

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 5-061
提出年月日	2023年2月9日

VI-5-61 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ C P O S T S K

2023年2月

中国電力株式会社

## 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	4
3.4 解析フローチャート	5
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証	7
3.5.2 妥当性確認	10

## 1. はじめに

本資料は、添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）CPOSTSK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-1-9-3-1	斜面安定性に関する説明書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-3-1	防波壁（波返重力擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-3-2	防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-3-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-4	防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-1-2	防波壁（逆T擁壁）の強度計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-1-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-2	防波壁通路防波扉の強度計算書	Ver. 19.1

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	C P O S T S K
使用目的	すべり安全率の算定
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2013年（初版開発時期1999年）
使用したバージョン	Ver. 19.1
コードの概要	<p>C P O S T S K（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> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 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"> <li>・ すべり線が通過する要素ごとの起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。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 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"> <li>・ 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今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本資料は、すべり安全率算定用解析コードCPOSTSKの概要である。

本解析コードは、中電技術コンサルタント株式会社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。

- 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。
- 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。

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

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、各時間断面の破壊状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 $\sigma_n$ により以下に示した強度定数を用いる。

- ・直応力 $\sigma_n$ が圧縮の場合、強度定数に残留強度を用いる。
- ・直応力 $\sigma_n$ 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1に示し、破壊判定のフローチャートを図2に示す。

