

II-74

洪水氾濫確率をベースにした治水システムの段階的計画決定プロセス

京都大学防災研究所 正員 池淵周一
 岐阜大学工学部 正員 小尻利治
 京都大学工学部 正員 堀 智晴

1. 緒言 現在、治水システムの信頼度評価には計画降雨をベースとする方法が用いられている。ところが、流域開発の進行に伴い多施設・多評価地点系からなる広域的な治水システムを対象とする必要性が高まるにつれ、(1)計画降雨の総量だけでなく、その時間分布はもとより空間分布が重要な要素となる、(2)実績降雨の引き伸ばしによる時・空間分布の決定法では、得られた計画降雨が豪雨の物理的・統計的性質を保存しているかどうかという疑問が残るなどの問題が指摘されるに至っている。そこで、本研究では時・空間確率構造を保存した形でシミュレートされた多数の豪雨系列(具体的には多次元対数正規分布の条件付確率密度関数を用いて発生させている)を人力として算定された氾濫確率を評価基準とすると共に、システムの大規模化に伴う代替案の増加に対応して治水システムの計画決定プロセスをスクリーニング、シミュレーション、シークエンシャルの3段階に分けて行う方法を考察する。

2. 治水システムの配置・規模計画 治水システムの配置・規模計画問題は次の目的関数と制約条件から構成される非線形計画問題である。

$$Ob = \sum_{m=1}^N C(X_n) \longrightarrow \min. \quad \text{s.t.} \quad Pf_m \leq PFA_m$$

ただし、 X_n は施設nの規模、 $C(X_n)$ は X_n に対応する建設費用、 Pf_m, PFA_m は評価地点mの氾濫確率および許容氾濫確率(治水安全度100年に相当するものとして1/100と設定した)を表す。ところで、治水施設の配置・規模といっても、施設の種類(堤防、ダム、遊水池など)やその個数を含めると代替案は膨大となるため、最適解を得るためには実行可能領域の特性を把握しつつ効果的に検討すべき代替案の減少を図ることが不可欠となる。この方法として次に示すスクリーニング、シミュレーションの2段階意志決定プロセスを導入して最適解へのアプローチをはかる。

3. スクリーニング段階 ここでは簡略化した流域モデル(マトリクス演算による氾濫確率の算定法)を用い、配置・規模計画の膨大な代替案の中からいくつかの上位解を抽出する。上位解抽出の手順は次の通りである。すなわち、(1)計画対象施設を直交配列表に割り付け、氾濫確率及び建設費用を算定する。(2)(1)の結果に分散分析を施し計画候補施設が各評価地点の氾濫確率に与える影響を推定する。(3)(1)の結果のうち目的関数値を最小にする組み合わせから上位数個を選び(2)で得た推定値を参考にして規模の適正化を行い上位解を決定する。いま、Fig.1に示す部分流域数10、ダム候補地点6、評価地点(堤防候補地点)7から成る流域に以上の手順を適用して抽出した第一位上位解を同図に併記する。ただし、図中において、ダムに付された数値は洪水の調節量を、各評価地点では疎通能力を示し、括弧内の数字は氾濫確率を表している。

5. シミュレーション段階 この段階では、スクリーニング段階で抽出された上位解を局所最適解ととらえ、その近傍を分枝限定法を用いて探索することによって配置・規模計画の大域的最適解を決定する。最適解に必要な精度を得るため、洪水追跡には貯留関数法を用いた流況シミュレーションを、ダム操作には一定率放流方式を採用し、施設を配した後の氾濫確率を算定している。以上の手順で得られた最適解をTable 1に示しておく。表中の Q_s は洪水調節開始流量を、また

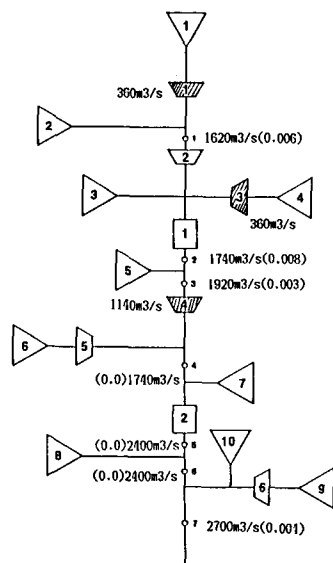


Fig.1

Qaは疎通能力を表している。

6. 治水システムの建設手順計画(シークエンシャル段階)

