

# 棧粗度が浸水域の進行速度に与える影響に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○富岡 秀吉  
防衛大学校 正会員 多田 毅  
防衛大学校 正会員 藤間 功司

## 1. はじめに

洪水ハザードマップは、従来のものも含め「浸水想定区域を示す地図」ととどまることが多く、そのため、浸水域の到達時間、浸水深の時間変化の予測といった、より詳細なシミュレーションが望まれている。

氾濫流の振る舞いを精度良く再現するためには、計算グリッド以下のスケールの地形や構造物による抵抗を考慮することが不可欠であり、それらは一般に粗度係数としてモデル化される。特に、底面せん断抵抗という粗度係数本来の意味を拡張し、微地形や構造物による抗力や迂回などの影響を全て底面の抵抗に含めて表現したものを等価粗度係数と呼び、土地利用に応じた一般的な値が提案されており、すでに広く利用されている。しかし、これらの値は粗度が完全に水没した流れに適用されることが想定されており、先端部の進行速度の再現のために適切である保障はない。本研究では、特に流れに対する抵抗が最も大きいと思われる棧粗度型の凹凸が氾濫流の先端部の進行速度に与える影響について検討し、その再現モデルを開発することを目的とする。

## 2. 水理実験

棧粗度群に進入した氾濫流の進行速度を検討するために、図-1に示す実験装置を用いて水理実験を行った。水路上に水が無い状態で還流ポンプを起動することにより、流れを棧粗度区間に到達させた。棧粗度の形状を図-2に示す。 $b=2\text{cm}$ 、 $k=2\text{cm}$ とし、 $s=20, 40, 60\text{cm}$ の3ケースと棧粗度が無い場合の計4ケースの実験を行った。計測には水路各部に設置した流速計、波高計、ビデオを用いた。また、棧粗度区間が完全に水没した定常状態において、棧粗度区間中央付近の1本の棧粗度に設置した力計を用いて棧粗度に働く抗力を直接計測し、様々な水深における抗力係数を測定した。

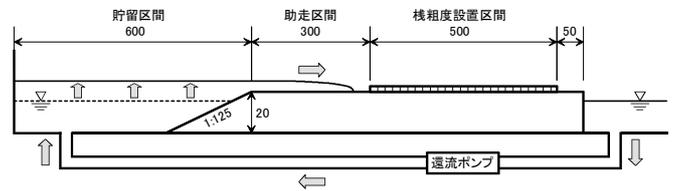


図-1 実験装置



図-2 棧粗度の形状

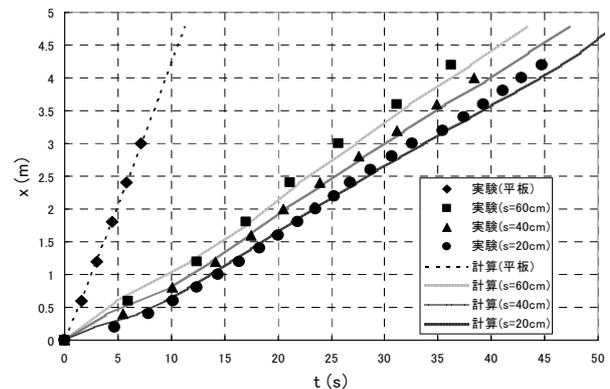


図-3 地形モデルによる先端部の位置の再現

## 3. 計算モデル

本研究では、現地での実験または観測が困難であることから数値実験を行う。そのため、水理実験の再現計算によって計算モデルの妥当性を確認する。棧粗度のモデル化の方法によって4種類のモデルを用いたが、いずれのモデルでも基礎方程式として1次元不定流の式と連続の式を用い、スタックカード格子によるLeap-Frog法で差分化した。移流項には1次精度の風上差分を用いた。

**地形モデル**：まず、最も精密なモデルとして、粗度部分の標高を高くすることで棧粗度の形状をそのまま再現するモデルを作成した。これを地形モデルと呼ぶ。このモデルでは棧粗度が水没する前には棧粗度上面の

キーワード 洪水流 棧粗度 せき止め 進行速度

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL046-841-3810

上下流端部分にそれぞれ越流公式と段落ちの公式を用いている。さらに、水没後には実験に基づき算定した抗力を各栈粗度の下流端に与えている。本モデルを現実の氾濫計算で採用することは、極めて詳細な地形データが必要となることから現実的ではない。

**合成粗度モデル**：このモデルは、栈粗度による抗力と水路底面の摩擦力を統合した合成粗度係数で抵抗力を表現するモデルである。合成粗度係数は、水路底面の粗度係数、実験で求められた栈粗度の抗力係数および水深より、理論式から計算される<sup>[1]</sup>。

