

片品川流出試験地について

石井 隼樹

関東地方整備局 利根川ダム統合管理事務所 調査課 (〒371-0846 群馬県前橋市元総社町593-1)

ダムは貯水池への流入量を基に操作を行っており、ダム管理において貯水池への流入量を把握することは必要不可欠なことである。そのため、ダム流域における降雨・降雪・融雪・浸透等の流出機構を明確にすることは重要である。

本稿では、ダム流域内の基礎的水文現象による流出実態について、ダム流域内の小流域をモデルとした流出機構解明への試みについて報告する。

キーワード ダム管理、流入予測、水文気象観測、流出機構

1. はじめに

ダムの統合管理、洪水調節計画、及び利水計画等を検討するうえで、ダム流域からの流出量、及び残留域からの流出量を予測することは重要である。特に洪水調節におけるダム操作・運用に関しては、発生する洪水に対してダム貯水池の流入量の予測を的確、かつ迅速に行い、ダム操作の判断を直ちに行う必要がある。そのため、発生時点の浸透保水能等の流域状況を反映可能なモデルであることが望まれる。

利根川上流域に位置する菌原ダムは、利根川上流ダム群の中では集水面積が大きく、相対的に流入量が大きくなる特徴がある。また、台風等により大量の流入が見込まれる場合、事前にダム貯水池から放流を行い洪水調節容量を確保するための予備放流を行うこととなっている。利根川ダム統合管理事務所では洪水予測モデルが構築されているが、ダム流域内の基礎的水文現象による流出実態を把握することにより、よりモデルの精度を向上させていく観点から、小流域において継続的に気象・水文観測を行い、流出機構の解明を試みるために流出試験地（以下、試験地という。）を菌原ダム上流域に設置した。

2. 試験地の概要

(1) 試験地の位置・諸元

試験地は、平成22年に設置され、群馬県の北東端にある利根郡片品村の六郎沢に位置する。流域面積0.24km²、標高約1,100~1,500m、平均斜面勾配は30~40度の南側斜面である。（図-1、-2）



図-1 試験地の位置



項目	諸元
位置	片品川の右支谷（北側） 六郎沢 群馬県利根郡片品村戸倉
	東経139° 16' 北緯36° 51'
標高	源頭部は1,500m、流末は約1,100m
流域面積	0.24km ² （参考：菌原ダム流域483.9km ² ）
地質	戸倉沢層・荷鞍火山噴出物
植生	ミズナラ群落・カラマツ植林

図-2 試験地の諸元

(2) 観測状況

試験地の観測状況は、図-3に示すとおりである。



図-3 試験地の観測状況

3. 観測計画

試験地は、降水等による流出機構、及び流出量を的確に把握することで、流域全体の流出量を把握するために設置されたものである。試験地における地質、地形、及び植生の特性を踏まえて、流出モデルの仮説を作成し、観測データによって検証することにした。

