

柏崎刈羽原子力発電所第6号機	設計及び工事計画審査資料
資料番号	KK6 添-3-013-15 改0
提出年月日	2023年12月21日

VI-3-別添 1-9-1 建屋の強度計算書

K6 ① VI-3-別添 1-9-1 R0

2023年12月
東京電力ホールディングス株式会社

VI-3-別添 1-9-1 建屋の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格	8
3. 強度評価方法	9
3.1 記号の定義	9
3.2 評価対象	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	10
3.4 許容限界	11
3.5 評価方法	12
4. 評価条件	15
5. 強度評価結果	17

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である 5 号機タービン建屋が、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包する 6 号機タービン建屋に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

サービス建屋の強度に関する評価は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機的设计及び工事の計画の V-3-別添 1-9-1「建屋の強度計算書」によるものとし、サービス建屋がコントロール建屋に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認している。

2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

5 号機タービン建屋は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、6 号機タービン建屋に隣接する建屋である。5 号機タービン建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

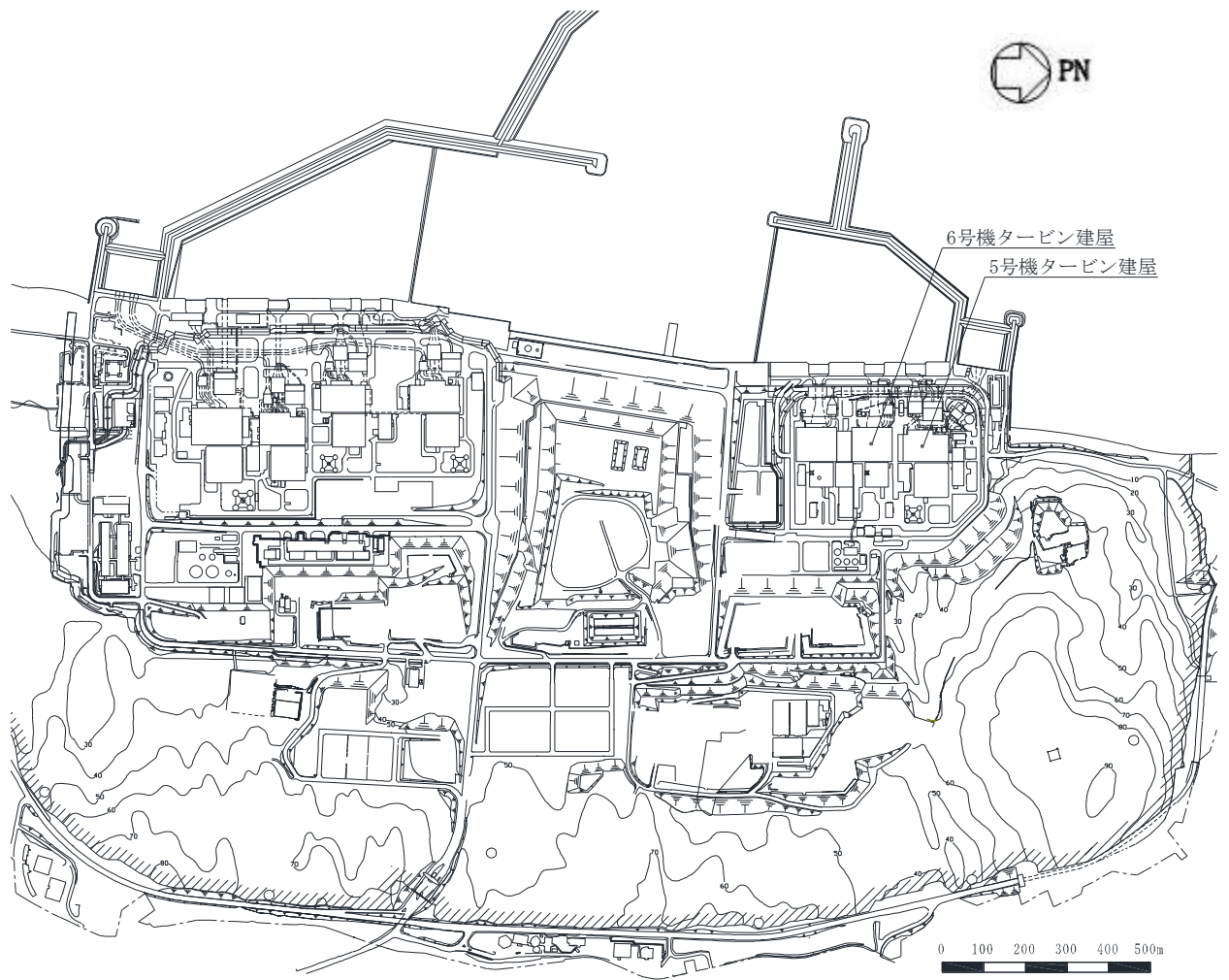


図 2-1 5号機タービン建屋の設置位置

2.2 構造概要

5号機タービン建屋は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

5号機タービン建屋は、地上2階（一部3階）、地下2階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物であり、隣接する6号機タービン建屋と構造的に分離している。5号機タービン建屋の概略断面図を図2-2に、建屋配置図を図2-3に示す。

