

II - 55

メッシュスケールが土砂生産量の予測に及ぼす効果

北海道大学工学部 ○学生員 堀江 克也
 佐藤工業株式会社 正会員 山本 徹
 北海道大学工学部 フェロ-会員 黒木 幹男
 北海道大学工学部 フェロ-会員 板倉 忠興

1. はじめに

著者らは、河道の安定縦断形状について理論的解析を行っている¹⁾。この理論は、支配流量の存在を想定しその縦断方向の変化を仮定するだけで、河道の河床高、川幅、平均粒径、水深の縦断方向の変化を予測するものである。また、流量の縦断変化に関する資料が得られない場合でも、少なくとも一地点の流量資料と地形図等から読み取った河床高の縦断変化を与えることにより、逆推定問題のように流砂量を推定する事ができる。著者らはこの理論を実流域に適用する方法として、流域全体の河道網を組み入れた河道網モデル²⁾を構築し、道内の複数のダム流域で解析を行った。その中の滝里ダム流域では、流域全体に河道網モデルを適用し、流域内の砂防ダムでの年堆砂量を堆砂資料で検証したところある程度の妥当性が得られた^{3,4)}。

これまでの解析では、河道網のパターンとして「石狩川ランドスケープ情報」⁵⁾収録の河道網図を用いている。しかし、この河道網図は国土数値情報の3次メッシュに対応した約1 km²に1本の河道となるように配したもので、実際の河道を表現するには粗い近似となることは免れない。本研究では、実流域により適合するように国土数値情報の3次メッシュを更に16分割した細メッシュで解析を行い、メッシュスケールの効果を検証する。

2. 国土数値情報3次メッシュスケールでの解析

(1) 滝里ダム流域

滝里ダムは、石狩川水系空知川の芦別市滝里町に多目的ダムとして現在建設しているダムである。滝里ダムの本川上流には金山ダムがある。本研究では、金山ダムからの流出土砂量をゼロと考え、解析対象流域を金山ダム流域を除く滝里ダム流域とする。以後、これを滝里ダム流域と呼ぶこととする。河道網モデル²⁾を実流域に適用するためには、河道網のパターンを確定する必要がある。河道網のパターンとして、「石狩川ランドスケープ情報」⁵⁾収録の河道網図を用いる。図-1に滝里ダム流域の河道網図を示す。この流域の流域面積は1192.9km²である。

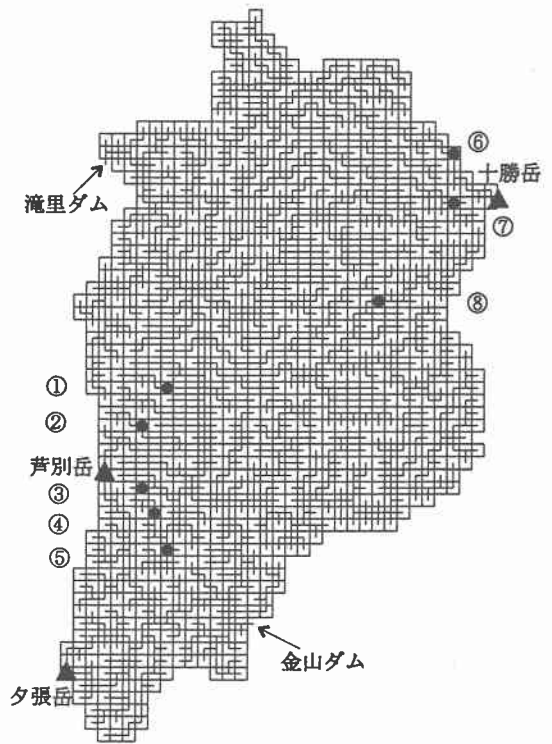


図-1 滝里ダム流域の河道網図

The Impact that the Scale of a Mesh would affect the Estimation of the Sediment Yield
 by Katsuya HORIE, Toru YAMAMOTO, Mikio KUROKI, Tadaoki ITAKURA

