

京都大学大学院工学研究科	学生員	○田中智大
京都大学大学院工学研究科	正員	立川康人
京都大学大学院工学研究科	非会員	亀川昌平
京都大学大学院工学研究科	正員	椎葉充晴
京都大学大学院工学研究科	正員	萬 和明
京都大学大学院工学研究科	正員	Kim Summin

1 はじめに 福島第一原子力発電所から放出された放射性核種のうち、Cs134 および Cs137 は土壌に強く吸着されるという性質をもつ。このことを利用して本研究では、浮遊砂に吸着する放射性セシウムに着目して、浮遊砂移動のモデル化を行い、分布型流出モデルに組み込んで放射性セシウム輸送量の再現を試みた。浮遊砂中の放射性セシウム含有量については、筑波大学および京都大学によって測定された測定値を用いた。

2 観測データ

2.1 観測地点 対象流域は福島第一原子力発電所に近い阿武隈川水系の支流で、特に線量が高いとされる流域面積約 139km² の口太川流域である。観測地点は口太川流域中の水境川・口太川上流地点・口太川中流・口太川下流の4地点である。口太川および各観測地点の位置を図1に示す。

2.2 観測方法 筑波大学および京都大学によって算出された流量・浮遊砂濃度・浮遊砂中の放射性セシウム含有量を測定値として用いた。流量・浮遊砂濃度については10分間ごとの観測値となっており、浮遊砂中の放射性セシウム含有量の観測については、観測期間中9回の浮遊砂がサンプリングされ、それに含まれる放射性セシウムが測定された8回のみ行われている。

3 モデルの構築

3.1 雨水流出モデル 雨水流出モデルについては水文モデル構築システム OHyMoS¹⁾ 上で要素モデルの集合として構築した。要素モデルとして本研究では、不飽和・飽和中間流・表面流モデル²⁾ からなる部分流域要素モデルおよび kinematicwave モデルを用いた。

3.2 浮遊砂流出モデル 本研究では、市川ら³⁾ が構築した赤土流出モデルの基礎式を浮遊砂の流出計算に適用する。浮遊砂の流出モデルの基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial(CBh)}{\partial t} + \frac{\partial(CBq)}{\partial x} = R_E \tag{1}$$



図1 口太川流域中の各観測地点

$$R_E = \rho_s E(1 - \gamma)p_f B \tag{2}$$

(1) 式は浮遊砂の連続式に相当し、右辺の R_E は単位時間単位長さ当たりの浸食量である。ただし、 ρ_s :土砂礫の密度、 E :浸食速度、 γ :空隙率、 p_f :表土層内の微差粒子の重量百分率である。(2) 式中の浸食速度 E について本研究では、芦田・田中⁴⁾ の実験によって得られた浸食速度と摩擦速度の関係を利用する。芦田・田中⁴⁾ の実験によると、掃流力 τ と土粒子が移動し始めるときの掃流力(限界掃流力) τ_c の比 τ/τ_c が5程度を越えると、 E/u_* は一定値をとるようになる。この実験結果から、表面流が発生すれば掃流力が十分大きいと仮定して、掃流力と摩擦速度の比例定数 ξ を用いて浸食速度 E を以下の式で定義する。

$$E = \xi u_* \tag{3}$$

河道においては、浮遊砂の発生・沈降はなく斜面部で発生した浮遊砂を(1)式によって輸送する。

4 計算結果

4.1 パラメータ 口太川流域 139km² では過去の流量観測記録がないため、雨水流出計算のパラメータに

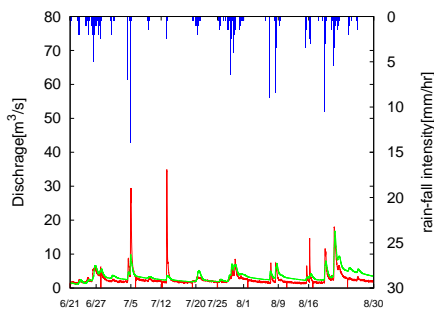


図2 流量 (赤：測定値、緑：計算値、青：降雨強度)

