

畑地帯からの降雨流出特性に関する基礎的研究

— 鹿児島県徳之島および大隅圓場の事例 —

肥山浩樹^{1)†}・舩井和朗²⁾・中川 啓²⁾・高木 東¹⁾

(¹⁾農地工学研究室・²⁾利水工学研究室)

平成22年10月31日 受理

要 約

近年、農地や農業施設の湛水被害がたびたび報告されており、従来の排水基準の見直しが求められている。排水計画の策定には、合理式におけるピーク流出係数や洪水到達時間のパラメータが必要不可欠である。本研究では、これらの基礎資料を提示するために、鹿児島県の代表的な2つの畑地帯における流出特性について、現地観測に基づいて検討した。

対象とした試験圃場は、それぞれしらす台地（表層は黒ぼく）および国頭礫層の畑地帯にあり、流量測定には米国農務省が提案しているHフリュームを用いた。まず、使用したフリュームの検定を行い、 $h-Q$ 曲線を決定した。さらに、実際の降雨に対する流出特性について解析を行い、異なる土壌条件でのピーク流出係数には大きな差異がみられたことから、畑地土壌の条件に応じたピーク流出係数の決定が必要であることを示した。

キーワード：流出特性、流出解析、合理式、ピーク流出係数、洪水到達時間

は じ め に

農業農村整備事業における排水施設の規模決定を、鹿児島県では、一律に「土地改良基準計画設計基準」(1979年7月制定)の流出係数に基づいて行っている。しかし、近年、農地や農業施設の湛水被害が報告[1, 2]されており、この原因として豪雨時における水路の溢水が考えられる。また、鹿児島県の畑地帯は、しらす台地に代表される火山性特殊土、島嶼部の国頭礫層や琉球石灰岩などのように地域で異なる特殊な基盤上に分布しており、対象地域に応じた雨水流出特性を把握することが求められる。しかし、実際に現地圃場で流量観測を行い、ハイドログラフに基づいて地域別に流出特性を検討した例は少ないようである。

本研究では、今後の排水施設の規模決定に活用するための、合理式におけるピーク流出係数に関する基礎資料を提示することを目的として、鹿児島県の

代表的な畑地帯における流出特性について、現地観測に基づいて検討を加えた。

観測方法と試験圃場の概要

1. 観測方法

畑地からの流出特性を把握するためには、表面流出量と降雨量を正確に観測する必要がある。表面流出量の計測には三角堰やフリュームがよく用いられる。本研究では、流量の時間変化が大きいことと降雨強度が大きい場合に対応させるため、米国農務省(USDA)[5]が提案しているフリューム（型式：H flume 2.5 Feet Deep）と同型のフリュームを各圃場に設置した。使用したフリュームの見取り図を図1に示す。排水路に集められた表面流出水はフリュームに導入され、その流量はフリューム屈曲部付近にある水位計の観測値から換算される。

