

新モデルによる洪水流出計算の再現に関する報告

第 6 回分科会で提示された新たな流出計算モデル（ケース 2）について、国土交通省が計算に用いている流出計算モデルの動作を確認するために、(財) 国土センター流出解析システムを用いた再現計算を実施し、計算結果を比較した。比較した計算結果は以下の 2 つである。

- ① 国土交通省から提供された計算結果。この計算結果は、国土交通省がエクセルによって独自に構築した流出計算モデル（以降、エクセルモデルと略記）を用いて計算した結果である。
- ② 分科会委員が再現計算した結果。この計算結果は、(財) 国土センター流出解析システムを用い、同じモデル構造・同じ計算条件となるように設定された流出計算モデル（以降、国土センターモデルと略記）を用いて、分科会委員が再現計算した結果である。計算に必要な情報は国土交通省から提供を受けた。

実施した計算内容は以下である。

- ① 昭和 33 年 9 月洪水、昭和 34 年 8 月洪水、昭和 57 年 9 月洪水と平成 10 年 9 月洪水を対象とし、エクセルモデルの計算結果と国土センターモデルとの計算結果とを比較した。

これらの流出計算モデルによる計算結果を比較した後、国土センターモデルを用いて、以下の計算を実施した。

- ② 上記 4 洪水を対象とし、有効降雨パラメータ R_{sa} が計算流量に与える影響を分析した。
- ③ 上記 4 洪水を対象とし、モデルパラメータ k 、 p が計算流量に与える影響を分析した。
- ④ 上記 4 洪水を対象とし、分科会で独自に作成したサブ流域平均雨量を入力とし、流出計算を実施した。その際、降水量観測点数の違いが流出計算に及ぼす影響を比較するために、昭和 22 年に利用可能な時間雨量観測点のうち欠測の少ない 15 地点のみ（同地点のデータがない場合は持近い時間データ地点）を用いたサブ流域平均雨量も作成し、降雨観測所が昭和 22 年 9 月の洪水時点しかないとした場合の流出計算を実施して、降雨観測所の観測密度が計算流量に与える影響を分析した。

以上の流出計算の後、昭和 22 年 9 月洪水を対象とし、国土センターモデルを用いて、以下の計算を実施した。

- ⑤ 昭和 22 年 9 月洪水の再現計算を実施した。降雨データは、5 月 2 日に国土交通省よりワーキングメンバーに提供された流域平均時間降水量データを用いた。
- ⑥ 有効降雨パラメータ R_{sa} が計算流量に与える影響を分析した。
- ⑦ 降雨観測所の観測密度が計算流量に与える影響を分析した。
- ⑧ 5 月 27 日に国土交通省よりワーキングメンバーに提供された、新たに計算しなおされた流域平均時間降水量データを用いて、再現計算を実施した。

1. 新たな流出計算モデル（ケース2）の構成

第6回分科会（平成23年4月26日）資料6の2ページに示された新たな流出計算モデル（ケース2）（以降、新モデルと略記）を対象とする。新モデルの構成は以下のようである。

$$\begin{aligned} \frac{ds}{dt} &= r_e(t - T_l) - q(t) \\ s(t) &= Kq(t)^p \\ q(t) &= \frac{3.6}{A}(Q(t) - Q_b(t)) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで t は時間、 $s(t)$ は貯留高(mm)、 $r_e(t)$ は流域平均の有効降雨強度 (mm/hr)、 $q(t)$ は基底流量分離後の直接流出高 (mm/hr)、 $Q(t)$ は流出量 (m^3/s)、 $Q_b(t)$ は基底流量 (m^3/s)である。 A は流域面積(km^2)、 T_l は滞留時間、 K 、 p はモデルパラメータであり、流域固有の値であると考え。 (1)式は、しばしば用いられる以下の表現と同等であり、解釈のしやすさから(1)式のように記述する。

$$\frac{ds_l}{dt} = r_e(t) - q(t + T_l), \quad s_l(t) = Kq(t + T_l)^p$$

流域平均の有効降雨強度 $r_e(t)$ は、ティーセン法から定まる流域平均降雨強度 $r(t)$ をもとに

$$r_e(t) = f(t)r(t) \quad (2)$$

とする。ここで $f(t)$ は降り始め（計算開始時刻 t_0 ）からの $r(t)$ の積算値が R_0 以下のとき、すなわち、

$$0 \leq \int_{t_0}^t r(\tau) d\tau < R_0 \text{ のとき } f(t) = 0.0 \quad (2a)$$

降り始めからの $r(t)$ の積算値が R_0 を超えて R_0 と R_{sa} の和よりも小さいとき、すなわち

$$R_0 \leq \int_{t_0}^t r(\tau) d\tau < R_0 + R_{sa} \text{ のとき } f(t) = f_1 \quad (2b)$$

降り始めからの $r(t)$ の積算値が R_0 と R_{sa} の和よりも大きくなる時、すなわち

$$R_0 + R_{sa} < \int_{t_0}^t r(\tau) d\tau \text{ のとき } f(t) = 1.0 \quad (2c)$$

とする。ここで f_1 は $0 < f_1 < 1$ とする有効降雨に関するパラメータであり、流域固有の値をとると考える。 R_0 と R_{sa} は流域ごとに、また降雨ごとに変化すると考える有効降雨に関するパラメータである。 R_0 は、洪水ハイドログラフが立ち上がる時刻までの降雨強度の積算値とする。 $R_0 + R_{sa}$ は、降雨すべてが直接流出に寄与する状態に遷移すると考えるまでの降雨強度の積算値とする。

降雨が終了した後、十分時間が経過したときの時刻を t_E とすると、その間の総降水量から総直接流出量を減じた値が降雨の損失分に等しいので

$$\int_{t_0}^{t_E} r(\tau) d\tau - \int_{t_0}^{t_E} q(\tau) d\tau = (1 - f_1)R_{sa} + R_0$$

という関係が成り立つ。これから、 R_{sa} は次式で定まる。

$$R_{sa} = \frac{\int_{t_0}^{t_E} r(\tau) d\tau - \int_{t_0}^{t_E} q(\tau) d\tau - R_0}{1 - f_1} \quad (3)$$

2. 新モデルの動作確認の方法

国土交通省ではエクセルのマクロ機能を用いて新モデルを構成している。これとは独立に、(財)国土センターが公開している流出解析システムを用い、新モデルと同じ構造を持つ流出モデルを構成してエクセルモデルの動作を確認した。この際、新モデルとまったく同じ構造の流出計算モデルは(財)国土センター流出解析システムには実装されていない。そこで、両モデルがまったく同じ構造のモデルの流出計算を実施することになるように、入力データとモデルパラメータを設定した。

具体的に記述すると、(財)国土センター流出解析システムに実装されている一価非線形貯留関数法による流出量は、

$$Q = \frac{1}{3.6} f_1 A q_1 + \frac{1}{3.6} (f_{sa} - f_1) A q_{sal} + Q_b \quad (4)$$

Q : サブ流域全体からの流出量(m^3/s)、 f_1 : 一次流出率、 f_{sa} : 飽和流出率 (通常 $f_{sa}=1.0$)、
 q_1 : 流出域からの流出高(mm/hr)、 q_{sal} : 浸透域からの流出高(mm/hr)、 A : 流域面積(km^2)、
 Q_b : 基底流量(m^3/s)

と表現される。いわゆる木村の貯留関数法であり、1. で示した新モデルとは構造が異なる。そこで、 $f_1=1.0$ 、 $f_{sa}=1.0$ として右辺第2項による流出量が発生しないようする。また、流出モデルへの入力データとなる有効降雨強度は、別のプログラムを用いて(2)式に従って計算し、それを流出モデルの入力データとする。これによって新モデルと同じ構造の流出モデルを(財)国土センター流出解析システムで実施することが可能となる。

なお、同じ計算を行うためには、基底流量とモデルパラメータの値は、エクセルモデルと国土センターモデルとで同じ値を用いる必要がある。これらは国土交通省から提供された値を用いるものとする。

3. 既往4洪水を対象とした計算結果の比較

現行モデルで対象とされている既往4洪水(昭和33年9月洪水、昭和34年8月洪水、昭和57年9月洪水、平成10年9月洪水)のうち、基底流量、新モデルのモデルパラメータ値、およびエクセルモデルの計算結果が提供された昭和57年9月洪水、平成10年9月洪水について、(財)国土センター流出解析システムを用いた再現計算を実施し、計算した結果を、国土交通省から提供されたエクセルモデルの計算結果と比較した。

(1) 計算条件

①降水量

国土交通省から提供されたサブ流域ごとの流域平均雨量(時間単位)を用いた。

②有効降雨

表1にある f_1 、 R_0 、 R_{sa} を用いて提供された流域平均雨量から算定した。

③基底流量

国土交通省から提供された分離後の基底流量データを用いた。

④モデルパラメータ

新モデルのモデルパラメータ値は第6回分科会別添資料5に記載の値(表1)を用いた。この値は、国土交通省が近年の洪水(昭和56年8月洪水、昭和57年7月洪水、昭和57年9月洪水、平成10年9月洪水、平成11年8月洪水、平成13年9月洪水、平成14年7月洪水、平成19年9月洪水)を用いて図解法によって決定したものである。 K 、 p 、 T_1 、 f_1 は洪水によらずサブ流域ごとに同じ値を用いており、 R_0 と R_{sa} は洪水ごとに値が変化するパラメータである。

⑤ダム操作

事後解析であるため、国土交通省から提供されたダム地点での実績のダム放流量を与えた。

⑥差分計算時間間隔

10分とした。

表 1 : 設定したモデルパラメータの値

中流域	流域 番号	面積 A (km^2)	K	p	T_i (min)	f_i	昭和 33 年 9 月		昭和 34 年 8 月		昭和 57 年 9 月		平成 10 年 9 月	
							洪水		洪水		洪水		洪水	
							R_{sa} (mm)	R_0 (mm)	R_{sa} (mm)	R_0 (mm)	R_{sa} (mm)	R_0 (mm)	R_{sa} (mm)	R_0 (mm)
奥利根流域	1	165.48	7.587	0.528	30	0.4	90	17.0	80	0.0	110	24.0	130	16.0
	2	60.59	6.252	0.656	50	0.4	90	17.0	80	0.0	120	19.0	100	14.0
	3	165.77	9.480	0.592	50	0.4	90	17.0	80	0.0	120	19.0	140	11.0
	4	103.07	9.480	0.592	50	0.4	90	17.0	80	0.0	120	19.0	140	11.0
	5	81.80	9.480	0.592	50	0.4	90	17.0	80	0.0	120	19.0	140	11.0
	6	110.19	10.591	0.655	40	0.4	90	17.0	80	0.0	100	30.0	160	23.0
	7	79.19	9.480	0.592	50	0.4	90	17.0	80	0.0	120	19.0	140	11.0
	8	226.00	9.480	0.592	50	0.4	90	17.0	80	0.0	120	19.0	140	11.0
	9	252.05	13.487	0.530	90	0.4	90	17.0	80	0.0	140	18.0	180	7.0
	10	161.64	13.487	0.530	90	0.4	90	17.0	80	0.0	140	18.0	180	7.0
	11	78.78	13.487	0.530	90	0.4	90	17.0	80	0.0	140	18.0	180	7.0
	12	182.31	9.480	0.592	50	0.4	90	17.0	80	0.0	120	19.0	140	11.0
吾妻川流域	13	144.49	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	14	269.24	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	15	289.00	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	16	153.20	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	17	38.30	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	18	164.22	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	19	157.01	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	20	188.37	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	21	97.12	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	22	93.33	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	23	24.68	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	24	23.88	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
鹿川流域	25	155.13	29.519	0.428	30	0.6	110	38.0	150	15.0	120	18.0	170	6.0
	26	110.02	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	120	18.0	150	5.0
	27	121.39	10.765	0.680	60	0.6	110	38.0	150	15.0	80	22.0	70	1.0
	28	165.39	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	120	18.0	150	5.0
	29	43.27	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	120	18.0	150	5.0
	30	190.64	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	150	12.0	210	10.0
	31	158.74	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	150	12.0	210	10.0
	32	201.63	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	150	12.0	210	10.0
	33	75.00	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	120	18.0	150	5.0
	34	94.85	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0	—	14.0	—	22.0	—	4.0
	35	70.05	18.623	0.572	40	0.6	110	38.0	150	15.0	120	18.0	150	5.0
神流川 流域	36	269.56	29.976	0.476	80	0.6	120	20.0	80	13.0	130	22.0	130	22.0
	37	53.25	29.976	0.476	80	0.6	120	20.0	80	13.0	130	22.0	130	22.0
	38	51.68	29.976	0.476	80	0.6	120	20.0	80	13.0	130	22.0	130	22.0
	39	37.50	29.976	0.476	80	0.6	120	20.0	80	13.0	130	22.0	130	22.0

