

タンクモデルによる都市浸水発生予測

阿部清明¹・芝崎一也²・塩月善晴³

¹学生会員 山口大学工学部 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557)

²学生会員 工修 山口大学工学部 システム工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557)

³正会員 理博 山口大学工学部 社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557)

宇部市低地部の浸水発生予測のために直列貯留型タンクモデルと降り始めからの 10 分雨量データのみによる地点短時間雨量予測方式を組み合わせた方法で予測実験を行った。過去の顕著降雨 17 例の内 8 例の雨で浸水が発生した。基準水位となりうるデータが皆無であったので、タンク内の残留水位により浸水の発生と非発生を明瞭に区分できるものを宇部市のタンクパラメータとした。発生限界水位は $D=35 \text{ mm}$ であった。地点短時間雨量予測方式を用いて今後の雨量予測値をタンクに投入し浸水予測を行った結果、実際の浸水発生より数 10 分から 1 時間程度早い予測が可能であった。検証のため 1996 年の顕著降雨について同じパラメータで解析した結果、浸水の発生、非発生を予測できた。タンクモデルによる浸水発生予測方式は防災上有用であると思われる。

Key Words : urban inundation prediction, tank model, point rain forecast method using 10 min rainfall data

1. はじめに

急激な都市化に伴い集中豪雨による浸水被害が頻繁に起きるようになった。都市の水害対策のひとつとして、どれくらい雨が降れば浸水被害が発生するのか把握しておくことは重要である。しかし、宇部市において浸水被害が起きた時の雨量データはあるが流域水位の変動を知る小河川の水位、流量などの水文資料は皆無である。

浸水被害に遭った人との聞き込み調査によると、浸水発生時刻は記憶しているが、それ以降はものを片付けたり水位が急速に上昇していく恐怖によってどのような水位変動であったか細かく覚えていない人はいなかった。また、水位のピークやいつ浸水が引くのかがわかればそれほど恐怖を感じることはなかったとのことである。

少しでも災害時の情報を得ようと地元の新聞社の宇部時報社を訪ね災害が起きたときの新聞記事を調べた。記事には床上、床下浸水の発生状況が記録されている。被害状況や浸水地域の過去の記事を総合すると、宇部市では大雨による雨水が河川へ流れきれないで低地部に溜まり内水氾濫を起こしていることが判った。図-1 は浸水発生地域を示し、図中の数字は海拔高度 (m) である。一点鎖線は隣の小野田市との境界である。

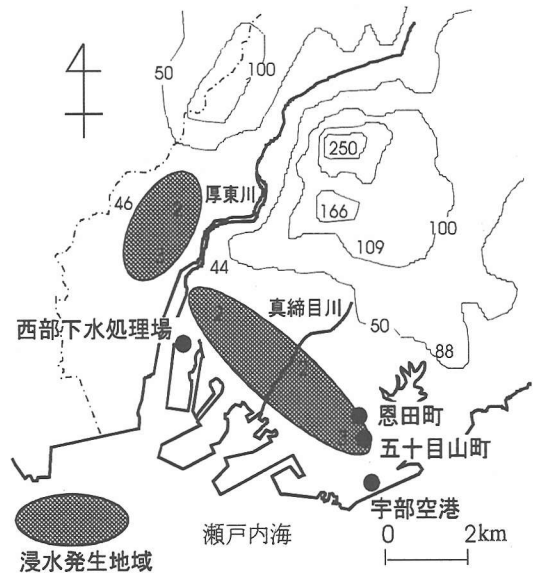


図-1 宇部市街地概要図

水害の解析のために浸水の始まり、ピークそしていつ終わったのかなど水位変動が記録されていれば便利である。しかし、宇部市の場合、浸水時の基準水位となる実測水位や小河川の流量などの水文記録がないので通常の出流解析を進めることが不可能である。ここでの都市浸水は河川に排除できな

いで流域に溜まっている水がその流域の保水限界量を超えたときに発生していると考えられるので、流域の保水限界量として対応するものに浸水家屋発生、非発生に注目してタンクモデル¹⁾で探すことを試みた。宇部市での過去の顕著降雨例についてタンクモデルのパラメータをいろいろ変えることによりタンク内のどの物理特性が浸水の発生、非発生に関連しているか調べてみた。浸水時の急激な水位変動に対応させるため、入力雨量は10分単位のものを使用した。その結果、タンクの構造は直列貯留型の三段モデルとなり浸水発生の目安は三つのタンク内の残留量の和としてよいことがわかった。さらに、地点短時間雨量予測方式²⁾を用いて浸水発生予測を行った。本論文では地点短時間雨量予測方式をPRFM (Point Rain Forecast Method) と呼ぶ。

2. 宇部市の浸水害発生状況

(1) データ

宇部市において表-1に示すように1979年～1995年において8回(番号1, 2, 3, 4, 14, 15, 16, 17)の浸水害が発生した。浸水害の起こる可能性のあった他の9例(番号5～13)と併せて各降雨の最大1時間雨量と最大3時間雨量を示した。タンクモデルの解析では表-1に示す日付の雨のピークが入る降り始めからの一雨の10分雨量を使用する。番号1～17のデータはタンクパラメータを決定するのに用いられ、番号18～21のデータは検証用として使われる。

