

令和 7 年度応用水理研究部会 講 演 集



令和 7 年 11 月 29 日

つくば国際会議場

(公社) 農業農村工学会応用水理研究部会

参加される方へ

1. 本大会は技術者継続教育機構の認定プログラムに申請中です。CPD登録を希望される方は事前に研究部会事務局（kiri.hirohide391@naro.go.jp）まで、お申込みください。

講演される方へ

1. 発表時間は1課題当たり25分（講演18分、質疑7分）としてプログラムを組んでおります（タイムキーパーは事務局で準備いたします。タイムキーパーから「発表時間残り5分」、「発表時間終了」、「質疑時間終了」の案内をいたします）。
2. 講演予定の方は、発表セッションの開始時刻までに、会場にご入場いただきますようお願い致します。

令和7年度応用水理研究部会講演会プログラム

開始時刻	内容	講演者／座長	題目	ページ
9:00	開会挨拶			
	第1セッション	座長：宇波耕一		
9:10	発表課題1	○羽田野袈裟義・高木悟	オイラーの運動方程式の特性曲線法に基づく検討	1
9:35	発表課題2	○羽田野袈裟義	水撃作用の基礎式中の加速度項のオーダー比較について	3
10:00	発表課題3	○浪平 篤	側壁が階段状となる漸縮トランシジョンの適用可能性についての数値流体解析による検討	5
10:25	休憩			
	第2セッション	座長：前田滋哉		
10:45	発表課題4	○Yuka Matsutoku・Koichi Unami・Dia Zeidan	Ill-posedness of initial value problems for the one-dimensional shallow water equations (一次元浅水方程式に対する初期値問題の非適切性)	11
11:10	発表課題5	○東郷俊太郎・宇波耕一・藤原正幸	多孔質媒体方程式に対するモンテカルロ法	13
11:35	発表課題6	○Koichi Unami・Chafika Amel Aitemerar・Rachid Chaili・Osama Mohawesh	Applicability of non-local models to soil moisture dynamics in the vadose zone (不飽和帯における土壌水分動態に対する非局所モデルの適用可能性)	17
12:00	休憩			
	第3セッション	座長：木村匡臣		
13:15	発表課題7	○萩原大生・高橋悠斗・鈴木哲也	パイプラインの圧力波起源の管変形に着目した漏水の非破壊評価	19
13:40	発表課題8	○高橋悠斗・萩原大生・鈴木哲也	ウェーブレット変換を用いたリッジ検出に基づくパイプラインの漏水によるエネルギー損失の非接触検出	22
14:05	発表課題9	○中田 達・寺本法弘・下見広司	ゴム膜製起伏ゲートの水理特性の評価	25
14:30	発表課題10	○河野 賢・吉永育生・向井章恵	ナガエツルノゲイトウの成長速度及び環境要因に関するレビュー	28
14:55	国際会議報告	○鈴木哲也・浅田洋平・中田 達・金森拓也・萩原大生・柴野一真	国際会議 NDT-CE 2025 参加報告	32
15:20	閉会挨拶			

オイラーの運動方程式の特性曲線法に基づく検討

A study on Euler's equations of motion based on the method of characteristics

羽田野袈裟義¹・高木悟²

Kesayoshi HADANO¹・Satoru TAKAGI²

1. 序論

非粘性・非圧縮性流体の運動の基礎方程式であるオイラーの運動方程式は、流体粒子の加速度を左辺に、そして流体粒子への作用力（加速度の次元）を右辺に置いて表現される。これまでは殆ど顧みられることがなかったが、オイラーの運動方程式における加速度の表現は実は1階偏微分方程式の理論という特性曲線上の速度の時間変化率そのものである。

本稿では新たな数値計算結果を示すものではないが、基礎方程式の構造を数学的に見直すことで、その本質的理解を深めることを目的とする。

2. オイラーの運動方程式

x, y, z の3次元空間内の流体運動に関するオイラーの運動方程式は、デカルト座標系で次の形で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + g_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + g_y \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + g_z \quad (3)$$

ここで、 t は時間、 u, v, w はそれぞれ速度の x, y, z 方向成分、 ρ は流体の質量密度、 p は圧力、 g_x, g_y, g_z はそれぞれ重力加速度の x, y, z 方向成分である。

ここで、式(1)～(3)を1階偏微分方程式の基本式の基礎理論に照合して検討することを考える。

3. ラグランジュの偏微分方程式¹⁾

n 変数関数 $u(x_1, x_2, \dots, x_n)$ に関する次の1階偏微分方程式を、“一般化されたラグランジュの偏微分方程式” という。

$$f_1 \frac{\partial u}{\partial x_1} + f_2 \frac{\partial u}{\partial x_2} + \dots + f_n \frac{\partial u}{\partial x_n} = F \quad (4)$$

ここで、 f_1, f_2, \dots, f_n および F はすべて x_1, x_2, \dots, x_n および u の関数とする。この式は、次の特性方程式

$$\frac{dx_1}{f_1} = \frac{dx_2}{f_2} = \dots = \frac{dx_n}{f_n} = \frac{du}{F} \quad (5)$$

を解いて n 個の独立な解

$$\varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_n, u) = C_1$$

$$\varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_n, u) = C_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\varphi_n(x_1, x_2, \dots, x_n, u) = C_n$$

（ここで、 C_1, C_2, \dots, C_n は任意定数）を求めた後、次のような一般解を与えられる。

$$\psi(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n) = 0 \quad (6)$$

ここで、 ψ は任意関数である。

4. オイラーの運動方程式への適用

オイラーの運動方程式への適用のため、 $n = 4$ の場合を考えると、式(4)は次式となる。

$$f_1 \frac{\partial u}{\partial x_1} + f_2 \frac{\partial u}{\partial x_2} + f_3 \frac{\partial u}{\partial x_3} + f_4 \frac{\partial u}{\partial x_4} = F \quad (7)$$

ここで、 f_1, f_2, f_3, f_4 および F はすべて x_1, x_2, x_3, x_4 および u の関数とする。式(7)の特性方程式は式(5)より次式で与えられる。

$$\frac{dx_1}{f_1} = \frac{dx_2}{f_2} = \frac{dx_3}{f_3} = \frac{dx_4}{f_4} = \frac{du}{F} \quad (8)$$

1: 第一復建（株） Civil Engineering Consultant. Daiichi Fukken, 2: 早稲田大学 Waseda University

キーワード オイラーの運動方程式, 特性曲線法

ゆえに、オイラーの運動方程式の x 方向成分の式(式(1)) の特性方程式は、 $x_1 = t, x_2 = x, x_3 = y, x_4 = z; f_1 = 1, f_2 = u, f_3 = v, f_4 = w;$
 $F = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + g_x$ と置いて次式で与えられる。

$$\frac{dt}{1} = \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} = \frac{du}{-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x} \quad (9)$$

この式は、 $\frac{dt}{1} = \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$ と連立して次式が成立することを意味する。

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + g_x \quad (10)$$

すなわち流跡線 $\frac{dt}{1} = \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$ という特性曲線上で式(10)が成立することになる。このことは、水理現象として、式(10)の左辺(=右辺)が速度 $dx/dt = u, dy/dt = v, dz/dt = w$ で移動する流体粒子の加速度の x 方向成分を与えることを意味する。

上と同様の取扱いが y, z 方向の成分の式(式(2), (3)) に適用され、特性方程式がそれぞれ次式

$$\frac{dt}{1} = \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} = \frac{dv}{-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y} \quad (11)$$

$$\frac{dt}{1} = \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} = \frac{dw}{-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g_z} \quad (12)$$

で与えられ、特性曲線 $\frac{dt}{1} = \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$ 上で成立する関係式がそれぞれ次式のように表記される。

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + g_y \quad (13)$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + g_z \quad (14)$$

これらの式の左辺(=右辺)が速度 $dx/dt = u, dy/dt = v, dz/dt = w$ で移動する流体粒子の加速度の y, z 方向成分を与えることは、式(10)の左辺(=右辺)が流体粒子の加速度の x 方向成分を与えることと同じ事情である。

5. 結語

以上、オイラーの運動方程式をラグランジュの偏微分方程式の理論に基づいて分析する

ことにより、流跡線が特性曲線の1つの例であることを明らかにすると共に、式(10), (13)および(14)の左辺(=右辺)が流跡線という特性曲線上で与えられる流体粒子の加速度の x, y, z 方向成分を与えることを示した。本稿が流体力学の基礎式の理解を深める材料となれば幸いである。

参考文献：

- 1) 馬場敬之：偏微分方程式 改定6 キャンパス・ゼミ，p.55，マセマ，2024.

水撃作用の基礎式中の加速度項のオーダー比較について On the Order Comparison of Acceleration Terms in the Basic Equation of Water Hammer

羽田野 袈裟義¹
Kesayoshi HADANO¹

1. 序論

水理学のテキストに現れる方程式の取扱いの中には、数学や一般力学のテキストの書きぶりに比べて粗い記述と感じられることがいくつかある。水撃作用の基礎方程式を導くプロセスにおける加速度項のオーダー比較の記述はその一例である。本稿では、この問題について著者が知る範囲で最もよく整理されていると認識される著書¹⁾の記述を示してその問題点を指摘すると共に、より論理的な加速度項のオーダー比較を試みる。

2. 既往書籍の記述

日野¹⁾は、他の水理学の文献と同様に、水撃作用が管路流の急遮断や急解放により管内に発生した圧力波が音速に等しい波速 c で管内を往復伝播する現象であることを説明した上で、基礎方程式を次のように導出している。以下、記述の都合上、表現の細かな部分を多少変形して示す。

水撃圧の特徴の理解のため、条件を単純化して話を進める。慣用記号を用いてピエゾ水頭を $h = z + p/\rho g$ と表記し、管路流の水頭損失を無視する。運動方程式の非線形慣性項 $v\partial v/\partial x$ は局所加速度項 $\partial v/\partial t$ に比べて無視しうる。その理由は次のようである。管路末端の急閉塞により流れの中を微小な圧力波 $\delta p = \rho g \delta h$ が x の負方向に波速 c で伝播しているとすると、この圧力波の伝播状況の空間的表現は図1(a)のようである。またある特定の位置における圧力の時間的

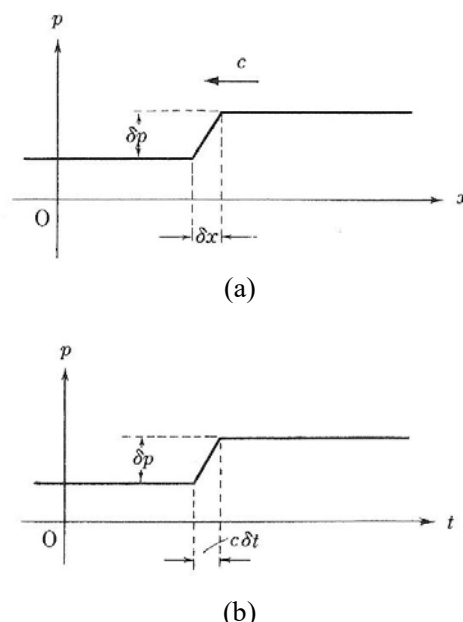


図1 圧力勾配の模式図¹⁾

変化は図1(b)のようである。圧力変化が生じている区間は、空間的には δx であり、時間的には $\delta t = \delta x/c$ である。(この表現から図1(b)中の「 $c\delta x$ 」は誤記と思われる。) したがって、運動方程式の加速度項は、

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{c} \frac{\partial v}{\partial t} = \left(1 + \frac{v}{c}\right) \frac{\partial v}{\partial t} \quad (1)$$

となる。水撃作用の場合には $v \ll c$ であるから上の式は次のようになる。

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2)$$

上の記述におけるオーダー比較は論理性の欠如が否めない。第一に、水撃作用における管内

1: 第一復建(株) Civil Engineering Consultant. Daiichi Fukken

キーワード 水撃作用, 加速度項の比較, 流速変動, 波動伝播

の圧力変動を基に加速度項のオーダー比較が行われている，すなわちこのオーダー比較に圧力変動の微係数の見積もりが用いられていることである．結果の式が現象を表現しうるとしても，導出プロセスが間接的すぎると認識される．図2に示すように，流速変動と圧力変動の位相が異なる事情があり，その意味でも基礎式の導出のプロセスのより高い論理性が確保されるべきと考える．第二に，圧力変動の大きい区間だけを取り出して検討された結果がそのままそれ以外の区間に適用されていることである．

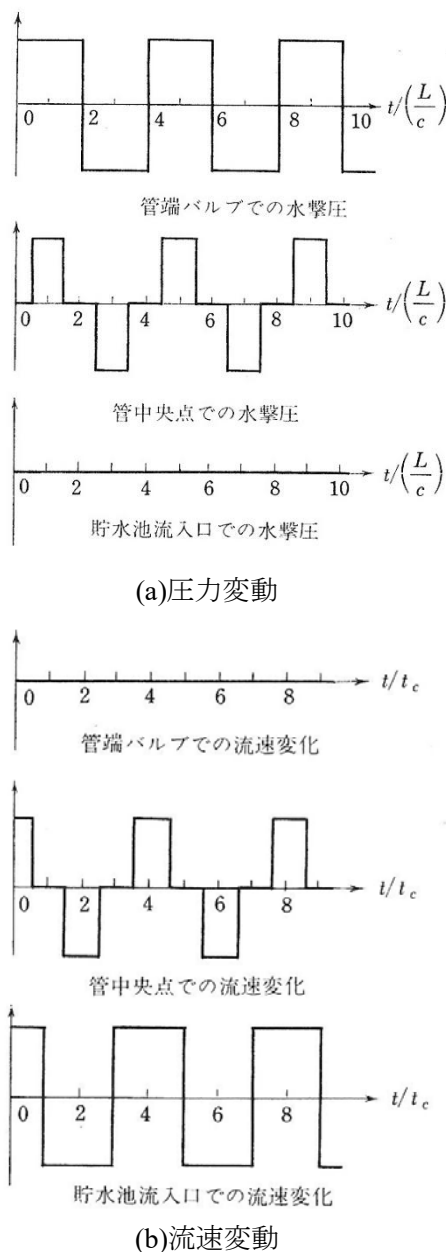


図2 圧力変動と流速変動の伝播状況¹⁾

3. 波動的流速変動を基にした検討

上の例でみたように，既往の書籍における水撃作用の加速度項のオーダー比較は，水撃作用は圧力変動と流速変動が管内を音速で行き交う現象であることを既知として行なわれている．

本稿では，水撃作用は流速変動が管内を音速 c で行き交う波動現象であるという事実を基にして取り扱う．すなわち，このことから $v = f(x + ct)$ と書ける．このとき $x + ct = \alpha$ と置くと，管内流速の実質微分は次式で表記される．

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{df}{d\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{df}{d\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial x} = c \frac{df}{d\alpha} + v \frac{df}{d\alpha}$$

既往の諸文献と同様，この現象では $v \ll c$ と考えて良いから，上式中の第二項は第一項に比べて無視しうる．ゆえに水撃作用の運動方程式の加速度項は次式で近似することができる．

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (4)$$

これは式(2)と同一である．しかし，式(4)の導出プロセスは式(2)の導出プロセスと比べてより論理的といえる．

4. 結語

以上，水撃作用の運動方程式の加速度項のオーダー比較を，この現象が管内流速の変動の波動伝播（音速）の現象であるという事実を基に行なった．本稿は，数値計算により新たな知見を示すものではないが，従来に比べて加速度のオーダー比較の論理性を高めており，水理学の基礎の定着をもたらすものと認識する．

参考文献：

- 1) 日野幹雄：明解水理学，pp.227-235，朝倉書店，1983．

側壁が階段状となる漸縮トランジションの適用可能性についての数値流体解析による検討

浪平 篤

農研機構農村工学研究部門 施設工学研究領域（〒305-8609 つくば市観音台 2-1-6）

Key Words: transition, head loss, VOF method, non-linear $k-\varepsilon$ model

1. 結論

農林水産省では、工事現場における技能者不足等の課題への対応として、生産性の向上、工期短縮、安全性の向上等のためプレキャスト（以下、PCa）コンクリート製品の導入を促進している¹⁾。

しかしながら、地形や水利用計画等の各現場の条件の影響を大きく受けるためにPCaの規格化が相対的に難しく、現状では現場打ち施工とせざるを得ない場合が多い構造物も少なくないと考えられる。トランジションはその一つと考えられる。トランジションとは開水路または暗渠の漸縮・漸拡であり、サイホンのうち開水路から暗渠等への移行部²⁾、背割り分水工の取付水路³⁾、ため池の正面越流型の洪水吐のうち調整部から放水路への移行部³⁾等でも適用されている。

本研究では、将来的なPCa化の一環として、幅の異なる既存のU字フリューム等の組合せによって開水路の漸縮トランジションを構成した場合を想定し、側壁を階段状とした場合について、通水障害を起こさないか、過度な偏流を生じさせないか等の現場への適用可能性の検討を数値流体解析により行う。

2. 数値解析の方法

(1) 解析モデル

解析モデルは原型に対して 1/4 の縮尺の想定で、トランジションの上流側では長さ 1.5m、幅 0.50m の矩形断面、下流側では長さ 3.0m、幅 0.25m の矩形断面とした。トランジションの平面的な形状として水路中心線と側壁のなす角度については、損失係数が確認されている 12.5° ²⁾ とし、トランジションの長さはこの角度に基づいて設定した。水路およびトランジションの底勾配は 1/500 で一定とした。

