

ロジットモデルによる堤防被災要因の分析

広島工業大学大学院 学生会員 ○面屋 兼太
 中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫
 広島工業大学工学部 フェロー 宇野 尚雄

1. まえがき（研究目的）

堤防の破壊形式とそれに及ぼす要因が異なるために十数年前にロジットモデルによる河川堤防の被災確率の観点から検討して好結果を得た¹⁾。近年、豪雨災害が頻発する傾向にあり、本報告はM河川とA河川の堤防災害のデータを入力したので再度ロジットモデルによる分析を試みた。

M河川では破堤箇所が2断面有り、A河川では表法面の局所崩壊が主（裏法面災害は皆無）であった。ロジットモデルを被災要因の分析手法として用い、影響要因を特定するとともに堤防の被災確率を求め、実際に被災したデータと照らし合わせ、堤防の安定性評価を目的とする。

2. 分析方法

モデルとしては2項ロジットモデルを用いる。

どちらかの現象が起こるモデルを2項ロジットモデルと呼び、確率 P_n は現象Aを選択する確率である。

判別肢が2つのモデル 現象Aと現象Bのどちらが起こるか。	
現象	確率
A	P_n
B	$1 - P_n$

図-1 2項ロジットモデル

堤防 n が被災する確率 P_n は以下ようになる。

$$P_n = \frac{1}{1 + \exp(-V_n)}$$

$$V_n = \theta_0 + \theta_1 X_{n1} + \theta_2 X_{n2} + \dots + \theta_k X_{nk}$$

ここで、 θ_k ：推定されるパラメータ

X_{nk} ：堤防 n の特性要因

堤防 n が取り得る確率 P_n （ただし被災しない堤防は被災しない確率を表す）とし、堤防 n が実際に被災した結果を δn で示したとき、次式が成り立つ。

$$\overline{P_n} = P_n^{\delta n} \cdot (1 - P_n)^{(1 - \delta n)}$$

ただし、 δn はデルタ関数で堤防 n が被災したとき $\delta n = 1$ 、被災しなかったとき $\delta n = 0$ とする。したがって、同時確率 L^* は次式で与えられる。

$$L^* = \prod_{n=1}^N P_n^{\delta n} \cdot (1 - P_n)^{(1 - \delta n)}$$

上式は未知のパラメータ θ_k の関数、尤度関数（Likelihood Function）である。最尤推定法では L^* の対数 $L = \ln L^*$ を最大にする θ_k の値を推定することと等価であり、 L^* の対数をとると、

$$L = \ln L^*$$

$$\ln L^* = \sum [\delta_n \ln P_n + (1 - \delta_n) \ln(1 - P_n)]$$

上式は対数尤度関数と呼ばれ、 L を最大にする θ_k ($k = 1, \dots, K$) の値をNewton-Raphson法により推定する。推定された θ_k は t 値（1.96で信頼度95%）で検定されるが、以下の分析で認められるように t 値が小さくても要因から直ぐ外さないで、どの要因が重要かを試行錯誤的に選択した要因で模索した。後述するように、要因の係数 θ_k の正負は関数 V_n に及ぼす影響、即ち確率 P_n への影響の妥当性が関係するので、 t 値の良否だけでなく、要因の影響度の正当性も取捨の判断基準とした。その模索回数を単純に回数で示している（表-3参照）。

3. 分析結果

A河川では表法崩れ、M河川では破堤（欠損）、にそれぞれ影響する要因を分析し、各堤防の被災確率を求める。

堤防の特性要因は当初、次の要因を採用した。これらは被災形態に影響すると考えた要因を採用したものである。

表-1 堤防の特性要因（A河川堤防）

1. 天端幅	2. 表のり高	3. 表のり面勾配	4. 堤体断面積	5. $\tan \phi$
6. c/yH	7. 砂	8. 粘土	9. 礫	10. 護岸の有無
11. 舗装の種類	12. 漏水履歴	13. 河道状況凹	14. 凸	15. 直

表-2 堤防の特性要因（M河川堤防）

1. 天端幅	2. 表のり高	3. 裏のり高	4. 表のり面勾配	5. 裏のり面勾配
6. 堤体断面積	7. 流量比	8. $\tan \phi$	9. c/yH	10. 砂
11. 粘土	12. 礫	13. 護岸の有無	14. 舗装の種類	15. 漏水履歴
16. 河道状況	17. 越水履歴			