タンクモデルでは、入力となる雨量については明確に宇部市の代表降雨として定義されるものを使用すべきであるが、1980年代では宇部空港で観測されたものしかないので、そこでの降雨を代表降雨とした。1993年以降については、宇部市西部下水処理場、1996年以降は、宇部市による恩田町での雨量観測が実施されているので1993年以降についてはこれら3つの地点での観測値を比較して最も強く降った地点の降雨を宇部市の代表降雨とした。1993年8月2日は床下浸水が起きているのにも関わらず空港では微量の雨量しか記録されていなかったため、浸水が起きている宇部市西部にある西部下水処理場での観測値を宇部市の降雨を代表するものとして使用した。検証用データの番号18～21ではいずれも恩田町の雨量が最も大きく観測されたので、宇部市の代表降雨として使用した。

床下浸水と床上浸水の件数をあわせたものを浸水家屋件数とする。番号13, 14, 15は長時間の雨が降り止んだりしたときの中で一雨の雨量が大きいものを3つ選んだもので浸水家屋数はまとめて75件出ている。

表-1 宇部市の浸水データ

番号	日付	浸水家屋(件)	R1(mm)	R3(mm)
1	06/29/79	1,684	45.5	92
2	07/09/80	564	20.5	43.5
3	06/25/81	2	29.5	59.5
4	08/02/93	185	38.5	70.5
5	05/25/94	—	5.5	12
6	06/18/94	—	9.5	22
7	07/25/94	—	9.5	23.5
8	07/27/94	—	23	33
9	05/01/95	—	16	27
10	05/25/95	—	5	10
11	06/03/95	—	4.5	11.5
12	06/30/95	—	8	16.5
13	07/02/95*	75	29	49
14	07/02/95**		34.6	68.5
15	07/03/95		51.5	92.5
16	07/22/95	59	55.2	119
17	09/24/95	1,219	81.5	133.2
18	06/24/96	4	30.5	46.3
19	06/28/96	—	33	33
20	07/19/96	—	17	36.5
21	08/14/96	195	51	74.6

表-2 浸水発生、終了時刻

日付	浸水発生時刻	浸水終了時刻
07/02/95**	23時	0時
07/03/95	6時	—
09/24/95	2時30分	5時
08/14/96	13時過ぎ	15時

表-3 気象庁豪雨階級基準(越智1973³⁾)

階級	最大1時間雨量	最大3時間雨量	条件
A	110mm ≤	250mm ≤	両方の条件を満たすこと
B	90mm ≤	200mm ≤	
C	70mm ≤	150mm ≤	
D	50mm ≤	100mm ≤	
E	30mm ≤	70mm ≤	
F	20mm ≤	50mm ≤	

る。現地調査により1995年7月2日の5時からの雨(*)では浸水は発生してなくて、1995年7月2日の19時からの雨(**)と1995年7月3日の雨は浸水が発生していることがわかった。新聞記事や現地調査によりわかった浸水発生時刻、終了時刻を表-2として右に付した。

表-1より1980年7月9日の雨は最大1時間雨量が20.5mm、最大3時間雨量が43.5mmの雨で浸水家屋が564件でているが、翌年には雨量が増えているのに2件しかでていない。また1995年7月2日の5時からの雨は最大1時間雨量が29mm、最大3時間雨量が49mmで1980年7月9日のものより雨量が大きいのに浸水家屋はでていない。

(2) 豪雨階級による判断

気象庁による豪雨階級は一雨の中の最大1時間雨量(R1, mm)と最大3時間雨量(R3, mm)で決められている(表-3)。

図-2は表-1の17例の降雨についての(R1, R3)分布を見たものである。図でわかるように、Fランク以上だと宇部市では必ず床下浸水が起きている。例外として1980年7月9日はFランク以下であるが浸水が起きている。

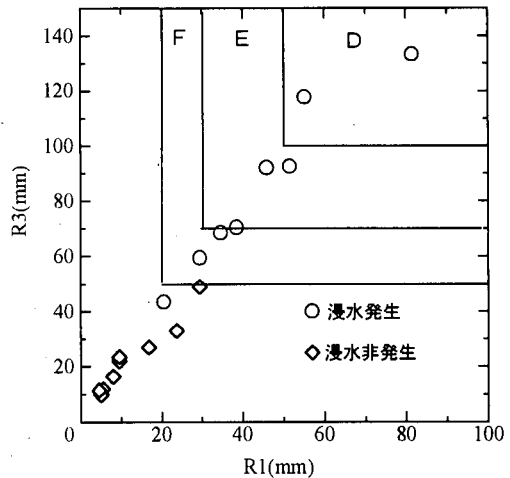


図-2 宇部市降雨の(R1, R3)分布

3. タンクモデルによる浸水発生解析

(1) 解析方法

タンクモデルは河川の流出解析のために開発されたもので、雨がタンクに入り流出孔からの流出量の和を河川の流量とし浸透孔からの流出量を浸透量として計算するものである。通常の解析では、観測流量とよく合うようにパラメータを決めて、そのパラメータを使い計算された各タンクの水深と浸水害の発生との関係を調べるといのがこれまでに採られてきた方法である。しかし、本研究では浸水発生地域の観測流量がなかったため通常の解析はできなかった。

本研究では、都市部の内水氾濫という豪雨時に河川に流れきれないで流域に溜まっている水のことを考えている。

よって、河川の流出解析の時に入力と出力を
(雨量) → (流量)

としたのを今回の浸水解析では

(雨量) → (水位) → (浸水発生, 非発生)

