

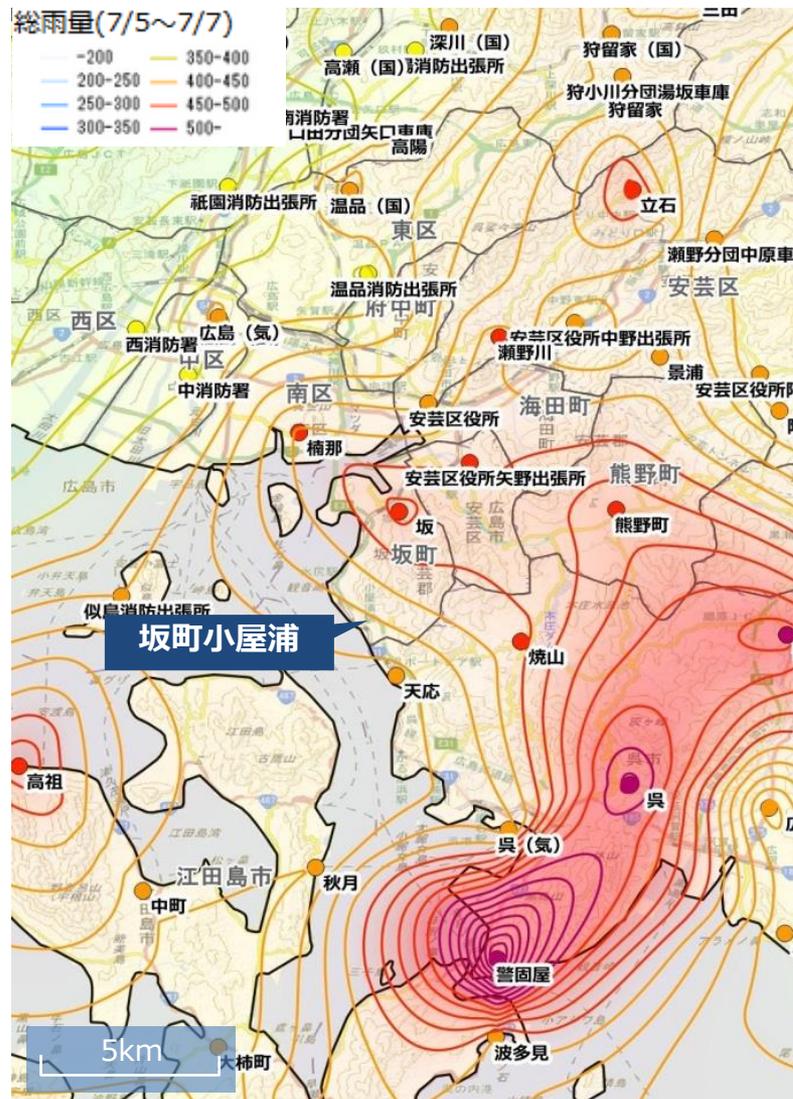
【資料 2】

天地川(坂町)における被災要因の検証

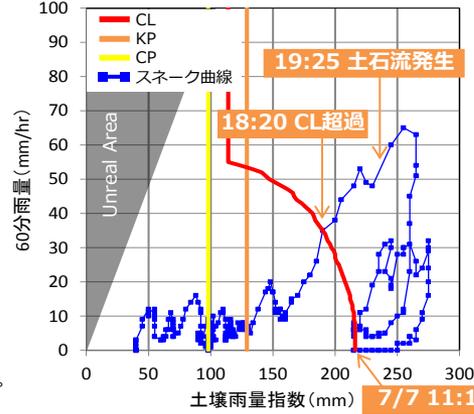
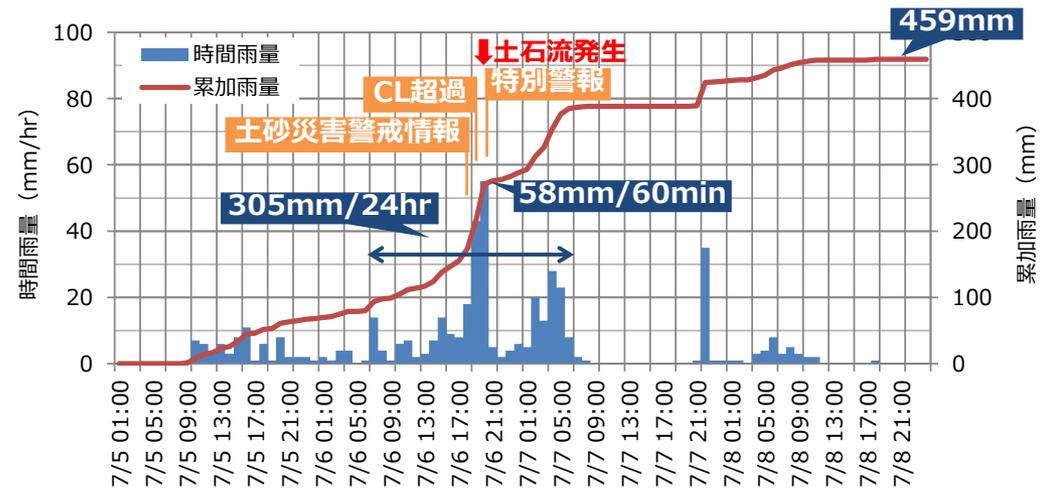
平成30年9月10日
広島県砂防課

降雨状況

7/5に降り始め、7/6 18:20にCL超過。その後も早朝にかけてやや強いが降雨あり、降雨継続時間が長い



天応観測所(呉市)	雨量	期間
累加雨量	459mm	7/5 8:50~7/8 18:00
最大24時間雨量	305mm	7/6 6:00~7/7 6:00
最大60分雨量	58mm	7/6 18:50~19:50

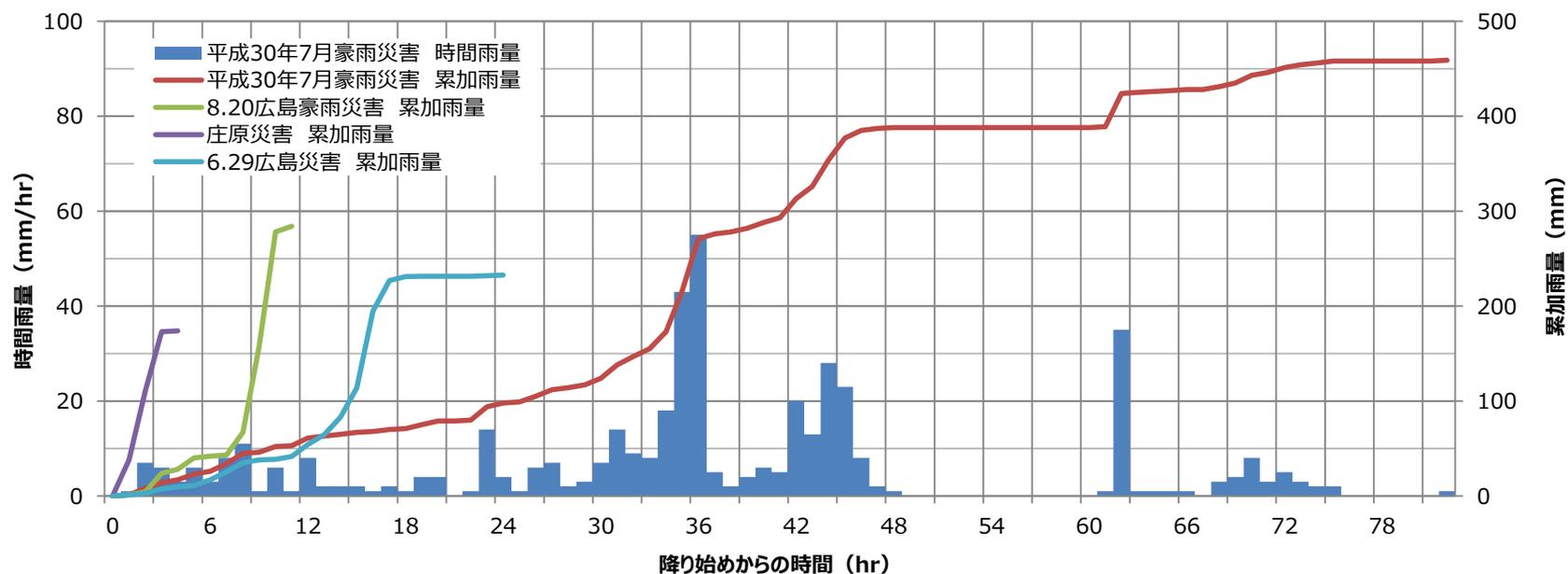


- <坂町>
- 17:35 土砂災害警戒情報発表
 - 17:40 坂町避難勧告発令
 - 18:20 CL超過(小屋浦地区)
 - 18:45頃 がけ崩れ発生(横浜西1丁目)
 - 19:25頃 土石流発生(小屋浦3丁目)
坂町避難指示発令
 - 19:40 大雨特別警報発表