表-2の流量比は「被災時流量/ 流下能力」を意味する。これらの要因を使って推定して求められた t 値、的中率、尤度比を表-3、表-4に示す。いずれも全要因による分析から初めて悪い t 値の要因を削除した分析結果である。

表-3 A河川堤防の推定結果

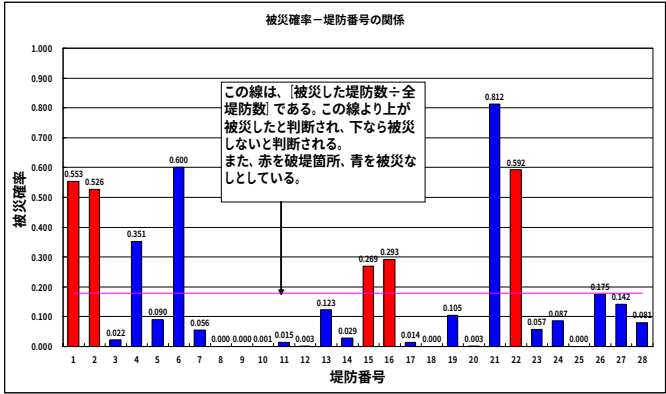
回数	1	2	3	4	5	6	7	8	回数		
要因	t 値	t 値	t 値	t 値	t 値	t 値	t 値	t 値	要因	パラメータの符号	パラメータの一致
定数項	0.06	0.10	0.86	0.91	0.98	0.91	1.42	1.26	定数項	正	○
表法高	0.48	0.47							表法高	正	○
表法面勾配	0.30	0.35							表法面勾配	負	○
堤体断面積	2.58	2.65	2.68	2.65	2.60	2.71	2.73	2.76	堤体断面積	負	○
$\tan \phi$	0.73	0.73	0.71	0.79	0.81				$\tan \phi$	正	x
c/yH	0.67	0.68	0.65	0.68	0.65				c/yH	負	○
砂	0.01	0.58	0.66	0.68	0.72	0.93			砂	正	正
粘土	0.01								粘土	正	
礫	0.01	0.72	0.84	0.89	1.03	1.55	1.40	1.46	礫	正	
護岸の有無	2.47	2.50	2.50	2.45	2.50	2.50	2.42	2.35	護岸の有無	負	○
舗装の種類	0.75	0.81	0.74	0.65					舗装の種類	正	x
凹	0.55	0.60	0.61						凹	正	○
直	0.60	0.59	0.65	1.07	1.07	0.99	0.83		直	負	○
的中率	71.77	72.58	70.16	70.97	67.74	68.55	68.55	68.55	的中率		
尤度比	0.4670	0.4674	0.4676	0.4659	0.4643	0.4605	0.4550	0.4532	尤度比		

キーワード：被災確率、堤防、ロジットモデル、 t 値、パラメータ θ_k

表－4 M河川堤防の推定結果

回数	1	2	3	4	5	6	7	回数		
要因	t値	t値	t値	t値	t値	t値	t値	要因	パラメータの符号	パラメータの一致
定数項	0.58	0.47	0.94	0.35	0.84	0.05	1.65	定数項		
天端幅	1.48	1.57	1.58	1.56	1.81	1.86	1.40	天端幅	負	○
表法高	0.31							表法高	正	○
表法面勾配	1.07	1.29	1.29	1.01	1.17			表法面勾配	正	○
裏法面勾配	0.95	1.02	1.69	1.62	1.59	1.57		裏法面勾配	負	×
堤体断面積	0.58	0.52						堤体断面積	正	×
流量比	1.23	1.36	1.50	1.53	1.77	1.90	1.74	流量比	正	○
c/yH	0.80	0.92	1.04					c/yH	負	○
砂	1.09	0.18	1.25	0.95				砂	負	
舗装の種類	1.20	1.36	1.57	1.50	1.66	1.73	1.44	舗装の種類	負	○
的中率	82.14	82.14	85.71	85.71	78.57	89.29	71.43	的中率		
尤度比	0.5184	0.5413	0.5118	0.5697	0.5337	0.5576	0.4452	尤度比		

