

ハイブリット型治水計画モデルの解法に関する研究

A Study on a Methodology to Design Alternatives by Hybrid-Type
Planning Model of Flood Control Facilities.

吉川 和広 春名 攻 渡邊 泰也 田井中 靖久
by Kazuhiro YOSHIKAWA, Mamoru HARUNA, Yasunari WATANABE, Yasuhisa TAINAKA

In this study a methodology to design alternatives of flood control facilities at an urbanised basin area utilizing the hybrid-type planning model is developed as optimization model, in which flood run-off simulation models is embedded.

At the first stage, the concept and logic to compose the stage-wised planning process are discussed, and in order to establish a effective methodology to design planning alternatives hybrid-type optimization model, in which flood run-off simulation models is embedded, is proposed.

At the second stage, focusing at the developing problem of step-wised algorithm to obtain optimal solution as an alternative plan, some experimental studies are dissussed, and the step-wised algorithm is proposed to solve the hybrid planning model based on these experimental studies.

At the thrird stage, the applicability of the hybrid-type planning model is evidenced through the case study carried out at the Ina River basin area.

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

* キーワーズ：治水計画、数理計画モデル、システム分析

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科 (〒 606 京都左京区吉田本町)

*** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科 (同上)

**** 学生会員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 (同上)

***** 学生会員 京都大学大学院工学研究科交通土木工学専攻 (同上)

る。また、都市化流域における水害の発生危険度の増大に伴い、都市防災という観点からの治水計画問題は都市化流域計画の中で重要な課題となってきた。われわれは、このような問題に対して、都市化流域の治水施設計画問題を対象とした合理的な計画代替案設計方法に関して継続的に検討を行ってきた。本稿では、この研究の概要を簡単に示すとともに、研究課題として残されてきたハイブリット型のモデルを用いた計画代替案の設計方法の効率化のためのモデルの解法に焦点をあて、様々な数理実験的分析の成果を示すとともに1つの解法を提案し、実証分析を通して本解法の有効性の検証を行なった。

2. 検討プロセスとハイブリッド型計画モデルの提案

都市化流域の治水計画問題は、流域内の社会システムや洪水被害現象の生起メカニズムの複雑性により、従来と比べてかなり高度化・複雑化しており、

この構造的な複雑さを十分に反映した方法論を構築する必要がある。すなわち、種々の社会・経済的な状況や物理的な現象の分析を多側面から積み重ねて実施するとともに、計画化に関する多段階の検討・意思決定過程を含んだ方法論の開発が必要となってきた。

そこで本研究では、このような複雑な問題に対して合理的に対処するための合目的で効率的な意思決定過程として、図-1に示すつぎのようなプロセスを設計した。

まず第1ステップでは、対象地域の治水計画問題に関する検討対象課題を明らかにするために基礎的情報としての既存資料の収集や整理を行なうとともに、必要に応じてこれにもとづいた一次的分析を行なう。そしてこの分析を通して得られた認識を現況課題として抽出・整理し、現在対象流域が抱えている治水計画上の問題点の明確化を行なう。次に第2ステップでは、これらの問題を合理的に解決するための方法を検討するとともに、それらの成果をベースにして計画意図を反映する治水計画モデルの定式化を行なった後に、計画モデルの分析に用いるシナリオの設定を行なう。そして第3ステップでは、定式化された計画モデルを用いてパラメトリックなモデル分析を通して、治水施設の計画代替案を求めるとともに、これらに対して総合的な評価・検討を加えた後必要な計画情報を作成する。図-1の検討プロセスは以上のようなストーリーに従うプロセスシステムとして設計したものであるが、このような段階的なプロセスに従うことにより、計画化に対する客観性や合理性を保証でき、計画案の内容に対する関係者のコンセンサスも得やすくなると考えたのである。

ここでの計画代替案の設計では、現況分析の成果を十分に踏まえつつ、対象とする問題を解決するための計画意図を反映した計画モデルの定式化・定形化を行ない、計画モデルを操作して計画問題に対して多様な角度からの分析を行ない問題解決のための具体的手段（案）を選択的に作成していくという行為をめざしている。従って、用いる方法論は洪水被害現象に基づいたrealityを保証していること（現

