

河川の段階改修計画に関する一考察

大阪大学工学部 正 員 室田 明
 近畿大学理工学部 正 員 江藤 剛治
 大阪大学大学院 学生員○古川 博一

1. 目的

本研究の最終目的は数理計画法の適用による河川段階改修計画の一般的策定法を呈示することである。

2. 土木工学におけるOR数学の実用化における問題点と本研究の方針

土木工学においてもOR数学による各種計画問題の取り扱いに関する多くの研究が発表されている。しかしながらこのうち、既に実用上有効に利用されているのはPART, LP等ごく一部に限られている。その理由として以下のようなものが考えられる。

- i) 対象が自然現象・社会システム等を含む複雑なシステムをなしており、それに対する理解度自身が高精度の数理計画法を導入するほどのレベルに達していない場合が多い。
- ii) 既存の数理計画法の性急な導入をはかるあまり、目的関数の単純化、条件式群の線形化等に、実際の現象の歪んだ定式化が行われる場合がある。
- iii) 定式化はかなりの精度で可能であっても、電子計算機の容量、演算速度等、次元性の制約により、実用上要求される程度の多変数問題を解くことは不可能な場合が多い。

結局のところ、関係する人文環境・自然環境をいかに単純かつ正確に評価・定式化できるかが本研究を含めて、土木工学におけるOR数学の実用的適用の成否の鍵を握っている。本報告ではまず、直接に関係する実際の自然現象すなわち、

〔特定の工事一破堤確率・流下能力の変化一溢流場所・規模の変化一被害形態と額の変化〕という過程のモデル化について検討する。これによりこれら一連の現象がある程度単純・明解かつ正確な形で数式的に表現できれば、既存の数理計画法あるいはそれを改良した手法により実用に供しうる精度で数理解を得ることへの見通しは決して暗くない。

資料としては一級河川S川の実際の改修計画資料を用いた。後述のごとく膨大な量にのぼるこれらの資料の持つ内容を、非常に簡単ないくつかの図式群で表現することができた。さらにこの成果を用いた改修順位の決定例も示している。

3. 段階改修計画の総合的フローと本研究の位置づけ

河川段階改修計画全般のフロー・チャートを図-1に示す。このシステムは‘A：治水経済分析’，‘B：水文解析’，‘C：通常の改修計画案’を基礎としている。本研究の目的は‘D’の最適化手法を呈示することである。このためには前述のごとき特定の工事より氾濫被害に至る一連の過程の単純なモデル化が不可欠である。これらは図-1では‘E’を付した各サブ・システムに対応する。たとえば溢流・氾濫現象は不定流計算法等を

用いて計算可能ではあるが，河道に沿うある区間に特定の工事を施したとすれば，工事優先順位の決定にはそれらのすべての組合せに対して不定流計算を行うことが必要となる。これは計算時間の点から実際上不可能である。以下これら‘E’を付したサブ・システムについて実際の資料解析にもとづくモデル化の結果を示す。図中工事単位とは各区間の工事のうち，右岸工事・左岸工事・低水敷工事・高水敷工事などの各工事に対応するものとする。

