

信頼性理論に基づく地震時液状化による地盤の不同沈下予測に関する一考察

株式会社 巽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

これまで、地盤の物性値のばらつきを考慮して信頼性理論の手法を用いて地震時における液状化を評価する手法を提案^{1),2)}してきた。また、平成 28 年度の本研究発表会では、ある地点における地盤の沈下予測手法³⁾に対する提案を行った。今回はこの手法を用いて地盤の不同沈下の予測を行う。

1. 目的

液状化による地盤の沈下量の予測手法についてこれまでいくつか提案^{4),5)}されている。また、文献⁶⁾のように広い範囲を対象として不同沈下量を予測する手法も提案がされている。ただ、構造物の沈下^{7),8)}については、実験と解析により沈下量の算定手法は示されているものの、不同沈下に関する研究は少ない。

筆者らも、これまで信頼性理論を用いて地盤沈下量を推定する手法³⁾を提案し、予測される沈下量には不可避のばらつきがあることを示すことはできたものの、不同沈下量のばらつきに対する考察はできていない。因みに文献 7)、9) に示されている実験によると、基礎構造物の直下では地震時に発生する過剰間隙水圧はその周辺に比べて低くなっているようである。そのような現状に鑑み、本研究では構造物基礎を想定し、その直下の沈下量の予測を行ってみた。

