

B-12 地球温暖化による都市環境の影響評価及び対策に関する研究

(5) 防災・都市基盤施設システムへの影響評価及び対策に関する研究

研究代表者 九州大学 神野 健二

九州大学工学部 建設都市工学科 楠田哲也・大石京子

平成2-4年度合計予算額 9,373,000 円

〔要 旨〕地球温暖化は、気象変化を通して都市域における社会基盤施設や災害防除システムの安全性の余裕度を低下させる可能性がある。このため、その余裕度低下の評価手法を開発する必要がある。そこで本研究では、地球温暖化の社会基盤施設に及ぼす影響とその対策について検討した。社会基盤施設に関するリスク評価と地球温暖化による人間活動・生産活動への障害などを考察した。また特に本研究では、例として都市における雨水排除システムの安全度と都市域における浸水被害の制御手法に関する検討も行った。また、浸水の被害とリスク評価の概念について示した。

〔キーワード〕地球温暖化、社会基盤施設、雨水排除システム、浸水

1. 序

地球温暖化は、気候帯の移動や、海水の温度上昇による膨張の結果、海面上昇や気候変化をまねく。今日、人々の生活、経済活動を支える社会資本施設は、人口の集中する都市に集中し、かつ気象現象に基づき計画設計された施設が多いため、地球温暖化による海面上昇や気候変化のインパクトは大きいものと予想される。これらの施設は、そのライフサイクルが50~100年程度で比較的長い。そしてわが国においても、一部には施設更新の時期がきている施設や高規格化を望まれている施設もある。このようなライフサイクルの長さを考えると、社会資本施設の中には、現在の計画設計に温暖化の影響を折り込む時期がすでに到来しているものもあると言える。

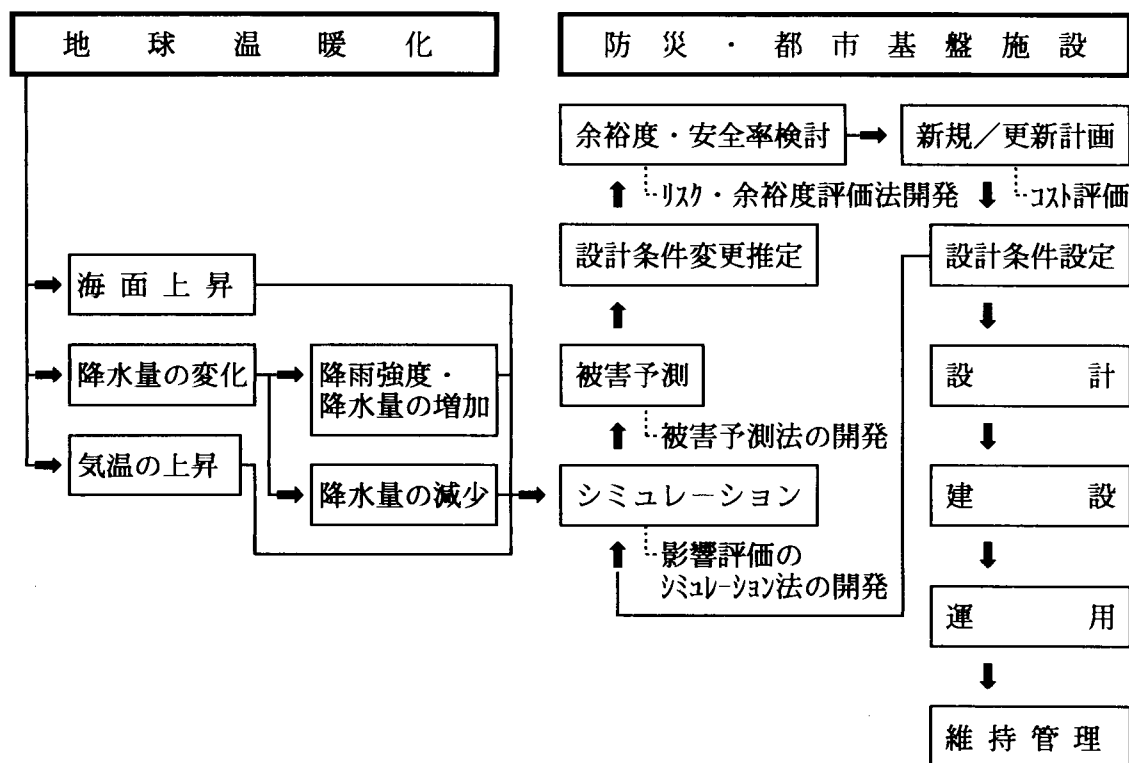
本研究は、以上のような観点から地球温暖化の都市防災・都市基盤施設システムに与える影響評価手法と対策について検討するものである。また地球温暖化の結果としての気象現象の変化に対して、現状の防災・都市基盤施設がどこまで対応可能な容量を持っているかを評価しておくことも、将来の温暖化に備えた防災、都市基盤施設の改修改善プログラムの策定上、重要な意味をもつ。このような評価は、例えば護岸施設のように既存施設の嵩上の対策で対応可能な施設に対してより、改めて建設しなければ地球温暖化の影響に対応できないと考えられる施設では、そのコストを考えると特に重要となる。そのような施設の一つとして、また、気候変化による影響を顕著に受け、対策の遅れが都市災害に直結する恐れのある都市基盤施設と考えられる雨水管路網を対象に、現状の設計法で設計された雨水管路網が実際にどの程度の流下・貯留能を有しているかを評価する手法を本研究のなかで検討、開発する。また、その開発過程をとおして、地球温