治水システムの計画最終年度における姿として決定された配置・規模計画を完成させるためには一般に長い年月を要するため、既設の施設群を有効に機能させながら流域の治水水準を時間軸に沿って段階的に上昇させることが必要となる。この建設手順問題を流域の治水水準を表す指標として氾濫確率を用いて定式化すると次式のようなになる。

$$Ob = \sum_{i=1}^n PF_i \cdot \Delta t_i \longrightarrow \min.$$

s.t. $PF_i \geq PF_{i+1}$; $PF_m \geq PFA_m$
 $PF_i \leq PF_{i+1}$; $PF_m < PFA_m$

ここに、iは建設ステージ(i=1, ..., 1)を、 Δt_i はステージiの工期を表す。また、 PF_i はステージiにおける流域全体の治水水準を表す指標であり公平性の見地から $PF_i = \max_m [PF_m^i]$ で定義している。

ところで、広域的な治水システムを対象とする場合、多施設同時施工をも含めると代替案の数は膨大となり最適性の原理を保持した厳密なDPにより解を得ることは計算量、記憶量の点からみて不可能に近い。そこで、最適解へのアプローチの過程を(1)制約条件に着目した実行可能空間の概略的把握、(2)状態量を削減した近似的なDPによる近似解の導出、(3)分枝限定法による最適解の決定といった手順に分割する。(1)では、上流側堤防の建設に必要な下流部の整備水準を明らかにすることによって、予め検討すべき代替案の絞り込を行う。(2)では、状態量を各ステージで選択可能な施設に限ってDP的手法を適用し、近似解の抽出を図る。ただし、(2)の方法では最適性の原理が成立しないため、(3)において近似解の近傍を探索することにより最適解を得ようとするものである。(1)および(2)を適用して得られた近似解をTable 2に、また、対応する氾濫確率低下曲線をFig.3に示しておく(ただし、本近似解はダムの建設計画が既に与えられたものとして対応する堤防の建設手順を定めたものである)。表の数字はステージiに建設する段階施工数を表している。

7. 結語 本研究では氾濫確率をベースとして広域的な治水システムの段階的計画決定プロセスについて論じてきた。なお、現行の計画降雨を入力とする計画策定にあっても氾濫確率を0とする制約を加えることにより同様なアプローチが可能であることを付け加えておく。

[参考文献] 1)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,京大防災年報,1984, 2)池淵周一・小尻利治・堀智晴;治水システムの段階的建設手順に関する研究,京大防災年報,1985, 3)室田明・江藤剛治・水野正光;治水施設の着工順位付けに関する研究,第26回水理講演会論文集,1982

Table 1

dam	capacity (x10 ⁶ m ³)	Qa	α	cost (x10 ⁸ yen)	over flow ratio
1	0.8	150	0.1	1.70	0.004
2	0	0	0	0	0
3	1.1	150	0.3	1.79	0.004
4	3.8	500	0.4	2.67	0.001
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0

dike	Qa (m ³ /s)	cost (x10 ⁸ yen)	flood inundation probabilities
1	2000	0.381	0.008
2	2400	0.390	0.004
3	2400	0.363	0.008
4	1800	0.157	0.008
5	1900	0.157	0.005
6	2200	0.157	0.008
7	3300	0.336	0.010

Table 2

stage	dike							dam			
	1	2	3	4	6	7	1	3	4		
1						1	1	1			
2		2						1			
3		2							1		
4		1			1				1		
5		2							1		
6		2							1		
7		2							1		
8						2			1		
9				2					1		
10						2			1		
11	1		1						1		
12									1		
13									1		
14	1		1						1		
15	2										
16	2										

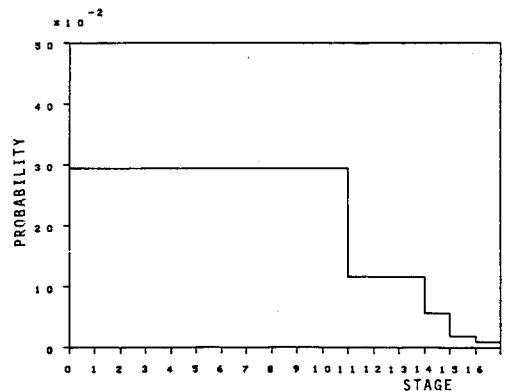


Fig. 2