

柏崎刈羽原子力発電所6号機  
建物・構築物の耐震安全性評価について

(第30回構造WGでの指摘事項に関する回答)

平成21年3月31日

東京電力株式会社

## ○コメント内容

排気筒のオイルダンパーの性能には、温度依存性がないのか。  
(平成 21 年 3 月 11 日 耐震・構造設計小委員会構造 WG(第 30 回))

## ○回答

排気筒で採用しているオイルダンパーの性能には、温度依存性はあるものの、基本的に油の粘性に期待せず、流体抵抗を利用しているため、その機構上、減衰係数の変動は非常に小さいという特徴がある。(オイルダンパーの概要については「参考資料」を参照)

今回、取付けたオイルダンパーについて、油の温度を変化させながら減衰係数の変動を調べた結果を図-1に示す。なお、結果は油温度 20℃のときの減衰係数を基準(1.0)としている。また、本試験の条件を表-1、状況を図-2に示す。

図-1 より減衰係数は低温側で大きく、高温側で小さくなるものの、その変動は非常に小さいことがわかる。

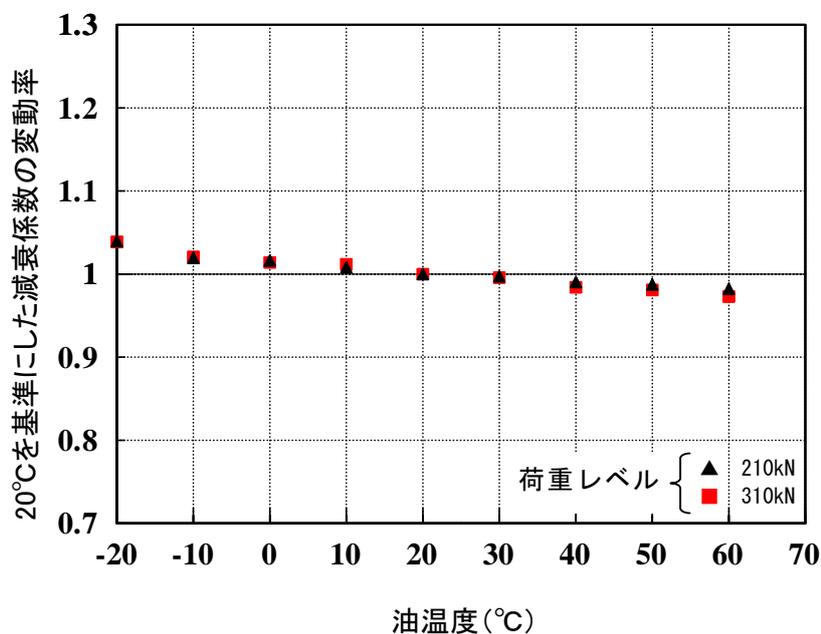


図-1 温度依存性試験の結果

表-1 温度依存性試験の条件

項目	内容	備考
試験体	実物のオイルダンパー	
荷重	210kN、310kN	左記の2つの荷重で減衰係数を測定する。なお、オイルダンパーの最大荷重は以下の通りである。 6号機:約270kN
温度条件	-20℃～+60℃ (油温)	左記の温度範囲を10℃刻みで計測する。