暖化による気象変動の影響を受ける種々の防災・都市基盤施設に共通して必要となる影響評価の考え方を明らかにしてゆく。

2. 地球温暖化の防災・都市基盤施設システムへの影響に関する検討

地球温暖化は、気温の上昇により、現状の自然界における気象現象に関わる定常的な値や物質変換・物質循環速度等を変化させ、また、その速度が変化することにより、地球規模での気候帯のシフトあるいは再編をもたらす可能性がある。これは、降雨の地域分布、強度、降雨パターンなどの地域的な気象現象のパターンと生起確率そのものを変化させると予想される。

気象変動と防災・都市基盤施設システムという関係を考えて場合、最も重要な気象現象としては、水文循環の量と速度の変化、および海面上昇が考えられる。海面上昇は、一例を挙げれば、



図－1 球温暖化対策の概念図

海面や河川の高水位との関係を基本に計画されている基盤施設の機能を失わせ、その位置変更、施設の追加、新たな築堤などが余儀なくされる。

水文循環の変化は、先に触れたように降雨の地域分布、強度、降雨パターンなどの地域的な気象現象のパターンと生起確率そのものの変化となって表れる。この水文循環の変化は、都市防災システムにも重大な影響を与えることが予想される。その代表的なものが都市部における浸水といえる。このような防災・都市基盤施設システムに及ぼす地球温暖化の影響のリスクと被害の考え方、及び、地球温暖化の対策技術についてのコスト、余裕度についての考え方として、図一

1に示すフローが考えられる。すなわち、地球温暖化による降水量の増加に対して、現状の防災・都市基盤施設システムにどのような影響が生じるか、対応策として実施可能な方策とは如何なるものかをシミュレーションにより評価する。この影響評価をもとに被害予測、システム変更による余裕度・安全率の向上の評価を行い、地球温暖化に適正に対応した設計変更や、条件設定を可能にするものである。

3. 浸水防除システムとしての雨水管路網に関する考察

地球温暖化による気象の変動に対して、現状の防災・都市基盤施設がどこまで対応可能な容量を持っているかを評価しておくことは、将来の温暖化に備えた都市防災、都市活動の健全な維持のための対策、政策決定上重要な意味をもつ。都市型浸水で問題となる雨水管路網の計画・設計については、従来、降雨流出水量を確率年で表した降雨強度と合理式をもとに算定し、この水量を等流、開水路流としての満管流で流下させうるようになされている。この設計方法は分かりやすく、かつ簡便である。しかしながら、實際上このような仮定はほとんどの場合成り立っていないし、その他に、マンホールでのエネルギーロスを無視している、内部貯留の影響を考慮していない等の問題点もある。

