

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 添-2-074-8 改2
提出年月日	2020年6月17日

V-2-2-別添1-2-8 集水管の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-2-別添1-2-8 R0

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-2-別添1-2-8 集水管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
3. 解析方法	6
3.1 評価対象部位及び評価方針	6
3.2 荷重及び荷重の組合せ	7
3.2.1 荷重	7
3.2.2 荷重の組合せ	7
3.3 許容限界	8
3.4 評価方法	10
3.4.1 集水管の変形量算出方法	10
3.4.2 断面の評価方法	12
4. 評価結果	13
4.1 フレーム解析による評価結果	13
参考資料 1. 6号機側集水管の耐震性について	15

1. 概要

建屋評価における前提条件を満たすために、7号機地下水排水設備は、建屋の耐震性を確保するため地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有する。

7号機地下水排水設備の評価においては、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち、「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」及びV-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、7号機地下水排水設備のうち集水管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

2. 基本方針

原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋の地下水排水設備（以下，「地下水排水設備」という。）は，各建屋に対し，その耐震性を確保するため地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有し，基準地震動 S_s に対する機能維持を確認する必要があることから，地下水排水設備を構成する集水管について，基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を実施する。

2.1 位置

地下水排水設備の概略配置を図2-1に示す。

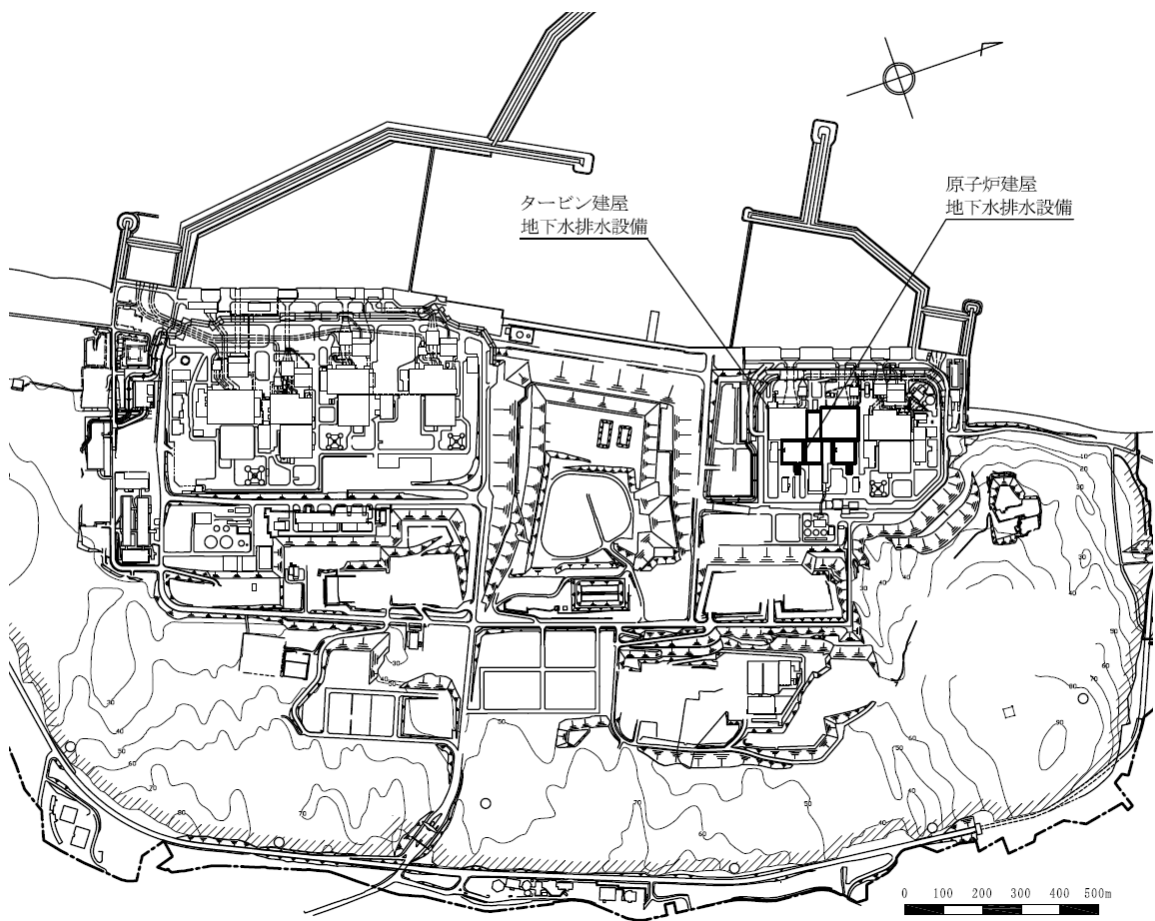


図2-1 地下水排水設備の概略配置図

2.2 構造概要

集水管は原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋の周囲に配置するφ200mmのSUS管であり，支持地盤である西山層に直接または西山層にマンメイドロックを介して設置し，サブドレンピットに接続している。

集水管の概略平面図・断面図及び1/4断面構造図を図2-2に示す。

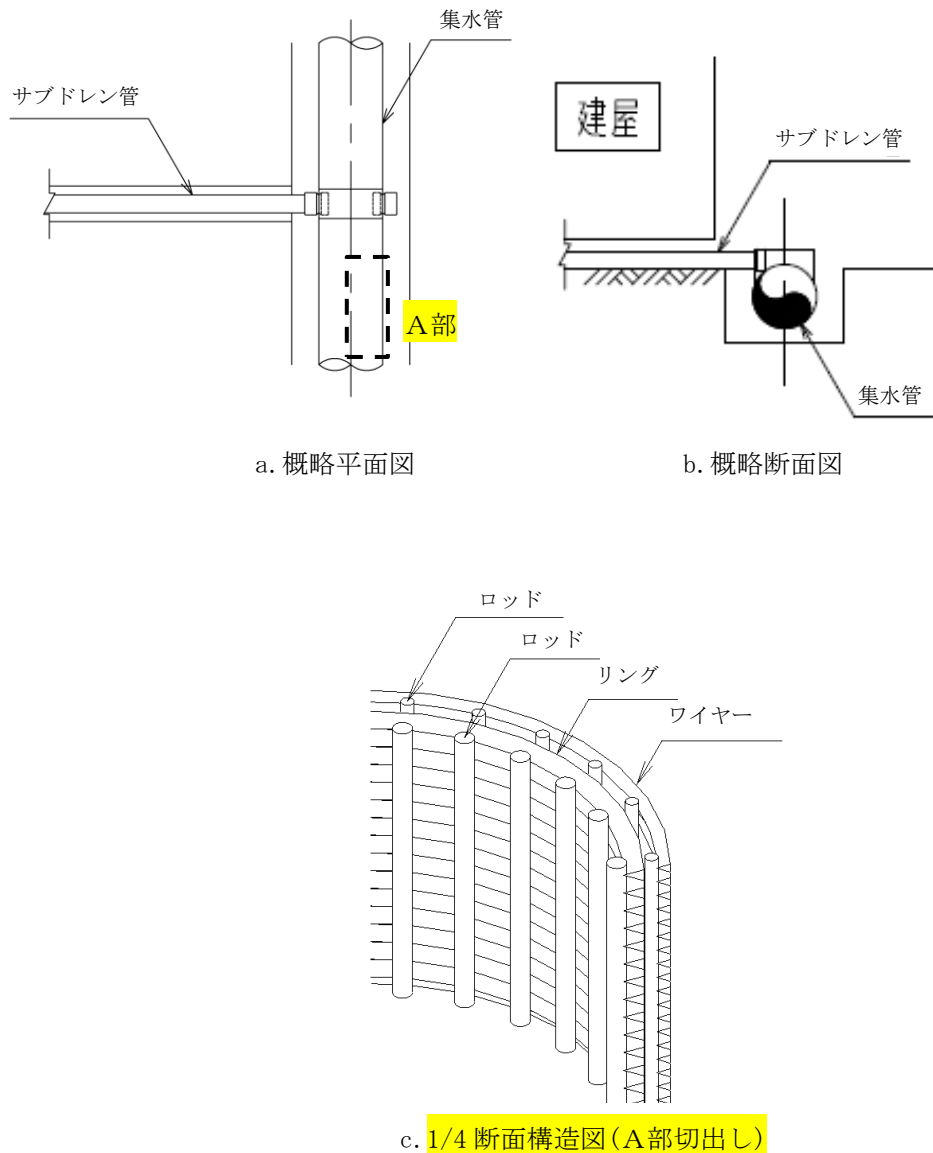


図2-2 概略平面図・断面図及び断面構造図

2.3 評価方針

集水管の評価は、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、集水管の変形量による評価において断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

