

3 方向入力に対応した水平成層地盤解析プログラム

microSHAKE/3D ver2.4

解析検証資料

2022 年 9 月

 株式会社 地震工学研究所

プログラム名称: microSHAKE/3D ver2.4

<改訂履歴>

作成者: 株式会社地震工学研究所 技術部

改訂 No.	日付	内容	承認	審査	作成
0	2017/02	初版	宇高	大島	後藤
1	2018/04	ver2.3.1 を使用して図を差し換え	宇高	大島	後藤
2	2018/07	本文中の誤表記を修正	宇高	大島	後藤
3	2018/11	ver2.3.2 を使用して図を差し換え	宇高	大島	後藤
4	2019/03	ver2.3.3 を使用して図を差し換え	宇高	大島	後藤
5	2020/02	2 章・shake-91 の使用データを修正	宇高	大島	後藤
6	2021/01	ver2.4.0 を使用して図を差し換え	宇高	大島	後藤
7	2021/08	ver2.4.1 を使用して図を差し換え	宇高	大島	後藤
8	2022/09	Ver2.4.2 を使用して図を差し換え	宇高	大島	後藤

注記

- 1) 本書の著作権は、株式会社地震工学研究所に帰属します。供覧、複製、転載、引用等については、株式会社 地震工学研究所の許可が必要です。
- 2) 本書は、当該プログラムの品質管理記録の一部であり、当該プログラム利用者の確認目的に限定して提出するものです。上記目的以外の利用を禁じます。



株式会社 地震工学研究所

〒160-0004 東京都新宿区四谷 4-27-2 新宿 Y ビル 3 階

TEL: 03-3226-8733 FAX: 03-3226-8735

Mail: jkk@flush.co.jp

<http://www.flush.co.jp/>

1 厳密解との比較

2層のモデル地盤で伝達関数の厳密解との比較を行った。

1.1 検証モデルおよび検討条件

図 1-1 に検討地盤モデルを示す。

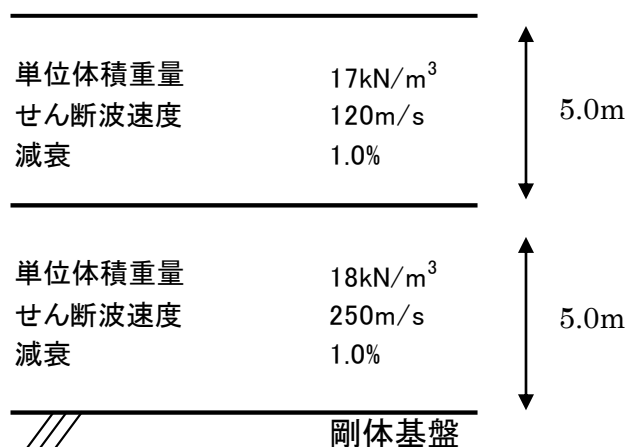


図 1-1 地盤モデル諸元

<検討条件>

- ・重力加速度は 9.80m/sec² とする。
- ・複素せん断剛性は $G^* = (1 - 2\beta^2 + 2i\beta\sqrt{1 - \beta^2})G$ を用いる。
- ・検討する振動数は 0～20Hz までとする。

1.2 比較結果

図 1-2 に伝達関数の比較結果を示す。

図より、microSHAKE/3D と厳密解の結果は一致していることが確認できる。

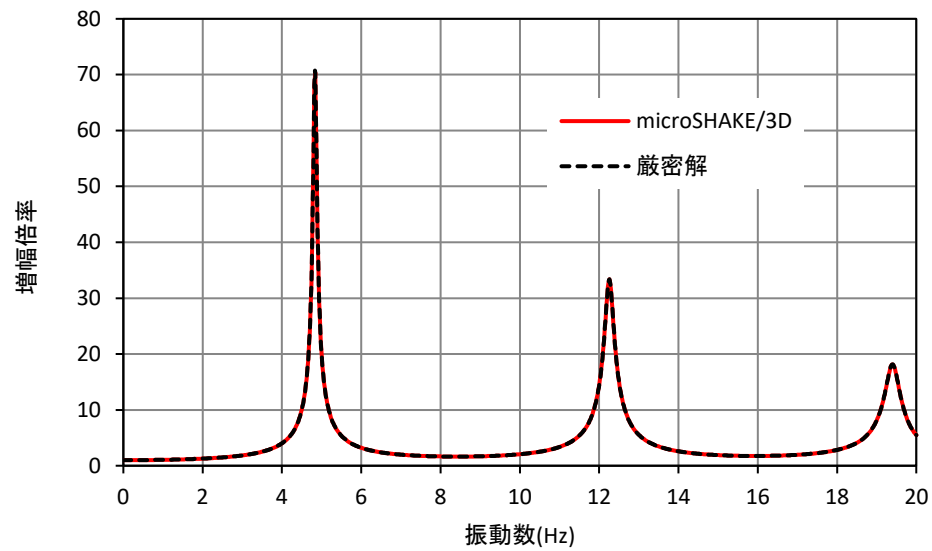


図 1-2 厳密解との伝達関数の比較

1.3 入力データ

検討に用いた解析のインプットデータを示す。

```

*-----
*                                     2017/01/24 14:37:00
*      Input Data
*                                     microSHAKE/3D for Windows
*-----
*      START
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      4096                                     9.8      0
*-----
*      OPTION 20
*-----
*      OPT20
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      1
*-----
*      OPTION 1
*-----
*      OPT 1
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      3500 4096      0.02      20
*      1KOBE_NS.wv
*      0.0025      0      1 (7F10.2)
*      0
*      0      0      0
*      0
*      0      0      0
*-----
*      OPTION 2
*-----
*      OPT 2
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      3      サンプル地層構造
*      1 0 5.0E+00 1.7E+01 0.0E+00      120 3.98E+02 1.0E-02
*      2 0 5.0E+00 1.8E+01 0.0E+00      250 8.29E+02 1.0E-02
*      3 0 0.0E+00 1.8E+01 0.0E+00      250 8.29E+02 1.0E-02
*-----
*      OPTION 3
*-----
*      OPT 3
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      3 1
*-----
*      OPTION 4
*-----
*      OPT 4
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      1 1      5      0.65
*-----
*      OPTION 16
*-----
*      OPT16
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      3
*      1 2 3
*      0 0 0
*-----
*      OPTION 16
*-----
*      OPT16
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      3
*      1 2 3
*      1 1 1
*-----
*      OPTION 15
*-----
*      OPT15
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      3 0 1 1      1      0.02
*-----
*      OPTION 15
*-----
*      OPT15
*-----
*      1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
*      3 1 1 1      1      0.02
*-----
*      END
*-----

```

2 オリジナルプログラムとの比較

カリフォルニア大学バークレー校が有償配布している 1 次元地盤の等価線形解析プログラム shake-91 (<http://nisee.berkeley.edu/elibrary/getpkg?id=SHAKE91>) との比較を実施した。

2.1 検証モデル

表 2-1 に検討地盤モデルを示し、図 2-1～図 2-6 に歪依存特性を示す。

表 2-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m ³)	動的せん断 弾性係数 Gd (kN/m ²)	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.20	14.80	16	25000	124	0.020
		1.60	16.40	16	43000	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.60	24.40	16	43000	162	0.020
		1.20	25.60	19	159000	286	0.020
第4粘性土層	8.00	2.00	27.60	17	110000	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	442	0.010

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

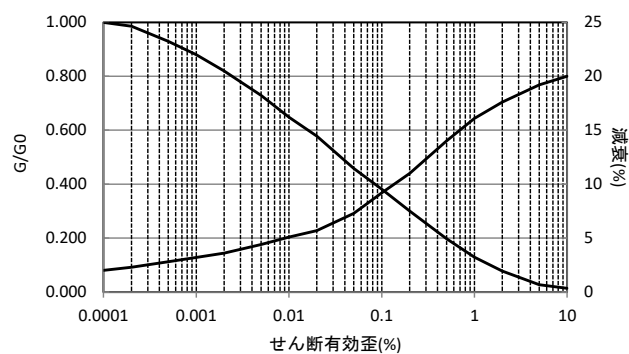


図 2-1 歪依存特性 (第 1 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.989	2.30
0.0005	0.952	2.80
0.001	0.916	3.20
0.002	0.874	3.60
0.005	0.811	4.40
0.01	0.752	5.10
0.02	0.698	5.70
0.05	0.601	7.30
0.1	0.500	9.20
0.2	0.394	11.00
0.5	0.259	14.00
1	0.170	16.10
2	0.102	17.60
5	0.036	19.20
10	0.018	20.00

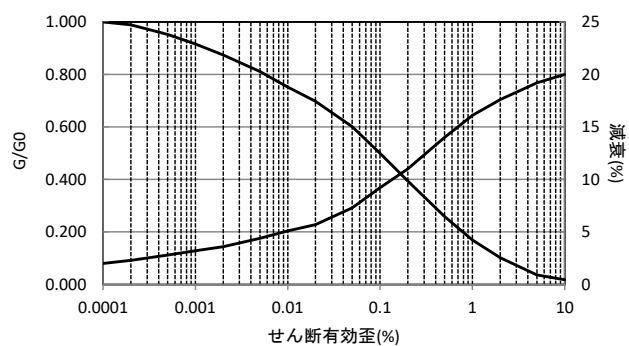


図 2-2 歪依存特性 (第 2 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.963	2.80
0.001	0.934	3.20
0.002	0.902	3.60
0.005	0.853	4.40
0.01	0.807	5.10
0.02	0.764	5.70
0.05	0.684	7.30
0.1	0.569	9.20
0.2	0.448	11.00
0.5	0.295	14.00
1	0.193	16.10
2	0.116	17.60
5	0.041	19.20
10	0.021	20.00

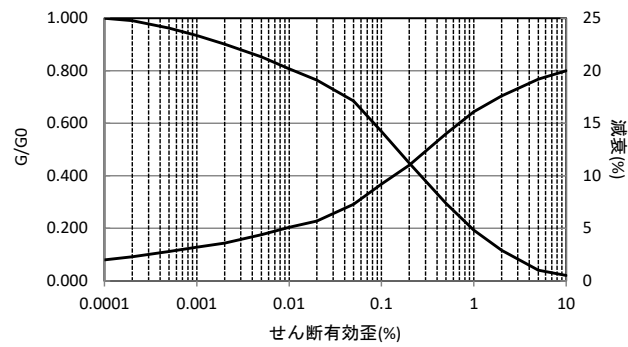


図 2-3 歪依存特性 (第 3 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.980	2.80
0.001	0.962	3.20
0.002	0.933	3.60
0.003	0.910	4.40
0.005	0.873	5.10
0.01	0.797	5.70
0.02	0.699	7.30
0.03	0.616	9.20
0.05	0.512	11.00
0.1	0.367	14.00
0.2	0.237	16.10
0.3	0.177	17.60
0.5	0.113	19.20
1	0.061	20.00

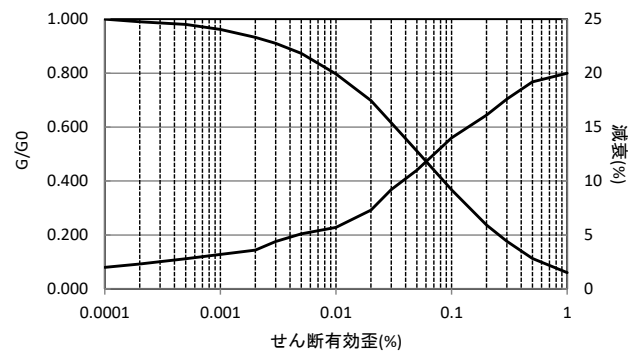


図 2-4 歪依存特性 (第 1 砂質土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.700
0.0002	0.990	0.900
0.0005	0.970	1.300
0.001	0.950	1.600
0.002	0.928	1.900
0.003	0.908	2.300
0.005	0.880	2.800
0.01	0.834	3.700
0.02	0.769	5.000
0.03	0.715	6.300
0.05	0.627	8.400
0.07	0.563	9.900
0.1	0.491	11.900
0.15	0.415	14.200
0.2	0.362	15.800
0.3	0.288	18.300
0.5	0.200	21.700
0.7	0.145	23.300
1	0.085	26.400

