

サンドコンパクションパイル工法の液状化対策としての 信頼性評価に関する一考察 (その2)

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 名誉会員 中山 隆弘

1. はじめに

液状化対策に関して地盤情報等の不確実性を考慮した提案はこれまでほとんどなされていないことは、本概要集の(その1)¹⁾で述べた通りである。(その1)では、サンドコンパクションパイル工法によって改良された地盤の液状化に対する信頼性設計をレベル3の手法で行うためのパラメータの設定方法について述べた。信頼性設計におけるレベル3によれば直接破壊確率を求めることができることから、対策効果を定量的に示すことが可能となる。ここでは、(その1)で設定したパラメータに基づき行なった解析結果を示し考察を行う。

2. ケーススタディ

図-1は解析地盤の柱状図である。この地盤モデルは国地盤の柱状図を基に作成した。液状化対策層は、地下水位以下の第1砂層と第2砂層とした。第1砂層は地表面から4層～6層目で第2砂層は7層目に分割した。

地震応答解析はFDEL^{2), 3)}で行った。その際必要となる $G/G_0-\gamma$ 関係と $h-\gamma$ 関係については、それらの不確実性を考慮して与えたデータ⁴⁾を用いた。そして地盤データの不確実性を考慮した地震応答解析によって20ケースの地盤のせん断応力分布を得た。

さて、図-2は解析に用いたK-NETの加速度波形(振動型⁵⁾)で、動的せん断強度の地震動特性による補正係数 C_w は1.0としている。

解析では地表面で得られたこの地震波を観測地点の基盤層に引き戻し2E波とし、最大加速度を400galに調整して解析地盤の基盤層に入力した。

図-3は地震応答解析で得られた加速度の深度分布を表したものである。図より地表面加速度が、372.933gal～567.055galの範囲でばらついていることが分かる。

次に表-1は、地震応答解析によって得られたせん断応力度の平均値と標準偏差を示したものである。図みに確率分布は正規分布と仮定した。

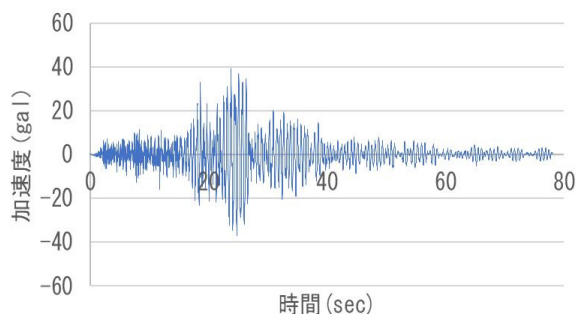


図-2 地震波の加速度波形

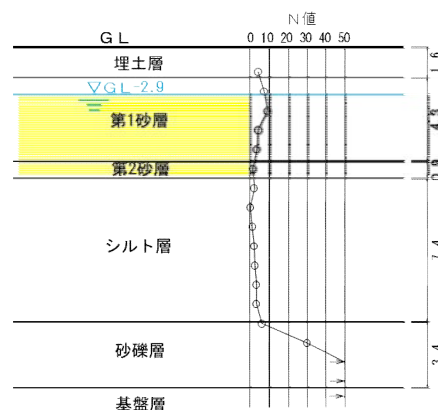


図-1 解析地盤

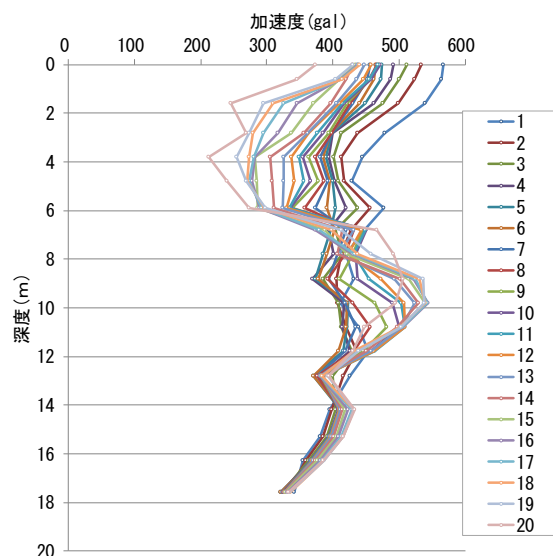


図-3 最大加速度の深度分布

キーワード サンドコンパクションパイル工法, 液状化, ばらつき, 信頼性設計, 破壊確率

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

表－1 セン断応力度の統計値

層		ε_r (kN/m ²)	
		平均	標準偏差
第1砂層	4層目	23.9	4.38
	5層目	29.0	5.28
	6層目	32.8	6.09
第2砂層	7層目	35.1	7.07

表－2 解析地盤のN値の統計値

層		ε_N	
		平均(最頻値)	標準偏差
第1砂層	4層目	9	2.40
	5層目	4	
	6層目	3	
第2砂層	7層目	1	1.12

さて地盤のN値の深さ方向の分布（柱状図）については、モデル地盤のそれ（図1）と共に、前述の国地盤で与えられているその周辺50m程度の範囲にある2カ所の柱状図を合わせて、第1砂層、第2砂層とも計3カ所の柱状図を用いた。そして、それによって表-2のように各層のN値の標準偏差を求めた。因みに平均値はモデル地盤の値である。確率分布については正規分布としている。なお、細粒分含有率は5%の確定値とした。