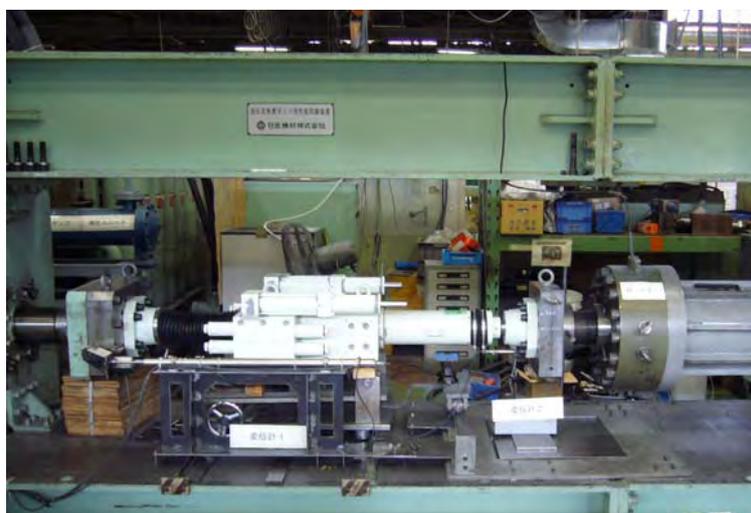


図-2 温度依存性試験の状況

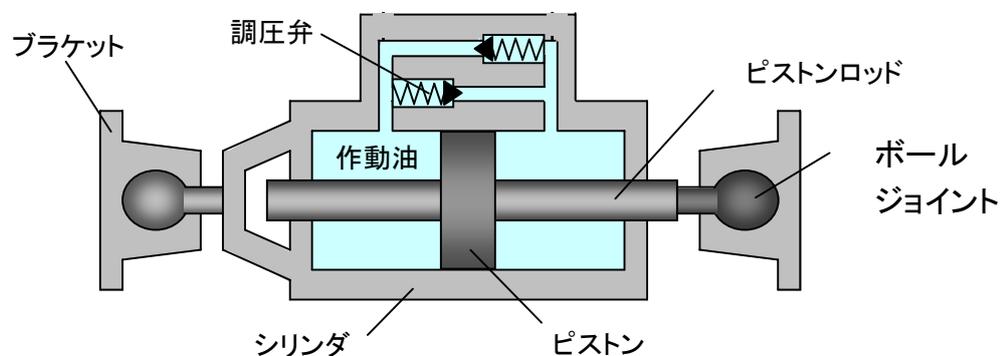
以上

## 参考資料 オイルダンパーの概要について

### 1. 内部機構の概要

今回採用したオイルダンパーの内部機構概念図を参図-1 に示す。本ダンパーは、内封油を若干加圧した状態で密閉するため、立てた状態の設置も可能であり、外部振動の影響を受けにくい構造である。

構造体への取り付けは、ダンパー両端のブラケットを介して高力ボルトによる引張接合となっている。ブラケットは全方向に回転可能なボールジョイントを内蔵しており、3次元的な変形に対する追従性を確保している。

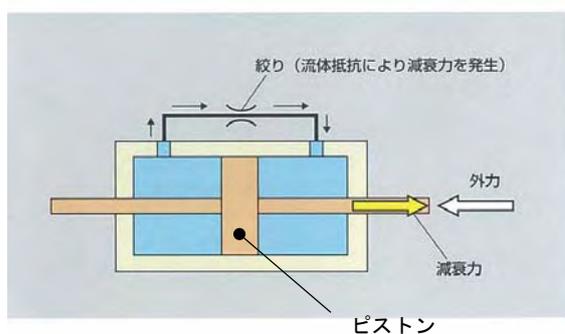


参図-1 制震用オイルダンパーの内部機構概念図

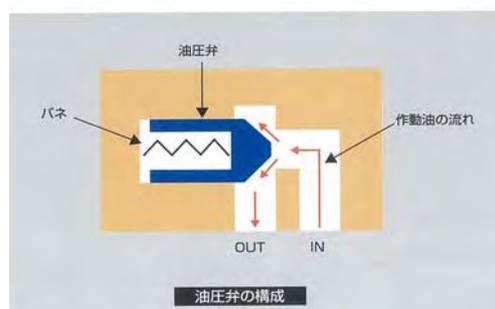
## 2. オイルダンパーの減衰特性

オイルダンパーの基本原理は水鉄砲と同じである。但し、オイルダンパーではピストン両側の油圧室を連結する流路に開口部（絞り）を設けてあり、ピストンの往復動に対して減衰力が発生する仕組みになっている。（参図-2）

オイルダンパーに採用されている調圧弁は、ばねにより圧力と流量の関係を調整することで、ピストン速度に比例した線形の減衰力を発生させる役割を果たす。（参図-3）



参図-2 油の流れと抵抗力の関係



参図-3 調圧弁の構造

## ○コメント内容

非常用取水路の耐震安全性評価において、材料非線形解析手法を用いたせん断耐力の判断基準について説明すること。

(平成 21 年 3 月 11 日 耐震・構造設計小委員会構造 WG(第 30 回))

## ○回答

### 1. 材料非線形解析手法について

非常用取水路の耐震安全性評価において、部材のせん断耐力は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, 土木学会原子力土木委員会, 2005 年 6 月」に基づき、「せん断耐力評価式(等価せん断スパン比)を用いた方法」により算定することを基本とし、裕度が比較的小さい場合には、部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析により算定している。

このうち、材料非線形解析手法を用いた部材のせん断耐力について、以下に示す。

#### (1) 解析手順

材料非線形解析は検討対象部材を有限要素でモデル化し(図-1)、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、同荷重比率を維持しながら漸増载荷する(図-2)。