試験地における流出機構は、図-4のとおり流出モデルを仮説すると、以下のとおり3要素に分類される。

- ・入力 : 降水量 (降雨・降雪)
- ・流出過程 : 土壌水貯留、地下水貯留
- ・出力 : 地表流、中間流出、基底流出、蒸発散

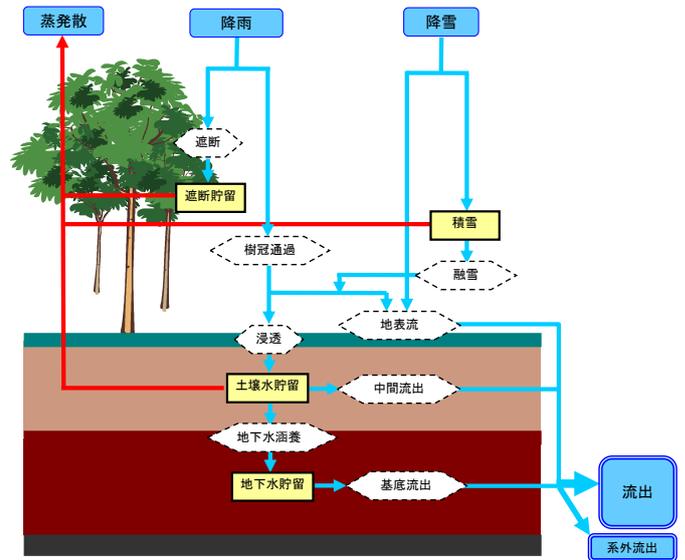


図-4 流出モデルの仮説図

流出過程における地表流、中間流、及び基底流は図-5のとおりである。

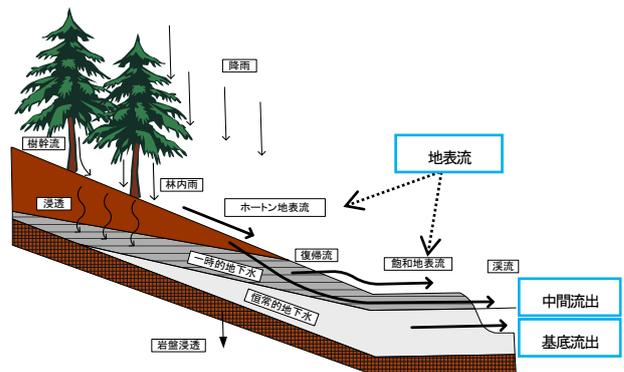


図-5 地表流、中間流、基底流の模式図

入力、流出過程、及び出力の各項目に対応する、試験地における観測項目は表-1のとおりである。

表-1 観測項目と流出機構の対応表

	観測項目1	観測機器1	観測項目2	観測機器2
入力	降雨	雨量	雨量計(上部・露場)	
	降雪	積雪量	積雪深計	
流出過程	土壌水貯留	土壌水分量	土壌水分計(上部・下部) 上部 深度20・50・100cm 下部 深度20・50・100cm	
	地下水貯留			
出力	地表流	斜面流出量	斜面流出計 深度 20cm 深度 50cm	流量
	中間流出			
	基底流出	流量(平常時)	複合堰	複合堰
	蒸発散	(蒸発散量)※	気温計、露点計	

※蒸発散量は、気温から計算式によって推算する

4. 観測結果

(1) 流出量

試験地における地表流、中間流出、及び基底流出は降水によって時間差を伴い流出し、溪流や地下水涵養となって複合堰に集まるものと想定している。地表流、中間流出、及び基底流出を合計したものを流出量とし、流出量は複合堰における水位を堰の越流公式により流量に換算し算定した。(図-6)

【堰の越流式】

$$Q=C \cdot b \cdot h^{3/2}$$

Q: 越流量 (m³/s)、b: 切り欠き幅 (m)

h: 越流深 (m)、C: 流量係数

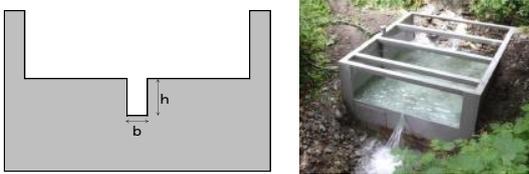


図-6 複合堰の断面形状と外観

試験地における年間の降水量(流入量)及び流出量の観測結果を表-2に示す。また、流出量を流域面積で除した流出高(mm)を算出し、降水量と流出量による流出割合を算定した。

その結果、年間降水量は平均1,586mmであったが、流出量は平均674mmであり、流出割合は約43%であった。それゆえ残り57%は、複合堰系外からの流出の可能性が考えられる。

