# 水田貯留による雨水の流出抑制効果と その強化方策に関する現地実験 ON-SITE EXPERIMENTS AND HYDRAULIC EVALUATION ON RUNOFF CONTROL BY RAINWATER STORAGE IN PADDY FIELDS

原田守博<sup>1</sup>・大森美喜夫<sup>2</sup>・森 富雄<sup>3</sup>・藤澤 悟<sup>4</sup> Morihiro HARADA, Mikio OHMORI, Tomio MORI and Satoru FUJISAWA

<sup>1</sup>正会員 工博 名城大学教授 理工学部建設システム工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)
<sup>2</sup>非会員 農学士 株式会社 アイエスシイ (〒466-0059 名古屋市昭和区福江2-9-33)
<sup>3</sup>フェロー会員 博(工) 株式会社 アイエスシイ (〒466-0059 名古屋市昭和区福江2-9-33)
<sup>4</sup>正会員 修(工) 大鉄工業株式会社 (〒532-8532 大阪市淀川区宮原4-4-44)

In order to deal with recent change of runoff characteristics by urbanization of a river basin, construction of facilities for rainwater storage and infiltration has been planed as a flood control measure in the basin. However, the construction plan has not been in progress due to high costs and limited sites for the facilities. Then in this paper, we propose a new utilization method of paddy fields remained in the basin as an alternative measure. This research aims to evaluate rainwater storage function of paddy fields and to verify a new procedure to improve the function, through on-site experiments carried out in the Shin-kawa basin, Aichi prefecture. A hydraulic model on the water-balance of a paddy field is identified based on observed data of the experiments, and by using the model the storage-drainage processes in a paddy field are simulated on a probabilistic design rainfall. From results of the simulation, it is found out that paddy fields have applicability as the runoff control facilities.

*Key Words :* rainfall storage, runoff control, paddy field, on-site experiment, hydraulic analysis, flood control facility, urbanization of basin

# 1. はじめに

近年,流域における都市化の進展に伴い,宅地造成や 道路舗装による不浸透域の拡大や下水道網の整備により 雨水流出のピーク量が増大するとともに,ピークの生起 時刻が短縮するようになった.こうした都市化に伴う雨 水流出特性の変化に対応するため,各地の流域では河川 の流下能力を高める河道改修に加え,流域からの流出を 減少または遅延させることを目的として,総合治水によ る流域整備計画が策定されている<sup>1)</sup>.

総合治水対策では、一定面積を超える農地や山林の開 発を抑制し、流域の保水機能や遊水機能の保全と回復を 図るため、開発面積に応じて雨水貯留浸透施設の設置が 求められる.しかしながら、新たに流出抑制施設を建設 することは莫大なコストがかかり、建設適地も限られる ため容易ではない.例えば、濃尾平野の新川流域では、 計画策定から25年経過した現在においても進捗率は4割 に留まり、総合治水への対応は十分には進んでいない<sup>2</sup>. そうした現状を踏まえ、流域内で雨水を面的に貯留で きるものとして、市街地近郊に現在も残存する農地に目 を向けてみる.農地とりわけ水田は、豪雨に見舞われる 夏季には稲作のための湛水状態にあり、降雨の浸透は期 待できないものの、畦畔に囲まれたプール形状のため、 水田は十分な雨水貯留機能を果たすといわれてきた<sup>3)</sup>. その論拠としては、水田の雨水貯留効果を水田面積に畦 畔までの高さ(例えば0.3m)を単純に乗じた体積で評価 していることが多い.しかしながら、実際の水田では、 排水路への流出能力が意外と大きく、雨水は速やかに排 水されるうえ、用水路からの流入が雨天時にも続くため、 期待したほどの貯留効果が見込めない可能性がある.

そこで本研究では、一般的な水田がどの程度の雨水貯 留機能をもつのか、実際の水田を用いた現地実験を行っ て評価するとともに、その貯留機能をさらに高める方策 について新たな提案を試みるものである.具体的には、 ①水田の水管理のために普及しつつある「自動給水栓」



図-1 水田地域の用水路・排水路の形態



図-2 水田の模式図

を取水口に設置することにより、雨天時に用水路から水 田への流入を止めるとともに、②落水口には水田から排 水路への流出を抑制する簡便な工夫を施す.これによっ て、水田をオンサイト型貯留施設に代わる、低コストで 実現容易な流出抑制施設として活用できないか、その可 能性を、現地実験を踏まえて実証的に探ることとする.