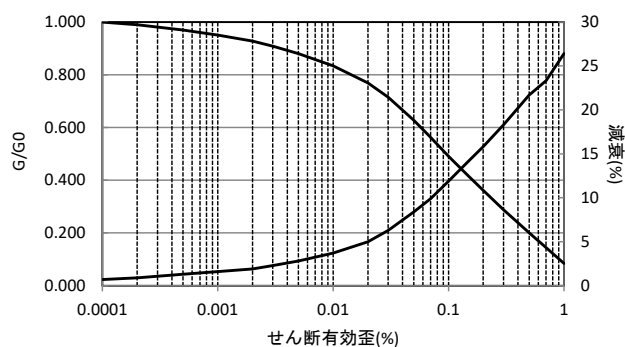


図 2-5 歪依存特性 (第4粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.997	0.08
0.0005	0.991	0.28
0.001	0.977	0.70
0.002	0.953	1.41
0.003	0.932	2.04
0.005	0.899	3.02
0.01	0.832	5.03
0.02	0.740	7.79
0.03	0.661	10.16
0.05	0.563	13.10
0.1	0.418	17.46
0.2	0.277	21.70
0.3	0.209	23.73
0.5	0.134	25.97
1	0.072	27.83

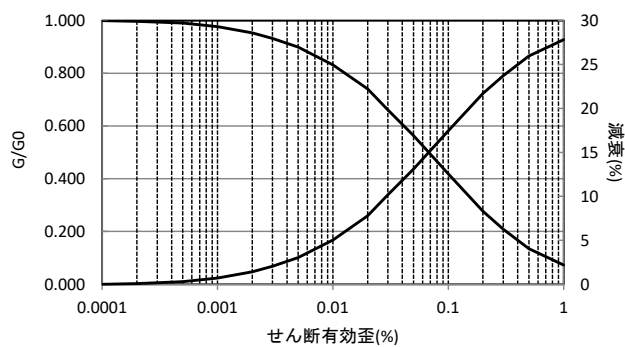


図 2-6 歪依存特性 (第2砂質土層)

2.2 検討条件

以下に、検討条件を示す。

- ・重力加速度は 9.80m/sec^2 とする。
- ・等価線形解析とする。
- ・複素せん断剛性は $G^* = (1 - 2\beta^2 + 2i\beta\sqrt{1 - \beta^2})G$ を用いる。
- ・検討する振動数は $0 \sim 20\text{Hz}$ までとする。

2.3 入力地震動

図 2-7 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

入力波水平 1 方向に入力する。

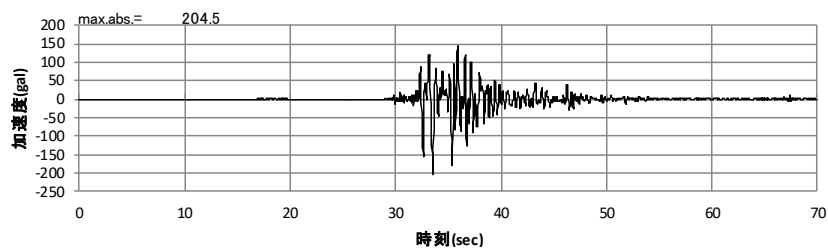


図 2-7 入力地震動加速度時刻歴

2.4 比較ケース

表 2-2 に比較ケースを示す。

比較は表に示すように、microSHAKE/3D は 2 方向入力とし、shake-91 は 1 方向入力とする。その際、microSHAKE/3D は同位相の水平動を $1/\sqrt{2}$ 倍して 2 方向に入力し、応答としては両ケースとも同じ水平入力となるように振幅調整を行った。

表 3-2 比較ケース

プログラム	入力成分	入力動
microSHAKE/3D	2 方向	$1/\sqrt{2} H + 1/\sqrt{2} H$
shake-91	1 方向	H

2.5 検討結果比較

伝達関数および加速度の比較を図 2-8~図 2-11 に示す。

各図より、結果は一致していることが確認できる。

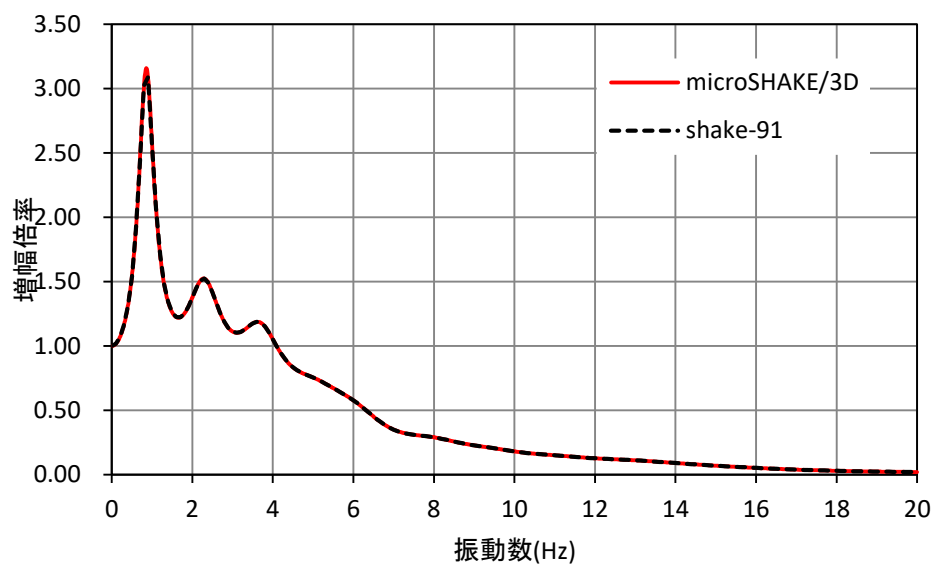


図 2-8 地表面伝達関数比較

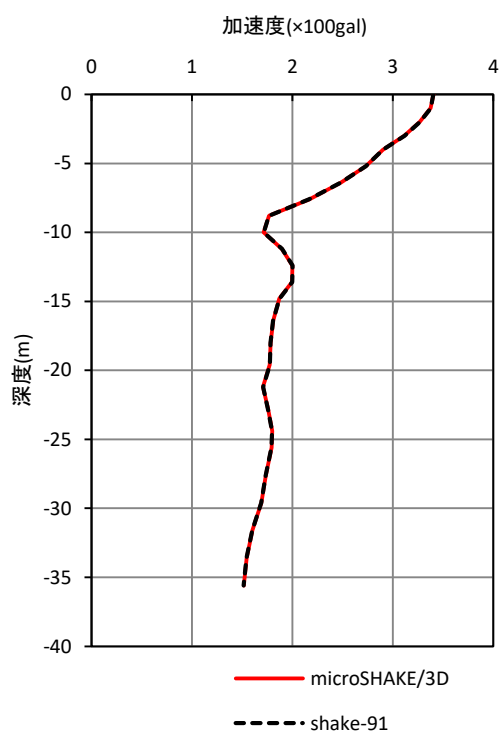


図 2-9 加速度最大分布比較

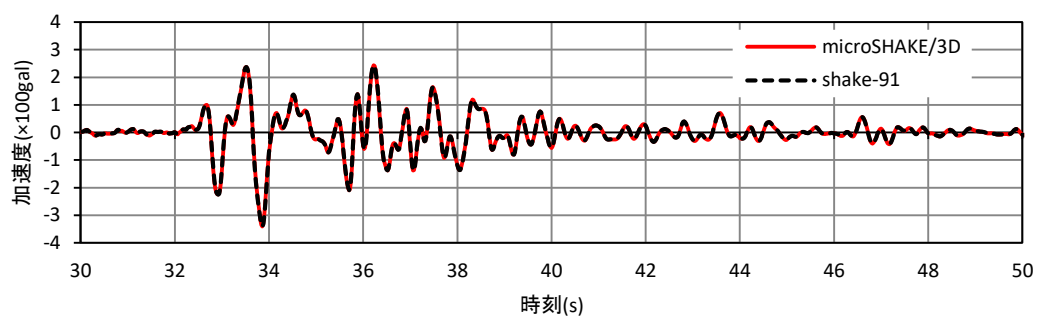


図 2-10 地表面加速度時刻歴比較

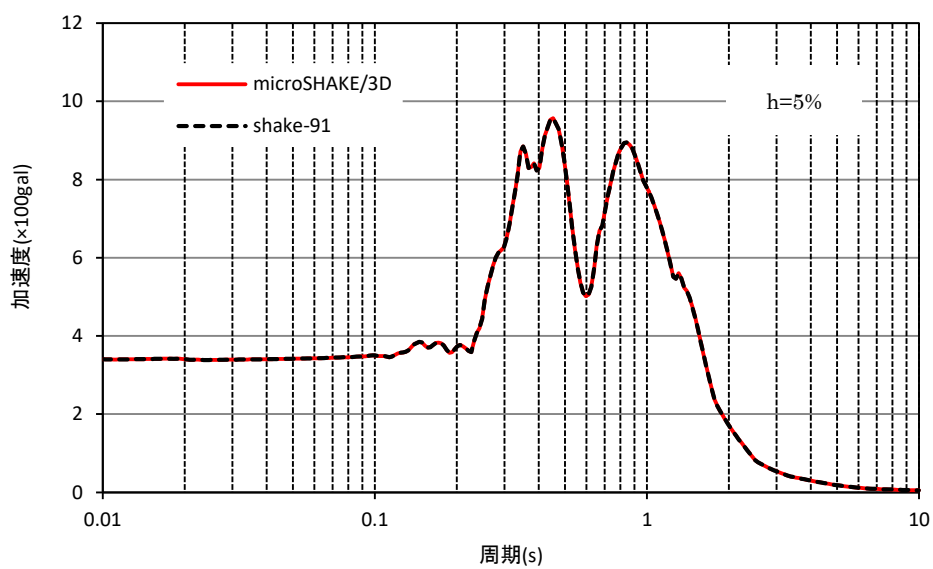


図 2-11 地表面加速度応答スペクトル比較

16	第1砂質土層 (G/G0)							0	0
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	1.0E-01	2.0E-01	3.0E-01	5.0E-01	1.0E+00		
1.0000	0.9910	0.9800	0.9620	0.9330	0.9100	0.8730	0.7970		
0.6990	0.6160	0.5120	0.3670	0.2370	0.1770	0.1130	0.0610		
16	第1砂質土層 (h)								
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	1.0E-01	2.0E-01	3.0E-01	5.0E-01	1.0E+00		
2.0000	2.3000	2.8000	3.2000	3.6000	4.4000	5.1000	5.7000		
7.3000	9.2000	11.0000	14.0000	16.1000	17.6000	19.2000	20.0000		
19	第4粘性土層 (G/G0)							0	0
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	7.0E-02	1.0E-01	1.5E-01	2.0E-01	3.0E-01		
5.0E-01	7.0E-01	1.0E+00							
1.0000	0.9900	0.9700	0.9500	0.9280	0.9080	0.8800	0.8340		
0.7690	0.7150	0.6270	0.5630	0.4910	0.4150	0.3620	0.2880		
0.2000	0.1450	0.0850							
19	第4粘性土層 (h)								
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	7.0E-02	1.0E-01	1.5E-01	2.0E-01	3.0E-01		
5.0E-01	7.0E-01	1.0E+00							
0.7000	0.9000	1.3000	1.6000	1.9000	2.3000	2.8000	3.7000		
5.0000	6.3000	8.4000	9.9000	11.9000	14.2000	15.8000	18.3000		
21.7000	23.3000	26.4000							
16	第2砂質土層 (G/G0)							0	0
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	1.0E-01	2.0E-01	3.0E-01	5.0E-01	1.0E+00		
1.0000	0.9970	0.9910	0.9770	0.9530	0.9320	0.8990	0.8320		
0.7400	0.6610	0.5630	0.4180	0.2770	0.2090	0.1340	0.0720		
16	第2砂質土層 (h)								
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	1.0E-01	2.0E-01	3.0E-01	5.0E-01	1.0E+00		
0.0000	0.0800	0.2800	0.7000	1.4100	2.0400	3.0200	5.0300		
7.7900	10.1600	13.1000	17.4600	21.7000	23.7300	25.9700	27.8300		
-----OPTION 2-----									
OPT 2									
------1---*---2---*---3---*---4---*---5---*---6---*---7---*---8									
26	サンプル地層構造								
1	1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
2	1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
3	1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
4	-1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
5	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
6	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
7	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
8	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
9	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
10	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
11	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
12	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
13	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
14	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
15	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
16	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
17	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
18	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
19	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
20	-4	1.2E+00	1.9E+01	1.59E+05	0	4.81E-01	2.0E-02		
21	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		
22	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		
23	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		
24	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		