出典：広島県防災Webが配信する雨量観測情報及び広島市観測局の雨量観測情報を積算して作成した。背景図には国土地理院標準地図を使用

降雨状況

- 過去の災害と比較して、累加雨量※は1.6～2.6倍，降り始めから降り終わりまでの時間は3.4～20.5倍



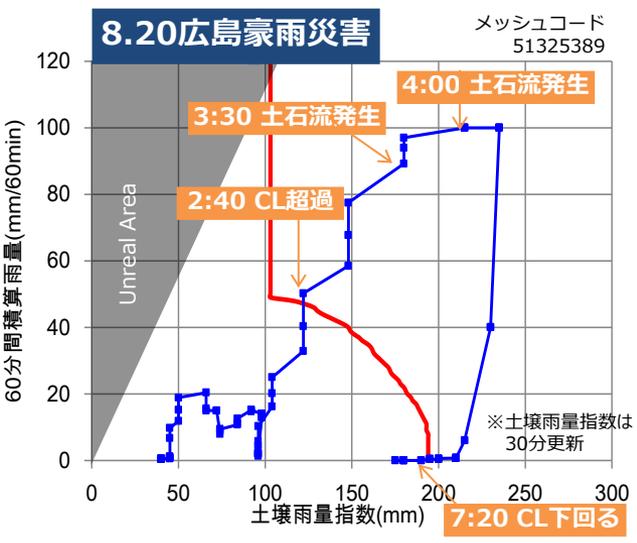
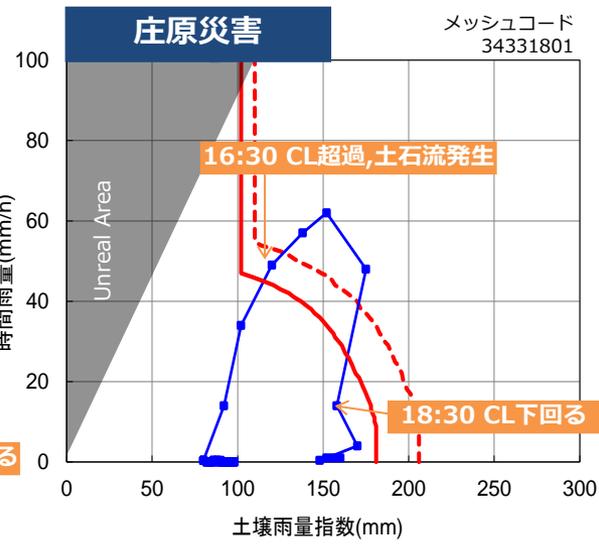
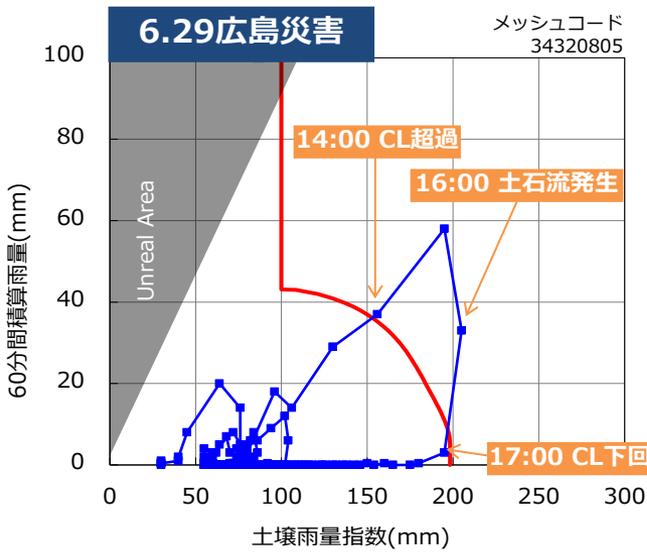
災害	累加雨量	降り始めから降り終わりまでの時間	観測所
6.29広島災害	232.5mm	24hr	1999/6/28 23:00～6/29 23:00 八幡川橋（広島市佐伯区）
庄原災害	174mm	4hr	2010/7/16 15:00～19:00 大戸（庄原市）
8.20広島豪雨災害	284mm	11hr	2014/8/19 18:00～8/20 5:00 三入（広島市安佐北区）
平成30年7月豪雨災害	459mm	82hr	2018/7/5 8:00～7/8 18:00 天応（呉市）

※降り始めから降り終わりまでの一連の降雨量の積算値。ここで降り始め、降り終わりとは、前後24時間以上無降雨であった場合を示す。

降雨状況

- CL (修正前)
- CL
- KP
- CP
- スネーク曲線

過去の災害と比較して, CL超過時間は3.5倍以上



災害	CL超過時間	CL超過期間
6.29広島災害	2hr	1999/6/29 14:00~16:00
庄原災害	1.5hr	2010/7/16 16:30~18:00
8.20広島豪雨災害	4.5hr	2014/8/20 2:40~7:10
平成30年7月豪雨災害	16.7hr	2018/7/6 18:20~7/7 11:00

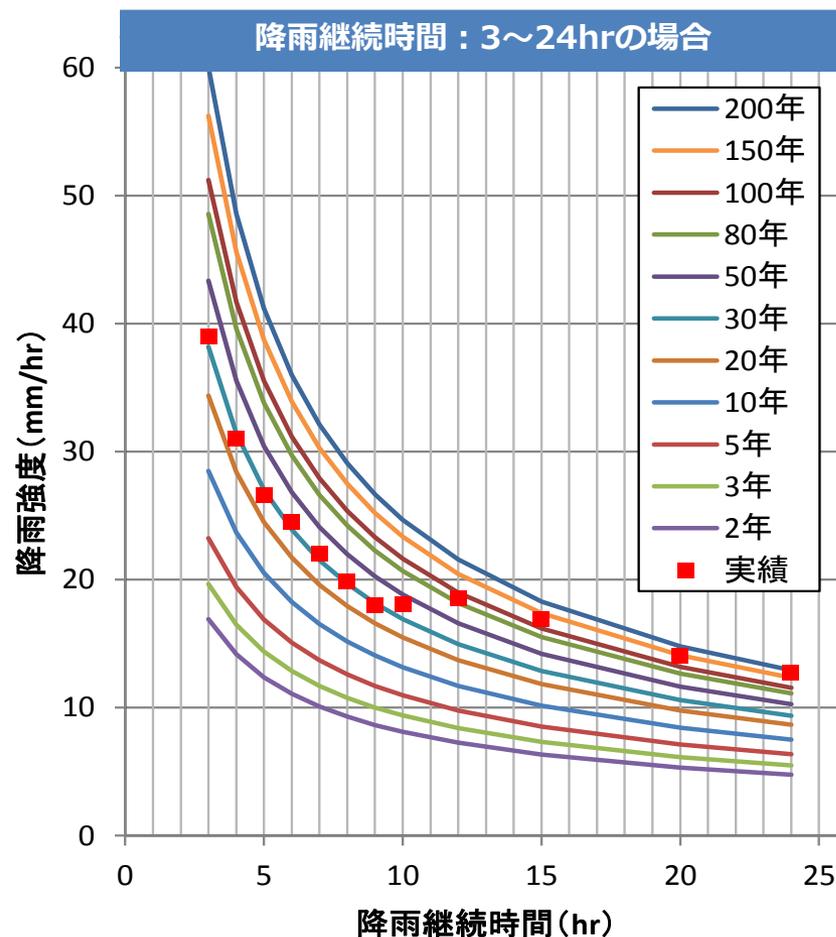
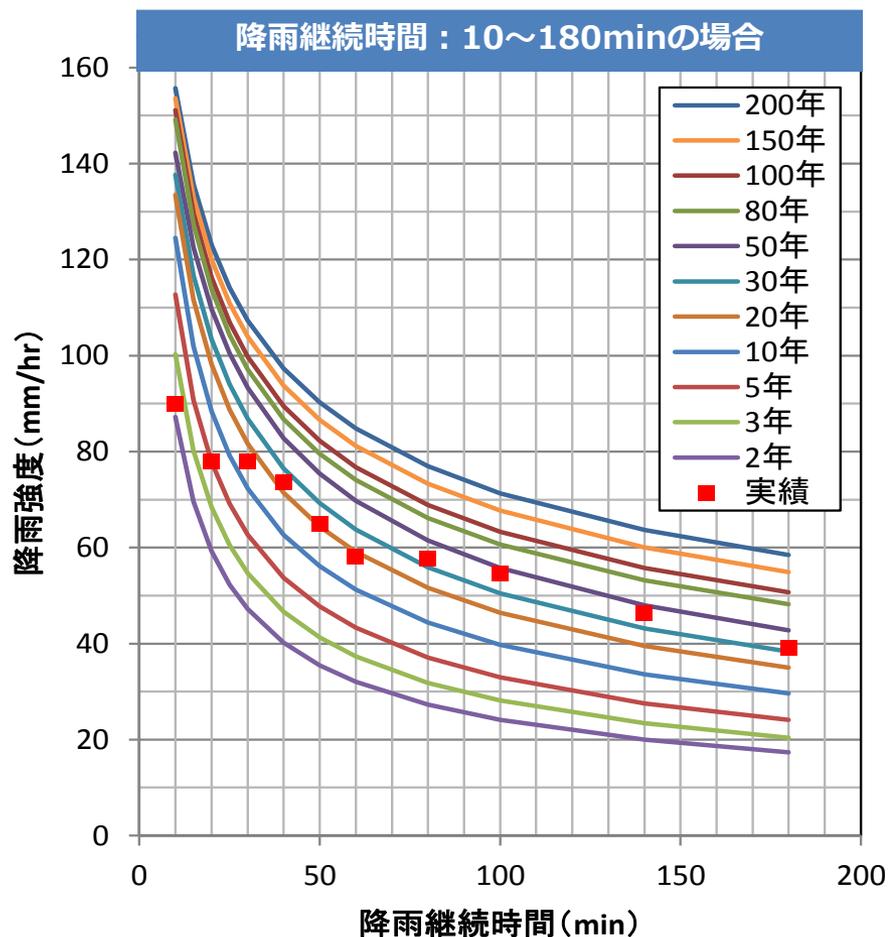
降雨状況

