

河川堤防の液状化危険度評価を対象とした “見落としリスク”を定量化と危険度の抽出

新潟大学 丹野領太
新潟大学 脊戸川史也
新潟大学 大竹雄
岐阜大学 本城勇介

1. はじめに

本研究は、河川堤防のような線状の土木構造物の地盤調査の最適配置計画について研究した。具体的には、被災履歴を有する実際の河川堤防に対して、危険箇所の適切な抽出の可否を見落としリスク（地盤調査の過不足さ、統計的推定誤差）の定量化に基づいて検討した。そして、今後起こりうる地震の確率や影響、それによる被害の大きさやコストを考慮して、地盤調査の最適配置計画を行った。

2. 既往の研究

大竹ら(2014)¹⁾は、基本的な地盤調査から計算できる簡易な指標から Kriging を用いて、地盤調査地点と評価地点の位置関係に関わる不確実性を定量化した、河川堤防の液状化危険度評価方法を開発した。その際に、2011年東北地方太平洋沖地震で実際に液状化被害が生じた堤防(20Km)を適用している。図1は地質縦断面図と損傷地点の位置関係を示しており、図2は河川平面図と微地形分類の関係を示している。

実施されている調査内容は、主として標準貫入試験であり、対象区間全体83箇所で行われている。図1の地質図に重ねて示された縦破線は、その調査地点を示している。

特徴としては、STA31-32, STA36-40付近で、大凡50m間隔の高頻度に調査がなされている。この区間は地震時に堤防が損傷した箇所であり、地震後にも追加調査がなされている区間である。また、下流部 STA25-31では、大凡150m間隔で比較的調査数が多いが、それ以外は、300~500m間隔で調査がなされている。

図3, 図4は Kriging による液状化危険度解析の結果をそれぞれ一般区間と旧河道・自然堤防区間に分けて示している。これらの図では、(a) P_L の Kriging 結果と (b) 損傷確率、(c) 不確実性の寄与度を表わしている。

まず、一般区間 (STA25-35) の図3に着目する。損傷地点である STA31-32 付近で損傷確率が100%に近い値が計算されており、2011年東北地方太平洋沖地震の被災状況を良く説明する結果が得られた。ここで、(c) 不確実性の寄与度の PL の空間的バラツキと統計的推定誤差に着目する。この不確実性の大きさは、地盤情報の不足さを表している。

標準貫入試験の間隔が大凡150mである STA26-29 区間や地震後に詳細な調査がなされた損傷地点 (STA31.8 付近) では、この不確実性が極めて小さく、標準貫入試験の実施数、間隔としては十分であることが分かる。これに対して、STA30.5~35 (損傷地点 STA31-32 付近を除く) では、この不確実性が主要因になる地点があり、地盤調査を追加して危険度評価の精度を向上させる必要があることが読み取れる。

また、区間全体を通してモデル化誤差の寄与が大きいことが分かる。さらに詳細に損傷危険度を評価する場合には、FEM 解析などのより詳細な解析を行うなど、評価方法を改善することが効果的であることが分かる。

次に旧河道・自然堤防区間 (STA35-45) の図4に着目する。図3の一般区間 (STA25-34) に比べて、観測点距離が短い場合においても PL が大きく変動する場合があることが分かる。すなわち、旧河道・自然堤防区間 (STA35-45) では、 PL 分布の推定における標準貫入試験1本の値が、一般部 (STA25-35) に比べて小さいと言える。この区間の地盤調査間隔は、一般部 (STA25-34) と概ね同様であるが、(c) 不確実性の寄与度をみると、区間全体を通して、地盤調査が不足していることが読み取れる。

3. 地盤調査に関する最適配置についての考察

堤防の液状化危険度評価における標準貫入試験の調査間隔について考察する。本解析は、震災後に実施した損傷地点における詳細な地盤調査結果を含めた解析であり、危険度を適切に評価できるのは当然かもしれない。そこで、全83本の地盤調査の部分的な情報のみで危険度解析を行い、適切な調査間隔について考察を加える。

図5は、一般区間 (STA25-35) の検討結果であり、(A)は、当該区間の自己相関距離と同程度 (大凡200m間隔) での地盤調査を想定した場合である。乱数を用いて地盤調査地点の想定組み合わせを無作為に5ケース作成して解析を行った。同様に(B)は大凡400m程度の間隔の場合を示している。