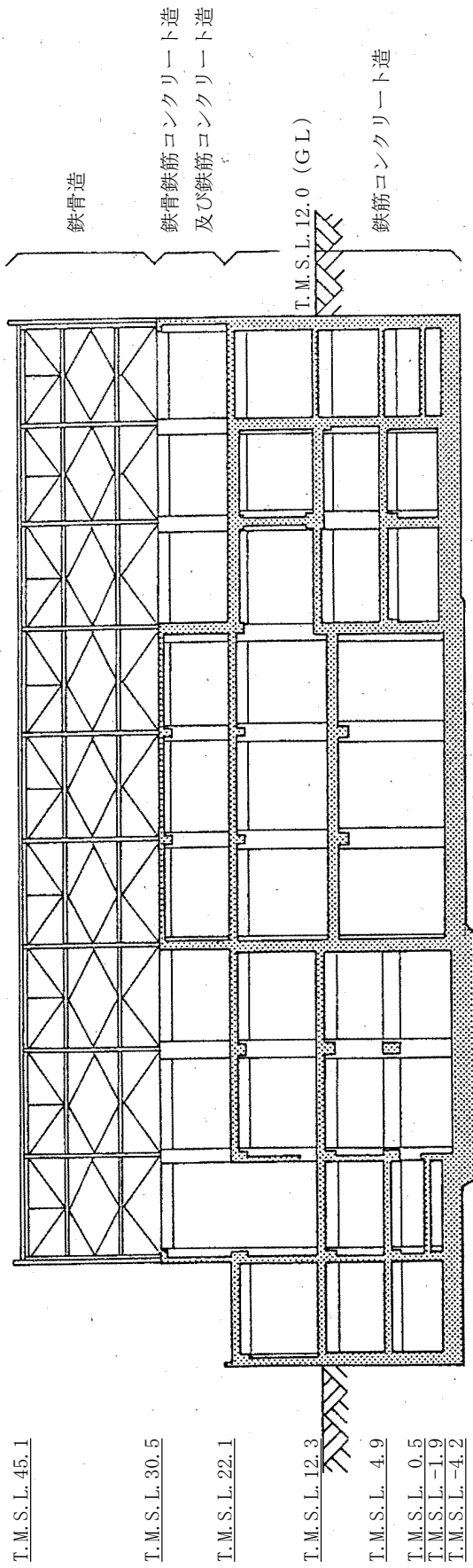
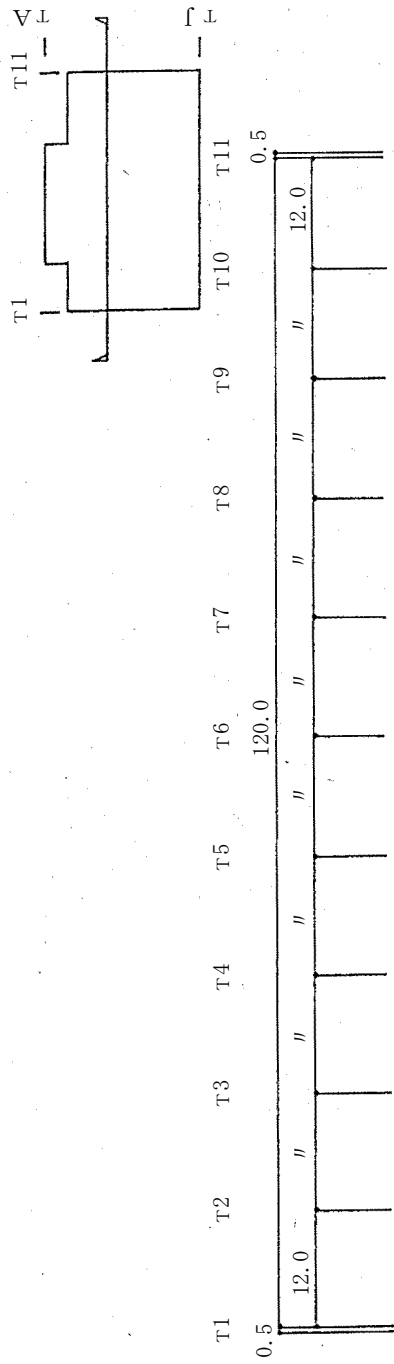
