

Short Report

由利本荘市川口地区の洪水リスク評価

水位シミュレータによる農業用排水路の洪水被害と対策の評価

金澤伸浩¹，二瓶恭子²，百合川竜²¹ 秋田県立大学システム科学技術学部経営システム工学科² 元秋田県立大学システム科学技術学部経営システム工学科

秋田県立大学本荘キャンパス近くの由利本荘市川口地区にある農業用排水路は、大雨の際に氾濫して住宅地に洪水を引き起こすほか、排水路法面に浸食が生じている箇所が複数観察されており、その危険性が懸念されている。そこで、当該排水路が引き起こす洪水の発生メカニズムとリスクを明らかにし、リスク低減のための施策判断の一助にすることを目的に調査研究を行った。排水路の流路、集水域、地形などを現地測量などによって把握し、降雨時の滞留量および水位を推定するシミュレータを作成した。このシミュレータで解析した結果、国道 105 号線西側の市道下の水路トンネルがボトルネックになって内水氾濫が生じるメカニズムが明らかになった。短時間の大雨の際には住宅敷地内でも水深 0.7 m を超える洪水が生じる可能性がある。JR 羽越本線下の水路トンネルからの流入量を低減する対策が効果的であり、また排水路法面の整備が必要と考えられた。洪水発生時には外出を控えて垂直避難に備えるほか、排水路近くの道路を通水路にしないなどの予防対策が望まれる。

キーワード：農業用排水路，由利本荘，洪水，リスク評価，シミュレーション

由利本荘市川口地区には、秋田県立大学本荘キャンパス北側の圃場から農業排水を子吉川支流の芋川に流す農業用排水路（以下、排水路）がある。図 1（国土地理院）に当該排水路を青色実線で示した。

JR 羽越本線東側の圃場から集まった排水は、JR 線路下の水路トンネル（図 1、点 J）を抜けた後、北側の圃場からの排水と南側の川口地区の住宅地の生活排水が流入する。さらに国道 105 号線下の水路トンネル（図 1、点 K）を通り、住宅地の間を通過して芋川に至る。国道 105 号線までの集水域は、おおよそ図 1 黒色破線の範囲と考えられ、面積は約 1.7 km² である。

当該排水路は、雨水や農業排水および生活排水の排水路としての重要な役割を果たしているが、大雨の際に点 J-K 間で洪水が生じて、住宅地がたびたび冠水する。また、排水路の法面が浸食され、私有地が崩落しそうな箇所も観察されている。排水路が現

状のまま維持される場合、同様な洪水が繰り返されるうえ、過去にない豪雨が生じたときや、排水路が損壊した場合には、さらに大きな被害が出ることも懸念される。



図 1 調査対象の農業用排水路(中央青色)

そこで本研究では、当該排水路の洪水発生メカニズムとそのリスクを明らかにし、リスク低減のための施策判断の一助にすることを目的に調査研究を行った。排水路の現地調査結果をもとに降水量から水位を推定するシミュレータを作成し、過去の洪水のメカニズムの解明や将来起こりうる被害の想定、および被害低減対策の提案を行った。

方法

排水路の地形調査

排水路の形状や流況、周辺の地形の関係などを把握するための現地調査を行った。水路の深さや土地の高さなど垂直方向はオートレベル（SA-32A, シンワ測定）およびアルミスタッフを用いて現地で測量し、水平方向は現地測量と Google earth の衛星写真と測量ツールを用いて把握した。

水位と滞留量の関係

洪水が生じる J-K 間について、水位と容積の関係を求めた。排水路を 30 個の区間に分けて、それぞれの周辺地形を台形に近似した。各区間の水位毎の台形面積と区間距離から区間容積を求め、各区間容積の総和から J-K 間における点 L 基準の水位と滞留量の関係を求めた。

水位シミュレータの作成

降水量から水位を予測するための水位シミュレータを作成した。10 分毎の降水量から J-K 間の 10 分毎の水の流入量を計算し、予測される流出量との差分から滞留量を逐次求めて、滞留量を水位に換算するシミュレータを表計算ソフト Microsoft Excel[®] 上で作成した。これにより降雨パターンに応じた水位変化が予測できるようになった。

流入量の計算.

流入する水はすべて降雨によるものとした。10 分間流入量 Q ($\text{m}^3/10 \text{ min}$) は、10 分間降水量を r ($\text{mm}/10 \text{ min}$)、降雨面積を S (km^2)、地下浸透の割合を考慮する流出係数を f としたとき、(1)式で算出した。

$$Q (\text{m}^3/10 \text{ min}) = f \cdot S \cdot r / 1000 \quad (1)$$

排水路への流入時間および流下時間の計算.

