

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

(株) 異設計コンサルタント 正会員

○有清 睦

広島工業大学

フェロー会員

中山 隆弘

1. はじめに

地震時における地盤の液状化被害の一つに、構造物に被害をもたらすような地盤沈下を挙げることができる。そのため、その予測手法についていくつか提案^{1)、2)}がなされているが、筆者らの知る限り、かなり大きな不確実性を伴う地盤の力学的定数の取り扱いに対する研究は余り見られない。また、液状化の程度を示すものとして液状化指数 PL ³⁾があるが、 PL から沈下量を算定することはできない。

さて、著者らは、これまで、液状化判定において、地盤や地震力の不確実性を考慮して確率的に評価する手法^{4)、5)}の提案を行ってきた。しかしながら、液状化が発生する確率を示しただけでは、液状化に伴う構造物等の被害を表すことはできていない。そこで今回は、道路橋示方書等が信頼性手法を用いた部分安全係数設計法に移行しつつある現状を視野に入れて、想定地点の地盤の沈下量を確率で評価する手法の提案を行うものである。

2. 過剰間隙水圧比の確率評価

地震時に砂地盤に発生する過剰間隙水圧比については、八木⁶⁾による提案式(1)を用いた。式中の k は相対密度との関係で示されるため、本研究では図－ 1に示すように文献 6)で相対密度が 40～60%の間で示されているデータを読み取って、両者の関係式を近似的に求めた。また、 N 値と相対密度との関係は、図－ 2⁷⁾を読み取り確率的に評価した。

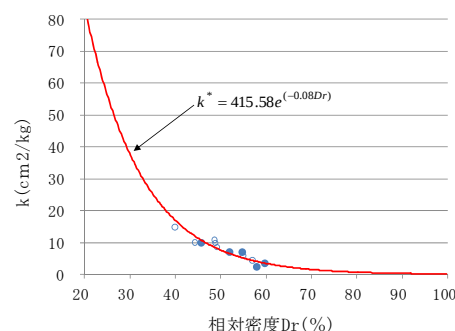
$$\frac{\Delta u_{dr}}{\sigma'^2} = k \left(\frac{\tau_{ap}}{\sigma'} \right)^3 \quad (1)$$

$$k = 0.886k^* + 0.941 + \varepsilon_k \quad (2)$$

$$k^* = 415.58e^{(-0.08Dr)} \quad (3)$$

$$D_r^* = 21 \sqrt{\frac{N}{(\sigma'_v / (100 + 0.7))}} \quad (4)$$

$$D_r = 0.762D_r^* + 19.378 + \varepsilon_{D_r} \quad (5)$$



図－ 1 相対密度 D_r と k の関係

式中、

Δu_{dr} : 繰返しせん断応力の任意の1サイクル中での過剰間隙水圧の増分

σ' : 有効応力

k : 相対密度 D_r の関数で非排水の繰返しせん断試験から求められる定数

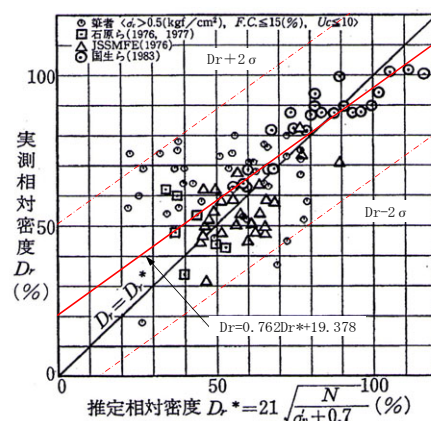
τ_{ap} : せん断応力波形の片振幅の値で、不規則波の場合はその平均値

k^* : 相対密度 D_r からの推定値

ε_k : 文献 6) のデータの読み取りによる正規確率変数で、平均値は -0.516、標準偏差は 1.803

D_r^* : N 値から推定した相対密度 (%)

ε_{D_r} : 実測相対密度のばらつきを考慮するための正規確率変数で、図－ 2 実測相対密度と推定相対密度の関係
平均値は -3.419、標準偏差は 15.186



図－ 2 実測相対密度と推定相対密度の関係

キーワード 液状化, 信頼性理論, 過剰間隙水圧比, 相対密度, 地盤沈下

連絡先 〒743-0023 山口県光市光ケ丘 5 番 1 号 (株) 異設計コンサルタント TEL 0833-72-0112

3. 地盤沈下量の算定

体積ひずみは参考文献 8) に示されている図－ 3、図－ 4 を用いて算定した。過剰間隙水圧比が 1 に達しない場合は、図－ 3 を用いて、過剰間隙水圧比が 1 となる場合（完全に液状化）は図－ 4 を用いた。

