

## 論文

## 神戸・六甲山系で3つの土砂災害を発生させた降雨特性\*1

佐藤忠道\*2・執印康裕\*3

佐藤忠道・執印康裕：神戸・六甲山系で3つの土砂災害を発生させた降雨特性 九州森林研究 75：93－96，2022 本研究では，昭和13年豪雨，昭和36年豪雨，昭和42年豪雨で斜面崩壊による土砂災害が発生した神戸・六甲山系を対象として，土砂災害の誘因である降雨特性を比較・検討した上で，災害規模との対応関係と治山・砂防工事の効果について考察を加えた。その結果，最大1時間雨量ならびに積算雨量から検討すると，両指標が同程度である昭和13年豪雨と昭和36年豪雨の被害規模の比較によって，昭和36年豪雨において治山・砂防対策工事の効果の発揮されたことが推察された。一方，三段直列タンクモデルから検討すると，土砂災害の発生には一段目のタンク貯留量が関与していること，その大きさは昭和42年，昭和13年，昭和36年の順で大きいことを明らかになった。また，昭和13年豪雨と比較して一段目のタンク貯留量が大きい昭和42年豪雨において被害規模が小さいことから，昭和42年豪雨において治山・砂防対策工事の効果が発揮された可能性が極めて高いことが示唆された。

キーワード：降雨特性，神戸・六甲山，三段直列タンクモデル，治山・砂防，土砂災害

## I. はじめに

豪雨を誘因とする斜面崩壊によって発生する土砂災害の被害の範囲や規模は，誘因である降雨と地形，地質，植生等の素因に加えて，その地域の人口，社会経済的な状態によって規定される。また，林業や山地の開発などの自然環境に対する人間活動は，素因の状態を変化させ，土砂災害と人間社会との関係を変化させる。

この関係を示す代表的なものが神戸・六甲山系である。神戸・六甲山系は，急峻な地形や脆弱な地質といった自然条件，山麓の狭隘な区域に人口および資本が集中するといった社会条件を有する。また，樹木・石材の採取や開発行為等の人間活動の影響もあって，これまでに数多くの土砂災害が発生してきた。近年，特に被害が大きかった土砂災害としては，昭和13年豪雨，昭和36年豪雨，昭和44年豪雨（以下，3つを併せて呼称する場合は「昭和三大豪雨」とする）が挙げられる。これらの中で最も被害が大きかった昭和13年豪雨以降の土砂災害では人的被害ならびに物

的被害は大幅に減少している。これは，明治中期からの治山事業に加えて，昭和13年豪雨直後に開始された六甲山系砂防工事によって設置された砂防堰堤等の効果が発揮されたためと指摘されている（たとえば，神戸市建設局土木部緑地砂防課，1961；六甲砂防事務所1988；山田，2018）。治山・砂防工事の効果を議論する上では，土砂災害による被害の多寡に着目することが重要である。その一方で，土砂災害の誘因となった降雨特性が異なることを考慮すれば，被害の多寡のみならず，降雨特性の比較を行った上で治山・砂防工事の効果を検討することも重要となる。昭和三大豪雨の降雨特性については，主に最大1時間雨量や積算雨量，降雨波形に着目した比較・検討が行われてきた（たとえば，安仁屋，1968；沖村，2010；渡辺・瀬尾，1968）。他方，わが国における代表的な降雨指標として，Ishihara and Kobatake (1979)によって提案された三段直列タンクモデルが挙げられる。三段直列タンクモデルは，先行降雨の影響を取り込んだ概念モデルによる降雨指標であり，土砂災害と降雨の関係を広域的かつ同一基準で評価することができるという特徴を有する。

本研究では上記の点に着目し，従来からの最大1時間雨量，積算雨量に加えて三段直列タンクモデルを用いて神戸・六甲山系で土砂災害を発生させた昭和三大豪雨の降雨特性を比較・検討した上で，降雨特性と災害規模との対応関係および治山・砂防工事の効果について明らかにする。

## II. 手法

## 1. 対象地

対象地は，神戸・六甲山系である（図-1.）。六甲山系は，大阪湾の北岸に位置し，六甲山（931 m），摩耶山（702 m）を中心とした北東から南西方向の長さ約30 km，幅約8 kmの上昇山地である（古池，2005）。六甲山系の北西部には緩斜面が続き，北東部には縦侵食の激しい峡谷が存在する。南東部は急な斜面で区切られ階