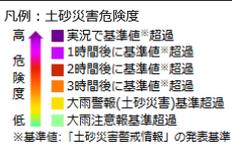
広島地区の確率降雨強度式

- 60min雨量 : 20年確率程度
- 180min雨量 : 30年確率程度
- 24hr雨量 : **150年確率以上**



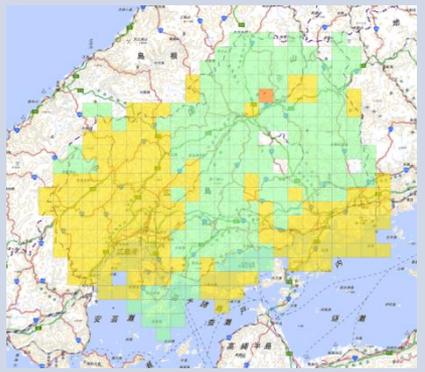
**降雨継続時間が長く、
確率規模は150年以上に**



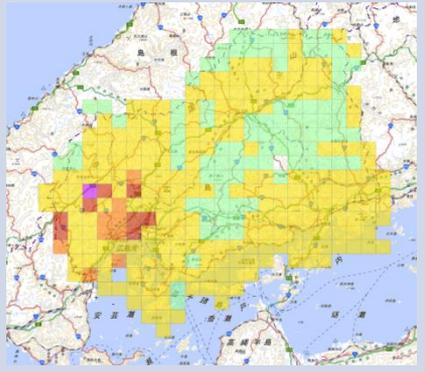


降雨状況 (土砂災害危険度情報の推移)

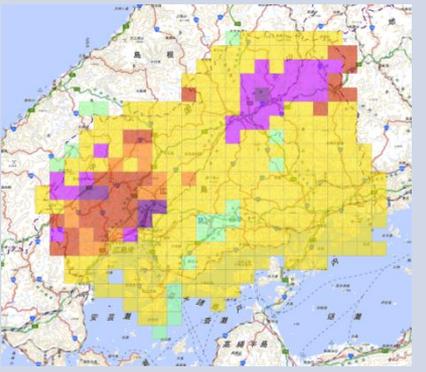
7/6 13:00



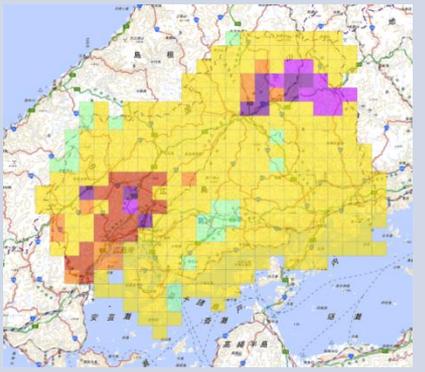
7/6 14:00



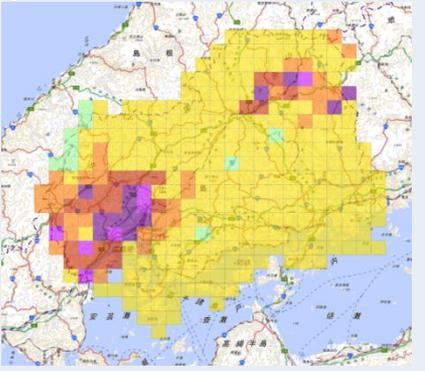
7/6 15:00



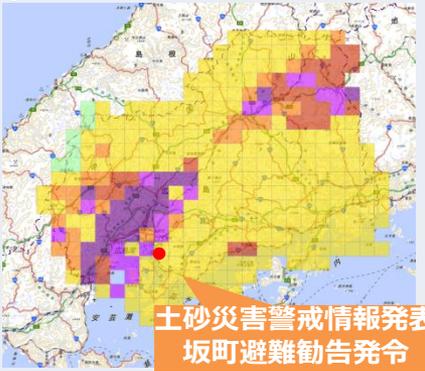
7/6 16:00



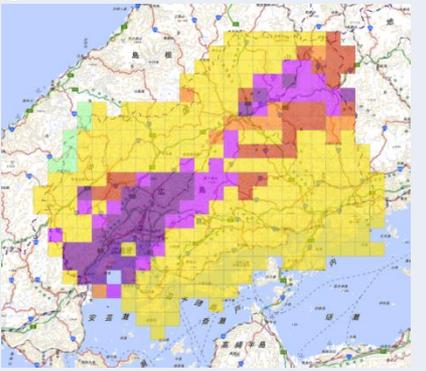
7/6 17:00



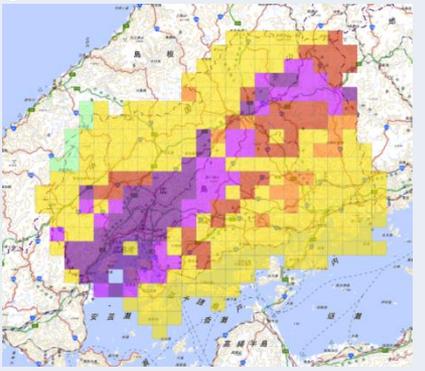
7/6 17:40



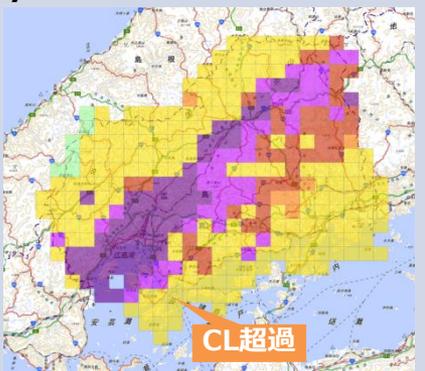
7/6 18:00



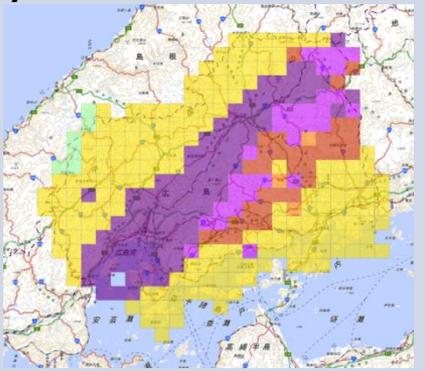
7/6 18:10



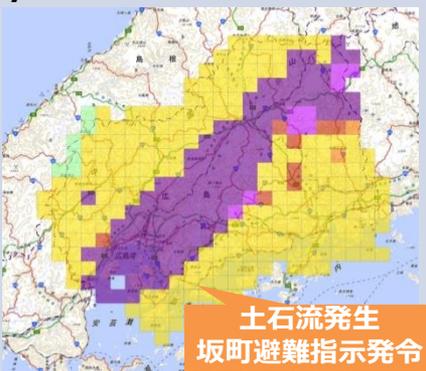
7/6 18:20



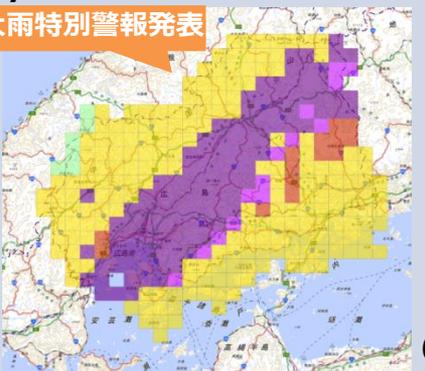
7/6 19:00

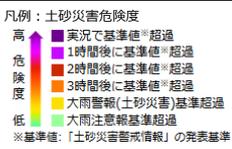


7/6 19:30



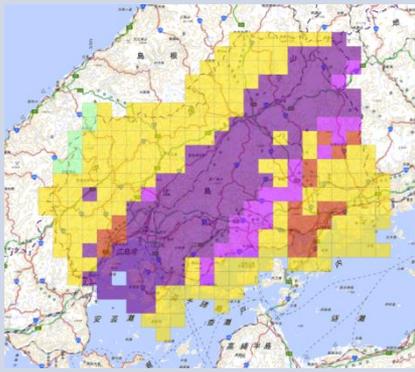
7/6 19:40



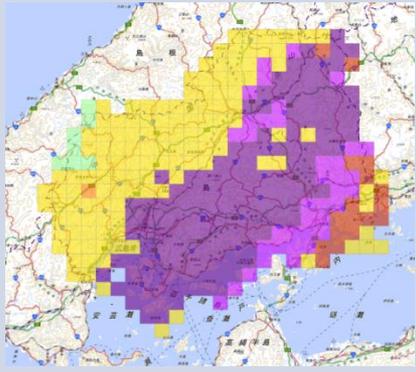


降雨状況 (土砂災害危険度情報の推移)

