

避難可能性を考慮した氾濫原内治水対策システムの最適設計モデルに関する基礎的検討

FUNDAMENTAL STUDY ON OPTIMAL DESIGN OF FLOOD MITIGATION SYSTEMS IN FLOODPLAIN CONSIDERING EVACUATION SUCCESS RATE

堀 智晴¹・福永光記²・椎葉充晴³

Tomoharu HORI, Mitsunori FUKUNAGA and Michiharu SHIIBA

¹正会員 工博 京都大学助教授 大学院地球環境学堂 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 工修 NTTコムウェア株式会社 (〒108-8019 東京都港区港南1-9-1)

³正会員 工博 京都大学教授 大学院地球環境学堂 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

An algorithm to search the optimal solution is proposed for the design problem of countermeasures taken in a floodplain against inundation. The design problem is formulated as to find the land augment pattern which maximizes the evacuation success rate under the constraint of total land level augmentation volume. Two-level random search method is developed to obtain the optimal solution for the problem avoiding impractical computational burden. The method comprises of two levels of searching: one is approximate solution search process based on simple estimation of inundation levels, and the other is strict optimization stage based on the actual simulation of flood inundation. The nested coupling of those two levels of searching has considerably deduced the computational burden caused by the inundation simulation and has enabled us to get practical solution for the design problem.

Using the optimization method proposed in this study, an attempt to estimate quantitatively the relation between facility-based countermeasures and so-called soft-ones for flood disaster mitigation.

Key Words : floods, evacuation system, optimal design, genetic algorithm, disaster mitigation, inundation, simulation

1. 序論

近年、治水対策に住民の意向を取り入れることが重要であるという認識が高まり、地域の水害に対する危険性(安全性)を分かりやすい形態で表現することが必要になってきた。また、不確実ではあるものの地球温暖化の影響が洪水の規模を増大させるのではないかということも指摘され、施設による災害対策のほか、不幸にして洪水氾濫が生じた場合の行政や住民による災害対応が益々重要になりつつある。このような背景のもと、氾濫原の微地形や建物構造を反映できる詳細な氾濫解析手法^{1,2)}や、ハザードマップなどの情報や水害の経験などと避難行動との関係^{3,4)}、避難行動のコンピュータ上でのシミュレーション^{5,6)}などに関する研究が盛んに行われている。また、治水のための対策を河道に限定するのではなく、地域計画の一貫としてとらえたり、リスクの転嫁手法をも含めて洪水対策を考えようとする動きも広がっている。これらの考え方では、氾濫原における個々の位置のもつ危険度の詳細な把握とともに、対策システ

ムの持つ性能や最適性の把握が重要になる。

ところで、ダム貯水池や堤防のような河道における洪水対策のレベルの高低にかかわらず、洪水災害に対して、行政や住民の対応によって被害が壊滅的になることを防ごうとする場合、土地利用の規制や施設の耐水化、避難といった氾濫原内で取られる対策がきわめて重要になってくる。中でも避難は、壊滅的危機を回避する方法として、積極的な洪水対策に位置づけられるまでになって来ている。しかし、避難システムに関する研究は、現地調査に基づいて住民の意思決定や行動特性を明らかにしようとするものや、それに基づき避難行動をシミュレートするモデルの開発が中心であって、避難を円滑に行うために氾濫原で取りうる対策、例えば、避難経路の耐水化をいかに設計するか、あるいは、避難を支援するために氾濫流を制御するためには、どのような施設配置が適当かといった設計問題に対するアプローチは少ない。

従来、こういった治水システムの設計問題に対する最適化アプローチは、河道対策を中心とする施設の配置・規模問題、あるいは、建設手順問題の解法に関するもの

が中心であった^{7,8,9)}。これらの問題では、決定変数が河道対策に限定されるものの、堤防やダムの配置・規模に応じて期待被害額や氾濫確率を求めるための洪水追跡シミュレーションの計算負荷が大きく、いかに効率的に代替案を絞り込み解探索を行うかが研究の中心となっていた。しかし、氾濫原内での対策を考える場合には、どのような計画問題であっても、氾濫シミュレーションが不可欠になり、計算負荷は河道対策を中心とした設計問題に比べてより大きくなってしまう。したがって、氾濫原における洪水対策の最適設計を可能にするためには、解探索の精度を落とさずに、この計算負荷をいかに回避するかが鍵となるといっても過言ではない。