#### (2) 材料特性

コンクリートの圧縮応力下の応力-ひずみ関係は、最大応力点を越えた軟化域まで表す曲線とし、残留塑性ひずみと除荷再载荷時の剛性低下を表すものを用いる。また、引張応力下の応力-ひずみ関係には、鉄筋コンクリートにおけるコンクリートと鉄筋の付着効果等による相互作用を包含している(「参考資料」を参照)。

材料非線形解析を用いたせん断耐力については、以上の解析により得られた結果を用いて、荷重ステップ毎の変位増分の拡大状況などを参照して判断している。

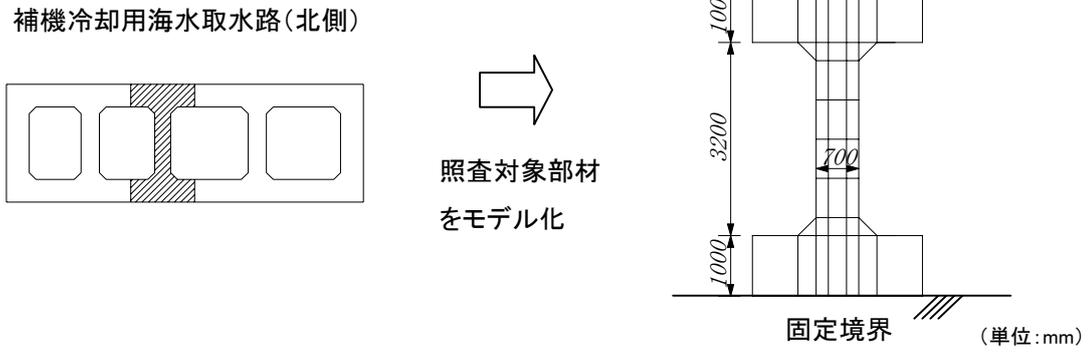


図-1 材料非線形解析モデル(例:補機冷却用海水取水路(北側)隔壁部)

(部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布)

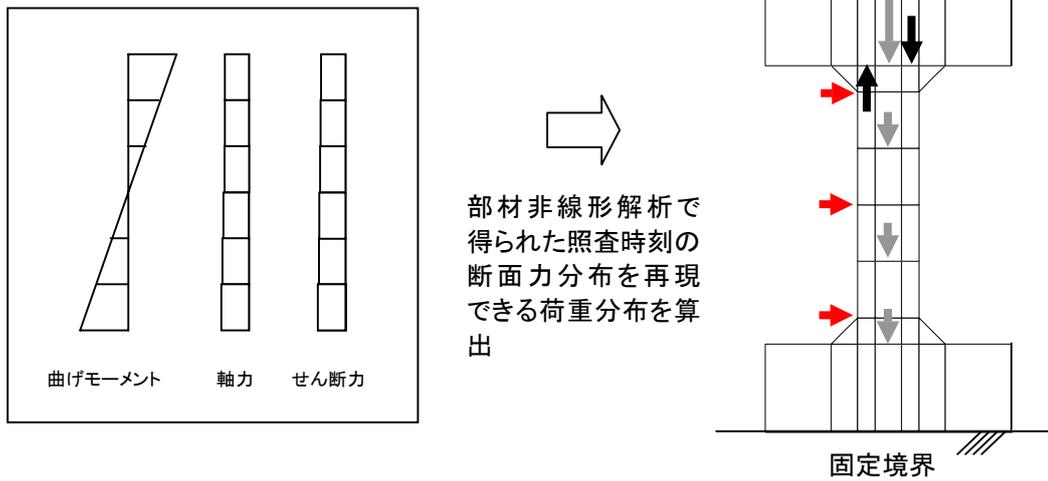


図-2 材料非線形解析手法における荷重方法の概念図

## 2. 部材のせん断耐力の算定例

非常用取水路うち、補機冷却用海水取水路の隔壁部の耐震安全性評価において、材料非線形解析手法を用いた部材のせん断耐力の算定結果を示す。

図-3に、材料非線形解析から得られたせん断力～頂底版間の相対変位関係、および下図に示す要素のひずみ～頂底版間の相対変位関係を示す。

解析の結果から、せん断力～頂底版間の相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位の増分が急増しており、これ以降、要素のひずみの増分も変化している点を部材のせん断耐力と判断している。

