

土石流災害ポテンシャルの定義と民家集落防災形態

DEFINITION OF DISASTER POTENTIAL DUE TO MUDFLOW AND PROTECTION OF PRIVATE HOUSE VILLAGE

福田光治

Mitsuharu FUKUDA

大成ジオテック (〒830-0038 福岡県久留米市西町 1174-10)

E-mail: fuku564b@xug.biglobe.ne.jp

Key Words: mudflow, action pressure, disaster potential, private house village, protection, topography

1. はじめに

国交省告示 332 号は土石流作用圧の計算式である。この作用圧を土石流災害ポテンシャルと解釈して、民家集落の斜面上流境界での作用圧を計算する。作用圧は民家集落への土石流の影響を定量的に評価する指標となる可能性がある。そして民家集落の立地条件による土石流への多様な防災形態を評価する指標になる。本研究は国交省告示 332 号による作用圧を災害ポテンシャルとする意義を追跡している。

これまで 2012 年九州北部豪雨, 1972 年天草水害, そして 2014 年広島土砂災害に対して被災個所における土石流災害ポテンシャルの意義を分析してきた。

本論文では九州北部豪雨による阿蘇山外輪山カルデラ内山麓, 天草水害における倉岳町, 龍ヶ岳町, 姫戸町の土石流被災例を対象に, 国交省告示 332 号の作用圧を土石流災害ポテンシャルとする意義を確認する。

土石流に対する減災の視点からの民家集落の防災構造化が要求される。この基礎となるのが土石流災害ポテンシャルという定量化された相対指標としての地域把握であり, 砂防ダムだけでなく, 石垣囲い民家集落の防災壁としての有効性を研究している。

2. 土石流基礎式と地盤工学

国交省告示 332 号の式は基礎式(1)^{1),2)}から展開される。基礎式は砂防工学で提案された³⁾。

ここに U_e は土塊の速度, h_l , u_l は, それぞれ, 液状化層の厚さ及び平均速度, p_v は間隙水圧, H, L は, それぞれ, 土塊の全高及び長さ, h_s は水で飽和している部分の厚さ, h_a , u_a は, それぞれ, 土塊に後続する流れの厚さ及び平均流速, ρ_t , ρ_b , ρ_a は, それぞれ, 土塊, 液状化層及び後続流の見かけの密度, μ_k は土塊と斜面との間の動摩擦係数, f は液状化部分の流体抵抗係数, L' は L のうちで液状化している部分の長さ, θ は斜面勾配である²⁾。

地盤工学における斜面安定は滑り面に沿う釣り合いで展開され, 基礎体系の基本要素に位置付けられる。 U_e は土塊の滑動速度であるから, 左辺は時間

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt}(\rho_t L H U_e) \\ &= \rho_t g L H \sin \theta - L(\rho_t g H \cos \theta - p_v) \mu_k \\ & - (U_e - u_l) h_l \rho_l u_l - \frac{1}{2} \rho_l f u_l^2 L' \\ & + \rho_a (u_a - U_e)^2 h_a \frac{1}{2} \rho_a \cos \theta g h_a^2 \end{aligned} \quad (1)$$

による長さの 2 階微分になり, 偏微分方程式の形態として双曲型偏微分方程式に分類される。

斜面安定は, 表-1 の赤井の偏微分方程式⁴⁾による分類では双曲型に分類されており, 式(1)は砂防工学での基礎式であるが, 地盤工学の体系にも調和

していると判断した。

土石流災害が発生すると地盤工学の出番になる。しかし従来の地盤工学の体系では砂防ダム設計情報までは提案できるが、広い視野からの民家集落の防災構造を提案するためには、土石流自体の現象にも挑戦しなければならない。このため砂防工学の基礎式を地盤工学の体系に位置付けることによって始めて広い視野として防災思想が展開可能となる。