フリュームの水位 h と流量 Q の関係はUSDAの資

[†]：連絡責任者：肥山浩樹（生物環境学科農地工学研究室）

Tel: 099-285-8694, E-mail: hiyama@agri.kagoshima-u.ac.jp

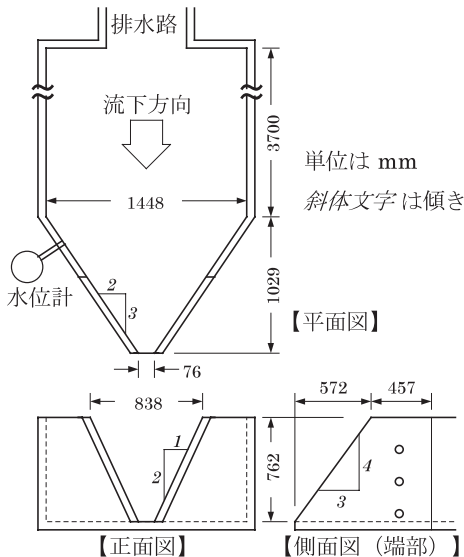


図1. Hフリュウムの概観
Dimensions of H flume

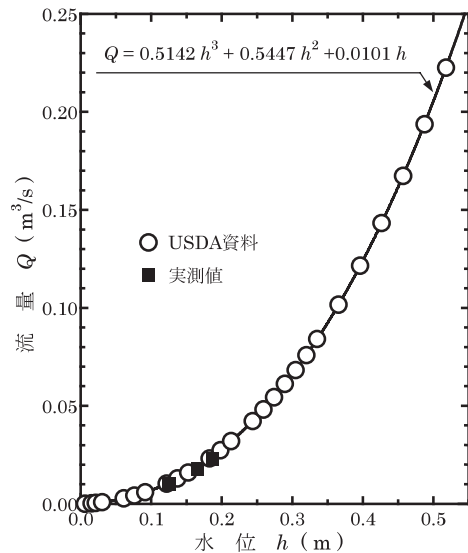


図2. Hフリュウムの h - Q 曲線
 h - Q curve of H flume

料[5]に記載されているが、確認のために現地試験を行った。試験地は後述する大隅試験場圃場であり、3ヶ所のスプリンクラー灌漑用水栓からフリュウムに水を流して、フリュウムの水位 h (m)と給水栓からの吐出流量 Q (m³/s)を測定した。現地試験結果によれば、図2に示すように、観測値とUSDA資料の h - Q 曲線とは概ね一致した。そこで、USDA資料に基づく回帰曲線である式(1)を本研究でのフリュウムの h - Q 曲線として用いた。

$$Q = 0.5142h^3 + 0.5447h^2 + 0.0101h \quad (1)$$

降雨量を測定するために、フリュウム近傍に転倒ます型の雨量計を設置した。降雨量とフリュウムの水位は2分間隔で測定し、データロガーに記録し、解析に供した。

2. 試験圃場の概要

鹿児島県の代表的な畑地として、しらす台地と国頭礫層を基盤とする2つの圃場を選定した。しらす台地の圃場は、鹿児島県鹿屋市にある鹿児島県農業開発総合センター大隅支場内に設けた。以下、この圃場を大隅試験場圃場と称する。大隅試験場圃場の状況と設置したフリュウムの検定の様子を図3に示す。この圃場は7耕区からなり、その集水面積は26,254m²である。作付け作物はサツマイモおよびサトイモ、牧草等である。後述の解析日(2008年6

月11日)の作付状況は3耕区(約13,200m²)でサツマイモ、サトイモ、ラッキョウであり、その他の耕区は裸地であった。大隅試験場圃場の表層土は黒ぼくであり、その土質特性を表1に、粒度分布を図4に示す。土粒子密度の値から、有機物を多く含む黒ぼくであることが推定される。

島嶼地域の圃場は、鹿児島県大島郡徳之島町亀徳の区画整理済みの畑地である。以下、この圃場を亀徳地区圃場と称する。亀徳地区圃場のフリュウムの設置状況を図5に示す。この圃場は6耕区からなり、その集水面積は16,712m²である。作付け作物はサトウキビである。亀徳地区圃場の表層土は国頭礫層風化土であり、その土質特性を表2に、粒度分布を図6に示す。国頭礫層風化土の特徴として、土粒子密度が一般の土よりもやや高いことがあげられる。

解析方法と結果

1. 解析方法

畑地の排水路計画では、対象地区内の土地利用条件や降雨条件がほぼ一様であると見なせるスケールの場合には合理式と呼ばれる式(2)がよく用いられる。

$$Q_p = \frac{r_e \cdot A}{3.6} \quad (2)$$

ここで、 Q_p はピーク流出量(m³/s)、 r_e は洪水到達時間内の平均有効降雨強度(mm/h)、 A は流域面



図 3. 大隅試験場圃場のHフリューム
H flume at Osumi test site

表 1. 大隅試験場圃場の土質特性
Soil characteristics of Osumi test site

自然含水比 w_n (%)			45.70
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)			2.379
粒 度 分 布	礫	分 (%)	0.5
	砂	分 (%)	31.6
	シルト	分 (%)	52.9
	粘土	分 (%)	15.0