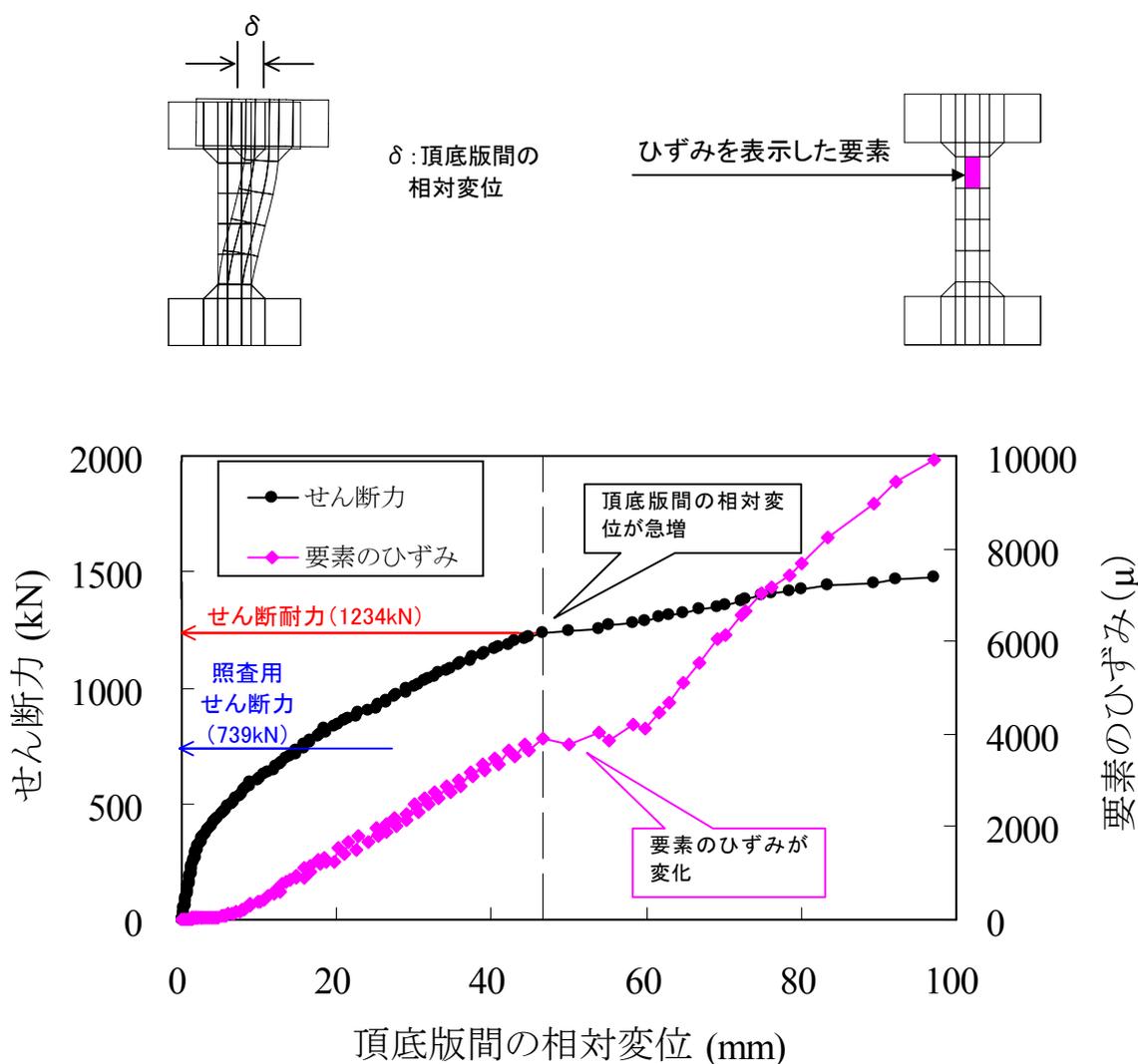


図-3 材料非線形解析結果(例:補機冷却用海水取水路(北側)隔壁部)

参考資料 材料非線形解析の非線形特性について

部材のせん断耐力の算定に用いた材料非線形解析の非線形特性について、以下に示す。

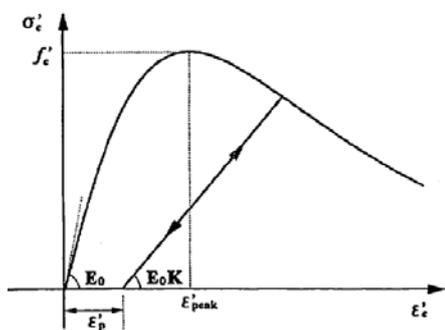
1. 材料の非線形特性

(1) コンクリート

コンクリートの非線形特性を参図-1に示す。

圧縮領域の応力-ひずみの骨格曲線は最大応力点を越えた軟化領域も表し、応力履歴については残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、引張領域に適用する軸方向の平均応力-平均ひずみの骨格曲線は鉄筋との付着作用を包含し、ひび割れ発生以降もひび割れ間のコンクリートが引張応力を分担することを考慮している。