一方、河道網図のメッシュ数は 1272 個、一メッシュ当たりの面積は 0.9378km² であり、外部リンクの数は 409 個である。また、図中の黒丸印は、両メッシュスケールで解析を行った砂防ダムの位置を示している。

(2) 河道網モデルの適用

図-1 の河道網図に河道網モデルを適用する。この方法で以前に解析を行っている³⁾⁴⁾ので、ここでは簡単に述べることにする。流域の全単位河道について著者らが行った方法²⁾で、上下流端勾配、座標データを与え諸量を計算する。外部リンク流入流量 $[Q_U]_i$ を全流域で一定とすると、流域の流量と流砂量は $[Q_U]_i$ のパラメーターで表現できる²⁾。ここで、外部リンク流入流量とは外部リンクにおける流量であり、集水面積は 0.4689km² である。金山ダムからの流入流量は金山ダムでの平均年最大流量を用いる。金山ダムでの平均年最大流量は昭和 43 年から平成 6 年までの 27 年間で 151.8m³/sec である。よって、滝里ダムでの流量 Q は次のように表される。

$$Q = 1758.7 \times [Q_U]_i + 151.8 \quad (1)$$

外部リンク流入流量 $[Q_U]_i$ を確定するためには、流域の下流端の流量資料が必要である。しかし、現在のところ滝里ダム地点の流量資料が得られないので、本解析では滝里ダムの下流にあたる赤平での流量から換算することにする。赤平の平均年最大流量を流量年表から求めると、1971 年から 1995 年までの 25 年間で 982.2m³/sec である。赤平の流域面積は 2531.1km² であり、滝里ダムの流域面積は 1661.9km² であるので、平均年最大流量を流域面積の比で滝里に換算すると 644.9m³/sec となる。これを式(1)に代入すると、外部リンク流入流量 $[Q_U]_i$ は 0.280 m³/sec となる。 $[Q_U]_i$ の値が定まると任意の地点の流量、流砂量が求まる。

(3) 年堆砂量の推定法

理論から導かれた流砂量に支配流量の見かけの継続時間を乗ずれば任意の地点の年通過土砂量が求まる。ダムではこの大部分が堆砂するものと考えられるのでこれを年堆砂量と考える。次式のように支配流量の見かけの継続時間 T を定義する。

$$V_y = T \times Q_B \quad (2)$$

ただし、 V_y : 年堆砂量 (m³/yr)、 T : 支配流量の年当たりの見かけの継続時間 (sec/yr)、 Q_B : 流砂量 (m³/sec)

著者らは、複数のダム流域から見かけの継続時間 T と土砂生産の有力な因子である降雨量との関係を導いている⁶⁾。著者らが求めた T と雨量継続時間の関係をグラフにすると図-2 のようになる。ここで、雨量継続時間とは平均月最大雨量を平均日最大雨量で割った値である。また、 T は他にもいろいろな要素と絡み合っていると思われる。滝里ダム流域では地質年代に大きな特徴があるので、地質時代区分に着目し T を軟らかいイメージの第四紀と硬いイメージの第三

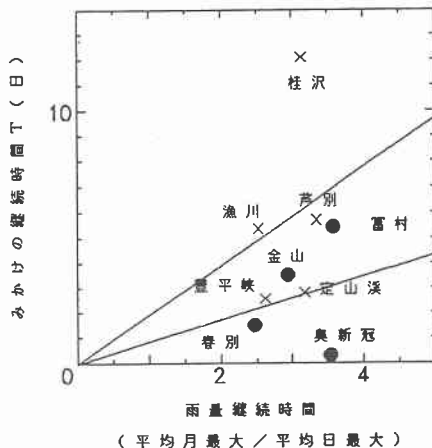


図-2 見かけの継続時間と雨量

紀以前の時代とに分ける。図の×印が第四紀、●印が第三紀以前の時代の地質が多いダム流域である。この2つの地質時代別のTと雨量継続時間の関係は、1次式で与えられ式(3)(4)のようになる。

