

土木計画の方法論におけるハイブリッド型計画モデルの 位置づけについて—治水計画問題への適用を通して—

京都大学工学部 正 員 吉川 和広 京都大学大学院 学生員 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
京都大学工学部 学生員 ○田井中靖久

1. はじめに 近年、人々の価値観は多様化しており計画対象地域の人々の合意を得ることが困難になってきている。このため、合意を得やすい科学的で合理的な計画立案過程の方法論の構築の必要性が増してきており、合理的な分析や総合の技術の開発、とりわけ計画代替案の合理的な設計方法の開発が求められてきている。本研究では、猪名川流域の治水施設の配置・規模決定問題を対象として地域間の治水安全度の格差を是正しつつ流域の治水安全度の確保・向上をめざすという最大成分最小化問題として本問題を規定し、この問題を対象としてハイブリッド型治水計画モデルによる代替案設計方法の開発を試みたものである。そして、実証分析を通して本方法の有効性の検証を行なった。

2. ハイブリッド型治水計画モデルの概要

本研究では、ハイブリッド型治水計画モデルを『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』と位置付けており、その構成は図-1に示すようである。すなわちこのモデルは、各施設の施設規模の代替案をシミュレーションモデルに入力し、評価要因（被害金額の期待値や流量等）を出力し、その情報をもとにして

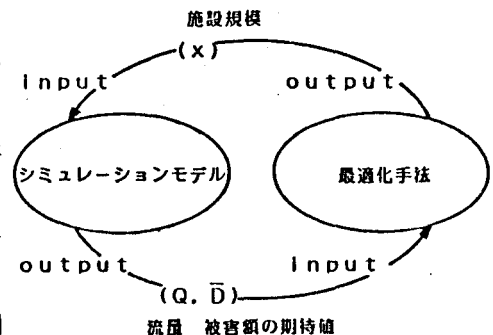


図-1 ハイブリッド型の治水計画モデルの構成

最適化手法を用いて制約を侵さない範囲で、目的関数値を改善しうる施設規模の代替案を求め、その代替案を再びシミュレーションモデルに入力するというサイクルを繰返すことによって、最終的な施設規模の代替案を設計しようとするものである。

3. ハイブリッド型治水計画モデルの構成

本モデルで用いるシミュレーションモデルでは、①洪水被害現象を計画目的に適合した精度で合理的に再現すること、②入出力の関係が確定的でありかつ代替案が比較的簡単な数量として表現できること、③比較的計算時間の短いシミュレーションモデルであること、等々の要件を満足していなければならない。そこで、a) 斜面上の流れの非線形性が表現できること、b) 河道の洪水伝搬機能が表現できること、c) 土地利用の形態の差異による流出が表現できること、d) 氾濫現象が表現できること、e) 発生する被害状況をとらえる事ができること、f) 種々の治水対策がモデルに組みこめることを挙げて、個別のサブモデルについて検討を加えた。そして、要件①～③を総合的に勘案して図-2に示すシミュレーションモデルを構築した。このシ

ミュレーションモデルは、個々には決して精度が高いとは言えないが、データや探索手法の精度、計算時間等も考慮すると、全体としては十分適用可能であると判断した。

またハイブリッド型治水計画モデルに用いる最適化手法は、目的関数値や制約条件値がシミュレーションモデルの出力値であることや最大成分最小化問題を取り扱うことより、①関数形が明らかでない問題に対応できること、②制約条件を考慮できること、③アクセス回数が少ないこと、④微分不可能点が存在しても影響を受けないこと、等々を満足する手法でなければならない。これらの事項を考えて、本研究では最適化手法としてコンプレックス法を用いることにした。

4. ハイブリッド型治水計画モデルによる代替案設計方法に関する検討

本モデルは、目的関数値や制約条件値をシミュレーションモデルの出力値として表現するため、出力結果の動向を的確に把握し、最適解にできるだけ効率的に接近していく方法をとる必要がある。また関数形が明らかでないため非線形の問題にも対処できる方法である必要があるが、一般の非線形問題は、局所解の存在という問題があり、全域的な最適解を少数の探索によって得られる保証がない。