解析モデルは三次元一般座標系において作成した。物理空間における密格子区間、粗格子区間それぞれの格子幅は、流下方向（x 軸）方向では 0.01 m、0.05 m、横断方

向（y 軸）方向では 0.005 m、0.010 m、鉛直方向（z 軸）方向では 0.005 m で一定とした。粗密格子移行区間では 1 次元補間関数⁴⁾による格子形成を行った。

通常の側壁が直線状のトランジション（以下、直線状トランジション）の解析モデルの平面図を図-1 に、側壁が階段状のトランジション（以下、階段状トランジション）の解析モデルの平面図を図-2 に示す。階段状トランジションでは、階段の頂部を結んだ直線が直線状トランジションと合致するように作成しており、トランジションおよび下流側の水路の側壁は流体が通過できない構造物となる格子によって表現した。

(2) 基礎式・離散化の方法・解析アルゴリズム

流れの基礎式には、時間平均流れを効率よく得るため、レイノルズ平均が施された三次元一般座標系の連続式と Navier-Stokes 方程式を用い、乱流モデルには非線形 $k-\varepsilon$ モデル⁵⁾を適用した。自由水面の変動は VOF 法⁶⁾によって表現した。基礎式における各変数はコロケート配置し⁷⁾、基礎式は有限差分法により離散化した。時間差分スキームは 2 次精度 Runge-Kutta 法、空間差分スキームは 2 次精度中心差分とした。但し、Navier-Stokes 方程式および k, ε の輸送方程式の対流項には TVD-MUSCL 法⁸⁾を、VOF 法における VOF 関数 F の移流方程式の離散化には donor-acceptor 法⁹⁾をそれぞれ用いた。圧力場と連続式のカップリング手法には部分段階法⁷⁾を適用し、前処理付 Bi-CGStab 法⁹⁾によって圧力方程式を解いた。

(3) 解析の条件

壁面との境界条件には、粗度係数から推定した相当粗度高さを用いた粗面の対数則¹⁰⁾を適用した。粗度係数には、1/4 の縮尺を想定していることと、今後、水理模型実験を行う際の比較を容易とすることに基づき、耐水ペンキ塗装が施された木材やアクリルの値とされることの多い $0.01 \text{ s/m}^{1/3}$ を与えた。上流端の境界条件として、流量を $0.016 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。下流端の境界条件として、トランジションの下流側の水路では等流に近い状態となるよう、

下流端に堰を設置してその高さを調整した。堰の下流では自由流出とした。

3. 解析結果と考察

(1) 直線状トランジションにおける流況

直線状トランジションの中央縦断面における水位の解析値を、水理設計による水位と比較した結果が図-3である。トランジションによる水位差については、漸縮係数 0.10^2 を用いて算出した。本図より、粗度係数 $0.01\text{ s/m}^{1/3}$ から推定した相当粗度高さを用いた粗面の対数則と下流端の堰による調整では、下流側の水路を等流に近い状態に十分に制御できておらず、壁面の境界条件の与え方と下流端の堰の調整については今後の課題である。しかし、トランジションによる水位差については概ね再現できていると考えられることから、本研究による数値解析の方法に基づく解析と検討を継続することとする。

直線状トランジションにおける水位分布の解析値を図-4に、水深平均流速ベクトルを図-5に示す。これらの図より、偏流が生じることなくスムーズにトランジションを流下していることが確認される。

(2) 階段状トランジションにおける流況

階段状トランジションの中央縦断面における水位の解析値を前述の図-3に示す。トランジションの下流側の水路を等流に近い状態に十分に制御できていないため十分な比較はできないものの、本図より、直線状トランジションと比較して、階段状トランジションの下流側では水面変動が生じており、下流側の水路では全体的に水位が低下する一方で、トランジションによる水位差については大きな違いは生じていないことが確認される。

階段状トランジションにおける水位分布の解析値を図-6に、水深平均流速ベクトルを図-7に示す。これらの図より、外側に凸となる角の直上流では死水域となって水位が局所的に上昇しており、また、トランジションの下流端にあたる内側に凸となる角の直下流では局所的に水位が低下しているものの、過度な偏流は生じずにトランジションを流下していると考えられる。

図-7で確認された局所的な水位の低下は剥離の影響と考えられるため、階段状トランジションの下流端の角のみを円形とした場合の解析モデルを図-8のように作成し、同様の解析を行った。このときの解析値を図-3、図-9、図-10に示す。トランジションの下流側の水路を等流に近い状態に十分に制御できていないため十分な比較はできないものの、図-3より、トランジションの下流側の水面変動がやや緩和されていることが確認できる。また図-9、図-10より、トランジションの下流端の角の直下流における剥離による局所的な水位低下が低減されて

いることが確認できる。また、過度な偏流は生じずにトランジションを流下していると考えられる。

これらの結果から、若干コストが上昇したとしても下流端のみ角を円形とした部材を用いることで、側壁を階段状としたトランジションは、直線状トランジションと比較して性能を大きく低下させることなく、現場に適用できる可能性があると考えられる。

4. 結論

本研究では、将来的なPCa化を想定して、開水路の漸縮トランジションの側壁を階段状とした場合に、通水阻害を起こさないか、過度な偏流を生じさせないか等の現場への適用可能性について、非線形 $k-\epsilon$ モデルとVOF法を用いた数値流体解析により検討を行った。その結果、剥離による局所的な水位低下の主要な要因と考えられる下流端の角のみを円形とすることで、直線状トランジションと比較して性能を大きく低下させることなく、現場に適用できる可能性があることが確認された。しかし本研究ではトランジションの下流側の水路を等流に近い状態に十分に制御できていないため、今後はこの課題を解消した上で再検討する必要がある。さらに、実際に現場に適用するためには、水理模型実験による検証が必要である。

REFERENCES

- 1) 農林水産省：コンクリート構造物におけるプレキャストコンクリート製品の導入促進について、一部改正 7 農 振 第 3 号，2025，<<https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/attach/pdf/index-242.pdf>>，(2025.11.8 確認)。
- 2) 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」，農業農村工学会，pp.218-221，pp.499-514，pp.672-673，2015。
- 3) 農林水産省農村振興局整備部：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業農村工学会，p.73，2015。
- 4) 数値流体力学編集委員会：格子形成法とコンピュータグラフィックス，東京大学出版会，pp.20-21，1995。
- 5) 西島勝一：非線形渦粘性表現に基づく $k-\epsilon$ モデル（第1報：溝乱流，一様せん断乱流の数値解析への適用），生産研究，50(1)，pp.15-18，1998。
- 6) Hirt, C.W. and Nichols, B.D.: Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries, Journal of computational physics, Vol.39, pp.201-225, 1981。
- 7) 梶島岳夫：乱流の数値シミュレーション，養賢堂，pp.55-56，118-122，169-170，1999。
- 8) 藤井孝蔵：流体力学の数値計算法，東京大学出版会，pp.72-76，1994。
- 9) 小国力：行列計算ソフトウェア，丸善，p.196，1991。
- 10) 池田駿介：詳述水理学，技報堂出版，pp.250-251，1999。

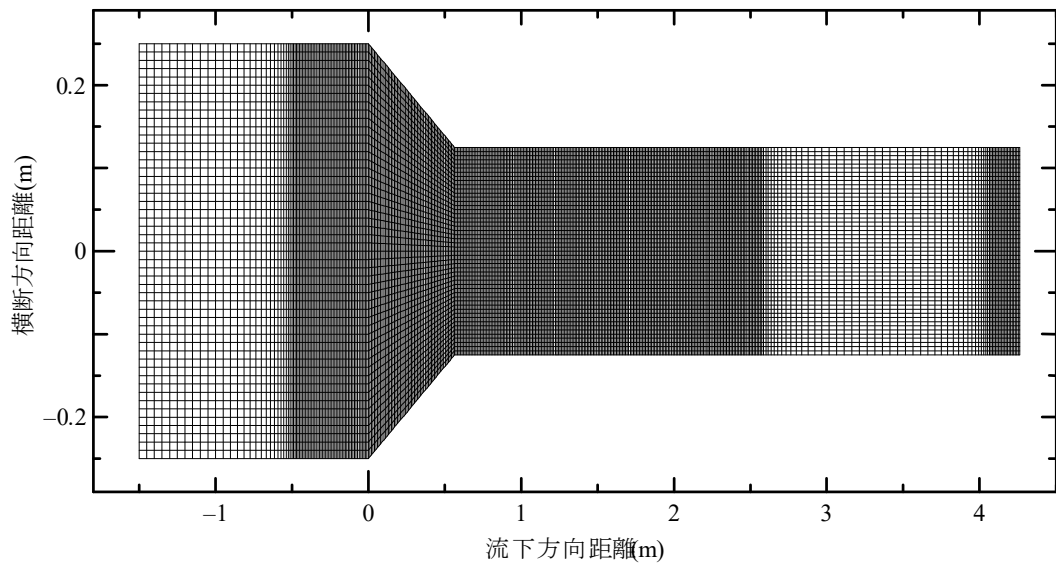
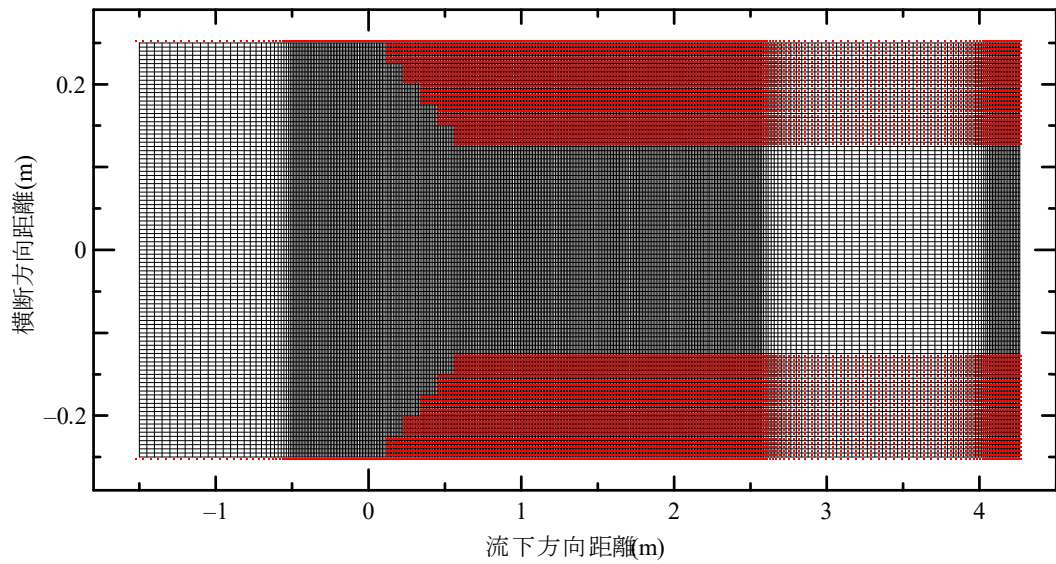