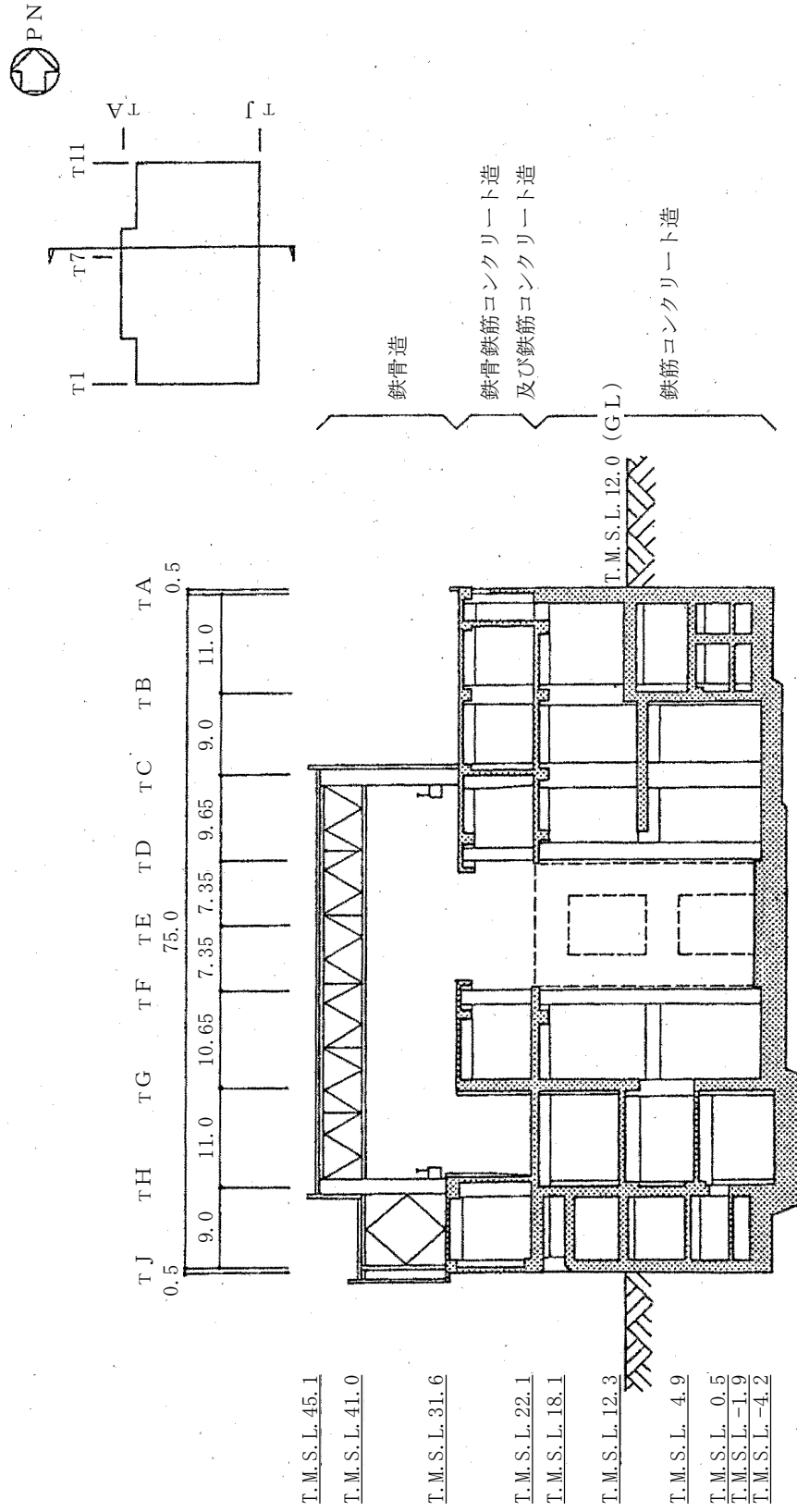