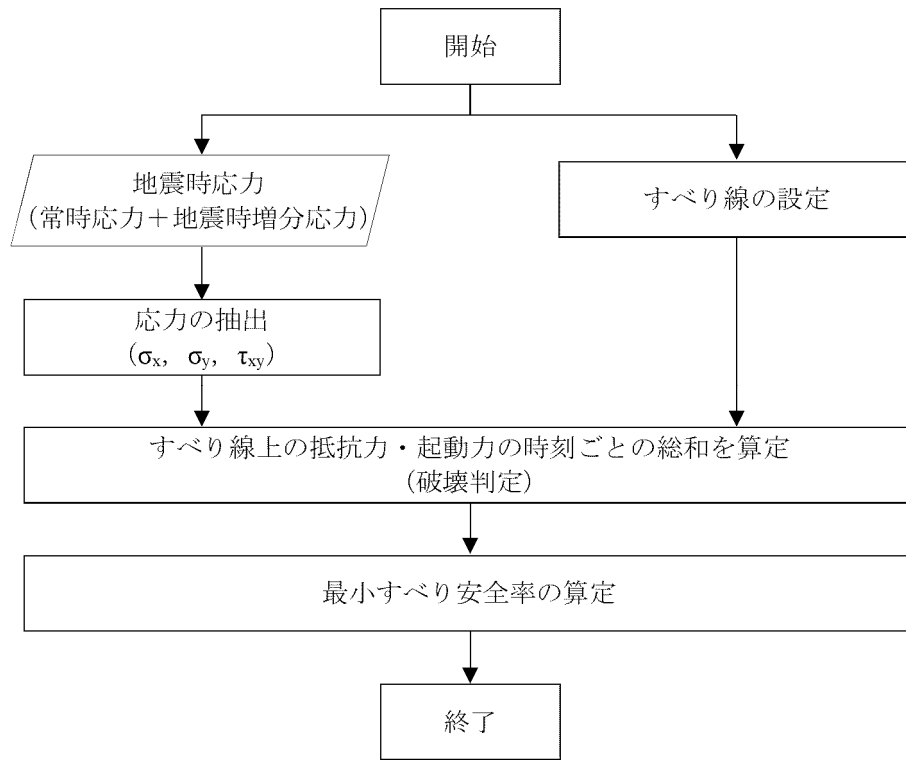


図1 解析フローチャート

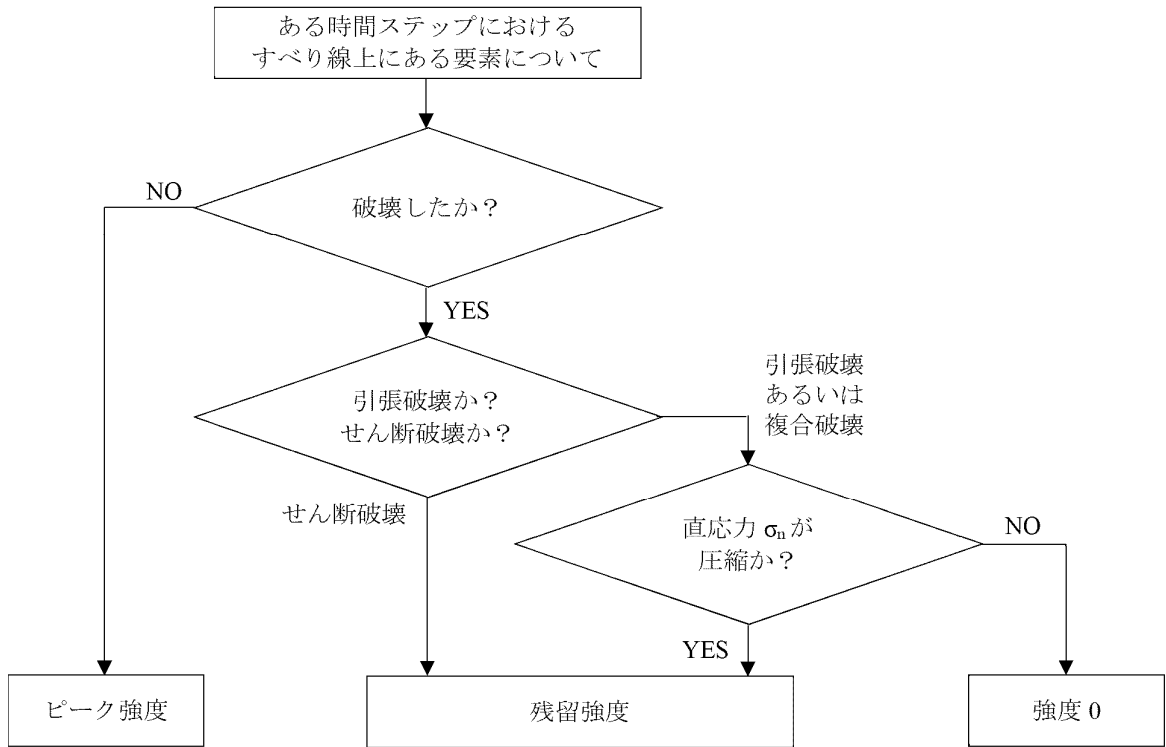


図2 破壊判定フローチャート



### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (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