--	1	*--2	*--3	*--4	*--5	*--6	*--7	*--8							
26	1														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
----- OPTION 16 -----															
OPT16															
--	1	*--2	*--3	*--4	*--5	*--6	*--7	*--8							
25	0														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
----- OPTION 16 -----															
OPT16															
--	1	*--2	*--3	*--4	*--5	*--6	*--7	*--8							
26	1														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26					
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
----- OPTION 16 -----															
OPT16															
--	1	*--2	*--3	*--4	*--5	*--6	*--7	*--8							
25	0														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
----- OPTION 9 -----															
OPT 9															
--	1	*--2	*--3	*--4	*--5	*--6	*--7	*--8							
1	1														
1		1	1	1	300		0.01		10						
0.05															
----- OPTION 15 -----															
OPT15															
--	1	*--2	*--3	*--4	*--5	*--6	*--7	*--8							
26	0	1	1	1											
0.01															
----- END -----															

3 SuperFLUSH/2D との比較

SuperFLUSH/2D の自由地盤と比較を行った。

3.1 検証モデル

表 3-1 に検討地盤モデルを示し、図 3-1～図 3-6 に歪依存特性を示す。

表 3-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m ³)	動的せん断 弾性係数 Gd (kN/m ²)	動的ポアソン比 ν_d	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	0.498	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	0.498	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	0.498	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	0.498	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	14.80	16	25000	0.497	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.60	16.40	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	24.40	16	43000	0.494	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	25.60	19	159000	0.481	286	0.020
第4粘性土層	8.00	2.00	27.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	0.489	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	0.466	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	0.452	442	0.010

▽地下水位

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	2.00
3.16E-04	0.957	2.55
1.00E-03	0.880	3.20
3.16E-03	0.774	4.00
1.00E-02	0.648	5.10
3.16E-02	0.518	6.50
1.00E-01	0.381	9.20
3.16E-01	0.249	12.50
1.00E+00	0.129	16.10
3.16E+00	0.053	18.40
1.00E+01	0.014	20.00

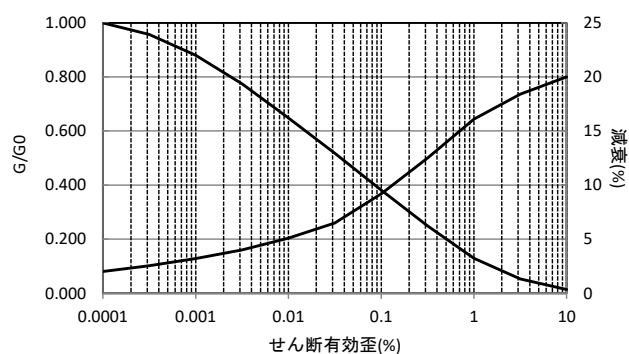


図 3-1 歪依存特性 (第 1 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	2.00
3.16E-04	0.970	2.55
1.00E-03	0.916	3.20
3.16E-03	0.842	4.00
1.00E-02	0.752	5.10
3.16E-02	0.650	6.50
1.00E-01	0.500	9.20
3.16E-01	0.326	12.50
1.00E+00	0.170	16.10
3.16E+00	0.069	18.40
1.00E+01	0.018	20.00

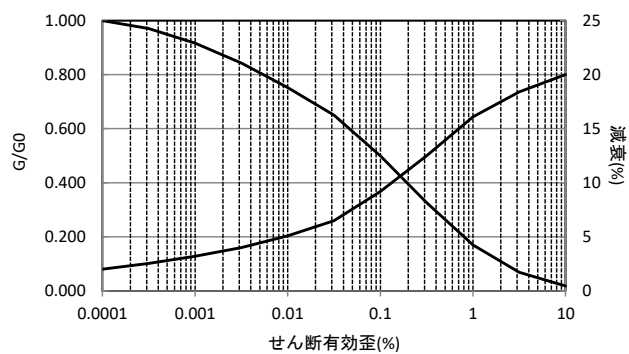


図 3-2 歪依存特性 (第 2 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	2.00
3.16E-04	0.977	2.55
1.00E-03	0.934	3.20
3.16E-03	0.877	4.00
1.00E-02	0.807	5.10
3.16E-02	0.724	6.50
1.00E-01	0.569	9.20
3.16E-01	0.372	12.50
1.00E+00	0.193	16.10
3.16E+00	0.079	18.40
1.00E+01	0.021	20.00

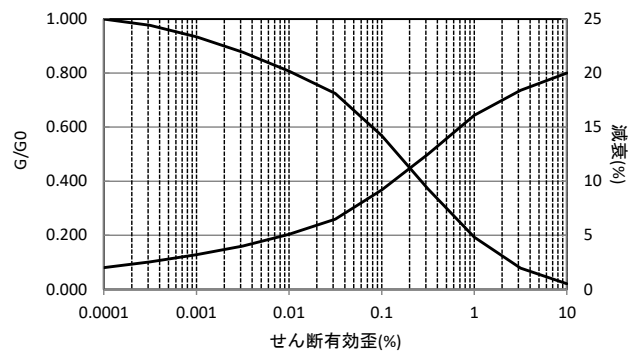


図 3-3 歪依存特性（第 3 粘性土層）

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	0.00
3.16E-04	0.985	0.44
1.00E-03	0.962	1.13
3.16E-03	0.906	2.81
1.00E-02	0.797	6.09
3.16E-02	0.605	11.84
1.00E-01	0.367	18.99
3.16E-01	0.170	24.89
1.00E+00	0.061	28.18
3.16E+00	0.061	28.18
1.00E+01	0.061	28.18

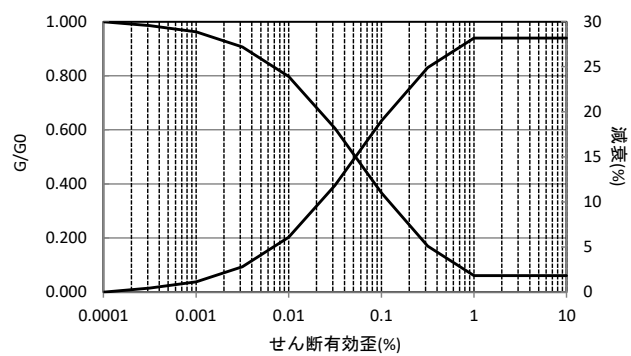


図 3-4 歪依存特性（第 1 砂質土層）

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	0.700
3.16E-04	0.980	1.100
1.00E-03	0.950	1.600
3.16E-03	0.905	2.352
1.00E-02	0.834	3.700
3.16E-02	0.706	6.517
1.00E-01	0.491	11.900
3.16E-01	0.279	18.651
1.00E+00	0.085	26.400
3.16E+00	0.085	26.400
1.00E+01	0.085	26.400

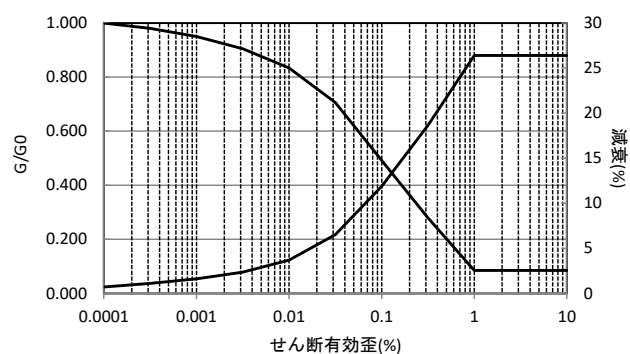


図 3-5 歪依存特性 (第4粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	0.00
3.16E-04	0.994	0.18
1.00E-03	0.977	0.70
3.16E-03	0.929	2.14
1.00E-02	0.832	5.03
3.16E-02	0.651	10.46
1.00E-01	0.418	17.46
3.16E-01	0.201	23.96
1.00E+00	0.072	27.83
3.16E+00	0.072	27.83
1.00E+01	0.072	27.83

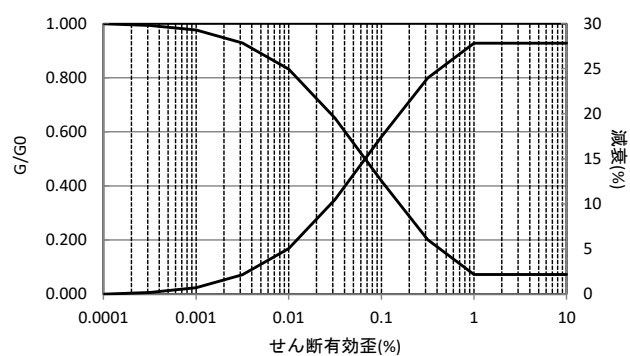


図 3-6 歪依存特性 (第2砂質土層)

3.2 検討条件

以下に、検討条件を示す。

- ・重力加速度は 9.80m/sec^2 とする。
- ・等価線形解析とする。
- ・複素せん断剛性は $G^* = (1 - 2\beta^2 + 2i\beta\sqrt{1 - \beta^2})G$ を用いる。
- ・検討する振動数は $0 \sim 10\text{Hz}$ までとする。
- ・地下水位以深は、体積弾性係数一定とする。