図6は、同様に自然堤防・旧河道区間 (STA35-45) の検討結果で、一般区間 (STA25-35) と同様に(A)大凡200m間隔、(B)大凡400m間隔の場合を示してい

る。

これらの図は、3種類の図で構成されているが、(a)、(c)は、5ケースのうちのある1ケースの場合を示し、それぞれPL分布(Kriging推定)と寄与度分布を示している。(b)は、損傷確率を示しているが、全5ケースの計算結果について、着色を変えて重ねて示している。なお、赤で示した結果が(a)、(c)に対応した結果である。

これらを見ると、図5(A)のケース以外は、区間全体を通して地盤調査の不足による不確実性が主要因となっていることが分かる。これと対応するように、(b)の損傷確率を見ると、図5(A)以外では、灰色の網掛け区間である損傷地点の危険度の高さを評価できないケースが多い。

以上の試算より、本手法によりスクリーニングを行う場合には、対象区間の自己相関距離や、(c)の不確実性の寄与度を確認しながら、地盤調査の過不足を確認することが重要である。地盤調査の不足による不確実性が主要因になっている区間については、地盤情報を追加して危険度を再評価することが必要となる。

なお、河川堤防の地盤調査間隔の目安については、河川土工マニュアル(2009)²⁾に記載がある。河川土工マニュアルでは、「河川堤防の計画線にしたがって200mに1箇所の間隔でボーリング調査を実施することが望ましく、特に、表層部に比較的軟らかい層がある場合には、50m~100mの間隔でサウンディングを実施するものとする」とされている。ここで示された数字は経験に基づくものと考えられるが、この調査間隔の数値は、本対象堤防における一般部と旧河道・自然堤防部のPLの自己相関距離と、それぞれ概ね対応している点は興味深い。

本提案手法を適用する際には、マニュアルの値を基本としつつ、その過不足を確認しながら、必要に応じて追加調査を行い、対策優先箇所の絞り込みを行うことが望ましい。また、その際、微地形分類図から旧河道・自然堤防区間などの複雑な微地形地点を特定し、同一の確率場として解析を行う区間を適切に設定することが重要である。

4. 今後の課題

今後は、地震外力の不確実性の影響を考慮し、さらに一般化した危険度評価モデルを構築したいと考えている。さらに、本研究で定量化した地盤抵抗の不確実性との関連、寄与度について分析を加える計画である。また、VOI³⁾の概念を用いて、論理的に地盤調査地点の最適化について検討をしたいと考えている。

なお、VOIとは情報の価値という意味で、不確定性のもとで合理的な意思決定を行うための指標であり、情報がある場合とない場合の貨幣換算した便益や損失の差分で求めることができる。

新たな観測情報の追加による判断の誤りのリスクの削減量と定義することができる。このリスクの削減量を最大化するには、観測点を増やせば増やすほど地盤調査の不確実性を減らすことができ、リスクの削減量を最大に近づけることができる。しかし、観測点を増やすということは、それだけ調査に掛かるコストも増えるということである。そこで、地盤調査の過不足や推定誤差、それに加えて、今後起こりうる地震の大きさや被害によって掛かるコストとのバランスを考え、KrigingとVOIを組み合わせることで、危険個所の抽出の可否と地盤調査の最適配置計画を行うことを検討する予定である。

参考文献

- 1) 大竹雄, 本城勇介, 平松佑一, 吉田郁政, 佐古俊介, 中山修, 長野拓朗: 震災履歴を有する河川堤防 20kmにおける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, Vol.9, No.2, pp.203-217, 2014.
- 2) 国土技術研究センター: 河川土工マニュアル, 2009
- 3) 吉田郁政, 大竹雄, 本城勇介: 情報の価値 Value of Information に基づく最適な観測点位置および箇所数の評価方法, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.71, No.1, pp.1-13, 2015.

