

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-014-02
提出年月日	2022年6月27日

VI-3-別添 2-1-2 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口の強度計算の方針

2022年6月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	5
4.1 荷重及び荷重の組合せ	5
4.2 許容限界	9
5. 強度評価方法	11
5.1 評価条件	11
5.2 評価対象部位	11
5.3 強度評価方法	12
6. 適用規格・基準等	17

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」にて設定している非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口（以下「ディーゼル機関給気口」という。）が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」に示す適用規格・基準等を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、ディーゼル機関給気口の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-4「非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格・基準等」で示す適用規格・基準等を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、ディーゼル機関給気口を強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定しているディーゼル機関給気口が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、ディーゼル機関給気口の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

ディーゼル機関給気口は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、架構を基礎部に固定し、ディーゼル機関給気口の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 構造設計

ディーゼル機関給気口は、適切な強度を有する鋼製の天板及び架構を主体構造とし、原子炉建物屋上に設けた基礎部に固定する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する給気口上面の天板に作用し、天板に接続する架構を介して基礎部に伝達する構造とする。また、風（台風）による水平荷重に対しては、架構に作用し、架構を介して基礎部に伝達する構造とする。

ディーゼル機関給気口の構造計画を表 3-1 に示す。

(2) 評価方針

ディーゼル機関給気口は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、ディーゼル機関給気口を構成する天板及び架構が、おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-4「非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口の強度計算書」に示す。

表 3-1 ディーゼル機関給気口の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】 ディーゼル機関給気口は、原子炉建物の屋上に設置する設計とする。</p>			
ディーゼル機関給気口	鋼製の天板及び架構により構成する。	原子炉建物屋上の基礎部に固定する。	<p>(a) 上面図 (b) 側面図 (A-A矢視) (c) 側面図 (B-B矢視)</p>

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って、持続的に生じる荷重である自重とする。

b. 降下火砕物による荷重(F_a)

降下火砕物による荷重は、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、湿潤密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物が 56cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに $147.1\text{N}/\text{m}^2$ の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 積雪荷重(F_s)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4. 組合せ」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、松江地方气象台での観察記録（1941年～2018年）により設定した設計基準積雪量 100cm に平均的な積雪荷重*を与えるための係数 0.35 を考慮し、 35cm とする。積雪荷重については、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1cm ごとに $20\text{N}/\text{m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し算出する。

注記*：建築物の構造関係技術基準解説書

d. 風荷重(W)

風荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた松江市の基準風速である30m/sとする。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重については、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)b. 荷重の組合せ」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 荷重の組合せ

ディーゼル機関給気口の強度評価における荷重については、施設の設置状況及び構造等を考慮し、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせ設定する。ディーゼル機関給気口の荷重の組合せを考慮した結果を表4-1に示す。

表4-1 荷重の組合せ

考慮する荷重の組合せ	荷重			
	常時作用する荷重(F_d)	降下火砕物による荷重(F_a)	積雪荷重(F_s)	風荷重(W)
ケース1	○	○	○	○

注：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	風の受圧面積（風向に垂直な面を投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E _r	—	建設省告示第 1 4 5 4 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F _a	N/m ²	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F _d	N/m ²	常時作用する荷重
F _s	N/m ²	積雪荷重
F _v	N/m ²	降下火砕物の荷重と積雪による荷重の和
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度（=9.80665）
H	m	全高
H _a	m	降下火砕物の層厚
H _s	cm	積雪深
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z _b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
Z _G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
ρ ₁	kg/m ³	降下火砕物の湿潤密度
ρ ₂	N/(m ² ・cm)	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho_1 \cdot g \cdot H_a$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = \rho_2 \cdot H_s$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏ませた鉛直荷重（以下「降下火砕物等の堆積による鉛直荷重」という。）は、次式のとおり算出する。

$$F_v = F_a + F_s$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ_1 (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (m)	ρ_2 (N/(m ² ・cm))	H_s (cm)
1500	9.80665	0.56	20	35

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、8938N/m²とする。

c. 水平荷重

水平荷重については、風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30m/s に設定し、風荷重を算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき、以下のとおりとする。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合)}$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合)}$$

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

(1) 天板及び架構

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重，風（台風）による水平荷重及びその他の荷重に対し，ディーゼル機関給気口を構成する天板及び架構が，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987

（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に準じて許容応力状態Ⅲ_{A S}の許容応力を許容限界として設定する。許容応力状態Ⅲ_{A S}におけるディーゼル機関給気口の許容限界を表 4-5 に示す。

