

氏名(本籍)	<small>なかむら なおふみ</small> 中村 直史(福岡県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第28号
学位授与日	平成16年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科 社会開発・環境システム工学専攻
論文課題目	重み付差分法の浅海流および潜堤解析に関する研究
審査委員	主査 九州産業大学 教授 加納 正道 副査 九州産業大学 教授 細川 土佐男 副査 九州産業大学 教授 西谷 弘信

### 内容の要旨

本研究は、潮流変化の予測や汚染物質の拡散等の数値流体解析による予測に最も有効な数値モデルを開発することを目的とする。湖沼・ダム貯水池・内湾など閉鎖性水域の環境保全、環境創造を行なうためには、水質、底質、生物などを中心とした環境の現状を把握することが最重要である。環境への影響を予測・評価するための数値モデルは、環境測定や多分野にわたる分析の蓄積などから得られた知識、情報をもとに構築され、条件変化による環境影響評価や環境改善効果予測等の一手段として頻繁に利用され、差分法、有限要素法、境界要素法、有限体積法などによって検討が行われている。これらの解析方法には、それぞれ境界条件の対応、精度、安定性などに特徴があり、このうち差分法は、数値流体力学において、複雑な流れ現象を取扱うことが便利であるからよく用いられている。

しかしながら、従来の差分法による直交格子網での解析では、格子網を十分細かくとらない限り、複雑な境界の形を正確に表現することは難しく、有限要素法や境界要素法と比較して欠点とみなされていた。格子間隔を狭くしても計算時間や観測値などの入力データ数が急激に増すことになり実際的な解決にはならない。従って、込み入った海岸線や必要な箇所を少ない格子数分割で表示でき、不規則な境界領域へ適用できる数値解析手法が有効となる。この差分法の1つとして、加納らは、渡部が開発した熱伝導方程式の数値解析で差分式の係数を与えられた微分方程式を満足する有限個の多項式を用いて定める方法を発展させている。即ち、この方法の理論的根

拠を明確にし、次いで一次元移流分散方程式を対象に、この方程式を満足し、収束性をもつ多項式を新たに求め、この多項式を用いて差分式の係数(重み)を求める方法を述べ、重み付差分式による一次元移流分散方程式の数値解について、その精度が四次オーダーであることを報告している。この方法は、二次元移流分散問題へ適応した場合に一次元と同等な精度をもち、次に地下塩水くさび移流拡散などの解析において境界要素法との結合解法を用いた場合に室内実験値の再現性が高い結果を与えている。この重み付差分法(WFDM)は、領域内を不規則四辺形の格子網で覆うことで複雑な形状の閉鎖性水域を数少ない分割で表現できる。また、本法は、考える格子点における関数値を、その周辺格子点の関数値の重み付加算式で表示し、次に基礎式を満足する各次数の多項式を重み付加算式に代入して得られる周辺格子点の個数と同じ数の重みに関する連立一次方程式を求め、これを解いて重みを決定するものである。

本論文では、まず、移流問題におけるWFDMによる数値解が、厳密解との比較により、精度が良いことを示し、次に、幾何学的に複雑な地形を有し、かつ干潮時に広大な干潟の出現する干潟の出現する干潟水理モデルの潮流解析に適用可能な二次元重み付差分法を新たに開発し、その重み付差分法解が、実測値の高い再現性を示すことなどについて述べる。更に、重み付差分法の潜堤周りの流れ解析への適用についても提案を行った。ここで取り扱う潜堤解析は、自由水面を考慮し、その時々刻々と変化する水面の挙動を追跡し計算することは、工学上、非常に重要な問題である。即ち、海岸構造物やダム堤体などその影響を受ける構造物に作用する流体力を定量的に評価するためには、流況及び自由表面形状を正確に求める必要がある。

このようにWFDMは、複雑な地形をもつ3次元水域の潮流解析を精度良く行うことができ、また、移動境界問題への適用も可能であり、二次元移流分散問題へ適用した精度も良いので、閉鎖性水域における水質汚濁機構の解明や環境影響評価を行う手法としてWFDMは有用であると考えられるものである。