集水域に降った雨が排水路に流入するまでの時間の推定にはクラークヘン式を用い、流域面積 2 km^2 あたり 30 min を基準として、面積 S (km^2) への降雨時の排水路への流入時間 t を(2)式で計算した。

$$t (\text{min}) = \sqrt{S/2} \cdot 30 \quad (2)$$

排水路内の流下速度は、勾配、水深、水路壁面の荒さなどによって変わるが、マンニングの式（椎葉ら、2010）などから推算して平均 1.0 m/s として計算した。

流出量の計算.

J-K 間の排水路からの流出速度は、点 K の水路トンネルが律速になる。流出速度 E は(3)式のキネマティックウェーブモデルを用いて求めた。

$$E (\text{m}^3/\text{s}) = \frac{\sqrt{\sin\theta}}{n} B^{\frac{2}{3}} \cdot A^{\frac{5}{3}} \quad (3)$$

n : 粗度係数, A : 通水断面積(m^2), B : 斜面幅(m), θ : 傾斜角

リスクの評価

リスク評価においてリスクをなるべく定量的に考えるためには、エンドポイント（望まない結果、被害の内容）を明確にすることが重要である。当該箇所の洪水によるエンドポイントとしては、財産への危害と生命・健康への危害が考えられた。前者は、浸水による家屋や土地、家庭用品、自動車の被害、農地においては農産物の浸水被害が考えられ、後者は、増水した水に流されるなど直接的な危害のほか、住宅が浸水したことで生じる健康影響も考えられる。

これら様々なエンドポイントが想定されるリスクを評価する方法として、被害の大きさと発生確率から金額に換算して、一つの評価軸に載せる方法をとった。浸水による財産の被害額 M は、家屋の面積あたり評価額 T ($\text{円}/\text{m}^2$)、浸水面積 W (m^2) および浸水深別被害率 p から(4)式で求めた。

$$M (\text{円}) = T \cdot W \cdot p \quad (4)$$

被害率 p は、浸水が床下の場合と床上水深別に家屋で $0.032 \sim 0.888$ 、自動車以外の家庭用品で $0.037 \sim 0.977$ 、自動車は 30 cm 以上の浸水で被害率が設定され、 50 cm までは 10% 、 $50 \sim 70 \text{ cm}$ は 50% とされる（国土交通省、2020）。農作物も作物別、浸水深別の被害率が示されており、水稻の場合は 2 日以内

であれば水深 50 cm までが 21%、1 m 未満が 24%とされている（国土交通省, 2020）。

生命や健康の被害については、死亡事故や浸水に伴って生じる健康被害の発生確率と平均生涯年収を参考にした保障額や治療費などから、被害を金額に換算した。

結果および考察

シミュレーションによる洪水の発生状況の解明

農業用排水路の状況把握

排水路を実測して明らかになった芋川付近（点 L）から点 J までの排水路底面および河岸の相対高さを図 2 に示した。J-K 間の左岸には住宅地があり、点 L を基準として水位 4.3 m 以上で家屋の浸水が生じる。大雨時に J-K 間で洪水が生じているときには、点 K の水路トンネルは開口部(W1.78 m×H1.65 m)一杯に水が流れており、このトンネルがボトルネックになる様子が観測された。

地形の調査により明らかになった排水路の形状から、30 個に分けた区間ごとの容積を求め、水位と総滞留量の関係性を求めた。点 K の水路トンネルがボトルネックになって J-K 間で滞留することから、水が流れている状態の水位ではなく、J-K 間で水平に滞留すると仮定して求めた。点 L を基準とした水位と滞留量の関係性について、水位が 3 m 以下の場合と 3 m 以上の場合に分けて、それぞれ図 3 および図 4 に示した。水位が 3 m を超えるあたりから住宅地や圃場に浸水が生じて横に広がるため、水位の上昇が緩やかになる。

