

都市小集水区における下水道管渠網 の管理と計画に対するGISの利用

APPLICATION OF GIS FOR MANAGEMENT AND PLANNING OF SEWERAGE IN A SMALL URBAN AREA

玉井昌宏¹・近土篤史²・村岡浩爾³

Masahiro TAMAI, Atsushi KONDO and Kohji MURAOKA

¹工博 大阪大学助教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

²工修 清水建設株式会社 土木東京支店土木第1部 (〒131-0041 東京都墨田区八広5-9)

³工博 大阪大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

The development of geographic information system (GIS) has significantly changed the way we acquire and use spatial data and introduced the potential for increasing the use for planning drainage and determining the physical watershed characteristics in hydrologic modeling.

In this paper, we describe the attempts that further incorporates the spatial analysis capabilities of GIS into the sewerage management and planning. We construct a distributed model in which the spatial distribution of landuse is taken into consideration and propose a new index for the danger of inundation of each sewerage pipe that is acquired by the difference between the distributed and lumped models.

KeyWords : sewerage system, GIS, urban drainage

1. はじめに

阪神淡路大地震の震災被害のデジタルデータ化やGISを用いた解析が盛んに行われている^{1),2)}。この地震によって甚大な被害を受けなかった地域においても、上下水道、ガスなどのライフラインや様々な都市施設のデータベース化が急速に進展している。大阪市などでも下水道台帳のデジタルデータ化が、年次進行で進められているようであるが、都市の発展と拡大に伴って、営々と整備されてきた施設は巨大かつ複雑であり、その作業に要する労力や費用は尋常ではないだろう。

デジタルデータ化が着実に進行する一方で、その利用方法についてはあまり検討されていないように思われる。次の震災まで利用されない、あるいは、小規模な復旧工事程度にしか利用されないのであれば、いかにも勿体無い。利用方法の可能性を十分検討し、必要な形式でデータを整備しておくことが肝要である。

さて、都市域拡大の沈静化と治水整備の進捗により、最近では大阪の寝屋川などの都市河川においては、広域的な浸水被害はめっきり少なくなっている。しかしながら、後述するように、地域的には小規模の浸水被害

は繰り返し発生しており、流域規模での広域的な治水対策に加えて、それぞれの地域に応じた「きめ細かな対策」も重要性を増している。対象地域が小さくなればなるほど、流出機構は道路網や土地利用、下水道管渠網等の面的な構造に強く影響されるようになる。従って、これらを考慮し得る分布型流出モデルのような解析手法の開発、それに加えて解像度の高い空間データの整備と解析が可能なツールの開発が必須となる。最近、GISを利用した分布型モデルによる流出解析の精度向上に関する研究が数多く行われている^{3),4)}。また、都市小集水区からの下水道流出の予測にGISを導入する試みもみられる⁵⁾。

本研究の目的は、既述の「きめ細かな対策」に対する下水道管渠網のデジタルデータとGISの利用について検討することである。下水道計画・管理に必要な管渠網データの構造と付加すべき属性データについて検討するとともに、GIS導入による計画・管理における精度向上と省力化について考察している。ここでは、大阪寝屋川流域の比較的小さな下水道集水区域を対象地域とした。また、本研究で利用したGISソフトウェアはESRI社により開発されたARC/INFO(VER.7.0.3)である。

2. 集水区のデータベース構築

下水道計画に必要な情報は、地形、土質、関連する河川、気象、土地利用状況、都市施設、文化財、埋設物等々非常に多岐に渡る。一方、既設の下水道の施設管理という立場では、下水道管渠網や浸水実績などのデータが必要となる。本研究では水理学的側面の検討におけるGISの利用に焦点を絞っており、それらに関連するデータのみを収集した。