図-1 直線状トランジションの解析モデルの平面図



・ 構造物となる格子

図-2 階段状トランジションの解析モデルの平面図

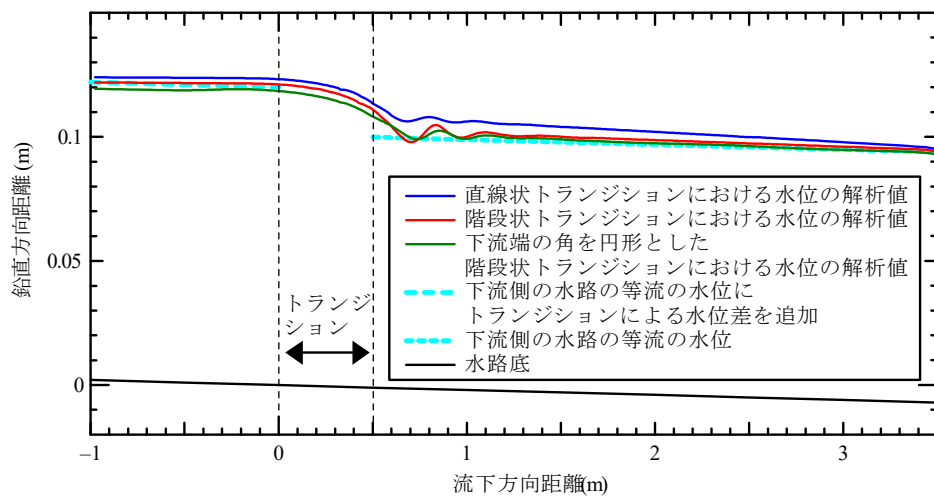


図-3 中央縦断面における水位の解析値

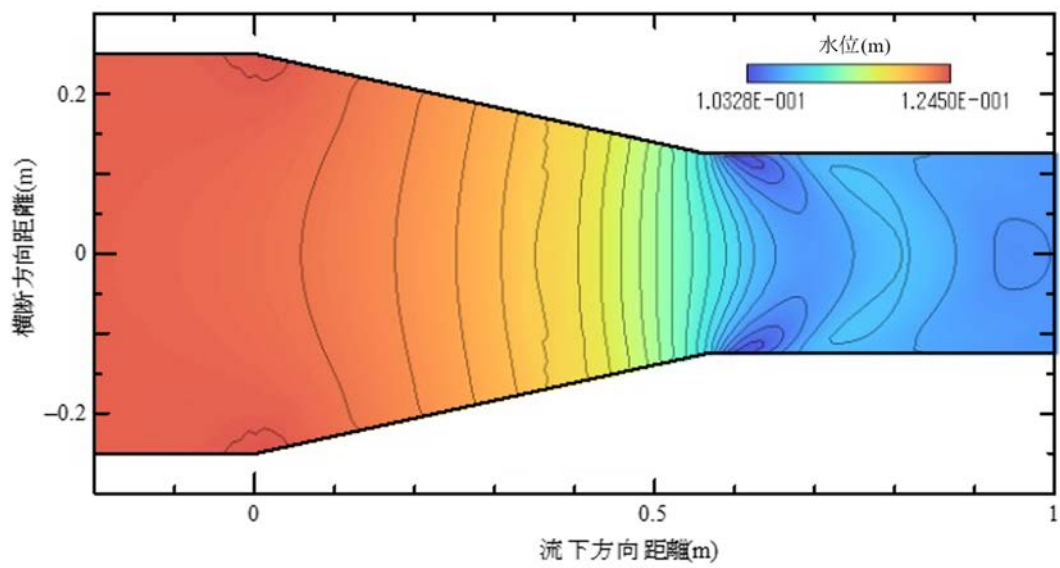


図-4 直線状トランジションの水位分布の解析値

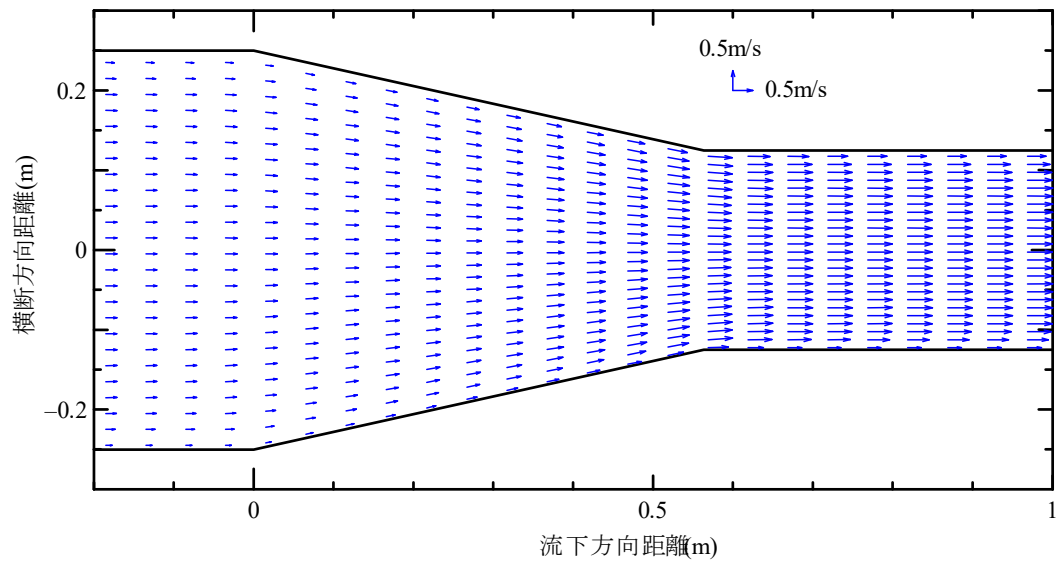


図-5 直線状トランジションの水深平均流速ベクトルの解析値

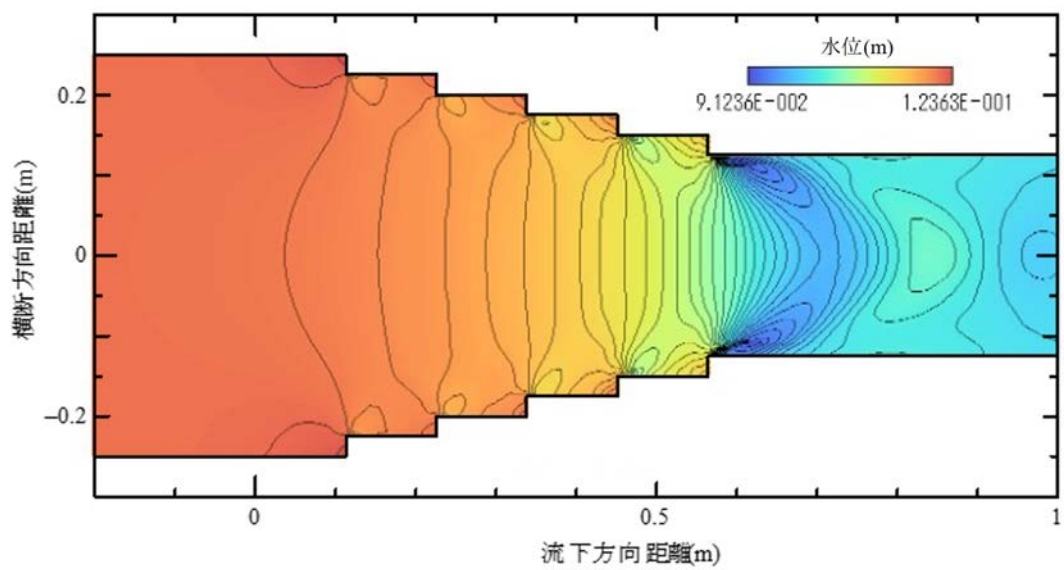


図-6 階段状トランジションの水位分布の解析値

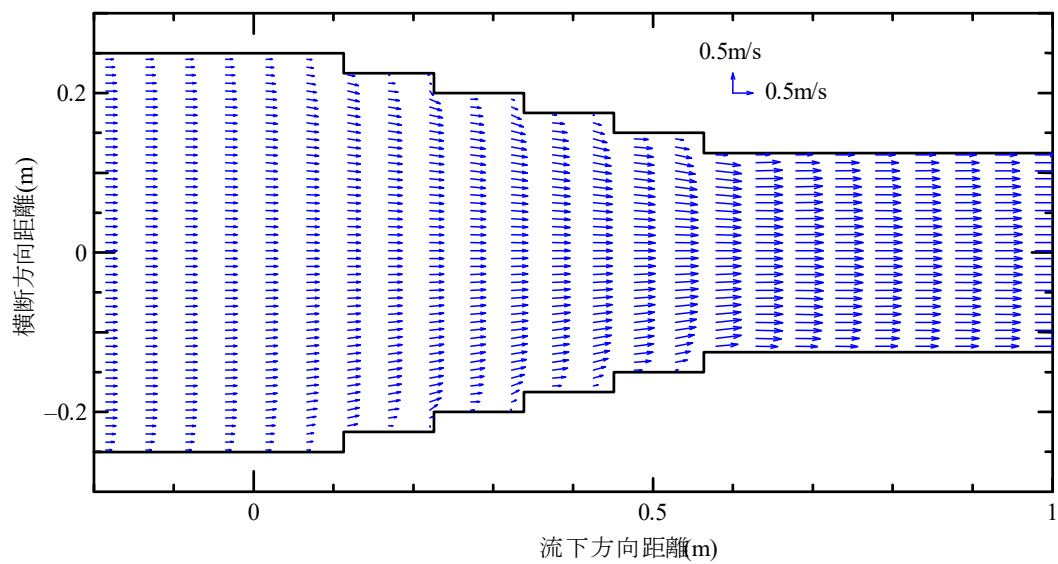


図-7 階段状トランジションの水深平均流速ベクトルの解析値

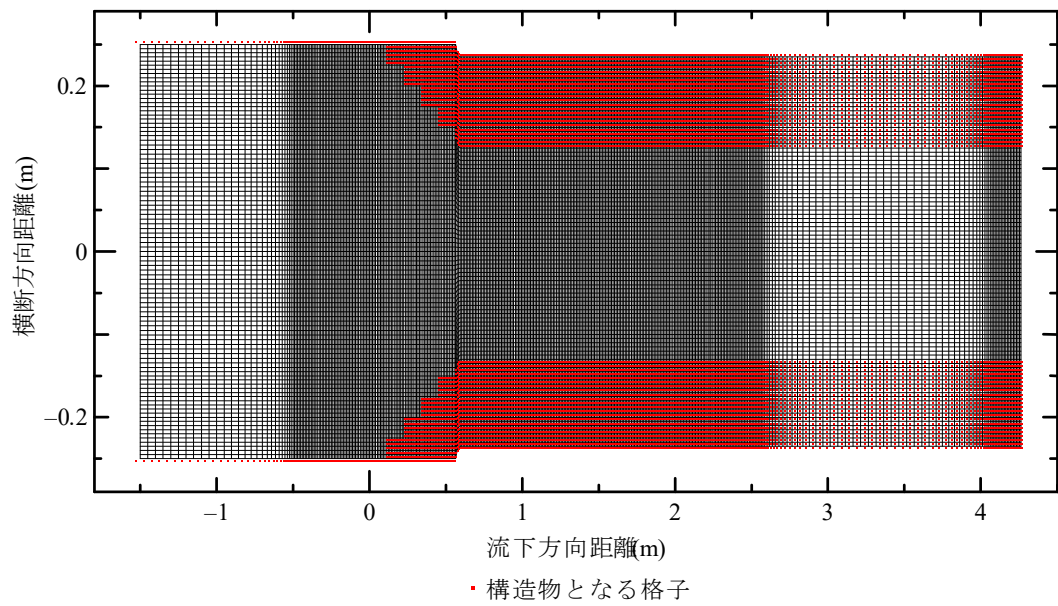


図-8 下流端の角を円形とした階段状トランジションの解析モデルの平面図

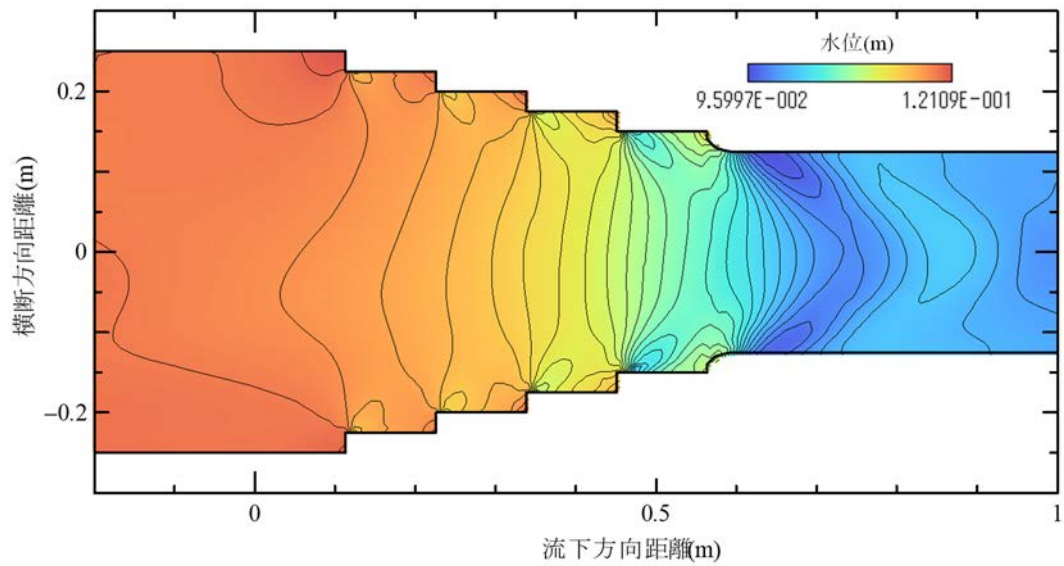


図-9 下流端の角を円形とした階段状トランジションの水位分布の解析値

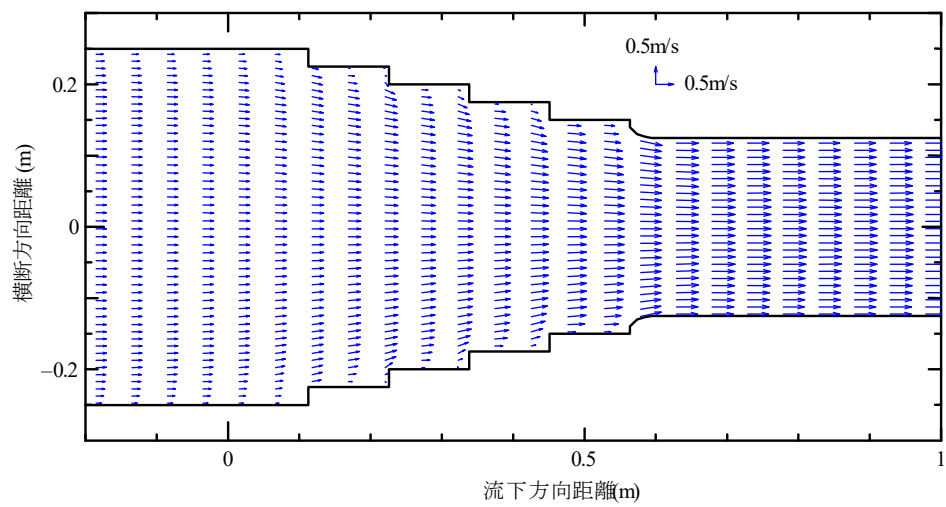


図-10 下流端の角を円形とした階段状トランジションの水深平均流速ベクトルの解析値

Ill-posedness of initial value problems for the one-dimensional shallow water equations (一次元浅水方程式に対する初期値問題の非適切性)

○Yuka Matsutoku¹, Koichi Unami², Dia Zeidan³

¹Faculty of Agriculture, Kyoto University, Japan

²Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Japan

³School of Computing, German Jordanian University, Jordan

1 Introduction

The notion of well-posedness is the premise in analysing partial differential equations. A well-posed problem implies a) existence, b) uniqueness, and c) continuously dependency on the given data, or stability, of its solution (Evans, 2010). The shallow water equations (SWEs) represent the conservation laws of mass and momentum governing open channel flows. Despite widespread use of the SWEs in hydraulic engineering, their well-posedness issues have received comparatively limited attention. This study critically explores Cauchy problems for the one-dimensional (1-D) SWEs, including initial value problems with periodic boundary conditions. Particular attention is given to roll waves, whose existence as a solution to the 1-D SWEs, and as real-world phenomena, was confirmed by Dressler (1949). Based on numerical experiments using the discretization scheme developed by Unami and Alam (2012), we conjecture that when the initial data is given by the trivial uniform flow, the Cauchy problem becomes ill-posed due to a loss of stability.

2 Materials and methods

For the sake of simplicity, we focus on the cases of prismatic channels of a broad rectangular cross-section. The 1-D SWEs are a system of two partial differential equations in time t and space x with unknown variables h , the water depth, and q , the unit width flow rate. The conservative form of the 1-D SWEs for the unknown vector $\mathbf{u} = (h, q)^T$, the flux $\mathbf{f} = \mathbf{f}(\mathbf{u}) = (q, M(\mathbf{u}))^T$, and the source term $\mathbf{S} = \mathbf{S}(\mathbf{u})$ is written as

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{u})}{\partial x} = \mathbf{S}(\mathbf{u}) = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_0 - S_f(\mathbf{u})) \end{pmatrix} \quad (1)$$

where $M(\mathbf{u}) = q^2/h + gh^2/2$ is the unit width specific force, g is the acceleration due to gravity, S_0 is the channel bed slope, and $S_f(\mathbf{u})$ is the friction slope given as

$$S_f(\mathbf{u}) = \frac{n^2 V |V|}{h^{2p}} = \frac{n^2 q |q|}{h^{2p+2}} \quad (2)$$

where $V = q/h$ is the cross-sectional average velocity, and n and p are the Manning's roughness coefficient and exponent, respectively.

Given that our principal interest concerns solutions to (1) involving discontinuities, such as including hydraulic jumps, surges, and bores, we have to proceed within the theory of weak entropy solutions, originally developed by Kružkov (1970), which primarily dealt with scalar equations. Since the system (1) governs the unknown vector \mathbf{u} , an additional conservation law, following Friedrichs and Lax (1971), is derived as an entropy inequality

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{V}{g} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V^2}{2g} + h \right) \leq S_0 - S_f \quad (3)$$

where equality holds when \mathbf{u} is smooth, ensuring the validity of Bernoulli's principle.

3 Results

We consider the Cauchy problem firstly in the framework of Amadori et al. (2002); the initial value \mathbf{u}_0 is specified as the given data

$$\mathbf{u}|_{t=0} = \mathbf{u}_0 \in \mathbf{L}^1 \cap \mathbf{BV}(\mathbb{R}; \mathbb{R}^2) \quad (4)$$

where \mathbf{L}^1 represents the space of measurable functions, and \mathbf{BV} represents the space of functions of bounded variation. The characteristic speeds of (1) are $V \pm \sqrt{gh}$, which are real and distinct as long as $h > 0$, implying the non-resonance condition and the strict hyperbolicity. However, the Caratheodory-type condition (P₃) in Amadori et al. (2002) is violated due to the singularity of the friction slope $S_f(\mathbf{u})$ when $h \rightarrow 0$, and their well-posedness result fails.

However, it is already known that there exist uniform flow solutions $\mathbf{u}_u = (h_u, q_u)^T$ such that $S_f(\mathbf{u}_u) = S_0$, as well as roll waves solutions (Unami et al., 2024). A uniform flow solution is a constant \mathbf{u} , which has zero total variation. A roll wave solution is a weak entropy solution \mathbf{u} in $\mathbf{BV}_{\text{loc}}(\mathbb{R}; \mathbb{R}^2)$, consisting of a series of waves that propagate with a constant celerity $\omega \neq V \pm \sqrt{gh}$, do not deform, have positive total variation, and satisfy a set of ordinary differential equations

$$\frac{d}{d\xi} \begin{pmatrix} h \\ q \end{pmatrix} = \mathbf{F}(\mathbf{u}) = -\frac{gh(S_0 - S_f)}{(V - \omega)^2 - gh} \begin{pmatrix} 1 \\ \omega \end{pmatrix} \quad (5)$$

along the line $\xi = x - \omega t$ except at discontinuities, where the Rankine-Hugoniot condition

$$\omega = V_L \pm \sqrt{g \frac{h_L + h_R}{2} \frac{h_R}{h_L}} = V_R \pm \sqrt{g \frac{h_L + h_R}{2} \frac{h_L}{h_R}} \quad (6)$$

holds. Here, the subscripts L and R represent the values of the variables h and V on the left side and the right side of the discontinuity. A necessary condition for the non-uniqueness was established for steady flows with hydraulic jumps (Mean et al., 2022), but it does not extend to unsteady cases. Though there can be infinitely many solutions to the system (5) with (6), it is likely that the solution to Cauchy problem for the system (1) through (4) is unique.

Now, we focus on the continuous dependency on the initial data, or the stability. The Jacobian matrix $\partial \mathbf{F} / \partial \mathbf{u}$ for (5) has two eigenvalues $\lambda = 0$ and

$$\lambda = -3(V - \omega)^2 (S_0 - S_f) - 2 \left(p + 1 - \frac{\omega}{V} \right) \left((V - \omega)^2 - gh \right) S_f \quad (7)$$

which may take any real number, implying that a roll wave solution can be semi-stable. Numerical experiments were conducted for different cases of initial data

$$\mathbf{u}_0 = \mathbf{u}_u + \begin{pmatrix} 0 \\ \varepsilon \sin \frac{2\pi kx}{L} q_u \end{pmatrix} \quad (8)$$

where ε is a real number, k is an integer, and a periodic boundary condition with a period L is imposed. For a sufficiently large $S_0 = 0.1$, a uniform flow solution \mathbf{u}_u ($\varepsilon = 0$) remains unchanged, while a small disturbance ($\varepsilon > 0$) evolves to a significant roll waves solution, implying the ill-posedness of continuous dependence on initial data in the BV topology.

4 Conclusions

The numerical results support the conjecture of ill-posedness. A rigorous mathematical proof is currently under development.

Acknowledgments

This study is partially based on discussions with the students who took the Laboratory Course in Hydraulics at the Faculty of Agriculture, Kyoto University, during the first semesters of the academic years 2024 and 2025. The authors acknowledge Grant-in-Aid for Scientific Research No.25K09329 from JSPS.

References

- Amadori, D., Gosse, L., & Guerra, G. (2002). Global BV entropy solutions and uniqueness for hyperbolic systems of balance laws. *Archive For Rational Mechanics And Analysis*, 162(4), 327-366.
- Dressler, R. F. (1949). Mathematical solution of the problem of roll-waves in inclined open channels. *Communications On Pure And Applied Mathematics*, 2, 149-194.
- Evans, L. C. (2010). *Partial Differential Equations*. American Mathematical Society.
- Friedrichs, K. O., & Lax, P. D. (1971). Systems of conservation equations with a convex extension. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 68(8), 1686-1688.
- Kruřkov, S. N. (1970). First order quasilinear equations in several independent variables. *Mathematics Of The Ussr-Sbornik*, 10(2), 217-242.
- Mean, S., Unami, K., Okamoto, H., & Fujihara, M. (2022). A thorough description of one-dimensional steady open channel flows using the notion of viscosity solution. *Applied Mathematics And Computation*, 415.
- Unami, K., & Alam, A. H. M. B. (2012). Concurrent use of finite element and finite volume methods for shallow water flows in locally 1-D channel networks. *International Journal For Numerical Methods In Fluids*, 69(2), 255-272.
- Unami, K., Zeidan, D., Saadeh, R., Batiha, I. M., Qazza, A., & Mohawesh, O. (2024). Roll waves revisited from a contemporary perspective. The 22nd International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2024), Heraklion.

