて整理する。東山三十六峰の一つ清水山（山号音羽山：242.5m）の北西斜面中腹に位置する清水寺の境内は、尾根や谷などの起伏に富み、奥院（おくのいん）と音羽川では約40mの高低差がある（図1）。本堂東側の南北方向に活断層と推定されるリニアメントが延びており（子安塔付近鞍部以南は南南東へ屈曲）、直交するように境内北側および南側に尾根筋が通り、その間は「錦雲溪」と呼ばれる音羽川の谷が分布する。北側尾根の境内北西入口から本堂までは比高約17mの上り坂になっており、その間に幾つもの伽羅が建ち並ぶ参拝路の南側は崖になっている。このような東西に並ぶ建築群の景観は13世紀には既に成立していたとされ、天明6年（1786）再版（初版1780）の「都名所図会」⁵⁾にもその様子が描かれている（図2）。境内の大半の建物は戦



図1 清水寺境内図（1989 測量 1/1000 清水寺現況平面図に縮尺変更加筆）

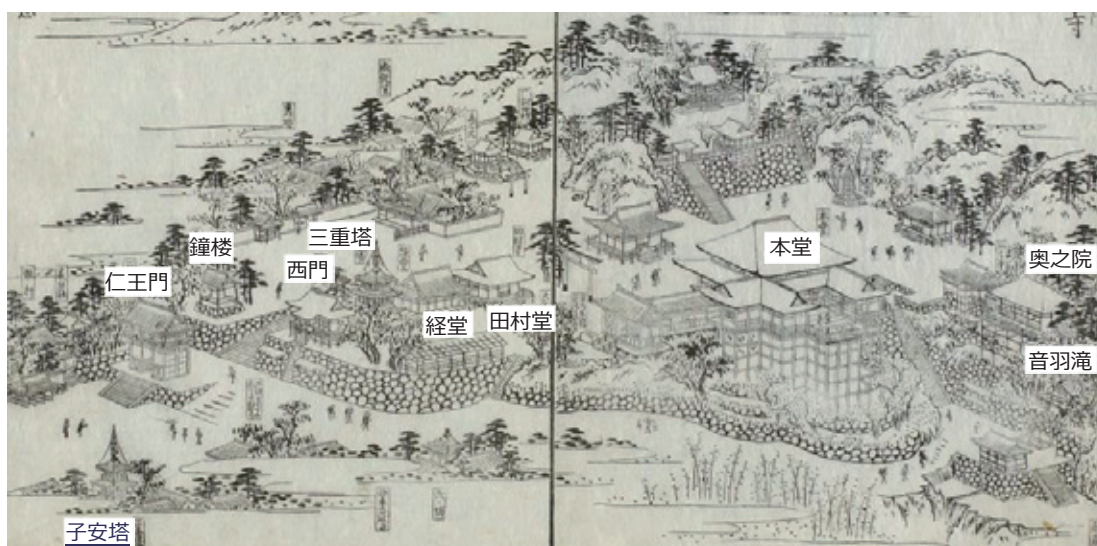


図2 江戸時代の境内図⁵⁾に加筆

火を含む火災で焼失し17世紀に再建されたものであるが、応仁・文明の乱後に再建された子安塔（こやすのとう）は、「本堂ほか8棟の保存修理事業」（2008～）の調査過程において発見された明応9年（1500）の墨書により、現存する堂塔の中で「最古の建物」であることが近年判明している。現在、北側尾根の本堂と錦雲溪を挟んで南側尾根の同等程度の標高に対峙する子安塔は、明治44年（1911）の境内整備計画の一環として、入口付近の馬駐（うまとどめ）の筋向いから移築されたものである¹⁾（図1、2）。従って、明治44年以前は、奥院から南側に延伸された参拝路もなく、訪れる人々は境内北側に集中していたと考えられる（図1水色破線エリア）。

清水山の基岩は砂岩、頁岩、チャート等で構成される海洋プレート層序を成す丹波層群である。断層を境とした東側の釈迦堂、阿弥陀堂、奥院等の重要文化財に近接する後背急傾斜地はチャートや泥岩が卓越し、表層は厚さ0.9～4.0m程度の崩積土に覆われている。断層西側は京都盆地周辺の丘陵で見られる新生代第三期末～第四紀更新世のシルト質主体の大阪層群分布域（Ma5層）であり、音羽滝の南側急斜面はシルト質砂礫を主体とする大阪層群上に厚さ2.0～4.0m程度の表土および崩積土が堆積している^{6),7)}。