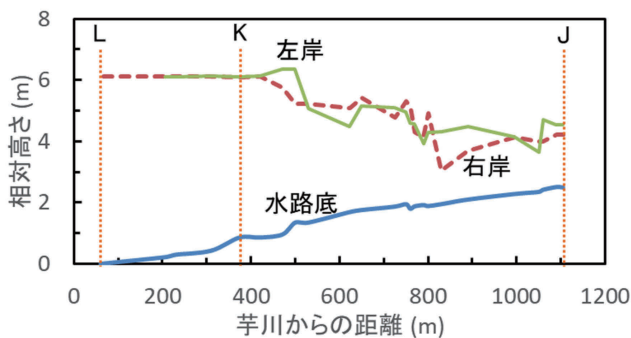


図 2 排水路の相対高さ

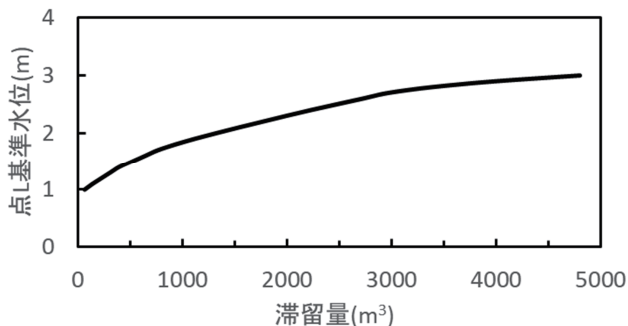


図 3 排水路水位と滞留量の関係(≤3.0 m)

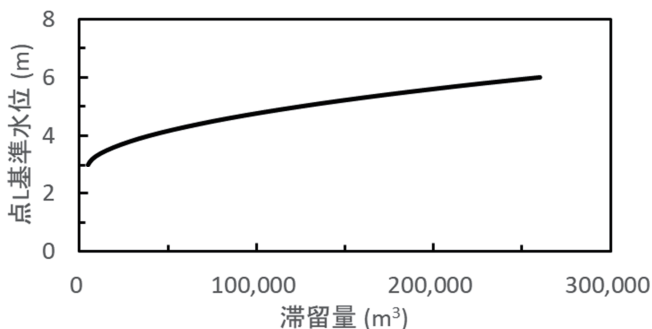


図 4 排水路水位と滞留量の関係(>3.0 m)

推定される氾濫メカニズム

2011 年 6 月に J-K 間の住宅地で洪水が生じた。近隣居住者からの聞き取り情報に基づいて測量を行った結果、点 L 基準 4.64 m まで水位が上がったことが明らかになった。この状況をシミュレータで再現するため、気象庁が公開している近隣の本荘観測点の降水量データを入力し、流出係数 f を市街地 0.9、水田 0.8、山地 0.7 と設定すると、流出量すなわち点 K の水路トンネルの流量を最大流量の 0.08 倍にしたときに状況が再現できることが明らかになった。すなわち、当時は芋川の水位が高く、点 K の水路トンネル出口側がほぼ水没した状態になったことにより流出量が低下し、J-K 間の滞留量が増えて水位が上がり、内水氾濫が生じたことが明らかになった。

今後起こりうる大雨による洪水水位の推定

近年は線状降水帯が発生して集中的な大雨に見舞われることが増えており、1 時間降水量が 100 mm を超える降雨もある。そこで、記録にある最大の雨を例にして、気象庁が公開している 10 分間降水量第一位と 1 時間降水量第一位の降雨パターンをシミュレータに入力して、最大水位を計算した。前者は、2021

年 11 月に北海道木古内で記録された 10 分間降雨 55 mm, 後者は 1999 年 10 月に千葉県香取で記録された 153 mm である。

周辺の降雨や子吉川や芋川の水位によって状況は変わるが, シミュレータによる計算では, 最大水位はそれぞれ 5.0 m, 5.2 m と推定された。住宅への浸水が始まる 4.3m を基準とすれば, 住宅敷地内においても 0.7 m を超え, 大人の足がほぼ浸かる水深である。道路上では水深 1 m を超える箇所もあり, 歩行は困難かつ危険な状況になると考えられた。

リスクの評価とリスク低減のための方策

2011 年の水害リスクの評価.

2011 年 6 月に発生した水害と同等の降雨があった場合について被害の評価を行った。財産に関して(4)式による評価によれば, 建物被害評価額は浸水が予想される家屋 16 件の合計で約 1400 万円, 家庭用品は約 100 万円, 自動車は数十万円程度と見なせた。圃場の水稲は最大で 750 万円と評価された。

2011 年の水害時の降雨は, 最大水位を観測するより前の 24 時間雨量が 133 mm であった。本荘の観測所において気象庁の記録がある 33 年間でこの雨量を超えた回数は 2011 年を含めて 4 回あることから, 単純には同様な被害が出る年間リスク(確率)は 0.12 である。上述の評価被害額の合計にこの年間リスクをかけると, 年間被害額は約 300 万円と評価された。