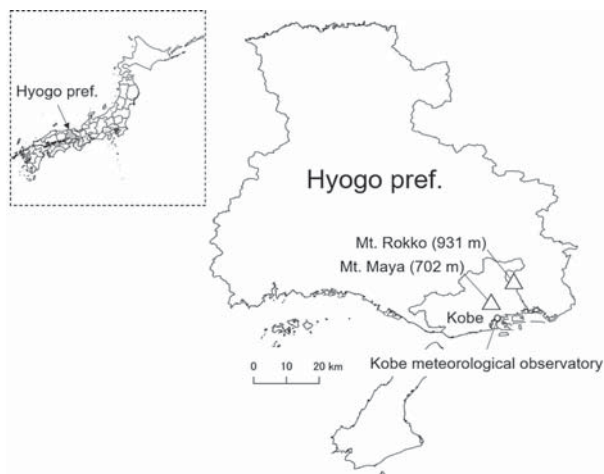


図-1. 対象地および降雨観測所の位置概略

\*1 Sato, T., Shuin, Y.: Rainfall characteristics caused three sediment disasters in the Rokko cordillera in Kobe.

\*2 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395, Japan

\*3 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395, Japan

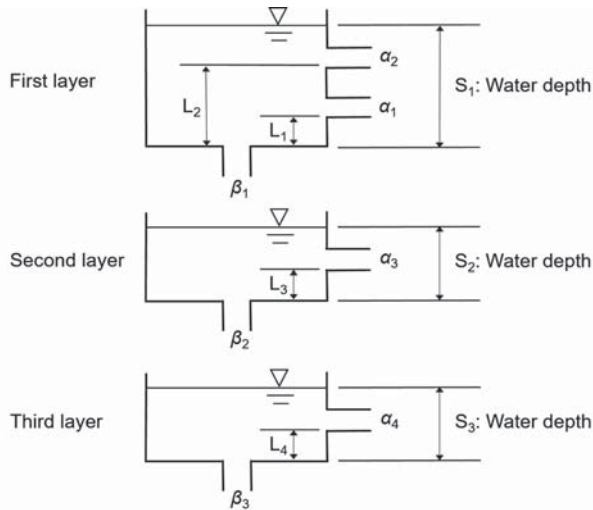


図-2. 三段直列タンクモデル (Ishihara and Kobatake, 1979)

表-1. 三段直列タンクモデルのパラメータ (Ishihara and Kobatake, 1979)

	一段目	二段目	三段目
流出孔の高さ (mm)	$L_1$ 15.0 $L_2$ 60.0	$L_3$ 15.0	$L_4$ 15.0
流出係数 (/h)	$a_1$ 0.10 $a_2$ 0.15	$a_3$ 0.05	$a_4$ 0.01
浸透係数 (1/h)	$\beta_1$ 0.12	$\beta_2$ 0.05	$\beta_3$ 0.01

段状に大阪湾に落ち込む。山頂面には隆起準平原面が残されており、周辺にも多くの侵食残丘面が見られる。山系の地質のほとんどは、花崗岩類（六甲花崗岩、布引花崗岩）で占められ、表土層には花崗岩類が断層活動による破碎作用および降水による化学的風化を受けて生成した「まさ土」が分布する。「まさ土」は降水による侵食や表層崩壊・土石流が発生しやすいといった特徴を有する。

## 2. 降雨特性の分析

降雨特性の分析には、最大1時間雨量、積算雨量、降雨継続時間に加えて、三段直列タンクモデル (Ishihara and Kobatake, 1979) (図-2.) によって算出される各タンク貯留量を指標として用いた。三段直列タンクモデルは、わが国における代表的な概念モデルによる降雨指標であり、現行の土砂災害警戒情報等の判断基準となる土壌雨量指数 (岡田ほか, 2001) の算出にも用いられている。三段直列タンクモデルは、降雨をイベント毎に区切ることなく通年で連続計算することで、先行降雨の影響を取り込むことができる。また、花崗岩分布域の流出解析をもとに決定した素因に関するパラメータ (表-1.) を全国一律で使用している。土砂災害の地域性をより詳細に反映させる観点からは、地域に合わせたパラメータを用いる必要があることは言うまでもない。しかしながら、三段直列タンクモデルは同一のパラメータを用いることによって、異なる地域で発生した土砂災害同士や同一地域内で発生した過去の土砂災害に対して、同一基準で評価を行うものと考えられる。

