

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0017_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-10 計算機プログラム（解析コード）の概要

- suberi_Type6789_SAC2D-HD1

2021年2月

東北電力株式会社

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析手法.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	6
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証 (Verification)	7
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	10
3.5.3 評価結果.....	10

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）suberi_Type6789_SAC2D-HD1
について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	ver.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	suberi_Type6789_SAC2D-HD1
使用目的	2次元有限要素法によるすべり計算
開発機関	株式会社ユニック
開発時期	2013年
使用したバージョン	ver. 0
コードの概要	<p>suberi_Type6789_SAC2D-HD1 (以下「本解析コード」という。)は、すべり安全率算定を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>① 2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。</p> <p>② 要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・すべり線が通過する要素ごとの滑動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードで行うすべり安全率算定は、原子力発電所の設置許可申請における地盤安定性検討で一般に使用される計算方法であり、妥当性は十分に確認されている。 ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画に本解析コードを適用することは妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード`suberi_Type6789_SAC2D-HD1`の概要である。
本解析コードは、株式会社ユニックによって開発されたすべり安全率算定を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①、②を挙げることができる。

①2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。

②要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。

3.3 解析手法

静的解析から得られる常時応力と動的解析から得られる地震時増分応力を足し合わせて、時刻歴のすべり安全率（想定すべり線に沿った要素を対象とした各時刻におけるせん断力とせん断抵抗力の比）を式(1)のように計算する。

$$\text{すべり安全率 } F_s = \frac{\text{すべり線が通る要素の抵抗力の総和の瞬間値}}{\text{すべり線が通る要素の滑動力の総和の瞬間値}} = \frac{\sum R_i \cdot L_i}{\sum \tau_i \cdot L_i} \quad (1)$$

なお、すべり安全率を算定する際、破壊要素の抵抗強度に関しては、各時間断面の破壊形態により以下に示した強度低下を考慮する。

(1) せん断破壊

せん断破壊した要素の強度定数には、残留強度を用いる。

(2) 引張破壊あるいは複合破壊

引張応力の発生により引張破壊あるいは複合破壊した要素の強度定数は、その要素を通るすべり面の直応力 σ_n により以下に示した強度定数を用いる。

- ・直応力 σ_n が圧縮の場合、強度定数に残留強度を用いる。
- ・直応力 σ_n が引張の場合、強度定数を 0 とする。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示し、破壊判定のフローチャートを図 3-2 に示す。

