

II-23

氾濫確率を基準とした治水システムの建設手順計画の策定法

京都大学工学部	正員	堀	智晴
東京電力	正員	神山	英幸
京都大学工学部	正員	高棹	琢馬

1. はじめに 広域的な治水システムの建設手順計画では、施設計画で与えられた施設群の建設に要する期間をいくつかのステージに分割し、各ステージの予算の制約下で、治水水準を効率よく高めることが必要である。建設手順計画の解法にはDPが用いられるが、施工規模の分割幅を細くとり複数施設の同時施工まで含めると、状態量が膨大となるため計算時間や記憶量等計算機上の制約により実際に解を得ることは不可能に近い。ここでは、河川の特長である上下流問題を考慮して状態量の削減をはかるとともに、まず順番施工による建設手順の解を求め、得られた解を初期解としてさらに施設の分割を細くし同時施工を含めた建設手順の最適解を探索する方法を提案する。

2. 評価指標の設定 施設建設に伴う流域の治水水準の時間的な変化を表現するため、各防災対象地点の氾濫確率を評価指標として採用する。氾濫確率は、時・空間的分布を保存した形のシミュレーションにより発生した多数の豪雨群を入力とし、貯留関数法を用いて治水施設群を介した洪水追跡を行い、各評価地点における流量が疎通能力を上回る確率として算定している。すなわち、評価地点 m の氾濫確率 P_m は、

$$P_m = \Pr\{\{Q_m(t_0) > Q_{am}\} \cup \{Q_m(t_0+1) > Q_{am}\} \cup \dots \cup \{Q_m(t_0+T) > Q_{am}\}\}$$

と表される。ここに、 $Q_m(t)$:時刻 t の評価地点 m の流量、 Q_{am} :評価地点 m の疎通能、 t_0 :洪水制御開始時刻、 T :洪水継続時間、 $\Pr[\cdot]$ は括弧内の事象の確率、 $\cup$ は和事象を意味する。また、氾濫確率は流域内の各評価地点で得られるから、ステージ i でのシステム全体の評価指標 P^i を、 $P^i = \max [P_m^i]$ で定義する。ここに、 P_m^i はステージ i 、評価地点 m における氾濫確率とする。

3. 定式化 目的関数と制約条件は次のように与えられる。

$$J = \sum_{i=1}^I P^i(S^i) \cdot \delta^i \rightarrow \min. \quad \text{s.t.} \quad d^i = \sum_{n=1}^N C_n^i(x_n^i)$$

$$P_m^i \geq P_m^{i+1} \quad (P_m^i \geq P_{am} \text{ または } P_m^{i+1} \geq P_{am} \text{ のとき})$$

ここに、 S^i :ステージ i に既に建設済みの施設の規模 s_n^i の組合せを表すベクトル、 $C_n^i(x_n^i)$:ステージ i での施設 n の拡張規模 x_n^i の建設費用、 d^i :ステージ i での予算、 δ^i :ステージ i の期間長である。

4. 状態量の削減方法 一般に上流側河道の整備による下流側地点の流量の増加が、直接、氾濫確率への悪影響に結びつくかどうかは、上下流の疎通能力の相互関係によって異なる。筆者らは、既に安全度の変化に関する制約条件に着目した状態量の削減を実験計画法を用いて行う方法を提案しているが、通常用いられる直行配列表は3水準程度までであり施設の分割数が増えると精度上の困難が生じる。そこで、本研究では、上流側河道の疎通能力を拡大するとき、下流評価地点の氾濫確率が現況における値を超えないような下流側の整備状態を逐次的に求め、実行可能でない状態量を予め削減する。すなわち、地点 m での施設の規模を K_m 段階に分割し、そのうち k_m ($k_m=1, \dots, K_m$)段階建設したとき下流側評価地点 m' ($m' = m+1, \dots, M$)における氾濫確率が現況における氾濫確率 PF_m^0 を上回らない施設の規模 $l_{m'}$ を求める。この結果、

$$(S_m^i \geq k_m \cdot \Delta_m) \cap \{ (S_{m+1}^i < l_{m+1} \cdot \Delta_{m+1}) \cup \dots \cup (S_{M+1}^i < l_M \cdot \Delta_M) \}$$

なる状態量の組み合わせは地点 m より上流側の施設の状態によらずすべて削除できる。ただし、 Δ_m は地点 m の施設を K_m 段階に分割したときの1段階分の施設規模を表す。

