

構成則 PM4Sand を用いた 1993 年釧路沖地震の一次元地震応答解析

日本大学 学生会員 ○齋藤 和寿
 日本大学 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

近年、液状化による甚大な被害が発生している。液状化による変形量を予測するためには、有効応力解析の実施が必要となり、数多くの構成則が提案されている。ただし、それらが事前に十分な予測能力を有しているか検証されたうえで解析に用いられなければならない。そこで本研究では、構成則 PM4Sand Version3.1 を対象とし、適用性検証を目的とし、1993 年釧路沖地震で観測された鉛直アレー観測データを用いて一次元地震応答解析を実施した。

2. 解析条件

解析コードには FLAC8.0、構成則には PM4Sand Version3.1 を用いたり、地盤物性を表-1 に示す。地盤物性は、文献2), 3) を参考に決定した。Layer A (液状化層) のみに PM4Sand Version3.1 を用い、他の層 (非液状化層) は sig3 model⁴⁾ を用いた。Layer A の液状化パラメータは、文献2) に示されている液状化強度曲線を参考に決定した。ただし、層内の液状化強度の分布 (パラツキ) を考慮して、図-1 に示すように繰返しせん断回数 15 回の液状化強度 (片振幅せん断ひずみ 5%) が 0.41 (Case1) と 0.30 (Case2) の 2 ケースを実施した。用いた液状化パラメータ (D_R , h_{p0} , G_0) を図中に示す。Layer A 以外の動的変形特性に関しては、若松ら⁵⁾ が示した砂質土の平均的な $G-\gamma$, $h-\gamma$ 関係を再現できるようにパラメータを設定した。解析モデルは底面 (G.L. -77m) を固定境界とし、観測波の NS 成分を地中入力した (E+F)。入力波と加速度オービットを図-2 と図-3 に示す。また、レーリー減衰は剛性比例型とし、振動数 1 Hz に対して 1% とした。

3. 解析結果

解析結果を図-4 に示す。図-4(a), (b) に示す Case1 の解析結果から、解析結果の最大加速度は観測波よりも小さく、有効応力経路からも液状化に至っていないことが確認できる。一方で、図-4(c), (d) に示す Case2 の解析結果から、20~30 秒のサイクリックモビリティによる特徴的な波形が再現できており、有効応力経路からも液状化に至っていることが確認できる。Case1 で液状化に至らなかった理由として、図-3 に示した加速度オービットより、今回の検討は卓越振幅方向 (強軸方向) と異なる方向の検討であるため、加速度や過剰間隙水圧を過小評価しているものと推察される⁶⁾。そこで、多方向性の影響を疑似的に考慮するために、入力波加速度振幅を 1.4 倍に調整した時の解析結果を図-5 に示す。図-5(a), (b) に示す Case1 の解析結果から、加速度振幅を調整しても液状化には至っていない。ただし、図-5(c), (d) に示す Case2 の解析結果から、サイクリックモビリティによる特徴的な波形の再現性は向上している。以上のことから、地盤物性や解析パラメータを適切に設定すれば観測結果を十分に再現でき、多方向入力の影響を考慮すれば再現性はより向上することが示された。

表-1 地盤物性一覧

深度 (m)	0-2	2-9	9-23	23-32	32-36	36-44	44-52	52-77
層名	Surface	Layer A	Layer B	Layer C	Layer D	Layer E	Layer F	Layer G
	粗砂		細砂			礫質土		細砂
構成則	sig ³ model	PM4Sand	sig3 model					
ρ (kg/m ³)	1540	1720	1980	1730	1760	1700	2000	1730
G_0 (MPa)	106.6	106.6	210.4	121.5	204.7	139.1	182.4	201.2
基準拘束圧 (kPa)	37	37	98	164	195	224	269	354
動的変形パラメータ	a	1.01	-				1.008	
	b	-0.513	-	※			-0.475	
	x_0	-1.282	-				-0.98	
備考)	※ 有効上載圧に応じてパラメータを設定		50 kPa $\leq \sigma'_v < 100$ kPa $\rightarrow a=1.015, b=-0.495, x_0=-1.17$		100 kPa $\leq \sigma'_v < 200$ kPa $\rightarrow a=1.012, b=-0.495, x_0=-1.07$		200 kPa $\leq \sigma'_v \rightarrow a=1.008, b=-0.475, x_0=-0.98$	

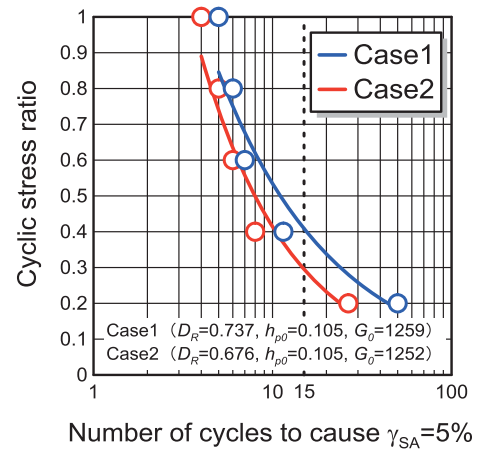


図-1 液状化強度曲線

キーワード 液状化, 地震応答解析, 有効応力解析

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学工学部土木工学科 地盤防災工学研究室 TEL.024-956-8710

4. まとめ

本研究では、構成則 PM4Sand Version3.1 を用いて一次元地震応答解析を行った。その結果、解析パラメータを適切に設定すれば一次元地震応答解析にも十分に適用でき、多方向入力の影響を考慮すれば再現性が向上することが明らかとなった。