そこで、本研究ではこのような問題を解決するために図-3に示す方法を用いることとした。すなわち、まず解空間の概略的認識を実験計画法によるシミュレーション実験によって行なう。ついで、それらを参考にしつつ直交多項式によって近似曲面を作成し近似解を求める。さらにそれにもとづいて最適解の近傍と判断される位置に初期解を設定し、その段階で始めてハイブリッド型治水計画モデル

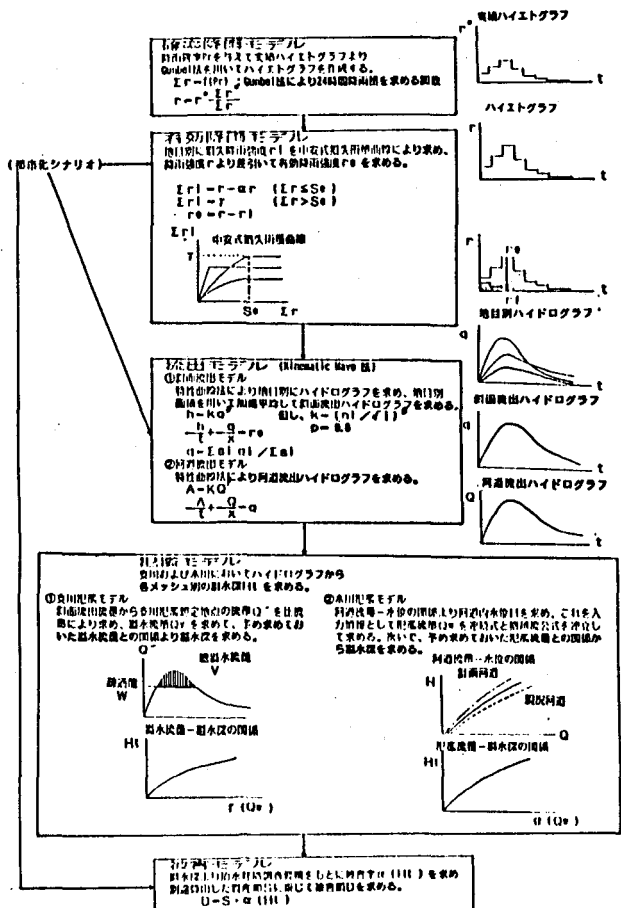


図-2 シミュレーションモデルの構成

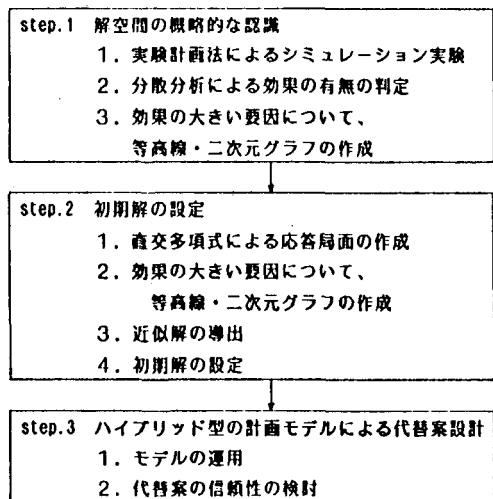


図-3 計画代替案設計のプロセス

直交多項式によって近似曲面を作成し近似解を求める。さらにそれにもとづいて最適解の近傍と判断される位置に初期解を設定し、その段階で始めてハイブリッド型治水計画モデル

