TITLE:

FUNDAMENTAL STUDY ON UNDULAR AND DISCONTINUOUS HYDRAULIC JUMPS BY MEANS OF A SIMPLIFIED MOMENTUM EQUATION(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

THIN, THWE THWE

CITATION:

THIN, THWE THWE. FUNDAMENTAL STUDY ON UNDULAR AND DISCONTINUOUS HYDRAULIC JUMPS BY MEANS OF A SIMPLIFIED MOMENTUM EQUATION. 京都大学, 2020, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2020-09-23

URL:

https://doi.org/10.14989/doctor.k22756

RIGHT:

京都大学学術情報リポジトリ KURENAI 紅 Kyoto University Research Information Repository

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	THIN THWE THWE
論文題目	FUNDAMENTAL STUDY ON UNDULAR AND DISCONTINUOUS HYDRAULIC JUMPS BY MEANS OF A SIMPLIFIED MOMENTUM EQUATION （簡易型運動量方程式を用いた波状跳水及び不連続跳水に関する基礎的研究）		

（論文内容の要旨）

人工水路や河川の流れにおいて，上流から下流に向かってフルード数が 1 より大きい射流から小さい常流に遷移するとき，跳水と呼ばれる水面形の空間的遷移現象が発生する．上流側のフルード数が 1.2 程度より小さい場合，水面は連続的な波状を呈しながら下流側の常流の流れに接続する．これは波状跳水と呼ばれている．一方，上流側のフルード数が大きくなるにしたがい，波状跳水の先頭のピーク付近で局所的に逆流が生じ，徐々に逆流部が拡大して波状の水面形状を伴わない強跳水に遷移していく．

本論文では，波状跳水と強跳水の水面形状および内部の流速分布形の空間的変化を再現することが可能な簡易な水深積分型運動量方程式を提案するとともに，提案した水理モデルの基本的特性を明らかにしている．さらに，得られた知見に基づいて両跳水間の遷移現象も再現可能な運動量方程式を提案し，それを用いて得られる解析結果の特性についても検討した．

第 1 章は序論であり，本研究課題を取り上げた動機と研究の目的，並びに論文の構成について記述している．

第 2 章では，渦動粘性項を有する鉛直加速度を考慮した開水路流れの運動量方程式（以後ブシネスク方程式）に基づいて，波状跳水の水面形全体に適用できる連続な解析解を導出するとともに検証を行っている．これまでに，波状跳水の前面を孤立波の半分，第一ピークから下流の波状の領域をクノイド波で表現し，上流無限大の水深と下流側のクノイド波領域の平均水深が共役関係を満たすように両者を接続することで波状跳水を構成する理論が提案されている．この理想的モデルでは接続部で水面形の二階微分係数が不連続になること，後続の波状の領域での振幅の減衰が再現されないこと等の欠点が存在する．

そこで本論文では，波状跳水全体の連続な形状を表現する理論式について渦動粘性項を有するブシネスク方程式の解析解を誘導することで提示している．まず，ブシネスク方程式から鉛直加速度項を除いた式の解を，限界水深位置である原点より上下流の二領域に分けて基本解を導き，波状跳水の解を基本解とそれからの摂動成分の和として表示した．その表示式をブシネスク方程式に代入して摂動成分に関するの関係式を導くとともに原点の上下流に分けて解き，接続条件を用いて波状跳水全体の形状を表す理論解を構成した．得られた理論解を数値解析結果と比較することで検証も行った．

第 3 章では共役水深の間で逆流が生じる強跳水の水面形状および跳水内部の流速分布の空間的変化を再現することが可能な簡易な水深積分型運動量方程式を提案した．跳水部を含む開水路流れに対して古典的な水面形方程式にできるだけ整合する水深積分型の基礎式を用いることで，跳水部も連続した流れの領域と考えた水面形解析ができれば実用的に有用であることを指摘している．

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	THIN　THWE　THWE

そこで本論文では流速分布を相対水深に関する４次式で表示し，それをゼロ方程式モデルを適用した鉛直２次元レイノルズ方程式に代入することで，流速分布式の各次数の係数に関する流れ方向の座標を変数とした連立常微分方程式を導いた．一様な流速分布形から出発する逐次近似法により連立常微分方程式を近似的に解き，その結果として導かれる流速分布式の係数と水深およびその空間微係数の関係式を運動量方程式に代入することで，強跳水の流れ特性を再現可能な水理解析モデルを提案した．

