河川堤防における簡易な信頼性評価手法の提案

建設コンサルタンツ協会北陸支部 業務・研究発表会 2019.08.08(木)

新潟大学大学院 自然科学研究科 設計学・地盤工学研究室 修士2年 矢沢 大夢

研究背景

平成24年7月九州北部豪雨 矢部川(破堤箇所右岸7.3km)

水位が堤防高に至る前に破堤 『越水なき破堤』→ 浸透性パイピング破壊

破堤箇所以外でも、変状を伴う被災箇所が18箇所 →ほぼ一定の外力にも関わらず、『破堤する地点』, 『変状が生じる地点』,『変状のない地点』がある

→ 過去の変状データを安全性評価に組み込む



引用:朝日航新聞デジタル (http://www.asahi.com/special/typhoon/SEB201207140021.html)

参考:矢部川堤防調査委員会:矢部川堤防調査委員会報告書

研究背景

国土交通省 中小河川緊急治水プロジェクト(H29-32年度)

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



参考:国土交通省,中小河川緊急治水対策プロジェクト,2017,(http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000933.html)

本研究の目的





- パイピングのような局所的現象の危険箇所抽出には, 詳細な河川堤防の安全性評価 ⇔ 高密度な地盤調査(データ)
- → 整備の進んでいる一級河川でもデータが不足 中小河川より不足していることが考えられる...
- → 詳細な地盤調査は、高コスト
- → 確率論的安全性評価の導入



本研究の枠組み



本研究の枠組み



信頼性解析方法



地盤情報データ (離散データ)

対象:国内一級河川35km

- ・過去にパイピングに関連する変状有(基盤漏水,噴砂)
- ・約200~500m間隔で比較的高密度な調査(0~10km地点)





環境条件データ (連続データ)

ロジスティック回帰分析では、以下の5つの指標に着目した

量的データ

- ・ 堤体幅 Z₁(m)
- 堤体の平均動水勾配Z₂(-)
- ・ 被覆土の層厚Z₃(m)

量的データ





•	過去の中小規模洪水時の変状情報 $Z_4(-)$
---	--------------------------

 ・ 治水地形分類Z₅(-)

 質的データ

質的データ

<u>過去の中小規模洪水時の変状情報Z₄(-)</u> • 漏水か噴砂が観測された区間……1 • それ以外の区間………0 ^{参考:過去の変状事例の記録}

<u>治水地形分類 $Z_5(-)$ </u>

- 旧河道と自然堤防にあたる区間……1
- それ以外の区間………0

参考:国土地理院,治水地形分類図









モンテカルロ・シミュレーション (MCS)

信頼性解析手法の一つ、数値シミュレーションによって擬似乱数を生成、超過確率を算出。



-	\mathbf{X}_{i}	Unit		Distribution	Mean	Std
形状パラメータ	d	m	被覆土層厚	Lognormal	μ_d	$0.2\mu_d$
	D	m	透水層厚	Lognormal	μ_D	$0.2\mu_D$
	В	m	堤体幅	Deterministic	В	-
	L_{f}	m	有効な堤外地の長さ	Uniform	0 ~ 15	-
	x _{exit}	m	堤体中央から浸出点までの距離	Uniform	B /2 ∼B	-
	Y sat	kN/m ³	飽和単位体積重量	Gaussian	18	3.5
\mathcal{K}	γw	kN/m ³	水の単位体積重量	Deterministic	10	-
土質パラメー	γ_s	kN/m ³	土粒子の単位体積重量	Deterministic	26.5	-
	θ	deg	内部摩擦角	Deterministic	37	-
	d_{70}	m	70%通過粒径	Lognormal	μ_{d70}	$0.15 \mu_{d70}$
	k	m/s	透水層の透水係数	Lognormal	μ_k	$1.0\mu_k$
デルパラメータ	k_{h}	m/s	被覆土層の透水係数	Lognormal	μ_{kh}	$1.0\mu_{kh}$
	m_u	-	upliftモデル係数	Lognormal	1	0.1
	m_{φ}	-	局所動水勾配モデル係数	Lognormal	1	0.1
	m_p	-	pipingモデル係数	Lognormal	1	0.12
	i _{c, h}	-	heaveの限界動水勾配	Lognormal	7.00E-01	0.1
Ψ	d_{70m}	m	d ₇₀ の基準値	Deterministic	0.000208	-
	η	-	耐力係数(ホワイトの定数)	Deterministic	0.25	-
-	v	m^2/s	水の動粘性係数	Deterministic	1.33E-06	-