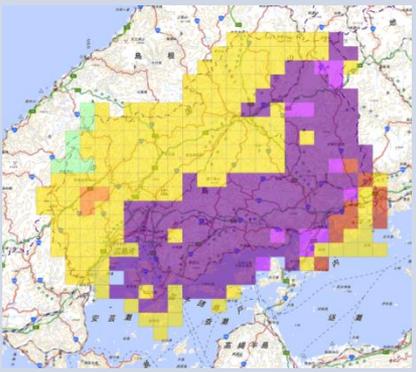
7/6 20:00



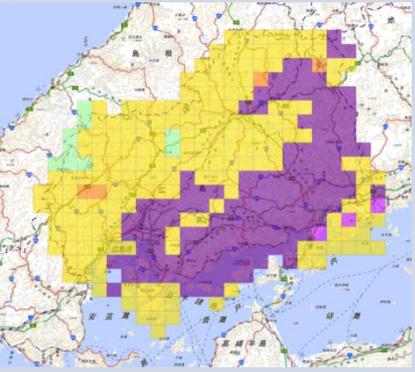
7/6 21:00



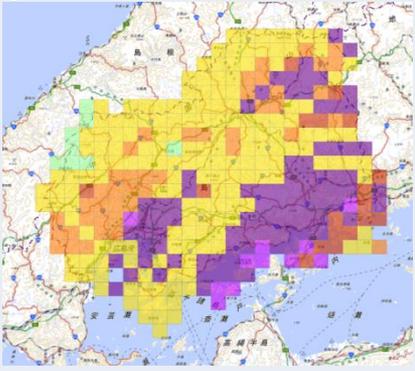
7/6 21:30



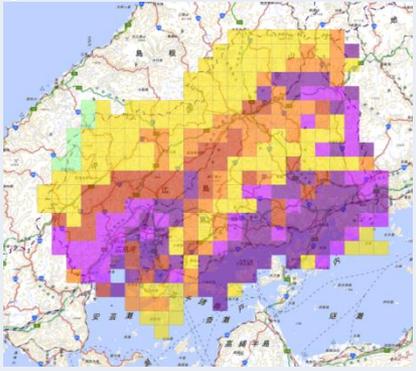
7/6 22:00



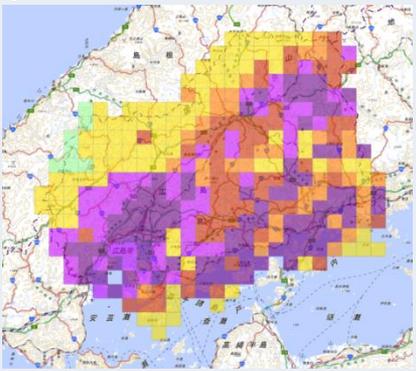
7/6 23:00



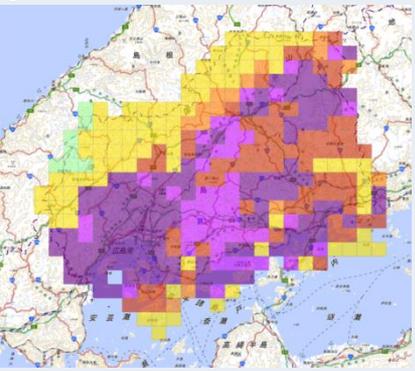
7/7 0:00



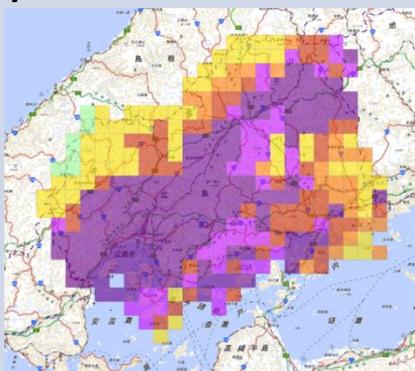
7/7 1:00



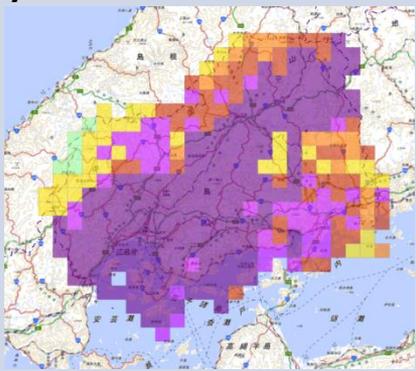
7/7 2:00



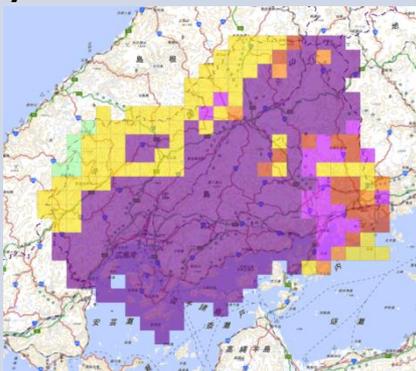
7/7 3:00



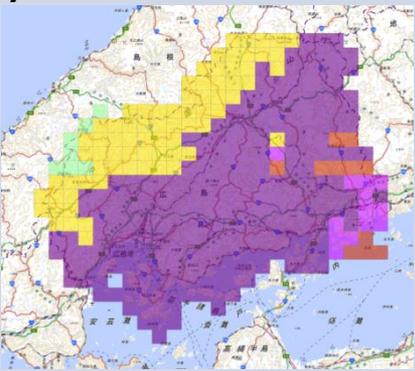
7/7 4:00



7/7 5:00



7/7 6:00



土砂災害の発生状況

H30.8.13 13:00時点 (災害対策本部最終報)

土砂災害発生状況

	発生件数(※)
土砂災害	624
※発生件数は土砂災害危険箇所で土砂災害が発生した箇所、土砂災害危険箇所以外で土砂災害による人的被害及び人家被害等が発生した件数(広島県土木建築局砂防課調べ)	
	人的被害(人)
土砂災害	87



広島市安佐北区口田南3丁目【1名死亡】



熊野町川角5丁目【12名死亡】



東広島市西条町下三永【3名死亡】



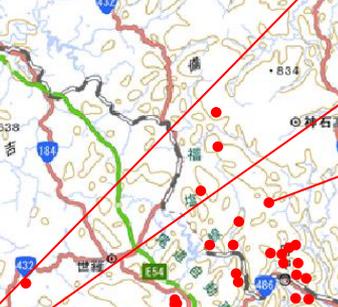
広島市安芸区矢野東7丁目外【12名死亡】



広島市安芸区口田南5丁目【2名死亡】



広島市安芸区上瀬野【4名死亡】



東広島市河内町中河内【3名死亡】



府中市木野山町【1名死亡】



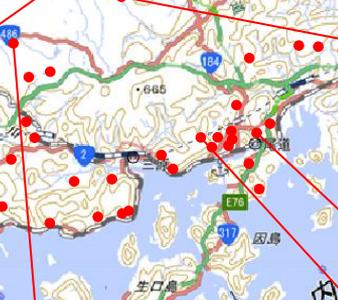
坂町小屋浦【15名死亡】



広島市南区丹那町【1名死亡】



三原市久井町【2名死亡】



尾道市防地町外【2名死亡】



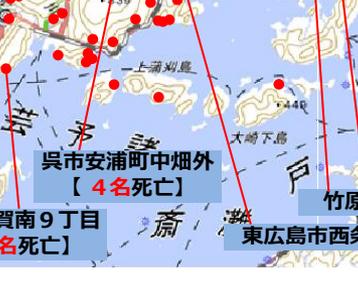
三原市大和町【2名死亡】



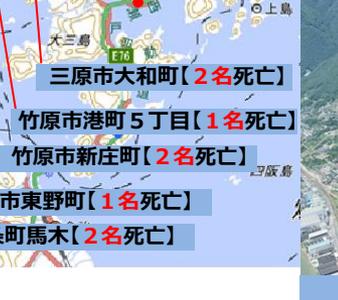
呉市天応西条外【10名死亡】



呉市吉浦新出町【3名死亡】



呉市安浦町中畑外【4名死亡】



竹原市港町5丁目【1名死亡】



竹原市新庄町【2名死亡】

呉市菅戸町早瀬2丁目【2名死亡】

呉市阿賀南9丁目【1名死亡】

竹原市東野町【1名死亡】

東広島市西条町馬木【2名死亡】

三原市木原6丁目【1名死亡】

出典：国土地理院

主な土砂災害の発生時刻①

※平成30年9月5日時点

※発生日時は、警察・消防等からの情報をもとに砂防課で推定した時間

市町	所在地	種別	死者	危険箇所番号	箇所名	発生推定日時
01広島市南区	丹那町	急	1	I-1-4472	丹那新町47	H30.7.6 16:30頃
01広島市安芸区	矢野東7丁目	土	5	I-2-23-13	神長川(13)	H30.7.6 19:20頃
01広島市安芸区	矢野町	土	2	準-2-23-6245	鷹の巣北川(6245)	H30.7.6 21:40頃
01広島市安芸区	矢野町	土	3	I-2-23-15 I-2-23-6242	深山の滝川 榎木茶屋南川	H30.7.6 21:40頃
01広島市安佐北区	口田南5丁目	土	2	準-1-9-6204隣	矢口川支川(6204隣)	H30.7.6 18:50頃
02呉市	安浦町下垣内	土	1	I-2-6-19	中ヶ原川(19)	H30.7.6 21:00頃
02呉市	音戸町早瀬2丁目	土	2	II-1-660	早瀬2丁目(660)	H30.7.7 5:30頃
02呉市	吉浦新出町	土	3	I-3-89-108b	宇根川・笠岩川(108b)	H30.7.7 5:50頃
02呉市	天応東久保2丁目	土	4	I-3-81-92隣e	大屋大川(92隣e)	H30.7.6 19:20頃
02呉市	天応西条3丁目	土	3	I-3-81-90d	背戸川支川(90d)	H30.7.6 20:50頃
02呉市	天応西条3丁目	土	3	I-3-81-90f	背戸川支川(90f)	H30.7.6 20:50頃
02呉市	安浦町市原	土	3	II-2-6-5007a	野呂川(5007a)	H30.7.6 20:50頃
02呉市	阿賀南9丁目	土	1	I-3-106-143b	冠崎川(143b)	H30.7.7 5:50頃

