

3. 5 天然ダム水位予測

天然ダムが引き起こす災害は天然ダムの湛水池の水が居住地へ浸水することによるものと、湛水池の水位が満水位を超え、天然ダムの表面を流れながら急激に天然ダムを侵食して土砂と水が下流に流れ下ることによって下流に被害を及ぼすものがある。このため、天然ダムの湛水池の水位を予測することは天然ダムによる被害発生のおそれのある時期を予測するのに必要となる。

今回の事例では、二つの手法を用いて天然ダム湛水池の水位の予測を行った。一つは天然ダム形成後初期の段階で行った簡易な予測方法ともう一つは予測降雨と流出解析を用いたリアルタイムの予測方法である。

3.5.1 初期の段階の予測方法

天然ダムが形成した日時が特定でき、水位への降雨による影響のおそれがない場合、簡易な計測により天然ダムの上流側でせき止められた水（湛水）の体積を推定し、その値を天然ダムが形成した時刻から計測を行った時刻まで経過した時間で割ることで、湛水池に流れ込む水の流量の平均値を算出できる。また、天然ダムがせき止める水の体積の最大値を推定することで、最大値からせき止められた水の体積を差し引いた体積（＝空き容量）を湛水池に流れ込む水の流量の平均値で割ることによって、湛水池が水で一杯になるまでの時間が予測できる（式-3.5.1、3.5.2）。

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{式-3.5.1})$$

$$T = \frac{V_{\max} - V}{Q} \quad (\text{式-3.5.2})$$

ここに、 Q は天然ダム形成後の平均流入流量、 V は調査時点の湛水量、 t は天然ダム形成時刻から湛水位の調査時点までの時間、 T は湛水位の調査時刻から越流開始時刻までの時間、 V_{\max} は越流開始時に想定される湛水量

しかし、今回の事例では天然ダムは平成23年8月31日から翌月5日までの降雨の間に形成したと推測されたが、その正確な日時が特定できなかったため、湛水池に流れ込む水の流量の平均値を推定できなかった。そこで、湛水池が水で一杯になるまでの時間を予測する代わりに、初期の段階では湛水池が水で一杯になるために必要な降雨量を算出することとした。表-3.5.1は台風12号で天然ダムが形成した直後の段階で推定した結果である。

なお、その降雨量は降雨のうち実際に流出する有効降雨を踏まえて算出すべきであるが、天然ダムの位置する流域において降雨と流出の関係が不明であったため、安全側を考慮して全ての降雨が流出すると想定した。

簡易な計測により天然ダムの空き容量を算出し、湛水池が満水となるのに必要な降雨量を推定した結果、赤谷では約60mm、長殿では約270mm、栗平では約650mm、熊野では約10mm、北股では約50mmとなった。台風12号の後の台風15号に伴って、9月19日から21日にかけて赤谷で約180mm、長殿で約190mm、栗平で約340mm、熊野で約340mm、北股で約190mmの雨が降った。それにより、湛水池の水が赤谷と熊野では天然ダムを乗り越えて下流へ流

れ出し、それ以外の天然ダムでは乗り越えず、概ね予測どおりとなった。北股では満水になる雨量に達したが天然ダムを乗り越えることはなかった。これは、天然ダムへ直接流入せずに地中に浸透する雨量や天然ダムの堤体からの漏水量を考慮していないためだったと推察する。

表-3.5.1 満水までの推定累積雨量

地区名	流域面積 (km ²)	空き容量 (万 m ³)	推定累積 雨量(mm)	備考
赤谷	13.8	90	60	9月8日時点
長殿	4.5	120	270	9月8日時点
栗平	8.7	570	650	9月8日時点
熊野	1.2	1	10	9月11日時点
北股	0.4	2	50	9月14日時点

3.5.2 流出解析を用いたリアルタイムの予測

前述する簡易な予測手法を行う一方で、台風12号の後の台風15号による今後の時間雨量が予測されたため、流出解析で算出した天然ダムへの流入量を用いて、湛水位が満水を超えるまでの時間をリアルタイムで推定することを行った。