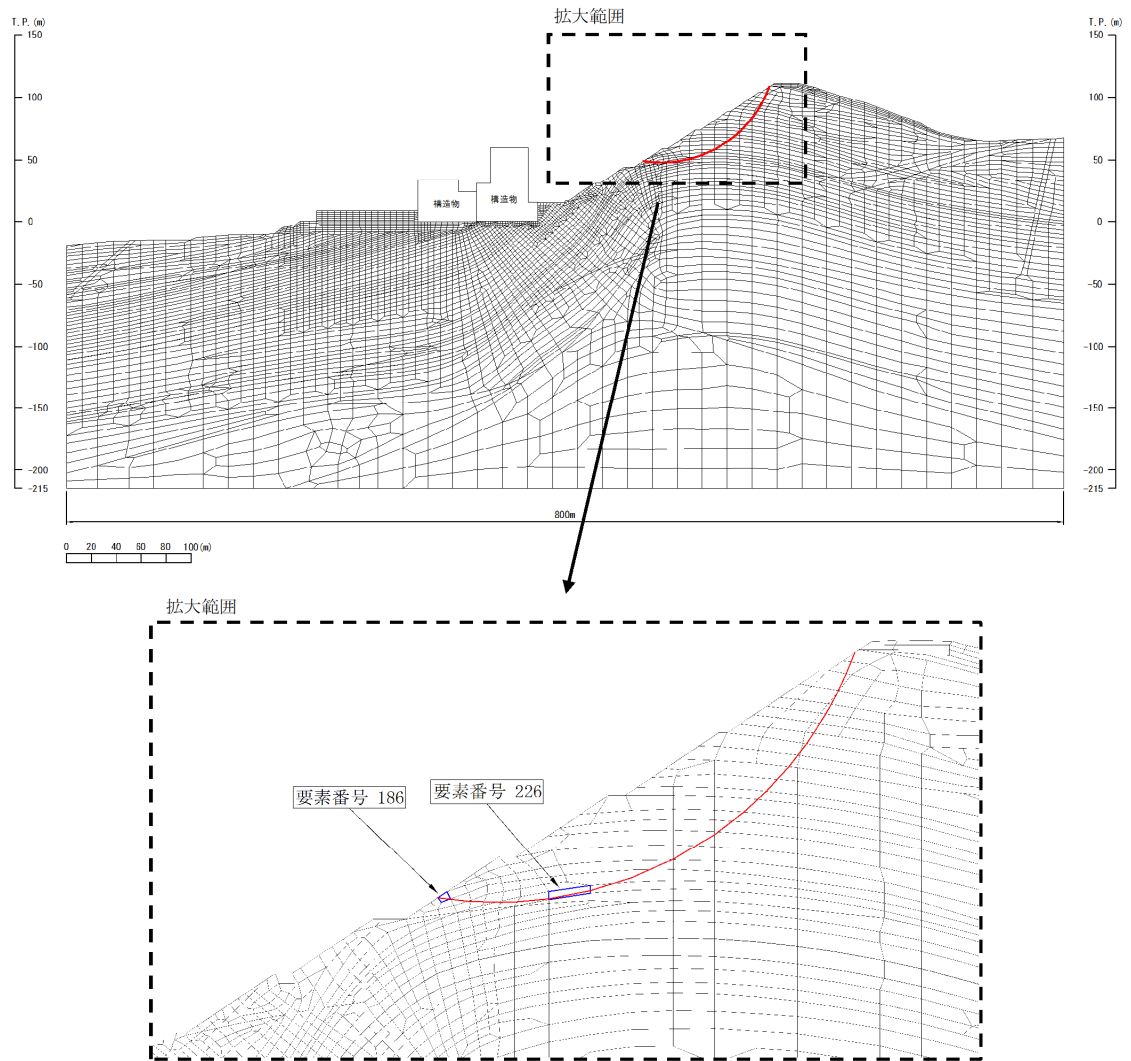


図3 解析モデル及び検証用すべり線

表1 解析コードCPOSTSKによる解析解と論理解との比較

<<< SFMIN >>> *** PASS ELEMENT *** (CIRC_01)											CPOSTSK		理論解	
ELEM	MAT	SIG1	SIG3	THETA	ALFA	L	SIGN	TAUF	TAUS	IDN	抵抗力 (kN/m)	起動力 (kN/m)	抵抗力 (kN/m)	起動力 (kN/m)
185	132	19.65	216.05	-48.77	-6.70	0.03	127.88	407.88	-97.68	0	12.64	-3.03	12.64	-3.03
186	132	27.25	200.00	-45.63	-6.70	2.77	131.77	411.77	-84.44	0	1140.20	-233.83	1140.20	-233.83
187	132	35.55	217.94	-41.38	-6.70	0.28	158.87	438.87	-85.35	0	122.88	-23.90	122.88	-23.90
191	132	31.50	211.35	-35.01	-6.70	4.24	170.87	450.87	-75.11	0	1913.51	-318.75	1913.51	-318.75
192	132	29.77	225.37	-31.86	-1.90	0.58	176.58	456.58	-84.64	0	265.27	-49.17	265.27	-49.17
198	132	32.94	215.53	-23.07	-1.90	3.32	191.70	471.70	-61.50	0	1567.94	-204.42	1567.94	-204.42
204	132	21.61	221.10	-18.32	-1.90	3.02	205.16	485.16	-54.09	0	1463.24	-163.13	1463.24	-163.13
202	332	-17.02	228.26	-14.66	-1.90	1.09	216.29	148.73	-52.86	2	161.67	-57.46	161.67	-57.46
208	332	-35.74	254.05	-10.83	1.82	3.91	240.15	157.38	-61.92	2	614.71	-241.86	614.71	-241.86
217	332	-55.31	289.90	-8.55	5.42	7.67	269.78	167.58	-80.88	2	1284.83	-620.08	1284.83	-620.08
226	332	-83.30	328.64	-6.27	10.99	10.19	292.42	175.03	-116.67	2	1783.05	-1188.47	1783.05	-1188.47
240	332	-99.65	403.51	-2.86	17.42	5.81	343.03	190.79	-163.63	2	1108.48	-950.67	1108.48	-950.67
239	132	-80.14	356.99	-0.50	17.42	4.67	315.60	182.39	-127.98	2	851.96	-597.79	851.96	-597.79
251	132	-61.45	449.53	2.23	24.10	4.71	378.66	201.25	-176.62	2	947.87	-831.87	947.87	-831.87
250	122	-12.65	408.80	4.55	24.10	5.97	361.60	196.30	-132.91	2	1171.51	-793.21	1171.51	-793.21
249	132	-104.58	358.78	6.35	24.10	0.28	315.74	182.44	-134.51	2	50.53	-37.26	50.53	-37.26
262	132	-82.42	453.52	7.32	31.15	6.35	366.00	197.59	-198.10	2	1254.28	-1257.53	1254.28	-1257.53
261	122	-80.80	396.83	8.58	31.15	5.34	326.45	185.75	-169.30	2	991.37	-903.54	991.37	-903.54
