

近年の降雨特性を踏まえた砂防施設の設計における計画降雨の検討

協和設計株式会社 西岡 孝尚
南部 啓太
中澤 圭一
○阿部 達也

論文要旨

近年、我が国では未曾有の豪雨により、大規模な斜面崩壊の頻発や土石流等による被害が甚大なものとなっている。このような被害を軽減・縮小するために土砂災害危険箇所を中心とした砂防施設の整備が急務である。土石流危険渓流における土砂災害の防止や、下流水系に沿いの市街地における洪水氾濫の防止には砂防堰堤等施設の整備が効果的である。一方、近年は国土交通省等の各事務所が施設整備のために定めた計画降雨よりも大きな豪雨が多発している。例えば、砂防堰堤の設計を進める際の計画降雨は、水通し高さや設計外力を定める要因であり、砂防施設の規模を決める重要な要素である。そこで本稿では、過去の設計資料を収集し、計画降雨の設定手法を整理して、砂防施設設計への適用性を検討した。その結果、近年の降雨特性と踏まえると、砂防堰堤等施設の規模がより大きくなる傾向にあることがわかった。

キーワード：計画対象降雨、砂防施設設計、土石流

まえがき

近年、我が国では未曾有の豪雨により、大規模な斜面崩壊の頻発や土石流等による被害が甚大なものとなっている。このような被害を軽減・縮小するために土砂災害危険箇所を中心とした砂防施設の整備が急務である。土石流危険渓流における土砂災害の防止や、下流水系に沿いの市街地における洪水氾濫の防止には砂防堰堤等施設の整備が効果的である。一方、近年は国土交通省等の各事務所が施設整備のために定めた計画降雨よりも大きな豪雨が多発している。例えば、砂防堰堤の設計を進める際の計画降雨は、水通し高さや設計外力を定める要因であり、砂防施設の規模を決める重要な要素である。そこで本稿では、過去の設計資料を収集し、計画降雨の設定手法を整理して、砂防施設設計への適用性を検討した。以下にその概要を報告する。

1. 過去の設計資料における計画降雨の算出

表-1に過去に検討された設計資料における計画降雨の算出方法をまとめた。

計画降雨の算出方法は、過去の設計資料において、**A**、**B**、**C**、**D**の4つの手法により算出されている。

以下に、算出方法とその概要を記述する。

表-1 過去の資料における計画降雨の算出方法

計画降雨	ケース	設計雨量	観測所	算出方法
A	1	-	20 観測所	設計対象近傍の雨量観測所の計画日雨量より算出(2日雨量)
	2	274.0(mm/24hr)	観測所 I	設計対象近傍の雨量観測所の計画日雨量より算出(1日雨量) (使用しているデータの範囲によって、計画対象雨量が異なっている)
B	3	274.0(mm/24hr)	観測所 I	
	4	265.3(mm/24hr)	観測所 I	
	5	265.3(mm/24hr)	観測所 I	
	6	291.1(mm/24hr)	観測所 I	
	7	265.3(mm/24hr)	観測所 I	
	8	325.0(mm/24hr)	観測所 II	
	9	298.1(mm/24hr)	観測所 I	
	10	298.1(mm/24hr)	観測所 I	
C	11	60.0(mm/hr)	観測所 III	ある台風時の流域内の雨量観測所から算出された100年超過確率規模の時間雨量
		91.0(mm/hr)	観測所 IV	
D	12	235.0(mm/日)	観測所 V	設計対象渓流近傍の雨量観測データ(アメダス)より、過去最大の日雨量を採用
		370.0(mm/日)	観測所 VI	

2. 計画降雨 **A** の算出方法

(1) 計画降雨の継続時間

計画降雨の継続時間は、2日雨量としており、計画雨量は1/100年超過確率2日雨量である。

その理由は、当該地で過去に甚大な被害をもたらした台風の降雨継続時間は約38時間であることによる。

(2) 雨量観測所

対象流域とその近傍に位置する観測所は表-2 に示す 31 観測所であり、このうち降雨期間 10 年程度以下のものとティーセン分割により対象観測所とならなかったものを除く 20 箇所の観測所を、解析に用いる雨量観測所とした。図-1 にティーセン分割図を示す。