多孔質媒体方程式に対するモンテカルロ法 Monte-Carlo methods for porous medium equations

○東郷俊太郎¹・宇波耕一¹・藤原正幸¹

TOGO Shuntaro, UNAMI Koichi, and FUJIHARA Masayuki

1. はじめに

土壌中の水分移動は、水の連続式にバッキンガム-ダルシー則を代入することで得られる、リチャーズ式によってモデル化される。リチャーズ式を閉じた形にするためには、van Genuchten 式や Brooks-Corey 式などの経験則を用いて、未知変数であるマトリックポテンシャルと体積含水率を一对一に関連付ける必要がある。その結果得られる偏微分方程式は非線型性が強く、数値計算手法に限っても様々な課題が提起されている[1]。一方、リチャーズ式を、多孔質媒体方程式に移流項としての重力項を加えたものとして整理すれば、初期値境界値問題が不連続を許容する意味において適切であり、退化性が浸潤面の有限速度伝播、特異性が有効飽和度の有界性（1 以下にとどまること）を、それぞれ規定していることが理解できる[2]。さらに、Yoshioka et al. [3]によって Fokker-Planck 方程式から導かれた拡散過程の輸送方程式とみなすことができる。本研究ではこれを利用し、拡散過程を粒子のランダムウォークとして離散化したモンテカルロ法[4]を用いて数値計算を実施する。なお、Beven and Germann [5]や Ewen [6]が指摘しているように、選択流や履歴依存性のような現象は時空間的な非局所性に起因すると考えられ、これらを時空間的局所モデルであるリチャーズ式で再現することは想定していない。

2. 問題設定と支配方程式

リチャーズ式を、移流項を加えた多孔質媒体方程式として書き直せば、

$$\frac{\partial(\theta_s - \theta_r)u}{\partial t} - \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} f(u) + \frac{\partial K(u)}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

となる。ここに、 u は有効飽和度、 θ_s , θ_r は飽和体積含水率、残存体積含水率であり、本研究では定数 0.43, 0.078 を仮定する。ポテンシャル f は、飽和透水係数 k_s を用い、

$$f(u) = k_s \frac{B(u; \beta + 1, 1 - \alpha)}{B(\beta + 1, 1 - \alpha)} = \frac{k_s}{B(\beta + 1, 1 - \alpha)} \int_0^u x^\beta (1 - x)^\alpha dx \quad (2)$$

で与える。ここに、 B は（不完全）ベータ関数であり、その定数パラメータ α , β にはそれぞれ 0.7, 1.7 を用いる。不飽和透水係数 K については、現在までに様々な経験的モデルが考案されているが[7]、ここでは Brooks-Corey 式

$$K(u) = k_s u^p \quad (3)$$

を採用する。ここに、 p は間隙サイズの分布を表すパラメータで、 $1/\alpha + \beta$ に等しい。

支配方程式(1)は、

¹ 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University
キーワード: 多孔質媒体方程式, モンテカルロ法, 土壌水分

$$\int_{-\infty}^{\infty} lu(z, t) dz = 1 \quad (4)$$

を満たすスケール変換定数 l を用いれば、遷移確率密度関数 $p = lu$ を持つ拡散過程の Fokker-Planck 方程式

$$\frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{1}{\theta_s - \theta_r} \frac{f(u)}{u} p \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\theta_s - \theta_r} \frac{K(u)}{u} p \right) = 0 \quad (5)$$

に変換される。このとき、(5)の第2項が拡散項、第3項がドリフト項となり、対応する確率微分方程式

$$dZ_t = \left(-\frac{1}{u(\theta_s - \theta_r)} K(u) \right) dt + \sqrt{\frac{2}{u(\theta_s - \theta_r)} f(u)} dB_t \quad (6)$$

を得る。ここに、 B_t は Brown 運動であり、 $B_t - B_s$ ($t > s$) は平均ゼロ、分散 $t - s$ の正規分布に従う。

3. 数値計算方法

Zehe and Germann [4]を参考にし、粒子のランダムウォークステップは以下の式で表す。

$$\frac{z(t + \Delta t) - z(t)}{\Delta t} = -\frac{1}{u(\theta_s - \theta_r)} K(u) + \eta(t) \sqrt{\frac{2}{u(\theta_s - \theta_r)} f(u)} \cdot \Delta t \quad (7)$$

ここで、 η は標準正規分布に従う確率変数である。数値計算は、区間 $(0,1)$ 上で実施し、初期条件として一様分布を適用した。また、(5)の Fokker-Planck 方程式における確率流束は、

$$J(z, t) := -\left(\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{u(\theta_s - \theta_r)} f(u) \right) + \frac{1}{u(\theta_s - \theta_r)} K(u) \right) \quad (8)$$

である[8]。本研究では、上端と下端とともに反射境界を設定し、さらに上端において、一定量の粒子を毎ステップごとに注入したが、これらの条件は確率流束を用い表されるロビン境界

$$\begin{cases} J(0, t) = R \\ J(1, t) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

に相当する[8]。ここに、 R は与えられる境界値である。以上を用いて2点境界値問題の数値解を構成した。

4. 結果

初期条件として、有効飽和度が 0.517 で、 5.0×10^6 個の粒子を配置し、毎ステップごとに 1.0×10^5 個の粒子を土壌表面($z = 0$) から投入した際の数値計算結果を図1に示す。未知変数に体積含水率を用いた通常のリチャーズ式の場合は、上端において体積含水率が不連続となるため、安定した解を得ることが難しいが、新たな支配方程式(1)の場合は、安定した解が得られた。また、時間が進行するにつれ、浸潤前線が伝播する様子を確認できる。

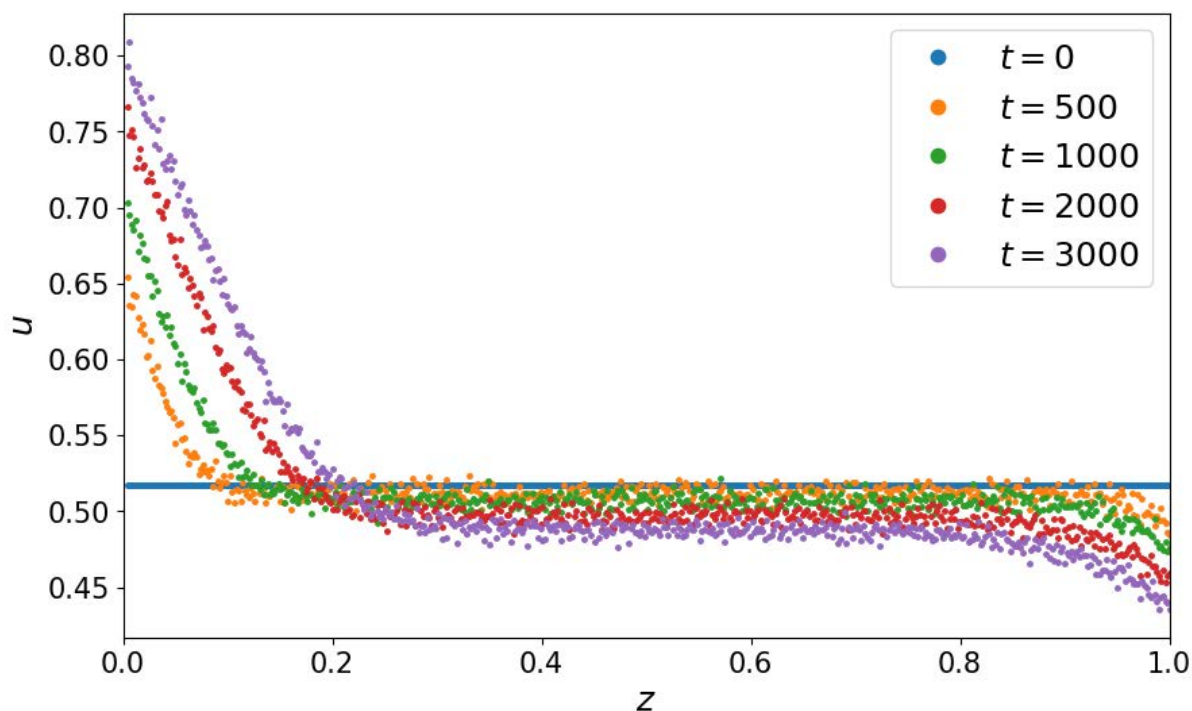


図 1 有効飽和度についての数値計算結果

5. 結論

初期値境界値問題が適切な土壌水分移動の支配方程式について、対応する確率微分方程式を導出した。その拡散過程の離散版である粒子のランダムウォークについて、モンテカルロ法を用いたシミュレーションを行い、境界までの連続性が失われている場合でも数値計算が可能であることを確認した。

謝辞

本研究は、京都大学「分野横断プラットフォーム構築事業」の支援を受けて実施されているワークショップ「地域環境現象と非局所的数理モデル」の一部である。

引用文献

- [1] Y. Zha, J. Yang, J. Zeng, C. M. Tso, W. Zeng, and L. Shi, “Review of numerical solution of Richardson–Richards equation for variably saturated flow in soils,” *WIREs Water*, vol. 6, no. 5, p. e1364, Sep. 2019, doi: 10.1002/wat2.1364.
- [2] V. Hissink Muller and S. Sonner, “Well-posedness of singular-degenerate porous medium type equations and application to biofilm models,” *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 509, no. 1, p. 125894, May 2022, doi: 10.1016/j.jmaa.2021.125894.
- [3] H. Yoshioka, K. Unami, and T. Kawachi, “Stochastic process model for solute transport and the associated transport equation,” *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, no. 4, pp. 1796–1805, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.apm.2011.09.011.

- [4] E. Zehe and C. Jackisch, “A Lagrangian model for soil water dynamics during rainfall-driven conditions,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 20, no. 9, pp. 3511–3526, Sep. 2016, doi: 10.5194/hess-20-3511-2016.
- [5] K. Beven and P. Germann, “Macropores and water flow in soils revisited,” *Water Resour. Res.*, vol. 49, no. 6, pp. 3071–3092, Jun. 2013, doi: 10.1002/wrcr.20156.
- [6] J. Ewen, “‘SAMP’ model for water and solute movement in unsaturated porous media involving thermodynamic subsystems and moving packets: 1. Theory,” *Journal of Hydrology*, 1996.
- [7] K. Kosugi, J. W. Hopmans, and J. H. Dane, “3.3.4 parametric models,” in *Methods of soil analysis*, John Wiley & Sons, Ltd, 2002, pp. 739–757. doi: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c27>.
- [8] G. A. Pavliotis, *Stochastic Processes and Applications*. Springer New York, NY, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1323-7>

Applicability of non-local models to soil moisture dynamics in the vadose zone (不飽和帯における土壌水分動態に対する非局所モデルの適用可能性)

○Koichi Unami¹, Chafika Amel Aitemerar², Rachid Chaili³, Osama Mohawesh⁴

¹Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Japan

²Department of Exact Sciences, École Normale Supérieure d'Oran, Algeria

³Department of Mathematics, University of Science and Technology of Oran, Algeria

⁴Faculty of Agriculture, Mutah University, Jordan

1 Introduction

The Keller-Segel (KS) model was primarily developed to describe biological chemotaxis phenomena (Keller and Segel, 1970), but it appears in many applications that involve both diffusion and aggregation. Extensive research has been conducted on a simplified version of the KS model, which is a non-local system of parabolic-elliptic equations preserving the essential features of the original formulation. Here, we review several properties of the simplified KS model, and then consider its applicability to soil moisture dynamics in the vadose zone, which is usually modeled with local equations such as Richards'.

2 Brief review of the simplified KS model

The Cauchy problem for the simplified KS model is stated as

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u - \nabla \cdot (u \nabla \psi) \\ -\Delta \psi = u - \lambda \psi \end{cases} \quad \text{for } t > 0 \text{ in } \mathbb{R}^N \quad (1)$$

$$u(0, \mathbf{x}) = u_0(\mathbf{x}) \geq 0 \quad \text{in } \mathbb{R}^N$$

where the unknown function $u = u(t, \mathbf{x})$ of time t and N -dimensional Euclidean space \mathbb{R}^N represents the density that induces the potential $\psi = \psi(t, \mathbf{x})$, u_0 is the initial data, and $\lambda \geq 0$. For $N = 2$ and $\lambda = 0$, Nagai and Ogawa (2016) showed global existence of a classical solution when the initial data is Lebesgue integrable and satisfies

$$\int_{\mathbb{R}^2} u_0 \log(1 + |\mathbf{x}|) d\mathbf{x} < \infty, \quad \int_{\mathbb{R}^2} u_0 d\mathbf{x} \leq 8\pi. \quad (2)$$

For $N \geq 1$ and $\lambda = 0$, Iwabuchi (2011) discussed global existence of a solution in homogeneous Besov spaces, which do not admit universal inclusion relations with the Lebesgue spaces $L^p(\mathbb{R}^N)$, for Besov-class u_0 . Hosono and Ogawa (2022), using the regularity framework of homogeneous Sobolev spaces, examined cases where global existence for Lebesgue integrable u_0 fails to hold, with emphasis on model extensions incorporating attraction-repulsion dynamics for $N \geq 3$ and $\lambda > 0$. Since a homogeneous Besov space can be viewed as an interpolation space between two homogeneous Sobolev spaces, we adopt the setting proposed by Hosono and Ogawa (2022) as optimal for studying the Cauchy problem (1).

3 Relevant function spaces

A Lebesgue space $L^p(\mathbb{R}^N)$ is a space of functions for which the p -th power of their absolute value is Lebesgue integrable over \mathbb{R}^N . The space of functions of bounded mean oscillation is

$$BMO(\mathbb{R}^N) = \left\{ f \in L^1_{loc}(\mathbb{R}^N) \mid \|f\|_{BMO} < \infty \right\} \quad (3)$$

where

$$\|f\|_{BMO} \equiv \sup_{\mathbf{x}_0 \in \mathbb{R}^N, R > 0} \frac{1}{|B_R(\mathbf{x}_0)|} \int_{B_R(\mathbf{x}_0)} |f(x) - \bar{f}| d\mathbf{x} \quad (4)$$

where $B_R(\mathbf{x}_0)$ is the N -dimensional ball of radius R centered at \mathbf{x}_0 , and \bar{f} is the average of f over it. A homogeneous Sobolev space $\dot{H}^{s,p}(\mathbb{R}^N)$ for $s \in \mathbb{R}$ and $p \in [1, \infty]$ is defined by

$$\dot{H}^{s,p}(\mathbb{R}^N) = \left\{ f \in \mathcal{S}' / \mathcal{P} \mid |\nabla|^s f \in L^p(\mathbb{R}^N) \right\} \quad (5)$$

where \mathcal{S}' is the space of tempered distributions, which is the topological dual of the Schwartz space $\mathcal{S}(\mathbb{R}^N)$, \mathcal{P} is the set of all real-valued polynomials, and the pseudo-differential operator (PDO) $|\nabla|^s$ is defined by

$$|\nabla|^s f = \mathcal{F}^{-1} \left(|\xi|^s \mathcal{F}(f) \right) \quad (6)$$

where \mathcal{F} represents the Fourier transform from the spatial \mathbf{x} -domain to the Fourier ξ -domain.

4 Applicability to vadose zone hydraulics

Gravity, capillary action, viscosity, phase transitions, and gas diffusion govern soil moisture dynamics in the vadose zone. The concept of matric potential with the extended Darcy's law is intended to encompass these processes and provide a rationale for the Richards equation. However, skepticism remains regarding the interpretation of capillary action as a gradient flow. We collected reference soil moisture data from the olive orchard at the Rabba site, as documented in Albalasmeh et al. (2023). Saadeh et al. (2025) developed a time-fractional linear model to mimic the temporally non-local response of soil moisture to precipitation, while neglecting its spatial distribution. Here, we hypothesize that the non-local aggregation term of the simplified KS model more accurately captures capillary-driven soil moisture dynamics than temporally non-local models alone.

5 Discussions

Hosono and Ogawa (2022) identified the classes of the solution u and ψ to the Cauchy problem (1) with $u_0 \in L^{N/2}(\mathbb{R}^N)$ for $N \geq 3$ and $\lambda > 0$ as

$$\begin{cases} u \in C((0, T); \dot{H}^{2, N/2}(\mathbb{R}^N)) \\ u \in C^1((0, T); L^{N/2}(\mathbb{R}^N)) \\ \psi \in C((0, T); \dot{H}^{2, q}(\mathbb{R}^N) \cap \dot{H}^{4, q}(\mathbb{R}^N)) \end{cases} \quad (7)$$

where $N/2 < q \leq 2N/3$, and the existence time T depends on N and u_0 . The homogeneous Sobolev spaces are of higher regularities than $BMO(\mathbb{R}^N)$. It is also shown that

$$\|\psi(t)\|_{BMO} \leq k \|u(t)\|_{N/2} \quad (8)$$

for a constant k , implicating that the potential ψ varies smoothly without significant fluctuations.

A numerical experiment was performed in a square domain with Dirichlet boundary conditions to demonstrate a representative solution of the simplified KS model for $N = 2$ and $\lambda = 0$. **Fig. 1** delineates part of the numerical results. The initial data, with subcritical mass, has two bounded supports within the domain. For $t > 0$, the solution u becomes strictly positive throughout the domain. The two peaks merge into a single peak in finite time, approaching to a Dirac delta-like profile.

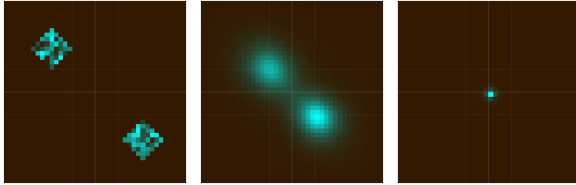


Fig. 1: Numerical solution of the initial-boundary value problem of the simplified KS model at $t = 0$ (left), $t = 30$ (center), and $t = 100$ (right).

