

京都大学大学院	学生員	○ 福永光記
京都大学大学院	正員	堀 智晴
京都大学大学院	正員	椎葉充晴

1 はじめに

従来のダムや堤防等の河道対策を中心とした治水対策に加えて、氾濫が生じた際にその被害が壊滅的になることを防ぐための氾濫原内対策が重要になってきている。そこでその視点から住民の避難に着目し、避難行動をできる限り円滑に行えるようにするための氾濫原内対策の最適設計手法について考察した。

2 避難可能性を指標とした嵩上げ計画の設計問題の定式化と求解アルゴリズム

2.1 問題の定式化 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 r を $r = p_{success} / p_{total}$ で定義する。 r は氾濫原内での避難経路のかさあげ $\mathbf{x}$ 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ベクトル $\mathbf{w}$ で表すと、避難成功率 r は $\mathbf{x}$ と $\mathbf{w}$ の関数として $r = g(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ とかける。対策にかかるコストは $\mathbf{x}$ の関数であり、 $h(\mathbf{x})$ と表す。今不確実性を含む要素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。

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

と表現することができる。また本研究では不確実性として、破堤場所のみを考慮した。

2.2 嵩上げ計画問題の求解アルゴリズム

本研究では、氾濫原内対策に避難経路の耐水化を考

え、具体的な対策として嵩上げを考えた。つまり避難成功率を最大にする嵩上げの配置・規模問題を考える。1つの嵩上げの組み合わせから避難成功率を求める場合、氾濫シミュレーションと避難シミュレーションを行わなければならない。膨大にある嵩上げパターンの中から最適な嵩上げパターンを求めることを考えると、計算負荷は非常に大きくなってしまう。また、1つの代替嵩上げ案に対して避難成功率を求めるために、最も負荷の高い計算は氾濫解析である。そこでこの負荷を軽減するために、

- i) 現況の地盤高で氾濫計算を行い、避難成功率を最大にする嵩上げ計画を求める。この段階では解の探索過程で個々の嵩上げ案に対して氾濫計算は行わず、嵩上げた部分の浸水深が嵩上げ分だけ小さくなるという仮定のもとで解探索を行う、
 - ii) i) で求めた嵩上げ状態に対する氾濫計算を行い、その氾濫条件のもとで嵩上げ代替案に対する避難成功率を再計算する、
 - iii) ii) で計算された氾濫条件のもとで、解の改善を行う、
- IV) 解が改善されなくなるまで ii) iii) を繰り返す、といった手順を提案する。

この方法は、基本的には嵩上げによってその部分の浸水深が小さくなる効果が大きいことに着目し、まず、嵩上げ計画の代替案毎に氾濫計算を行うことを省略した上で、避難成功率を最大とする嵩上げ個所の選定をしようというものである。(上記手順 i) iii))。もちろん、実際には、ある個所の嵩上げが別の場所の氾濫条件に影響を与えるから、i)、iii) における求解過程がある程度収束した時点で、改めて氾濫計算を行い、現実の状況との乖離を防いでいる。手順 i)、iii) におけ

る解探索にはGAを用いた。

GAを用いた理由としては、本研究のように代替案が離散変数で表される最適問題の解探索に有効と考えられるからである。

3. 適用と考察

前節で示したアリゴリズムを名古屋市の新川流域に、適用した際の解の改善プロセスを図1に示す。図は縦軸に避難成功率、横軸にGAの世代数累計をとったものである。矢印を付けた部分で氾濫条件を更新している。図1では氾濫原内の嵩上げ制約量を250万 m^3 とし破堤時から15分後に避難したときの避難成功率の推移を示したものである。このケースでは700世代まで計算をしている。また本研究ではGAの初期集団のプール数は30個用意して計算を進めているので、本来ならば700×30=21000回の氾濫計算を行う必要があるのだが、提示したアルゴリズムを用いることで7回のみの氾濫計算しか行っておらず、氾濫計算負荷をセーブしつつ解探索が行われている様子が伺える。

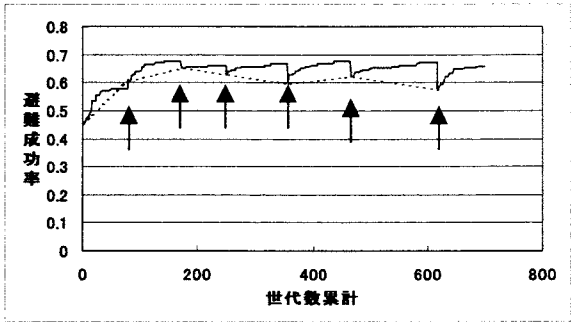


図1 嵩上げパターンの探索過程

氾濫原内における嵩上げ量許容量を3段階設定し、避難開始時刻を5種類に分け、合計15ケースの氾濫原嵩上げ最適化問題を解いた結果を図2に示す。縦軸に嵩上げ量許容量、横軸に避難開始時刻をとり、最大の避難成功率をプロットしたものである。ただし、破堤箇所は1箇所のみ結果である。この図からハード対策とソフト対策の効果の関係性を読み取ることがで

きる。つまり例えば同じ避難成功率0.8を得るために嵩上げ量許容量を低くしたなら、どれだけ早く避難を開始すればよいかがみてとれる。実際嵩上げ量許容量は氾濫原内のハード対策にあたり、避難開始時刻の差は広い視点でみればソフト対策の効果とみてとれる。

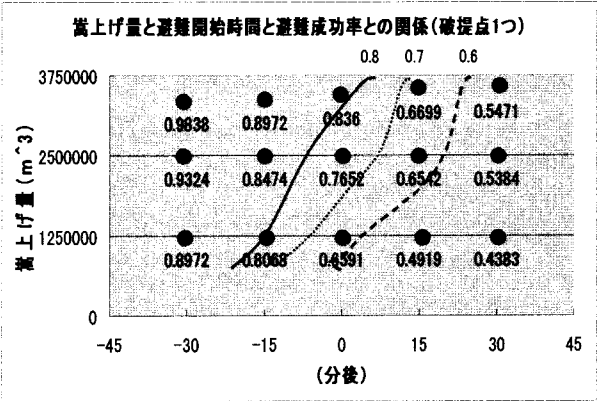


図2 嵩上げ量と避難開始時刻による避難成功率

4. 結論

本研究では、考えられる代替案に対して逐次氾濫計算をしなくてはならない問題に対して、氾濫計算をセーブするアルゴリズムを提案することで、ワークステーションレベルで問題を解くことができた。そして求解アルゴリズムが近似的であれ、妥当性をいうことができた。また、氾濫原内のハード対策とソフト対策の効果の定量的な関係を示すことができた。しかしながら本研究で考えている不確実性は非常に少なく、今後は人の洪水に対する価値観や破堤場所による越流水深等の様々な不確実性を考慮していく必要がある。また、避難成功率の値の精度をあげるためにはより正確な避難過程と氾濫条件を得なくてはならないので、氾濫原をコンピュータ上により具体的に再現することが必要である。