

60分間降雨量による降雨係数の算出

辻 修¹・松田 豊¹・土谷富士夫¹

(受理: 1990年5月31日)

Calculation of rainfall and runoff factor using 60-min duration rainfall data

Osamu TSUJI¹, Yutaka MATSUDA¹ and Fujio TSUCHIYA¹

摘 要

現在、土壌流亡予測式 (USLE) の適用が検討されているが、式中の降雨係数算出には10分間降雨量が使用されている。そこで本研究では、帯広・寿都測候所の降雨データを基にして60分間降雨量と10分間降雨量より降雨係数を算出し、60分間降雨量によるUSLE中の降雨係数の推定を試みた。その結果を以下に示す。

60分間降雨量と10分間降雨量による一連降雨量におけるEI値には強い相関関係が成立し、60分間降雨量を使用して一連続降雨におけるEI値の算出が可能であることがわかった。

暖候期積算降雨係数においても両者に強い相関関係があり、60分間降雨量の使用による暖候期積算降雨係数の算出が可能であることがわかった。

帯広・寿都ともに同様な結果を示したが両者の一次回帰式の係数は異なり、気候区別の60分間降雨量による降雨係数と10分間降雨量による降雨係数の相関式を算出することが必要であると思われる。

キーワード: 降雨係数・土壌侵食・USLE

はじめに

近年、十勝地方の農業は、畑作、酪農両面での機械化が進行し、その施設や圃場は大規模なものとなってきている。それとともに、農用地造成地区も平坦地から傾斜地への移行が進み、広い範囲での草地造成および畑地造成がおこなわれている。これら造成事業の拡大による圃場面の侵食、周辺環境への土砂流亡被害が大きな問題となっているが、その防止対策としての排

水路、沈砂地、土砂溜の規模や構造を計画する上で、基本となる流亡土量の適切な推定方法の確立が望まれている。

現在、米国において標準的な土壌流亡予測式として定着しているUSLE¹⁾ (Universal soil loss equation) の、わが国での適用が検討されつつあるが、式中の降雨係数がUSLEにおいては10分間降雨量を用いて算出される。しかしわが国で入手可能な降雨データは、アメダス観測による60分間降雨量データが一般的

¹⁾ 帯広畜産大学 開発土木工学研究室

¹⁾ Laboratory of Soil and Water Engineering, Department of Agricultural Engineering, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine Obihiro, Hokkaido, Japan, 080

であり、10分間降雨量データは特定の場所のみの観測となっている。したがって、土砂流出量の予測においてUSLEの降雨係数を算出するには、わが国では困難な状況にあるといえる。

そこで最近の研究²⁾において、同一地点の10分間の降雨量より算出された降雨係数と60分間降雨量より算出した降雨係数の相関性より、60分間降雨量の降雨係数より10分間降雨量の降雨係数を推定することが考えられている。本研究は、北海道において帯広・寿都両測候所の降雨データを使用しこれを試みたものである。

USLEについて

この式は米国において、Wischmeier, Smithらが中心となって開発したもので、米国農務省 (USDA) 土地保全局の汎用土壌流出予測式として数量化が可能になったものであり、それを式 (1) に示す。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \cdots \cdots (1)$$

ここで

- A : 予測流出土量
- R : 降雨係数
- K : 土壌係数
- L : 斜面長係数
- S : 傾斜係数
- C : 作物管理係数
- P : 保全係数

または本式は、一雨ごとの侵食流出土量を予測するものではなく、年間の平均流出土量を予測するものである。

本研究では、この式中の降雨係数に着目し、北海道における降雨係数の算出を行うものである。

解析方法

この解析は、北海道で気候区分の異なる地域にある帯広・寿都測候所の1977年から1987年の計11年間の降雨データを対象に行った。なお降雪期における降水量は直接降雨係数に換算できないため、降雨データの収集期間は更に5月から10月の暖候期に限定しこの期間における一連続降雨データを抽出した。一連続降雨とは、降雨開始より終了までに、無降雨期間が6時間以内の降雨であり、また侵食に対して危険な降雨として、その合計雨量が13mm以上の降雨時と定義して行った。これはUSLEに基づくものである。

