

# 都市域における小規模貯留施設の氾濫抑制効果

## FLOOD CONTROL EFFECTS OF SMALL SCALE RAIN STORAGE FACILITIES IN URBAN AREA

中川吉人<sup>1</sup>・戸田圭一<sup>2</sup>・錦織俊之<sup>3</sup>・井上和也<sup>4</sup>

Yoshito NAKAGAWA, Keiichi TODA, Toshiyuki NISHIKORI and Kazuya INOUE

<sup>1</sup> 正会員 工修 神奈川県 (〒 231-8588 神奈川県横浜市中区日本大通 1)

<sup>2</sup> 正会員 Ph.D. 京都大学教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

<sup>3</sup> 学生員 京都大学大学院 工学研究科 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

<sup>4</sup> フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

To estimate the effects of small scale rain storage facilities for flood control, the model which can express inundation process in detail in urban area is built in this paper. The probable rainfalls are used systematically to make their effects clear. It is shown that they can control the flood significantly for rainfalls whose return period is less than 50 years. On the other hand, it is required to reinforce the drainage capacity to cope with the very heavy rainfall whose return period is more than 50 years.

**Key Words :** *urban flood disaster, runoff analysis, inundation analysis, rain storage facility, systematic probable rainfall*

### 1. 緒論

都市域では、地表面の大部分はアスファルトやコンクリートで覆われ、自然の持つ保水力は低下し、雨水がいったん地盤に浸透・貯留されてから河川に流出するという雨水流出の仕組みが変化している。そのため、流域で降雨が発生すると雨水は時間的遅れを伴わず地表面から下水道網へ流下しポンプ場へと到達することとなる。ポンプ排水能力が十分にあり、排水先にも余裕があればよいが、どちらかの条件もしくは両方が満たされない場合、雨水は行き場を失い内水氾濫を起こすことになる。

また、降雨の発生形態にも変化が見られる。1999年(平成11年)7月21日に東京都練馬区で発生した降雨(3時間で130mm, 最大時間雨量91mm/hr)のように、短時間でかつ局地的な豪雨による洪水水害が発生している。このような都市型水害への対策として、家の屋根に降った雨を広場などの地下に設置した雨水貯留槽に一時的に溜め、手押しポンプで汲み出して利用するシステムや、各家庭での雨水貯留を推進するための経済的なサポートを展開している自治体もある<sup>1)</sup>。

上述のような貯留施設による氾濫抑制効果について、定量的な算出はなされていない。小規模な雨水貯留施設が流域全域にわたって導入されることで雨水流出の抑制

を図り、氾濫低減にどの程度の効果を及ぼすものなのか明らかにすることは、流域全体での治水安全度を高めるための政策を展開していく上で重要な課題である。

都市雨水流出および内水氾濫解析法は従来よりさまざまな手法が提案されている。川池ら<sup>2)</sup>は低平地の寝屋川流域(約270km<sup>2</sup>)を対象として、流域を山地部、河川網、堤内地、下水道網に分割し、山地部ではkinematic waveモデルを用いた流出解析、河川網では特性曲線法を用いた一次元不定流解析、堤内地では非構造格子を用いた平面二次元氾濫解析、下水道網ではスロットモデルを用い、都市域の内水氾濫プロセスを総合的に取り扱うことのできるモデルを提案している。

相良ら<sup>3)</sup>は地上と下水道内の雨水挙動を一体的かつ詳細に追跡するため、管径300mmの枝線下水道までをモデルに組み込み、大阪市大正区鶴町集水区(約1km<sup>2</sup>)での適用を行っている。当モデルでは、下水道網は下水管をリンク、マンホールをノードとするネットワークで表現され、その内部にスロットモデルを用いて力学的な解析を行っている。また、地表から下水道への排水は下水管を介して、下水道から地表への噴き出しはマンホールを介して行われるものとしている。