There are reference datasets consisting of 64 subsurface soil moisture measurements sampled on $8 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ lattice at 1 m intervals at the Rabba site. One of the datasets, obtained on December 2, 2024, was processed to visualize its variability using the PDO $|\nabla|^s$, as shown in **Fig. 2**. The soil moisture dynamics clearly display both diffusive and aggregative characteristics.

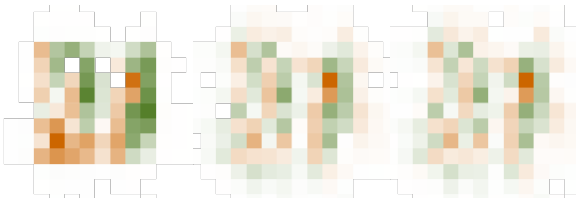


Fig. 2: Variability of spatially distributed soil moisture, processed using the PDO $|\nabla|^s$ with $s = 0$ (left), $s = 2$ (center), and $s = 4$ (right).

6 Conclusions

The significance of soil moisture variability in different spatial scales is increasingly recognized in agricultural applications, including partial rootzone drying irrigation (Albalasmeh et al., in press). This study highlighted the limitations of conventional local equations to model vadose zone hydraulics, advocating for non-local approaches such as the simplified KS model. A possible amendment to the simplified KS model, which does not fully account for the phenomena in the vadose zone, is to replace the Poisson equation $-\Delta\psi = u - \lambda\psi$ with an alternative formulation, for instance, $(-\Delta)^s\psi = u$. Future work should explore hybrid formulations that integrate the non-local aggregation term with a nonlinear singular diffusion component.

Acknowledgments

This study is a part of the scientific workshop “Local Environmental Phenomena and Non-Local Mathematical Models” funded by Kyoto University under the Cross-Sectoral Research Platform Development Program. The authors acknowledge Grants-in-Aid for Scientific Research No.25K09329 from JSPS.

References

- Albalasmeh, A., Mohawesh, O., Alzu'bi, M., Makhadmeh, I., Unami, K., Hanandeh, A.E., Alghamdi, A., in press. Optimizing Jalapeño pepper growth and water use efficiency under deficit and partial rootzone drying irrigation in arid and semiarid regions. *J Saudi Soc Agric Sci*.
- Albalasmeh, A., Mohawesh, O., Zeadeh, D., Unami, K., 2023. Robust optimization of shading types to control the performance of water reservoirs. *J Clean Prod* 415, 137730.
- Hosono, T., Ogawa, T., 2022. Local well-posedness and finite time blow-up of solutions to an attraction-repulsion chemotaxis system in higher dimensions. *J Math Anal Appl* 510, 126009.
- Iwabuchi, T., 2011. Global well-posedness for Keller–Segel system in Besov type spaces. *J Math Anal Appl* 379, 930-948.
- Keller, E.F., Segel, L.A., 1970. Initiation of slime mold aggregation viewed as an instability. *J Theor Biol* 26, 399-415.
- Nagai, T., Ogawa, T., 2016. Global existence of solutions to a parabolic-elliptic system of drift-diffusion type in \mathbb{R}^2 . *Funkcialaj Ekvacioj* 59, 67-112.
- Saadeh, R., Unami, K., Qazza, A., Batiha, I.M., Mohawesh, O., 2025. Linear fractional differential equations for modeling nonlinear hydro environmental phenomena. *Engineering Letters* 33, 1913-1918.

パイプラインの圧力波起源の管変形に着目した漏水の非破壊評価

山口大学大学院創成科学研究科 萩原大生
新潟大学大学院自然科学研究科 高橋悠斗
新潟大学自然科学系（農学部） 鈴木哲也

1. はじめに

農業用パイプラインでは所定の流量および圧力を保ったうえで送配水することが求められるが、漏水現象によるエネルギー損失に伴い、通水不良が顕在化する。漏水現象は、用水の流出や断水を起こし施設そのものの働きを妨げることに加え、周辺地盤や他の社会基盤に影響を及ぼす恐れがある。2025 年 1 月 28 日の埼玉県八潮市における下水道施設の劣化に伴う道路陥没の事故が近い事例として挙げられる。水輸送において、システムにおけるエネルギー損失や通水性を評価することは不可欠といえる。

漏水検出に関しては、多くの研究があり、レビュー論文としての取りまとめもある（例えば文献¹⁾）。非破壊手法としては、Acoustic Emission 法^{2), 3)}などを用いた漏水検出も挙げられる。農業用パイプラインにおける漏水の検出では、例えば、音聴法、相関法、水張り試験などのような方法が用いられる。カプセル型の漏水探査装置を用いて、管内で漏水箇所に接近して漏水音を捉える技術も提案されている^{4), 5)}。

これらの技術に対して、本稿では、圧力波に伴う管体変形からパイプラインにおける疑似漏水に起因したエネルギー損失を捉えるための実験的な検討を提示する。本手法では、漏水の情報を含む圧力波を利用することで、km スケールでの比較的長距離における疑似漏水検出が可能となる。筆者らは、圧力波検出へのデジタル画像相関（DIC）法の導入⁶⁾や約 18 km の既設パイプラインにて DIC による非破壊・非接触での漏水検出を試みている^{7) ~9)}。圧力波を利用する漏水検出は多くの検討が重ねられており^{10), 11)}。本報の手法は、特に、流体と管の相互作用に起因する管体変形に着目し、非破壊的な漏水検出に展開していることが特徴である。漏水位置・量に応じて圧力波の時刻歴波形や周波数分布には相違が生じ、それに伴い管体変形でも同様の応答を示すことが考えられる。

以上を踏まえ、本稿では、農業用パイプラインの漏水現象を対象とした非破壊の漏水検出を示す。実証実験では、ポンプ - 水槽系の比較的低圧のパイプラインを対象とする。筆者らの別の既設パイプラインを対象

とした実証実験では、下流端のバルブ閉塞に伴い発生した約 0.15 MPa の水圧変動により検討したが^{7), 8)}、

本稿ではポンプ停止に伴う 0.05 MPa より小さい水圧変動による管体変形から疑似漏水検出を試みた結果について報告する。

2. 農業用パイプラインに対する圧力波による管体変形を利用した性能照査

パイプラインの漏水現象に関して、従来の調査方法として、例えば、農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」において、現地調査手法のひとつとして水張り試験が挙げられている¹²⁾。この方法は、充水に時間を要することやしみ出しの目視確認の負担、漏水位置の詳細な把握が難しいなどの課題がある。特に、災害後の施設復旧では、限られた人員で長距離のパイプラインに対する水張り試験を実施しなければならず、調査者の負担が大きいといえる。他に、音聴法や相関法に関する技術的な課題は文献⁵⁾で言及されている。筆者のひとりである鈴木は、本稿につながる取り組みとして、充水試験の高度化に向けた弾性波計測による水密性評価の検討を重ねている（例えば文献¹³⁾）。災害後の壊れた施設やマンホール内での酸素欠乏症の危険性を考えると、付帯施設に接近できない場合を想定した維持管理も課題のひとつと言える。

上述の課題から、パイプラインの構造的特徴を考慮した漏水検出として、施設のいずれか遠方に位置する漏水を捉えることと施設への近接が困難な場合にも適用可能であることが期待される。本手法では、漏水があるパイプラインでバルブ操作やポンプ運転により発生させた圧力波を利用して、遠方にある疑似漏水の情報を所定の計測位置で捉えることを試みる。加えて、材料力学に基づく内圧を受ける円筒の考え方により、パイプラインは圧力波に伴い管体変形が増大すると考えられ、これを捉えることで管体変形から管内の流況を検出することが可能となる。

3. 実構造物による実証実験

水田灌漑のための既設パイプラインにおいて、疑似漏水を検出する実証実験を実施した。管路延長は約 5.5 km で、管径が 600 mm の FRPM 管、SP 管および 5VU 管で構成されている。上流端に揚水機場および下流端にオーバーフロースタンドの分土工を有しており、下流端が上流端よりも約 18.7 m 高い位置にある。本実験では、排泥工の開放による疑似漏水の発生および 1 台の両吸込渦巻ポンプの稼働に伴う圧力波により 10 実験した。

本実験での各種計測の方法を記す。水圧計測では、空気弁にフランジを設置して圧力センサを取り付け、500 Hz でデータを取得した（図-1）。ひずみ計測では、マンホール内で露出している管体に対して、管の 15 周方向および軸方向にひずみゲージを取り付け、500 Hz でデータを取得した。加えて、管体表面に白黒のランダムパターンを作成して 2 台のカメラにより 20 Hz で画像撮影することで、DIC（Vic Snap, Correlated Solutions 製）によるひずみ計測を行った（図-2）。本 20 報では、上流端から約 1970 m に位置する制水弁での計測結果を提示する。

本稿で提示する実験ケースは、漏水なしの Case A と漏水ありの Case B である。実験フローとして、各種計測を開始して 1 分後に疑似漏水を起こし（Case B 25 の場合）、その 1 分後にポンプの運転開始、その 10 分後に運転停止、その 10 分後に計測終了とした。計測時間は 22 分間である。疑似漏水は、上流端から約 1,900 m に位置する排泥工を開けることにより発生さ

せた。ポンプ運転時には、吐出弁開度を 45% で一定と 30 している。ポンプ停止時には、吐出弁開度を約 24% ま で閉塞した後、約 10 秒おきに数% ずつ閉塞し、約 110 秒かけてポンプを停止している。このように回転機械



図-1 水圧計測の様子

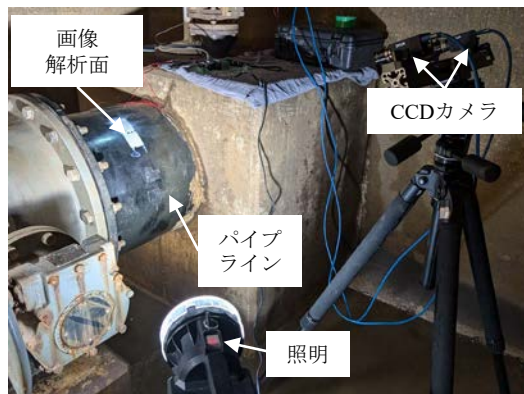


図-2 管体表面の画像取得の様子

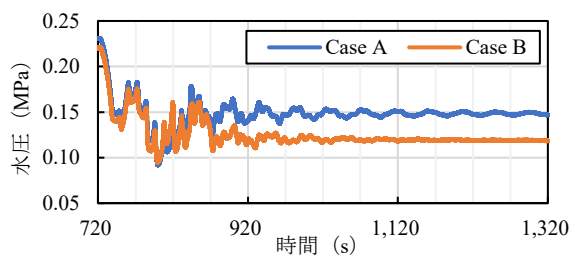


図-3 水圧の時刻歴波形

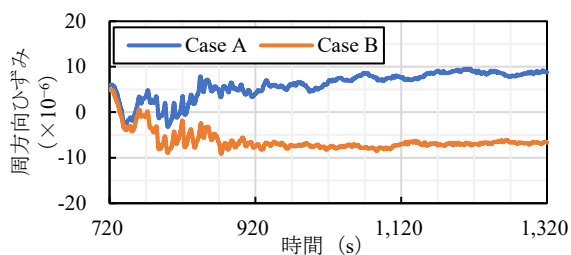
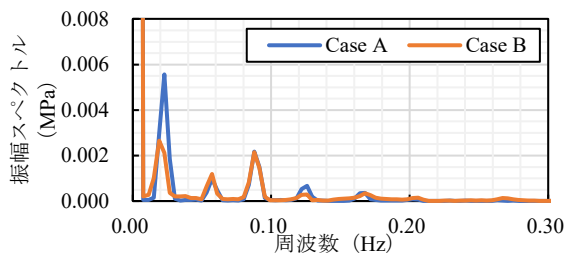
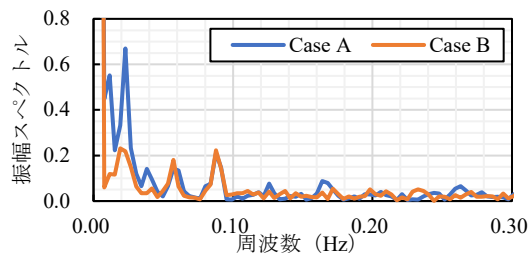


図-4 管体のひずみの時刻歴波形



(a) 水圧の周波数分布



(b) ひずみゲージによる周方向ひずみの周波数分布

図-5 FFT による周波数解析結果

操作により圧力波を起こすことで、疑似漏水以外の実験条件を揃えることを試みた。

解析方法としては、水圧とひずみのデータに対して高速フーリエ変換 (FFT) による周波数解析を実施した。FFT では、窓関数として hamming 窓を用いた。ひずみゲージによるひずみのデータには 0.3 Hz のローパスフィルタを施した。ここでは、圧力波の周波数分布において、液柱共鳴に伴う複数の固有周波数のピークが含まれる範囲として、0.3 Hz を設定した (図-5 10 (a) 参照)。

実験中に計測された水圧の時刻歴波形を図-3 に示す。特に、720 秒以降のポンプ運転停止に伴う圧力波に着目すると、Case B では漏水による圧力波の減衰が確認できる (およそ 870 s 以降)。これらの圧力波に起因した管体の周方向ひずみをひずみゲージにより計測した結果を図-4 に示す。Case B では、Case A と比較して周方向ひずみが低くなっている。これは、漏水によって管に外力として作用する水圧が低かったことに起因すると考えられる。漏水の特徴抽出に向けて、図-6 に FFT により求めた周波数分布を示す。本図では、水圧 (図-3) とひずみゲージによる周方向ひずみ (図-4) における 0.3 Hz までの周波数分布を示している。図-5 の水圧および周方向ひずみの両者では、Case A で 0.023 Hz、Case B で 0.019 Hz にピークが確認でき、これは本パイプラインにおける液柱共鳴の 1 次モード (0.018 Hz) に近い値といえる。Case B では漏水による減衰のため、ピーク周波数が Case A より低くなると考えられ、減衰系の自由振動の観点とも合うと考えられる。漏水のある Case B では、漏水のない Case A よりもこれらのピークの振幅スペクトルが小さく、漏水に伴うエネルギー損失の影響が含まれると考えられる。水圧データに加えて、管体変形の周方向ひずみのデータからも漏水検出できることが示された。

本実験の特徴のひとつは、実際に供用されている農業用パイプラインで実験を実施していることである。同一条件を複数回実施することは実構造物を対象とすることの難しさのひとつだが、既設パイプラインにおける管内水圧の常時計測を試みることで、毎年の灌漑時期のポンプ運転に伴う圧力波のデータを取得・蓄積が可能となり、漏水検出に寄与する可能性が考えられる。

4. おわりに

本稿では、疑似漏水を利用してきせつの農業用パイプラインのエネルギー損失に関する非破壊による漏水検出法を提示した。提案手法では、既存の技術的課題を

踏まえ、圧力波による管体変形を利用した疑似漏水の検出を試みている。ポンプ - 水槽系の既設パイプラインにおいて疑似漏水を検出する実証実験の結果、ポンプ停止時に発生する圧力波に起因する管体変形の振幅スペクトルの相違に着目することで、漏水の有無が検出された。

引用文献

- 1) Islam, M. R., Azam, S., Shanmugam, B., and Mathur, D. : A review on current technologies and future direction of water leakage detection in water distribution network, IEEE Access 10, pp.107177~107201 (2022)
- 2) Suzuki, T., Ikeda, Y., Tomoda, Y and Ohtsu, M. : Water-leak evaluation of existing pipeline by acoustic emission, J. Acoustic Emission 23, pp.272~276 (2005)
- 3) Pan, S., Xu, Z., Li, D. and Lu, D. : Research on detection and location of fluid-filled pipeline leakage based on acoustic emission technology, Sensors 18(11), 3628 (2018)
- 4) 浅野 勇, 森 充広, 高木一幸, 羽田陽一, 川上昭彦, 川邊翔平 : 管路のカプセル型漏水探査装置の開発, 水土の知 86 (6), pp.513~516 (2018)
- 5) 森 充広, 川邊翔平, 金森拓也, 木村優世 : 漏水探査装置による農業用パイプラインの新たな漏水位置探査システム, JAGREE 106, pp.64~68 (2024)
- 6) 鈴木哲也, 久保成隆, 飯田俊彰 : パイプラインに発生した圧力波の非破壊検出に関する研究, 農業農村工学会論文集 81 (5), pp.479~487 (2013)
- 7) Hagiwara, T., Asada, Y., Tsubota, T., Kurasawa, K. and Suzuki, T. : Non-contact detection of leak-derived energy loss for an in-service pipeline system using digital image correlation, Nondestructive Testing and Evaluation, pp.1~22 (2025)
- 8) Tsubota, T., Hagiwara, T., Asada, Y. and Suzuki, T. : Non-contact detection of water leakage in service pipeline by digital image correlation method with damping coefficients, Advanced Experimental Mechanics 9, pp.105~110 (2025)
- 9) Asada, Y., Hagiwara, T., Tsubota, T., Suzuki, T., Kurasawa, K., Kimura, M., Azechi, I. and Iida, T. : Field verification of single leak detection method based on transient pressures using optimization technique in in-situ irrigation pipeline system including branch junctions and diameter changes, Paddy and Water Environment, 23(2) pp.243~262 (2025)
- 10) Brunone, B. and Ferrante M. : Detecting leaks in pressurised pipes by means of transients, Journal of Hydraulic Research 39(5), pp.539~547 (2001)
- 11) Wang, X. J., Lambert, M. F., Simpson, A. R., Liggett, J. A. and Vi'tkovský, J. P. : Leak detection in pipelines using the damping of fluid transients, Journal of Hydraulic Engineering 128(7), pp.697~711 (2002)
- 12) 農村振興局整備部水資源課施設保全管理室 : 農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」(平成 28 年 8 月) (2016)
- 13) 鈴木哲也, 久保成隆, 飯田俊彰 : 弾性波計測による損傷パイプラインの水密性評価に関する研究, 土木学会論文集 F6 (安全問題) 69 (2), pp.I_49~I_54 (2013)