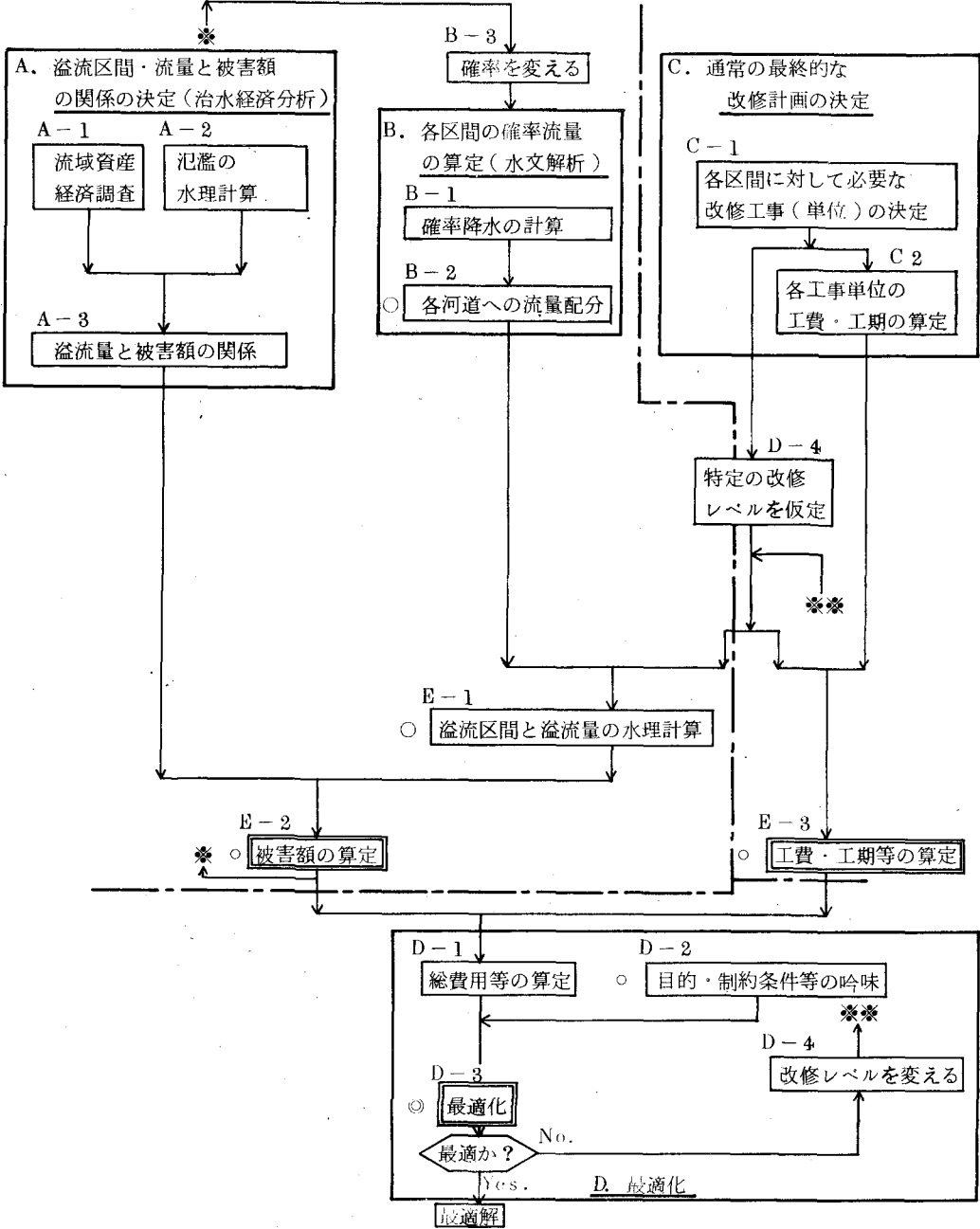


図-1 段階改修計画全般の流れ図

4. 溢流区間と規模の評価

合流を伴う河道に沿って、各確率洪水に対する破堤・溢流区間・溢流規模を算定するために以下のごとき視覚的表示法を工夫した。まず次のような仮定をおく。

- i) 流下能力は等流近似による。
- ii) 被害額は溢流場所とそこからのピーク溢流量の関数として表示できる。すなわち溢流規模としてはピーク溢流量を求めればよい。
- iii) ある確率に対する本川各区分、各支川のピーク流量は流域平均確率降雨量に各流域面積あるいはさらに一定の係数を乗じたもので表わされる。
- iv) ピーク流量合流時差は考慮しない。
- v) 各区分 j からの溢流は、その区間の流量 Q_j が流下能力 Q_{oj} を超えると同時に始まるとする。このとき溢流量 Q_{oj} 、河道流下量 Q_{j+1} は次式で与えられるとする。

$$Q_{oj} = \beta_j \{ (Q_j - Q_{oj}) + \alpha_j Q_{oj} \} \dots (1), \quad Q_{j+1} = Q_j - Q_{oj} \dots (2)$$

ここに α_j : 破堤の状態を示す係数, $\alpha_j = 1$ で完全破堤, $\alpha_j = 0$ で破堤せず,

β_j : 流失または湛水の状態を示す係数, $\beta_j = 1$ で完全流失, $\beta_j = 0$ で流失しない。

計算手順は以下のとおりである。

- i) 確率年を横軸に、ピーク流量を縦軸に取った図（すなわちピーク流量超過確率図を横にしたもの）を用意する。
- ii) みかけの流下能力図（破堤確率等も考慮して）を用意する。
- iii) 確率年 T を与える。最上流河道の確率洪水量 Q_{rT} が求まる。
- iv) 上流端にもっとも近い区間で $Q_{oj} < Q_{rT}$ なる区間に対して、 Q_{oj} , Q_{j+1} を求める。
- v) 次に Q_{j+1} のピーク流量を $Q_{j+1,r}$ とするとき j より下流区間で $Q_{oj} < Q_{j+1,r}$ が満たされる最上流区間に対して Q_{oj} , Q_{j+1} を求める。以下同様。

これらの関係が図-2の一点鎖線で示されている。合流点を有する場合も同様である。

また確率年 T が変わった場合も全く同様であるから、各確率洪水に対する各区分の溢流量が求まる。これらに確率を乗じて被害額の期待値を取ることにより期待被害額が求まる。