そこで本研究では、避難行動を円滑化するための避難経路の耐水化、具体的には、土地の嵩上げ問題を例にとり、氾濫原における洪水対策システムの最適設計手法について考察することにする。

2. 避難可能性を指標とした避難経路耐水化問題の定式化

(1) 治水対策における氾濫原対策の位置づけ

治水対策は、それが実施される場に着目すると、流出抑制などの流域対策、ダム貯水池や堤防による河道対策、氾濫生起後の氾濫流の制御や避難、施設の耐水化といった氾濫原対策の三つに分類することができる。また、対策が施設によるものかどうかによって、ハード対策とソフト対策という分類もある。流域対策や河道対策のほとんどはハード対策であるが、氾濫原対策は、土地のかさ上げや施設の耐水化といったハード対応と、土地利用規制や避難といった社会システムによる対応との両者を含むことが特徴である。さらに、治水対策が予防を主な目的としているか、災害発生時の対応であるかといった分類も可能である。もちろん、ダム貯水池のように、予め予防のために造られた施設でも運用によってその効果が異なるものもあり、この分類は絶対的なものではない。

従来、治水計画といえば、以上の治水対策のうち、予防のための施設群をいかに効率的に配置するか、また、建設手順をどのように定めるかといった施設計画の意味合いが強かった。これに対し、最近では、ある程度の氾濫を受け入れ、氾濫が生じた際には被害を最小限に食い止めるための対応を行えばよいといった議論もある。これらの議論は、主として環境面や平常時の河川へのアクセシビリティの確保といった側面から、あるいは、治水施設整備にかかる時間や経費の節約といった側面から出てきたものである。しかし、こういった議論をするためには、災害対応の内容によってどの程度安全性を向上させることができるのか、あるいは、同程度の被害軽減を達成するためには、災害対応ではどのような方策があり、施設対応ではどうなのか、さらには、両者のコストはどうかといった点を明確にしておかなければならない。

一方、治水対策の範囲を、洪水流対策に加え、氾濫原対策まで含めて考えることになると、治水システム全体の設計は、きわめて大規模な問題になる。また、流域対策や河道対策と氾濫原対策とでは、安全度評価の仕組みが異なることにも注意しなければならない。前者では基本高水の非超過確率を安全度と捉えることができるのに対し、氾濫原対策では、個々の地先での安全度評価が必要になってくる。また、それぞれの対策の効果の現れ方の違いも重要である。流域対策や河道対策の場合には、溢水の生起する確率の低下という形で効果の現れ方が明確かつ確実である。氾濫原対策の場合には、それが土地の嵩上げや二線堤などの施設によるものであっても、破堤地点によって効果が異なるなど、多くの不確実性を含むことが多い。さらに、避難システムなどの人間の対応行動を含む場合には、その不確実性を増すことになる。

以上のように考えると、ある程度の浸水は許容し、対応行動で被害を最小限に食い止めようという議論があっても、対応行動まで含めた形で、治水システム全体の設計を行うことはきわめて難しいといわざるを得ない。そこで、本研究では、氾濫原対策のうち、主として人間の洪水災害対応の中心となる避難行動を取り上げ、避難行動を円滑に行うための経路の耐水化といった問題を解く方法について考察することにする。

(2) 避難可能性を指標とした氾濫原内治水対策問題の定式化

いま、対象領域において全人口を p_{total} とし、ある氾濫外力のもと制限時間内に避難所に到達できた人数を p_{success} としたときの避難成功率 θ を

$$\theta = p_{\text{success}} / p_{\text{total}}$$

で定義する。 θ は氾濫原内での避難経路の嵩上げパターン $\mathbf{x}$ の関数であると同時に、氾濫流の規模や行動特性に依存する。そこで、これら不確実性を含む要素をベクトル $\mathbf{w}$ で表すと、避難成功率 θ は $\mathbf{x}$ と $\mathbf{w}$ の関数として $\theta = g(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ とかける。対策にかかるコストは土地の嵩上げ $\mathbf{x}$ の関数であり、 $h(\mathbf{x})$ と表す。いま、不確実性を含む要素 $\mathbf{w}$ の同時確率密度関数を $f_{\mathbf{w}}(\mathbf{w})$ と表すと、氾濫原内対策の設計問題は以下のように書ける。