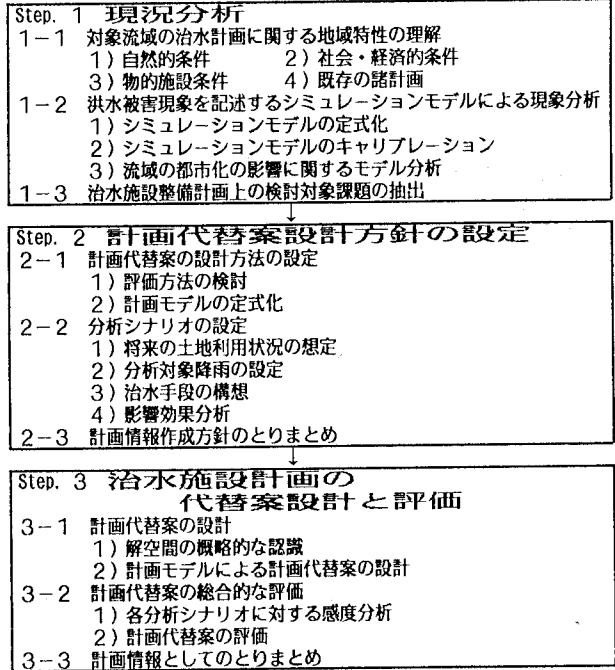


図-1 治水計画問題に対する検討プロセス

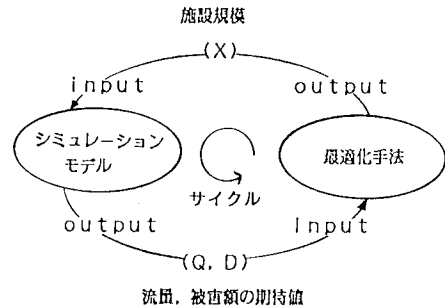


図-2 ハイブリッド型計画モデルの構成

象合理性）、計画代替案が他の案に対して相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し、ひいては分析の実行性に多大な影響を与える効率性（モデルの操作性）の3つの要件を満足しなければならない。本研究においては、洪水被害現象の再現を行なうシミュレーションモデル（現象合理性の確保）と、計画意図を反映して定式化された数理計画モデル（目的合理性の確保）とを混成して、『ハイブリッド型計画モデル』を作成し、これを効率的に運用することで、上述の要件を満たす代替案の設計方法の構築をめざしたものである。

いま、開発したハイブリッド型計画モデルの構成

を示すと図-2のようである。この図にあるモデル構造を簡単に述べると、『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』と表わすことができる。すなわち、本モデルではシミュレーションモデルの入力値である各治水施設の規模（ X ）を変数とし、シミュレーションモデルの出力値である流量（ Q ）・被害額の期待値（ D ）を制約条件値・目的関数値とする数理計画モデルを解くという“解法のサイクル”を繰り返す構造となっているのである。（具体的な定式化は、実証検討のところで述べる。）そこで、本モデルで用いるシミュレーションモデルは、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

