

(3) 下水道による内水排除計画に関する方法論的研究

INNER BASIN DRAINAGE PLANNING IN SEWERAGE SYSTEM

萩原良巳*・上田育世*・高橋邦夫*・○蔵重俊夫*

Yoshimi HAGIHARA*, Yasuyo UEDA*, Kunio TAKAHASHI*, Toshio KURASHIGE*

ABSTRACT: Inner basin drainage shall be planned with flood water level in main stream and characteristics of sub-basin. Sewerage system is merely an alternatives. Systems approach are available for decision-making process of this comprehensive inner basin drainage problem. This paper gives strategy for inner basin drainage system planning.

Submerged areas are evaluated by backwater simulation. Drainage capacity are measured by annually expected submerged area for three cases. First is the case that flood water level exceeds its design level, second is that pump well level is fixed at its designed level throughout the drainage, and third is that pump well level is kept under the critical flow level of the sewer. Then, pattern analysis for such attributes about drainage capacity suggests whether external river improvement should be conducted and what kind of sewerage reconstruction may be effective.

KEYWORDS: Inner basin drainage, sewerage, flood control, backwater simulation, pattern analysis.

1. はじめに

都市域における下水道による内水排除計画は、歴史的に外水の氾濫防止を目的とする河川改修計画の後追いの策定・実施されてきた。このため、外水による甚大な被害は減少の傾向にあるが、流域の土地利用の変化による流出量の増大¹⁾に加えて外水計画規模の拡張により、洪水時の河川水位は増加の一途をたどり、当初の下水道計画の規模が実質低下するという問題が生じた。以上の理由により局所的ではあるが頻繁な内水被害が起こっている都市域も数多くみられる。²⁾

このような内水排除問題は、下水道システムの枠にとどまらず、内外水を含めた治水システム、ひいては河川システム全体の問題として認識することから出発して解決の糸口をみいだすことが重要であろう。²⁾このようなアプローチを前提とすれば、まず第1歩として現在の内水排除問題を下水道システム内の問題として解決しうるかどうか、あるいは総合的な治水システムの問題として対処せざるを得ないかといった問題の位置付けを明確にすることからはじまり、その後、下水道システムからみた解決策を求めて両者の共通部分を見だし、最終的には、地域の水問題として捉え、より広い総合的な視点より解決策の絞り込みを行なう方法が考えられよう。

本稿は以上のような計画策定プロセスについて、内水排除問題を内外水を含む治水システムにおいて位置付け、さらに、下水道システム内での解決策すなわち内水排除代替案を抽出するための計画情報作成の方法論について一つの提案を行なうものである。以下2ではこの方法論の提示を行ない、3において内水排除計画を策定する際の規準を構成するため必要とされる内水排除能力を把握する内水氾濫モデルを検討する。最後の4は、実際の下水道排水区を対象とした事例研究である。

2. 下水道による内水排除計画策定方針

下水道による内水排除システムは、下水管への流入雨水を輸送するプロセスと、ポンプ場への流入水を河

* ㈱日本水道コンサルタントシステム開発室 Department of Water Resources Systems Analysis and Planning, Nihon Suido Consultants, Co., Ltd.

川へポンプ排水するプロセスから構成されるプロセスシステムとして認識できる。すなわち、現況の内水氾濫がこのようなプロセスのどこに原因しているのか、あるいは、下水道の枠外の問題として外水位が高いため各サブプロセスの機能が充分に発揮できないところに起因しているのかといった内水排除問題の位置づけをまず行なっておくことが重要であり、この分析を通して下水道の機能改善を意図した内水排除代替案を作成する方向を合理的に得ることが可能となる。

このため、本稿では、表－１に示すポンプ運転水位に関する３通りのケースに対し、計画降雨のもとで有効な内水排除能力を計測し、排水区を類型化する。さらに、得られた類型を単位として問題の位置付け、及び代替案作成方針を検討する。なお、ポンプ運転水位は、ポンプ場入口（管渠末端）での水位として考えている。

表－１ ポンプ運転水位に関する設定ケース

№	ケースの説明	内水排除能力
1	ポンプ運転水位が計画吸水水位にあり、ポンプが正常に稼動する水位のとき	通常運転能力
2	外水位が計画外水位より高く、自然排水もしくは、揚程の大きい一部のポンプにより排水した場合のポンプ運転水位	外水対応能力
3	ポンプ運転水位が、下水管渠能力（輸送プロセス機能）を最大に発揮するように、ポンプ場への流入管渠の限界水深に対応する水位にあるとき	管渠能力