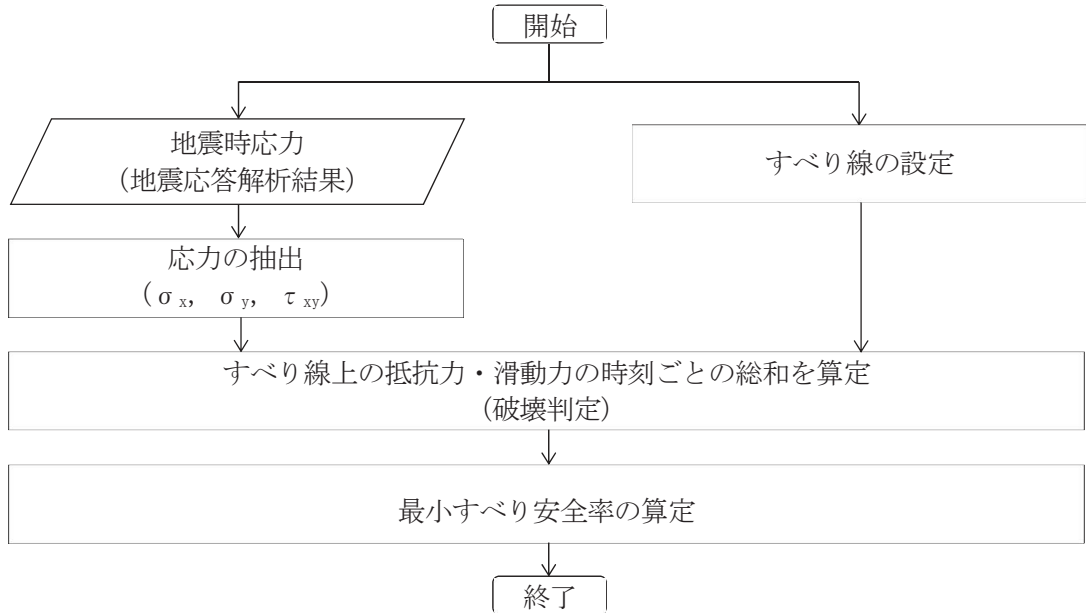


図3-1 解析フローチャート

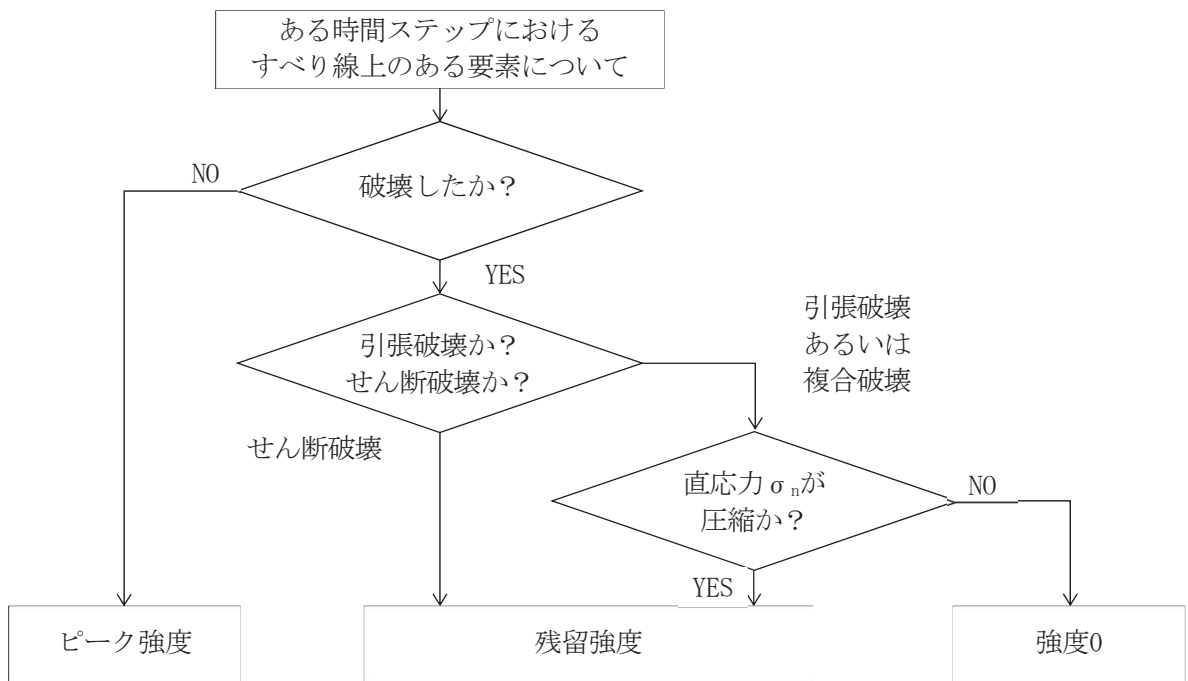


図3-2 破壊判定フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いることについて、動作確認 (動作検証) として理論解との比較を、また妥当性確認を実施した。詳細な内容については下記のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

