II-61

治水システムの段階的建設手順に関する研究

京都大学大学院　学生員　堀　智晴
京都大学防災研究所　正　員　小尻　利治
京都大学防災研究所　正　員　池淵　周一

1.緒言　治水システムを策定するにあたって、施設の配置・規模計画が決定された後には、限られた単年度予算という制約を考慮し、計画最終年以前においても既に建設されている施設群をできるだけ有効に機能させるための段階施工計画が重要な課題となる。段階施工計画については従来多くの研究がなされているが、本研究では、特に最適解導出のプロセスの解明と計算量の短縮化を中心に考察している。

2.評価基準の設定と目的関数　段階施工計画に用いる評価基準は流域の治水水準が施設の建設に伴い時間的に変化していく様子を適確に反映するものでなければならない。治水計画に用いられる代表的な指標は期待被害額と氾濫確率に大別することができる。前者は流域の社会的経済的状況を予件としてモデルに組み込んだ判断を可能にするが、流域の開発状況の予測手法や精度の面で問題がある。そこで本研究では、より客観的に流域の整備状況を反映すること、その上で流域の整備状況からみた流域のあるべき開発方法を考察するといった観点から後者の氾濫確率を採用し、建設ステージｉにおける流域の氾濫確率を

$$PF(i) = \max_{\{m\}} \left[\max_{\{t\}} \{ P_m^i(t) \} \right] \tag{1}$$

で定義する。$P_m^i(t)$ はステージｉ、評価地点ｍにおける時刻ｔの氾濫確率を示している。(1) で定義される流域の氾濫確率を建設ステージｉについてプロットすればFig-1 に示す氾濫確率低下曲線が得られる。段階施工を行う意味は完成した施設を順次供用することにより建設期間中の氾濫をできるだけ抑制することにあるから、本研究では目的関数を氾濫確率低下曲線の描く面積を最小化することとする。すなわち、

$$Ob = \sum_{i=1}^{I} PF(i)\Delta t(i) \longrightarrow \min. \tag{2}$$

ここに、$\Delta t(i)$は建設ステージｉの工期、Ｉは総ステージ数である。また、水系全体にバランスのとれた建設手順計画を策定するという観点から次の制約条件を導入し、施設（主に堤防）建設よる工事期間中の一時的な氾濫確率の悪化現象を防ぐことにしなければならない。

$$\max \{ P_m^i(t) \} \leq \max \{ P_m^i(t) \} \quad (i=1,2,\text{-----},I-1 \ ; \ m=1,2,\text{-----},M) \tag{3}$$

3.DPによる解法　2.で定式化した段階施工問題にDPを適用する。状態量として (a)各ステージにおいて既に建設されている施設の組み合わせをとる場合 (b)各ステージにおいて選択可能なプロジェクト数をとる場合の２種について考察しよう。(a)の場合、施設の状態を表わす変数Sn(i) を導入し、

$$Sn(i) = \begin{cases} 0 \ ; & \text{施設ｎは建設されていない} \\ 1 \ ; & \text{施設ｎは第ｋ段階まで既に建設されている} \end{cases} \tag{4}$$

と定義する。ステージｉにおける水系全体の状態は次の行ベクトルY(i)で表現される。

$$Y(i) = (S_1(i),\ S_2(i),\ \text{-----------},\ S_N(i)) \quad , (N;\text{建設候補地点の総数}) \tag{5}$$

また、建設すべき施設を表わす変数として第ｎ列要素のみが１で他の要素が全て０であるＮ次元行ベクトル$X_i(n)$ を定義すると、$X_i(i)$ はステージｉで施設ｎを一段階増設することを示している。以上の変数を用いれば、第ｉステージで施設ｎを増設することによる水系の状態の遷移は次式で表わされる。

$$Y(i+1) = Y(i) + X_i(n) \tag{6}$$

さらに、ステージｉにおけるシステムの状態はステージｉにおいて建設されている施設の組み合わせのみによって決まることを考慮すれば、この場合、最適性の原理は成立し、次の関数漸化式を得る。

$$f_i(Y(i)) = \min [PR_i(Y(i)) + f_{i-1}(Y(i-1))] \tag{7}$$

ここに、$PR_i(Y(i))$ はステージｉで状態Y(i)のとき (1)で定義される氾濫確率、f (Y(i))はステージｉまでの最適な氾濫確率の累加値である(Fig-1参照）。一方、(b)の方法ではステージｉで選択する施設のみ

によってステージｉでのシステムの状態を近似してしまおうとするもので、明らかに最適性の原理は保証されない。しかし、状態量が比較的少なくてすむため、各ステージで氾濫確率を増加させないことや最終的にすべての施設を構成することを考慮すればその近似性を探ることは十分に意義深いと考えられる。