上記に降雨のデータを基に10分間降雨量による降雨

係数 (以下 R_{10} と称する) と60分間降雨量による降雨係数 (以下 R_{60} と称する) を算出し両者の比較検討を行った。

ここで R_{10} と R_{60} の算出法³⁾ と降雨係数の算出に重要である降雨強度について説明する。

1) R_{10} の算出方法

本来、USLEにおける降雨係数 R は、その算出にUS慣習単位を用いているが、ここではそれをメートル単位に変換したものである。

$$E_k = 210 + 89 \text{Log} I \quad (\text{m} \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{cm}) \cdots \cdots (2)$$

I : 一連続降雨中の各10分間降雨強度

$$E = E_k \times r \times 1 / 100 \quad (\text{hundred of } \text{m} \cdot \text{ton} / \text{ha})$$

r : 一連続降雨中の各時間降雨量

$$R_{10} = \Sigma E \times I_{30} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{hr}) \cdots \cdots (3)$$

I_{30} : 一連続降雨中の30分間ピーク降雨強度 (cm/hr)

式中、降雨強度とは、降雨の強さをあらわすものであり、ある区分時間の雨量をとって、それを1時間分に換算した値であらわされる。USLEでは、その区分時間を10分間としているため (2) 式に示される降雨強度 I は、以下のように算出する。

$$I = 10 \text{分間降雨量 (mm)} \times 0.1 \times 60 / 10 \quad (\text{cm} / \text{hr})$$

また、(3) 式に示される30分間ピーク降雨強度 I_{30} は以下のように算出する。

$$I_{30} = \text{最大30分間降雨量 (mm)} \times 0.1 \times 60 / 30 \quad (\text{cm} / \text{hr})$$

2) R_{60} の算出方法

R_{60} の算出には、US慣習単位を用いたものと、メートル単位を用いたものがあるが本研究では、メートル単位法を用いた。

$$E_k = 210 + 89 \text{Log} I \quad (\text{m} \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{cm}) \cdots \cdots (4)$$

I : 一連続降雨中の各60分間降雨強度 (cm/hr)

$$E = E_k \times r \times 1 / 100 \quad (\text{hundreds of } \text{m} \cdot \text{ton} / \text{ha})$$

r : 一連続降雨中の各時間降雨量

$$R_{60} = E \times I_{60} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{hr}) \cdots \cdots (5)$$

I_{60} : 一連続降雨中の60分間ピーク降雨強度 (cm/hr)

なお R_{60} の区分時間は60分であるから (4), (5) 式の降雨強度の算出は以下の式を使用する。

$I=60$ 分間降雨量 (mm) $\times 0.1$ (cm/hr)

I_{60} =最大60分間降雨量 (mm) $\times 0.1$ (cm/hr)

結果および考察

1. 帯広における R_{10} と R_{60} の関係

帯広における一連続降雨の10分間降雨量より求めたEI値と60分間降雨量より求められたEI値の関係を、1977年から1987年の各年別にあらわしたものを表1に示す。

表1. 帯広の一連続降雨における R_{10} と R_{60} の関係

年	関係式	相関係数
1977	$Y=1.32X+0.59$	0.971
1978	$Y=1.50X+0.19$	0.917
1979	$Y=1.16X+0.99$	0.985
1980	$Y=1.23X+0.82$	0.965
1981	$Y=1.57X+0.53$	0.971
1982	$Y=1.76X+0.33$	0.967
1983	$Y=1.68X+0.41$	0.996
1984	$Y=1.20X+0.98$	0.965
1985	$Y=1.12X+0.94$	0.977
1986	$Y=1.35X+0.99$	0.994
1987	$Y=1.48X+0.04$	0.965

