

鹿島 情報システム部 正会員 藤村 和也
 鹿島 情報システム部 正会員 沖見 芳秀

1. はじめに 兵庫県南部地震以降、2次元液状化解析による耐震検討が行われるようになってきている。しかし、構造物の3次元形状や地震動の多方向性を考慮するためには3次元解析が必要である。本報告では、3次元のマルチスプリングモデル^{1),2)}を用いて成層地盤の地震応答解析を行い、2次元解析との比較、1方向入力と2方向入力の比較によってモデルの妥当性を検討した。

2. 解析手法 解析は、複合非線形解析プログラム SLAP³⁾に、土の構成則として3次元のマルチスプリングモデルを組み込んで行った。この構成則は、有効応力解析プログラム FLIP で用いられているモデルを3次元に拡張したものであり、2次元モデルで用いられているの平面ひずみメカニズム(図-1参照)を、図-2に示すように3次元空間の任意の方向に配置し、土全体のせん断挙動を表現するものである^{1),2)}。このモデルにおいては、重ね合わせる平面ひずみメカニズムの数 M と、メカニズムを構成するスプリングの数 N がパラメータとなるが、これについては別途検討²⁾し、M=13、N=6を用いた。なお、液状化を考慮するための間隙水圧モデルは FLIP と同様、井合モデル¹⁾を用いている。このモデルを用い、Dr=47%の緩詰砂を対象として要素試験をシミュレートして得られた液状化強度曲線を図-3に示す。この図によると、1方向載荷については2次元モデルと一致する結果が得られていることがわかる。また、2方向載荷については1方向載荷よりも液状化強度が低下しており、既往の研究⁴⁾と同様3次元的な効果が表現される結果となっている。

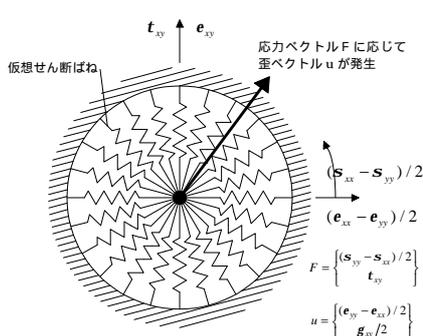


図-1 平面ひずみメカニズム

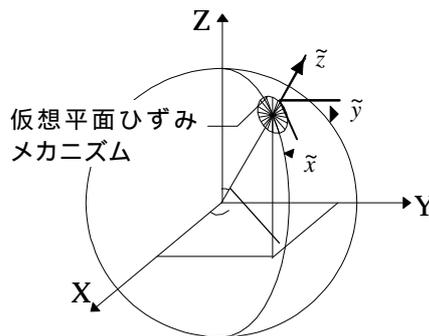


図-2 3次元モデルの概念

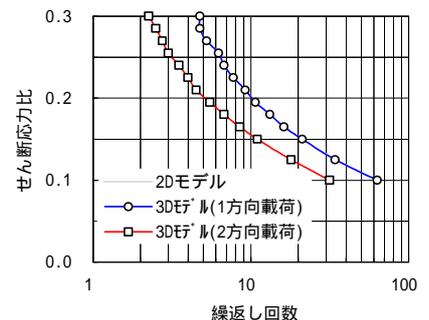


図-3 液状化強度曲線

3. 成層地盤の地震応答解析 上述のプログラムを用いて、ポートアイランドの地盤を対象として液状化解析を行った。解析モデルは1m×1mの柱状のモデルとし、GL-83mまでの地盤を42要素でモデル化し、地盤物性については既往の調査結果⁵⁾をもとに設定した。設定した地盤物性を表-1に示す。この地盤モデルでは、GL-2.5mからGL-19mまでの埋土層と、GL-27mからGL-33mまでの沖積砂礫層が液状化層となっている。この2層に設定した液状化強度曲線をを図-5に示す。境界条件は、側方は周期境界、底部は固定境界とし、GL-83mの観測記録を入射した。解析はNS成分、EW成分の1方向入射、NS+EWの2方向同時入射を行い、加速度、変位、過剰間隙水圧比を比較検討した。なお今回の検討は、3次元モデルの基本的な性質を把握するのが目的であるため、観測記録との比較は行わず、2次元モデルとの比較、1方向入射と2方向入射の比較のみ行った。

表-1 地盤モデル

深度	区分	N値	t (kN/m ³)	Vs (m/s)	(度)	C (kPa)
GL-2.5m						
	FG	5~7	17.7	140	36	0
GL-19m						
GL-27m	Ac	4	16.7	180	0	177
GL-33m	Aq	14	18.3	245	40	0
		37		305		
GL-50m	Da		18.3		40	0
GL-61m		52		350		
GL-79m	Dc	12	15.9	303	0	333
GL-83m	Dg	68	18.6	320	40	0

キーワード 3次元 液状化解析 多方向入射

図-5,6 に地表面の加速度、変位を示す。これらの図を見ると、1 方向加震については解析次元による差異は小さく、3 次元モデルによる解析で 2 次元解析と整合する結果が得られることがわかる。また、1 方向加震と 2 方向加震を比較すると、NS 方向成分についてはほぼ一致しているが、EW 方向成分では差異が大きく、2 方向加震のほうが液状化による長周期化の傾向が顕著に現れる結果となっている。この原因を検討するため図-7 に 3 次元解析における GL-4m 位置(埋土層)の要素と、GL-32m 位置(砂礫層)の要素の過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。