とする。

タンクの流出孔からは、河川、海、湖、などに流れるものとし、浸透孔からは地下浸透に流れていくものとイメージしてタンクモデルを考えた。つまり宇部市

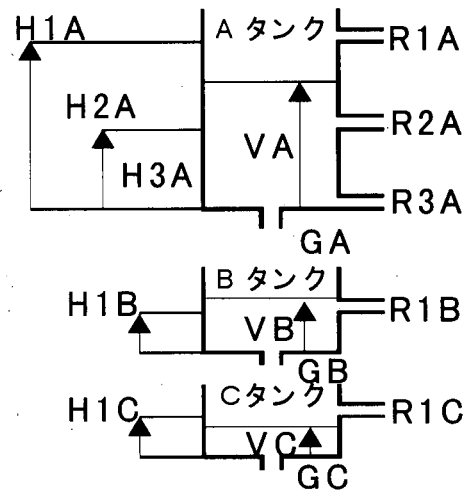


図-3 直列貯留型タンクモデル

全体を1つの水瓶とみなして雨水の貯留をモデル化したものである。本解析では宇部市全体をタンクとし浸水発生、非発生は都市低地部で浸水害が起きたところを対象としている。

解析時間単位は10分である。10分雨量は雨の降り方を細かく表しているため急速な水位の変化を表すのに適している。また、浸水予測に使用する地点短時間雨量予測方式(PRFM)は、降雨の10分雨量を使用するので入力雨量が10分雨量であることは都合がよい。従って、タンクの構造は、短時間降雨に反応性のよいものとして直列貯留型流出機構の三段タンクで、流出孔は一段目(Aタンク)で3個、二段目(Bタンク)に1個、三段目(Cタンク)に1個とした(図

—3) . 各タンクが具体的に流域のどの部分を担っているかはわからないが、10分雨量にもとづく小河川の解析からの経験から三段タンクは地表面かその付近の動きの早い水環境を表すと考えている。

また、タンク内の残留量がある限界を超えると内水氾濫が起こると考えた。なお、1970～80年代と90年代とでは宇部市の流域環境は変化していると思われるが、今回の解析では70～90年代を通じての浸水の発生、非発生を区別できるタンクパラメータを探すこととした。

実際の計算は以下のようになる。タンクの断面積は1とする。したがってタンク内の水位と貯留量とは一致する。

図-3の記号の意味はたとえばAタンクについては次のとおりである。

$R(K)$: 雨量, $VA(K)$: タンク内残留量

$XA(K)$: タンク内貯留量, HnA : 各流出孔の高さ

RnA : 各流出孔の流出率, GA : 浸透孔の浸透率

$YnA(K)$: 流出量, $ZA(K)$: 浸透量

$VA(0)$: 初期残留量, N_A : Aタンクの流出孔の数

K : 時間的に K 番目のデータという意味である。

n : 流出孔からの順番

Aタンク (最上段タンク) についての計算過程。

$K=1$ のとき

雨量 $R(1)$ は最上段のタンクに注入され初期残留量 $VA(0)$ に加えられタンク内貯留量 $XA(1)$ となる。

$$XA(1) = VA(0) + R(1) \quad (1)$$

タンクの水は、一部は側面の流出孔 (流出率: RnA) から外部に流出し流出量 $YnA(1)$ になる。

$$YnA(1) = RnA \times (XA(1) - HnA) \quad (2)$$

($YnA(1) < 0$ のときは $YnA(1) = 0$ とする。)

$$YA(1) = \sum_{n=1}^{N_A} (YnA(1)) \quad (3)$$

タンクの水の一部は底面の浸透孔 (浸透率: GA) を通って一段下のタンクへ浸透量 $ZA(1)$ が移動する。

$$ZA(1) = GA \times XA(1) \quad (4)$$

タンク内貯留量 $VA(1)$ から流出量 $YA(1)$ と浸透量 $ZA(1)$ をひくとタンク内残留量になる。

$$VA(1) = XA(1) - YA(1) - ZA(1) \quad (5)$$

$K \geq 2$ のとき

雨量 $R(K)$ は Aタンクに注入され $K-1$ の時のタンク内残留量 $VA(K-1)$ に加えられタンク内貯留量 $XA(K)$ となる。以下流出量 $YnA(K)$ 、浸透量 $ZA(K)$ は $K=1$ の時と同様に計算され式(11)によりタンク内残留量 $VA(K)$ が計算される。

$$XA(K) = VA(K-1) + R(K) \quad (6)$$

$$YnA(K) = RnA \times (XA(K) - HnA) \quad (7)$$

($YnA(K) < 0$ の時 $YnA(K) = 0$ とする。)

$$YA(K) = \sum_{n=1}^{N_A} (YnA(K)) \quad (8)$$

$$ZA(K) = GA \times XA(K) \quad (9)$$

$$VA(K) = XA(K) - YA(K) - ZA(K) \quad (10)$$

各流出孔のタンク底面からの高さ HnA の単位は mm, 流出率 RnA , 浸透率 GA の単位は無次元である。

B, Cタンクについてはそれぞれの上段の浸透量がタンク内残留量に加算されタンク内貯留量となり以下Aタンクと同様に計算する。

浸水は流域に溜まる水と想定されるタンク内残留量が限界を超えると起こると考えられ、本研究では様々な組み合わせによる解析の結果タンク A, B, Cの残留量の合計値 V (mm) が実際の水位と対応していると判断した。

$$V(K) = VA(K) + VB(K) + VC(K) \quad (11)$$

三段タンクモデルは地表面付近の水環境を表していると考えたので、以下の解析では式(1)の $VA(0)$ 及び二、三段タンクの $VB(0)$, $VC(0)$ は0である。つまり各タンクの初期貯留量は0で始める。