すべり線が通過する要素の滑動力や抵抗力を解析結果と理論解で比較を行った。

(1) 解析条件

解析モデル及び検証用すべり線を図 3-3 に、強度定数を表 3-1 に示す。

ELMENT NO.
 64 65 66 67 83 84 85 86 102 103
 104 105 361 362 363 364 365 366 367 368
 369 370

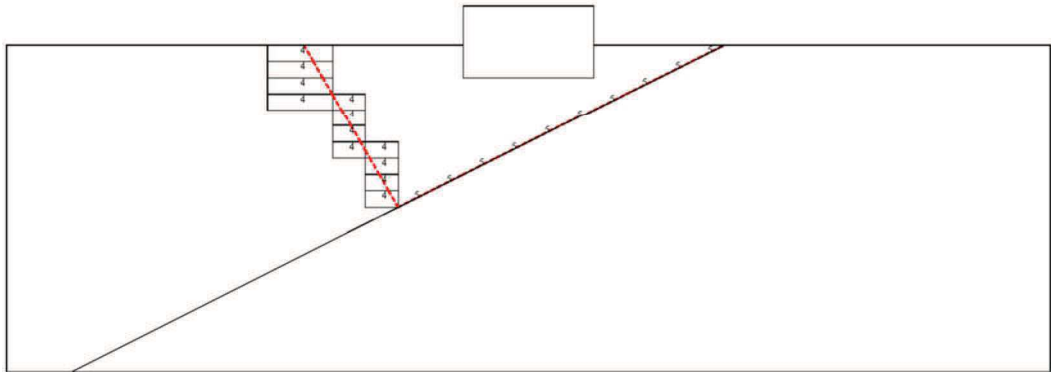


図3-3 解析モデル及び検証用すべり線

表3-1 強度定数

	ピーク強度 (MN/m ²)	残留強度 (MN/m ²)
要素種類 4	$\tau_p=1.0$	$\tau_r=0.5$
要素種類 5	$\tau_p=0.75$	$\tau_r=0.0$

(2) 検証結果

すべり線が通過する要素の滑動力及び抵抗力を解析解と理論解で比較を行った。本解析コードによる解析解一覧を表 3-2 に、理論解一覧を表 3-3 示す。

すべり安全率及び作用力、抵抗力の理論解と、解析解が一致することを確認できる。

表 3-2 本解析コードによる解析解一覧

抽出 ステップ	要素 番号	すべり安全率算定プログラム											すべり線上の 強度 τR (MN/m ²)	抵抗力 (MN/m)	作用力 (MN/m)
		要素 種類	破壊*1) タイプ	すべり線 長さ(m)	すべり線 角度(°)	水平応力 σ_x (MN/m ²)	鉛直応力 σ_y (MN/m ²)	せん断応力 τ_{xy} (MN/m ²)	せん断応力 τ_s (MN/m ²)	垂直応力 σ_n (MN/m ²)					
1	64	4	2	2.887	300.000	0.002	-0.024	-0.005	0.014	-0.009	0.5	1.444	0.040		
2	65	4	0	2.887	300.000	-0.043	-0.073	-0.017	0.021	-0.065	1.0	2.887	0.061		
3	66	4	0	2.887	300.000	-0.089	-0.122	-0.029	0.029	-0.123	1.0	2.887	0.084		
4	67	4	0	0.208	300.001	-0.134	-0.171	-0.042	0.037	-0.179	1.0	0.208	0.008		
5	83	4	0	2.679	300.000	-0.134	-0.174	-0.045	0.040	-0.182	1.0	2.679	0.107		
6	84	4	0	2.887	300.000	-0.178	-0.224	-0.058	0.049	-0.24	1.0	2.887	0.141		
7	85	4	0	2.887	300.000	-0.222	-0.275	-0.071	0.058	-0.297	1.0	2.887	0.169		
8	86	4	0	1.547	300.000	-0.265	-0.326	-0.083	0.068	-0.353	1.0	1.547	0.105		
9	102	4	0	1.340	300.000	-0.265	-0.333	-0.088	0.073	-0.359	1.0	1.340	0.098		
10	103	4	0	2.887	300.000	-0.307	-0.385	-0.099	0.083	-0.413	1.0	2.887	0.240		
11	104	4	0	2.887	300.000	-0.347	-0.434	-0.110	0.092	-0.464	1.0	2.887	0.266		
12	105	4	0	2.887	300.000	-0.394	-0.487	-0.117	0.099	-0.519	1.0	2.887	0.285		
13	361	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.115	-0.376	0.75	4.193	-0.643		
14	362	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.116	-0.342	0.75	4.193	-0.649		
15	363	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.112	-0.312	0.75	4.193	-0.628		
16	364	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.103	-0.28	0.75	4.193	-0.573		
17	365	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.090	-0.243	0.75	4.193	-0.503		
18	366	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.078	-0.206	0.75	4.193	-0.435		
19	367	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.060	-0.148	0.75	4.193	-0.336		
20	368	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.044	-0.086	0.75	4.193	-0.247		
21	369	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.033	-0.047	0.75	4.193	-0.182		
22	370	5	0	5.600	26.565	-	-	-	-0.011	-0.013	0.75	4.200	-0.060		
合計													69.359	-2.653	
すべり安全率													26.146		

