

技術資料 Vol.16

3次元動的有効応力解析
(FLIP3D)



株式会社クリアテック

東京都千代田区西神田 2丁目 5-8 共和 15 番館 6 階

TEL:03-6268-9108 / FAX:03-6268-9109

<http://www.createec-jp.com/>

3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)	
解析種別	3次元動的有効応力解析(FLIP3D)
キーワード	有効応力解析、液状化、FLIP3D
解析の目的	3次元動的有効応力解析における砂層の液状化による影響を検討する。
解析の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤モデルは、マルチスプリングモデルを用いる。 ・地盤モデルのパラメータは、要素シミュレーションにより決定する。 ・過剰間隙水圧比コンター図等の結果を出力する。
検討の流れ	<pre> graph TD A[解析条件の設定] --> B[解析モデルの作成] B --> C[解析パラメータの設定] C --> D[要素シミュレーション] D --> E[自重解析の実施] E --> F[固有値解析の実施] F --> G[動的解析の実施] G --> H[結果の出力] H --> I[終了] </pre>
関連資料	<ul style="list-style-type: none"> ・道路橋示方書 V耐震設計編 日本道路協会 平成 24 年 3 月 ・FLIP 研究会 14 年間の検討成果 理論編・事例編 一般法人 FLIP コンソーシアム
担当者の所見	<ul style="list-style-type: none"> ・3次元要素の形状は6面体のみ使用することができ、4面体および5面体は使用できないため、メッシュの作成には注意が必要である。 ・レーリー減衰パラメータ β の値は、自由地盤部の固有周期と減衰定数に基づく方法で設定されることが多いが、本解析ではFLIP3Dに追加された固有値解析機能を用いて、β の値を固有値解析の一次モードの結果から定めた。 ・FLIP3D1.1版では要素数が1000を超える場合に不都合が生じていたが、改良されてある程度の要素数まで取り扱うことができるようになった。

3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)

解析条件

- 解析条件の概要を表-1 に示す.

表-1 解析条件の概要

解析条件	概要
解析方法	有限要素法による三次元動的有効応力解析
解析プログラム	FLIP3D ver.1.6.4 (FLIPコンソーシアム)
	FLIPSIM ver.5.0.0 (FLIPコンソーシアム)
積分法	Wilson θ 法
積分時間間隔	0.01秒
解析モデル	マルチスプリング要素
減衰の取扱い	レーリー減衰

解析モデル図

- 本解析モデルは、基盤面の傾斜を考慮した3次元地盤モデルであり、図-1 に示すように6面体要素を用いてモデル化した。本解析モデルの規模は、2046 節点、3250 要素である。
- 動的解析時の境界条件として、底面および側面に粘性境界を設定した。

