

WEPPによる土砂流出抑制対策の検証

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム ○ 高須賀 俊之
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム 鵜木 啓二
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム 中村 和正

農地からの土砂流出が生じると、農地の生産力低下や土砂堆積による排水路の機能低下、下流域での水生生物の生育環境や漁業への影響が問題となる。土砂流出を抑制する対策を適切に計画・設計するためには、その予測技術が重要である。本研究では土砂流出モデルであるWEPP(Water Erosion Prediction Project)を用いて緩衝林帯、傾斜改良、沈砂池といった土砂流出抑制対策の効果を推測した。

キーワード：土砂流出、WEPP、農地、緩衝林帯、傾斜改良

1. はじめに

北海道の畑地は、表面流出が集中しやすい大区画圃場や傾斜圃場が存在すること、受食性の比較的高い火山灰土が分布すること、地表面が被覆されていない状態で融雪水の影響を受けることなどから、土壌侵食を受けやすい。農地からの土砂流出は、作土の流亡による生産性低下や土砂堆積による排水路の機能低下を引き起こす。また、その濁水が下流域の水環境を変化させる原因となり、水生生物の生育環境や漁業への悪影響も懸念される。したがって農地の土壌侵食や河川への土砂流出を抑制する対策が必要であり、これを適切に実施するためには、土砂流出量の予測技術が必要である。

土砂流出モデルの一つであるWEPP(Water Erosion Prediction Project)は、個々の圃場や斜面の土壌侵食だけでなく、流出する先の水路も流域の要素として個別に取扱うことが可能である。WEPPにおける土砂移動は、斜面での侵食、水路または河川における侵食・堆積・輸送、貯水池における堆積・輸送という3つの場で構成され、これらを複数配置し、結合することで流域を表現することができる(図-1)。これにより流域のどの部分で侵食

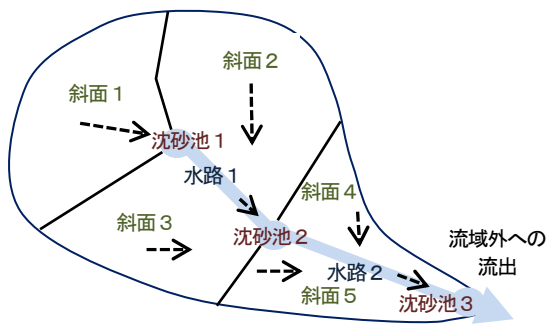


図-1 WEPPモデルの流域構成
(WEPP Model Documentation³⁾より作図)

が発生しているか、斜面からの流出物が水路や沈砂池においてどのように堆積するか、といった個々の現象を、詳細な物理則に基づいて表現することが可能である。また、土壌侵食の影響因子である気象、作物の生長、土壌状態の変化、耕起等の各種営農管理作業を実態に即して時期的、時間的に変化する入力データとして扱っている。これらのことによりWEPPは実態の再現だけでなく、土砂流出に対する土木的対策や営農的対策の効果を見積ることができる。

これまでの研究では、複数の畑地流域を対象にWEPPの再現性を検証し、流域から流出する土砂量の実測値に近い計算値を得られた。また、斜面からの流出土砂量の計算値は、森林と草地は勾配に関わらず少ないこと、普通畑は森林に比べて多く、かつ勾配が急であると特に多い傾向であることなど、実態を反映した結果となっていることを確認したり。さらに、一つの流域について土地利用や地形と土砂流出量の関係を詳細に分析し、緩衝林帯や傾斜改良といった土砂流出抑制対策が有効と判断されたので、これらを実施した場合の効果を確認した²⁾。

本研究では、解析期間を増やしてモデルのパラメータ調整を行うとともに、流域数を増やし、緩衝林帯や傾斜改良の土砂流出抑制効果を推定した。あわせて沈砂池の効果について検討した。