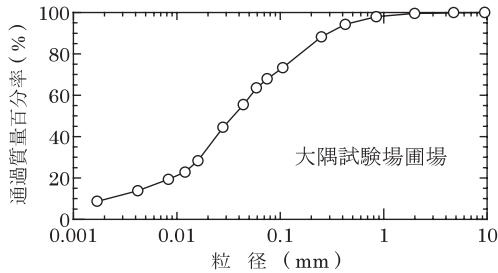


図 4. 大隅試験場圃場の粒度分布
Soil particle distribution of Osumi test site



図 5. 亀徳地区圃場のHフリューム
H flume at Kametoku test site

表 2. 亀徳地区圃場の土質特性
Soil characteristics of Kametoku test site

自然含水比 w_n (%)			34.15
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)			2.797
粒 度 分 布	礫	分 (%)	3.6
	砂	分 (%)	27.9
	シルト	分 (%)	49.0
	粘土	分 (%)	19.5

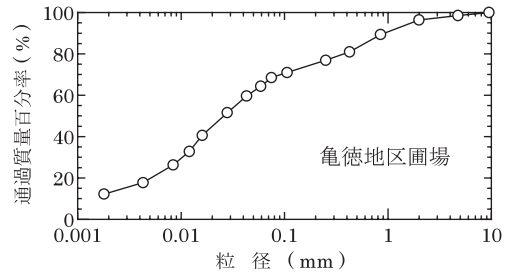


図 6. 亀徳地区圃場の粒度分布
Soil particle distribution of Kametoku test site

積 (km²) である。

合理式を利用するには、洪水到達時間内の平均有効降雨強度 r_e を求めなければならない。そのためには、洪水到達時間 t_p とピーク流出係数 f_p を推定する必要がある。洪水到達時間 t_p は、一般に、流域の力学的最遠点に降った雨水の騒乱が流域下流端に伝播する時間と定義される [3]。洪水到達時間 t_p を推定するには、図 7 に示すように、対象となる降雨イベントについて観測されたハイドログラフ ($t-Q$ 曲線) とハイエトグラフ ($t-r$ 曲線) を用いる。ピーク流出量 Q_p の発生時刻 t_2 の降雨強度 r_p を求め、 r_p と同じ値を示した降雨ピーク前の時刻 t_1 を推定すると、その時刻差 $t_2 - t_1$ が洪水到達時間 t_p である。

