

都市化流域における治水施設整備計画問題に関する方法論的研究

京都大学 工学部 正 員 吉川 和弘 京都大学 大学院 学生員〇多々納裕一
 京都大学 工学部 正 員 春名 攻 京都大学 大学院 学生員 渡辺 泰也
 京都大学 大学院 学生員 田井中靖久

1. 本研究のねらいと概要 都市中小河川流域では、流域の都市化による水害の多発化・深刻化が重大な社会問題となってきた。このような流域においては流域内の治水環境の劣悪な地域の解消に向けて早急な治水安全度の確保・向上を図る必要がある。従って、治水施設整備計画を立案する際には流域の都市化状況を的確に把握するとともに、これを反映して治水施設の整備目標を明確化することのみならず、計画の早急な実現化へ向けて施設整備の手順を明らかにしておくことが有効であろう。そこで、本研究では都市化流域における治水施設整備計画を「計画目標年次における治水施設の望ましい機能構成を求める問題（配置規模決定問題）」と「計画目標年次末の治水施設の構成を与件として計画期間を数期に分けた各期における治水施設の整備内容を求める問題（段階的整備手順決定問題）」との2レベルの問題としてとらえることとした。そして、これに対応して当計画問題を分析するための手順を図-1のようにプロセスシステムとして構成した。さらに、都市化の進む猪名川流域を対象として実証的検討を試み、本方法の有効性の検証を行った。本稿では研究の詳細については文献①に譲るとして「Stage3. 段階的な治水施設の整備手順の設定に関する分析」をとりあげ、分析手法を中心に述べることとする。

2. 計画モデルの定式化 (Stage3)

当流域においてはStage1での検討を通して治水施設の整備をめぐる上下流対立が存在することが明らかとなっている。そこで当流域では公平性の原理に基づいて段階的な治水施設整備を行い、流域の治水安全度の不均衡を是正しつつ治水安全度の確保・向上を図ってい

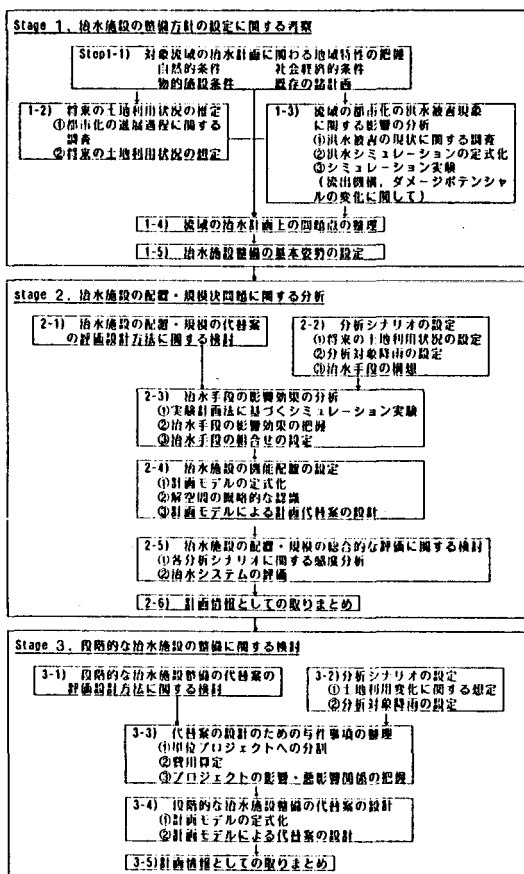


図-1 本研究のアプローチの概要

くことが強く要請されている。

このような認識のもとに、本研究では、図-2に示すように流域の治水安全度の水準を表わす指標として $\max D_j$ を用いることとし、治水施設の整備による治水水準の向上によって生じる保全便益を式-1のように表現することとした。そして、供用期間 T を通じて得られる総便益 f_1 は式-2のように導かれる。ここで、計画目標年次末の治水施設の構成は与えられていることから、 f_1 を最大化することは F_1 を最小

