

信頼性理論による地震時の液状化による水平方向地盤反力係数についての一考察

株式会社 異設計コンサルタント 正会員 ○有清 睦
 広島工業大学 名誉教授 名誉会員 中山 隆弘

1. 目的

これまで、地盤パラメータのばらつきや地震の不確実性を考慮した液状化確率に関する研究は極めて少なかったと言わざるを得ない。そのため、これまで、信頼性理論を基にして液状化の発生の可能性を確率的に評価する手法を提案^{1),2)}してきた。また、昨年度の本研究発表会では、砂地盤の液状化に伴う地盤の沈下量を信頼性理論から確率的に求める手法の提案³⁾を行った。今回はこれに引き続き、信頼性理論に基づいて、液状化地盤の水平方向の地盤反力係数比と液状化確率との関係について検討を行った。

2. 水平方向地盤係数反力係数比の確率評価

本研究では、地震時における地盤液状化に伴う水平方向の地盤反力の低下に注目した。今回用いたデータを図-1⁴⁾に示す。これは杭の模型実験から得られた過剰間隙水圧比と地盤反力係数比 k_h/k_{h0} との関係を表したもので、式(1)として提案されている。本研究では過剰間隙水圧比と地盤反力係数比の関係の不確実性に注目して、両者の関係が式(2)で表せるものと考えた。また、今回は文献³⁾の砂層(GL-3~6.7m)を解析対象としているため、図-1中の浅い深度の1.6mと4.8mのデータを読み取り、それらのデータから最小二乗法によって $\alpha = 0.23, \beta = 0.71$ を得た。図中の赤の実線はそのときの式(1)を表すものである。さらに、図-2には、式(1)において $\alpha = 0.23, \beta = 0.71$ として、今村の実験で得られた地盤反力係数比との関係をプロットしたものと、併せて回帰解析結果により得られた直線を示す。なお、ここでは、回帰直線によって得られる地盤反力係数比を推定値とし、 $(k_h/k_{h0})^*$ で表している。

$$k_h/k_{h0} = \left(1 - (\Delta u/\sigma')^\alpha\right)^\beta \quad (1)$$

式中、 k_h : 地盤反力係数 (kN/m³)、 k_{h0} : 初期地盤反力係数 (kN/m³)、 $\Delta u/\sigma'$: 過剰間隙水圧比、 α, β は任意の実験定数である。

$$(k_h/k_{h0})^* = 0.977 \cdot k_h/k_{h0} + 0.012 + \varepsilon_{kh/kh0} \quad (2)$$

式中、 $(k_h/k_{h0})^*$: 推定した地盤反力係数比、 $\varepsilon_{kh/kh0}$: 正規確率変数 (-0.035, 0.116)