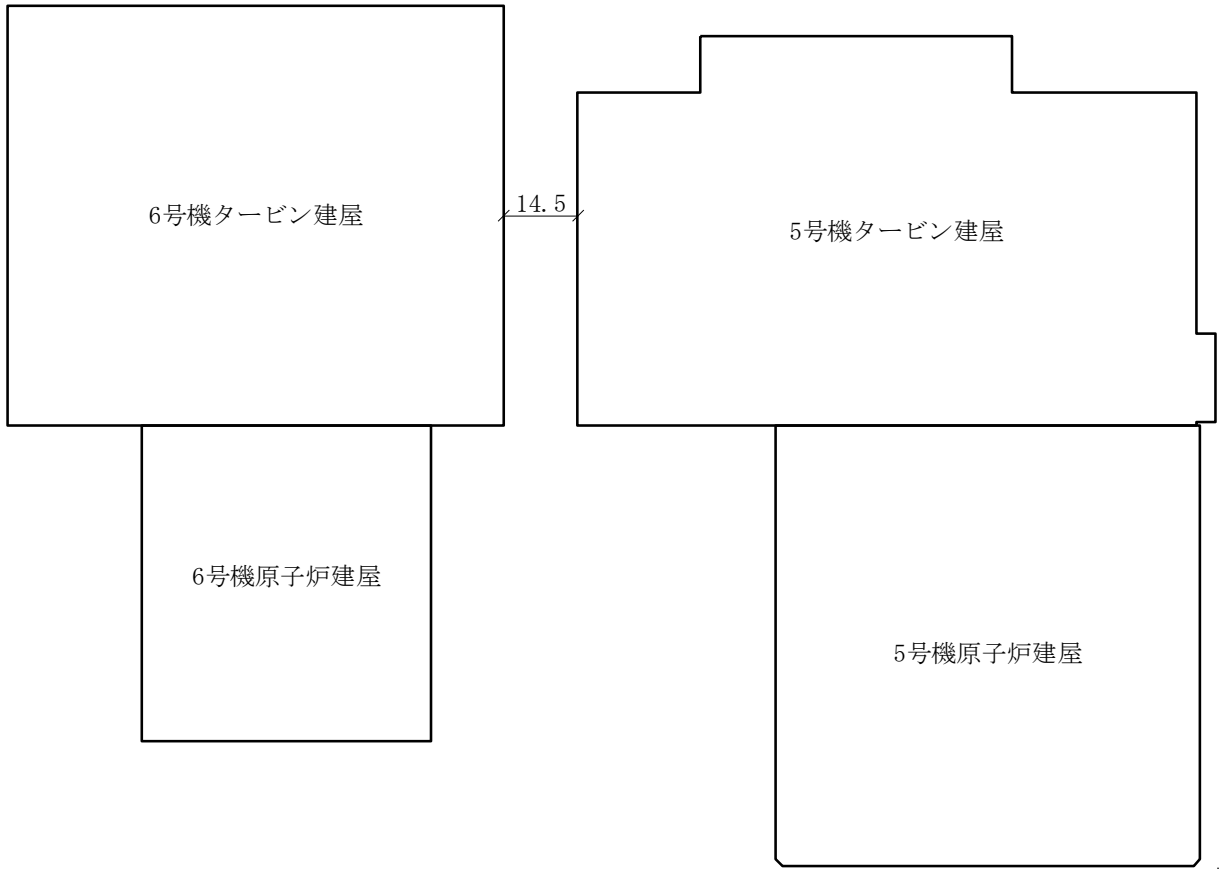
図 2-2 5号機タービン建屋の南北方向断面図 (1/2)

(単位 : m)



(単位：m)

図2-2 5号機タービン建屋の東西方向断面図 (2/2)



(単位：m)

図 2-3 建屋配置図

2.3 評価方針

5号機タービン建屋の強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

5号機タービン建屋の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象を設定する。

具体的には、5号機タービン建屋が、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包する6号機タービン建屋に接触し影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

5号機タービン建屋の構造強度評価については、設計荷重に対する5号機タービン建屋の変形量を算定し、その変形量が6号機タービン建屋と5号機タービン建屋のクリアランスを超えないことを確認する。なお、5号機タービン建屋は6号機タービン建屋の北側に位置することから、NS方向を検討対象とする。

