

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-08 改 42
提出年月日	2023年5月18日

浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料

2023年5月

中国電力株式会社

## 補足説明資料目次

今回提出範囲：

1. 浸水防護施設の設計における考慮事項
  - 1.1 津波と地震の組合せで考慮する荷重
  - 1.2 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定
  - 1.3 津波防護に関する施設の機能設計・構造強度設計に係る許容限界
  - 1.4 津波防護施設の強度計算における津波荷重，余震荷重及び漂流物衝突荷重の組合せ
  - 1.5 浸水防護施設の評価における漂流物衝突荷重，風荷重及び積雪荷重の設定
  - 1.6 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性
  - 1.7 浸水防護施設のアンカーボルトの設計
  - 1.8 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定
  - 1.9 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況
  - 1.10 耐震及び耐津波設計における許容限界
  - 1.11 強度計算に用いた規格・基準類の適用性
  - 1.12 津波に対する止水性能を有する施設の評価
  
2. 浸水防護施設に関する補足資料
  - 2.1 防波壁に関する補足説明
    - 2.1.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明
    - 2.1.2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書に関する補足説明
    - 2.1.3 防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明
    - 2.1.4 防波壁（逆T擁壁）の強度計算書に関する補足説明
    - 2.1.5 防波壁（波返重力擁壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明
    - 2.1.6 防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書に関する補足説明
    - 2.1.7 防波壁の止水目地に関する補足説明
    - 2.1.8 漂流物対策工に関する補足説明
    - 2.1.9 防波壁の設計・施工に関する補足説明
  - 2.2 防波壁通路防波扉に関する補足説明
  - 2.3 1号機取水槽流路縮小工に関する補足説明
  - 2.4 浸水防止設備に関する補足説明
  - 2.5 漂流防止装置に関する補足説明
  - 2.6 強度評価における鉛直方向荷重の考え方
  - 2.7 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

今回提出範囲：

2. 浸水防護施設に関する補足資料

2.1 防波壁に関する補足説明

2.1.1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明

目 次

- 1. 概要 .....
- 2. 基本方針 .....
- 2.1 位置 .....
- 2.2 構造概要 .....
- 2.3 評価方針 .....
- 2.4 適用規格・基準等 .....
- 3. 耐震評価 .....
- 3.1 評価対象断面 .....
- 3.2 評価対象部位 .....
- 3.2.1 施設・地盤の健全性評価 .....
- 3.2.2 施設の変形性評価 .....
- 3.2.3 基礎地盤の支持性能評価 .....
- 3.3 荷重及び荷重の組合せ .....
- 3.3.1 耐震評価上考慮する状態 .....
- 3.3.2 荷重 .....
- 3.3.3 荷重の組合せ .....
- 3.4 許容限界 .....
- 3.4.1 鋼管杭 .....
- 3.4.2 被覆コンクリート壁 .....
- 3.4.3 改良地盤 .....
- 3.4.4 止水目地 .....
- 3.4.5 基礎地盤 .....
- 4. 2次元有限要素法 .....
- 4.1 解析方法 .....
- 4.1.1 地震応答解析手法 .....
- 4.1.2 施設 .....
- 4.1.3 地盤物性のばらつき .....
- 4.1.4 減衰定数 .....
- 4.1.5 解析ケース .....
- 4.1.6 入力地震動 .....
- 4.1.7 解析モデル及び諸元 .....
- 4.1.8 評価方法 .....

今回提出範囲：

4.2	地震応答解析結果	.....
4.2.1	解析ケースと照査値	.....
4.2.2	鋼管杭の曲げ照査	.....
4.2.3	鋼管杭のせん断照査	.....
4.2.4	杭頭連結材の引張照査	.....
4.2.5	過剰間隙水圧分布	.....
4.2.6	最大せん断ひずみ分布	.....
4.2.7	鋼管杭	.....
4.2.8	改良地盤	.....
4.2.9	鋼管杭の水平支持力	.....
4.2.10	止水目地	.....
4.2.11	基礎地盤	.....
4.2.12	施設護岸等の損傷による不確かさの検討	.....
5.	3次元構造解析	.....
5.1	解析方法	.....
5.1.1	3次元構造解析手法	.....
5.1.2	入力値の設定	.....
5.1.3	解析モデル及び諸元	.....
5.1.4	評価方法	.....
5.2	3次元構造解析結果	.....
5.2.1	評価対象位置と照査値	.....
5.2.2	曲げ照査	.....
5.2.3	せん断照査	.....
5.3	評価結果一覧	.....
5.3.1	曲げ照査	.....
5.3.2	せん断照査	.....
6.	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性に関する影響検討	.....
6.1	砂礫層の解析用物性値に関する影響検討	.....
6.1.1	概要	.....
6.1.2	評価内容	.....
6.1.3	評価結果	.....
6.2	埋戻土（粘性土）の解析用物性値に関する影響検討	.....
6.2.1	概要	.....
6.2.2	評価内容	.....
6.2.3	評価結果	.....