表－１の３通りの内水排除能力が把握されると、これらの大小関係にもとづき、排水区を表－２の類型として把握することができよう。このとき、表－２では、管渠能力が小さいときは、必然的に通常運転能力も小さくなるという前提をおいている。

表－２ 類型別の問題の位置づけと解決策の適用性

類型	内 水 排 除 能 力			問 題 の 位 置 づ け			解決策の適用性(下水道)		解決策の適用性(下水道外)	
	通常運転能力	外水対応能力	管渠能力	輸送プロセス	排水プロセス	外 水 位	管渠の改善	ポンプの改善	外水位の低下	流出抑制
A	大	大	大							
B		小						○	○	○
C	小	大	大					○		
D			小				○			
E		小	大					○	○	○
F			小				○	○	○	○

□ 問題無 ▨ 問題有 ○ 適用性を有する、あるいは検討の必要有

表－２において、類型Aは計画降雨規模までの降雨について充分安全な排水区である。類型Bは下水道システムについては問題はない。しかし内水氾濫は外水位が高いとき、ポンプを正常運転できない状況が起こることにより生起するものと考えられる。この解決策としては下水道レベルでは外水氾濫の危険性を検討することを前提としてポンプ排水能力の増強が考えられ、システムの枠を治水レベルに拡大すれば、外水位の低下や流出抑制などの対策が考えられる。

類型C以降は下水道システムに問題のある排水区である。すなわち、類型CとEはポンプ排水能力不足が挙げられ、類型DとFは輸送プロセス、つまり下水管渠の流下能力に欠ける排水区である。このうち、類型EとFは外水位についても問題がある。これらの排水区についての解決策は次のように考えることができよう。

まず類型CとEは管渠能力が大きいことから、ポンプ排水能力の増強が有効であろうと思われ、類型DとFは管渠の流下能力の増大を検討する必要がある。また類型Fでは外水位が高い場合に備えてポンプ排水能力を増強しておくことも必要であろう。さらに、類型EとFについては、治水レベルにおいて外水位の低下や流出抑制などの対策の検討も重要課題であろう。

ここで、下水道レベルでの解決策についての具体的な規模については、次のような方法により設定していくことができる。まずポンプ排水能力の増強については、3通りのポンプ運転水位に対する内水氾濫シミュレーションによりポンプ運転水位と内水排除能力との関係が得られるので、ポンプ排水能力とポンプ運転水位との関係を満水計算を通して把握すればポンプ排水能力増強の効果が計測可能となる。一方、管渠の流下能力の増強については、管内の背水位を調べ、問題のある管渠の部分について管径の拡大による動水の勾配の改善や、相互連絡管による流量カット方式などを設定し、この改善案のもとで再び内水排除能力を調べていく必要がある。

以上の問題の位置づけと解決策の適用性に関する考察結果を表-2に併示した。

3. 内水排除能力の計測方法

3.1 内水排除能力の指標

内水排除能力の指標としては、計画降雨規模までの降雨を対象とした年平均想定浸水面積や、年平均氾濫水量、あるいは無害降雨などが考えられるが、ここでは被害額との対応づけが容易な点を考慮し、年平均想定浸水面積を採用する。

この指標は次式により算定される。

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^{N_R} \frac{A_i + A_{i-1}}{2} (FR_{i-1} - FR_i) \quad (1)$$

ここに、 $\bar{A}$ ：年平均想定浸水面積、 i ：降雨規模を示す添字、 A_i ：降雨規模別浸水面積、 FR_i ：降雨量超過確率、 N_R ：降雨数である。この(1)式では、降雨量超過率 FR_i は降雨量の属性として与えられるので、降雨規模別の浸水面積が A_i が求まれば年平均浸水面積 $\bar{A}$ が算定できる。このため、3.2では降雨規模別浸水面積を推定する内水氾濫モデルを検討していく。

3.2 内水氾濫モデル

ここでは、下水道整備区域を対象とした内水氾濫モデルを検討する。モデルは図-1に示すように降雨量から、下水管内背水位及び浸水面積を求めるもので、下水管各地点に同時にピーク流量が流下しているものと考え、まず不等流計算により幹線上の背水位を算定する。次に排水区をメッシュ化しておき、各メッシュ上の降雨が枝管によって幹線上のどの地点に流入するかを明らかにしておく。さらに各メッシュの背水位は枝管を満管状態と仮定し、幹線への流入地点背水位を境界条件として等流計算により求める。次に、得られた各メッシュの背水位と地盤高とを比較して浸水の起こるメッシュを数えあげて浸水面積を求めることができる。