3.3 入力地震動

図 3-7、図 3-8 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

入力は水平 2 方向、鉛直 1 方向に入力する。

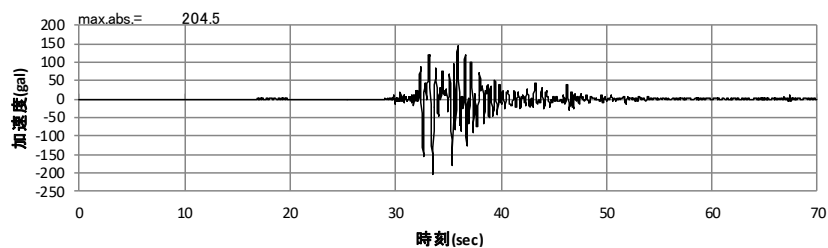


図 3-7 入力地震動加速度時刻歴（水平成分）

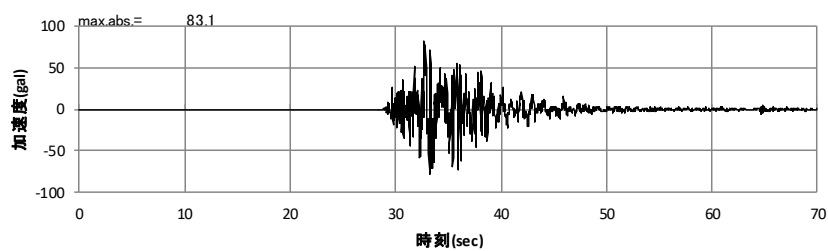


図 3-8 入力地震動加速度時刻歴（鉛直成分）

3.4 比較ケース

表 3-2 に比較ケースを示す。

比較は表に示すように、microSHAKE/3D は 3 方向入力とし、SuperFLUSH/2D は 2 方向入力とする。その際、microSHAKE/3D は同位相の水平動を $1/\sqrt{2}$ 倍して 2 方向に入力し、応答としては両ケースとも同じ水平入力となるように振幅調整を行った。

表 3-2 比較ケース

プログラム	入力成分	入力動
microSHAKE/3D	3 方向	$1/\sqrt{2} H + 1/\sqrt{2} H + V$
SuperFLUSH/2D	2 方向	$H + V$

3.5 検討結果比較

伝達関数および加速度の比較を図 3-9~図 3-13 に示す。

各図より、結果は一致していることが確認できる。

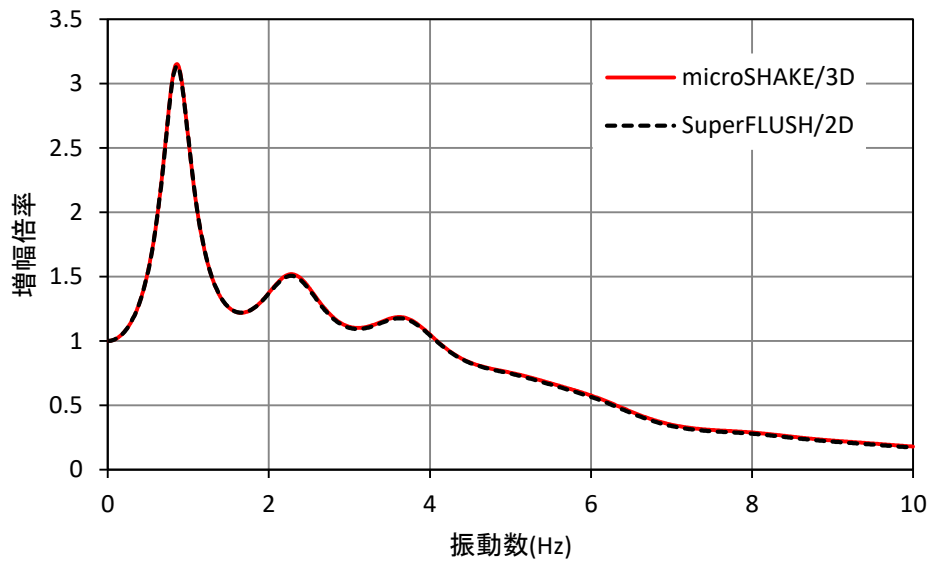


図 3-9 地表面伝達関数比較

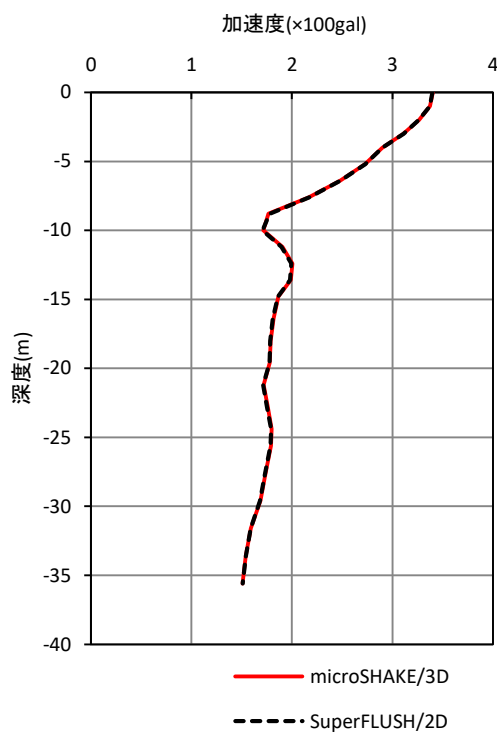


図 3-10 加速度最大分布比較

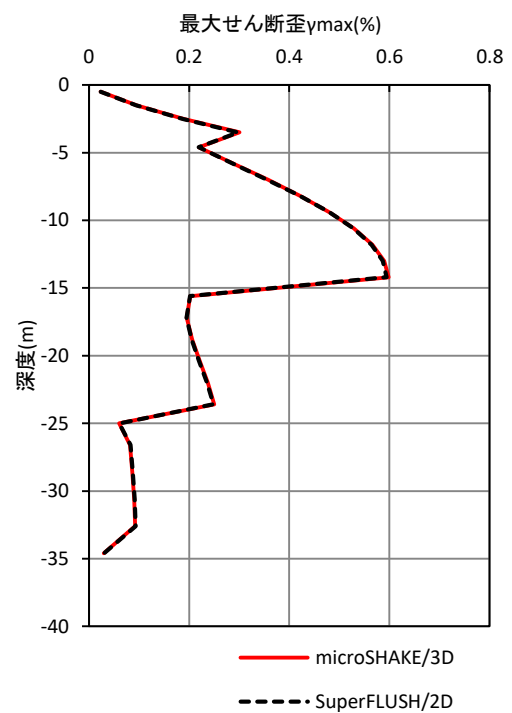


図 3-11 せん断歪最大分布比較

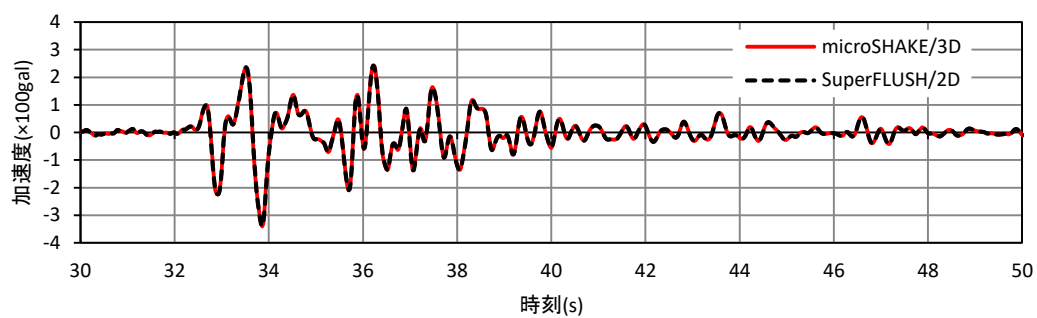


図 3-12 地表面加速度時刻歴比較

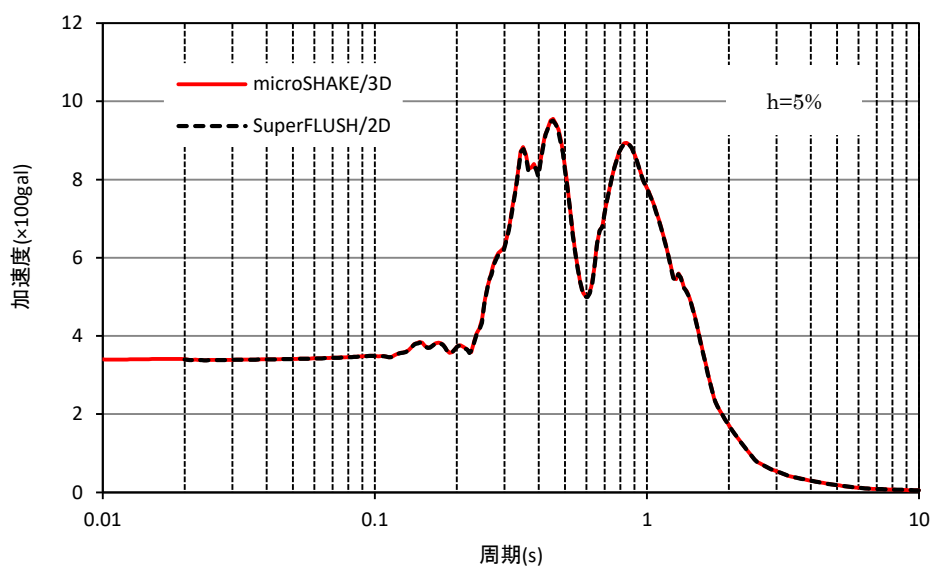


図 3-13 地表面加速度応答スペクトル比較

3.6 入力データ

検討に用いた解析のインプットデータを示す。

```

**-----
*
*                               2016/04/06 17:45:20
*
*       Input Data
*
*                               microSHAKE/3D for Windows
*
*-----
*----- START -----
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
4096                               9.8      0
*----- OPTION 20 -----
OPT20
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1
*----- OPTION 1 -----
OPT 1
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
3500 4096      0.02      10
1KOBE_NS1.wv
0.00176777      0      1(7F10.2)
1KOBE_NS2.wv
0.00176777      0      1(7F10.2)
1KOBE_UD.wv
0.0025      0      1(7F10.2)
*----- OPTION 8 -----
OPT 8
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
6
16      第1粘性土層 (G/G0)
1.0E-04      2.0E-04      5.0E-04      1.0E-03      2.0E-03      5.0E-03      1.0E-02      2.0E-02
5.0E-02      1.0E-01      2.0E-01      5.0E-01      1.0E+00      2.0E+00      5.0E+00      1.0E+01
1.0000      0.9850      0.9300      0.8800      0.8190      0.7290      0.6480      0.5780
0.4590      0.3810      0.3000      0.1980      0.1290      0.0780      0.0280      0.0140
16      第1粘性土層 (h)
1.0E-04      2.0E-04      5.0E-04      1.0E-03      2.0E-03      5.0E-03      1.0E-02      2.0E-02
5.0E-02      1.0E-01      2.0E-01      5.0E-01      1.0E+00      2.0E+00      5.0E+00      1.0E+01
2.0000      2.3000      2.8000      3.2000      3.6000      4.4000      5.1000      5.7000
7.3000      9.2000      11.0000      14.0000      16.1000      17.6000      19.2000      20.0000
16      第2粘性土層 (G/G0)
1.0E-04      2.0E-04      5.0E-04      1.0E-03      2.0E-03      5.0E-03      1.0E-02      2.0E-02
5.0E-02      1.0E-01      2.0E-01      5.0E-01      1.0E+00      2.0E+00      5.0E+00      1.0E+01
1.0000      0.9890      0.9520      0.9160      0.8740      0.8110      0.7520      0.6980
0.6010      0.5000      0.3940      0.2590      0.1700      0.1020      0.0360      0.0180
16      第2粘性土層 (h)
1.0E-04      2.0E-04      5.0E-04      1.0E-03      2.0E-03      5.0E-03      1.0E-02      2.0E-02
5.0E-02      1.0E-01      2.0E-01      5.0E-01      1.0E+00      2.0E+00      5.0E+00      1.0E+01
2.0000      2.3000      2.8000      3.2000      3.6000      4.4000      5.1000      5.7000
7.3000      9.2000      11.0000      14.0000      16.1000      17.6000      19.2000      20.0000
16      第3粘性土層 (G/G0)
1.0E-04      2.0E-04      5.0E-04      1.0E-03      2.0E-03      5.0E-03      1.0E-02      2.0E-02
5.0E-02      1.0E-01      2.0E-01      5.0E-01      1.0E+00      2.0E+00      5.0E+00      1.0E+01
1.0000      0.9910      0.9630      0.9340      0.9020      0.8530      0.8070      0.7640
0.6840      0.5690      0.4480      0.2950      0.1930      0.1160      0.0410      0.0210
16      第3粘性土層 (h)
1.0E-04      2.0E-04      5.0E-04      1.0E-03      2.0E-03      5.0E-03      1.0E-02      2.0E-02
5.0E-02      1.0E-01      2.0E-01      5.0E-01      1.0E+00      2.0E+00      5.0E+00      1.0E+01
2.0000      2.3000      2.8000      3.2000      3.6000      4.4000      5.1000      5.7000
7.3000      9.2000      11.0000      14.0000      16.1000      17.6000      19.2000      20.0000