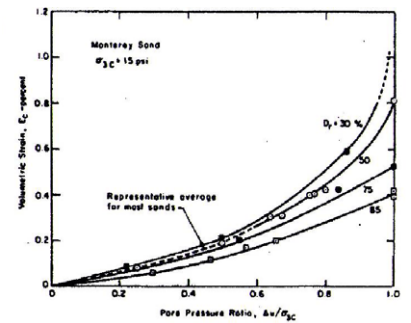
4. ケーススタディ

まず、地盤の地震応答解析は FDEL⁹⁾ を用いた。また、詳細については発表当日に示すが、モデル地盤は深度 42m を基盤層とし深度 3～10m の砂地盤を解析対象とした。各層の $G/G_0-\gamma$ 関係、 $h-\gamma$ 関係、 N 値のばらつき等は文献 5) のモデルを用いた。沈下量の解析はモンテカルロシミュレーションによる手法を用いた。入力加速度は、K-NET の HRS004E-W を基盤に引き戻し最大加速度を 300gal に調整した。 $G/G_0-\gamma$ 関係、 $h-\gamma$ 関係は 20 ケース、 k の値も 20 ケースで、それらを組み合わせた計 400 ケースの過剰間隙水圧比がモデル地盤の各層で得られた。これを、10000 個ランダムに並び替えてシミュレーションを行った。なお、シミュレーションでは極端値が発生するため、 Dr については算術平均の 1σ 、体積ひずみについては 2σ の範囲に入るように繰返し計算をおこなった。

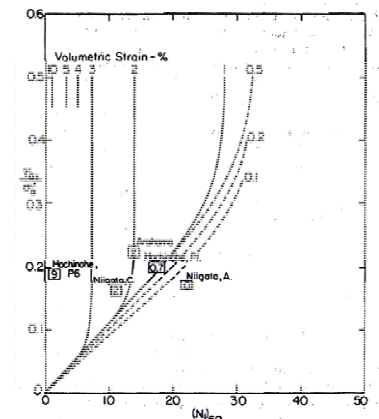
5. 解析結果

図－ 5 及び図－ 6 は、それぞれ地盤沈下量の頻度分布及び確率分布を表したものである。これを見ると、1.5～3.5 cm の間の沈下量が全体の約 6 割を占めており、最大 15 cm に達する結果も得られている。

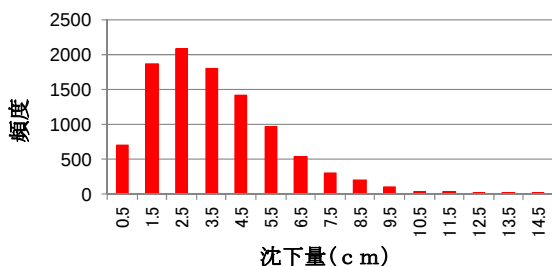
6. おわりに 今回、信頼性手法を用いて液状化による地盤の沈下量を確率で表す手法を提案した。しかしながら、実際の地震被害との整合性については確認できていない。今後は、シミュレーションの精度の向上と被害との整合性を確認したい。



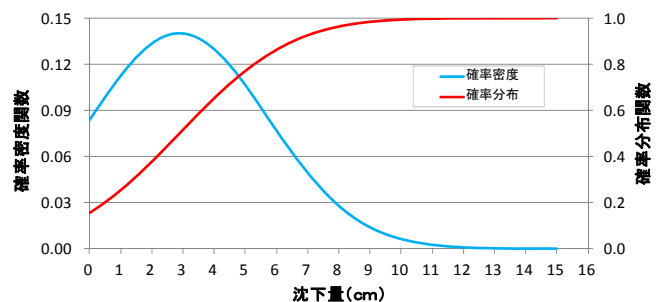
図－ 3 体積ひずみと過剰間隙水圧比の関係



図－ 4 せん断応力比と換算 N 値 $(N_1)_{60}$ と体積ひずみ



図－ 5 シミュレーションから得られた
頻度分布



図－ 6 沈下量の確率分布

参考文献

- 1) 日本建築会：建築基礎構造設計指針、pp. 61-72、2001
- 2) 石原 研而、吉嶺 充俊：地震時の液状化に伴う砂地盤の沈下量予測、第 26 回土質工学会研究発表会、pp. 767-770、1991. 7
- 3) 岩崎 敏男、龍岡 文夫、常田 賢一、安田 進：地震時地盤液状化の程度の予測、(公社)地盤工学会土と基礎、pp. 23-29、1980. 4
- 4) 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
- 5) 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、2013. 5、Ⅲ-40
- 6) 八木則男：繰返しせん断による砂の体積変化と過剰間隙水圧、土木学会論文報告集、第275号、pp. 79-90、1978. 7.
- 7) 今野政志、古田一郎、沢田俊一、佐久間紀呼：非排水繰返しせん断強度と各種土質定数の関係、応用地質年報 No. 9、1987
- 8) Tokimatsu, K., and Seed, H. B. : Evaluation of Settlements in Sand due to Earthquake Shaking, ASCE, Vol. 113, No. 8, pp. 861-878、1987
- 9) 古本吉倫：等価ひずみの周波数依存性を考慮した地盤の地震応答解析プログラム、岐阜大学工学部土木工学科、2000. 5. 地盤の地震応答解析法に関する一考察、土木学会論文集、No. 493/Ⅱ-27、pp. 49-58、1994