<謝辞> 本研究では、「港湾地域強震観測」のデータを利用させて頂きました。ここに感謝の意を表します。

<参考文献> 1) Boulanger RW, Ziotopoulou K. : PM4Sand (Version3.1) : A sand plasticity model for earthquake engineering applications, Report No. UCD/CGM-17/01, Center for Geotechnical Modeling, University of California, Davis, CA, 2017. 2) Iai, S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y., and Abiko, K. : Response of a dense sand deposit during 1993 kushiro-oki earthquake, Soils and Foundations, Vol.35, No.1, pp.115-131, 1995. 3) 池野勝哉, 井合進, 関谷千尋 : カクテルグラスモデルによる 1993 年釧路沖地震の一次元地震応答解析, 土木学会第 65 回年次学術講演会, III-347, pp.693-694, 2010. 4) Itasca: Flac Version 8.0 Dynamic analysis, pp.1-77, 2016. 5) 若松加寿江, 吉田望, 三上武子 : 地質年代・堆積環境を考慮した土の繰返し変形特性の支配的要因の検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.3, pp.463-478, 2010. 6) 濁川直寛, 桐山貴俊, 福武毅芳 : 有効応力解析における入力地震動の多方向性の影響について, 第 26 回中部地盤工学シンポジウム, pp.53-58, 2014.

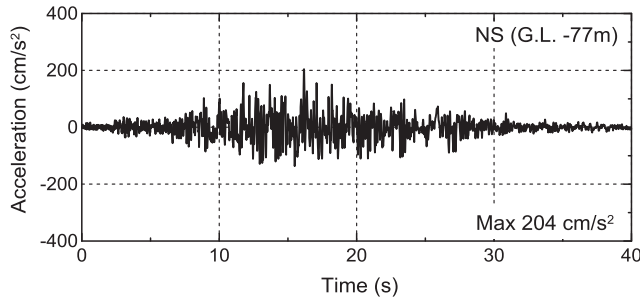


図-2 入力波

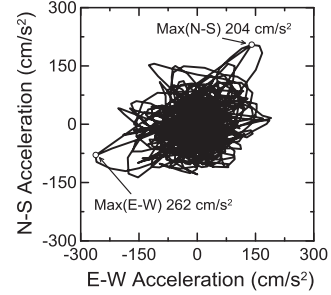


図-3 加速度オービット

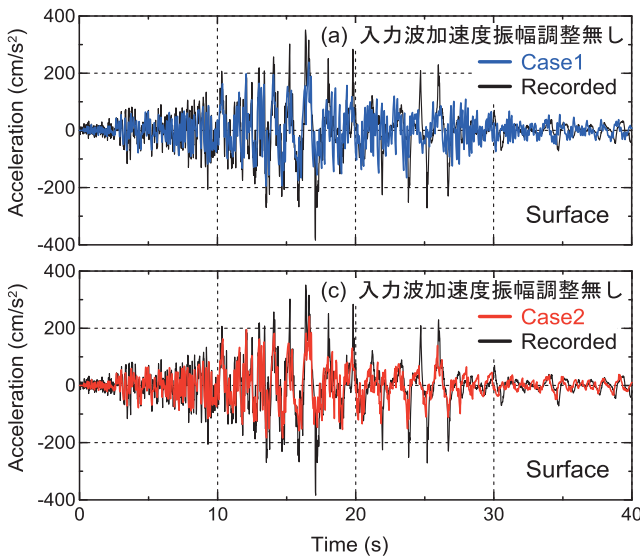


図-4 加速度時刻歴と有効応力経路（入力加速度振幅調整なし）

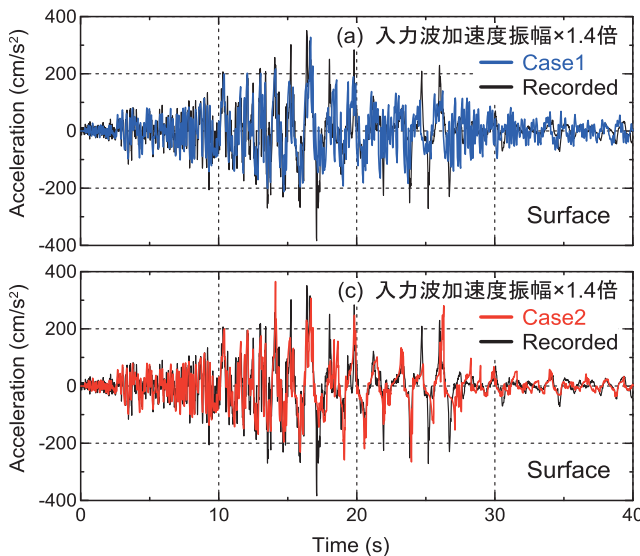
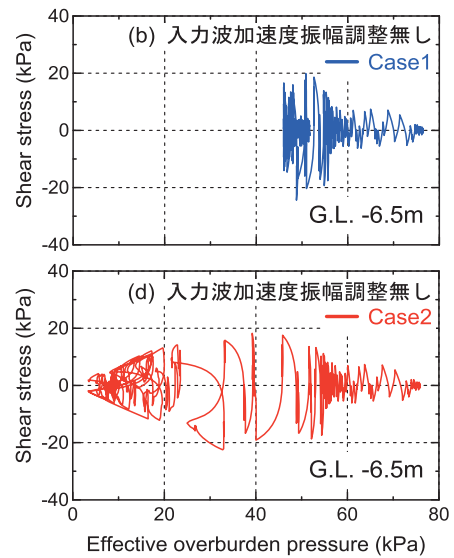


図-5 加速度時刻歴と有効応力経路（入力加速度振幅×1.4倍）