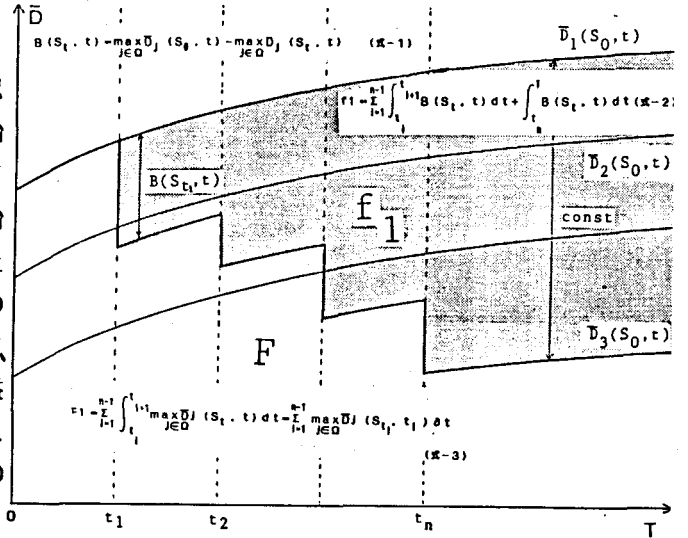


図-3 段階的な治水施設整備による被害額期待値低減のイメージ

化することと同値となる。従って、目的関数は図-3・式-4のように定式化される。制約条件には、①治水安全度の確保のための制約、②各期毎の予算の制約の2種類を設定している。まず、①については、治水施設の整備によって流域の地域の治水安全度が損われることのないように設定した制約である。このうち、被害対象地域については1期前の施設構成の場合の被害額の期待値をその期の施設構成の場合の被害額の期待値が上回らないこととしている(式-5)。被害対象地域外については溢水・破堤防止の条件として式-6のように最も治水安全度の低い分派地点の疎通能を洪水流量が上回らないこととした。次に、②につ

目的関数	$\sum_{i=1}^{n-1} \max_j D_j(S_{t_i}, t_i) \rightarrow \min$	(式-4)
制約条件		
①治水安全度の確保		
被害対象地域	$D_j(S_{t_{i-1}} + X_{t_i}, t_i) \leq \bar{D}_j(S_{t_{i-1}}, t_i)$	(式-5)
被害対象地域外	$Q(S_{t_i}, t_i) \leq W$	(式-6)
②予算制約	$f(S_{t_i}) \leq \delta c \cdot I$	(式-7)
$\bar{D}_j$; 地域 j の被害額の期待値		
Ω ; 地域 j の集合		
S_{t_i} ; 時点 t_i における治水施設の構成 (状態量ベクトル)		
(施設が存在しないとき=0, 施設が存在するとき=1)		
X_{t_i} ; 第 i 期 ($t_{i-1} \sim t_i$) で建設された治水施設の構成 (ベクトル)		
(施設が建設されていないとき=0, 施設が建設されているとき=1)		
Q, W ; 分派地点での流量、および疎通能		
f ; 費用関数		
δc ; 各期における予算 (一定)		

図-2 計画モデルの定式化

いては、各期において同一額の予算の制約が存在するとし、各期の治水施設の整備は各期の予算と前の期からの繰越金の範囲内でのみ行うことが出来ることとした。(式-7)

3. Dynamic programming を用いたモデル解法について このようにして定式化した計画問題は簡単に関数漸化式に変形することができ、最適性の原理が成立することとなる。従って、本問題に対して Dynamic programming の適用が可能となる。そこで、本研究では、DPを用いて各期毎の治水施設の構成を求め、計画代替案として設計することとした。このような治水施設整備計画の計画代替案の設計においては、洪水被害現象に基づいた reality を保証していること(現象合理性)、計画代替案が他の案に対して絶対的に優位であることを保証していること(目的合理性)、および、モデル分析の多様性を保証する分析