$$\text{第四紀} \quad T=1.944 \times (\text{雨量継続時間}) \quad (3)$$

$$\text{第三紀以前} \quad T=0.867 \times (\text{雨量継続時間}) \quad (4)$$

滝里ダム流域の地質時代の特徴として本川の右岸側と左岸側で大きく異なっている。右岸側は十勝岳山系火山性流域で洪積世(第四紀)、左岸側は芦別山系中古生層流域で白亜紀のものが主である。滝里ダム流域の雨量継続時間は降雨資料から3.34日であるので、式(3)より滝里ダム流域の見かけの継続時間Tは右岸で6.5日(156時間)、式(4)より左岸で2.9日(69.6時間)と求まる。

(4) 砂防ダムの年堆砂量

解析対象の砂防ダムは図-1に示した右岸3基、左岸5基の計8基である。各砂防ダムにおいて河道網モデルによる年堆砂量を計算する。解析例として図-1の④に位置する峰泊沢床固工流域をあげる。

図-3に峰泊沢床固工流域の河道網図を示す。この流域はメッシュ数が5で流域面積は4.69km²である。先の解析で流域の流砂量分布は $[Q_s]_1$ のパラメーターで表わされており、峰泊沢床固工がある位置での流砂量は $1.33 \times 10^{-2} \times [Q_s]_1$ である。 $[Q_s]_1=0.280 \text{ m}^3/\text{sec}$ であるから流砂量は $Q_b=3.77 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{sec})$ と求まる。さらに、峰泊沢床固工の年堆砂量は見かけの継続時間Tを用いると式(2)より求まる。この時、峰泊沢床固工は本川の左岸にあるので継続時間Tは2.9日を用いる。よって、年堆砂量は $V_f=2.9(\text{日}) \times 3.77 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{sec})=931 (\text{m}^3/\text{yr})$ となる。また、他の7基の砂防ダム流域にも同様の解析を行ない年堆砂量を推定した。

ここまでは以前に計算されており、推定された年堆砂量は実資料値⁷⁾と比較しある程度の妥当性が確認された⁴⁾。しかし、河道網のパターンとして1メッシュ(0.9378km²)に一本の河道となるような河道網図を用いているので、砂防ダムのような小さな流域では実流域に対して粗い近似となる。そこで、更に細かいメッシュの河道網パターンで解析を行いメッシュスケールの効果を検証する。

3. 細メッシュスケールでの解析

細メッシュとして3次メッシュを16分割したスケールの河道網パターンをつくり、河道網モデルを適用する。解析例として峰泊沢床固工流域をあげる。

河道網図は次の手順で作成する。国土地理院発行の2万5000分の1地形図に、3次メッシュの16分の1のメッシュを引く。地形図から1メッシュに1本の河道となるように流下方向を読みとる。図-4に峰泊沢床固工流域の河道網図を示す。この流域のメッシュ数は57個、1メッシュ当たりの面積は0.0586km²であるので流域面積は3.34km²である。一方、3次メッシュの時の流域面積は4.69km²であり、実資料の流域面積は3.30km²であるので、より実流域に近づいたことがわかる。

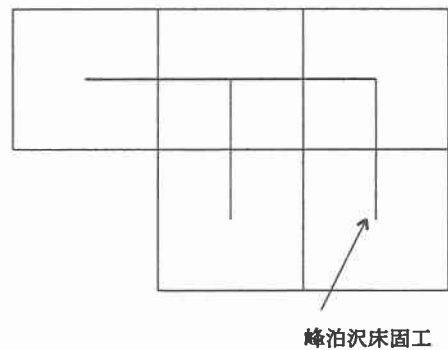


図-3 3次メッシュによる峰泊沢床固工流域の河道網図

峰泊沢床固工流域に河道網モデルを適用する。先の解析と同様の方法で流域の全単位河道について、上下流端勾配、座標データを与え諸量を計算する。外部リンク流入流量 $[Q_U]_1$ をこの流域で一定と仮定すると流域の流量、流砂量は $[Q_U]_1$ のパラメーターで表現できる。ここでの外部リンク流量 $[Q_U]_1$ は集水面積が1メッシュの半分の面積(約0.0293km²)である。峰泊沢床固工での流量、流砂量は次のように表される。

