

京都大学工学部 正員 小尾 利治
 京都大学防災研究所 正員 池淵 周一
 北海道開発庁 正員 湯山 芳夫

1. はしがき 近年の流域開発にともなって流出場が変化し、洪水ピーク流量の増大化が予想される。その結果、既存の治水施設による水系の安全度は低下し、計画降雨量以下の豪雨に対しても新たな被害が発生することになる。そこで本研究では、治水計画を流域開発の一環としてとらえ、土地利用規制および多目的遊水池などの面的防御法をとり入れるとともに、地点間でバランスのとれた治水計画の立案をしようとするものである。

2. 治水計画の基本方針 高水処理に関しては、流域の将来予測や経済・社会環境効果を加味した多面的、総合的観点に立った治水計画を立案しなければならない^{*)}。具体的には、i) 流出場の変化を表わす流域の将来予測、ii) 氾濫あるいは防御効果を評価するための流出・流下量の把握、iii) 社会的要素をとり入れた安全度（洪水時平均総降雨量の超過確率年）の設定、iv) 洪水を安全に流下させる治水施設群の最適配置・規模決定であり、各事項は図-1に示すように計画（開発）への規制を通じてフィードバック・ループを構成している。したがって、治水計画は流域計画や安全度が設定されると、流域内の全ての基準地点に対してその超過確率年に対応する洪水流量を、特定の土地以外に溢れることなく無被害地区まで流下放出させる方策といえる。ここに予算上の制約が加えられると、最短時間での建設計画、いいかえると費用最小化問題となる。また、流出場の変化に対する安全率の低下を把握することにより、流域計画の変更、規制の強化などの指標も得ることができる。

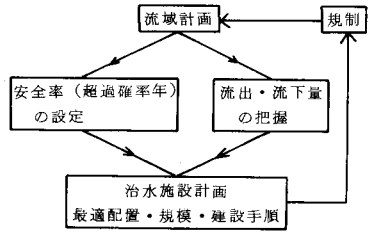


図-1

3. 施設計画 次にそうした超過確率年が設定された後の施設計画を考えよう。

(1) 最適配置計画 流域内の降雨は各観測地点で時間的・空間的に異なっており、それらを降雨行列 $R_u (u=1, \dots, \infty; u$ は同一平均総降雨量での異なるハイエトグラフの番号) で表わすとしよう。治水施設としては、ダム、遊水池、河川改修を用いる。いま、 i 地点、 k 規模のダム建設の可否を x_{ik} 、費用を C_{dik} 、 j 地点、 m_j 規模の遊水池建設の可否を y_{jm} 、費用を C_{jym} 、河川改修規模を行列 (X, Y) の関数、すなわちダムと遊水池計画が (X, Y) のときの対象降雨 R_u による k 地点の最大流量を河川改修後の疎通能にとると、配置計画は次のようになる。

$$Z = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{L_i} x_{ik} C_{dik} + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} y_{jm} C_{jym} + \sum_{k=1}^K C_{gk}(X, Y) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{制約条件は } \sum_{k=1}^{L_i} x_{ik} \leq 1, \quad x_{ik} = 0 \text{ or } 1 \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^{M_j} y_{jm} \leq 1, \quad y_{jm} = 0 \text{ or } 1 \quad (3)$$

および、ダム、遊水池の貯水量がその容量を越えないことである。式(1),(2),(3)の定式化は河川の疎通能を独立変数とする方法に比べ、解領域は狭く疎通能が連続的に定まる利点がある(図-2参照)。しかし、システムの規模が大きいと数値計画法を用いても解の導出は困難であり、シミュレーション探索法によらざるを得ない。ここでは、シミュレーション探索に基づき最適解への接近を試みる。すなわち、施設の正確な防御効果を得るには、流域シミュレーションにおいて流出、越流、河道流下解析を行わなければならない。

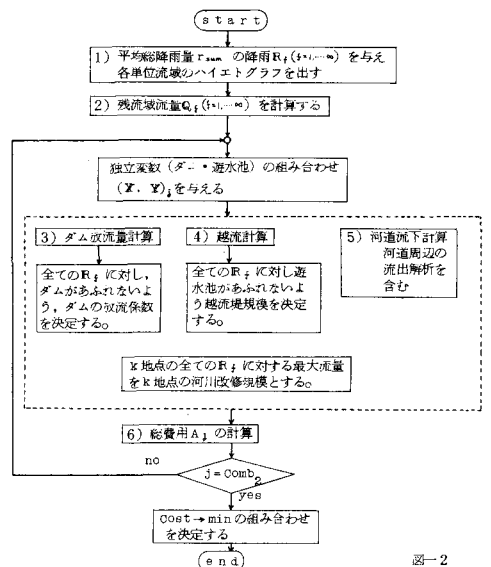


図-2

ないが、施設や流域区分の数が増加すると、計算時間や記憶容量の点で実行不可能となる。その対策として、まず、越流、河道流下解析を簡略化したScreen Modelをつくり、そのモデルを用いて全ての施設計画の費用を算定し、最小額の計画案より数番目まで実行可能解として選び出すのである。つづいて、選択された各施設計画に対して厳密なシミュレーション・モデルを適用して、最適解への接近をはかっていくのである。