第1章では、本研究の背景やこれまでの研究の流れについて概説し、本論文の目的と内容について述べた。

第2章では、WFDMの特色を述べ、数値流体解析の分野において非常に重要な基礎方程式である移流方程式の数値解析を行うためのWFDMについて説明する。WFDMによる数値解が、厳密解との比較により、精度が良いことを明らかにした。

第3章では、幾何学的に複雑な地形を有し、かつ干潮時に広大な干潟の出現する干潟水理模型の潮流解析に適用可能な二次元WFDMを新たに開発したことについて、現象へのWFDMの定式化、及び重みの定め方を具体的に考え、水理模型実験による解析結果と合致するよう、より良い数値シミュレーションの解析方法を検討・改良を行った。また、周辺点の選び方が自由であり、風上差分の採用が容易であることについても述べ、WFDM解が、実験実測値の高い再現性を示すことを明らかにした。

第4章では、潜堤解析を取り上げ、水理実験による透過型潜堤の消波機能と流況の確認を行い、透過型潜堤における消波機構解明のための数値解析手法について検討を行ったことについて述べる。すなわち、水理実験において波の伝達率を算出するとともに、流れの可視化を行うことで透過型潜堤のスリット間で複雑な挙動を示す回転流を確認し、渦なし流れとして取り扱った境界要素法 (BEM) による数値解と実験値の比較・検討を行う。さらに、透過型潜堤における渦の影響を定量的に把握するための試みとして、BEMとWFDMを結合した場合の解析手法および境界条件の設定方法などについて検討を行い、重み付差分-境界要素結合解法として提案を行ったことについて述べた。

第5章では、結論として本論文で得られた成果を示した。

### 審査の結果の要旨

本論文は、潮流変化の予測や汚染物質の拡散等の数値流体解析による予測に有効な数値モデルを開発し、その解析値を厳密解および室内実験による実測値と比較・検討して、本数値モデルすなわち重み付差分法 (WFDM) が他の手法に対し優越性をもつことを示したものである。

本論文の主な成果は次の三点にまとめられる。

第一は、移流方程式へ本数値モデルを適用し、厳密解と比較した解析精度が他の数値モデルなどより優れていることを示した。

著者は、まずWFDMの特色を述べている。次に、数値流体解析の分野において重要な基礎方程式であり、純粋な移流を取り扱っているためにこれまで数値モデルによる解析解を厳密解と良く一致させることが困難であるとされる移流方程式を取り上げて、本数値モデルによる解析を行っている。WFDMは、広大な干潟をもつ海域における浅海流解析および潜堤まわりの回転流解析を行う目的で開発されるので、無次元化した流速であるクーラン

数で表示した場合に0.1から1.0の広い範囲で良い精度を持つことが必要であると考えられる。そこで、著者は、移流方程式のWFDMによる数値解が、クーラン数0.1から1.0の全ての範囲において、厳密解との比較に与り、精度が良いことを明らかにした。

第二は、干潮時に広大な干潟が出現する海域における浅海流解析について、室内水理模型実験装置を作成して、再現性が確認できるように多量の実験実測値を得ている。すなわち、干潮から満潮における各潮汐時刻における潮流ベクトル図、汀線移動図が再現性良く詳細に得られている。次に、干潟域を含む海域における浅海流解析へWFDMを適用するために、種々の開発を検討している。すなわち、非線形が強い浅海流方程式および物理特性の再現が容易ではない連続式を連立させて解析する場合に、精度の高い解を得る工夫がなされている。このWFDMでは、解析対象領域内を不規則四辺形の格子網で覆うことで複雑な形状の閉鎖性水域を数少ない分割で表現できる。また、本法は、考える格子点における関数値を、その周辺格子点の関数値の重み付加算式で表示し、次に、基礎式を満足する各次数の多項式を重み付加算式に代入して得られる周辺格子点の個数と同じ数の重みに関する連立一次方程式を求め、これを解いて重みを決定している。この重みを決定するための連立一次方程式の係数行列には無次元流速 (クーラン数)、無次元渦粘性係数、不規則四辺形の歪み率を含んでいる。また、WFDMは、考える格子点における関数値をその周辺格子点の関数値の重み付加算式で表示する際に周辺点の数および場所が任意に選択でき、従って風上差分の採用や水陸境界部における沿岸格子を水域格子へ置き換えることができる特徴をもっている。そこで、解析対象水域が複雑な幾何学的形状をもち、流速や渦粘性が場所および時間で大きく変化するような場合であってもWFDMは精度良く流れ場を解析することが期待される。実際に著者が行った室内水理模型実験における3次元浅海流について行ったWFDM解析結果は、満潮から干潮に至る各時刻における潮流および汀線移動に関して実験実測値と精度良い一致を示した。