このように、管路網としての取り扱い方法等には改善すべき点多々あり、現状の設計法で設計された雨水管路網が実際にどの程度の流下・貯留能を有しているかを評価する手法はなく、現実の浸水発生により判断しているのが現状である。

そこで、地球温暖化による気象変化に対しても、より安全率の均等に高い雨水管路網を防災・都市基盤施設として保有できることを目的として、雨水管路網の水理特性の解明と管路網の流下量計算法の開発、雨水管路網に関するリスクと被害の考え方を明らかにし、地球温暖化の対策技術について、コスト、リスク、安全率（余裕度）についての適正な評価手法を開発する。

(1) はじめに

本項では、雨水管路網の流下能力を数値計算により算定できるように、その計算上必要となるマンホール部のエネルギー損失を実験的に検討したものである。

(2) 実験装置及び実験条件

図-2及び3に実験装置の概略を示す。本実験では、上・下流管のなす角を 180° 及び 90° に設定し（管勾配は水平）、縮尺はフルードの相似則を考慮し1/10とした。実験に用いたマンホール径、上・下流管径の組み合わせを表-1に示す。それぞれの実験シリーズにおいて、①下流端の堰

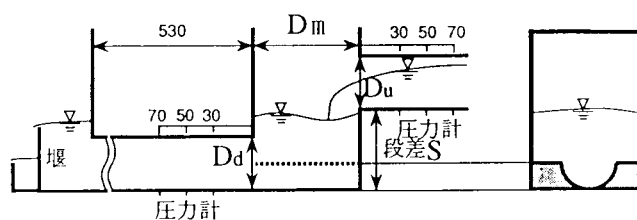


図-2 直管流れの実験装置（単位cm）

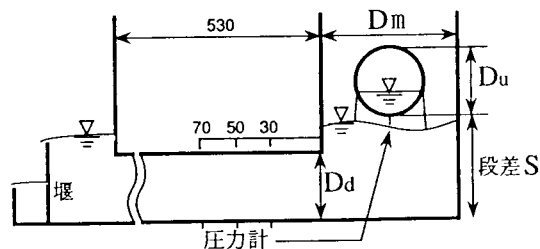


図-3 曲管流れの実験装置（単位cm）

高を一定にして、マンホール部の段差を変化させた場合、②マンホール部の段差を一定にして、下流端の堰高を変化させた場合について検討を行った。

表－1 実験ケース

実験 シリーズ	角度	上流 管径 D_u (cm)	マン ホール 径 D_m (cm)	下流 管径 D_d (cm)	$\frac{D_m}{D_d}$	$\frac{D_d}{D_u}$
1	180°	5	7	5	1.4	1
2		5	9	5	1.8	1
3		5	12	5	2.4	1
4		5	9	6	1.5	1.2
5	90°	5	9	5	1.8	1

