

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560481

研究課題名（和文） 格子内の地盤高特性を考慮した氾濫解析法の開発と応用に関する研究

研究課題名（英文） Development of inundation analysis method considering the feature of elevation in grid and its application

研究代表者

松尾 直規 (MATSUO NAOKI)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：20093312

研究成果の概要（和文）：

氾濫解析では地形（地盤高）の表現が最も重要である。計算格子を小さくとれば、十分な精度で地形を表現することはできるが、膨大な計算時間が実務上の課題となる。本研究では、格子内の地盤高特性を氾濫計算に反映させる h-VA 氾濫解析法を提案し、その妥当性および有用性を示した。さらに、ネスティングモデルおよび内水氾濫解析モデル（表面流モデル＋下水道モデル）に関する h-VA 氾濫解析法の応用を検討し、提示した。

研究成果の概要（英文）：

The numerical expression of topographies (distribution of elevation) is important for inundation analysis. Though the expression of topographies with fine grid size has good accuracy, this analysis condition takes more analysis time. In this study, the new inundation analysis method which considered the feature of elevation in grid is developed and the validity and the effectiveness are shown. Moreover, the application of the new inundation analysis method on nesting model and inundation analysis model (overland flood flow model + sewer model) are developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：水工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水災対策、氾濫解析、格子内地盤高、下水道解析、ネスティングモデル

1. 研究開始当初の背景

近年、短期間および局所的な豪雨は「ゲリラ豪雨」の名称で恐れられ、毎年梅雨から台風来襲期には新聞紙上を賑わせており、その危険性も報道されている。一方で、都市化の進展に伴うアスファルト舗装の整備は、浸透能の低下を促進させ、これが浸水を助長する一因となる。都市内に降った雨の排水機能は

一般に下水道が受け持つが、雨水排水機能以上の雨が生じれば、都市内の脆弱な個所で内水氾濫が生じることとなる。さらに、今後は、地球温暖化による気候変動やヒートアイランド現象による更なる豪雨発生が懸念されることから、都市内水氾濫に対する対策は十分に検討すべき課題である。

都市型水害は、雨水排水機能と降雨との関

係、都市内の地下空間における水災など、複雑な側面を持つ。これまでの治水対策では、河川堤防の破堤もしくは越水に伴う外水氾濫災害が主たる対象であったが、近年、上述した内水氾濫の重要性が指摘され、外水氾濫と内水氾濫を併せて対策を講じるよう検討されている。

このような検討には、数値解析モデルを用いたシミュレーション技術の活用が不可欠であり、用いるモデルには下水道や小河川などの都市内の排水機能を十分に表現できる機能を有することが望まれる。本研究グループは、これらの課題に適用できるよう、下水道モデル、河川モデルを含む都市氾濫解析モデルを構築してきた。ただし、この都市氾濫解析モデルでは、大きな計算領域を比較的小さな計算格子で表現する場合に計算時間が多大となることが課題であった。ある程度の計算時間で高い精度の浸水解析の結果が得られれば実用面において非常に都合が良い。本研究では、精度を維持したまま解析時間の短縮を図るために、浸水の表面流の解析方法を検討した。

2. 研究の目的

氾濫解析では地形形状（地盤高特性）の表現が最も重要である。計算格子を小さくとれば、十分な精度で地盤高分布を表現することはできるが、膨大な計算時間が必要となる。本研究の第一の目的は、「格子の大きさを小さくせずに、地盤高の特性を解析の中で考慮する方法」を検討することである。

本研究では、次に示す新しい氾濫解析法を提案し、その妥当性および有用性を検証する。また、開発する解析法は比較的粗い格子であっても格子内の地盤高特性が考慮されるので、その特性を生かして氾濫解析におけるネスティングモデルを開発する。さらに、下水道モデルと結合させ、都市内水氾濫解析にも適用できるようモデルの応用を試みる。