住宅が浸水したことで生じる健康影響について, Hasegawa et al. (2015) によると, 浸水した住宅において, 浸水後一週間後で呼吸器症状, 鼻症状, 頭痛, めまい, ストレス症状を示す人が統計的に有意に多く, 6 ヶ月後においても皮膚症状やストレス症状が有意に多いことが示されている。この健康被害者の割合を準用すると, 浸水被害を受けて健康被害が発生する年間リスク(確率)は 0.01 程度と予想された。

治療に要する費用が仮に 100 万円とすれば, 年間被害額は約 1 万円×被災者数と評価される。一方, 直接的な水難事故は過去に生じていないため, 実績を元にリスクを求めることはできないが, 単純な計算では仮に一人の価値を平均的な生涯年収から仮に 2 億円として 100 年のうちに一人が水難事故で亡くなったとするとすれば, 年間の被害額は 200 万円とい

う評価になる。ちなみに屋内においては床上 1.2 m まで浸水時の死亡率は 0.023%(国土交通省, 2020)とされており, 当該地域における屋内での死亡リスクは小さい。

このほか, 被害額に大きな不確実性をもたらす要因として, 排水路法面の浸食の問題がある。法面の浸食は特に排水路が大きく曲がる箇所で見られており, 土地だけでなく建物の基礎まで浸食が及ぶと被害額が大きくなるほか, 法面が損壊して排水路が埋まり, 排水ができなくなった場合には水位が更に上昇し, 被害が広範囲かつ強度になる恐れがある。

排水路整備によるリスク低減策案.

当該地区の水害リスクを低減するために, 排水路の物理的な整備対策を検討した。氾濫時の最大水位を下げるためには, J-K 間からの流出量を増やすか流入量を減らす必要がある。流出量は点 K の水路トンネルの断面積と芋川の水位に依存するが, 水路断面積を大きくしても芋川の水位が高ければ流速が上がらないため効果は期待できない。そのため流入量を減らす対策を考案する必要がある。

流入量を減らす方法としては, 圃場からの水を堰き止めて, 圃場に滞留させる方法が考えられる。J-K 間北側の圃場の排水は一本にまとめられて線路西側の点 J の近くに流入している。この合流点で水を堰き止めて流入量が 1/4 にできるとして, 2011 年のケースで計算すると, 最高水位は約 4.5 m となり, 過去実績の 4.64 m よりは改善するが, 効果は十分ではない。一方, 線路東側から点 J の水路トンネルを通して流入する水の量を 1/4 に抑制した場合は, 最高水位が約 3.9 m になり, 住宅への浸水が始まる 4.3 m を下回ることから, 有効な対策となる可能性がある。

流入量を抑制する具体的方法としては, ①水路トンネル入口側にゲートを設ける, ②線路沿いに子吉川に向けて約 500 m の排水路を設けて子吉川に直接排水するルートを作る, などが考えられる。①の場合はもちろん, ②の場合でも子吉川の水位が上がって排水できない場合には, 線路東側の圃場は冠水するが, 水稲の場合は上述のように水深による被害率あまり変わらないことから, 住宅地よりも水深の増加に対して総合的な経済的被害は大きくならない。水難事故による人的被害の可能性も考慮すると, 線

路東側の圃場を一時的な貯水池として機能させることが総合的にリスクを小さくできると考えられた。また、上述のように排水路法面の浸食が進んでいるため、法面の整備も必要と考えられる。崩落により水路が埋まり排水ができなくなると、上記の予測を大きく上回る被害が生じる可能性がある。

洪水時の避難方法.

内水氾濫が生じたときに人的被害のリスクを低減するには、外出せずに垂直避難をすること、水路近くの道路は通らないことが挙げられる。当該箇所の洪水は、雨が止むと速やかに解消するうえ、家屋内の浸水水位は1 mを超えないと予想されるため、避難所（国道105号線の対面にある南内越公民館）を目指すよりも自宅で待機して様子を見るのが望ましい。2011年と同様なケースでも道路上では50 cm以上の冠水が生じることから、通行を試みて水難事故に至るリスクの方が大きいことに留意が必要である。可能であれば水路近くの道路は、日常的に通学路や避難路として使わないように取り決め、あまり通らないことを習慣化しておく、誤って事故に遭う機会を減らすことができると考えられる。

対策の実現にむけて.