3. 国交省告示 332 号

国交省告示 332 号^{5), 6)}を式(2)～(5)に示す。

ここに、 F_{sm} ：急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動により建築物の地上部分に作用すると想定される力の大きさ (kN/m^2)， ρ_m ：急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の密度 (t/m^3)， g ：重力加速度 (m/s^2)， h_{sm} ：急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動の当該土石等の移動の高さ (m)， θ_u ：急傾斜地斜面勾配， θ_d ：民家集落上流側境界に接する斜面勾配である。

$$b_u = \cos\theta_u \left\{ \tan\theta_u - \frac{(\sigma-1)c}{(\sigma-1)c+1} \tan\phi \right\} \quad (2)$$

$$a = \frac{2}{(\sigma-1)c+1} f_b \quad (3)$$

$$b_d = \cos\theta_d \left\{ \tan\theta_d - \frac{(\sigma-1)c}{(\sigma-1)c+1} \tan\phi \right\} \quad (4)$$

$$F_{sm} = \rho_m g h_{sm} \left[\frac{b_u}{a} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{2aH}{h_{sm} \sin\theta_u}\right) \right\} \cos^2(\theta_u - \theta_d) \exp\left(-\frac{2aX}{h_{sm}}\right) + \frac{b_d}{a} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{2aX}{h_{sm}}\right) \right\} \right] \quad (5)$$

表-2 に文献 6) のパラメータを整理した例を示す。計算高さ，斜面勾配は対象地形から計測できる。土石等の密度，密度比重，流体抵抗係数，土石等の内部摩擦角などは概略的な値として想定できる。重力加速度は確定したパラメータになる。土石等の容積濃度は土石流が発生する場所の地質，地形，風化形態，河床構成土砂形態，降水量などに異なることが予想される。移動の高さも場所ごとに異なるが，砂防便覧⁷⁾などのデータでは図-1 のように整理され、

表-1 偏微分方程式の形態による地盤工学の分類⁴⁾を編集

基礎式	$Ar+Bs+Ct=D$		
型	1. 双曲型	2. 放物型	3. 楕円型
判別式	$B^2 - 4AC > 0$	$B^2 - 4AC = 0$	$B^2 - 4AC < 0$
現象	伝播	擬似定常	平衡
代表例	$u_{tt} = c^2 u_{xx}$	$u_t = \kappa^2 u_{xx}$	$u_{xx} + u_{yy} = 0$
説明	uの値は不連続を保有したまま，有限速度cで空間内を伝播する。	uの値はx方向には速度 ∞ で伝播するが，t方向にはゆるやかに変化する。	外乱の影響は一瞬の後には速度 ∞ で内域全体に伝わり，積分曲面uを唯一に決定する。
土質力学問題	せん断・斜面安定・土圧・支持力・動的性質	浸透（非定常）・圧密・侵食	浸透（定常）・地盤内応力分布

表-2 パラメータ例

項目	記号	単位	平均値	標準偏差
計算高さ	H	m	18.840	17.252
斜面勾配	θ_u	°	40.867	9.969
土石等の密度	ρ_m	t/m ³	1.677	0.211
重力加速度	g	m/s ²	9.800	0.000
土石等の密度比重	σ	t/m ³	2.618	0.062
土石等の容積濃度	c	—	0.500	0.000
土石等の流体抵抗係数	f _b	—	0.025	0.000
土石等の内部摩擦角	ϕ	°	28.040	10.078
移動の高さ	h _{sm}	m	0.993	0.305

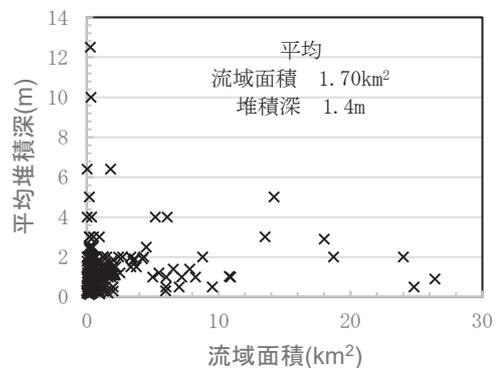


図-1 平均堆積深

平均堆積深 1.4m である。

本論文では民家集落の立地条件は民家集落が立地する上流側斜面と上流側急傾斜地斜面勾配のパラメータに反映させ，その他のパラメータは一律同じとしている。堆積深として平均堆積深の概略的な値として 2m を用いる。従って計算される作用圧は概略的な値であり，民家集落が立地する斜面勾配をパラメータとする概略的な作用圧値の相対的な大きさにより地域の土石流災害の被災レベルを評価することを試みる。この意味で概略的な作用圧を土石流災害