ウェーブレット変換を用いたリッジ検出に基づく パイプラインの漏水によるエネルギー損失の非接触検出

Non-Contact Detection of Energy Loss due to Leakage
based on Ridge Detection using Wavelet Transform

新潟大学大学院自然科学研究科 ○高橋悠斗
山口大学大学院創成科学研究科 萩原大生
新潟大学自然科学系（農学部） 鈴木哲也

1. はじめに

農業灌漑に用いられる送配水パイプラインでは耐用年数の超過に伴い、漏水の発生件数の増加傾向にある。送配水パイプラインの大部分は埋設されているため、漏水の発生を直ちに検出することは困難である。適切かつ効率的な施設管理に向けた、非破壊検査法の開発が必要となっている。既往研究¹⁾では、画像解析による管内の水撃圧現象の非破壊検出が試みられている。本研究では、水撃圧に伴う周方向ひずみ変動に着目し、モデルパイプラインの漏水によるエネルギー損失を非接触計測により評価することを試みた。

2. 実験および解析方法

実験を行ったモデルパイプラインは、内径 100.8 mm、管厚 6.6 mm、管長 2.0 m の硬質塩化ビニル管をボルトでつなぎ合わせることで構築した。全長が約 65 m あり、上流端が水槽、下流端がバルブで構成されている。実験では、下流端のバルブを開放することで通水を開始し、上流水槽の水位が 1.0 m 低下した際にバルブを急閉塞し、管内に水撃圧を発生させた。水撃圧による管内の圧力変動を小型圧力センサを用いて計測した。水撃圧に伴う管材変形をデジタル画像相関法（以下、DIC 法と記す）により計測した。DIC 法は、管表面に塗布したまだら模様を撮影し、画像解析により追跡することで対象物の変形を計測する手法である。水圧計測はバルブから約 0.4 m、DIC 法はバルブから約 1.5 m 上流で実施した。実験ケースを表-1 に示す。漏水により

表-1 実験ケース

ケース名	漏水位置
Case 1	漏水なし
Case 2	バルブから 3.6 m 上流
Case 3	バルブから 22.6 m 上流
Case 4	バルブから 40.2 m 上流

管内にエネルギー損失が発生することをもとに、水撃圧に伴う管材変形を管外面から計測することで、漏水由来のエネルギー損失の非接触検出を試みた。

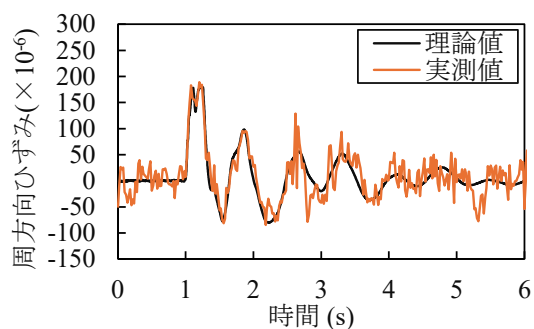
パイプラインを両端自由の薄肉円筒と仮定し、水圧変動に伴う管材変形の理論値を次式より算出した。

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{1}{E_p} \frac{Rp}{e}, \quad (1)$$

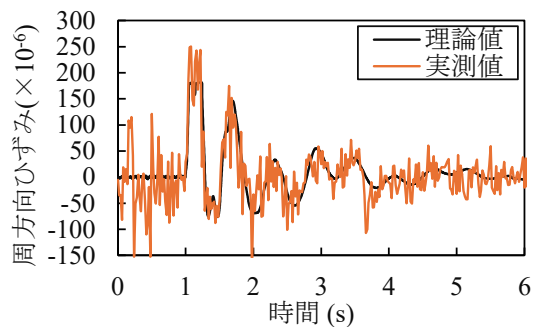
ここで、 ε_{θ} は周方向ひずみ、 E_p は縦弾性係数 (Pa)、 R は内半径 (m)、 e は管厚 (m) である。DIC 法により計測した周方向ひずみを時間-周波数領域において解析するため、連続ウェーブレット変換を行った。ウェーブレット関数に Gabor ウェーブレットを用いた。連続ウェーブレット変換によって求めたリッジ部分のウェーブレット係数を、次式²⁾に代入することで水撃圧の減衰率 ζ を算出した。

$$\ln \left(\frac{2|Wf(u, s(u))|}{(4\pi\sigma s^2(u))^{\frac{1}{4}}} \right) \approx \zeta\omega_d u + \ln A, \quad (2)$$

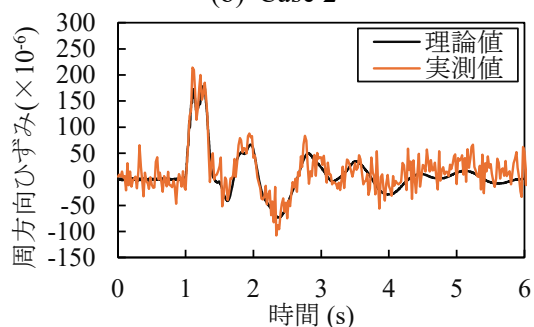
ここで、 ω_d は減衰固有各振動数である。



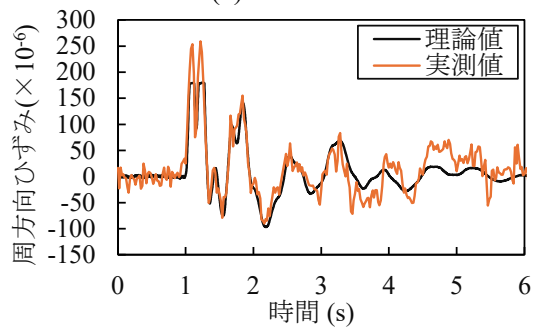
(a) Case 1



(b) Case 2

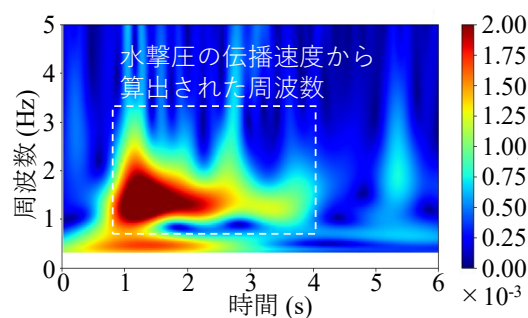


(c) Case 3

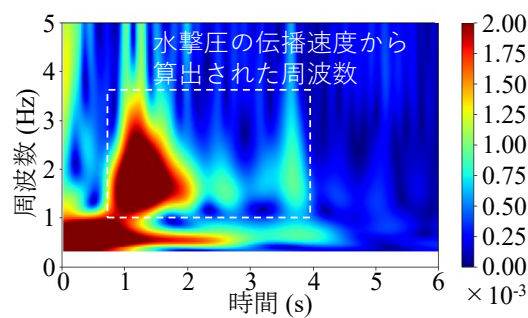


(d) Case 4

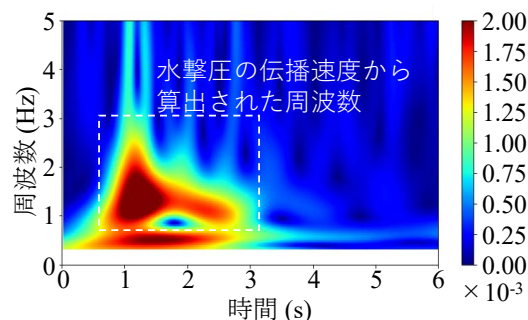
図-1 周方向ひずみ変動の時系列結果



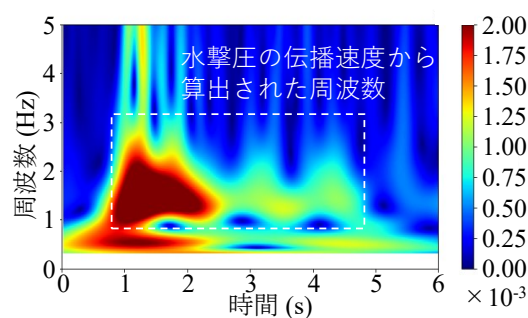
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



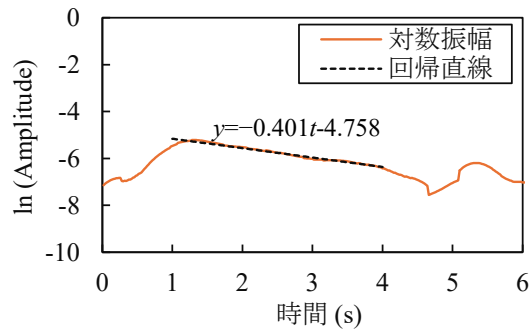
(d) Case 4

図-2 周方向ひずみのウェーブレット変換結果

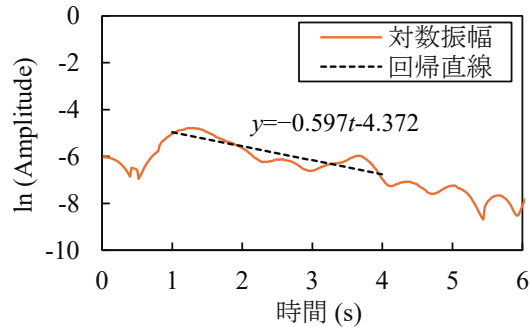
3. 結果および考察

周方向ひずみの理論値および DIC 法により計測した周方向ひずみの実測値の時系列結果を図-1 に示す。水撃圧に伴う周方向ひず

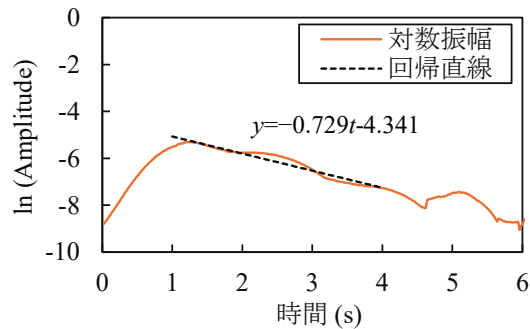
み変動が、理論値と同様に発生していることが確認された。理論値と比較して実測値では光条件の変化に由来すると考えられる細かい変動が確認された。周方向ひずみの実測値のウェーブレット変換結果を図-2 に示す。水



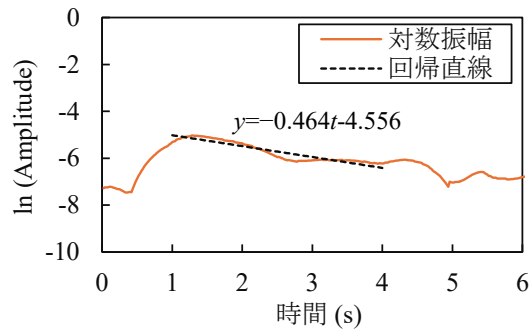
(e) Case 1



(f) Case 2



(g) Case 3



(h) Case 4

図-3 リッジにおける対数振幅と回帰直線

撃圧の伝播速度から算出された周波数（1.80 Hz）付近および 2.0 m のはりの固有振動数（0.61 Hz）付近において、ウェーブレット係数が高い値となっていることが確認された。このうち、水撃圧に由来するリッジ部分（1.80

表-2 減衰率の推定結果

ケース名	減衰率
Case 1	0.049
Case 2	0.058
Case 3	0.093
Case 4	0.056

Hz 付近）を抽出し、対数振幅の傾きを算出した（図-3）。抽出したリッジの傾きを式（2）に代入し、水撃圧に伴う周方向ひずみ変動の減衰率を推定した。周方向ひずみ変動の減衰率の推定結果を表-2 に示す。漏水を発生させたすべてのケースにおいて、漏水なしの Case 1 よりも減衰率が増加していることが確認された。以上より、管外面からの周方向ひずみの非接触計測により管内の水撃圧の減衰を評価できる可能性が示唆された。

4. おわりに

本研究では、モデルパイプラインにおいて水撃圧に伴う管材変形を DIC 法を用いて計測・解析した。水撃圧に伴う周方向ひずみが DIC 法により非接触で検出できていることが確認された。ウェーブレット変換によるリッジ検出により、水撃圧に伴う周方向ひずみ変動の減衰率が推定され、漏水による減衰率の増加が確認された。このことから水撃圧に伴う周方向ひずみ変動に着目することで、漏水によるエネルギー損失を非接触検出できる可能性が示唆された。

引用文献

- 1) 鈴木哲也，久保成隆，飯田俊彰：パイプラインに発生した圧力波の非破壊検出に関する研究，農業農村工学会論文集，81(5)，479-487，2013.
- 2) Slavič, J., Simonovski, I. and Boltežar, M. (2003): Damping identification using a continuous wavelet transform: application to real data, Journal of Sound and Vibration, 262(2), 291-307.

ゴム膜製起伏ゲートの水理特性の評価 Evaluation of Hydraulic Characteristics of Rubber Membrane-Type Uprising Flap Gate

○中田達*・寺本法弘**・下見広司**
○NAKADA Toru・TERAMOTO Norihiro・SHITAMI Koji

1. はじめに

起伏ゲート（転倒ゲートともいう）は、水路の底に設置されたヒンジ（蝶番）を支点にして、鋼鉄製やゴム製の扉体（ゲート本体）を立てたり（起立）、倒したり（倒伏）させて用いられる。農業用水路においては、緊急放流工などの自動転倒ゲートや、用排兼用水路や排水路からの反復利用のためのゴム堰（ラバーダム）などでよく用いられる。気候変動に伴う極端な気象現象の頻発化と激甚化が予想される中、起伏ゲートは水資源の確保と洪水の安全な排水を両立する機能が求められ、その管理には多大な負担が生じている。

鋼製の起伏ゲートやゴムの袋体を膨らませるゴム堰の設置は、専門的な技術者による設計や施工管理が必要で、工期もかかりコストも嵩む課題がある。そのため、豊国工業株式会社は、鋼製の扉体の代わりにゴム引布を用いて、安価かつ施工も簡便な膜状起伏ゲートを開発した。本報告では、実物相当の実験水路において、水理条件を種々に変えた水理実験を実施し、水位調整機能や運用上の安定性・安全性などについて、水理特性を評価した結果を報告する。

2. 膜状起伏ゲートの概要

膜状起伏ゲートは、扉体となる膜体にはゴム堰で実績のある耐久性に優れたゴム引布を用いている。膜体を水路内面に敷設して、上流端の下部（ヒンジ部）と側部を水路内に固定し、下流端を吊り上げて水路内水位を堰上げる（図-1）。堰頂部の上部梁は鋼製の四角堰形状で、ゴム引布をクランプし、水路上流側上方からチェーンで吊り上げる。鋼製ゲートよりも軽量であるため、チェーンや開閉機を小規模化できる。

膜体材料であるゴム引布は、ゴム堰や防水シートの使用実績から 10 年～30 年の耐用年数が期待される。膜体の交換は、規格化してゴム膜体の原反を在庫すれば、短納期かつ低コストで供給が可能となる。

適用水路の条件は、小規模矩形断面のコンクリート張り水路で、水路幅 0.5～3.0 m、設計水位は上限 1.5 m 程度をターゲットとする。施工面では、膜体が軽量であるので水路内面に容易かつ短期間での取り付けが可能である。

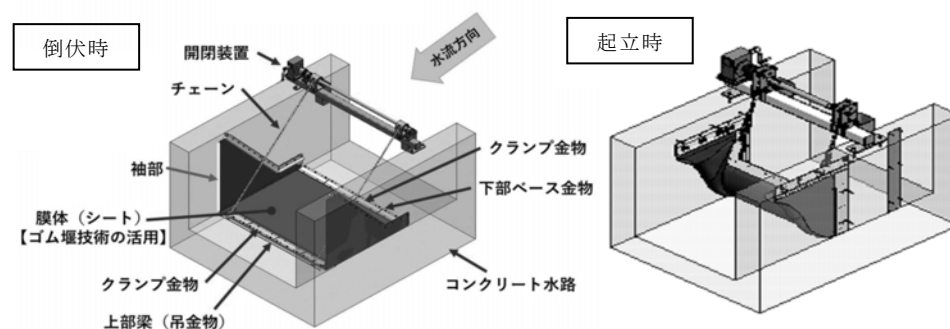


図-1 膜状起伏ゲートの構造

* 農研機構農村工学研究部門, Institute for Rural Engineering, NARO

**豊国工業株式会社, Hokoku Kogyo Co., Ltd.

キーワード 水門, 流域治水, 転倒ゲート, ゴム引布

3. 水理実験の条件設定

膜状起伏ゲートの水理的安定性を確認するために、幅 1 m の矩形コンクリート開水路に、膜状起伏ゲートを設置し、上・下流の水位、流量、堰高を種々に変化させた水理条件下での水位制御性等を検証した。また、膜体または開閉機にかかる張力は、ロードセルを用いて計測するとともに、膜体やチェーンの振動、ナップ形成状況下での気室の振動の有無などの水理的な安定性についても確認を行った。