戦後、清水寺では1972年、1999年、2013年に発生した3回の斜面崩壊が記録されている。崩壊箇所は境内に広く分布し、1972年の崩壊を除く全ての崩壊は明治44年の境内整備以降に拡張された南側エリアで発生している（図1）。またこれらの崩壊箇所は、2013年崩壊②（2013年は複数箇所で崩壊発生）を除き、断層西側、大阪層群分布域に位置する。2013年崩壊①では、大阪層群に介在するとみられる黄灰色を呈するシルト～粘土層の直上に2～3cm程度のパイピングホール数カ所が認められ（法肩下約5m地点）、豪雨時に低透水層で浸透を遮断された地下水が上昇し、2箇所湧水に伴い表層厚1.0m程度のルーズな崖錐堆積物（チャート角礫を含む砂礫主体）が崩落した典型的な表層すべり型崩壊であった（写真1）。1999年崩壊および2013年崩壊⑤も同様の地質、急崖地形から、低透水層の遮水に起因する同様の発生機構によるものと考えられる（湧水は未確認）。音羽滝に隣接する崩壊斜面では連続繊維補強土工による復旧対策が施されている。2013年③④崩壊は、子安塔が移築された南側尾根の北斜面および連続する東斜面で、音羽川に合流する谷斜面にもあたり、過去に何度も侵食が繰り返され、滑落崖～谷には①②⑤崩壊に比して多量の、高含水で粘土分が卓越した崩積土が堆積する。固結シルト層上に堆積した表層は垂角礫主体の砂礫層（2.6～4.0m程度）で緩んでおり、崖の上には複数の亀裂が認められ、アンカー工による復旧対策が予定されている。崩壊②は断層東側に位置し、基岩は異なると考えられるが、発生形態は同様に豪雨に起因する低透水性層上の風化した表層の小規模崩落である。断層を境とする東西両側の急崖は基岩の露頭や湧水、小規模崩落跡等が見られ、不安定な状態にある。1972年崩壊地付近の詳細な地盤調査データは確認できていない。以上の崩壊履歴と地形、地質から、断層運動に伴い強度が低下した脆弱部や、断層西側、特に音羽滝以南の拡張エリアの大阪層群の低透水層、緩い表層分布域の急傾斜地で、表層崩壊の危険性が高いと言える。

3. 崩壊発生時の状況および誘因となった降雨

1972年の崩壊は、全国的に猛威を振るった「昭和四十七年七月豪雨」を誘因とするもので、1972年7月12日午後7時頃発生した。境内北東に位置する重要文化財「釈迦堂」とその北に隣接する「西向き地藏堂」が、高さ約15m、幅約20mにわたる後背斜面の崩壊により、直径20cmの松の倒木10本を伴う崩壊土砂を受けて全壊した^{8),9)}。崩壊土量や崩壊形態についての記録は確認できなかったが、完全に圧潰されている被害写真の状況と、1999年の類似した規模、形態の崩壊状況から、厚さ1m程度以上の表層崩壊であったと推測される。

1999年の崩壊は、梅雨前線の活発化に伴う豪雨を誘因とするもので、1999年6月27日午前8時45分頃発生した。本堂舞台下、南約30mの音羽滝の南隣にある茶店「滝の家」が、高さ約15m、幅約10m、厚さ約1mにわたる後背斜面の崩壊により押し潰された¹⁰⁾。この崩壊による文化財被害はない。

2013年の崩壊は、京都府や滋賀県に記録にない様な被害をもたらした「台風18号(MAN-YI)」を誘因とするもので、2013年9月16日午前8時過ぎと夕方の巡回時に、1999年崩壊



写真1 崩壊斜面（図1①）で確認された粘性土層

斜面の南に隣接する斜面（崩壊①：参拝路の足元から高さ約9m、幅約6m、厚さ約1.2m、滑落土砂が法面下の茶店に流入および屋根に崩積）、子安塔付近の参拝路脇法面（崩壊②：高さ約3m、幅約4m）、子安塔が移築された尾根の北斜面（崩壊③：高さ約21m、幅約30mの馬蹄形崩壊）、それに連続する尾根の東斜面（墓地付近崩壊④：高さ約12m、幅約8.5m）、音羽川の境内下流谷斜面（崩壊⑤：複数箇所のごく薄い表層）の5箇所で表層崩壊が確認された。崩壊はいずれも小規模で、文化財の被害はない。

