

砂防設備の劣化予測における健全度と素因、誘因の関係性について

国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所 大西 竜太^{※1} 中根 悠嗣 久須美 晨夫
八千代エンジニアリング株式会社 ○目 晋一 内田 康太 西尾 陽介 佐藤 敏明 渡邊 太樹

※1 現 富士砂防事務所

1. はじめに

砂防関係設備の長寿命化計画においては、ライフサイクルコスト（以後、LCC と記載）の縮減に基づく計画の策定が求められており、LCC 算定に当たっては砂防設備の「劣化予測」が必要となる。劣化予測は LCC の算定結果を左右するため、劣化予測を適切に行うことが重要となるが、砂防施設の劣化には多くの影響要因が複合的に作用している。このため、影響要因と劣化速度は必ずしも良い相関関係が得られるとは限らず、現状では健全度（もしくは変状レベル）が B、C の施設について、竣工からの平均経過年数を用いて図-1 のように行うことが現実的である。しかし、各砂防設備が素因、誘因から受ける影響には差異があり、劣化速度も異なるため、劣化予測では各砂防設備の素因、誘因をできるだけ反映させる必要がある。以上に関連し、狩野川直轄砂防区域の砂防堰堤を対象として実施した検討について報告する。

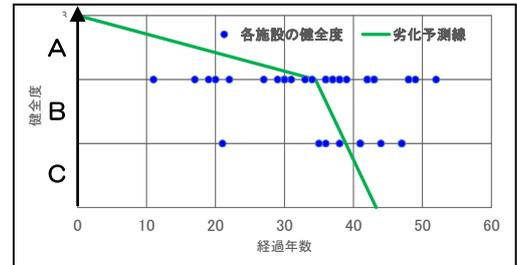


図-1 健全度毎の劣化速度による予測線

2. 砂防設備の健全度の特徴

砂防設備の健全度は周辺状況なども含めて評価されるが、劣化予測に際しては、前庭保護工への土砂堆積など劣化と直接的な関係性が薄いと考えられる変状の影響を除外した「劣化予測用の健全度」を新たに設定し、劣化予測の検討に用いるものとした。

図-2 に示すように、管内には竣工からの経過年数が 50 年以上の砂防堰堤が多く、これらの施設に健全度 B、C の施設が多い傾向にある。しかし、経過年数が 50 年以上でも健全度が A の施設も多く、経過年数が 30 年～50 年の砂防堰堤を見ても、健全度 B の堰堤よりも、A のままの施設の方が多い。管内の砂防設備には劣化速度に差があり、劣化速度の設定において全設備を同じく扱うと誤差が大きくなる可能性がある。

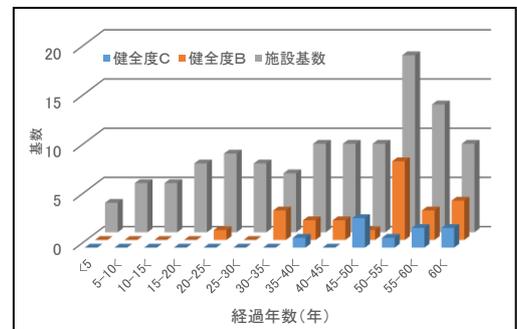


図-2 経過年数別の基数と健全度

3. 砂防設備の劣化に関する素因、誘因

砂防設備の劣化に関する素因、誘因について、各堰堤毎に把握を行った。素因は、①経過年数、②地質、③集水面積、④河床勾配、⑤起伏量、⑥施設設置標高、とし、誘因は⑦総降水量、⑧生産土砂量、⑨土砂流送能力^{※1}、とした。④（河床勾配）は「施設位置の河床勾配」と「上流域の河床勾配」の2通りを考慮し、⑦（総降水量）は流域内に降った雨の総量とした。また、⑨（土砂流送能力）は、集水面積（Ad）と河床勾配（S）を乗じた AdS によって表される。

4. 劣化要因と健全度との関係性検討

4.1 劣化速度と劣化要因との単相関分析

健全度 B、C の砂防堰堤について「健全度を定める変状が認められた時点の経過年数」を劣化速度とし、劣化速度と各劣化要因（質的変数である地質は除く）との単相関分析を行った。経過年数は健全度 A の堰堤を除くと有意とならない（当然良好となる）ため除外している。結果として表-1 に示すように、単相関分析では良い相関が得られない結果となった。

4.2 健全度と劣化要因との単相関分析

砂防堰堤の健全度を原田らの方法^{※2}を用いて数値化し、相関分析を行った。原田らの方法では、健全度は評価値（Vd）の最大値により決定されるが、各堰堤の評価値に極力差を付けるため、ここでは発生している変状の評価値の累積値を評価値とした。結果として表-2 に示す通り、相関係数は低い状況となった。

表-1 相関係数（劣化速度）

影響要因	相関係数 (R ²)
集水面積	0.062
土砂流送能力	0.0049
起伏量	0.0012
河床勾配	0.050
総降水量	0.11
河床勾配(流域)	0.13
施設標高	0.17
生産土砂量	0.16

表-2 相関係数（健全度）

影響要因	相関係数 (R ²)
経過年数	0.037
集水面積	0.0243
土砂流送能力	0.022
起伏量	0.0013
河床勾配	0.0002
総降水量	0.0036
河床勾配(流域)	0.0051
施設標高	0.0005
生産土砂量	0.022

