

地盤の拘束圧依存性が液状化判定に及ぼす影響

液状化 拘束圧 地震応答

ジオトップ 正会員 小林恒一  
応用地質 国際会員 吉田望  
関東学院大学 国際会員 規矩大義

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、多くの構造物が被害を受けたため、耐震設計法の見直しが各研究機関で行なわれた。このような状況で、液状化発生判定方法の見直しも各機関で行なわれた。建築物に関しては、2001年度版の建築学会の建築基礎構造設計指針<sup>1)</sup>で、損傷限界状態および終局限界状態に対して、地表面加速度としてそれぞれ150~200cm/s<sup>2</sup>、350cm/s<sup>2</sup>程度を推奨し、この値を用いた簡易の液状化判定(FL値)を行なうことが多い。

一方、軟弱地盤が中間層に存在する場合には、地震時にその地盤が非線形化(軟化)すると、その層以浅の加速度は小さくなる現象が報告されている<sup>2) 3)</sup>。このような地盤応答をする場合には、従来の地表面加速度から地盤の地震時せん断応力を推定する方法では、予測の精度が悪くなるとの報告<sup>4)</sup>もある。杭基礎を有する建築物の場合には、ある程度の液状化を許容する設計が一般的であり、その場合には液状化時の変形挙動等の予測は必要ではあるが、地盤特性を考慮した液状化判定を行なうことにより、合理的な杭基礎の耐震設計が可能となる。特に、免震・制震および高層などの建築物は、構造計算で時刻歴応答計算を用いるので、地盤の地震応答解析を行い、地盤応答値(地中のせん断応力または地表面加速度)から全応力解析による判定を行なう場合もある。本来、地盤応答は地盤特性の影響を受けるので、

全応力解析を用いた液状化判定は簡易の判定法に比べて精度は向上すると思えるが、地震応答解析を行う場合の解析定数の設定が解析結果に影響を及ぼすため、その妥当性については検討することが必要と思われる。

ここでは、地盤の応答解析に関する定数の中で、特に、拘束圧に依存した地盤の変形特性やせん断剛性に着目し、これらの解析定数の設定の違いで液状化判定にどの程度の影響を与えるのか解析的な検討を行った。

2. 解析概要

地盤は、中間に軟弱層を有する実際の土質柱状図を参考にして、図1に示す地盤モデルとした。地盤は、GL-1.5m~-15.5mを液状化対象層と考え、その下に約12mの軟弱な粘性土層が堆積する地層構成とした。表1に、せん断波速度などの地盤の解析定数を示す。解析パラメータとして、動的変形特性、初期せん断剛性、入力地震動の3つのパラメータに着目した。動的変形特性であるが、告示モデル(平成12年建築基準法告示1457号で示された砂と粘土の動的変形特性)と安田モデル<sup>5)</sup>を採用し、初期せん断剛性は拘束圧を考慮しない場合とする場合とした。この動的変形と初期せん断剛性から、拘束圧を考慮しない場合をcase1、考慮した場合をcase2とした(表2参照)。さらに、入力地震動は、高層建物の設計用入力地震動で用いる建築センター波のレベル1(最大加速度207Gal)とレベル2(最大加速度355Gal)さらに平成12年建築基準法告示1461号で示された解放工学的基盤の地震動加速

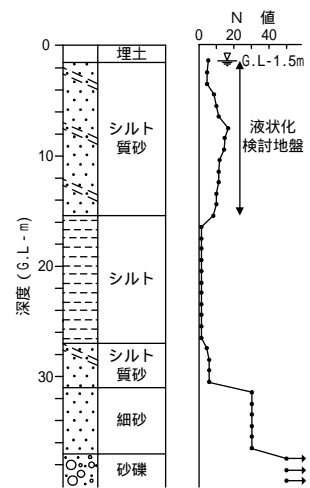


図-1 地盤モデル

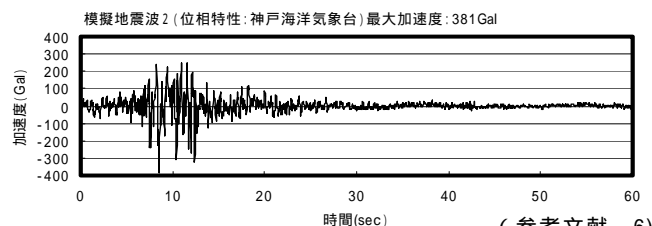
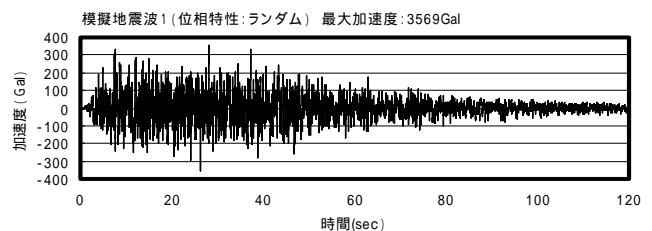
表-1 解析定数