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{x}} & \left[\int_{\mathbf{w} \in \Omega} g(\mathbf{x}, \mathbf{w}) f_{\mathbf{w}}(\mathbf{w}) d\mathbf{w} \right] \\ \text{subj. to} & \\ & h(\mathbf{x}) \leq h_{\text{max}} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 Ω は不確実性要素 $\mathbf{w}$ の標本空間である。

3. 避難経路耐水化設計問題の求解方法

(1) 求解アルゴリズム

式(1)で示される避難経路耐水化設計問題は、実行可能な解空間が非常に大きいことと、目的関数を構成する関数 $g(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ を解析的な形で表現することができず、シミュレーションを含むこととの二つの点から、解探索には膨大な計算が必要になる。例えば避難路の耐水化として土地嵩上げのみを考えた場合でも、嵩上げ場所や高さの組み合わせにより氾濫状況が変化する。したがって、ひとつの嵩上げ代替案に対して、まず氾濫シミュレーションを行い、浸水深データ等を得、これにもとづいて避難シミュレーションを行わなければ、その代替案における避難成功率を求めることはできない。例えば、対象領域をメッシュに区切って嵩上げ場所や高さを決めようとする場合、考えられる代替案の組み合わせは膨大になるから、そのままでは事実上解の探索を行うことは不可能である。さらに、以上は1つの氾濫外力を考えた場合であるが、破堤場所、破堤規模や越流水深などの不確実性を考慮すればより多くの計算負荷がかかることは言うまでもない。

ところで、1つの耐水化案に対して避難成功率を求めるために最も負荷がかかるのは、氾濫シミュレーションである。したがって、解探索の精度を大きく犠牲にすることなく、この回数を省略することができれば、求解過程における計算負荷を大幅に軽減することができる。この点に着目し、本研究では図-1に示す手順を提案する。

まず、現況の地盤高 $z_{(x,y)}^0$ をもとに氾濫シミュレーションを行い（ステージ1）、それによる氾濫水の動態、すなわち、位置 $(x, y) \in R$ 、時刻 t ($0 \leq t \leq T$) の浸水深 $h_{(x,y)}^1(t)$ を得る。ただし、 R は計画対象領域を、 T は氾濫を考慮する時間の上限値である。これをもとに避難シミュレーションを行えば、現況状態に対する避難成功率 θ^0 が得られる。そして、ステージ1の氾濫状況のもとで、避難成功率を最大にする耐水化案の組み合わせを探索する。この段階では、解の探索過程で個々の耐水化案に対して個別に氾濫シミュレーションを行うことはしない。例えば、解探索の過程で、地点 (x, y) の地盤高が Δz だけ嵩上げされる場合、その地点の浸水位 $h_{(x,y)}^1$ を、

$$h_{(x,y)}^1 = \max[h_{(x,y)}^1(t) - \Delta z, 0] \quad (2)$$

とし、避難シミュレーションのみを行う。本来ならば、ある地点で地盤高の変更が行われれば、その影響は周辺にも及ぶため、新しい地盤高データをもとに氾濫シミュレーションを行わなくてはならない。しかし、すべての代替案に対して氾濫シミュレーションを行うのは、計算時間の観点から非現実的である。そこで、避難路の耐水化を行ったところは、その効果が耐水化された場所に最も大きく発現すると仮定し、上述の方法で、まず、避難成功率を最大化する地盤嵩上げパターンの近時解 $z_{(x,y)}^1$ とそれに対する避難成功率 θ^* を得ることにする。