本研究で扱う一連の降雨は、降り始めの前後に24時間無降雨を有すると定義する。また使用する雨量データは、清水寺から約10km離れた気象庁雨量観測所「京都」の計測値を採用し、現地に雨量計を設置した2004年以降については、「現地」のデータも考慮する。各崩壊時のハイトグラフをそれぞれ図3、4、5に示す。3件の降雨特性（強度および降り方）の違いに着目するため、時間スケールは統一した。図3～5に示されるとおり、3件の降雨は全く異なる特徴を有する。1972年の降雨は、断続的に降り続いた10mm/h以下の先行降雨から10数時間経過した後、10～20mm/h（やや強い雨）のひとまとまりの雨が3時間において2回連続し、連続雨量229.0mmで崩壊に至った「先行降雨＋集中的降雨型」である。1999年の降雨は、連続的な先行降雨から20数時間ほぼ無降雨の後、再度降り始めて強度を増していき、数時間後に時間28.5mm/h（強い雨）と47.0mm/h（激しい雨）により、連続雨量が152.0～199.0mmに達して崩壊に至った「先行降雨＋激増雨型」である。2013年の降雨は、ほぼ連続的なひとまとまりの降雨で、時間雨量20mm/h前後（やや強い～強い雨）が7時間連続して累積雨量が直線的に増加した「集中的累積強雨型」である。崩壊発生時の時間雨量と連続雨量を表1に示す。2013年の崩壊発生時刻は、過去2回の崩壊時の連続雨量と土壌雨量指数を基準に2：00～4：00と推定した。各降雨タイプに用いた「集中的累積強雨型」等の名称は、本研究上での仮称である。

4. 一般的な雨量指標の有用性検証

(1) 対象降雨イベント

崩壊発生予測は、過去の「崩壊時」と「非崩壊時」の降雨データによる一般的な統計的手法を用いる。対象降雨イベントは、気象庁の雨量観測所「京都」における1881～2013年のデータから小規模な降雨を除き、崩壊時と同等程度以上の降雨イベント（最大時間雨量20mm/h以上かつ連続雨量150mm以上）とし、25降雨イベントを抽出した（表2）。表中の記号は過去3回の各崩壊イベントを示す（赤丸：1972年崩壊、緑三角：1999年崩壊、黄色斜め十字：2013年崩壊（気象庁雨量）、桃色十字：2013年崩壊（現地計測雨量）、図6以降も同様表記とする）。25降雨イベントのうち、台風に直接起因するものは2013年崩壊時の降雨イベントだけであり、台風による豪雨発生確率の低さが認められた。

(2) 短期および長期雨量指標の最適組合せ

高速道路等の降雨による交通規制の指標として、時間雨量と連続雨量の組合せが用いられる。Ishida et al.¹⁰⁾は計測雨量を直接的に用いた短期、長期雨量指標を清水寺に適用する際の最適な組み合わせについて検討した。図6は25降雨イベントの各最大12時間雨量（短期雨量指標）を縦軸に、連続雨量（長期雨量指標）を横軸にプロットしたものであり、崩壊時の各閾値を超えても崩壊しない降雨イベントを「空振り」とした。

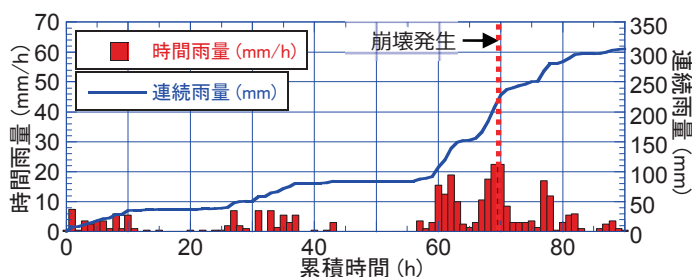


図3 1972年崩壊時のハイトグラフ

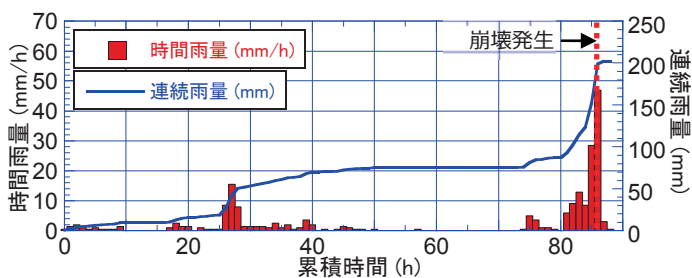


図4 1999年崩壊時のハイトグラフ

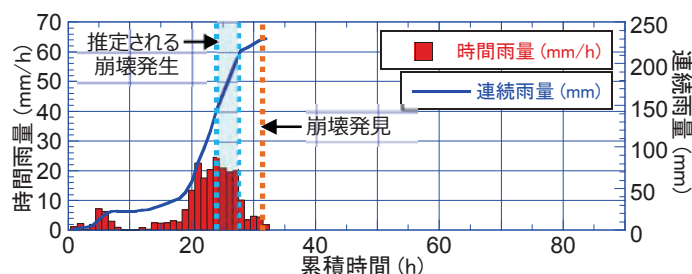


図5 2013年崩壊時のハイトグラフ（現地計測値）

表1 崩壊時の降雨特性

データ採用日時 (崩壊時刻不明は推定)	崩壊時の推定時間雨量 (mm/h)	連続雨量 (mm)
1972.7.12 19：00	22.5	229.0
1999.6.27 9：00	47.0	199.0
2013.9.16 4：00	20.4	228.4

