

山口県の都市浸水害発生予測に関する研究

阿部清明¹・塩月善晴²

¹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 2-16-1)

²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 2-16-1)

都市においてどれくらいの雨が降ったら浸水害が起きるのか把握しておくことは防災上重要なことである。前報¹⁾では、都市低地部の浸水発生予測のためにタンクモデル²⁾と地点短時間雨量予測方式⁴⁾を組み合わせた方法で可能性を検討した。方法はタンク内の残留水位により浸水の発生、非発生を明瞭に区分できるタンクパラメータを探し、発生限界水位Dラインを設定するものである。宇部市での結果、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。本報では山口県の他の都市について同様の解析を行ったことを報告する。その結果、各都市においてタンクの構造は同じでタンクの各パラメータは都市によって大きな変動はないことが判った。

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

1. はじめに

集中豪雨による内水災害の発生は全国的に増加している。都市化が進行すると流出率が大きくなりもともと排水不良であった地域に浸水の頻度が増大する。都市部において側溝や下水道などの排水網の整備が進むと、全体の流出能力は上がるが、単位時間の流量が増え流出速度が速くなり標高の低い地区や排水路の合流点に雨水が短時間に集まり浸水害を起こしている。このような都市では、浸水害を軽減するために、排水網、放水路をさらに整備したり、河川を拡張したりするが万全ではない。そこで、都市においてどれくらいの雨が降ったら浸水害が起きるのか把握しておくことは防災上重要なことである。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。前報(1998)では、浸水家屋発生、非発生に注目して流域の保水限界量として対応するものをタンクモデル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。その結果図-1のように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。

本研究では、同様な方法を宇部市だけでなく、下関、小野田、山口、防府市において同様の解析を行う。

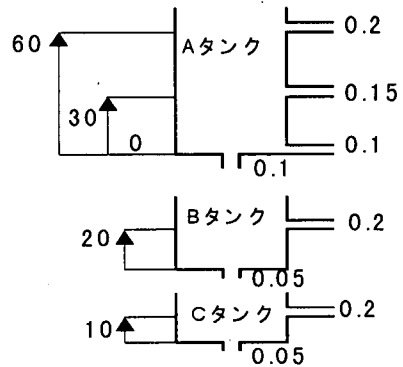


図-1 宇部市 1979-1995年浸水解析タンクモデル

まずはじめに各都市の豪雨階級³⁾による浸水害発生の状況を見て、どの程度の雨が降ったら浸水害が起きているか調べた。タンクモデルでの解析では前報の宇部市での解析で決定されたパラメータを基に浸水発生限界Dラインを同じ35mmとし新たな宇部市の浸水解析タンクモデルを決定した。そして、宇部市と同様にDラインを35mmに固定し各都市のタンクパラメータを決め浸水解析を行った。さらにタンクパラメータは宇部市と同じものを各都市に適用して各都市のDラインがどれくらい変わるのかについて調べてみた。なお前報では浸水害が発生している時の一雨について解析を行ったが、今回は先行雨量の影響を考慮し解析を行った。ただし、対象としている降雨から以前24時間以上連続して雨が降っていない場合は先行雨量としては考慮に入れなかった。

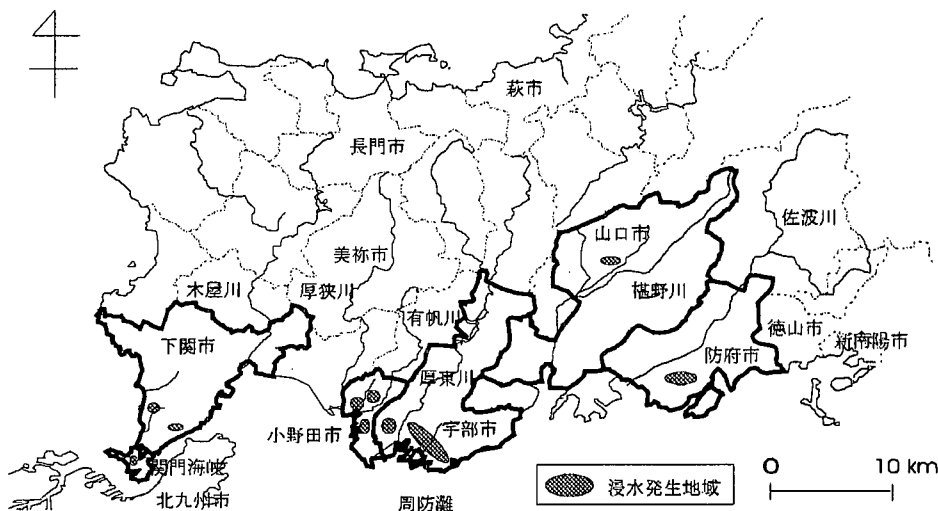


図-2 山口県全体図

表-1 各都市のデータ

都市名	面積(km ²)	人口(人)
宇部市	210.31	175,418
下関市	223.94	258,501
小野田市	43.04	45,825
山口市	356.90	136,990
防府市	188.58	118,848

(山口県統計年鑑(平成9年刊)より)

表-2 2市以上において浸水害が起きたとき

日付	市(浸水家屋軒数)	降雨システム
1995/7/23	宇部(75) 下関(4) 小野田(40) 山口(4) 防府(1)	梅雨前線
1995/7/22	宇部(59) 山口(20) 防府(5)	梅雨前線
1995/9/24	宇部(1,219) 小野田(39) 山口(9)	台風
1996/8/14	宇部(195) 下関(2) 小野田(38) 防府(1)	台風