(2) 計算結果

①昭和33年9月洪水

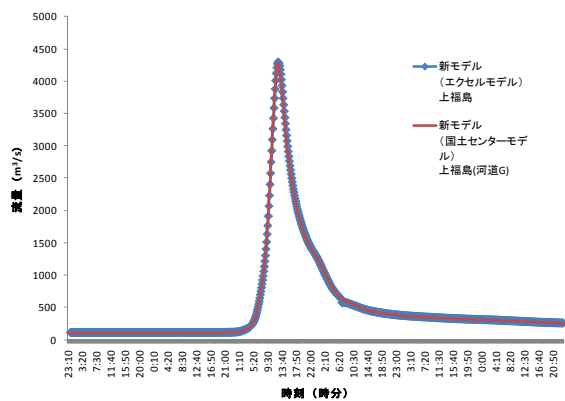


図1：上福島地点（吾妻川流域）

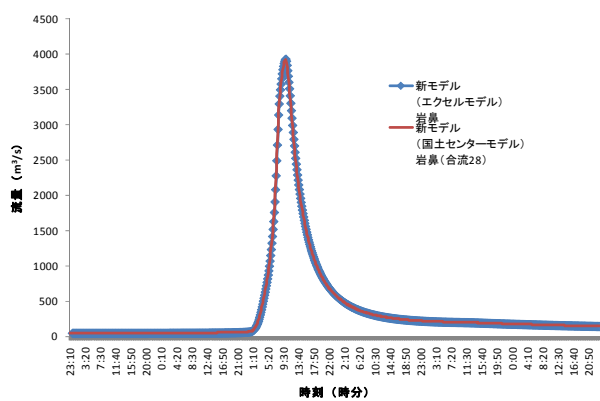


図2：岩鼻地点（烏川流域）

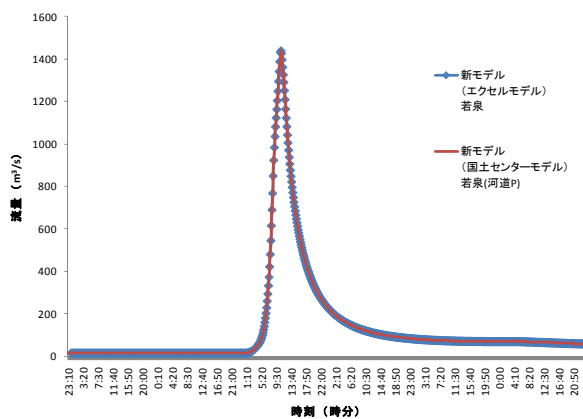


図3：若泉地点（神流川流域）

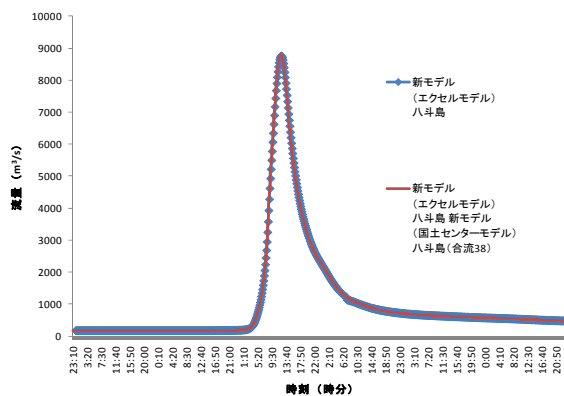


図4：八斗島地点（利根川流域）

②昭和34年8月洪水

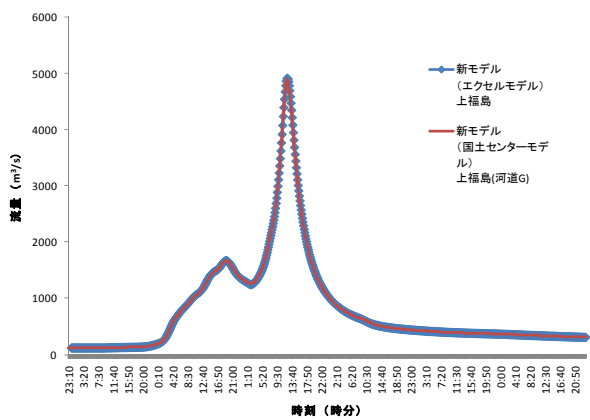


図5：上福島地点（吾妻川流域）

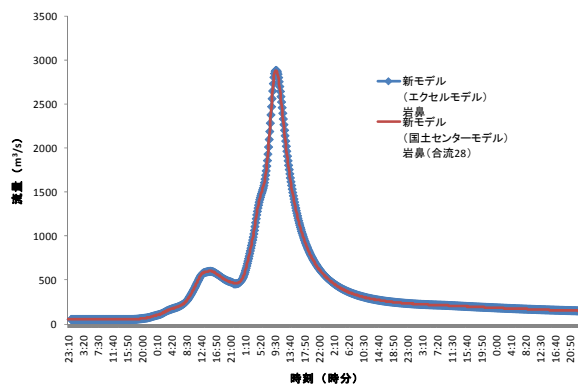


図6：岩鼻地点（烏川流域）

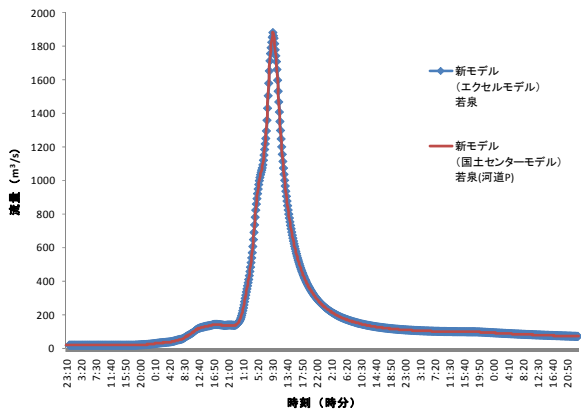


図7：若泉地点（神流川流域）

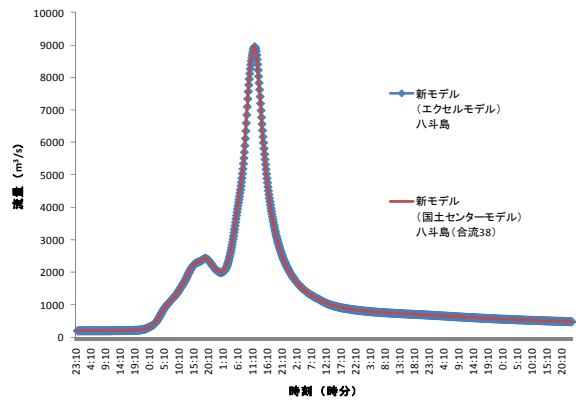


図8：八斗島地点（利根川流域）

③昭和57年9月洪水

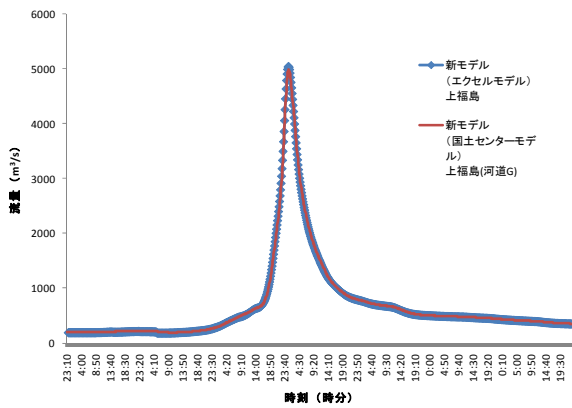


図9：上福島地点（吾妻川流域）

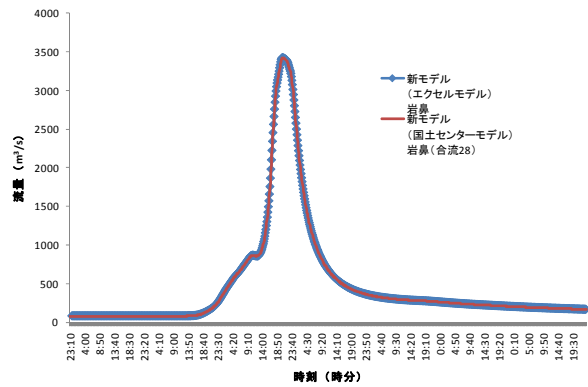


図10：岩鼻地点（烏川流域）

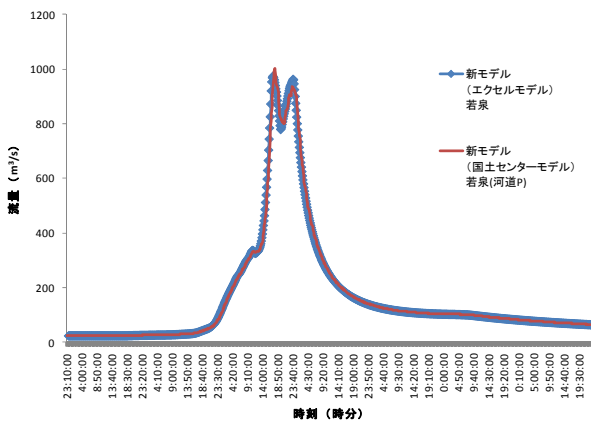


図11：若泉地点（神流川流域）

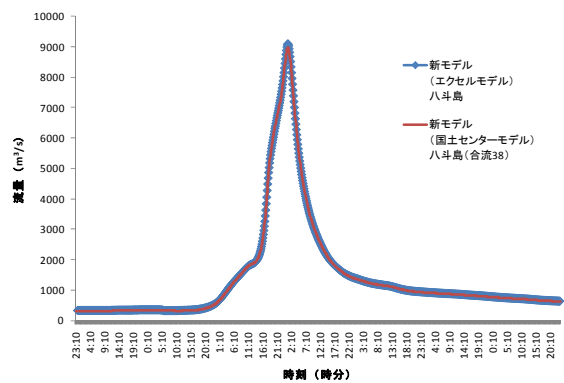


図12：八斗島地点（利根川流域）

④平成10年9月洪水

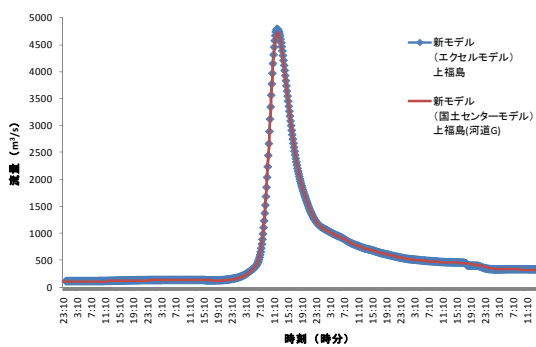


図13：上福島地点（吾妻川流域）

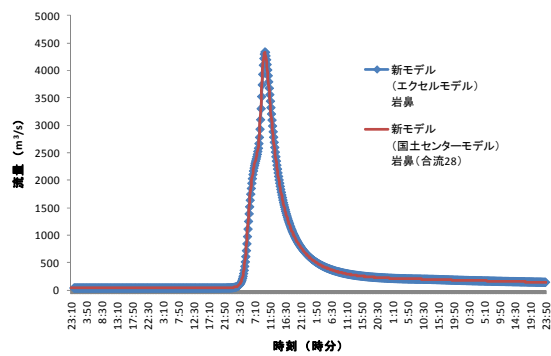


図14：岩鼻地点（烏川流域）

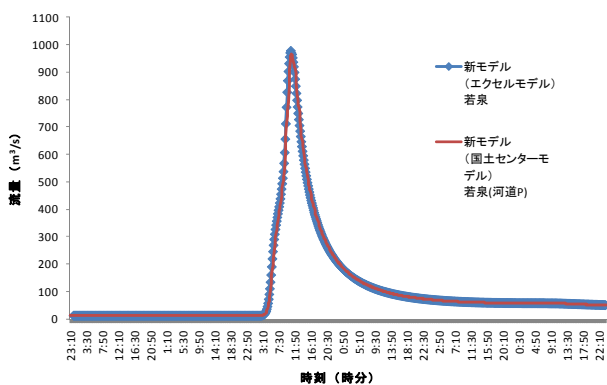


図15：若泉地点（神流川流域）

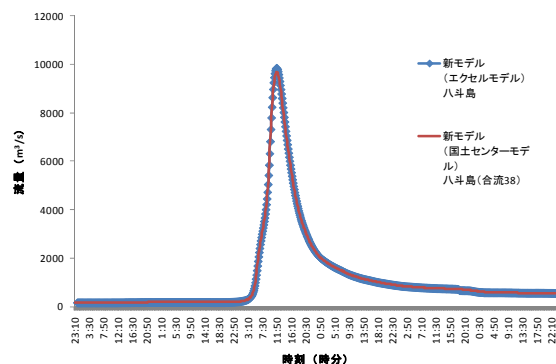


図16：八斗島地点（利根川流域）

(3) まとめ

計算結果を表2から表5にまとめる。

表2：昭和33年9月洪水のピーク流量

対象地点	上福島地点 (m³/s)	岩鼻地点 (m³/s)	若泉地点 (m³/s)	八斗島地点 (m³/s)
エクセルモデル	4293	3931	1440	8766
国土センターモデル	4278	3929	1442	8809
相対的なピーク流量の 差異	+0.4%	+0.0%	-0.1%	-0.5%

表3：昭和34年8月洪水のピーク流量

対象地点	上福島地点 (m³/s)	岩鼻地点 (m³/s)	若泉地点 (m³/s)	八斗島地点 (m³/s)
エクセルモデル	4911	2884	1884	8894
国土センターモデル	4907	2884	1885	8960
相対的なピーク流量の 差異	+0.1%	-0.0%	-0.0%	-0.7%

表4：昭和57年9月洪水のピーク流量

対象地点	上福島地点 (m ³ /s)	岩鼻地点 (m ³ /s)	若泉地点 (m ³ /s)	八斗島地点 (m ³ /s)
エクセルモデル	4930	3421	973	9089
国土センターモデル	4982	3419	1001	8985
相対的なピーク流量の 差異	-1.0 %	+0.0 %	-2.8 %	+1.2 %

表5：平成10年9月洪水のピーク流量