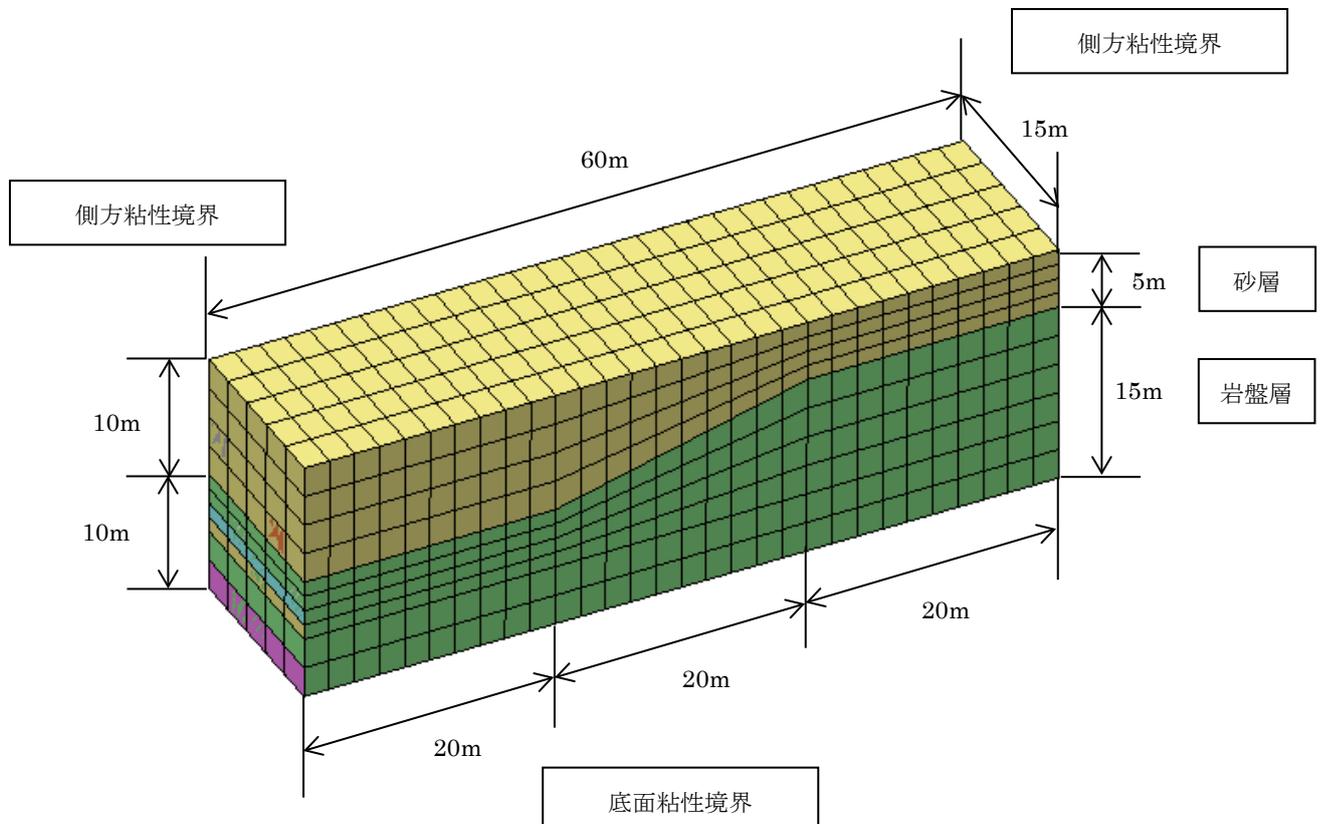


図-1 解析モデル図

3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)

解析パラメータ

・本検討で用いたマルチスプリング要素のパラメータを表-2に、液状化特性を表-3に示す。

表-2 マルチスプリングパラメータ

No	名称	質量密度 ρ (g/cm^3)	間隙率 n	ポアソン 比 ν	動的変形特性						
					せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m^2)	体積弾性 係数 K_{ma} (kN/m^2)	基準化 拘束圧 σ_{ma}' (kN/m^2)	せん断弾性 係数の有効 応力依存性 m_G	体積弾性係 数の有効応 力依存性 m_K	内部 摩擦角 ϕ' ($^\circ$)	履歴減衰 上限値 h_{max}
1	砂層	1.900	0.450	0.33	42750	111485	98	0.5	0.5	30.0	0.200
2	岩盤層	2.000	0.450	0.33	180000	469412	98	0.5	0.5	40.0	0.240

表-3 液状化特性

No	液状化特性					
	変相角 ϕ_p ($^\circ$)	s_1	W_1	P_1	P_2	C_1
1	28.0	0.005	15.0	0.50	1.00	3.00
2	—	—	—	—	—	—

要素シミュレーション

・図-2に要素シミュレーションの結果を示す。

要素シミュレーション(プログラム:FLIPSIM ver5.0.0)

$\rho=1.90g/cm^3$, $n=0.450$, $\nu=0.33$, $h_{max}=0.200$, $\phi_f=30.0^\circ$

$G_{ma}=42750kN/m^2$, $K_{ma}=111485kN/m^2$, $\sigma_{ma}'=98kN/m^2$, $m_G=0.5$, $m_K=0.5$