2. 浸水害, 雨量データについて

表-3 1市において浸水害が起きたとき

日付	市(浸水家屋軒数)	降雨システム
1996/6/24	宇部(4)	梅雨前線
1997/5/14	小野田(40)	低気圧
1997/7/8	山口(7)	梅雨前線
1997/7/9	宇部(4)	梅雨前線
1997/9/7	宇部(11)	停滞前線
1998/10/17	宇部(1)	停滞前線

(1) 都市型浸水害について

雨が降り水は流域に溜まり流出し河川や海に流れていく。しかし、流域において流出量が流出限界量を超えると氾濫を起こして水害となってしまう。これらの水害の中で河川が氾濫したものを外水氾濫、河川や海に流れる前に流域内で氾濫を起こしたものを内水氾濫という。内水氾濫は、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。さらに雨量が増えると氾濫を起こす水が増え床下浸水、床上浸水となる。

本研究において、浸水害の発生は床下浸水、床上浸水による浸水家屋が発生した場合をさす。

図-2 は山口県の全体図で太線で囲まれた地域が今回解析の対象となる市である。それぞれの市において過去に浸水発生地域を網掛けで囲み図中に示している。図-2 を見ると浸水発生地域は大きな河川の溢水で起きているのではなくそのまわりで起きていることが分かるのでこれらの地域における浸水害は内水氾濫によるものだと考えられる。

(2) 都市別の雨量, 浸水害データ

浸水解析を行う前にそれぞれの都市において浸水害の発生状況などの調査を行った。各都市において1994年から1998年において観測された主な降雨について表-4に示す。表中の*は、1日に2つの一雨があった場合で1995年7月2日の5時からの雨(*), 1995年7月2日の19時からの雨(**)という意味である。

宇部, 下関, 小野田, 山口, 防府市のそれぞれの市で1994年から1998年の浸水害が発生したときの気象条件を調べていくと、同じ時期の降雨システムにおいて2市以上にわたって被害が起きたものは表-2, 1

表-4 各都市の雨量データ (番号において宇部市をU, 下関市S, 小野田市O, 山口市Y, 防府市Hで表す.)

番号	日付	R1(mm)	R3(mm)	降雨システム
U1	1995/7/2*	29	49	梅雨前線
U2	1995/7/2**	34.6	68.5	梅雨前線
U3	1995/7/3	51.5	92.5	梅雨前線
U4	1995/7/22	55.2	119	梅雨前線
U5	1995/9/24	81.3	133.5	台風
U6	1996/6/24	30.5	48	梅雨前線
U7	1996/8/14	51	75.5	台風
U8	1997/5/8	26.5	67.5	低気圧
U9	1997/7/9	9.5	12.5	梅雨前線
U10	1997/7/11	27	47	梅雨前線
U11	1997/9/7	37.5	59	停滞前線
U12	1998/10/17	39	64	低気圧
S1	1995/7/2	42.5	90.5	梅雨前線
S2	1995/7/3	33	75.5	梅雨前線
S3	1996/8/14	41	81	台風
S4	1997/8/12	41	79	停滞前線
S5	1997/9/7	28.5	62.5	停滞前線
S6	1998/7/1	29	58.5	梅雨前線
O1	1995/7/2	31.5	64	梅雨前線
O2	1995/7/3	28.5	59.5	梅雨前線
O3	1995/7/22	32	44	梅雨前線
O4	1995/9/24	50	111	台風
O5	1996/8/14	57.5	111	台風
O6	1997/5/13	17	44.5	低気圧
O7	1997/5/14	30.5	36	低気圧
O8	1997/9/7	29.5	51.5	停滞前線
Y1	1995/7/2	29.5	71	梅雨前線
Y2	1995/7/3	29	53.5	梅雨前線
Y3	1995/7/22	55.5	97.5	梅雨前線
Y4	1995/9/24	53	91.5	台風
Y5	1996/6/24	41.5	58.5	梅雨前線
Y6	1996/8/14	44.5	83	台風
Y7	1997/7/8	42	50	梅雨前線
Y8	1998/5/2	27	54.5	低気圧
Y9	1998/10/17	47.5	78.5	台風
H1	1995/7/2	34	50.5	梅雨前線
H2	1995/7/3	31	58.5	梅雨前線
H3	1995/7/22	56	76	梅雨前線
H4	1995/9/24	29.5	48	台風
H5	1996/8/14	52.5	89	台風
H6	1997/5/8	31.5	57	低気圧
H7	1997/5/13	29.5	70.5	低気圧
H8	1998/10/16	24	59	台風

表-5 気象庁豪雨階級基準 (越智 1973)

階級	最大1時間雨量	最大3時間雨量	条軒
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 ≤	

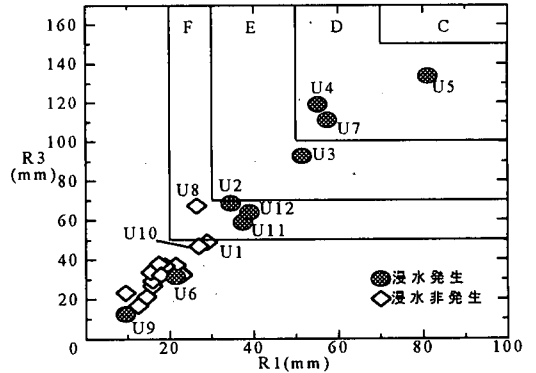


図-3-(a) 宇部市降雨の(R1, R3)分布

のがある。

それぞれの市で1994年から1998年で浸水害が発生した日などの雨量の多い25例の顕著降雨の最大1時間雨量と最大3時間雨量との関係を見て豪雨階級により評価する(図-3-(a)~(e))。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-5)。

a) 宇部市の浸水概況

宇部市は、本州の西端、山口県の西南部にあり東経131°14' 北緯33°56' に位置し、東は阿知須町、小郡町、山口市に接し、北は美東町に、西は小野田市、楠町、南は周防灘に面し、はるかに九州を望む地にある。地勢は、南北に細長く、市の南部は埋め立て地で東西に長くまとまった沿岸平野をなし、中部北部は標高50m~100mの丘陵地で、最も高い山でも平原岳の395.1mとなる。