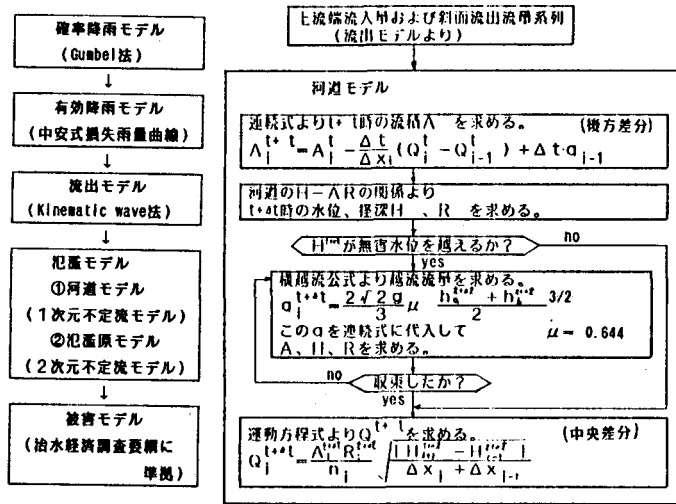


図-4 シミュレーションモデルの概要

の効率性の3つの要件が満たされることが必要である。本検討においては、各状態量が0-1ベクトルで表される離散型の変数

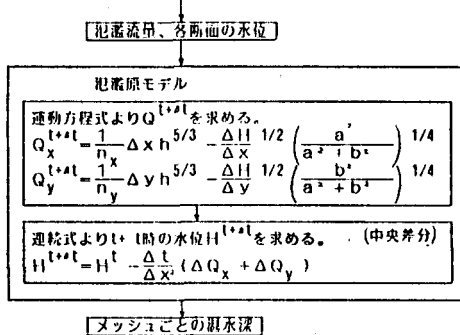


図-5 本川氾濫モデルのアルゴリズム

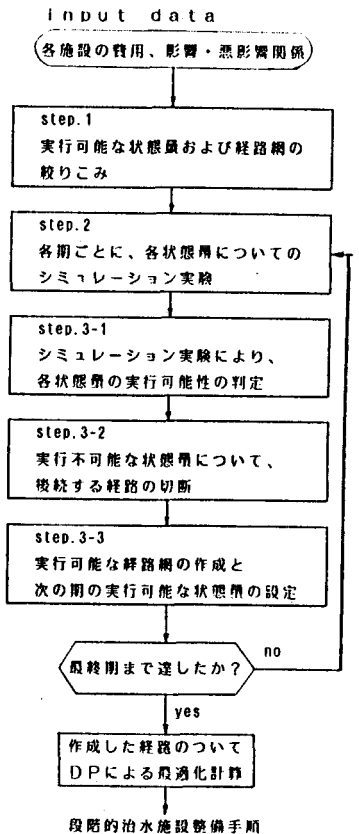


図-6 DPを用いた段階的な治水施設の整備手順決定プロセス

を取扱うことから、本研究では各状態量毎にシミュレーション実験を行いながらDPモデルによる最適化計算を行う方法を用いることで上述の3条件の満足化を試みた。これは、シミュレーションモデルで現象合理性をDPモデルで目的合理性を保証しようとするものである。ここで、モデルの操作性については、シミュレーションモデルの簡便化による計算時間の減少と、制約条件を用いた実行可能な状態量の体系的な絞り込みを行った後にシミュレーション実験を行なうことで対処することとした。Stage1で用いたシミュレーションモデルの構成を概略的に図-4に示す。ここでは、このモデルのうち計算時間の大半を占める本川氾濫モデル (図-5) のうち氾濫原モデルの近似化を行うこととした。すなわち、まず被害対象地域毎の河道状態別にシミュレーション実験を行なってピーク洪水流量と各メッシュ別ピーク洪水水深のデータを求め、区間線形近似によってこれらの関係を表現した。そしてこれを用いて、河道モデルで算出したピーク洪水流量から線形補間法により各メッシュ別ピーク洪水水深を求めることとしたのである。この近似化により計算時間は図-4のモデルの約1/5~1/10となり、再現結果についても概ね妥当な結果を得ている。実行可能な状態量の絞り込みについては、図-6に示す方法によって各期毎の整備内容を求めることで対処した。すなわち、まず図-3に示す制約条件式のうち、予算制約と治水安全度確保の制約 (被害対象地域) とを用いて状態量の限定を行ない、これらに対して実行