さて、ステージ1で得られた地盤嵩上げパターンはあくまで近似解であって、正しい避難成功率が求められて

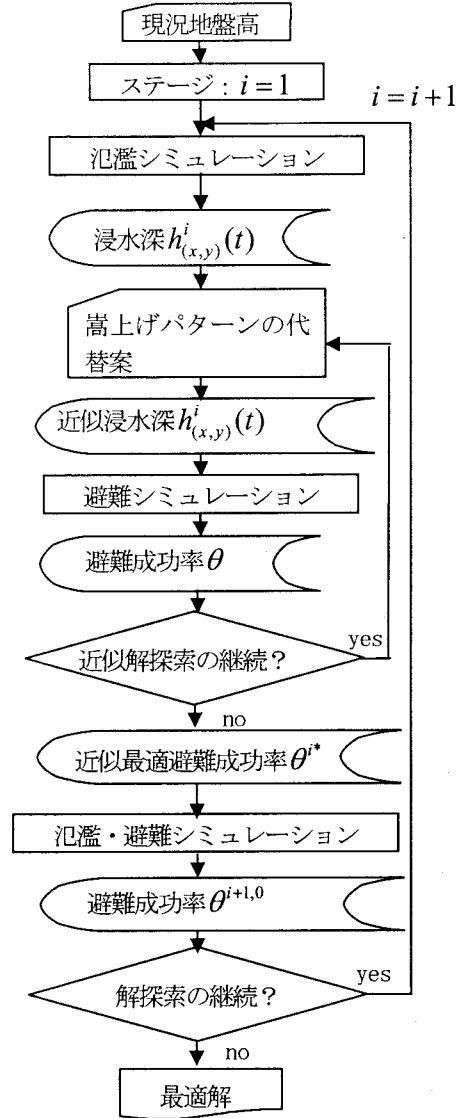


図-1 二段階探索法のアルゴリズム

いるわけではない。そこで、ステージ1で得られた最適嵩上げ計画を境界条件として氾濫シミュレーションを行い、この結果得られた浸水位を $h_{(x,y)}^2(t)$ とする。

$h_{(x,y)}^2(t)$ のもとで新たに避難シミュレーションを行えば、地盤嵩上げ計画 $z_{(x,y)}^1$ を正しく評価した避難成功率 $\theta^{2,0}$ が得られる。避難シミュレーションを行うもととなる氾濫解析結果が異なるため、同じ地盤高状態を対象として求められた避難成功率 θ^* と $\theta^{2,0}$ は異なる値となるはずである。そこで、今度は、氾濫計算結果 $h_{(x,y)}^2(t)$ に基づき、ステージ1と同様に、氾濫シミュレーションを省略しつつ、より高い避難成功率を与える解を探索する。この探索過程をステージ2とし、解の改善が見られなくなった時点の地盤高 $z_{(x,y)}^2$ とそれに対する避難成功率 θ^{2*} をステージ2における近似解とする。

以上の手順を繰り返せば、避難成功率を最大化する地

盤嵩上げ計画を、現実的な計算量で探索することが可能となる。本方法は、各ステージの最初に一度だけ氾濫シミュレーションを行うにとどめ、ステージ内では、式

(1) で与えられる近似的な氾濫状況を用いて解を探索することで、計算量を軽減しようとしている点に特徴がある。もちろん、各ステージ内での探索はあくまで近似的なものであるが、一旦近似解が得られた後、その解に対して氾濫シミュレーションを行うことで、氾濫水の動態に対する誤差は、ステージを経るたびにリセットされることになり、効率的な解探索が期待できる。なお、どの段階で探索ステージを打ち切るかが問題となるが、例えば、各ステージの最初に得られる避難成功率 $\theta^{i,0}$ (i はステージ番号、この値は近似値ではない) の推移を見て、解の改善が見られなくなった時点で解探索を終了するといった方法が考えられる。

なお、上述の解探索方法は、氾濫外力を1種類とした場合について説明したものであるが、例えば、破堤点を複数想定しそれぞれに破堤確率を与えるような場合には、各ステージの最初にそれぞれのケースに対する氾濫シミュレーションを行い、それをもとに複数の避難シミュレーションを通じて、避難成功率の平均値を求めるという手順を加えればよい。

(2) 遺伝的アルゴリズムによる近似解探索

ここでは、前節のアルゴリズムの中の各ステージにおける近似解探索手法について考える。

各ステージでは、氾濫水の動態を1ステージ前の近似解に基づくものに固定し、嵩上げの場所や量の組み合わせを変化させ、それに対する避難成功率を避難シミュレーションを通じて計算しつつ、より高い避難成功率を与える組み合わせを探索することになる。いま、対象領域が $n \times m$ 個のメッシュに区切られているとし、各メッシュの嵩上げ量を $\Delta z_0, \dots, \Delta z_{L-1}$ の L 段階に分けて考えることにしよう。このとき、決定変数ベクトル $\mathbf{x}$ は、

$$\mathbf{x} = (\Delta z_{11}, \Delta z_{12}, \dots, \Delta z_{ij}, \dots, \Delta z_{nm})$$

