

金沢大学大学院 学生員 小川正宏
金沢大学工学部 正員 高瀬信忠
同上 宮治橋康行

1. まえがき

急流河川においては河道における流水エネルギーが大きいため、洪水時の流水による側方侵食によって破堤を起すことが考えられる。このため急流河川では古くから各種の急流河川工法が行われてきたのであるが、本研究は、北陸有数の急流河川である寺取川(流域面積809km²・流路延長22km・平均河床勾配1/27)を対象として、洪水による治水構造物の被災状況を調査し、これを基に側方侵食による破堤の危険性、すなわち堤防危険度の評価法について検討したものである。

2. 堤防危険度

堤防危険度とは、護岸、根固、水制等の治水構造物の破壊によって堤防が直接接しこれら可能性の程度であるとする。これを各堤防構成要因の重要度とその被災度に基づいて次のように数量化する。すなわち危険度は次式で表わされる。

$$(\text{危険度}) = \sum \{ (\text{各堤防構成要因の重要度}) \times (\text{各堤防構成要因の被災度}) \}$$

ここで、重要度は表-1に示すように全構成要因を備えたパターンAについて重要度配分を行ない、その他のパターンB～Hについては、欠けている構成要因のパターンAの時の重要度を残りの要因へ、パターンAの時のそれぞれの比率に応じて配分する。その時の重要度の合計は何れのパターンでも100である。また各構成要因への重要度配分は極めて主観的なものであるため、最終的な結果である「危険度評価式」が多少具体的に述べ述べる数量化分析I類において重相関係数が最も大きく、かつ偏相関係数が工学的常識と矛盾しない) なるものであれば、その重要度配分が近いと判断することとした。被災度については、表-2に示すように被災状況をその程度によって各構成要因ごとに分類整理し被災度とした。

3. 危険度判定式

2.で求めた危険度とそれに影響したと思われる因子、大別すれば河道特性・水理特性・構造物特性との関係性を数量化I類によって求め、これを回帰式の形でまとめたものを危険度判定式とする

4. 信頼性理論による危険度評価

河川のある区間に着目すれば、護岸・根固・水制の各治水構造物は堤防防御という面から見るとそれぞれ独立したシステムで、かつ並列システムとして機能していると考えられる。したがって河川全体を幾つかの区間に分割すれば、図-1に示すようなシステムを構成していると考えることが出来る。この場合、河川のある区間の堤防危険度は次式で表わされる。

$$F_i = 1 - R_i = (1 - r_1)(1 - r_2)(1 - r_3) \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 F_i は堤防のある区間の危険度、 R_i は堤防のある区間の信頼度、 r_1 は護岸の信頼度、 r_2 は根固の信頼度、 r_3 は水制の信頼度である。 r_1 ・ r_2 ・ r_3 はそれ

表-1 パターン別重要度配分表

パターン	河床	根固	水制	法覆
A	15	20	20	45
B	19	25	—	56
C	19	—	25	56
D	28	36	36	—
E	25	—	—	75
F	43	57	—	—
G	43	—	57	—
H	100	—	—	—

表-2 被災状況～被災度表

構成要因		被災度				
		0	0.25	0.50	0.75	1.00
河床	堆積	0～1.5m	1.5～2.5m	2.5～3.5m	3.5m～	
根固	変化なし	—	前傾	—	破損	流出
水制	変化なし	—	傾斜	破損	流出	
法覆	変化なし	—	根元坍塌	一部崩壊	全部崩壊	

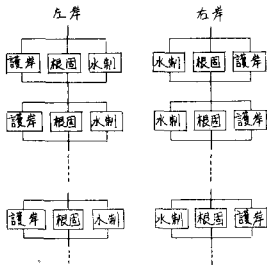


図-1 河川システム

それぞれで求められる。

$$r_i = \exp \left(- \int_0^a \lambda_i dQ \right) \quad (i = 1, 2, 3) \dots (3)$$

ここで、 λ_i は各構造物の破壊率、 Q は流量である。

5. 計算結果と考察

(1) 式の危険度の定義に基づき、手取川における昭和33年から63年までの洪水を対象に、その被災地点について、7ケースの重要度配分を行ない危険度をそれぞれ求め、数量化工類により解析、各因子のカテゴリー分類は表-3に示すとおりである。7ケースの重要度配分に対して最も重相関係数の大きかったケース(表-1)に対する回帰式、すなわち危険度判定式は次式のようになる。