集水管の評価フローを図2-3に示す。

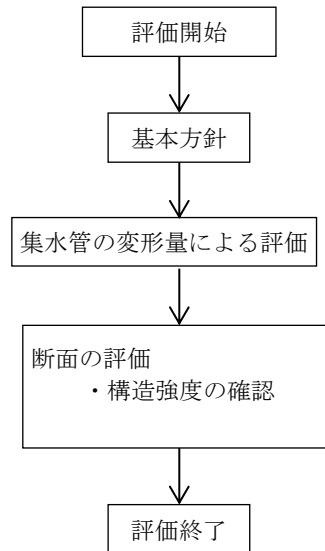


図2-3 集水管の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

集水管の評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」((社) 日本機械学会)
- ・日本工業規格 (J I S)
- ・道路橋示方書 (I共通編・IV下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 2002)

3. 解析方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

評価対象部位は集水管とし、 S_s 地震時の変形量により評価を行う。

S_s 地震時に対する評価は、集水管に生じる変形量が地下水排水設備の建設時に実施した強度試験結果に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

集水管の評価フローを図3-1に示す。

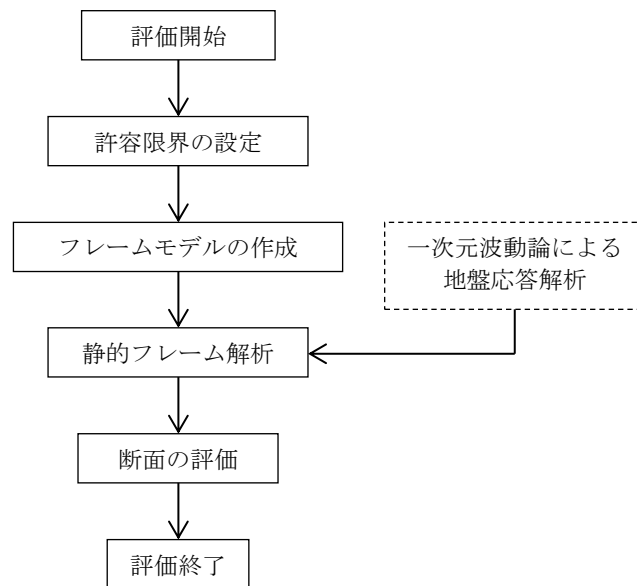


図3-1 集水管の評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重

集水管に作用する荷重は、集水管が岩盤を掘り込んだ建屋周辺の空隙内に設置されていることを踏まえ設定する。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として集水管自体の自重と地表面から集水管上部までを考慮した上載土による鉛直土圧、水平土圧を考慮する。なお、集水管は岩盤を掘り込んだ建屋周辺の空隙内に設置されており、西山層やマンメイドロックに囲われているため水平土圧は受けませんが、保守的に地上面までの上載土を考慮した水平土圧を設定する。水平土圧は「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)」に準じ、鉛直土圧に静止土圧係数 0.50 を乗じて算定する。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s に対する一次元波動論による地盤の応答解析より設定する。なお、地盤物性の不確かさを考慮した地盤の応答解析結果を包絡したものとする。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : S_s 地震荷重

3.3 許容限界

集水管の評価における許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき、表3-2 のとおりサブドレン・集水管材料強度試験成績書(竣工図書『柏崎刈羽原子力発電所7号機工事の内発電所本館建物新設工事 原子力建屋』)に基づき設定する。

集水管のひずみ率は、油圧式耐圧試験機を用いた集水管の直径方向のへん平試験を行って荷重変位曲線を求めている。

荷重変位曲線図を図3-2に示す。

集水管の許容限界は、図3-2の荷重変位曲線図から概ね弾性と認められる許容強度範囲を設定して求めた、発生ひずみ率8%以下とする。

表3-2 集水管の評価における許容限界

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
構造強度を有すること	基準地震動 S_s	集水管	部材に生じる応力が内空断面を確保するための許容限界を超えないことを確認	ひずみ率 8%
通水機能を損なわないこと	基準地震動 S_s	集水管	部材に生じる応力が内空断面を確保するための許容限界を超えないことを確認	ひずみ率 8%