(3) 実験結果及び考察

① 直管流れ

マンホール部の全エネルギー損失 ΔE は、

$$\Delta E = E_1 - E_2 \cdots (1)$$

となる。ここに、 E_1 、 E_2 ：マンホール直上部と直下部の全エネルギーであり、位置水頭、圧力水頭、速度水頭の和として求めた。

ア．流量及び速度水頭とエネルギー

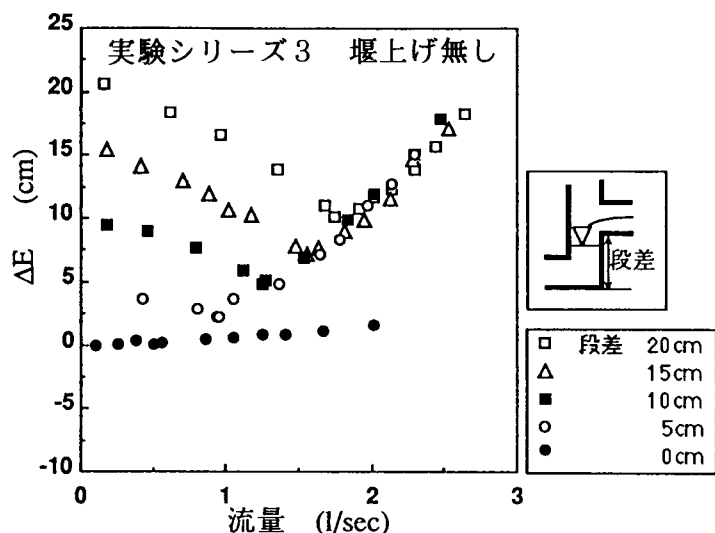
損失 (ΔE) との関係

図－4に実験結果の一例として、段差を変化させた時の流量－ ΔE 関係図を示す。この図から、マンホールに段差がある場合には、流量の増加にしたがって ΔE が低下していく部分（開水路流れ）と、流量の増加に伴ってマンホール内水位が上流管管頂と一致した時、 ΔE が増加していく部分（管路流れ）が認められる。図－5は段差を固定し、堰上げにより下流端の水深を変化させた時の流量－ ΔE 関係図である。この図から下流端の堰高が増すにしたがって開水路流れでは等流量下で ΔE は減少し、管路流れでは ΔE は堰高によらず流量と一義的に対応することがわかる。図－6に管路流れの速度水頭と ΔE の関係図を示した。

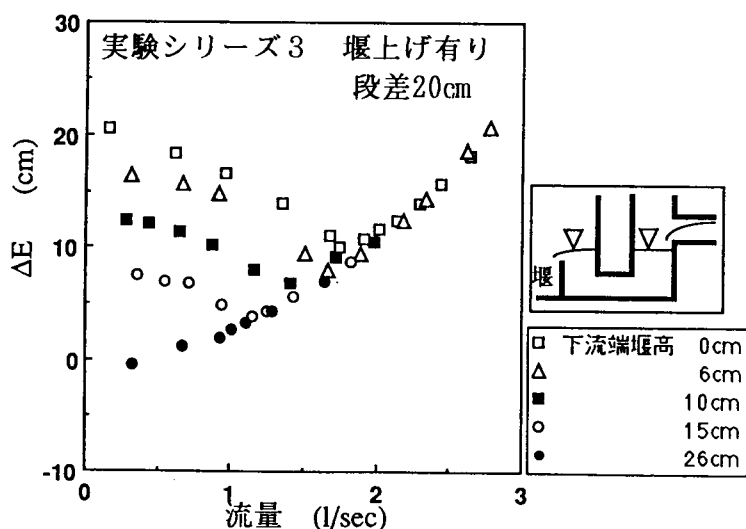
イ．段差と下流管径との比(S/D_d)とエネルギー損失係数 k との関係

図－7に S/D_d を変数とした各実験シリーズの損失係数 k を示す。この図から、段差がある場合と無い場合とでは明らかに k の値に差が生じていることがわかる。

マンホール径と下流管径との比 (D_m/D_d) がエネルギー損失 k に与える影響



図－4 流量－ ΔE 関係図



図－5 流量－ ΔE 関係図

上・下流管径が5cmでともに等しいシリーズ1と3を比較すると、 S/D_d が0.0と1.0ではシリーズ3の損失係数 k の方が若干大きくなっている。 S/D_d が2.0と3.0では逆の傾向を示しており、これは、 S/D_d が大きいために D_m/D_d の増加に伴って直接流出来ない水流が流出可能となるためと考えられる。また、 S/D_d が増加するにつれて k が2.0前後に近づくようである。これは、宇井ら¹⁾が示唆した実験結果と類似している。

上流管径と下流管径との比(D_u/D_d)
がエネルギー損失 k に与える影響

D_m/D_d が等しく D_u/D_d の異なるシリーズ2と4を比較すると S/D_d が1.0では k はほぼ同じであるが、 S/D_d が1.0を超えると明らかにシリーズ4の k が小さい。