雨量データは宇部市の南東部に位置する下関地方気象台山口宇部空港出張所のものである。宇部市の中で浸水被害が起きた地域は五十目山町、東琴芝町一丁目、小松原町、文京町、原、西割、西宇部の地区である。特に西宇部、五十目山町では頻繁に起こっている。1995年9月24日(U5)の台風14号の時は深夜から朝方にかけて1000軒以上の床下浸水の被害がでている。このような、人が寝ている時間帯で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はなはだ危険である。

図-3-(a)によると、Fランク以上だと宇部市ではほぼ床下浸水が起きている。1996年6月24日(U6)、1997

市のみで浸水害が起きているものは表-3 のようになった。これらの表を見ると2市以上にわたって被害が出るときは台風と梅雨前線により雨がもたらされており、1市のみで起きるときは梅雨前線、停滞前線による場合が多い。前線上で局地的な豪雨発生により浸水害が発生していると思われる。また、1995年7月22日と1998年10月17日は雨が降った直接の要因は梅雨前線、停滞前線によるが南から台風が接近していたことによりさらに雨が強くなったと考えられるも

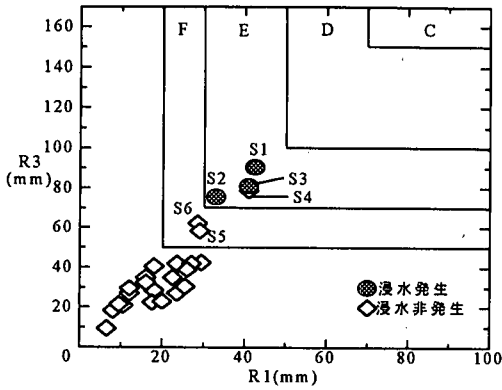


図-3-(b) 下関市降雨の(R1, R3)分布

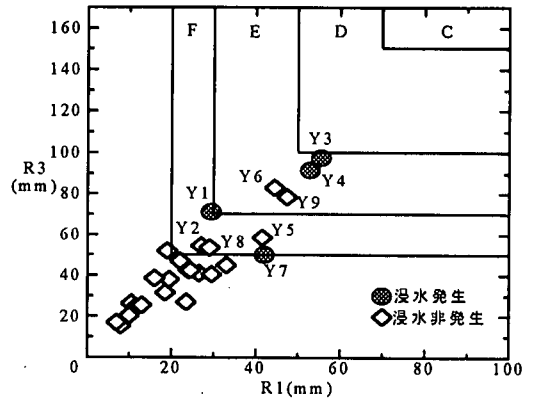


図-3-(d) 山口市降雨の(R1, R3)分布

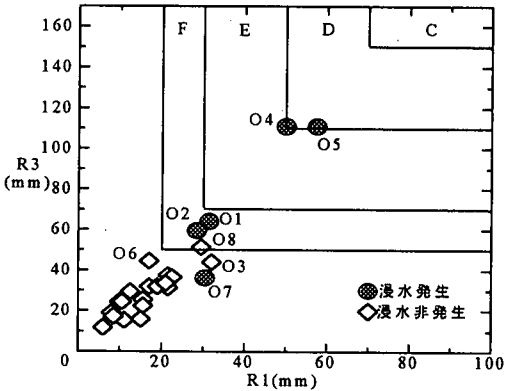


図-3-(c) 小野田市降雨の(R1, R3)分布

年7月9日(U9)はFランク以下であるが浸水が起こって1997年5月8日(U8)はFランク以上であるが浸水は起こっていない。

b) 下関市の浸水概況

下関市は、本州の西端、山口県の西南部にあり東経130°56' 北緯33°57' に位置し、東は響灘に面し、北は豊浦町、菊川町、西は美祢市、山陽町、南は関門海峡を挟み福岡県北九州市に接している。地勢は、三方を海に囲まれ、市の西南に市の中心部が位置している。最も高い山は豊浦町との市境にある鬼ヶ城山の620mとなる。

雨量データは下関市の南西部に位置する下関地方気象台のものを使用した。下関市において浸水被害が起きているところは三方を海に囲まれている海岸線沿いの低地部である。

図-3-(b)よりR1が40mm、R3が80mm以上だと浸水害は必ず起きているEランク以上になると下関市ではほぼ浸水害が起きている。他の市と比べてこの5年間にR1, R3が50, 100mmとなる大きな豪雨は降っていない。このため下関市では浸水家屋が100軒以上となるものが起きているものと考えられる。

c) 小野田市の浸水概況

小野田市は、本州の西端、山口県の西南部にあり東

経131°10' 北緯33°59' に位置し、東は山陽町に接し、北は楠町に、西は宇部市、南は周防灘に面し、はるかに九州を望む地にある。地勢は、市の中心を有帆川が流れ、市の大部分がまとまった沿岸平野をなしている。

雨量データは小野田市の中心にある小野田市役所のものを使用した。小野田市の中では浸水害が起きた地域は、日の出町、神帆町、中川町である。また、ひとたび小野田市で浸水が起けるとまとめて20軒以上の被害がでている。これらの被害は小野田市の中心部付近で起きているが市の中心を流れる有帆川の氾濫によるものではなく排水路からの溢水により浸水害が起きている。