# 2. 水田における雨水の貯留・排水過程

### (1) 水田域における用水・排水形態と雨水流出過程

一般に圃場整備の進んだ水田地域では、図-1 に示す ように用水路(またはパイプライン)と排水路が水田群 を挟んで交互に設けられる.水田群は標準的な面積(例 えば 3000m<sup>2</sup>=約3反)ごとに区画され、各水田では図-2のように、用水路に面した取水口から灌漑用水を取り 入れ、稲作に必要以上の水量を落水口から排水路へ排出 させる.排水路は各水田からの流出水を集め、下流の河 川に合流する.営農者は天候に配慮しつつ、水田の水深 や水温等が稲の生育に適した状態を保つように、取水口 の開口幅と落水口の堰高を調整している.

# (2) 雨水貯留機能の強化方策 — 取水口 —

取水口に設置された水門等は一般に手動式であるため、 急な降雨時には開いたままである.降水量が多い場合は



図-3 取水口への自動給水栓の設置



図-4 落水口への切欠き板の挿入

用水路の流れが止められるが、その影響が到達するまで は水田への流入が継続する.したがって、雨天時におけ る水田の雨水貯留量を確保するためには、降雨によって 田面水位が上昇すると同時に取水口を自動的に閉じるバ ルブを設ける必要がある.ここでは図-3に示すように、 本来は水田の水使用量を節約する目的で開発され普及が 進んでいる「自動給水栓」(綾羽工業製)を取水口に設 置し、水田での雨水貯留量の確保への有効性を検証する.

## (3) 雨水貯留機能の強化方策 — 落水口 —

落水口には排水路への樋管にオリフィスを設置した形 式も見られるが、「角落とし」と呼ばれる堰板から越流 させる形式のものが一般的である.角落とし板は通常20 ~30cmの幅をもち十分な排水能力があるため、水田の 水面に降った雨水は速やかに排水路に流出し、大きな貯 留量は期待できないことが予想される.したがって水田 に雨水を有効に貯留するためには、落水口からの排水を 制限することが必要になる.本研究では図-4 に示すよ うに、角落としよりも流出幅を狭めた「切欠き板」を落 水口に挿入し、水田からの流出を抑制することを考える. 降雨の少ない場合、雨水は切欠きから排水路へ容易に流 出するが、豪雨時には切欠きによって排水が制限され、 より多くの雨水を水田に貯留することが期待できる.

こうした積極的な水田貯留を行なう場合,湛水深の増 加により,稲が冠水して生育が妨げられることのないよ



図-5 現地実験の対象地域 (愛知県大口町)



図-6 水田の落水口とその脇に設置した高精度水位計

うに配慮が求められる.農水省構造改善局の資料による と,湛水被害を防ぐための許容水深は収穫期において 30cm,湛水の継続は24時間が限度とされている<sup>4</sup>.また, 田植え直後には稲丈が短く根付きも十分でないため,許 容水深は20cm程度にすべきと思われる.本研究では, これらの制約条件に対して,切欠き板の越流高を調節す ることで,水田内の水深を許容値内に抑えることとした.

# 3. 水田群における雨水貯留に関する現地実験

水田での雨水貯留の実態とその強化方策については、 概念的に検討するだけでなく、実際の水田で実証するこ とが必要である.筆者らは新川上流域において、愛知県 大口町役場と地元農家の協力のもとに実験地域を設置し、 水田貯留の現地実験を 2004年度から実施してきた.

## (1) 現地概要

実験地域は図-5に示すように新川の支川・五条川の右 岸に位置し、約68000m<sup>2</sup>の面積に30面の水田が存在する. そのうち22面が稲作田、8面が休耕田で、5面には常時 水が溜められている.水田群の両端には農業用水路、中 央には排水路が流れており、水田からの流出水を集めて 五条川へ流入している.排水路の流量観測地点①から地 点②までの距離は約450mである.



図-7 排水路に設置した四角堰と水位計(上流地点①)

## (2) 水田および排水路での計測設備

水田1面における雨水の貯留および排水過程を調べる とともに、落水口における切欠き板の有無と取水口にお ける自動給水栓の有無による現象の差異を明らかにする ため、図-5に示す水田A~Gの7面において水位変化を 観測した.これらの水田はそれぞれ約3000m<sup>2</sup>の面積をも ち、水田A~Eが休耕田、FとGが稲作水田となっている.

雨水の貯留排水に伴う水田内の水深変化は、図-6 に 示す静電容量式水位計(KENEK製,測定精度0.1cm)を 取水口および落水口の近傍に計8台設置し、連続的に測 定した.また、降水量の計測のために転倒マス雨量計 (大田計器製,転倒雨量0.5mm)を排水路脇に設置した.

なお、観測地域の水田30面からの流出総量を把握する ため、図-5 に示す排水路の上流地点①と下流地点②に 四角堰を設け、流量観測を実施した.堰を越える流れが もぐり越流になる場合もあるため、それぞれの堰の上下 流に図-7のように圧力式水位計(スコープシステム製) 計4台を設置し、水深の時間変化を連続的に測定した. 測定データはすべての項目を5分間隔で収録した.

