

中山間地における小規模水資源利用に関する研究

建設工学課程 尾形 英一

指導教官 細山田 得三

1. はじめに

日本は河川が多く雨量も多いために豊富な水資源が存在する。水資源利用の代表的なものとしては水力発電がある。水力発電は火力発電，原子力発電に次ぐ発電量の発電方法である。既存の水力発電は河川に大規模なダムを建設するものであり自然破壊となってしまう問題である。大規模な開発を必要とせず河川での発電をする方法として小水力発電がある。河川などの流れがある部分にそれに合わせた発電機を設置する発電方法である。また雨量が多い日本では河川での発電を始めとした水資源利用を考える際にどの部分で氾濫などの流量増加による氾濫などの災害が起こるかを知ることが重要である。本研究では流量を増加させてどの部分で災害の危険があるかを検討するとともにどの地点に発電機を置けばどの程度の発電量が期待できるかを地形データを用いて解析することを目的とした。

2. 小水力発電の概要

2.1 水力発電との区分

小水力発電との区分けは現状では発電出力の差のみである(表-1)。水力発電とは異なり大規模な土地を必要としない分発電出力も少ない。

表-1 水力発電の分類

大水力発電	100MW 以上	大規模河川，湖など
中水力発電	100MW-10MW	中小河川
小水力	10MW-1MW	中小河川，
ミニ水力	1MW-100kW	用水路，下水道
マイクロ水力	100kW 未満	トイレの洗浄水

2. 2 小水力発電の事例

日本では山梨県都留市で盛んに行われている。その他の地域でも既存の水力発電施設の近くに試験的に設置されるなど検討する動きが広がっている。新潟県でも新発田市の赤谷発電所，胎内市の鹿ノ俣発電所で行われている。発電の方式は多様であるが解析方法との相性より今回は砂防ダムを想定して研究を進めた。

3 解析モデル

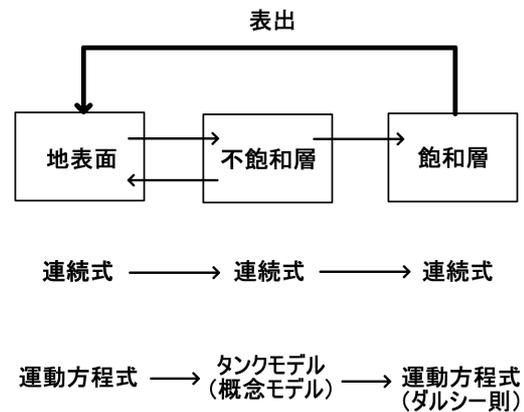


図-1 数値モデル概念

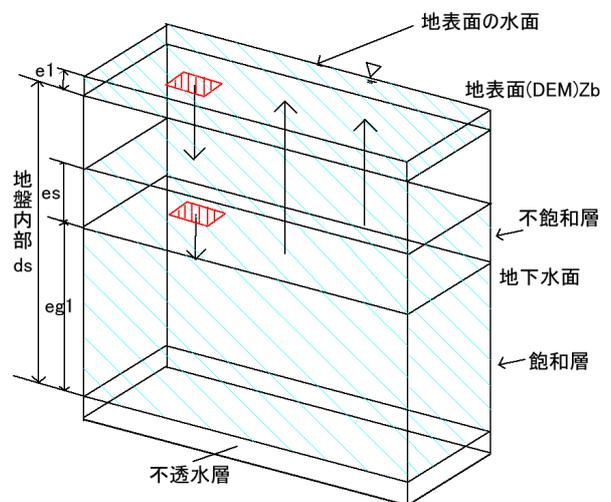


図-2 地下水モデル

本研究では災害の起こる可能性がある部分の検討、発電量の解析を行うために図-1、図-2のような概念で数値モデルを構築した。水の流れを得るために指定した部分で流量を与えた。連続式は(1)である。また2次元運動方程式は(2)である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial m_{i,j}}{\partial x_j} = -V_1 \quad (1)$$

$$\frac{\partial m_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j m_j}{\partial x_j} = -gh_i \frac{\partial z_b^* + h}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left(D_1 \frac{\partial m_i}{\partial x_k} \right) + \tau_{ic} \quad (2)$$