表-2 年間の降水量(流入量)及び流出量

年	降水量 (※1):A	流出量		流出割合 B/A×100
	観測値(mm)	観測値(m ³)	流出高(※2) (mm):B	
2010年(H22年)	1,855	135,497	565	30%
2011年(H23年)	1,945	209,485	873	45%
2012年(H24年)	1,703	116,471	485	28%
2013年(H25年)	1,554	106,062	442	28%
2014年(H26年)	1,484	118,668	494	33%
2015年(H27年)	1,455	208,941	871	60%
2016年(H28年)	1,543	195,277	814	53%
2017年(H29年)	1,575	230,817	962	61%
2018年(H30年)	1,346	143,931	600	45%
2019年(R1年)	1,399	152,407	635	45%
平均	1,586	161,756	674	43%

※1露場雨量計での年降水量

※2流出高は、流出試験地の流域面積(0.24km²)で除して算出

(2) 洪水低減部の流出機構

平成30年9月出水時の観測結果を図-7に示す。複合堰の流出量は、斜面流出計による地表流と中間流の流出量と比べ、洪水低減部で緩やかに低下している。この流出波形が流出機構の特徴なのか、観測精度によるものか要因の把握が課題である。

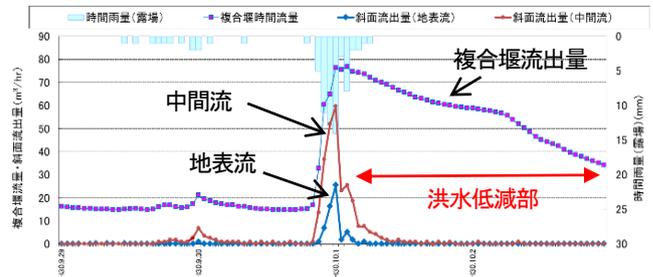


図-7 出水時の複合堰と斜面流出計の流出状況

そこで、令和元年に複合堰の直上下流に簡易水位計を設置し、出水時における河道の水位変化を観測することを試みた。しかし、令和元年10月(台風19号)出水により土砂流出が生じ、複合堰及び水位計が埋没したため、検証に必要な観測結果が得られなかった。(写真-1)



写真-1 出水により土砂が溜まった複合堰

(3) 融雪量

融雪量は、図-8に示す融雪量計により、受口上部の積雪が融解し、真下にある受口に流れ落ちることによって、その量を計測した。

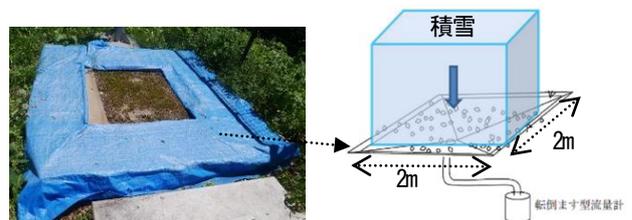


図-8 融雪量計(左:受口写真、右:概略図)

近年の計測結果は、表-3のとおりである。積雪量から水量に換算した値と観測値を比較すると、回収率は約30~70%と低い値となった。

年度	積雪深 (m)	融雪量計 の面積 (m ²)	平均積雪 密度(t/m ²)	換算水量 (m ³)	融雪量計 観測水量 (m ³)	回収率 (%)
	①	②	③	④ =①×②×③	⑤	⑤/④
H27	0.768	1	0.253	0.194	0.078	40.2%
H28	1.469	1	0.231	0.339	0.236	69.6%
H29	0.855	4	0.279	0.954	0.274	28.7%
H30	0.957	4	0.216	0.827	0.412	49.8%

※H29年に受け口部を広くし、受口方向へ傾斜をつける改良を行った。

表-3 積雪量と融雪量の比較

回収率が低くなっている要因を検討するため、積雪に色素を散布し、融雪水の流下状況を断面により確認した。その結果、融雪水は不透水層（氷結部）を避けるように、側方への流れが生じることが確認された。（写真-2）