(2) 解析結果

図-4-1 と図-4-2 は表-4のタンクパラメータで解析したものである。解析図において、横軸は時間、縦軸は左に水位の目盛りを、右に10分雨量の目盛りを示した。10分雨量は棒グラフで、タンク残留水位は実線で示している。

タンクパラメータは17例の降雨について浸水発生8例、非発生9例を明瞭に区別できるタンク水位を表現し得るまで、各タンクのパラメータを試行錯誤で繰り返し計算させることにより得られる。

我々の過去に行った10分単位での河川流出の解析では経験上表-4のパラメータから最適パラメータ探しを始めている。

表-4 解析の始めでのタンクパラメータ

H1A	50	R1A	0.1	GA	0.1
H2A	20	R2A	0.2		
H3A	0	R3A	0.2		
H1B	10	R1B	0.3	GB	0.05
H1C	10	R2C	0.2	GC	0.05

表-5 最適タンクパラメータ

H1A	60	R1A	0.2	GA	0.1
H2A	30	R2A	0.15		
H3A	0	R3A	0.1		
H1B	20	R1B	0.2	GB	0.05
H1C	10	R2C	0.2	GC	0.05

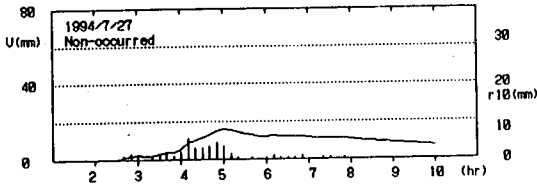


図-4-1 (1994年7月27日)

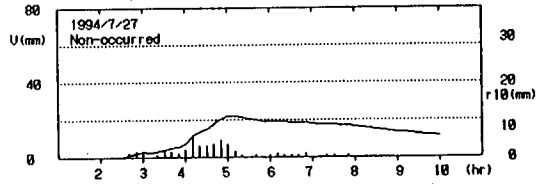


図-4-3 (1994年7月27日)

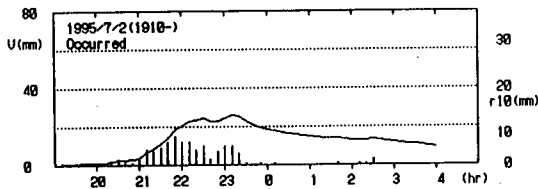


図-4-2 (1995年7月2日, 19:10以降)

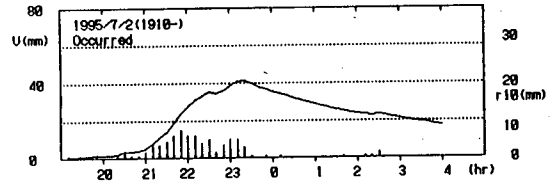


図-4-4 (1995年7月2日, 19:10以降)

図-4-1 (1994年7月27日) は実際に浸水は発生していないときの解析図, 図-4-2 (1995年7月2日 (19:10-)) は実際に浸水が発生しているときの解析図である。図-4-1 と図-4-2 は計算水位の差がそれほどなく浸水発生, 非発生を明瞭に表現できていそうにない。また, 1995年7月2日 (19:10以降) の現地は23時に浸水が始まり0時には終わっていたという。水位のピークの出方が弱く浸水が起きていた23時から0時の間の水位上昇が再現されていない。発生時刻がわかっている他の2例でも発生時刻の誤差を30分以内におさめ, 浸水発生時間帯に水位のピークがでて水位上昇がはっきりわかるように留意しながらタンクパラメータを探していった。なおかつすべての降雨について浸水発生, 非発生を区別できるタンクパラメータを探していった。その結果, 宇部市の浸水発生, 非発生解析用タンクのパラメータは表-5 のようになり, これらの値を最適パラメータとした。1994年7月27日と1995年7月2日 (19:10以降) を表-5 のパラメータで解析したものが図-4-3, 図-4-4 である。

図-5-1~図-5-17 は表-5 の最適パラメータによる各降雨についての解析の結果である。これらからV=35mmのラインを境に浸水の発生, 非発生を区別で

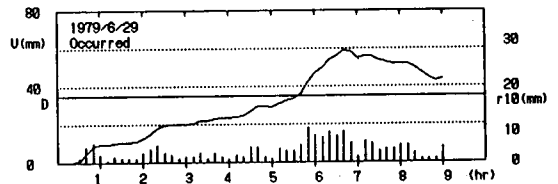


図-5-1 (1979年6月29日, 浸水発生)

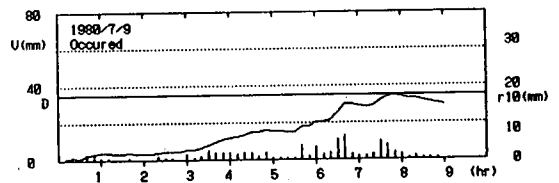


図-5-2 (1980年7月9日, 浸水発生)

きたことになる。浸水の発生限界をDとするとD=35mmとすることができる。このDラインをふまえて宇部空港からの近くで浸水が頻繁に起きている五十目山町の人の話と解析結果を考える。

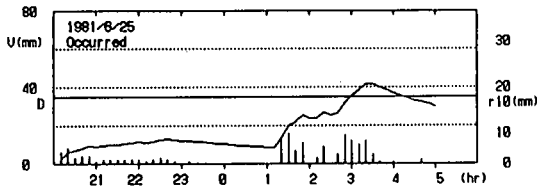


图-5-3 (1981年6月25日, 浸水発生)

