

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 次元的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。

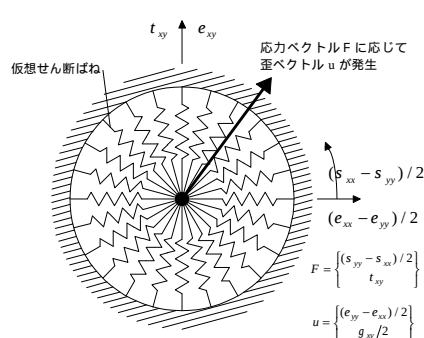


図-1 平面ひずみメカニズム

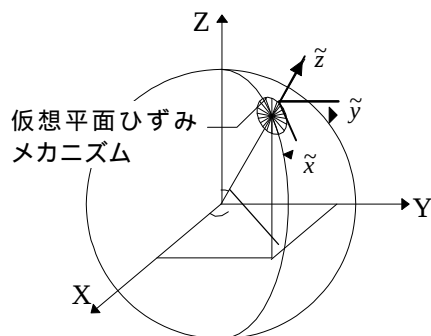


図-2 3次元モデルの概念

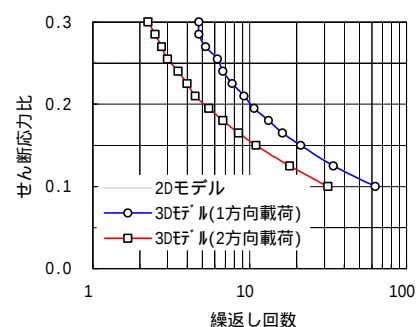


図-3 液状化強度曲線

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 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 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	γ_t (kN/m^3)	V_s (m/s)	ϕ (度)	C (kPa)
GL-2.5m						
GL-19m	FG	5~7	17.7	140	36	0
GL-27m	Ac	4	16.7	180	0	177
GL-33m	Aq	14	18.3	245	40	0
GL-50m	Da	37	18.3	305	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

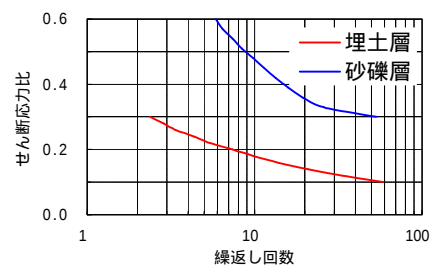


図-4 設定した液状化強度

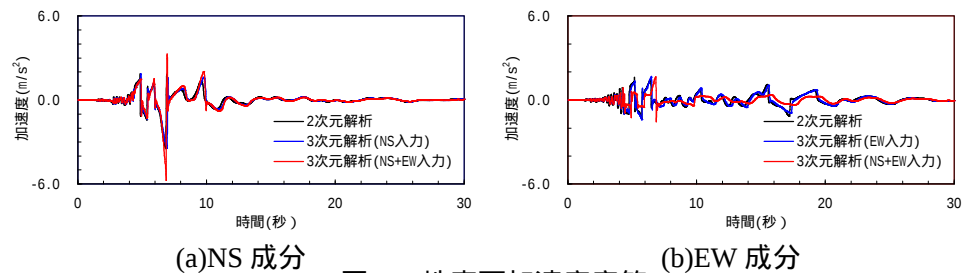


図-5 地表面加速度応答

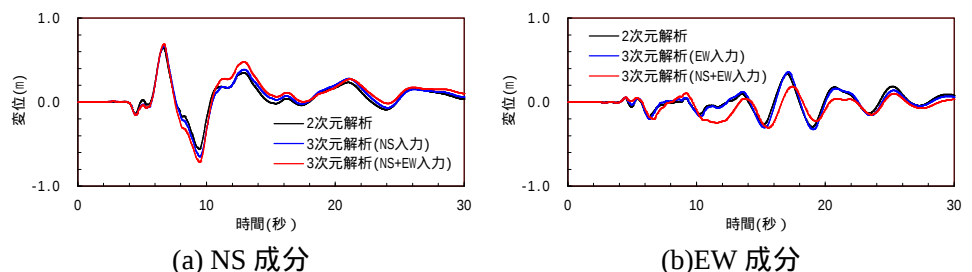


図-6 地表面変位応答

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。

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: "複合非線形弾塑性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

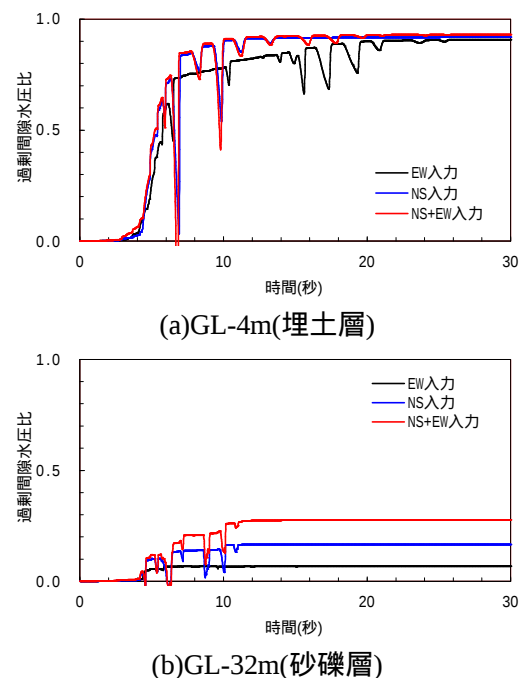


図-7 過剰間隙水圧比