今回提出範囲：

- (参考資料1) 多重鋼管杭の許容限界の妥当性
- (参考資料2) 改良地盤④及び改良地盤⑤の物性値の設定方法
- (参考資料3) セメントミルクの評価方針
- (参考資料4) 評価対象断面選定の補足
- (参考資料5) 鋼管杭と被覆コンクリート壁の境界設定
- (参考資料6) 多重鋼管杭の断面変化点における照査
- (参考資料7) 3次元構造解析の保守性
- (参考資料8) 静的非線形解析に用いた解析コードの適用性

(参考資料 8) 静的非線形解析に用いた解析コードの適用性

・ S - S T A N

・解析コード（S-STAN）の概要

項目 \ コード名	S-STAN
使用目的	2次元有限要素法による静的非線形解析
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2010年（初版開発時期1999年）
使用したバージョン	Ver. 20_SI
コードの概要	<p>本解析コードは、2次元有限要素法解析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解析プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。</li> <li>④ 荷重伝達法による静的非線形解析（応力再配分解析）が可能である。</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>・簡易モデルによる要素応力を抽出して、応力再配分が正しく行われてい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、応力再配分解析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>

## 1. 一般事項

本資料は、解析コードS-S T A Nのうち、静的非線形解析の概要である。

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2次元有限要素法解析を行う解析コードである。

## 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①～④を挙げることができる。

① 2次元有限要素法による解析プログラムである。

② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。

③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。

④ 荷重伝達法による静的非線形解析（応力再配分解析）が可能である。

## 3. 解析手法

静的非線形解析（**応力再配分解析**）とは、地盤のF E M解析における地震時応力に対して、引張強度およびせん断強度を超える応力を、等価節点荷重に置き換え、地盤剛性を変えずに周辺要素に配分する手法である。