使用データは、神戸海洋気象台 (現神戸地方気象台) で観測された1897~1967年の1時間雨量のデータである (図-1.)。ただし、1945年は太平洋戦争の影響もあり、データの大半が欠測と

なっているため検討からは除外している。

## Ⅲ. 結果および考察

### 1. 昭和三大豪雨の降雨特性の比較

図-3. および表-2. に昭和三大豪雨の降雨状況を示す。なお、降雨については24時間無降雨を区切りとしている。図-3. および表-2. より、昭和13年豪雨と昭和36年豪雨は降雨波形が異なるものの最大1時間雨量ならびに積算雨量は同程度であること、昭和42年豪雨は他の豪雨災害と比較して積算雨量ならびに降雨継続時間は小さいが、最大1時間雨量は極めて大きいことが確認される。

図-4. および表-2. に昭和三大豪雨における各タンク貯留量の経時変化を示す。タンク貯留量については前章で述べたように通年で連続計算しているため、先行降雨の影響が反映されている。また、図中の矢印は、土砂災害が発生した時刻を示しており、昭和13年豪雨は1938年7月5日正午頃、昭和36年豪雨は1961年6月26日午前8時頃と27日午前11時頃、昭和42年豪雨は1967年7月9日午後9時頃であることが災害報告等 (安仁屋, 1969; 神戸市, 1939; 神戸市建設局土木部緑地砂防課, 1961) によって確認されている。図-4. および表-2. より、全ての豪雨災害において、土砂災害は一段目のタンク貯留量のピーク付近で発生していること、一段目のタンク貯留量の最大値および土砂災害発生時の値は昭和42年豪雨、昭和13年豪雨、昭和36年豪雨の順に大きいことが確認される。タンク貯留量では、最大1時間雨量および積算雨量が同程度であった昭和13年豪雨と昭和36年豪雨に大きな差があることが確認される。

三段直列タンクモデルを用いて斜面崩壊の発生を検討した執印ほか (2019) は、斜面崩壊はいずれかのタンク貯留量が既往最大値を超過した時点で発生していること、表層崩壊の発生に対しては一段目のタンク貯留量に、深層崩壊の発生に対しては二、三段目のタンク貯留量に着目することが有効である点を指摘している。本研究においても、昭和13年豪雨および昭和42年豪雨における土砂災害発生時には、一段目のタンク貯留量が既往最大値を超過していること (図-4., 図-5.), 災害報告等 (たとえば、安仁屋, 1969; 神戸市, 1939; 神戸市建設局土木部緑地砂防課, 1961) によると全ての災害で深層崩壊は発生せず、がけ崩れ (表層崩壊)・土石流が卓越していることから、土砂災害を引き起こした斜面崩壊の発生には一段目のタンク貯留量が関与していると考えられる。

一方、昭和36年豪雨においては、一段目のタンク貯留量が既往最大値を下回っているにもかかわらず、土砂災害が発生している (図-4., 図-5.)。これは、素因の変化によって降雨特性と土砂災害の関係が変化したためと考える。なお、本研究で用いた三段直列タンクモデルでは、素因に関するパラメータが固定されているため (表-1.), 素因の変化の影響は降雨特性と土砂災害の関係の変化として捉えられる。昭和36年豪雨においては、山麓の造成開発によって改変された斜面に起因する土砂災害が多発したことが確認されている (神戸市建設局土木部緑地砂防課, 1961)。また、昭和36年 (1961年) と時期の近い1952年および1958年においては、一段目のタンク貯留量の年最大値が昭和36