主な土砂災害の発生時刻②

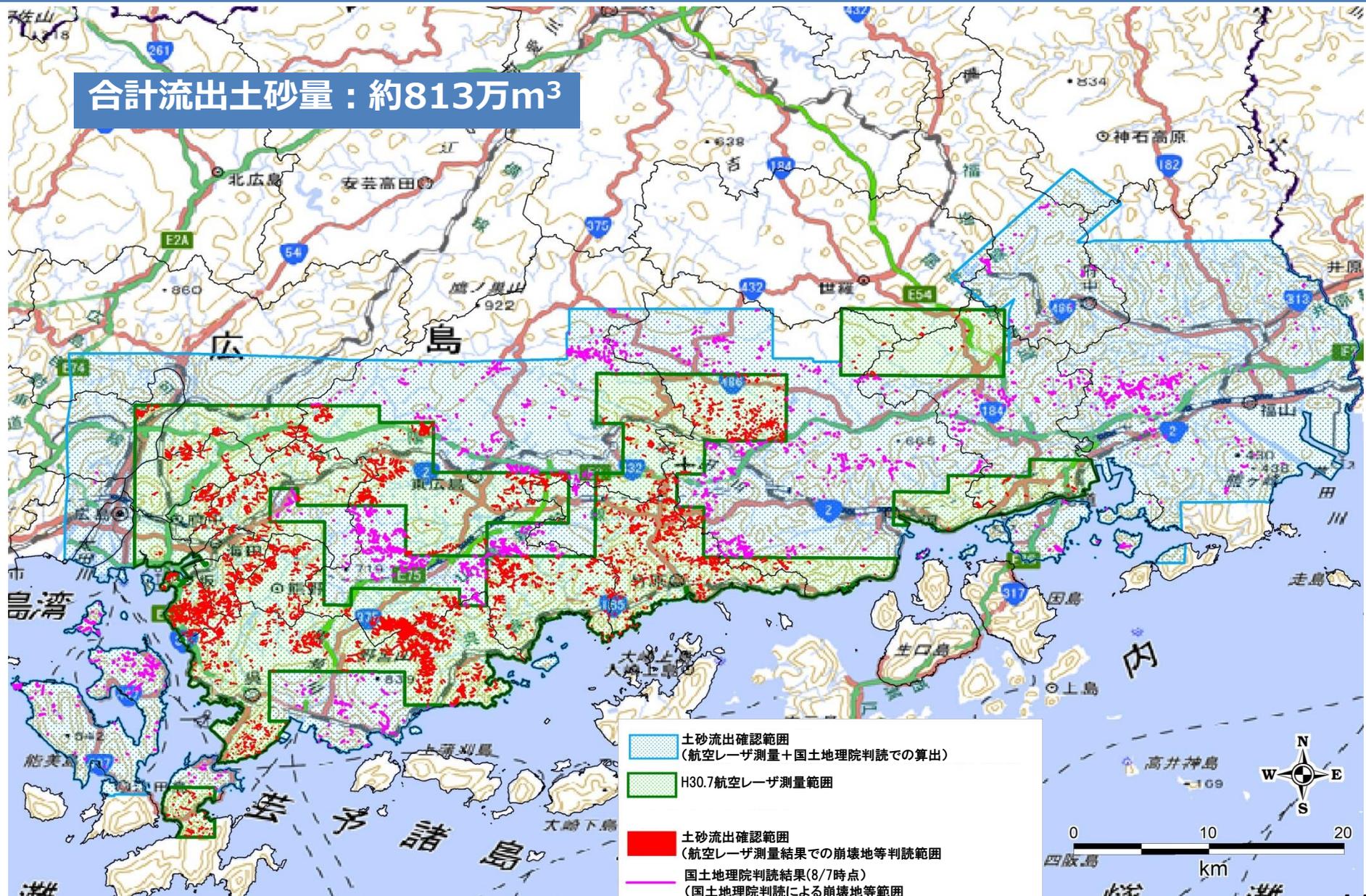
※平成30年9月5日時点

※発生日時は、警察・消防等からの情報をもとに砂防課で推定した時間

市町	所在地	種別	死者	危険箇所番号	箇所名	発生推定日時
03竹原市	新庄町	急	2	Ⅱ-1-9535	片山谷862	H30.7.6 21:30頃
03竹原市	東野町	土	1	I-2-8-54a I-2-8-54b	中条川	H30.7.6 22:20頃
03竹原市	港町5丁目	土	1	I-3-634-1035	仮屋谷川(1035)	H30.7.6 21:40頃
04三原市	三原市久井町吉田	土	2	Ⅱ-1-10241	行広	H30.7.6 21:10頃
04三原市	三原市大和町大草	土	2	危険箇所ではない	-	H30.7.6 21:20頃
04三原市	木原6丁目	土	1	I-3-186-312	西福地川(312)	H30.7.7 0:50頃
05尾道市	桜町	急	1	Ⅱ-1-4959	潮見G	H30.7.7 7:20頃
05尾道市	防地町	土	1	基礎調査予定箇所	-	H30.7.7 8:20頃
07府中市	木野山町	急	1	I-1-3831	角目4(3831)	H30.7.6 21:10頃
11東広島市	西条町下三永	土	3	I-2-5-5009	本頭川	H30.7.7 5:50頃
11東広島市	河内町中河内	土	3	I-2-9-109	奥条川	H30.7.7 5:50頃
11東広島市	西条町馬木	急	2	Ⅱ-1-9318	籐九郎	H30.7.7 5:20頃
17安芸郡熊野町	川角5丁目	土	12	I-2-3-61	二河川支川21	H30.7.6 20:00頃
18安芸郡坂町	小屋浦4丁目	土	14	I-3-77-82 外	天地川 外	H30.7.6 19:25頃
18安芸郡坂町	小屋浦3丁目	土	1	I-3-77-85	天地川支川10	H30.7.6 19:25頃

<参考>
 (坂町) 小屋浦地区・天地川 (地元聞取) 19:30頃1回目の土石流が発生した。2回目, 3回目の土石流は夜中に発生した。
 (坂町聞取) 20時頃天地川支川の方から避難してきた方が、「もう少し避難が遅ければ危なかった。」と言っていた。
 避難の時間から考えると, 19:30頃土石流が発生したと思われる。
 (坂町聞取) 20時前後に土石流が防犯カメラに映っていた。
 (坂町聞取) 21時頃土石流が発生したという情報があった。

平成30年7月豪雨における広島県南部での流出土砂量(算定範囲)



背景図：国土地理院タイル（標準地図）

国土地理院判読結果：国土地理院ウェブサイト (<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html#6>)

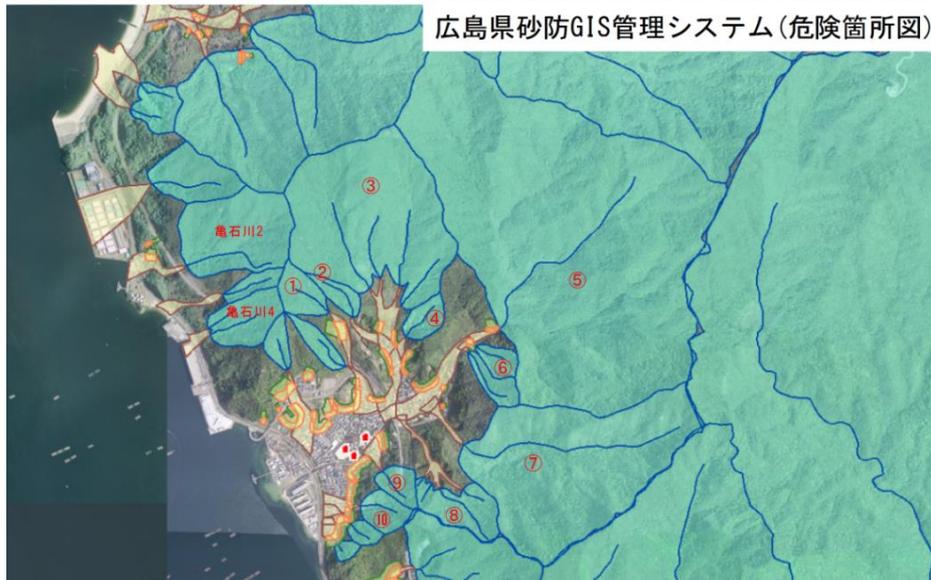
被災状況

- 扇状に並ぶ溪流より土石流が発生し、住宅密集地に集中して流下

【坂町小屋浦地区】天地川 被災状況



広島県砂防GIS管理システム(危険箇所図)



被災状況

複数の土石流が集中し、被害が拡大

被害状況 (H30.8.13時点 災害対策本部 最終版)

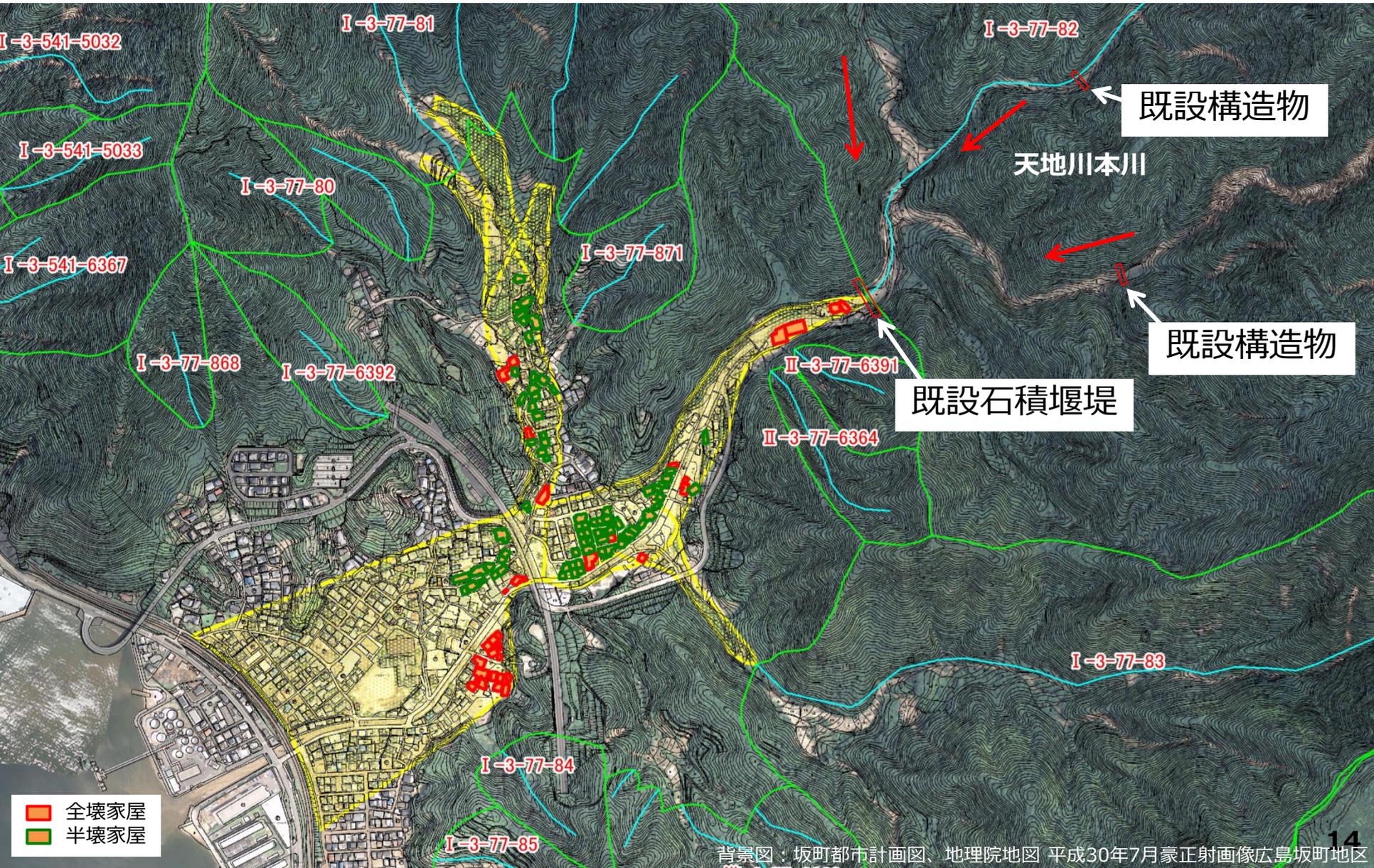
- ・土石流発生日時：7月6日 19:25頃
- ・住家等被害：全壊31戸,半壊75戸
- ・人的被害：死者15人,行方不明者1名