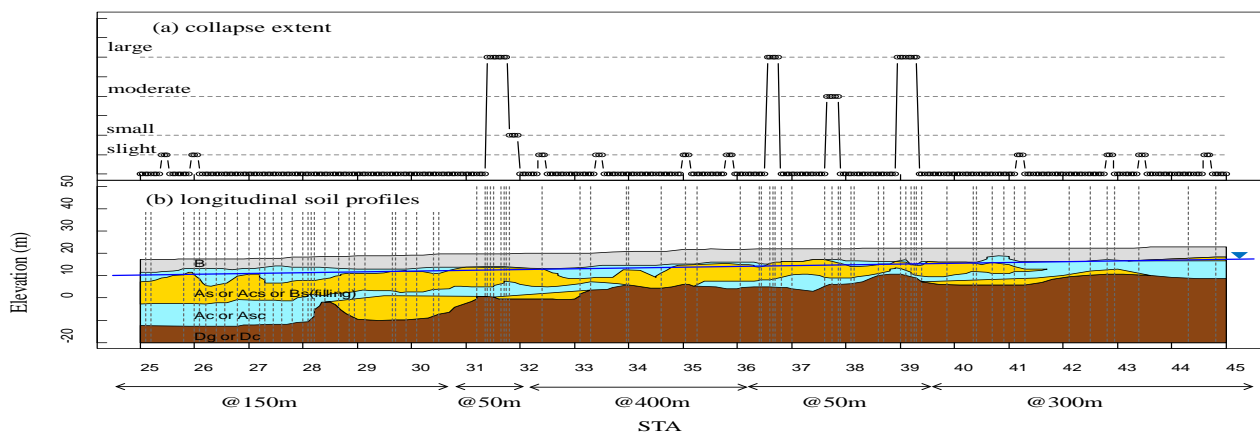


図1 地質縦断面図と損傷地点の位置関係

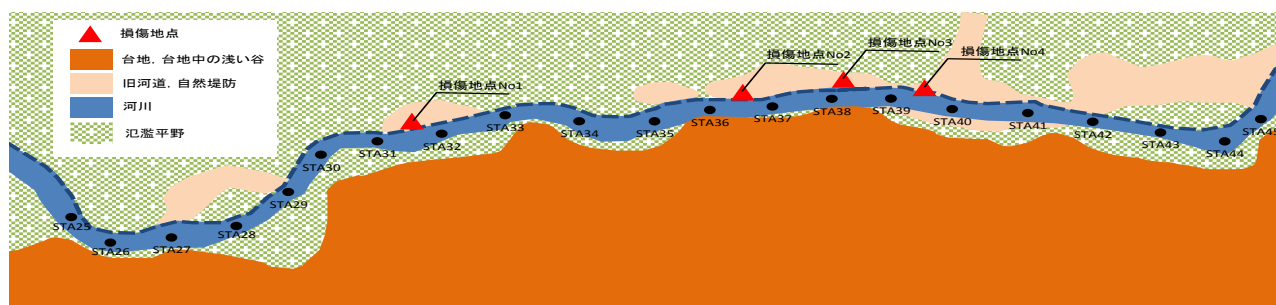


図2 河川平面図と微地形分類の関係

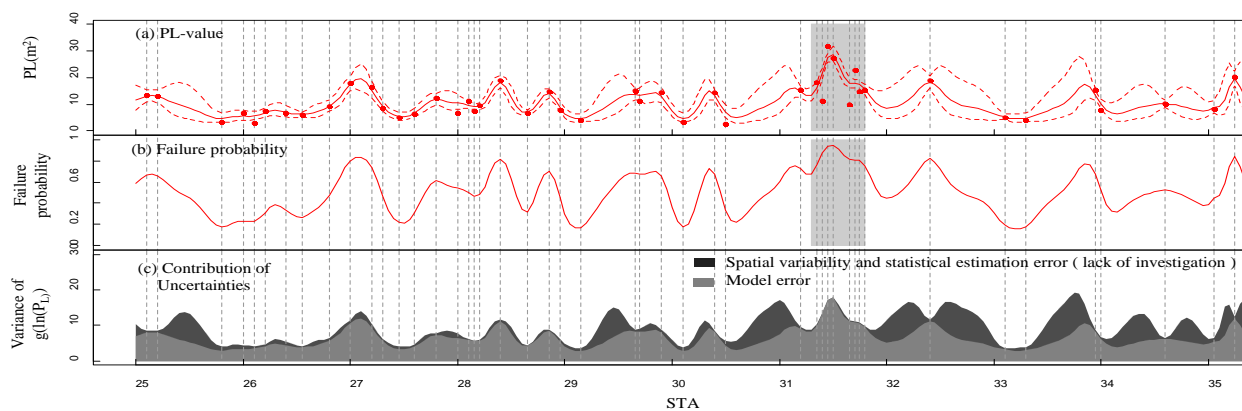