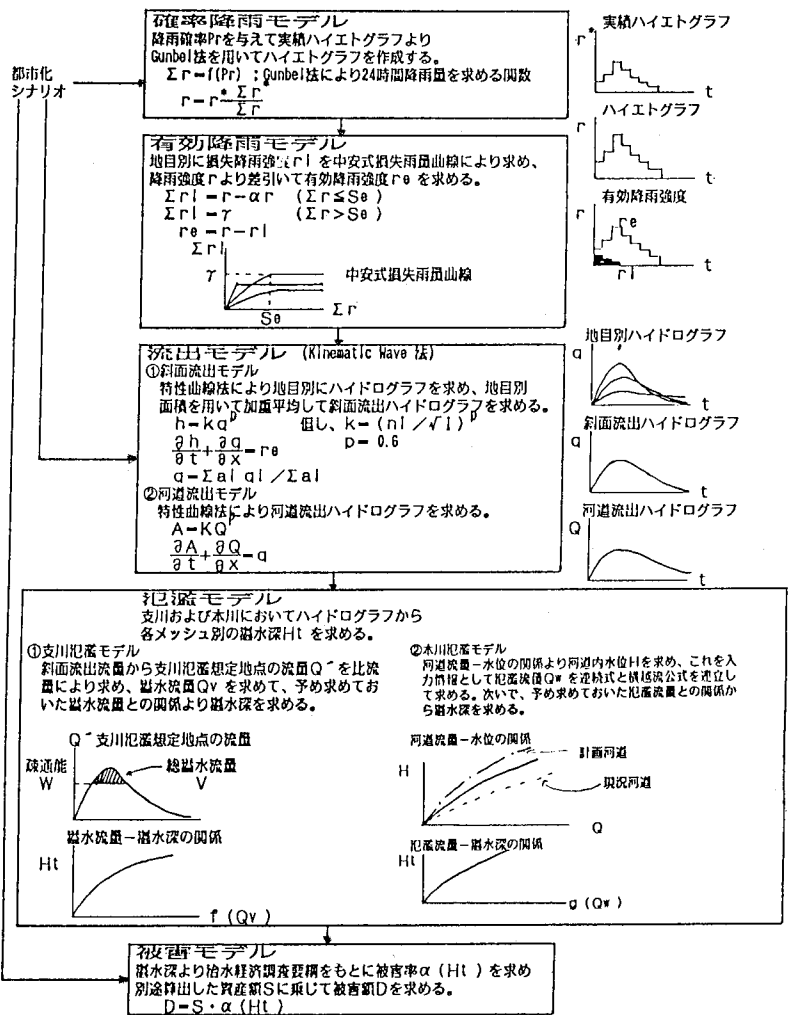


図-3 シミュレーションモデルの概要

表-1 ハイブリッド型計画モデルに用いた最適化手法

	手法1 (コンプレックス法)	手法2 (Box-Wilson法と許容方向法)
制約にかからない 場合の動作	鏡映・伸長・収縮・縮小	最急勾配探索
制約にかかった 場合の動作	陽的制約 制約の内側へリセット 陰的制約 許容域に入るまで 重心方向に収縮	線形制約 勾配影探索 非線形制約 実行可能方向探索

3. モデルの解法に関する検討

ハイブリッド型計画モデルの問題の解法を開発するにあたって、まず先に述べた2つの手法の求解上の特徴、すなわち探索の効率性・信頼性等の比較を行ない解法開発にとって有効な情報を求める目的で、

図-4に示すような簡単な問題に対する運用実験を行なった。

この結果、手法1はすべての例題をとおして、概ね効率性・信頼性ともに良好であるという結果を得た。しかしコンプレックス法の欠点である制約上での縮退を生じることがあることもわかった。そこで、この縮退を防止するため、コンプレックスがある程度小さくなり縮退を起こす可能性が高くなった場合、制約条件の境界を避ける方向にコンプレックスを動かす操作を加えることで対処することにした。ただしこの操作を加えると探索効率は多少低下することもあった。この結果より、実流域の計画問題に対してはつぎのような工夫を加えた。すなわち、後で述べる方法により探索の初期解を最適解近傍とみられる点に設定することにより、縮退の可能性が弱まると考えた。そして、効率性を考慮してまず縮退を避ける操作を加えない手法を用いて探索を行ない、次に解が制約上で縮退したかどうかを検討し、縮退が生じていたなら、制約を避ける操作を付加して探索を続行させることが、効率上有効であると判断して解法を改善した。

つぎに、手法2に対する運用実験においてはつぎのような結果が得られた。すなわち、単一目的問題の例では比較的効率性・信頼性の高い探索を行なったが、最大成分最小化問題を対象とした運用実験においては信頼性の高い探索は行なわれなかった。これは、手法2が探索点の近傍の実験点の実験結果にもとずいて目的関数・制約条件の傾斜を求める場合に、微分不可能領域を有する目的関数の谷を探索するときに、谷をはさんで実験点を構成出来ない点にもとずいている。すなわちこの場合、谷の一方の斜面に実験点をとると、谷底では微分係数が不連続であるから両側の斜面に交互に探索点に移るだけになってしまい、このような直線探索を繰返すこととなり探索が停止してしまうためである。このように、手法2による探索は探索の信頼性に問題があると判断された。