$$\begin{aligned} Y = & -4.0X_{11} - 1.6X_{21} + 17.1X_{13} - 2.7X_{21} + 0.8X_{22} - 0.3X_{23} - 6.1X_{24} + 4.5X_{25} + 4.4X_{26} - 1.9X_{27} \\ & - 12.7X_{28} - 3.6X_{29} - 5.8X_{32} + 4.6X_{33} - 1.8X_{34} + 2.9X_{35} - 2.6X_{36} + 4.3X_{37} - 1.4X_{38} \\ & - 2.1X_{39} + 42.0 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 Y は危険度、 X_{11} は水深、 X_{21} は勾配、 X_{22} は水制、 X_{23} は根固、 X_{24} は護岸、 X_{25} は根入高、 X_{26} は粒径である。(4)式より分るように護岸のカテゴリー・ウエイトは極めて大きく、危険度に対する影響が大きく急流河川においては重要な工法であることがわかる。また水理特性としては当然のことながら水深の影響が最も大きい。(4)式によって求めた手取川の0~16km区間の左右両岸の危険度分布は図-2の(4)(b)に示すようである。2)信頼性理論の適用に際しては、堤防を200mごとに左右両岸とも80区間に分割し、それぞれの区間ごとに護岸・根固・水制の有無を調べ、洪水調査資料を基に各流量ごとの破壊率を求め、(3)および(2)式を用いて左右両岸それぞれ

表-3 各因子のカテゴリー分類表

河床勾配	1/500 以下 1/1000 ~ 1/100 1/100 以上	水深	2m 以下 2 ~ 3 m 3 m 以上
水制	あり 無し	根固	コンクリートブロック 木床 無し
法覆	コンクリートブロック 芝付 無し	根入高	根入勾配が最深河床部以下にある場合 上は2m以内にある場合 上に2m以上にある場合

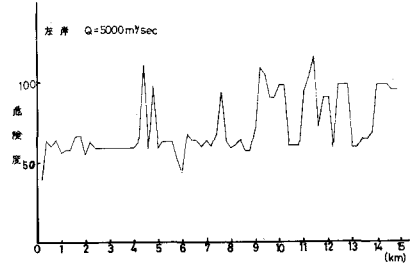


図-2(a)数量化工類による危険度分布図

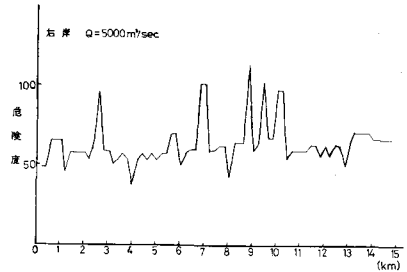


図-2(b)数量化工類による危険度分布図

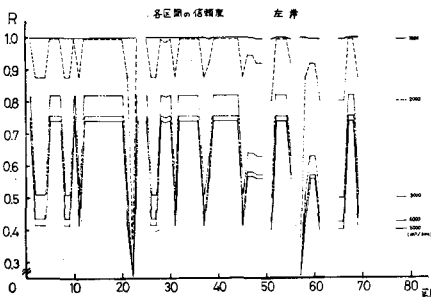


図-3(a) 各区間の信頼度 (左岸)

れの各区間ごとの信頼度を求めた(図-3(a)-(b))。この危険度評価の方法の結果は、その傾向は良く

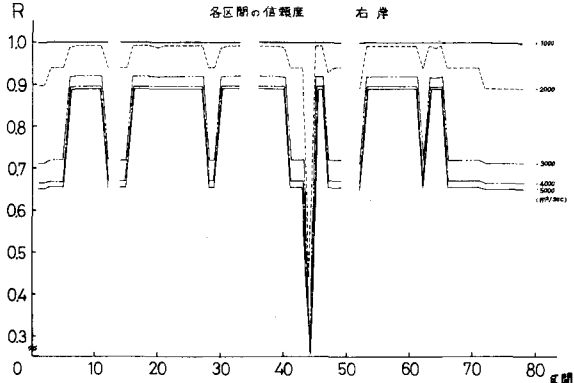


図-3(b) 各区間の信頼度 (右岸)

似ており両方法から得られた結果は次のようである。1)護岸の効果は非常に大きい。2)水制もかなり大きな効果を持つ。3)水深あるいは流量の増加に伴い危険度は大きく増加する。また信頼性理論の結果によると各治水構造物の信頼度は流量2000 m³/sec付近から急激に低下することから、この流量が水防の上で一つの目安となるものと思われるが、計算結果の詳細については講演時に述べることにしたい。

(参考文献) 千葉・雄井・野原:「河川構造物の危険度判定に関する研究」, 第30回建設省技研研究会報告, 昭・51.

塩見弘・「信頼性工学入門」, 丸善K.K., 昭・47.