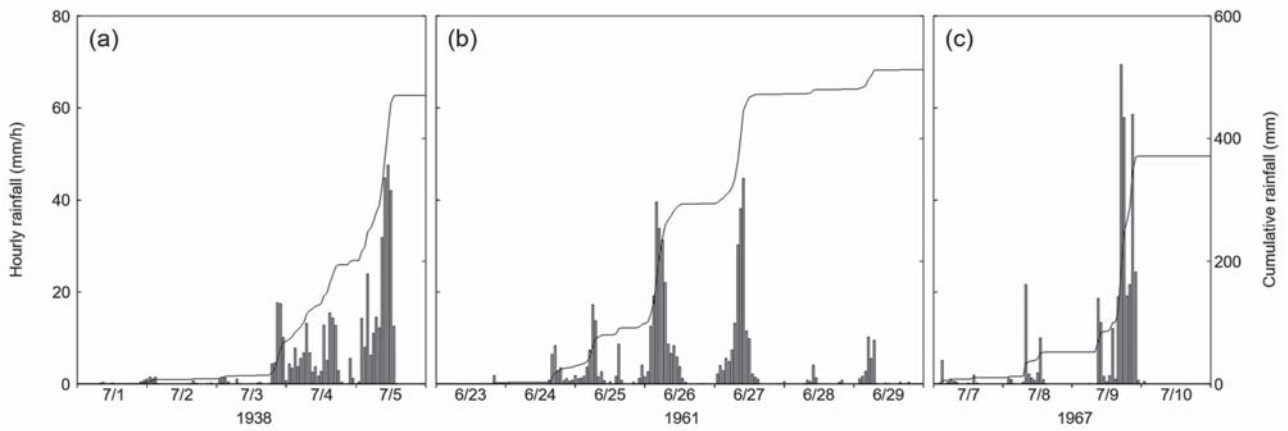


図-3. 三大豪雨時の降雨状況, a: 昭和13年豪雨, b: 昭和36年豪雨, c: 昭和42年

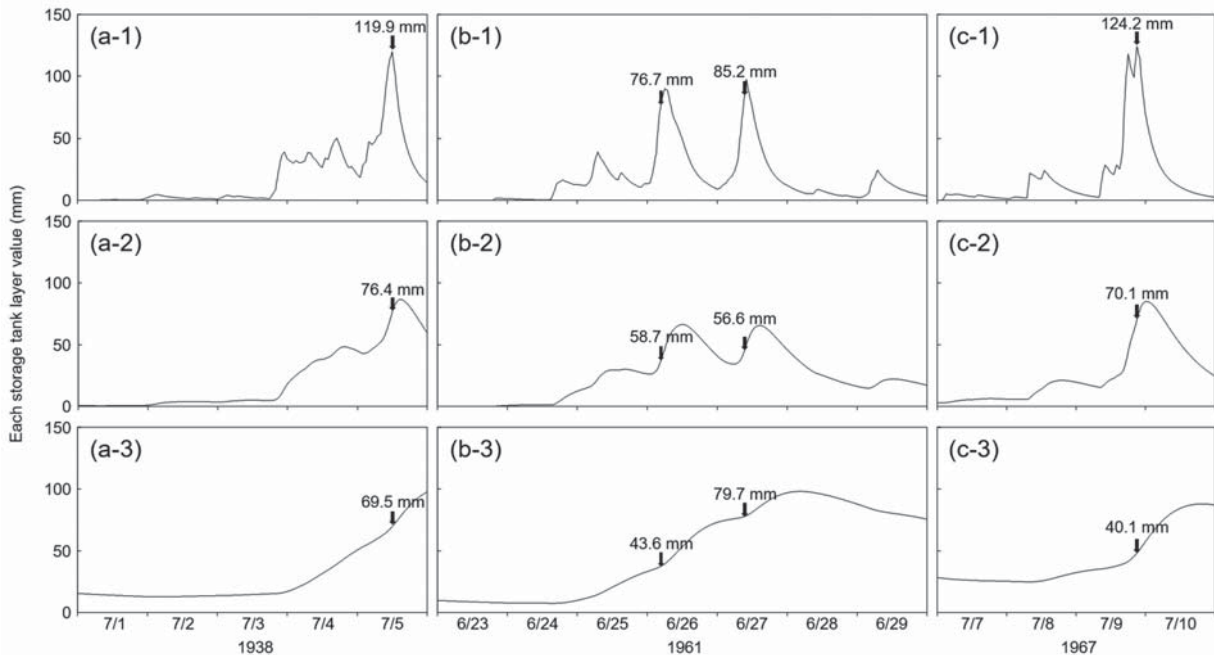


図-4. 三大豪雨における各タンク貯留量(上から1段目, 2段目, 3段目)の経時変化, a-1, 2, 3: 昭和13年豪雨, b-1, 2, 3: 昭和36年豪雨, c-1, 2, 3: 昭和42年豪雨, 黒矢印: 崩壊発生時刻におけるタンク貯留量

