

京都大学大学院 学生員 渡邊 泰也

京都大学工学部 正 員 吉川 和広

京都大学工学部 正 員 春名 攻

1. 本研究のねらい

本研究は、都市化の進んだ流域内の治水環境の劣悪な地域における治水安全度の向上を図るべく、筆者等の研究グループがここ数年来継続的に行ってきた研究をベースに、治水施設の整備方法論の具体的内容を示したものである。ここでは、流域全体での治水施設の整備内容を計画論的な観点から体系的に計画内容として設計していくとともに、その実現化のための段階的整備計画案を合理的に求めるための一連の方法に関する研究を行ってきたものである。

2. アプローチの概要

本研究では、治水施設整備計画問題を、「流域の都市化に対応した計画目標年次末における望ましい治水施設の整備状況を求める段階（配置・規模決定問題）」と、「計画期間を数期に分割し、各期における望ましい治水施設の整備内容を求める段階（段階的整備計画問題）」という2つの段階の問題として取扱うこととし、図-1に示すようなプロセスに従って検討を加えることとした。

Stage1では、既存の資料やデータ等を用いた現況分析やシミュレーション実験による分析を通して治水計画上の特性や問題点の把握を行い、治水施設の整備方針を設定することとした。また、上記のような検討を行うための将来の土地利用状況の推定やシミュレーションモデルの定式化等々計画問題の分析に必要な道具を整えておくこととした。

次いで、Stage2ではStage1の整備方針を受けて、計画目標年次末の治水施設の整備状況を治水施設の配置・規模として設計することとした。ここでは、従来より開発研究を行ってきた、ハイブリット型治水計画モデル「洪水被害現象を再現するシミュレーションモデルからの各種代替案に対する応答出力を拘束条件とする数理計画モデル」（詳細は、参考文献①）を用いた代替案の設計方法を適用することとした。

最後に、Stage3ではStage1、Stage2における検討の結果をうけて計画期間を分割し、各期における治水施設の整備内容を求めることとした。すなわち、流域の都市化の進展をシナリオとして各期ごとに与え、Stage2で求められた計画目標年次末の治水施設の構成（配置・規模）を計画の達成目標とし、これらの施設の段階的整備計画を求める段階とした。（詳細は、参考文献②）

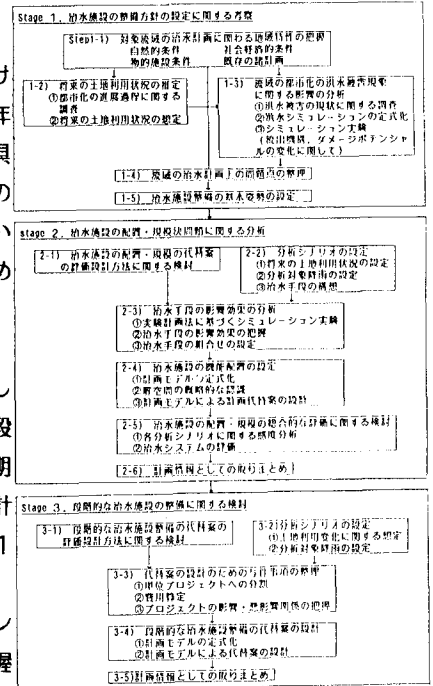


図-1 本研究のアプローチの概要

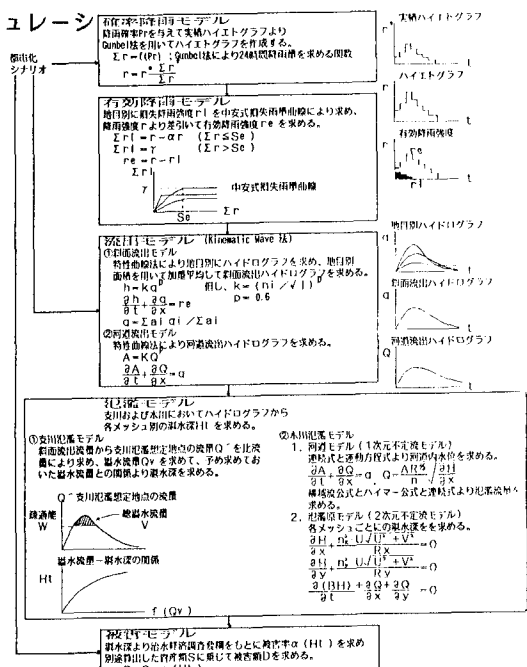


図-2 シミュレーションモデルの概要

このようなプロセスを適用して、治水施設整備計画を策定することにより、流域の都市化の進展に対応した、有効な治水施設の整備目標および整備手順の明確化を行うことができると考えたのである。

3. 実証検討

本研究では、流域の都市化の進展により、流域の治水安全度の低下が著しく早急な治水施設の整備が望まれている流域である猪名川流域を対象として実証的な検討を行った。

まずStage1において、対象流域の地域特性に関する情報をもとに図-2に示すようなシミュレーションモデルを構築するとともに、過去の都市化の進展や既存の諸計画をもとにして将来の土地利用状況の推定を行った。さらに、この土地利用状況の推定結果をもとにしてシミュレーション実験を行い、流域の都市化に関する分析を行った。Stage2においては、まず