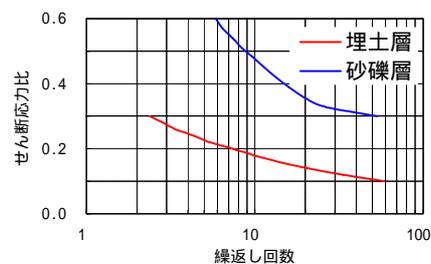


図-4 設定した液状化強度

この図によると、埋土層では NS 加震と NS+EW 加震の差異は小さいが、EW 加震では間隙水圧の上昇が若干遅れること、砂礫層では EW 加震による間隙水圧が最も小さく、NS 加震、NS+EW 加震と大きくなっていることが分かる。これらのことから、液状化を進行させるのが主として NS で成分であり、EW 方向のみの加震の場合は過剰間隙水圧があ

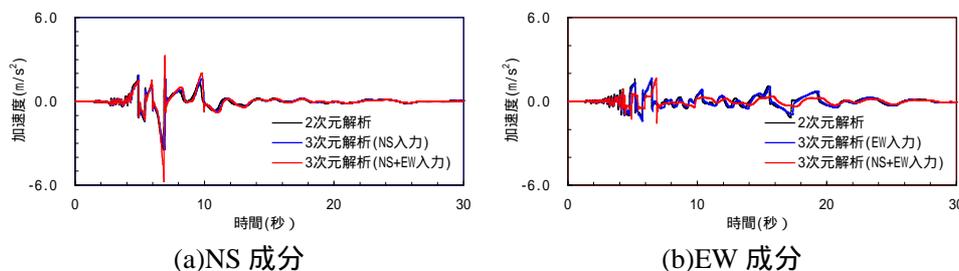


図-5 地表面加速度応答

まり上昇せず応答も長周期化しないが、NS+EW の 2 方向加震の場合は NS 方向の加震によって過剰間隙水圧が上昇し、NS 方向の応答だけでなく、EW 方向の応答も長周期化すると考えられる。上記の傾向は既往の研究⁶⁾でも示されており、液状化解析を行う場合は卓越方向を考慮するか、2 方向加震を行うことが望ましい。なお砂礫層では NS 加震と NS+EW 加震の差異も顕著に表れるが、これは埋土層では NS 加震のみで液状化に達するが、砂礫層では NS 加震のみでは間隙水圧の上昇が小さく、EW 加震による影響も加味されるためであると考えられる。

4. おわりに 3次元のマルチスプリングモデルを用いて、ポートアイランドの地盤を対象として液状化解析を行った。その結果、(1)3次元のマルチスプリングモデルによる解析で、2次元モデルによる解析と同等の結果が得られること、(2)液状化による応答の長周期化を考慮するためには、卓越方向を考慮した1方向加震か、2方向加震による解析が望ましいことが分かった。今回の検討によって解析プログラムの基礎的な検証がなされたと考えられるので、今後は地盤 - 構造物系の解析を行い、地盤の3次元的な広がりの影響について検討する予定である。

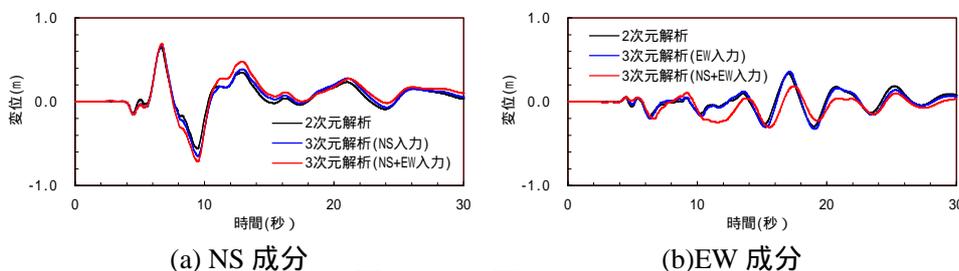
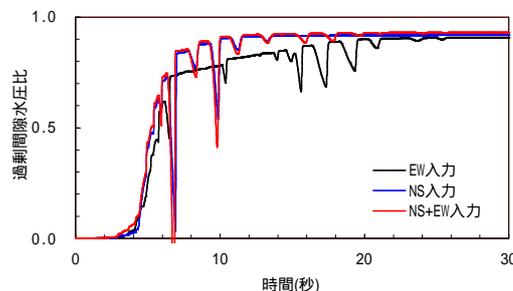
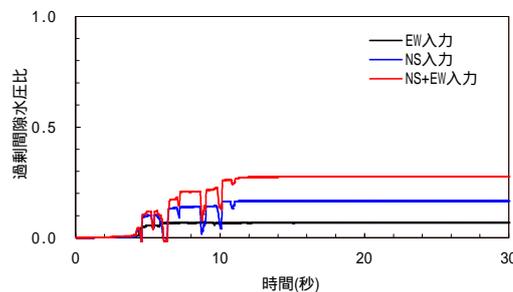


図-6 地表面変位応答



(a)GL-4m(埋土層)



(b)GL-32m(砂礫層)

図-7 過剰間隙水圧比

参考文献 1)Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: "Strain space plasticity model for cyclic mobility," S&F, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992 2)藤村和也, 沖見芳秀: "液状化解析に用いる3次元マルチスプリングモデルの挙動," 第35回地盤工学研究発表会(投稿中) 3)沖見芳秀: "複合非線形フルム解析システムの開発," 技術最前線, 土木学会誌, 1995.1 4)Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.: "Liquefaction of sand due to multidirectional cyclic shear," S&F, Vol.22, No.3, pp.126-130, 1982 5)宮本祐司ほか: "1995年兵庫県南部地震の観測記録を用いた液状化地盤における杭基礎構造物の応答に関する解析的検討," 日本建築学会論文報告集, 第493号, pp.23-30, 1997 6)福武毅芳: "三次元解析によるポートアイランドの液状化と杭基礎挙動の検討," 第31回地盤工学研究発表会, pp.1291-1292, 1996