277	122	-89.00	501.31	10.53	37.59	1.12	379.15	201.39	-239.14	2	225.56	-267.84	225.56	-267.84
276	132	-96.14	458.28	12.50	37.59	4.27	358.58	195.41	-212.91	2	834.03	-908.72	834.03	-908.72
275	332	-127.20	424.97	13.71	37.59	3.57	334.52	188.22	-204.37	2	671.94	-729.59	671.94	-729.59
274	132	-139.87	386.90	15.45	42.66	3.95	276.76	169.91	-214.21	2	670.46	-845.28	670.46	-845.28
289	132	-93.44	481.07	17.81	42.66	0.61	379.60	201.52	-219.09	2	122.12	-132.77	122.12	-132.77
288	122	-172.28	426.48	15.93	42.66	2.80	305.35	179.17	-240.54	2	501.50	-673.26	501.50	-673.26
287	322	-139.78	388.54	17.85	47.48	3.92	259.45	164.08	-227.02	2	643.21	-889.91	643.21	-889.91
286	322	-130.57	332.65	19.03	47.48	4.16	227.52	152.85	-194.03	2	636.32	-807.73	636.32	-807.73
298	232	-116.25	278.31	20.63	52.16	3.52	170.46	130.78	-175.85	2	459.83	-618.29	459.83	-618.29
299	232	-126.95	236.00	19.44	52.16	1.24	130.00	112.98	-165.03	2	139.76	-204.14	139.76	-204.14
314	232	-108.28	356.44	22.62	52.16	2.20	243.46	158.54	-199.35	2	349.11	-438.96	349.11	-438.96
315	232	-103.94	326.91	22.47	56.98	3.10	188.66	138.15	-201.13	2	427.57	-622.49	427.57	-622.49
70	331	-100.88	274.20	25.41	56.98	2.70	171.42	131.18	-167.29	2	353.54	-450.86	353.54	-450.86
71	331	-65.00	264.64	26.94	56.98	2.74	182.04	135.51	-142.84	2	371.16	-391.24	371.16	-391.24
73	331	-44.98	222.48	28.49	61.62	2.72	142.59	118.76	-122.41	2	322.80	-332.72	322.80	-332.72
74	231	-5.02	178.81	33.00	61.62	3.16	136.63	116.06	-77.30	2	366.28	-243.95	366.28	-243.95
69	231	-7.06	132.10	23.65	61.62	0.49	79.43	86.59	-67.49	2	42.00	-32.73	42.00	-32.73
72	231	46.30	95.72	22.41	65.00	4.50	73.08	318.86	-24.62	0	1435.82	-110.87	1435.82	-110.87
75	231	51.43	74.19	-67.18	68.15	3.16	62.94	313.47	11.38	0	990.55	35.95	990.55	35.95
78	231	34.88	79.94	-88.14	68.15	2.28	72.65	318.63	16.59	0	726.47	37.82	726.47	37.82

	CPOSTSK		理論解	
Σ =	26996.0	-17103.5	26996.0	-17103.5
安全率Fs=	1.578		1.578	

(Fs=抵抗力/起動力)