なお、管内の流量の設定に際しては種々の流出モデルの適用が考えうるが、実用上簡便な次

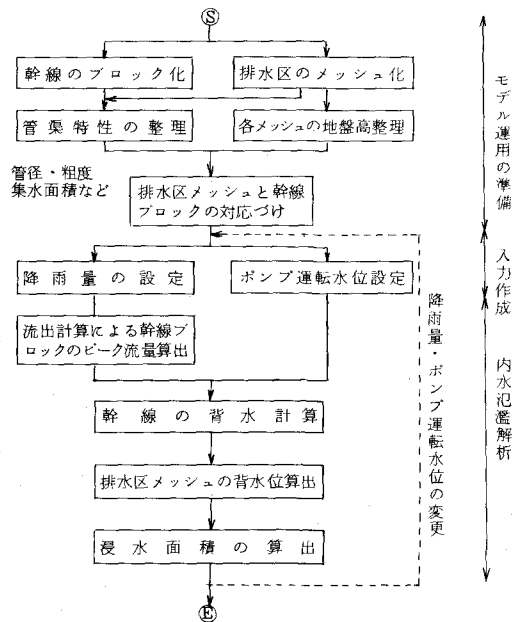


図-1 下水道整備区域における内水氾濫モデル

のような実験式³⁾を適用することとした。

$$Q = \frac{1}{360} C \cdot R \cdot A \cdot m \sqrt{S/A} \tag{2}$$

ここに、 Q ：流出量 (m^3/s)、 C ：流出係数、 R ：降雨量 (mm/hr)、 S ：地表平均勾配、 A ：集水面積、 m ：定数であり、流出係数 C は土地利用により定まり、 m は流出解析から決定できる。

なお、以上の内水氾濫モデル運用にあたり、未知パラメータである管渠の粗度を決定する必要がある。このとき、浸水実態に適合する値は降雨波形によって変化することを考慮することが重要である。図－２は降雨波形により水位が異なる様子を模式的に示したものである。

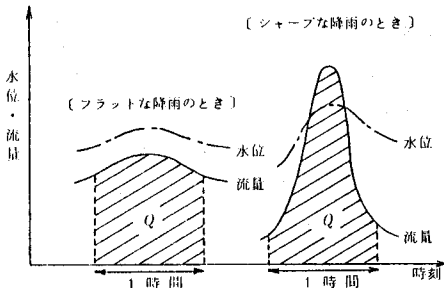
すなわち、内水氾濫モデルの入力である時間降雨量は等しくても、シャープな降雨の方が流量もシャープな形状となり、従って水位のピークも大きくあらわれる。このことは、シャープな降雨ほど粗度の値を見かけ大きくとる必要性を示している。

以上の点を考慮し、浸水実態として入手しうる浸水状況（浸水面積や管内水位など）、降雨特性（降雨量及び波形）、及びポンプ運転水位に関する実績資料から計画降雨に適合する粗度の値を決定する方法を図－３に示す。

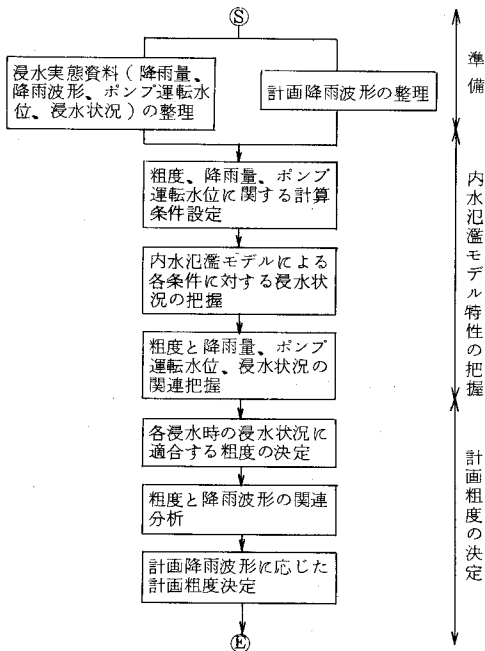
まず、前述の内水氾濫モデルの出力である浸水状況と、入力の降雨量、境界条件としてのポンプ運転水位の関係を（見かけ上の）粗度係数をパラメータとして把握する。この関係に、浸水実態資料としての降雨量、浸水状況、ポンプ運転水位をあてはめることにより、各浸水毎に適合する粗度を得る。各浸水毎の粗度の値の相違は降雨波形の差異によるものと考えられることから、両者の関連分析を行ない、その関係を調べておく。最後に、得られた降雨波形と粗度の関係から計画降雨波形に対応した粗度を決定することができる。この粗度を本稿では特に「計画粗度」と呼ぶこととする。