表-2 雨量観測所一覧

観測所	収集年				○：採用 ×：不採用
	年最大 1日雨量	年最大 2日雨量	年最大 1時間雨量	年最大 3時間雨量	
1	30年	30年	27年	27年	○
2	14年	14年	14年	14年	○
3	41年	41年	36年	36年	○
4	15年	15年	15年	15年	○
5	35年	35年	31年	31年	○
6	16年	16年	16年	16年	○
7	52年	52年	37年	38年	○
8	26年	25年	25年	25年	○
9	25年	25年	26年	26年	○
10	27年	27年	27年	27年	○
11	35年	35年	32年	32年	○
12	15年	15年	15年	15年	○
13	30年	30年	24年	25年	○
14	40年	40年	36年	35年	○
15	35年	35年	31年	31年	○
16	15年	15年	12年	11年	○
17	35年	35年	34年	34年	○
18	23年	23年	23年	23年	○
19	44年	44年	35年	37年	○
20	27年	27年	27年	27年	○
21	33年	33年	29年	29年	×
22	31年	31年	27年	27年	×
23	9年	9年	9年	9年	×
24	9年	9年	9年	9年	×
25	1年	1年	1年	1年	×
26	1年	1年	1年	1年	×
27	8年	8年	7年	7年	×
28	8年	8年	8年	8年	×
29	7年	7年	7年	7年	×
30	8年	8年	8年	8年	×
31	2年	2年	2年	2年	×

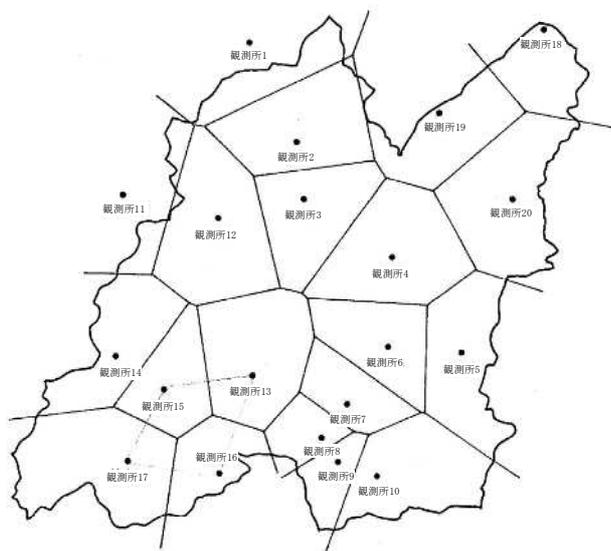


図-1 対象流域のティーセン分割図

ティーセン分割は、単元流域毎および土石流危険渓流毎に代表観測所を想定し、各観測所の支配面積に対する降雨量の加重平均により算定するものである。

(3) 確率雨量の算出

上述した 20 箇所の観測所の年最大 1 日雨量、2 日雨量、1 時間雨量、3 時間雨量を用い、確率計算を実施している。

解析に用いた分布型は、対数正規分布の岩井法、トーマス法、ヘイズン法、及び極値分布のガンベル法である。

(a) 対数正規分布の岩井法¹⁾

水文事象の正規分布と比較的良く適合するといわれる非対称型の対数正規分布を基本とし、降雨量を対象とする場合に良く用いられている手法である。また、観測値との整合性が良く標本誤差の影響を受けにくい手法であるといわれている。

基本式 $F(x)=1.0-W(x)$	確率変数(x)と確率変量との関係式
対数正規分布 $F(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\xi^2} d\xi$ ξ : 確率変量	$\log_{10}(x+b) = \log_{10}(x_0+b) + \frac{1}{a}\xi$ $\xi = a \log_{10} \frac{(x+b)}{(x_0+b)}$

(b) トーマス法²⁾

対数確率紙の縦軸に非超過確率(1-w)、横軸に雨量(mm)をとって次式によって求めた数値をプロットし、最小 2 乗法により近似させる。

$$W = \frac{n}{N+1}$$

W : 超過確率、N : 資料総数(年数)、n : 資料の大きい方からの順位

(c) ヘイズン法²⁾

トーマス法と同様に次式によって求めた数値をプロットし、最小 2 乗法により近似させる。

$$W = \frac{2n-1}{2N}$$

W : 超過確率、N : 資料総数(年数)、n : 資料の大きい方からの順位

(d) 極値分布のガンベル法¹⁾

極値分布を基本としており、比較的短時間の水文学の毎年極値に良く適合する手法である。

基本式 $F(x)=1.0-W(x)$	確率変数(x)と確率変量との関係式
極値分布 $F(x) = \exp(-e^{-y})$ y : 確率変量	$x = x_0 + \left(\frac{1}{a}\right)y$ $y = a(x - x_0)$

