

HyperKANAKO による土石流の再現計算と再現計算上の課題について

アジア航測株式会社 ○柏原佳明、臼杵伸浩、吉野弘祐、高橋秀明、太井正史
 京都大学名誉教授 水山高久

1. はじめに

わが国では、毎年豪雨等に起因した土石流により甚大な被害が発生している。土石流による被害を軽減するためには、発生しうる土石流の実態を予測することが重要になる。このため従来から土石流の数値シミュレーションが多く行われてきているが、近年では堀内ら（2012）による HyperKANAKO の開発もあり、土石流による氾濫範囲や流体力を数値シミュレーションにより比較的簡易に算出することが可能となってきた。本報告では、昨年度報告した H30 広島災害の再現計算事例（柏原他、2020）について、災害前後の空中写真の比較等による保全対象の被災状況の精査等を行った上で、再現された土石流と被災家屋の比較を行い、土石流の再現に影響を与えた点を整理した。

2. 土石流流体力と被災家屋の比較

土石流の再現計算は、広島県委員会等で家屋被災の状況が調査されている 11 溪流で実施している。これらの溪流について、災害前後の空中写真を確認し、家屋の全壊および半壊の区別を行った。また、Google のストリートビュー等を参考に家屋構造を木造と非木造に分類した。その上で再現計算により土石流が到達した家屋と土砂災害警戒区域内の家屋 1,246 戸について、再現計算による土石流の流体力と被災有無を対比した。整理は 2kN/m ごとのカテゴリで区分した。カテゴリごとの被災家屋数と被災率を表 1 に、被災率を表 2 に示す。

非木造家屋は全壊した家屋が 2 戸存在するが、いずれも 20kN/m 以上であった。非木造家屋は全体で 27 戸確認できたが、実際に被災した家屋は 2 戸のみであり、今回の溪流では家屋構造の違いによる被災状況の違いを詳細に考察すること

表 1 家屋位置の流体力

流体力 (kN/m)	全家屋			全壊			半壊		
	ALL	木造	非木造	ALL	木造	非木造	ALL	木造	非木造
0	599	589	10	4	4	0	18	18	0
0-2	425	417	8	28	28	0	40	40	0
2-4	68	65	3	12	12	0	22	22	0
4-6	25	25	0	8	8	0	7	7	0
6-8	19	19	0	4	4	0	5	5	0
8-10	20	20	0	4	4	0	5	5	0
10-12	8	8	0	3	3	0	3	3	0
12-14	10	10	0	2	2	0	4	4	0
14-16	8	7	1	3	3	0	2	2	0
16-18	5	5	0	1	1	0	0	0	0
18-20	7	6	1	1	1	0	3	3	0
20-	52	48	4	20	18	2	19	19	0
計	1246	1219	27	90	88	2	128	128	0

表 2 流体力階ごとの被災率

流体力 (kN/m)	全家屋			全壊			半壊		
	ALL	木造	非木造	ALL	木造	非木造	ALL	木造	非木造
0	1%	1%	0%	3%	3%	0%			
0-2	7%	7%	0%	9%	10%	0%			
2-4	18%	18%	0%	32%	34%	0%			
4-6	32%	32%		28%	28%				
6-8	21%	21%		26%	26%				
8-10	20%	20%		25%	25%				
10-12	38%	38%		38%	38%				
12-14	20%	20%		40%	40%				
14-16	38%	43%	0%	25%	29%	0%			
16-18	20%	20%		0%	0%				
18-20	14%	17%	0%	43%	50%	0%			
20-	38%	38%	50%	37%	40%	0%			

は難しい状況であった。全壊家屋は全 90 戸のうち 4 戸 (4.4%)、半壊家屋は全 128 戸のうち 18 戸 (14%) が流体力 0kN/m となっており、再現計算上土石流が到達していない結果となった。流体力の大きさごとに全壊・半壊の被害率を確認すると、半壊の家屋のほうがやや流体力の小さい範囲 (0-14kN/m 程度) での被災率が高かった。

3. 計算レッドゾーンと被災家屋の比較

再現計算結果を用いて、計算メッシュごとに流体力および建築物の耐力を計算し、流体力が上回る範囲を計算レッドゾーンとして、家屋位置が計算レッドゾーンに該当するか確認した。ここでは、土砂災害防止法に基づき、流体力は (1) 式で計算し、建築物の耐力は (2) 式で計算した。

$$F_d = \rho_d \cdot U^2 \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{35.3}{H_3(5.6 - H_3)} \quad (2)$$