Y: R_{10} X: R_{60}

これより、帯広における一連続降雨の10分間降雨量より求めたEI値と60分間降雨量より求めたEI値は、過去11年間においてどの年も直線的関係が示され、それぞれの相関係数もすべてにおいて0.9以上と高い値を示すことがわかった。しかし、各年別の回帰直線の傾きは最小値が1985年の1.12、最大値が1982年の1.76と較差がみられた。これは、各年別の一連続降雨の出現が多い年と少ない年、また一連続降雨のEI値の大小によって回帰直線の傾きに影響をおよぼしたものと考えられる。

そこで11年間を通しての一連続降雨の10分間降雨量

より求めたEI値と60分間降雨量より求めたEI値の関係を図1に示す。

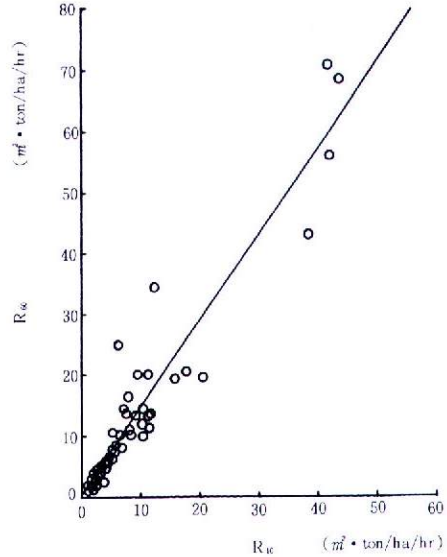


図1 帯広の一連続降雨における R_{10} と R_{60} の関係 (1977~1987)

これより各年別の回帰直線の傾きには較差をみせたものの、11年間を通しての両者の関係には、異なる母集団の形成はみうけられず、またその相関係数も0.968と高い値を示していることがわかった。したがって帯広において各一連続降雨の60分間降雨量より求めたEI値から10分間降雨量より求めたEI値を推定することは可能であると考えられる。

次にUSLEで示される降雨係数Rにしても同様な検討を行った。なお、USLEにおいては通年の一連続降雨のEIの値の積算をもって降雨係数Rとしているが、ここでは暖候期のみを解析であるため、以下暖候期積算降雨係数と呼ぶ。

1977年から1987年の10分間降雨量より求めた暖候期積算降雨係数、60分間降雨量より求めた暖候期積算降雨係数との比率を表2に示す。

これにより暖候期積算降雨係数 R_{10} の最大値は1981年における152.90、最小値は1977年の36.86であった。また暖候期積算降雨係数 R_{60} の最大値は、1981年において91.02、最小値は1977年の22.55であった。これより各年における暖候期積算降雨係数は非常に年較差のあることがわかった。しかし、 R_{10} と R_{60} の比率においては、最大が1979年75.0%、最小が1982年の56.7%

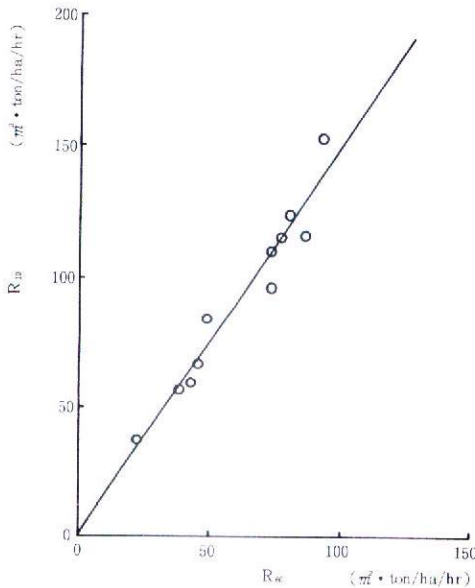
表2. 帯広における暖候期R値の比較

(単位: $\text{m}^2 \cdot \text{ton}/\text{ha}/\text{hr}$)