各戸貯留や屋根貯留といった小規模な雨水貯留施設の洪水抑制効果について検討を行う上で、対象領域は

まずは少数のポンプ場集水区程度が扱いやすい。また、このような狭い領域を対象とする上では、詳細な下水道網が考慮に入れられていることがきわめて重要である。以上のことから、本研究では相良らの開発したモデルを高度化し、同じく大阪市大正区鶴町集水区を対象とすることとする。

## 2. モデルの概要

図-1 に示すように、本解析においては堤内地を地上部と下水道網に分割してモデル化を行っている。地上への降雨は雨水ますを経由して下水管へ排水され、また、豪雨時にはマンホールから雨水が噴き出すことがあるため、本研究では地上から下水道への排水は下水道のリンクを通して行い、下水道から地上への排水は下水道のノードを通して行われるものとしている。そしてこれらを統合して、堤内地への降雨が領域外へ排水されるまでの雨水の挙動を明らかにする。

### (1) 地上部の解析

地上部は川池ら<sup>2)</sup>の非構造格子モデルを用いて解析する。基礎式は、以下の連続式および計算時間短縮のために移流項を省略した運動量式を用いる。

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r_e - \frac{Q_{sew}}{A} + \frac{Q_{up}}{A} \quad (1)$$

<運動量式>

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (3)$$

ここに、 $x, y$ : 平面二次元座標、 $t$ : 時間、 $h$ : 格子水深、 $M, N$ :  $x, y$  方向の流量フラックス、 $r_e$ : 有効降雨量、 $A$ : 格子面積、 $Q_{sew}$ : 格子から下水道リンクへの雨水排水流量、 $Q_{up}$ : 下水道ノードから格子への雨水の噴き出し流量、 $g$ : 重力加速度、 $H$ : 格子水位、 $n$ : Manning の粗度係数、 $u, v$ :  $x, y$  方向の流速である。

### (2) 下水道網の解析

下水道網では、下水管をリンク、マンホールをノードとして構成するネットワークとして、一次元解析を行う。

下水管では管路・開水路両状態の共存が考えられるため、本研究では従来の研究にならって下水道網の解析にスロットモデルを導入する。また、簡単のため、下水管の円形断面を断面積の等しい正方形に置き換えて解析している。このときの正方形の一边の長さ、すなわち下水管の管高を  $D$  とする。リンクにおける基礎式は、仮想スロットの幅  $B_s$  を用いて以下のように表す。

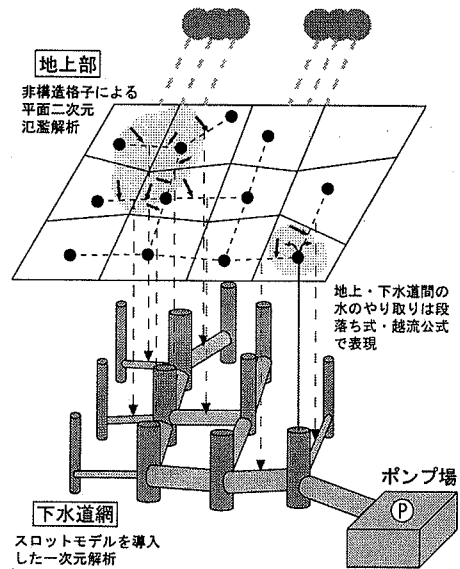


図-1 モデル概念図

<連続式>

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q}{\Delta x_l} \quad A = \begin{cases} B_0 h : & (h < D) \\ B_0 D + B_s (h - D) : & (h \geq D) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $B_s$  は

$$B_s = \frac{g A_0}{a^2} \quad (5)$$

<運動量式>

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial M}{\partial x} = g A (s_0 - s_f) + v \frac{q}{\Delta x_l} \quad (6)$$