```

11	第1砂質土層 (G/G0)							0	0
1.0E-04	3.16E-04	1.0E-03	3.16E-03	1.0E-02	3.16E-02	1.0E-01	3.16E-01		
1.0E-00	3.16E-00	1.0E+01							
1.0000	0.9850	0.9620	0.9060	0.7970	0.6050	0.3670	0.1700		
0.0610	0.0610	0.0610							
11	第1砂質土層 (h)								
1.0E-04	3.16E-04	1.0E-03	3.16E-03	1.0E-02	3.16E-02	1.0E-01	3.16E-01		
1.0E-00	3.16E-00	1.0E+01							
0.0000	0.4400	1.1300	2.8100	6.0900	11.8400	18.9900	24.8900		
28.1800	28.1800	28.1800							
19	第4粘性土層 (G/G0)							0	0
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	7.0E-02	1.0E-01	1.5E-01	2.0E-01	3.0E-01		
5.0E-01	7.0E-01	1.0E+00							
1.0000	0.9900	0.9700	0.9500	0.9280	0.9080	0.8800	0.8340		
0.7690	0.7150	0.6270	0.5630	0.4910	0.4150	0.3620	0.2880		
0.2000	0.1450	0.0850							
19	第4粘性土層 (h)								
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	7.0E-02	1.0E-01	1.5E-01	2.0E-01	3.0E-01		
5.0E-01	7.0E-01	1.0E+00							
0.7000	0.9000	1.3000	1.6000	1.9000	2.3000	2.8000	3.7000		
5.0000	6.3000	8.4000	9.9000	11.9000	14.2000	15.8000	18.3000		
21.7000	23.3000	26.4000							
16	第2砂質土層 (G/G0)							0	0
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	1.0E-01	2.0E-01	3.0E-01	5.0E-01	1.0E+00		
1.0000	0.9970	0.9910	0.9770	0.9530	0.9320	0.8990	0.8320		
0.7400	0.6610	0.5630	0.4180	0.2770	0.2090	0.1340	0.0720		
16	第2砂質土層 (h)								
1.0E-04	2.0E-04	5.0E-04	1.0E-03	2.0E-03	3.0E-03	5.0E-03	1.0E-02		
2.0E-02	3.0E-02	5.0E-02	1.0E-01	2.0E-01	3.0E-01	5.0E-01	1.0E+00		
0.0000	0.0800	0.2800	0.7000	1.4100	2.0400	3.0200	5.0300		
7.7900	10.1600	13.1000	17.4600	21.7000	23.7300	25.9700	27.8300		
-----OPTION 2-----									
OPT 2									
------1---*---2---*---3---*---4---*---5---*---6---*---7---*---8									
26	サンプル地層構造								
1	1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
2	1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
3	1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
4	-1	1.0E+00	1.7E+01	2.1E+04	0	4.98E-01	3.0E-02		
5	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
6	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
7	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
8	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
9	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
10	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
11	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
12	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
13	-2	1.2E+00	1.6E+01	2.5E+04	0	4.97E-01	2.0E-02		
14	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
15	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
16	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
17	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
18	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
19	-3	1.6E+00	1.6E+01	4.3E+04	0	4.94E-01	2.0E-02		
20	-4	1.2E+00	1.9E+01	1.59E+05	0	4.81E-01	2.0E-02		
21	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		
22	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		
23	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		
24	-5	2.0E+00	1.7E+01	1.1E+05	0	4.89E-01	2.0E-02		

4 地表面上載圧を考慮した場合の SuperFLUSH/2D との比較

4.1 X 方向入力

microSHAKE/3D の地表面上載圧入力機能について、地表面の節点に節点荷重を設定した SuperFLUSH/2D の FEM 部と比較・検証を行った。

4.1.1 検証モデル

表 4-1 に検討地盤モデルを示し、図 4-1～図 4-6 に歪依存特性を示す。

SuperFLUSH/2D では、地表面の 2 節点にそれぞれ 9.8kN/m² の節点重量を与えた。

microSHAKE/3D では地表面に 19.6kN/m² の上載荷重を考慮し、両者を比較した。

表 4-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m ²)	動的せん断 弾性係数 Gd (kN/m ²)	動的ポアソン比 ν_d	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	0.498	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	0.498	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	0.498	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	0.498	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	14.80	16	25000	0.497	124	0.020
		1.20	16.00	16	25000	0.497	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.60	16.40	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	0.494	162	0.020
		1.60	24.40	16	43000	0.494	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	25.60	19	159000	0.481	286	0.020
第4粘性土層	8.00	2.00	27.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	0.489	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	0.489	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	0.466	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	0.452	442	0.010

▽地下水位

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	2.00
3.16E-04	0.957	2.55
1.00E-03	0.880	3.20
3.16E-03	0.774	4.00
1.00E-02	0.648	5.10
3.16E-02	0.518	6.50
1.00E-01	0.381	9.20
3.16E-01	0.249	12.50
1.00E+00	0.129	16.10
3.16E+00	0.053	18.40
1.00E+01	0.014	20.00

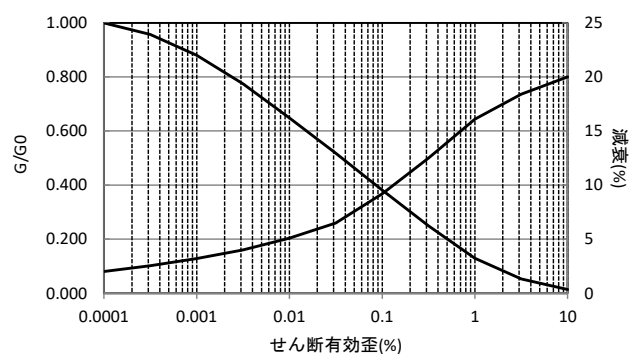


図 4-1 歪依存特性 (第 1 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	2.00
3.16E-04	0.970	2.55
1.00E-03	0.916	3.20
3.16E-03	0.842	4.00
1.00E-02	0.752	5.10
3.16E-02	0.650	6.50
1.00E-01	0.500	9.20
3.16E-01	0.326	12.50
1.00E+00	0.170	16.10
3.16E+00	0.069	18.40
1.00E+01	0.018	20.00

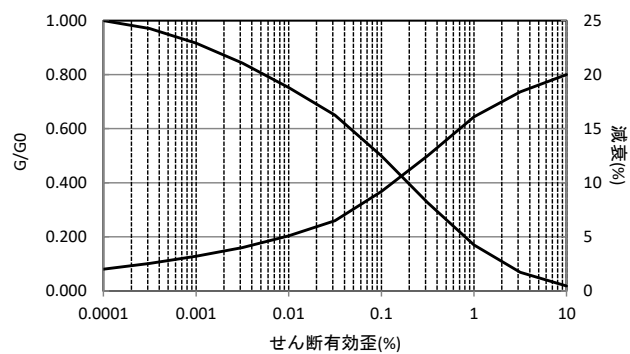


図 4-2 歪依存特性 (第 2 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	2.00
3.16E-04	0.977	2.55
1.00E-03	0.934	3.20
3.16E-03	0.877	4.00
1.00E-02	0.807	5.10
3.16E-02	0.724	6.50
1.00E-01	0.569	9.20
3.16E-01	0.372	12.50
1.00E+00	0.193	16.10
3.16E+00	0.079	18.40
1.00E+01	0.021	20.00

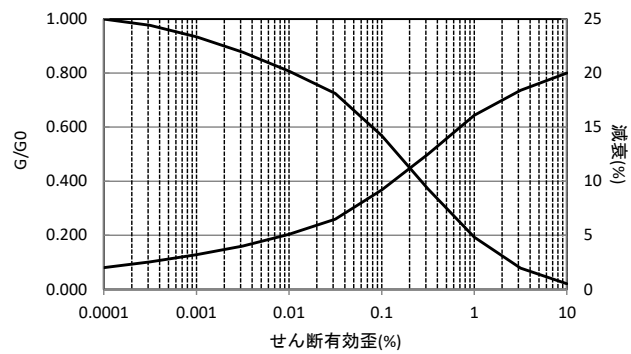


図 4-3 歪依存特性（第3粘性土層）

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	0.00
3.16E-04	0.985	0.44
1.00E-03	0.962	1.13
3.16E-03	0.906	2.81
1.00E-02	0.797	6.09
3.16E-02	0.605	11.84
1.00E-01	0.367	18.99
3.16E-01	0.170	24.89
1.00E+00	0.061	28.18
3.16E+00	0.061	28.18
1.00E+01	0.061	28.18

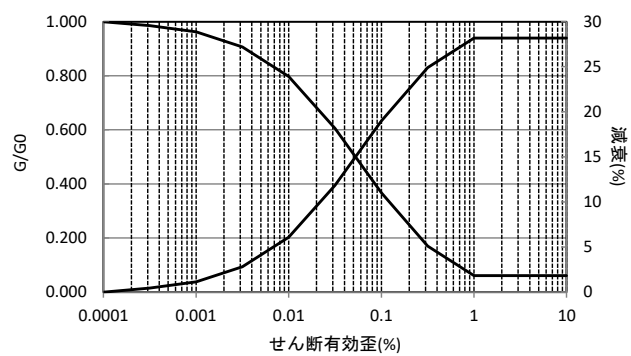


図 4-4 歪依存特性（第1砂質土層）

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	0.700
3.16E-04	0.980	1.100
1.00E-03	0.950	1.600
3.16E-03	0.905	2.352
1.00E-02	0.834	3.700
3.16E-02	0.706	6.517
1.00E-01	0.491	11.900
3.16E-01	0.279	18.651
1.00E+00	0.085	26.400
3.16E+00	0.085	26.400
1.00E+01	0.085	26.400

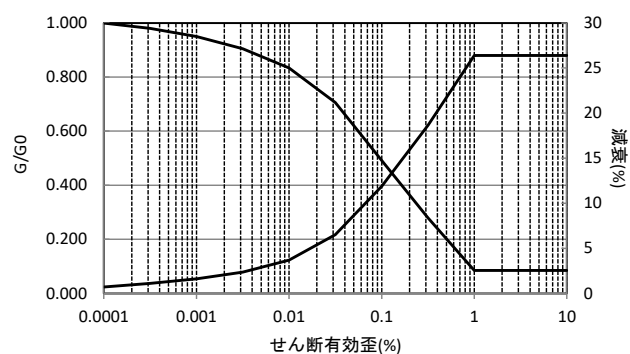


図 4-5 歪依存特性 (第 4 粘性土層)