図-3-(c)より、R1が40mm、R3が80mm以上だと浸水害は必ず起きている、Fランク以上だと小野田市ではほぼ床下浸水が起きている。また、1997年5月13日(06)、1997年5月14日(07)のようにFランク近くの雨が2回続いたために浸水害がでているものがある。

d) 山口市の浸水概況

山口市は県庁所在地で、本州の西端、山口県の中心部にあり東経131°28' 北緯34°10' に位置し、東は小郡町、美東町、宇部市に接し、北は旭村、阿東町に、西は徳地町、防府市、南は秋穂町に接している。地勢は、四方を山に囲まれた山口盆地に位置し、中心を樫野川が流れている。最も高い山は高羽ヶ岳の761mとなる。

雨量データは山口市の中心に位置する山口測候所のものを使用した。山口市での浸水害の原因は、市の中心を流れる樫野川が増水し水位が高くなったためにこれに流れ込む小河川が通水不能になり溢水したものであると考えられる。

図-3-(d)より、R1が45mm、R3が80mm以上だと浸水害は必ず起きている、Eランク以上だと山口市では浸水発生、非発生を判別することができた。1995年7月2日(Y1)、1995年7月3日(Y2)は同じ降雨システムにもたらされた雨である。1997年7月8日(Y7)はR1が42mm、R3が50mmと極端にR1が大きい値となってい

表-6 豪雨階級による浸水害発生、非発生判別結果

都市名	宇部	下関	小野田	山口	防府
豪雨階級	F	E	F	E	E
CO/O	7/9	3/3	4/5	2/4	2/3
CNO/NO	15/16	21/22	19/20	19/21	21/22
(CO+CNO)/(O+NO)	22/25	24/25	23/25	21/25	23/25

0: 浸水害発生数, NO: 浸水害非発生数,
 CO: 豪雨階級により浸水害発生が判別されるもの
 CNO: 豪雨階級により浸水害発生が判別されないもの

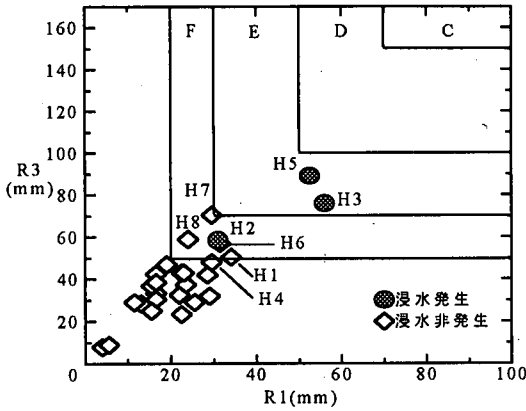


図-3-(e) 防府市降雨の(R1, R3)分布

る。このとき浸水害がでている。1996年8月14日(Y6)と1998年10月17日(Y9)はEランクに入っているが浸水害は出ていない。

e) 防府市の浸水概況

防府市は、本州の西端、山口県の南部にあり東経131°33' 北緯34°02' に位置し、東は徳山市に接し、北は徳地町に、西は山口市、秋穂町、南は周防灘に面して、はるかに九州を望む地にある。地勢は、全体がまとまった沿岸平野をなし、北部に山地が形成されている。

雨量データは、防府市の西ノ浦消防署のものを使用した。1993年8月2日に防府市全域で浸水被害がでており1166軒にも達している。特に緑町、牟礼では被害が大きかった。また、死者4名、山崩れ260カ所という大きな災害となった。それ以降は浸水家屋が10軒以上であるような災害は起きていない。防府市の中で浸水害が起きた地域は緑町で、近年は場所を特定はできなくて市街地付近のいろいろなところで発生している傾向がある。

図-3-(e)より、防府市ではEランク以上だと浸水害発生が判断される。1995年7月2日(H1)、1995年7月3日(H2)にR1, R3が25, 35mm以上の雨が2日続いたために浸水害がでていると考えられるものがある。

(3) 山口県の都市浸水の特徴

宇部、下関、小野田、山口、防府市において集中豪雨により起きている床下浸水などの浸水害は内水氾濫により起きていることがわかった。これらの内水氾濫は河川の基準水面が豪雨により大きくなり、内水の通水能力がなくなったために排水路や小河川などが溢水するために起きている。また盆地である山口市で他の市と同じように起きていることを考えると、ただ低地部というわけではなく流域内にある主要な河川の基準水面が上昇することにより支流となる排水路や小河川が流れきれなくなり溢水を起こして浸水害が発生すると考えられる。

表-6は豪雨階級による浸水害発生、非発生判別結果

である。表の一段目に都市名、二段目に浸水発生、非発生を判別する境界となる豪雨階級のクラス。三段目のCO/Oは浸水害発生数に対する豪雨階級により浸水害発生が判断されるもの。四段目は、CNO/NOは浸水害非発生数に対する豪雨階級により浸水害発生が判断されないもの。五段目の(CO+CNO)/(O+NO)は総データ数に対する豪雨階級により浸水害発生、非発生が判断されるものである。下関市、小野田市、防府市においては全体の判別の割合が23/25以上と良い精度で浸水発生、非発生が判別できている。宇部市では2例浸水が起きているが豪雨階級がFランク以下となっているものがある。発生、非発生を精度良く判別できる境界を見ていくと宇部市では豪雨階級がFランク以上になると浸水発生が判断でき、浸水発生が判断できていないものは局地的にFランク以上の雨が降ったのではないかと考えられる。1カ所の雨量計では市内全体の雨が網羅できていないためにR1, R3は小さいが浸水が起きているのではないかと考えられる。

山口市は全体の判別数の割合が21/25と一番悪い結果となっている。図-3-(d)を見ると、2例Eランク以上の雨が降っているのとFランクぎりぎりであるが浸水が起きているというものが混ざっているために全体の判別精度を落としている。