ここで、 $M$  は比力であり、

$$M = \frac{Q^2}{g A} + h_G A \cos \theta \quad (7)$$

ここに、 $t$ : 時間、 $x$ : 一次元座標、 $A$ : 流水断面積、 $Q$ : 流量、 $q$ : (地上からの) 横流入量、 $\Delta x_l$ : リンク格子長、 $B_0$ : 水路幅、 $h$ : 水深 (あるいは、圧力水頭)、 $A_0$ : 下水管断面積、 $a$ : 管路状態の場合の圧力波伝播速度、 $g$ : 重力加速度、 $s_0 = \sin \theta$ : 水路底勾配で、基準面から管底までの高さを  $z$  とすれば、 $\sin \theta = -dz/dx$ 、 $s_f$ : 摩擦勾配で、抵抗則として Manning 式を用いるとき、 $s_f = n^2 Q |Q| / R^{4/3} A^2$  ( $n$ : Manning の粗度係数、 $R$ : 径深)、 $v$ : 横流入の流速の管路流れ方向の成分、 $h_G$ : 水面から図心までの距離である。またここでは、簡単のために  $v \approx 0$ 、 $\cos \theta \approx 1$  とする。なお、本解析における圧力波伝播速度  $a$  の値は、計算の安定性を考慮して 10m/s とした。

ノードにおいてはそれ自身を断面積を持ったひとつの格子とみなして、次の連続式から水深  $h$  を求める。

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{A_0} \sum_{i=1}^m Q_i - \frac{q_{up}}{A_0} \quad A_0 = \begin{cases} A_f : & (h < L_f) \\ A_s : & (h \geq L_f) \end{cases} \quad (8)$$

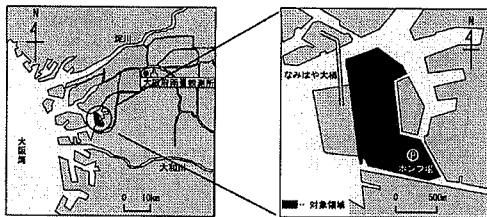


図-2 対象領域図

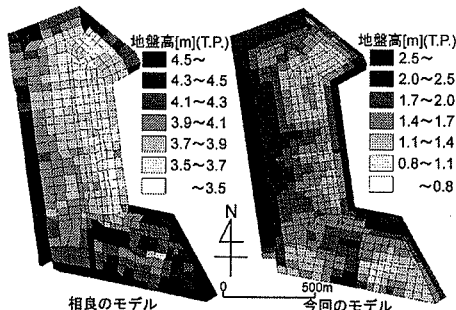


図-3 地盤高図

ここに、 $t$ : 時間、 $A_0$ : ノードの代表面積、 $A_f$ : ノード下部の面積、 $A_s$ : ノード上部の面積、 $L_f$ : ノード下部の高さ、 $Q_i$ : ノードが有する  $i$  番目のリンクからの流入流量、 $m$ : 流量の出入りが行われるリンク数、 $q_{up}$ : 格子へ噴き出す流量である。

### (3) 地上・下水道間の水のやり取り

地上からリンクへの排水流量はリンク格子ごとに求める。ある地上格子からリンクへ排水する流量は、段落ち式<sup>4)</sup>に準じて求める。ただし、リンク格子水位が地上格子水位を越えたとき、地上格子からリンク格子への排水はなく、また、逆流(リンク格子から地上格子への流出)もないものとする。また、ノード水位が地上格子水位を越えているとき、ノードから地上への雨水の噴き出しを考えるが、噴き出す流量は、越流公式<sup>5)</sup>によって求める。

## 3. 大阪市大正区鶴町集水区への適用

### (1) 対象領域の概要

対象領域は図-2に示すように、周囲を海及び河川の堤防で囲まれ閉ざされており、領域内には枝状および環状に下水道が張り巡らされ、領域外との水のやり取りは一箇所のポンプ場でのみ行われている。下水道としては管径 300mm 以上のものを扱った。下水道の総延長は約 19.5km、総容量は約 8,200m<sup>3</sup> である。対象領域の面積は約 0.9km<sup>2</sup> である。

