

河川堤防の安全性評価の研究

岐阜大学工学部 正会員 宇野 尚雄
 学生会員 O杉井 俊夫

我々の周りの土木構造物の安全性を考えるに、堤防はどれだけの安全性を保持しているべきなのか、絶対的な評価は難しい。技術の進歩により土木構造物もますます複雑、大型化し、安全性の追求もそれとともに高まらざるを得ない。しかし、不確定な自然現象の予知に対して絶対破壊しない、絶対安定な堤防というものはあるのだろうか。堤防を概念的に評価した場合、図-1に示すように4タイプに分けられる。①安定かつ安全（理想的タイプ）②安定かつ安全でない（短期的に安定と考えられるが、何千年に一度といわれる外力に対して安全でない）③不安定かつ安全（破壊の危険性があるが、破壊影響が少ない）④不安定かつ安全でない（致命的タイプ）。こうした中から、堤防の安全性というものを、技術者から見る説得性のある定義を考えるために、ここでは、堤防が破壊するか否かの力学的な“安全性”と力学的範囲だけでは表現できない社会・経済的“安全性”という2つの概念から堤防の安全性の総合評価の考え方を検討する。

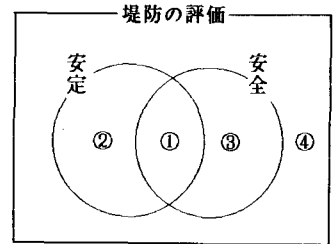


図-1 堤防の概念的評価

1. 河川堤防の“安全性”評価の方法

力学的な安定性評価は外力と抵抗力のバランスをもって表わす安全率に基づいて評価する。安全率についてはいろいろな問題を含んでいるが、限界状態の破壊条件に基づいて評価を行っており、堤防の安定・不安定を考える1つの指標として取り上げた。

堤防の破壊形態は、越流、洗掘、漏水などが複合し、現象が力学的に異なっており、安全率を算出するには、破壊原因ごとに評価しなければならない。表-1にはこれらの破壊原因ごとの評価のポイントを挙げた。またメカニズムの不明な形態に対しては、経験的判断を考慮した安全率の定義が必要となる。一つの考え方として設計外力（洪水位、流速など）に対して過去に安定であったかどうか、被災の程度により評価することが考えられる。これに専門家の見解を配慮するのである。

表-1 河川堤防の外力評価と抵抗力評価

外力	破壊形態	外力評価	抵抗力	抵抗力評価	評価のポイント
降雨	越流	・ハイドログラフ（洪水位） ・湾曲部水位上昇 ・掃流力	・堤高 ・土質 ・裏法面勾配	・堤高 （H.W.L. + 余裕高） ・土質強度	・（堤高／洪水位）比 ・天端・裏法面の侵食の進行 ・越流欠損部の拡大過程
	洪水	・流速、流向 ・局所流 （表法面）	・護岸、水制 ・高水敷 ・縦、横断勾配 ・土砂のpick up rate	・護岸の不連続 ・縦、横断勾配	・側岸侵食 ・河床局所洗掘
風	漏水 （浸透破壊）	・ハイドログラフ ・ハイレトグラフ ・浸透流による 間隙水圧、透水力	・土質堤防断面 ・基礎地盤 ・保護工 （矢板、護岸 裏石積など）	・浸出時間 ・透水性、排水性 ・土質強度	・裏法局部洗掘 ・すべり破壊 ・パイピング ・堤体変形 （通常の安全率）
	地震 （クラック 天端沈下）	・地震力評価	・基礎地盤の強度、支持力 ・堤防周辺地形 （水路等の存在）		・動的解析による 天端沈下・変形 ・液状化 ・主に地盤の耐震性

i) 外力の設計 個々の破壊

形態に対する安全率を力学的基準に基づいて表現するには外力の設計という作業が必要となる。外力は、主起確率を基に与える。また設計外力の大きさにより安全に対する影響、変化率、つまり攪乱に対する安定（安全率の変化減少）をも取り上げていかなければならないと考えている。

ii) 総合安全率 システム安全率の検討 破壊要因（越流、洗掘、漏水など）は①直列システムと考えることができる。これらの位置関係は図-2のように直列に並んでいると考えられ、1つの安全性について欠けても安全性に大きく影響する。また②並列システムの場合は、1つの安全性のバランスが崩れても危険から退避できる。よって堤防では直列システムがよいと考えられ、その安全率は相乗で得られる。

