

地震危険度等各種要因を考慮した液状化対策のための最適地盤調査計画

東京都市大学 学生会員 ○田崎陽介
東京都市大学 正会員 吉田郁政

1. はじめに

実務では観測点配置は経験的に決められることが多く、定量的基準に基づく研究が行われている。既往研究の多くは推定値の不確定性にのみ注目しているが、吉田ら¹⁾は得られる情報の価値を経済価値に変換して扱う、情報の価値 (Value of Information, VoI) に基づき最適観測点配置の検討を行った。これにより、推定値そのものも考慮した最適観測点配置のための目的関数を設定することができる。

吉田ら¹⁾は大竹らの研究²⁾に基づき対象区間 5km に対して液状化対策のための最適地盤調査地点の検討を行った。しかし、想定地震が発生した場合の条件付の評価としている。そこで、本研究では想定地震の発生確率等の各種要因を考慮した最適調査計画について検討する。

2. モデル区間および既往の調査地点の PL 値

東日本大震災における河川堤防の被害 2000 箇所のうち、大規模な被災箇所の主要な原因は液状化である。液状化対策区間選定のためには適切な地盤調査が重要であり、対象範囲内全てで調査を行うことが理想であるが、調査費用が膨大となり現実的ではない。ある一級河川の堤防の延長 20km のうち、比較的ボーリングデータの少ない延長 5km の区間²⁾を検討対象とする。モデル区間でボーリングデータは 18 点得られており、各点で液状化指数 PL が評価されている。図-1 の赤い点が既存のボーリングデータである。また、縦軸は液状化指数 PL、横軸は堤防の位置を表す。液状化指数 PL とは液状化の危険度を表す指標であり、PL 値が高いほど危険ということを意味する。PL 値に基づき液状化対策の判断を行う。

3. 情報の価値に基づく最適配置の検討手法

Kriging を用いて区間内の PL 値の推定値とその不確定性の分布を推定する。本研究では、推定値が基

準値 (=15) を上回る場合は対策が必要、下回る場合に対策不要と判断すべきと仮定し、それぞれの判断を誤った場合のペナルティとしてペナルティ 1, 2 を設定する。各ペナルティとその発生確率を掛け合わせることで判断ミスリスク、つまり判断ミスによる経済損失の期待値を算定する。リスクの小さい意思決定をすることが合理的であり、評価点を i とすると、評価領域全体の判断ミスリスク J は、次式より求められる。

$$J = \sum_i L_i = \sum_i \min(C_1 P_{1,i}, C_2 (1 - P_{1,i})) \quad (1)$$

追加調査前後の判断ミスリスクの差分が VoI である。評価点における PL 値の評価値ベクトル x が観測量ベクトル z によって Kriging により更新されたとすると、観測量ベクトルに関する確率密度分布を $p(z)$ とすると、VoI は次式で表される。

$$VoI = \int J(x|z)p(z)dz - J(x) \quad (2)$$

本研究において VoI は情報を得ることによる判断ミスリスク削減量の期待値と捉えることが出来、VoI の総和が最小となるような最適追加点は、判断ミスリスクを最も削減できるということを意味する。最適化には、大域解探索手法の一つである粒子群最適化手法 (Particle Swarm Optimization, PSO) を用いる。