対象地点	上福島地点 (m ³ /s)	岩鼻地点 (m ³ /s)	若泉地点 (m ³ /s)	八斗島地点 (m ³ /s)
エクセルモデル	4792	4335	977	9839
国土センターモデル	4732	4332	964	9697
相対的なピーク流量の 差異	+1.2 %	+0.1 %	+1.3 %	+1.5 %

既往2洪水について、国土センターモデルとエクセルモデルの相対的な差異は3%以下であった。これらの結果、両モデルは同じ機能を持つ流出計算モデルと考えてよいことがわかった。

4. 新モデルを用いた洪水再現計算における R_{sa} の感度分析

流出モデルへの入力となる有効降雨強度を変化させて、流量計算結果への影響を分析した。

(1) 計算条件

R_{sa} を変化させて異なる有効降雨データを作成し、作成した有効降雨データを国土センターモデルへの入力として流出量を計算した。 R_{sa} 以外のモデルパラメータの値と基底流量は、3. での確認計算で用いた値とまったく同じ値を用いた。

- Case 0: 同定されたパラメータを用いて計算される有効降雨強度
- Case 1: R_{sa} を 75mm 増やした場合の有効降雨強度
- Case 2: R_{sa} を 50mm 増やした場合の有効降雨強度
- Case 3: R_{sa} を 25mm 増やした場合の有効降雨強度
- Case 4: R_{sa} を 25mm 減じた場合の有効降雨強度
- Case 5: R_{sa} を 50mm 減じた場合の有効降雨強度
- Case 6: R_{sa} を 75mm 減じた場合の有効降雨強度
- Case 7: R_{sa} を 100mm 減じた場合の有効降雨強度
- Case 8: R_{sa} を 125mm 減じた場合の有効降雨強度

なお、この設定により R_{sa} が負となるケースが現れる場合は R_{sa} の値を 0 とした。

(2) 計算結果

八斗島地点での分析結果を示す。

①昭和33年9月洪水

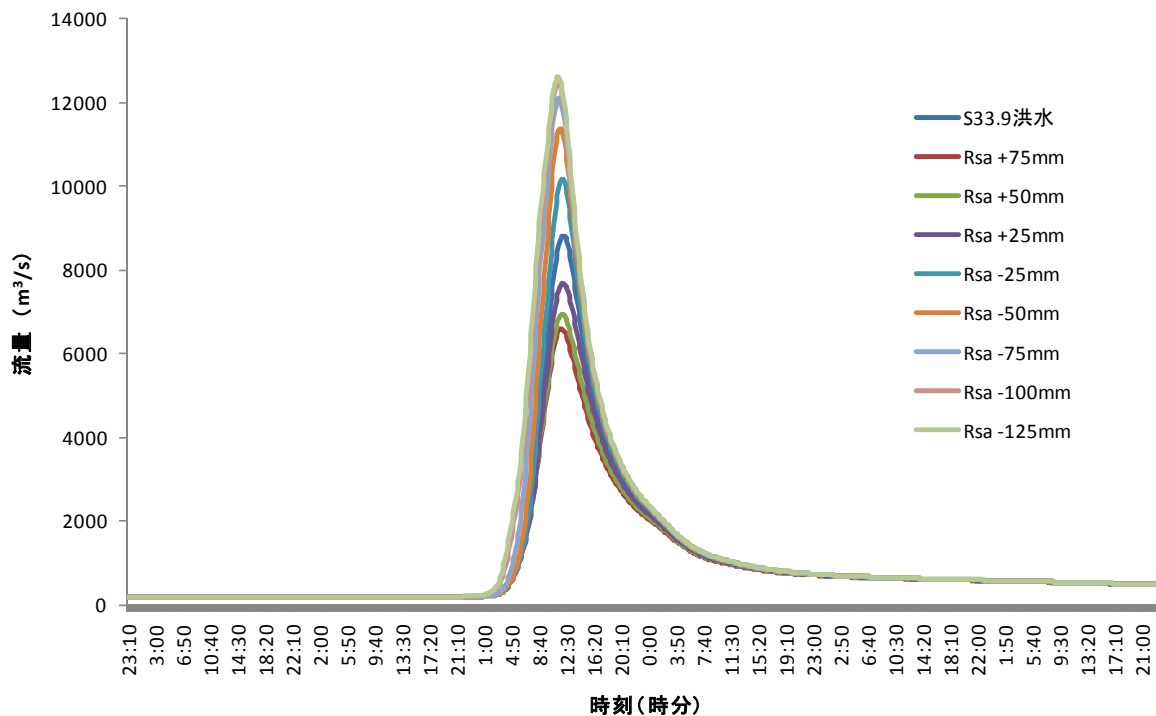


図17：Rsaの値が昭和33年9月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表6：Rsaの値が昭和33年9月洪水のピーク流量推定値に与える影響

Rsa (mm)	ピーク流量 (m³/s)	基準ピーク流量との違い
基準値	8809	—
+75mm	6598	−25.1%
+50mm	6947	−21.1%
+25mm	7662	−13.0%
-25mm	10178	+15.5%
-50mm	11373	+29.1%
-75mm	12090	+37.2%
-100mm	12458	+41.4%
-125mm	12560	+42.6%

②昭和34年8月洪水

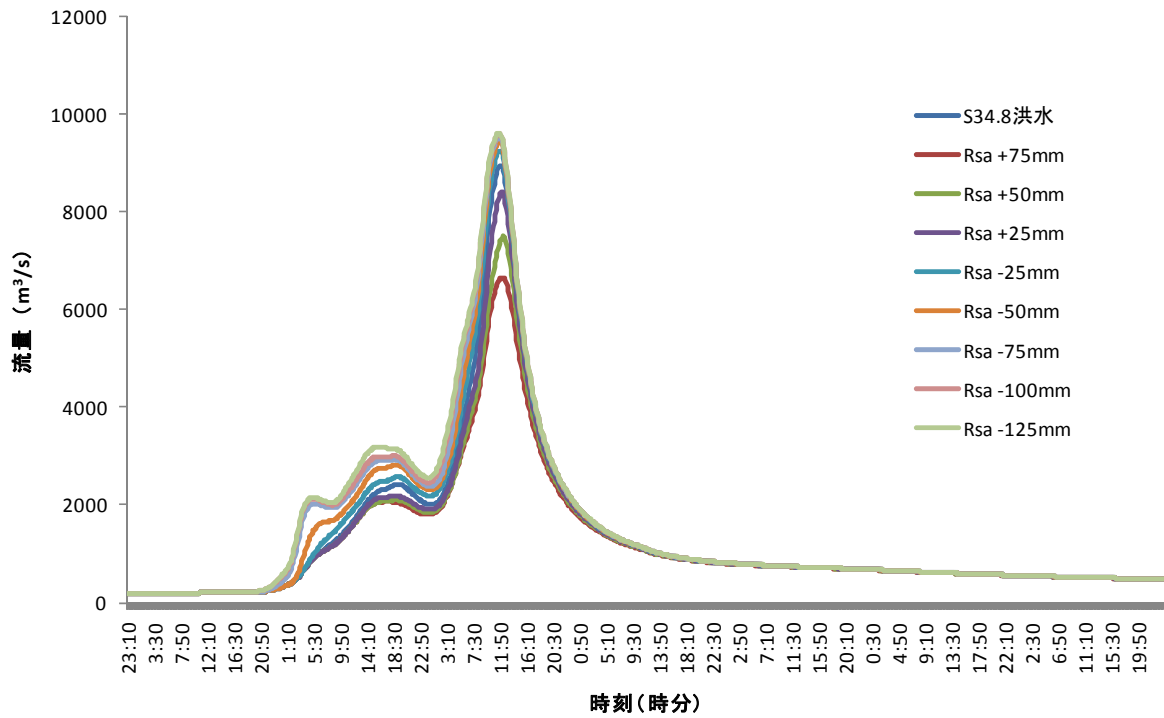


図18：Rsaの値が昭和34年8月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表7：Rsaの値が昭和34年8月洪水のピーク流量推定値に与える影響

Rsa (mm)	ピーク流量 (m³/s)	基準ピーク流量との違い
基準値	8960	—
+75mm	6663	−24.4 %
+50mm	7503	−14.8 %
+25mm	8404	−4.6 %
-25mm	9256	+5.1 %
-50mm	9440	+7.2 %
-75mm	9545	+8.4 %
-100mm	9602	+9.0 %
-125mm	9619	+9.2 %