図-2 火山研究所と河陽

ポテンシャルと定義している。

土石流災害ポテンシャルによる個々の地域における災害発生可能性を求めることが本論文の研究目的である。具体的なパラメータは、土石流災害が発生した場所で個別に選定される。本研究は土石流災害の発生前に評価するので、相対的な災害ポテンシャルが対象になり、地域ごとの重み係数の評価が研究対象になる。このため対象とする民家集落上流の地形の断面線には凹凸があるが、民家集落が立地している上流側斜面と上流側急傾斜地斜面を2直線で近似化した。民家集落が立地する基盤勾配は急傾斜地に最も近い集落あるいは民家を対象に、この集落ののる基盤を急傾斜地の方向に延長した。図-2, 3に京都大学阿蘇火山研究所河陽の近似例を示す。下流側の地形勾配は民家集落が立地する基盤勾配の近似直線そして上流側急傾斜地斜面は山麓の地形勾配を示す。

4. 阿蘇カルデラ内ハザードマップと天草上島ハザードマップ

熊本県ハザードマップ⁸⁾で示されている阿蘇カルデラ内の土石流危険箇所と天草上島の土石流危険箇所を示す。図-4, 図-5は1990年, 2012年に土石流で被災した坂梨と立野周辺の土石流危険箇所である。図-6は2012年九州北部豪雨に土石流により被災し

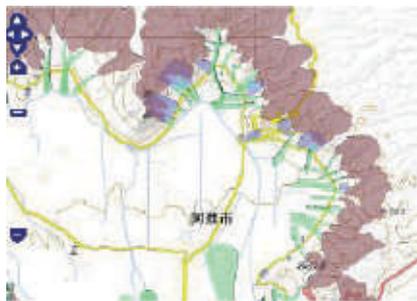


図-4 阿蘇カルデラ内手野周辺の危険箇所⁸⁾

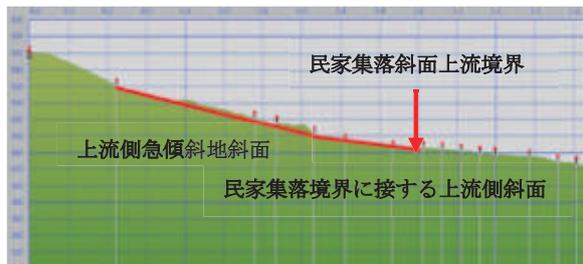


図-3 断面線と地形勾配の近似直線



図-5 阿蘇立野周辺の危険箇所⁸⁾

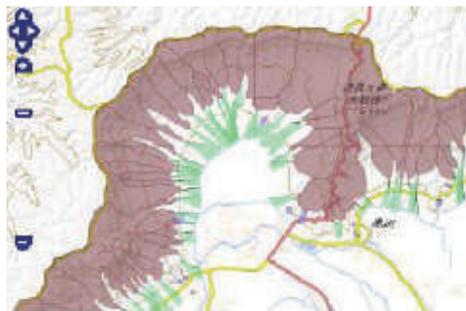


図-6 阿蘇カルデラ内内牧周辺危険箇所⁸⁾



図-7 天草上島土石流危険箇所⁸⁾

た内牧周辺の土石流危険箇所を示している。

図-7は1992年天草大水害で被災した天草上島の

倉岳町, 龍ヶ岳町, 姫戸町に着目した土石流危険箇所を示している。

いずれも広域的に危険箇所が指定されており, 全ての地域で防災対策が必要になる. しかし予算には限度があり, 危険箇所に重み付けをして対処しなければならない. またこのような危険箇所一色で囲まれても砂防ダムによる防災対策が優先される.

5. 土石流災害ポテンシャルからみた阿蘇カルデラ内民家集落

町史などを整理すると阿蘇カルデラ内では約20年に1回豪雨災害が発生している. 直近では1990年坂梨水害, 2012年九州北部豪雨である. 図-8⁹⁾に示すように2012年九州北部豪雨では阿蘇谷の東側(坂梨, 三野, 手野)と西側(赤瀬)及び立野周辺で土石流が多発している⁹⁾. 文献5)から民家集落の被災に焦点をあてて整理すると表-3になる.

表-2を参考にして, $c=0.5$, $f_b=0.025$, $\phi=30^\circ$, $h_{sm}=2m$ 等として計算した作用圧を土石流災害ポテンシャルとして整理した結果を図-9に示す.