ルを運用し最適な代替案を導出しようとする方法である。特に本方法においては求解の効率化や解の信頼性の保証のために『初期解の設定』は、欠くことのできないものでありその詳しい手順を図-4に示した。つまりまず各要因の3水準の実験を行なう。ついで各要因の水準数を実験データの精度を等しくするように変更する。そして、解空間を単純な形で表わすことができるなどの利点を持つ直交多項式を用いて、近似曲面を作成する。最後にこのようにして求められた近似曲面上で最適化計算を行なって近似解を導出し、求められた近似解のシミュレーション結果を検討し、求めた近似解の近傍の実行可能領域に初期解を設定するという方法である。この際に要因の水準数を合理的な判断のもとで設定しうる方法として、曲面近似率（要因 A_i に関する n_i 水準実験が M 水準実験（ M は十分大きな整数）の変動に占める割り合い）を指標とすることにした。また、直交多項式の項を決定する指標としては全体的変動に対するその項の寄与率を用いることとした。

5. 実証的検討 本研究では、大阪府と兵庫県境を流れる淀川の一支出である猪名川の流域を対象として実証分析を行なった。猪名川流域は、都市化の進展によって治水安全度が低下しているにもかかわらず、都市化の進展に比して治水施設の整備が遅れている流域である。本研究では、当流域の治水施設の配置・規模決定問題を、被害金額の期待値を評価尺度とする費用制約下の最大成分最小化問題として規定し、図-5のように定式化した。ここで、費用制約下の問題であるから費用と効果の關係に着目し、予め費用に対する効率を求めておくことが有効であると考えられるので、本研究では施設の規模を各施設への投資額で表現することとした。また制約条件としては、

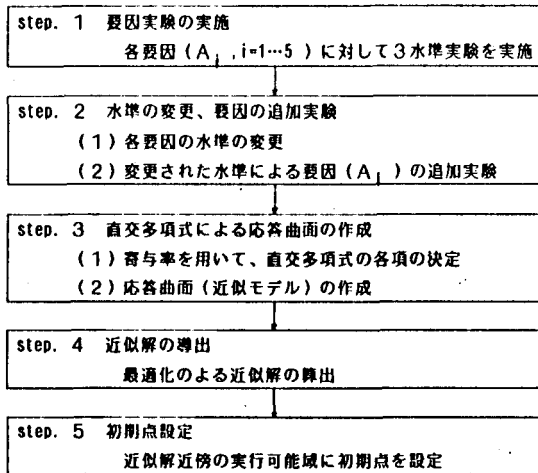


図-4 近似曲面を用いた初期点設定のプロセス

目的関数
$$\text{MAX } \overline{D_i}(f_j^i(e)) \longrightarrow \text{min}$$

$$i \in \Omega \quad \Omega = (\text{地域 } i \text{ の集合})$$

制約条件

1. 治水安全度確保のための制約

$$\overline{D_i}(f_j^i(e)) \leq \overline{D_i}(f_j^i(e_0))$$

2. 下流の被災防止のための制約

$$Q(f_j^i(e)) \leq W$$

3. 総費用の制約

$$\sum_{j=1}^m c_j = C$$

4. 治水施設規模の制約

$$c_j \leq c_j \leq c_j$$

$\overline{D_i}$: 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疎通能
 f_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
 e : 治水施設整備の投資額の組合せ
 e_0 : 現況の治水施設整備の投資額の組合せ