③昭和57年9月洪水

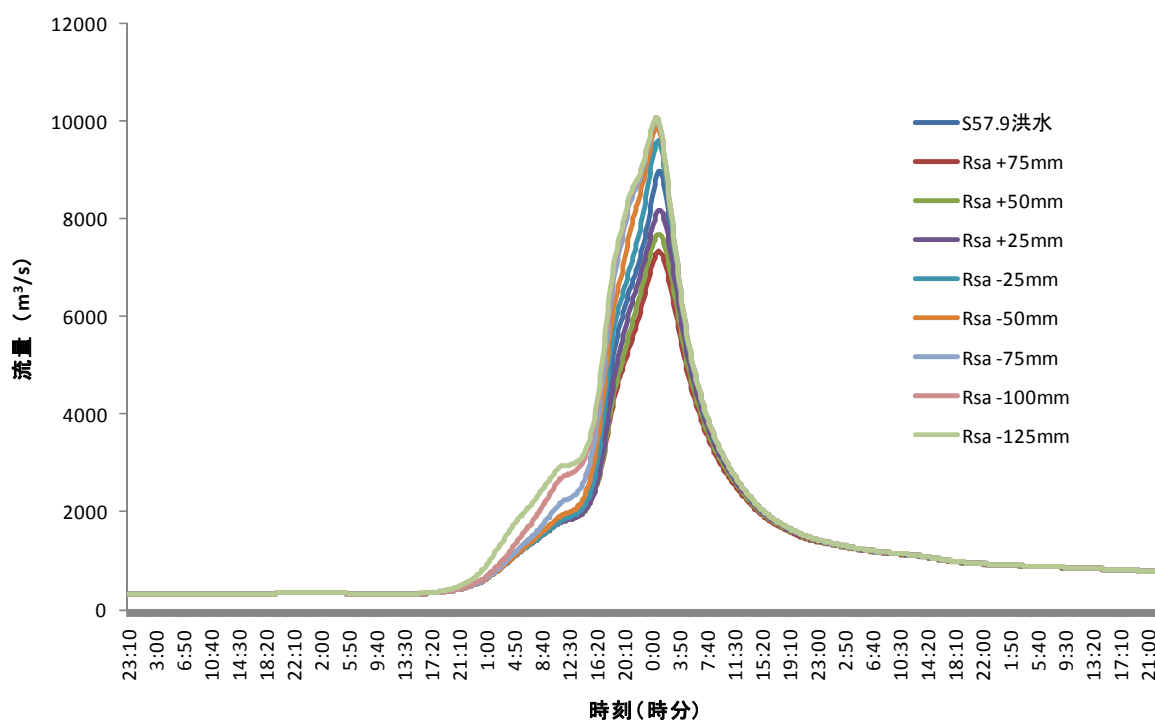


図19：Rsaの値が昭和57年9月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表8：Rsaの値が昭和57年9月洪水のピーク流量推定値に与える影響

Rsa (mm)	ピーク流量 (m³/s)	基準ピーク流量との違い
基準値	8985	—
+75mm	7339	−18.3 %
+50mm	7692	−14.4 %
+25mm	8191	−8.8 %
-25mm	9597	+6.8 %
-50mm	9918	+10.4 %
-75mm	10047	+11.8 %
-100mm	10078	+12.2 %
-125mm	10087	+12.3 %

④平成10年9月洪水

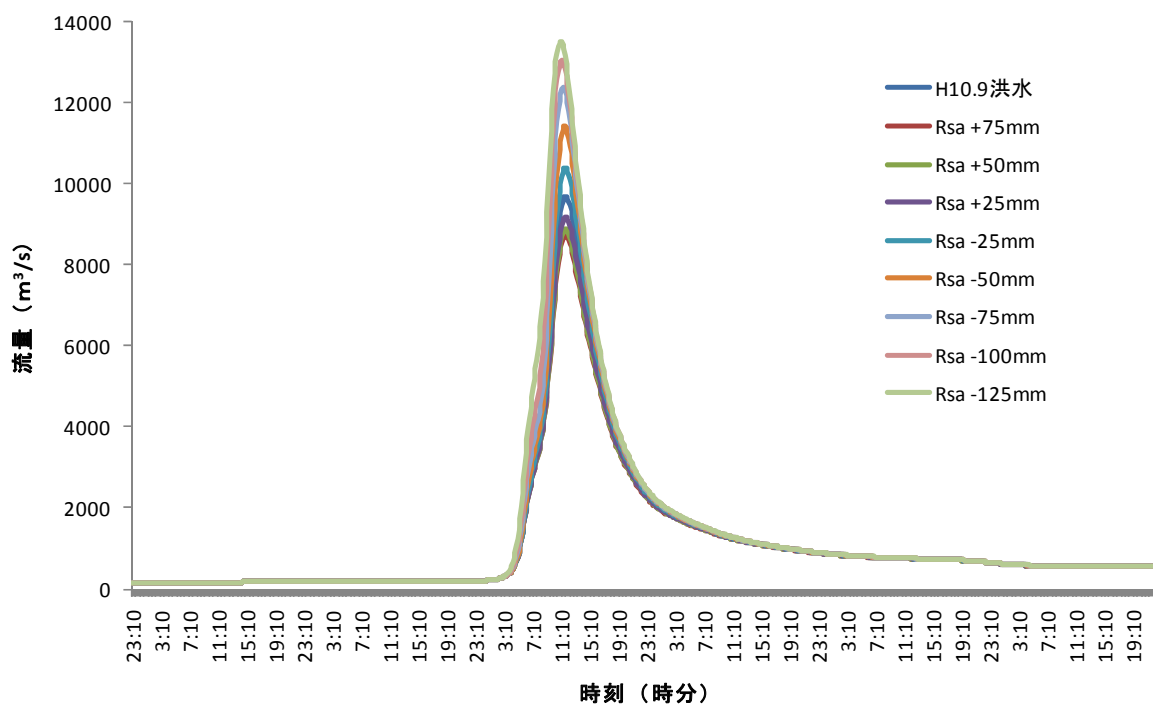


図20：Rsaの値が平成10年9月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表9：Rsaの値が平成10年9月洪水のピーク流量推定値に与える影響

R_{sa} (mm)	ピーク流量 (m³/s)	基準ピーク流量との違い
基準値	9697	—
+75mm	8757	-9.7%
+50mm	8899	-8.2%
+25mm	9179	-5.3%
-25mm	10407	+7.3%
-50mm	11435	+17.9%
-75mm	12391	+27.8%
-100mm	13060	+34.7%
-125mm	13509	+39.3%

(3) まとめ

Rsaの値が洪水ピーク流量に与える影響は、洪水によって異なることが分かる。対象とした4洪水の八斗島地点でのピーク流量はどれも9000m³/s前後であるが、Rsaの違いによるピーク流量に変化率は洪水ごとに異なる結果となった。洪水予測においては、Rsaの少しの違いがピーク流量の大きな変化に繋がる場合について注意を払う必要がある。

昭和 33 年 9 月洪水や平成 10 年 9 月洪水のように降雨が時間的に集中するケース(約 1 日以内)では、 R_{sa} を 50mm 減と設定した場合で 15%以上のピーク流量の増大が見られた。一方で、昭和 34 年 8 月洪水や昭和 57 年 9 月洪水のように降雨期間が長くなるケース(約 2 日から 3 日)では、 R_{sa} を 125mm 減と設定した場合でも、ピーク流量の増分は 15%を超えなかった。

これは図 18、19 に示すように、降雨期間が長くなるケースでは R_{sa} の変化が洪水ピーク流量が発生する時刻より前の流量の変化に影響し、洪水ピーク流量に対する感度が小さくなるためである。一方、降雨が時間的に集中するケースでは、 R_{sa} の変化が洪水ピーク流量の形成に直接、影響を与えるため、大きな洪水ピーク流量の変化となって現れる。

5. 新モデルを用いた洪水再現計算における k 、 p の感度分析

流出モデルのパラメータ k 、 p は、昭和 53 年から平成 19 年の 15 洪水を用いて得たパラメータ値の中から、洪水ピーク流量が最大となる場合の値を用いるとしている。これらによって決定されたパラメータのロバストネス(ある洪水で決定したパラメータが他の洪水の再現にも有効であるか)を分析するために、感度分析を行って流量計算結果への影響を分析した。

(1) 計算条件

パラメータ k 、 p は流域の地形特性や流域面積、地質特性等と関連するパラメータであり、それらの値が取り得る範囲として以下の範囲を考えた。 k 、 p 以外のモデルパラメータの値と基底流量は、3. での確認計算で用いた値と同じ値を用いた。

- Case 0: 同定されたパラメータを用いて計算した場合
- Case 1: k を 0.6 倍した場合
- Case 2: k を 0.8 倍した場合
- Case 3: k を 1.2 倍した場合
- Case 4: k を 1.4 倍した場合
- Case 5: p を 0.6 倍した場合
- Case 6: p を 0.8 倍した場合
- Case 7: p を 1.2 倍した場合
- Case 8: p を 1.4 倍した場合

(2) 計算結果

八斗島地点における分析結果を示す。

①昭和33年9月洪水

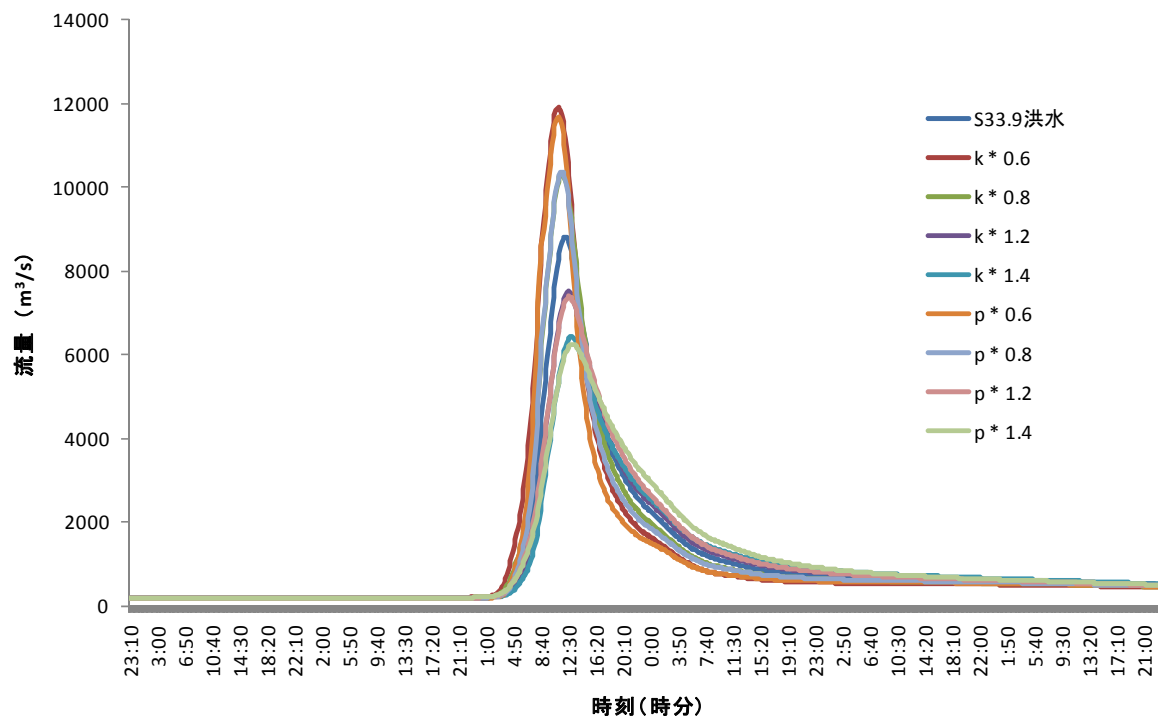


図 2 1 : k, p の値が昭和 33 年 9 月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表 1 0 : k, p の値が昭和 33 年 9 月洪水のピーク流量推定値に与える影響

K, p	ピーク流量 (m ³ /s)	基準ピーク流量との違い
基準値	8809	—
$k * 0.6$	11901	+35.1 %
$k * 0.8$	10323	+17.2 %
$k * 1.2$	7509	-14.6 %
$k * 1.4$	6434	-27.0 %
$p * 0.6$	11683	+32.6 %
$p * 0.8$	10372	+17.7 %
$p * 1.2$	7387	-16.1 %
$p * 1.4$	6258	-29.0 %