以上のような実験的検討の成果を踏まえて、実際の治水施設の計画問題の分析で用いるハイブリッド型計画モデルの解法として手法1の解法すなわちコ

- (1) 制約条件のない問題

①単一目的最小化問題（ケースⅠ）
 目的関数 $F=(x-500)^2+3(y-500)^2 \longrightarrow \min$

②最大成分最小化問題（ケースⅡ）
 目的関数 $\max\{f_1, f_2\} \longrightarrow \min$
 $f_1=3(X-200)^2+4(y-200)^2$
 $f_2=2(X-400)^2-(y-400)^2+350000$

(2) 線形制約付きの問題（線形制約上に最適解がある場合）

①単一目的最小化問題（ケースⅢ）
 目的関数 $F=(x-500)^2+3(y-500)^2 \longrightarrow \min$
 制約条件 $0 \leq x \leq 1000, 0 \leq y \leq 1000$

②最大成分最小化問題（ケースⅣ）
 目的関数 $\max\{f_1, f_2\} \longrightarrow \min$
 $f_1=3(X-200)^2+4(y-200)^2$
 $f_2=2(X-400)^2-(y-400)^2+350000$
 制約条件 $0 \leq x \leq 1000, 0 \leq y \leq 1000, x+y \leq 150$

(3) 非線形制約付きの問題（非線形制約上に最適解がある場合）

①単一目的最小化問題（ケースⅤ）
 目的関数 $F=(x-500)^2+3(y-500)^2 \longrightarrow \min$
 制約条件 $0 \leq x \leq 1000, 0 \leq y \leq 1000, x+y \leq 1000$

②最大成分最小化問題（ケースⅥ）
 目的関数 $\max\{f_1, f_2\} \longrightarrow \min$
 $f_1=3(X-200)^2+4(y-200)^2$
 $f_2=2(X-400)^2-(y-400)^2+350000$
 制約条件 $0 \leq x \leq 1000, 0 \leq y \leq 1000, xy \leq 4000$

図-4 モデルの運用実験に用いた問題

ンプレックス法を採用することとしたのである。

次に、ハイブリッド型計画モデルを運用し実際の代替案を設計するための、効率的で信頼性の高い解法のアルゴリズムに関する考察を行なうこととした。先述したようにハイブリッド型計画モデルは、目的関数値や制約条件値をシミュレーションモデルを用いて求めるようにしているため、数学モデルとして表わされる一般形の非線形問題以上に困難な問題であると考えられた。そこで、まず本計画モデルでは、シミュレーションモデルの出力結果の動向を的確に把握し、最適解に出来るだけ効率的に接近していく方法を用いることが必要であると考えた。また一般の非線形問題を解く場合と同様に局所解の存在という面倒な問題があり、全域的な最適解を少数の探索によって得られるという絶対的な保証がない。

さらに、本モデルでの探索の効率化を図るためには、シミュレーションモデルとのアクセス回数を減らすことが求解における計算の効率化のために重要なことであるという問題がある。特に、実証検討で取上げるハイブリッド型計画モデルにおけるシミュレーションモデルも決して小規模なものでないで、計算効率上の工夫を行なうことが必要である。また、通常の非線形問題とは異なって求解の挙動を事前に

検討することができないモデル構造となっているので、大域的な最適解を求めるためには、多大な計算を覚悟しなければならない。

本研究ではこのような問題を解決するため、図-5に示すような方法を改善案として設計して用いることとした。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。次いでその結果を参考にして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計画モデルを運用し、最適な代替案を導出しようとするものである。この様な段階的なアルゴリズムを用いることによって求解の効率化や解の信頼性の向上を図った。特にこの解法のアルゴリズムの効率化のためには、適切な位置への『初期解の設定』は、欠くことのできないものであると考えて検討を加え、図-6のような設定手順を定めた。

ここではまず各要因の3水準の実験を行ない、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こととしている。しかし、近似の精度をあげるためだけにまったくシミュレーション実験を行なうことは、かえって分析上の効率を悪くすることとなり、これがハイブリッド型計画モデルの適用のための大きな制約となつては当初の目的が達成できないこととなる。そこでここでは近似のためのシミュレーション実験の効率化を図りつつ精度の良い近似曲面を作成することをめざして、つぎのような工夫を行なった。まず、要因の水準数を合理的な判断のもとで設定しうする方法として、曲面近似率（要因 A_i に関する n_i 水準実験の変動が M 水準実験（ M は十分大きな整数）の変動に占める割合）を指標とすることにした。つぎに、解空間をできるだけ簡単な形で表現でき、かつ変数間の相互作用にもとづく重共線性の問題をまったく生じない直交多項式を用いて近似曲面を作成する。ここで、直交多項式の項を決定する指標としては、全体の變動に対するその項の寄与率を用いることとした。最後にこのようにして求められた近似曲面でSUMT (Sequential Unconstrained Minimization Techniq