2. 対象流域と条件設定

(1) 対象流域

WEPPによる土砂流出量の算出には、網走川支流のあやめ沢、豊幌川、シンケビホロ川流域のデータを用いた。図-2に示すとおりこの3流域は面積が異なるほか、あやめ沢では普通畑が6割、豊幌川とシンケビホロ川では森林が50%以上であるなど土地利用の特徴も異なっている。

(2) WEPPのデータ作成

WEPPには、表-1に示すデータを入力した。気象データは近隣のアメダスを利用した。水路や沈砂池の種類、特性については既存資料および現地調査により確認した。土壌の分布は、国土交通省発行の「20万分の1土地分類基本調査(土壌図)」に基づいて作成されたGISデータを用いた。土壌についてのデータには既存資料⁵⁾を参照して決定した値を用いたほか、現地土壌の調査による陽イオン交換容量(CEC)を用いた。土地利用および地形のデータは、GIS(ArcGIS)で作成した。実際の斜面は不規則な形状をしているが、WEPPでは斜面の平面形状を図-3のように矩形でモデル化する。斜面幅は斜面下端が接続する水路の始点と終点の直線距離とし、斜面長は斜面の実面積を斜面幅で除して与えた。斜面や水路の管理の入力データはWEPPモデルのデフォルト値を使用したほか、現地の農協への聞き取り調査で得た情報をもとに与えた。

(3) 再現性検証の実測値と対象期間

対象とした流域の下流端には沈砂池が設置されており、ここで観測した堆積土砂量を土砂補足率で除した数値を流域からの流出土砂の実測値とした。今回検証に用いた期間は、あやめ沢流域では平成13年10月から2年間、豊幌川流域とシンケビホロ川流域では平成14年6月からの2年間とし、いずれも1年区切りで計算を行った。

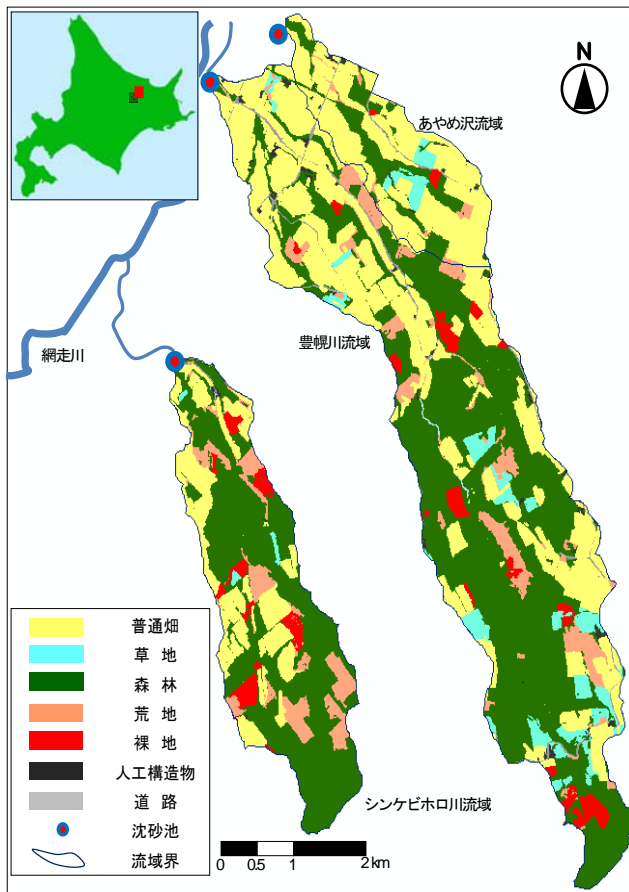


図-2 対象流域位置図および土地利用図

(4) 結果の出力と抑制対策の設定

WEPPのシミュレーション結果は、斜面、水路、沈砂池のそれぞれの個別の要素に対し期間内の排水量と流出土砂量の合計値のほか、降雨・融雪等の出水イベント毎の流出土砂量が出力される。

