

河川堤防の液状化リスクの線状評価

岐阜大学 学生会員 ○間瀬将成
岐阜大学 正会員 本城勇介
岐阜大学 正会員 大竹 雄

1. 背景と目的

現行設計では、河川堤防を縦断方向にグループ分けし、各区間の代表断面に対して耐震性能照査がなされる。しかし、この設計では、線状に広がる河川堤防の性能評価（液状化危険度評価）に十分であるとは言い難い。そこで、本研究では、河川堤防を線状構造物として捉えて、線状に連続的に信頼性解析を行い、液状化に伴う危険個所の抽出や地盤調査の過不足の定量化を行う。さらにこの結果と共に、被災履歴や地形地質分類図等の既存データを有効活用することにより、維持管理に役立つ情報を得ることを目的とする。

2. 対象河川堤防の概要

ある一級河川の両岸堤防下流部 0km～15km を研究対象とした。

2.1 地盤特性 堤体材料は、シルト混じり細砂(Bs)が主体であるが、一部の区間では、旧堤と思われるシルト～粘土層(Bc)が部分的に残されている。基礎地盤は、治水地形分類では高位または低位デルタに分類され、第4期完新世南陽層の上部層が堆積している。シルト分の混入量により、シルト混じり細砂 (Aus/ALs) もしくは砂質シルト (Auc/ALc) の2種類に大別される。道路橋示方書に基づく、各層の物性値を用いた判定から、AusとALsは液状化懸念層であると判断された。

2.2 地震ハザードの特徴 対象堤防の周辺地域においては、想定東海地震（マグニチュード Mw=8.0, 50年発生確率 P=97.4%）、東南海地震（Mw=8.1, P=94.1%）、伊勢湾断層帯（Mw=8.1, P=0.74%）などの地震被害が懸念されている。

3. 耐震危険度解析

河川堤防の耐震性能照査として液状化判定を行った。本研究での液状化危険度解析の流れと関連する不確実性を図-1に示す。基本的には、大竹・本城・小池(2011)¹⁾に従う。

3.1 評価方法 液状化被害の程度は、道示に従い PL で表す。PLは、深度毎の液状化に対する抵抗率 FL を深度方向に重み付き積分した指標指数であり、以下の式

で定義される。ただし、 $FL \geq 1$ の場合は $FL=1$ とする。

$$PL = \int_{20}^0 (1 - FL)(10 - 0.5 \cdot x) dx \quad (1)$$

ここで、 x は地表面からの深さを示す。

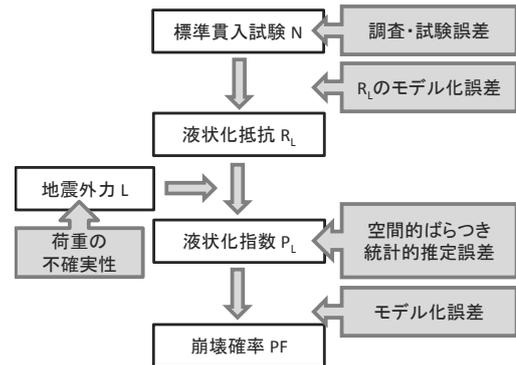


図-1. 液状化危険度解析の流れと関連する不確実性

3.2 不確実性解析

3.2.1 計算誤差 PLの計算過程に含まれるN値やRLの計測・試験誤差に起因するPLの計算誤差である。

3.2.2 荷重の不確実性 建築学会の地震ハザードデータ²⁾を用いて、対象地点の工学的基盤面に対する最大加速度の100年超過確率を算出した。図-2(i)の下方側に位置する点が100年累積確率密度関数であり、このy座標の範囲に一樣乱数を1000個発生させた時の最大加速度のヒストグラムが図-2(ii)である。

3.2.3 空間的ばらつきと統計的推定誤差 調査地点間のPLの空間的ばらつきは、PLを確率場でモデル化して情報不足を定量化した。確率場は、平均、分散、共分散(自己相関関数)により記述することができる為、対象区間の標準貫入試験実施地(左岸53地点、右岸36地点)で計算された $\ln(PL)$ の平均 $\mu_{\ln PL}$ 、分散 $\sigma_{\ln PL}^2$ を使用した。共分散は確率場の2点間の距離 Δx に応じた相関性 θ を示す指標である自己相関関数 $\rho(\Delta x/\theta)$ により決定した。 θ は堤防の線形方向地盤条件の連続性・関連の強さを支配する指標であり、対象区間左岸の θ は0.2 km、右岸は0.1 kmと算出された。この θ を考慮して、任意地点のPLを実現値からOrdinary Krigingを用いて内部推定した結果が図-3の上段である。

3.1.4 モデル化誤差 PLという簡易指数で崩壊を説

明することによる不確実性であり、大竹ら (2013) 3) が提案したフラジリティー曲線 (図-2(b)) の不確実性と等価であるとみなした。この曲線は、東日本大震災時のある堤防における崩壊の有無を、説明変数である PL を用いて 2 値回帰分析した以下の関数である。

$$FR(\ln(PL_i)) = \Phi\left(\frac{\ln(\mu_{FR}/c)}{\xi}\right) \quad (3)$$

ここで、 c 、 ξ が回帰分析で決定すべきパラメータであり、それぞれフラジリティー曲線の中央値と対数標準偏差を意味する。 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布である。

