

論文の内容の要旨

生物・環境工学専攻

平成 11 年度博士課程 進学

氏 名 吉田貢士

指導教官名 田中忠次

論文題目

複断面水路における準 2 次元定常流解析の体系化に関する研究

はじめに

生産性や機能性を重視した近代農業的管理体制の中で、水田や水路における生物種の減少が問題となっている。自然との共生および生態系保全といった課題のもと、生物に良好な棲息空間を提供する水路形態が求められており、複断面水路が注目されている。複断面水路の特徴は、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、水量の少ない非灌漑期には、水が低水路を流れることにより、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、生物に良好な環境を提供することができる。しかし、先述のような環境との調和性と同様に、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。水路システムに複断面水路を導入する際は、水路抵抗を正確に見積もり、水利構造物などの境界条件を含めた水面形計算法が必要となる。

複断面流れに関する研究は、水工学の分野で多く行われており、水平渦や 2 次流の存在による水路抵抗の増加が報告されている。Myer (1978) は、流速差に起因した乱流混合による運動量交換を、流速差の 2 乗に比例したせん断応力 τ_{as} としてシンプルに表現し、このせん断応力を導入した準 2 次元モデルがいくつか提案されているが、移流を考慮したモデルは存在しない。さらに、水面形を計算する上で不可欠な下流端境界条件について、不等流では全く検証されていない。そこで本研究では、1) 移流を考慮した支配方程式を導き、新たな水面形計算法を構築すること。2) 水路実験により、低下背水および堰上げ背水を対象に、下流端構造の把握とモデル化を行うことを目的とした。

移流を考慮した支配方程式と計算法

不等流時の抵抗増加は、乱流混合によるミクロな現象と断面間の移流によるマクロな現象からなる。本研究では、支配方程式を導くにあたり、乱流混合と移流の効果を区別した。その際、乱流混合のせん断力 τ_{as} を、Bertland (1994) により提案された流量交換の概念に基づき、交換流量 q_{ex} の表現に変換した。この変換により、乱流混合 q_{ex} と移流 q_t を同様に扱うことができ、支配方程式を容易に導くことができる。移流流量については、常流状態では各断面での水面はほぼフラットと見なすことができるという実験的裏づけのもと、各分割断面における水面勾配が等しいという条件を課して計算を行なった。

水面形計算においては、支配方程式を直接解く方法を新たに提案し、さらに木ノ瀬ら(1998)の手法に移流の条件を付加することにより改良し、実用的な逐次水面追跡法による水面形計算法を提案した。

パラメータの同定

提案したモデルにおける未定パラメータは乱流混合係数 f と壁面抵抗係数 C_f のみである。本研究では、等流実験により不等流計算に必要なこれらパラメータを同定した。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。その結果、本実験水路では、混合係数 f は池田ら (1989) が低水路と高水敷に粗度差がない条件で提案した近似式と良く一致した(図1)。さらに、池田ら (1994) が水路幅の十分広い条件で導いた流速分布の理論解と、実測流速分布の比較(図2)により壁面抵抗係数は 0.01 とした。