年	R_{10} (A)	R_{60} (B)	B/A (%)
1977	36.86	22.55	63.9
1978	110.22	71.68	65.0
1979	96.52	72.37	75.0
1980	67.62	45.45	67.2
1981	152.90	91.02	59.5
1982	84.73	48.05	56.7
1983	124.07	78.33	63.1
1984	59.58	42.23	70.9
1985	116.07	84.38	72.7
1986	115.76	75.48	65.2
1987	56.95	38.15	67.0
平均	92.84	60.97	65.7

と平均値の65.7%より $\pm 10\%$ 以内に収まり、暖候期積算降雨係数における R_{10} と R_{60} には強い関連性が示される結果となった。

そこで各年の暖候期積算降雨係数 R_{10} と暖候期積算降雨係数 R_{60} の関係を図2に示す。またこれより得られた関係式を以下に示す。

図2 帯広の暖候期における R_{10} と R_{60} の関係(1977~1987)

$$Y = 1.52X + 0.35 \quad r^2 = 0.939$$

Y: 暖候期積算降雨係数 R_{10} ($\text{m}^2 \cdot \text{ton}/\text{ha}/\text{hr}$)

X: 暖候期積算降雨係数 R_{60} ($\text{m}^2 \cdot \text{ton}/\text{ha}/\text{hr}$)

これより暖候期積算降雨係数 R_{10} と暖候期積算降雨係数 R_{60} は、直線的関係にあり決定係数も高く各年別の暖候期積算降雨係数においても R_{60} による R_{10} の推算出は可能なものと思われる。

最後に、帯広の暖候期における月別の降雨係数の変動特性を把握するため暖候期における月別降雨係数を表3に示す。

表3. 帯広における月別降雨係数

(単位: $\text{m}^2 \cdot \text{ton}/\text{ha}/\text{hr}$)

月	R_{10}	R_{60}
5月	5.49	3.84
6月	7.77	5.33
7月	17.99	9.79
8月	26.04	16.05
9月	22.86	16.84
10月	12.66	9.48
合計	92.81	61.33

これより、10分間降雨量より算出した月別降雨係数は、8月・9月の値が大きく4月・5月が小さな値を示した。また60分間降雨量より算出した月別降雨係数もこれと同様に8月・9月の値が大きく4月・5月の値が小さいことがわかった。

しかし、個々の値については、最大値で10分間降雨量より算出した月降雨係数の26.04と60分間降雨量より算出した月降雨量の16.84ではその値に差があると同時に、その発生月も異なっていることがわかった。

そこで、月別降雨係数の時系列的変動を知るため月別降雨係数の百分率加積曲線を図3に示す。

これより、月別降雨係数の個々の値では10分降雨量より算出した月降雨係数と60分間降雨量より算出した月降雨係数の間に差がみられたものの、暖候期を通しての傾向はほとんど同様であり、60分間降雨量より算出した月降雨係数を使用しても、10分間降雨量より算出した月降雨係数の時系列的変動と同様な変動を示す

