

京都大学工学部	学生員	○田中 拓馬
京都大学防災研究所	正会員	浜口 俊雄
京都大学防災研究所	正会員	田中 賢治
京都大学防災研究所	正会員	小尻 利治

1. 本研究の概要

2011年3月11日に発生した東日本大震災の発生により、東京電力の福島原子力発電所が被災し、そこで使われていた核燃料の核分裂で生成された放射性物質が大気中に放出され、周辺地域に拡散していった。今もなお、放射性物質の動態は問題視されており、様々な研究が行われている。

本研究は、土砂に付着した放射性物質の中でも土壌粒子との結合力が強く、半減期も長いセシウムに着目し、土砂の流動状態を予測することで土砂に付着しているセシウムの動態を考慮できる土砂輸送モデルの提案を行うものである。掃流砂と浮遊砂の輸送モデルを、従来からある分布型流出モデル Hydro-BEAM¹⁾に組み込むことで、広域分布型土砂輸送モデルを開発した。加えて、土砂輸送モデルから得られた土砂輸送量から、付着したセシウムの動態を解析する。通常の土砂とセシウムが付着した土砂を別のカテゴリーで追跡することで、放射性物質の影響を表現した。

対象流域は、福島原子力発電所の近くであり、放射性物質の問題が懸念されている阿武隈川とした。

2. 土砂輸送モデル

本研究で開発した土砂輸送モデルは、流出解析の Hydro-BEAM で扱うメッシュと同じメッシュを用いた分布型モデルである。そのため、河道の扱いを Hydro-BEAM と同じように三角形断面で考え、土砂モデルもそれに適用した式に変形するものとする。また、混合粒径で輸送されていることを単一粒径で考えられた式で表現するために、粒径を5段階に分けて考慮した。

土砂輸送形態は、掃流砂と浮遊砂に分けて考えることができる。掃流砂量を求める式は、既存のもので多く存在するが、本研究では代表的な経験式であ

る芦田・道上の式²⁾を用いた。式(2)で定義された文字数を用いた芦田・道上の式を式(1)に示す。また、限界摩擦速度は岩垣の式³⁾を用いて算定した。岩垣の式を式(3)に示す。次に浮遊砂量に関しては、メッシュ内、メッシュ間でのやりとりを考えた連続式の式(4)を差分展開し、浮遊砂の容積濃度を求めた。ここに用いる浮遊砂沈降量には式(5)に示す Rubey の式から算定し、浮遊砂巻上げ量には式(6)に示す実験式から算定するものとした。そして式(7)から浮遊砂輸送量を求めた。また、本研究では各メッシュに体積層を設けた。式(8)より、堆積層の厚さを解析した。土砂生産モデルに関しては、今回が LQ 式を採用して生産量を近似した。なお、土砂生産において、生産される土砂を次のようにカテゴリー分けする。東日本大震災による原子力事故が起きる前の、3月10日までに生産された土砂には、セシウムが付着していないものとした。そして、事故が起きた3月11日以後に生産された土砂には一定に割合でセシウムが付着しているものとした。ただし、本研究では解析期間が短いため、3月11日以降セシウムが付着した土砂が常に生産されていると仮定する。通常の土砂と、セシウムが付着した土砂を別々に扱い、それぞれを別々に追跡した。

$$q_b = \frac{17(U_* + U_{*c})(U_* - U_{*c})^2}{sg} \quad (\text{when } U_* \geq U_{*c}) \quad (1)$$

$$s = (\sigma / \rho - 1) U_* = \sqrt{gRI_b} \quad (2)$$

$d \geq 0.303cm$	$: U_*^2 = 80.9d$	} (3)
$0.118 \leq d \leq 0.303cm$	$: U_*^2 = 134.6d^{31/32}$	
$0.0565 \leq d \leq 0.118cm$	$: U_*^2 = 55.0d$	
$0.0065 \leq d \leq 0.0565cm$	$: U_*^2 = 8.41d^{11/32}$	
$d \leq 0.0065cm$	$: U_*^2 = 226d$	

ここに、 q_b : 掃流砂量[m²/s], U_* : 摩擦速度[m/s],

U_{*c} : 限界摩擦速度[m/s], s : 水中砂比重, R : 径深[m],
 l_b : 河床勾配, d : 流砂の粒径[m]である.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{Q}{mh^2} \frac{\partial c}{\partial x} + \left(\frac{1}{mh^2} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{2W_f \sqrt{1+m^2}}{mh} \right) c = \frac{q_{su}}{h} \quad (4)$$

$$W_f = \sqrt{\frac{2sgd}{3} + \frac{36v^2}{d^2}} - \sqrt{\frac{36v^2}{d^2}} \quad (5)$$

$$q_{su} = 0.008 \left\{ 0.14 \frac{\rho}{\sigma} \left(14U_* - \frac{0.9(\sigma/\rho-1)gd}{U_*} \right) - W_f \right\} \quad (6)$$

$$c = Q_s / Q \quad (7)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)} \left(l + W_f c - q_{su} - \frac{\partial Q_b}{\partial x} \right) \quad (8)$$