2. 液状化による沈下の計算

地震時の液状化による地盤の沈下量は文献^{1),2),3)}の手法により求める。図-1 は沈下量を計算するためのフロー図を示したものである。

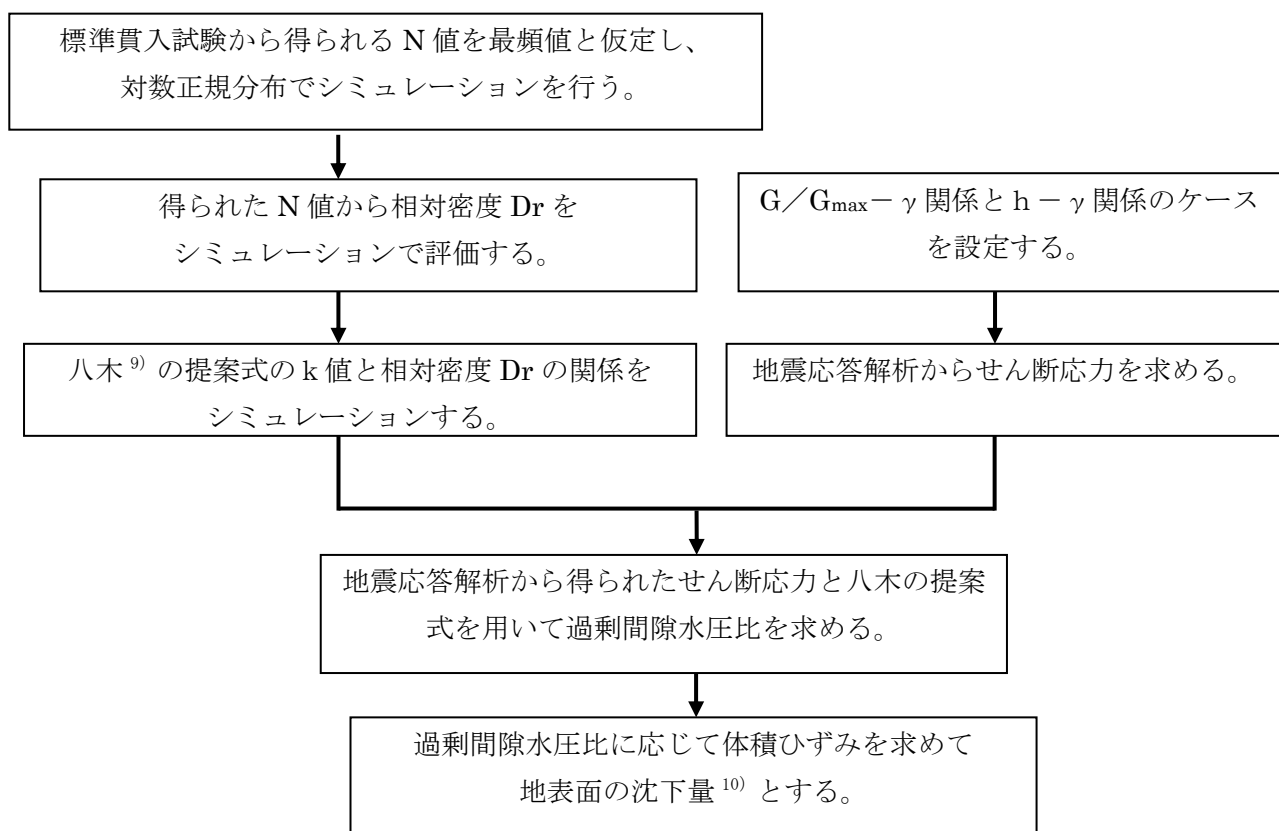


図- 1 地表面の沈下量の計算フロー図

キーワード 信頼性設計, 液状化, 過剰間隙水圧比, 不同沈下

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

2. ケーススタディ

まず図-2 に、本解析で用いたモデル地盤を示す。液状化対象層は枠で囲った部分である。このモデル地盤は KuniJiban¹²⁾ の柱状図を基に作成している。シミュレーションで用いるN値は、この図のN値を最頻値と仮定した上で、この柱状図が得られた周辺の柱状図から層全体の標準偏差を推定し求めた。地震応答解析はF D E L^{13)、14)} を用いて行ったが、その際の地震動としては、図-3 に示す平成 13 年 3 月 24 日の芸予地震の際に K-NET で得られた HRS019 の加速度波形 (EW 方向) を使用した。

解析では、この加速度波形を基盤層に引き戻し、2E 波として最大加速度を 300gal に調整した上で図-2 の礫層に入力した。想定する基礎構造は、幅と奥行きが 10m×10m で、自重は 10kN/m² とした。また、地中応力の増加分の計算では、基礎の中央部と端辺中央部に注目し、過剰間隙水圧比の計算では基礎直下の地中応力¹⁵⁾ を考慮した。

地下水位GL-1.3m			
層厚 H (m)	土質	N 値	単位体積重 量 γ t2 (gf/cm ³)
1.20	砂質土		1.8
5.30	砂	6	1.8
		9	
		9	
		6	
		7	
3.10	シルト混り砂	6	1.7
		3	
		3	
10.90	シルト	2	1.6
		2	
		2	
		3	
		2	
		2	
		1	
		2	
		2	
		3	
3.85	砂質土	5	1.7
3.65	礫	3	2.0
		23	
		65	
		500	
		71	
		500	

図-2 モデル地盤

次にシミュレーションの条件であるが、図-1 に示す各層の G/Gmax- γ 関係と h- γ 関係については 20 ケースとし、各ケースで地震応答解析を計 20 回行った。一方、N 値-相対密度 D_r -k 値のシミュレーション回数は 10000 回とし、その中からランダムに 20 ケースのサンプリングデータを求めた。それを 20 回繰り返し、前述の地震動について計 400 個の過剰間隙水圧比を得た。沈下計算のシミュレーション回数も 10000 とした。沈下計算では過剰間隙水圧比と地震応答解析から得られたせん断応力比を用いるが、シミュレーション回数としては少ないためこれらを 25 個重ねて 10000 回とした。

3. 解析の結果

図-4 は地表面から深度 5.3m の位置における上述のシミュレーションで得られた過剰間隙水圧比の上昇を表したものでこれはその一部である。これを見ると過剰間隙水圧比の上昇するケースには幅があることが分かる。