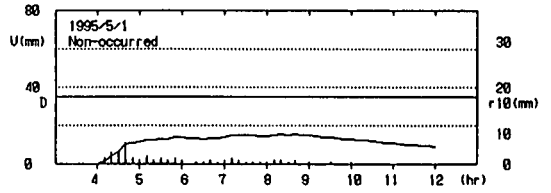


图-5-9 (1995年5月1日, 浸水非発生)

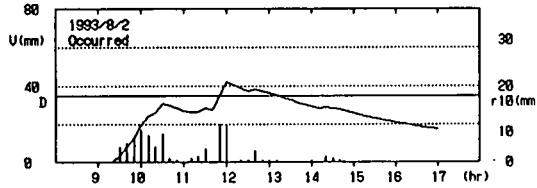


图-5-4 (1993年8月2日, 浸水発生)

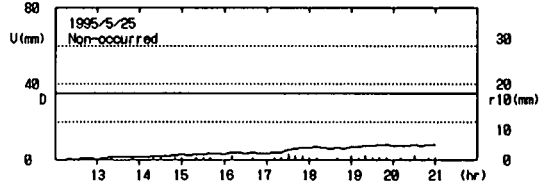


图-5-10 (1995年5月25日, 浸水非発生)

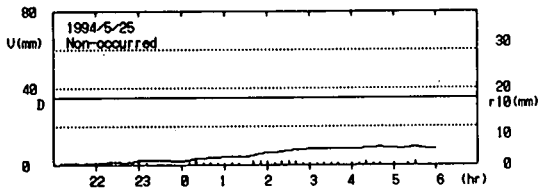


图-5-5 (1994年5月25日, 浸水非発生)

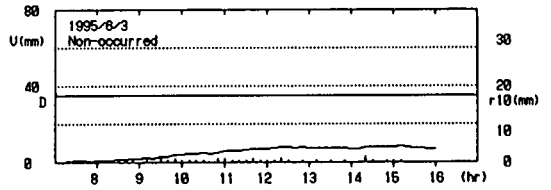


图-5-11 (1995年6月3日, 浸水非発生)

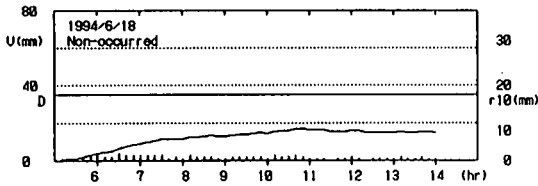


图-5-6 (1994年6月18日, 浸水非発生)

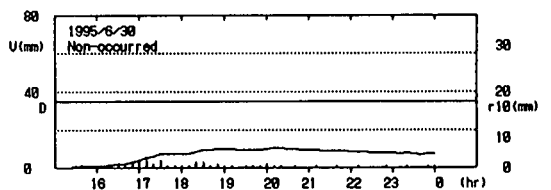


图-5-12 (1995年6月30日, 浸水非発生)

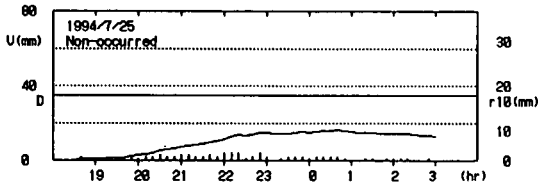


图-5-7 (1994年7月25日, 浸水非発生)

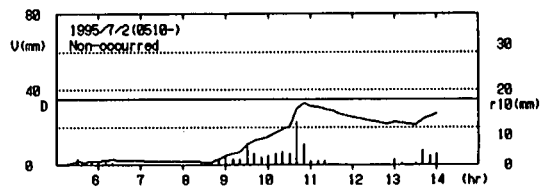


图-5-13 (1995年7月2日, 5:10以降, 浸水非発生)

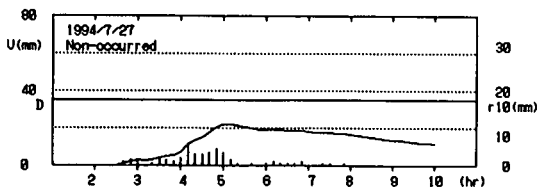


图-5-8 (1994年7月27日, 浸水非発生)

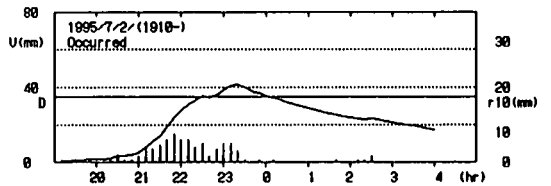


图-5-14 (1995年7月2日, 19:10以降, 浸水発生)

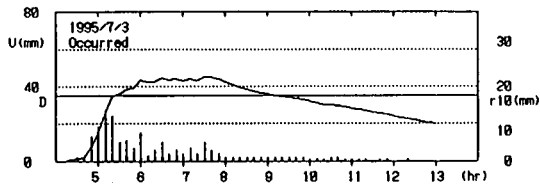


図-5-15 (1995年7月3日, 浸水発生)

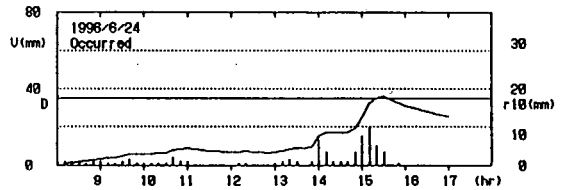


図-5-18 (1996年6月24日, 浸水発生)