導かれた解析モデルの数学的特性を明らかにした後，強跳水の水面形状と内部の流速分布を計算し，従来の実験結果と比較することでモデルを検証した．すなわち，基礎式には上下流無限大で二つの共役水深に漸近する水面形の解は存在せず，上下流で共役水深になる二つの有限位置があること（有限の跳水長さが存在すること）を示した．そこで，水面形状を原点と二つの上下流端位置の三点の周りでべき乗解を用いて表現し，それら三つの水深分布を各々接続することで強跳水全体の水面形状とその中の流速分布形も計算した．従来の実験結果と解析結果を比較することで，共役水深の間で急激に変化する水面形状や流速分布形が概ね再現できていることを示した．また，次章の目的のために解析モデル中の水面形状を定めるための主要項を特定した．

第４章では，本論文で得られた波状跳水と強跳水に対する水深積分型運動量方程式に関する知見をもとに，フルード数の増加に伴う波状跳水から強跳水への水面形の遷移を再現可能な単独の運動量方程式を提案した．まず強跳水に関しては，流速分布の空間変化によって生じる付加的な運動量輸送項を考慮することで，強跳水形状と跳水長さが概ね再現できることを検証した．また，ブシネスク方程式の鉛直加速度項にフルード数に関する減衰関数を乗じることで，フルード数の増加に伴う波状跳水フロント部の砕波による変形が簡易的に再現できることを示した．これらを単独の運動量方程式に考慮することで，波状跳水から強跳水への遷移過程をある程度再現できる水理解析モデルを提案し，従来の実験結果と比較することで検証した．

第５章は結論であり，本論文で得られた成果について要約している．

氏　名	THIN　THWE THWE

（論文審査の結果の要旨）

本論文では，開水路流れを対象とした水深積分型の運動量方程式を改良することで，波状跳水と強跳水の水面形状および内部の流速分布の空間的変化を簡便に再現できる水理解析法を提案した．さらに得られた知見に基づいて，両跳水間の遷移現象を再現できる新たな付加項を伴う運動量方程式を考案し，水面形遷移の再現性について検証した．

まず，波状跳水全体の連続な形状を表現する理論式について，渦動粘性項を有するブシネスク方程式の解析解を誘導することで提示した．ブシネスク方程式から鉛直加速度項を除いた式の解を，限界水深位置である原点より上下流の二領域に分けて基本解を導き，波状跳水の解を基本解とそれからの摂動成分の和として表示した．その表示式をブシネスク方程式に代入して摂動成分に関するの関係式を導くとともに原点の上下流に分けて解き，接続条件を用いて波状跳水全体の形状を表す理論解を構成した．得られた理論解を数値解析結果と比較することで検証も行った．

次に，共役水深の間で逆流が生じる強跳水の水面形状，および跳水内部の流速分布の空間的変化を再現することが可能な簡易な水深積分型運動量方程式を提案した．すなわち，流速分布を相対水深に関する４次式で表示して，ゼロ方程式モデルを適用した鉛直２次元レイノルズ方程式に代入することで，流速分布式の各次数の係数に関する流れ方向の座標を変数とした連立常微分方程式を導いた．一様な流速分布形から出発する逐次近似法により連立常微分方程式を近似的に解き,その結果として導かれる流速分布式の係数と水深の関係式を運動量方程式に代入することで，強跳水の流れ特性を再現可能な水理解析モデルを提案した．

最後に，本論文で得られた波状跳水と強跳水に対する水深積分型運動量方程式に関する知見に基づき，フルード数の増加に伴う波状跳水から強跳水への水面形の遷移を再現可能な単独の運動量方程式を提案した．まず強跳水に関しては，流速分布の空間変化によって生じる付加的な運動量輸送項を考慮することで，強跳水形状と跳水長さが概ね再現できることを検証した．また，ブシネスク方程式の鉛直加速度項にフルード数に関する減衰関数を乗じることで，フルード数の増加に伴う波状跳水フロント部の砕波による変形が簡易的に再現できることを示した．これらを単独の運動量方程式に考慮することで，波状跳水から強跳水への遷移過程をある程度再現できる水理解析モデルを提案し，従来の実験結果と比較することで検証した．

要するに本論文は，開水路流れを対象とした水深積分型の運動量方程式を改良することで，波状跳水と強跳水の水面形状および内部の流速分布の空間的変化を簡便に再現できる水理解析法を提案したもので，学術上，実際上寄与するところが少なくない．よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める．また，令和２年８月２４日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた．

要旨公開可能日：　　　　　年　　　月　　　日以降