なる nm 個の要素を持つ。 Δz_{ij} はメッシュ (i, j) の嵩上げ高である。嵩上げ高を離散化して考えれば、ベクトル $\mathbf{x}$ は、嵩上げ高のレベルである $0, \dots, L-1$ の整数値を要素に持つベクトルに書き換えてもよい。

以上のように、氾濫原内の嵩上げ問題は、形式的には整数組み合わせ最適化問題となるが、目的関数はすでに述べたようにシミュレーションを含んでおり、応答曲面の形状特性を利用する数値最適化手法の利用は難しい。そこで本研究では、代替案に対する目的関数値のみから解の探索が可能な遺伝的アルゴリズム(GA)を各ステージ内での近似解探索に用いることにする。すでに、決定変数 $\mathbf{x}$ は整数を要素とするベクトルで表現しているため、これをそのままGAという遺伝子として取り扱うことが可能であり、 $\mathbf{x}$ に対して交差や突然変異の操作を加えることで、近似解の探索が可能になる。

ところで、GAを用いる場合、各世代で作りに出される遺伝子すなわち代替案が制約を満足するようにコントロールすることが難しい。一般には、交差や突然変異によ

て作り出された遺伝子が制約条件を満足するかどうかをチェックし、満足しないものは捨てるという操作が必要になる。しかし、この操作を機械的に行えば、ある世代で制約条件を満足する遺伝子が存在しなくなってしまう危険性がある。また、本研究で扱う問題の場合、地盤高の現況に応じて、ある程度嵩上げの必要などところとそうでないところの判断を行うことが可能である。例えば河川に近く地盤の低いところと、比較的遠くて地盤の高いところの解探索上の重要性は明らかに異なる。そこで、決定変数 $\mathbf{x}$ の要素の並びを、比較的嵩上げの必要性が高いと思われる河川近傍から順に配置することとし、並びの前から順に嵩上げ量の累計をとり、嵩上げ量の上限に達するところまでを採用するという方法をとることとした。

4. 二段階探索法の適用と考察

(1) 適用モデル地域と問題の設定

ここでは、第3章で提案した二段階探索法による避難経路の嵩上げ計画問題に適用してその性能と問題点を確認する。対象とするモデル地域は図-2に示す東西4.1km、南北4.85kmの矩形領域で、中央よりやや上部に北東から南西に向かって流れる河川がある。モデル地域は50m四方のメッシュに区切り、そのうち、グレーで塗りつぶした部分が本適用例における嵩上げ対象領域である。なお、グレーの領域内で白抜きされた部分は工場用地等避難経路を含まない部分である。今回の適用の主な目的は、第3章で提案した二段階解探索手法がどの程度解探索効率を高められるかを確認することにあるので、氾濫外力に不確実性は考えず、破堤点を図中の×印の位置に固定した。氾濫シミュレーションには、直交格子に基づく二次元一層モデルを用いている。

避難シミュレーションは、高棟らの水害避難マイクロモデル⁶⁾を簡略化したものを用いる。水害避難マイクロモデルは、住民を世帯単位で取り扱い、各世帯が現在の状況を危険と感じる程度を危険認識度という状態変数で表現することで、自主避難や指示避難を再現できるようにした避難行動シミュレーションモデルである。ただし、ここでは、避難開始時刻が避難成功率に及ぼす影響や土地嵩上げとの関係を見るため、避難開始の意思決定過程を世帯毎に表現することはせず、領域内の全員が指定され

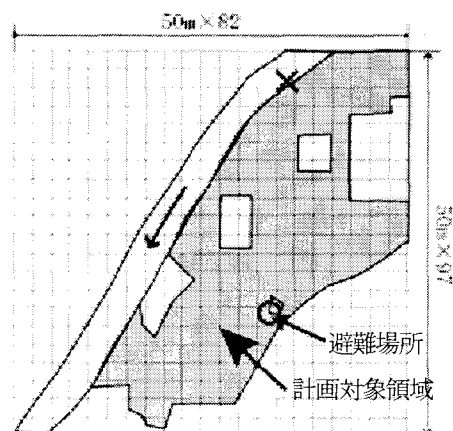


図-2 対象モデル地域

た避難場所に対して同時に移動を開始するものとしている。したがって、避難行動を制約するものは経路上の浸水深 $h(m)$ のみであり、移動速度 $v(m/min)$ を西原¹⁰⁾にしない、

$$v = a(1 - h/0.7) \quad (3)$$

で求めた。 a は浸水のないときの歩行速度で西原と同様に $45m/min$ とした。(3)式により移動速度が0となった場合、または、制限時間(本適用例では破堤後1時間とした)内に目的地に到着できない場合に避難失敗と判定した。なお、簡単のため、対象領域内の人口分布は一樣としている。