背景図：坂町都市計画図、地理院地図 平成30年7月真正射画像広島坂町地区

被災状況

- 天地川本川では谷出口に設置された石積堰堤が大規模に被災

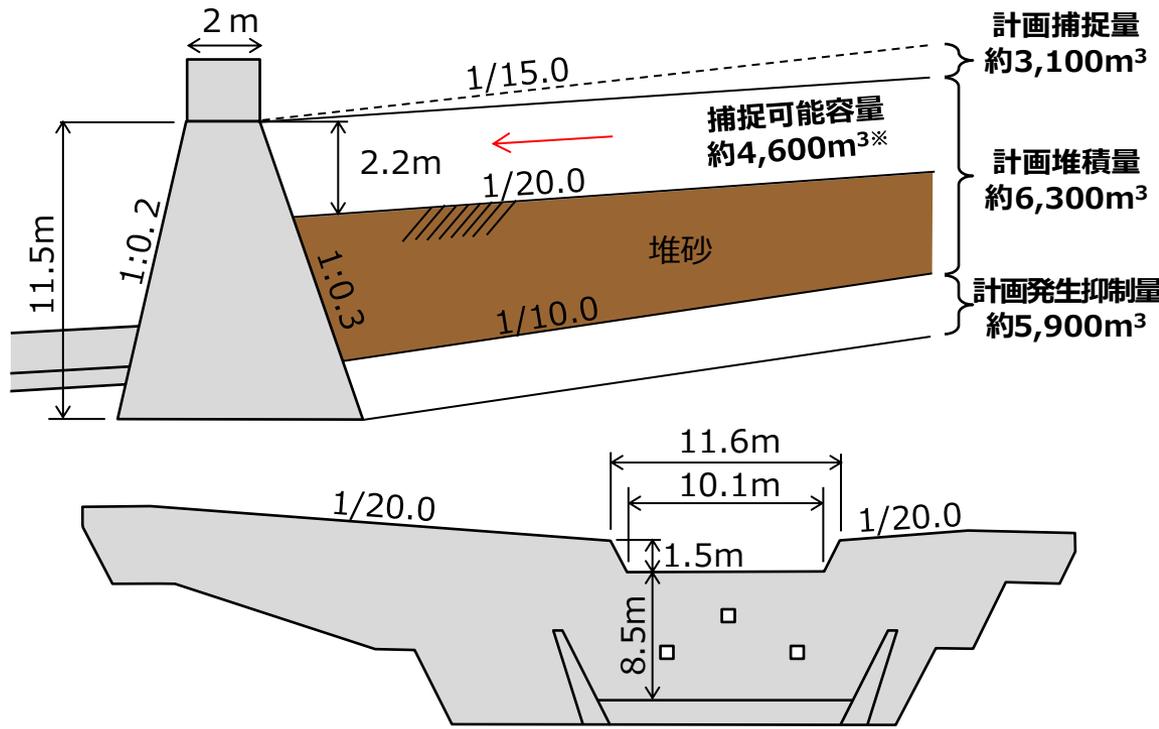


既設施設状況

石積堰堤諸元

項目	内容
構造形式	重力式石積(S25年施工)
堤高	11.5m
堤長	50.0m
水通部	直高:1.5m,下幅:10.1m,上幅:11.6m
天端幅	B=2.0m
袖天端勾配	1/20.0
上流面勾配	1:0.3
下流面勾配	1:0.2
有効落差	8.5m
未満砂高	2.2m(H27.2時点)
堆砂勾配	1/20.0
計画捕捉量	約9,000m ³

※「砂防基本計画策定指針および土石流・流木対策設計技術指針に基づく計画・設計事例の解説(第2版)」p.3-8簡易式より幾何的に空き容量を算出し、計画捕捉量との差を算出したもの



下流より



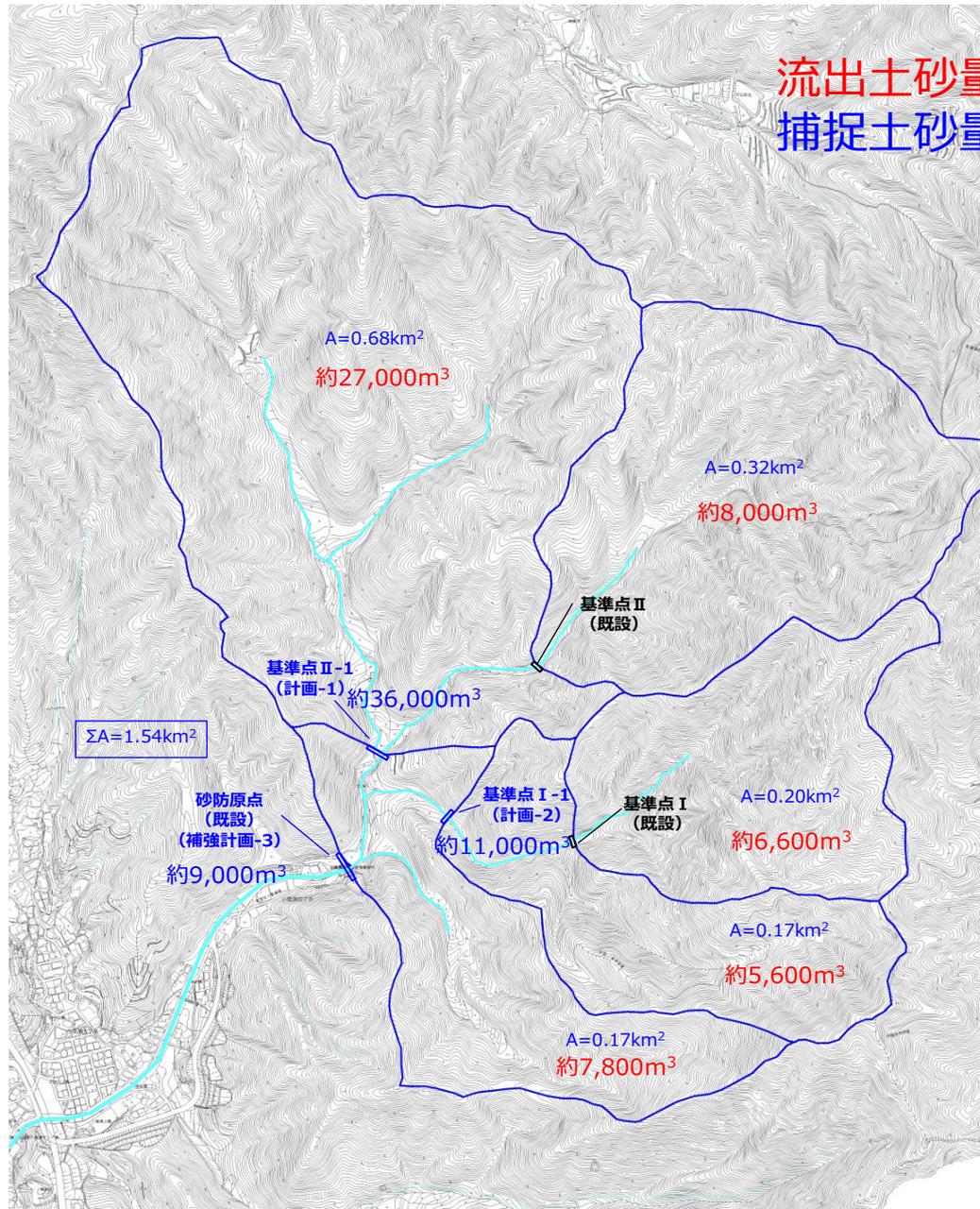
上流側の堆砂状況



左岸側より

既往計画

• 全体計画



流出土砂量 約55,000m³
捕捉土砂量 約56,000m³

土砂流出状況

- 石積堰堤は基礎部分を残存して大規模に被災
被災前
被災後



地理院地図 全国最新写真(シームレス)撮影期間：2009年4月～5月撮影



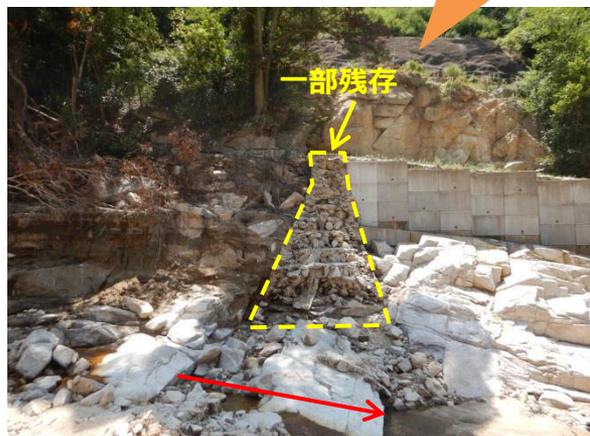
土砂流出状況

- 堰堤直下には直径2.0m程度の巨礫

50cm程度の
石材が使用



堰堤直下の巨礫 (2.0×2.0×0.8m)