$$Q = 49.69 \times [Q_U]_1 \quad (5)$$

$$Q_B = 0.103 \times [Q_U]_1 \quad (6)$$

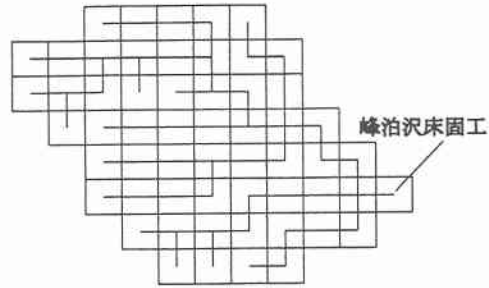


図-4 細メッシュによる峰泊沢床固工流域の河道網図

流域の流量、流砂量を求めるためには外部リンク流入流量を確定する必要がある。両メッシュスケールで比較を行うため、峰泊沢床固工での流量を同じにする。3次メッシュで解析した峰泊沢床固工の流量は1.17(m³/sec)であるので、式(5)より峰泊沢床固工の外部リンク流入流量は $[Q_U]_1=2.50 \times 10^{-2}$ (m³/sec)と求まる。

また、式(6)より峰泊沢床固工の流砂量は、 $Q_B=0.103 \times 2.50 \times 10^{-2}=2.58 \times 10^{-3}$ (m³/sec)と求まる。見かけの継続時間Tは2.9日であるので、式(2)より年堆砂量は $V_T=2.9$ (日) $\times 2.58 \times 10^{-3}$ (m³/sec) $=423$ (m³/yr)と推定される。他の7基の砂防ダム流域にも同様の解析を行い年堆砂量を推定した。

表-1 流域面積
(単位は km²、かつこ内の数値はメッシュ数)

河川施設名	資料値	河道網図	
		3次メッシュ	細メッシュ
① 十線川砂防ダム	6.2	5.63 (6)	5.86 (100)
② 十八線川3号砂防ダム	5.6	5.63 (6)	5.74 (98)
③ 二十五線川砂防ダム	2.0	1.88 (2)	2.23 (38)
④ 峰泊沢床固工	3.3	4.69 (5)	3.34 (57)
⑤ 山部川1号堰堤	4.7	9.38 (10)	4.87 (83)
⑥ 富良野川1号堰堤	7.5	9.38 (10)	5.69 (97)
⑦ ヌッカクシ富良野川陵雲1号堰堤	2.2	1.88 (2)	1.82 (31)
⑦ 布部川 no.2 砂防ダム	26.8	30.01 (32)	24.94 (429)

4. 両メッシュスケールによる解析結果

(1) 流域面積

それぞれの砂防ダムの両メッシュスケールにおける流域面積と砂防ダム堆砂資料⁷⁾における流域面積を表-1に示す。3次メッシュの流域面積と細メッシュの流域面積を比べて細メッシュの方が資料値に近い値となっている。これより、細メッシュの方が実流域をより表現できる。

(2) 外部リンク流入流量

細メッシュで求められた外部リンク流入流量を表-2に示す。3次メッシュによる解析では外部リンク流入流量は全流域で一定で0.280m³/secである。この時の集水面積は0.4689km²である。一方、細メ

表-2 外部リンク流入流量

河川施設名	細メッシュ
① 十線川砂防ダム	1.14×10^{-2} (m ³ /sec)
② 十八線川3号砂防ダム	1.01×10^{-2} (m ³ /sec)
③ 二十五線川砂防ダム	1.77×10^{-2} (m ³ /sec)
④ 峰泊沢床固工	2.50×10^{-2} (m ³ /sec)
⑤ 山部川1号堰堤	2.37×10^{-2} (m ³ /sec)
⑥ 富良野川1号堰堤	3.19×10^{-2} (m ³ /sec)
⑦ ヌッカクシ富良野川陵雲1号堰堤	1.68×10^{-2} (m ³ /sec)
⑧ 布部川 no.2 砂防ダム	3.50×10^{-2} (m ³ /sec)