深さGL-(m)	土質名	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	Vs(m/s)	初期せん断剛性G <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> )		D <sub>50</sub> (mm)
				Vsで一定	拘束圧(考慮)	
0.00~1.50	埋土	17.64	100	18370	18370	0.02
1.50~3.50	シルト質砂*	17.64	100	18370	14180~21740	0.07
3.50~6.50	シルト質砂*	17.64	120	26450	24450~23810	0.07
6.50~15.50	シルト質砂*	17.64	140	36000	29330~40440	0.07
15.50~27.00	シルト	16.66	100	17350	15550~19060	0.025
27.00~31.00	シルト質砂	17.64	150	41330	39330~42010	0.07
31.00~37.00	細砂	18.62	250	121170	116280~126080	0.15
37.00~	砂礫	19.60	400			

\*シルト質砂のF<sub>cl</sub>は20%

表-2 解析ケース

解析ケース	動的変形特性	初期せん断剛性
case1	告示モデル	一定モデル
case2	安田モデル	拘束圧依存モデル



(参考文献 6)

図-2 入力地震波

Effects on Confining pressure of soil on Liquefaction Potential Assessment  
KOBAYASHI koichi(GEOTOP Corporation), YOSHIDA nozomu(OYO Corporation.), KIKU hiroyoshi(Kantou Gakuin Univ.)

度応答スペクトルに適合するようにして作成した2つの模擬地震波(図2参照)による4つの波を用いた。なお、解析は、等価線形・重複反射理論に基づく1次元の地盤応答解析DYNEQ<sup>7)</sup>を用い、SHAKEと同じ手法を用いた。

### 3. 解析結果

図3は、1次設計レベルと2次設計レベルにおける地盤の最大加速度分布を示す。設計用入力地震動とそのレベル設定は、通常の建築物と高層建築で異なるが、ここでは安全側として建築センター波のレベルを基準とした。また、模擬地震波であるが、1次設計レベルではその波形振幅を1/2として計算を行った。1次、2次設計レベルともに、中間の軟弱層で加速度が急激に低下し、その上のシルト質砂層で加速度が増幅している。地表面最大加速度は、1次設計レベルで約100~150Gal、2次設計レベルで約200Galであった。中間のシルト層の最大せん断ひずみは1次設計レベルで0.5~0.9%であり、case2(拘束圧を考慮した場合)の方が若干大きな値を示した。さらに、2次設計レベルでは、シルト層で1.0%を超える大きなひずみが発生していた。これらの地盤応答解析から得られたせん断応力を用いて、GL-1.5m~-15.5mの液状化判定(FL値)を行った。検討結果を図4に示すが、比較のために、簡易判定法の結果も合わせて示す。これらの図から、1次および2次設計レベルともに、全応力解析に基づく判定(FL値)は簡易判定法に比べて全体に大きな値を示した。また、全応力解析結果からは、1次設計レベルで液状化発生の可能性は低いが、2次設計レベルで一部の層で液状化発生の可能性は高いという結果が得られた。ここで、液状化判定として、外力に相当する最大地中せん断応力について比較したものを図5に示す。この図からも、全応力解析では地表面最大加速度の値が小さいため、深さ方向のせん断力分布は地表面加速度から推定する簡易判定法に基づくせん断力分布を下回る結果であることがわかる。

### 4. まとめ

中間に軟弱な粘性土層を有する地盤の場合には、その軟弱層の非線形化により最大地表面加速度は頭打ちになる傾向が見られ、その結果、全応力解析を用いた液状化判定は簡易な液状化判定に比べて、全体にFL値が大きくなる。また、全応力解析における拘束圧の影響であるが、1次設計レベルを想定した入力地震動では、軟弱な粘性土層の剛性低下や減衰の値が拘束圧によるモデル化の影響を受け、拘束圧を考慮したモデル(case2)のFL値が小さくなる。