3. 研究の方法

提案した氾濫解析法を h-VA 氾濫解析法と記す。ここでは、以下の二つの仮定を設ける。

仮定 1：格子内に流入した水は、格子内で地盤高の低いほうへ瞬時に流れ、未知量を水量（体積）で表現する。

仮定 2：運動量方程式において、氾濫水の挙動に与える移流項と粘性項の影響は小さいと仮定し、省略する。

図-1 に用いた氾濫格子の概念図を示す。なお、(a)従来モデルは広く普及している平面 2 次元不定流モデルで用いる計算格子であり、(b)は h-VA 氾濫解析法モデルの計算格子である。上記の仮定は、氾濫格子を一つのポンドとして見なすことに等しく、従来の方法では水深×格子の面積で水量が決まっていたの

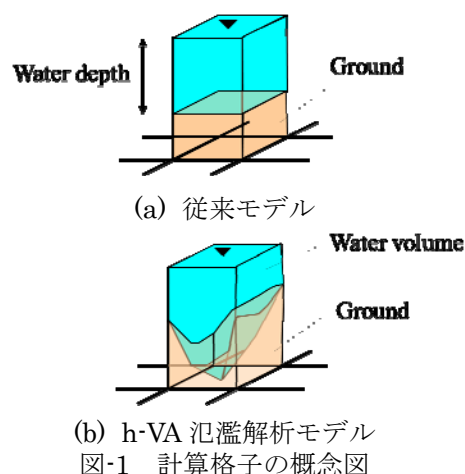


図-1 計算格子の概念図

に対して、一つ一つの氾濫格子において、 h （水深）と V （水量）および h と A （断面積）の関係を持たせて、解析を実施していくことに特徴がある。

解析では、基礎式で求めた水量から水深を換算する必要があり、さらに、格子中央で換算された水深から流量定義位置での水深を求めて、その水深から断面積を換算する必要がある。したがって、格子中央における h （水深）と V （水量）の関係、流量定義位置における h （水深）と A （断面積）の関係を予め求めておく必要がある。なお、本計算により格子の水量（それに対応する格子内の最大水深）が得られ、格子内の最大水深から水位が分かれば、格子内の水位を一定と仮定して、その値から詳細な格子内地盤高を引くことで、詳細な格子内水深が求まる。

本研究では、h-VA 氾濫解析の概念を提示し、その妥当性を検証するとともに、ネスティングモデルおよび下水道モデルを接続することにより、h-VA 氾濫解析モデルの応用について検討した。

4. 研究成果

本研究により得られた主要な知見をまとめれば、以下のとおりである。

- (1) h-VA 氾濫解析法を提案し、10m 格子を用いた従来モデルの計算結果を真値とみなして、50m 格子を用いた h-VA 氾濫解析法と従来モデルの計算結果を比較した。その結果、破堤による浸水の場合、h-VA 氾濫解析は移流項、粘性項を省略していることから、破堤箇所近傍では格子サイズの小さい従来モデルよりも解析精度は落ちるが、同じ格子サイズの従来モデルの結果よりは良い解析精度を有していることが示された。また、豪雨による浸水の場合は、格子内の底部に水が瞬時に集まると想定していることから、真値と比べて若干浸水深が大きくなることが示された。
- (2) 従来モデルでは格子内の平均地盤高が計算に使用されるので、異なる格子幅がある

ネスティングモデルでは、その境界において地盤高の不連続が生じ、精度の良い解析が難しい。一方、h-VA 氾濫解析法は、格子内の平均地盤高を使用せず、格子内地盤高特性を考慮することから、格子幅が異なる場合であったとしても解析の取り扱い上矛盾が生じない。この特徴を利用して、h-VA 氾濫解析法を基礎とした氾濫解析のネスティングモデルを構築した。解析モデルは、小さい計算格子が望まれる破堤箇所近傍の氾濫現象の再現や検討において着目している重要な領域の格子の細分化に活用できることが示された。

(3) h-VA 氾濫解析法を基礎とし、それに下水道解析を組み込んだ解析モデルを構築した。下水道解析を考慮した h-VA 氾濫解析モデルは、50m 格子を用いた場合でも、真値と見なした 10m 格子を用いた解析結果と同程度の精度を有していることを確認した。さらに、本研究の場合、50m 格子の格子内平均地盤高を用いた従来モデルでは、浸水が大きく広がること、破堤などの大規模な浸水では、下水管を通じて地表面流れよりも早く遠方で噴き出す可能性を示した。さらに、h-VA 氾濫解析法とそのネスティングモデルを基礎として、それに下水道解析を組み込んだ解析モデルを構築した。破堤箇所近傍を細かい格子で設定した場合の最大浸水深の分布およびその時間変化は、真値と同様な結果を示したことから、モデルの妥当性が示された。