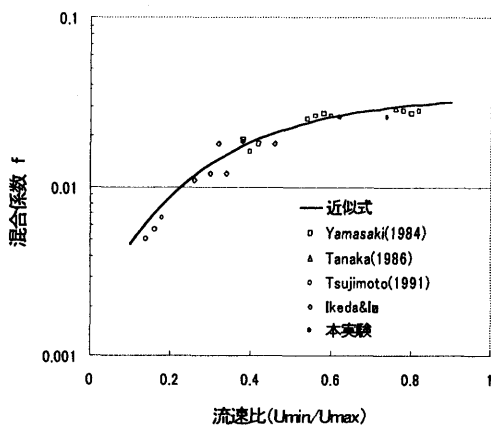


図1 混合係数 f と流速比の関係

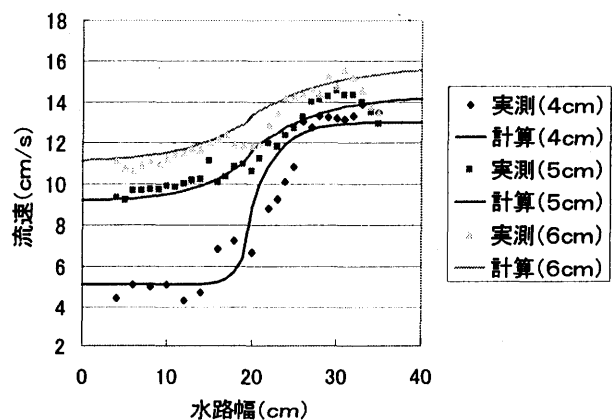


図2 流速分布の理論解と実測値

低下背水・堰上げ背水時の下流端構造の把握と計算アルゴリズム

典型的な下流端条件について検討するため、低下背水と堰上げ背水を取り上げた。この2つの組み合わせでシンプルな水路システムを構築することが可能である。

低下背水時の下流端近傍における水位とフルード数の変化を図3に示す。この図から分かることは、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である。本研究では、この下流端構造を踏まえて、2つの限界水深とその距離を計算するアルゴリズムを提案し、良好な結果を得た(図4)。さらに、乱流混合 q_{ex} と移流 q_t の効果を比較した結果、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(図5)。

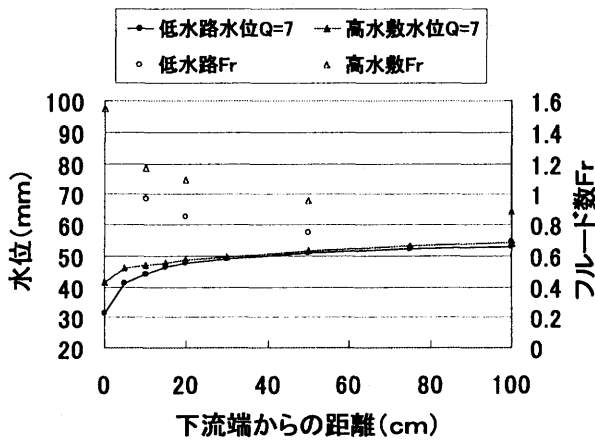


図3 水位とフルード数の変化
[流量 7 (l/s)、勾配 1/5000]

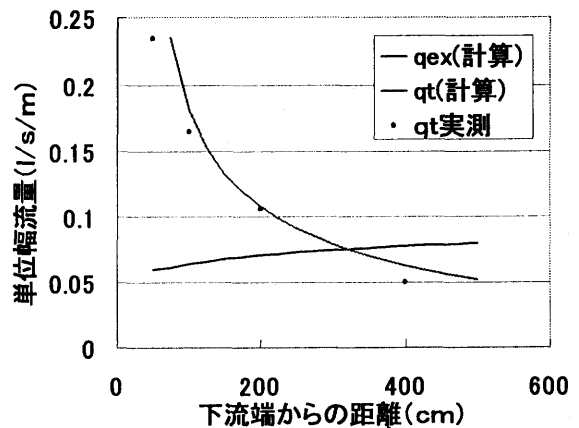


図5 乱流混合 q_{ex} と移流 q_t の変化
[流量 7 (l/s)、勾配 1/5000]