②昭和34年8月洪水

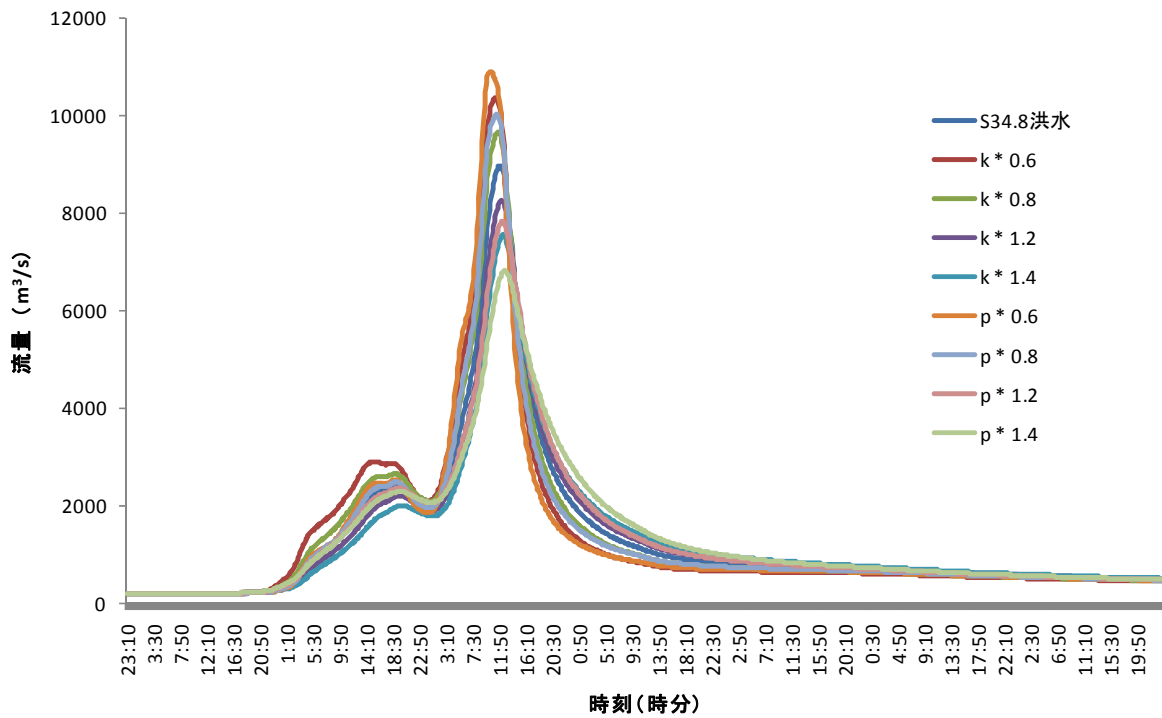


図22：k, pの値が昭和34年8月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表11：k, pの値が昭和34年8月洪水のピーク流量推定値に与える影響

K, p	ピーク流量 (m ³ /s)	基準ピーク流量との違い
基準値	8960	—
$k * 0.6$	10346	+15.5 %
$k * 0.8$	9657	+7.8 %
$k * 1.2$	8550	-4.6 %
$k * 1.4$	7547	-15.8 %
$p * 0.6$	10903	+21.7 %
$p * 0.8$	10007	+11.7 %
$p * 1.2$	7826	-12.7 %
$p * 1.4$	6815	-23.9 %

③昭和57年9月洪水

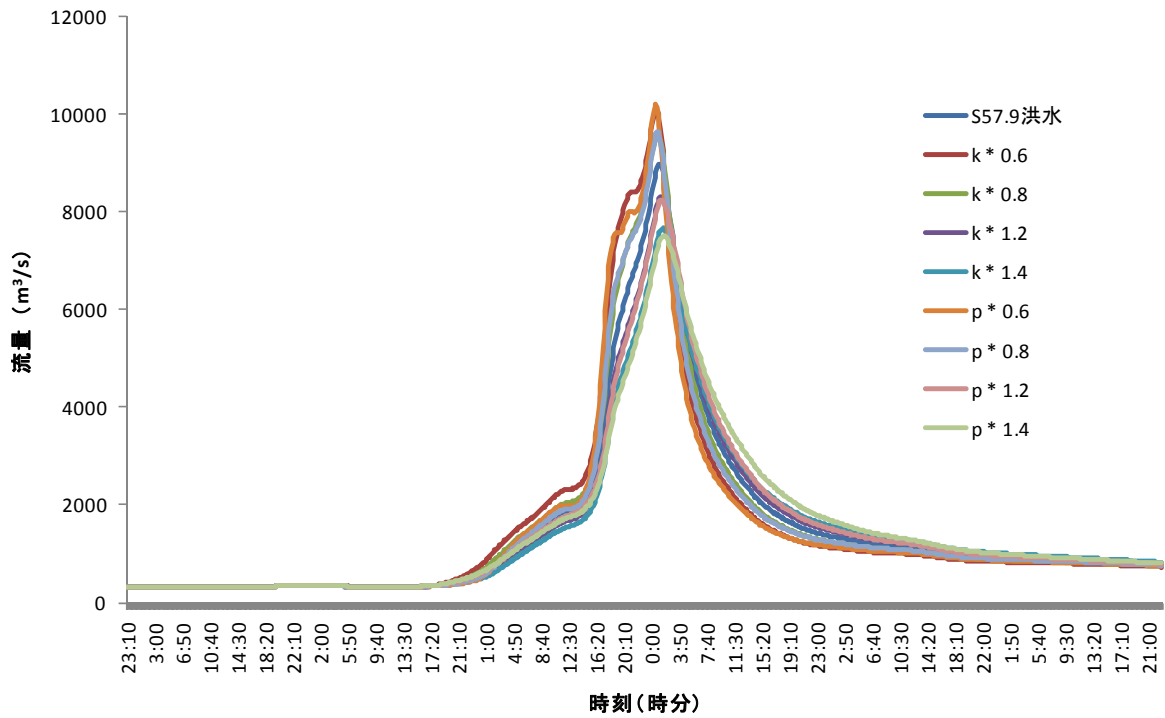


図23 : k, p の値が昭和57年9月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表12 : k, p の値が昭和57年9月洪水のピーク流量推定値に与える影響

K, p	ピーク流量 (m³/s)	基準ピーク流量との違い
基準値	8985	—
$k * 0.6$	10096	+12.4 %
$k * 0.8$	9613	+7.0 %
$k * 1.2$	8303	-7.6 %
$k * 1.4$	7663	-14.7 %
$p * 0.6$	10199	+13.5 %
$p * 0.8$	9643	+7.3 %
$p * 1.2$	8240	-8.3 %
$p * 1.4$	7513	-16.4 %

④平成10年9月洪水

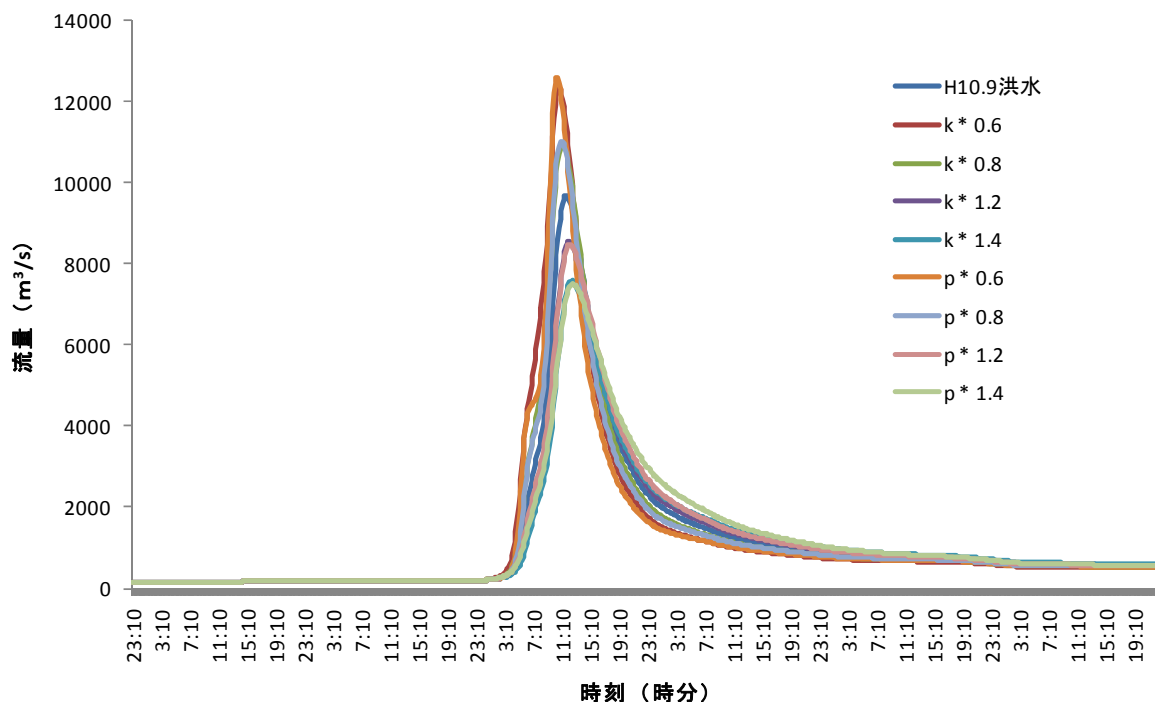


図24：k, p の値が平成10年9月洪水の八斗島地点での計算結果に与える影響

表13：k, p の値が平成10年9月洪水のピーク流量推定値に与える影響

K, p	ピーク流量 (m ³ /s)	基準ピーク流量との違い
基準値	9697	—
$k * 0.6$	12329	+27.1 %
$k * 0.8$	10974	+13.2 %
$k * 1.2$	8551	-11.8 %
$k * 1.4$	7589	-21.7 %
$p * 0.6$	12609	+30.0 %
$p * 0.8$	10997	+13.4 %
$p * 1.2$	8486	-12.5 %
$p * 1.4$	7505	-22.6 %

(3) まとめ

K, p とともに、その値の違いが計算流量に与える影響は大きい。こうした大きな変化がある中で、昭和53年から平成19年の15洪水を用いて得たパラメータ値を、その同定に用いなかった昭和33年9月洪水、昭和34年8月洪水に適用した場合の再現結果はよく、対象洪水期間の中で最大流量となる場合のK, pを設定するという国土交通省の考え方は妥当なものと考えられる。

6. 降雨観測所の観測密度が計算流量に与える影響の感度分析

上記 4 洪水を対象とし、分科会で独自に作成したサブ流域平均雨量を入力として流出計算を実施した。その際、降水量観測点数の違いが流出計算に及ぼす影響を比較するために、昭和 22 年に利用可能な時間雨量観測点のうち欠測の少ない 15 地点のみ（同地点のデータがない場合はもっとも近い時間データ地点）を用いたサブ流域平均雨量も作成し、降雨観測所が昭和 22 年 9 月の洪水時点しかないとした場合の流出計算を実施して、降雨観測所の観測密度が計算流量に与える影響を分析した。前者のサブ流域平均降水量を「分科会 Full」、後者のそれを「分科会 Limited」とよぶことにする。以下に結果を示す。

(1) 計算条件

流出計算におけるモデルパラメータの値と基底流量は、3. での確認計算で用いた値と同じ値を用いた。サブ流域の流域平均降雨データの作成については「サブ流域平均雨量データセットの作成と比較検討」を参照されたい。