図3 液状化危険度解析結果と不確実性の寄与度（一般区間）

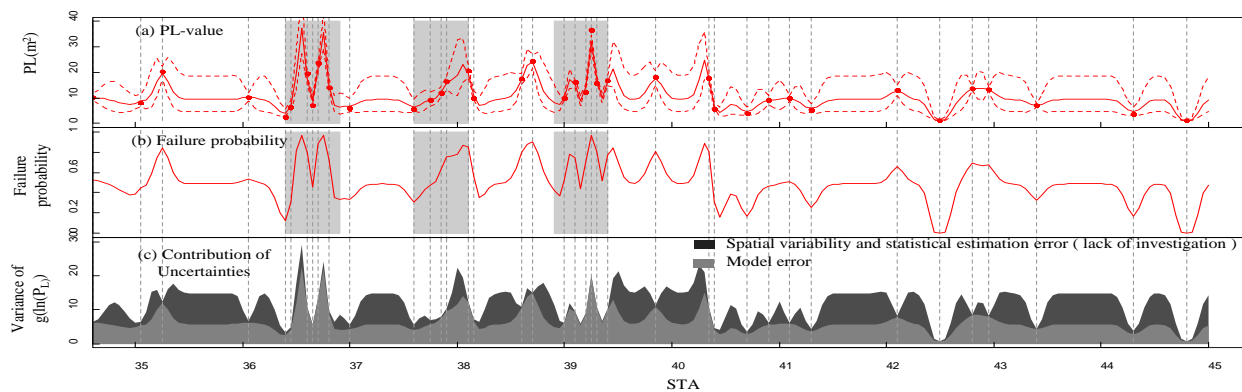
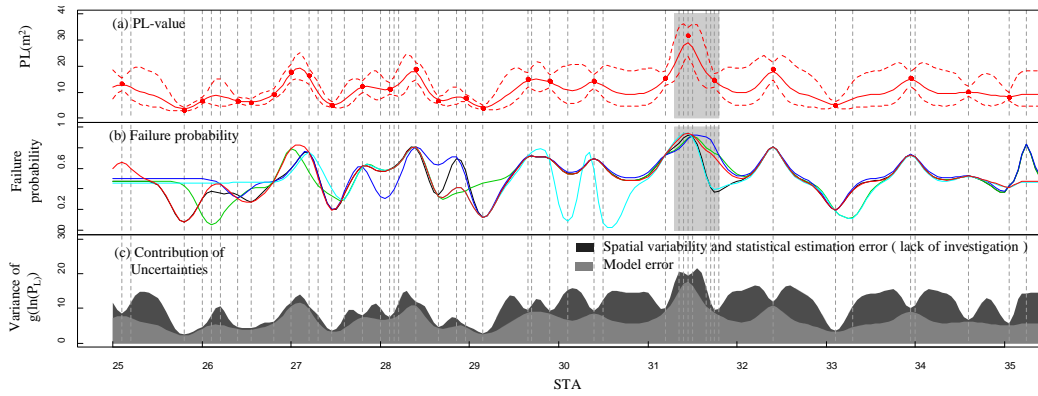
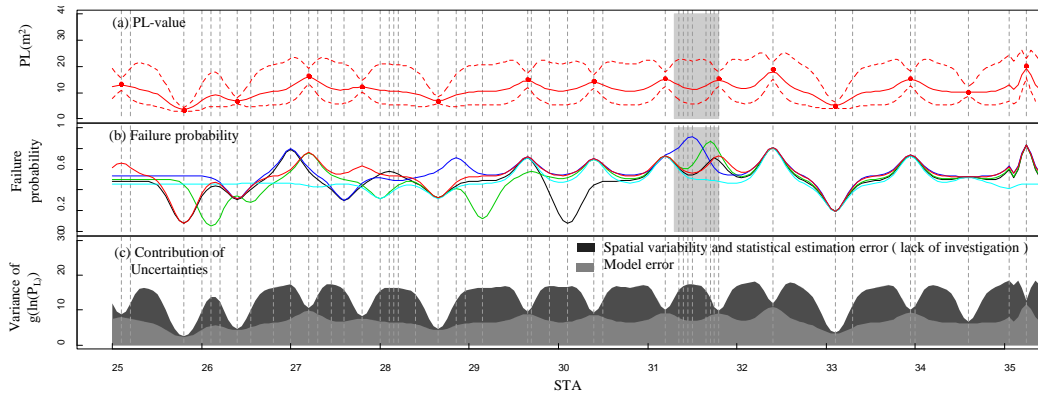