せん断 有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
1.00E-04	1.000	0.00
3.16E-04	0.994	0.18
1.00E-03	0.977	0.70
3.16E-03	0.929	2.14
1.00E-02	0.832	5.03
3.16E-02	0.651	10.46
1.00E-01	0.418	17.46
3.16E-01	0.201	23.96
1.00E+00	0.072	27.83
3.16E+00	0.072	27.83
1.00E+01	0.072	27.83

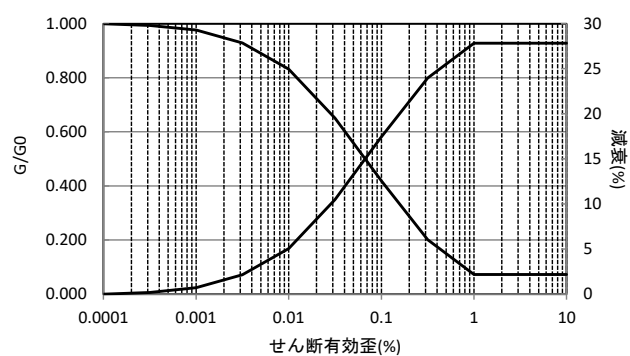


図 4-6 歪依存特性 (第 2 砂質土層)

4.1.2 検討条件

以下に、検討条件を示す。

- ・重力加速度は 9.80m/sec^2 とする。
- ・等価線形解析とする。
- ・複素せん断剛性は $G^* = (1 - 2\beta^2 + 2i\beta\sqrt{1 - \beta^2})G$ を用いる。
- ・検討する振動数は 0～10Hz までとする。
- ・地下水位以深は、体積弾性係数一定とする。

4.1.3 入力地震動

図 3-7 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

入力は水平 1 方向に入力する。

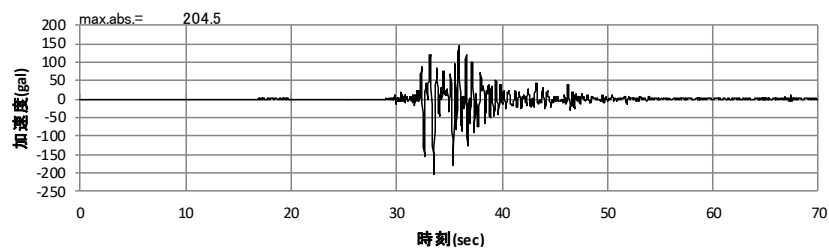


図 4-7 入力地震動加速度時刻歴（水平成分）

4.1.4 検討結果比較

伝達関数および加速度の比較を図 4-8~図 4-12 に示す。

各図より、結果は一致していることが確認できる。

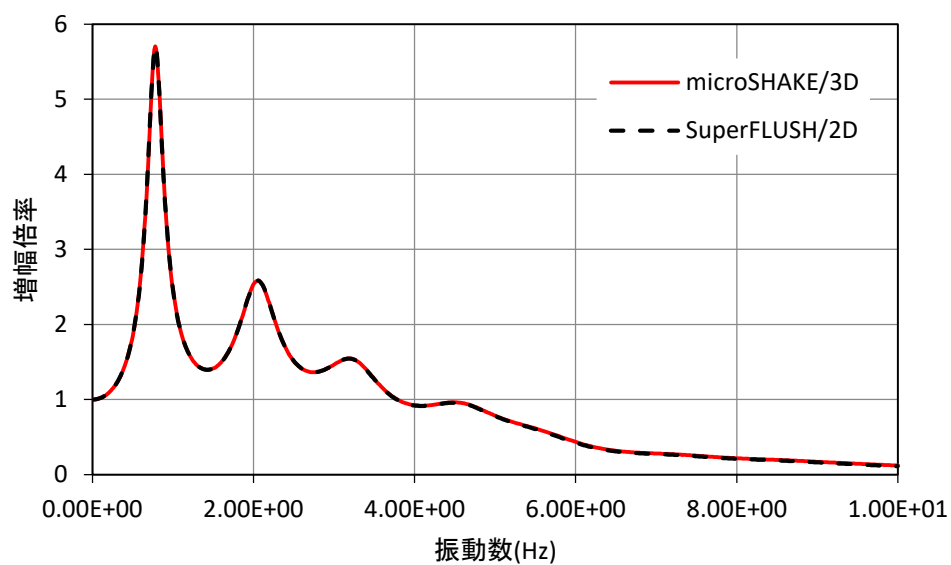


図 4-8 地表面伝達関数比較

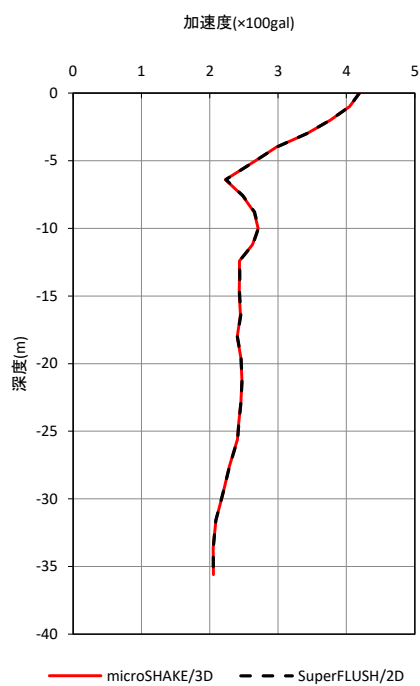


図 4-9 加速度最大分布比較

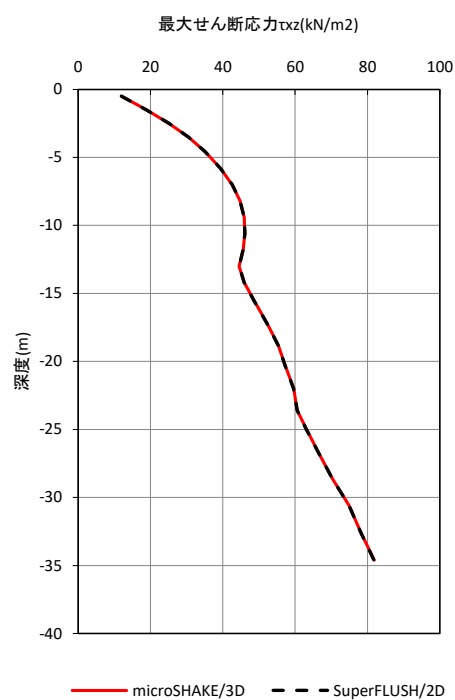


図 4-10 せん断応力最大分布比較

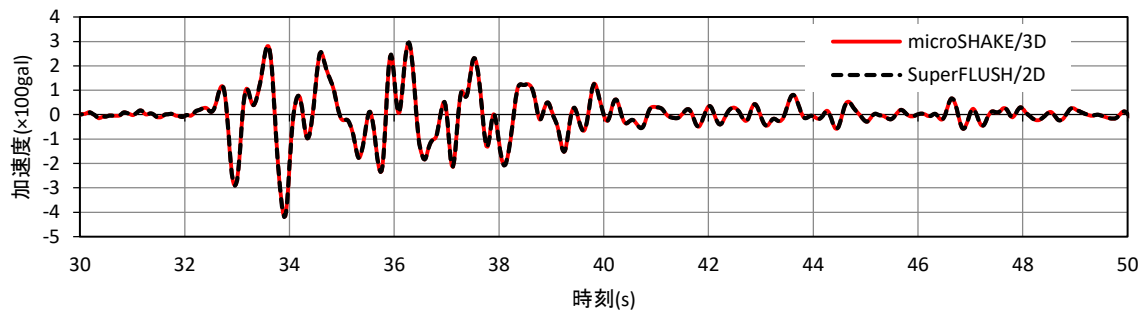


図 4-11 地表面加速度時刻歴比較

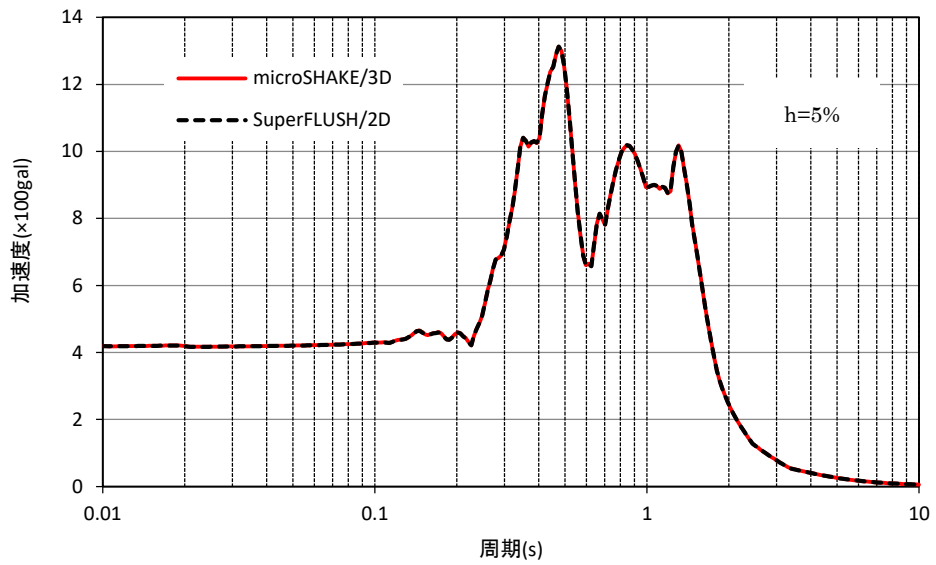


図 4-12 地表面加速度応答スペクトル比較

4.1.5 入力データ

検討に用いた解析のインプットデータを示す。

```

*-----
*                                     2016/04/06 14:21:10
*
*      Input Data
*                                     microSHAKE/3D for Windows
*-----
*----- START -----
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
4096                                     9.8      0
*----- OPTION 20 -----
OPT20
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1
*----- OPTION 1 -----
OPT 1
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
3500 4096      0.02      10
1KOBE_NS.wv
0.0025      0      1 (7F10.2)
0KOBE_NS2.wv
0.0025      0      1 (7F10.2)
0KOBE_UD.wv
0.0025      0      1 (7F10.2)
*----- OPTION 4 -----
OPT 4
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1      4      5.00      0.650      0
*----- OPTION 8 -----
OPT 8
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
6
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
1.0000 0.9570 0.8800 0.7740 0.6480 0.5180 0.3810 0.2490
0.1290 0.0530 0.0140
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
2.0000 2.5500 3.2000 4.0000 5.1000 6.5000 9.2000 12.5000
16.1000 18.4000 20.0000
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
1.0000 0.9700 0.9160 0.8420 0.7520 0.6500 0.5000 0.3260
0.1700 0.0690 0.0180
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
2.0000 2.5500 3.2000 4.0000 5.1000 6.5000 9.2000 12.5000
16.1000 18.4000 20.0000
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
1.0000 0.9770 0.9340 0.8770 0.8070 0.7240 0.5690 0.3720
0.1930 0.0790 0.0210
11