② 曲管流れ

図-7中に曲管流れ(シリーズ5)について、 S/D_d を変化させた場合のエネルギー損失係数 k を示す。これから、直管流れの場合(シリーズ3)とは、かなり様子が異なることがわかる。曲管流れでは、 S/D_d が0.4の時 k が最大となっており、曲がりの影響を示していると思われる。

(4) おわりに

マンホール部のエネルギー損失は、単なる急拡、急縮による損失だけでなく、マンホール内の流体の複雑な運動もエネルギー損失の原因となっている。 S/D_d-k の関係図(図-7)より直管流れと曲管流れとではその特性がかなり異なることが明かとなった。また、開水路流れの場合(5)式でエネルギー損失 ΔE を定式化出来ることを示した。以上より、管路網の設計時には最適な管径比 D_m/D_d を考慮したマンホールが必要であると考えられる。

4. 浸水被害の評価手法に関する検討

(1) はじめに

雨水管路網は対象降雨の計画規模が確率年で1/5~1/10程度を目標として整備されているが、計画規模の降雨が発生した場合でも必ずしも完全に浸水を防除できないのが現状である。雨水管路網の整備・改善を実施する上では、費用-便益解析等を考慮した最適な設計手法が必要である。本項では、その基礎として浸水の予測数値シミュレーション結果を利用することにより、浸水

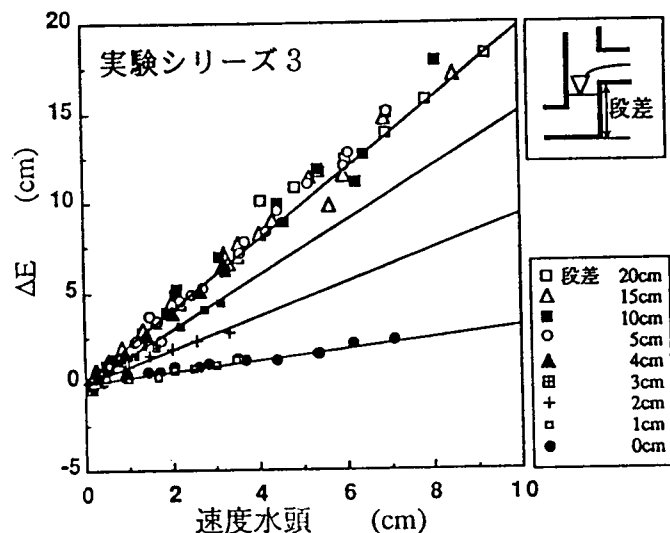


図-6 速度水頭- ΔE 関係図

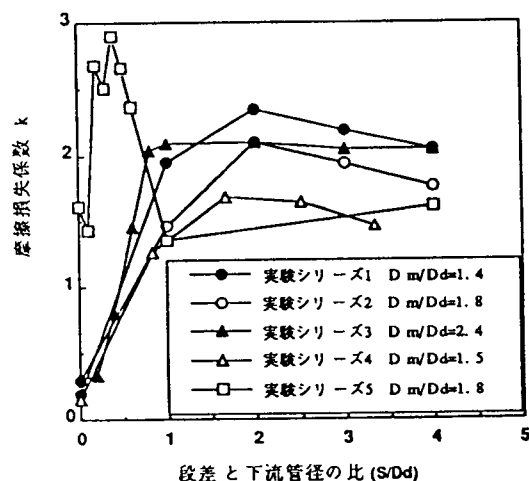


図-7 S/D_d-k 関係図

被害の判断基準の一つである浸水被害ポテンシャルについて検討を加えるものである。

(2) 浸水の発生要因

下水道が付設された市街地部では浸水の発生要因として以下のことが考えられる。

- ・管路網の設計は、管路網内の流量計算が非加圧下で、動水勾配と管路勾配が等しく、しかも満管流を仮定した等流計算を用いており、摩擦損失以外のエネルギーロス（マンホール、管路の曲がり及び屈折、分流及び合流、伏越し等）が考慮されていない。
- ・管路網の吐き口である河川の整備が遅れている場合、河川水位の上昇により背水の影響を受ける。
- ・管路網内の維持管理が悪く大気中の汚染物質、道路の粉塵等の堆積物が降雨によってフラッシュされない。
- ・地盤沈下により当初施工した管路勾配と異なり逆勾配となる区間が発生する。
- ・設計値以上の降雨が発生する。