解析の結果、計画上の安全性を考慮して、確率雨量が最も大きくなる手法を採用することとし、以下の理由により、推定手法をガンベル法に決定している。

- (i)表-3 よりどの雨量も岩井法、ヘイズン法は小さい値を示している。
- (ii)トーマス法、ガンベル法の値は、どの観測所、どの雨量においても全般的に同程度の値を示している。

表-3 確率雨量(年超過確率 1/100 年)

(2日雨量)		第1位 第2位			
観測所	資料収集年	岩井法	トーマス法	ヘイズン法	ガンベル法
1	30年	324.5mm/2日	324.4mm/2日	302.2mm/2日	337.9mm/2日
2	14年	349.2mm/2日	366.7mm/2日	319.7mm/2日	385.6mm/2日
3	41年	446.4mm/2日	397.2mm/2日	370.3mm/2日	400.6mm/2日
4	15年	531.7mm/2日	490.5mm/2日	426.6mm/2日	511.2mm/2日
5	35年	521.3mm/2日	574.0mm/2日	531.2mm/2日	543.4mm/2日
6	16年	510.4mm/2日	536.2mm/2日	469.7mm/2日	531.7mm/2日
7	52年	459.2mm/2日	443.9mm/2日	423.3mm/2日	453.6mm/2日
8	26年	302.1mm/2日	332.9mm/2日	311.1mm/2日	334.8mm/2日
9	25年	490.4mm/2日	497.9mm/2日	458.6mm/2日	523.8mm/2日
10	27年	589.5mm/2日	617.5mm/2日	562.8mm/2日	591.9mm/2日
11	35年	286.5mm/2日	294.1mm/2日	276.9mm/2日	319.2mm/2日
12	15年	343.5mm/2日	363.8mm/2日	319.2mm/2日	391.2mm/2日
13	30年	494.6mm/2日	499.7mm/2日	458.4mm/2日	491.0mm/2日
14	40年	328.8mm/2日	331.8mm/2日	313.3mm/2日	339.6mm/2日
15	35年	385mm/2日	365.5mm/2日	342.5mm/2日	389.9mm/2日
16	15年	296.8mm/2日	389.0mm/2日	344.8mm/2日	354.3mm/2日
17	35年	508.6mm/2日	463.5mm/2日	429.5mm/2日	550.8mm/2日
18	23年	457.3mm/2日	477.5mm/2日	438.2mm/2日	475.9mm/2日
19	44年	369.8mm/2日	426.6mm/2日	400.2mm/2日	391.7mm/2日
20	27年	543.2mm/2日	539.4mm/2日	493.3mm/2日	544.6mm/2日



図-2 対象流域の1/100年超過確率2日雨量(ガンベル法)

3. 計画降雨 B の算出方法

(1) 計画降雨の基礎データ

土石流対策施設の計画では、「砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)」³⁾に基づき、「24時間雨量」を計画値として用いるものとしていることから、「24時間雨量」を基礎データとして使用している。ただし、24時間雨量が得られない場合は日雨量を用いてもよいとされている。

(2) 雨量観測所

設計対象溪流近傍の観測所を数箇所抽出し、各観測所で観測された雨量データを用いている。

(3) 確率雨量の算出

抽出した観測所の24時間雨量を用い、確率計算を実施している。解析に用いた分布型は、トーマスプロット法、ガンベル法、対数正規法、岩井法(片側)、及び岩井法(両側)で、これらの内、確率雨量が最も大きくなる手法を採用している。

代表としてケース6の解析の結果を表-4に示す。

表-4 計画24時間雨量一覧表

観測所	対象地との距離	データ年数	計画24時間雨量(100年確率)	台風21号降雨量(24時間雨量)
a	3.1km	29年	298.1mm	266mm
b	2.7km	18年	244.7mm (2003年に廃止)	-
c	2.4km	22年	371.9mm	281mm
d	1.1km	18年	427.7mm	282mm