### (2) 適用条件の修正

#### ・地上部の修正

相良らのモデルでは地上部を 464 個の非構造格子に分割し、格子地盤高はマンホールデータを参考にして

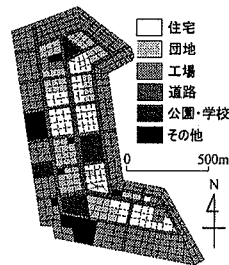


図-4 地目図

表-1 地目の面積、占有率、流出率

| 地目    | 面積 (km <sup>2</sup> ) | 割合 (%) | 占有率  | 流出率  |
|-------|-----------------------|--------|------|------|
| 住宅    | 0.13                  | 14     | 0.67 | 0.95 |
| 団地    | 0.12                  | 13     | 0.25 | 0.95 |
| 工場    | 0.39                  | 42     | 0.56 | 0.90 |
| 道路    | 0.17                  | 19     | 0.00 | 0.95 |
| 公園・学校 | 0.05                  | 6      | 0.09 | 0.25 |
| その他   | 0.06                  | 6      | 0.05 | 0.95 |
| 合計    | 0.92                  | 100    | —    | —    |
| 空間平均  | —                     | —      | 0.37 | 0.89 |

定めており、流出率は全域で 0.8 とし、粗度係数は 0.067 としている。

本モデルでは土地利用形態の影響を考慮するため、1/2500 地形図から地目を土地利用形態に準じて領域を以下の六つの地区、住宅(戸建の密集した地区)、団地(マンションや団地など)、工場、道路、公園や学校、その他(主に駐車場や更地)に大別し、726 個の非構造格子を作成した。地盤高は 1/2500 地形図から読み取った。地盤高図、地目図を図-3、図-4 に示す。

また、格子内に存在する構造物によって氾濫水の流動可能面積が減少する影響は少なくないため、格子面積に占める構造物床面積の割合を占有率として導入する。各地目の占有率は、それぞれの地目格子から数個を選びだし各々の占有率を地形図から計測し、平均化した値を用いることとした。

対象としている流域地表面は、公園や校庭を除いて流域のほぼ全域がアスファルトやコンクリートで整備されているため、流出率の設定において公園地区で 0.25、工場地区で 0.90、それ以外の地目では 0.95 とした。流出率の流域全体での空間平均値は 0.89 となる。表-1 に各地目の面積、流域全体に占める割合、占有率および流出率をまとめて示す。

#### ・下水道網の修正

管径 300mm 以上のすべての下水管と、それらの下水管に接続するマンホールを考慮に入れている。下水道の粗度係数  $n$  はリンク、ノードともに 0.013、地上からノード下部までの距離  $L_s$  は 0.4m、リンクの開口率  $\beta$  は 0.05 とした。

対象領域内のポンプ場は鶴町ポンプ場 1 箇所であり、下水道を流下してきた雨水は鶴町ポンプ場から領域外へ

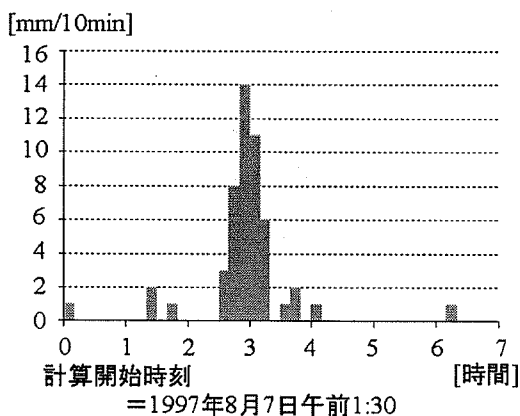


図-5 1997 年降雨

排水される。鶴町ポンプ場のポンプの最大吐出量は大阪市の資料より  $5.96\text{m}^3/\text{s}$  とした。相良らのモデルでは沈砂池の底面積を  $28.0\text{m}^2$ 、深さを  $20.0\text{m}$  と仮定している。また、底面の標高は接続する幹線下水道よりも  $0.5\text{m}$  低いと仮定している。

本モデルでは、下水道管底高が一部現実的でない箇所については適宜訂正を施した。また、大阪市都市環境局からのデータを基にポンプ場の沈砂池の底面積を  $140.8\text{m}^2$ 、深さを  $7.4\text{m}$  に修正した。