$\phi_p=28.0^\circ$, $S_1=0.005$, $W_1=15.0$, $P_1=0.5$, $P_2=1.00$, $C_1=3.0$

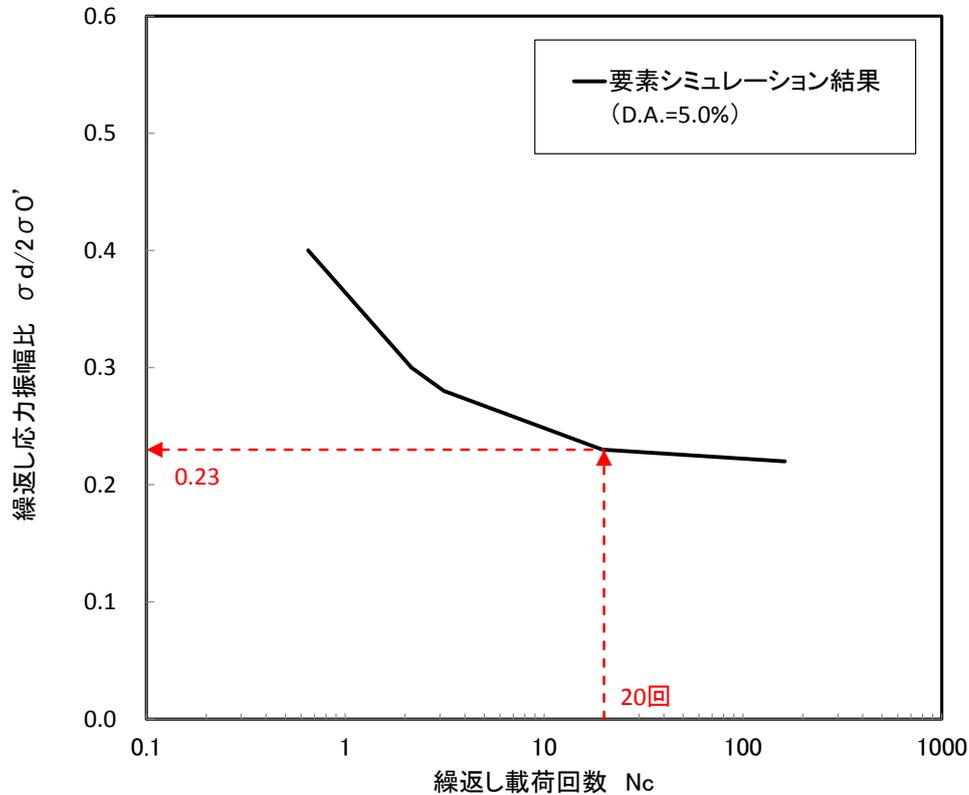


図-2 要素シミュレーション結果

3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)

入力地震波

- ・入力地震波として、図-3 に示す 1995 兵庫県南部地震の際に観測された波形を用いた。

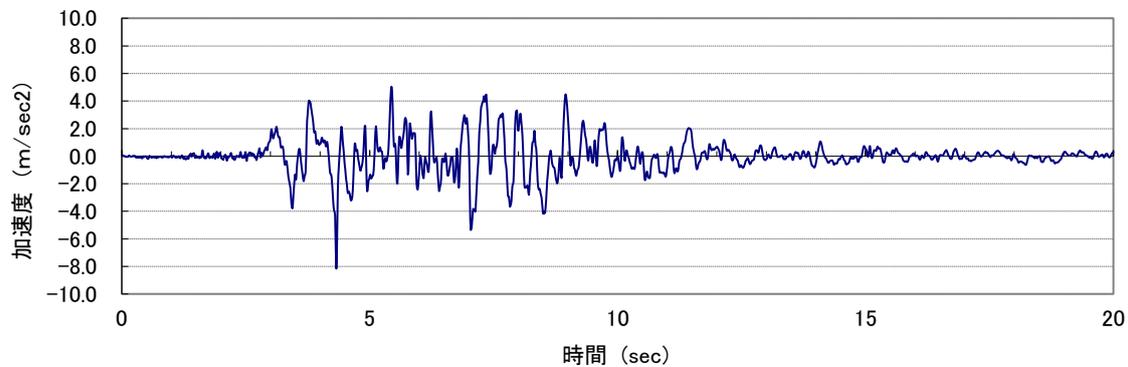


図-3 入力地震波

固有値解析

- ・固有値解析の結果を表-4 に示す。

表-4 固有値解析結果

モード 次 数	固有値解析 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数 T_x
1	2.3367E+00	4.2795E-01	1.1490E+02
2	2.9853E+00	3.3497E-01	8.1468E+01
3	3.3895E+00	2.9503E-01	2.4250E-11
4	3.6592E+00	2.7328E-01	-1.6919E+01
5	4.1240E+00	2.4248E-01	-1.6310E-11
6	4.1661E+00	2.4003E-01	-8.2012E-12
7	4.4243E+00	2.2602E-01	-3.0495E+00
8	4.5405E+00	2.2024E-01	-3.5258E-10
9	4.8685E+00	2.0540E-01	3.9991E-08
10	4.9209E+00	2.0321E-01	-3.7734E+01