せん断強度に達する要素もしくは引張強度に達する要素について、その差分応力を周辺要素に配分する解析ステップ（図1及び図2参照）を繰り返し実行する。

地盤内の応力状態がおおむね平衡状態を保つまで、上記の解析ステップによる応力再配分を実施する。



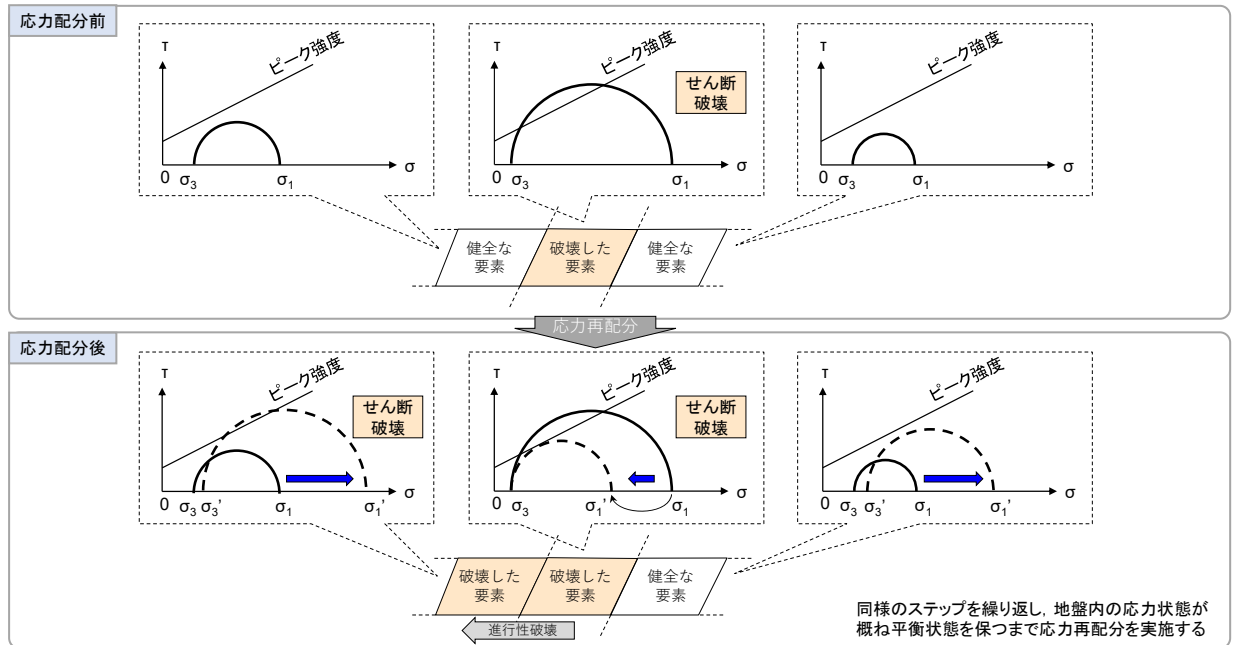


図1 応力再配分後のモールの応力円（せん断破壊の場合）

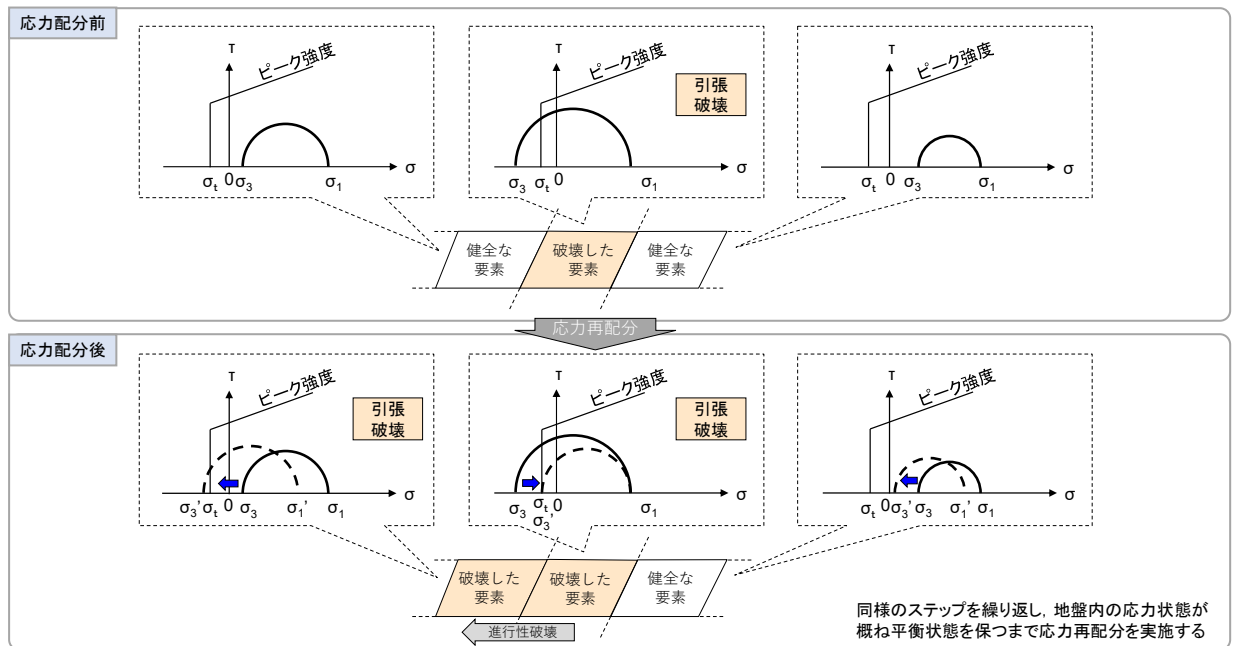


図2 応力再配分後のモールの応力円（引張破壊の場合）

4. 解析フローチャート

解析フローチャートを図3に示す。

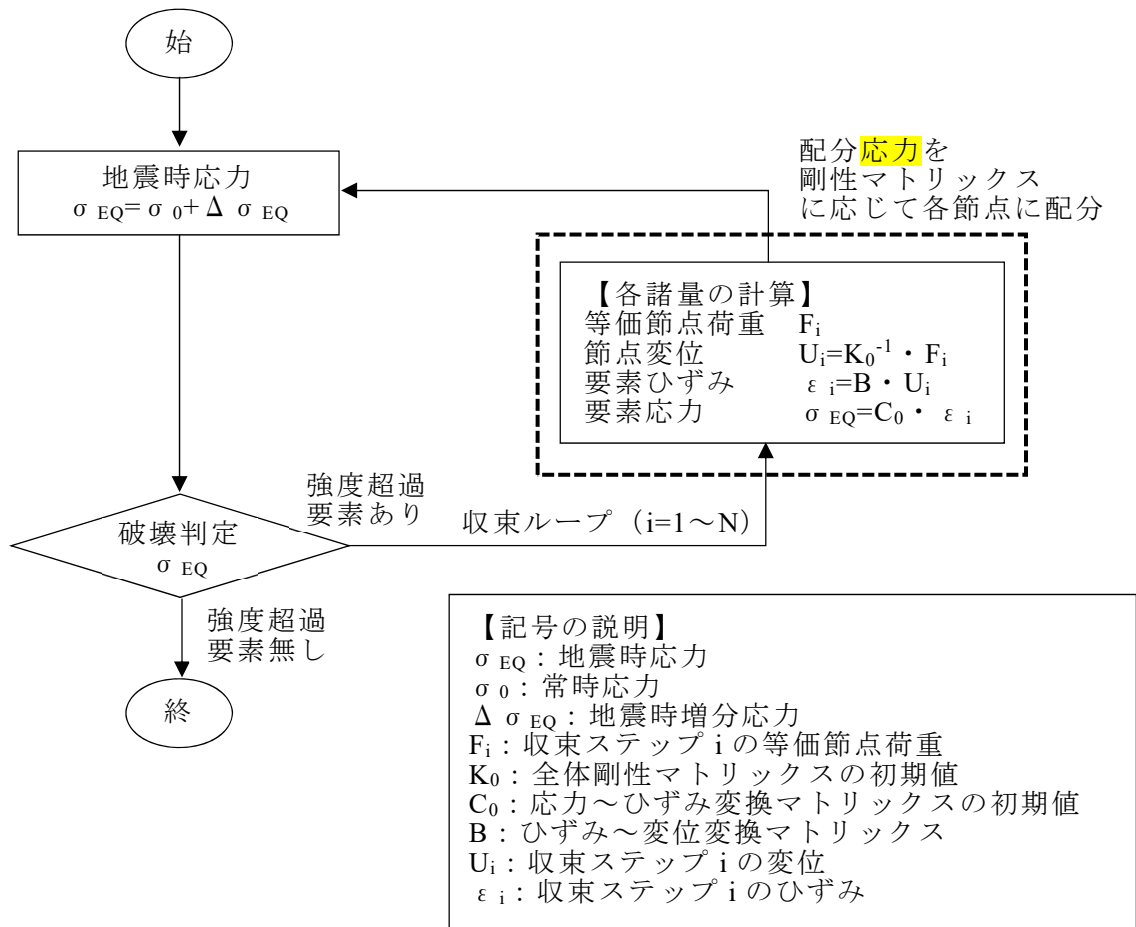


図3 解析フローチャート

## 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) として簡易モデルによる応力再配分の確認と、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。

### 5.1 検証 (Verification)

簡易モデルに任意の初期応力を与えた後、静的非線形解析を実施し、応力再配分が正しく行われていることを要素応力から算定した応力再配分前後のモールの応力円を比較することで確認する。

#### 5.1.1 強度を超える応力が再配分されていることの確認

本ケースでは、強度を超える応力が再配分されていることを確認する。

図4及び表1に解析モデル、境界条件、初期応力条件を示す。

要素5における応力再配分前後のモールの応力円を図5に示す。図5より、応力再配分後において、強度を超える応力が発生していない状態となっていることから、引張強度及びせん断強度を超える応力が再配分されていることを確認した。