記号 $x, t, h, m, u, D, \cdot_z$ はそれぞれ、水平座標、時間、水深、線流量、流速、水平粘性係数、底面せん断力である。地下水部は地表面に流れる水が地層に染込み不飽和層に溜まる。不飽和層からも一定の割合で飽和層に流れ込む(図-2)。この時の流速を示す式は不飽和層(6)、飽和層(7)である。となる。 e_1 は地表面の厚さ e_s は不飽和層の厚さである。 α, β は地盤の材料、性質によって変化する。不飽和層は地表面からの流入と飽和層への流出のみであるタンクモデルであるために連続(3)のみで表現できる。

$$\frac{\partial e_s}{\partial t} = V_1 - V_2 \quad (3)$$

$$V_1 = \alpha \sqrt{2ge_1} \quad (4)$$

$$V_2 = \beta \sqrt{2ge_s} \quad (5)$$

飽和層は不飽和層との流入、流出の関係を表す連続式に加え、流れを表す運動方程式も必要となる。連続式は

$$\frac{\partial e_{g1}}{\partial t} = -\frac{\partial e_{g1} \cdot V_{dx}}{\partial x} - \frac{\partial e_{g1} \cdot V_{dy}}{\partial y} + V_2 \quad (6)$$

である。運動方程式は

$$V_{dx} = -h \frac{\partial e_{g1}}{\partial x} \quad V_{dy} = -h \frac{\partial e_{g1}}{\partial y} \quad (7)$$

である。各パラメータは地表面のものと同一である。

4 発電量計算式

発電量を計算する式は(8)である。

$$P = 9.8 \times Q \times H \times \eta \quad (8)$$

Q は解析より求めた各地点での流量、 H は有効落差、 η は効率である。

有効落差を求める式は(9)である。

$$H = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

$$f = 124.6 \times \frac{n^2}{D^3} \quad (10)$$

記号 L, D, V, g, n はそれぞれ導水管長さ、管口径、管内流速、重力加速度、粗度係数である。

5 解析条件

解析の対象地域は新潟県長岡市川口の芋川周辺とした。用いるDEMデータは50mメッシュ、81×194の15714地点を含むものである。その他の条件は表-2のとおりである。

一時的にせき止める部分は左下を原点とし、座標(41, 133)から(48, 133)を250mとした(図-3)。

各格子点に図-4のような仮想の発電施設があるものとして解析を行った。発電量を計算する際の条件は表-3のとおりである。発電効率 η は60%-80%であることが多い。今回は60%とした。

表-2 災害危険解析条件

計測時間	43200 ステップ(10秒ごとに一回出力) 12時間分
透水係数	0.0001
空隙率	0.2
地下層厚さ	10 m
不飽和層厚さ	0.6 m
飽和層厚さ	1.0 m

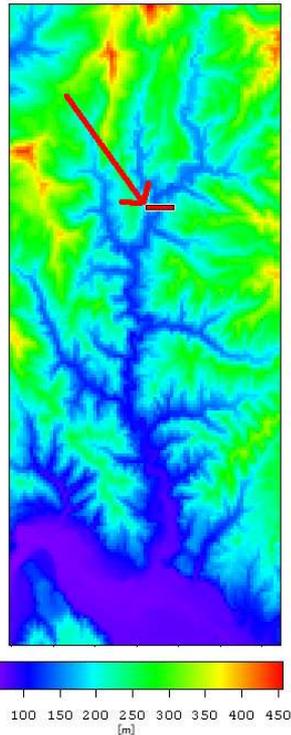


図-3 せき止める位置

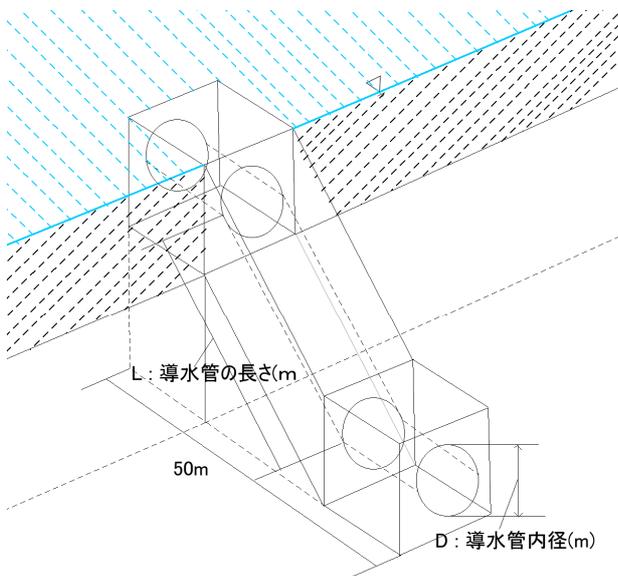


図-4 仮想発電施設

表-3 発電量解析条件

導水管長さ:L	50m
管口径:D	0.4m
粗度係数:n	0.013 (鉄管)