```

1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
2. 0000	2. 5500	3. 2000	4. 0000	5. 1000	6. 5000	9. 2000	12. 5000
16. 1000	18. 4000	20. 0000					
11						0	0
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
1. 0000	0. 9850	0. 9620	0. 9060	0. 7970	0. 6050	0. 3670	0. 1700
0. 0610	0. 0610	0. 0610					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
0. 0000	0. 4400	1. 1300	2. 8100	6. 0900	11. 8400	18. 9900	24. 8900
28. 1800	28. 1800	28. 1800					
11						0	0
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
1. 0000	0. 9800	0. 9500	0. 9050	0. 8340	0. 7060	0. 4910	0. 2790
0. 0850	0. 0850	0. 0850					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
0. 7000	1. 1000	1. 6000	2. 3500	3. 7000	6. 5200	11. 9000	18. 6500
26. 4000	26. 4000	26. 4000					
11						0	0
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
1. 0000	0. 9940	0. 9770	0. 9290	0. 8320	0. 6510	0. 4180	0. 2010
0. 0720	0. 0720	0. 0720					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
0. 0000	0. 1800	0. 7000	2. 1400	5. 0300	10. 4600	17. 4600	23. 9600
27. 8300	27. 8300	27. 8300					
-----OPTION 2-----							
OPT 2							
--	1	*--2	*--3	*--4	*--5	*--6	*--7--*--8
	26	サンプル地層構造					1. 96E+01 111
1	1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
2	1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
3	1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
4	-1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
5	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
6	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
7	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
8	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
9	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
10	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
11	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
12	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
13	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
14	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
15	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
16	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
17	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
18	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
19	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
20	-4	1. 2E+00	1. 9E+01	1. 59E+05	0	4. 81E-01	2. 0E-02
21	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02
22	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02
23	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02
24	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02

*	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5	*	6	*	7	*	8
26	1															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
----- OPTION 16 -----																
OPT16																
*	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5	*	6	*	7	*	8
25	0															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
----- OPTION 16 -----																
OPT16																
*	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5	*	6	*	7	*	8
26	1															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
----- OPTION 16 -----																
OPT16																
*	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5	*	6	*	7	*	8
25	0															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
----- OPTION 9 -----																
OPT 9																
*	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5	*	6	*	7	*	8
1	1															
1		1	1	1	300		0.01		10							
	0.05															
----- OPTION 15 (ampl) -----																
OPT15																
*	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5	*	6	*	7	*	8
26	1	1	1	1	0.012207											
----- END -----*																

4.2 Z 方向入力

4.2.1 検証モデル

4.2.2 検討条件

検証モデル・検討条件は 4.1 と同様とする。

4.2.3 入力地震動

図 4-13 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

鉛直 1 方向に入力する。

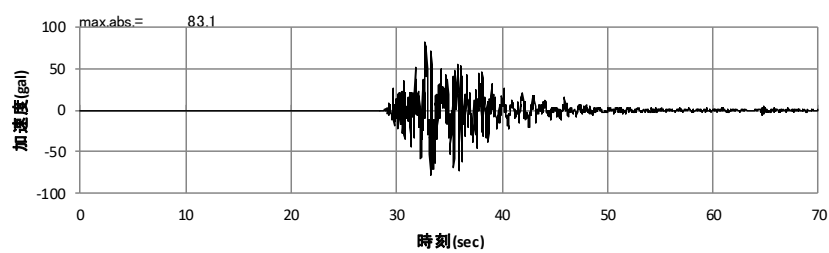


図 4-13 入力地震動加速度時刻歴（鉛直成分）

4.2.4 検討結果比較

伝達関数および加速度の比較を図 4-14~図 4-18 に示す。

各図より、結果は一致していることが確認できる。

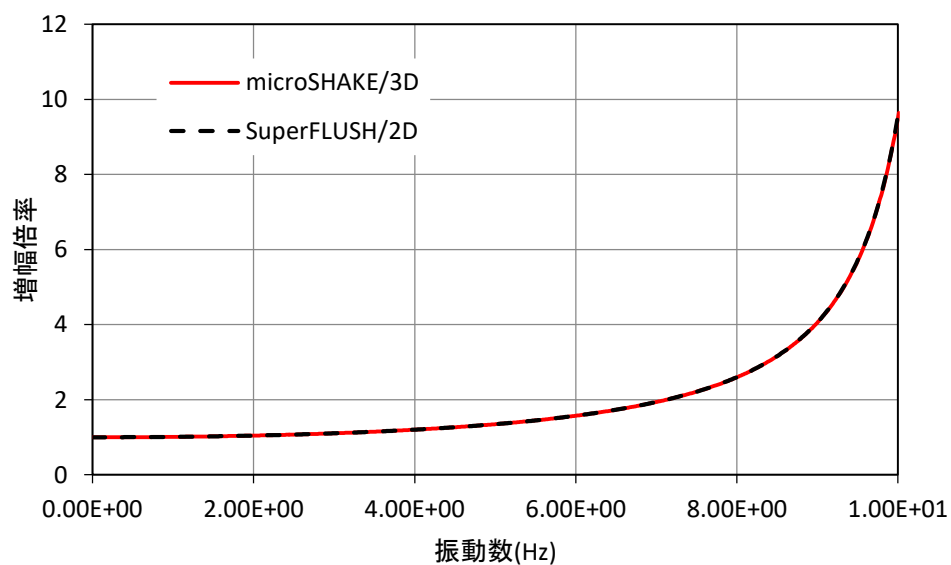


図 4-14 地表面伝達関数比較

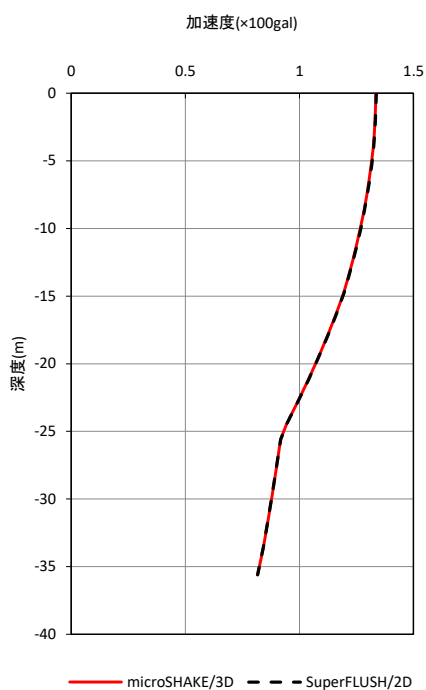


図 4-15 加速度最大分布比較

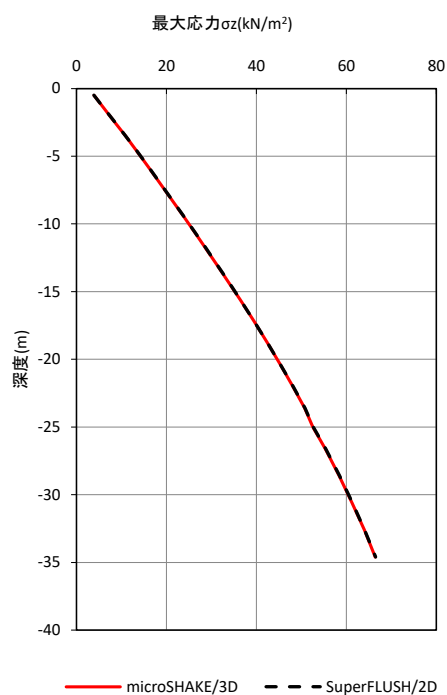


図 4-16 垂直応力最大分布比較

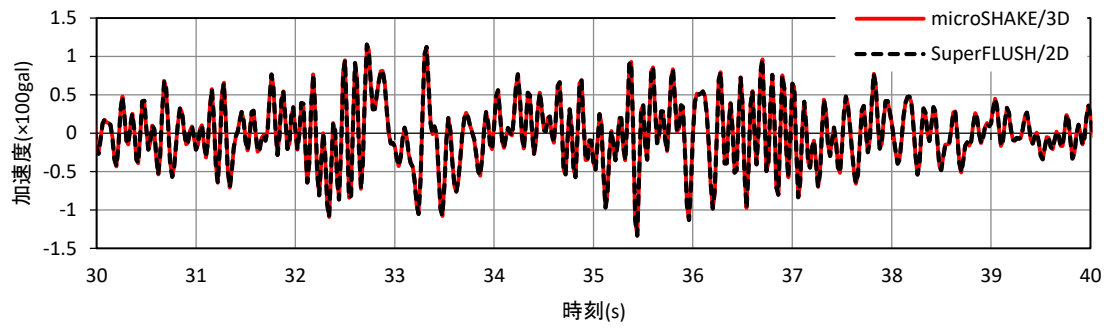


図 4-17 地表面加速度時刻歴比較

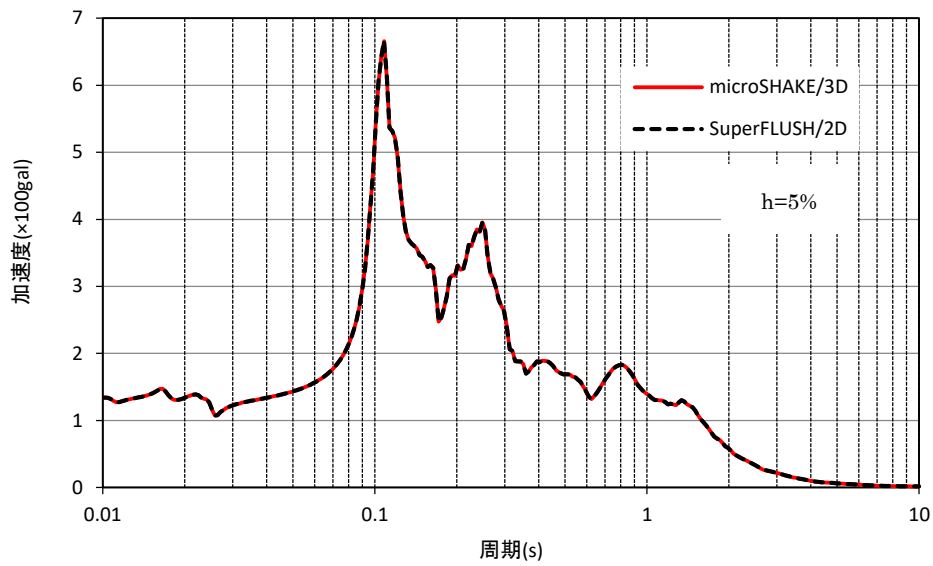


図 4-18 地表面加速度応答スペクトル比較

4.2.5 入力データ

検討に用いた解析のインプットデータを示す。

```

*-----
*                                     2016/04/06 15:27:07
*
*      Input Data
*                                     microSHAKE/3D for Windows
*-----
*----- START -----
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
4096                                     9.8    0
*----- OPTION 20 -----
OPT20
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1
*----- OPTION 1 -----
OPT 1
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
3500 4096    0.02    10
OKOBE_NS.wv
0.0025    0    1(7F10.2)
OKOBE_NS2.wv
0.00176777    0    1(7F10.2)
1KOBE_UD.wv
0.0025    0    1(7F10.2)
*----- OPTION 4 -----
OPT 4
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1    4    5.00    0.650    0
*----- OPTION 8 -----
OPT 8
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
6
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
1.0000 0.9570 0.8800 0.7740 0.6480 0.5180 0.3810 0.2490
0.1290 0.0530 0.0140
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
2.0000 2.5500 3.2000 4.0000 5.1000 6.5000 9.2000 12.5000
16.1000 18.4000 20.0000
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
1.0000 0.9700 0.9160 0.8420 0.7520 0.6500 0.5000 0.3260
0.1700 0.0690 0.0180
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
2.0000 2.5500 3.2000 4.0000 5.1000 6.5000 9.2000 12.5000
16.1000 18.4000 20.0000
11
1.0E-04 3.162E-04 1.0E-03 3.162E-03 1.0E-02 3.162E-02 1.0E-01 3.162E-01
1.0E+00 3.162E+00 1.0E+01
1.0000 0.9770 0.9340 0.8770 0.8070 0.7240 0.5690 0.3720
0.1930 0.0790 0.0210
11