今回の検討では、斜面からの流出土砂量を抑制することを目的として、斜面の土地利用や、斜面勾配・斜面長と土砂流出量の関係を分析した。斜面に対して行う土木的な土砂流出抑制対策の1つに緩衝林帯の設置や傾斜改良があり、WEPPでは、個別の斜面の条件設定を変更することでそれらの対策の効果を推測することができる。緩衝林帯は、斜面の一部分の土地利用を森林に変更し、傾斜改良は、斜面の傾斜方向の線形を変更することで対応した。沈砂地については、現地に設置されている沈砂池の配置、形状をモデルに入力し、そこでの堆積土砂量と流出土砂量を確認した。

3. 有効透水係数の調整

これまでの検討⁶⁾の中で、斜面の土砂流出に関わる土壌の有効透水係数が計算結果に大きく影響することが判明している。今回、既報と異なる期間のシミュレーションを行うに当たり、改めて有効透水係数の調整を行った。

表-1 WEPPの入力データ⁴⁾

要素	項目	入力データ
共通	気象	降水量、気温、風向、風力(風速)、日射量、露点温度
	土壌	土性(粘土・シルト・砂の割合)、有機物含有率、CEC、アルベド、初期含水率
斜面	地形	斜面長、流下方向における勾配
	管理	管理スケジュール 作物の生長に関するパラメータ群、耕起、播種、灌漑、収穫などの営農作業に関するパラメータ群
水路	土壌	斜面と同じ
	地形	
	管理	特性
沈砂池	種類	貯水形態や流出形態を選択
	特性	形状、初期貯水量などのパラメータ群

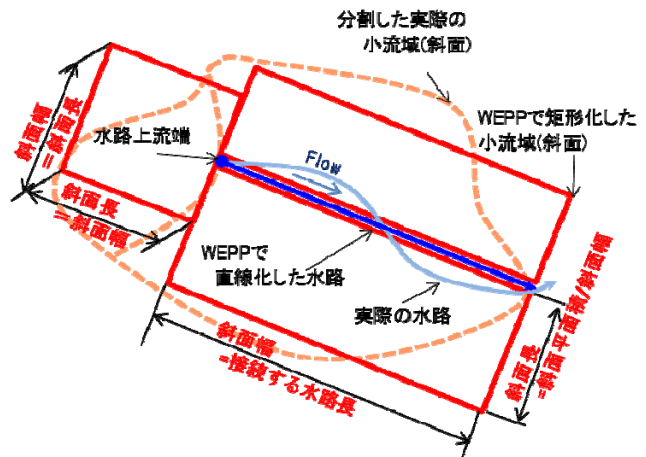


図-3 斜面のモデル化の一例

対象の3流域に対し2年分、つまり6回の計算を有効透水係数0.1mm/hきざみで変化させて行い、計算値と対応する実測値との誤差を二乗平均平方根誤差(RMSE)により評価した。その結果、有効透水係数を1.4mm/hとしたとき、最も誤差が小さい解析結果を得られることが分かった(図-4、図-5)。