(2) 計算結果

①昭和 33 年 9 月洪水

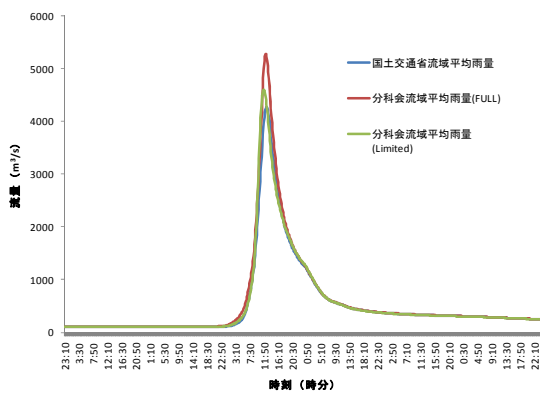


図 25：上福島地点（吾妻川流域）

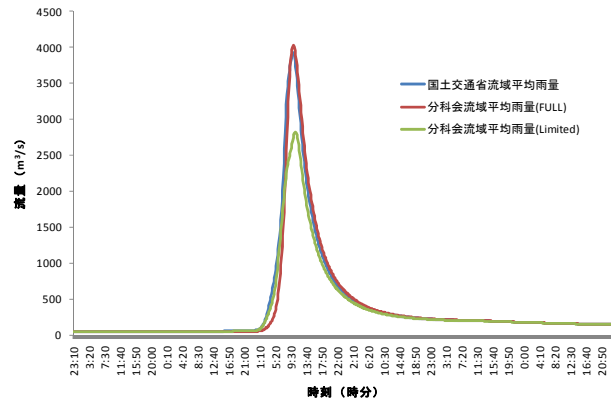


図 26：岩鼻地点（烏川流域）

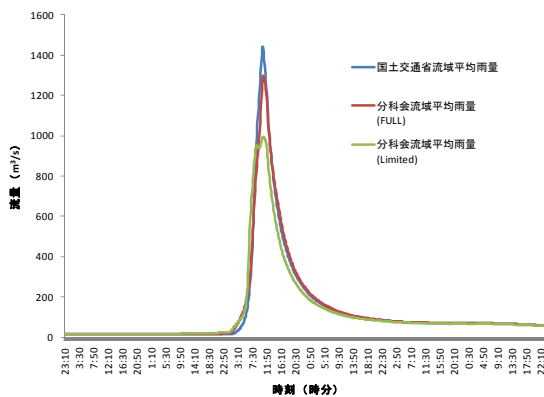


図 27：若泉地点（神流川流域）

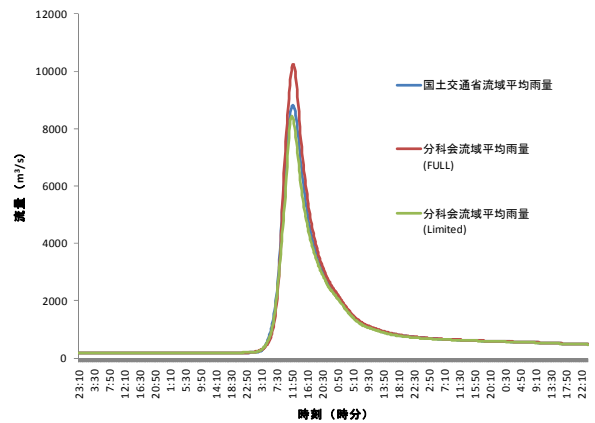


図 28：八斗島地点（利根川流域）

②昭和34年8月洪水

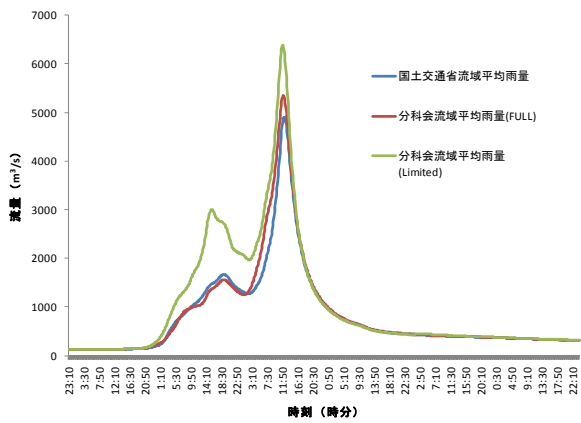


図29：上福島地点（吾妻川流域）

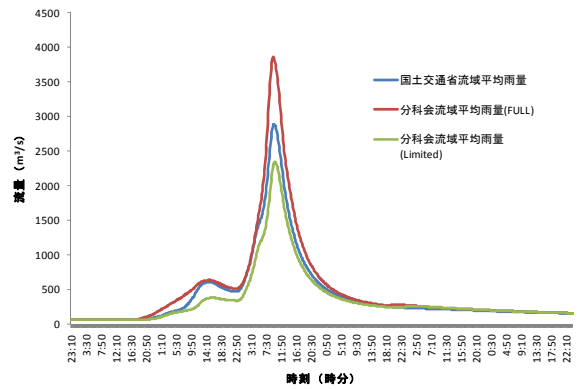


図30：岩鼻地点（烏川流域）

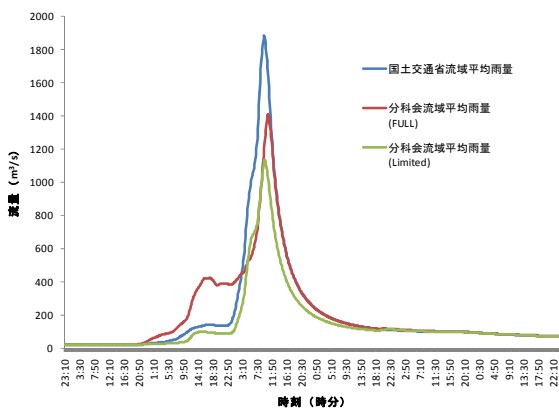


図31：若泉地点（神流川流域）

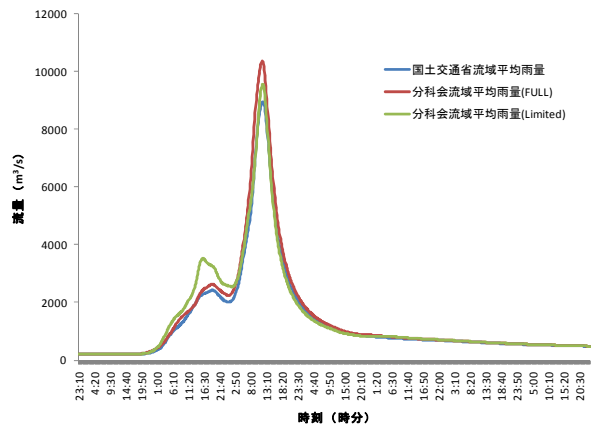


図32：八斗島地点（利根川流域）

③昭和57年9月洪水

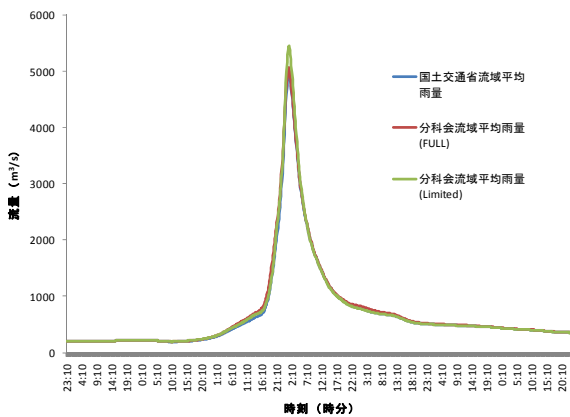


図33：上福島地点（吾妻川流域）

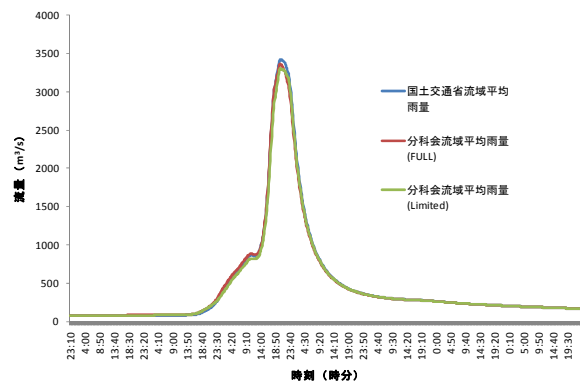


図34：岩鼻地点（烏川流域）

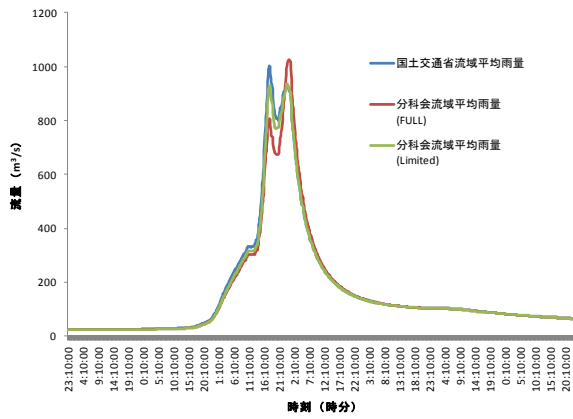


図 3 5 : 若泉地点 (神流川流域)

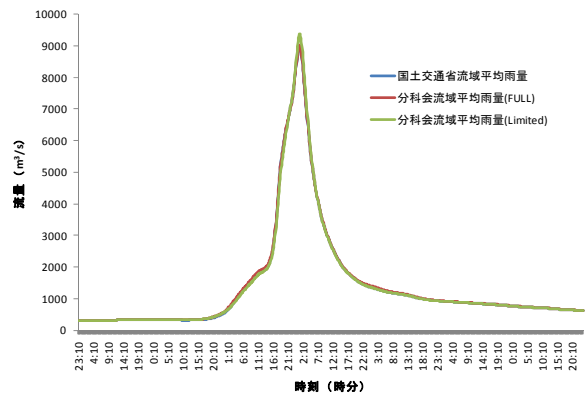


図 3 6 : 八斗島地点 (利根川流域)

④平成10年9月洪水

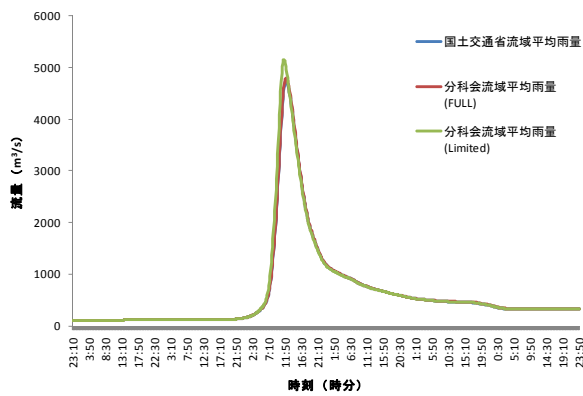


図 3 7 : 上福島地点 (吾妻川流域)

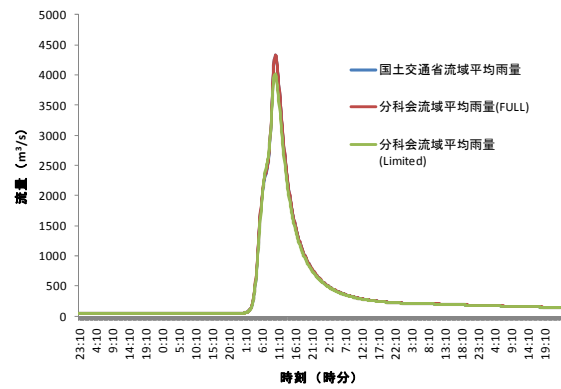


図 3 8 : 岩鼻地点 (烏川流域)

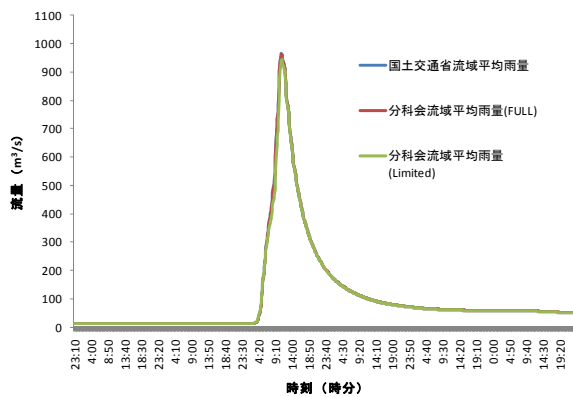


図 3 9 : 若泉地点 (神流川流域)

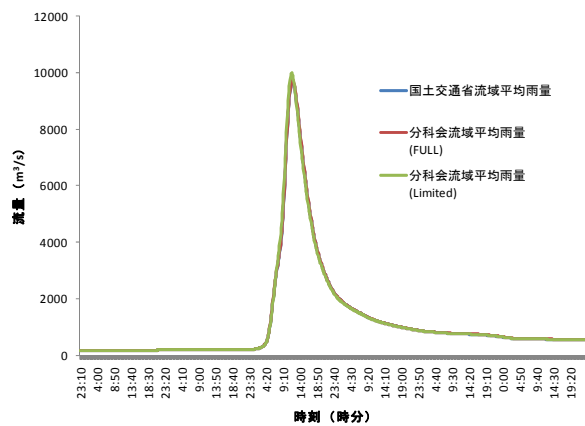


図 4 0 : 八斗島地点 (利根川流域)

