

28 不定流を考慮した河床変動

働 砂防・地すべり技術センター

○栗山義英、黒川興及、宮本邦明

1. 検討の目的

山地流域における流砂現象、河床変動現象を複雑にしている原因は、(1)土砂生産が不連続であること、(2)生産された土砂の粒度分布が非常に広範囲であること、(3)洪水中の掃流力の変化が極めて大きいことである。

これらの原因が複雑にかみ合って、流量と流砂量、河床形態が一对一で対応しない。図-1に示されているように、山地河道では洪水の流量が場所毎時間的に変化し、それに伴い掃流力が変化する。

また、生産土砂が供給されるタイミングやその規模、粒度分布も流砂・河床変動現象に大きな影響を与える。すなわち、広範囲の粒度分布を有する土砂が急激に河道に供給され、これらの土砂が洪水により分級、分散される。その過程で河床勾配が変化したり、また洪水に伴う掃流力の変化によりアーマールコート（Armor Coat）の形成や破壊が見られる。以上のような現象が相互に作用して、山地河道の流砂・河床変動現象をより一層複雑化させている。

これらの山地河道を特徴付ける諸要因については、土砂生産の発生のメカニズム、あるいは生産土砂量の予測手法等について、またアーマールコートの形成、破壊、それらに伴う流砂量、河床形態

の変化等について、理論、実験、現地調査および観測の面から、多くの研究、検討がなされてきている。

ところで、掃流力を決定している流量時系列は、従来は流域区分点でのハイトグラフ、ハイドログラフを策定したり、基準点のハイドログラフを、河道の各地点での流域面積比で配分して与えたりしていた。ところが、前述したように山地河道では洪水中の縦断方向の掃流力分布の時間的な変化が問題となるので、洪水伝播特性を考慮しなければならない。

以上より、河床変動計算の中で、流量の場所変化、および河床変動の結果もたらされる勾配の変化の影響を不定流シミュレーション計算で検討してみることにした。この際に、等流計算で行った場合と比較して不定流計算の効果を検討する。本報告は、山地流域における流砂・河床変動現象を数値的に解析する過程での外力に着目して、洪水の不定流による掃流力の変化がどのような影響を及ぼすかの基礎的検討を行った結果である。

2. 検討方法

流砂・河床変動現象における外力である水理量を、不定流と等流各々の場合に分けて検討を行った。モデル流域は不定流の影響のみが反映されるよう、図-2に示すように単純化している。計算は不定流

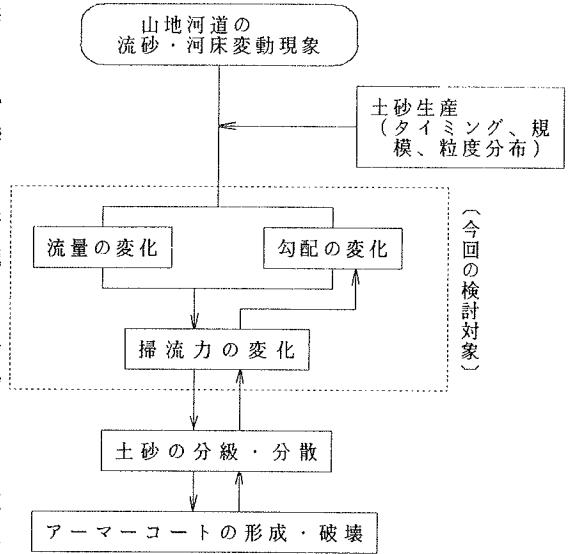


図-1 山地河道の流砂・河床変動現象

計算を行い、横流入を考慮して各断面の流量、水深を求めた。等流水深は不定流計算でえられたA点の流量を基に求めた。不定流、等流各々の流砂量を求め、河床変動計算を行った。