短期雨量指標を最大1時間、3時間、12時間、24時間雨量とし、長期雨量指標を連続雨量とした組み合わせ4ケースの「空振り」結果を表3に示す。最大12時間雨量を用いた場合は、最大1時間雨量に比して空振り数が半減し、検討ケース中では空振り率が最も低く、清水寺に適する組合せであると判断された。

(2) 土壌雨量指数の適用性検証

土壌雨量指数は、地盤の水分状態を定量的に示すのではなく、地盤の緩み度合いを指数値で示すものであり、値が高いほど崩壊発生の危険性が高いとされる¹¹⁾。土壌雨量指数は一般に地盤を表層やその下層に分けてタンクとして表現したモデルを用いて、雨水浸透に由来する流入量と地表水や地下水への流出量により算出する。

Ishida et al.¹⁰⁾は、土壌雨量指数の25降雨イベントの清水寺への適用性について、「崩壊時の履歴順位」により評価した。履歴順位は、検討する場所における過去の降雨の指数値と比較して、検討する現在の降雨イベントの指数値が過去何番目の順位かという相対的な順位である。この有効性については、1991年～1997年の全国の崩壊事例約5万4千件のうち約60%が履歴順位1位の降雨により発生していること、東京都（23区、多摩東部、多摩西部）の90%が同じ区市町村内で履歴順位3位以内の降雨により発生していること等から明らかにされている¹¹⁾。検討には、気象庁で採用されている3段タンクモデルを、各タンクの計算に使用するパラメータにはISHIHARA・KOBATAKE（1979）¹²⁾の花崗岩の値を用いた。清水寺の25降雨イベントの履歴順位について検討したところ、崩壊時の履歴順位は6～10位であったことから、土壌雨量指数および履歴順位による崩壊発生危険性の評価精度は低いと考えられた。

次に各タンクの値に着目し、空振り率を減少させることによる評価精度向上の可能性について検討した。図7は縦軸に各タンク値を、横軸に一連の降雨の2週間前からの累積雨量をとり、1時間毎のプロットを線でつないだスネーク曲線と各崩壊時のプロットであり、崩壊時の値を超える非崩壊降雨イベントは空振りを示す。2013年崩壊データは気象庁雨量、崩壊発生は2：00～4：00の3点とした。第1タンクの3崩壊値は第2、第3タンクに比して集中しており、ピーク値に近い。清水寺の崩壊は表層崩壊であるため、基準の重みづけを第1タンク値すなわち表層により高く設定する等の方法により、精度向上の可能性があると考えられた。