堰堤の左岸側袖部



堰堤の右岸側袖部



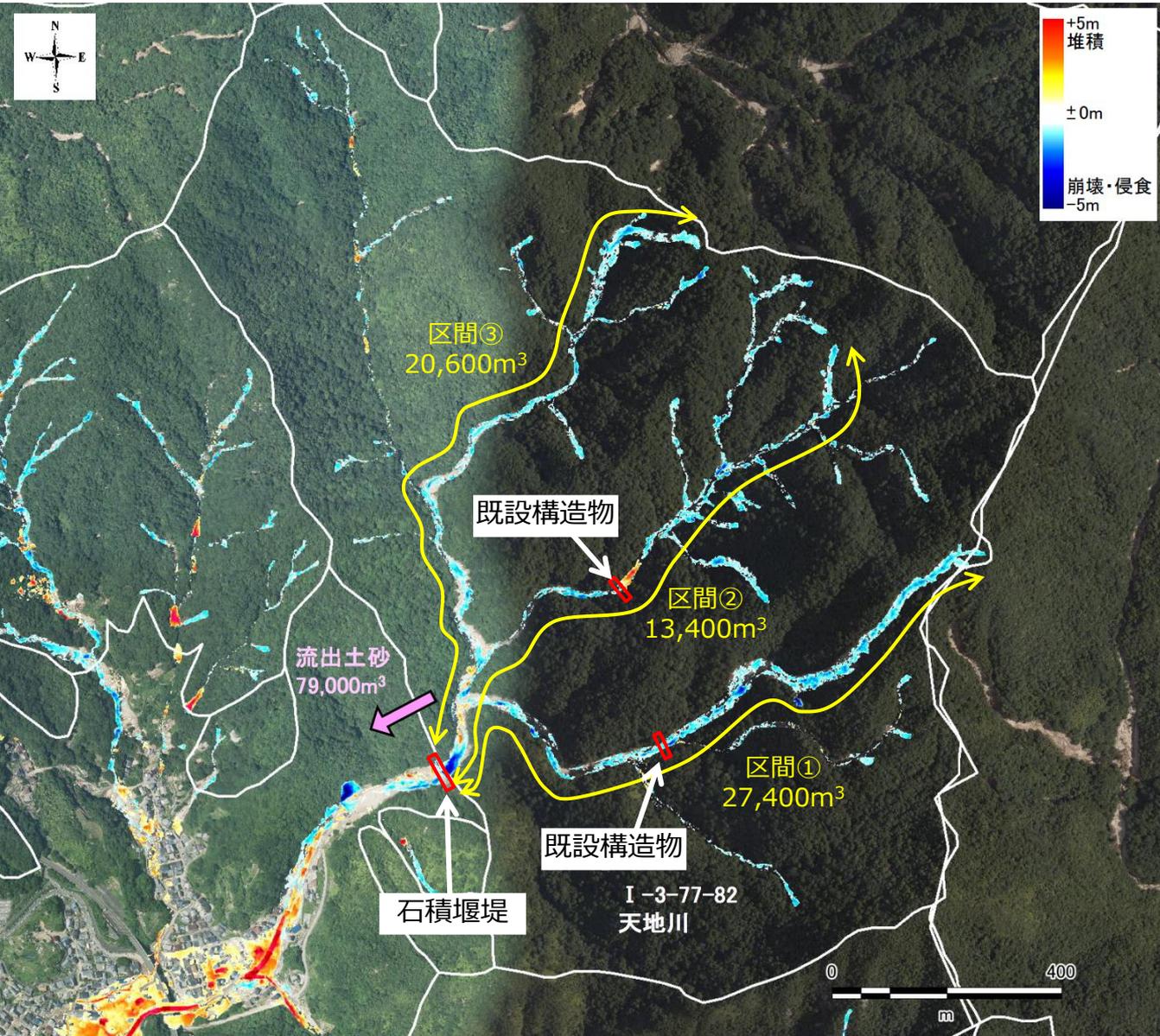
下流の巨礫 (φ1.8m程度)



下流の巨礫 (φ2.0m程度)

土砂流出状況

航空レーザ計測による流出土砂の推定



豪雨災害前後の航空レーザ計測データ(LPデータ)による地盤高変化(侵食と堆積)を差分標高として把握

$$\text{標高差分} = \text{災害後地盤高} - \text{災害前地盤高}$$

差分-(マイナス): 崩壊・侵食
 差分+(プラス): 堆積

標高差分を流域単位で集計し、流域からの流出土砂量を算出

溪流番号: I-3-77-82

堆積 +5,600m ³	崩壊・侵食 -84,600m ³
流域内集計 -79,000m ³	
流出土砂量 79,000m ³	

流出区間	流出土砂量※
区間①	27,400m ³
区間②	13,400m ³
区間③	20,600m ³

※想定区間内の堆積値は支川や側岸からの流出土砂の堆積、谷止工等による土砂堆積が含まれる場合があるため、侵食値のみを1波の土石流による流出土砂量として集計

土砂流出状況

- 石積堰堤に作用したと考えられる流体力【区間①の土石流が流下した場合】

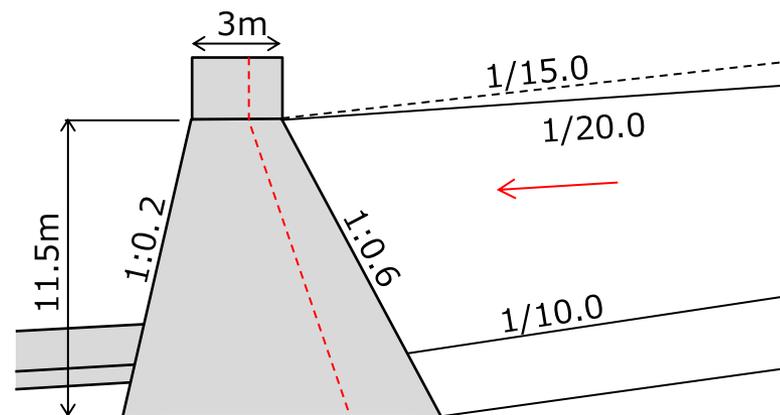
【検討にあたっての条件】

- 洪水痕跡より区間①～③が同時に発生したとは考えにくい。
- 区間①～③の土石流の発生順は不明。
- 流出土砂量が最大の区間①で流体力を検討した。

項目	入力値【区間①】	
流域面積	1.52	(1.52) km ²
流出土砂量	27,400	(14,500) m ³
溪床勾配	5.71	(5.71) °



項目	出力値【区間①】	
土石流ピーク流量	548	(290) m ³ /s
土石流の流体力	215.8	(127.9) kN/m
土石流の水深	3.04	(2.43) m
土石流の流速	6.62	(5.70) m/s

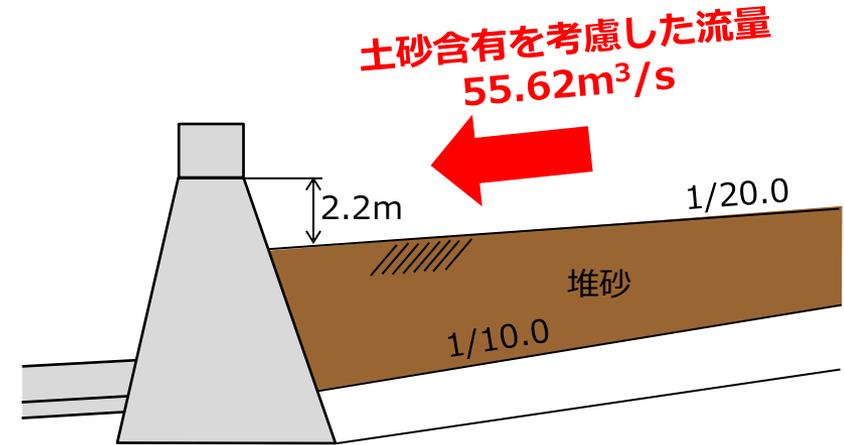
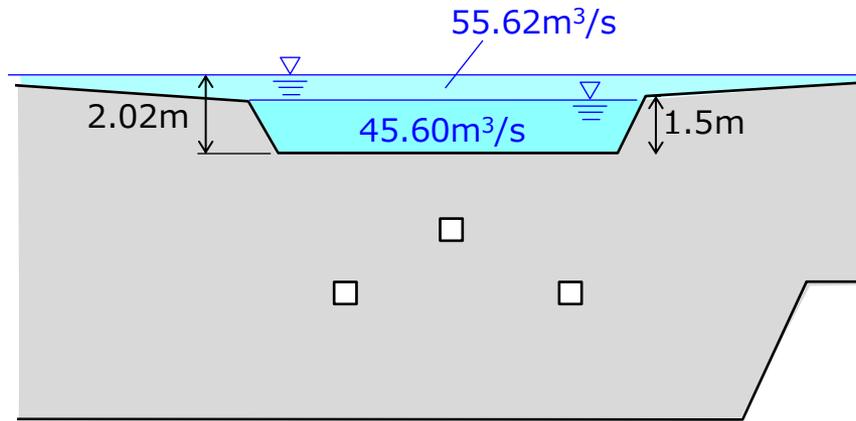