図-5 は最大加速度の応答値を表したもので、地表面の加速度は 200~350gal 程度のばらつきとして求められている。

また、図-6 は基礎構造の中央部と端辺中央部における過剰間隙比の差を求めたもので、差が 0 は基礎構造に不同沈下がないことを示すものである。

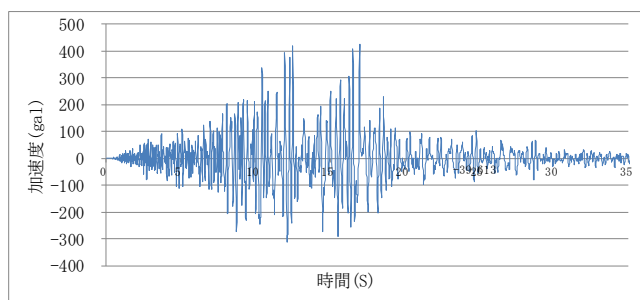


図-3 加速度波形

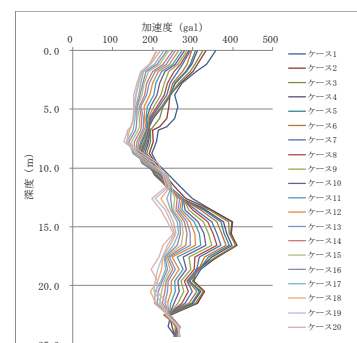


図-5 最大加速度応答

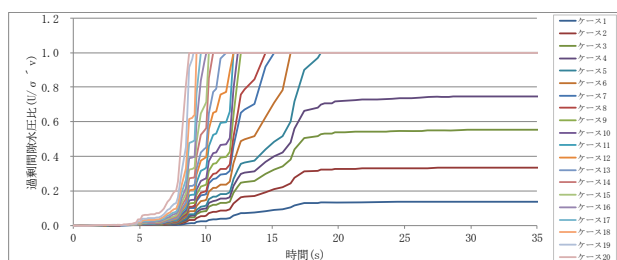


図-4 過剰間隙水圧比

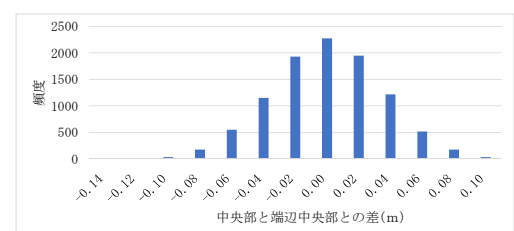


図-6 相対沈下量

4. 考察

基礎構造による地盤内応力の大きさの違いによる不同沈下の計算を試みた。結果として基礎構造を上載荷重と考えたときの不同沈下は図-6に示すように僅かであった。今回は上載荷重が小さかったことも原因の一つといえる。さらに、液状化による地盤の支持力低下による沈下量を考慮していないため本来の沈下量は今回の解析結果よりも大きい沈下量となる可能性があると考えられる。また、実際の構造物では偏心荷重が作用する場合もあるので、これらの条件を取り入れた解析を行うことで、不同沈下予測計算の精度がより向上すると考えている。

5. おわりに

今回、液状化地盤における基礎構造物の不同沈下量の計算を試み、一例ではあるが、沈下量に差があることを示すことができた。今後は、液状化による地盤の支持力低下による沈下も考慮できるように液状化時の鉛直方向の地盤反力係数を評価していく所存である。

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 年度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 年度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 年度土木学会中国支部研究発表会概要集、Ⅲ-28、2016. 5
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、pp. 61-72、2001
- 5) Ishihara, K. and Yoshimine, M. : Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 173-188, 1992
- 6) 宮田正史、井合 進、一井康二：液状化による不同沈下の予測手法の開発、港湾技研資料、No. 908、1998. 9
- 7) 藤原斉郁、堀越研一、安田 進、河村直明：液状化による直接基礎の沈下に関する遠心載荷模型実験、土木学会第 57 回年次学術講演会、Ⅲ-519、2002. 9
- 8) 福武毅芳、堀田洋之、社本康広、馬淵倉一：液状化地盤上の偏心直接基礎建物の遠心実験および有効応力解析による応答評価、第 12 回日本地震工学シンポジウム、0131、2006
- 9) 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
- 10) Tokimatsu, K. , and Seed, H. B. : Evaluation of Settlements in Sand due to Earthquake Shaking, ASCE, Vol. 113, No. 8, pp. 861-878, 1987
- 11) 吉見吉昭、福武毅芳：地盤液状化の物理と評価・対策技術、技報堂出版、pp. 200-201、2005. 9
- 12) 国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」
- 13) 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.
- 14) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫：周波数依存性を考慮した等価ひずみによる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/Ⅲ-27、pp. 49-58、1994. 6
- 15) 河野伊一郎、八木則夫、吉国 洋：土の力学、技報堂出版、pp. 81-83、1990. 4