河川の段階改修計画について（その１）

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
建設技術研究所　正員 ○栗田　秀明

１．まえがき　治水計画の実施は一般に長い年月を要するため、河川改修においては段階改修方式がとられる。この改修期間内の氾濫災害の危険度は今後重要な問題として顕在化することが予想される。そこで河川段階改修計画の策定を難しくしている原因を考えると次のことが挙げられる。(1)治水システムの複雑化。(2)河川改修が河道・流域に与える水理学的影響が複雑である。(3)河川改修が流域の土地利用形態に与える影響が明らかでない。したがって、段階改修計画の策定にあたっては上記のような種々の影響関係を明確にしたうえで、最適な改修順位の決定手法を確立しなければならない。本報告では以上のことについて考察を行なう。ただし、前述の(3)については考察していない。

２．最適改修順位の探索可能性　本問題の特性の検討から数理計画法の適用はほとんど不可能であることが明らかとなった。動的計画法（ＤＰ）の適用可能性を例としてこのことを説明する。改修期間を通じて最適な工事順位を決定するためには、可能な全ての改修順位に対して目的関数の値（例えば、改修期間内の総期待被害額）を計算する列挙法によればよいのであるが、列挙法を直接適用するのは現実的な解法ではない。したがって、列挙法によらずに順位を決定できるかということが重要な問題となる。このような有限個の要素からなる離散集合のスケジューリング問題は離散的組合せ問題に属し、その解法にあたっては演算回数が比較的少なくてすむＤＰが通常よく用いられる。そこで、改修順位決定問題の特徴を考えると，工事途中段階での期待被害額はその時点までの過程には関係なく、システムの状態のみの関数となる。いま目的関数を改修期間内の期待被害額の総和で表わすと、改修順位決定問題の状態方程式および目的関数は次のように示される。

$$D_k = f(S_k) = f(S_{k-1}, W_{k-1}) \qquad k = 1, 2, \cdots n \qquad (1)$$

$$g_k = f(D_1, D_2, \cdots\cdots, D_{k-1}) \qquad (2)$$

$$目的関数 \qquad \min\ g_n \qquad (3)$$

ここに、D_k；ｋステップでの期待被害額，S_k；ｋステップでのシステムの状態，W_k；ｋステップでの工事、g_k；ｋステップでの累積期待被害額

Step	K-1		K		K+1
State	S_{k-1}		S_k		S_{k+1}
Work		W_{k-1}		W_k	
Expected Damage		D_{k-1}		D_k	
Total E.D	g_{k-1}		g_k		g_{k+1}

図－１

ここで、(2)式に(1)式の状態方程式を考慮すると、$g_k = f\{g_{k-1}(D_1, D_2, \cdots\cdots, D_{k-2}), D_{k-1}\}$ (4)

となる。これは、g_kが順方向分離可能の条件をみたし、すべてのD_{k-1}に対してg_{k-1}の非減少関数であることを示している。したがって、この問題はＤＰが適用できるようにみえる。しかしながら、この問題にはもう一つ大きな特徴がある。この問題は機械取替え問題などと異なり、図－２に示されるように状態遷移が画一的ではない。このような問題はＤＰの

Akira Murota, Takeharu Etoh & Hideaki Kurita

逐次決定モデルにより定式化できるが、逐次決定モデルに属する問題は計算理論の意味で一般的アルゴリズムが存在しないことがすでに証明されている[1]。また、図－２より明らかなように「最適性の原理」を用いても、工事数nの場合必要な水理計算数（状態数）は2^n、最適化演算数（枝数）は$\sum_{i=0}^{n}(n-i)\,{}_nC_i$となり、列挙法を用いたことと同じになる。結局、この問題にＤＰを適用することは無意味であり、同時にこの問題が数学的にＮＰ（Nondeterministic Polynominal-Time）完全な問題（多項式オーダーの演算回数で解けないような難しい問題）であることが明らかとなった。

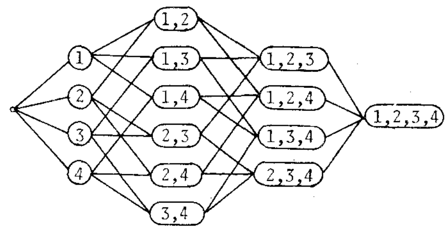
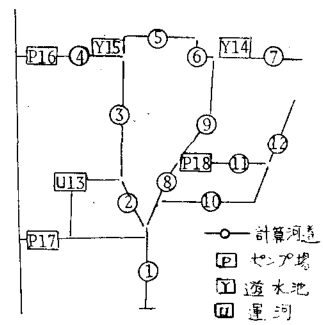
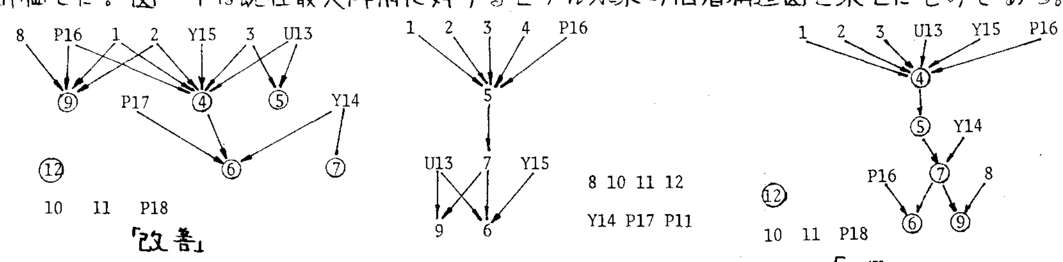


図-2 状態遷移図（工事数4の場合）

3. 階層構造の把握　上記の理由で、工事数nが大きくなると真の最適改修順位を決定することができない。そこで、このような大規模システムの問題を解くための常とう手段としては、システムに内在する階層構造を理解した上で計算数を大幅に削減する方法がある。本研究では、このような手法の一つであり、室田・古川[2]により実河川に適用をはかられているＩＳＭ手法を図－３に示すモデル水系に適用した。外力としては、既往最大降雨および10,20,50,100,200年確率降雨を採用し、改修による各河道への影響の有無は越流量の変化率で評価した。図－４は既往最大降雨に対するモデル水系の階層構造図を示したものである。



図－３



図－４　階層構造図

4. 階層構造図の利用法　具体的には階層構造図は次のように利用できる。(1)原システムをより単純化させたシステムとして表示することにより、計算ケースを大幅に減少させる。(例：システムの分離、影響の小さい要素の消去等）(2)直接的に改修順位の決定に適用しうる。(2)については次のような結論が得られた。改修工事により、どの河道も悪化させてはいけないという条件をつければ、「悪化」の階層構造図において、まずシンクと孤立点の中より経済効果の最も高い工事を行なう。次にその工事を取り除いた階層構造図をもとにして同様の選定を行ない、これを繰返すことによって改修順位が決定される。

最後に、本研究は大阪大学大学院生水野雅光君の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献 1) "Classes of discrete optimization problem and their decision problems" J. of Computer and System Sciences, 8, 84-116, 1974
2) 室田・古川：河川の段階改修計画の基礎的分析，第34回年講概要集