

田んぼダム排水装置に応じた水田貯水量と許容降雨量の算定

日本大学大学院工学研究科土木工学専攻 竹田稔真
日本大学工学部土木工学科 朝岡良浩

1. はじめに

近年、気候変動に伴い豪雨発生頻度の増加等が起こりつつあり¹⁾、豪雨による洪水への対策として田んぼダムが着目されている。田んぼダムは水田に専用の排水装置を設置し、落水量を抑制することで降雨を水田に一時的に貯留し、洪水被害を緩和する取組みである²⁾。田んぼダムは平成14年に新潟県村上地域振興局の担当者らによって発案され、平成30年の現在、新潟県、兵庫県、山形県等で多くの実績がある。また、郡山市や須賀川市³⁾では田んぼダム実施を見据えた実証実験を行っており、全国的に広まりつつある。

田んぼダムは水田が本来持つ貯水機能を活かしており、グリーンインフラとしての側面も持つ。しかし水田の最優先すべき目的は営農であり、時期によって堰高さや田面水深の変化、作業による畦畔高さの減少も考えられる。理想的な田んぼダムとしての貯水量は畦畔高さに水田面積を乗じたものであるが、実際の水田は水が張られており堰高さも時期によって異なるため貯水量も変動する。また、降雨時に田面水が畦畔から排水路に越流した場合、田んぼダム実施・未実施に関わらず排水路流量は増加する。以上より、田んぼダムが対応できる降雨には限界があるといえる。

既往研究は過去に洪水が発生した降雨イベントに対し、田んぼダム事業を行った場合の浸水域や浸水深の減少を評価したもの⁴⁾⁵⁾が多く、未知の降雨に対して解析した事例や畦畔からの越流について言及した例は少ない。そこで本研究では3種類の排水装置を対象として、人為的に操作される堰高さと初期田面水深を変化させた場合の許容降雨量と流出率の特性を明らかにすることを目的とした。本研究において、許容降雨量は畦畔から越流しない降雨量とする。また、洪水緩和機能の指標として降雨終了時の流出率についても評価した。

2. 排水装置概要と落水量算定式

(1) 対象排水装置

本研究では3種類の排水装置を対象とした。田んぼダム排水装置は、コンクリート枠が設置されていない水田耕区で用いる「フリードレーン」と「軽量落水枠」の2種類である。この2種類は田んぼダム向けの既製品として普及している。比較対象として、水深調節を目的とする既製品の「水田用給排水口」を田んぼダム未実施とした。

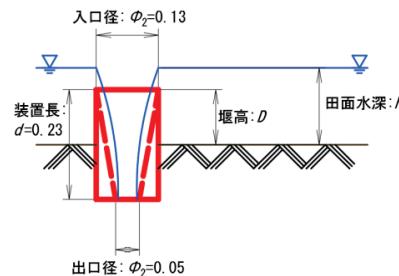


図1 フリードレーン装置の概要

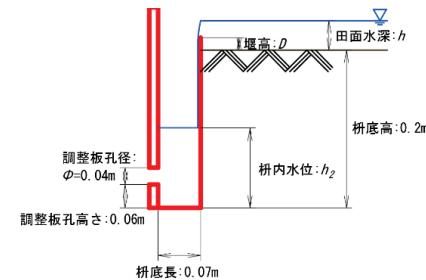


図2 軽量落水枠の概要

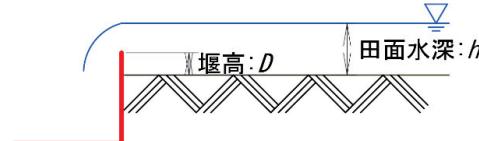


図3 田んぼダム未実施の概要

*Calculation of Water storage capacity and Allowable rainfall among different Drainage devices in the Rice field dam by Toshimasa TAKEDA and Yoshihiro ASAOKA

それぞれの排水装置からの落水量は落水量算定式⁹⁾によって算出する。

(2)フリードレーンの概要

フリードレーンは、前澤化成工業株式会社より販売されている型番:NFD150A、製品名「ニューフリードレーン150A」であり、装置の概要図を図1に示す。水深0~5cmでは式(1)に示す堰流れで落水する。水深5~8cmは式(2)に示す遷移流れ、水深8cm以上では式(3)のオリフィス流れで落水し、遷移流れまたはオリフィス流れであれば落水量を抑制し、田んぼダムとして機能する。

$$Q = E\pi\Phi_1\sqrt{2g} \int_D^h \sqrt{z} dz \quad (1)$$

$$Q = 0.0001(h-D) + 0.0031 \quad (2)$$

$$Q = \frac{C\pi\Phi_2^2}{4} \sqrt{2g(h+d)} \quad (3)$$

ここに、 Q : 落水量(m³/s), Φ_1 : 入口径(m), Φ_2 : 出口径(m), g : 重力加速度(m/s²), h : 田面水深(m), d : 装置長(m), D : 堰高さ(m)であり、 E と C はそれぞれ堰とオリフィスの流量係数である。