6. 解析結果

6.1 災害危険解析

解析は長岡市川口町の芋川を用いて行った。せき止め位置で解析直後から標高値を高くし水の流れを止め、約9時間後に標高値を元の値に戻し水を流した。

図-5はその結果を画像化したものである。初期段階ではせき止めている部分の水深は20~25mとなる。放水直後は急激な変化はないが時間が経過し放水した水が接続する魚野川に合流する時点では5m~15mの水深が広く分布する。赤丸で示したような複雑な地形では水深が20~25mとなっておりこのような部分で氾濫などの災害が起こりやすいことが予想される。

6.2 発電量解析

図-6は発電量をプロットしたものである。黒い部分は落差や流量が不十分で発電ができない部分である。発電出力はおおむね5~30kWの間である。落差が十分でも上流のほうは支流が合流していないので流量が少なく発電量が少ない。折れ曲がった部分な複雑な地形部で多く発電できていることが分かる。

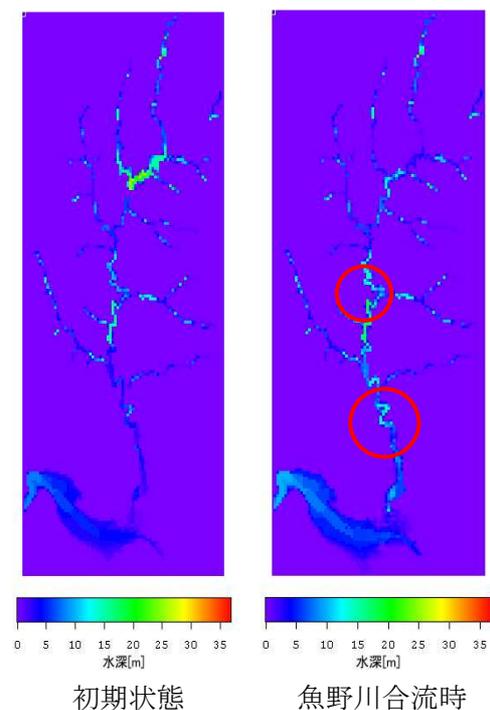


図-5 水深変化

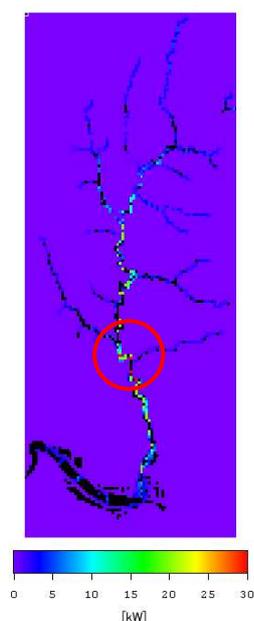


図-6 発電出力の分布

7.1 まとめと課題

河川で災害が起こりやすい部分は極端に折れ曲がった部分など複雑な地形の部分であることが予想できる。また上流よりも下流の方が支流と合流する頻度が高いために危険である。

発電量に関しても同様に複雑な地形、下流に行くほど多くの発電量が得られるということが分かった。災害が起こる可能性が高い部分と発電量が多く得られる部分がほぼ同一であるということは災害に対して何らかの対策を取らなければ

安定した発電が行えないということである。

今後の課題は今回使用した数値モデルをより実現象に近づけることである。数値解析内で用いた各種パラメータは解析対象地によって適した値が存在しそれを得ることができれば実現象に近づけることができ災害危険解析、発電量解析ともに正確に行える。また発電量をもとめる際の有効落差計算、発電量計算も実際の条件に合わせた修正が必要である。

参考文献

- ・陸・小池・早川：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発 土木学会論文集, 第 411 号/II-12, 135-142, 1989
- ・高棹・宝・溝淵・杉原：国土数値情報を用いた水文地形解析に関する基礎的研究, 京大防災研年報, 第 32 号, 435-454. 1989
- ・早川・内島・藤田：グリッド型 DWM による擬河道網の抽出手法の検討 水工学論文集 第 39 巻 121-126, 1995
- ・道口・藤田：国土数値情報による模擬河道発生手法について 土木学会北海道支部論文報告集, 275-279
- ・重枝・秋山・小園・上川：遠賀川流域の分布型流出解析と平面 2 次元洪水追跡 水工学論文集 第 54 巻 2010