#### ・地上と下水道網との結合

相良らのモデルでは、下水道を含まない格子に降った雨は直近の下水道へ排水されるものとしている。しかし一般に、雨水は、地表面から、あるいは屋根面から樋を伝って側溝、下水道へと排水される。そこで、下水道を含まない格子  $a'$  に降った雨は、その格子  $a'$  内にある道路が接続する先の格子  $b'$  で、その格子  $b'$  の下を通る下水道に排水されることとした。

また、地上格子地盤高を見直したことに伴い、マンホール底高から地盤高までの長さが不適切となるものが出たため、全てのマンホールが高さ  $0.4\text{m}$  以上を持つように下水道網全ての底高を一律  $1.3\text{m}$  下げることとした。

### (3) モデルの検証

浸水記録およびポンプ場運転記録のある、1997年（平成9年）8月7日に大阪府庁雨量観測所（大阪市中央区）で観測された降雨（総降雨量： $51\text{mm}$ 、ピーク雨量： $14\text{mm}/10\text{min}$ ）を外力として用いた。ハイトグラフは図-5に示すとおりである。降雨開始時刻の午前1時30分を計算開始時刻とし、計算時間は10時間とした。モデルの比較のため、相良らの条件での解析をケース1、修正を施した条件での解析をケース2とする。

最大浸水深図を図-6に示す。ケース1では流域内に点在するように  $5\text{cm}$  から  $20\text{cm}$  の浸水域が発生しているのに対し、ケース2では、浸水する区域が集中化しており、浸水深は大きいところで  $30\text{cm}$  を越える地点が出ている。浸水記録は主に住民の通報によって作成される

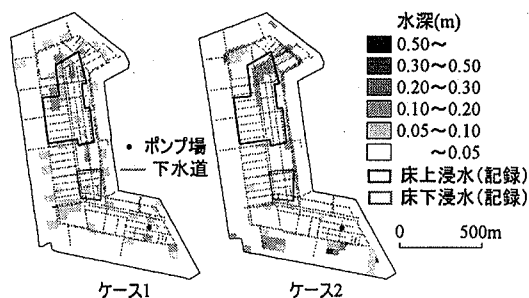


図-6 浸水域

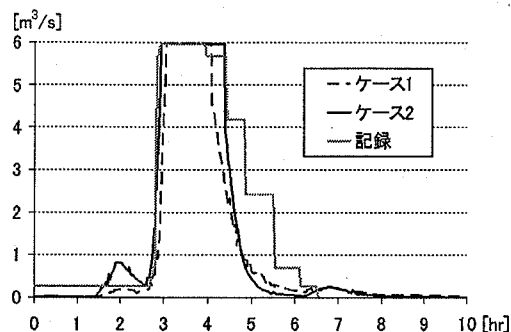


図-7 ポンプ排水量

ことを考えると、流域北部で浸水域の広がっている区域が図-4より住宅・団地区であることから、浸水域の一致性はおおむね高まっているといえる。

鶴町抽水所でのポンプ運転記録を用いたモデルの検証を行う。解析結果を図-7に示す。当抽水所ではポンプの吐出量は計測していないため、ポンプ運転記録と吐出能力から算出される可能最大吐出量を表示している。地上と下水道網との接続を見直すことで、ポンプ場に雨水が集中して流下していることが見てとれる。ポンプ排水の立ち上がりや、排水流量が減少に転じるタイミングなど、完全とまではいえないまでも精度よく再現できている。なお、計算開始2時間後にケース2で排水量がおおよそ  $1\text{m}^3/\text{s}$  に達しているが、モデル化において、ポンプ場に流下した雨水は直ちに排水されるとしているためである。

以上のことから、モデルを修正することで雨水流出および氾濫解析モデルの精度を高めることができたといえよう。

## 4. 雨水貯留施設の効果

### (1) 確率降雨の選定

雨水貯留施設の効果を系統的に検討するため、再現期間が1, 2, 5, 10, 20, 50, 100年の確率降雨を選定する。本研究では気候変動や都市部でのヒートアイランド現象によって発生する短時間集中豪雨を主な対象とするため、継続時間は3時間と、そのほぼ倍の7時間と設定した。総降雨量は土木研究所の公開している「アメダス確率降雨量計算プログラム（試験運用版）」から算出し