不定流計算と本法の比較例を図-3に示す。本法は手計算による非常に単純な計算法であるにもかかわらず、電子計算機による不定流解とよく一致している。

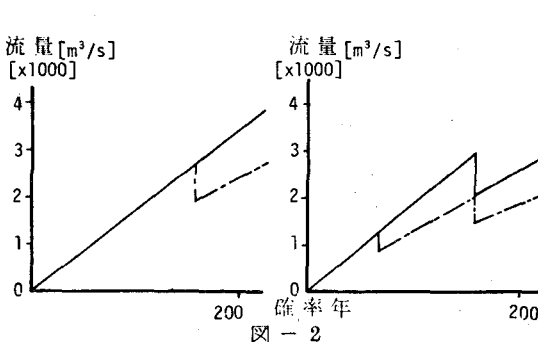


図-2

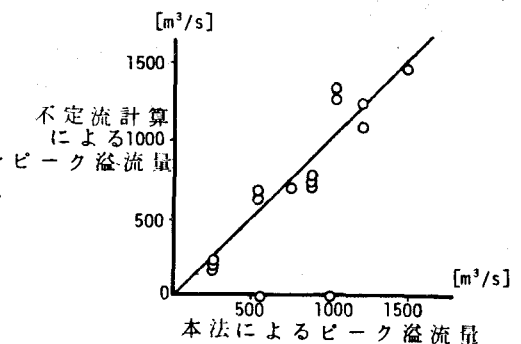


図-3

5. 投資額と流下能力の関係

各工事区間内においても複数の工事単位が存在する。いま問題にしているのはどの区間のどの工事から着手するかであるが、これをそのまま定式化すれば、変数の数は、(区間数×工事単位数)とかなりな量にのぼる。また左岸工事一つを例にとっても、これを最初にやるのか、あるいは他の工事ののちにやるのかでは当然流下能力に対する影響も異なるわけで、このような非線形干渉効果までを考慮しなければならないとすれば、数理計画的に解を求めることはまず不可能となる。ここでもし、各区間内において工事の優先順位と関係なく、投資額と流下能力の関係がほぼ1価の関数関係として表示できれば、問題は区間内の工事の優先順位に無関係に、どの期間にどの区間に対してどれだけの投資をすればよいかという比較的単純かつ実的な形に定式化できる。この解を第1近似解(あるいは目安)として、別の評価基準等も考慮しながら区間内工事順位を決定すればよい。

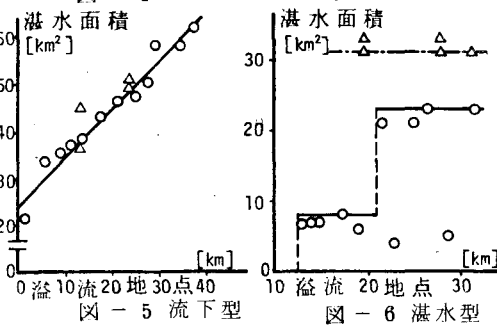
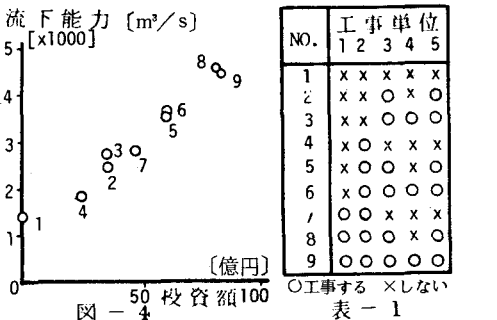
整理の例を図-4、表-1に示すが、一部の区間を除いておおむね1価の関数関係で表示できよう。図中「1~10」の数字は、表-1に示す工事の組み合わせに対する「投資額~流下能力」の関係を示す点である。

6. 溢流区間・ピーク溢流量と湛水面積の関係

結論として、50年確率以上の洪水を考えればピーク溢流量と湛水面積には非常に弱い関係しかない。溢流地点の効果については、堤内地の地盤条件により次の2ケースに分類できることがわかった。

- i) 湛水型氾濫域：溢流地点と湛水面積の関係はほとんどない。
- ii) 流下型氾濫域：氾濫域最上流溢流区間の位置のみの関数として湛水面積が表示できる。

図-5、図-6に検証例を示す。



7. シミュレーション例

投資効率最大地点から逐次投資を行うという基準によるシミュレーション結果を図-7に示す。流域資産の少ない上流域では、溢流確率が高いので、最初に工事に着手するが、最終的には、それより下流の工事が完全に終了するまでは完成を見あわせているなど、興味ある結果が得られている。現在輸送問題、PART 的手法の適用などを検討中である。