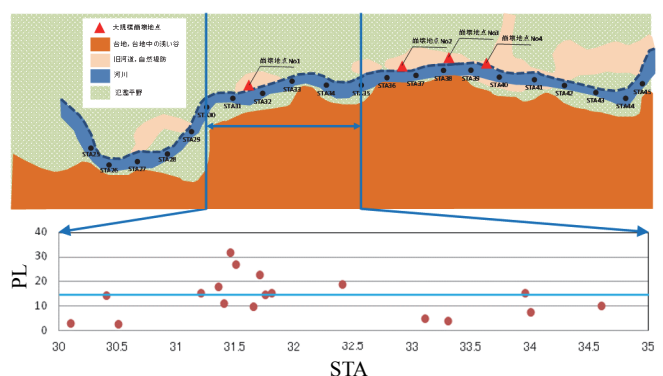


図-1 既存のボーリングデータの分布²⁾

キーワード 地震危険度、情報の価値、最適配置、粒子群最適化、クリギング

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL. 03-3703-3111

4. 各種要因の考慮とその結果

(1) 地震危険度を考慮した結果

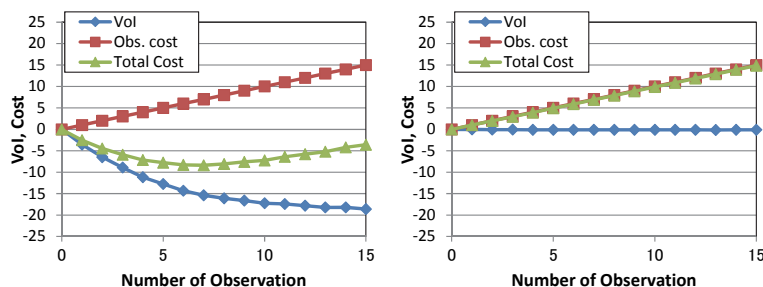
地震ハザードステーション J-SHIS³⁾をもとに地震危険度を設定した。30年以内に震度6弱震度以上の揺れが生じる確率に基づき、東北大学川内北キャンパス、東京都市大学世田谷キャンパス、名古屋大学東山キャンパス周辺の想定地震発生確率をモデル区間に適用し最適調査計画の比較を行った。各キャンパス周辺の想定地震発生確率は東北大学が3.6%、東京都市大学が82.9%、名古屋大学が34.3%である。

東北大学、東京都市大におけるトータルコストを図-2に示す。横軸で示した観測点数に応じて最適な配置を最適化問題としてもとめ、そのときのVoIを示している。それに観測コストを加えることでトータルコストとなる。東京都市大学周辺の場合、トータルコスト最小となる調査点数は7点であった。その最適配置を図-3に示す。図には示していないが名古屋大学周辺の場合は4点であった。東北大学周辺は図に示したとおり最適調査点数は0点であった。

この地域の想定地震発生確率は非常に小さい値であり、液状化被害発生確率が低い。液状化被害が発生しにくいため調査を行う価値は低くなる。極端な例として、地震発生確率が0%の場合、液状化が発生しないので調査を行ってもリスクを削減することが出来ず、調査コストのみが発生する。このように、地震発生確率が小さいほど、調査は価値を失う。東北大学周辺の場合、調査コストが調査によるリスク削減量を上回ったため最適調査点数が0点となった。

(2) PL 値に基づく判断に不確定性を考慮した結果

吉田ら¹⁾の検討ではPL 値に基づく判断を誤るリスクに注目しており、基準値とした値そのものの不確定性は考慮していない。実際の液状化被害発生は基準値を下回った場合にも発生する可能性はあり、PL



(1) 東京都市大学周辺

(2) 東北大学周辺

図-2 各地点のトータルコストと追加調査点数の関係

値に基づく液状化発生の判定は不確定性を考慮する方がより現実的である。

(1) で示した東京都市大学地点について変動係数を0とした時は最適調査点数7点であったが、変動係数0.2, 0.5にすると3, 0点となった。PL 値に基づく判断がより多くの不確定性を含むほどVoIの絶対値は小さくなった。図-4に変動係数を0, 0.2, 0.5とした場合のトータルコストを示す。大きな不確定性を含む場合、正しい判断を出来る可能性は小さくなるため情報の価値が小さくなることを意味している。

5. まとめと今後の方針

地震危険度を考慮することで、場所により最適追加調査点数に違いが生じることが確認できた。これにより、異なる地震危険度を持つような領域を対象とした最適地盤調査点の検討への適用が可能と考えられる。また、PL 値に基づく判断に不確定性を考慮した結果最適調査計画に違いが生じることが確認できた。

参考文献

- 1) 吉田ら：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, Vol.71, No.1, pp.1-13, 2015.
- 2) 大竹ら：震災履歴を有する河川堤防 20km を対象とした液状化危険度の線状評価，地盤工学から見た堤防技術シンポジウム，2013.
- 3) 防災科学研究所：地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 2015.11.17 閲覧.

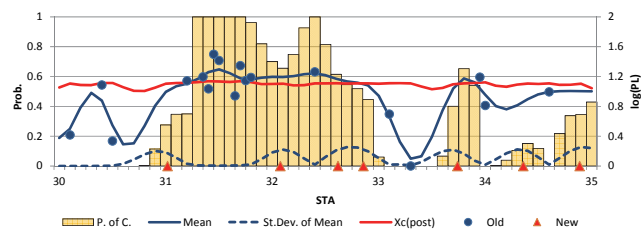


図-3 東京都市大学における7点の最適配置

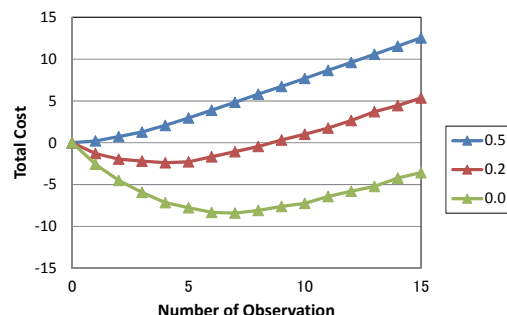


図-4 各変動係数でのトータルコスト