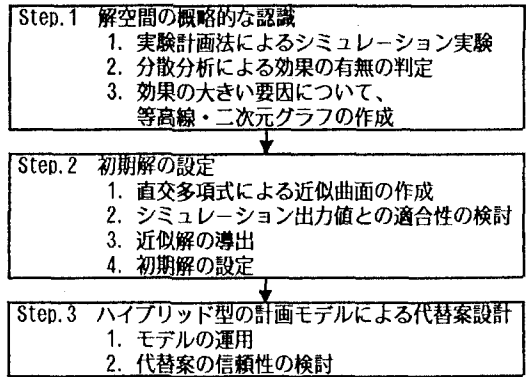


図-5 計画代替案設計のプロセス

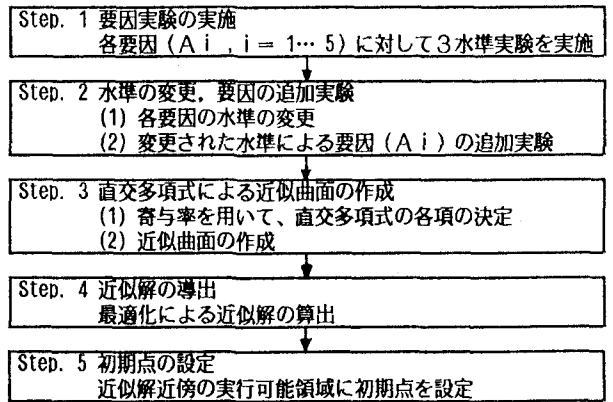


図-6 近似曲面を用いた初期点の設定プロセス

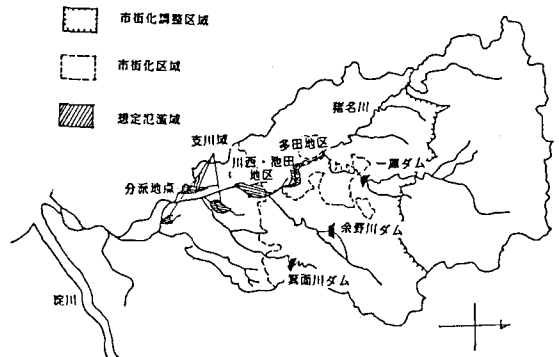


図-7 猪名川流域の概要

ue) を用いて最適化計算を行なって近似解を導出し、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をとることとしたのである。

4. 実証検討

ここでは、大阪府と兵庫県境を流れる淀川の一支出である猪名川流域（図-7）を対象として、前述

した治水計画問題の検討プロセス

に従った事例検討について述べる。そして、前章で述べたハイブリッド型計画モデルの解法を用いた代替案設計方法の適用性や有効性を実証レベルで検討することとする。

(1) 現況分析

過去の洪水実績に関する分析やシミュレーションモデルを用いた分析等の様々な分析を行った結果、表-2に示すような治水計画上の問題が明らかとなった。

(2) 計画代替案設計方針の設定

現況分析の結果をもとに、ここでは治水施設整備の基本方針を『治水安全度の地域的な不均等を是正しつつ流域の治水安全度の確保・向上をめざした効率的な施設整備を流域の適切な都市化の想定のもとで行なうこと。』と設定した。そこで、当流域の治水施設計画問題を、被害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-8のように定式化した。

まず、目的関数として、①多田地区の被害額の期待値、②川西・池田地区の被害額の期待値、③支川流域の被害額の期待値の3種類を想定し、制約条件としては、(1) 治水安全度確保のための制約条件、(2) 下流の破堤防止のための制約条件、(3) 総費用の制約条件、(4) 治水規模の制約条件、の4種類を想定した。また、費用制約下の問題であるから費用と効果の関係に着目し、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、本研究では施設規模を各施設への投資額で表現することとした。