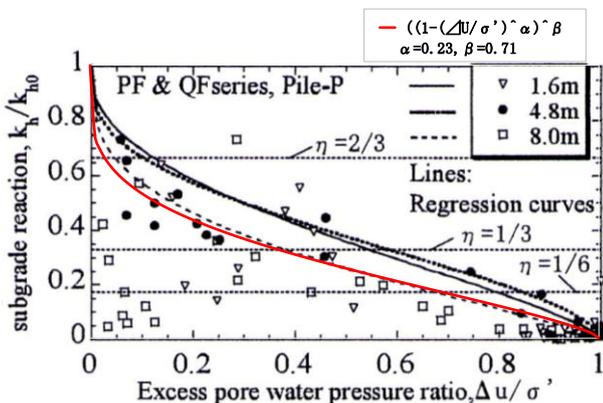


図-1 地盤反力係数比と過剰間隙水圧比の関係

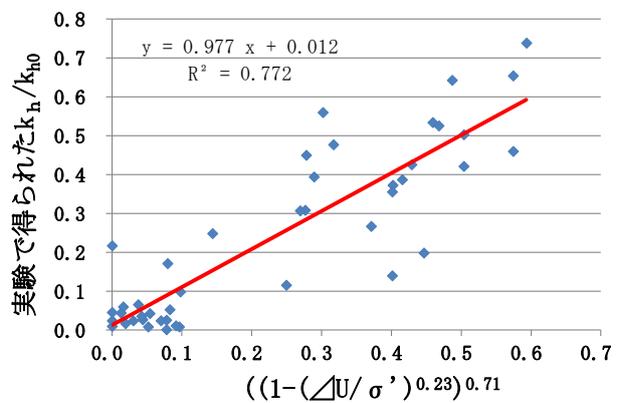


図-2 式(1)において $\alpha = 0.23, \beta = 0.71$ として今村の実験で得られた地盤反力係数比との関係

キーワード 信頼性理論, ばらつき, 液状化, 過剰間隙水圧比, 地盤反力係数

連絡先 〒743-0023 山口県光市光ヶ丘5番1号 (株)異設計コンサルタント

T E L 0833-72-0112

3. ケーススタディ

本論文では文献³⁾の砂層 (GL-3~6.7m) で得られた過剰間隙水圧比を用いて地盤反力係数比の試算を行った。図-3 に結果の一部を示す。

さて、この砂層の過剰間隙水圧比は 400 ケース×4 層のデータ、すなわち 1600 個のデータが得られているが、シミュレーションの数としては不足していると判断し、シミュレーション数が 20000 個を超えるように、その結果を 13 個重ねて計 20800 個のランダムデータを得た。その上でこの 20800 ケースをランダムに並べ変えて、モンテカルロシミュレーションの手法を用いて式(2)により地盤反力係数比 $(k_h/k_{h0})^*$ を計算した。図-4 はこの結果の内の 1000 ケースを示したものである。これを見ると、過剰間隙水圧比が 0.4 の辺りから地盤反力係数比が 0 となるケースもあるが、ほぼ元データを再現できているといえる。計算結果には地盤反力係数比 $(k_h/k_{h0})^*$ の値がマイナス値として計算されるケースがある。地盤反力係数比 $(k_h/k_{h0})^*$ はマイナス値にはならないため、このようなケースの計算結果については 0 としている。

次に図-5 に過剰間隙水圧比のシミュレーションで得られた結果から求めた確率密度と確率分布を示す。図より過剰間隙水圧比が 1 となる確率が約 42% であることが理解できる。

さらに図-6 に過剰間隙水圧比と地盤反力係数比の同時確率密度を示す。この図からは、過剰間隙水圧比が 1 であっても地盤反力係数比が 0 とならないケースもあることが分かる。

4. まとめ

今回は今村の実験結果⁴⁾に基づき、砂地盤の過剰間隙水圧比と液状化確率と地盤反力係数比の関係を確率的に表す方法を示した。今後はこの方法によって杭等の基礎構造物の地震時信頼性について検討していきたい。

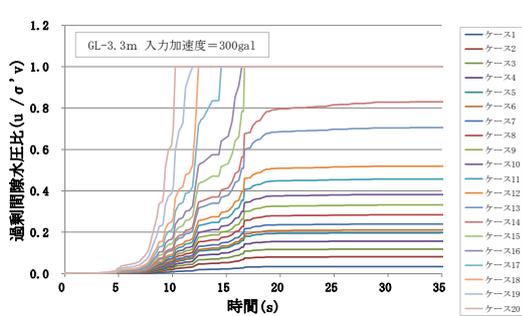


図-3 過剰間隙水圧比の時刻歴

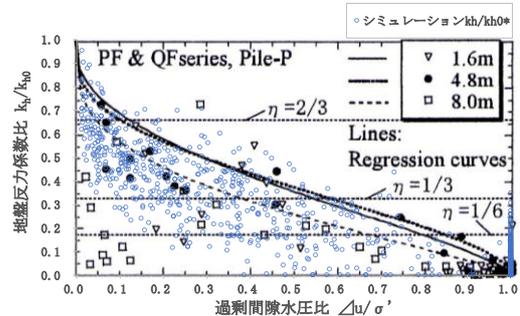


図-4 シミュレーション結果

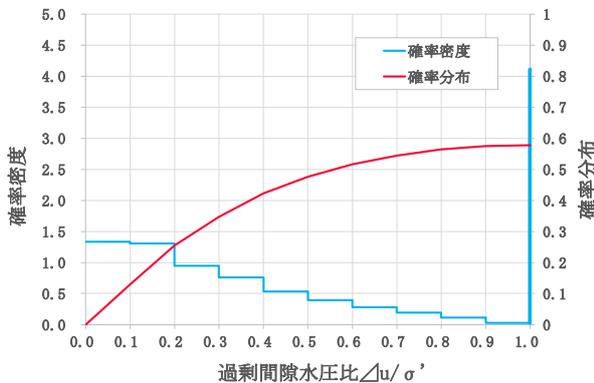


図-5 液状化の確率密度と確率分布

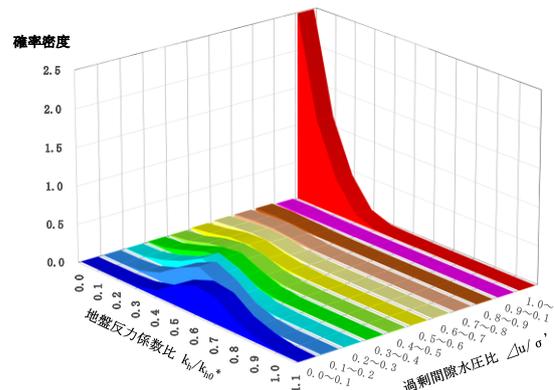


図-6 地盤反力係数の確率密度

参考文献

- 1) 有清 睦, 中山 隆弘: 信頼性理論による地盤の液状化判定に関する一考察, 平成 24 年土木学会中国支部研究発表会概要集, III-45, 2012. 6
- 2) 有清 睦, 中山 隆弘, 佐々川 学: 信頼性理論による液状化解析、液状化確率と過剰間隙水圧についての一考察、平成 25 年土木学会中国支部研究発表会概要集, III-40, 2013. 5
- 3) 有清 睦, 中山 隆弘: 信頼性理論を用いた地震時に発生する過剰間隙水圧の消散に伴う地盤沈下量の予測手法の一考察, 平成 28 年土木学会中国支部研究発表会概要集, III-28, 2016. 5
- 4) 今村眞一郎: 液状化地盤における杭の水平地盤反力特性, 土木学会論文集 C, Vol. 66 No. 2, 312-331, 2010. 5