(i)観測所 a は観測データ年⁴⁾数が約30年であり、計画24時間雨量(100年確率)の精度が高い。

(ii)観測所 b は、観測データが廃止されており、集計データがないため、棄却している。

(iii)観測所 c、dは観測データ年数が20年前後であり、計画24時間雨量(100年確率)の精度が低い。

(iv)台風21号降雨量は、各観測所の記録上既往最大24時間雨量である。

上記より、観測データ年数が約30年と多く、既往最大である台風21号降雨量より多い観測所 a の観測データから算出した計画24時間雨量(100年確率)が採用されている。

表-5 確率雨量計算結果

確率年	(1) 24時間確率雨量 R (mm)				
	トーマスプロット法	ガンベル法	対数正規法	岩井法(片側)	岩井法(両側)
500	370.590	367.756	374.222	378.369	310.735
400	359.995	358.113	316.042	366.174	303.935
300	346.505	345.677	305.465	350.590	295.039
250	337.949	337.793	298.810	340.893	289.382
200	327.603	328.139	290.705	329.200	282.429
150	314.349	315.686	280.259	314.318	273.365
100	295.914	298.112	265.629	293.843	260.476
80	285.838	288.425	257.594	282.785	253.289
60	272.916	275.917	247.249	268.749	243.958
50	264.780	267.874	240.678	259.853	237.966
40	254.844	258.232	232.695	249.395	230.624
30	242.079	245.630	222.314	235.877	220.975
25	233.996	237.612	215.743	227.450	214.809
20	224.112	227.756	207.630	217.183	207.134
15	211.347	214.960	197.123	204.124	197.093
10	193.250	196.685	182.091	185.916	182.531
9	188.509	191.874	178.151	178.678	178.678
8	183.182	186.457	173.656	175.955	174.262
7	177.100	180.259	168.524	169.906	169.197
6	170.013	173.014	162.693	163.291	163.413
5	161.511	164.293	155.323	154.966	156.057
4	150.870	153.328	146.217	144.895	146.802
3	136.594	138.515	133.885	131.648	134.392
2	114.589	115.370	114.589	111.886	114.589
1	44.373	13.221	41.230	50.000	38.337

4. 計画降雨 **C** の算出方法

対象流域内で未曾有の土砂災害を生じた台風の観測所データから算出された100年確率規模の時間雨量を計画の基礎としている。

表-6 100年超過確率の時間雨量

観測所	計画雨量	対象 確率年	土砂混入率	
			掃流区域	土石流区域
観測所Ⅲ	60mm/hr	1/100	10%	50%
観測所Ⅳ	91mm/hr			

5. 計画降雨 **D** の算出方法

計画対象降雨は、対象溪流近傍の雨量観測所データ(アメダス)により、過去最大の日雨量を採用している。

表-7 観測所雨量データ一覧

要素名/順位	1位	2位	3位	4位	5位
日降水量(mm)	235.0	218.5	191.0	163.0	162.0
観測年月日	1982/8/1	2017/10/22	2014/8/9	2019/10/12	1990.9/19
要素名/順位	6位	7位	8位	9位	10位
日降水量(mm)	159.0	150.0	149.0	144.0	143.0
観測年月日	2011/9/2	1978/6/23	1976/9/9	2000/9/11	1997/7/26

6. 計画降雨の評価

上記の整理の通り、これまでの各計画降雨の算出方法 **A**、**B**、**C**、**D** について、土石流対策施設の計画において最も使用頻度が高く、近年の降雨特性の観点から施設設計への適用性・安全性が高いと考えられるのは、**B** の算出方法である。

よって、近年の降雨特性を踏まえて、計画対象降雨 **B** の算出方法を用いて、計画対象降雨を算出することとした。

7. 過去の設計に対する検証(事例1)

(1) 計画対象降雨の算出

過去の設計に対して、近年の降雨データを追加し、計画降雨 **B** の算出方法を用いて、計画対象降雨を算出した。

過去の設計においては、1989年～2017年の29年間の観測降雨データを用いていたが、ここでは、最新の観測降雨データを追加して1989年～2021年の33年間のデータを使用した。解析結果を表-8に、使用した観測降雨データの一覧表を表-9に示す。

過去の設計における計画降雨 265.3mm/24hr に対し、最新の降雨データを追加すると、計画降雨 298.4mm/24hr と 33.1mm/24hr 値が大きくなるのがわかった。そこで、上記の計画降雨に対して、砂防堰堤の水通し高さの妥当性を検証した。