阿蘇カルデラ内土石流災害ポテンシャルは民家集落背面急傾斜斜面勾配が緩やかになるに従い, 作用圧(土石流災害ポテンシャル)は小さくなり, 右上方から左下方に向かう傾向を示している. 阿蘇山カルデラ内の位置関係は, 中央火口丘を座標にして, 北部を阿蘇谷, 南部を南郷谷と呼ばれている. 図より阿蘇谷の土石流災害ポテンシャルが大きく, 南郷谷は相対的に小さいポテンシャルになる. ここでは掲載していないが, 阿蘇山中央火口丘山麓に立地する民家集落の災害ポテンシャルは阿蘇山カルデラ外壁内山麓民家集落の災害



図-8 土石流発生位置⁹⁾

表-3 九州北部豪雨被災例

地域	死者・行方不明	全壊	全半壊	半壊	家屋被害	現象
新所	2	4		2		集落上流で土石流停止
赤瀬						斜面崩壊認められない
三久保 内牧	3					
手野①	5	3				
五の二地区 (東手野)			2以上			
手野②	1		14			
山閑	2				8	
古閑	1	3				
三野	1	5				
塩井						砂防ダム捕捉, 家屋周辺に堆積
野中 坂梨	6		12			家屋周辺堆積

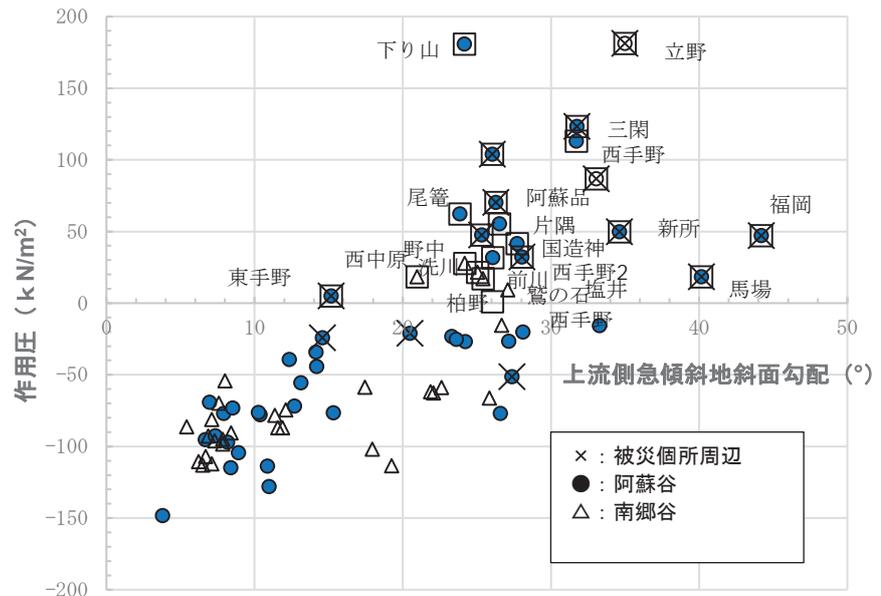


図-9 阿蘇山カルデラ内の土石流災害ポテンシャル

ポテンシャルに比べてやや小さい。

熊本県調査結果で示された土石流で被災した箇所⁹⁾付近断面の土石流災害ポテンシャルは大部分が正であり、データのばらつきでは右上方にプロットされている(図中の×印)。

表-3には、斜面崩壊は発生したが、人家への影響が軽微であった赤瀬、塩井の被災状況を示している。両地域の被災形態は民家集落の在り方に関する情報を与える。赤瀬では集落上流で土石流が停止したという記述になっている。塩井は砂防ダムで捕捉されたが、捕捉を超越した土石流による土砂が民家集落周辺に堆積している。土石流災害ポテンシャルは、赤瀬は -26.6kN/m^2 、塩井は 49.9kN/m^2 である。つまり赤瀬の地形条件では、土石流は民家集落に達しなかった現象がマイナスの災害ポテンシャルとして表現されている。塩井の土石流災害ポテンシャルはプラスであるが、もし砂防ダムによる捕捉がなかった場合は、民家集落は被災した可能性が高いことを予想させる。

6. 天草大水害と民家集落の土石流災害ポテンシャル

1972年7月6日に天草大水害が発生し、天草上島の倉岳町、龍ヶ岳町、姫戸町は表-5, 6に示すように甚大な被害を受けた^{10), 11)}。被災個所の背後には北東から南西方向に帯状に延びる急峻な山地が控え、土石流が民家集落を襲った。天草島は、南側から北側に、御所浦層群、姫の浦層群、弥勒層群(赤崎層、白岳砂岩層)、本渡層群(教良木層、砥石層)、坂瀬川層が分布し、地質時代は北西方向に若くなる。