(3) まとめ

以上の結果を以下にまとめる。

表 1 4 : 降雨分布が昭和 33 年 9 月洪水のピーク流量推定値に与える影響

降雨パターン	上福島地点 (m ³ /s)	岩鼻地点 (m ³ /s)	若泉地点 (m ³ /s)	八斗島地点 (m ³ /s)
分科会(Full)	5280	4029	1277	10247
国土交通省	4278 (-19.0%)	3929 (-2.5%)	1442 (+12.9%)	8809 (-14.0%)
分科会(Limited)	4602 (-12.8%)	2816 (-30.1%)	993 (-22.2%)	8421 (-17.8%)

表 1 5 : 降雨分布が昭和 34 年 8 月洪水のピーク流量推定値に与える影響

降雨パターン	上福島地点 (m ³ /s)	岩鼻地点 (m ³ /s)	若泉地点 (m ³ /s)	八斗島地点 (m ³ /s)
分科会(Full)	5345	3861	1409	10374
国土交通省	4907 (-8.2%)	2884 (-25.3%)	1885 (+33.8%)	8960 (-13.6%)
分科会(Limited)	6309 (+18.0%)	2431 (-37.0%)	1087 (-22.3%)	9576 (-7.7%)

表 1 6 : 降雨分布が昭和 57 年 9 月洪水のピーク流量推定値に与える影響

降雨パターン	上福島地点 (m ³ /s)	岩鼻地点 (m ³ /s)	若泉地点 (m ³ /s)	八斗島地点 (m ³ /s)
分科会(Full)	5074	3361	808	9025
国土交通省	4982 (-1.8%)	3419 (+1.7%)	1001 (+23.9%)	8985 (-0.4%)
分科会(Limited)	5456 (+7.5%)	3301 (-1.8%)	928 (+14.6%)	9371 (+3.8%)

表 1 7 : 降雨分布が平成 10 年 9 月洪水のピーク流量推定値に与える影響

降雨パターン	上福島地点 (m ³ /s)	岩鼻地点 (m ³ /s)	若泉地点 (m ³ /s)	八斗島地点 (m ³ /s)
分科会(Full)	4795	4335	962	9751
国土交通省	4731 (-1.3%)	4332 (-0.1%)	965 (+0.3%)	9697 (-0.6%)
分科会(Limited)	5151 (+7.4%)	4020 (-7.3%)	943 (-2.0%)	10004 (+2.6%)

サブ流域平均降水量（分科会 Full）を基準としたときの、国土交通省による手法およびサブ流域平均雨量（分科会 Limited）を用いた場合のピーク流量とその相対的な差異をカッコ書きで示した。時間雨量観測地点の多い昭和 57 年 9 月洪水、平成 10 年 9 月洪水では、流量の計算結果は、国土交通省と分科会 Full の手法とではほぼ一致した。一方、時間雨量の観測値が少なかった昭和 33 年 9 月洪水、昭和 34 年 8 月洪水では上流の対象地点では差が大きな場合も見られ、時間降雨量の重要性が示された。なお、八斗島地点での差異は上流地点よりも小さいのは、下流ほど流域内部の降雨分布を積分した効果が表れるため、差異が小さくなるものと考えられる。

一方、サブ流域平均雨量（分科会 Limited）は分科会 Full に対して、昭和 33 年 9 月洪水、昭和 34 年 8 月洪水では大きな差がみられるが、昭和 57 年 9 月洪水、平成 10 年 9 月洪水では、前者の降雨ほどの違いは見られなかった。これは、「サブ流域平均雨量データセットの作成と比較検討」の表 1 にあるように、昭和 57 年 9 月洪水、平成 10 年 9 月洪水では、Limited による流域平均雨量の差異が比較的小さいという結果が流量計算結果にも表れており、近年の観測データの空間代表性が比較的高かったことを示していると考えられる。

7. 新モデルを用いた昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）の再現計算と感度分析

近年の洪水（昭和 56 年 8 月洪水、昭和 57 年 7 月洪水、昭和 57 年 9 月洪水、平成 10 年 9 月洪水、平成 11 年 8 月洪水、平成 13 年 9 月洪水、平成 14 年 7 月洪水、平成 19 年 9 月洪水）を用いて得られたパラメータの値を設定して、昭和 22 年 9 月洪水の再現計算を実施した。再現計算においては、昭和 22 年 9 月洪水では基底流量の推定値が得られないため、上記の近年の洪水で推定された基底流量をそれぞれ設定し、基底流量の違いが洪水ハイドログラフに与える影響を調べた。次に Rsa の感度分析を実施し、最後に降水量観測点数の違いが流出計算に及ぼす影響を分析した。

（1）計算条件

①モデルパラメータ

K 、 p 、 T_l 、 f_l は 3. の表 1 と同じである。 R_{sa} と R_0 は上記の洪水ごとに同定された値の平均的な値として、以下の値を設定した。

表 18：昭和 22 年 9 月洪水の再現計算に用いたモデルパラメータの値

中流域	流域番号	面積 A (km ²)	K	p	T _l (min)	f _l	R _{sa} (mm)	R ₀ (mm)
奥利根流域	1	165.48	7.587	0.528	30	0.4	150	12.0
	2	60.59	6.252	0.656	50	0.4	150	12.0
	3	165.77	9.480	0.592	50	0.4	150	12.0
	4	103.07	9.480	0.592	50	0.4	150	12.0
	5	81.80	9.480	0.592	50	0.4	150	12.0
	6	110.19	10.591	0.655	40	0.4	150	12.0
	7	79.19	9.480	0.592	50	0.4	150	12.0
	8	226.00	9.480	0.592	50	0.4	150	12.0
	9	252.05	13.487	0.530	90	0.4	150	12.0
	10	161.64	13.487	0.530	90	0.4	150	12.0
	11	78.78	13.487	0.530	90	0.4	150	12.0
	12	182.31	9.480	0.592	50	0.4	150	12.0
吾妻川流域	13	144.49	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
	14	269.24	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0
	15	289.00	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0
	16	153.20	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0
	17	38.30	29.321	0.305	100	0.4	—	14.0
	18	164.22	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0

	19	157.01	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
	20	188.37	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
	21	97.12	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
	22	93.33	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
	23	24.68	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
	24	23.88	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
鹿川流域	25	155.13	29.519	0.428	30	0.6	200	14.0
	26	110.02	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
	27	121.39	10.765	0.680	60	0.6	200	14.0
	28	165.39	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
	29	43.27	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
	30	190.64	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
	31	158.74	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
	32	201.63	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
	33	75.00	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
	34	94.85	35.239	0.300	50	0.4	—	14.0
	35	70.05	18.623	0.572	40	0.6	200	14.0
神流川流域	36	269.56	29.976	0.476	80	0.6	130	22.0
	37	53.25	29.976	0.476	80	0.6	130	22.0
	38	51.68	29.976	0.476	80	0.6	130	22.0
	39	37.50	29.976	0.476	80	0.6	130	22.0

②有効降雨

国土交通省から提供されたサブ流域ごとの時間平均雨量強度データを用いて、上記のパラメータを用いて有効降雨強度を算定した。有効降雨強度はC++言語による計算機プログラムを用いて、(2)式に従って算定した。算定した有効降雨強度は、国土交通省から提供された有効降雨強度（昭和33年9月洪水、昭和34年8月洪水、平成10年9月洪水、昭和57年9月洪水）一致することを確認した。昭和22年9月洪水の降雨データは、平成23年5月2日に国土交通省よりワーキングメンバーに提供された流域平均時間降水量データを用いた。

③ダム操作

当時の状況を考慮し、ダムによる流況制御は流出モデルには反映されない。

④差分計算時間間隔

10分とした。

(2) 基底流量の違いを考慮した再現計算

昭和22年9月洪水の基底流量は推定できないので、新モデルのパラメータ同定において推定された基底流量データ（昭和56年8月洪水、昭和57年7月洪水、昭和57年9月洪水、平成10年9月洪水、平成11年8月洪水、平成13年9月洪水、平成14年7月洪水、平成19年9月洪水）をそれぞれ設定し、8個の推定計算を実施した。

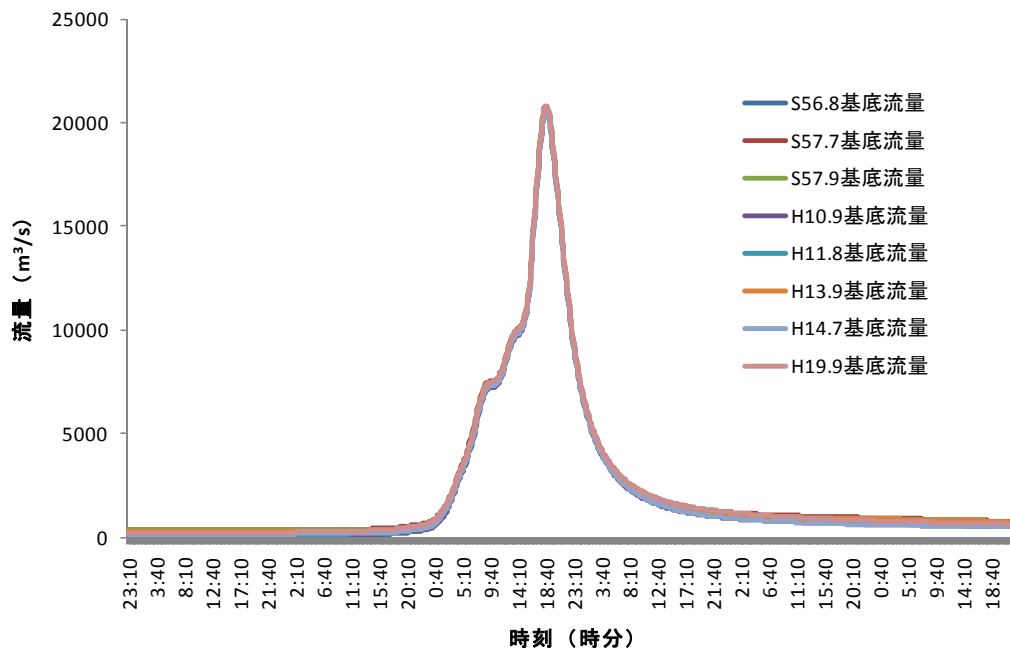


図 4 1 : 新モデルによる昭和 22 年 9 月洪水の再現計算結果

表 1 9 : 基底流量の違いによるピーク流量の違い

基底流量の設定	ピーク流量 (m³/s)
S56.8 基底流量を用いた場合	20580
S57.7 基底流量を用いた場合	20819
S57.9 基底流量を用いた場合	20750
H10.9 基底流量を用いた場合	20520
H11.8 基底流量を用いた場合	20619
H13.9 基底流量を用いた場合	20690
H14.7 基底流量を用いた場合	20581
H19.9 基底流量を用いた場合	20803

最近の洪水で同定されたモデルパラメータを用いた場合の昭和 22 年 9 月洪水の洪水ピーク流量は 20520 ~ 20819 m³/s となることがわかった。このとき、基底流量の違いが昭和 22 年 9 月洪水の再現計算ピーク流量に与える影響は小さく、その相対的な差異は 1.5% 以内であった。

(3) R_{sa} の感度分析

流出モデルへの入力となる有効降雨強度を変化させて、流量計算結果への影響を分析した。 R_{sa} 以外のモデルパラメータは、4.と同じ値を用いた。なお、昭和22年9月洪水については基底流量データはないが、前節での検討で、基底流量の違いが洪水ハイドログラフに及ぼす影響は極めて小さいことがわかったため、ピーク流量の値が中程である平成11年8月洪水の基底流量データを用いた。 R_{sa} はすべての分割流域で次の8通りを設定した。