(1) 流出解析手法

降雨による天然ダムへの流入量は流出解析手法として多く用いられる貯留関数法を用いて算出した。貯留関数法は地形データ等を必要とせず、データの準備が容易である上、計算に必要なパラメータが少なく、パラメータの同定も比較的少ない観測データでも可能であり、緊急時においても容易に活用できると考えられる。貯留関数法では、流域に降った雨はいったん流域に貯えられて湛水域へ流出するため、流量 q_{in} は流域に貯えられた雨水の量 S の一価関数として表されるとして以下の式を用いる。

$$S = Kq_{in}^p \quad (\text{式-3.5.3})$$

ここに、 q_{in} は直接流量 (m³/s)、 S はみかけの貯留量 (m³/s)、 K 、 p は定数である。この式には以下のような連続式が成り立つ。

$$1/3.6 \cdot f \cdot r \cdot A - q_{in} = dS/dt \quad (\text{式-3.5.4})$$

ここに、 f は流入係数、 r は流域平均雨量 (mm/h)、 A は流域面積 (km²)

また、有効雨量の算出には「 f_1 -Rsa法」を用い、全流域面積のうち1次流出率 f_1 の比率で降雨初期から流出を開始する流出域と飽和雨量 Rsa (mm) に達した後に流出を開始する流出域に分けて計算を行う。

なお、今回の事例では天然ダム上流域の流域面積が小さいことから、直接流量の遅滞時

間は考慮しないものとした。

(2) 予測雨量

天然ダム上流域に降る降雨の予測は気象庁で算出した流域平均雨量の予測値を用いた。予測値は11時と17時に予測される24時間後までの3時間雨量データと毎時予測される6時間後までの1時間雨量データを用いた。

(3) パラメータの同定

表-3.5.2に水位予測に用いたパラメータの一覧を示す。パラメータは「中小河川計画の手引き」((財)国土技術研究センター、以下、「手引き」という)や既往計画、台風12号より後に経験した降雨をもとに同定作業を行い、水位予測に用いる値を設定した。

① 台風15号降雨時

貯留関数に用いる定数は、当初、降雨と流出の関係が不明であったため、手引きに従い、貯留関数の定数 K 、 p を設定し、1次流出率 f_1 は手引きでは0.5を用いるが、安全側をみて0.7とした。

飽和雨量 R_{sa} は天然ダムが位置する流域の河川計画で用いられる値に従い設定した。漏水は常に安定的に漏水するとは限らないことと、現地の漏水状況の詳細がよくわからないことから、安全側をみて0とした。基底流量は天然ダム上流域の流域面積が小さいことから、考慮しないこととした。

② 9月30日降雨時

台風15号時の降雨と流出量の関係をもとに設定したパラメータにより予測した。パラメータの同定作業をもとに有効雨量は全流域から流出するものとした。

③ 10月15日降雨時

10月15日以前の出水をもとに再設定したパラメータを予測に用いた。同定作業の結果、飽和雨量 R_{sa} の設定を行うこととした。

また、降雨終了後に実測水位が下がりつつあるにも関わらず、解析水位が上昇してしまうことから、天然ダム堤体からの漏水量を考慮することとした。漏水量は実績水位低減時の平均値をもとに推定した。なお、栗平は常時水位が上昇していることから0とした。

④ 10月16日以降

既往出水をもとに再々設定したパラメータを予測に用いた。

漏水量は10月16日以降の実績水位低減時の平均値をもとに推定(北股除く、北股は同定作業で設定)した。

表-3.5.2 水位予測モデルに用いたパラメータ一覧

	地区名	K	p	f1	P_{ca} R_{sa} (mm)	漏水(m ³ /s)
台風15号時 9/20~22	赤谷	24.32	0.333	0.7	87	0
	長殿	14.25	0.333	0.7	87	0
	栗平	15.95	0.333	0.7	87	0
	熊野	7.53	0.333	0.7	170	0
	北股	5.14	0.333	0.7	87	0
9/30降雨時	赤谷	30	0.333	0.8	考慮無し	0
	長殿	30	0.333	0.65	考慮無し	0
	栗平	30	0.333	0.7	考慮無し	0
	熊野	23	0.333	0.7	考慮無し	0
	北股	40	0.333	0.6	考慮無し	0
10/15降雨時	赤谷	40	0.333	0.6	70	0.2685
	長殿	38	0.333	0.75	180	0.2211
	栗平	16	0.333	0.6	140	0
	熊野	155	1	0.9	170	0.0097
	北股	5	0.333	0.25	170	0.1000
10/15降雨後	赤谷	40	0.333	0.6	70	0.1337
	長殿	38	0.333	0.7	180	0.0969
	栗平	16	0.333	0.6	180	-0.0782
	熊野	155	1	0.6	180	0.0650
	北股	30	0.4	0.5	200	0.0350