調査を行った5市において豪雨階級による浸水害がおきる目安は一雨のときはEランクでR1, R3が30mm, 70mm以上になったときである。Fランク以下のとき浸水害が起きているときと起きていないものがあるが、これは、Fランクレベルの雨が2雨続けて降ったり、長雨の時にFランクレベルの雨が突然降ったために浸水害を起こしていると考えられる。

一般に、豪雨階級が大きくなると浸水被害も大きくなっている。

3. タンクモデルによる浸水解析

(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

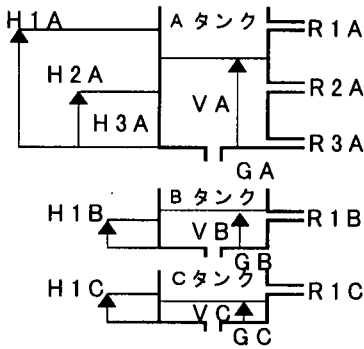


図-4 直列貯留型タンクモデル

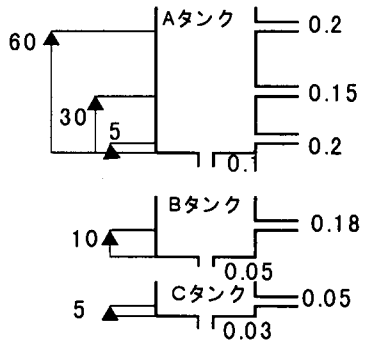


図-5 宇部市 1994-1998 年浸水解析タンクモデル

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という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。

この研究では、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。つまり都市流域を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。本解析では都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、短時間降雨に応答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-4)。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。都市浸水害を起している場所が大河川ではなく排水路などの小流域であることと、浸水発生地域における解析を行うための厳密な流量データがなかったことから、小河川での解析において得られたモデルを参考にして解析をはじめた。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。

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。

$$V = VA + VB + VC \quad (1)$$

前報で述べたように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、各タンクの初期残留量は0で始める。都市浸水害は地表面の水の動きが影響していると考えられるのでVの中には地下水貯留分は考慮されない。前報では浸水害が発生している時の一雨について解析を行ってきたが、今回は先行雨量の影響を考慮し解析を行った。詳しいタンクモデルの計算過程は菅原の流出解析法²⁾もしくは前報¹⁾を参照いただきたい。

(2) パラメータ、浸水発生限界Dラインの決定

タンクパラメータは各都市の降雨について浸水発生、非発生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。我々が過去に行った1995年までの宇部市における解析で図-1のパラメータと浸水発生限界Dライン(タンク残留水位=35mm)が得られている。パラメータには経年変化があると考えられる。1994年から1998年の新しいデータに基づき最適パラメータ探しは図-1のパラメータを参考にして決定された。その結果1994年から1998年における宇部市の最適パラメータは図-5のようになった。図-1と比較するとAタンクの流出孔が0.1から0.2と大きくなりB、Cタンクにおいて流出孔の高さが低くなり早く流出するようになっていた。これは、宇部市における排水設備が整えられていったために排水能力があがったためであると考えられる。

(3) Dラインを固定し各都市におけるタンクパラメータを決定したときの浸水解析

Dラインは流域によって変化すると考えられるが浸水発生地域において厳密な流量データがないので、

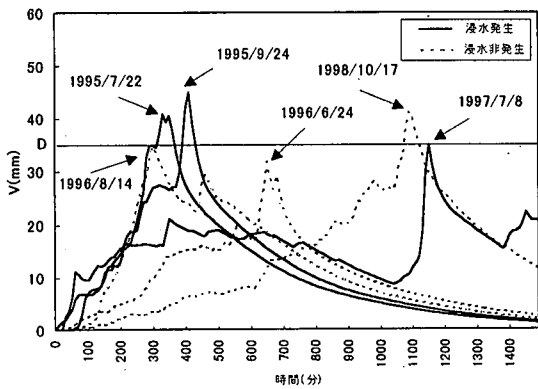


図-6 山口市においてDラインを変化させたときの浸水解析結果

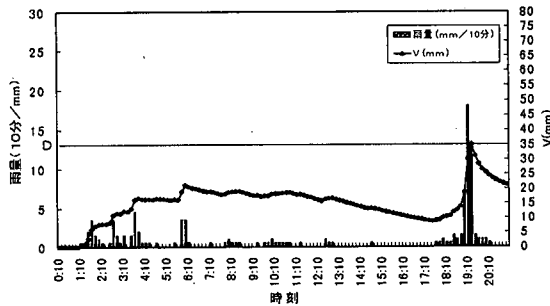


図-7 山口市 1997年7月8日, 浸水発生

本節では宇部市で得られたDライン (35 mm) が同程度の発達規模をもつ他の都市でも利用できるものとして、各都市においてタンクパラメータの決定を行う。またあとの3. (5)においてDラインを流域毎に変化させての検討を行う。解析の結果それぞれの市のタンクパラメータは表-8のようになった。

図-6は宇部市と同じようにDラインを35 mmと固定し、山口市におけるタンクパラメータを決め浸水発生、非発生を判別したものである。横軸は時間、縦軸は左に水位Vの目盛りを示した。図中に浸水害が発生したときの水位を実線で、非発生水位は破線で示す。図-6によると、浸水が起きている1995年7月22日、1995年9月24日、1997年7月8日でDラインを超え、浸水が発生していない1996年8月14日と1996年6月24日でDラインを超えていない。1998年10月17日は浸水は起きていないがDラインを超えている。この時、水路があふれ、道路が冠水し家屋に水が入りそうとの連絡が山口市役所にあった。このように床下浸水という記録には残っていないがDラインを超えるようなタンク内水位になっているときは浸水害の危険があると考えられる。