ここに, C : 容積濃度, Q_s : 浮遊砂輸送量[m³/s],
 Q : 流量[m³/s], h : 水深[m], m : 横断面の法面勾配,
 W_f : 沈降速度[m/s], q_{su} : 巻き上げ速度[m/s], λ :
土砂の空隙率である.

3. 適用結果

図1は実測値のあるヒル谷での, 掃流砂の輸送モデルの検証結果である. オーダーの誤差は多少見られるが, 推移の形状はほとんど一致する結果となった. 誤差は, 粒径分布の与え方が原因だと思われる. また, モデル式が経験式なので, 多少の誤差は避けられないと思われる. 図2は阿武隈川の中流域にある伏黒と, 下流域にある岩沼での浮遊砂量の検証結果である. 雨量の少ないときは妥当な値がでていけると言える. しかし, 雨量が多いときにはオーダーにかなりの誤差が見られる. これはダムにより浮遊砂量が平滑化されているのだと考えられる.

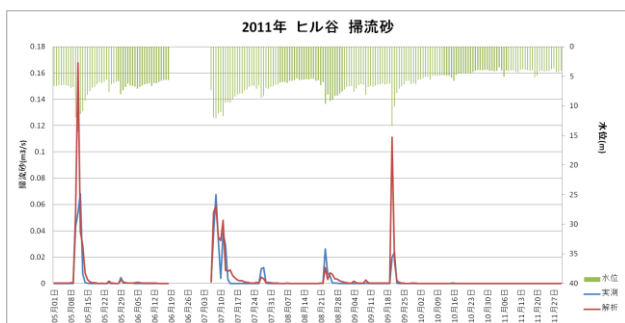


図1 ヒル谷での掃流砂量の検証結果

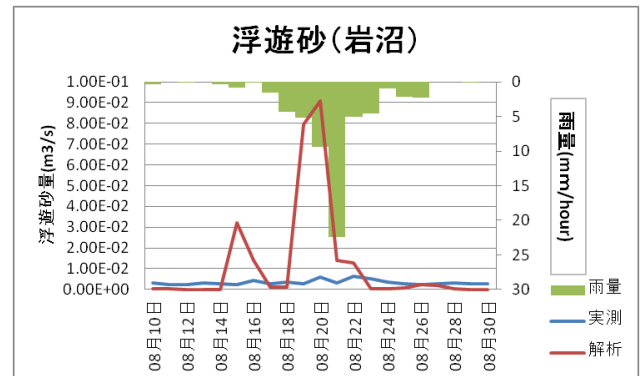
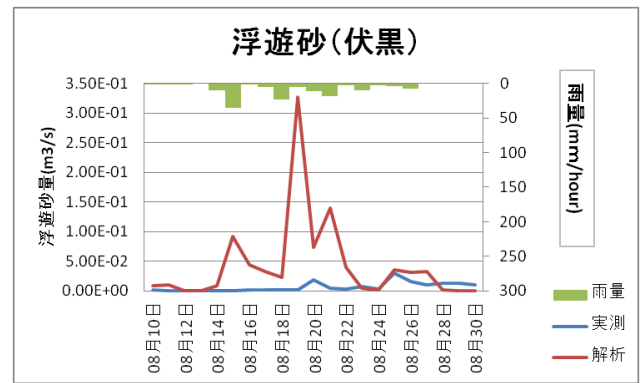


図2 浮遊砂量の検証結果

4. 結論

本研究では, 分布型流出モデルを利用して流出量を計算し, その流出データと土砂輸送モデル式を使って土砂輸送解析をする土砂輸送モデルを開発した. 本研究では, 土砂生産の過程において LQ 式を用いたが, 物理挙動を基にした分布型土砂生産モデルを考えることが今後の課題となる. 今後の方針として, Hydro-BEAM と土砂モデルともにダムを考慮していく. 土砂モデルに関しては, 全国のダムで長期的な解析も行い, 堆砂量を用いて検証を行っていく予定である.

参考文献

- 1) 小尻利治, 東海明宏, 木内陽一. シュミレーションモデルでの流域環境評価手順の開発, 京都大学防災研究所年報, 第41号B-2, pp119-134, 1998.
- 2) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69. 1972.
- 3) 岩垣雄一: 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 第41号, pp.1-21. 1956.