(4) 湛水位～湛水量の関係

予測モデルに用いた湛水位と湛水量の関係は9月30日までは簡易計測より算出した結果を用い、10月以降は湛水池の深浅測量と地上部のレーザープロファイラ計測結果より算出した結果を用いた。この湛水位～湛水量の関係と前述の(1)～(3)による解析した流入量をもとに、天然ダムの水位予測を行った。(図-3.5.1)

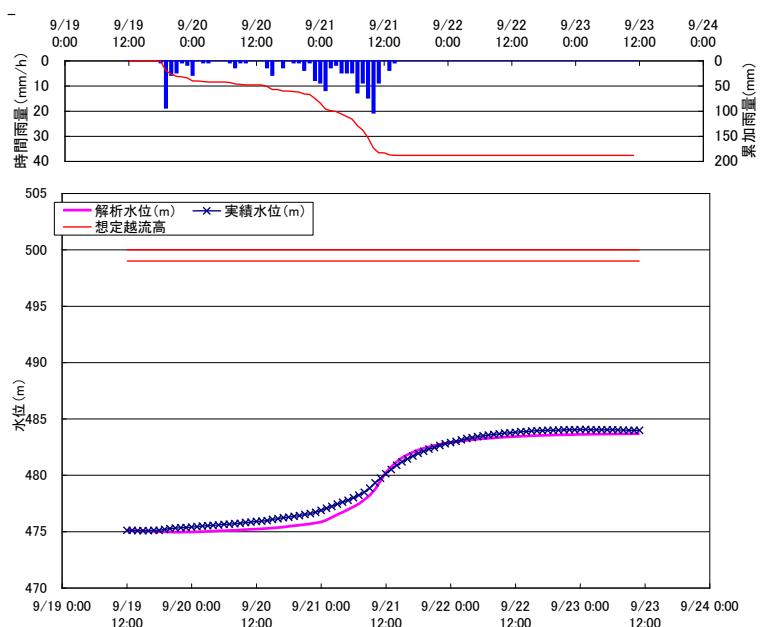


図-3.5.1 水位予測例

3.5.3 流出高と総雨量、損失降雨の関係

初期段階の簡易な予測方法において、北股では満水になる雨量に達したが、湛水池の水が天然ダムを乗り越えなかった。また、貯留関数法を用いた流出解析においても同定作業により初期設定値より大きい飽和雨量を設定した。このことから、北股以外を含め、今回形成した天然ダム上流域における今後の流出予測をするためのパラメータ設定の参考値として、天然ダム毎の損失雨量を推算する。損失雨量は天然ダム毎の流出高と総雨量の関係から推定する。

なお、天然ダムが満水となる時期の予測に用いることを目的として、損失雨量は水位上昇期間を対象に検討し、以下の条件で算出する（表-3.5.3）。

表-3.5.3 検討条件一覧

項目	内容
対象期間	9月17日～11月30日
対象連続降雨	・風屋（気象庁）観測所で10mm/日以上降雨
対象雨量	・気象庁提供の流域平均雨量（9/17～10/6） ・国交省提供の流域平均雨量（10/7～11/30）
漏水量	無降雨時の水位低減量から漏水量を算出し考慮
ポンプ排水	10月以降に設置された天然ダム毎の排水ポンプによる降雨中の排水を考慮
湛水位（H）～ 湛水量（V）関係	深浅測量、レーザープロファイラデータから作成したH～V関係

図-3.5.2には天然ダム毎の流出高と総雨量との関係を示す。図中の点線は傾き1の相関線を示しており、推定損失雨量は点線と総雨量の軸との交点を読み取ったものである。

5地区のうち流域面積の大きい赤谷地区、長殿地区、栗平地区の推定損失雨量は70～100mm、流域面積の小さい熊野地区、北股地区の推定損失雨量が160～170mmとなり、流域面積が比較的小さい地区の推定損失雨量が大きくなる傾向が見られる（表-3.5.4）。

なお、対象降雨数が少ないため、有効雨量の設定に用いる1次流出率と飽和雨量との関係は推定できていない。

表-3.5.4 地区毎の推定損失雨量一覧

地区名	流域面積 (km ²)	推定損失 雨量 (mm)
赤谷	13.2	100
長殿	4.5	90
栗平	8.7	70
熊野	1.2	170
北股	0.4	160