```

1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
2. 0000	2. 5500	3. 2000	4. 0000	5. 1000	6. 5000	9. 2000	12. 5000
16. 1000	18. 4000	20. 0000					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
1. 0000	0. 9850	0. 9620	0. 9060	0. 7970	0. 6050	0. 3670	0. 1700
0. 0610	0. 0610	0. 0610					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
0. 0000	0. 4400	1. 1300	2. 8100	6. 0900	11. 8400	18. 9900	24. 8900
28. 1800	28. 1800	28. 1800					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
1. 0000	0. 9800	0. 9500	0. 9050	0. 8340	0. 7060	0. 4910	0. 2790
0. 0850	0. 0850	0. 0850					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
0. 7000	1. 1000	1. 6000	2. 3500	3. 7000	6. 5200	11. 9000	18. 6500
26. 4000	26. 4000	26. 4000					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
1. 0000	0. 9940	0. 9770	0. 9290	0. 8320	0. 6510	0. 4180	0. 2010
0. 0720	0. 0720	0. 0720					
11							
1. 0E-04	3. 162E-04	1. 0E-03	3. 162E-03	1. 0E-02	3. 162E-02	1. 0E-01	3. 162E-01
1. 0E+00	3. 162E+00	1. 0E+01					
0. 0000	0. 1800	0. 7000	2. 1400	5. 0300	10. 4600	17. 4600	23. 9600
27. 8300	27. 8300	27. 8300					
-----OPTION 2-----							
OPT 2							
-----1-----	*-----2-----*	*-----3-----*	*-----4-----*	*-----5-----*	*-----6-----*	*-----7-----*	*-----8-----*
26	サンプル地層構造					1. 96E+01	111
1	1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
2	1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
3	1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
4	-1	1. 0E+00	1. 7E+01	2. 1E+04	0	4. 98E-01	3. 0E-02
5	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
6	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
7	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
8	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
9	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
10	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
11	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
12	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
13	-2	1. 2E+00	1. 6E+01	2. 5E+04	0	4. 97E-01	2. 0E-02
14	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
15	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
16	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
17	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
18	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
19	-3	1. 6E+00	1. 6E+01	4. 3E+04	0	4. 94E-01	2. 0E-02
20	-4	1. 2E+00	1. 9E+01	1. 59E+05	0	4. 81E-01	2. 0E-02
21	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02
22	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02
23	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02
24	-5	2. 0E+00	1. 7E+01	1. 1E+05	0	4. 89E-01	2. 0E-02


```

*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
26 1
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
*----- OPTION 16 -----
OPT16
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
25 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
*----- OPTION 16 -----
OPT16
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
26 1
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
*----- OPTION 16 -----
OPT16
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
25 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
*----- OPTION 9 -----
OPT 9
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1 1
1 1 1 1 300 0.01 10
0.05
*----- OPTION 15 (ampl) -----
OPT15
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
26 1 1 1 1 0.012207
*----- END -----

```

5 層上端・下端の応力出力機能の検証

層上端・下端の応力の出力機能について、microSHAKE/3D 旧バージョン(v2.3.1)との比較を行った。

5.1 検証モデルおよび検討条件

図 5-1 に検討地盤モデルを示す。地盤構造は均質とする。

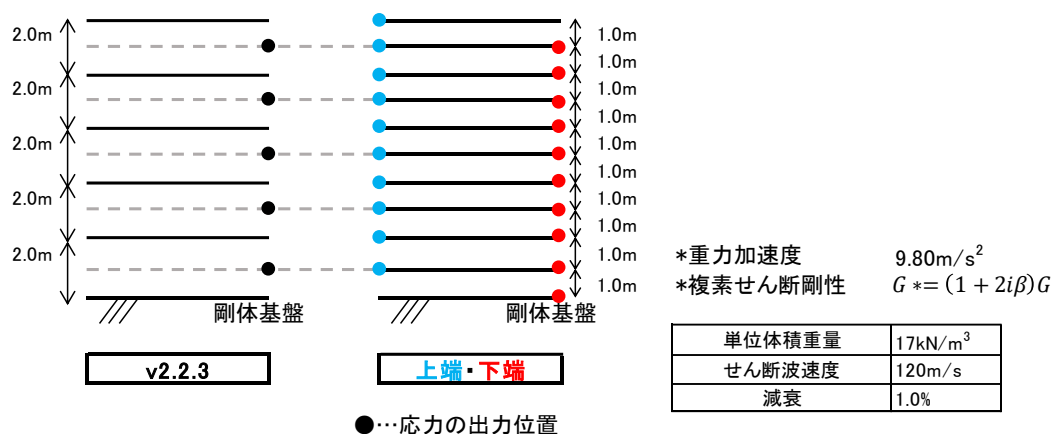


図 5-1 地盤モデル諸元

<検討条件>

- ・重力加速度は 9.80m/sec^2 とする。
- ・複素せん断剛性は $G^* = (1 + 2i\beta)G$ を用いる。
- ・検討する振動数は $0 \sim 20\text{Hz}$ までとする。

<入力地震動>

図 5-2 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

入力は 3 方向同時入力とする。

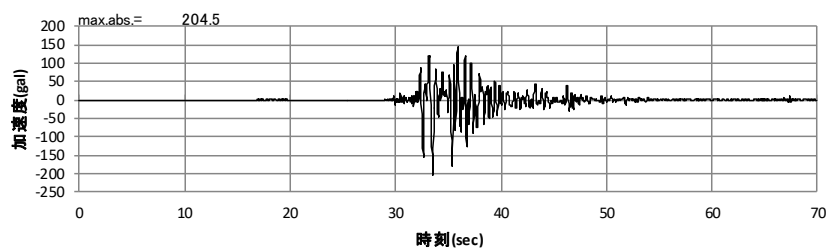


図 5-2 入力地震動加速度時刻歴

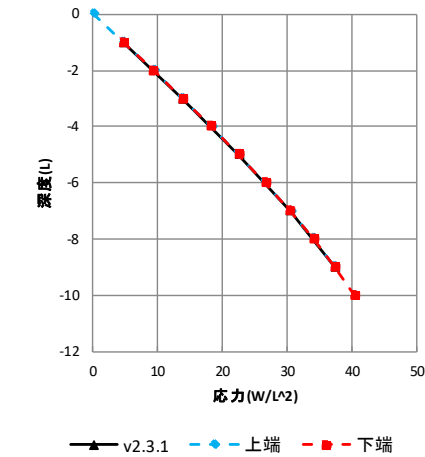
5.2 比較ケース

microSHAKE/3D 旧バージョン(v2.3.1)で出力した層中央部の応力と、新バージョン(v2.2.-)で層上端の応力を出力したケース、層下端の応力を出力したケースの 3 ケースについて最大値分布図を比較し、3 ケースで同じ深さとなる $Z = -1.0\text{m}$, -3.0m , -5.0m , -7.0m , -9.0m の 5 点については詳細な数値も比較する。

5.3 検討結果比較

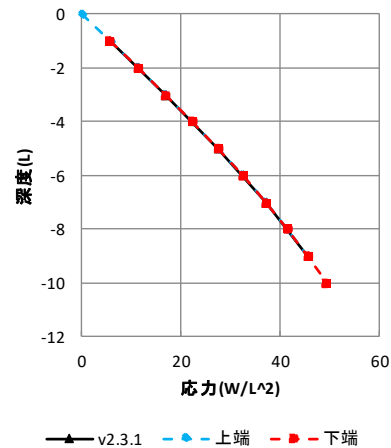
各応力の比較図を図 5-3～5-6 に示す。

各図より、結果は一致していることが分かる。



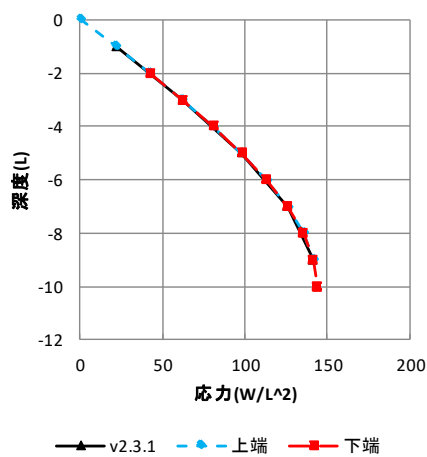
深度(L)	応力(W/L ²)		
	v2.3.1(中央)	上端	下端
-1	4.676594	4.676594	4.676594
-3	13.860420	13.860420	13.860420
-5	22.550220	22.550220	22.550220
-7	30.462220	30.462220	30.462220
-9	37.376620	37.376620	37.376620

図 5-3 X 方向応力(σ_x)



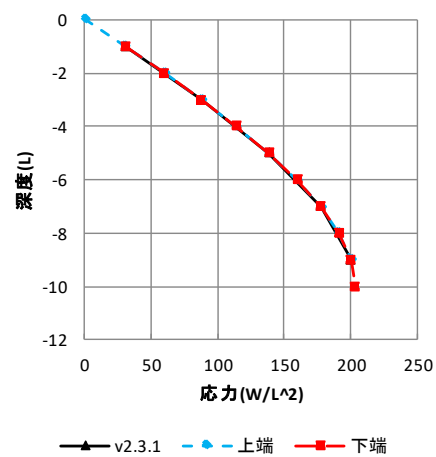
深度(L)	応力(W/L ²)		
	v2.3.1(中央)	上端	下端
-1	5.715806	5.715806	5.715806
-3	16.940420	16.940420	16.940420
-5	27.561230	27.561230	27.561230
-7	37.231390	37.231390	37.231390
-9	45.682280	45.682280	45.682280

図 5-4 Z 方向応力(σ_z)



深度(L)	応力(W/L ²)		
	v2.3.1(中央)	上端	下端
-1	21.470100	21.470100	21.470100
-3	62.078860	62.078860	62.078860
-5	97.984440	97.984440	97.984440
-7	125.751700	125.751700	125.751700
-9	141.423500	141.423500	141.423500

図 5-5 せん断応力(τ_{zx} 成分)



深度(L)	応力(W/L ²)		
	v2.3.1(中央)	上端	下端
-1	30.363410	30.363410	30.363410
-3	87.793060	87.793060	87.793060
-5	138.571800	138.571800	138.571800
-7	177.841000	177.841000	177.841000
-9	200.004800	200.004800	200.004800

図 5-6 最大せん断応力($\tau_{\max}$)

5.4 入力データ

検討に用いた層上端の応力を求める解析のインプットデータを示す。

```

*-----
*                                     2016/12/20 12:10:32
*
*      Input Data
*                                     microSHAKE/3D for Windows
*-----
*----- START -----
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
4096                                     9.8      1
*----- OPTION 20 -----
OPT20
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1
*----- OPTION 1 -----
OPT 1
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
3500 4096      0.02      20
1KOBE_NS.wv
0.0025      0      1(7F10.2)
1KOBE_NS.wv
0.0025      0      1(7F10.2)
1KOBE_NS.wv
0.0025      0      1(7F10.2)
*----- OPTION 2 -----
OPT 2
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
11
1  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
2  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
3  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
4  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
5  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
6  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
7  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
8  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
9  0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
10 0  1.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
11 0  0.0E+00  1.7E+01  0.0E+00      120  3.98E+02  1.0E-02
*----- OPTION 3 -----
OPT 3
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
11  1
*----- OPTION 4 -----
OPT 4
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1  1      5      0.65  0  1
*----- OPTION 16 -----
OPT16
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
11  2
1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
*----- END -----

```

6 まとめ

microSHAKE/3D と厳密解や他のプログラムとの結果比較を行った。得られた結果は一致しており、microSHAKE/3D の解の妥当性が確認された。