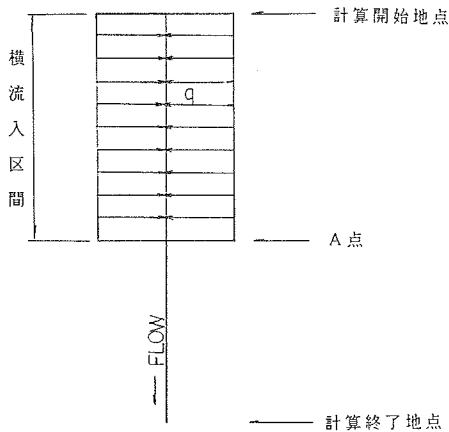


図-2 流域のモデル図

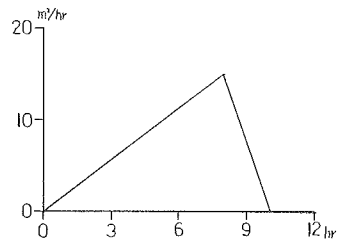


図-3 横流入ハイドロ

3. 条件の設定

(1) 河道条件

河道は川幅一定 (B=20m) の矩形断面で初期勾配は 1/200 一定である。河床材料は均一粒径 ($d_m=0.02m$) である。

(2) 水理条件

① 不定流 — 上流端流入量は基底流量 ($Q_0=20m^3/sec$) を与え、横流入量は各区間一様で図-3 に示すとおりである。

② 等流 — 不定流計算で求められる流量を与えた。

(3) 不定流計算

$$\text{連続式} \quad : \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r$$

* h : 水深、q : 流量、r : 横流入量
t : 時間、x : 距離

$$\text{運動方程式} : \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{u_m}{g} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h + \frac{u_m^2}{2g} \right) = i - i_e$$

* u_m : 平均流速、i : 河床勾配
 i_e : エネルギー勾配

これらの式を Leap Frog 法により差分化して数値解析を行い、流量、水深を求めた。距離ステップ： $dx=100m$ 、計算対象区間は 10km (100ステップ)、時間ステップ： $dx=1sec$ 、横流入量 (r) を与える区間は上流端から 70ステップまでとし、計算継続時間は 12時間とした。

(4) 等流計算

不定流計算で求められた 70ステップ目 (A点) の流量を、最上流端から各ステップに均等に配分して求めた。70ステップ以降は一定とした。

(5) 流砂量計算

Meyer-Peter・Muller(M.P.M.)式を用いた。

(6) 河床変動

洗掘、堆積は鉛直方向のみとし、側岸の侵食は無しとした。

表-1 洪水初期 計算開始1時間後

| 不定流による場合 | | | | | 等流による場合 | | | | |
|----------|-------|-------|----------|--------|---------|-------|-------|----------|--------|
| 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 | 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 |
| 10 | 20.20 | 0.663 | 0.102 | 3.82 | 10 | 20.20 | 0.660 | 0.103 | 3.93 |
| 30 | 20.54 | 0.672 | 0.102 | 3.82 | 30 | 20.61 | 0.668 | 0.104 | 4.03 |
| 50 | 20.97 | 0.681 | 0.103 | 3.91 | 50 | 21.01 | 0.676 | 0.106 | 4.13 |
| 70 | 21.42 | 0.690 | 0.104 | 4.01 | 70 | 21.42 | 0.683 | 0.107 | 4.24 |
| 90 | 21.65 | 0.689 | 0.107 | 4.25 | 90 | 21.42 | 0.683 | 0.107 | 4.24 |

表-2 洪水ピーク時 計算開始8時間後

| 不定流による場合 | | | | | 等流による場合 | | | | |
|----------|-------|-------|----------|--------|---------|-------|-------|----------|--------|
| 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 | 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 |
| 10 | 21.56 | 0.710 | 0.097 | 28.59 | 10 | 21.67 | 0.688 | 0.108 | 33.41 |
| 30 | 24.24 | 0.786 | 0.097 | 28.34 | 30 | 25.00 | 0.750 | 0.117 | 38.28 |
| 50 | 27.78 | 0.858 | 0.104 | 31.89 | 50 | 28.34 | 0.808 | 0.126 | 43.22 |
| 70 | 31.67 | 0.927 | 0.113 | 36.44 | 70 | 31.67 | 0.864 | 0.135 | 48.21 |
| 90 | 33.99 | 0.919 | 0.134 | 48.08 | 90 | 31.67 | 0.864 | 0.135 | 48.21 |