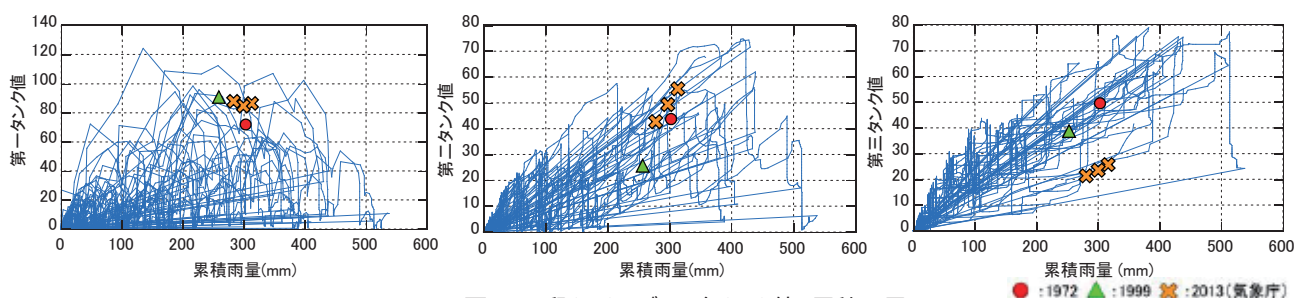


図7 3段タンクモデルの各タンク値と累積雨量

表2 対象25降雨イベント

No.	年月日	連続時間 (h)	連続雨量 (mm)	最大 時間雨量 (mm/h)	最大 3時間雨量 (mm/3h)	最大 12時間雨量 (mm/12h)	最大 24時間雨量 (mm/24h)
1	1935.6.29	216	401.6	46.5	96.3	268.2	280.1
2	1937.6.17	88	170.8	40.5	68.2	77.6	115.7
3	1938.7.5	119	266.4	23.3	54.7	114.3	173.5
4	1941.6.28	95	224.9	45.2	105	137.7	141.5
5	1951.7.15	176	330.4	40.2	62	101	117.2
6	1953.6.7	92	214.9	27	63.6	103.6	123.9
7	1953.7.20	177	229.3	36.5	65.9	101.5	107
8	1957.6.27	36	202.8	23.1	61.2	151.4	198.6
9	1959.8.13	49	316.5	60.4	123.4	249.8	281.8
10	1960.8.13	106	245.6	23.6	56.5	131.3	154.7
11	1961.6.26	146	409	29.9	55.1	112.7	119.1
12	1965.9.17	107	317.1	38.6	65.9	134.5	165.5
13	1967.7.9	109	269.7	45.9	107.4	173.8	190.8
14	1968.8.18	23	172	59.5	152.5	161.5	172
15	1971.9.6	53	247.5	38	87.5	144.5	205
16	1972.7.12	91	305	22.5	62.5	145.5	206.5
17	1972.9.16	69	204.5	39.5	94	154.5	164
18	1983.9.28	98	360	44	72.5	208.5	270.5
19	1986.7.22	88	211	38.5	60	117	118
20	1987.7.15	32	153.5	44	81.5	111	121
21	1997.8.5	21	175	39	112	173.5	173.5
22	1999.6.27	89	202.5	47	84	123	127
23	2009.7.22	76	194.5	28	61.5	83.5	84
23(現地)	2009.7.22	87	161.6	26	56	77	78
24	2010.7.14	132	233.5	35	59	106	133
25	2013.9.16	32	250.5	31.5	77	192	221
25(現地)	2013.9.16	31	228.4	24.6	66.4	185.8	210

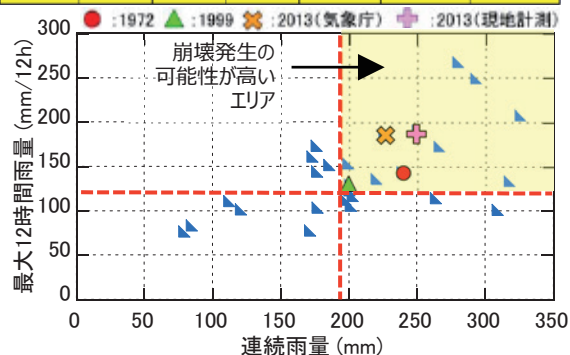


図6 最大12時間雨量と連続雨量

表3 各短期雨量指標の空振り率 (%)

短期雨量 指標	最大 1時間 雨量 (mm/h)	最大 3時間 雨量 (mm/3h)	最大 12時間 雨量 (mm/12h)	最大 24時間 雨量 (mm/24h)
空振り数	14	9	7	10
空振り率 (%)	56.0	36.0	28.0	40.0

(3) 実効雨量の検討

実効雨量は、地表及び地中の水分量を示すものであり、地盤に浸透した雨水が時間経過とともに半減するという考えに基づき、実降雨に減少係数を乗じて算出する（式(1),(2)）。

$$R_t = r_t + \alpha_1 \cdot r_{t-1} + \alpha_2 \cdot r_{t-2} + \dots + \alpha_x \cdot r_{t-x} = r_t + \sum_{n=1}^x \alpha_n \cdot r_{t-n} \quad (1)$$

$$\alpha_t = 0.5^{t/T} \quad (2)$$

ここに、 R_t ：時刻 t の実効雨量、 r_t ：時刻 t の時間雨量、 α_t ：現象係数、 T ：半減期の日数、 t ：降り始めからの前日数である。半減期は浸透や貯留特性を表す定数であるため、地盤毎の特性に基づいた最適な値があると考えられるが、一般には花崗岩地帯の係数を用いた土壌雨量指数算出タンクモデルの貯留高の推移特性と類似の傾向を示す 1.5 時間と 72 時間を、それぞれ短期、長期の指標として採用することが多い。半減期 1.5 時間は第 1 タンクに相当し、半減期 72 時間は第 2、第 3 タンクに相当する。ここでは、半減期 0.5h、1.0h、1.5h、2.0h、3.0h、5.0h、12.0h、24.0h、72.0h（3 日）、168h（1 週間）、366h（2 週間）の 11 ケースを算出し、清水寺に最適な組み合わせを検討する前段として、崩壊発生基準策定に着目し、組合せによる変化傾向について整理する。長期半減期を一定とし短期半減期を変化させた場合（72h と 0.5h、1.0h、2.0h、3.0h、5.0h の組合せ 5 ケース）を図 8 に、短期半減期を一定とし長期半減期を変化させた場合（1.5h と 12h、24h、72h、168h、336h の組合せ 5 ケース）を図 9 に示す。図の列は、左から 25 降雨イベント全てのスネーク曲線と 3 崩壊、1972 年崩壊時の降雨イベント、1999 年崩壊時の降雨イベント、2013 年崩壊時の降雨イベントを示し、記号はそれぞれの崩壊時の実効雨量を、赤点線は崩壊／非崩壊の領域区分を示す。

