

氏名	李炫錫	いひょんそく
授与学位	博士(工学)	
学位授与年月日	平成15年3月24日	
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項	
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 土木工学専攻	
学位論文題目	河口感潮域における水位変動特性に関する基礎的研究	
指導教官	東北大学教授 田中 仁	
論文審査委員	主査 東北大学教授 田中 仁	東北大学教授 澤本 正樹
	東北大学教授 真野 明	

論文内容要旨

沿岸域において見られる興味深い自然現象の中のひとつとして、**wave set-up** を挙げる事が出来る。**wave set-up** は砕波後の波の変形に伴う運動量バランスに起因して生ずる平均水面の上昇であり、**radiation stress** の概念を用いてその現象を力学的に説明することが出来る。一般に、海浜における汀線位置での **wave set-up** 高さは沖波波高の2割程度に達することが知られている。したがって、波浪条件によっては1m前後にも及ぶこととなる。また、たとえ同一の沖波条件であっても、遡上域にいたる海底地形に依存して砕波変形過程が異なるため、汀線における **wave set-up** の高さも自ずと海浜地形に応じて変化することとなる。

一方、河口部においても同様な現象が存在するものと考えられるが、実際には、河川規模・作用外力の大小、あるいは河口構造物の有無に応じて河口水深が異なるため、砕波現象の影響を受ける河川、あるいは受けない河川など様々である。一般に、これまで多くの河口調査は一級河川を中心に行われてきた。河川規模のより大きな一級河川においては、より大きな河積を有するため、これまで **wave set-up** の存在が強く認識されることは無かった。一方、日本における河川規模の異なる3つの河川の河口実測水位をもとに、波高と河口水位上昇量との関係などについて検討を行った研究によれば、河川に応じて **wave set-up** による水位上昇が顕著に見られる河川とそうでない河川とが見られた。また、二つの河口導流堤を有するオーストラリア・Brunswick川において行った現地調査によれば、近隣の海浜において顕著な **wave set-up** が観測されるにもかかわらず、同河口内ではそれがほとんど見られないとの報告がなされている。このように、河口部の **wave set-up** の発生の有無について、統一的な知見を得るには至っていない。よって、様々な河口地形、外力条件のもとにあるさらに多くの河川を対象とした検討を行い、より多くの事例のもとに河口部における **wave set-up** に関する定量的評価を進め、これを河道計画

に反映させていく必要がある。

このような背景のもとに、本研究で行った河口感潮域における水位変動特性を調べる目的としては、次のような理由が挙げられる。

- 1) 河川河口の役割の1つとして、洪水流を安全に海に排出する機能が挙げられる。そのような機能を保つために、川の最下流端である河口が適切に維持されなければならない。
- 2) 河口部は河口港として利用されることも多く、航路の水深維持を目的として導流堤などを築造する必要がある場合がある。このように、河口部に築造した構造物等がその機能を十分に発揮するようにするためには、現地において起こっている諸現象の実態を十分に把握する必要がある。
- 3) 河口水位は河道計画における出発水位となるものであり、河川計画上においてきわめて重要な水理特性量である。
- 4) 河口に流入する塩水量の増加は感潮域生物環境への大きな **impact** になる点からも重要な検討課題である。

河口水位は、河川流量、潮位、波浪などの影響を受け、さらにこれらの外力により変動する河口地形との相互作用のもとに複雑に変動している。これらの支配的な外力のうち、波浪が河口水位に与える影響についてはこれまでほとんど検討がなされていなかった。近年になって、波浪によって河口で引き起こされる **wave set-up** に関する研究が内外で散見される。これらの研究により、河口部の **wave set-up** 高さは河口地形の影響を大きく受けていることが明らかにされている。ただし、両者の関係に関する定量的検討はほとんどなされていない。この原因の一つとしては、河口水位計測のインターバルと河口地形計測のそれとの間に大きな差があることが指摘される。すなわち、河口水位は自記式の水位計などにより容易に計測できることから、通常1時間程度の間隔で計測される。一方、河口地形の計測には多くの作業量・経費を必要とすることから、年に数回程度あるいは数年に一度程度の頻度で実施されることが多い。このため、ある時期に河口内において顕著な **wave set-up** のイベントが検知されても、一般にはそれに対応する河口地形が不明であり、両者の関係を検討することが困難であった。