表-3 洪水減水期 計算開始9時間後

| 不定流による場合 | | | | | 等流による場合 | | | | |
|----------|-------|-------|----------|--------|---------|-------|-------|----------|--------|
| 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 | 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 |
| 10 | 20.78 | 0.683 | 0.100 | 32.07 | 10 | 20.82 | 0.672 | 0.105 | 37.68 |
| 30 | 22.14 | 0.721 | 0.100 | 31.79 | 30 | 22.47 | 0.703 | 0.110 | 43.33 |
| 50 | 23.88 | 0.757 | 0.104 | 35.91 | 50 | 24.11 | 0.734 | 0.115 | 49.08 |
| 70 | 25.76 | 0.792 | 0.108 | 41.21 | 70 | 25.76 | 0.763 | 0.119 | 54.88 |
| 90 | 26.79 | 0.789 | 0.119 | 54.76 | 90 | 25.76 | 0.763 | 0.119 | 54.88 |

表-4 洪水終了時 計算開始12時間後

| 不定流による場合 | | | | | 等流による場合 | | | | |
|----------|-------|-------|----------|--------|---------|-------|-------|----------|--------|
| 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 | 位置 | 流量 | 水深 | τ_* | 総流出土砂量 |
| 10 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 43.59 | 10 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 49.40 |
| 30 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 43.30 | 30 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 55.27 |
| 50 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 47.60 | 50 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 61.23 |
| 70 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 53.11 | 70 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 67.24 |
| 90 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 66.78 | 90 | 20.00 | 0.656 | 0.103 | 67.24 |

4. 結果および考察

不定流および等流計算による河床変動の差異は、河床変動の始まる時点、つまり掃流力が限界掃流力を上回る時点での比較検討を行うことによって説明することができる。従って、計算条件で与えた基底流量は上流端における限界掃流力に見合う量として与えられている。

表-1~4は洪水初期（1時間後）、洪水ピーク時（8時間後）、洪水減衰期（9時間後）、洪水終了時（12時間後）それぞれについて、代表地点における水理量、流砂量等を、不定流と等流に分けて示したものである。また、図-3はこれを、総流出土砂量について、不定流と等流を比較して図示したものである。

以上の結果、不定流計算において横流入を与えた区間（1~70ステップ）では、総流出土砂量に差が見られ、横流入がなくなり下流に行くに従い両者の差はなくなる。不定流と等流を比較すると、流量については、時間、場所によらず差は小さく、また流量自体も20~34 m³/secと、河床変動を生起させる擾乱としては比較的小さい条件で計算を行っている。

これにもかかわらず、横流入を与えた区間における流砂量の差が明らかになっている。特にこのシミュレーションでは、流砂量は水深に規制され、不定流により求められる水深と等流水深との差が流砂量の差となって現れている。

5. 結 語

本検討は山地河道の流砂・河床変動現象を検討する上で、外力に着目し、水理条件を不定流と等流で与えた結果を比較したものである。ごくわずかな横流入量を与えた場合も、不定流と等流では、掃流力が大きく異なり、不定流の流砂現象、河床変動に及ぼす影響が無視されないことが明らかになった。

今後、流砂・河床変動現象をより解析的に解明していくため、土砂生産、粒度分布、掃流力の変化を考慮した検討を進めていくものである。

〔参考文献〕

水理公式集

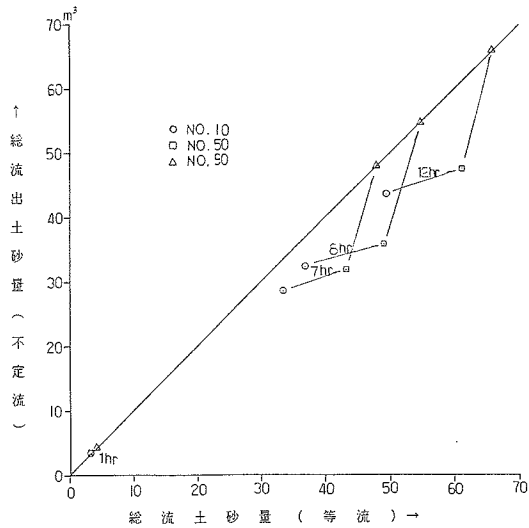


図-3 流出土砂量の変化比較