表 4-4 許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
ディーゼル機関給気口	$F_d + F_v$	天板	曲げ	部材が弾性域に留まらず，塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ _{A S} の許容応力以下とする。
	$F_d + F_v + W$	架構	曲げ，圧縮，座屈		

表 4-5 ディーゼル機関給気口の許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)		
	一次応力		
	圧縮	曲げ	座屈
Ⅲ A S	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$\frac{\sigma_b^2}{1.5 \cdot f_b} + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示すとおり、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いて算出

風荷重による影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として発生する荷重の合計が、集中荷重として給気口の上端部に作用するものとする。これは、J E A G 4 6 0 1 耐震評価における 1 質点系モデルと等価なものであり、地震荷重を風荷重と置き換え J E A G 4 6 0 1 に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、ディーゼル機関給気口の強度評価方法を以下に示す。

5.1 評価条件

ディーゼル機関給気口の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (1) 降下火砕物が堆積する天板に対し、等分布荷重が作用する 4 辺固定長方形板として機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。計算モデル図を図 5-1 に示す。
- (2) 風荷重による影響が大きな架構の強度計算モデルは、1 質点系モデルとして評価を行う。なお、1 質点系モデルの強度計算において、ディーゼル機関給気口の上端に集中荷重として作用するものとする。計算モデル図を図 5-2 に示す。
- (3) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 降下火砕物等の堆積による鉛直方向荷重については、天板の投影面積又は天板の補強材で囲まれた領域に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

5.2 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
天板	曲げ
架構	曲げ、圧縮、座屈

5.3 強度評価方法

(1) 記号の説明

ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A _o	m ²	天板の降下火砕物等の堆積面積（補強材で囲まれた領域の面積）
A ₁	mm ²	架構の断面積
a	m	天板のうち補強材で囲まれた領域の短辺側の長さ
b	m	天板のうち補強材で囲まれた領域の長辺側の長さ
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
E'	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E _r	—	建設省告示第1454号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1 (1) により規定される値
F _{d1}	N	自重により天板に作用する荷重
F _{d2}	N	自重により架構に作用する荷重
F _{k1}	N	降下火砕物の堆積により天板に作用する鉛直荷重
F _{k2}	N	降下火砕物の堆積により架構に作用する鉛直荷重
F _{s1}	N	積雪により天板に作用する鉛直荷重
F _{s2}	N	積雪により架構に作用する鉛直荷重
f _b	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態AおよびBでの許容曲げ応力
f _c	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態AおよびBでの許容圧縮応力
G	—	ガスト影響係数

表 5-2 ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
g	m/s^2	重力加速度 (=9.80665)
H	m	地表面からの給気口高さ (建物含む)
H_f	mm	給気口高さ (全高)
H_{f1}	m	給気口高さ (胴部)
H_{f2}	m	給気口高さ (フード部)
h_k	m	降下火砕物の堆積高さ
h_s	m	積雪高さ
l_1	m	天板の短辺側の長さ
l_2	m	天板の長辺側の長さ
l_3	m	給気口 (胴部) の長辺側の長さ
M_o	$N \cdot mm$	風荷重により架構に作用する曲げモーメント
m	kg	給気口の自重
p	MPa	天板に作用する等分布荷重
q	N/m^2	設計用速度圧
r	m	給気口 (フード部) の端部の丸みの半径
S_y	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
t	mm	天板の板厚
V_D	m/s	地域区分に応じて建設省告示 1 4 5 4 号に掲げる基準風速
W	N	風荷重
Z_1	mm^3	架構の断面係数
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1 4 5 4 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1 4 5 4 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1 4 5 4 号に掲げる数値
β	—	荷重と拘束条件により定まる長方形板の最大応力の係数
π	—	円周率

表 5-2 ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
ρ_d	kg/m ³	天板材の密度
ρ_k	kg/m ³	降下火砕物の密度
ρ_s	N/m ² /cm	積雪の単位荷重
σ_{b1}	MPa	天板に生じる曲げ応力
σ_{b2}	MPa	架構に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力