5. 解の導出プロセス 4.の方法で削減した状態量を対象とし、1ステージに1施設のみを施工する順番施工による解をDPを用いて求める。次に順番施工による解を初期解としてさらに施設の分割幅を細くとり同時施工を含めた解を探索する。ここでは、目的関数が各地点の氾濫確率の最大値のみに依存するこ

とから、初期解による氾濫確率低下曲線が変化するステージに着目し、そのステージで(1)氾濫確率の最大値を与える地点が変化しているか、(2)変化している場合には当該ステージにおける初期解での施工規模が過剰でないか等の情報を基に、解の改善が期待されない状態量を削減することにより計算の実行可能性を高める方法をとる。

6. 適用 図-1に示す流域(現況における疎通能と氾濫確率を併記)に適用を行う。ダムは堤防と比べて投資費用が膨大であり費用配分も多方面に及ぶことを考慮しダムには建設順序のシナリオを与え、1,3,4の順序で建設するものとする。表-1は4.の方法によって求めた各地点の堤防を1段階建設するのに必要な下流側の

堤防の施工規模を表している。表-2及び図-2は順番施工による解と氾濫確率低下曲線である(堤防1~7をそれぞれ3,3,3,1,1,1,2の各段階に分割して施工するものとし、表中の数字は各ステージで施工する規模数を、ダムについては建設中であることを示す)。なお、本研究では目的関数が各ステージでの各地点の氾濫確率の最大値のみに依存していることから同一の目的関数値を与える解が複

表-1 上流河道の整備に要する下流の整備水準

	lower reference point 2 3 4 5 6 7						
upper reference point 1 2 3 4 5 6	1	1	1	1	1	1	
	2		1	1	1	1	
	3			0	0	0	0
	4				1	1	1
	5					1	0
	6						0

表-2 順番施工による解

stage	d i k e							d a m		
	1	2	3	4	5	6	7	1	3	4
1							1	1		
2						1		1		
3							1		1	
4					1				1	
5				1					1	
6			1							1
7			1							1
8		1								1
9			1							1
10		1								1
11		1								1
12										1
13										1
14	1									1
15	1									
16	1									

数存在したため、これら複数の最適解の間の優劣判定の基準として、

$$J' = \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N P_n^i(S^i)$$
を最小化するものを選ぶこととした。また、表-2の解を初期解として施設の分割数を倍に増やして同時施工を含めた解を表-3、図-3に示す。初期解では下流への悪影響のため建設着手が遅れていた堤防1がより早いステージで着工可能となっている。

【参考文献】1)室田明・江藤剛治・水野雅光；治水施設の着工順位付に関する研究、第26回水理講演会論文集、1982。
 2)堀智晴・池淵周一・小尻利治；氾濫確率を計画安全度指標とした治水システムの策定法、第26回水理講演会論文集、1987。

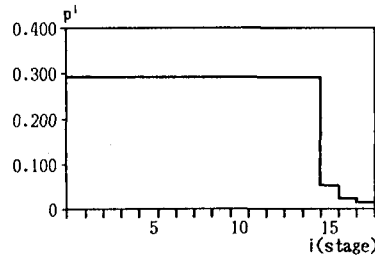


図-2 順番施工による解の氾濫確率低下曲線

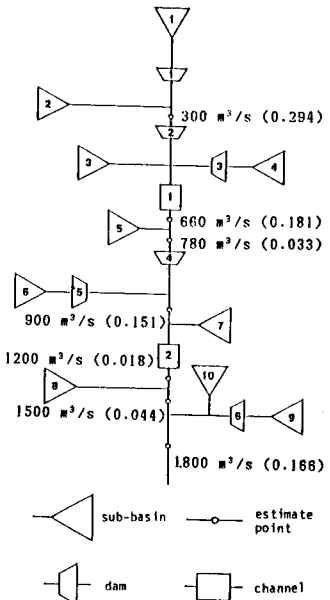


図-1 適用流域の概要

表-3 同時施工を含めた解

stage	d i k e							d a m		
	1	2	3	4	5	6	7	1	3	4
1			1				1	1		
2			1			1		1		
3			1				1		1	
4							2		1	
5		1			1				1	
6		1				1				1
7		2								1
8			2							1
9			1	1						1
10		2								1
11	1			1						1
12										1
13										1
14	2									1
15	1									
16	2									

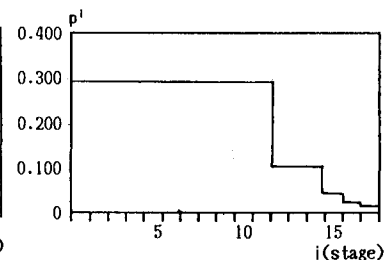


図-3 同時施工を含めた解の氾濫確率低下曲線