4.3 劣化速度と劣化要因との重相関分析

個々の劣化影響要因に対する単相関分析では、劣化速度や健全度と関係性が高い要因が得られなかったことから、単相関と同様の影響要因を用い、重相関分析を行った。重相関分析においては健全度がB、Cの施設を対象に、最初に全ての影響要素を用いて分析を行い、P-値、t値により説明変数の有意性、結果への影響度を確認し、有効な説明変数の絞り込みを行った。解析は劣化速度と点数評価した健全度双方について実施したが、点数評価は有意な結果が得られなかった。劣化速度との重相関分析において最も調整済み決定係数（補正 R2）が大きい

表-3 劣化速度と影響要因の重相関解析結果

項目	結果			結果		
	健全度 B			健全度 C		
重相関 R	0.721			0.352		
重決定 R2	0.520			0.124		
補正 R2	0.448			-0.400		
観測数	24			9		
有意 F	0.0018			0.8700		
要因	係数	t	P-値	係数	t	P-値
切片	27.98	8.66	3.4E-08	38.328	4.30	7.7E-03
集水面積	-5.73	-3.80	0.0011	-1.27	-0.23	0.82
総雨量	2.2E-05	3.14	0.0052	2.1E-05	0.74	0.49
生産土砂量	9.0E-05	3.63	0.0017	-7.3E-05	-0.29	0.78

ケースについて、結果を表-3、図-3 に示す。重相関分析では健全度 Bの堰堤の劣化速度に対して「集水面積」「総降水量」「生産土砂量」により有意性のある相関式が得られたが、健全度Cの堰堤については有意性のある相関式が得られなかった。健全度Bの重相関分析より抽出された要因は劣化速度と関係する可能性があるが、残差が大きく、関係性を劣化予測に適用することは難しいと考えられる。

4.4 判別分析による健全度予測

量的変数を用いた相関分析では良い結果が得られなかったため、質的変数を目的変数に用いることが可能な判別分析を用い、劣化要因から健全度の判別を行った。分析は経過年数の浅い堰堤を含めた全堰堤が対象となる。最初は全ての要因を説明変数として分析を行い、結果を見た上で有意性の高い要因だけを残して分析を行った。結果は表-4 に示す通りであり、有意性のある影響要因として「経過年」「集水面積」「土砂流送能力」「生産土砂量」が選定され、健全度A～Cの判定率は表-4 の通りとなった。

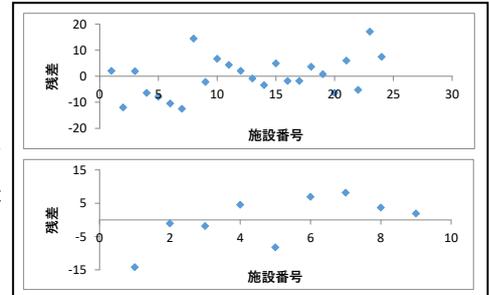


図-3 予測値の残差の分布

表-4 判別分析結果

判別数・確率	予測					
	健全度 A	健全度 B	健全度 C	健全度A 予測確率	健全度 B 予測確率	健全度 C 予測確率
健全度 A	44	10	21	59%	13%	28%
健全度 B	2	17	5	8%	71%	21%
健全度 C	1	2	6	11%	22%	67%

5. 分析結果の劣化予測への反映

判別分析の結果、正確に判定された施設は健全度B、Cで約7割、健全度Aでは約6割となった。ここで、誤判定となった施設については次のように分ける事が出来る。

a. 実際の健全度よりも健全度が低いと判定された施設 (A→B, C 判定)

b. 実際の健全度よりも健全度が高いと判定された施設 (B→A, C→A, B 判定)

aの施設は、劣化要因からの評価よりも劣化速度が遅い状況にあるとの解釈が可能であり、bの施設はその逆（速い状況にある）と言える。判別分析で正確に判別された砂防堰堤のグループと、上記 a,b の誤判定となった堰堤のグループを、表-5 のようなグループに分け、それぞれ劣化速度を設定することで、劣化予測の妥当性が向上すると考えられる。

影響要因	健全度 A 判別関数	健全度 B 判別関数	健全度 C 判別関数	有意確率
経過年	0.15	0.17	0.24	0.0096
集水面積	0.04	-0.92	0.36	0.0107
土砂流送能力	0.00	0.00	0.00	0.0101
生産土砂量	-0.01	0.02	-0.02	0.0024
定数項	-2.42	-5.07	-5.79	

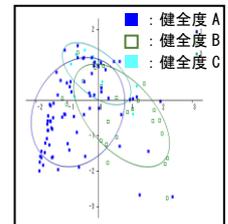


表-5 グループ区分

	劣化要因との関係性
グループⅠ	流域内の各堰堤における劣化と関係性が高いと考えられる要因の状況から想定される劣化速度と、現在の劣化状況が整合
グループⅡ	流域内の各堰堤における劣化要因の状況から想定されるよりも、劣化が 遅い
グループⅢ	流域内の各堰堤における劣化要因の状況から想定されるよりも、劣化が 速い

6. おわりに

重相関解析によって劣化速度と影響要因との関係性が得られれば、重相関式を用いた劣化予測を行うことも考えられるが、必ずしも良い相関が得られるとは限らない。本稿では、このような場合の劣化予測精度向上策として、判別分析により劣化予測の「グループ区分」を行う方法を示した。本手法の適用性、精度は流域の特性や、点検データ蓄積状況によって変化すると想定されるため、引続き検討が必要だと考えられる。

※参考資料 1. 洪水時の土砂流送と河道の土砂輸送能 奥村武信 新砂防 Vol.43 No.5 1991 2. 老朽化した砂防関係施設の健全度及び対策優先度に関する定量的な評価手法の提案 原田ら 河川技術論文集 2015