**等価粗度モデル**：このモデルは合成粗度モデル同様、全ての抵抗力をひとつの等価粗度で表現するモデルである。水深によって変化はずの粗度係数を便宜上底面の属性として定数で与えることから、簡便であるが精度が低い可能性がある。

**移動限界水深モデル**：差分スキーム中で水深が分母に存在すると極めて浅い所で計算が破綻するため、水深が一定の値になるまで隣のグリッドへの水の移動を制限することが一般に行われており、そのしきい値を移動限界水深と呼ぶ。本研究では、意図的にこの値を高く設定することにより、栈粗度によるせき止めをモデル化することを提案する。水没後の領域には合成粗度モデルまたは等価粗度モデルを適用する。

地形モデルによる実験の再現結果を図-3に示す。この図は粗度区間の上流端を  $x=0$  としている。粗度区間に入った直後に大きく減速しその後速度が回復すること、粗度間隔が広い方が進行速度が若干速いといった傾向が、いずれも正しく再現されていることがわかる。

#### 4. モデルケース

助走区間 10m の後に無限に長い粗度区間を持つ計算水路を設定し、そこに水田のあぜ道を想定した  $b=0.5m$ 、 $k=0.5m$  の栈粗度を設置し、様々な数値実験を行った。ここでは、せき止めの効果が最も顕著にみられた、粗度間隔  $s=10m$  で上流の境界条件として水深のみを与えた場合について結果を示す。

図-4 は、上流側の水深によって各モデルの再現精度が変化することを示している。横軸は上流側水深  $h_0$  を粗度高さ  $k$  で基準化したもの、縦軸は 10 分間の移動距離から先端部の平均速度  $u$  を算出し地形モデルの平均速度  $u_w$  で基準化したものである。等価粗度係数として、文献に記載されている値(0.06)と、 $h_0/k=6.0$  のときに地

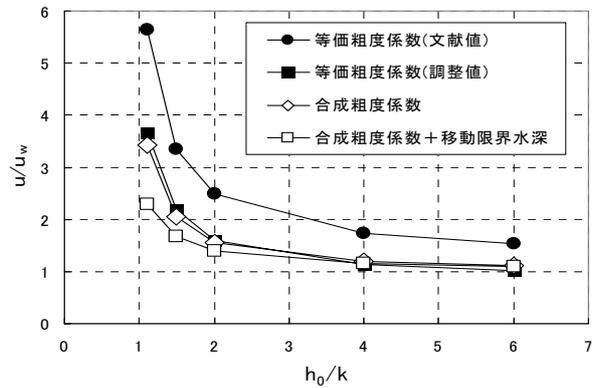


図-4 上流側水深による精度の変化

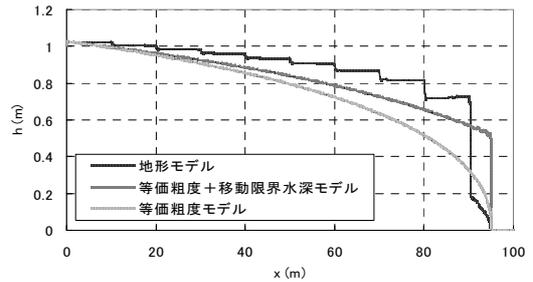


図-5 モデルによる浸水深分布の違い

形モデルと一致するよう試行錯誤で調整した値(0.12)との 2 種類を用いた。水深が浅い場合は主に栈によるせき止めと越流の 2 つのプロセスが速度を規定するため、等価粗度および合成粗度モデルは  $h_0/k$  が 1 に近づくると急速に速度が過大評価となることがわかる。移動限界水深モデルでは、せき止めのプロセスが再現されるため速度が減少していると考えられる。

図-5 は、図-4 と同一条件における浸水深の分布である。同一の到達距離であっても、等価粗度モデルは先端部付近の水深が過小評価されているが、移動限界水深モデルによって改善されていることがわかる。

#### 5. 結論

合成粗度モデルと等価粗度モデルはいずれも上流側水深が粗度高さの 4 倍程度以上の場合は良い再現性を示す。ただし、水田のように栈型の構造が連続している場合は、現在用いられている等価粗度の 2 倍程度の値を与える必要がある。いずれのモデルも上流側水深が粗度高さに近い場合は進行速度を過大評価する傾向があるが、移動限界水深モデルを導入することでその誤差を 2/3 程度まで減らすことができる。同時に、浸水深の分布が改善される。

#### 参考文献

[1]足立昭平:人工粗度の実験的研究, 土木学会論集, 第 104 号, pp.333-44, 1965.