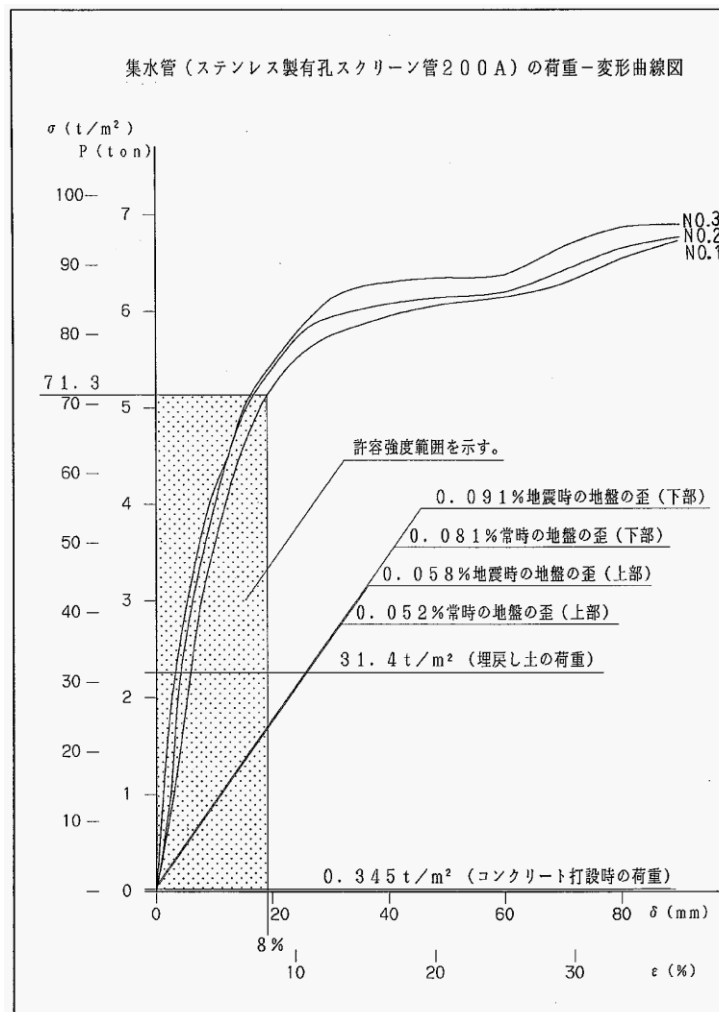


図3-2 集水管の荷重－変位曲線図

注 : サブドレン・集水管材料強度試験成績書(竣工図書『柏崎刈羽原子力発電所7号機工事の内発電所本館建物新設工事 原子力建屋』)より抜粋。

3.4 評価方法

3.4.1 集水管の変形量算出方法

集水管は、横断方向断面（管軸直交方向）について評価を実施する。

(1) 地震荷重の設定

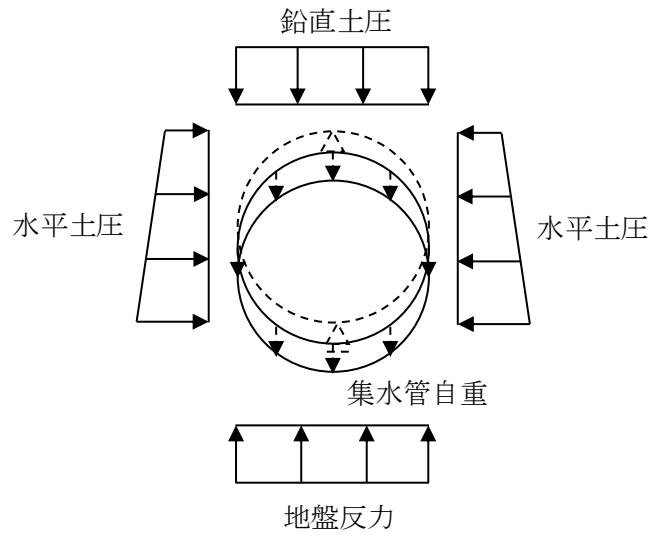
地震荷重は、原子炉建屋基礎スラブ底面位置の地盤に発生する水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度を算出し設定する。