可能な状態量および状態量間の可達関係（以下これらを総称して経路網とよぶ）を予め求めておく(Step1)。具体的には、まず費用制約を満たす状態量を各期毎に求め、経路網を作成する次いで、影響・悪影響関係を用いて他の地区に悪影響を及ぼす経路や状態量を規則1を用いて取り除くのである(図-7)。このような状態量の絞り込みの結果にもとづき、求められた状態量に関してシミュレーション実験を行い(Step2)、これをもとに制約条件に対して実行可能な経路網の作成を行う(Step3)。そして、最終的に得られた実行可能な経路網に対してDPによる最適化計算を行い、各期毎の施設整備の内容を求めることとした(Step4)。この際、Step3においては予め実行不可能であることがわかっている状態量に関してはシミュレーション実験を省略する。本方法を用いることによりシミュレーション実験の回数をかなり減少させることが可能となり、本方法は操作性の比較的高い方法となった。

影響・悪影響関係

ある施設Xが地区Aの治水安全度を低下させる働きのある時、XはAに対して悪影響関係を有するといひ、XがAの治水安全度を向上させる働きのある時、XはAに対して好影響を有する関係であるといふ。

規則 1

悪影響を持つ施設はその施設が悪影響を与える地域に好影響を与える施設がすべて完成するまで単独で建設を行なうことはできない。もし、それまでに建設を行なう場合には、必ず好影響を与える施設と共に建設されなければならない。

図-7 影響・悪影響関係の定義

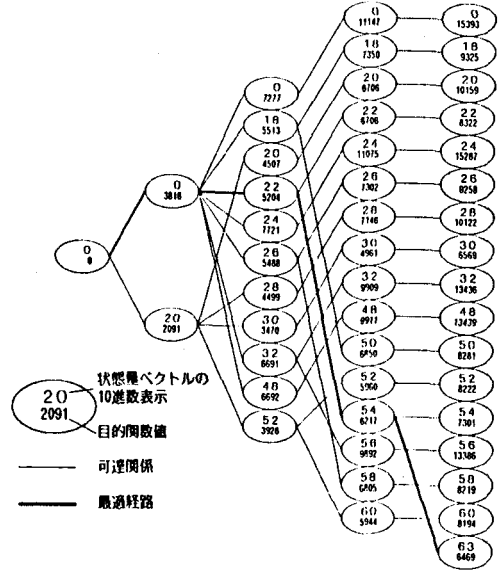


図-8 実行可能な経路網と最適状態量

4. 実証的検討について 猪名川流域

域は大阪府と兵庫県境に位置し、大阪・

神戸のベッドタウンとして都市化の進む流域である。本研究では、当流域を対象として実証的な検討を実施したが、この詳細については講演時に発表することとし、ここではその結果の一部を図-8、表-1に示すにとどめることとする。

表-1 最適段階的な治水施設の最適整備手順の構成

単位(百万円/年)

年次	多田堤防	多田築堤	鼓ヶ路開闢	川西・池田掘削	川西・池田築堤	猪名川ダム	余野川ダム	多田地区被害額の期待値	川西・池田地区被害額の期待値	分派地点の流量(m ³ /s)
55	×	×	×	×	×	×	×	2231	3362	2216
60	×	×	×	×	×	×	×	2839	3816	2224
65	×	○	○	×	○	×	○	1388	4	2527
70	×	○	○	×	○	○	○	1013	2	2491
75	○	○	○	○	○	○	○	252	2	2598

参考文献 多々納裕一：都市化流域における治水施設整備計画問題に関するシステム論的研究，昭和61年2月，京都大学修士論文