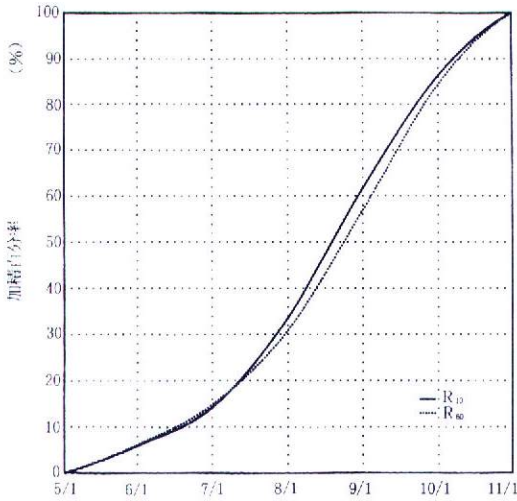


図3 帯広における暖候期降雨係数加積曲線

ことがわかり、ここでも60分降雨量による降雨係数の算出で10分間降雨量による降雨係数の推定が可能であることがわかった。

2. 寿都における R_{10} と R_{60} の関係

寿都における一連続降雨の10分間降雨量より求めたEI値と60分間降雨量より求めたEI値の関係を、1977年から1987年の各年別にあらわしたものを表4に示す。

表4 寿都の一連続降雨における R_{10} と R_{60} の関係

年	関係式	相関係数
1977	$Y = 1.73X - 0.16$	0.967
1978	$Y = 1.33X + 0.58$	0.962
1979	$Y = 1.07X + 1.31$	0.946
1980	$Y = 1.62X + 0.41$	0.934
1981	$Y = 1.84X - 1.09$	0.987
1982	$Y = 1.31X + 0.35$	0.994
1983	$Y = 2.07X - 0.40$	0.992
1984	$Y = 1.98X - 0.20$	0.909
1985	$Y = 1.30X + 0.96$	0.996
1986	$Y = 1.19X + 1.85$	0.993
1987	$Y = 1.39X + 0.35$	0.968

Y : R_{10} X : R_{60}

これより、寿都における10分間降雨量より求めたEI値と60分間降雨量より求めたEI値は、過去11年間においてどの年も直線的関係が示され、それぞれの相関係数もすべてにおいて0.9以上と高い値を示すことがわかった。しかし、各年別の回帰直線の傾きは最小値が1979年の1.07、最大値が1983年の2.07と較差がみられた。これは、帯広と同様に各年別の一連続降雨の出現が多い年と少ない年、また一連続降雨EI値の大小によって回帰直線に傾き影響をおよぼしたものと考えられる。

そこで11年間を通しての一連続降雨の10分間降雨量より求めたEI値の関係を図4に示す。

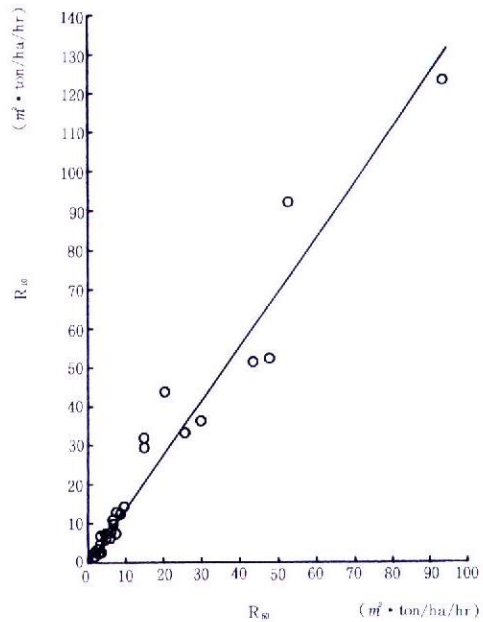


図4 寿都の一連続降雨における R_{10} と R_{60} の関係 (1977~1987)

これより各年別の回帰直線の傾きには較差をみせたものの、11年間を通しての両者の関係には、異なる母集団の形成をのみうけられず、またその相関係数も0.977と高い値を示していることがわかった。したがって寿都においても各一連続降雨の60分間降雨量より求めたEI値から10分間降雨量より求めたEI値を推定することは可能であると考えられる。

次にUSLEで示される降雨係数Rについても同様な検討を行った。

1977年から1987年の10分間降雨量より求めた暖候期積算降雨係数、60分間降雨量より求めた暖候期積算降

雨係数とその比率を表5に示す。

表5. 寿都における暖候期R値の比較

(単位: $\text{m}^2 \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{hr}$)