ここに、 F_d : 土石流による建築物に作用すると想定される力の大きさ (kN/m²)、 ρ_d : 土石流の密度 (t/m³)、 U : 土石流の流速 (m/sec)、 P_2 : 通常の建築物が土石流に対して住民等の生命又は身体に著しい危害が生じるおそれのある損壊を生ずることなく耐えることができる力の大きさ (kN/m²)、 H_3 : 土石流により力が通常の建築物に作用する場合の土石流の高さ (m) である。

表 3 には、再現計算による家屋位置がレッドゾーンに相当するか否か整理し示す。また、表 4 には、計算によるレッドゾーンごとの被災率を示す。レッドゾーン相当と判定された家屋は 117 戸で、そのうち全壊は 35 戸、半壊は 37 戸であった。被災率は各々 30%、32% であり、レッドゾーン相当と判断された家屋の 62% (72 戸/117 戸) が全壊あるいは半壊の被害となっていた。一方で、計算上レッドゾーン外となった家屋についても 5% が全壊、8% が半壊の被害を受けていた。

4. 土石流の再現に影響を与えたポイント

再現計算により、家屋位置のレッドゾーン有無を把握したが、レッドゾーンと判断されたが実際には被災していない家屋、レッドゾーンと判断されていないが被災した家屋、すなわち土石流の再現が十分ではなかった可能性がある家屋が存在する。ここでは、再現計算が被災実態と乖離した箇所およびその要因など、再現計算上、重要と考えられるポイントについて代表例を例示した。

表 3 再現計算による家屋位置のレッドゾーン有無

	全家屋			全壊			半壊		
	ALL	木造	非木造	ALL	木造	非木造	ALL	木造	非木造
非RED	1129	1108	21	55	55	0	91	91	0
RED	117	111	6	35	33	2	37	37	0
計	1246	1219	27	90	88	2	128	128	0

表 4 計算によるレッドゾーンごとの被災率

	全壊			半壊		
	ALL	木造	非木造	ALL	木造	非木造
非RED	5%	5%	-	8%	8%	-
RED	30%	30%	33%	32%	33%	-

4.1 橋梁閉塞の影響

橋梁の閉塞が再現計算に影響したと考えられる事例を図1に示す。ここでは、上流から少なくとも3か所の橋梁が閉塞している。当該橋梁地点の勾配は、上流から概ね3.5度、2.3度、1.0度程度と緩勾配であり、橋梁下流の家屋付近の堆積土砂は細粒成分を主体とした土砂が層状に堆積していた。家屋の被災状況を確認すると、上流と下流橋梁の直下流域に被災が集中しているが、再現計算では、橋梁閉塞による偏流の再現は難しく、流路方向に地形なりに計算されている。

4.2 家屋および家屋構造による影響

図2には、家屋が土石流の流下に影響したと思われる事例を示す。図2左図の溪流では、主な土石は溪流中腹の家屋により停止しているが、計算ではこれらを再現できていない。このため、計算では下流にレッドゾーンが発生し、実際には被災のない家屋がレッドゾーン内に含まれる結果となっている。また、図2右図は、計算レッドゾーンに下流にRC構造の家屋が存在するが、実際には被災していない事例を示す。本家屋の下流家屋も被災していないが、RC構造の家屋の影響で被災しなかった可能性もある。このような家屋による土石の停止など土石流の流れに影響を与える状況については今回の計算では再現ができていない。

4.3 土石流ハイドログラフの影響

土石流ハイドログラフは再現計算時に最も影響を与えるパラメータの一つである。今回は、災害時のピーク流量が現地調査により得られている溪流はその実績値、それ以外の溪流は地形データの変化等から推定した。図3には感度分析的な計算として、ピーク流量を80m³/s、100m³/sの2ケースで計算した事例を示す。計算では、ピーク流量が2割程度異なった場合でも、土石流の到達範囲は大きく変わらないものの、レッドゾーンが変わる可能性があることがわかる。