ここに

- ELEM : すべり線が通過する要素番号
- MAT : すべり線が通過する要素の材料番号
- SIG1 : 最小主応力
- SIG3 : 最大主応力
- THETA : x軸と最大主応力方向のなす角度
- ALFA : x軸とすべり線のなす角度
- L : 要素を通過するすべり線長さ
- SIGN : すべり線上に作用する垂直力 (σn)
- TAUF : すべり線上に作用する強度 (τf)
- TAUS : すべり線上に作用するせん断力 (τs)
- IDN : 要素の破壊タイプ
  - 0 : 非破壊
  - 1 : せん断破壊
  - 2 : 引張破壊
- 抵抗力 : すべり線上に作用する抵抗力 (TAUF×L)
- 起動力 : すべり線上に作用する起動力 (TAUS×L)

要素番号		186	
<b>【すべり線】</b>			
	X座標	Y座標	
始点	55.717	49.120	
終点	58.467	48.797	
すべり線長			2.77 (m)
すべり線角度 (x軸となす角度α)			-6.70 (度)
<b>【応力】</b>			
	静的解析	動的解析	静的+動的
最小主応力 $\sigma_1$			27.25 (kN/m <sup>2</sup> )
最大主応力 $\sigma_3$			200.00 (kN/m <sup>2</sup> )
x軸と $\sigma_3$ 方向のなす角度 $\theta$			-45.63
垂直応力 $\sigma_n$			131.77 (kN/m <sup>2</sup> )
せん断応力 $\tau_n$			-84.44 (kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma_n = \sigma_1 \sin^2(\alpha - \theta) + \sigma_3 \cos^2(\alpha - \theta)$ $\tau_s = (\sigma_1 - \sigma_3) \sin(\alpha - \theta) \cos(\alpha - \theta)$			
<b>【強度】</b>			
粘着力 C			280.0 (kN/m <sup>2</sup> )
内部摩擦角度 $\phi$			45 (度)
残留強度 $\alpha$			8.156
残留強度 $\beta$			0.54
せん断強度 $\tau$			411.77 (MN/m <sup>2</sup> )
※要素186は破壊していないことからピーク強度を用いる。			
<b>【理論解】</b>			
起動力			-233.83 (MN/m)
抵抗力			1140.20 (MN/m)
すべり長 × せん断応力 $\tau_s$			
すべり長 × せん断強度 $\tau$			

図4 すべり線の要素番号186の理論解

要素番号		226	
<b>【すべり線】</b>			
	X座標	Y座標	
始点	82.500	48.853	
終点	92.500	50.794	
すべり線長			10.19 (m)
すべり線角度 (x軸となす角度α)			10.98 (度)
<b>【応力】</b>			
	静的解析	動的解析	静的+動的
最小主応力 $\sigma_1$			-83.30 (kN/m <sup>2</sup> )
最大主応力 $\sigma_3$			328.64 (kN/m <sup>2</sup> )
x軸と $\sigma_3$ 方向のなす角度 $\theta$			-6.27
垂直応力 $\sigma_n$			292.42 (kN/m <sup>2</sup> )
せん断応力 $\tau_n$			-116.67 (kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma_n = \sigma_1 \sin^2(\alpha - \theta) + \sigma_3 \cos^2(\alpha - \theta)$ $\tau_s = (\sigma_1 - \sigma_3) \sin(\alpha - \theta) \cos(\alpha - \theta)$			
<b>【強度】</b>			
粘着力 C			600.0 (kN/m <sup>2</sup> )
内部摩擦角度 $\phi$			28 (度)
残留強度 $\alpha$			8.156
残留強度 $\beta$			0.54
せん断強度 $\tau$			175.03 (MN/m <sup>2</sup> )
※要素226は引張破壊しており、かつ $\sigma_n$ が圧縮であることから残留強度を用いる。			
<b>【理論解】</b>			
起動力			-1188.47 (MN/m)
抵抗力			1783.05 (MN/m)
すべり長 × せん断応力 $\tau_s$			
すべり長 × せん断強度 $\tau$			

図5 すべり線の要素番号226の理論解

### 3.5.2 妥当性確認

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。