- Case 0: 同定されたパラメータを用いて計算される有効降雨強度
- Case 1: R_{sa} を75mm増やした場合の有効降雨強度
- Case 2: R_{sa} を50mm増やした場合の有効降雨強度
- Case 3: R_{sa} を25mm増やした場合の有効降雨強度
- Case 4: R_{sa} を25mm減じた場合の有効降雨強度
- Case 5: R_{sa} を50mm減じた場合の有効降雨強度
- Case 6: R_{sa} を75mm減じた場合の有効降雨強度
- Case 7: R_{sa} を100mm減じた場合の有効降雨強度
- Case 8: R_{sa} を125mm減じた場合の有効降雨強度

なお、この設定により R_{sa} が負となるケースが現れる場合は R_{sa} の値を0とした。感度分析の結果を以下に示す。

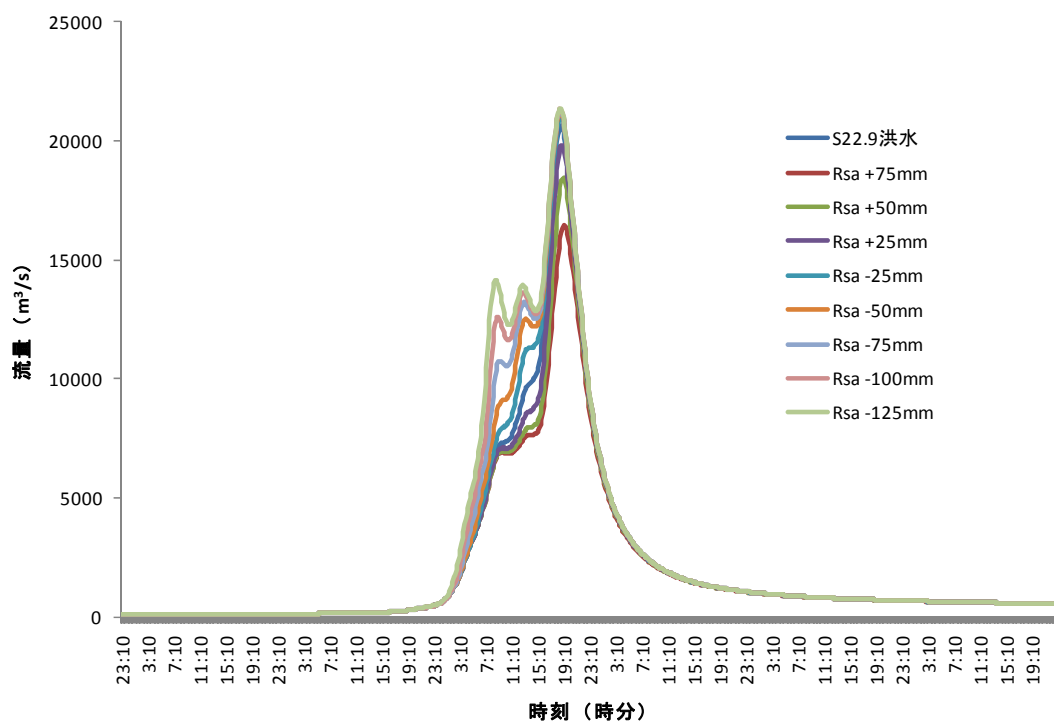


図42: R_{sa} の値が昭和22年9月洪水の再現結果に与える影響

表 2 0 : Rsa の値が昭和 2 2 年 9 月洪水のピーク流量推定値に与える影響

Case 番号	Rsa (mm)	ピーク流量 (m ³ /s)	基準ピーク流量との違い
0	基準値	20619	—
1	+75mm	16461	−20.2 %
2	+50mm	18439	−10.6 %
3	+25mm	19831	−3.8 %
4	-25mm	21011	+1.9 %
5	-50mm	21198	+2.8 %
6	-75mm	21281	+3.2 %
7	-100mm	21333	+3.5 %
8	-125mm	21367	+3.6 %

表 1 8 に示すように基準値として設定した Rsa は 130mm～200mm であり、Rsa を 125mm 減したケース、すなわち Rsa が 5mm～75mm としたケースにおけるピーク流量の相対的な増分は 3.6%であった。昭和 22 年 9 月洪水の降雨期間は 2 日以上となっており、4. の既往 4 洪水に対する Rsa の感度分析において、昭和 34 年 8 月洪水や昭和 57 年 9 月洪水のように降雨期間が長い場合と同様の計算結果となった。

これは図 42 に示すように、Rsa の変化が洪水ピーク流量が発生する前の流量の変化に大きく影響し、洪水ピーク流量に対する感度が小さくなるためである。Rsa を 25mm 増としたケース 3 から 125mm 減としたケース 8 までの Rsa の差は 150mm であるが、このときのピーク流量差異は -3.8%から+3.6%の違いであった。図 42 の洪水ピーク流量前のハイドログラフの違いが、この Rsa の違いによる有効降雨の違いとなって表れている。

(4) 降水量観測点数の違いが流出計算に及ぼす影響

分科会で独自に作成したサブ流域平均雨量を入力として流出計算を実施した。昭和 22 年 9 月洪水については、利用できる時間雨量データが限られているために、国土交通省から提供された日雨量観測データを、最近隣の時間雨量パターンを用いて時間分解して、できるだけ多くの地点時間雨量データを作成した。その上で、流域を覆う 500m サイズの各グリッドからもっとも近い地点時間雨量データを当該グリッドに割り当てた。一方、昭和 22 年に利用可能な時間雨量観測点のうち欠測の少ない 15 地点のみを用いたサブ流域平均雨量も作成し、降雨観測所の観測密度が計算流量に与える影響を分析した。前者のサブ流域平均降水量を「分科会 Full」、後者のそれを「分科会 Limited」とよぶことにする。以下に結果を示す。

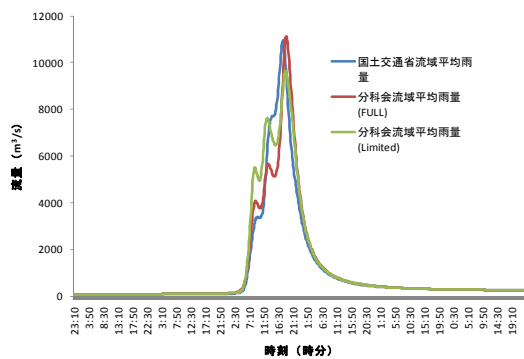


図 4 3 : 上福島地点 (吾妻川流域)

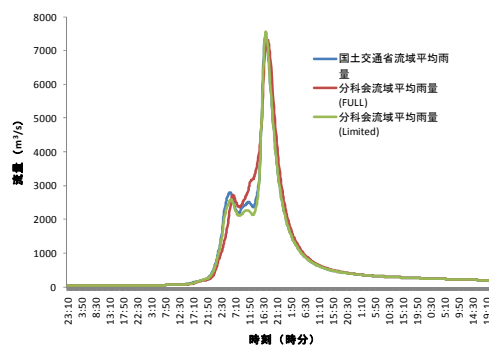


図 4 4 : 岩鼻地点 (烏川流域)

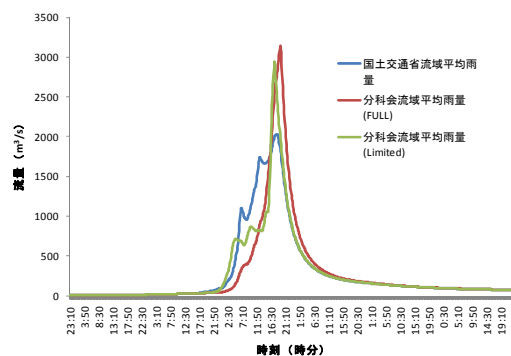


図 4 5 : 若泉地点 (神流川流域)

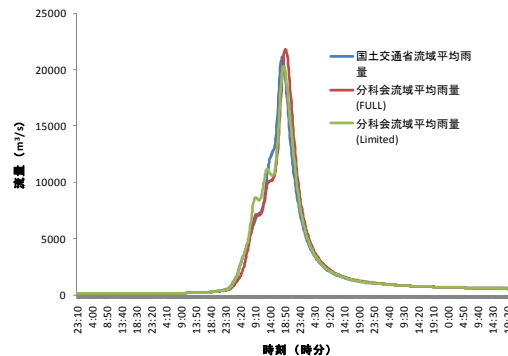


図 4 6 : 八斗島地点 (利根川流域)

表 2 1 : 降雨分布が昭和 22 年 9 月洪水のピーク流量推定値に与える影響

降雨パターン	上福島地点 (m ³ /s)	岩鼻地点 (m ³ /s)	若泉地点 (m ³ /s)	八斗島地点 (m ³ /s)
分科会(Full)	11114	7321	3143	21845
国土交通省	10948 (-1.5%)	7450 (+1.8%)	2030 (-35.4%)	21157 (-3.1%)
分科会(Limited)	9636 (-13.3%)	7565 (+3.3%)	2940 (-6.5%)	20310 (-7.0%)

分科会によるサブ流域平均降水量 Full を基準としたときの、国土交通省による手法および分科会による Limited のサブ流域平均雨量を用いた場合のピーク流量とその相対的な差異をカッコ書きで示した。流量の計算結果は、国土交通省と分科会(Full)の手法とで若泉地点を除き、ほぼ一致した。一方、Limited は Full に対して、国土交通省による手法よりも大きな差がみられた。これにより、日降水量データを用いることの有用性が確認された。

(5) 新しく推定された流域平均雨量を用いた昭和 22 年 9 月洪水の再現計算

新たに推定された流域平均雨量（平成 23 年 5 月 27 日提供）を用いた場合の再現計算を実施した。流域平均降雨データ以外は 7. (2) と同じ条件で計算した。基底流量は平成 11 年 8 月洪水のデータを用いた。計算流量の違いはほとんどなく、約 21000m³/s となった。

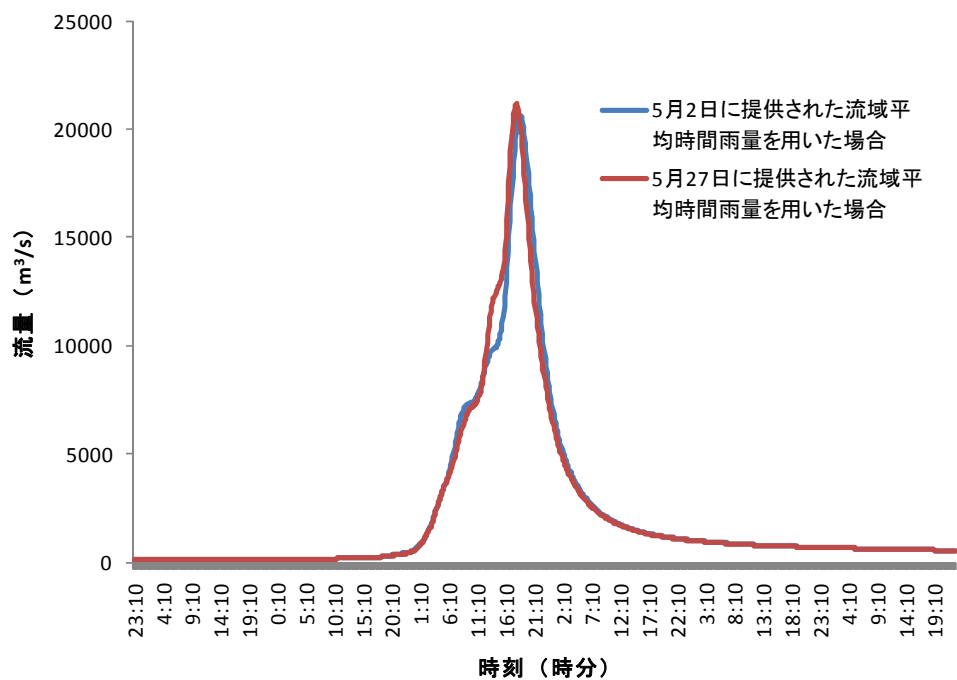


図 4 7 : 新たに推定された流域平均雨量を用いた昭和 22 年 9 月洪水の再現計算結果

表 2 2 : 新たに推定された流域平均雨量を用いた昭和 22 年 9 月洪水の再現計算ピーク流量の違い

流域平均雨量	ピーク流量 (m ³ /s)	基準ピーク流量との違い
5 月 2 日提供雨量	20619	—
5 月 27 日提供雨量	21157	+2.6 %