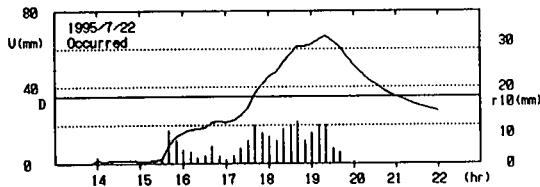


図-5-16 (1995年7月22日, 浸水発生)

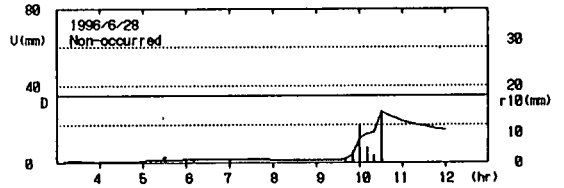


図-5-19 (1996年6月28日, 浸水非発生)

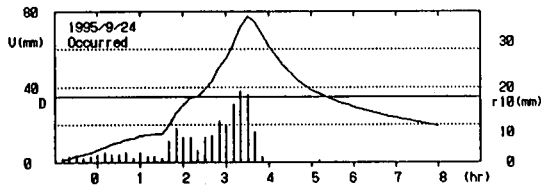


図-5-17 (1995年9月24日, 浸水発生)

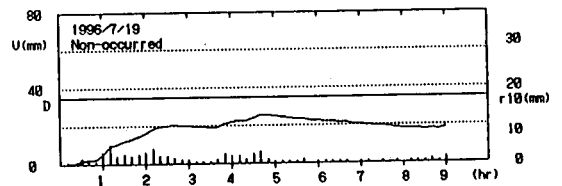


図-5-20 (1996年7月19日, 浸水非発生)

図-5-14 (1995年7月2日, 19:10以降) では, 22時30分から0時にかけてD=35mmラインを超えていて, ピークが23時から0時の間にありそのときV=40mmのラインを超えている。現地では2日の昼間は何も起こらなくて夜になり雨が強く降り始めて, 23時から浸水が始まり0時頃には終わったという。解析結果はこれらのことを表現している。

図-5-15 (1995年7月3日) では, 5時30分から9時10分の間でD=35mmラインをこえている。さらに, 6時にV=40mmのラインを超えて8時20分まで続いている。五十目山町の人の話には浸水の終わりの時刻ははっきりしないが, 浸水が始まったのは午前6時頃だったという。図はこれを裏付けている。

図-5-17 (1995年9月24日) では, Vの値は2時10分にD=35mmのラインを超えて5時20分にはDのラインより下になっている。その地域は, 午前1時頃は異常はなかったのが午前3時から午前4時にかけて水があふれていたという。また3時に水が床にあがってきそうだったのでびっくりして目が覚めたという。解析結果は3時から4時の間にV=60mmを超えていて, 現地の話と裏付ける結果となっている。

浸水データは宇部時報の新聞記事と宇部市役所防災室庶務課の資料によったが, 通常これらのデータは生

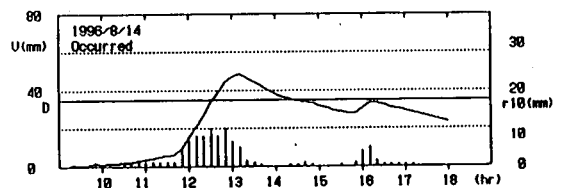


図-5-21 (1996年8月14日, 浸水発生)

活に甚大な影響を与えているもののみが記録されるので, 人間活動に影響のない都市化されていない地域の小河川の浸水等は記録されていない可能性がある。宇部市の降雨を代表する雨量観測地の設定, 従ってよりよいタンクモデルのパラメータが得られていない現状では, 宇部市の浸水発生限界ラインをD=35mmとして決定することが許されるであろう。

(3) タンクパラメータ及びDラインの検証

1996年の雨量の多いものから4例(表-1, 番号18, 19, 20, 21)選んで検証を行った。豪雨階級では浸水が起きている6月24日(番号18)ではほぼFランクで8月14日(番号21)ではEランクである。最大1時間雨量(R1)が6月24日のものより6月28日(番号19)の方が大きくなっているが浸水は起きていない。

これは6月24日の最大3時間雨量(R3)が大きいことが影響していると考えられる。

図-5-18～図-5-21より、浸水が発生している図-5-18(6月24日)、図-5-21(8月14日)の2例の時はDラインを超えている。浸水が発生していない図-5-19(6月28日)、図-5-20(7月19日)の2例では超えていない。このように決定されたタンクパラメータ、Dラインにより浸水の発生、非発生を区別することが出来た。図-5-18と図-5-19のR1とR3が違って雨の降り方が変わっている場合でも浸水の発生、非発生を判断ができる。よってこのタンクモデルによる浸水発生限界Dラインは信頼できるものであると考えられる。

4. 宇部市の浸水発生予測例

宇部市での過去の浸水発生降雨についてまとめてみると、浸水被害がでるような集中豪雨は、梅雨前線や台風が襲来する6月から9月に多く、豪雨が発生している時間帯は夜に多いことが判った。深夜から朝方にかけて特に強く降っていて、人が寝ていてしかも視野が悪いときに浸水被害がでるような雨が降ることはなほだ危険である。