<u>ロジスティック回帰分析の利点</u>

- ・目的変数が0,1のデータ(質的変数)で扱える
- ・回帰係数から影響度を解釈できる

ー般化線形モデル(ロジスティック回帰) $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta^{t} Z$

リンク関数:ロジット関数

誤差構造 :二項分布

線形予測子: $\beta_0 + \beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \dots + \beta_n z_n$



<u>回帰係数ベクトル</u> $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n)$

説明変数ベクトル(環境条件データ)

$$Z = \begin{pmatrix} | | | | | | | \\ 1 z_1 z_2 \cdots z_n \\ | | | | | \end{pmatrix}_{(i = 1, 2, \cdots, n)}$$
このとき、確率pは以下のように求められる。
$$p = \frac{1}{1 + \exp(-\beta^t Z)}$$

一般化線形モデル(ロジスティック回帰)

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \boldsymbol{\beta}^t \boldsymbol{Z}$$

P¹⁰⁰:100年換算した破壊確率 変数減少法で、AIC最小のモデルを選択





ロジスティック回帰結果



ロジスティック回帰結果







回帰係数

◆ロジスティック パラメータ <u>回帰係数</u>



◆信頼性解析 パラメータ



パラメータの感度(寄与度)

- ・信頼性解析より少ないパラメータで評価
- ・変状のような質的変数を容易に組み込める 反対に,透水係数,粒径などが評価されない

回帰係数 | 目的変数:SYSTEM

回帰係数

 $P_{f.cal}^{100}$ **vs** $P_{f.est}^{100}$













パイピング超過確率の比較|まとめ





まとめ

- ・ロジスティック回帰で、簡易にパイピング超過確率が算出可能
- ・学習させた区間と推論する区間が異なる場合にも概ね一致
- ・回帰係数から変数の感度(寄与度)が解釈できる

今後の検討すべき事項

- ・局所的に超過確率の精度が低い
 - 個体差を考慮した階層ベイズへの拡張
- ・学習させる河川と推論する河川が異なる場合で検証
- ・照査点の補間としての利用可能性の検証



環境情報データ(連続データ)

対象河川堤防の左岸における環境条件データ(量的データは標準化後をプロット)



対散布図 環境条件データ



ロジスティック回帰

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \exp(\beta^{t}Z)$$

$$*P_{f,[\cdot]}^{100} : 100年換算した破壊確率$$

$$\ln\left(\frac{P_{f,00}}{1-P_{100}^{100}}\right) = -0.54 + 0.23Z_{1} + 0.74Z_{2} - 0.79Z_{3} + 3.18Z_{4} - 100$$

•
$$P_{f.UPLIFT}^{100}$$

- $P_{f.HEAVE}^{100}$
- $P_{f.PIPING}^{100}$
- $P_{f.SYSTEM}^{100}$

$$\begin{split} &\ln\left(\frac{P_{f.UPLIFT}^{100}}{1-P_{f.UPLIFT}^{100}}\right) = -0.54 + 0.23Z_1 + 0.74Z_2 - 0.79Z_3 + 3.18Z_4 - 0.05Z_5 \\ &\ln\left(\frac{P_{f.HEAVE}^{100}}{1-P_{f.HEAVE}^{100}}\right) = -1.91 + 0.28Z_1 + 0.56Z_2 - 0.96Z_3 + 2.50Z_4 + 0.13Z_5 \\ &\ln\left(\frac{P_{f.PIPING}^{100}}{1-P_{f.PIPING}^{100}}\right) = -4.80 - 0.50Z_1 + 0.25Z_2 - 0.08Z_3 + 1.19Z_4 + 0.20Z_5 \\ &\ln\left(\frac{P_{f.SYSTEM}^{100}}{1-P_{f.SYSTEM}^{100}}\right) = -5.75 - 0.57Z_1 + 0.21Z_2 - 0.14Z_3 + 0.70Z_4 + 0.49Z_5 \end{split}$$

学習:左岸 → 推論:左岸