(3)軽量落水枠の概要

軽量落水枠は東北興産株式会社より販売されている製品の型番:なし、製品名「軽量落水枠 田んぼダム」であり、装置の概要図を図2に示す。装置入口が水位調節機能を持つ堰として働き、調整板に設けたオリフィスから落水する。落水量算定式¹⁰⁾は水田から式(4)の堰流れで枠に流入し、枠から水路に式(5)のオリフィス流れで落水される。

$$Q = EB\sqrt{2g} \int_D^h \sqrt{z} dz \quad (4)$$

$$Q = \frac{C\pi\Phi^2}{4} \sqrt{2gh_2} \quad (5)$$

ここで、 Φ : 調整板孔径(m), B : 排水周長(m), h_2 : 枠内水位(m)であり、枠内水位は枠内の水収支式により求める。

(4)田んぼダム未実施の概要

本研究で用いたフリードレーンと軽量落水枠は排水孔がオリフィスとして機能することで落水量を抑制する。また、田んぼダム事業を実施していない圃場では農家ごとに排水機構は異なる。上記の理由より、比較対象である田んぼダム未実施の場合は、堰流れで落水する田面水深調節のみを目的とした既製品を選定し、一般的な農家の標準的な落水枠(図3)と仮定した。製品は株式会社サンポリの型番:なし、製品名:「水田用給排水口 水番 スマートタイプ」を用い、落水は式(5)に示す堰式で求める。

3. 水理シミュレーション概要

(1)シミュレーション手法

水田の水収支は次式で表すことができる。

$$\frac{dh}{dt} = R - \frac{Q}{A} \quad (6)$$

ここに、 Q : 流量(m³/s), R : 雨量(m/s), A : 水田面積(m²)である。本研究では式(6)により田面水深変化を算出する。計算のタイムステップは10分とした。なお、本研究は安全側を考慮して土中への雨水浸透は扱わないこととした。

許容降雨量は、水田の水が畦畔から越流する最小の日降雨量とする。畦畔は整備済みの標準的な断面¹¹⁾だと仮定すると畦畔高さは30cmであることから、日降雨量を0mmから1mmずつ増加させて田面水深が30cm以上になった場合の日降雨量が許容降雨量である。許容降雨量が高ければ多様な降雨に対応できるが、水田からの落水が多い側

面を持つ。そのため、降雨終了時点における流出率も式(7)によって算出し、排水装置に応じた貯水能力の評価とした。また、初期田面水深は堰高さを越えないものとした。

$$\text{流出率} = \frac{\text{累積落水量}}{\text{総雨量} \times \text{水田面積}} \times 100 \quad (7)$$

(2)降雨波形の作成

本研究では水深が上昇しやすい後方集中波形を用い、降雨強度式は福島県郡山市⁸⁾のものを基に作成した。表1に示す許容降雨量はすべて200mm以上であることから、短時間で200mmの降雨は妥当でないと判断し、降雨継続時間は24時間とした。

4. シミュレーション結果

堰高さ0, 5, 10, 15cmにおいて、初期田面水深を0cmから堰高さと同じ水深まで変化させた場合の許容降雨量について解析した結果を表1に示す。表1の右端には、それぞれの堰高さにおいて初期田面水深が最大となる場合の流出率を示した。流出率は式(7)により算出した。また、初期田面水深に対する許容降雨量の変化はそれぞれ堰高さ0cmでは図4、堰高さ5cmは図5、堰高さ10cmは図6、堰高さ15cmは図7に示す。

解析の結果、各装置間で許容降雨量を比較した場合、どの条件においても田んぼダム未実施よりも軽量落水枠とフリードレーンは小さい値を示した。この結果より、田んぼダムをしなければ水田に降った雨を多く流出するため溢れこくいが、田んぼダムを実施した場合溢れやすくなるが同時に水田からの流出を抑制するといえる。また、軽量落水枠とフリードレーンの許容降雨量を比較した場合どの条件においても軽量落水枠が小さい値を示しており、フリードレーンよりも軽量落水枠の方が流出抑制効果は高いことが示唆された。