既設の下水道に関するデータとして、A市下水道施設平面図(1/2,500)、過去3年間の浸水区域図を入手した。また、基図は数値地図10000(統合)から、土地利用情報は細密数値情報(土地利用近畿集約ファイルI)から、地形データは数値地図50mメッシュ(標高)から得た。下水道管渠網は施設平面図よりGIS上で入力されるが、始終点の空間位置による直線群データとして表現される。また、その属性データとして各管渠の管径、延長、地先面積、勾配、管渠番号が付加される。管径、勾配などの諸量が変化せず、一つのマンホールを持つような1本の管渠をGIS上で1本のアーク(直線)として捉える。施設平面図の管渠番号は、アーク毎に与えられておらず、2～3本のアークに跨っていることがあり、GIS上で利用しやすい形となっていない。そのような場合には、施設平面図上の管渠をアークに分割して、別途管渠番号を付加する。

標高差の小さな集水区、加えて住宅密集地の下水管渠網は非常に複雑であり、施設平面図上では環状となっている部分も多い。合流は良いとして、分流が生じる場合には、流量を何らかの形で分配する必要がある。そのためには、極めて複雑な不等流計算を行わなくてはならなくなる。しかしながら、現実の管渠の接続具合については明確ではないが、施設平面図上では各管渠は流向、つまり上下流端が予め設定されており、分流を生じないような枝状の管渠網となっている。このことは、等流公式を用いた簡便な下水道管の雨水設計には欠かせない条件であり、さらに、後述するように、下水管渠網特性を解析する場合にも有利である。

3. GISによる流域の表示と解析

(1) 対象流域の特性

解析対象とする地域の面積は0.5km²であり、そのうちの51%が住宅地、46%が商業地となっている。大阪市に隣接し、戦後ベッドタウンとして発展したために、住居の占有率が高い。商業施設や公共施設も多く、小集水区といえども土地利用特性は複雑である。地形は平坦であり、河川水面が高いために、雨水は自然放流されない。また、下水と雨水の放流方式は合流式であ

表-1 対象流域と大阪市、松山市の比較

地形統計則	大阪市・松山市 ⁶⁾	対象流域
河道数則 R_b	3.23-4.51(3.93)	2.41
河道長則 R_l	1.77-2.17(1.94)	1.05
集水面積則 R_a	3.66-5.25(4.43)	2.45
河道勾配則 R_g	1.17-1.67(1.50)	1.67
管径則 R_d	1.48-1.75(1.61)	1.65

表中の()は平均値を示している。

る。図-1は対象地域の下水道管渠網である。黒塗りの丸記号は対象流域の最下流点を示しており、この場所に流域調節池がある。

流域全体にわたり東から西に向かって、下水が流動するように設計されており、流域東端に管渠網の上流端が分散して存在する。流域西側の北西-南東方向の集水域境界に沿うように幹線が走っており、東西に走る準幹線管渠を西流した下水はこの幹線に集められることになる。

(2) 管渠の位数

ここでは、下水管渠網の位数により、管渠網の構造特性を把握する。位数の定義については、Strahlerの定義と概ね同じであるが、3本の管渠の合流については、次式に従うとする。ここで、 $u * v$ は、位数 u と v の管が合流することを表している。

$$u * u * u = u + 1 \tag{1}$$

$$u * u * v = u + 1 \quad (u > v) \tag{2}$$

$$u * v * v = u \quad (u > v) \tag{3}$$

$$u * v * w = u \quad (u \geq v, u \geq w) \tag{4}$$

図-1に各管渠の位数について示している。位数4およびその先の位数3の管渠の一部は対象流域内の幹線に相当する。また、4本の位数3の管渠が東西に伸びており、準幹線の役割を果たしている。これらに細い下水管渠が南北方向から接続するような構造となっていることが明確になる。ここで、管渠網解析の一例として、河道位数理論の適用を試みた。その結果と渡辺ら⁶⁾の大阪市や松山市を対象とした研究成果との比較を表-1に示す。 R_g と R_d については、今回の結果と渡辺らの値は概ね一致している。しかしながら、それ以外の値については、渡辺らの概ね半分程度の値となっている。下水管渠網をデータ化することにより、流出係数を集水区内で一様とする集中型モデルを用い、管渠網については統計的に扱われてきた従来の流出予測をより現実に近いものにすることが可能になると考えられる。さ