#### (3) 降雨に対する水田の水位変化の観測結果

図-8は、落水口に幅20cmの角落としをもつ"自然状態"の水田Gと、落水口に幅5cmの切欠き板を入れた水田Fにおいて、総雨量30mm程度の降雨に対する水位変動



図-8 自然状態の水田Fと雨水貯留強化策を施した水田Gにおける水位の時間変化(2007年7月12日~16日, 総降雨量 173mm)

を比較したものである. これらの水田は隣接して位置す る面積の等しい稲作田である. 比較のために, 水位は図 の左端の時刻における値を基準として示してある.

まず,水田Fの取水口と落水口付近の水位計を見ると,両者は同一の挙動を示し,水田の水面が水平であること が分かる.降雨に対する応答は,水田F,Gどちらも鋭敏 に水位が上昇しているが,降雨後は水田Gで急激に水位 が低下するのに対し,水田Fの水位低下は緩慢である. この図のように引き続いて雨が降る場合,両者の開きは さらに増大し,切欠き板をもつ水田Fでは,手を加えて いない水田Gよりも最大4cmの水深増加となっている. この差は水田面積を考慮すると,水田1面当たり100m<sup>3</sup> 以上の貯留量の増加に相当する.この程度の降雨でも大 きな開きが見られることから,集中豪雨時には落水口へ の工夫は絶大な雨水貯留効果を挙げるものと期待される.

図-8で示唆された切欠き板の効果が一般性をもつかどうか確認するため、A~Fの6面の水田において落水口に幅5cmの切欠き板を入れ、水深の時間変化を観測した. その結果を図-9は示す.この期間、水田の取水口は予 め閉じておいたため、水深の変化は降雨と落水口からの 排水によるものである.図から分かるように、6面の水 田の水深変化は互いに類似しており、稲作水田か休耕田 かに拘らず、水田固有の影響は小さいといえる.この結 果を受けて、次章では水田1面に対して水収支モデルを 作成し、水田群に共通する流出抑制効果の評価を試みる.

# 4. 水田における雨水貯留に関する水収支モデル

## (1) 基礎方程式

図-10は水田における水収支の構成要素を示したもの である.図のように、面積 A の水田に取水口から流入 量 I が流れ込み、降雨強度 r の雨が降るとともに、蒸 発散や地下浸透による損失強度 f (いわゆる減水深) が 失われ、落水口から流出量 Q が排水される.こうした 水田の水収支を連続式として表わしたものが式(1)である. 田面の水位変化は水田全体で一様に生じることから、水 田内の貯留量 S は面積 A と水深(落水口の越流堰高



図-9 切欠き板を設けた水田群(A~F)における水深の時間変化(2006年7月16日~22日,総降雨量 218mm)



図-10 水田における水収支

 $h_d$ (常時湛水深)と越流水深 h の和)を乗じることで 求められる.さらに、落水口からの排水は角落とし・切 欠き板ともに堰による越流の形式をとるので、流出量 Qは刃形堰の流量公式(2)によって表わすことができる. 式中の C は落水口の流量係数, B は越流堰の幅である.

$$\frac{dS}{dt} = I + rA - fA - Q, \qquad S = A(h + h_d) \tag{1}$$

$$Q = CBh^{\frac{3}{2}}, \quad C \cong 1.7 \sim 2.0$$
 (2)

#### (2) 落水口の流量係数 C および損失強度 f の同定

基礎式(1)(2)を解くに当り,式中の水田面積 A や落水 口の堰高 h<sub>d</sub> と越流幅 B は既知であるが, 流量係数 C と水田の損失強度 f は未知である.そこで,種々の越流 水深 h に対して落水口からの流出量 Q を実測し,式 (2)から流量係数を逆算した.その結果,図-11のように 角落としで C=1.95,切欠き板で C=1.90であった.

水田における損失現象は、水面からの蒸発や稲による 蒸散、地下浸透や畦畔を通じての側方浸透等を含むこと から、損失強度 f を算定することは容易でない. ここ では、式(1)(2)による水位の解析結果と実測水位データ を比較することによって f の値を同定することとする.

#### (3) 水田貯留モデルの検証

図-12は、図-8で掲げた水田 F における降雨時の水位 変動の実測データについて、式(1)(2)による解析結果と 比較したものである.この水田には自動給水栓が取り付 けられており、期間中は取水口からの流入がないI=0の状態となっている.また、落水口には幅B=5cmの 切欠き板が入っているため、流量係数はC=1.90を用い た.損失強度については、数値解が実測値をできるだけ 再現するように設定したところ、f=15mm/dayとなった.

図から明らかなように、数値解は降雨に対する越流水 深の時間的な変化を見事に再現しており、今回の数値解 析モデルが実際現象の検討に有効であると認められる. しかし図を詳しく見ると、計算水位は降雨中に実測値よ りも小さく、降雨終了後に大きめになっている.これは 降雨中と降雨後では蒸発散量が異なるためと考えられる.