また、1995年7月頃の浸水が発生している雨量と被害の関係は、1979年のものと比較すると大変少なくなっている。これは、家の地盤を高くしたり下水などの排水処理施設が整備されてきた結果だと思われる。しかし、1995年9月24日の台風14号による雨の時は床下浸水が1000件以上もでていて、まだまだ突然の大雨に対応できるまでの状態にはなっていない。現状を把握してより早く正確に警報を出して被害を最小限に食い止める必要がある。

浸水発生をより早く知るためにタンクモデルにPRFMを組み合わせて浸水発生予測を行った。浸水発生予測では、降った雨により貯留している水位を予測するので、雨量は予測時刻以前は実測雨量を入力しそれ以後はPRFMによる予測雨量を入力した。以下の予測図では、実測雨量は棒グラフで、予測雨量は黒丸で、予測雨量に基づく予測水位を実線で示した。図中の二重線は予測時刻を示している。以後10分ごとに逐時観測される10分雨量を入力し予測内容を更新する。

(1) 1995年7月2日の予測

図-6-1は21時20分での予測結果である。予測雨量による水位は最大20mmである。

図-6-2はさらに10分後の21時30分での予測である。水位はDラインの近くまで上昇している。

図-6-3は21時40分での予測である。22時20分に

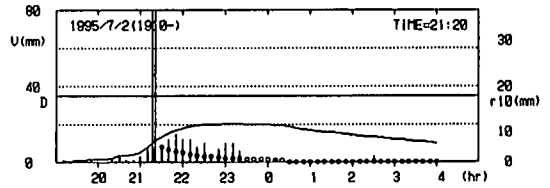


図-6-1 (1995年7月2日, 予測時刻21:20)

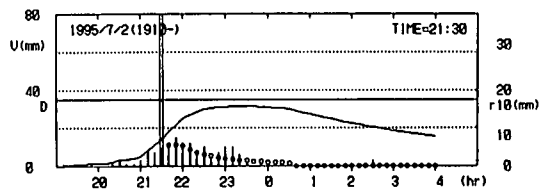


図-6-2 (1995年7月2日, 予測時刻21:30)

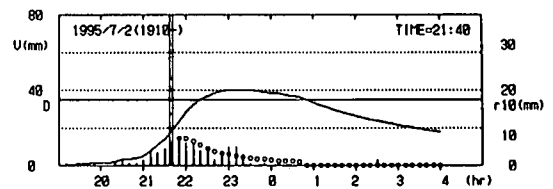


図-6-3 (1995年7月2日, 予測時刻21:40)

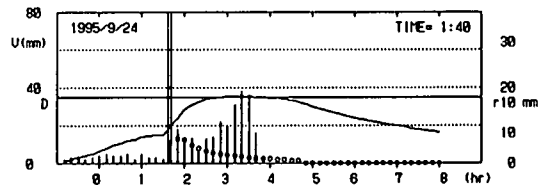


図-6-4 (1995年9月24日, 予測時刻1:40)

はDラインを超え1時にはDラインを下ることを予測している。実際は23時に浸水が起こっているが、今後浸水が起こるかかどうかについては80分前に予測検知したことになる。なお浸水が終了した時刻については明白な聞き込み調査ができなかった。

(2) 1995年9月24日の予測

降雨は23日の23時から降り始めて、1時30分までは10分雨量は数ミリのまま経過している。

図-6-4は1時40分での予測である。この時刻から雨が強く降り始めている。予測された水位は2時20分から4時30分の間に浸水発生限界D=35mmを超えていて浸水発生を予告している。実際の浸水は2時30分に起こっている。今後浸水が発生するかどうかの予測検知は50分前に行ったことになる。

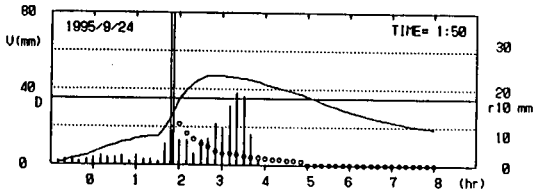


図-6-5 (1995年9月24日, 予測時刻1:50)

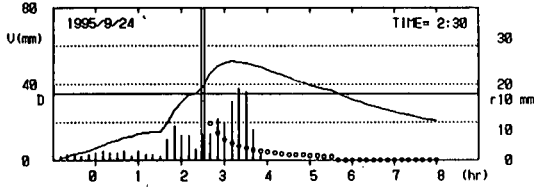


図-6-6 (1995年9月24日, 予測時刻2:30)

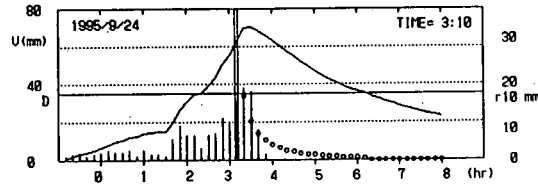


図-6-7 (1995年9月24日, 予測時刻3:10)

図-6-5は1時50分での予測である。図-6-1と同じく実際の降雨ピークが降雨の終了間際に出現しているため予測の降雨波形は合っていないが、浸水予測には有効な雨量予測であったといえる。

図-6-6は実際に浸水の始まった2時30分での予測である。この時刻から雨が再び強く降り始めている。予測時点でそれまで降った実際の降雨による水位はDラインまで達している、予測では今後さらに上昇し、Dラインを下るのは5時半過ぎである事を示している。