ここで、本モデル分析で用いた分析シナリオを簡単に述べておくこととする。まず、流域の都市化状況の想定は、過去の都市化の進展状況と流域開発計画等により、計画目標年次(昭和75年)における土地利用状況として想定した。ついで検討対象降雨は、実績降雨の中で最も危険な降雨波型を用いた。また、治水施設としては、工事実施計画等をもとに、実行可能性を考慮して、(A) 猪名川ダム、(B) 多田遊水地、(C) 多田地区の河道改修、(D) 川西・池田地区の河道改修、(E) 支川流域の河道改修を想定した。

表-2 猪名川流域における治水計画上の問題点

①流域の都市化
流域の都市化の進行が予想され、流域全体を通して治水安全度の低下を招く恐れがあること。従って流域の将来の土地利用状況を的確に把握し、それに対応した治水施設群の構成(配置・規模)を求めるべきであること。
②治水施設整備の困難性
都市化に伴い、用地確保等が困難になりつつあり、効率的・重点的投資を行なって治水安全度の確保・向上を図る必要があること。
③治水施設整備をめぐる競合関係
多田地区と川西・池田地区および一部支川流域は、流域内の地域(川西・池田地区より下流)と比較して治水安全度が低く、特に多田地区では、最小疎通能200m ³ /sと著しく治水安全度が低い。これらの地区では、いずれも氾濫域内に人口が集中しており、治水安全度の早急な改善が必要であるが、多田地区と川西・池田地区は、鼓ヶ滝狭窄部を挟んでそれぞれ上下流に位置し、両地区間に治水施設整備をめぐる競合関係が生じており、コンフリクトを解決し、合意に得られる整備案の策定が望まれる。

$$\text{目的関数} \quad \text{MAX} (\bar{D}_i(f_j^i(a))) \longrightarrow \min$$

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

制約条件

$$1. \text{ 治水安全度確保のための制約} \\ \bar{D}_i(f_j^i(c)) \leq \bar{D}_i(f_j^i(a))$$

$$2. \text{ 下流の破堤防止のための制約} \\ Q(f_j^i(a)) \leq W$$

$$3. \text{ 総費用の制約} \\ \sum_{j=1}^m c_j = C$$

$$4. \text{ 治水施設規模の制約} \\ c_j \leq c_j \leq \bar{c}_j$$

$\bar{D}_i$: 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
 $c_j, \bar{c}_j, \bar{c}_j$: 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組合せ
 a : 現況の治水施設整備の投資額の組合せ

注) $\bar{D}, Q$ はシミュレーションモデルよりの出力値

図-8 計画モデルの定式化

(3) 治水施設計画の代替案設計と評価

以上のような前提のもとで、図-5に示したプロセスに従ってハイブリッド型計画モデルを用いて治水施設計画の代替案の設計を行なった。

『解空間の概略的認識』においては、まず実験計画法にもとづいてシミュレーション実験を行なった後、各治水施設の目的関数値および制約条件値に対する効果の有無や変動の大きさを求めるため分散分析を行なった。その結果、目的関数に関して①では多田地区の河道改修、猪名川ダム、②では猪名川ダム、多田地区、川西・池田地区の河道改修、③では支川流域の河道改修、制約条件値である流量では猪名川ダム、多田地区、川西・池田地区の河道改修が、

大きく寄与していることがわかった。

次に、近似解の設定を図-6に示したプロセスにしたがって行なった。ここで、水準変更の指標として提案した曲面近似率の変化率に対して実験的な検討を行ない、概ね 0.5 以下であれば、水準数の変更を行なわなくても良いと判断した。そしてこれを用いて①～③の目的関数値と制約条件値である流量の解空間全体をひとつの近似曲面で表現した。そしてそれをシミュレーション実験の出力値と比較したところ、③と流量では近似曲面は初期解の設定に対しては満足できる精度であると判断したが、①と②では投資額が大きいところで近似曲面は初期解の設定に対しては満足できる精度であると判断できなかった。そこで多田地区の河道改修の投資額と川西・池田地区の河道改修の投資額のレンジを2分割することにし、解空間を①では2つ、②では4つに分割することにより、満足できる精度の近似曲面を求めた。ここで求めた近似曲面の一部とそれに対応するシミュレーション実験の出力値を図-9に示す。そして求めた近似曲面を用いてSUMTにより近似解を導出し、その近傍の実行可能域に初期解を設定した。