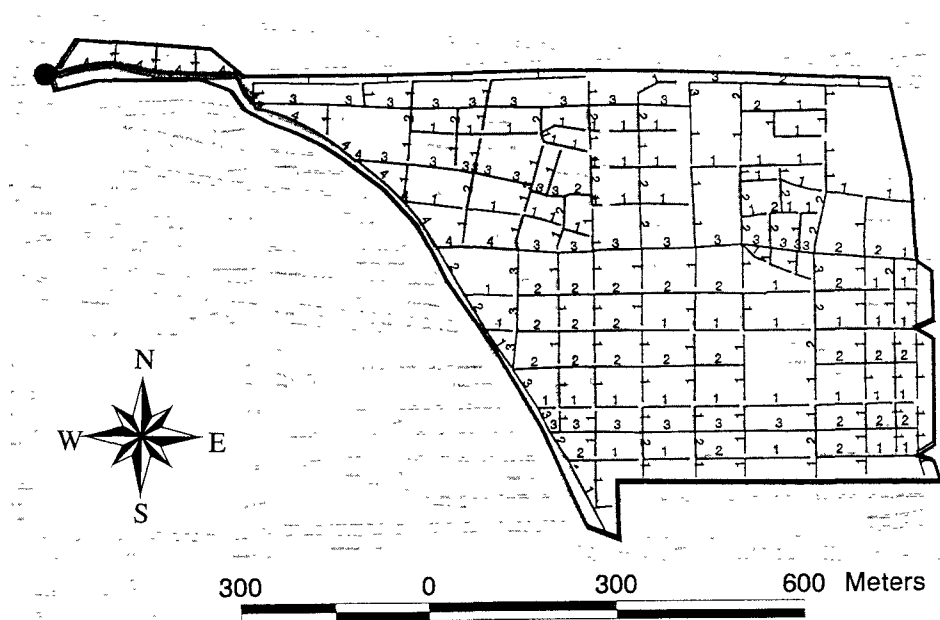


図-1 下水道管渠網と管渠の位数

表-2 各土地利用に対する流出係数⁷⁾

NO.	分類区分			流出係数
01	農地・山林	山地・荒地等		0.2
02		農地	田	0.4
03			畑・その他の用地	0.1
04	造成地	造成中地		0.3
05		空地		0.3
06	宅地	工業用地		0.8
07		住宅	一般低層住宅	0.4
08			密集低層住宅	0.7
09		地	中・高層住宅地	0.4
10	公共用地	商業・業務用地		0.8
11		道路用地		0.9
12		公園・緑地等		0.1
13		その他の公共公益施設用地		0.7
14	河川・湖沼等			1.0
15	その他			0.5

らに、後述するように、GISを用いて仮想的に下水道管渠網を設置することができれば、下水道未整備地区における雨水流出予測についても、かなりの精度向上が期待できるであろう。

4. 流域分布モデル

対象地域の雨水計画では、流出係数は0.6で一様と設定されている。ここでは、各々の下水道管渠に対して、土地利用に応じた流出係数を設定し、現状の流域平均値を用いた場合との比較を試みる。流出係数の分布化にあたり、初めに管渠設計において各管渠の排水面積を設定する単位ブロック割を行う。本来、排水面積は地盤状況などに応じて定めるのが原則であるが、一般には道路などに囲まれた区画内の排水は、四方の道路に流出するものと考え、道路交角の2等分線を引いて分水線と定め面積割を行う。いわゆる亀甲割である。GISではその解析機能のひとつである最近距離計算を実施することにより、単位ブロック割が作成される。ここでは、10mメッシュの土地利用分布図に対して最近距離計算を実施して、亀甲割を行った。表-2に示すような土地利用毎の流出係数を単位ブロック内で面積平均することにより、各管渠の流出係数を算出する。このようにして得られた単位ブロックと流出係数の空間分布を図-2に示す。土地利用には地域的な偏りがあり、流出係数についても地域的な大小が明確に現れている。