(3) 浸水予測数値シミュレーション手法の検討

浸水被害に関して最も知りたい情報は、いつ、どこで、どの程度の浸水被害が発生するかであり、従来より種々の浸水予測数値シミュレーション手法が開発されている。しかし、管路網に高精度の非定常流解析手法を適用した例はほとんど見られない。この理由として、①開水路流れから満管流へ遷移するときの数値計算モデルの開発、②マンホール等の境界条件の取扱い、③パソコンレベルでの膨大な演算時間等が解決されていない、等がある。一方、地表流を追跡する方法としては、流域の特性により、貯流型、流下型、拡散型に分類される。それぞれの計算手法として、低平地タンクモデル、不等流計算、二次元平面不定流モデル等が利用されている。市街地部において浸水状況を予測するためには、低平地タンクモデルを使用することが妥当だと考えられる。その理由は、降雨の確率規模が1/10程度では実際の浸水区域が局所的に低い窪地等で点在していることがしばしば見られ、河川の外水氾濫によるような流下型、拡散型を示すことが少ないからである。

(4) 浸水被害ポテンシャルの推定

市街地部の浸水被害ポテンシャルを評価する判断基準の一つとして治水経済調査要項の被害率から直接被害（一般資産の被害、農作物の被害、公共土木施設の被害）及び間接被害（営業停止による被害）を推定する方法がある。本研究では被害額そのものではなく、浸水によってダメージを受ける相対的な尺度のひとつとして、直接被害は一般資産の被害を、また間接被害は交通障害による被害のみを考慮した浸水被害ポテンシャル検討する。図－8に示すように対象区域（流域）を、道路を隔てた2つの排水区域を一つのブロックとして分割し、ブロック毎に浸水被害ポテンシャルを算定する。

① 直接被害ポテンシャル

直接被害に関する浸水被害ポテンシャルPTを、
 $PT = (Xi \times Hi \times Ti) + (Xi' \times Hi' \times Ti') \dots (1)$

Xi = 排水区域Aiの資産

Hi = 排水区域Aiの平均浸水深

Ti = 排水区域Aiの平均浸水時間

Xi' = 排水区域Ai'の資産

Hi' = 排水区域Ai'の平均浸水深

Ti' = 排水区域Ai'の平均浸水時間

i = 道路NO

と表す。

② 間接被害ポテンシャル

間接被害に関する浸水被害ポテンシャルPKを、

$$PK = Xi \times Yi \times Hi \times Ti \times Wi \dots (2)$$

Xi = 道路iの単位時間当たり交通量

Yi = 車1台の単位時間当たり評価額

Hi = 道路iの平均浸水深

Ti = 道路iの平均浸水時間

Wi = 道路iの時間帯別交通量の重み係数

と表す。

道路の交通量は時間帯によってかなり異なるので、
 時間帯別交通量の重み係数Wiを次の5段階にランク分類した。

(イ) 早朝のラッシュ時 (午前7:00-午前9:00) (ロ) 昼間 (午前9:00-午後5:00)

(ハ) 夕方のラッシュ時 (午後5:00-午後7:00) (ニ) 夜間 (午後7:00-午後9:00)

(ホ) 深夜 (午後9:00-午前7:00)

以上より、雨水管路網が付設されている道路iに関する浸水被害ポテンシャルは、
 $P = PT + PK$ により推定できると考えられる。浸水被害ポテンシャルの算定結果をもとに図-9、図-10に示す浸水被害ポテンシャル分類図及び浸水危険度マップを作成しておけば雨水管路網の段階施工計画に優先順位を与える基準の一つとすることができる。