表-8 解析結果一覧

観測所	過去の設計 1989年～2017年		本業務 1989年～2021年		2017年 台風21号降雨量 (24時間雨量)
	データ 年数	計画24時間雨量 (100年確率)	データ 年数	計画24時間雨量 (100年確率)	
観測所a	29年	265.3mm	33年	298.4mm	266mm

表-9 観測所 24 時間雨量データ一覧

観測所	24時間	1989年		1990年		1991年		1992年		1993年	
		年月日	年間最大雨量 (mm)	年月日	年間最大雨量 (mm)	年月日	年間最大雨量 (mm)	年月日	年間最大雨量 (mm)	年月日	年間最大雨量 (mm)
観測所a	24時間	1989.8.19	87	1990.9.19	130	1991.11.27	110	1992.8.19	81	1993.7.4	109
		1994.8.16	191	1995.5.11	134	1996.6.20	105	1997.7.25	144	1998.9.15	74
観測所b	24時間	1999.6.24	96	2000.9.11	175	2001.8.21	132	2002.7.9	98	2003.8.8	99
		2004.7.20	101	2005.7.3	59	2006.7.18	79	2007.7.16	91	2008.7.8	95
観測所c	24時間	2009.10.7	201	2010.10.31	76	2011.9.2	189	2012.6.21	84	2013.9.15	201
		2014.8.9	176	2015.8.8	95	2016.8.22	149	2017.10.22	206	2018.7.29	95
観測所d	24時間	2019.10.11	215	2020.6.18	117	2021.7.7	82	-	-	-	-

表-8 に示した結果より、当該対象溪流の清水の対象流量を算出する。清水の対象流量は合理式により算出する。

(i) 洪水到達時間

$$Tf = Kp1 \cdot A^{0.22} \cdot Pe^{-0.35}$$

ここに、Tf: 洪水到達時間(分)、A: 流域面積(0.082km²)
Pe: 有効降雨強度(mm/hr)、Kp1: 係数(120)

(ii) 平均降雨強度

洪水到達時間内の降雨強度は次式のように24時間雨量から求める。(物部式)

$$P_a = \frac{P_{24}}{24} \left(\frac{T_f}{24} \right)^{kp2}$$

ここに、P_a: 洪水到達時間内の平均降雨強度(mm/h)、
P₂₄: 24時間雨量(265.3mm: 過去設計、298.4mm: 本検証)
Kp₂: -1/2

(iii) 有効降雨強度

$$Pe = K_{f1} \cdot P_a$$

ここに、K_{f1}: ピーク流出係数(0.80)

以上(i)～(iii)を連立させると、

$$P_e = \left(\frac{P_{24}}{24} \right)^{1.21} \left(\frac{24 \cdot K_{f1}^2}{K_{p1} \cdot A^{0.22}} \right)^{0.606}$$

(iv) 清水の対象流量

$$Q_b = 1/3.6 \cdot K_{f1} \cdot P_a \cdot A = 1/3.6 \cdot P_e \cdot A$$

表-10に、各計画対象降雨に対する清水の対象流量及び、土砂含有を考慮した流量の一覧を示す。なお、土砂含有は50%とする。

表-10 清水の対象流量、土砂含有を考慮した流量

	計画24時間雨量 (100年確率)	清水の 対象流量 Q_p	土砂含有を考慮 した流量 Q
過去設計	265.3mm	2.00 m^3/s	3.00 m^3/s
本検証	298.4mm	2.31 m^3/s	3.47 m^3/s

(2) 越流水深の決定

不透過型砂防堰堤の水通し高さは、以下の3方法のうち最も大きい値に余裕高を加えたものとなる。

- ①土砂含有を考慮した流量に対する越流水深
- ②計画堆砂勾配から算出した土石流ピーク流量に対する越流水深
- ③最大礫径

ただし、土石流・流木処理計画を満足する(整備率100%)溪流の最下流の堰堤においては、水通し部の設計水深を「土砂含有を考慮した流量」(洪水流)を対象として定めることを基本としている⁵⁾。