同様な再現計算を他の水田についても行ったところ, 無降雨時の f の値は降雨時よりも数mm/day 程度大きい



図-12 モデルによる解析結果と実測値の比較

ことが示された<sup>5</sup>. さらに同じ水田でも, 湛水深が大き いほど f 値は増大する傾向が認められ, 水深の大小に よって地下浸透が増減するためと理解される<sup>9</sup>. このよ うに損失強度は種々の要因によって変化し一定ではない.

# 5. 計画降雨に対する水田貯留の流出抑制効果

前章で構築した水田貯留の水収支モデルをもとに,落水口の越流堰の幅や水田面積を変えた場合における水田の流出抑制効果の違いを検討する.対象降雨として,都市近郊の中小河川の総合治水計画で想定される中央集中型1/10 確率降雨(時間雨量:63mm)を採り上げる.

図-13は標準的な面積3000m<sup>2</sup>の水田で,損失強度が20mm/dayの場合について,落水口の越流幅 *B*を20.0,10.0,7.5,5.0 cm と変えた場合の解析結果を示している.これらの図から,落水口の越流幅を狭めることによって水田内の雨水貯留高が増大するとともに,落水口からの流出量を大きく低減でき,流出のピーク時刻を1~3時間程度遅らせることが可能となることが分かる.

図-13の両図から貯留高と流出量のピーク値を読み取り,越流幅との関係で表したものが図-14である.この図によると, B=20.0cm の場合に対してB=5.0cm では貯留高は 1.3倍に増大,流出量は 36%に急減している.すなわち,切欠き板の越流幅を小さく設定することによってピーク流出量を1/3程度に抑制できることになる.



図-15は同じ1/10確率降雨に対し、水田面積の違いが 切欠き板による流出抑制効果に及ぼす影響を示したもの である.これによると、面積が大きい水田ほどピーク流 出量は漸増するものの、角落としを切欠き板(*B*=5.0cm) に替えたことによる流出量の低減率は、水田面積の増大 とともに減少している.したがって、切欠き板による流 出抑制効果は大きな面積の水田ほど顕著であるといえる.

# 6. まとめ

本研究では、水田での雨水貯留による流出抑制効果を 評価するとともに、その活用策を提案することを目的と して、実際の水田を用いて現地観測を実施した.得られ た成果と今後の課題は以下の通りである.

水田の取水口に自動給水栓を設けて雨天時の流入を防 ぎ、落水口の越流幅を狭めることによって水田の雨水貯 留機能を高められることが実証された.切欠き板によっ て湛水深が増加するが、畦畔の低い水田では溢水する恐 れがある.したがって、水田貯留による流出抑制効果を 高めるには、畦畔の整備も併せて必要となる.

水田の水収支モデルを実測値との比較によって構築し, 水田の流出抑制効果を解析した.その結果,落水口の切 欠き幅を狭めることにより,ピーク流出量を低減させ, 流出を遅らせることが可能となることや,流出量の低減 率は面積の大きな水田ほど顕著であることが示された.



図-14 越流幅ごとの貯留高と流出量のピーク値(A=3000m<sup>2</sup>)



図-15 水田面積ごとの切欠き板の流出抑制効果(B=5cm)

本研究では水田1面における雨水貯留機能を評価した にすぎない. 今後,水田を主体とする小流域において, 水田貯留による流出抑制の有効性を検討する予定である.

謝辞:本研究を遂行するにあたり,多大な御協力と御助 言を賜りました大口町役場建設環境部,(有)服部農園 服部靖宏氏に心より御礼申し上げます.

#### 参考文献

- 例えば、虫明巧臣・石崎勝義・吉野文雄・山口高志編:「水 環境の保全と再生」、山海堂、pp.149~150、1987.
- 新川流域総合治水対策協議会:新川流域の流域対策の進捗状況(平成19年5月),2007.
- 3) 志村博康:水田・畑の治水機能評価,農業土木学会誌, Vol.50, No.1, pp.25~29, 1982.
- 4)農林省構造改善局:土地改良事業計画設計基準 ー計画・排 水-, p.29, 1978.
- 5) 藤澤 悟・原田守博・森 富雄・大森美喜夫;水田貯留による 雨水の流出抑制効果に関する現地実験, 土木学会 第60回年 次講演会概要集, II-059, pp.117-118, 2005.
- 6)藤澤 悟・原田守博・長井 渉・吉田 充・森 富雄・大森美喜 夫:水田における雨水の貯留排水過程の評価モデルの構築, 土木学会中部支部 平成18年度研究発表会講演概要集, II-14, pp.125-126,2007.

(2007.9.30受付)