*1)破壊タイプ=0：破壊無し，=2：引張破壊

表 3-3 理論解一覧

抽出 ステップ	要素 番号	確認計算											
		要素 種類	破壊 ^{*1)} タイプ	すべり線 長さ(m)	すべり線 角度(°)	水平応力 $\sigma_x(\text{MN}/\text{m}^2)$	鉛直応力 $\sigma_y(\text{MN}/\text{m}^2)$	せん断応力 $\tau_{xy}(\text{MN}/\text{m}^2)$	せん断応力 $\tau_s(\text{MN}/\text{m}^2)$	垂直応力 $\sigma_n(\text{MN}/\text{m}^2)$	すべり線上 の強度 τ_R (MN/m^2)	抵抗力 (MN/m)	作用力 (MN/m)
1	64	4	2	2.887	300.000	0.002	-0.024	-0.005	0.014	-0.009	0.5	1.444	0.040
2	65	4	0	2.887	300.000	-0.043	-0.073	-0.017	0.021	-0.065	1.0	2.887	0.061
3	66	4	0	2.887	300.000	-0.089	-0.122	-0.029	0.029	-0.123	1.0	2.887	0.084
4	67	4	0	0.208	300.001	-0.134	-0.171	-0.042	0.037	-0.179	1.0	0.208	0.008
5	83	4	0	2.679	300.000	-0.134	-0.174	-0.045	0.040	-0.182	1.0	2.679	0.107
6	84	4	0	2.887	300.000	-0.178	-0.224	-0.058	0.049	-0.240	1.0	2.887	0.141
7	85	4	0	2.887	300.000	-0.222	-0.275	-0.071	0.058	-0.297	1.0	2.887	0.169
8	86	4	0	1.547	300.000	-0.265	-0.326	-0.083	0.068	-0.353	1.0	1.547	0.105
9	102	4	0	1.340	300.000	-0.265	-0.333	-0.088	0.073	-0.359	1.0	1.340	0.098
10	103	4	0	2.887	300.000	-0.307	-0.385	-0.099	0.083	-0.413	1.0	2.887	0.240
11	104	4	0	2.887	300.000	-0.347	-0.434	-0.110	0.092	-0.464	1.0	2.887	0.266
12	105	4	0	2.887	300.000	-0.394	-0.487	-0.117	0.099	-0.519	1.0	2.887	0.285
13	361	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.115	-0.376	0.75	4.193	-0.643
14	362	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.116	-0.342	0.75	4.193	-0.649
15	363	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.112	-0.312	0.75	4.193	-0.628
16	364	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.103	-0.280	0.75	4.193	-0.573
17	365	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.090	-0.243	0.75	4.193	-0.503
18	366	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.078	-0.206	0.75	4.193	-0.435
19	367	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.060	-0.148	0.75	4.193	-0.336
20	368	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.044	-0.086	0.75	4.193	-0.247
21	369	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.033	-0.047	0.75	4.193	-0.182
22	370	5	0	5.600	26.565	-	-	-	-0.011	-0.013	0.75	4.200	-0.060
合計												69.359	-2.653
すべり安全率												26.146	

*1) 破壊タイプ=0 : 破壊無し, =2 : 引張破壊

すべり線上のせん断応力 : $\tau_s = (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy}(\sin^2 \theta - \cos^2 \theta)$

すべり線上の垂直応力 : $\sigma_n = \sigma_y \cos^2 \theta - \sigma_x \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta$

すべり線上の強度 : $\tau_R = \tau_p + \sigma_n \tan \varphi$

すべり線上の抵抗力 : すべり線上の強度(τ_R) × すべり線長さ

すべり線上の作用力 : すべり線上のせん断応力(τ_s) × すべり長さ

すべり安全率 : $F_s = \Sigma \text{抵抗力} / \Sigma \text{作用力}$

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

すべり安全率の算定に本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本解析に適用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証及び妥当性確認として理論解との比較を実施し、解析解が理論解と一致することを確認した。したがって、本解析コードを本解析に用いることは妥当である。