シュの外部リンク流入流量の集水面積は16分の1の0.0293km²である。外部リンク流入流量も単純に16分の1とすると0.0175km²であるが、細メッシュで求めた外部リンク流入流量には多少のばらつきがある。

(3) 流量、流砂量

各砂防ダムの流量、流砂量は表-3、表-4 のようになる。

表-3 両メッシュスケールによる流量

河川施設名	3次メッシュ (m ³ /sec)	細メッシュ (m ³ /sec)
① 十線川砂防ダム	$4.93 \times [Q_{ij}]_i = 1.38$	$120.81 \times [Q_{ij}]_i = 1.38$
② 十八線川3号砂防ダム	$5.43 \times [Q_{ij}]_i = 1.52$	$150.22 \times [Q_{ij}]_i = 1.52$
③ 二十五線川砂防ダム	$1.65 \times [Q_{ij}]_i = 0.46$	$25.97 \times [Q_{ij}]_i = 0.46$
④ 峰泊沢床固工	$4.17 \times [Q_{ij}]_i = 1.17$	$46.69 \times [Q_{ij}]_i = 1.17$
⑤ 山部川1号堰堤	$10.15 \times [Q_{ij}]_i = 2.85$	$119.98 \times [Q_{ij}]_i = 2.85$
⑥ 富良野川1号堰堤	$4.64 \times [Q_{ij}]_i = 1.30$	$40.70 \times [Q_{ij}]_i = 1.30$
⑦ ヌッカクシ富良野川陵雲1号堰堤	$1.49 \times [Q_{ij}]_i = 0.42$	$24.80 \times [Q_{ij}]_i = 0.42$
⑧ 布部川 no. 2 砂防ダム	$30.24 \times [Q_{ij}]_i = 8.48$	$242.00 \times [Q_{ij}]_i = 8.48$

表-4 両メッシュスケールによる流砂量

河川施設名	3次メッシュ (m ³ /sec)	細メッシュ (m ³ /sec)
① 十線川砂防ダム	$0.59 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 1.66 \times 10^{-3}$	$0.211 \times [Q_{ij}]_i = 2.41 \times 10^{-3}$
② 十八線川3号砂防ダム	$2.21 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 6.19 \times 10^{-3}$	$0.198 \times [Q_{ij}]_i = 2.01 \times 10^{-3}$
③ 二十五線川砂防ダム	$1.33 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 3.72 \times 10^{-3}$	$0.288 \times [Q_{ij}]_i = 5.10 \times 10^{-3}$
④ 峰泊沢床固工	$1.35 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 3.77 \times 10^{-3}$	$0.103 \times [Q_{ij}]_i = 2.58 \times 10^{-3}$
⑤ 山部川1号堰堤	$1.80 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 5.03 \times 10^{-3}$	$0.115 \times [Q_{ij}]_i = 2.72 \times 10^{-3}$
⑥ 富良野川1号堰堤	$0.55 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 1.55 \times 10^{-3}$	$0.150 \times [Q_{ij}]_i = 4.80 \times 10^{-3}$
⑦ ヌッカクシ富良野川陵雲1号堰堤	$1.76 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 4.92 \times 10^{-3}$	$0.122 \times [Q_{ij}]_i = 2.05 \times 10^{-3}$
⑧ 布部川 no. 2 砂防ダム	$9.89 \times 10^{-2} \times [Q_{ij}]_i = 27.73 \times 10^{-3}$	$0.520 \times [Q_{ij}]_i = 18.21 \times 10^{-3}$