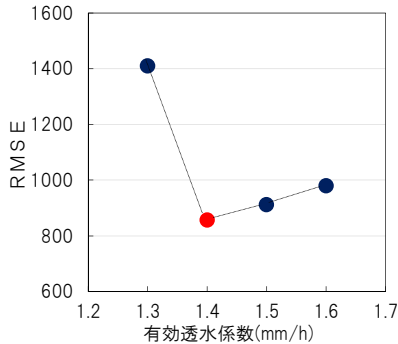


図-4 有効透水係数とRMSEの関係

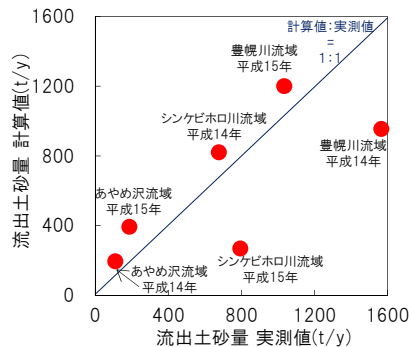


図-5 実測値と計算値の関係

4. 斜面の土地利用と流出土砂量

(1) 流出土砂量と土地利用の関係

各斜面の土地利用と流出土砂量の関係を分析した。図-6は、シンケビホロ川流域における平成14年6月から1年の計算結果であり、図-7は、その後1年間の計算結果である。色分けした棒グラフが各斜面の土地利用状況を示し、各要素の色分けの順序と高さは、モデルで設定した斜面の土地利用の順序と長さに対応している(棒グラフの下端が水路に接している)。上から下に伸びる棒グラフは各斜面からの1年間の単位幅あたりの流出土砂量であり、赤と白の合計で対策前の土砂流出量を、白色部分は後述する緩衝林帯整備による土砂流出の抑制量を表している。どちらも右から流出土砂量の多い順に流域を構成する333個の斜面を並べて表示している。以降すべての検討はシンケビホロ川流域を対象としている。

これをみると、前報²⁾にて検討対象としたあやめ沢流域と同様に、流出土砂量が多い斜面においては、農地割合が多く森林の割合が少ない傾向が明らかである。さらに、平成14年と15年の計算結果を比較すると、全斜面からの流出土砂量の合計で、平成14年が1,199t/yに対し平成15年は2,088t/yと、約1.7倍の差があった。この2年の計算に入力した年間の積算降水量は、平成14年が774mmに対し平成15年は736mmであり、WEPPによる計算値と降水量は比例していない。この差異は、まとまった降雨の影響と考えられ、平成14年は1時間あたり10mm以上の降水は4回分散してあったのに対し、平成15年では2日間の連続降雨の中で4回集中してあったほか、20mm/hの降雨が一度発生している。WEPPの計算結果では、この集中し

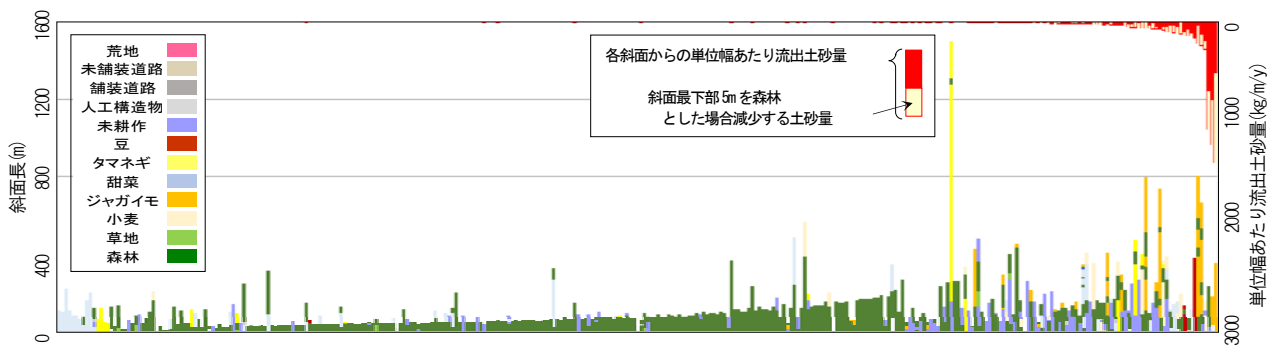


図-6 シンケビホロ川流域の各斜面の土地利用と単位幅あたり流出土砂量(平成14年6月から1年間)