実際の設計計算では、各ブロックの流出係数そのものではなく、当該管渠の集水面積に関する流出係数が重要である。このことを考慮して、各管渠の流入面積を用いて、分布モデルと流出係数一様モデルとの比較を行う。流入面積は次式により算出される。

$$A_{Di} = \sum_{j=1}^{n_i} (f_{pj} A_{pj}) \quad (5)$$

ここに、 A_{Di} (ha)：第*i*番管渠の流入面積、 $\sum_{j=1}^{n_i}$ ：第*i*

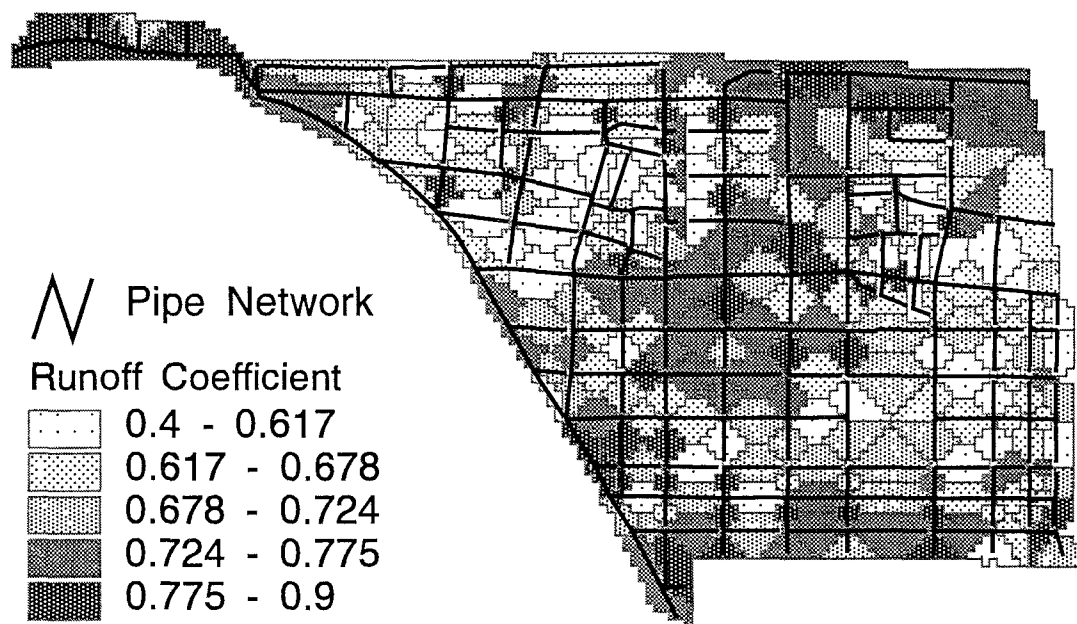


図-2 A集水区の単位ブロック割と流出係数の分布

番管渠に流入する単位ブロックについて合計すること、 f_{pj} :第j番単位ブロックの流出係数、 A_{pj} (ha):第j番単位ブロックの面積である。分布モデルでは単位ブロック毎の f_{pi} を用いるのに対して、一様モデルでは $f_{pi} = 0.6$ として一定値となっている。

さらに、両モデルの流入面積により浸水危険度を評価するために、次式のような指標 E_i を用いる。

$$E_i = \frac{(A_{Di} - A_{Li})}{(A_{Di} + A_{Li})/2} \quad (6)$$

ここに、 E_i :第i番管渠に関する指標、 A_{Li} (ha):一様モデルを用いた場合の第i番管渠の流入面積である。流入面積に適当な降雨強度を乗じると各管渠が負担すべき流量が算出される。 E_i の分子は降雨強度で規格化された予測流量の両モデル間の差を表している。また、下流の管渠ほど流入面積の規模が大きくなり、一般に予測流量差も大きくなるために、分母によって無次元化を行っている。

図-3に分布モデルと一様モデルの流入面積の比較を行っている。 A_D は A_L に比較して10%程度大きくなっている。これは一様モデルの流出係数0.6の算出根拠となる用途地域別の流出係数と分布モデルで用いた表-2の流出係数の差異に起因するものである。既述のとおり、流入面積は各管渠の降雨強度により規格化された流量を与えることになる。全体的に $A_{Di} > A_{Li}$ となっていることから、本分布モデルにより計算される流量値は降雨強度に関わらず、現行計画のそれにくらべて、より危険側の予測を与えることになる。