4. 事例研究

これまで述べてきた内水排除システムの問題点の位置づけ及び内水排除代替案の検討方法を、図－４に示すA川流域下流部の16排水区を対象として適用した結果について以下示していく。A川下流では都市河川B川及びC川が流入しており、各々の河川の両岸に計16ヶ所の下水道排水区が整備されている。当地域の下水道整備の歴史は比較的古く、下水管渠の老朽化による粗度の変化に起因した流下能力の低下や、地盤沈下あるいは河道改修の進展に伴う外水位の相対的・絶対的なアップによる排水能力の低下等により、当初の計画降雨に対する安全度は低下し、毎年のように内水被害が生起している。分析手順は、これらの排水区毎に内



図－２ 降雨波形と水位の関係



図－３ 計画粗度の決定方法

水氾濫モデルの未知パラメータである計画粗度を検討した後、問題点の位置付けを通して対策をイメージアップしていく。

4.1 計画粗度の決定

ここでは、内水排除能力を調べるための内水氾濫モデルに内在する計画粗度の決定を行ない、モデルを各排水区毎に同定していく。計画粗度の検討方法は図-3に示した通りであるが、降雨波形の指標として10分降雨量と60分降雨量との比 R_{10}/R_{60} を考え、各浸水実態毎の浸水面積に適合する粗度との比較を行なったものが図-5である。なお、流出モデルの定数 m は流出解析より $m=6$ とした。

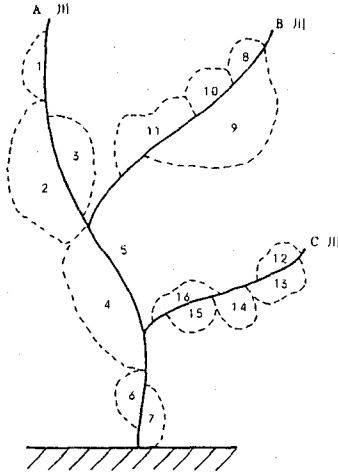


図-4 A川流域排水区

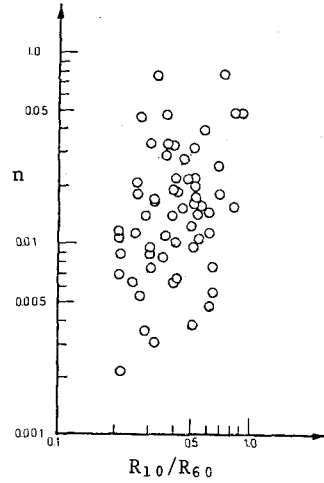


図-5 粗度と降雨波形の関係

図-5より、降雨波形がシャープなほど粗度の値を大きくとる必要性が確認される。さらに、この関係を各排水区単位で回帰分析を加え、計画降雨の波形特性 $R_{10}/R_{60}=0.4$ のもとで計画粗度を求めた結果を表-3に示す。

表-3 計画粗度決定結果

排水区	面積(km^2)	粗度と降雨波形の関係	計画粗度
1	90	$n = 0.009$	0.009
2	1,200	$n = 0.008$	0.008
3	170	$n = 0.06 \cdot (R_{10}/R_{60})^{1.2}$	0.019
4	740	$n = 0.02 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.7}$	0.011
5	300	$n = 0.02 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.2}$	0.017
6	110	$n = 0.02 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.2}$	0.017
7	200	$n = 0.05 \cdot (R_{10}/R_{60})^{1.2}$	0.017
8	130	$n = 0.02 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.3}$	0.015
9	2,300	$n = 0.01$	0.010
10	210	$n = 0.01 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.4}$	0.007
11	630	$n = 0.02$	0.020
12	140	$n = 0.03 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.9}$	0.013
13	90	$n = 0.02 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.6}$	0.012
14	510	$n = 0.02 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.9}$	0.009
15	190	$n = 0.01 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.9}$	0.004
16	40	$n = 0.01 \cdot (R_{10}/R_{60})^{0.9}$	0.004