図-7は1997年7月8日の浸水が発生したときの解析図である。横軸は時間、縦軸は左に雨量の目盛りを、右に水位Vの目盛りを示した。10分雨量は棒グラフで、

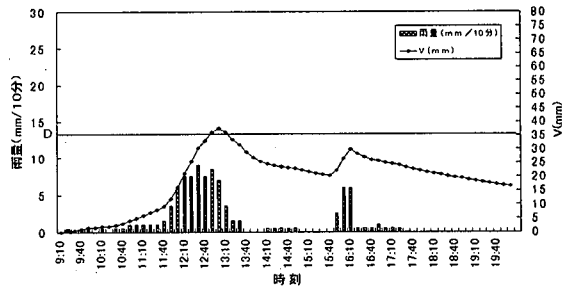


図-8 宇部市 1996年8月14日, 浸水発生

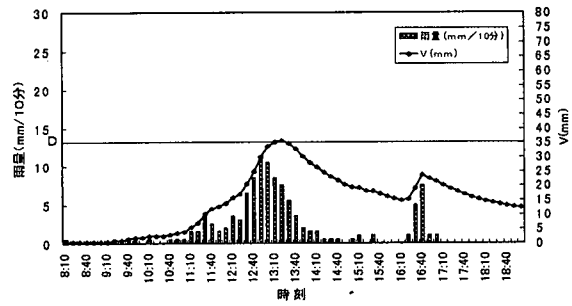


図-9 防府市 1996年8月14日, 浸水発生

表-7 タンクパラメータを変化させDラインを固定したときの浸水害発生、非発生判別結果

都市名	宇部	下関	小野田	山口	防府
Dライン	35	35	35	35	35
DO/O	7/9	3/3	5/5	3/4	2/3
DNO/NO	16/16	21/22	19/20	20/21	22/22
(DO+DNO)/(O+NO)	23/25	24/25	24/25	23/25	24/25

O: 浸水害発生数, NO: 浸水害非発生数,

DO: Dラインにより浸水害発生が判別されるもの

DNO: Dラインにより浸水害発生が判別されないもの

タンク残留水位は実線で示している。7月8日の1時から降り始めて3時まで雨は強く降っていた。この後6時に少し強く降りその後弱い雨が続けていた。水位は6時に20mmまで達した後緩やかに下降し、17時40分から再び雨が降り水位が上昇し始めている。19時10分に突然10分雨量が17mmという強い雨が降った。このとき水位はDラインを超えている。このように以前降った雨によりある程度水位が上昇しているときに突然強い雨が降ったときの状況を表すことができた。

図-8は1996年8月14日に宇部市で、図-9は1996年8月14日に防府市で浸水が発生したときの解析図である。図-8ではR1, R3が47 mm, 70 mm, 図-9は52.5 mm, 89 mmと図-9の方が雨量は多いが水位はDラインぎりぎりぎり図-8の方が水位が大きく出ている。このことにより、宇部市より防府市の方が排水能力が高く水位は低くなるのが判る。

表-7 はタンクパラメータを変化させDラインを固

表-8 タンクパラメータの一覧

	宇部市	下関市	小野田市	山口市	防府市
H1A	60	60	60	60	60
H2A	30	30	30	30	30
H3A	5	3	5	5	5
R1A	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
R2A	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
R3A	0.2	0.2	0.2	0.3	0.23
GA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
H1B	10	10	10	10	5
R1B	0.18	0.18	0.18	0.18	0.2
GB	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
H1C	5	5	5	5	5
R1C	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1
GC	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01

定したときの浸水害発生、非発生判別結果である。表-7よりそれぞれの市において浸水発生、非発生の精度が23/25以上と豪雨階級による判別より良い結果を得ることができた。

(4) タンクパラメータの比較

全ての市においてタンクモデルの構造は三段タンクで、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個とすべての市において同じものとなった。パラメータを比較すると宇部市と下関市、小野田市がほぼ同じで山口市と防府市のR3Aが0.3、0.23と大きくなっている。このことにより山口市と防府市では流出量が大きくなってタンク内水位は小さくなる。また、防府市において流出が大きく水位が小さくなるのはGAが0.2と大きくBタンクに浸透しH1Bが5と低くR1Bが0.2と大きいことにより流出が多くなりBタンクの影響が大きい。

(5) 宇部市のタンクパラメータでDラインを変化させたときの各市の浸水解析

表-8のように今回調査した下関、小野田、山口、防府市は宇部市のタンクパラメータに似ているので宇部市で決めたタンクパラメータを他の4市において適用しDラインを変化させることにより浸水発生、非発生を調べた。

図-10は山口市において適用しDラインを変化させることにより浸水害の発生、非発生を判別したものである。浸水害が起きていない1996年6月24日、1996年8月14日、1998年10月17日にDラインを超えている。これらのうち精度を上げるためにDラインぎりぎりの1996年6月24日、1996年8月14日がDラインより下になるようにDを42mmにすると全体の精度が21/25(表-9)と豪雨階級による判別より良くなるが、浸水害発生という防災対策として考えると安全側となる40mmとして浸水害発生を含んだものの方が適

表-9 宇部市のタンクパラメータを適用しDラインを変化させたときの浸水害発生、非発生判別結果

都市名	宇部	下関	小野田	山口	防府
Dライン	35	35	35	40	40
DO/O	7/9	3/3	5/5	3/4	2/3
DNO/NO	16/16	21/22	19/20	18/21	22/22
(DO+DNO)/(O+NO)	23/25	24/25	24/25	21/25	24/25