次に、同じ装置で堰高さと初期田面水深の違いによる性能の変化を検討した。それぞれフリードレーンは図8、軽量落水枠は図9、田んぼダム未実施は図10に示す。

フリードレーンの場合、堰高さまたは初期田面水深が上昇するにつれて許容降雨量は減少した。また、流出率は堰高さの増加に伴い上昇する傾向があった。

軽量落水枠の場合、フリードレーンと同様に堰高さと初期田面水深が上昇するにつれて許容降雨量は減少し、堰高さに応じて流出率も上昇した。

田んぼダム未実施では初期田面水深や堰高さにかかわらず流出率は約60%程度となった。軽量落水枠とフリードレーンの流出率が約20~40%程度であることから田んぼダム排水装置による流出抑制効果が示された。また、初期田面水深に応じた許容降雨量の変化は非常に小さいことから貯水能力は堰高さのみに依存する。

5. 考察

本研究の結果について特に考察すべき事項が2つ挙げられる。

1つ目が許容降雨量は最小でも238mm/day、最大の場合は691mm/dayと現実であれば100年に一度を超過する値であり、流域で考えた場合は大洪水が予想される。この要因として、本研究は水田のみを対象としたためと推察される。実際に水田耕区全体に雨が降った場合、水田に降雨が貯留されると同時に用水路と排水路の流量も増加する。用水路の流量が増加した場合いずれは水路と接する畦畔を越流して水田に水が流れ込む。また、排水路の流量が増加した場合は水田への越流に加えて、排水装置の出口部が水で覆われることにより排水が抑制され、田面水深が減少せざる結果として水田の水も溢れやすくなることが考えられる。本研究は装置の違いによる特性を明らかにすることを目的としたため水田のみを対象とした。今後の課題として、用排水路の条件も考慮した許容降雨量の算定が挙げられる。

2つ目はフリードレーンと軽量落水枠の落水機構の違いによる流出率の差である。堰高さ0cmの場合、フリード

表1 各堰高さと初期田面水深ごとの許容降雨量

堰高0cm	初期田面水深(cm)						流出率(%)
	0	1	2	3	4	5	
フリードレーン	420						30.6
軽量落水枠	372						19.4
田んぼダム未実施	691						60.1
堰高5cm	初期田面水深(cm)						流出率(%)
	0	1	2	3	4	5	
フリードレーン	379	376	373	371	370	368	34.5
軽量落水枠	349	344	339	335	331	328	23.8
田んぼダム未実施	579	579	579	579	579	579	60.1
堰高10cm	初期田面水深(cm)						流出率(%)
	0	1	2	3	4	5	
フリードレーン	342	337	332	327	323	320	38.9
軽量落水枠	328	321	314	308	303	298	29.5
田んぼダム未実施	462	461	461	461	461	461	59.7
堰高15cm	初期田面水深(cm)						流出率(%)
	0	1	2	3	4	5	
フリードレーン	317	309	301	294	287	280	40.2
軽量落水枠	313	304	296	288	280	273	37.1
田んぼダム未実施	352	349	346	344	343	342	58.7