次に、その初期解をもとにハイブリッド型治水計画モデルを運用して最適な計画代替案を求めることとした。ここでは、総費用をパラメータとするパラメトリック分析を行なって投入費用に関する計画内容の変化状況として求めた(図-10、図-11)。この結果、総費用が小さいときは、川西・池田地区と多田地区といった治水安全度の低い地区へ重点的に投資すべきことが導かれた。そして、総費用が 300 億円以上では、三地区すべてに対して投資されるとともに、下流部の溢水防止のため貯留施設である猪名川

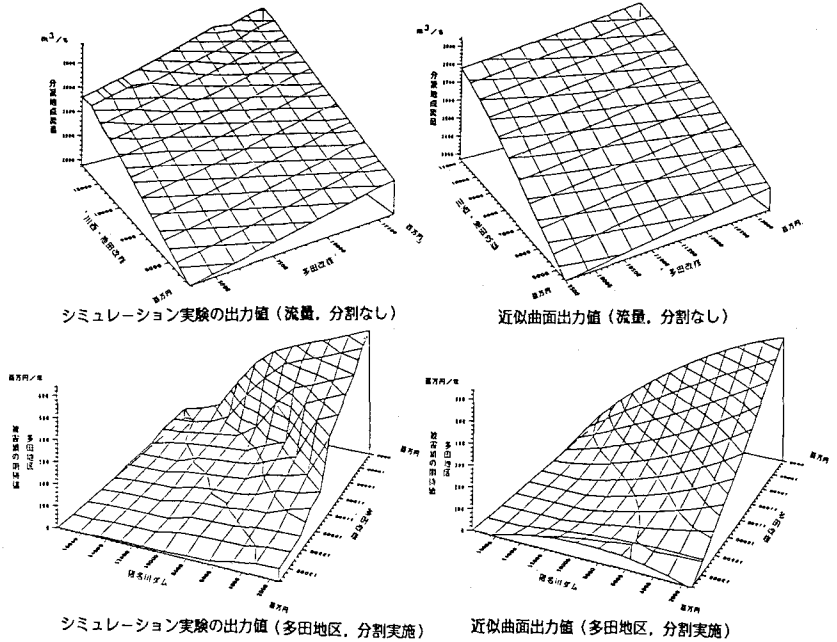


図-9 シミュレーション実験の出力値と近似曲面出力値

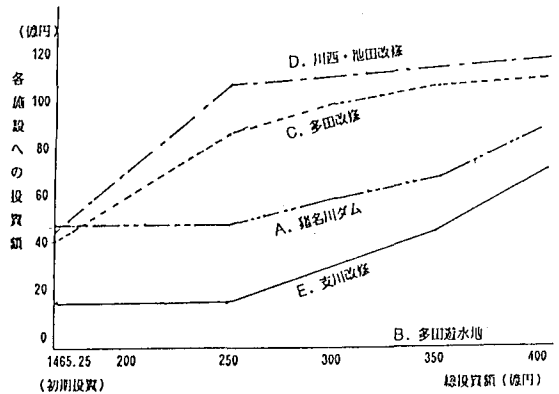


図-10 探索結果のパラメトリック分析 (施設構成)

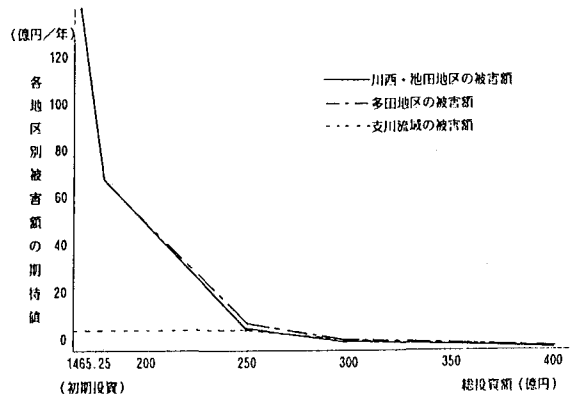


図-11 探索結果のパラメトリック分析 (地区被害額の期待値)