対象堰堤は、土砂・流木100%を満足する最下流堰堤であるため、①土砂含有を考慮した流量に対する越流水深が設計水深となる。

①土砂含有を考慮した流量に対する越流水深は以下の方法により算出する。

$$1.5Q_p < \frac{2}{15} \times C \sqrt{2g \times (3B_1 + 2B_2) D_h^{3/2}}$$

ここで、 $1.5Q_p$: 清水の対象流量の1.5倍、 C : 流量係数(0.6)、 g : 重力加速度(9.81 m/s^2)、 D_h : 越流水深(m)、 B_1 : 水通し底幅(3.0m)、 B_2 : 越流水面幅(m)

表-11 越流水深

	水通し底幅 (m)	越流水深 (m)	越流水面幅 (m)	越流量 (m^3/s)	設計流量 (m^3/s)	判定
過去設計	3.00	0.70	3.70	3.40	3.00	OK
本検討	3.00	0.80	3.80	4.21	3.47	OK

検討の結果、過去の設計における越流水深0.70mに対し、本検討では越流水深0.80mとなって、0.10m大きくなった。

(3) 余裕高の決定

余裕高は表-12に基づいて設定する⁴⁾。ただし、余裕高は溪床勾配によっても変わるものとし、設計水深に対する余裕高の比が表-13に示す値以下とならないように計画する。なお、溪床勾配は計画堆砂勾配(1/8.25)を用いる。

表-12 余裕高

設計流量	余裕高
200 m^3/s 未満	0.6m
200~500 m^3/s	0.8m
500 m^3/s 以上	1.0m

表-13 溪床勾配別の設計水深に対する余裕高の比の最低値

溪床勾配	(余裕高) / (設計水深)
1/10 以上	0.50
1/10~1/30	0.40
1/30~1/50	0.30
1/50~1/70	0.25

表-14 に過去設計及び本検討での余裕高を示す。検討の結果、過去の設計と本検討における余裕高は 0.6m と変わらない。

表-14 余裕高決定

	設計流量	設計水深	溪床勾配	余裕高 表-13より	余裕高比 の最低値 表-14より	余裕高比	余裕高
過去設計	2.00 m^3/s	0.7m	1/8.25	0.6m	0.50	<	0.6m
本検討	2.31 m^3/s	0.8m		0.6m	0.5	<	0.75

(4) 水通し高の決定

水通しの高さは、設計水深と余裕高の和である。表-15に水通しの高さを示す。検討の結果、過去の設計における水通しの高さ 1.3m に対して、本検討における水通しの高さ 1.4m となり、近年の降雨特性を踏まえると、砂防施設の規模が大きくなる傾向にあることがわかった。

表-15 水通しの高さの決定

	設計流量	設計水深	余裕高	水通し高
過去設計	2.00 m^3/s	0.7m	0.6m	1.3m
本検討	2.31 m^3/s	0.8m	0.6m	1.4m

8. 過去の設計に対する検証(事例2)

(1) 計画対象降雨の算出

過去の設計においては、2000年~2009年の10年間の観測降雨データを用いていたが、ここでは、最新の観測降雨データを追加して2000年~2021年の22年間のデータを使用した。解析結果を表-16に、使用した観測降雨データの一覧を表-17に示す。

過去の設計における計画降雨 690.7mm/24hr に対し、最新の降雨データを追加すると、計画降雨 886.8mm/24hr と 196.1mm/24hr 値が大きくなることがわかった。そこで、上記の計画降雨に対して、砂防堰堤の水通し高さの妥当性を検証した。

表-16 解析結果一覧

観測所	過去の設計 2000年~2009年		本業務 2000年~2021年		2017年 台風21号降雨量 (24時間雨量)
	データ 年数	計画24時間雨量 (100年確率)	データ 年数	計画24時間雨量 (100年確率)	
観測所b	10年	690.7mm	22年	886.8mm	368mm

表-17 観測所 24時間雨量データ一覧

継続時間	24時間	2000年		2001年		2002年		2003年		2004年	
		年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)
継続時間	24時間	2000/9/11	215	2001/9/21	325	2002/7/9	148	2003/8/8	234	2004/8/4	272
継続時間	24時間	2005年		2006年		2007年		2008年		2009年	
		年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)
継続時間	24時間	2005/9/6	147	2006/12/26	77	2007/7/14	112	2008/9/19	106	2009/10/7	279
継続時間	24時間	2010年		2011年		2012年		2013年		2014年	
		年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)
継続時間	24時間	2010/5/23	74	2011/9/2	465	2012/9/30	211	2013/9/15	360	2014/8/9	290
継続時間	24時間	2015年		2016年		2017年		2018年		2019年	
		年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)
継続時間	24時間	2015/7/16	289	2016/9/19	159	2017/10/22	368	2018/8/23	257	2019/10/11	296
継続時間	24時間	2020年		2021年		2022年		2023年		2024年	
		年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)	年月日	年間最大雨量(mm)
継続時間	24時間	2020/6/18	124	2021/7/2	59	-	-	-	-	-	-