表-2 各確率年の総降雨量

| 総降雨量<br>(mm) | 確率年 |    |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              | 1   | 2  | 5   | 10  | 20  | 50  | 100 |
| 3 時間         | 46  | 58 | 79  | 98  | 124 | 168 | 210 |
| 7 時間         | 62  | 79 | 107 | 134 | 169 | 228 | 286 |

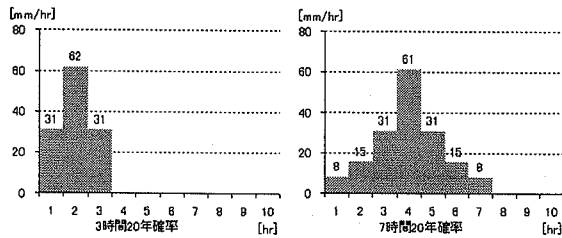


図-8 確率降雨ハイトグラフ

た。当プログラムでは 1976 年から 2000 年までの全国 748 地点のアメダス観測データを基に、フェア式を確率降雨強度式として使用している<sup>6)</sup>。用いた観測所は対象としている鶴町集水区に最も近い大阪府豊中観測所とした。各確率年降雨の総降雨量を表-2 に示す。

降雨波形は中央集中型とした上で、図-8 に示すように降雨開始から 1 時間毎に降雨強度が 2 倍になっていき、降雨継続時間の中央 1 時間でピークを迎えた後、今度は 1 時間毎に降雨強度が半減していくものとした。

(2) 解析条件

解析にあたっては、表-3 に示すような 4 ケースを設定した。ケース 1 は雨水貯留施設の無い場合、ケース 2 とケース 3 は雨水貯留施設の容積を変えて導入した場合、ケース 4 は貯留施設は導入せずにポンプ排水能力を 2 倍にした場合である。ケース 2 およびケース 3 の貯留可能量は以下のように設定する。

住宅格子ではケース 2、ケース 3 とともに共通である。まず格子面積に占有率を乗じて全屋根面積を計算する。次に、一軒の戸建の持つ屋根面を 70m<sup>2</sup> として格子内の軒数を算出し、各戸に 1m<sup>3</sup> (1,000 リットル) の貯留槽を設置したものとして総貯留量を想定する。なお、集水域は屋根面積とする。

団地格子では、格子面積に占有率をかけたものを建築物の屋根面とする。屋根面積のうち 50% を屋根貯留槽の底面積とし、貯留可能な水深 (貯留限界水深) をケース 2 では 10cm、ケース 3 では 15cm とする。また、棟間貯留として格子面積から屋根面を除いた地表面の半分を棟間貯留の底面積とし、貯留限界水深をケース 2 では 15cm、ケース 3 では 30cm とする。集水面積は屋根貯留では屋根面積とし、棟間貯留では地表面積とする。

工場格子でも、住宅団地地区と同様に屋根面を算出し、その 5 割の面積を貯留槽の底面積とみなす。貯留限界水深も団地地区と同様にケース 2 では 10cm、ケース 3 では 15cm とする。集水域は屋根面積とする。工場内での棟間貯留は動線確保の必要性などの観点から、今回

表-3 解析条件

|                           |                       | ケース 1 | ケース 2  | ケース 3  | ケース 4 |
|---------------------------|-----------------------|-------|--------|--------|-------|
| 雨水貯留施設                    | 住宅 (m <sup>3</sup> )  | なし    | 1,223  | 1,223  | なし    |
|                           | 団地 (m <sup>3</sup> )  | なし    | 8,217  | 15,689 | なし    |
|                           | 工場 (m <sup>3</sup> )  | なし    | 10,809 | 16,214 | なし    |
|                           | 道路 (m <sup>3</sup> )  | なし    | なし     | なし     | なし    |
|                           | 公園 (m <sup>3</sup> )  | なし    | 3,701  | 7,403  | なし    |
|                           | その他 (m <sup>3</sup> ) | なし    | なし     | なし     | なし    |
|                           | 合計 (m <sup>3</sup> )  | なし    | 23,952 | 40,529 | なし    |
| ポンプ能力 (m <sup>3</sup> /s) |                       | 5.96  | 5.96   | 5.96   | 11.92 |