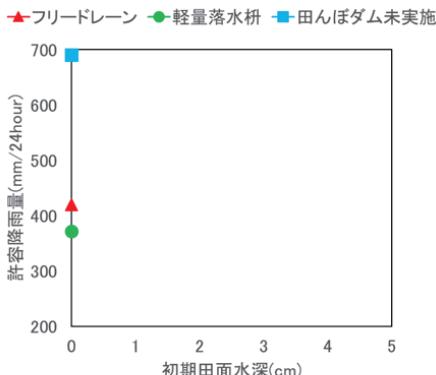


図4 堤高さ 0cm の許容降雨量

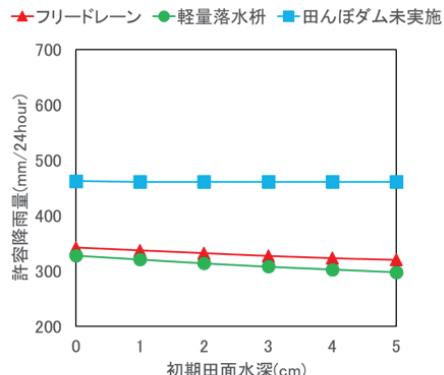


図6 堤高さ 10cm の許容降雨量

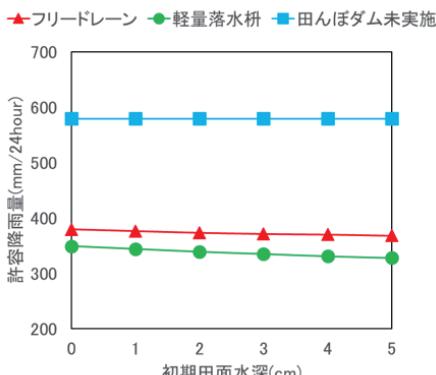


図5 堤高さ 5cm の許容降雨量

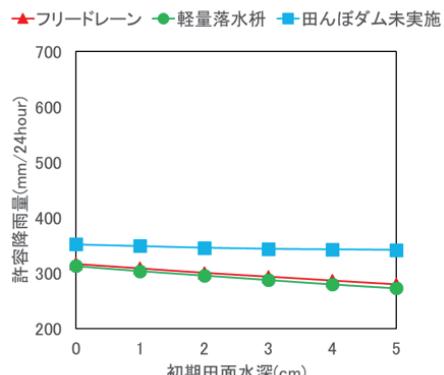


図7 堤高さ 15cm の許容降雨量

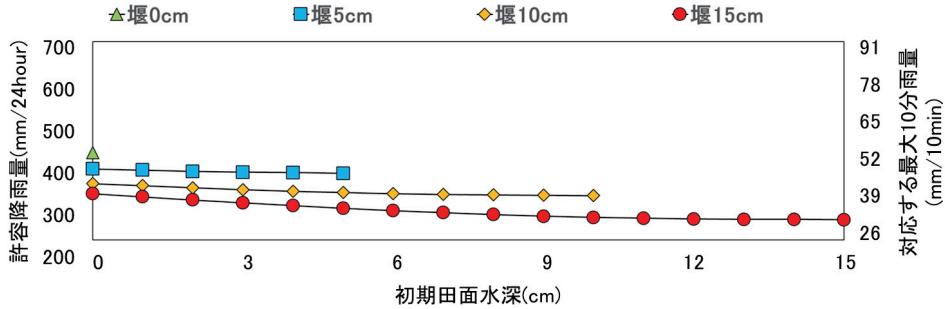


図8 フリードレーンの許容降雨量変化

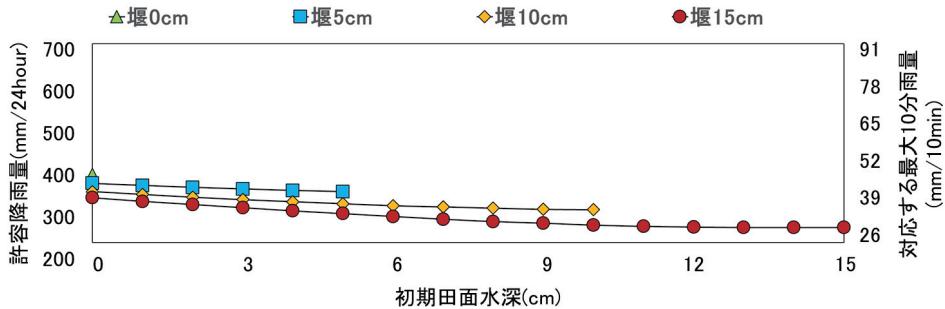


図9 軽量落水枠の許容降雨量変化

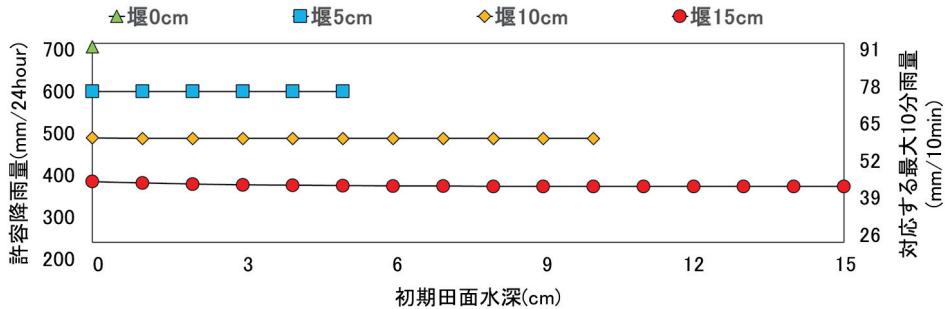


図10 田んぼダム未実施の許容降雨量変化

レーンの流出率30.6%、軽量落水枠の流出率は19.4%で両者の差は11.2%であった。しかし、堰高さ15cmの場合フリードレーンの流出率は40.2%、軽量落水枠は37.1%と両者の差は3.1%に縮まった。この理由として、流出率は式(7)を用いて算出し、分子は落水量となる。フリードレーンは堰高さを上げるにつれて落水量は減少するが、軽量落水枠は堰高さを上げるにつれて落水量は増加する。また、式(7)の分母である許容降雨量は両者とも堰高さを上げるにつれて減少する。その結果、フリードレーンは堰高さの変化による流出率の増加は小さく、軽量落水枠は堰高さの変化による流出率の増加が大きくなる。この原因は装置の落水機構の違いによるものである。