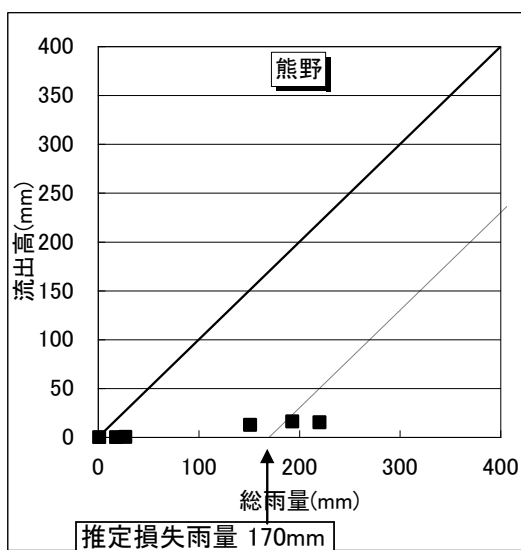
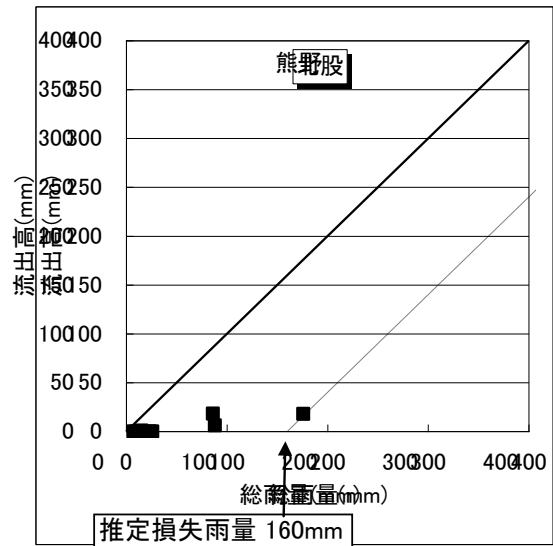
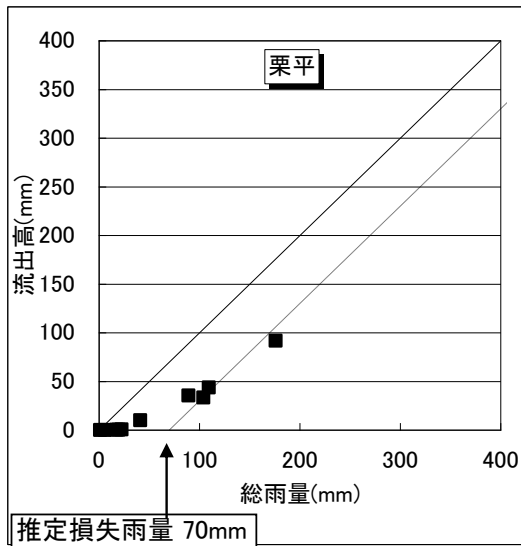
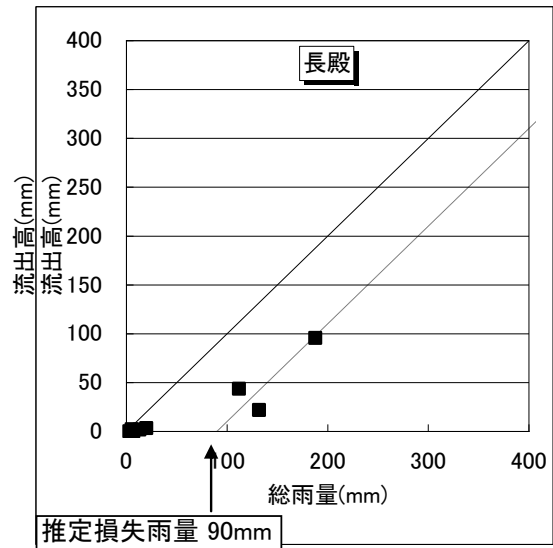
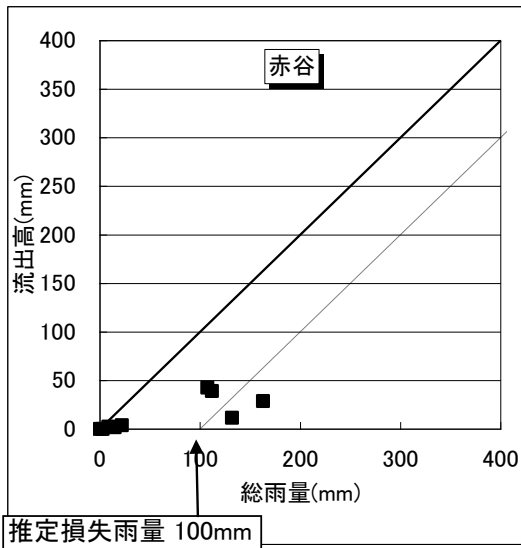


図-3.5.2 流出高と総雨量、推定損失雨量の関係図