

京都大学防災研究所 正会員 中川 一

京都大学防災研究所 正会員 高橋 保

1.はじめに 粗度や構造物等を施していない単純で平坦な場における破堤氾濫水の拡がり、円形状であるという実験成果が得られている^{1),2)}。しかしながら、氾濫の場に家屋や街路が輻射した市街地の場合、氾濫水はもはや円形状に拡がらず、街路幅や家屋の密集度に影響され、複雑な拡がりかたをする。このような現象を予測するには、数値計算が有効な手段であるが、家屋等の構造物の影響をどのように評価すればよいのかが問題となる。本報では、家屋等の構造物の影響を考慮した数値計算方法とその計算結果について考察するとともに、水理実験による計算結果の検討を行なう。

2.実験方法および実験条件 実験装置は図1に示すように、木製の台上に張り付けた一辺が1.84 mの正方形の発泡スチロール製氾濫台と給水用の水槽からなっている。この氾濫台上に、家屋への氾濫水の流入を想定して、縦2.5x横2.5x高さ3.0 cmのウレタン製の家屋ブロックを格子状に敷き詰め、市街地モデルとした。水槽に設けられたゲートを瞬時に引き上げることにより市街地への破堤氾濫を模擬した。なお、氾濫台の周囲3辺は段落ちとなっている。測定項目は

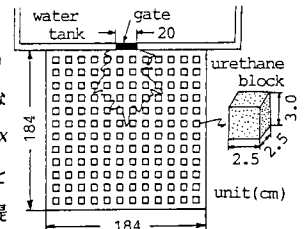


図1

氾濫水の拡がりおよび破堤口中心線上の4点(破堤口から0, 0.5, 1.0, 1.5 m)における水深の時間変化である。拡がりの形状はビデオカメラで、水深は4台のサーボ式水位計でそれぞれ計測した。図2は破堤口における流量および水深の時間変化である。破堤口からの流出流量は、トレーサーを流して表面流速を高速度ビデオカメラで撮影し、同時にサーボ式水位計で出口の水深を計測して求めた。実験条件を表1に示す。表中、 B_0 ；破堤口の幅、 H_0 ；水槽内初期水深、 B ；ブロック間隔(街路幅)であって、Case 1はブロックを配しない場合である。なお、氾濫台の粗度係数は0.01であった。

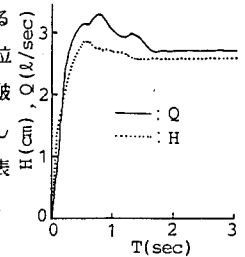


図2

3.基礎方程式 数値計算に用いた基礎式は以下に示すような水深方向に積分した二次元の流体運動を表わす運動量保存式と連続式である。

表1

$$\frac{\partial M}{\partial t} + u \frac{\partial M}{\partial x} + v \frac{\partial M}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \tau_{bx} / \rho \quad \dots (1) \quad \frac{\partial N}{\partial t} + u \frac{\partial N}{\partial x} + v \frac{\partial N}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \tau_{by} / \rho \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots (3)$$

ここに、 M および N ；それぞれ X および Y

方向について $M=uh$ 、 $N=vh$ と定義した流量flux、 u および v ；それぞれ X および Y 方向の流速成分、 h ；水深、 H ；水位、 ρ ；水の密度、 g ；重力加速度、 τ_{bx}

および τ_{by} ；それぞれ X および Y 方向の底面せん断応力で、Manningの抵抗則を用いれば、それぞれ、

$$\tau_{bx} = \rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3}, \quad \tau_{by} = \rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3}$$

ここに、 n は Manningの粗度係数である。(1)-(3)式において、時間変化項には中央差分、慣性項には風上差分を用い、有限差分法による数値計算を行なった。計算条件を表2に示す。Case 1、すなわちブロックを配しない場合、 $\Delta x = \Delta y = 4$ cm とし Case 2では個々のブロックが考慮されるように、ブロック幅2.5 cmを Δx および Δy として街路網計算を行なった。Case 3は、図3に示すように空間差分間隔をブロック幅の2倍の $\Delta x' = \Delta y' = 5$ cm とし、ブロックを1つでも含む格子の粗度係数を0.04、含まない格子では $n=0.01$ として、粗度係数を部分的に変えて計算した場合である。

表2

$B_0: 20\text{cm}$	Case	$B(\text{cm})$	$\Delta x(\text{cm})$	$\Delta y(\text{cm})$
$H_0: 5\text{cm}$	1	∞	4.0	4.0
$i: 0.0$	2	5.0	2.5	2.5
$\Delta t: 1/1000$	3	10.0	5.0	5.0

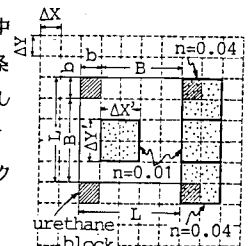


図3

4.計算および実験結果の考察 図4はブロックを配さないCase 1の場合の破堤後 $t=1$

,2および3秒における氾濫水の拡がりや破堤口中心線上の水面形に関する計算値と実験値を比較したものである。計算値の方が若干中彫りみて拡がり大きい傾向があるが、円形状の拡がりや水面形はかなりよく一致している。図5は全ての格子の粗度係数を0.02および0.05とした場合の計算結果を比較したものである。これより、粗度係数を全ての格子で大きくしただけでは、図6の実験値に示した様な三角形の拡がり方をせず、粗度係