全体的には被災地周辺では扇状地の発達が目立たない。しかし倉岳町棚底では、天草島で最も広大で、顕著な扇状地が特徴になり、民家集落の形態を制約している。天草の豪雨災害履歴を調べると約80年に1回遭遇し、阿蘇カルデラ内履歴に比べ再現期間は長い。

倉岳町は西側から東側に向かって、宮田、棚底、浦の3地区で構成されているが、両側

表-4 1972年天草大水害の被害

	人的被害(人)		物的被害(戸)		町勢状況	
	死者	重軽傷者	全壊	半壊	人工(人)	世帯数
松島町	4	7	47	181	9899	2388
姫戸町	45	74	124	38	4636	1137
龍ヶ岳町	36	80	218	84	7079	1703
倉岳町	28	88	74	177	5524	1371
栖本町	2	0	19	38	3924	959
5町計	115	249	482	518	31062	7558
県全体	123	312	580	850	1700229	436469

表-5 倉岳町の被災

倉岳町	死者(人)	行方不明(人)
宮田	6	3
棚底	0	0
浦	7	9
死者+行方不明(人)		25

の宮田、浦の被害が大きく、真ん中の棚底の被害は軽微である¹²⁾。棚底の民家集落は広大な扇状地上に立地しており、3方向が石垣に囲まれ、海岸側には石垣がない民家集落の構造形態が特徴になっている。広大な扇状地は倉岳や矢筈岳から供給された珒岩が多量に堆積しており、開拓ではこの玉石を除去しなければならない。この処理がだんだん畑の石垣と、民家集落3方向囲い石垣形成につながったと考えられる。

図-10に示す土石流災害ポテンシャルは阿蘇カルデラと同じように右から左方向に減少する傾向を示し、民家集落背後の山麓急傾斜地斜面勾配が緩くなるに従い、災害ポテンシャルは減少する傾向を示す。

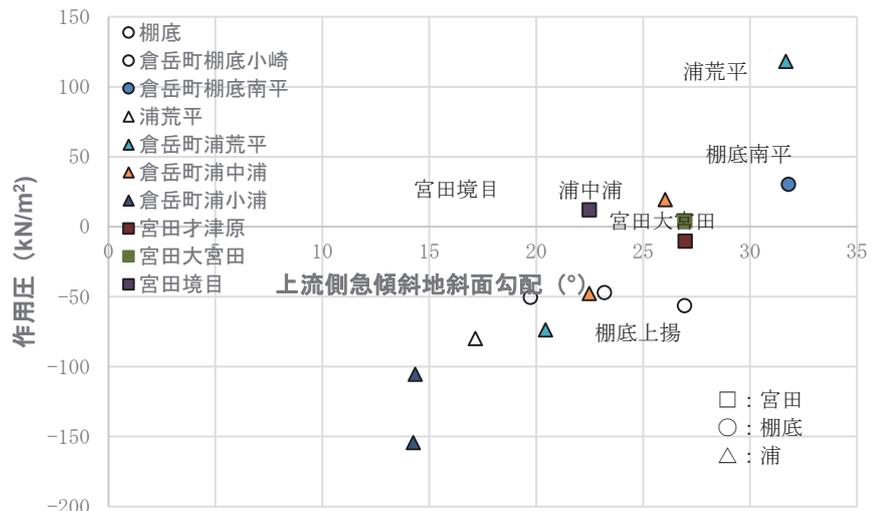


図-10 倉岳町の土石流災害ポテンシャル

図-11 は倉岳町の土石流災害ポテンシャルである。倉岳町3地域の中央に位置する棚底の典型例が棚底上揚で、扇状地に沿う断面を検討したが、作用圧は -56.6kN/m^2 である。棚底で唯一土石流が確認された南平の作用圧は 30.2kN/m^2 である。ヒアリングと現地視察では石垣が防災壁の役割を果たし、土石流を止めて民家集落の被災には至らなかったことを確認している。