水理実験の実験条件としては、堰高を設計標準値 0.5 m、および中間開度 0.25m の 2 パターンとした。堰上流の水深は、そのそれぞれの堰高の 120%に相当する水深を設計越流水深と設定するとともに、洪水時の大越流時の水深として、それぞれの堰高の 130%, 150%に相当する水深の 2 パターンとした。下流水深は、下流側の水位を制御しないパターンと、それぞれの堰高の 20%, 40%と下流水路を堰上げた 3 パターンを与えた。流量は、設定水深と四角堰の流量公式から算定した。

ただし、堰頂の鋼製の四角堰切り欠き部だけではなく、両側壁のゴム膜の袖部からの越流が生じるため、厳密には四角堰の流量公式を適用できない。そのため、堰高 0.5 m において、流量を 0.025 m³/s から 0.125 m³/s まで 5 パターンにおいて変化させた定常試験により、流量公式における流量係数を推定した。

また、水深を越流させずに止水させた状態で、徐々に水深を変化させ、水圧による膜体のはらみ量、堰頂高さの変化量、荷重等を計測する静水試験も行った。

4. 水理性能の評価結果

図-2 に各ケースの越流状況を示す。標準堰高 (0.5m) における流況については、標準越流水深 (0.1m) の場合、四角堰切り欠き部と水路側壁の袖部からの 3 方向から越流していた。チェーン吊り上げ部までは喫水することがなく、チェーンへのゴミの引っ掛かりの問題も生じない

表-1 水理実験設定条件

実験ケース	堰高 (W)	流量 Q)	上流水深 h_u)	下流水深 h_d)	主な目的
ケース I-1	0.5	0.057 標準越流量	0.60 堰高120%)	コントロールなし	標準的な自由越流時の特性評価
ケース I-2		0.057	0.60	0.2 堰高の40%	
ケース I-3		0.057	0.60	0.4 堰高の80%	
ケース II-1		0.104 大越流量	0.65 堰高130%)	コントロールなし	大流量時の自由越流時の特性評価
ケース II-2		0.104	0.65	0.2 堰高の40%	
ケース II-3		0.104	0.65	0.4 堰高の80%	
ケース III-1	0.25	0.020 標準越流量	0.30 堰高120%)	コントロールなし	非灌漑期を想定した評価
ケース III-2		0.020	0.30	0.1 堰高の40%	越流の不安定性の有無
ケース III-3		0.020	0.30	0.2 堰高の80%	
ケース IV-1		0.079 大越流量	0.375 堰高150%)	コントロールなし	洪水の放流操作時を想定した評価
ケース IV-2		0.079	0.375	0.15 堰高の60%	潜り越流の可能性有無
ケース IV-3		0.079	0.375	0.2 堰高の80%	
定常試験	0.5	0.025	計測	コントロールなし	流量係数の推定
		0.050			
		0.075			
		0.100			
		0.125			
静水試験	0.5	0 流量 0	0.2	0 流下なし	基準となる堰高、チェーン長、荷重の計測
		0	0.3	0	
		0	0.4	0	
		0	0.5	0	

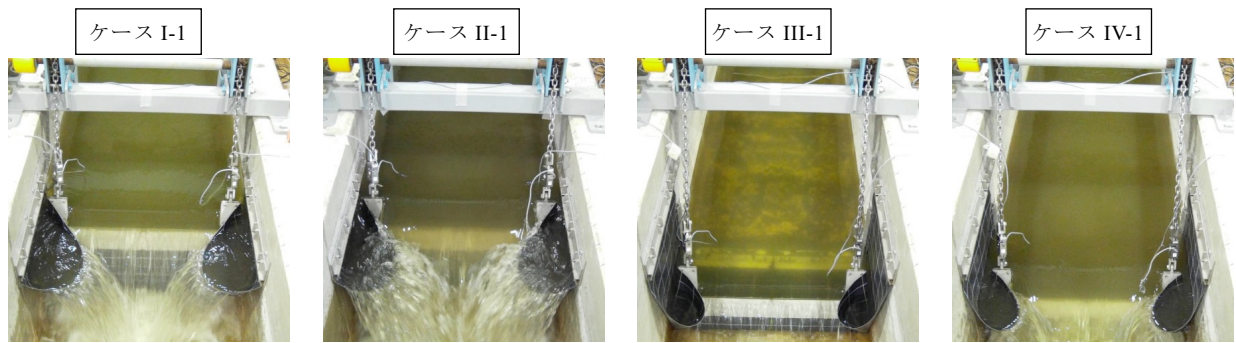


図-2 越流の流況

であろうと推察された。越流の3方向からのナップのために、堰下流の気室が閉じられることなく水クッションが形成されていた。

越流時は膜体の下流側に膨れるため、上流側に水圧がかからない状態で吊り上げて設定した堰高と比較すると、堰頂部の鉛直高さは1.5 cm程度高くなっていた。現場設置時に堰頂部の鉛直高さを越流状況下で正確に測定することは困難なため、水位調整機能については、鋼製の起伏ゲートと比較すると緻密な水位調整は難しいと評価した。ただし、今後、自動倒伏機能を付与する場合には、この程度の堰高の変化は大きく影響しないであろうと推察される。

大越流量の場合、実験水路施設固有の±5%程度の流量のブレのために数分間の周期で水面形が数 mm 上下動する。それに伴うチェーンにかかる張力の変化のため、チェーンには触れると分かる程度のごく微小の振動が感じられた。しかし、ロードセルによる張力の計測に表れるほどの変化はなかった。

下流水深を高くしても、膜体の振動等は生じなかった。下流水深を高くすると、膜体の上下流の水位差が小さくなり、チェーンにかかる張力は減少した。中間開度の流況においても水理的安定性に関する問題は生じなかった。

水路側壁の袖部からの越流が流量計測に与える影響を評価するため、単純な四角堰の流量公式(JIS B 8302)と比較した。越流水深が0.15mよりも大きくなると、四角堰切り欠き部全体を越流するようになり、JISの流量公式(流量係数1.805程度)よりも過大になり、近似の流量係数は2.13程度の値を示した。袖部からの越流は、水路幅が変わっても変化はないと想定されるため、水路幅が1.5~2m程度になると、影響が小さくなり、流量係数は1.8よりも若干大きい程度の値になると想定される。

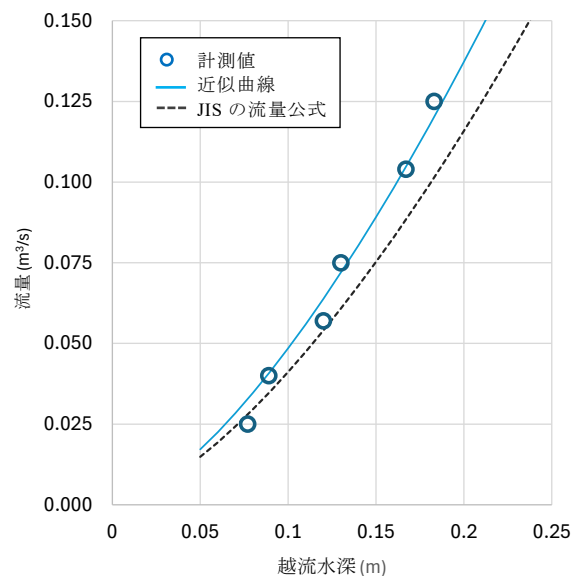


図-3 膜状ゲートにおける H-Q 関係

豊国工業株式会社：膜状起伏ゲート，特開 2022-143971，(2022)

謝辞：本研究は、農林水産省補助事業「官民連携新技術研究開発事業（新技術研究開発）「膜状起伏ゲートの研究開発」の支援を受けて実施された。

ナガエツルノゲイトウの成長速度及び環境要因に関するレビュー

A Review of the Growth Rates and Environmental Factors Affecting *Alternanthera philoxeroides*

○河野 賢^{*}・吉永育生^{*}・向井章恵^{*}

KONO Satoshi^{*}, YOSHINAGA Ikuo^{*}, MUKAI Akie^{*}

1. はじめに

南米原産で特定外来生物に指定されているナガエツルノゲイトウ (*Alternanthera philoxeroides*) (以下、ナガエ) は、その旺盛な繁殖力や高い環境適応性から「地球上で最悪の侵略的植物」とも称される多年草である。主に水辺で生育し、大群落を形成するため、農業水利にも影響を及ぼす (例えば Asif Tanveer et al., 2018 ; 皆川ら, 2021 ; 嶺田ら, 2018) (Fig. 1)。しかし、農業農村工学研究分野において、ナガエの侵入防止策の検討事例は、筆者らが調べた限りでは嶺田ら (2020) の他は見当たらない。そこで、水田地帯への侵入を物理的に阻止する技術を検討するに先立ち、ナガエの成長速度や生育に影響を及ぼす環境要因等をレビューする。



Fig. 1 ナガエツルノゲイトウが河川に繁茂する様子

た限りでは嶺田ら (2020) の他は見当たらない。そこで、水田地帯への侵入を物理的に阻止する技術を検討するに先立ち、ナガエの成長速度や生育に影響を及ぼす環境要因等をレビューする。

2. 成長速度

ナガエの成長速度は他の水辺で生育する植物より非常に早く、栽培試験 (直径 30cm のプラスチックポットに長さ約 10cm, 直径約 3mm, 2~3 節からなるナガエの茎を移植) において、光、栄養、水が十分な生育環境下では指数関数的に成長し、その日成長率 (%) は、主枝長 4.28 ± 0.52 , 地上部重量 12.17 ± 0.45 , 地下茎重量 8.64 ± 0.32 , 総重量 11.27 ± 0.36 , 葉面積 11.59 ± 0.49 , パッチ (主枝を半径とした円形斑塊) 面積 8.67 ± 1.03 であると報告されている (Jia Xin et al., 2007)。ナガエと同じく侵略的外来種であるオオバナミズキンバイの総重量の相対成長率が約 2.3%/day であるため (Hussner, 2009 より算出), ナガエの値 11.26 ± 0.36 は約 5 倍に相当する。

オーストラリアの野外の池におけるナガエの群落の年間増加面積にかかる調事例では、2004 年 12 月に面積が約 290 m² が 2005 年 12 月までには約 880 m² に拡大し、年間増加面積は 200% と報告されている。さらに、その後 4 年間で面積は増加し、2009 年 12 月に約 7,300 m² と算出された。4 年目から 5 年目の間は、年間の面積の拡大率は 22% に減少したが、面積は約 1,200 m² 増加した。これは、2.2 ha の池の 1.3% がナガエに覆われていたのが 5 年間で 32.7% に増加したことを

^{*}農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, National Agriculture and Food Research Organization

キーワード：特定外来生物, 侵略的外来種, 農業水利施設

示している。5年間の平均横方向の拡大速度は4.3 m/y（標準偏差2.2）であった。（Clements et al., 2011）

3. 生育に影響を及ぼす環境要因

（1）日射

乾燥重量と光合成光量子束密度（photosynthetic photon flux density, 以下, PPFD）の関係から、乾燥重量がゼロになる PPFD が約 $5 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であり、ナガエは野外で記録された最適 PPFD レベルの約 10 分の 1 の PPFD レベルで成長し、生存できる可能性が示唆されている（Longstreth and Mason, 1984）。また、日射とシュート（1本の茎とその茎につく葉をひとまとめにしたもの）発生率の関係性では、30℃で移植後 20 日の光照射の有無でシュート発生率はそれぞれ 80%と 92%である。つまり、栄養成長の期間では、光に照射された根茎と暗闇に置かれた根茎の間で、植物の草丈や地上部と地下部のバイオマスに差はなく、シュート発生率に関しては、日射の影響はないことが報告されている（Shen et al., 2005）。

（2）気温

野外では平均気温の最大月が約 29℃、最小月が約 4℃の条件下で生育が確認されたと報告されている（Pan et al., 2006）。また、実験室では、出芽に適した温度条件は、根茎は 10～40℃の温度範囲で出芽し、シュート発生率が最大になるのが 30℃。一方、根茎は 5℃の一定の条件下ではシュート発生が確認されなかった。（Shen et al., 2005）。

（3）栄養塩等

H. Zhang et al. (2017) は、培地（川砂）の栄養レベル（高：N 500mg/kg, 中：N 100mg/kg, 低：N 20mg/kg）及び N/P 比（高：N と同容量の P, 中：N の 1/10 の P, 低：N の 1/100 の P）を変え、8kg のポットでナガエを栽培した。その結果、N/P 比が高いと生長が阻害される、また、栄養レベルが高い場合には単一栽培と他種との混合栽培（セリまたはキショウブ）のいずれにおいても生長が促進され、他種に対する優位指数が増加すると報告している。Bolanos と Longstreth (1984) は、根圏の塩分増加と植物の水分バランスへの影響を調べるため、ナガエに対して 0, 100, 200, 300, 400mM の NaCl を添加する試験を実施した。その結果、最大濃度である 400mM の場合でも、枯死は確認されなかった。

（4）その他の環境要因

ナガエの生育が確認された野外の降水量は、最も雨の多い月の降水量は 0～1,071mm、最も乾燥した月の降水量は 2.5～140mm との報告がある（Yan et al., 2020）。

実験室では、土壌水分量、植え付けの深さ、根茎の水分含有量といった環境要因がナガエの生育に影響を及ぼすとの報告例がある。Shen ら（2005）は環境要因と主にシュート発生率の関係を分析し、土壌水分は、根茎は土壌水分 10～55%で発芽し、土壌水分が 30%のときにシュート発生率が最大で 93%となる一方で、栄養生長は、土壌水分が 40%と 45%のときにもっとも早い。植え付け深さがシュート発生に及ぼす影響は、0～2cm でシュート発生率が高く、植え付け深さが深くなるにつれて発生率が急激に減少した。栄養成長は、植え付け深さが深くなるにつれて同様に減少し、植え付け深さが 10cm を超えると、植物の高さと地上部および地下部のバイオマスが他の植物に比べて低くなった。根茎の水分含有量は、ナガエの浸水への耐性が高く、3, 6, 12, 15 日間水に浸かった根茎でも、それぞれ 83, 70, 67, 63%という高いシュート発生率であった。

一方で乾燥に対しては弱く、水分含有量がそれぞれ 78, 58, 42%のときに根茎の 73, 45, 22%がシュート発生し、水分含有量が 20%未満のときにはシュート発生は確認されなかったと報告している。

4. まとめ

農村地域に侵入しつつあるナガエの対策を検討するにあたり、成長速度と環境要因に関するレビューを行った。ナガエの成長速度は他の植物と比較して早いうえ、月の平均気温が 4~29℃の間で成長が可能である。このため、北海道と東北を除く日本全国の平野部では年間を通じた成長が可能である。また、乾燥には弱いものの、低照度や浸水に強いことから、国内の通常の気象条件下では死滅する可能性が極めて低いことが確認された。得られた知見を参考にしつつ、有効な対策手法の検討を進めていきたい。

【謝辞】本研究は、内閣府の研究開発と Society5.0 との橋渡しプログラム (BRIDGE)「生物多様性と農業生産を脅かす侵略的外来種の根絶技術の開発」の補助を受けて行った。

引用文献

- A Hussner (2009) : Growth and photosynthesis of four invasive aquatic plant species in Europe, *Weed Research*, 49, 506-515
- Asif Tanveer, Hafiz Haider Ali, Sudheesh Manalil, Ali Raza and Bhagirath Singh Chauhan (2018) : Eco-Biology and Management of Alligator Weed [*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.]: a Review, , 38, 1067-1079
- Daniel Clements, Tony M. Dugdale and Trevor D. Hunt (2011) : Growth of aquatic alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) over 5 years in south-east Australia, *Aquatic Invasions*, 6 (1), 77-82
- David I. Longstreth and Catherine B. Mason (1984) : The Effect of Light on Growth and Dry Matter Allocation Patterns of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., *Botanical Gazette*, 145 (1), 105-109
- Haijie Zhang, Ruiying Chang, Xiao Guo, Xiaoqin Liang, Renqing Wang and Jian Liu (2017) : Shifts in growth and competitive dominance of the invasive plant *Alternanthera philoxeroides* under different nitrogen and phosphorus supply, *Environmental and Experimental Botany*, 135, 118-125
- Huyong Yan, Lei Feng, Yufei Zhao, Li Feng, Di Wu and Chaoping Zhu (2020) : Prediction of the spatial distribution of *Alternanthera philoxeroides* in China based on ArcGIS and MaxEnt, *Global Ecology and Conservation* 21, e00856
- Jianying Shen, Mingquan Shen, Xiuhong Wang and Yitong Lu (2005) : Effect of environmental factors on shoot emergence and vegetative growth of alligatorweed (*Alternanthera philoxeroides*), *Weed Science*, 53, 471-478
- Jorge A. Bolanos and David J. Longstreth (1984) : Salinity effects on water potential components and bulk elastic modulus of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., *Plant Physiology*, 75, 281-284