年	R_{10} (A)	R_{60} (B)	B/A (%)
1977	85.48	50.63	59.2
1978	76.80	49.89	65.0
1979	76.14	53.86	70.7
1980	107.67	63.02	58.5
1981	226.59	132.93	58.7
1982	29.83	20.92	70.1
1983	87.54	45.89	52.4
1984	75.14	39.08	52.0
1985	253.24	85.32	73.2
1986	120.41	81.01	67.3
1987	30.73	19.29	62.8
平均	106.32	67.44	63.4

これより暖候期積算降雨係数 R_{10} の最大値は1981年における226.59, 最小値は1987年の30.73であった。また暖候期積算降雨係数 R_{60} の最大値は, 1981年において132.93, 最小値は1987年の19.29であった。これより各年における暖候期積算降雨係数は非常に年較差のあることがわかった。

しかし R_{10} と R_{60} の比率においては, 最大が1985年の73.2%, 最小が1984年の52.0%と平均値の63.4%より $\pm 10\%$ 前後に収まり, 帯広と同様に暖候期積算降雨係数における R_{10} と R_{60} には強い関連性が示される結果となった。

そこで各年の暖候期積算降雨係数 R_{10} と暖候期積算降雨係数 R_{60} の関係を図5に示す。またこれらより得られた関係式を以下に示す。

$$Y = 1.41X + 11.19 \quad r^2 = 0.966$$

Y: 暖候期積算降雨係数 R_{10} ($\text{m}^2 \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{hr}$)

X: 暖候期積算降雨係数 R_{60} ($\text{m}^2 \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{hr}$)

これより暖候期積算降雨係数 R_{10} と暖候期積算降雨係数 R_{60} は, 直線関係にあり決定係数も高く各年別の暖候期積算降雨係数においても R_{60} による R_{10} の推定

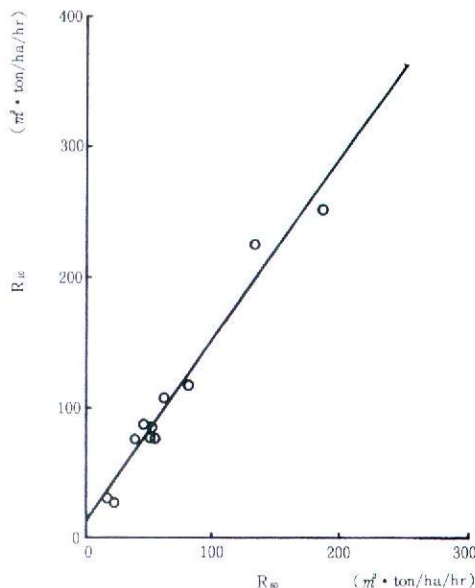


図5 寿都の暖候期における R_{60} と R_{10} の関係(1977~1987)

算出は可能なものと思われる。

最後に, 寿都の暖候期における月別の降雨係数の変動特性を把握するため暖候期における月別降雨係数を表6に示す。

表6. 寿都における月別降雨係数

(単位: $\text{m}^2 \cdot \text{ton} / \text{ha} / \text{hr}$)

月	R_{10}	R_{60}
5月	3.87	2.35
6月	3.76	2.47
7月	13.75	7.84
8月	25.20	14.07
9月	39.54	28.45
10月	20.20	12.08
合計	106.32	67.44

これより, 10分間降雨量より算出した月別降雨係数は, 9月の値が大きく5月・6月が小さな値を示した。また60分間降雨量より算出した月別降雨係数もこれと同様に9月の値が大きく5月・6月の値が小さいことがわかった。

しかし、個々の値については、最大値で10分間降雨量より算出した月降雨係数の39.54と60分間降雨量より算出した月降雨係数の28.45ではその値に差があることがわかった。