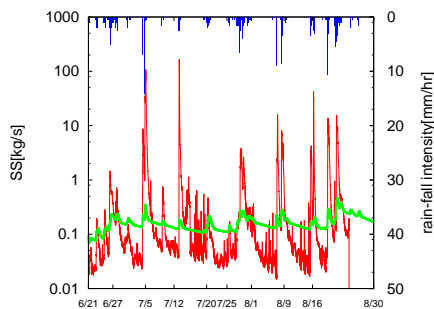


図3 浮遊砂流出量 (赤：測定値、緑：計算値、青：降雨強度)

については口太川流域に隣接し、流域面積が120km²と比較的近い移川流域の観測記録を用いた。浮遊砂流出計算のパラメータについては実質のパラメータとなる ξ について、計算流量と計測流量がよく一致した期間で浮遊砂流出量計測値と計算値が一致するように決定し $\xi_{pf}=5.0 \times 10^{-10}$ 、 $\rho_s=2750\text{kg/m}^3$ とした。降雨データについては国交省の百目木地点および山木屋地点の雨量データを用いた。

4.2 結果と考察 流量についてH-Q曲線による測定値および計算値を図2に示す。水位が低く流量が小さいところでは計算流量と計測流量はおおむね一致しているが、7月5日および7月13日のピーク流量の計算値が観測流量に比べ小さくなっている。H-Q曲線は6月21～8月16日の測定期間の中で、低水時のみのデータを用いて作成されたものなので、7月5日および7月13日については、水位 流量曲線の適用範囲外であった可能性がある。次に浮遊砂流出量の測定値および計算値を図3に示す。浮遊砂流出量については、降雨が小さいときに測定値と計算値が比較的一致していたが、強雨時では浮遊砂流出量の計算値が測定値に比べて小さく今後の課題となった。

このようにして得た浮遊砂量の測定値および計算値

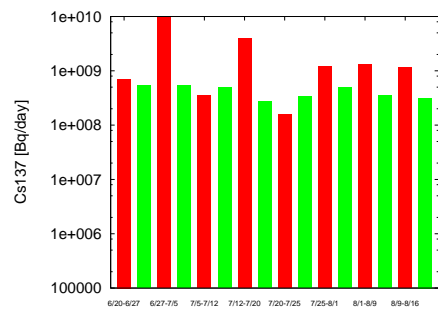


図4 1日あたりのCs137輸送量 (赤：測定値、緑：計算値、横軸は8回の観測期間6月21日～27日、6月27日～7月5日、7月5日～12日、7月12日～20日、7月20日～25日、7月25日～8月1日、8月1日～9日、8月9日～16日に日付の早い方から番号をつけている)

に、浮遊砂単位質量あたりの放射性セシウム含有量を乗じて得た1日あたりのCs137輸送量を図4に示す。Cs134についても同様の結果となった。結果として、2011年6月21～8月16日の口太川下流でのCs137の総輸送量は観測値を用いた推定値が $1.33 \times 10^{11}\text{Bq}$ 、計算値が $2.32 \times 10^{10}\text{Bq}$ となった。

4.3 まとめ 放射性セシウムの移動・拡散現象を再現するために、浮遊砂の移動をモデル化して雨水の分布型流出モデルに組み込んだ。その結果、測定流量と計算流量についてはほぼ一致した。浮遊砂流出量については、強雨時で計算値が計測値に比べて小さくなった。今後は強雨時に浮遊砂濃度が大きくなるようにモデルの改良が必要である。また、浮遊砂中の放射性セシウム含有量のモデル化についても行う必要がある。

参考文献

- 1) 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻水文・水資源学分野: 水文モデル構築システム OHyMoS, <http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/ohyomos/index.html>(2011/3/5 確認)
- 2) 立川康人・永谷言・寶警: 飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 第48巻, pp.7-12, 2004.
- 3) 市川温・藤原一樹・中川勝広・椎葉充晴・池淵周一: 沖縄地方における赤土流出モデルの開発, 水工学論文, 第47巻, pp.751-756, 2003.
- 4) 芦田和夫・田中健二: 粘土分を含有する砂れき床の浸食と流砂機構に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第17号B, pp.571-5846, 1974.