第三は、海岸部における進入波による沿岸侵食を防御する目的で防波堤を設置する際に景観上優れ、また舟運などを妨げないことから水環境上有利であると評価されている潜堤を取り上げている。すなわち、水理模型実験による複数のスリットをもつ透過型潜堤の消波機能と流況の確認を行い、透過型潜堤における消波機構解明のための数値解析手法について検討を行っている。次に、経

済的で効率のよい潜堤を設計する目的で、模型実験において得た進入波と透過波の波高計データを用いて波の伝達率を算出するとともに、流れの可視化を行うことで透過型潜堤のスリット間で複雑な挙動を示す回転流を確認し、渦なし流れとして取り扱った境界要素法 (BEM) による数値解と実験値の比較・検討を行う。さらに、透過型潜堤における渦の影響を定量的に把握するための試みとして、BEMとWFDMを結合した場合の解析手法および境界条件の設定方法などについて検討を行い、重み付差分-境界要素結合解法として提案を行っている。

以上要するに、本論文は、数値解析および水環境保全上寄与するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位に値するものと認める。

#### (試験の結果)

本論文に関し審査委員から、移流方程式へ本数値モデルを適用し厳密解と比較する場合にクーラン数が0.1から1.0までの範囲で検討する必要性、浅海流方程式を本数値モデルで解析した結果と汀線移動に関する実験実測値との再現性、本数値モデルを用いて潜堤周囲の流れを解析する際に自由水面移動を適切に表示できているのかなどについて質問がなされたが、著者から明確な回答がいずれにもなされた。また、公聴会においても出席者から種々質問がなされたが、著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上の結果から、著者は試験に合格したものと認めた。

氏名 (本籍)	河野 久夫 (福岡県)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	甲第29号
学位授与日	平成16年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科 社会開発・環境システム工学専攻
論文課題目	鉄骨構造露出柱脚におけるアンカーボルトのせん断抵抗力に関する実験的研究
審査委員	主査 九州産業大学 教授 増田 貫志 副査 九州産業大学 教授 河村 博之 副査 九州産業大学 教授 宮川 邦彦

#### 内容の要旨

本論文は、鉄骨構造の露出柱脚が立ち上がり部を有する基礎コンクリート上に設置される場合を想定し、引張りまたはせん断力のいずれか一方、あるいはそれらの組み合わせ応力を受けるアンカーボルトの変形性状、耐力、および基礎コンクリートの破壊性状などを実験的に明らかにした。併せて、これらの研究資料に基づいたアンカーボルトの実用設計法を提案するものである。本論文は以下の6章によって構成されている。

第1章、序論において先ず述べていることは、露出柱脚部に作用する軸力、曲げモーメントおよびせん断力を円滑に基礎に伝達できるようにするには、柱脚部のベースプレート、アンカーボルトおよび基礎コンクリートなどの各構成要素の力学的性状・挙動を十分に把握して詳細設計を行い、この部分の構造性能を十分確保する必要がある。1995年の兵庫県南部地震における柱脚部の被害例を紹介し、これらの地震被害を低減する方策に関する研究資料や設計指針などの現況について述べた。また、基礎コンクリートに埋め込まれたアンカーボルトなどの力学性状に関する既往研究の変遷と成果について述べ、そこに残された研究課題について言及し、基礎コンクリートに埋め込まれたアンカーボルトのせん断抵抗力を多くの実験試料から追究することに本研究の意義と独自性があることを述べた。

第2章では、アンカーボルトの軸径および基礎コンクリートの強度を基本的な実験要素に選び、基礎コンクリートに埋め込まれたアンカーボルトがせん断力を受け