

洪水リスクの定量化と意思決定に関する基礎的研究

Fundamental study on quantification of flood risk and decision making

新潟大学大学院 学生会員 ○矢沢 大夢
新潟大学 正会員 大竹 雄

1. 目的

河川堤防は長大な線状構造物であり、管理していく上で全体を一つのシステムとして連続的に評価をすることが重要である。これまで河川堤防は河川の流量規模によって断面形状を決定する「形状規定方式」によって長く管理されてきた。対して堤体材料には近年まで詳細な規定がなく、透水性の異なる様々な土質によって築堤が繰り返されてきた。これにより、堤体材料の地層構成は不均質であるため、地層構成に起因する浸透、侵食への耐力が著しく低い箇所が局所的に存在する可能性がある。そのため、限られた公共投資の中で、弱点箇所に合理的に浸透対策、維持管理などへの投資を行なっていくために、河川堤防の空間的な危険度(リスク)を定量的に算出することが重要である。

本研究では、実在する河川堤防を例題として、オランダ国の照査体系に基づく、危険箇所の抽出や効率的な対策優先度の決定手法を検討する。さらに被害損失額を考慮した危険度、リスクに着目することで、合理的な意思決定へ導く可能性について議論する。

2. 研究方法

2.1. 各破壊モードの性能関数

2.1.1. パイピング

本研究におけるパイピング破壊の照査は、Schweckendiek.T¹⁾が提案するモデルによって検討を行う。Schweckendiek.T¹⁾は、パイピング破壊が Uplift (盤ぶくれ)、Heave (クイックサンド)、Piping (水みちの形成)の3つの限界状態に対して照査を行い、それらは並列システムをなすものとしている。照査に用いられる性能関数を次に示す。

$$Z_u = g_u(x) = m_u i_{c,u} - m_\phi i \quad (1)$$

$$Z_h = g_h(x) = i_{c,h} - \min\{i, i_{c,u}\} \quad (2)$$

$$Z_p = g_p(x) = m_p H_{c,p} - m_\phi i \quad (3)$$

2.1.2. 浸透すべり破壊

浸透すべり破壊の照査には、平松ら²⁾が提案する応答局面式を用いる。浸透すべり破壊の照査に用いる性能関数 Z_{slp} を次に示す。

$$Z_{slp} = F_s - 1 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} F_s = & 1.382 + 0.066 \cdot \phi' - 0.030 \cdot ke / kb \\ & - 0.161 \cdot \alpha_{toe} - 0.081 \cdot \alpha_{hyd} \\ & + 0.027 \cdot \alpha_{toe} \cdot \alpha_{hyd} \\ & - 0.049 \cdot H_{wal} + 0.044 \cdot \alpha_{toe} \cdot H_{wal} \\ & + 0.125 \cdot H_{wal} \cdot B_{toe} - 0.085 \cdot \Delta H \end{aligned} \quad (6)$$

2.1.3. 越水

越水の照査は、堤防高 $h_d(m)$ と河川水位 $h(m)$ の比較により評価を行う。越水の照査に用いる性能関数 Z_o を次に示す。

$$Z_o = h_d - h \quad (6)$$

2.2. 破壊確率の算出

本研究では、対象とする3つの破壊モードのいずれかが発生した場合に破堤に至る、つまり各破壊モードの和事象により、破壊確率 $P(F)$ を算出する。

$$\begin{aligned} F &= F_o \cup F_{slp} \cup F_{sys. p} \\ &= Z_o(X) < 0 \cup Z_{slp}(X) < 0 \\ &\quad \cup Z_u(X) < 0 \cap Z_h(X) < 0 \cap Z_p(X) < 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$P(F) = \frac{\sum_j I[F_j]}{N} \quad (8)$$

ここで、 $I[]$ はインジケータ関数を、 N はモンテカルロシミュレーションで用いる粒子数を示す。

2.2. 洪水リスクの算出

本解析では、洪水経済調査マニュアル(案)(2005)³⁾に従って各確率規模における破堤時損失被害額の算出を行った。損失被害額と流量の関係は、ロジスティック回帰分析により、次式で定義した。

$$C_j = a / (1 + b \times \exp(c \times Q_j)) \quad (10)$$

ここに、 C_i を任意地点の流量に応じた損失額、 Q_i を任意地点の流量である。期待リスク R (年/百万円)は、破堤に至った場合のみ損失が発生するとして、破堤に至った場合の被害額と破壊確率の積をとるこ