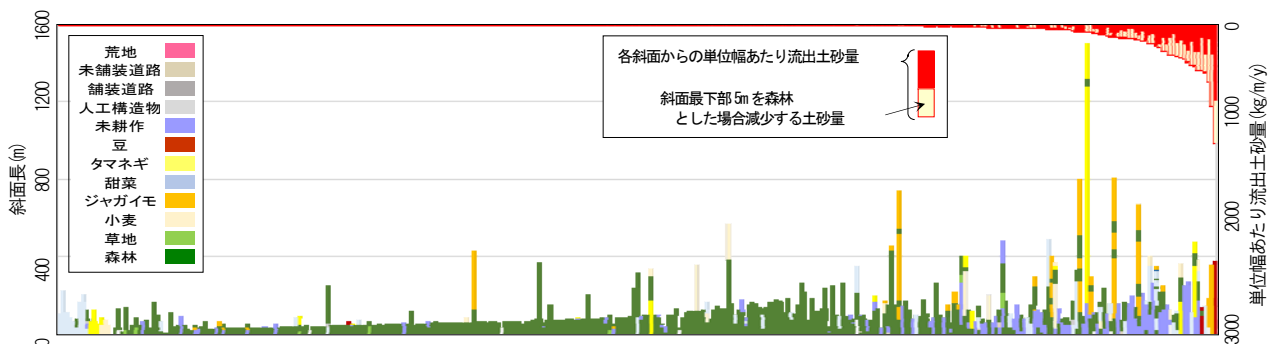


図-7 シンケビホロ川流域の各斜面の土地利用と単位幅あたり流出土砂量(平成15年6月から1年間)

た降水に対応した土砂流出が確認でき(図-8)、積算雨量の大小によらず、集中豪雨により大きな土砂流出がおこるといった状況が算出されている。

(2) 緩衝林帯の整備による土砂流出抑制効果の推定

土砂流出抑制対策として、WEPP上にて斜面の最下部を森林にすることで河畔緩衝林帯の効果をシミュレーションした。整備する緩衝林の幅は、既往研究⁶⁾では3~4mで緩衝帯を通過する土砂のほとんどが捕捉されるとしているから、余裕を見て5mとした。緩衝林帯で捉えられた土砂は発生源に戻すことで、畑地の地力維持が期待できる。

図-6および図-7で上から下に伸びる棒グラフの要素で白抜き部分が、WEPP上ですべての斜面の最下部5mの土地利用を森林にした場合に減少する流出土砂量である。全斜面からの流出土砂量の合計で、平成14年が570t/yとなり緩衝林帯がない場合の約48%にまで低減し、平成15年では1,290t/yで約62%になった。また、5mの緩衝林帯を整備することによって、許容流亡土砂量10t/ha/y⁷⁾以上の土砂流出を生じる斜面の数は、平成14年が6斜面から3斜面に、平成15年で18斜面から6斜面に減少すると算出された。