(2) 計算モデル

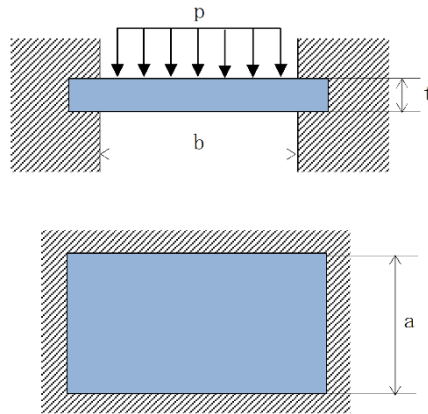


図 5-1 計算モデル (天板)

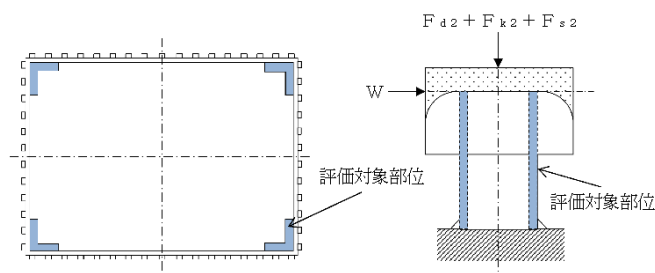


図 5-2 計算モデル図 (架構)

(3) 強度評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 常時作用する荷重

天板に常時作用する荷重 (F_{d1}) は、天板の補強材で囲まれた領域の自重を考慮する。

$$F_{d1} = t / 10^3 \cdot A_o \cdot \rho_d \cdot g$$

ここで、

$$A_o = a \cdot b$$

架構に常時作用する荷重 (F_{d2}) は、給気口の自重を考慮する。

$$F_{d2} = m \cdot g$$

(b) 降下火砕物の堆積による鉛直荷重 (F_{k1} , F_{k2})

降下火砕物の堆積高さは、 $h_k = 0.56\text{m}$ とする。

降下火砕物の堆積により天板に作用する鉛直荷重 (F_{k1}) は、天板の補強材で囲まれた領域に火山灰が堆積することを考慮する。

$$F_{k1} = \rho_k \cdot A_o \cdot h_k \cdot g$$

降下火砕物の堆積により架構に作用する鉛直荷重 (F_{k2}) は、天板の投影面積に火山灰が堆積することを考慮する。

$$F_{k2} = \{2 \cdot (r^2 - \pi \cdot r^2 / 4) \cdot l_2 + l_1 \cdot l_2 \cdot h_k\} \cdot \rho_k \cdot g$$

(c) 積雪による鉛直荷重 (F_{s1} , F_{s2})

積雪高さは、 $h_s = 0.35\text{m}$ とする。

積雪により天板に作用する鉛直荷重 (F_{s1}) は、天板の補強材で囲まれた領域に雪が堆積することを考慮する。

$$F_{s1} = \rho_s \cdot A_o \cdot h_s \cdot 10^2$$

積雪により架構に作用する鉛直荷重 (F_{s2}) は、天板の投影面積に雪が堆積することを考慮する。

$$F_{s2} = \rho_s \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot h_s \cdot 10^2$$

b. 天板の応力

鉛直荷重により天板に作用する最大曲げ応力 σ_{b1} は次による。

$$\sigma_{b1} = \frac{\beta \cdot p \cdot (a \cdot 10^3)^2}{t^2}$$

ここで、

$$p = \frac{F_{d1} + F_{k1} + F_{s1}}{A_o \cdot 10^6}$$

c. 架構の応力

(a) 曲げ応力

架構の計算モデルは 1 質点系モデルとし、給気口の上端に風荷重が作用することとする。

架構に生じる最大曲げ応力 σ_{b2} は次による。

$$\sigma_{b2} = \frac{M_o}{Z_1}$$

ここで、

$$M_o = W \cdot H_f$$

(b) 圧縮応力

圧縮応力は、給気口の自重と降下火砕物及び積雪による荷重が作用することによる。

架構に生じる圧縮応力 σ_c は次による。

$$\sigma_c = \frac{F_{d2} + F_{k2} + F_{s2}}{A_1}$$

(c) 座屈評価

座屈評価は、次の式により行う。

$$\frac{\sigma_{b2}}{1.5 \cdot f_b} + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$$

6. 適用規格・基準等

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格・基準等を示している。

これらのうち、ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる規格、基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日 松江市規則第 234 号）
- (3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 年改定）
- (4) 日本産業規格（JIS G 3192（2014））
- (5) 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）
- (6) 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）
- (7) 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）
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
（ J S M E S N C 1 - 2005/2007）（（社）日本機械学会）
- (9) 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1984 年）