表-5 両メッシュスケールによる砂防ダムの年堆砂量

河川施設名	資料値 (m ³ /yr)	3次メッシュ (m ³ /yr)	細メッシュ (m ³ /yr)
① 十線川砂防ダム	1109	415	603
② 十八線川3号砂防ダム	1860	1204	504
③ 二十五線川砂防ダム	1096	931	1279
④ 峰泊沢床固工	282	931	646
⑤ 山部川1号堰堤	1291	1255	682
⑥ 富良野川1号堰堤	4909	3430	2694
⑦ ヌッカクシ富良野川陵雲1号堰堤	13333	2763	1154
⑧ 布部川 no. 2 砂防ダム	944	15573	10228

(4) 年堆砂量

流砂量に継続時間Tをかけると年堆砂量が求まる。右岸側にある砂防ダムでは継続時間Tは6.5日(156時間)、左岸側にある砂防ダムでは2.9日(69.6時間)を用いると、それぞれのメッシュスケールでの年堆砂量は表-5のように計算される。これらの砂防ダムの年堆砂量を実資料値と比較すると図-5になる。図の●印は3次メッシュの解析による年堆砂量、△印は細メッシュによる年堆砂量である。図より、両メッシュスケールで求めた年堆砂量はほぼ似た値となっていることがわかる。したがって、3次メッシュのような粗いメッシュでも細メッシュで解析した値と大差なく求められると考えられる。

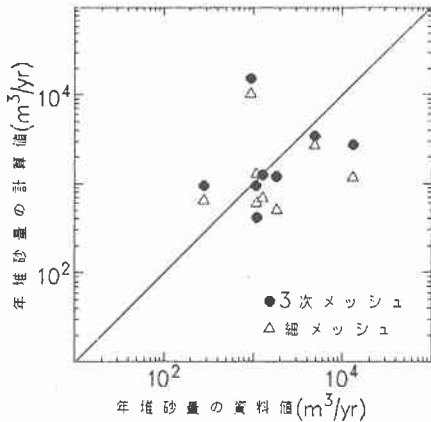


図-5 年堆砂量の計算値と資料値の比較

5. おわりに

著者らは流域全体を考慮した河道網モデルにより流域の土砂生産量を推定してきた。これまでは河道網モデルを実流域に適用する際の河道網パターンとして、国土数値情報3次メッシュに対応して1本の河道となるように配した河道網図を使用してきた。本研究では、実流域により適合するように3次メッシュを16分割した細メッシュの河道網パターンを用い、メッシュスケールの効果を検証した。滝里ダム流域の砂防ダム8基で解析を行ない両河道パターンで年堆砂量を推定したところ、両者はほぼ近い値が得られた。このことから、国土数値情報3次メッシュのスケール(約1km²)で土砂生産量を予測しても概ね妥当な値が得られることがわかった。

参考文献

- 1) 山本徹、黒木幹男、板倉忠興：河道網理論による金山ダム流域の地質別流砂分布、水工学論文集第41巻、pp. 765-770, 1997
- 2) 山本徹、黒木幹男、板倉忠興：流出特性分布を考慮した河道網理論とその適用、土木学会北海道支部論文報告集、pp. 78-83, 1998
- 3) 堀江克也、山本徹、黒木幹男、板倉忠興：河道網理論による滝里ダム流域の土砂生産特性について、土木学会北海道支部論文報告集、pp. 184-189, 1998
- 4) 堀江克也、山本徹、黒木幹男、板倉忠興：滝里ダム流域の土砂生産量について、水工学論文集、第43巻、1999、(投稿中)
- 5) 財団法人北海道河川防災研究センター：石狩川ランドスケープ情報、1996
- 6) 萩野涼子、堀江克也、山本徹、黒木幹男、板倉忠興：河道網モデルを用いた年平均ダム堆砂量の推定、土木学会北海道支部論文報告集、1999、(投稿中)
- 7) 財団法人北海道開発協会：滝里ダム建設業務の内、土砂動態調査解析業務報告書、1997