は考慮に入れていない。

公園格子では、地表面の 5 割を貯留可能域とみなし、貯留限界水深はケース 2 で 15cm、ケース 3 で 30cm とする。集水面積は地表面積とする。貯留を考えた際は、当格子の流出率を 0.25 から 0.90 に変更した。

なお、上述全ての雨水貯留施設では、地表面への横流入である降雨を雨水貯留施設の容量までカットすることでモデル化を行い、地上での氾濫水が貯留施設に横流することは考慮に入れていない。

(3) 最大浸水面積

各確率年降雨を与えた解析において、20cm 以上の浸水域が最も広がった時の浸水面積をプロットしたものが図-9 である。継続時間が 3 時間、7 時間どちらの降雨においても、ケース 2、ケース 3 では 10 年確率降雨に対して浸水域の発生をほぼ抑制している。また、それ以上の降雨に対しても一定の氾濫抑制効果が現れているが、継続時間が 7 時間の降雨では、3 時間の降雨に比べて確率年が大きくなるにしたがって、その効果が小さくなっていることが読みとれる。特に、7 時間 100 年確率降雨ではケース 2 とケース 3 ではほとんど差異が見られない。このような大規模降雨では、雨水貯留槽が早い段階で一杯になってしまい、ピーク時の流出抑制効果が失われ、下水道で処理しきれない氾濫水が広域に広がるためだと考えられる。

(4) 浸水深図

3 時間 20 年確率 (総降雨量 124mm) における 20cm 以上浸水域図を図-10 に示す。ケース 2 では流域中部・南部の浸水域、ケース 3 では全域にわたっての浸水域が消滅していることがわかる。さらに、ケース 3 の浸水域はポンプ排水能力を 2 倍にしたケース 4 に比べても少なくなっており、この程度の降雨に対しては雨水を貯留し流出を抑制する雨水貯留施設の機能が効果を発揮することが明らかになった。

