

液状化被害を考慮した地震リスク分析

九州大学大学院 学生会員 ○稲富 祐太郎 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企
 九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1. 目的

液状化対策の一つに、事前混合処理工法のように事前に地盤に固化材を添加することで、液状化強度の向上を図る工法がある。液状化対策地盤は固化材の混合の不均一性および地盤の土質の不均質性などが要因となり、せん断弾性係数や液状化強度に空間的不均質性を有する。このような空間的不均質性に起因して、局所的な液状化が発生し、被害をおよぼすと予想される。しかし、現行の地震リスクマネジメントでは液状化による被害を考慮せず、地震動による構造物への直接的被害のみで地震リスクを算出している。そこで本文では、地盤改良の目標強度を下回る地盤の空間占有率を不良率と定義し、不良率に着目した改良地盤の液状化リスク分析を行い、従来の地震リスクに液状化リスクを加えることで液状化被害を考慮した地震時のリスクを分析した。

2. リスク分析

本文では、地震動の直接的被害によるリスク R_α (地震に起因する年間の期待損失率)を、年地震発生確率 $p(\alpha)$ 、地震の慣性力に起因する被害額 C_α を用いて式(1)のように定義した。

$$R_\alpha = p(\alpha) \times C_\alpha \quad (1)$$

また本文では、液状化によるリスク R_L (液状化に起因する年間の損失期待値)を、年液状化発生確率 P_L 、液状化に起因する被害額 C_L を用いて式(2)のように定義した。

$$R_L = P_L \times C_L \quad (2)$$

図-1 に液状化のリスク分析フローを示す。¹⁾

確率分析では、対象地域における地震外力 α のハザード曲線から地震の年超過確率 P_α を算出し、発生確率 $p(\alpha)$ を式(3)のように定義した。地震のハザード曲線には、「建築物荷重指針 2004 年度版」²⁾に記された諸係数を用いて算出した。

$$p(\alpha) = -\frac{dP_\alpha}{d\alpha} \quad (3)$$

さらに、年液状化発生確率 P を地震外力 α における地盤モデルの液状化の条件付発生確率 $P_r[F_L < 1|\alpha]$ を用いて、式(4)のように定義した。

$$P_L = p(\alpha) \times P_r[F_L < 1|\alpha] \quad (4)$$

被害分析では、地盤の支持力低減率に着目し、上部構造物が全壊したときの最大被害額 C_0 を基準にして、被害率 K を乗じることで被害額 C を式(5)のように定義した。

$$C_\alpha = K_\alpha \times C_0, C_L = K_L \times C_0 \quad (5)$$

ただし、本文では著書らの研究グループが液状化率 $P_r[F_L < 1|\alpha]$ と被害率 K の関係を定量化することを目的に別途実施した、地盤を剛塑性体でモデル化し確率数値極限解析を通して得られた研究成果³⁾を利用し、地震の慣性力による被害率 C_α および液状化による被害率 C_L を算出した。

最終的に、以下の式を用いて液状化の被害を考慮した地震時の液状化を考慮したリスク R を算出した。

$$R = R_\alpha + R_L = p(\alpha) \times C_\alpha + P_L \times C_L \quad (6)$$

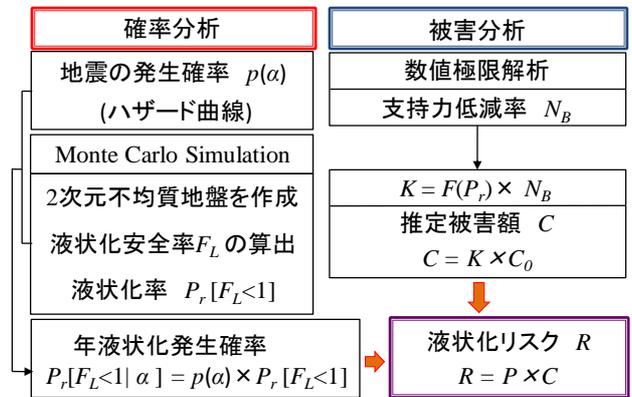


図-1 液状化リスク分析フロー

キーワード 地盤改良, 液状化, リスク分析, 不良率

連絡先 〒819-0395 福岡市元岡 744 伊都キャンパス W2-1110 TEL 092-802-3384

3. リスク分析結果

図-2 に福岡, 大阪および東京の地震の年発生確率 $p(\alpha)$ を示す. 本文では, 福岡の液状化リスク分析の結果を示す.

図-3 に, 福岡における年液状化発生確率 P と不良率の関係を示す. 年液状化発生確率 P は, いずれの地震外力 α においても不良率が大きくなるほど増加した. ただし, 地震外力 300Gal では, 不良率 5%以上において増加の割合が小さくなった. これは, 地震の発生確率 $p(\alpha)$ の減少割合の影響を受けたためと考えられる.

図-4 に, 福岡を想定した設定強度 200kPa の固化処理地盤における液状化リスク曲線を示す. 液状化リスク R_L は, 不良率の値によらず, 年超過確率が小さくなるほど増加した. また, 同じ年超過確率で比較すると, 不良率が大きくなるほど液状化リスク R_L は増大した. 例えば, 年超過確率が 2×10^{-2} 回/年, つまり再現期間が 50 年の液状化リスク R_L を想定した場合, 不良率が 34%である地盤の液状化リスク R_L は, 最大被害額 C_0 の 21%を有するが, 不良率が 0%の改良地盤は, ほぼ被害を受けない.