(2) 横断方向断面の検討

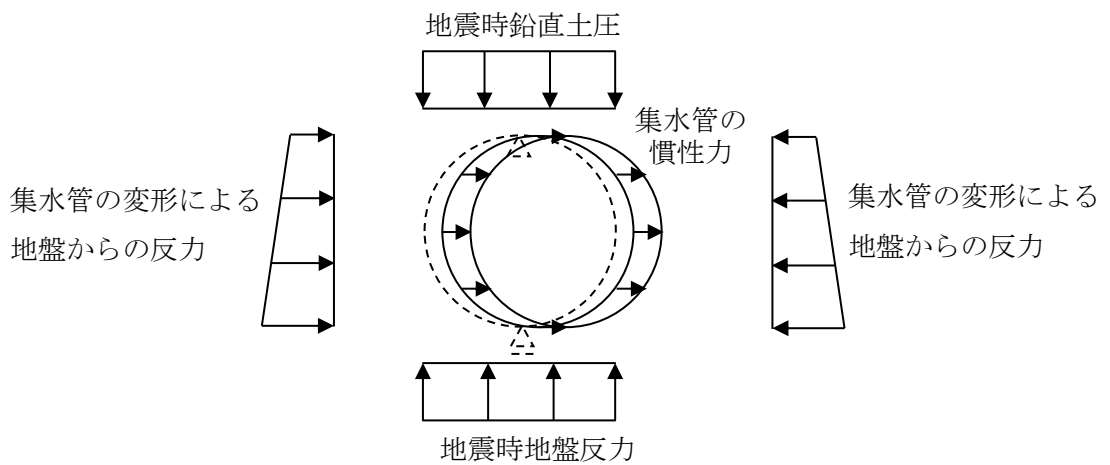
集水管の横断方向断面の検討は、一次元波動論による地盤の応答解析によって得られた最大応答加速度を震度として設定したフレーム解析とする。震度は鉛直最大応答加速度に着目して、地震時慣性力を設定する。構造部材は円形状にモデル化した線形はり要素とし、地震時慣性力を一方向から静的に載荷し、最大変形量を算出する。解析には、解析コード「FRAME」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

図3-3に解析モデルを示す。また、集水管の構造諸元と物性値を表3-3、表3-4に示す。

固定荷重 (G)



地震荷重 (S s)



注：鉛直土圧による水平増分は $k_0 = \nu d / (1 - \nu d)$ を鉛直応力に乘じる。
 ここで、 νd は 6,7 号物性の砂層の動ポアソン比 0.41 とする。

図 3-3 横断方向断面のフレーム解析モデル

表 3-3 集水管(SUS 管)の断面諸元

	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	部材ピッチ (mm)
ワイヤー	5.290	6.219	3.1
リング	9.000	18.000	7.0

なお、集水管は図 2-2 に示す通り、ワイヤーとリングをロッドにより固定する構造である。評価においては保守的にロッドの断面二次モーメントを見込まないこととした。

表 3-4 集水管(SUS 管)の物性値

材料	単位体積重量	ヤング係数
SUS304	77.8 kN/m ³	193×10 ⁶ kN/m ²

3.4.2 断面の評価方法

集水管は、地震時に内空断面を確保して集水する機能が求められる。そのため、横断方向断面に発生するひずみ率が、許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 フレーム解析による評価結果

(1) 地震荷重

集水管に作用する地震荷重は、原子炉建屋基礎スラブ底面位置(T. M. S. L. -13.70m)における最大応答加速度を用いて、V-2-2-別添 1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」より次元波動論による地盤の応答解析にて算出する。Ss-1～Ss-8 について標準地盤ケースおよび地盤定数の不確かさを考慮したケース (+ σ 地盤, - σ 地盤) を実施し、最大応答加速度が最大となった Ss-1(- σ 地盤)の結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 地盤の応答解析より得られた最大応答加速度

方向	最大応答加速度 (m/s^2)	地震動
鉛直	6.08	Ss-1 (- σ 地盤)