次にSCP工法における砂杭の径は70cm、ピッチは1.5mの正方形配置としたが、今回は施工上のばらつきは考慮していない。このとき、改良率は0.171となる。

液状化確率はモンテカルロシミュレーションにより式(1)に従って求めた。試行回数は、20ケースの地震応答解析結果を活用し10000回とした。

$$FL = \frac{\text{動的せん断強度比} R}{\text{地震時せん断応力比} L} < 1.0 \quad (1)$$

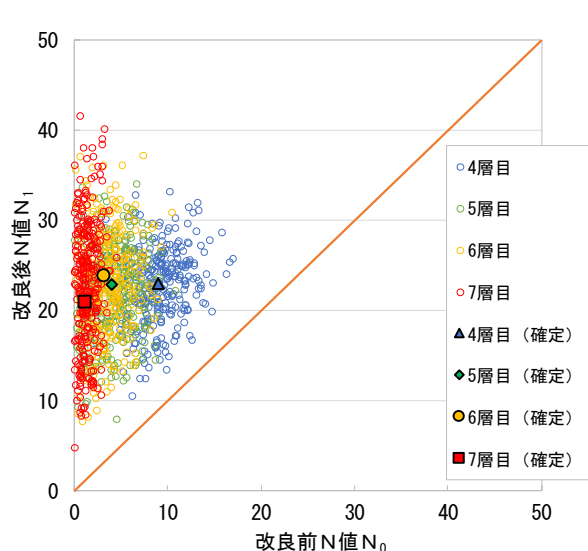
なお、今回設定した条件でシミュレーションを行うと、稀に、明らかに現実では有り得ないケースが生じる。例えば、 $e_{\max}^*$ と $e_{\min}^*$ の値が、 $e_{\max}^* < e_{\min}^*$ となるケースが出現する場合があった。その場合はそのケースはシミュレーション回数に含めず、 $e_{\max}^* > e_{\min}^*$ となるケースのみを採用した。また、相対密度が100%を超えるケースもシミュレーション回数には入れず、上限値は100%とした。また、 N_0 、 N_1 および β' などのパラメータの値が負になるケースもシミュレーション回数からは除外した。

3. シミュレーションの結果と考察

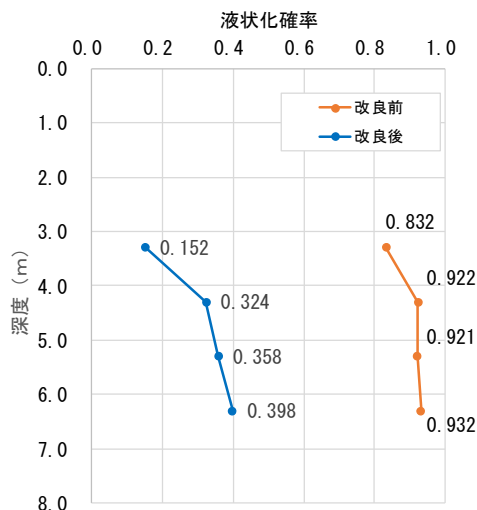
図-4は、改良前N値 N_0 と改良後N値 N_1 との関係を、各層共、10000ケースの中から200ケースのみを無作為に選び表したものであり、図中の（確定）とは、すべてのパラメータを確定値として計算したものである。図より、各層共に、概ねシミュレーション結果の中央値辺りの値であることが理解でき、この結果よりシミュレーションが良好になされたものと考えている。

因みに、同図より、 N_0 が小さい場合ほど N_1 が大きくなる傾向も明らかで、このことは実際の施工のデータ⁶⁾においてもみられるようである。解析では、相対密度の上限値を100%としたことと改良前N値 N_0 が大きい場合に相対密度が大きいため改良効果が上がらないことも要因として考えられる。また、実際の施工の現場では、 N_1 の方が N_0 より小さくなるような場合もあるようであるが⁶⁾、シミュレーションでは、そのような結果は得られていない。これは $e_{\max}^* < e_{\min}^*$ のとならないように設定したことや $\beta' > 0$ と設定したことによるものと考えられる。

次に図-5は、シミュレーションによって得られた地盤改良前と改良後の液状化確率を表したものである。図より、改良後の地盤の液状化確率が大きく低下していることが分かり、液状化の対策効果が定量的に理解できる。なお、ここには示していないが、改良率を上げて、あまり液状化確率は下がらなかった。このことは、解析の条件で相対密度の上限値を100%としているため、5～7層目で対策後の液状化確率にあまり差がない要因として考えられる。