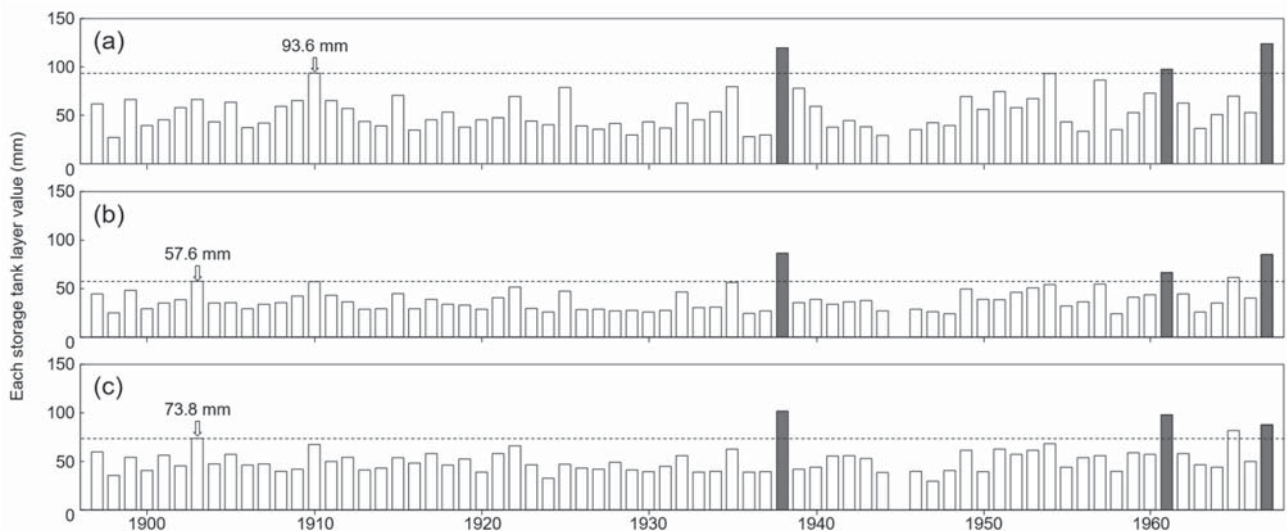


図-5. 1897~1967年における各タンク貯留量の年最大値, 灰色: 土砂災害発生年のタンク貯留量, 白矢印: 災害非発生年のタンク貯留量の最大値

表-2. 昭和三大豪雨の降雨特性の比較

	1938	1961	1967
最大1時間雨量 (mm/h)	47.6	44.7	69.4
積算雨量 (mm)	470.0	513.0	372.0
降雨継続時間 (h)	103	146	72
最大タンク貯留量 (mm)	一段目	119.9	97.5
	二段目	86.5	66.3
	三段目	101.7	98.0

表-3. 三大豪雨の人的・物的被害の比較

	1938	1961	1967
死者・行方不明者 (人)	671	28	90
家屋被害 (戸)	流出 1410	流出	全壊流失
	埋没 845	11	363
	全壊 2213	全半壊	半壊
	半壊 6640	338	361
全壊 (戸)	2658	140	367
家屋浸水 (戸)	床上	22940	2989
	床下	56712	16380
崩壊面積 (ha)	323	-	225
流出土砂量 (万 m <sup>3</sup> )	500~800	-	59

被害状況については、災害報告等（建設省近畿地方建設局六甲砂防工事事務所, 1971；神戸海洋气象台, 1961；神戸市, 1939；沖村, 2010；六甲砂防事務所, 1988）をもとに作成した

年豪雨における土砂災害発生時の値を上回っているが（図-4, 図-5.）, 昭和36年豪雨のような土砂災害の発生は確認されていない。したがって、一段目のタンク貯留量が既往最大値を下回っているにもかかわらず、土砂災害が発生しているのは、高度経済成長を背景した山麓における宅地造成等の影響が示唆される。