(2) 評価結果

フレーム解析より得られた最大変形量について、集水管外径の 239 mm で除し、発生ひずみ率を算出する。集水管の照査を実施した結果を表 4-2 に示す。

S s 地震時において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-2 集水管の評価結果

検討条件	鉛直震度 Ss-1 (-σ 地盤)	$K_V=0.62$
最大変形量 発生ひずみ率	最大変形量	14.4 mm
	発生ひずみ率 (SUS φ 200 外径 239mm)	6.0 %
許容限界	許容ひずみ率	8%

参考資料 1. 6号機側集水管の耐震性について

1. 概要

集水を期待する7号機の原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋を囲む集水管について，6号機側の建屋を含め設置していることから，6号機側集水管の耐震性についても確認をする。

2. 評価方針

6号機側集水管の耐震性評価については，本計算書に則り，集水管の変形量による評価において断面の評価を行うことで，地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

なお，地震時に対する評価は，集水管に生じる変形量が地下水排水設備の建設時に実施した強度試験結果に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3. 許容限界

集水管の評価における許容限界は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき，表3-1のとおりSD集水管・排水管材料試験報告書に基づき設定する。

集水管のひずみ率は，油圧式耐圧試験機を用いた集水管の直径方向のへん平試験を行って荷重変位曲線を求めている。

荷重変位曲線図を図3-2に示す。

集水管の許容限界は，図3-2の荷重変位曲線図から概ね弾性と認められる許容強度範囲を設定して求めた，発生ひずみ率4%以下とする。

表 3-1 集水管の評価における許容限界

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界*
構造強度を有すること	基準地震動 S _s	集水管	部材に生じる応力が内空断面を確保するための許容限界を超えないことを確認	ひずみ率 4%
通水機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	集水管	部材に生じる応力が内空断面を確保するための許容限界を超えないことを確認	ひずみ率 4%