注) $\overline{D}, Q$ はシミュレーションモデルよりの出力値

図-5 計画モデルの定式化

下流の破堤防止、総費用、治水安全度の確保、各治水施設の規模の4種を想定している。以下に、図-3のプロセスに従って行なった分析の一部を示す。まず近似曲面については、その基準値の設定方法について判断を下すことは困難であるが、本モデルにおいては水準数の変更の指標である曲面変化率の変化率が0.5以下であれば、それ以上水準数の変更を行ななくても良いと判断できた。また、図-6に示すように真の曲面が変化に富んでいる場合はあまり一致していなかったが、真の曲面が変化に乏しい場合は良く一致していた。そして本研究では、近似解の近傍に初期解を設定してハイブリッド型治水計画モデルを運用して最適解を求めたが、その結果を表-1に示した。これらの結果から本方法による設定方法が、最適解の探索を効率的に行なえる位置に初期解を設定しうることを示していると判断できた。またこのような手順の後に、ハイブリッド型治水計画モデルを運用すると十分な精度で最適解に到達することが明らかとなった。以上のことより『初期解の設定』は、解の信頼性、求解の効率性に大きく役立っていることが確認できた。従って、この検討を通してハイブリッド型治水計画モデルによる代替案設計方法が、治水における最大成分最小化問題に対して効率的で十分有効な方法であることがわかった。これらの検討の詳細については講演時に述べることにする。

6. おわりに 本研究では、ハイブリッド型治水計画モデルを用いた代替案設計方法を提案し実証的検討を加えた。しかし各要因の水準の設定方法を含めた初期解の設定方法やモデル運用の実用的な手順については、検討を加えておく必要があると考えられる事項を多く残しており、今後それらについてより詳細な検討を加えて充実したものにしていきたいと考えている。

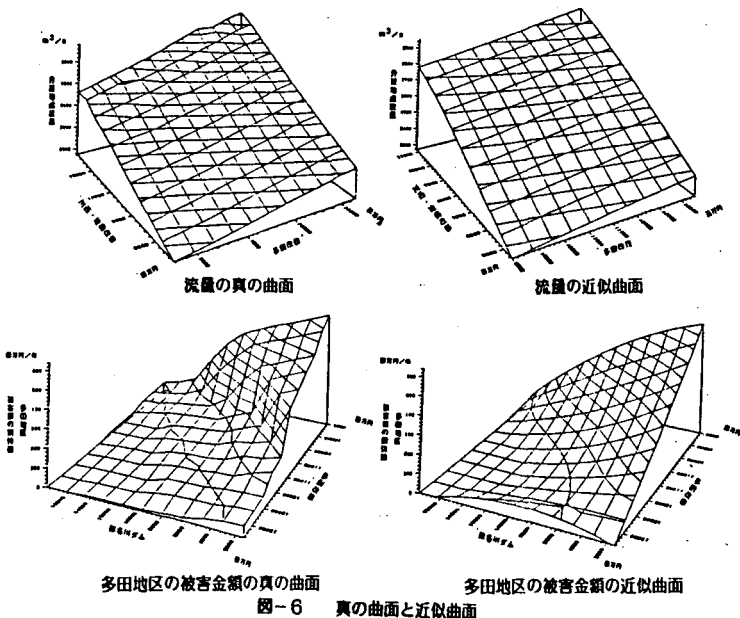


図-6 真の曲面と近似曲面

表-1 計画代替案設計結果(総費用250億円)

(単位 百万円/年)											
250億	猪名川 ダム	多田 治水地	多田 改修	川西、地田 改修	支川 改修	総投 資額	目的 簡略値	各地区の被害額削減率			分派地点 流量
								多田地区	川西、地田地区	支川地区	
近似曲面上の解	1857.09	464.16	7421.36	9256.55	5168.27	24167.43					
近似曲面上の解のシミュレーション出力値 (1430.38)	(19214.34)	(731.07)	(1377.91)	(1.05)	24167.43	2469.92	2469.92	2113.82	796.27	2385.58	
ハイブリッド型計画 モデルの初期点 (1440.15)	(0.00)	(891.28)	(1519.54)	(1.30)	24900.00	1588.60	1084.09	1588.60	833.02	2476.97	
ハイブリッド型計画 モデルによる解 (1446.52)	(4.14)	(926.28)	(1570.62)	(1.35)	24992.66	1042.97	1042.97	914.81	878.42	2505.51	
解近傍の改善値 (1450.00)	(0.00)	(947.49)	(1563.38)	(1.35)	24994.56	1018.17	1018.17	945.32	878.42	2505.51	

(単位 百万円/年)