また、制約条件は、領域内の嵩上げ量の総体積とし、 $125万m^3$ 、 $250万m^3$ 、 $375万m^3$ の3種類を考えることにする。対象領域すべての格子を $50cm$ 嵩上げた場合、総ボリュームは $231万m^3$ である。

(2) 解探索過程の一例

(1)で設定したモデル地域に対して、二段階解探索法を用いて避難率を最大化する嵩上げパターンの探索を行った一例を図-3に示す。図では嵩上げ総量の制約を $250万m^3$ とし、破堤時刻の15分後に避難を開始した場合の避難成功率を探索世代ごとにプロットしている。GAのエリート存続率は $1/15$ 、突然変異率は 0.05 とし、各世代で30個の個体(代替案)を発生させて探索を行った。

図中、上向き矢印を付した世代で、二段階探索法のステージの更新(氾濫シミュレーションのやり直し)を行っている。すなわち、第1世代で現況地盤高に対して氾濫シミュレーションを行った後、(2)式に示す浸水深の簡易更新を行いながら解探索を続け(ステージ1)、第81世代でステージ1を終了している。そして、第81世代でそれまでに得られた近似解に対して新たな氾濫シミュレーションを行い、ステージ2に入っている。第81世代の近似解に対する避難成功率は 0.58 であったが、氾濫計算およびそれに基づく避難シミュレーションによって、実際は 0.61 に更新されている。もちろん、新たに氾濫計算を加えた場合に必ずしも避難成功率が上がるわけではなく、次の氾濫計算(第174世代)では近似解に対する 0.67 から 0.65 に下がっている。しかし、いずれにしても、更新後の解探索によってより避難成功率の高い嵩上げパターンが探索できていることがわかる。

さて、図中の破線はステージの更新時期の避難成功率、つまり、それまでに得られた中で最適な嵩上げパターンに対して氾濫計算と避難シミュレーションを行って得た避難成功率を結んだものである。これを見ると、第181世代(ステージ2の終了時点)で、最も避難成功率の高い嵩上げ計画が得られ、その後は解の改善が見られない。もちろん、ステージ2で得られた解が、グローバルな最適解であるという保証はないが、解探索開始後比較的早い段階で、良好な解が得られているといえる。

なお、二段階探索法では700世代まで解探索を続けても、必要な氾濫シミュレーションは6回ですんでいる。解探索のすべての過程で氾濫シミュレーションを行なったとすると、各世代の個体数が30であるから、合計 $30 \times 700 = 21000$ 回のシミュレーションが必要になり、とても