4.整数計画法による解法　段階施工計画は有限な施設の可能建設順列から目的関数を最適にする建設順列を決定する問題である。こうした問題には整数計画法、なかでも列挙法を基本とする分枝限定法の適用が可能である。本方法では、分枝の判定基準として、(i) 分枝変数で表わされている施設が既に建設されているか、先行作業が完了していない、(ii) (3) 式で示されている制約条件が満足されていない、(iii) 当該分枝変数で表わされている施設を選択することによって得られた累加氾濫確率が既に得られた実行可能解の目的関数値を上まわるかまたは等しい、のいずれかが成立する場合当該列挙木を分枝停止として次の選択を行ないながら進むことになる。ただし、分枝限定法は基本的には実行可能解を列挙する立場であり、前説の方法に比べ計算量の点で非効率となる可能性が高い。しかし、３－(b) で得られた近似解の近傍での適用を行なうなどの方法によって計算時間の節約に努めることが可能であり、また最適系列が途中で変更されたときの応答や他の系列との相違点の比較等建設手順問題の解の特性を吟味する上でもその適用範囲は広いといえよう。

5.適用例　以上の議論をダム建設地点３、堤防建設地点５、評価地点７の流域モデルに対し総建設分割数を17として適用をはかった。計算量の制約上３－(a) による方法は全ステージにわたる適用は困難であったが、３－(b) による解は実用上最適解に非常に近いと考えられるものが得られた。

6.結語　本研究では治水システムの段階施工による最適解の導出プロセスを中心に考察を行なったが、今後、氾濫確率の精度の向上や実用上の諸問題に考察を加えていく予定である。

［参考文献］　小尻　利治・堀　智晴・池淵　周一；スクリーニング段階における治水システムの策定に関する研究、京都大学防災研究所年報第27号B-2,1984

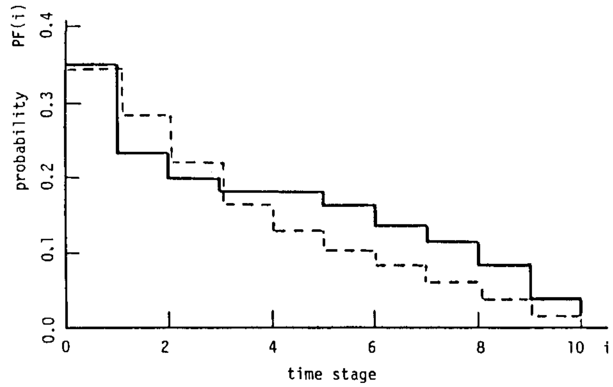

Fig-1　The decreasing curve of flood inundation probability

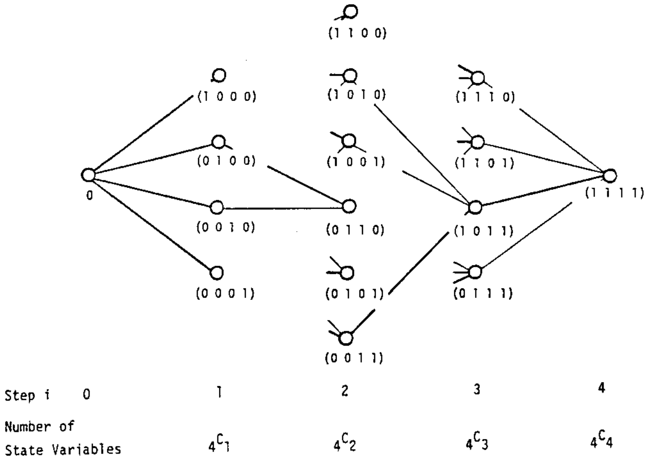

Fig-2　Computational process in dynamic programming (a)

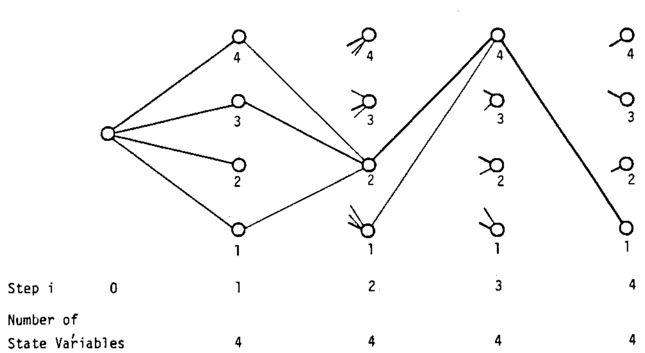

Fig-3　Computational process in dynamic progrmming (b)