$$\sigma_c = E_0 K (\epsilon_c - \epsilon_p^r) \geq 0$$

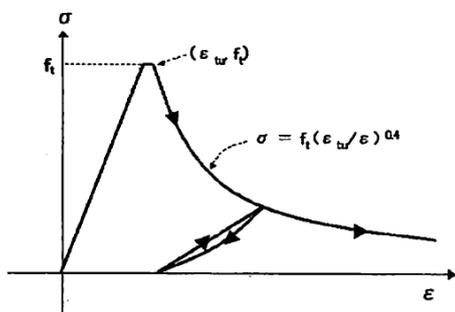
$$E_0 = \frac{2 \cdot f_{cd}}{\epsilon_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\epsilon_{max}}{\epsilon_{peak}} \left( 1 - \exp \left( -1.25 \frac{\epsilon_{max}}{\epsilon_{peak}} \right) \right) \right\}$$

$$\epsilon_p^r = \epsilon_{max} - 2.86 \cdot \epsilon_{peak} (1 - \exp(-0.35 \frac{\epsilon_{max}}{\epsilon_{peak}}))$$

ここに、  
 $\epsilon_{peak}$  : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい)  
 $\epsilon_{max}$  : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値  
 $\epsilon_p^r$  : 塑性ひずみ  
 $K$  : 弾性剛性残存率

(圧縮応力下の履歴モデル)



ここに、  
 $\sigma_t$  : 引張応力  
 $\epsilon_t$  : 引張ひずみ  
 $f_t$  : 引張強度  
 $\epsilon_{tu}$  : ひび割れ発生限界ひずみ

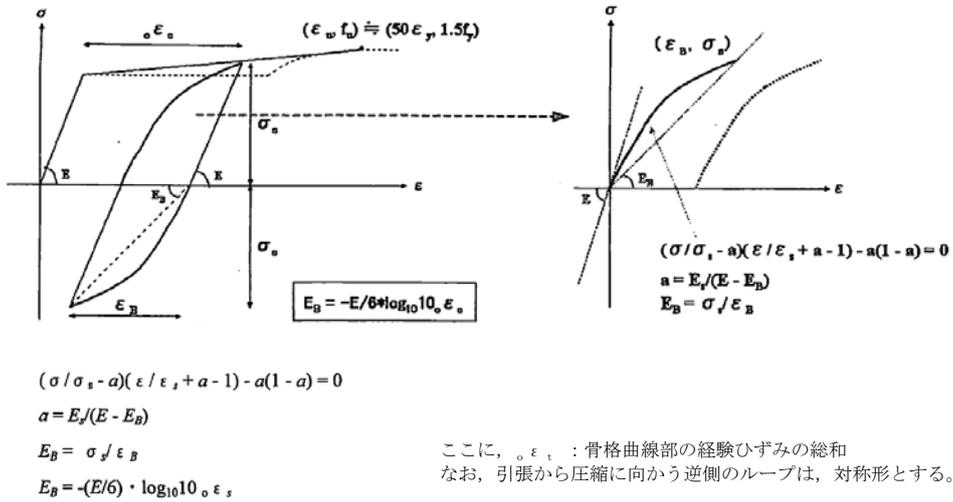
(引張応力下の履歴モデル)

参図-1 コンクリートの履歴モデル<sup>1)</sup>

(2) 鉄筋

鉄筋の非線形特性を参図-2に示す。

鉄筋の応力-ひずみ骨格曲線は鉄筋降伏以後の部材の変形を算定するため、ひずみ硬化を考慮している。



参図-2 鉄筋の履歴モデル<sup>1)</sup>

2. 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

鉄筋とコンクリートの界面の付着特性をテンションステイフィング効果(引張特性が硬化する現象)として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成側を直接与えるモデルとする。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、次式<sup>2)</sup>で表せる。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに、 $\bar{\sigma}_s$ ,  $\bar{\sigma}_c$  : それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力  
 $A_s$ ,  $A_c$  : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積,  $A_{RC} = A_s + A_c$

以上

<参考文献>

- 1)「2007年制定 コンクリート標準示方書(設計編)」土木学会, 2007
- 2)「原子力発電所屋外重要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル」土木学会原子力土木委員会, 2005