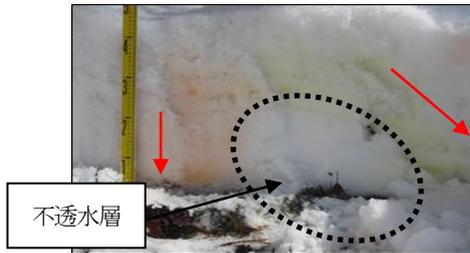


写真-2 積雪量と融雪量の比較

5. 水収支の推定

観測結果を基に、試験地における年間水収支（平均値）を推定した。結果を表-4、図-9に示す。

表-4 試験地の年間水収支結果

項目	<入力>		備考
	流入量 (mm)	流出量 (mm)	
降水量	1666	-	降雨+降雪
流出	地表流	-	複合堰流出高
	中間流出	-	
	基底流出	-	
系外流出	-	456	
蒸発散	-	498	ハーモン法、ベンマン法、及びソンスウェイト法による試算値
計	1666	1606	

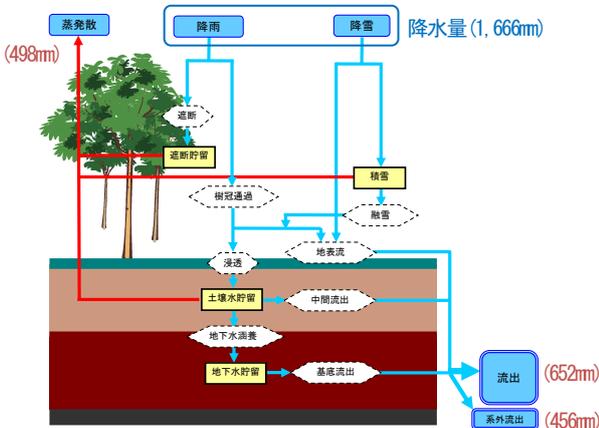
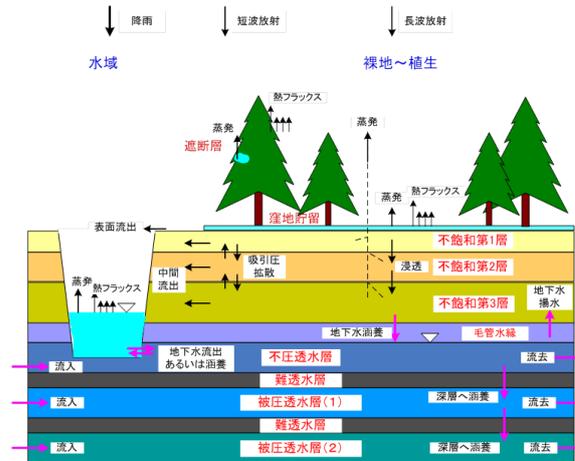


図-9 試験地の年間水収支（推定値）

平均値により算出した年間水収支は流入量1666mm、流出量1606mmとなり差は60mm程度であった。しかし、年毎ではばらつきもあるため、今後要因分析が必要である。

6. 流出モデルの構築

試験地の流出機構のモデル化には、物理型分布モデルのWEP（Water and Energy transfer Process）モデル¹⁾の適用を検討している。WEPモデルは、従来の分布型水循環モデルに降雨遮断や蒸発散の解析等に加え、複雑な土地利用がなされている流域において水・熱循環系を対象にしたモデルである。（図-10）



※土木研究所（2002）に加筆・修正

図-10 WEPモデルの鉛直構造を対象とする水・熱輸送過程

現在今まで蓄積したデータを基に、WEPモデルで解析できる水・熱循環過程に、積雪融雪モデルを加え、試験地における出水時の流出特性及び低水流量の再現性について検証中である。

また、試験地での知見を基に、菌原ダム流域を対象とした広域化モデルも検討しているところであり、今後検証及び精度の向上を図っていく。

7. おわりに

これまでの観測で、複合堰系外への流出や融雪の斜め流による系外流出、洪水低減部の流出機構等の課題が明らかとなった。今後、各課題の解明に向けた観測を行い、小流域において解明した流出機構を反映した流出モデルを構築し、ダム流入予測の精度向上につなげていきたい。

参考文献

- 1) WEPモデル解説書（試用版）2002.10 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ 水理水文チーム