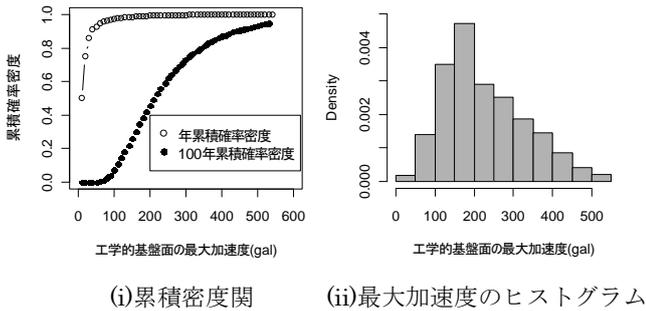


図-2. 100年間に超過する最大加速度の不確実性

3.3 信頼性解析 3.2 で上述した $\ln(PL)$ とフラジリティー関数 $FR(\ln P_L)$ から、性能関数 M は対数正規分布に従う基本変数の積から構成される(4)式で定義した。安全性余裕 M の平均 μ_M と分散 σ_M は(5)、(6)式で表される。

$$M = FR(\ln P_L) - \ln P_L \quad (4)$$

$$\mu_M = \mu_{\ln R} - \mu_{\ln S} = \ln \left\{ \frac{\mu_R}{\mu_S} \sqrt{\frac{1 + COV_S^2}{1 + COV_R^2}} \right\} \quad (5)$$

$$\sigma_M = \sqrt{\xi^2 + \sigma_{\ln PL}^2} = \sqrt{COV_{FR}^2 + COV_{PL}^2} \quad (6)$$

これらより信頼性指数 β と破壊確率 P_f は、(7)、(8)式により算出される。

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (7) \quad P_f = \Phi(-\beta) \quad (8)$$

図-3 の中段と下段に、一連の信頼性解析から得られた破壊確率 P_f と性能関数に対する各不確実性 (荷重の不確実性, 統計的推定誤差, モデル化誤差) の割合を示す。

4. まとめと今後の課題

耐震危険度解析のフローに従い、対象河川堤防の兩岸 15km の危険度を連続的に評価した。兩岸とも限界状態には、荷重の不確実が大きく寄与し、その寄与度は地盤構成により顕著な変化が見られることが分かった。今後は、今回得られた結果と被災履歴や地形地質分類図、沈下量計算結果等の対応関係を明確にすると共に、被害額の算定を行うことで液状化リスクの線状評価を試みる。

<参考文献>

- 1) 大竹・本城・小池：調査地点を考慮した長大水路の液状化危険度解析，地盤工学ジャーナル，Vol. 7, No. 1, pp. 283-293, 2012
- 2) 日本建築学会，荷重運営委員会：任意地点の工学的基礎位置での地震ハザード曲線，日本建築学会ホームページ，< <http://news-sv.ajj.or.jp/kouzou/s10/outcome.html> >
- 3) 大竹・本城・平松：震災履歴を有する河川堤防20km を対象とした地盤調査地点を考慮した液状化危険度解析とその有効性検証，地盤工学ジャーナル，投稿中

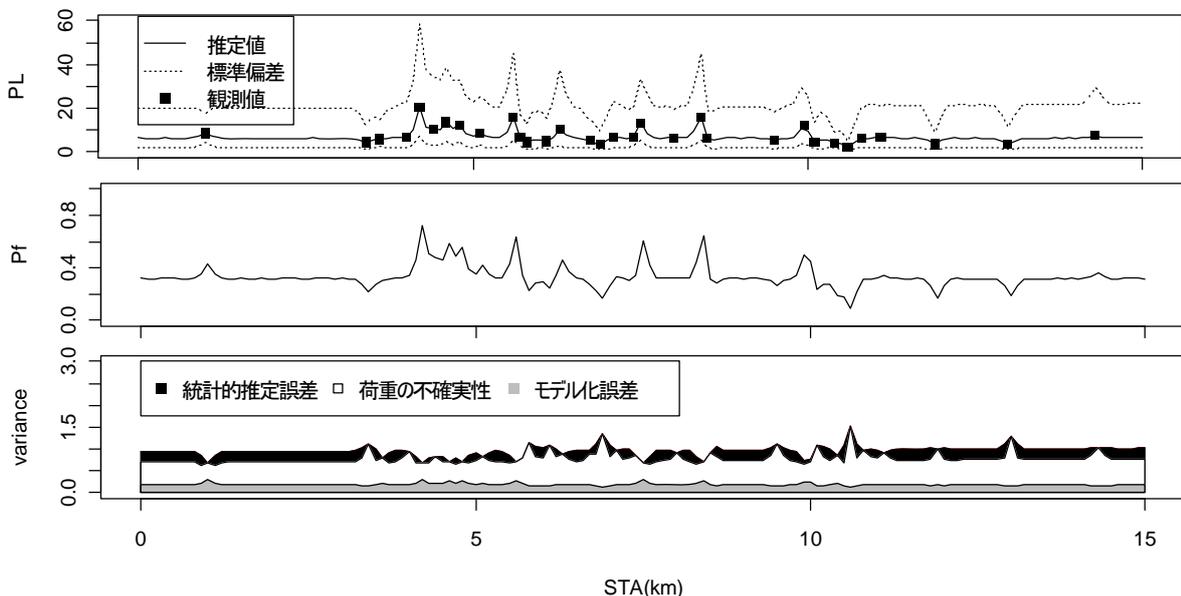


図-3. 右岸における PL 推定値(上段)，破壊確率 P_f (中段)，性能関数に対する不確実性の寄与度(下段)