ピーク流出係数 f_p は、ピーク流出時の降雨量に占める表面流出水量の割合であり、式 (3) で表される。

$$r_e = f_p \cdot r \quad (3)$$

ここで、 r は平均観測降雨強度 (mm/h) である。式 (2) と式 (3) から式 (4) が得られ、この式からピーク流出係数 f_p を算定する。

$$f_p = \frac{3.6Q_p}{r \cdot A} \quad (4)$$

2. 解析結果

本研究では、洪水到達時間 t_p の推定には、角屋 [4] に基づいて、2 分間隔で現地観測した雨量の 20 分移

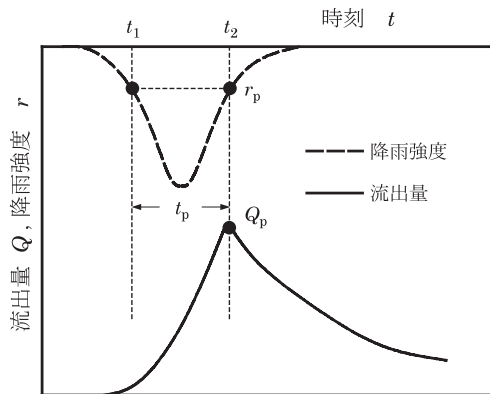


図7. ピーク流出量と洪水到達時間の定義
Definitions of peak discharge and concentration time

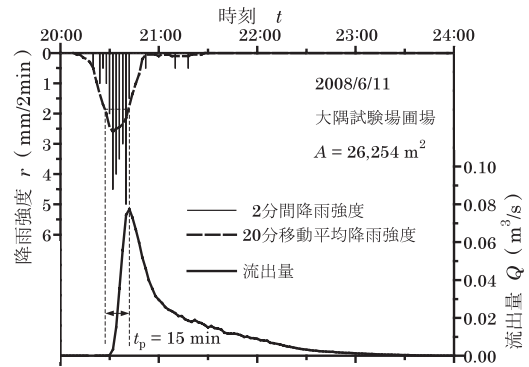


図8. 大隅試験場圃場の洪水到達時間
Concentration time at Osumi test site

動平均降雨強度を用いた。大隅試験場圃場と亀徳地区圃場における洪水到達時間 t_p はそれぞれ図8と図9から推定した。また、ピーク流出係数を含む解析結果の一覧を表3に示す。

大隅試験場圃場では、2008年6月11日の降雨について流出解析を行った。この時の降雨量は約20分に28mmであり、平均降雨強度は92mm/hであった。なお、この降雨イベントに先立つ降雨（先行降雨）はなかった。降雨開始10分後からフリームの水位は急激に上昇し、降雨の後半にピーク流出量 $Q_p = 0.077 \text{ m}^3/\text{s}$ を記録した。洪水到達時間 t_p は図8の作図から15分であると推定された。また、式(4)より、ピーク流出係数 f_p は0.12と算定された。

亀徳地区圃場では、2008年9月14日の降雨について流出解析を行った。約30mmの先行降雨が終了してから2時間後に約50mmの降雨が認められた。総降雨量は大隅試験場圃場の約3倍の79mmであるが、平均降雨強度は大隅試験場圃場とほぼ同じ94mm/hであった。図9より、ピーク流出量 $Q_p = 0.178 \text{ m}^3/\text{s}$ と洪水到達時間 $t_p = 17 \text{ min}$ を得た。また、この時のピーク流出係数 f_p は0.41であった。

今回選定した2つの圃場は異なる土壌を持つ地区に造成された畑地である。降雨条件を勘案しても、両者のピーク流出係数 f_p には大きな差異が認められた。このことは、豪雨時の排水計画では、土壌条件に合わせてさらに詳細なピーク流出係数 f_p の決定が必要であることを示唆している。

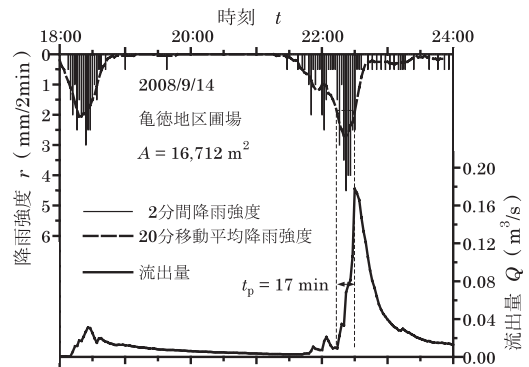


図9. 亀徳地区圃場の洪水到達時間
Concentration time at Kametoku test site

表3. 解析結果一覧
Analysis results

	大隅試験場圃場	亀徳地区圃場
観測日時	2008/6/11 20:00~24:00	2008/9/14 18:00~24:00
総降雨量 (mm)	28	79
ピーク流量 Q_p (m^3/s)	0.077	0.178
洪水到達時間 t_p (min)	15	17
平均降雨強度 r (mm)	92	94
ピーク流出係数 f_p	0.12	0.41
先行降雨 (mm)	0	27

ま と め

近年、農地や農業施設の湛水被害が度々報告されており、従来の排水基準の見直しが求められている。排水計画の策定には、合理式におけるピーク流出係数や洪水到達時間のパラメータが必要不可欠である。これらの基礎資料を提示するために、鹿児島県の代表的な畑地帯における流出特性について、現地観測に基づいて検討した。