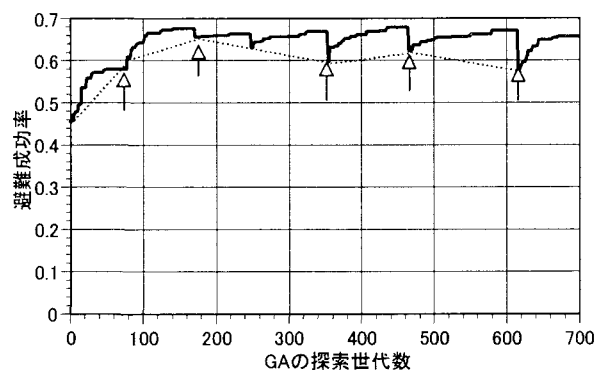


図-3 二段階探索法による解探索プロセス(嵩上げ量制約: $250万m^3$ 、破堤15分後避難開始)
計算できない。二段階探索法の効率性が窺える。

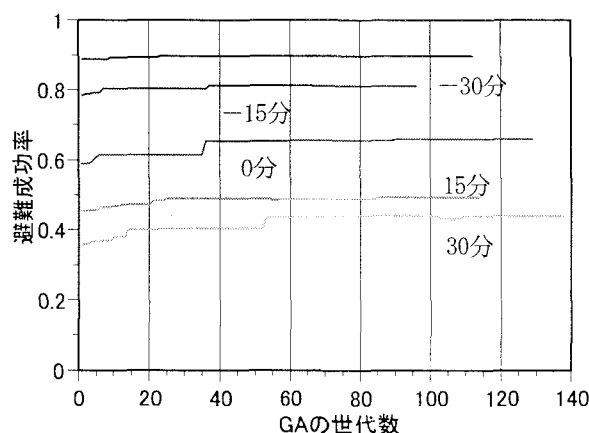
(3) 種々の制約条件に対する解探索結果

嵩上げ総量の制約を $125万m^3$ 、 $250万m^3$ 、 $375万m^3$ とした場合のそれぞれについて、避難開始時刻を破堤30分前、15分前、同時、15分後、30分後と変えた場合の、避難成功率最大化問題の解探索過程を図-4に示す。いずれの場合も十分現実的な計算量で解探索が行われていることがわかる。なお、制約が厳しいほど早い段階で最適解が得られているが、もちろんこれは、実行可能な解空間が狭いためである。図から避難開始時刻が早いほど、また、制約となる嵩上げ総量が大いほど、より高い避難成功率が達成できることが確認できる。

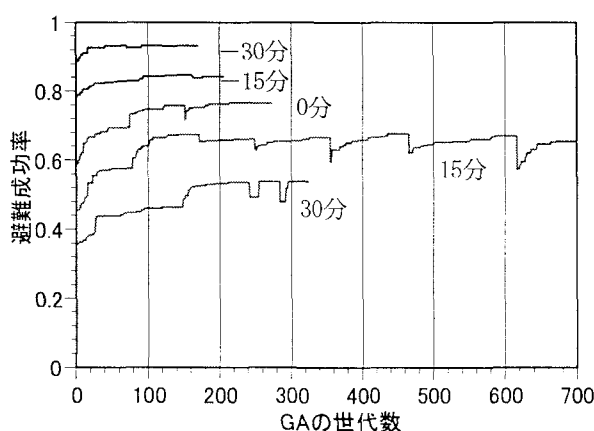
(4) ソフト対策とハード対策の相補性

(3)では、制約条件となる嵩上げ総量と避難開始時刻を変えて解探索過程を確認したが、これら種々の条件で避難成功率最大化問題を解いた結果は、与えられた嵩上げ量と避難開始条件の下で達成できる最大避難成功率を与えているとも言える。そこで、得られた解の嵩上げ総量と避難開始時刻のペアに対して、最大避難成功率をプロットすると、図-5のような等高線を得ることができる。図の等高線(等避難成功率曲線)は、同じ避難成功率を与えるために必要な嵩上げ量と避難開始時刻の関係を示していることになる。等避難成功率曲線を見れば、例えば、避難成功率 0.8 を達成する場合、約8分避難を早めることが、 $12500m^3$ の嵩上げに対応するということがわかる。したがって、8分間の早期避難というソフト対応は、 $12500m^3$ の嵩上げというハード対策と同等であるということになり、この嵩上げに必要な経費がソフト対策の経済的価値と見ることもできる。

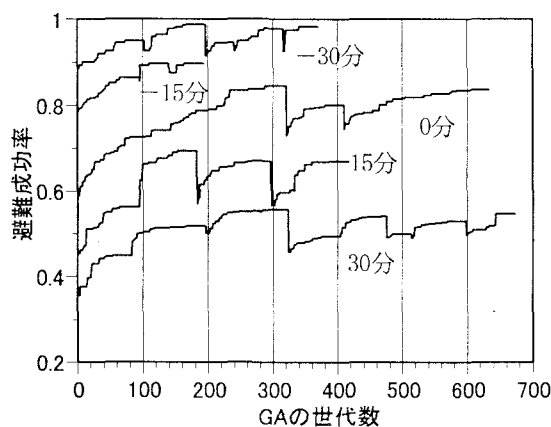
もちろん、本研究では、3種類の嵩上げ総量制約に対して5種類の避難開始時刻を設定して、避難成功率最大化問題を解いたに過ぎず、等避難成功率曲線を得るにはあまりにもラフな結果ではある。また、破堤地点の不確実性や避難行動における不確実性を考慮することも必要であることは言うまでもない。しかし、二段階探索法によって、氾濫原内において災害対応を円滑化するための施設計画が現実的な計算量で解けるようになったことで、従来、定性的にしか指摘できなかったソフト対策とハー