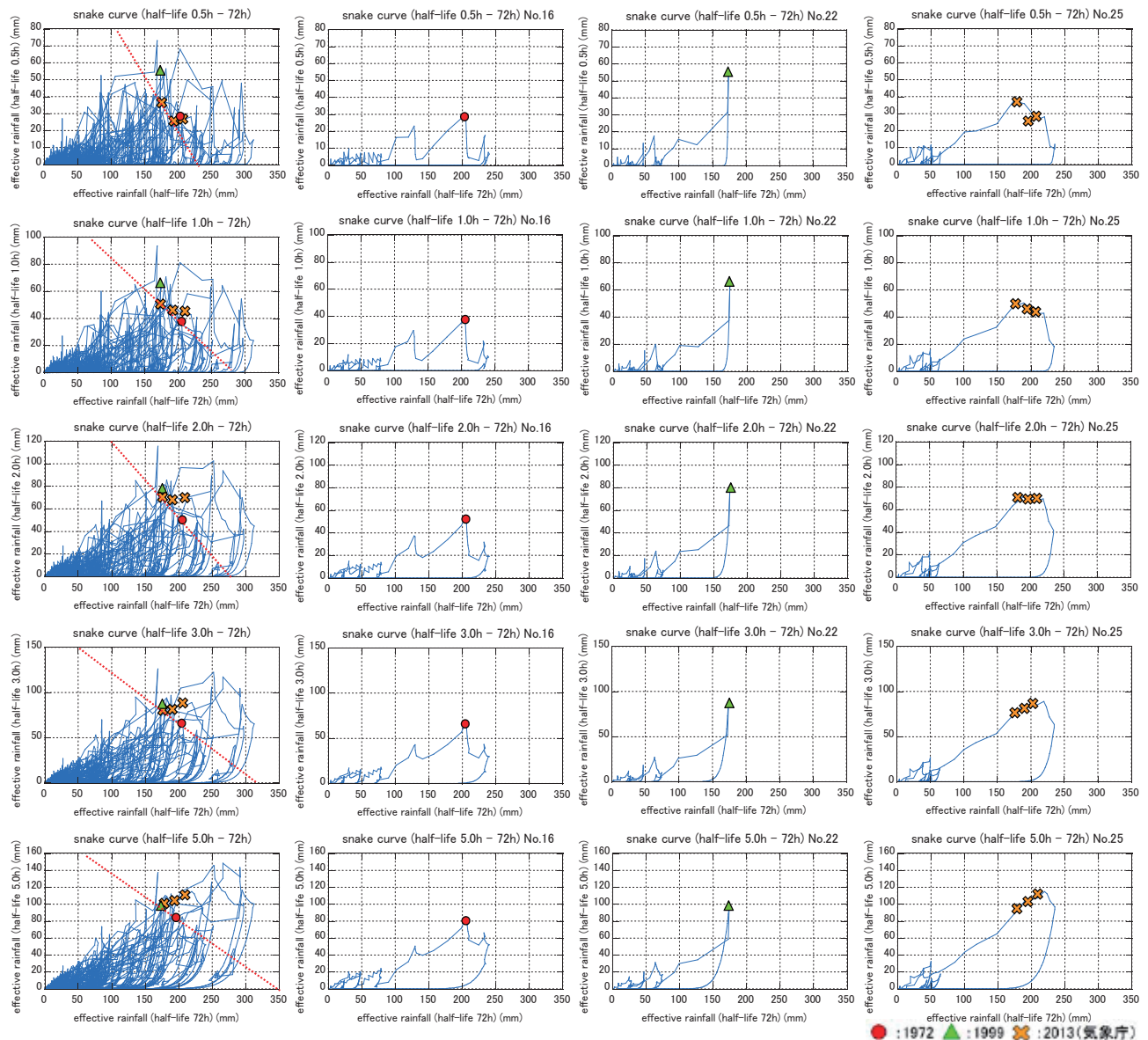


図 8 短期半減期 5case と長期半減期 72h の組合せ

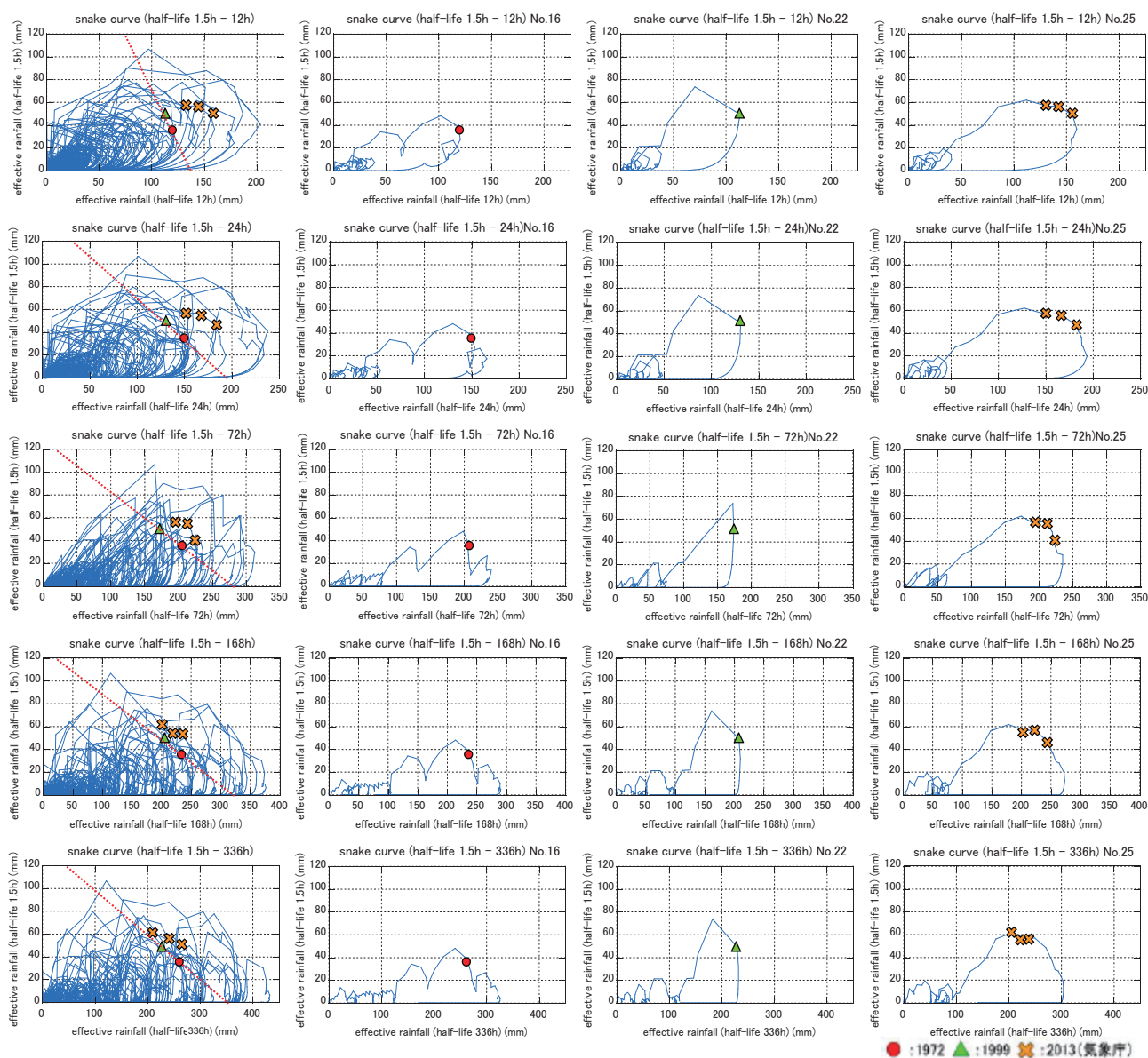


図9 短期半減期 1.5hと長期半減期 5case の組合せ

図8、図9の結果から、プロットには降雨特性の違いが明瞭に出ていることが読み取れる。1999年のように短時間に降雨強度の高い降雨が発生する場合には、スネーク曲線は鋭敏にピーク値を示す形状となる。2013年のように同じ降雨強度の雨が連続する場合はピーク値が出にくい形状となり、最適な警戒基準線を設定するために、崩壊発生時刻をより明確に特定する必要がある。1972年のようにまとまった雨が断続する場合には、図8の5ケースを比較して分かるように短期半減期が短いほど土中水分が減りやすいため、降雨分布に似た形状となりピークが出やすくなる。

長期半減期を一定とし、短期半減期を変化させた場合には、短期半減期が長くなるほど（すなわち図8の下の方に行くほど）3崩壊時のプロットは集中的になり、ピーク寄りに集まる傾向がみられ、空振り率の低下につながると考えられる。また、短期半減期を一定とし、長期半減期を変化させた場合には、3崩壊のプロットは1.5h-168hの組合せでやや集中的であるが、他は比較的分散している。長期半減期が長くなるほど土中に水分が長く貯留される状態を表すため、スネーク曲線の減衰は小さくなり、時間経過とともにプロットが0に近づきやすい形状となる。これは、スネーク曲線が崩壊発生基準線を超えて警戒情報を発表した場合、警戒解除までの時間が長くなることを示す。