そこで、月別降雨係数の時系列的変動を知るため月別降雨係数の百分率加積曲線を図6に示す。

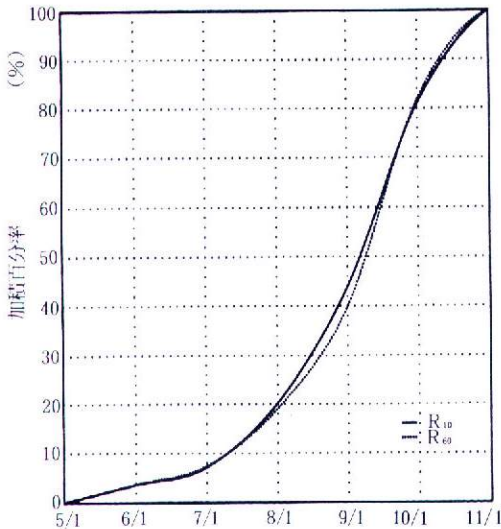


図6 寿都における暖候期降雨係数加積曲線

これにより、月別降雨係数の個々の値では10分間降雨量より算出した月降雨係数と60分間降雨量より算出した月降雨係数の間に差がみられたものの、暖候期を通しての傾向はほとんど同様であり、60分間降雨量より算出した月降雨係数を使用しても、10分間降雨量より算出した月降雨係数の時系列的変動と同様な変動を示すことがわかり、ここでも60分間降雨量による降雨係数の算出で10分間降雨量による降雨係数の推定が可能であることがわかった。

以上の結果、帯広・寿都両地域における10分間降雨量より算出する降雨係数と60分間降雨量より算出する降雨係数の間には高い相関性が示され、60分間降雨量を使用してのUSLE本来の降雨係数算出は可能であると考えられる。

しかし、今回解析を行った2地域のように同じ行政区である北海道とはいえ気候的地域特性の異なる場所においては、その回帰式の係数もまた季節的変動特性も異なることから気候的特徴が異なる地域においては

このような10分間降雨量による降雨係数と60分間降雨量による降雨係数の算出を行い、その地域における相関性をみいだす必要があると思われる。

また、気候的特徴が同一地域においては、収集可能な限りのアメダスデータを使用して60分降雨量の使用によると降雨係数分布図を作成すれば土壌侵食防止の基本となる土壌流亡量を推定する一要因を確定する大きな手懸かりになるものと思われる。

謝 辞

この研究を進めるにあたり、帯広測候所・寿都測候所の関係各位には資料収集に際し便宜と協力をいただきました。また本研究の諸計算は、当開発土木工学研究室の専攻生であった飯田昌平君（現サンスイコンサルタント）の協力に負うことが大きい。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) USDA : Predicting rainfall erosion losses. Agriculture handbook No. 537, 5-7 (1978)
- 2) 細山田 健三他：侵食流亡土量の予測に関するUSLEの適用について、農業土木学会大会講演会講演要旨集, 268-269 (1983)
- 3) 細山田 健三他：侵食流亡土量の予測に関するUSLEの適用について、農業土木学会誌52巻第4号43-49 (1984)

Summary

Currently, the universal soil loss equation (USLE) is under examination. Presently, 10-min duration rainfall data is used to calculate rainfall and runoff factor. In this research, we calculated the rainfall and runoff factor for 60-min duration rainfall data and 10-min duration rainfall data, based on precipitation data received from the Obihiro and Suttso meteorological stations. The estimated rainfall and runoff factor found through using the USLE for 60-min duration rainfall data is as follows.

The EI value in a rainstorm of 60-min duration rainfall data and that of 10-min duration rainfall data has a strong correlation.

We found that the EI value of a rainstorm can be calculated by measurements taken during 60-min duration rainfall.

The same correlation also exists for accumulated rainfall and runoff factor in a warm period. We found that measurements taken during 60-min duration rainfall can also be used to calculate the accumulated rainfall and runoff factor in a warm period.

Both Obihiro and Suttso stations showed the same results, though linear recursive equation results were different. It seems necessary to calculate the correlation equation of rainfall and runoff factor of 60-min duration rainfall data and 10-min duration rainfall data in each area.