図4 液状化危険度解析結果と不確実性の寄与度（旧河道・自然堤防区間）

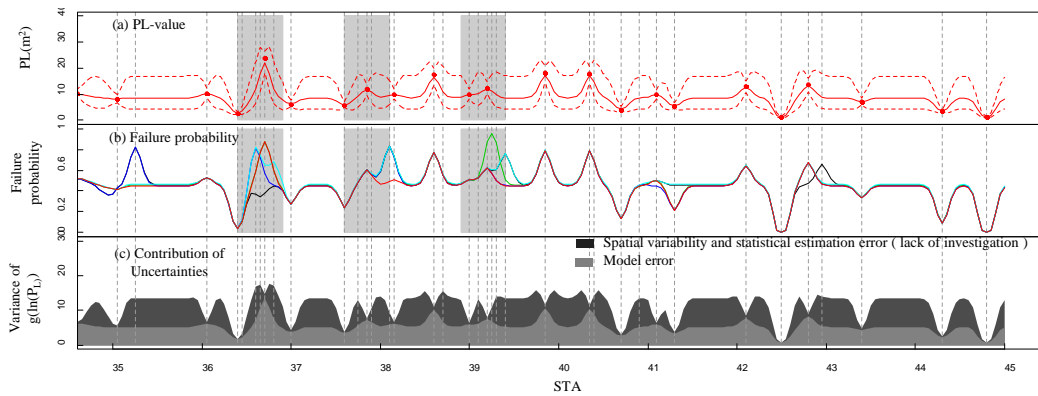


(A) 約 200m 間隔で地盤調査が実施されている場合の試算結果

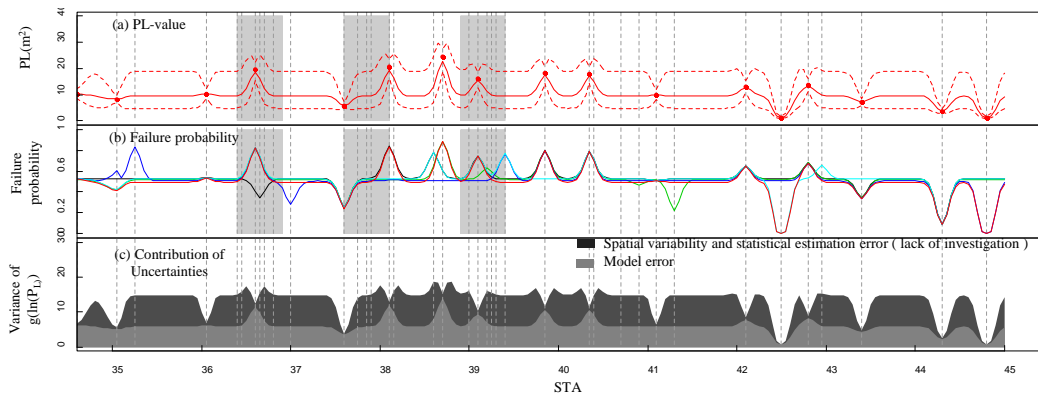


(B) 約 400m 間隔で地盤調査が実施されている場合の試算結果

図5 地盤調査間隔の違いが危険度解析結果に与える影響の試算結果 (一般区間: STA25-35)



(A) 約 200m 間隔で地盤調査が実施されている場合の試算結果



(B) 約 400m 間隔で地盤調査が実施されている場合の試算結果

図6 地盤調査間隔の違いが危険度解析結果に与える影響の試算結果 (旧河道・自然堤防区間: STA35-45)