(2)最適建設計画 (1)の最適配置計画は計画最終年での姿を反映したものであるが、それを実現するまでには多大の建設年数を要し、施設の建設時に常被害の減少に努めることが必要である。計画終了時には設定された超過確率と規模に対してどの地点も被害額は0になるとみなせるので、建設時の目的は建設期間内での期待被害額の総和を最小化することと定義できよう。なお、遊水池はその性格上計画初年度に設置されるとする。また、ダム・堤防の工事期間は工程の順序にかかわらず一定とすると、建設手順はDynamic Programmingによって次のように定式化される。

$$f_n(v_n) = \frac{1}{(1+r)^{\frac{1}{2}\Delta t(v_n)}} \cdot \left[\Delta t(v_n) \cdot D \left(\sum_{i=1}^n \Delta t(v_i) \right) + \frac{1}{2} \Delta t(v_n) \cdot S(n-1, v_{n-1}) + f_{n-1}(v_{n-1}) \right] \quad (4)$$

$$f_1(v_1) = \frac{1}{(1+r)^{\frac{1}{2}\Delta t(v_1)}} \cdot \Delta t(v_1) \cdot D \left(\frac{1}{2} \Delta t(v_1) \right) \cdot S(0,0) \quad (5)$$

ここに、 v_n は工事変数、 S は建設順序を示す状態量、 f_n は期待被害額の累計、 D は年間期待被害額である。被害額の算定には氾濫解析が必要で、矩形タンクの連続モデルを考えている。

4.適用例 本理論の適用例として図3のような仮想流域を対象にしよう。計算降雨には平均総降雨量が同じ10種類のハイトグラフを与えた。施設はダム3、遊水池6、河川改修9箇所であり、ダムと河川改修費は治水容量、掘削土量に比例するとした。また、遊水池費用は土地に対する補償のみを考え、補償率は湛水頻度が数十年に1回程度として低くとした。計画の初期には超過確率10年の降雨に対して河道疎通能が満足されているとする。ここで、治水計画の目標を200年確率にとると、

その最適配置は表-1のようになり、対応する建設手順は表-2のようになった。厳密なモデルではScreen Modelの解のうち8位までを選択した。両者の最適解は一致するとは限らないが、各施設計画の費用をみる

とかなり相関性の高い結果になっており、Screen Modelの有効性と厳密モデルでの最適解の信頼性が確認できる。

5.あとがき 本研究では、治水計画の基本方針および策定手順を明らかにするとともに、遊水池を含む土地利用規制の妥当性を考察した。今後、実流域への適用を数多く行ってハードな施設による治水計画の限界を把握し、流域開発の効果とその規制を含む総合的地域計画へと展開していきたい。

〈参考文献〉 流域の地点別安全度に関する考察、中部地建庄内川工事事務所、昭和50年7月

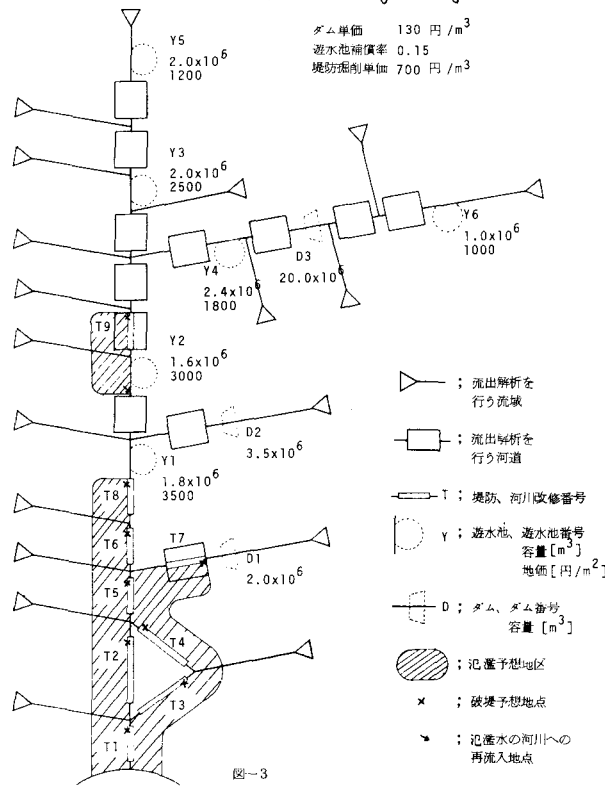


図-3

表-1

	容量	費用
D3	20x10 ⁶	2600
Y6	1x10 ⁶ [m ³]	75 [百万円]
	現行許容流量 改修後許容流量	費用
T1	3033	3628
T2	1746	2081
T3	1321	1678
T4	1164	1387
T5	2863	3445
T6	2617	3092
T7	94	170
T8	2553	3037
T9	2165	2197 [m ³ /sec]
		171
		4 [百万円]
		総費用 3694 百万円

表-2

建設順序	工事変数	建設時間	年間期待被害額	期待被害額累計
1	T5	1.33	235	300
2	T7	0.50	58	326
3	T6	1.26	62	392
4	T3, T4	2.40	72	523
5	T8, T9	1.75	86	619
6	D3	26.0	284	2496
7	T1, T2	2.95	0	2496
		年	百万円	百万円