図-6-7は3時10分での予測である。この時3時20分の10分雨量は19mmを記録した。予測雨量は的中したといってよい。また、3時間雨量予測では50%程度大きめにでたが1時間雨量予測はよくあっている。降雨が短時間のものであることもよく表している。水位は、2時30分にはDラインを超えて、ピークは3時30分となりその後の6時頃にはDラインを下ると予測されている。実際の浸水のピークは3時30分、浸水が終わる時間が5時であったので予測はほぼ的中したといえる。予測降雨波形は雨の大半は降り終わり、今後急速に雨の勢いが減少していくことをよく表現している。

(3) 1996年8月14日の予測

図-6-8は11時50分の予測である。予測雨量による

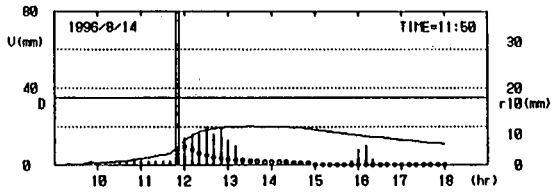


図-6-8 (1996年8月14日, 予測時刻11:50)

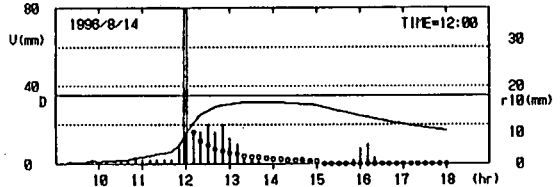


図-6-9 (1996年8月14日, 予測時刻12:00)

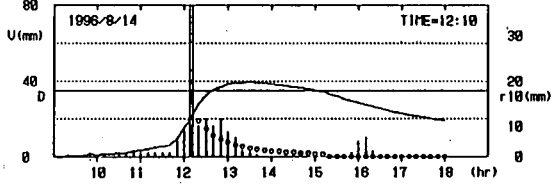


図-6-10 (1996年8月14日, 予測時刻12:10)

水位は最大20mmである。

図-6-9は12時00分の予測である。水位はDラインの近くまで上昇している。

図-6-10は12時10分の予測である。12時40分にはDラインを超えて15時にはDラインを下ることを予測している。実際には13時過ぎに浸水が起こり15時頃まで浸かっていた。今後浸水が起こるかどうかわかっているのは約1時間前に予測検知したことになる。浸水が終わる時間はほぼ同じぐらいとなった。

地点短時間雨量予測方式 (PRFM) は降雨のピーク後から雨の降り終わりにかけての雨量は実測のものによく合うことが確かめられている²⁾。従って上の予測例のように降雨のピーク以後の予測は正確にでき浸水の終わりを知ることができる。雨量のピークまでは予測雨量は小さくでているが、タンクモデルに予測前までの雨量を入れただけでもどのくらいまで水位が上昇しているか知ることができ、予測雨量も入れると今後の水位の最低ラインをよく表しているといえる。このように、雨が降り始めたら PRFM により雨量を予測していきながらタンクモデルにより表された水位の変動を注意していると、浸水がいつ起こりいつ終わるかわ知ることができる。

5. あとがき

本研究では、宇部市での過去の顕著降雨についてタンクモデル法を使い浸水が起きるときのタンク内の限界水位（Dライン）を決定した。これにより1996年の大雨について検証した結果、発生、非発生の判定に成功した。浸水予測例に示したようにPRFMと組み合わせることによりより早く浸水発生を知ることが出来るので、本方法は、水防災活動上における一つの方法となりえよう。

なお、対象流域に大がかりな河川改修や下水道の整備などがあれば防災対策上タンクパラメータのチェックは不可欠である。

3. (1) 解析方法のところでも述べたように今回の解析では初期貯留量を0で始めた。宇部市は短時間強雨により浸水害が起きていたので一雨を対象に発生、非発生の判別が可能であった。しかし、長雨など強雨が続く場合は先行雨量を考慮する必要がある。引き続いて行っている山口県下の諸都市での同様な解析では、

入力雨量データを24時間前から入れて行っている。初期貯留量に対する詳細な議論は次回の報告に譲る。

謝辞：本論文の作成にあたり、データ収集の際に宇部市役所防災室、下水道局、宇部時報社、五十目山町の住民の方々の協力を頂きました。また、査読委員の方々からは貴重な御助言をいただきました。深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 菅原正巳：流出解析法, 共立出版, p. 257, 1972.
- 2) 塩月善晴：ハイレートグラフを利用した短時間雨量予測法の試み, 天気, 36, pp. 449~459, 1989.
- 3) 越智彊：昭和47年の7月豪雨の特徴と過去の集中豪雨との比較について, 気象研究ノート, No.117, pp.153~162, 1973.

(1997.6.2 受付)

URBAN INUNDATION PREDICTION BY USE OF TANK MODEL

Kiyooki ABE, Kazuya SHIBASAKI and Yosiharu SHIOTSUKI

We had 17 significant rainfalls during 1979-1995 in Ube city. 8 rainfalls of them caused the inundation in the lowland region of city. Tank model¹⁾ is used in this paper to set the criterion water level whether the inundation will occur or will not. Try and error analysis presents the parameter set of Tank Model as shown in Fig3. The criterion Tank water level (D line) is obtained D=35 mm. If we have the forecast rain curve, we can predict the occurrence of inundation in the city by inputting the rain into the Tank. Several prediction experiments were made by use of the short time point rainforecasting method (PRFM²⁾). The results show the present inundation prediction scheme is useful for the urban water disaster prevention action.