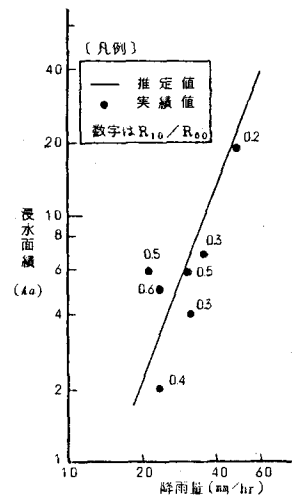


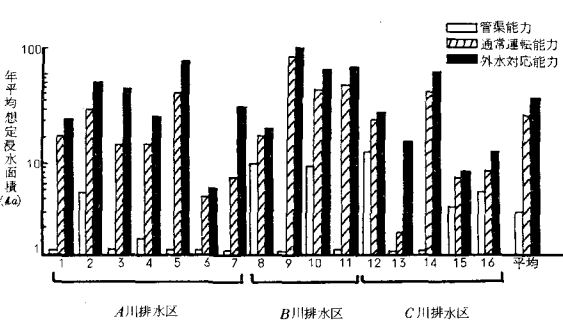
図-6 内水氾濫モデルの検証

さらに、同定された内水氾濫モデルによる浸水状況の再現性をみるため、図－６に排水区 8 番について浸水面積に関する実績値とモデルによる推定値との比較を示した。実績値は降雨波形が計画降雨と多少異なるために推定値との間に若干の誤差が生じているが、モデルは概ね良好な精度を有しているといえるであろう。

4.2 内水排除計画に関する検討

4.1 で同定された内水氾濫モデルにより、各排水区について表－１の 3 通りのポンプ運転水位ケースのもとで降雨規模別浸水面積を求め、(1)式により内水排除能力指標としての年平均想定浸水面積 $\bar{A}$ を算定した結果を図－７に示す。なお、各ケースに対応するポンプ運転水位は、ケース 1 と 2 については実績資料を参考

表－4 排水区の類型化



図－7 年平均想定浸水面積推定結果

河川	A 川	B 川	C 川
類型			
A	① ④ ⑥ ⑦	⑧	⑫ ⑬ ⑮ ⑯
B	③		
C			
D	⑤		
E	⑤	⑨ ⑩	⑭
F	②	⑩	

として設定し、ケース 3 については管渠の限界水位を算定することから定めた。表－4 の排水区の類型化を行なうにあたり、まず図－7 に示した各内水排除能力について、それぞれ 16 排水区の平均値を同図に示す通りに算定した。さらに、内水排除能力の大小については、得られた平均内水排除能力を基準として判断し、各排水区を表－2 に示した類型にあてはめたものが表－4 である。これらの排水区については表－2 に示した通りの対策の適用性が考えられるが、特に B 川流域においては類型 E、F に属する排水区が多いことから、外水対策の必要性が示唆される。

5. おわりに

都市域の内水問題は単に下水道の整備により解決できるものではなく、広く河川問題、さらには地域全体の問題としてとりあげる必要があるが、本稿では問題解決の第 1 歩として、下水道サイドでどこまで対応が可能かという視点から、代替案作成上の計画情報を得るための方法論について 1 つの提案を行ってきた。

まず、内水氾濫状況を不等流計算を基本として簡便にシミュレートする内水氾濫モデルを提示した。次にポンプ運転水位について、通常運転したとき、外水位の制約下でポンプが正常運転できないとき、及び管渠の流下能力を最大に生かすときの 3 通りの状況設定を行ない、上記モデルにより各々のケースに対応する内水排除能力を評価した。さらに、この内水排除能力の特性により排水区を類型化し、得られた類型を単位として内水問題を位置づけ、この結果をもとに内水排除計画代替案を設定していく方法論を提案した。このうち、下水道管渠の改善については必要性の議論にとどまり、どこをどう改善すればよいかという体系的な方法論を展開するには至っていない。今後はこの点についての検討を踏まえ、さらに内外水のバランスの問題をはじめとして、内水問題の解決の枠組を河川レベル、地域レベルと広げていく研究^{4) 5)} が課題として残されている。

最後に、本研究の遂行にあたり、貴重な御助言をいただいた㈱日本水道コンサルタント 堤 武 氏に謝意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 中川・森野・蔵重：流域の土地利用を考慮した洪水流出解析(2)、土木学会第26回水理講演会論文集、pp. 343～348、1982
- 2) 建設省河川局治水課：水害のない川と美しい川、日本河川協会発行、1976
- 3) 日本水道協会編：下水道施設設計指針と解説
- 4) 中川・上田・森野：都市河川を対象とした洪水時における流況・水質モデル解析、NSC研究年報、Vol. 8、№1、pp. 83～95、1980
- 5) 萩原・中川・森野・渡辺・蔵重：河川計画における総合評価システム、NSC研究年報、Vol. 9、№1、pp. 1～11、1981