そこで、本研究においては、まず、さまざまな条件を制御し易い室内実験と数値計算を実施し、河口部における **wave set-up** に関する検討を行った。次に、宮城県仙台市を流れる二級河川である七北田川を対象として、これまで16年間にわたって実測された河口水位データと河口地形資料を用いて、中小河川特有の水位変動特性を調べ、特に **wave set-up** が顕著に観察される時期を抽出して、詳細な検討を

行った。さらに、本研究において主たる研究対象とした一級河川である尻別川においては、近隣の山頂から 21 年間にわたってほぼ 1 週間毎に撮影された河口地形の斜め写真があり、これを用いて河口部の wave set-up 高さ と河口地形の関係をより詳しく調べた。

本論文においては、この様な水理実験、数値計算、現地資料解析を実施することにより、河口感潮域における水位変動特性を明らかにすることを目的としており、次のように構成されている。

本論文は 6 章で構成されており、第 1 章「序論」では本研究の背景、目的およびその意義について述べ、第 2 章では、一般の海浜ならびに河口部を対象とする「wave set-up に関する既往の研究」に関して述べた。第 3 章では、室内実験に基づく「河口部における wave set-up に関する水理実験」に関して述べた。第 4 章では、宮城県仙台市の七北田川を対象として、「七北田川河口における地形変動と水位変動」に関して述べた。第 5 章では、北海道尻別川を対象として、「尻別川河口における地形変動と水位変動」に関して述べた。第 6 章は、本論文の結論である。

第 1 章の序論に続いて、各章の内容および得られた主要な結論は次の通りである。

第 2 章においては、河口部での wave set-up の高さに関するレビューを行い、これまでもいくつかの検討が見られるが、河口前面海浜地形や河口水深への依存性を含めて、統一的な現象の記述が出来る段階には至っていないことが分かった。

第 3 章においては、河口部での wave set-up に関する水理実験の結果を示した。室内実験によれば、河口内の wave set-up 高さは相対水深のみならず、波形勾配への依存性を示している。一様勾配海浜における wave set-up 理論を参考に、河口部における wave set-up 高さを求める式を提案した。理論式から求めた河口内の wave set-up 高さは実験結果に比べ過小評価であった。そこで、首藤による浅水係数、合田による碎波指標、さらには水口による碎波変形モデルを用いることにより、数値計算により河口部に wave set-up 高さを評価した。このモデルを用いた数値解析結果により、河口内の wave set-up 高さがよく再現されていることが分かった。

第 4 章では、おもに宮城県仙台市・七北田川を対象として、河口部における wave set-up に関する検討を実施した。複数の河川における水位変動の比較により、河川規模・河口構造物の有無が河口最狭部の水深に差違を与え、それが河口内水位変動に強く影響を与えるということが分かった。特に、河口部水深の比較的浅い中小河川では、波による set-up が生じやすく、波高が高いほど水位上昇に影響を与えることを確認した。今後河口出発水位を考える際にそれぞれの特性を考慮する必要がある。また、ニューラルネットワークによる予測計算では、地形の変化を反映した精度の低下はあるものの、set-up が現れ

ている箇所での学習とその予測を行うことができた。このような非線形の波形を予測できるようになれば、外力条件を変化させた時の応答特性を簡単に調べることができる。

第5章では、尻別川河口における地形変動と水位変動に関して述べている。尻別川における河口砂州は、1年を周期として毎年同様な消長を繰り返している。すなわち、秋期・冬期に成長し、春先にこれがフラッシュされ、夏場には例年大きな変動を示さない。これは、冬期の高波浪、春先の融雪出水に代表される、この地域特有の外力の季節的な周期性を反映したものである。河口砂州が発達した時期における河口内水位変動は、波高の変動と連動していることが明らかになった。一方、この時期に流量はほぼ一定であり、変動は見られない。河口内水位の上昇は波高の増加と高い相関を有し、この河口水位上昇は波によって生み出されたもの、すなわち wave set-up であると結論できる。無次元 wave set-up 高さ と砂州長さの間に存在する線型関係から回帰式を得た。逆に、無次元 wave set-up 高さから砂州長さを推定することも可能である。砂州の伸長は河口水深の減少に対応しているものと考えられるので、ここで得られた wave set-up 高さ と砂州長さの関係は、前節までに得られた wave set-up と河口水深との関係を支持している。また、一次元解析を用いた河口部での wave set-up 高さの定量的評価手法により、無次元 wave set-up 高さを波形勾配の関数として定式化することが出来た。得られた wave set-up 高さに関する式は、先に示した水理実験の結果と良い一致を示した。なお、尻別川河口導流堤の建設により、河口開口位置が右岸に安定した。また、導流堤建設後の wave set-up 高さは、導流堤の建設後に低減した。これは、河口水深の増加によると考えられる。この様に、同河口での導流堤建設は①河口維持、②wave set-up による水位上昇量低減の二点において効果的であったと結論された。