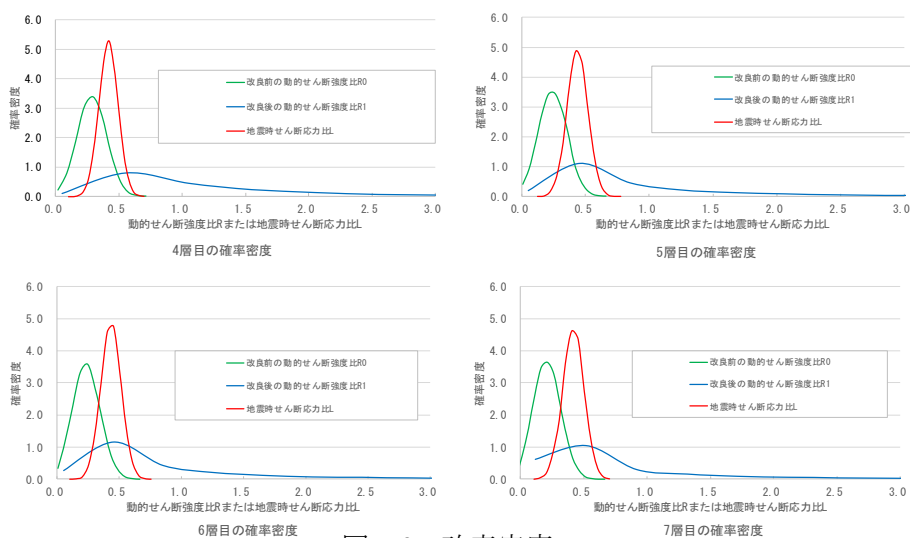
図－4 改良前 N 値 N_0 と改良後 N 値 N_1



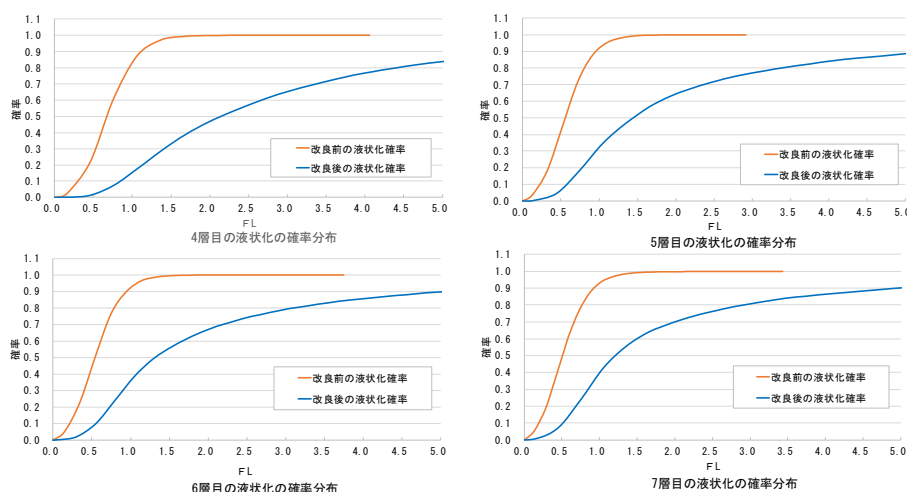
図－5 改良前と改良後の液状化確率

参考のため、図－6 に各層の R （動的せん断強度比）と L （地震時せん断応力比）の確率分布（確率密度関数）を示しておく。図より、改良後の地盤の動的せん断強度比の変動係数が改良前のそれに比して非常に大きくなっていることが分かるが、その原因に、現時点では十分な検討は行っていない。

最後に、図－7 に改良前と改良後の各地盤の液状化の確率分布を示しておく。



図－6 確率密度



図－7 液状化確率の改良前と改良後の確率分布

4. おわりに

本報告では、SCP工法による改良後の地盤のN値 N_1 の不確実性を、数値シミュレーションによって考慮する手法について述べた。これにより、実際の施工においても、あらかじめ改良後N値 N_1 のばらつきをある程度定量的に把握できるもとと考えられる。

また、SCP工法による地盤液状化対策の効果を、液状化確率として定量的に示すことができた。ただし、対策後の地盤の動的せん断強度比の分布がかなり大きく広がっている原因の解明等、今後の課題は残されている。また、Cの方法による場合は、地盤の盛り上がりや側方移動の影響が考慮できないので、Dの方法などの採用によって、それらの影響も取り入れた解析が必要であると考えている。

参考文献

- 1) 有清睦・中山隆弘：サンドコンパクションパイル工法の液状化対策としての信頼性評価に関する一考察（その1）、第72回土木学会中国支部研究発表会投稿中、令和2年6月。
- 2) 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/Ⅱ-27、1994、pp. 49-58
- 3) 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
- 4) 有清睦・中山隆弘：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、第65回土木学会中国支部研究発表会概要集、Ⅲ-40、平成25年5月
- 5) （社）日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、pp. 357-358、平成14年3月
- 6) 山崎浩之、下司弘之、古土井健、山田和弘、木村康孝：サンドコンパクションパイル工法による細粒分を多く含む砂の改良後N値の予測に関する考察、第40回地盤工学研究発表会（函館）2005. 7.