排水路整備などの対策を進めるにあたり、一番の障害は費用を誰が負担するかの問題である。この排水路は、農業排水だけでなく、生活排水や雨水の排水路として、重要な公共インフラとして役割を果たしている。予想される被害の多くは、個人の財産であるため、対策による受益者が費用負担を按分すべきとする考え方もできるが、公共物が原因で被害が及ぶ、あるいは市民の生命や健康に危害が及ぶということになれば、公的な費用負担も理解が得られると思われる。対策によって被害のリスクが大きくなる農家には、災害時の補償の手立てについても同時に決められると良い。

いずれにしても、行政、浸水被害が予想される住民、排水路の管理者、さらには土地の開発業者や工事業者などの関係者を集めた情報共有を行い、有効な対策を検討されることが望まれる。対策実施の判断には、対策費用と予想される被害額の比較が重要になる。起こっていない被害額の評価は不確実性が大きいために理解が難しいが、上述のようなリスク

の評価は全体像の把握に役立ち、話し合いの基礎になる有用な情報になると考えられる。また、同様の洪水は市内の他の場所でも様々な規模で生じる可能性があり、行政が対応する場合にはそれらとの比較や優先順位づけも重要である。

おわりに

本研究と同様な内水氾濫の問題は全国に存在している。国や市町村は網羅的な解析を行って、ハザードマップとして危険箇所が可視化できるように対策を進めている。由利本荘市でもWEBハザードマップが公開されており、水深が色分けされた地図を見ることができる。当該地域も排水路の周辺の水深が大きくなる可能性が示されており、エンドポイントの想定や同程度の浸水が生じる場所が他にどこにあるかを比較できるようになっている。しかし、降水量と水深の関係、発生頻度や被害額の予測などのリスク情報は、ハザードマップからは得がたい。

被害の大きさとその発生確率を評価したり、金額を算出したりする個別のリスク評価の結果は、洪水による被害の低減に寄与するだけでなく、水害リスクが大きい土地の開発を規制するような、より大きな視座で安全なまちづくりにつながる施策の実現にも資すると考えられる。本研究は排水路近くの居住者からの情報提供を契機に大学の地域貢献を兼ねて取り組んだ研究の成果として個別のリスク評価の結果を示したが、このようなリスク評価の手法や有効性が認知・活用され、リスク低減のための施策判断の一助につながれば幸いである。

文献・資料

- Kenichi Hasegawa, H. Yoshino, U. Yanagi, K. Azuma, H. Osawa, N. Kagi, N. Shinohara, A Hasegawa. (2015). Indoor environmental problems and health status in water-damaged homes due to tsunami disaster in Japan. *Building and Environment*, 93, 24-34.
- 気象庁. 過去の気象データ検索. <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>.
- 国土地理院. 電子国土 Web. <https://maps.gsi.go.jp>

国土交通省. (2020).「治水経済調査マニュアル (案) 」.

https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyoka/gaiyou/hyouka/r204/chisui.pdf.

椎葉充晴, 立川康人, 市川温. (2010).『例題で学ぶ水文学』. 森北出版株式会社.

由利本荘市. WEB ハザードマップ.

<https://www.city.yurihonjo.lg.jp/hzd/>

〔 令和 5 年 7 月 10 日 受付 〕
〔 令和 5 年 8 月 18 日 受理 〕

Flood Risk Assessment in Kawaguchi Area of Yurihonjo City Evaluations of Flood Damage and Countermeasures Using a Simulator for an Agricultural Canal

Nobuhiro Kanazawa¹, Kyoko Nihei², Ryo Yurikawa²

¹ *Department of Management Science and Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Former student of Department of Management Science and Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

In the agricultural drainage canals of Kawaguchi area in Yurihonjo City near the Honjo Campus at Akita Prefectural University, there is concern regarding the risk of flooding during heavy rainfall and regarding potential erosion of the slope of the drainage canal. A study was carried out to clarify the risk of flooding caused by the drainage canals and to assist in the design of a scheme to ameliorate this. A simulator was created to estimate the volume and depth retention of water during rainfall based on field surveys of the channel route, catchment areas, topography, and so on. The simulator showed that internal flooding was caused by a bottleneck in the canal tunnel under the city road of the west side of Route 105. During heavy rainfall, a flooding of more than 0.7 m can occur, even within the residential area. Countermeasures to reduce the inflow of water through the canal tunnel under the JR Uetsu Line would be an effective measure, and reinforcement of the canal slopes was also considered necessary. It is recommended that individuals stay indoors and prepare for vertical evacuation during flooding, and road use near the canal should not be used for school routes.

Keywords: Agricultural drainage canal, Yurihonjo, flood, Risk assessment, Simulation