

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 吉田 貢 士

低水路と高水路からなる複断面開水路（複断面水路）は、少量の用水が低水路を流れる非灌漑期にも、ある程度の水深と流速が確保でき、ヘドロの堆積防止など、生物に良好な棲息空間を提供する水路形態として重要性が増大している。一方、水量の安定した灌漑期においては、多様な水深や流速の分布を実現し、農業用水路においては通水能の確保や安定した送水といった機能性が求められる。複断面水路の水理設計にあたっては、種々の流れの条件に応じて、水面形状や流速分布を予測するために、水路抵抗を正確に評価した、水利構造物などの境界条件を含めた実務的な水理解析法（定常流、非定常流）が必要となる。しかるに、複断面水路の水理学的研究は、主として等流の乱流特性に関わる課題が多く、不等流での巨視的な抵抗特性、流れの境界条件については、十分な研究がなされてきたとは言い難い。設計上の流量および水位条件を境界条件として与えた複断面水路の水理解析法は、定常不等流についても未だ確立していない。

本論文では、複断面水路に対して、低水路と高水路間の移流を考慮した準2次元的な定常流の支配方程式を導き、定常不等流の新たな水理解析法を構築し、常流条件での低下背水および堰上げ背水を対象とした不等流および等流の水路実験により、流れの抵抗特性、移流の実態、下流端境界の水理特性などを解明、そのモデル化を通して、水理解析手法の体系化に新たな知見をもたらしている。

第1章では、序論を述べ、既往の研究をレビューした。

第2章では、流体の基礎方程式から、準2次元水理解析のための基礎方程式（連続式、運動量方程式）を導き、不等流解析の新たな手法を提案した。

等流では断面間の乱流による運動量交換が抵抗として作用（剪断力）するが、不等流では、乱流混合に加えて、断面間の移流によるマクロな運動量輸送が存在し、抵抗の増加を引き起こす。本論文では、乱流混合と移流の効果を区別して、2つの異なる剪断抵抗を流量交換・移動による運動量交換および輸送としてモデル化して、統一的に表現した上で、基礎方程式を導いた。

また、常流状態では、水位は全断面で水平と見なすことができるという実験的事実に基づいて、各断面における水面勾配が等しい条件から、移流流量を評価して、2つの新たな解析手法を提案した。手法1は、流速および水位を変数とする非線形連立常微分方程式系を新たに見いだして、境界条件から数値積分する方法である。この方法は、平易な計算方法となるが、境界条件として、流速および水位を必要とする。手法2は、既存の方法に移流の条件を新たに付加した改良法で、各断面のエネルギー方程式を全断面で平均操作し、等価変換したエネルギー方程式を積分する。この方法は、各断面のエネルギー勾配および流速を変数とするが、境界条件として水位のみが与件として必要であり、より複雑な断面形状の水理解析へ応用の可能性をもつ。

第3章では、準2次元水理解析基礎方程式に含まれる2つの基本的なパラメータ、乱流混合係数 f と壁面抵抗係数 C_f を、等流実験により同定し、不等流において、同定したパラメータを用いる。等流状態では移流の効果がないため、乱流混合の効果のみを抽出することが可能である。混合係数 f は、レイノルズ応力を直接計測することにより求めた結果、本実験水路では、混合係数 f は、低水路と高水敷に粗度差がない条件で提案されている近似式と良く一致した。壁面抵抗係数 C_f については、十分広い水路幅の水路に対する流速分布の理論解と、実測流速分布の比較により、 $C_f=0.01$ とした。

第4、5章では、代表的な不等流として、それぞれ、低下背水・堰上げ背水時の流れの水理実験により、抵抗特性、移流の実態、下流端境界の水理特性などを解明、そのモデル化を行うと共に、水理解析のための計算アルゴリズムを提案した。

低下背水時の不等流の実験から、下流端近傍において、高水敷フルード数が1となる高水敷限界水深と低水路フルード数が1となる低水路限界水深が一定の距離隔てて存在すること、不等流性の強い流れでは乱流混合と比して移流の効果が非常に大きいこと、が明らかとなった。流れ全体を規定する下流端の固有な特性を踏まえて、2つの限界水深と高水敷き限界水深位置までの距離を計算するための手法2を用いた計算アルゴリズムを提案し、実測値と解析値を水面形状および流速分布、移流量について比較した結果、良好な結果を得た。

堰上げ背水時の不等流の実験から、堰上げ背水時は、低水路・高水敷ともに堰上に限界水深をもつこと、堰上げによる整流効果により、堰上での流速分布は一様化すること、堰近傍で流速の逆転現象が生ずること、が明らかとなった。この下流端流れの特性を踏まえて、境界条件として堰上に限界水深を与えた手法1を用いた計算アルゴリズムを提案し、実測値と解析値を水面形状および流速分布、移流量について比較した結果、良好な結果を得た。

6章では、結論を述べた。

以上のように、本論文は、複断面水路の不等流の新たな解析モデル、具体的な計算アルゴリズムを提案し、水理実験によりそれらを検証したものであり、複断面水路の定常流の実務的な水理解析手法の体系化について、学術応用上寄与するところが大きい。よって、審査員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。