本研究で設置したフリユームの水位・流量曲線は、現地試験とUSDAの資料により、回帰曲線式(1)で妥当と考えられる。今回、黒ぼく土壌の大隅試験場圃場と国頭礫層風化土の亀徳地区圃場を試験圃場に選定し、降雨と流出量を観測し、流出解析を行った。その結果、洪水到達時間 t_p はそれぞれ15分と17分であり、ピーク流出係数 f_p はそれぞれ0.12と0.41であった。鹿児島県では「土地改良基準計画設計基準」に基づいて、ピーク流出係数0.35を用いているが、畑地土壌に応じたピーク流出係数の決定が必要であることを示唆した。今後、種々の降雨パターン（梅雨・台風時期）のデータを蓄積するとともに、土壌や作付け作物、被覆状態が異なる圃場を選定・観測し、

畑地からの流出に関する実証的検討を加える予定である。

謝 辞

本研究は、鹿児島県との共同研究により行われたものであり、観測にご協力いただいた関係各位に、ここに記して謝意を表す。

引 用 文 献

- [1] 平瑞樹・肥山浩樹・高木東: 2006年7月鹿児島県北部集中豪雨による農地被害について. 自然災害研究協議会西部支部地区部会報・研究論文集, 31, pp.37-40 (2007)
- [2] 平瑞樹・肥山浩樹・長勝史: 肥薩地方の集中豪雨による農地被害. 自然災害研究協議会西部支部地区部会報・研究論文集, 28, pp.133-136 (2004)
- [3] 角屋睦・福島晟: 中小河川の洪水到達時間. 京大防災研年報, 19-B-2, pp.143-452 (1976)
- [4] 角屋睦: 流出解析手法(その8)－洪水到達時間と合理式－. 農業土木学会誌, 48(8), pp.587-592 (1980)
- [5] United States Department of Agriculture: Field Manual for Research in Agricultural Hydrology. Agriculture Handbook, No. 224, pp. 92-99 (1979)

Runoff Characteristics in Upland Fields, Kagoshima Prefecture

— Observations from Tokunoshima and Kanoya —

Hiroki HIYAMA^{1)†}, Kazuro MOMII²⁾, Kei NAKAGAWA²⁾ and Azuma TAKAGI¹⁾

(¹⁾*Laboratory of Land Conservation Engineering*, ²⁾*Laboratory of Water Use Engineering*)

Summary

In recent years, inundation damage to agricultural land and facilities has frequently been reported. It is necessary to review the peak runoff coefficient and the concentration time in the rational formula which is used in formulation of drainage plans. To study these runoff characteristics, the precipitation and runoff discharge were observed at two typical upland fields in Kagoshima Prefecture. One of the fields is located on the island of Tokunoshima, and covered with weathered Kunigami gravel-soil. The other is located in Kanoya City where Kuroboku soil lays over Shirasu plateau. The catchment areas are 16,712 and 26,254 m², respectively. The measurements of runoff discharge from the test sites were carried out with “H flume” which is proposed by United States Department of Agriculture (USDA).

The peak discharge and the concentration time were determined by using hyetographs for the precipitation and hydrographs for the runoff discharge. Moreover the peak runoff coefficients were estimated by these parameters and the rational formula.

The results of runoff analysis show that the peak runoff coefficient was 0.41 at the Tokunoshima test site for the rainfall event of September 14, 2008 and 0.12 at Kanoya for June 11, 2008. There was a remarkable difference between them. Although a peak runoff coefficient of 0.35 has been used uniformly in the drainage plans in Kagoshima Prefecture, our results suggest site-specific soil conditions are important in determining the peak runoff coefficient.

Key words: runoff characteristic, runoff analysis, rational formula, peak runoff coefficient, concentration time

[†]: Correspondence to : Hiroki HIYAMA (Laboratory of Land Conservation Engineering)

Tel 099-285-8694, E-mail: hiyama@agri.kagoshima-u.ac.jp