以上より、中間に軟弱な粘性土層を有する地盤の場合には、通常の簡易な液状化判定は全応力解析に基づく判定に比べて、安全側すぎる結果となった。また、全応力解析を用いる場合には、拘束圧依存性を考慮した解析が安全側である結果となった。さらに、地盤特性を考慮し、全応力解析と簡易の液状化判定を併用することも合理的な液状化判定であると思われる。今後は、被害事例や地震観測事例を調査し、合理的な判定法について検討を行う予定である。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2002.4.
- 2) 風間基樹，柳澤栄司，稲富隆昌：地表面応答に及ぼす中間軟弱粘土層の非線形性の影響，土木学会論文集，NO.575，-40，pp.219~230，1997.
- 3) 佐藤正行，安田進，吉田望，増田民夫：地盤の地震時せん断応力の簡易推定法，土木学会論文集，NO.610，-45，pp.89~96，1998.12
- 4) 地盤工学会：入門シリーズ「知っておきたい地盤の被害現象・メカニズムと対策」，2003.9.
- 5) 安田進，山口勇：種々の不攪乱土における動的変形特性，第20回土質工学研究発表会，pp.539~540，1985.6.
- 6) 日本建築構造技術者協会：「建築構造の計算と監理(付JSCA波数値データ)」，2002.6.
- 7) 吉田望，末富岩雄：DYNEQ：等価線形法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム，佐藤工業(株)技術研究所報，pp.61-70，1996.

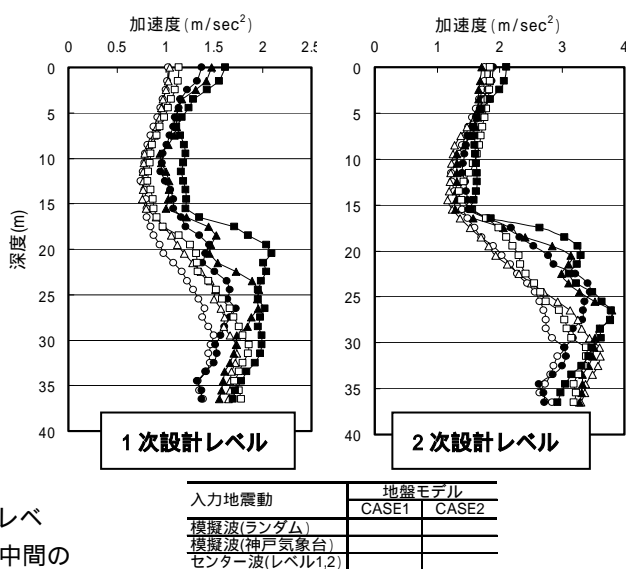


図-3 最大加速度分布

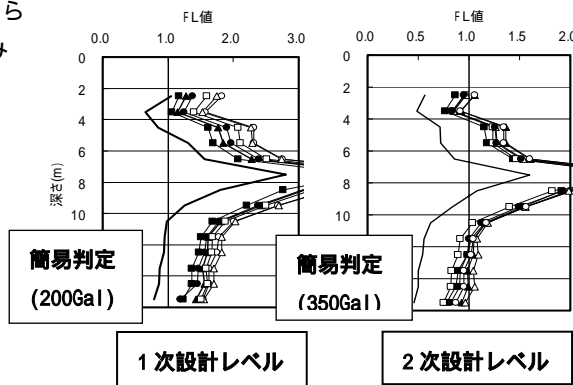


図-4 液状化判定

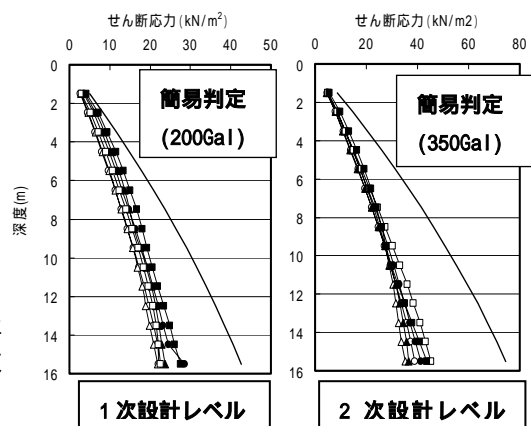


図-5 最大せん断力分布