O:浸水害発生数, NO:浸水害非発生数,
DO: Dラインにより浸水害発生が判別されるもの
DNO: Dラインにより浸水害発生が判別されないもの

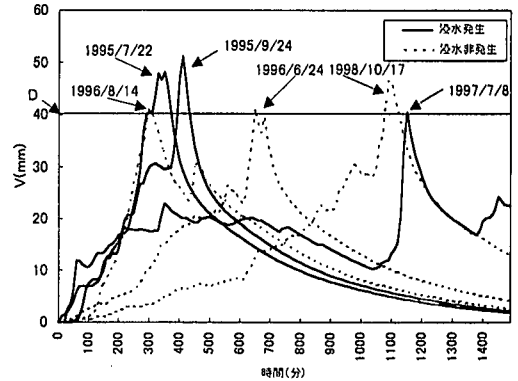


図-10 山口市においてDラインを変化させたときの浸水解析結果

切であると考えられる。Dラインを決定するときには他の市においても同様に精度がほぼ同じであるなら浸水発生が多く判断されるものをDラインとして決定した。

結果は表-9のように新たに決められたDラインは下関、小野田市で35mm、山口、防府市は40mmとなった。

(6) 解析結果のまとめ

前報では解析は一雨の開始の時点で始め、タンク貯留量は0でスタートさせたが、今回は24時間以前にさかのぼって10分雨量をタンクに投入させた。このことにより弱い長雨の中で突然Fランクの雨が降ったときの浸水発生を表現することができた。

1994年~1998年の降雨による宇部市のタンクパラメータを決め、前報で示した1979年から1995年の雨に対して決定したパラメータ(図-1)と差異があるのでタンクパラメータには経年変化があることが確かめられた。宇部市の排水整備の結果流出が良くなっていることがタンクパラメータの流出孔の値が大きくなっていることなどからわかった。このことはさらに研究を重ねていくことにより明らかになっていくと考えられる。

宇部市において決めたパラメータとDラインを用い下関、小野田、山口、防府市において同様の解析を行った。まず始めに排水能力が都市間で違うことを考

えDラインを宇部市の 35 mmに固定しタンクパラメータを変化させることにより浸水害を判別した。結果は表-8 のようになり宇部, 下関, 小野田市でほぼ同じようなパラメータとなり山口, 防府市で流出孔が大きくなり排水能力が高いために他の市より浸水害に遭いにくいと言うことが解った。また, パラメータを固定してDラインを変化させることにより浸水害を判別した。宇部, 下関, 小野田市で 35 mm, 山口, 防府市は 40 mmとなった。このことにより山口, 防府市は他の市より浸水害に対する流域の保水能力が大きいと考えられる。全体的に見るとDラインを変化させるより, 各都市におけるタンクパラメータを決める方が精度良く浸水発生非発生を判別することができている。Dラインを固定するかタンクのパラメータを固定するかで排水能力の高さや保水能力の高さを判断できそうである。また, タンクパラメータの違いで都市の水環境の変化を把握できそうである。

4. タンクモデルと地点短時間雨量予測法 (PRFM) を組み合わせたときの浸水予測実験

図-11 は防府市の 1996 年 8 月 14 日, 12 時 30 分までに降った雨を入力した時の解析図である。水位は最大 20 mmを示している。観測時点では今後の雨量がわからないために 12 時 30 分以降は水位はただ減衰して行くだけである。このように予測雨量がないと今後の水位の状況を知ることは難しい。よって, 1996 年 8 月 14 日に防府市で浸水が起きたときの雨を地点短時間雨量予測法⁴⁾ (以下 PRFM と略す) と組み合わせ浸水予測実験を試みた。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。右の予測図では, 予測解析用降雨量は黒の棒グラフで示して, その雨量を解析して得た水位を実線で示した。予測雨量との比較のために実測雨量を白の棒グラフで示し, 予測時刻は縦の実線で示している。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。

図-12-1 は 12 時 30 分の予測図である。この時実測雨量の R1, R3 は 19 mm, 28.5 mmであり豪雨階級は F ランクにも入っていないが, 予測雨量による R1, R3 は 40.3 mm, 76.9 mmとなり豪雨階級が E ランクに入っている。このように今後の予測雨量を入れることにより早く全体の豪雨階級の大きさを知ることができる。

水位は, この時から強く降り始めた雨により今後上昇していくことを予測している。

図-12-2 は 12 時 40 分の予測図である。この時実測雨量の R1, R3 は 25 mm, 36.5 mmであり豪雨階級 F ランクに入っていない, 予測雨量の R1, R3 は 48.5 mm, 90.1 mmと 10 分前より大きくなり今後さらに雨が強くなることを示唆している。この時水位は D ラインの近くま