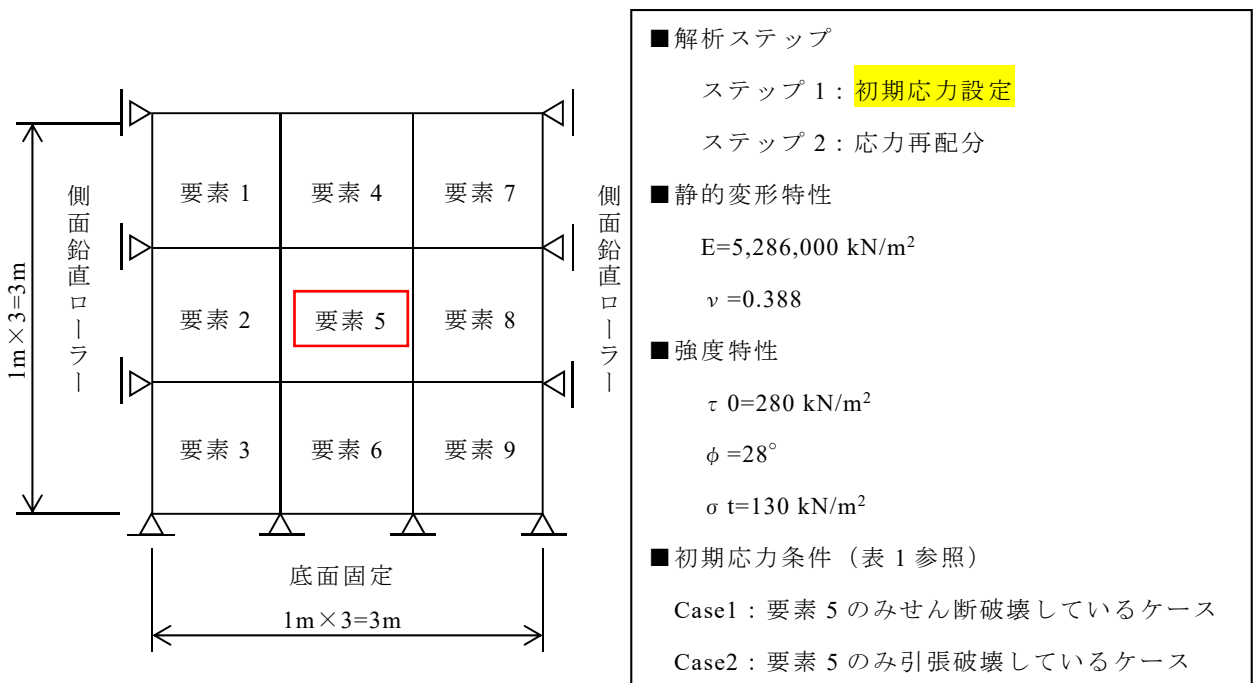
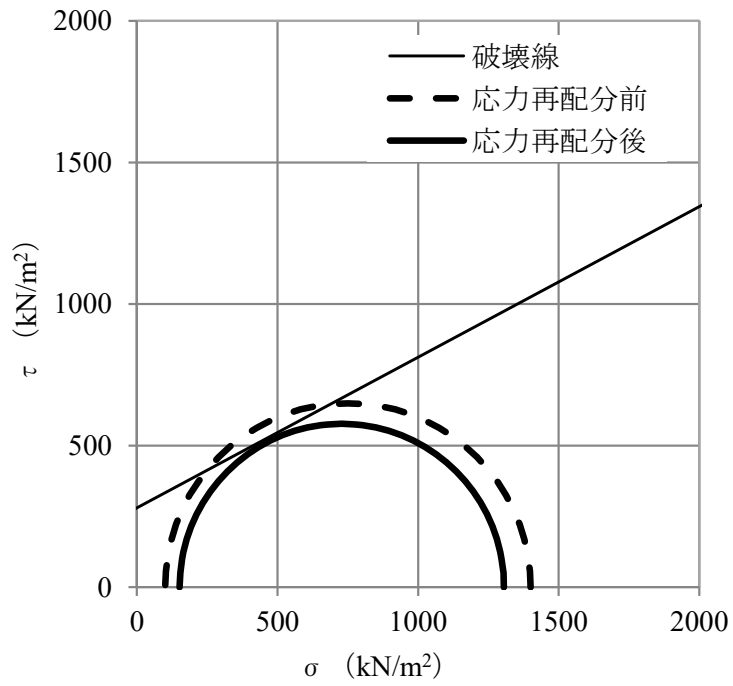


図4 解析対象とした地盤モデル

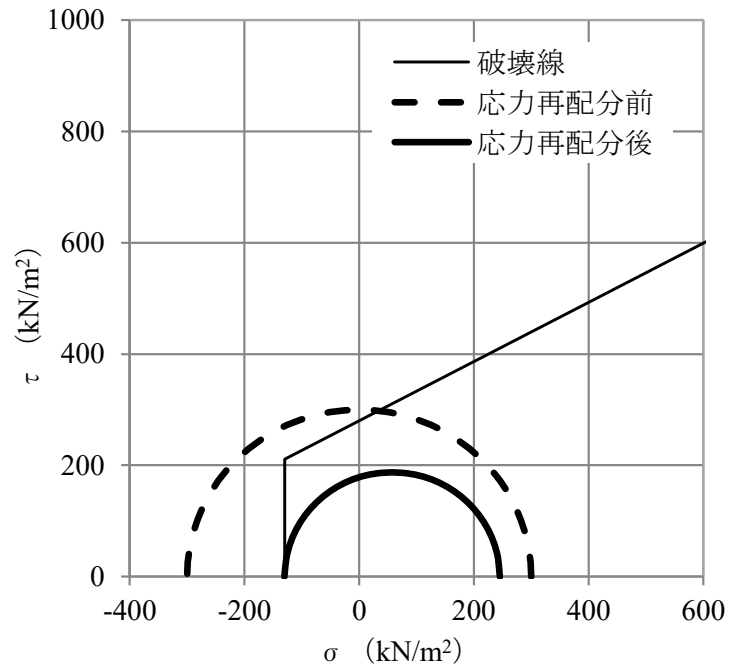
表 1 初期応力条件

(kN/m <sup>2</sup> )	要素 5			要素 5 以外		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$
Case1	100	1400	0	100	500	0
Case2	-300	300	0	100	500	0