図-5 に, 福岡, 大阪および東京の液状化被害を考慮した年間の地震リスク R を示す. 地震リスク R は, 大阪と東京において不良率が大きくなるほど増加した. 一方, 福岡では不良率によらず年間地震リスクはほぼ最大被害額の 10%となった. したがって, 福岡における液状化によるリスクは地震動による直接的被害リスクと比べて非常に小さいものと判断できる.

4. 結論

改良地盤を対象に地盤改良の不良率に着目し, 液状化被害を考慮した地震リスク分析を行った. 得られた結論を以下に示す.

- (1) 年間液状化発生確率は, 不良率が大きくなるほど増加した. ただし, その増加割合は地震の発生確率の影響を受けるため都市によって異なる.
- (2) 再現期間 50 年間の液状化に対し, 不良率が 34%の地盤は最大被害額の 14%のリスクを有するが, 不良率が 0%の改良地盤はほぼ被害を受けない.
- (3) 液状化被害を考慮した年間地震リスクは, 福岡において不良率によらず, ほぼ最大被害額の 10%となった. 福岡においては, 液状化による被害のリスクは非常に小さいと判断できる.

参考文献

1) 片岡範夫: 地盤物性に空間的不均質性を有する固化処理地盤の液状化リスク, 自然災害科学研究西部地区部会報, 2010. 2) 建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2004. 3) 笠間清伸, 善功企, 陳光斉, 久米英輝: 確率数値極限解析を用いた固化処理地盤の地震時支持力特性, 第 9 回地盤改良シンポジウム, pp.345-350, 2010.

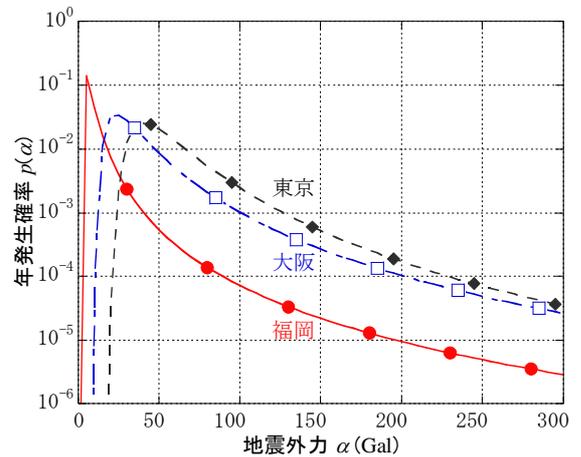


図-2 地震年発生確率

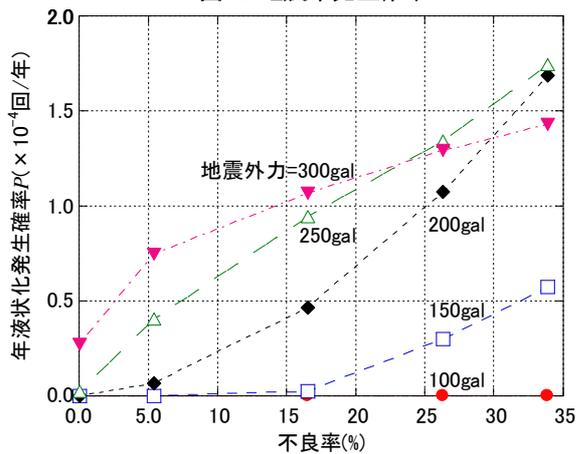


図-3 年液状化発生確率(福岡)

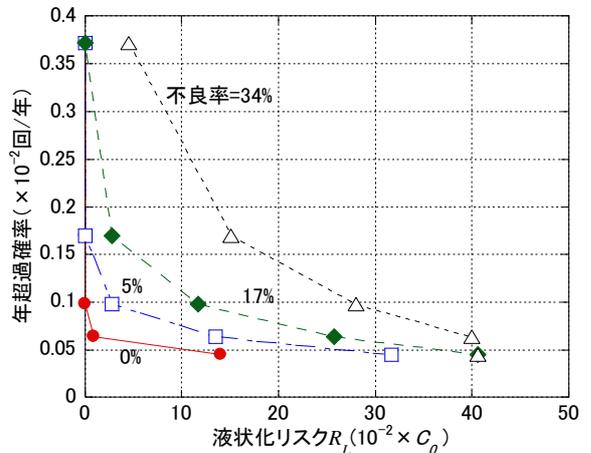


図-4 液状化リスク(福岡)

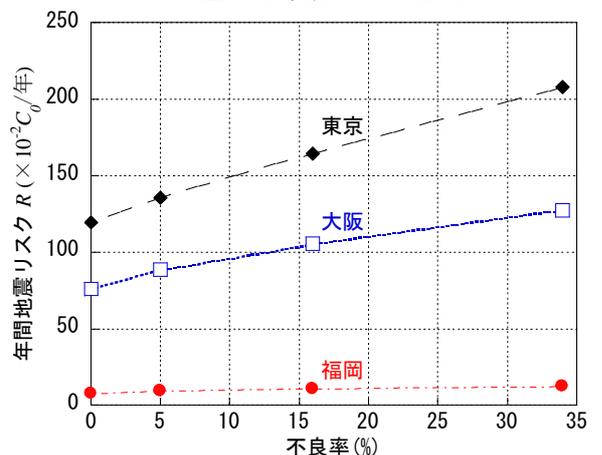


図-5 年間地震リスク