表-3 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 近水地	多田 改修	川西、池田 改修	支川 改修	総設 費額	目的 関数値	各地区の被害額削減率			分派地点 流量
								多田地区	川西、池田地区	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	1857.09 (1430.38)	464.16 (19214.34)	7421.36 (731.07)	9256.55 (1377.91)	5168.27 (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	1500.00 (1440.15)	0.00 (0.00)	8300.00 (891.28)	10000.00 (1519.54)	5000.00 (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	1449.00 (1446.52)	0.10 (4.14)	8484.42 (926.28)	10261.32 (1570.62)	4797.82 (1.35)	24992.66	1042.97	1042.97	914.81	878.42	2505.51
解近傍の改善値	1374.74 (1450.00)	0.00 (0.00)	8595.00 (947.49)	10227.00 (1563.38)	4797.82 (1.35)	24994.56	1018.17	1018.17	945.32	878.42	2505.51

ダムへの投資も必要であることが明らかとなった。このことから、流域の治水安全度の地区格差を是正しつつ、流域全体の治水安全度に関しては確保・向上しうような施設計画案を求めることができたと考ええる。

（４）本稿で提案したモデル解法の有効性

ここで、本稿において重点的に述べてきたモデル解法を用いた代替案設計方法の適用性や有効性について考察を行なうこととする。代替案の設計結果として総費用 250億円とした場合を例にとりて表-3に示した。まず、求められた解の信頼性を検証するために解の近傍でシミュレーション実験を行ない改善点を求めてみた（表最下段）。この結果、若干の解の改善を図ることが可能であったが、ハイブリット型計画モデルによる解はほぼ最適解と一致していると判断できた。次に、近似解とハイブリット型計画モデルによる解とを比較すると、各治水施設への投資額の差は最大8億円程度で近似解は最適解のおよその位置は示しているが、目的関数値が2倍と大きく違い、これを最適解とすることは精度上問題がある。

以上のことから、近似モデルより近似解を求め、これをもとにハイブリット型計画モデルを用いて最適解を求めるという解法は、信頼性の高い有効な解法であることが明らかとなった。

5. おわりに

本研究では、ハイブリット型計画モデルを用いた治水施設計画の代替案設計方法の中で、効率的な解法の開発という問題を取上げて進めた実験的検討の成果と、これらにもとづく解法アルゴリズムの提案を行なった。そして、このアルゴリズムを猪名川流域の治水施設計画問題に適用してその有効性や信頼性について実証的な検討を行ない良好な結果を得た。

今後に残された課題としては以下の事項が挙げられる。まずハイブリッド型計画モデルを用いた代替案設計方法に関しては①ハイブリッド型計画モデルで用いた最適化手法について、可能ならばさらに効率的で信頼性の高い探索を行なう手法の開発を行なう必要があること、②初期解の設定における応答曲面の作成方法の確立すること、特に曲面近似率の取扱いに関する考察を行なうこと、③このモデルの他の流域の治水施設計画問題への適用性や、他の計画問題への適用可能性に関する検討を行なうこと、等々が考えられる。また都市化流域の治水施設計画問題としての課題は、④流域の都市化の進展、特に人口・資産の集積の合理的な予測方法や資産の把握方法の確立等々が考えられる。今後は、これらの課題を克服するように研究の発展、充実に計りたいと考えている。

最後にこの研究を進めていくにあたり京都大学大学院で共同研究を行なった多々納裕一氏（島根県）、資料の提供や適切な助言を賜った建設省近畿地方建設局猪名川工事事務所調査第一課の町野健次課長、福地宣太郎氏、佛建設技術研究所岡田耕部長、金光泰秀氏、西田良夫氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉川・春名・多々納：都市化流域における治水計画問題のモデル分析、土木計画学研究・論文集、1985
- 2) 吉川・春名・多々納・渡邊：シミュレーションモデルを組み込んだ最適化モデルによる治水計画代替案設計に関する研究、昭和60年度土木学会関西支部学術講演概要
- 3) 吉川・春名・多々納・渡邊・田井中：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—昭和61年度土木学会関西支部学術講演概要