5. 斜面の地形と流出土砂量

(1) 流出土砂量と地形の関係

土砂流出に関して一般的には、斜面長が長く傾斜が急

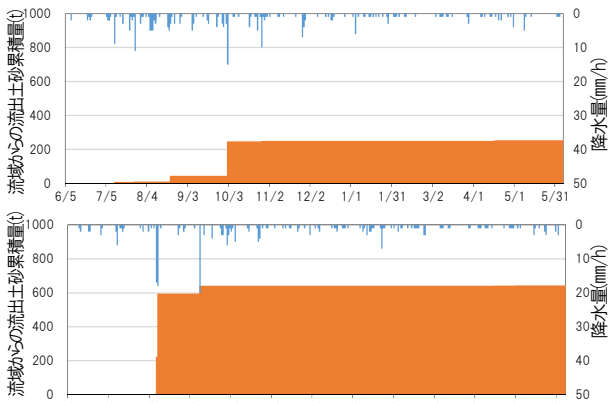


図-8 平成14年と15年の降水量と土砂流出の関係

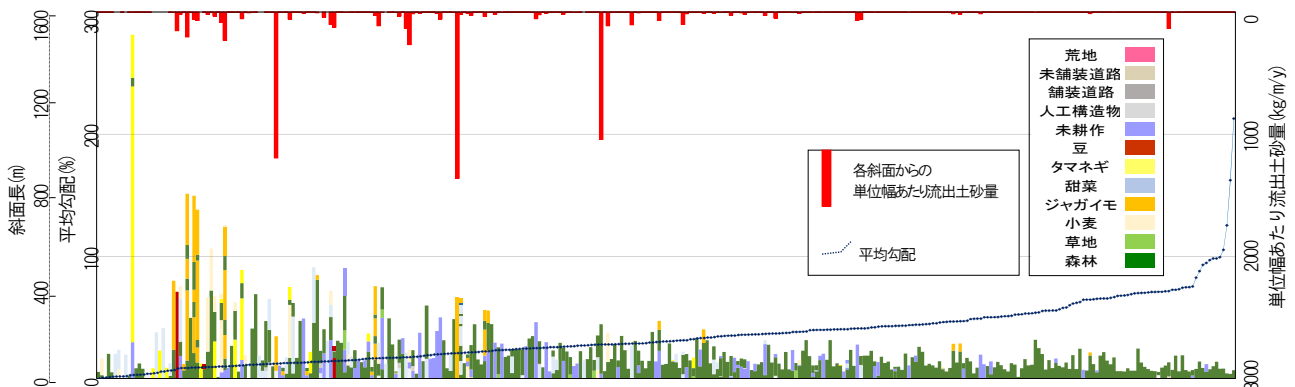


図-9 平均勾配順の土地利用と単位幅あたりの流出土砂量

な斜面では流出土砂量は増加すると考えられる。ここで斜面長と土砂流出の関係を図-6および図-7でみると、すべて森林である斜面において、長い斜面ほど流出土砂量が多い傾向が見られるものの、農地割合の多い斜面では、一定の傾向は確認できなかった。また、各斜面の平均勾配と流出土砂量の関係は、前報²⁾にて検討対象としたあやめ沢流域と同様に、明確な相関関係を見出すことはできなかった(図-9)。前章で検討したように土地利用の違いの影響が大きく、地形の影響が出にくいためであると考えられる。

(2) 傾斜改良の実施による土砂流出抑制効果の推定

流出土砂量の多かった斜面に対し、土砂流出抑制対策として傾斜改良を実施した条件で計算を行った。対象は、平成14年の解析において土砂流出抑制対策を実施していない状態で、許容流亡土砂量10t/ha/yを超える6つの斜面とした。そのすべてにおいて普通畑のほ場整備の計画設計で緩傾斜地の上限とされる14%(8度)⁸⁾以上の勾配を部分的に含んでおり、その部分に対し勾配を14%まで緩和する改良を想定した計算をおこなった(図-10)。

その結果、流出土砂量は対策前の89~8%に抑えられた。しかし、斜面のすべてを14%以下の緩傾斜としても4つの斜面で許容流亡土砂量を上回る土砂流出が生じたため、さらに勾配の上限を14%から半減し、7%(4度)として計算を行った。その結果、ほとんどの斜面で土砂流出の抑制効果が確認されたものの、流出土砂量が対策前の61%程度にしか下がらない斜面があり、6斜面のうち2斜面で許容流亡土砂量を上回るなど、抑制効果にはばらつきがあった。傾斜改良の効果が大きい斜面はもともと急傾斜であった河畔が、緩傾斜となった場合であった。

6. 沈砂池の土砂流出抑制効果

WEPPでは、流域内に沈砂地を設定することが可能であり、今回の検討では現地に設置されている沈砂池の配置、形状をモデルに入力して計算を行った。その結果、沈砂池の土砂流出抑制効果を確認できたが、堆積土砂量や流出土砂量の実測値の再現性は低かった。今後、パラメータの調整による再現性の向上を検討する予定である。