図-4は、指標 E_i と浸水被害実績との関係を示している。また、表-3は浸水被害が生じたときの降雨特性で

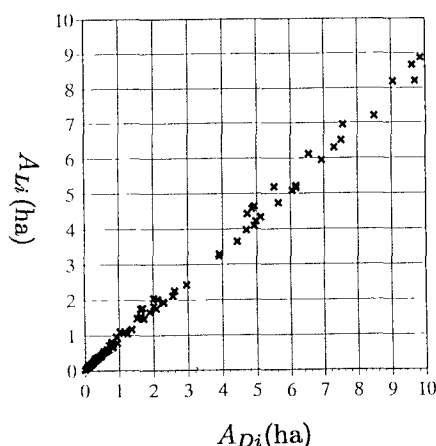


図-3 各モデルの流入面積の比較

表-3 浸水実績

年月日	総降雨量 (mm)	最大時間 雨量(mm)	浸水面積 (ha)
H7.7.3	50	30	4.2
H7.7.4	89	42	6.6
H8.6.18	56	28	1.5
H9.7.9	88	34	0.62
H9.8.5	64	43	0.05
H9.8.6	53	40	0.30
H9.9.7	57	28	0.00

ある。平成8年までの浸水面積に比較して、平成9年のそれが大きく減少しているのは、対象流域最下流端に地下調節池が建設されたことによる効果である。と

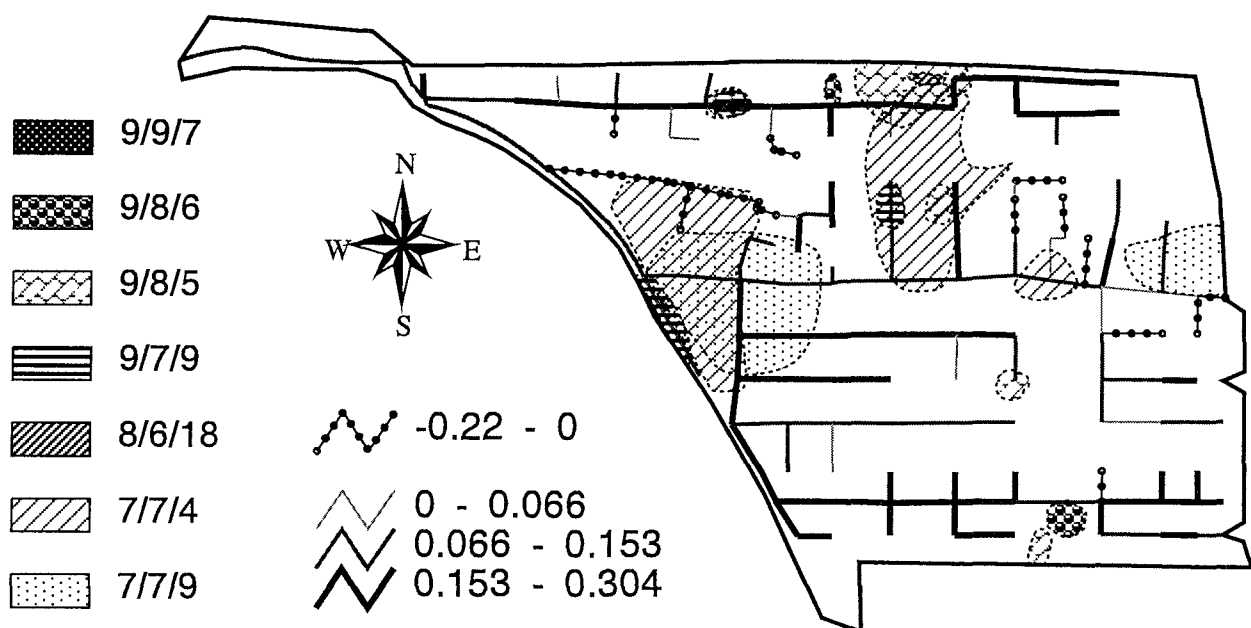


図-4 指標 E_i の分布と浸水被害実績

くに幹線付近の浸水被害が軽減されている。地下調節池完成以降、つまり平成9年について E_i と浸水実績との関係についてみると、 E_i 値が特に大きくなっているポイントの管渠において小規模な浸水被害が生じており、両者間に関連性が存在することがわかる。