(4) 本研究の主目的は、高い精度を維持したままの解析時間の減少を目指すことである。下水道解析を考慮した h-VA 氾濫解析モデルの計算速度は、本研究の場合、真値とする解析の約 26 倍にもなった。さらに、狭領域の氾濫水理を詳細に解析するネスティングモデルの計算速度も真値とする解析の約 2.6 倍となった。解析の条件によって時間短縮の度合いは変わるものと思われるが、これらの結果から、時間短縮の面からの h-VA 氾濫解析法の有利性が示された。

本研究では、h-VA 氾濫解析モデルの開発および応用とは別に、いくつかの氾濫解析に関する検討も実施している。なお、これらの成果は、h-VA 氾濫解析モデル（主に下水道システムもモデル化）の開発に応用している。

複雑な下水道システムのモデル化に関する検討

(5) 水道モデルを有する氾濫解析モデルにおいて、マンホール部で氾濫域と下水道域との水の受け渡しを行う場合には、解析に取り扱わなかった下水道システム（詳細な下水道管、マンホールおよび側溝など）の影響が反映されない。マンホールの周りにある複数の氾濫格子から下水道へ流れ落ちると考えて、

氾濫域からマンホールへの落ち込み流量のモデル化を行った。対象とした N 市では、「時間雨量 50mm/h に対応する」ことを目指し下水道整備を行っていることから、この値を落ち込み流量の上限値に利用した。その結果、全域の浸水状況には大きな違いは現れなかったが、改良モデルでは浸水域がばらつかずに現れ、実際に床上浸水が生じている箇所でも旧モデルよりも改良モデルの方が大きな浸水深を示した。さらに、河川水位の観点からも、改良モデルの妥当性が示された。なお、落ち込み流量の上限値については、詳しく検討する必要がある。

(6) 下水道システムを有する氾濫解析においては、段落ちの式を用いて氾濫域から下水道システムへの水の流入を表すのが一般的であるが、すべての流入条件を取り扱うことが出来ない限り、落ち込み流量の総和は現実の値を示さない可能性がある。本研究の取り扱いは、落ち込み流量の上限値に下水道システムの能力の目標値を用い、パラメータ的な取り扱いとしており、水理学的な表現としてはあいまいさが残る。しかし、解析では取り扱うことのできない枝線の下水管網を表現するという点から、一つの実用的なモデル化であると考えている。

(7) マンホール内に存在する余水吐室のモデル化を考慮したマンホールモデルの高度化を行い、その解析結果に与える影響を考察した。その結果、対象領域の北側において、浸水深が大きく現れており、さらに、大幸幹線では、浸水域が下流側へ推移している。これは、マンホールモデルの高度化によって、幹線下水道へ流下しにくくなり、地面近くにある下水道管が満管になることによって浸水状況に影響を与えたものと考えられる。さらに、河川水位およびポンプ排出流量の結果から、マンホールモデルの高度化に伴って、解析結果が実績値と近くなっており、マンホールモデルの高度化の妥当性が示された。これらは、下水道システムを有する氾濫解析におけるマンホールの余水吐室のモデル化の重要性を示している。

地球温暖化に伴う海面上昇を考慮した氾濫解析

(8) 海面上昇に伴い合流式下水道の雨水吐から河川水が逆流することに着目し、その都市内水氾濫への影響を指摘した。特に、名古屋市では、海面上昇が 1.5m を超える場合に、満潮時や激しい降雨時において浸水被害が現れることを示し、雨水吐からの排水量の低下と逆流による下水道容量の低下が浸水に影響を与えていることを示した。

(9) 海面上昇と降雨の変化を考慮した内水

氾濫解析を実施し、海面上昇よりも降雨の変化の方が、浸水状況に甚大な被害を与えることを改めて示した。また、地球温暖化に伴う治水安全度の低下を示し、目安的であるが、対象領域の場合、現状の施設による100年生起確率を有する降雨による0.50m以上の浸水面積は、100年後の地球温暖化のひとつのシナリオの下では、45年生起確率の降雨による0.5m以上の浸水面積と同程度であることが示された。地球温暖化に伴い、このような治水安全度の低下が懸念されることを指摘した。