現設計基準であれば、天端幅3.0m、上流のり勾配1:0.6の堰堤（コンクリート）となる。

※ () 内は既往計画の値

水通し部の流下能力検証（土砂含有を考慮した流量との比較）

イメージ図



水通し断面の流下能力の算定※

- $D_d = A_d / B_{da} = 16.275 \times 11.6 = 1.403 \text{ (m)}$

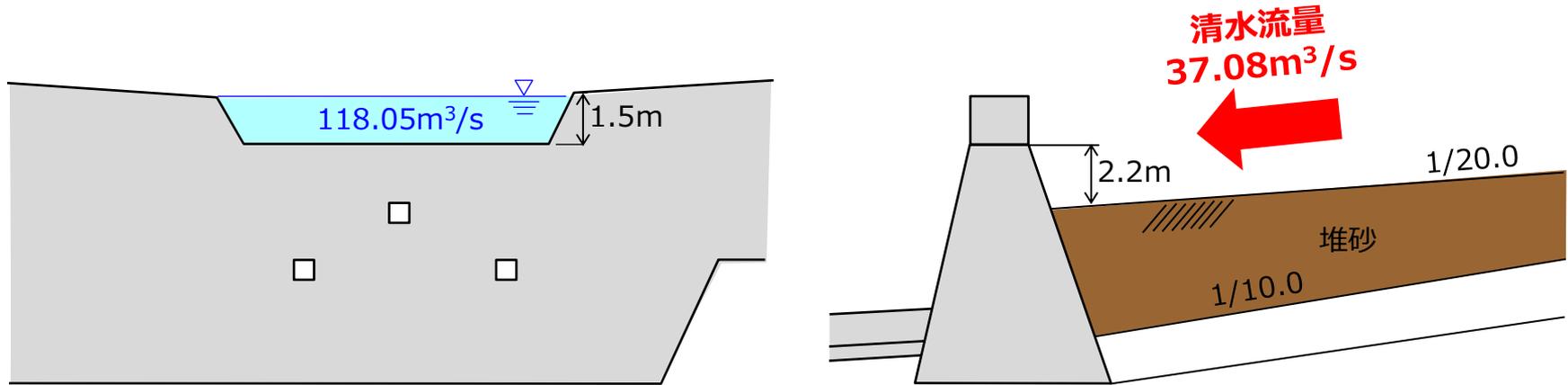
- $U = 1/K_n \cdot D_d^{2/3} (\sin\theta_0)^{1/2}$
 $= 1/0.1 \times 1.403^{2/3} \times (\sin(1/20))^{1/2}$
 $= 2.802 \text{ (m/s)}$

- $Q_p = U \cdot A_d$
 $= 2.802 \times 16.275$
 $= 45.60 \text{ (m}^3\text{/s)}$

- Q_p : 流下させることが可能な土石流流量 (m³/s)
- U : 土石流の流速 (m²/s)
- D_d : 土石流の水深 (m)
- K_n : 粗度係数 (0.10 : 自然河道フロント部)
- θ_0 : 河床勾配 (°) = 1/20
- A_d : 流下断面積 (m²)
- B_{da} : 流れの幅 (m)

【参考】水通し部の流下能力検証（清水流量との比較）

・イメージ図



・水通し断面の流下能力の算定（マンニング式）

- $R = A/S$
 $= 16.275 / 13.454 = 1.21 \text{ (m)}$
- $v = R^{2/3} \cdot i^{0.5} / n$
 $= 1.21^{2/3} \times 0.05^{0.5} / 0.035 = 7.25 \text{ (m}^2/\text{s)}$
- $Q = v \cdot A$
 $= 7.25 \times 16.275 = 118.05 \text{ (m}^3/\text{s)}$

Q	: 流量 (m^3/s)
v	: 流速 (m^2/s)
A	: 断面積 (m^2)
S	: 潤辺 (m)
R	: 径深 (m)
i	: 溪床勾配 (1/20)
n	: 粗度係数 (0.35)

洪水痕跡等

- 石積堰堤地点は湾曲部となっているが、左岸橋梁上部に残った痕跡はあまり高くない。
⇒袖天端の山付き部で右岸1.0m程度、左岸1.2m程度
⇒水通し部からの高さを考慮すると、第1波の水深は3.2~3.5m程度と考えられる。



左岸側の洪水痕跡



石積堰堤地点は湾曲部となっている

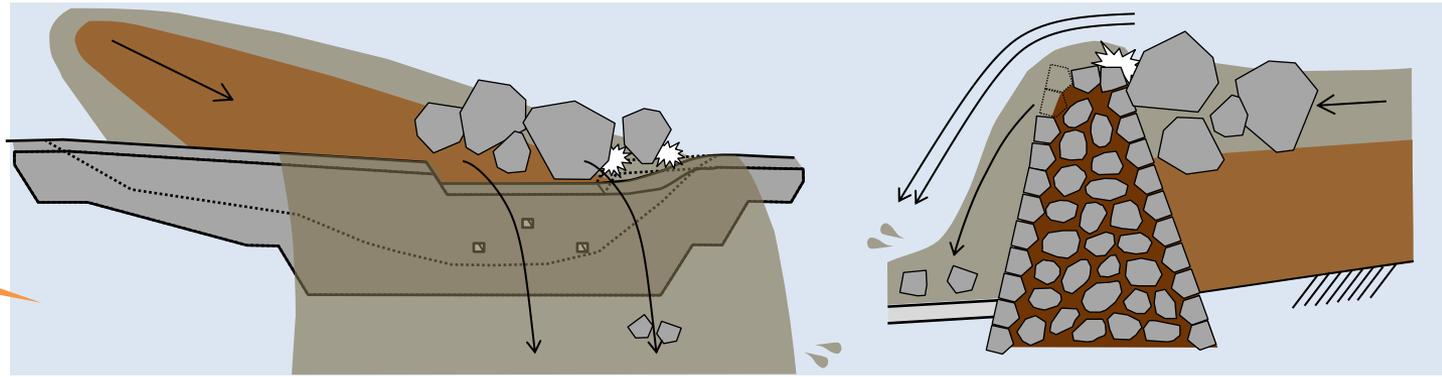
被災要因の分析結果

・まとめ

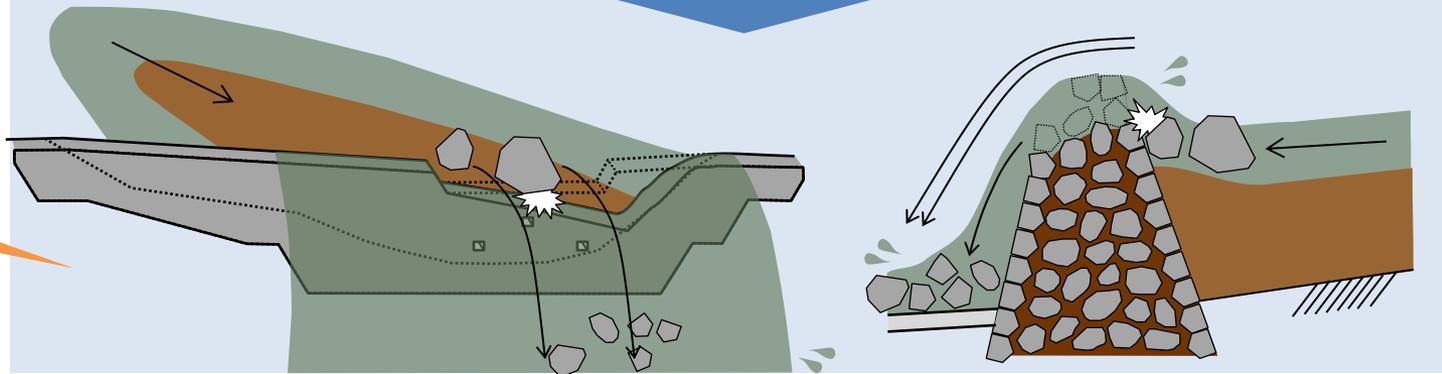
- 平成30年7月5日からの降雨は継続時間が長く、過去の災害と比較してCL超過時間が3.5倍以上であった。さらに、最大24時間雨量は150年確率以上（広島地区）のものであった。
- 総流出土砂量が79,000m³に対し、既往計画の計画流出土砂量は55,000m³、また区間最大流出土砂量は27,400m³に対し、既往計画の主溪流の計画流出土砂量14,500m³で設計の前提となる土砂量よりいづれも多かった。
- 降雨より算出した土砂含有を考慮した流量は55.62m³/sであり、水通し部の流下能力の45.60m³/sより大きい。
- 洪水痕跡等により、被災メカニズムは以下のとおりと推測される。
 - ①第1波（土石流もしくはは洪水流：3.2～3.5m程度の水深）により堰堤袖部が損傷
 - ②継続的な土石流もしくはは洪水流により左岸側を中心に堤体の侵食が拡大し、かなりの部分が流失
- 左岸側の洪水痕跡が、袖部より高い位置にあることから、一定の施設効果を発揮したものと考えられる。

被災要因の分析結果【被災イメージ】

① 第1波（土石流もしくは洪水流：3.2～3.5m程度の水深）により堰堤袖部が損傷



② 継続的な土石流もしくは洪水流により左岸側を中心に堤体の侵食が拡大



③ 土石流もしくは洪水流によりかなりの部分が流失