## 2. 降雨特性と災害規模の関係

表-3. に昭和三大豪雨の被害状況を示す。なお、表中には、洪水氾濫等による浸水被害も含まれている。表-3. より、人的被害および物的被害は昭和13年豪雨、昭和42年豪雨、昭和36年豪雨の順に大きいことが確認される（ただし、昭和13年豪雨における正確な崩壊面積、流出土砂量は明らかになっていない）。また、昭和13年豪雨以降の豪雨災害においては、人的被害ならびに物的被害が激減している。これは、砂防対策工事の効果であることが指摘されている（沖村, 2010；渡辺・瀬尾, 1968；山田, 2018）。六甲砂防事務所（1988）によると、昭和13年豪雨直後に開始された六甲山系の砂防工事によって、昭和42年までに砂防堰堤174基、流路工8ヵ所、床固め工5基が完成している。

前節で明らかにした降雨特性と災害規模の関係について検討する。最大1時間雨量ならびに積算雨量から検討すると、両指標が同程度の昭和13年豪雨と昭和36年豪雨でその被害に大きな差があることから、昭和36年豪雨において治山・砂防対策工事の効果が発揮されたことが推察される。三段直列タンクモデルから検討すると、土砂災害を引き起こした斜面崩壊の発生に関与した一段目のタンク貯留量が最も小さい昭和36年豪雨で人的被害ならびに物的被害が少ない。したがって、昭和36年豪雨の被害が小さかったのは、土砂災害の誘因である降雨の規模が小さかったためと捉えることもできるため、三段直列タンクモデルを用いた場

合には昭和36年豪雨における治山・砂防対策工事の効果を評価することは難しいと考えられる。一方、昭和42年豪雨は、昭和13年豪雨と比較して一段目のタンク貯留量が大きいにもかかわらず、その被害は小さい。これは、昭和42年豪雨において、砂防対策工事の効果が発揮された可能性が極めて高いことを示している。この効果をタンク貯留量から捉えると、両災害の災害発生時における一段目のタンク貯留量の差である4.3mmだと言える。

## IV. おわりに

本研究では、神戸・六甲山系で土砂災害を発生させた昭和三大豪雨の降雨特性を比較した上で、災害規模との対応関係と治山・砂防工事の効果について簡単に検討した。その結果、最大1時間雨量ならびに積算雨量から検討した場合には、それらの指標が同程度である昭和13年豪雨と昭和36年豪雨の被害規模の比較によって、昭和36年豪雨において治山・砂防対策工事の効果が発揮されたことが推察された。三段直列タンクモデルから検討した場合には、土砂災害を引き起こした斜面崩壊の発生には一段目のタンク貯留量が関与していること、その大きさは昭和42年豪雨、昭和13年豪雨、昭和36年豪雨の順で大きいことが明らかになった。また、昭和13年豪雨と比較して一段目のタンク貯留量が大きい昭和42年豪雨において被害規模が小さいことから、昭和42年豪雨において治山・砂防対策工事の効果が発揮された可能性が極めて高いことが示唆された。

本研究では、土砂災害の誘因である降雨特性に着目して、被害規模や治山・砂防工事の効果について検討した。ただし、土砂災害の発生や被害規模は、人口や土地利用等の影響も受けるため、これらの要因も考慮して検討する必要がある。これについては今後の課題としたい。

## 引用文献

- 安仁屋政武（1968）人文地理 20(4)：454-470  
 古池末之（2005）兵庫県の林業土木史（兵庫県治山林道協会編）、兵庫県治山林道協会、神戸、3-32  
 Ishihara Y and Kobatake S（1997）Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ. 29：27-43  
 建設省近畿地方建設局六甲砂防工事事務所（1971）六甲三十年史、719 pp., 建設省近畿地方建設局六甲砂防工事事務所、神戸  
 神戸海洋气象台（1961）前線性降雨による災害状況  
 神戸市（1939）神戸市水害誌、1368 pp., 神戸市、神戸  
 神戸市建設局土木部緑地砂防課（1961）36.6豪雨による背山（市有地）の山崩れ調査報告  
 岡田憲治ほか（2001）天気 48(5)：349-356  
 沖村孝（2010）砂防学会誌 63(4)：51-58  
 六甲砂防事務所（1988）六甲山の地理—その自然と暮らし—（田中眞吾編著）、神戸新聞出版センター、神戸、276-279  
 執印康裕ほか（2019）砂防学会誌 72(1)：3-11  
 渡辺正幸・瀬尾克美（1968）砂防学会誌（新砂防）20(4)：17-20  
 山田裕司（2018）水利科学 62(4)：138-156  
 （2021年11月13日受付；2022年1月17日受理）