民家集落が被災した浦、宮田の土石流災害ポテンシャルは必ずしも被災した地形断面をトレースしたものではないが、被災した集落の立地点の断面を選定している。概略的には作用圧がプラスの地域で土石流被災に遭遇している可能性が高い。従って天草大水害における倉岳町の民家集落の立地環境が土石流の被災形態に影響している可能性が高い。

龍ヶ岳、念珠岳の南西側に立地する龍ヶ岳町、姫戸町の土石流災害ポテンシャルを図-11 に示す。文献 11)の地名を頼りに断面線を選定したが、マイナスの作用圧も多く、今後の課題に残された。

7. おわりに

本論文では 2012 年九州北部豪雨災害における阿蘇カルデラ内被災位置、1972 年天草大水害における天草上島の被災位置の地形勾配と民家集落のありかたを土石流災害ポテンシャルによる解釈を試みた。

災害ポテンシャルは国土省告示 332 号で示された式で定義した。この式は地盤工学の体系にも位置付けができることを示した。

熊本県ハザードマップでは土石流危険箇所で彩られた地域が連なる。本論文で着目した阿蘇カルデラ内外輪山山麓、天草上島の被災位置は土石流危険箇所で彩られている。そして限られた防災予算は、土石流危険箇所の重み付けが行なわれ、砂防ダムに限定された防災構造化が遂行される傾向になる。また庶民の目にも砂防ダムができると安心感を持つ傾向がうかがわれる。

本論文では土石流災害ポテンシャルは土石流危険箇所を定量化する指標としての可能性を検討した。また土石流災害ポテンシャルは民家集落の立地条件、民家防災形態の意識改善に役立つ概念になることを示した。

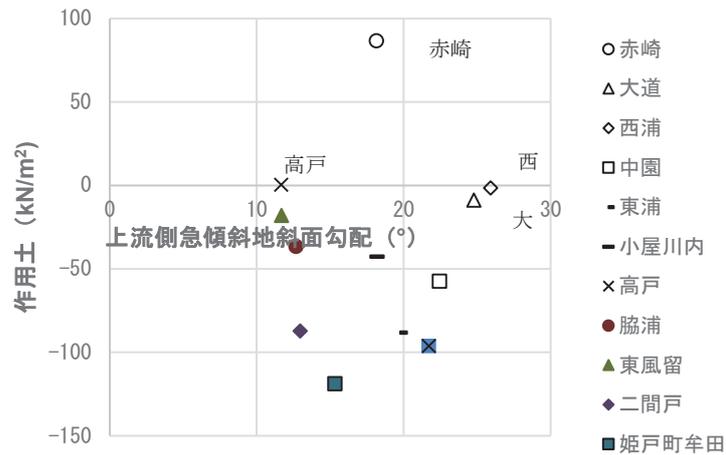


図-11 龍ヶ岳町、姫戸町土石流災害ポテンシャル

参考文献

- 1) 高橋保：地質・砂防・土木技術者/研究者のための土石流の機構と対策，近未来社，pp.56-61，2004。
- 2) 高橋保：地質・砂防・土木技術者/研究者のための土石流出現象と土砂災害対策，近未来社，pp.57-87，2006。
- 3) 芦田和男，江頭進治，神矢弘：斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究，京都大学防災研究所年報，vol. 27，pp.331-340，1984。
- 4) 赤井浩一：土木工学大成 7 土質力学特論，森北出版，p.118，1974。
- 5) 国土省：国土交通大臣が定める方法を定める告示（平成13年3月28日国土交通省告示第332号），2001。
- 6) 小山内信智，内田太郎，曾我部匡敏，寺田秀樹：がけ崩れによる家屋被災範囲の設定手法に関する研究，国土交通省国土技術政策総合研究所，国土技術政策総合研究所資料，No.225，pp.5-6，January 2005。
- 7) 建設省河川砂防部編集：砂防便覧平成7年版，全国治水砂防協会発行，1995。
- 8) 熊本県：土砂災害情報マップ，<http://sabo.kiken.pref.kumamoto.jp/website/indexnew>
- 9) 熊本県：阿蘇地域土砂災害対策委員会，第一回委員会討議資料，2012。
- 10) 井上正康：天草と真幸との山くずれ，地盤工学会，土と基礎，Vol.21，No.7，pp.17-20，1973。
- 11) 熊本県土木部砂防課，熊本県治水砂防協会：上天草の砂防災害と復旧，p.5，1973。
- 12) 熊本日日新聞：1972年7月7日

(2018.5.18 受付)