数が大きくなるにつれて半円形の氾濫形状となり、家屋等の構造物の影響が適切に反映した計算ができないことがわかる。図6はCase 2の計算結果と実験結果を比較したものである。実験値はブロックの影響で三角形の氾濫形状をしている。これは、破堤口付近でブロックによる遮蔽が小さい方向に氾濫水が拡がり易いためである。計算値は、ブロックに対して流水は不透透であるという条件を用いているにもかかわらず個々のブロックが考慮さ

れる格子サイズであるため、実験値と同様三角形形状に拡がり、水面形は不透透の条件のためか、実験値より大きくなっているが比較的一致している。しかし、個々のブロックを考慮すると、格子サイズが小さくなって総格子数が増大し時間的、経済的に不利である。図7はCase 3、すなわち格子サイズをブロック幅の2倍にとり、ブロックを1つでも含む格子であればその格子の粗度係数を大きくし(0.04)、含まない場合は元のまま(0.01)という

様に計算領域の中で部分的に粗度係数を変化させた場合の計算値と実験値を比較したものである。計算値は実験値よりも拡がりや若干大きいことおよび斜め方向への舌状の氾濫形状になっていないことなどがあるものの、図5の様に半円形状ではなく、実験値に近い拡がり方をしている。

5.おわりに 粗度係数を部分的に変えて氾濫計算を行なうことである程度効率的に実験値が再現できた。しかし、粗度係数の値をどのように決定すればよいかは今のところ未解明である。粗度係数

の大きさは、破堤口からの氾濫水の拡がり易さ、すなわち破堤口を中心とした放射方向の、家屋による遮蔽率に規定されているものと考えられる。今後、粗度係数と遮蔽率とを関連付けて評価する必要がある。最後に、実験およびデータ整理にあたり、本学学生の河西茂行君の協力を得た。ここに記して感謝する。なお、本研究の一部は文部省科学研究費(自然災害特別研究(2)課題番号59025034)の補助を受けたものであることを付記する。(参考文献)1)有賀:東海大学紀要, No.8, No.9, 1977.2)石原・小葉竹:京大防災研年報, 23号B-2, 1980.

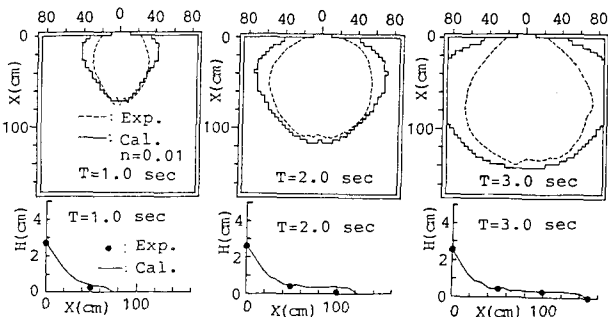


図4

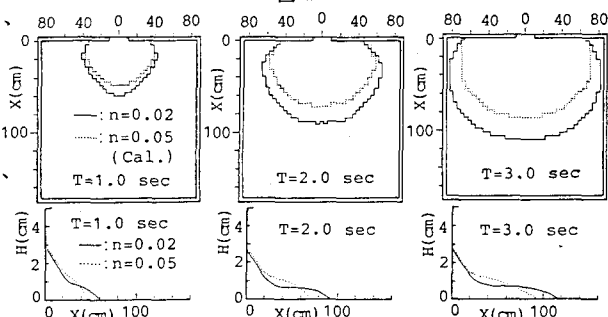


図5

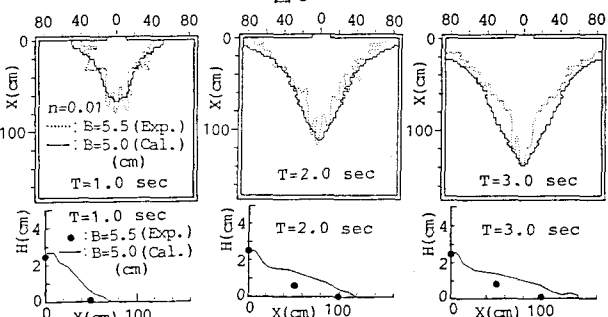


図6

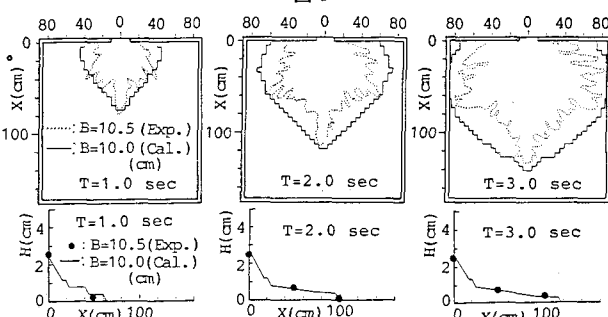


図7