Stage1の結果をもとに土地利用状況・検討対象降雨等々の各分析シナリオの設定を行い、治水施設の配置・規模決定問題の計画モデルを図-3に示すように定式化した。ここでは、流域内の治水安全度の不均衡を是正しつつ流域全体の治水安全度の確保・向上を図るため、目的関数として流域内の地域別被害額の期待値の最大値の最小化をとりあげた。さらに、制約条件として各地区の治水安全度の確保、下流の破堤防止、総費用、各治水施設規模の4種類の条件を想定した。次ぎに、ハイブリット型治水計画モデルを用いて、治水施設の構成を代替案として設計した（表-1）。Stage3においては、各期ごとの土地利用状況・プロジェクト分割等々の分析シナリオの設定を行い、次ぎに計画モデルを図-4のように設定した。ここでは、保全便益を（式-1）で表わすと

$$B(S_t, t) = \max_{j \in \Omega} \bar{D}_j(S_0, t) - \max_{j \in \Omega} \bar{D}_j(S_t, t) \quad (\text{式-1})$$

$$f1 = \sum_{t=1}^{T-1} \int_{t_1}^{t_{i+1}} B(S_t, t) dt + \int_{t_n}^T B(S_t, t) dt \quad (\text{式-2}) \quad F1 = \sum_{t=1}^{T-1} \int_{t_1}^{t_{i+1}} \max_{j \in \Omega} \bar{D}_j(S_t, t) dt = \sum_{t=1}^{T-1} \max_{j \in \Omega} \bar{D}_j(S_{t_1}, t_1) \quad (\text{式-3})$$

総保全便益は、f1となり、計画目標年次末の治水施設の構成があたえられていることによりf1→Max とF1→Min は同値となりこれを目的関数とした。また制約条件としては、治水安全度の確保、下流の破堤防止、予算制約の3種類の条件を設定した。次ぎに、この計画問題に対してDPによる最適化計算を行い各期ごとの治水施設の整備内容を求めた（表-2）。ところで、代替案設計に際して用いたシミュレーションモデルは、現象再現の精度を各Stageの目的に見合う程度で保ちながら操作性の向上・計算時間の短縮のため、簡便化をはかっている。具体的には、Stage2においては氾濫モデルの中の本川モデルにおいては、河道モデルでKinematic Wave法を、氾濫原モデルで近似モデルを用いている。また、Stage3では氾濫原モデルのみ近似モデルに変更したシミュレーションモデルを用いた。これらの工夫によって、全体の計算時間を大幅に減らすことが可能となったのである。

目的関数	$\max_{i \in \Omega} (\bar{D}_i(t_1)) \rightarrow \min$ $i \in \Omega$ (地域iの集合)
制約条件	1. 治水安全度の確保のための制約 $\bar{D}_i(t_1) \leq \bar{D}_i(t_2)$ 2. 下流の破堤防止のための制約 $Q(t_1) \leq W$ 3. 総費用の制約 $\sum_{j=1}^n c_j = C$ 4. 治水施設規模の制約 $c_j \leq c_j \leq c_j$
	$\bar{D}_i$: 地域iの被害額の期待値 Q, W : 分派地点ピーク流量および通過能 t_j : 治水施設jの規模による費用関数 C : 総費用 c_j, c_j, c_j : 治水施設jの投資額及びその上下限 c : 治水施設整備の投資額の割合 c : 現況の治水施設整備の投資額の割合
注	$\bar{D}_i, Q$ はシミュレーションモデルよりの出力値

図-3 治水施設の配置・規模決定問題の計画モデルの定式化

表-1 最適治水施設構成

猪名川ダム	多田治水地	多田改修	川西改修	支川改修
放流量	貯水容量	疎通能	疎通能	疎通能倍率
1447m ³ /s	0	947m ³ /s	1570m ³ /s	1.35

目的関数	$\min_{j \in \Omega} \max_{i \in \Omega} \bar{D}_j(S_{t_1}, t_1) \rightarrow \min$
制約条件	①治水安全度の確保 $\bar{D}_j(S_{t_{i-1}}, t_i) \leq \bar{D}_j(S_{t_i}, t_i)$ ②下流の破堤防止 $Q(S_{t_1}, t_1) \leq W$ ③予算制約 $f(S_t) \leq \delta c \cdot i$
	$\bar{D}_j$: 地域jの被害額の期待値 Ω : 地域jの集合 S_t : 時点tにおける治水施設の構成(状態ベクトル) (施設が存在しないとき=0, 施設が存在するとき=1) X_{t_1} : 第1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、および通過能 f : 費用関数 δc : 各期における予算(一定)

図-4 段階的治水施設計画の計画モデルの定式化

表-2 段階的治水施設整備手順の構成

単位(百万円/年)

年次	多田治水地	多田改修	数ヶ所開闢	川西・池田治水地	川西・池田改修	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

- ①田井中靖久：シミュレーションモデルを組み込んだハイブリット型計画モデルの最適解法について、第41回年次学術講演会講演概要集
 - ②多々納裕一：都市化流域における治水施設整備問題に関する方法論的研究
- 昭和61年度関西支部年次学術講演会概要集