M川の推定結果としては6回目の一番良い分析結果を元に図－1に示した。赤色1,2,15,16,22が破堤断面である。



図－1 M河川堤防の被災確率

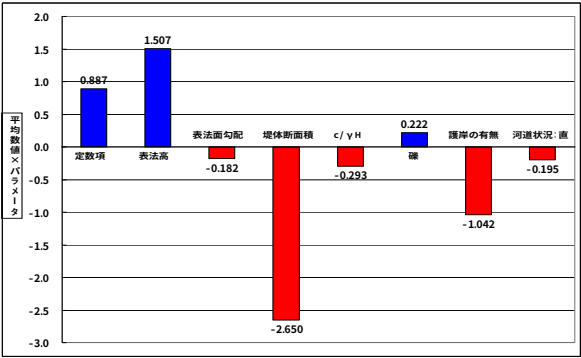
A川2回目の分析からパラメータの符号が一致していないtanφ, 舗装の種類を省き, また相関性のある砂, 河道状況：凹を省き, 推定結果を改善した結果が表－5である。

表－5 A川の推定結果の改善

要因	t値		
定数項	0.29	全体的にt値は上昇したが、的中率は減少した。しかし、この残った要因は力学的に説明しやすい要因で不確定要素の少ない結果といえる。	
表法高	0.50		
表法面勾配	0.21		
堤体断面積	2.56		
c/yH	0.85		
礫	0.80		
護岸の有無	2.43		
河道:直	0.94		
的中率	69.35		
尤度比	0.4608		

この改善結果だけでは、表法崩れに対しての要因の影響はわからない。そこで判別式中のV₀の一次式各項：(要因の平均数値) × (パラメータθ_k)の大きさを図－2に示した。影響が大きい要因から、堤体断面積, 護岸の有無, 表法面高さ, の順に表法崩れに大きく影響していると判別された。

A川の全堤防数は124で被災した堤防は19とデータ数は豊富である。表法崩れに影響する特性要因の分析を行い、的中率は約70%で低めな結果となった。A川では判定目的は「表法崩れ」の判別であるため、最終的に残った特性要因の中に護岸の有無（ダミー変数）があることが評価できる。護岸のない箇所は土がむき出しの状態と予想される。堤体断面積も重要な特性要因という結果となったが、力学



図－2 判別式中のV₀に占める各項の大きさ

的な意味付けが難しい。

M川の全堤防数は28, 被災した堤防は5であり, データ数はやや少なめである。破堤（欠損）に影響する特性要因の分析を行い、的中率は約90%となり, 破堤箇所はすべての中できた。最終的に残った特性要因は、天端幅(θ_k= -0.556), 裏法面勾配(θ_k= -0.376), 流量比(θ_k= 8.986), 舗装の種類（アスファルト：1, 土と芝生：0 評点で、パラメータθ_k= -3.28でアスファルトの方が安全な判別結果：期待通り）となった。この中で、裏法面勾配はパラメータθ_kの符号が逆転し、従来の役割と逆になった。その原因については、芝生の影響、裏法土質の湿潤度など、さらに詳細な分析が必要と考えられる。M川で結果の良かった、表－4のNo.7に注目するとパラメータθ_kの符号から判断すれば、堤防を被災に促す特性要因は流量比と天端幅が効いている。流量比は被災時流量/ 流下能力で、当然、流量比の大きい堤防が被災しやすいといえるが、抵抗要因の天端幅は各堤防で大きな差があり、これがうまく機能して的中率が上昇したと考えられる。つまり、流量比と天端幅は、破堤（欠損）に関して大きく影響を与える特性要因といえる。

4. 結論

- (1) 表法崩れに影響する要因には、護岸の有無と堤体断面積が抽出された（A堤防）。
- (2) 破堤に影響する要因には、流量比, 天端幅, 裏法面勾配, 舗装状況が抽出された（M堤防）。
- (3) 的中率は全体的に高く、被災した堤防と被災していない堤防の被災確率に大きな差が見られた。
- (4) M川破堤判別でパラメータの符号が逆転した裏法面勾配については、要因の組合せ方に工夫が必要なので、ロジットモデル分析には更に改善の余地がある。

ロジットモデルは被災要因の分析手法として数値で表現できる有効な手法といえる。

参考文献

1) 宇野尚雄・森杉寿芳・杉井俊夫・中野雄治：被災事例に基づく河川堤防の安定性評価, 土木学会論文集, No.400, pp.161～170, 1988.