(a) 嵩上げ量制約125万 m^3



(b) 嵩上げ量制約250万 m^3



(c) 嵩上げ量制約375万 m^3

図-4 種々の条件に対する解探索プロセス

ド対策の効果上の関係を定量的に分析できる可能性が高まったと言っても良いであろう。

5. 結語

本研究では、洪水氾濫に対して氾濫原内で取り得る対策の最適設計手法を考えるために、避難成功率を最大化するための土地の嵩上げ問題について考察した。特に、最適化プロセスに氾濫シミュレーションと避難シミュレーションを含むという問題のハイブリッド性に注意し、

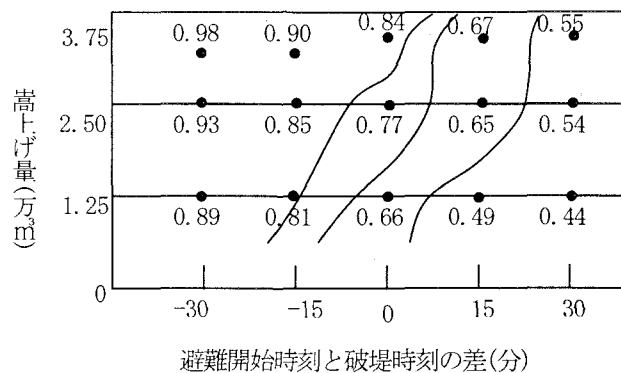


図-5 嵩上げ量と避難開始時刻の関係

解探索の過程で氾濫解析の回数を省略できる二段階解探索手法を提案するとともに、モデル地域への適用を通じてその有効性を検証した。また、この種の問題を解くことは、単に設計問題の解を得るにとどまらず、氾濫原におけるハード対策とソフト対策の関係を探る上でも有効であることを指摘した。

ただし、本研究は、対象地域を矩形メッシュに区切って嵩上げ計画を取り扱うなど、未だ、基礎的な段階を脱していない。今後、本手法をより実地的なものにするために、詳細な街路網を陽に含んだ取り扱いや、嵩上げ以外の二次堤防など対策を含めた場合の近似探索手法などについて検討を進めて行きたい。

参考文献

- 1) 福岡捷二・川島幹雄・横山洋・水口雅教：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究，土木学会論文集，No. 600/II-44，pp. 23-36，1998.
- 2) 川池健司・井上和也・林秀樹・戸田圭一：都市域の氾濫解析モデルの開発，土木学会論文集，No. 698/II-58，pp. 1-10，2002.
- 3) 片田敏孝・児玉真・浅田純作・及川康・荒畑元就：東海豪雨災害を事例にした避難に関わる意思決定の状況依存性に関する研究，水工学論文集，第46巻，pp. 319-324，2002.
- 4) 片田敏孝・児玉真・佐伯博人：洪水ハザードマップの住民認知とその促進策に関する研究，水工学論文集，第48巻，pp. 433-438.
- 5) 高橋保・中川一・東山基：洪水氾濫解析とリンクした避難のシミュレーション，水理講演会論文集，第33巻，pp. 355-360，1989.
- 6) 高埴琢馬・椎葉充晴・堀智晴：水害避難行動のマイクロモデルシミュレーションと制御に関する研究，土木学会論文集，No. 509/II-30，pp. 15-25，1995.
- 7) 江藤剛治・室田明・水野雅光：段階的治水計画について，水理講演会論文集，第25巻，pp. 279-284，1981.
- 8) 室田明・江藤剛治・栗田秀明：治水施設の着工順位付問題に関する研究，水理講演会論文集，第26巻，pp. 367-372，1982.
- 9) 堀智晴・池淵周一・小尻利治：氾濫確率を計画安全度指標とした治水システムの策定法，水理講演会論文集，第31巻，pp. 247-252，1987.
- 10) 西原巧：氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究，京都大学博士論文，1993.

(2004. 9. 30 受付)