注：圧縮を正とする。



(1) Case1 : 要素 5 のみせん断破壊しているケース



(2) Case2 : 要素 5 のみ引張破壊しているケース

図 5 要素 5 における応力再配分前後のモールの応力円

### 5.1.2 剛性に応じた応力配分状況の確認

本ケースでは、剛性（ヤング係数）に応じた応力再配分がなされていることを確認する。

図6、表2及び表3に解析モデル、境界条件、初期応力条件を示す。

各要素の応力再配分前後のモールの応力円を図7に、Case1-2における応力再配分前後の主応力図を図8に、応力再配分の概念図を図9に示す。

Case1-1は剛性を一律としたケースであり、Case1-2は要素2・8の剛性を高め、要素2・8により応力が配分されることを想定して設定したケースである。

図7において、Case1-1及びCase1-2の応力円を比較しているが、要素5から要素2及び要素8に配分された応力が、Case1-1に比べ、剛性の大きいCase1-2の方がより多く配分されていることが分かる。

以上より、変形特性（ヤング係数）の差に応じた応力再配分がなされていることを確認した。

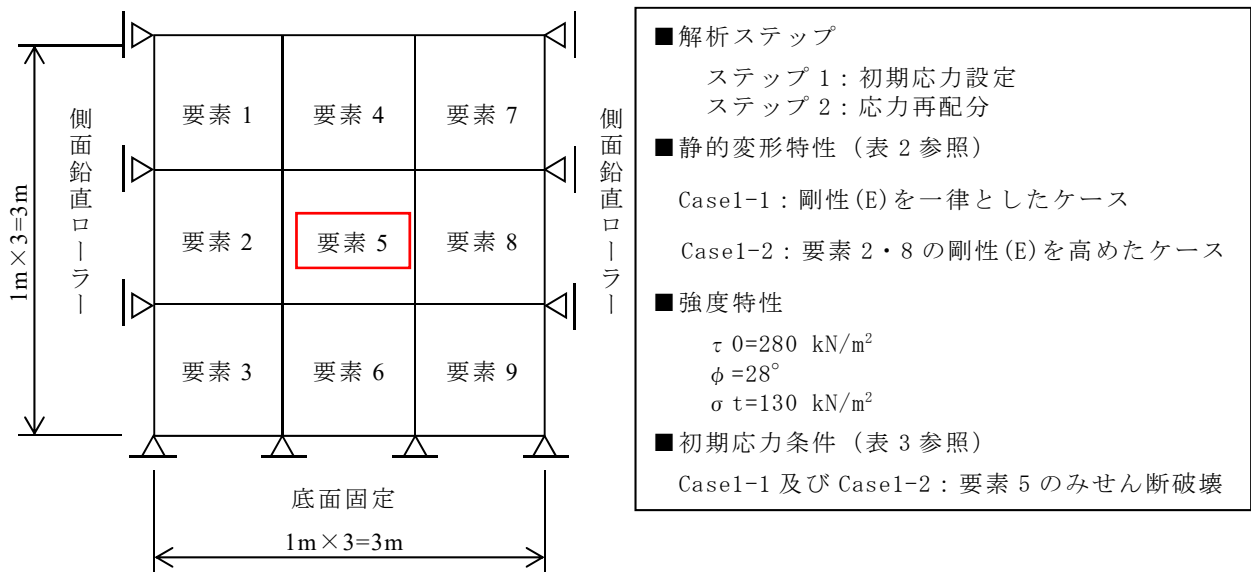


図 6 解析対象とした地盤モデル

表 2 静的変形特性

	要素 2・8		要素 2・8 以外	
	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
Case1-1	5,286,000	0.388	5,286,000	0.388
Case1-2	52,860,000			

表 3 初期応力条件

(kN/m <sup>2</sup> )	要素 5			要素 5 以外		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$
Case1-1	100	1400	0	100	500	0
Case1-2						