(10) 地球温暖化による治水安全度の低下を考慮した治水対策の検討が不可欠であり、場合によっては、地球温暖化による海面上昇および気象変化により、結果として治水効果が認められない事例が生じる可能性があることを指摘した。

得られた成果の国内外における位置づけ：

1辺数十メートル～数百メートルの計算格子では地表面の地盤高分布を十分に表現することは難しく、そのような場合、格子面積×平均水深で格子内の水量を表現する方法が問題であることを指摘し、その解決法として、格子内地盤高を考慮したh-VA氾濫解析法を提案した。また、一方で、更なる計算機の処理能力の向上によっては、小さい格子スケールにおける大規模な氾濫解析も実施可能となることも考えられるが、現状でも計算時間の観点からそのレベルに達しておらず、本研究は、多数の計算条件が必要となる実務的課題について、非常に有効な方法であると考えられる。さらに、提案したh-VA氾濫解析モデルは、従来の平面2次元不定流モデルを容易に精度向上させる一つのアイデアであり、他者にとっても有益な情報である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① Makoto TAKEDA, Naoki MATSUO, Toshihiko TAKAHASHI, Yasunori HIRAYAMA and Reiko AMANO: Application of Integrated Urban Area Flood Estimation System, Society for Social Management Systems Internet Journal, SMS10-171, 2010. 査読あり
- ② Makoto TAKEDA and Naoki MATSUO: Study on nesting model by using h-VA inundation analysis method, APD-IAHR2010, 3b008, 2010. 査読あり
- ③ ⑤ 武田誠, 松尾直規: 下水道解析を考慮したh-VA氾濫解析モデルに関する検討, 水工学論文集 54 巻, pp. 895-900, 2010. 査読あり
- ④ Makoto TAKEDA, Takeshi YAMANAKA, Motomichi KIRYU and Naoki MATSUO: The inundation analysis model considering

the complex sewer pipe network in urban area, UDM, U-P10, 2009. 査読あり

- ⑤ 武田誠, 山中威士, 霧生元道, 松尾直規: 都市内水氾濫解析における複雑な下水道管網のモデル化に関する検討, 河川技術論文集第15巻, pp. 393-398, 2009. 査読あり
- ⑥ ポカレルパラメソル, 松尾直規, 武田誠: 地球温暖化に伴う海面上昇と降雨規模の変化を考慮した沿岸都市域の内水氾濫解析, 沿岸域学会論文集第21巻, pp. 49-57, 2009. 査読あり
- ⑦ 武田誠, 松尾直規, ポカレルパラメソル: h-VA氾濫解析法を用いたネスティングモデルに関する検討, 水工学論文集 第53巻, pp. 835-840, 2009. 査読あり
- ⑧ P Pokharel, M Takeda and N Matsuo: Study on Inundation Analysis Concerning the Effectiveness of Estuary Gate in Hori River, Journal Hydro-environmental Research, 2009. 査読あり
- ⑩ 武田誠, 小寺大輔, 松尾直規: 格子内の地盤高特性を考慮した簡便な氾濫解析法に関する研究, 水工学論文集, 第52巻, pp. 853-858, 2008. 査読あり

〔学会発表〕(計3件)

- ① 武田誠, 長尾佳幸, 松尾直規: 内水氾濫に対する名古屋市堀川流域の貯留施設の効果に関する検討, 土木学会第65回年次学術講演会, II-061, 2010年9月7-9日(北海道大学).
- ② 森下貴之, 武田誠, 松尾直規: 平成20年8月末豪雨による名古屋市堀川流域の内水氾濫解析, 平成20年度土木学会中部支部研究発表会, II-23, 2009年3月3日(名城大学).
- ③ 山中威士, 霧生元道, 武田誠, 松尾直規: 複雑な下水道管網を考慮した内水氾濫解析モデルの高度化に関する研究, 平成20年度土木学会中部支部研究発表会, II-22, 2009年3月3日(名城大学).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 直規 (MATSUO NAOKI)
中部大学・工学部・教授
研究者番号: 20093312

(2) 研究分担者

武田 誠 (TAKEDA MAKOTO)
中部大学: 工学部・准教授
研究者番号: 50298486