表-16 に示した結果より、7. と同様に清水の対象流量を算出する。表-18 に各計画対象降雨に対する清水の対象流量及び、土砂含有を考慮した流量の一覧を示す。なお、土砂含有は 50%とする。

表-18 清水の対象流量、土砂含有を考慮した流量

	計画24時間雨量 (100年確率)	清水の 対象流量 Q_p	土砂含有を考慮 した流量 Q
過去設計	690.7mm	6.91m ³ /s	10.43m ³ /s
本検証	886.8mm	9.35m ³ /s	14.97m ³ /s

(1) 越流水深の決定

透過型砂防堰堤の水通し高さは、以下の2方法のうち大きい方の値とする。

- ①計画堆砂勾配から算出した土石流ピーク流量に対する越流水深
- ②最大礫径

ただし、土石流・流木処理計画を満足する(整備率100%)溪流の最下流の堰堤においては、水通し部の設計水深を「土砂含有を考慮した流量」(洪水流)を対象として定めることを基本としている⁶⁾。

対象堰堤では、土砂・流木100%を満足する最下流堰堤であるため、「土砂含有を考慮した流量」に対する越流水深が設計水深となる。

①土砂含有を考慮した流量に対する越流水深は以下の方法により算出する。

$$1.5Q_p < \frac{2}{15} \times C \sqrt{2g \times (3B_1 + 2B_2)} D_h^{3/2}$$

ここで、1.5 Q_p : 清水の対象流量の1.5倍、C : 流量係数(0.6)、g : 重力加速度(9.81m/s²)、 D_h : 越流水深(m)、 B_1 : 水通し底幅(4.0m)、 B_2 : 越流水面幅(m)

表-19 越流水深

	水通し底幅(m)	越流水深(m)	越流水面幅(m)	越流量(m ³ /s)	設計流量(m ³ /s)	判定
過去設計	4.00	1.20	5.20	10.43	10.40	OK
本検討	4.00	1.50	5.50	14.97	14.03	OK

検討の結果、過去設計における越流水深 1.20m に対し、本検討における越流水深 1.50m となり、0.30m 大きくなる結果となった。

9. まとめ

事例1及び事例2が示すように、近年の降雨特性を踏まえた計画降雨に対して砂防堰堤における水通し高さを検討した結果、計画降雨が大きくなることに伴い、水通しの高さが高くなることがわかった。

また、越流水深の増加に伴い安定計算の条件もより厳しくなり、施設の規模も大きくなることがわかった。

あとがき

近年の降雨特性を踏まえると、計画降雨がより大きくなり、水通しの高さが高くなることで砂防堰堤の規模が大きくなる傾向である。引き続き、降雨データの蓄積による計画降雨の変化を検討し、近年の未曾有の豪雨に対して耐える砂防施設の設計を進める必要があると言える。

最後に、本稿を作成するにあたりご指導、ご協力いただきました関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 橋本, 西原, 小島, 館山 : 「確率統計手法の違いによる各種時間確率降雨量の検討」、第39回地盤工学研究発表会、2004.7
- 2) 福山 : 雨水浸透施設・防災調節池等の設計者のための雨水流出抑制施設設計ツール BOCH01 解説と例題による BOCH01 利用技術の取得、株式会社ソフトウェアセンター、2008.10
- 3) 土砂災害研究部 砂防研究室 : 砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説、国土技術政策総合研究所資料、国土交通省 国土技術政策総合研究所、H28.4、p.29
- 4) 国土交通省 水門水質データベース
- 5) 土砂災害研究部 砂防研究室 : 土石流・流木対策設計技術指針 解説、国土技術政策総合研究所資料、国土交通省 国土技術政策総合研究所、H28.4、pp.8-9
- 6) 土砂災害研究部 砂防研究室 : 土石流・流木対策設計技術指針 解説、国土技術政策総合研究所資料、国土交通省 国土技術政策総合研究所、H28.4、p.10