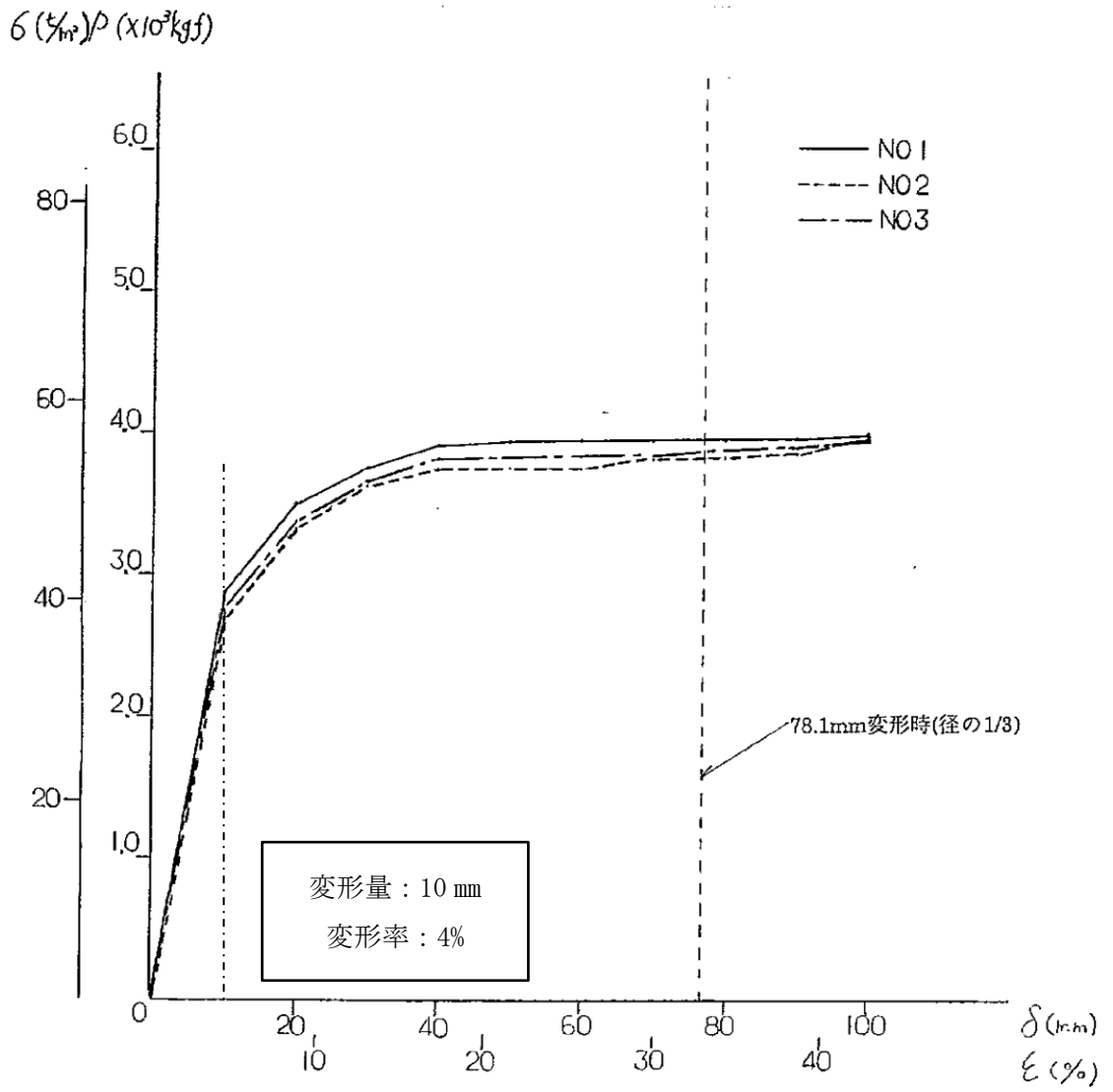


図3-1 集水管の荷重-変位曲線図

注 : 竣工図書「SD 集水管・排水管材料試験報告書」より抜粋。

4. 評価方法

4.1 集水管の変形量算出方法

集水管は、横断方向断面（管軸直交方向）について評価を実施する。

(1) 地震荷重の設定

地震荷重は、原子炉建屋基礎スラブ底面位置の地盤に発生する水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度を算出し設定する。

(2) 横断方向断面の検討

集水管の横断方向断面の検討は、一次元波動論による地盤の応答解析によって得られた最大応答加速度を震度として設定したフレーム解析とする。震度は鉛直最大応答加速度に着目して地震時慣性力を設定する。構造部材は円形状にモデル化した線形はり要素とし、地震時慣性力を一方向から静的に載荷し、最大変形量を算出する。解析には、解析コード「FRAME」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

集水管の構造諸元と物性値を表 4-1、表 4-2 に示す。

表 4-1 集水管(SUS 管)の断面諸元

材料名	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	部材ピッチ (mm)
ワイヤー	9.0	6.500	5.0
リング	1661.4*	5849.513*	—

注* : パイプの断面積，断面二次モーメントは試験片長 300mm 当たりの値

表 4-2 集水管(SUS 管)の物性値

材料	単位体積重量	ヤング係数
SUS304	77.8 kN/m ³	193×10 ⁶ kN/m ²

4.2 断面の評価方法

集水管は、地震時に内空断面を確保して集水する機能が求められる。そのため、横断方向断面に発生するひずみ率が、許容限界を超えないことを確認する。

5. 評価結果

5.1 フレーム解析による評価結果

(1) 地震荷重

集水管に作用する地震荷重は、原子炉建屋基礎スラブ底面位置(T.M.S.L. -13.70m)における最大応答加速度を用いて、V-2-2-別添 1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」より一次元波動論による地盤の応答解析にて算出する。Ss-1～Ss-8 について標準地盤ケースおよび地盤定数の不確かさを考慮したケース (+ σ 地盤, - σ 地盤) を実施し、最大応答加速度が最大となった Ss-1(- σ 地盤)の結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 地盤の応答解析より得られた最大応答加速度

方向	最大応答加速度 (m/s ²)	地震動
鉛直	6.08	Ss-1 (- σ 地盤)

(2) 評価結果

フレーム解析より得られた最大変形量について、集水管外径の 216.3 mm で除し、発生ひずみ率を算出する。集水管の照査を実施した結果を表 5-2 に示す。

S s 地震時において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-2 集水管の評価結果

検討条件	鉛直震度 Ss-1 (- σ 地盤)	Kv=0.62
最大変形量 発生ひずみ率	最大変形量	3.2 mm
	発生ひずみ率 (SUS ϕ 200 外径 216.3mm)	1.5 %
許容限界	許容ひずみ率	4%