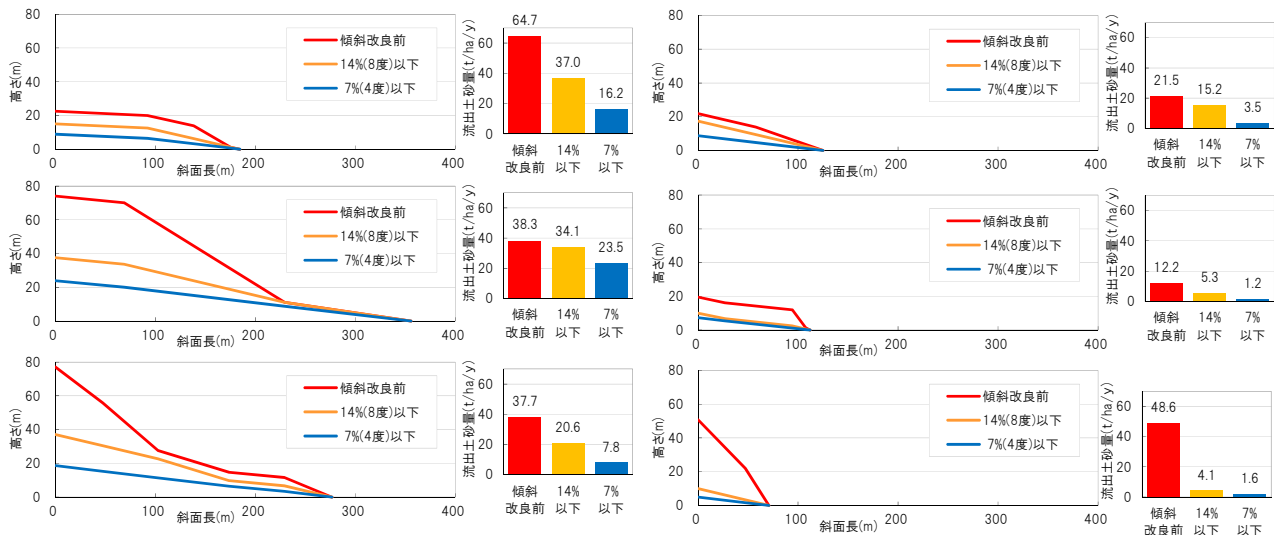


図-10 傾斜改良を行った斜面の縦断と計算結果

7. おわりに

本研究では、WEPPを用いて畑地流域における土砂流出解析を行い、複数の気象条件下で流出土砂量と土地利用および地形の関係について分析した。また、土砂流出抑制対策として緩衝林帯と傾斜改良の効果をモデル上で検討した。その結果、斜面下端部に林帯を配置することで土砂流出を抑制できることを確認した。また傾斜改良による流出土砂量の低減効果を確認した。

沈砂池の扱いについては今後の課題であり、モデルの再現性向上を図るとともに、流域内での適切な配置をシミュレーションにより検討する予定である。

参考文献

1) 高須賀俊之, 鶴木啓二, 中村和正: WEPP による畑地流域からの土砂流出量の推定, 第 57 回 (平成 25 年度) 北海道開発技術研究発表会, 2014

2) 高須賀俊之, 鶴木啓二, 中村和正: WEPP による畑地流域からの土砂流出抑制対策の検証, 第 58 回 (平成 26 年度) 北海道開発技術研究発表会, 2015

3) USDA ARS National Soil Erosion Research Lab: WEPP Model Documentation, USDA, 1995
<http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18073>

4) 大澤和敏, 酒井一人, 池田駿介: WEPP モデルによる土壌侵食・土砂流出解析, 水土の知 81 (12), pp. 989-1002, 2013

5) 今井啓・石渡輝夫: 統計資料等を用いて整理した北海道における土壌侵食因子の地域性について, 寒地土木研究所月報 No. 640, pp. 40-41, 2006

6) 高橋和也, 鈴木洋一郎: 土砂の捕捉に必要な水辺緩衝林帯幅に関する考察, 応用地質技術年報 No. 24, pp. 93-98, 2004

7) 農林水産省構造改善局計画部: 土地改良事業計画指針 農地開発 (改良山成畑工), p. 158, 1992

8) 農林水産省農村振興局: 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備 (畑)」, p. 5, 2007