以上のことより、貯留施設による氾濫抑制効果は継続

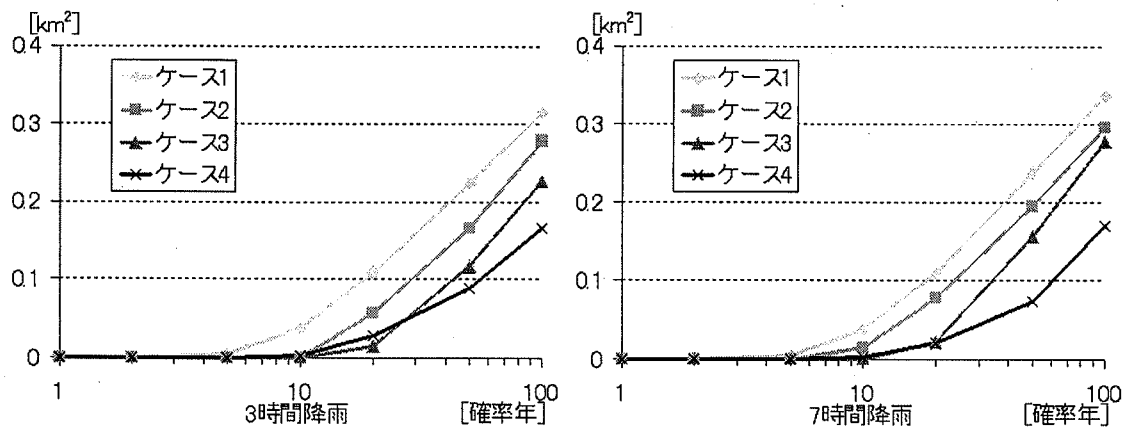


図-9 各確率年降雨での水深 20cm 以上浸水域

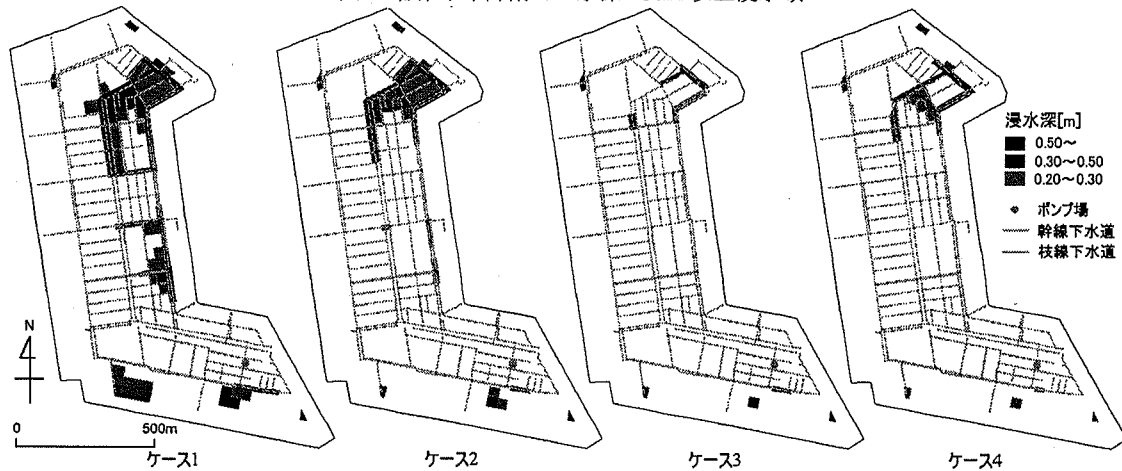


図-10 水深 20cm 以上浸水域 (3 時間 20 年確率降雨)

時間が短く、確率年が 20 年ほどの降雨までに対しては効果をよく発揮するが降雨規模が大きくなるにつれてその効果は小さくなることを明らかにした。

## 5. 結論

本研究では、詳細なデータを用いた都市雨水流出・内水氾濫解析モデルを構築し、大阪市大正区鶴町集水区を対象として解析を行った。そして、雨水貯留施設を導入した場合の氾濫抑制効果を、系統的な確率降雨を与えることで検討した。本研究により得られた結論を以下にまとめる。

- 地上の詳細な土地利用形態や標高データを用い、地上から下水道への接続関係を考慮することで、都市部での雨水流出・内水氾濫解析モデルを高度化することができた。
- 対象とした集水区では、雨水貯留施設を導入することで 3 時間 20 年確率の降雨（総降雨量 124mm）に対しては 20cm 以上浸水域がほぼ解消するなど、貯留施設が大きな効果を発揮することが明らかになった。

- 一方、継続時間が 7 時間と長く確率年も大きな降雨の場合には、ピーク時に雨水貯留槽が一杯になり流出抑制効果がなくなること、氾濫抑制効果も小さいものになってしまうことも明らかにした。

最後に、解析のための資料を提供していただいた大阪市都市環境局の関係各位に謝意を表します。また、本研究を実施するにあたり、(財)先端建設技術センターの研究助成を受けた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) たとえば、東京都墨田区：すみだ区報，No.1300，2001。
- 2) 川池健司，井上和也，戸田圭一，野口正人：寝屋川流域を対象とした氾濫解析モデルの高度化，水工学論文集，第 47 巻，pp.919-924，2003。
- 3) 相良亮輔，錦織俊之，井上和也，戸田圭一：枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析，水工学論文集，第 48 巻，pp.589-594，2004。
- 4) 土木学会編：水理公式集，昭和 60 年改訂版，pp.288-289，1985。
- 5) 土木学会編：水理公式集，昭和 46 年改訂版，p.265，1971。
- 6) 独立行政法人 土木研究所：確率降雨解析プログラム利用の手引き，2002。

(2004. 4. 7 受付)