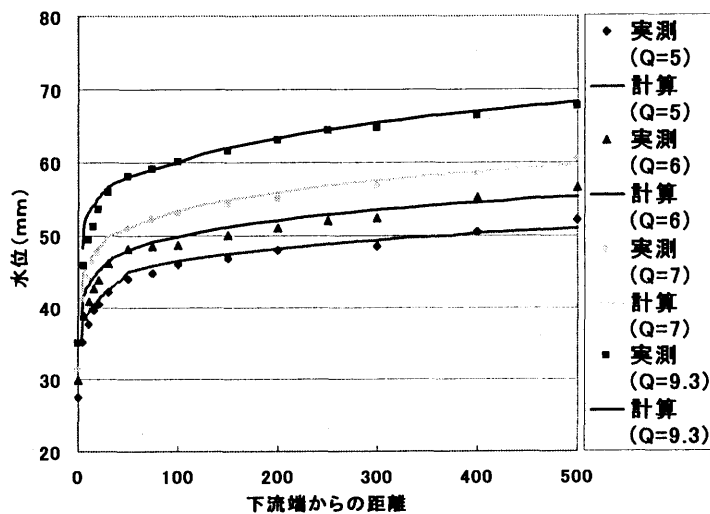


図4 水面形の計算結果

堰上げ背水時の下流端近傍における水位とフルード数の変化を図6に示す。この図から、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が明らかとなった。この下流端構造を踏まえて、堰上に境界条件を与えて、水面形計算を行い(図7)、既存のモデルでは計算不可能であった、流速の逆転現象を正確に計算することができた(図8)。

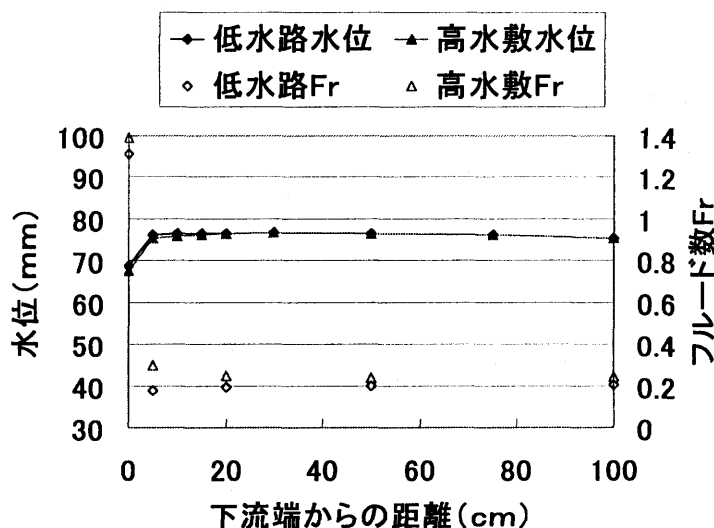


図6 水位とフルード数の変化

[堰上げ 5 cm、流量 4 (l/s)、勾配 1/1000]

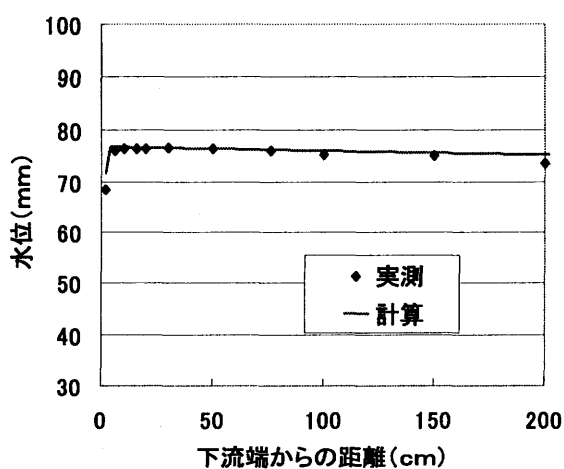


図7 水面形の計算結果

[堰上げ 5cm、流量 4(l/s)、勾配 1/1000]

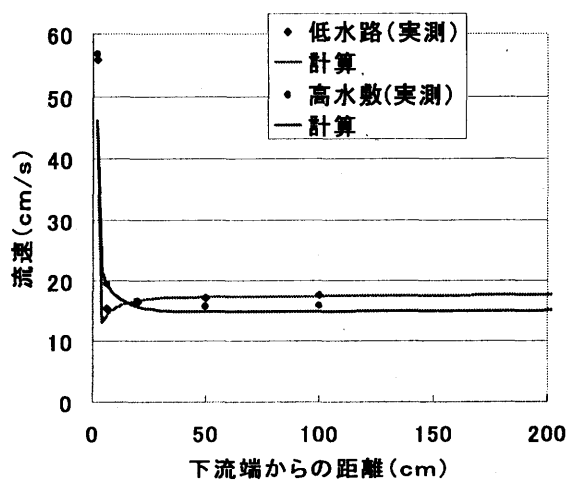


図8 流速の計算結果

[堰上げ 5cm、流量 4(l/s)、勾配 1/1000]