注：圧縮を正とする。

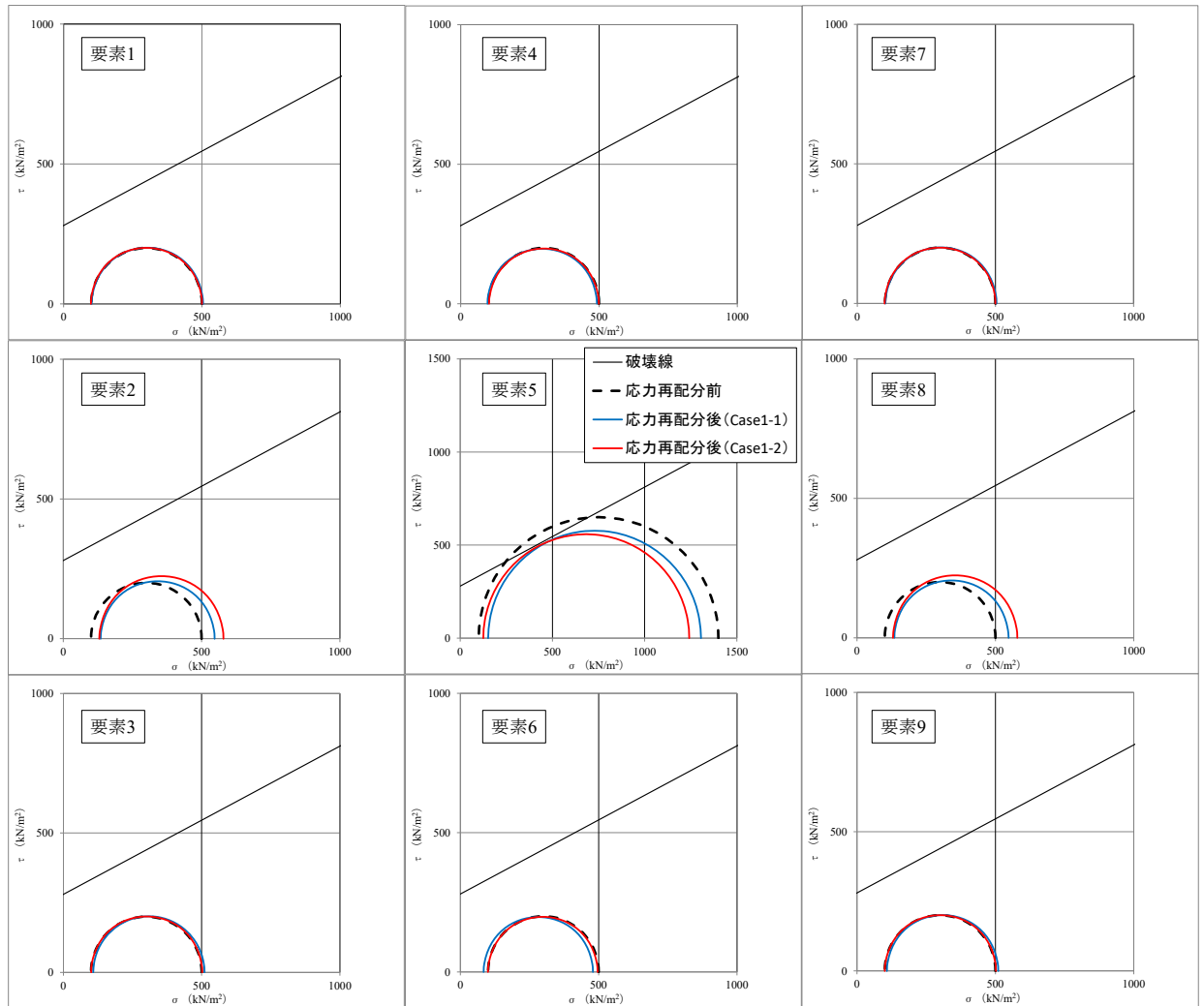


図7 Case1-1及びCase1-2における応力再配分前後のモールの応力円



黒：応力再配分前  
赤：応力再配分後

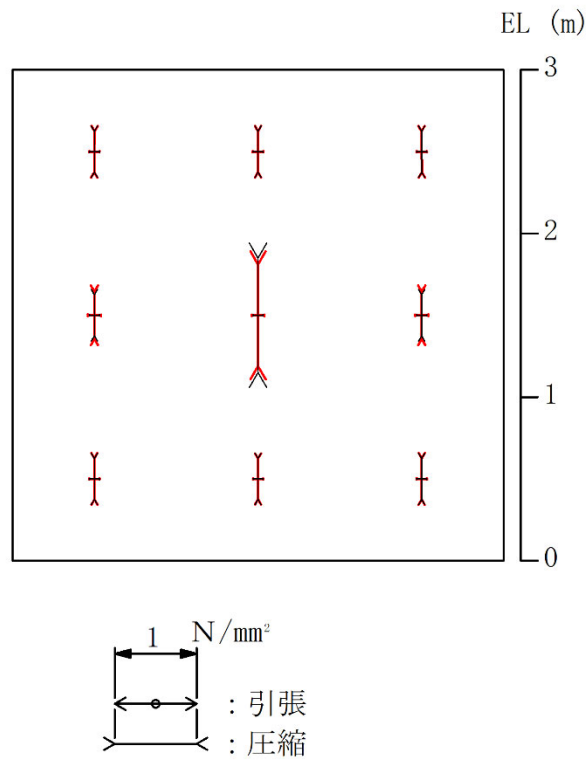


図 8 Case1-2 における応力再配分前後の主応力図

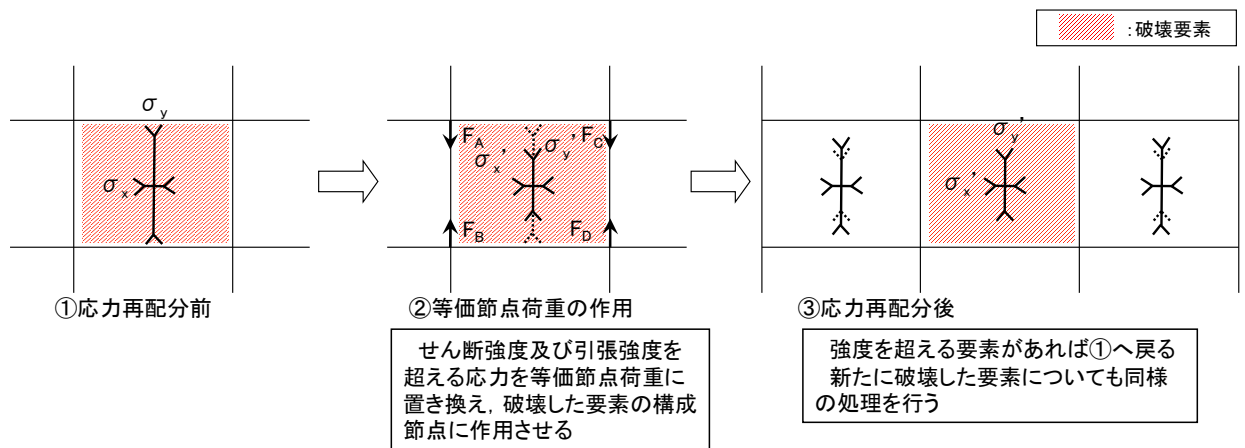


図 9 応力再配分の概念図

### 5.1.3 応力再配分の繰返し状況の確認

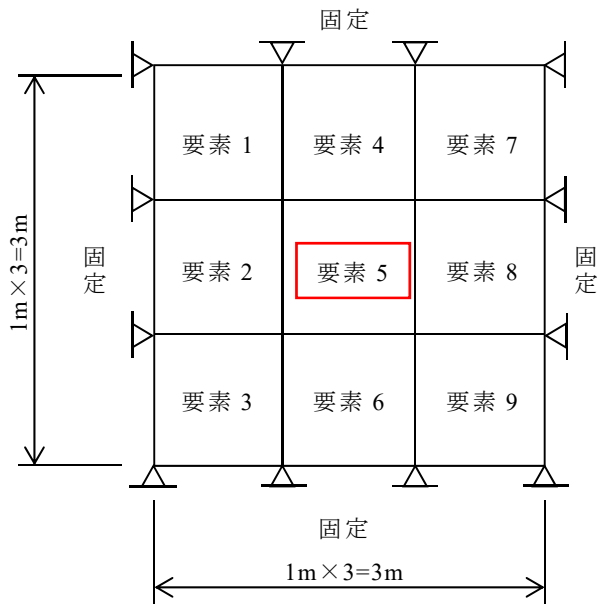
本ケースでは、破壊により応力を配分した要素に、その後の繰返し計算の中で再度応力が配分されることを確認する。

図 10、表 4 及び表 5 に解析モデル、境界条件、初期応力条件を示す。

各要素の繰返し計算の各 STEP におけるモールの応力円を図 11 に、応力再配分前後の主応力円を図 12 に、応力再配分の概念図を図 13 に示す。

図 11 より、STEP2 では、要素 5 の応力が剛性の大きな要素 2 及び要素 8 に対して主に配分されている。STEP3 以降において、要素 5 のモールの応力円が移動していることから、要素 2 及び要素 8 において強度を超過した応力が、要素 5 を含む周囲の要素に配分されていることを確認した。

また、最終 STEP で、全ての要素で強度を超える応力が発生していない状況になっていることを確認した。



- 解析ステップ
  - ステップ 1：初期応力設定
  - ステップ 2 以降：応力再配分
- 静的変形特性(表 4 参照)
  - 要素 2・8 のみ剛性(E)を高めたケース
- 強度特性
  - $\tau_0 = 280 \text{ kN/m}^2$
  - $\phi = 5^\circ$
  - $\sigma_t = 0 \text{ kN/m}^2$
- 初期応力条件 (表 5 参照)
  - 要素 5 のみせん断破壊しているケース

図 10 解析対象とした地盤モデル

表 4 静的変形特性

要素 2・8		要素 2・8 以外	
E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
10,000	0.388	1,000	0.388

表 5 初期応力条件

要素 5			要素 5 以外		
$\sigma_x$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau_{xy}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_x$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau_{xy}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1500	100	0	1000	1700	0