(5) おわりに

本研究では、浸水被害の判断基準の一つとして浸水被害ポテンシャルの推定式を提案した。この中には浸水深のランク分類 (何cm以下ならば被害無しと見なすか) や鉄道の被害等は考慮されていない。また、浸水被害ポテンシャルから被害額を推定するには、浸水深及び浸水時間のランク分類別に被害率を検討する必要がある。今後、これらの評価手法とともに、降雨の生起確率を浸水の生起確率に変換する手法の開発、浸水被害を最小にする方法論の確立 (例えば、対象地区全体の被害を平均化すべきなのか、あるいは、都市機能の集中地区の被害を優先的に軽減すべきなのか等) を検討することが重要である。また、経済面から浸水被害を最小にするためには費用-便益解析手法により妥当投資額を検討する必要がある、浸水防除施設 (雨水調整池、排水ボ

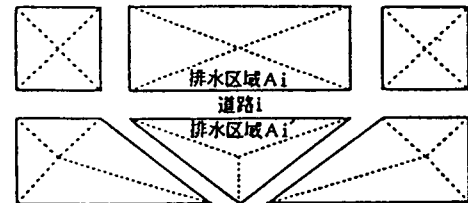


図-8 浸水被害ポテンシャル評価モデル

P 浸 水 テ レ 害 シ ヤ ル	C	B	A
	F	E	D
	I	H	G
	L	K	J

浸水深H or 浸水時間T

図-9 浸水被害ポテンシャル
ランク分類図

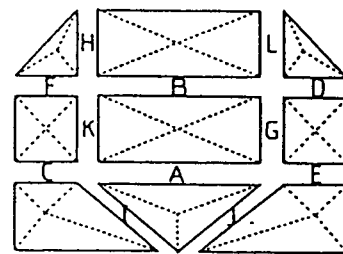


図-10 浸水被害危険度マップ

ンプ、地下街への浸水防除施設等)の設置にかかる投資額、合流式下水道及び分流式污水管から溢水した汚水の消毒費等を考慮したモデルを構築する予定である。

[参考文献]

- 1) 宇井ら：管路接続用チャンバーによるエネルギー損失、第31回水理講演会、1987
- 2) 山下ら：マンホールにおけるエネルギー損失と雨水管設計の一考察、
平成2年度土木学会西部支部研究発表会、1991
- 3) 松元良一：マンホールの損失水頭を考慮した下水管渠設計法について、
建設技術研究所報、1984
- 4) 中村栄一：下水道ポンプ排水区における浸水対策シミュレーション、
土木技術資料 NO.22, 1980
- 5) 鈴木章：浸水被害額の定量化方法に関する検討、下水道協会誌, VOL.27, NO.312, 1990
- 6) 高橋裕：洪水災害危険度の評価法に関する研究、第19回自然災害科学シンポジウム、 1982

[研究発表の状況]

- 篠ほか、雨水管路網における流れのモデル化、土木学会西部支部研究発表会、1992
- 山下ほか、雨水管路における流出モデルの開発、土木学会西部支部研究発表会、1992
- 荒尾ほか、雨水管路網の合理的設計手法に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、1992
- 脇田ほか、雨水管路マンホール部におけるエネルギー損失の実験的研究、土木学会西部支部研究発表会、1992
- 荒尾ほか、雨水管路網におけるマンホール部のエネルギー損失に関する実験的研究、土木学会年次学術講演会第47回、1992
- 山下ほか、雨水管路内の流下モデルの開発、土木学会年次学術講演会第47回、1992
- 長尾ほか、マンホール部のエネルギー損失の評価に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、1993
- 山下ほか、雨水管路網の流入水流下能力に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、1993
- 逆瀬川ほか、円形管路における横越流堰の流出特性に関する実験的研究、土木学会西部支部研究発表会、1993
- Tetsuya Kusuda, Energy losses at junctions and transient flow in sewer networks,
Proc. of Sixth international conference on urban storm drainage, 1993