小規模な浸水は僅かな地盤高の凹凸によっても生じることから、 E_i と浸水被害との因果関係については、さらに検証が必要である。しかしながら、こうした結果は管渠の部分的な設計変更による被害軽減の可能性を示していると考えられる。

5. 下水道未整備地区への適用における問題点

4. において、既設の下水道管渠網を対象としたが、ここでは下水道未整備地区に対する適用例について示す。下水道未整備地区における将来の整備状況の概要を知ることができれば、雨水が最終的に排出される河川の治水計画に有効に利用されるだろう。集水区域が予め設定されており、土地利用状況、したがって道路網等についても将来に渡って変化しないことを前提とする。

前節で示した一連の解析を行うためには、下水道管渠網の配置が必要となる。しかし、この集水区では幹線管渠の位置について決定されているだけで、準幹線、枝線の配置については未定である。そこで、まず、配管の具体案の作成が必要となる。本研究では、1) 道路下のみ配置する、2) 標高差による自然流下を原則とする、3) 各々の下水管渠のもつ流域の雨水は、最も近

い幹線に流入する、4) 幹線管渠のみが幹線道路を横断可能とする、等々の基本的な条件を満たすようにGIS上で配管を行った。管渠網の配置については、主観を避けるために、GISの解析ツールの組み合わせによって自動作成することが望ましい。しかしながら、完全に自動化するまでには至っておらず、手動での修正を必要とするのが現状である。この点については今後の課題である。

作成された配管図と、土地利用状況をもとに算出した流出係数の分布を図-5に示す。ここで対象とした、B集水区の面積は164haであり、南北に細長い形状を有する。同図から読み取れるように、集水区の上方、下方に2本の幹線道路(1-1,2-2)が東西に横切っており、そこを縦断できるのは幹線管渠だけである。さらに、管内水位を満管状態の90%にするなどの設計条件と、等流状態、一定の降雨強度(60mm/hr)と粗度係数等の計算条件により算出した下水管渠の管径を図-5に併せて示している。

6. まとめ

本研究では、下水道施設に関するデジタルデータ整備が進展していることを勘案して、その下水道計画と管理のなかでの利用の可能性について考察した。

一連の設計計算の中で、管渠網の自動作成、亀甲割の自動化から管渠径の計算に至るまで、GIS上で行うことのできる過程は多い。また、分布型の解析による予測精度向上も期待できる。