キーワード 河川堤防, 信頼性解析, リスク, 意思決定

連絡先 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050 番地 新潟大学大学院

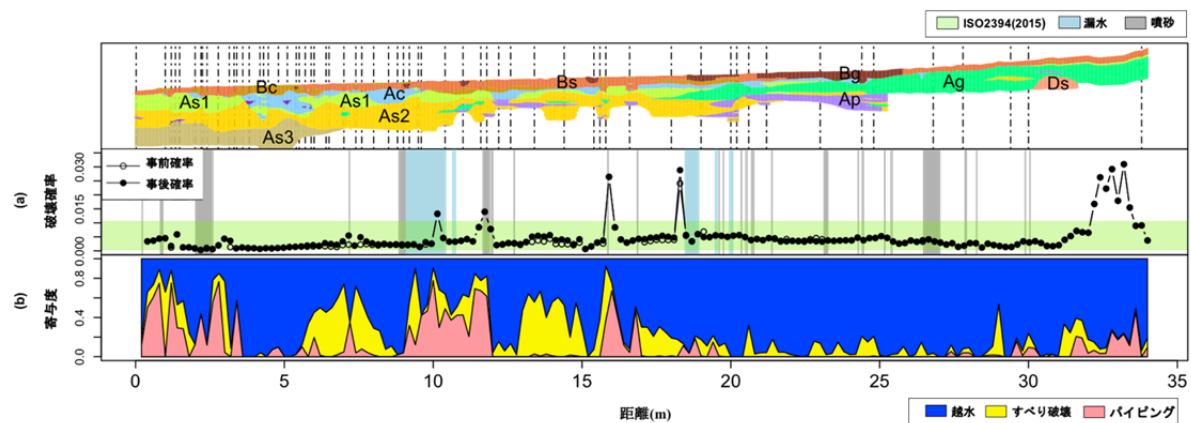


図-1 国内一級河川の信頼性解析結果 (35km)

とで求められる。

$$R = (\sum_j I[F]) / N \quad (11)$$

リスク $R = C \times P(F)$ とすると、損害額 C を次式で逆算する事ができる。

$$C = R / P(F) \quad (12)$$

2.3. 対策優先順位付けの意思決定

上記の方法で、中心市街地への氾濫が考えられる区間(左岸 0~17km)を対象としてリスクに基づいた対策箇所の選定を行う。ここでは、以下の3ケースについて試算を行った。

- 1)安全率優先: Uplift/Heave/Slope の照査のうち最小安全率の区間から優先的に対策すると判断する場合。
- 2)リスク優先: 先に示したリスク計算により、区間が所有しているバックグラウンドリスクが最大のところから対策を実施する場合。
- 3) B/C 優先: リスク計算方法は上記と同様で、費用対効果 B/C が最大となる区間から対策を行う場合。

なお、年対策予算を35百万円とし、前年度の余った予算は翌年に繰越するとして五年間の投資計算を行う。仮想断面により対策効果と対策費用を算出し、対策工法は、簡単のため緩勾配のみとする。また、緩勾配の対策によるリスク軽減率、対策費用の算出方法については、紙面の都合上省略するが、先行研究の中で簡易に決めたものを用いることとする。

3. 結果と考察

信頼性解析による連続的な破壊確率、寄与度の結果を図-1(a)(b)に示す。寄与度からわかるように、越水が破堤の主な要因であるが、被災履歴のある箇所、旧河道においてすべり破壊、パイピングの寄与度が大きい箇所は、破壊確率が高いことが示された。

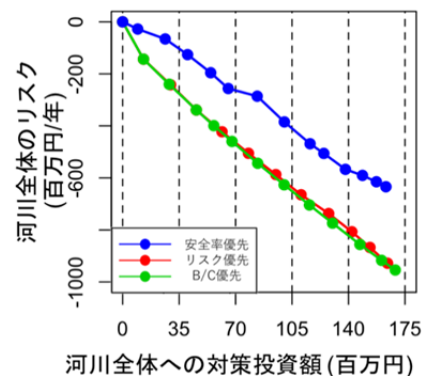


図-2 対策投資効果

仮想断面による対策効果の各ケースの試算結果を図-2に示す。縦軸に河川全体のリスクの総和、横軸に河川全体の累計対策投資額を示す。つまり、傾きが大きいほど対策優先順位付けが効率的であると言える。リスクに基づく意思決定である2),3)は初期の傾きが大きいのに対して1)の傾きは緩やかである。つまり、現状の日本の浸透照査基準では、堤防の安全性を過小評価しているため、限られた予算の中で、リスクを低減することが困難であることが示された。

このようにリスクという指標により、より効果的な意思決定を下すために有効な情報となる可能性があることが確認された。今後は、各河川に応じた適切な対策箇所、対策工法の選定ができるような河川堤防の専門家と同等な知識を持つ、河川堤防におけるエキスパートシステムの構築を目指す予定である。

参考文献

- 1) Schweckendiek, T.: On reducing piping uncertainties a Bayesian decision approach, TU Delft, 2014.
- 2) 平松佑一・本城勇介・大竹 雄・李 圭太・小高猛司: 堤体地盤調査データの統計解析に基づく河川堤防の信頼性評価, 第1回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム講演概要集, pp.49-50, 2013.
- 3) 国土交通省 河川局: 治水経済マニュアル(案), 2005.
- 4) The National Flood Risk Analysis for the Netherlands, Rijkswaterstaat VNK Project Office, 2016