レーリー減衰パラメータ

- ・解析プログラム FLIP においては、レーリー減衰のパラメータ α はゼロとするのが慣例であるので、本解析もこれに習う。
- ・レーリー減衰のパラメータ β は、本検討では固有値解析の一次固有周期 T_0 の結果を用いて、減衰比 $h=0.01$ として、 $\beta = hT_0/\pi$ 、 $\beta = 0.001$ と設定した。

3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)

時刻歴図

・ 図-4 の出力節点位置における水平方向加速度時刻歴図と水平方向変位時刻歴図を図-5 および図-6 に示す。

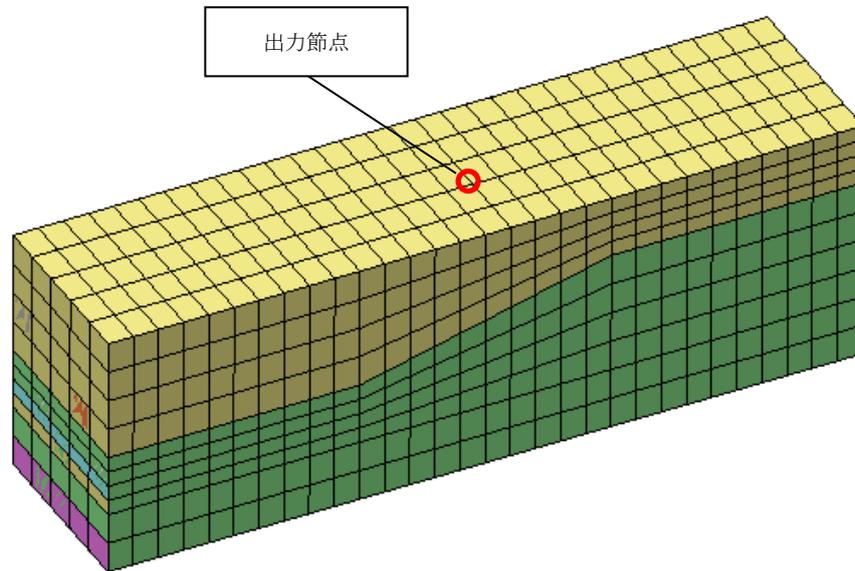


図-4 出力節点位置図

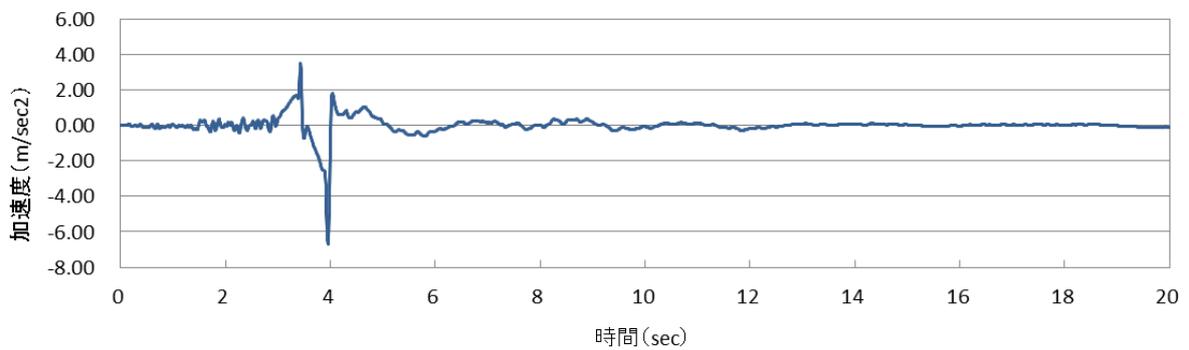


図-5 水平方向加速度時刻歴図

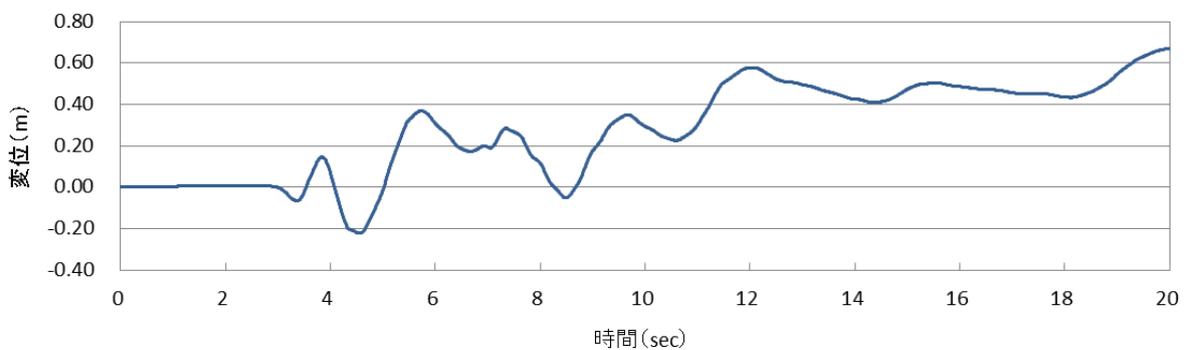


図-6 水平方向変位時刻歴図

3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)