7. 考察および結論

本研究では、清水寺で運用している警報システムの警戒基準精度向上を目的とし、基準に用いる雨量指標

について検討を行った。以下に、整理された事項および検討結果について記述する。

- ①清水寺境内で発生した過去の崩壊は、その地形、地質の特徴により、1972年釈迦堂崩壊の斜面と、1999年および2013年に発生した本堂以南の拡張エリア（明治44年の境内整備による）に分けられる。
- ②奥院の南側に延伸された参拝路は断層にほぼ平行しており、参拝路に接して崩壊が複数発生していることから、断層運動による脆弱な素因により、境内の中で比較的高い危険性を有すると考えられる。
- ③境内で発生した崩壊はすべて表層部の崩壊および小規模な崩落であった。
- ④崩壊発生の誘因となった3度の降雨イベントの強度や降り方の特性はそれぞれ異なっており、事例が少ない上に、指標が分散するため、精度の良い基準を設定することは困難である。
- ⑤崩壊時と同等程度以上の降雨イベントは、132年間のうちで22回あった（3回の崩壊時を含めない）。
- ⑥台風に起因する豪雨は、京都では非常に稀である。
- ⑦時間雨量と累積雨量を用いた組合せ雨量として、検討した4ケースのうち最も適切な組み合わせは、短期雨量指標に最大12時間雨量－長期雨量指標に連続雨量、であった。
- ⑧清水寺においては、土壌雨量指数の履歴順位は一般的な傾向と異なり、履歴順位での評価は危険である（低い履歴順位でも崩壊する可能性が高い）。
- ⑨3段タンクモデルの第一タンクに着目することで、予測精度を向上させられる可能性がある。
- ⑩実効雨量を評価指標として用いる場合、短期半減期は長く設定する方が有効であると考えられる。

検討した各種雨量指標は、いずれも空振り率が高い結果を示した。この原因として、A：崩壊事例が少ないこと、B：誘因である降雨よりも素因の崩壊への寄与率が高いこと、が考えられる。清水寺においては土砂災害発生件数が少なく、3件が異なる降雨特性の雨で崩壊していたことから、統計的手法により精度のよい評価基準を得ることは困難であった。今後、警戒基準の精度を高めるには、雨量指標だけではなく、素因を加味した評価モデルを検討する必要があると考えられる。

謝辞：現地調査および計測を含む研究に対しては清水寺および京都府に、また崩壊地の地質状況確認等については内外エンジニアリング(株)梶間義弘様にご協力をいただきました。ここに記して、深謝致します。

参考文献

- 1) 京都府教育庁：「国宝 清水寺本堂ほか8棟 保存修理事業」，http://www.kyoto-be.ne.jp/bunkazai/cms/?page_id=45，（参照 2014.3.19）。
- 2) 文化庁：世界遺産「古都京都の文化財」，<http://bunka.nii.ac.jp/jp/world/suisensyo/kyoto/MAINTTEXT/1-j.html>，（参照 2014.3.19）。
- 3) 朝日新聞：清水の不思議な舞台裏，2012.6.5夕刊5面，2012。
- 4) 酒匂一成・深川良一・岩崎賢一・里見知昭・安川郁夫：降雨時の斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地モニタリング，地盤工学ジャーナル，Vol.1，NO.3，pp.57-69，2006。
- 5) 国際日本文化研究センター公開データベース，竹原春朝斎：都名所図会 左青龍再刻「音羽山清水寺」，吉野屋（国際日本文化研究センター所蔵），巻之三，p.22，1786（再板本）。
- 6) 株式会社キンキ地質センター：清水寺境内斜面・溪流調査報告書，pp.16-17，2005。
- 7) 内外エンジニアリング株式会社：平成25年度 国宝（建造物）清水寺本堂環境保全事業（災害復旧），ボーリング調査データ，2014。
- 8) 京都府教育委員会：昭和五十年五月重要文化財清水寺釈迦堂修理工事報告書，p.2，1975。
- 8) 朝日新聞：舞台東側の裏山くずれ，昭和47年7月13日，1972。
- 9) 毎日新聞：清水寺で土砂崩れ，平成11年6月28日，1999。
- 10) Y.Ishida, M.Fujimoto, R.Fukagawa, K.Sako and T. Danjo：Consideration of rainfall index for slope failure at the world heritage Kiyomizu-dera, The 14th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 2014. (2014.9月開催，2014.5.14acceptance)。
- 11) 岡田憲治：土砂災害の軽減に向けた「土壌雨量指数」の開発，消防科学総合センター，季刊消防科学と情報，No.60，2000。
- 12) ISHIHARA Yasuo, KOBATAKE Shigeki: Runoff Model for Flood Forecasting, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Vol.29, No.1, p.33, 42, 1979。