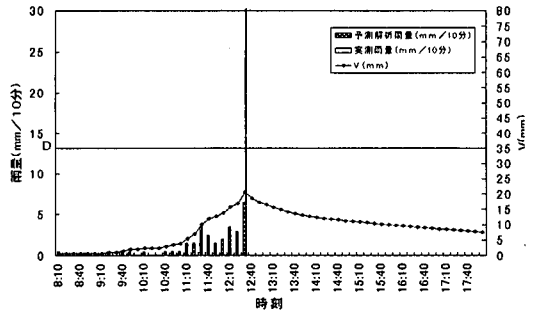


図-11 防府市 1996 年 8 月 14 日, 解析時刻 12:30

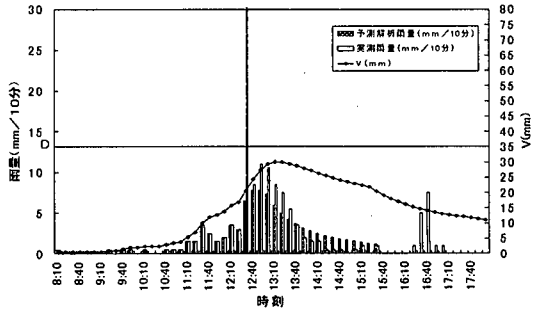


図-12-1 防府市 1996 年 8 月 14 日, 予測時刻 12:30

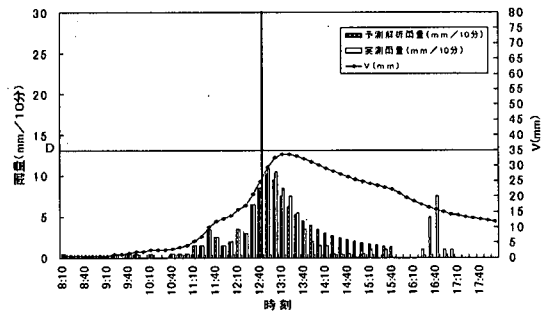


図-12-2 防府市 1996 年 8 月 14 日, 予測時刻 12:40

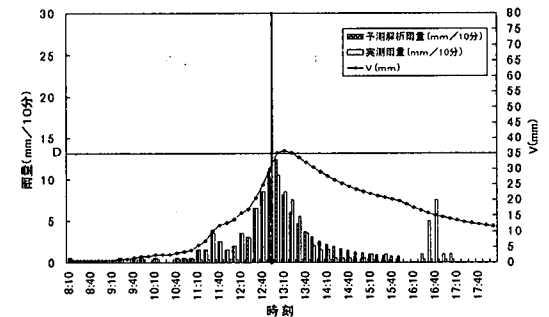


図-12-3 防府市 1996 年 8 月 14 日, 予測時刻 12:50

で上昇している。

図-12-3 は 12 時 50 分の予測図である。実測雨量の R1, R3 は 34.5 mm, 47 mmでありこの時豪雨階級 F ランクに入った。予測雨量の R1, R3 は 52.5 mm, 88.3 mmと豪

雨階級 E ランクであり R1 が大きくなり短時間に強く降ることを示している。

予測図では水位は D ラインを越えることを予測している。解析図では 13 時 10 分に D ラインを超えている。水位が D ラインを超えることを 20 分前に予測した。予測降雨波形は、予測時刻以後降り終わりにかけて実測のものによくあっている。よって、今後水位は減少していくことを予測している。

このように予測雨量をいれることにより水位変動、浸水発生を予測することができる。

5. あとがき

今回山口県における 5 市についてタンクモデルによる浸水害の発生予測を行った。我々が過去に行った宇部市における方法が他の 4 市についても同様の方法でできることが確かめられた。タンクモデルの構造、パラメータは大きく変動しなかった。このことについての詳しい議論は今後の課題とするが、山口県の同程度に発達した小都市流域では、タンクの構造、パラメータは同程度のものになると考えられる。

本論の手法を実際の都市水防災への適用に際して、排水整備が進むのに合わせて年度毎にタンクモデルのパラメータを決める必要がある。しかしこのように各都市流域で固有のタンクパラメータを決定することが望ましいが、簡単のためには表-9 のようにパラメータを固定して近年の浸水発生、非発生に注目して D ラインを上下させて危険水位の動向を見ることにより浸水害の発生を判断することも可能である。

浸水害発生理由は様々考えられるが、都市浸水害が起きる原因として第一に短時間の豪雨により内水氾濫が考えらる。他の要因としては地図や現地を歩いて地形や地理的要因を推察するのみで、複雑な都市の社会基盤において何が浸水の原因であるか特定する

のは難しい。よって、本手法では、10 分雨量と浸水発生、非発生データのみにより流域の限界値を設定しこの市ではここまでは大丈夫だという目安を設定した。また、10 分単位雨量の監視により細かい流域水位の変動を表すことができた。ほかに浸水害の発生原因として水門、堰の操作や大河川、潮の干満などの影響が上げられるが、水門、堰の操作は本手法を使用することによりよりよく運転できるようになると考えられ、大河川、潮の干満などの影響は今後の課題として都市の防災システムとして考えていきたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、データ収集の際に

山口県庁 総務部消防防災課

宇部市役所 庶務課 防災室、下関地方気象台山口宇部空港出張所

下関市役所 生活安全課、下関地方気象台

小野田市役所 総務課 農林水産課

山口市役所 総務課 土木課、山口測候所

防府市役所 河川課、西ノ浦消防署

の方々の協力を頂きました。深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阿部清明, 芝崎一也, 塩月善晴: タンクモデルによる都市浸水発生予測, 土木学会論文集, No. 600 / II-44, pp.1~10, 1998.
- 2) 菅原正巳: 流出解析法, 共立出版, p. 257, 1972.
- 3) 越智強: 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.
- 4) 塩月善晴: ハイエ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.

(1999. 1. 4 受付)

STUDY ON THE PREDICTION OF URBAN INUNDATION OCCURRENCE FOR THE LOCAL CITIES IN YAMAGUCHI PREFECTURE

Kiyooki ABE and Yoshiharu SHIOTSUKI

It is important for the precaution activity of inhabitants to know how much rain will cause the urban inundation in their city. We discussed in our previous paper¹⁾ the possibility of prediction in case of Ube city using Tank model²⁾ and Point rain expecting method⁴⁾. The Tank structure, Tank parameters and critical occurrence level of residual water in Tank were determined to separate clearly the inundation occurrence cases and the non-occurrence cases in the past rains. Ube's results show that the inundation prediction is possible 10 minutes to 1 hour earlier than the actual occurrence. Same investigations are made for 4 other local cities in Yamaguchi prefecture in this paper. It is found that other city's Tank structures are same as Ube's and their Tank parameters and occurrence level are quite similar to each others.