過剰間隙水圧比

- ・ 図-7 の出力要素位置における過剰間隙水圧比時刻歴図と過剰間隙水圧比コンター図を図-8 および図-9 に示す。

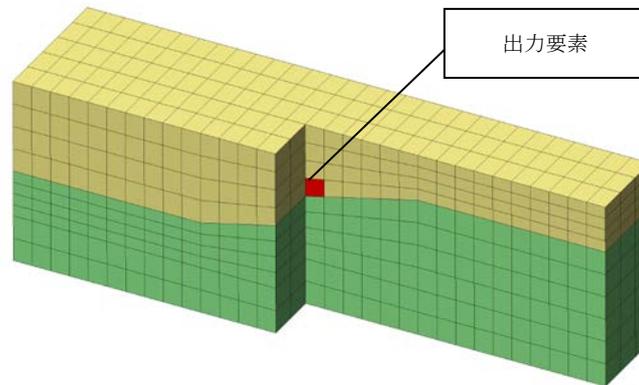


図-7 出力要素位置図

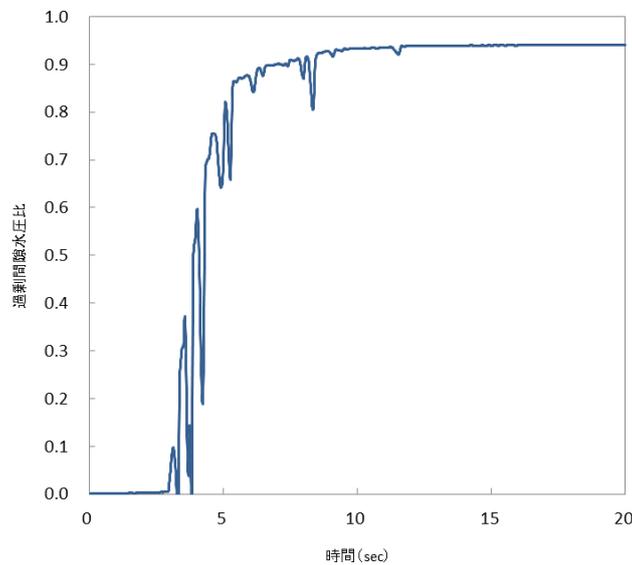


図-8 過剰間隙水圧比時刻歴図

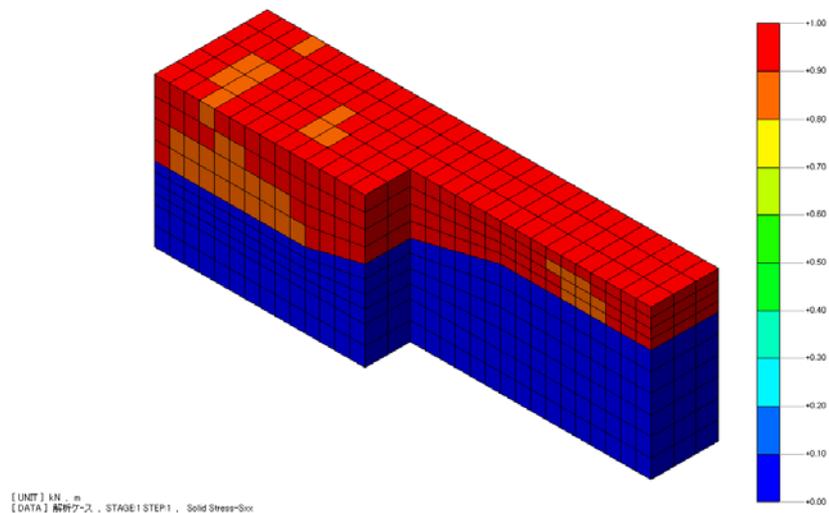


図-9 過剰間隙水圧比コンター図