本研究では、河口部において観測される wave set-up 高さを定量的に評価し、河口水深・河口地形との関係を明らかにした。ただし、ここでは、その基本的特性を調べることを目的として、おもに波浪が卓越する時期を選び出して検討を行っている。実際の河川計画においては洪水との同時生起性を議論しなければならない。今後、波浪、流量、さらには潮位変動を含めた複合確率に関する検討が必要であると考えられる。

また、本研究では水理学的な視点での検討の終始したが、wave set-up による水位上昇は入退潮量の増加をもたらす。これは、感潮域生物環境への大きな impact である。ここで明らかにした水位上昇現象はこのような生物現象とも関連している。これまで、感潮域の塩分変動を支配する外力としては潮汐・河川流量の二つが強く意識されていたが、今後、wave set-up による影響に関しても定量的評価を行う必要がある。

論文審査結果の要旨

沿岸域において見られる重要な自然現象の中のひとつとして、wave set-up が挙げられる。一般に、海浜における汀線位置でのその高さは沖波波高の2割程度に達することが知られている。一方、河口部においても同様な現象が存在するものと考えられるが、これまでその存在が強く認識されることは無かった。しかし、上述のように wave set-up 高さは無視できないほど有意の大きさを持ちうることから、様々な河口地形、外力条件のもとでの河川を対象とした検討を行い、より多くの事例のもとに定量的評価を進め、これを河道計画に反映させていくことが必要性である。そこで、本研究においては、水理実験・数値計算・現地資料解析を実施することにより、河口感潮域における水位変動特性に関して詳細な検討を行った。

第1章では本研究の背景、目的およびその意義について述べている。第2章においては、河口部での wave set-up の高さに関するレビューを行い、統一的な現象の記述が出来る段階には至っていないことを明らかにした。

第3章においては、河口部での水位上昇に関する水理実験の結果を示した。一様勾配海浜における理論を参考に、河口部における水位上昇高さを求める式を提案した。理論式から求めた河口内の wave set-up 高さは実験結果に比べ過小評価であった。そこで、既存の浅水係数理論、碎波指標、碎波変形モデルを組み合わせた数値モデルにより河口部の wave set-up 高さを評価し、実験により得られた水位上昇高さがよく再現されることが分かった。これは実用上、重要な成果である。

第4章では、七北田川を中心とする実際の河口における wave set-up に関する検討を実施した。他の河川も含めた複数の河口における水位変動の比較により、河川規模・河口構造物の有無が河口最狭部の水深に差違を与え、それが河口内水位変動に強く影響を与えていることが分かった。特に、河口部水深の比較的浅い中小河川では波による水位上昇が生じやすく、波高が高いほど水位上昇に影響を与えることを確認した。また、ニューラルネットワークによる予測計算では、良好な計算結果を得ることが出来た。これらは、興味深い成果である。

第5章では、尻別川河口における地形変動と水位変動に関して述べている。河口砂州が発達した時期における河口内水位変動は、波高の変動と連動していることが明らかになった。これより、この河口水位上昇は波によって生み出されたもの、すなわち wave set-up であると結論した。無次元水位上昇高さと砂州長さの間に存在する線型関係から回帰式を得、逆に、この関係を用い実測水位から砂州長さを推定することも可能であることが示された。砂州の伸長は河口水深の減少に対応しているものと考えられ、得られた河口内水位上昇高さと砂州長さの関係は、前節までに得られた水位上昇量と河口水深との関係を支持している。また、一次元解析により無次元 set-up 高さを波形勾配の関数として定式化することが出来た。得られた式は、先に示した水理実験の結果と良い一致を示した。これは、河川工学上重要な成果である。

以上要するに、河口部における wave set-up 高さは河口地形と密接に関連し、その現象を出発水位として河道計画の中に位置づける必要性を示しており、河川工学分野の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。