注： 圧縮を正とする。

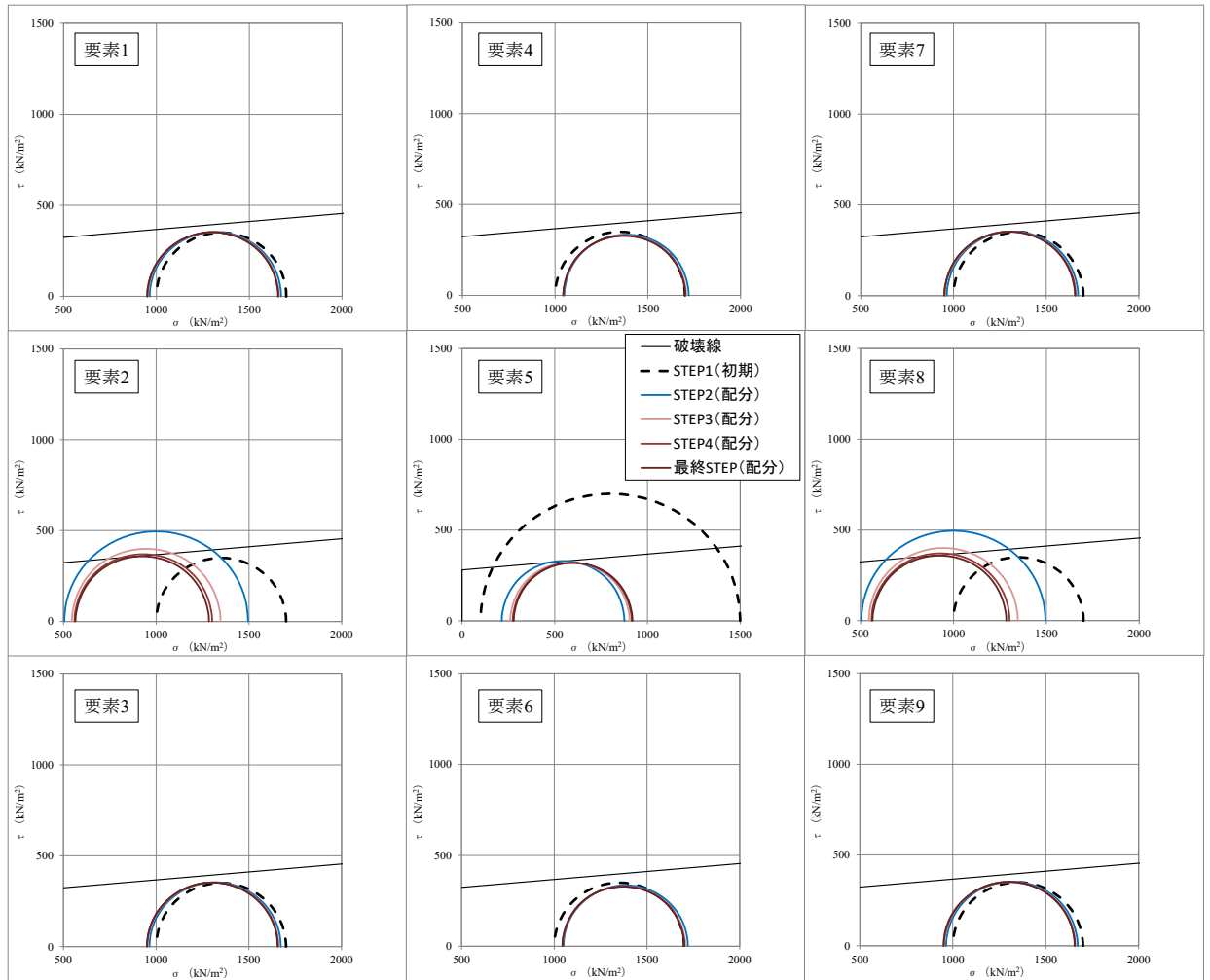


図 11 応力再配分前後のモールの応力円

黒：応力再配分前

赤：応力再配分後

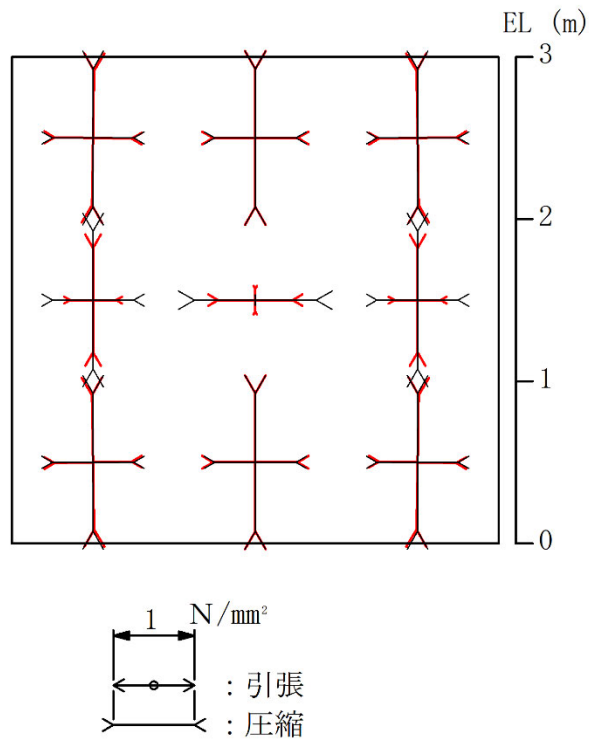


図 12 応力再配分前後の主応力図

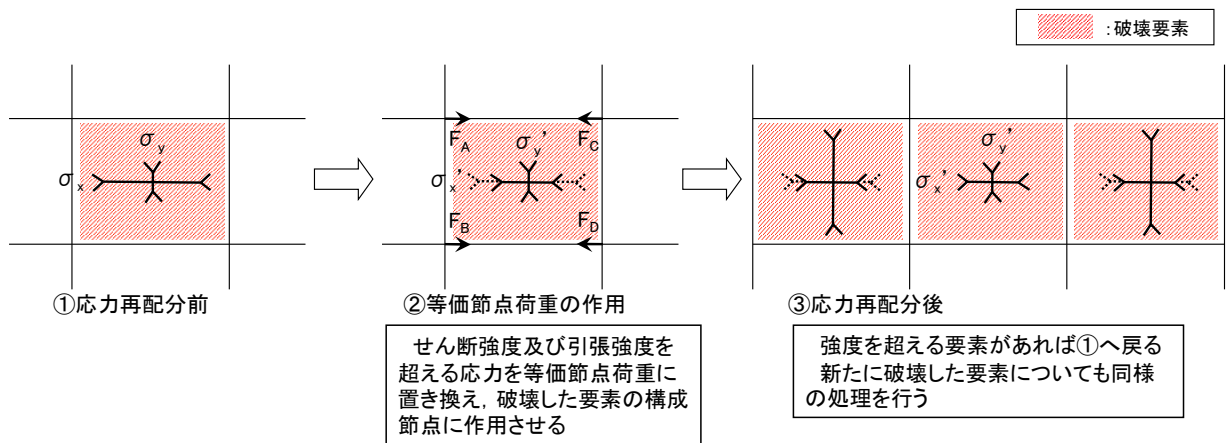


図 13 応力再配分の概念図

## 5.2 妥当性確認 (Validation)

静的非線形解析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。

- 本解析では、岩盤において破壊領域が連続して分布し、周辺への進行性破壊が懸念される場合において、静的非線形解析を実施し、応力再配分により進行性破壊の有無を確認している。
- 検証の内容のとおり、静的非線形解析による応力再配分に関して直接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。

## 5.3 評価結果

5.1 及び 5.2 より、本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。