下水道未整備地区に対して河道統計則を用いて流出

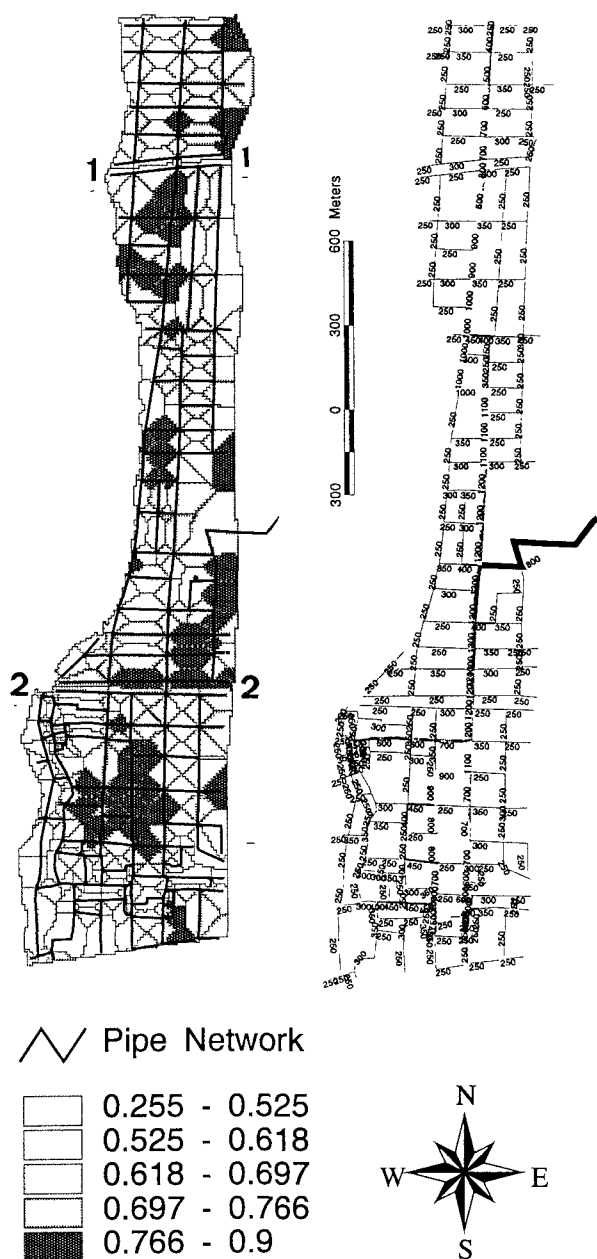


図-5 配管図，流出係数分布，管渠径

計算を行うならば，流出予測にはかなりの誤差が含まれるものと推察される．こうした地域に対して，仮想的にでも下水道管渠網を作成することができれば，流出予測のみならず建設費用などの予測についても精度はかなり向上するだろう．

指標 E_i と浸水被害実績との関連性は，小規模浸水対

策のみならず，大規模な土地利用特性の変化や下水道計画の見直し等によって，部分的あるいは段階的な改修が必要となるような場合について，改修計画立案についてヒントを与えるものであると期待される．

本研究では水理計算については，小さな下水道集水区に対する従前の手法を踏襲している．複雑な不等流計算によらずに空間データの集積と解析によって流出予測精度を向上させようとしている点に本研究の特徴がある．しかしながら，こうした集水区において流出予測にどの程度の精度が要求されるかという点については議論が必要であろう．より高い精度を求めるならば，対象としたような小さな集水区に対して，SWM⁸⁾などを用いて，すべての管渠を考慮して不等流計算を行うことも，理屈上は可能である．また，幹線あるいはその次のレベルの管渠までを対象として，不等流計算を行うこともできる．それらの中でGISや空間データの利用について検討することも，また重要なポイントであると考えられる．

最後に，本研究の遂行に際しては，神戸大学教授神田徹先生から有益な助言を得た．記して謝意を表する．

参考文献

- 1) 月岡和紀・藤本護・亀田弘行・岩井哲・碓井照子・盛川仁，兵庫県南部地震による西宮市の都市施設被害のGISデータベース化と多重分析，都市耐震センター研究報告，別冊第20号，京都大学防災研究所都市施設耐震システム研究センター，1996．
- 2) 福島徹：震災関連情報のGIS化，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，CS-156，1996．
- 3) 安部和雄・丹羽薫・小川和延・杉盛啓明・浦野隆：GISを用いた流域環境管理システム，土木技術資料，39-5，pp.24-29，1997．
- 4) 小尻利治・黒田良人・中井智宏・林美幸：GISとメッシュ型流出モデルを利用した流域水環境シミュレーション，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，II-357，1997．
- 5) R.G.Green and J.F.Cruise：Watershed Modeling Using Geographic Information System, J. Water Resources Planning and Management, July/August, 1995．
- 6) 渡辺政広：都市下水道流域の流出解析と流出制御に関する基礎的研究，1989．
- 7) 市川新・C.Maksimovic：都市域の雨水流出とその制御，鹿島出版会，1988．
- 8) 神田徹・神吉和夫・西山武志：下水道台帳データベースを利用した都市下水道の雨水流出解析システム，水工学論文集，第39巻，pp.67-72，1995．

(1998. 9. 30 受付)