4.4 複数回の土石流の影響

H30 広島災害時には、同一溪流の複数支溪で、土砂の移動痕跡が確認されている溪流も多い。これら支溪からの土石流発生タイミングは、空中写真から判断することは極めて難しい場合が多い。今回は、現地確認ができていない溪流については、主流路のみの再現計算を行っている。図4には左右の支溪より土石流が流下した溪流の事例を示す。当該溪流では、溪流出口の家屋がすべて被災しているが、再現計算上では右岸よりの家屋のみレッドゾーンとなっている。谷出口が左方向に屈曲していることや、左岸寄りの家屋は宅盤が若干高いことも影響している可能性があるが、左支溪の土石流を考慮することで結果が異なる可能性もある。

5. おわりに

HyperKANAKOを用いて、H30 広島災害での土石流を再現し、家屋の被災状況と再現計算でのレッドゾーンとの対比を行った。再現計算において、レッドゾーンと判断された家屋の概ね60%程度が実際に被災している結果であり、レッドゾーンと判断されない家屋でも13%が被災している結果であった。再現計算では、基本的に災害前のDEMデータを用いて計算を行う。このため、再現性に差異がでた原因としては、DEMで考慮できない橋梁閉塞有無や家屋（構造）等の影響が推察される。さらに、土石流のピーク流量や複数支溪から

の発生なども再現性に影響を与えていると考えられる。土石流の流れに影響を与えるポイントについては、災害直後の現地調査で把握しておくことが重要である。

参考文献

- 堀内ら (2012) : GIS と連携した土石流シミュレーションシステムの開発, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, pp.178-179
- 柏原ら (2020) : HyperKANAKOによる平成30年7月豪雨による土石流の再現と被災家屋の分布状況について, 2020年度砂防学会研究発表会概要集, pp.575-576

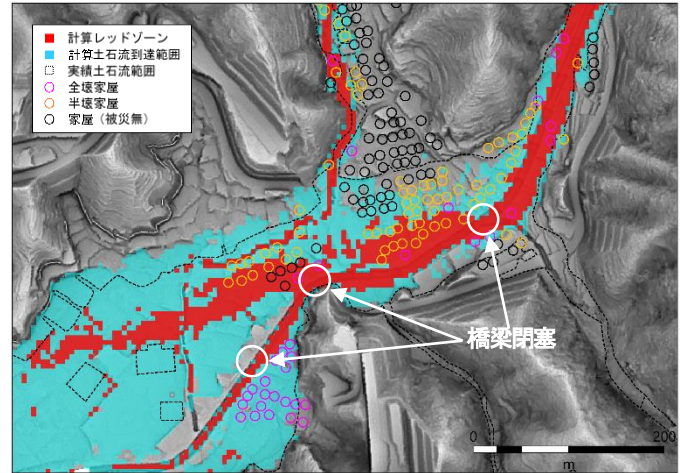


図1 橋梁閉塞の影響例

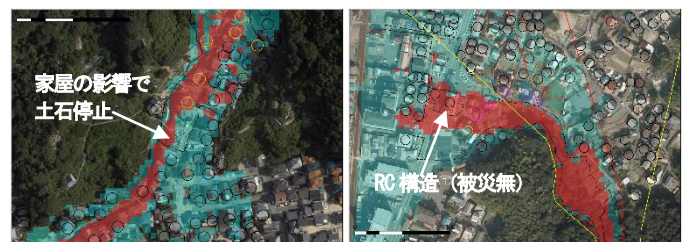


図2 家屋の影響例

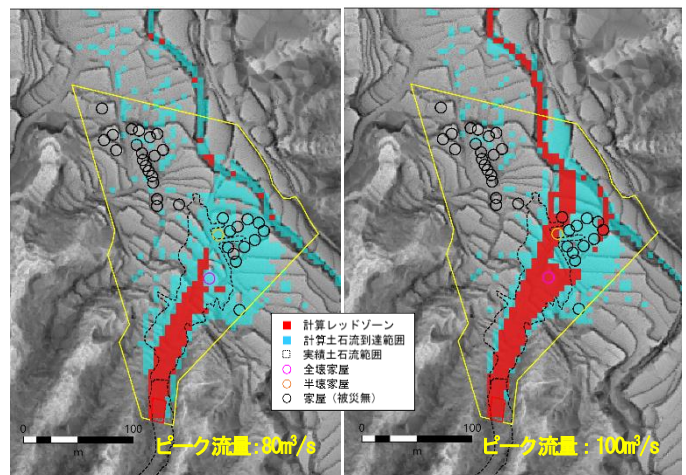


図3 ピーク流量の違いによるレッドゾーンの差異



図4 複数回の土石流が影響した可能性がある溪流