- 皆川朋子, 上杉幸輔, 伊東麗子 (2021) : 菊池川における特定外来生物ナガエツルノゲイトウの分布と生育・拡大要因, 土木学会論文集 B1 (水工学), 77 (2), 1039-1044
- 嶺田拓也, 佐々木亨, 市川康之, 芝池博幸, 高橋修, 皆川裕樹, 鈴木広美, 山岡賢 (2018) : 印旛沼地域に侵入・定着する外来水草ナガエツルノゲイトウ, 水土の知, 86 (8), 11-14
- 嶺田拓也, 中井克樹, 林紀男, 丸井英樹 (2020) : 農業被害をもたらす侵略的外来水草の対策と課題, 水土の知, 88 (11), 3-7
- Xiaoyun Pan, Yupeng Geng, Wenju Zhang, Bo Li and Jiakuan Chen (2006) : The influence of abiotic stress and phenotypic plasticity on the distribution of invasive *Alternanthera philoxeroides* along a riparian zone, *Acta Oecologica*, 30 (3), 333-341
- Xin Jia, Dongjing Fu, Xiaoyun Pan, Bo Li and Jiakuan Chen (2007) : Growth pattern of alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) in terrestrial habitats, *Biodiversity Science*, 15 (3), 241-246

国際会議 NDT-CE 2025 参加報告

Report on Participation in the International Conference on Non-Destructive Testing for Civil Engineering 2025

新潟大学自然科学系 鈴木 哲也
東京農工大学大学院 浅田 洋平
農研機構農村工学研究部門 中田 達・金森 拓也
山口大学大学院 萩原 大生
新潟大学大学院博士後期課程 柴野 一真

1. はじめに

土木工学分野の非破壊検査に関する国際会議 NDT-CE 2025 (Non-Destructive Testing for Civil Engineering 2025) が 2025 年 9 月 23 日から 26 日の日程でトルコ共和国イズミール市において開催された (写真-1)。筆者らは、大会主催者であるエーゲ大学 Ninel Alver 教授と共に農業農村工学分野の特別セッション “NDT for Optimum Maintenance and Management of in-Service Industry, Irrigation and Urban Water Infrastructures” を企画し、会議運営に参画した。本報では、会議概要と筆者らの取組みから考えた非破壊検査分野における農業農村工学の貢献と課題について報告する。

2. 国際会議 NDT-CE の成り立ちと 2025 年会議の概要

International Symposium on Nondestructive Testing in Civil Engineering, NDT-CE は、ドイツ語圏の土木工学分野における非破壊検査の専門家を中心に 1985 年に開始された国際会議である。ドイツ、アメリカ、フランス、スイスなどヨーロッパを中心に主に 3 年ごとに継続的に開催されている。土木工学分野の非破壊検査をトピックスとして挙げている国際会議の中でも 40 年以上の歴史を有するものの一つである。筆者の一人である新潟大学・鈴木も 2003 年にベルリン工科大学で開催された NDT-CE 2003 より継続的に参加しており、2025 年 9 月に開催された今回大会では農業農村工学分野における非破壊検査関連の特別セッション (後述, Special Session 11) を大会主催者である Ninel Alver 教授の依頼により企画した。2025 年会議には研究者を中心に 30 か国、約 150 名が参画した。ドイツやオーストリアからの参加者に加えて、米国やヨーロッパ各国、東アジアからは日本や韓国、台湾からの参加があった。日本からは、筆者らに加えて、京都大学大学院工学研究科インフラ先端技術産学共同研究部門・塩



写真-1 NDT-CE 2025 開催状況

谷智基特定教授や愛媛大学大学院工学研究科社会基盤 i センシングセンター長・中畑和之教授、北海道大学大学院工学研究科・橋本勝文准教授が参加した。会議の発表件数はキーノートレクチャー 3 件、オーラルプレゼンテーション 113 件、ポスタープレゼンテーション 6 件の 122 件の報告が行われた。発表分野は、Impact Echo, Ultrasonic, Digitalization & AI, Modelling & Reliability, Corrosion, Sensors, Quality Control, Structural Health Monitoring (SHM), Radar, Education, Acoustic Emission, Concrete, の他、11 の Special Session が提案された。各分野の主要なテーマは、キーワードで NDT, SHM, BIM/CIM, Digital Twin, Maintenance and Management, Damage, Degradation 等である。試験研究の対象となる構造物は、橋梁や鉄道、道路などが主であり、筆者らが対象とした水インフラ (上下水道、農業用水、工業用水を対象とした施設) は少数であるが確認された。講演要旨集は発行されず 1 課題 10 ページ程度のフルペーパーが NDT.net (<https://www.ndt.net/index.php>)²⁾ に公表された。これはオープンアクセスであり、興味のある方は自由に閲

覧できる。

キーノートレクチャーは、ドイツ・ミュンヘン工科大学 Christian Grosse 教授による”NDT+SHM: Strategies for the Design and Rehabilitation of a Sustainable Infrastructure”, 米国・イリノイ大学 John Popovics 教授による”Physics-Informed Artificial Intelligence in NDT-CE”, ドイツ・ワイマールバウハウス大学材料研究試験研究所 Martin Schickert 部門長による”Integration of Non-Destructive Testing Results in Building Information Models”の3件であり、いずれの講演も社会基盤の建設や維持管理における情報化施工、建設 DX、BIM/CIM といった複数の機関によるデータシェアリングによる建設分野の効率化や災害リスクの可視化などを中心に先端研究が紹介された。特に Christian Grosse 教授は EU 圏の土木工学分野における非破壊検査の中心的な人物であり日本の非破壊検査研究者との交流も多い。会議期間中、筆者らの水インフラに関する取組みについても有益なコメントをいただいた。

講演会は前述の通り 11 の特別セッションと 12 の個別セッションが開催された。主にコンクリート構造物を中心に鋼構造を含めた社会基盤に関する非破壊検査法の最新事例が発表された（写真-2）。

3. Special Session 11 “NDT for Optimum Maintenance and Management of in-Service Industry, Irrigation and Urban Water Infrastructures”（特別セッション 11「工業用水、灌漑用水、上下水道に係る水インフラの維持管理の最適化のための非破壊検査」）概要

2025 年会議での特別セッション 11 の準備は 2022 年にスイス・チューリッヒ市で開催された NDT-CE 2022 の際に次期開催地としてトルコ共和国イズミール市が公表されてから始まった。土木工学分野の非破壊検査は、主に道路や橋梁が主要なテーマとなっており、河川や港湾構造物は少ない。ましてや産業基盤である農業水利施設は多くの関連する研究者からすれば視野に入ることではない。しかし、農業農村工学が得意とする水理・水利用研究と非破壊検査との融合は BIM/CIM やデジタルツイン、データシェアリングなどの用語が多用される今日において重要になっている。特に豪雨災害や漏水事故、地震災害など、我々が想定できる事象だけでも社会基盤のデジタルツインに関する具体化が遅れており、急務な研究課題であることは自明である。農業農村工学は、デジタルツインの視点でなくとも、水理・水利用と構造物との相互作用に関する研究



写真-2 各セッションでの発表状況

蓄積は多い。この点に関しては、土木工学と比較しても研究開発が進展しているのではないだろうか。このような観点から 2025 年会議の主催者である Ninel Alver 教授と鈴木は 2022 年会議後に、現状の非破壊検査分野において視点が欠けている水インフラを対象にした材料・構造と水理・水利用との境界領域に関する企画の立案を進めた。Ninel Alver 教授からは水理・水利用に関する研究者の参画を依頼され、鈴木は農研機構農村工学研究部門の協力を仰いだ。

本セッションでは、鈴木と Ninel Alver 教授に加えて、東京農工大学大学院・浅田によりセッションが運営された。農業農村工学の特徴を明確にするため農研機構 2 件、東京農工大学 1 件、山口大学 1 件、大林道路（株）技術研究所 1 件、新潟大学 1 件の計 6 件が発表された。特別セッションは、筆者らの外にキーノートレクチャーを行った Christian Grosse 教授らを中心に 10 件が企画された。特別セッション 11 を概観すると、第 1 課題は農研機構・金森による“Development of Quantitative Evaluation Methods for Surface Roughness and Abrasion Depth in Agricultural Open Channels”³⁾が発表された。コンクリート開水路の摩耗劣化に関する報告である。会場からは、計測技術に加えて、開発技術の将来像が提示されたことで土木工学との共通性と農業農村工学の特異性を理解したとの声が聞かれた。この課題は農業農村工学において多くの研究蓄積があり、土木工学の類似研究と比較して優位な課題ではないだろうか。第 2 課題は同じく農研機構・中田による“Practical Feasibility of AI Image Analysis and Digital Twins for Remote Management of Drainage Pump Stations and Agricultural Canal Gates”⁴⁾が発表された。本発表は AI によるゲート操作状況の自動検出とポンプ設備の洪水シミュレーションがデジタル化の観点から議論された（図-1）。本セッションの前に行われた



図-1 ポンプ設備の洪水時シミュレーション結果⁴⁾



写真-3 Special Session 11 での発表状況

Christian Grosse 教授の講演において地下鉄を対象としたデジタルツインが発表されていたことから、会場からは「ポンプ設備の洪水時シミュレーションは土木工学にはない視点で斬新だった」など好意的な声が多数寄せられた。地球温暖化に伴う洪水頻度の増加により、インフラ保全が重要な社会課題になる中で本発表は、分野横断的な取り組みとして注目を集めた。第3課題は、山口大学大学院・萩原（元 寒地土木研究所）による“Detecting Pressure Waves during Earthquakes in an In-Service Pipeline System for Agricultural Irrigation using Numerical Analysis”⁵⁾が発表された。パイプライン内部で発生する地震時動水圧に関する実証的検討結果が報告された。地震時のパイプライン被災の実態も詳細に報告されたことから、材料・構造と水理現象との相互作用に関する詳細な調査診断法の開発の重要性が確認された。第4課題は、東京農工大学大学院農学研究院・浅田により“Water Use Estimation and Leak Detection Using Transient Pressure Data in Field Pipeline Systems”⁶⁾が発表された（写真-3）。新たな圧力波による漏水検知シミュレーション法が提案された。多くの出席者が構造工学や材料工学、コンクリート工学、非破壊検査工学を専門とし、初歩的な水理学の知識のみを有する状態であったことから難解な印象を持った参加者も少なからずいたが、画期的な非破壊

検査法の提示であるとの高い評価を受けた。第5課題は、大林道路（株）技術研究所・坪田（元新潟大学大学院）による“Use of 3D Image Data for Leak Detection of in-Service Deteriorated Water Pipeline”⁷⁾であり、東京農工大学と新潟大学との共同研究成果の一部が発表された。第6課題は、新潟大学大学院博士後期課程・柴野により“Evaluation of Subsurface Damage for In-Service Concrete Dam by Time-Series Deep Learning with Three-Dimensional Shadow Modeling”⁸⁾と題して、農業用コンクリートダムを対象に陰影の影響を考慮した熱収支解析と深層学習（LSTM）による包括的シミュレーション結果が報告された。本発表はエーゲ大学との国際共同研究成果である。

一連の発表では、コンクリート開水路やゲート設備、ポンプ設備、パイプライン、中空重力式コンクリートダムを対象とした。これは本会議の主な研究対象である橋梁等の社会基盤と比較して、流体や気象条件を取り扱うことで実証的検討の難易度が格段に高い研究課題であるとの聴講者の声が寄せられた。一方において、材料・構造と水理・水利用との相互作用を研究対象としていることから、洪水災害後の実態評価や地震災害リスクの定量評価など、非破壊検査研究の進展が期待される新たな領域であるとの意見も聞かれた。農業農村工学を専門とする我々が認識していない部分で他分野への貢献が可能になることも多いのではないだろうか。本特別セッションの企画・運営を通して農業農村工学の新たな可能性を見出したものと考えている。

4. 学生の活躍

2025 年会議では多くの学生が参加していた。特に各国の博士後期課程の学生達はオーラルプレゼンテーションやポスタープレゼンテーションで各々の研究課題を発表していた。日本からは北海道大学大学院から博士前期課程1名と新潟大学大学院から博士後期課程1名、博士前期課程3名の合計5名が参加した。新潟大学の学生達は農業農村工学を専門としている。他国の学生達と比較して英語力や論理的な表現方法など、多くの課題を改めて確認できたとの声が聞かれた。COVID-19（新型コロナウイルス感染症）が世界的に流行した後、国際会議の開催は低調であったが、本会議では学生たちが果敢に挑戦する姿が多く参加者の共感を得ていた。特にポスターセッションでは、討議時間や質疑の人数に制限ない中で学生たちの真摯な対応が確認された（写真-4）。前述 Christian Grosse 教授からは「日本人らしい生真面目な発表」との感想をい

ただいた。このような若者たちが今後の農業農村工学をけん引してゆくものと思う。

5. エーゲ大学表敬訪問

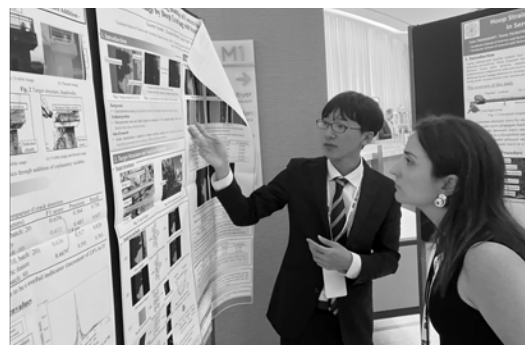
大会期間中、主催者である Ninel Alver 教授の所属するエーゲ大学工学部を訪問した（写真-5）。訪問時は本会議に関連する非破壊検査ワークショップが実施されており、30 名弱の世界各国からの受講生（主に初心者から中級者）が最新の超音波機器での計測、解析および診断に関する実習に取り組んでいた。同様の取組みを農業農村工学会全国大会において実施することで、日本国内のストックマネジメントの技術力向上に役立つのではないだろうか。

6. おわりに

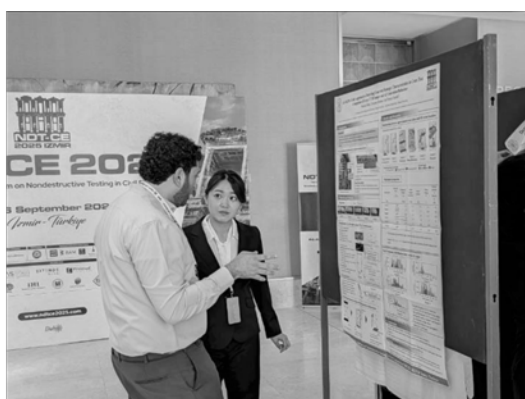
本報では、2025 年 9 月 23 日から 26 日の日程でトルコ共和国イズミール市において開催された国際会議 NDT-CE 2025 において、筆者らが企画・運営した農業農村工学関連の Special Session 11 “NDT for Optimum Maintenance and Management of in-Service Industry, Irrigation and Urban Water Infrastructures” を中心に報告した。農業水利施設の材料・構造と水理・水利用を考慮した非破壊検査は、デジタル化に基づく BIM/CIM への対応が求められる今日において、土木工学分野へも応用可能な有望な技術開発であることが明らかになった。次回大会は 2028 年にカナダ・トロント市で行われる。本学会関係者の参加を期待している。

引用文献

- 1) NDT-CE2025, <https://ndtce2025.com/> (参照 2025 年 9 月 29 日)
- 2) NDT.net, <https://www.ndt.net/index.php> (参照 2025 年 9 月 29 日)
- 3) Takuya Kanamori, Mitsuhiro Mori, Shohei Kawabe and Yusei Kimura: Development of Quantitative Evaluation Methods for Surface Roughness and Abrasion Depth in Agricultural Open Channels, (2025), <https://doi.org/10.58286/31652> (参照 2025 年 9 月 29 日)
- 4) Toru Nakada, Hiroto Kichise and Hirohide Kiri: Practical Feasibility of AI Image Analysis and Digital Twins for Remote Management of Drainage Pump Stations and Agricultural Canal Gates, (2025), <https://doi.org/10.58286/31723> (参照 2025 年 9 月 29 日)
- 5) Taiki Hagiwara, Takashi Ohkubo and Kaori Hoshino: Detecting Pressure Waves during Earthquakes in an In-Service Pipeline System for Agricultural Irrigation using Numerical Analysis, (2025), <https://doi.org/10.58286/31655> (参照 2025 年 9 月 29 日)
- 6) Yohei Asada, Taiki Hagiwara and Tetsuya Suzuki: Water Use Estimation and Leak Detection Using Transient Pressure Data in Field Pipeline Systems, (2025), <https://doi.org/10.58286/31675> (参



(a) 研究紹介



(b) 質疑応答および議論

写真-4 ポスターセッションでの発表状況



写真-5 エーゲ大学工学部表敬訪問

照 2025 年 9 月 29 日)

- 7) Toma Tsubota, Yuto Takahashi, Taiki Hagiwara, Yohei Asada and Tetsuya Suzuki: Use of 3D Image Data for Leak Detection of in-Service Deteriorated Water Pipeline (2025), <https://doi.org/10.58286/31692> (参照 2025 年 9 月 29 日)
- 8) Kazuma Shibano, Taiki Hagiwara, Tetsuya Suzuki, Kentaro Ohno, Masaomi Kimura and Ninel Alver: Evaluation of Subsurface Damage for In-Service Concrete Dam by Time-Series Deep Learning with Three-Dimensional Shadow Modeling (2025), <https://doi.org/10.58286/31665> (参照 2025 年 9 月 29 日)

公益法人農業農村工学会 応用水理研究部会

<http://www.jsidre.or.jp/ouyousuiri/>

本研究部会は、応用水理に関する学理と応用についての科学的研究を推進し、農業農村工学分野の学術・技術の振興と社会の発展に寄与することを目的としています。

事務局：〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

農研機構農村工学研究部門

応用水理研究部会事務局（部会長：桐 博英）