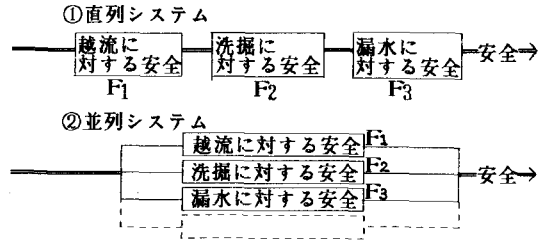


図-2 システム安全率の考え方

表-2 被災実態の割合

	越流	洗掘	漏水	その他	計
件数	231	32	15	5	283件
%	82	11	5	2	100%

昭和22~44年 資料

また表-2より破壊要因ごとの重みを考慮すると、

$$F_s = \sqrt[3]{F_1 \times F_2 \times F_3}$$

$$F_s = F_1^{\alpha_1} \times F_2^{\alpha_2} \times F_3^{\alpha_3} \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 : \text{重みづけ}$$

これは1つの要因についても危険な場合、全体の総合安全率に個々の要因の危険性が敏感に表われる

2. 河川堤防の“安全性”評価の方法

ここでは人間やこれを取り巻く環境にとって安全性は如何にあるべきかを究明することであるが、絶対的なものとして表わし得ない。そこで信頼性設計の基本となる破壊確率をもとに被害規模、ダメージを算出し社会的な安全性を評価する。これより相対的評価の実行は可能であるが、安全か、否かについては判断も検討しなければならないと考えている。また、修復必要の堤防かどうかの判断は、破壊時の被害額の期待値と修復費の和である総費用が最小となるときの堤防の最適破壊確率 $P_{F,opt}$ を算出する。これを図-3に示す。

P_F : 破壊確率 C_C : 修復コスト
 C_F : 被害コスト C_T : 期待総費用

$$C_T = C_C + P_F C_F$$

こうして求められた P_F に対する安全率を考慮することにより、判断可能である。

3. 総合判断

以上の“安全性”と“安定性”と対応を考え総合評価を行う。その際、生命の安全に関する指針を考慮する必要があり、安定と安全のバランスを勘案しなければならないと考える。

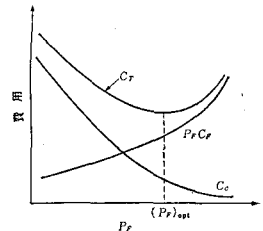


図-3 費用と破壊確率の関係

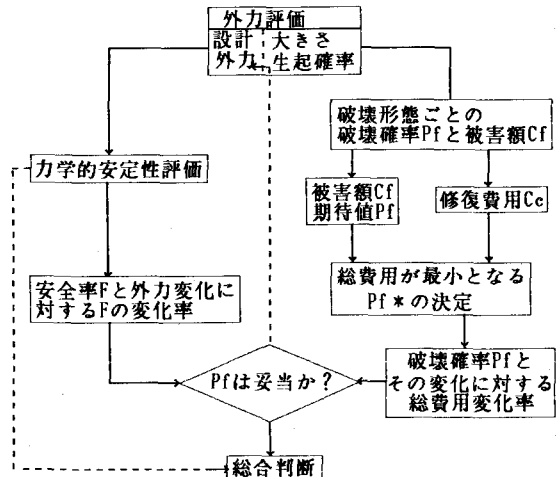


図-4 堤防の安全性評価の流れ