6.まとめ

本研究ではフリードレーン、軽量落水枠、田んぼダム未実施の3種類の排水装置に応じた水田貯水量と許容降雨量について算定し、更に計算値を比較検討することで装置の特性について言及した。得られた知見を以下に示す。

- 1) フリードレーンと軽量落水枠は堰高さに応じて許容降雨量は減少し、流出率は増加した。また、初期田面水

深に応じて許容降雨量は減少した。田んぼダム未実施では堰高さに応じて許容降雨量は減少し、流出率は減少した。また、流出率は約60%前後であり田んぼダム排水装置に比べて高い値であった。初期田面水深に応じて許容降雨量はわずかに減少する傾向にあった。

- 2) 堰高さ0cm、初期田面水深が0cmの場合、フリードレーンの流出率は30.6%、軽量落水枠は19.4%で両者の差は11.2%であった。堰高さ15cm、初期田面水深が15cmの場合フリードレーンの流出率は40.2%、軽量落水枠は37.1%で両者の差は3.1%となった。この結果から堰高さが上がるにつれて軽量落水枠とフリードレーン間での貯留能力の差は小さくなるといえる。この原因として、フリードレーンは越流水深の関数として落水量が求めるが、軽量落水枠は枠底高さに水田水深を足した値の関数として落水量を求めるためと考えられる。
- 3) 流出率は堰高さに比例して上昇するが、フリードレーンと田んぼダム未実施の場合、累積落水量は堰高さに応じて減少した。落水量は水深を変数に含む式によって算出されるため、越流水深の最大値が30cmの堰高さ0cmの場合よりも、越流水深の最大値が15cmとなる堰高さ15cmのほうが落水量の最大値は小さくなるためこのような結果になった。
- 4) 軽量落水枠は堰高さに比例して流出率も累積落水量も上昇した。軽量落水枠は枠内の水深で落水量を算出するため田面水深の影響を受けない。加えて堰高さ0cmと15cmの間で流出率は約2倍となったため許容降雨量は減少したが実際の流出量は増加したと考えられる。

本研究において堰高さと初期田面水深は表1の値を用いたが、実測値がある場合はパラメータを変更することで再計算は容易に可能である。また、装置の寸法によって許容降雨量や流出率は変動するが排水機構は同様であるため、装置の堰高さまたは初期田面水深に応じた水田貯水量と許容降雨量の変化傾向は同様になると推察される。

現場への適用に際し、実際の畦畔は整備不足等で30cmに満たない場合が多いことや、田面水が畦畔から越流する原因として用水路からの氾濫水流入がある。前者であればパラメータの変更によって対応できる。後者は流出モデル等で流域全体について解析する必要があり、今後の課題の一つである。

参考文献

- 1) 気象庁:気候変動監視レポート2017:
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2017/pdf/ccmr2017_all.pdf, 2018.
- 2) 農林水産省:
http://www.maff.go.jp/j/nousin/houkan/new_tamen/kouzui.html, 2018.
- 3)須賀川市:建設部:田んぼダムについて, <http://www.city.sukagawa.fukushima.jp/10853.htm>
- 4)吉川夏樹, 宮津進, 安田浩保, 三沢真一:低平農業地帯を対象とした内水氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.67, No.4, I_991-I_996, 2011.
- 5)吉川夏樹, 長尾直樹, 三沢真一:田んぼダム実施流域における洪水緩和機能の評価, 農業農村工学会論文集, No.261, pp.41-48, 2009.
- 6) 竹田稔真・朝岡良浩(2018): 田んぼダム排水装置による降雨貯留能力の比較, 土木学会論文集G(環境), Vol.74, No.5, pp.I_125-I_132.
- 7) 農林水産省:土地改良事業計画設計基準計画「ほ場整備(水田)」,
<http://www.maff.go.jp/council/seisaku/nousin/gizyutu/h24-1/pdf/data2-2.pdf>, 2018.
- 8)福島県:県内の降雨強度式, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/53861.pdf>, 2018.