5号機タービン建屋の波及的影響評価フローを図2-4に示す。

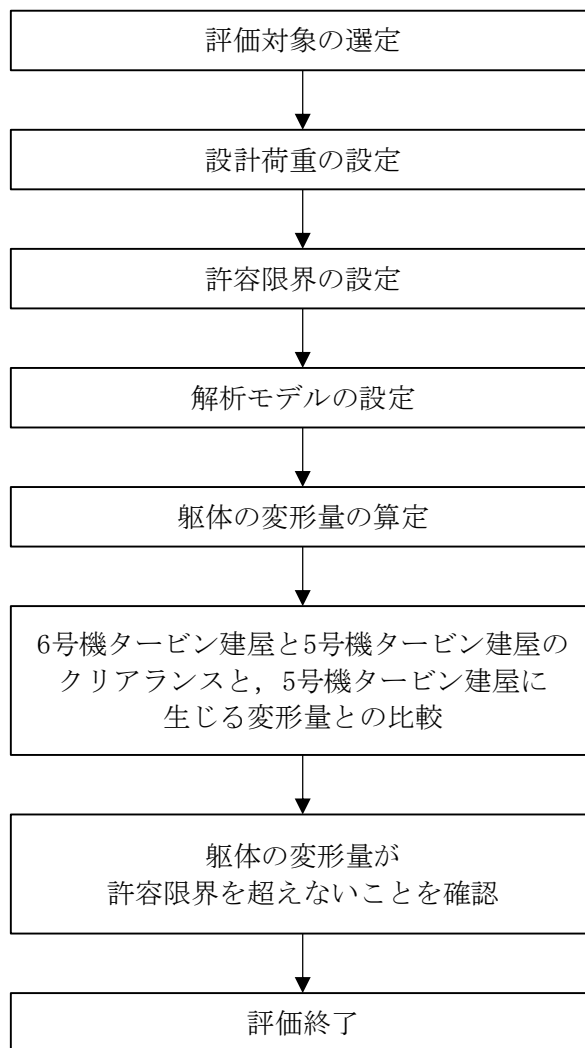


図 2-4 5号機タービン建屋の波及的影響評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」
日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」 日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」 日本電気協会
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO
AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 「建築物荷重指針・同解説」(日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」(日本建築学会, 2005 改定)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

波及的影響に関する強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	施設の受圧面積
C	—	風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	設計竜巻の風速
W _M , F _m	N	設計飛来物による衝撃荷重
W _P	N	気圧差による荷重
W _W	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m ³	空気密度
ΔP _{max}	N/m ²	最大気圧低下量
m	kg	設計飛来物質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度（水平）
τ	s	設計飛来物の被衝突体の接触時間（= L ₁ /V）
L ₁	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

3.2 評価対象

5号機タービン建屋の評価対象は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価基準を踏まえ、5号機タービン建屋構造躯体とする。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで, } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

b. 気圧差による荷重 (W_p)

気圧差による荷重 W_p については、気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P_{MAX} \cdot A$$

c. 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) については、次式の設計飛来物による衝撃荷重の算定式によって算出した運動エネルギーが最大となる鋼製足場板の衝撃荷重 $W_M = F_m = 1100\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$F_m = m \cdot V / \tau = m \cdot V^2 / L_1$$

設計飛来物の諸元を表 3-2 に示す。

表 3-2 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)
鋼製足場板	4×0.25×0.04	14	55	18

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重の組合せを踏まえ、風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による荷重を組み合わせる。なお，常時作用する荷重については，竜巻時せん断力の算定に際しては評価結果に影響しないため考慮しない。

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

設計荷重の種類	荷重の組合せ
複合荷重 W_{T1}	W_P
複合荷重 W_{T2}	$W_W + 1/2 \cdot W_P + W_M$

W_W ：風圧力による荷重

W_P ：気圧差による荷重

W_M ：設計飛来物による衝撃荷重

3.4 許容限界

許容限界は、「2.2 構造概要」に記載した 6 号機タービン建屋と 5 号機タービン建屋のクリアランスとする。

設定した許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-4 5 号機タービン建屋の許容限界

許容限界	6 号機タービン建屋と 5 号機タービン建屋の クリアランス
	14500mm

3.5 評価方法

5号機タービン建屋の変形量は、設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力-せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）より算定する。

5号機タービン建屋の解析モデルを図3-1に、5号機タービン建屋の解析モデル諸元を表3-5に、5号機タービン建屋の鉄骨部の復元力特性を表3-6に、5号機タービン建屋の耐震壁の復元力特性を表3-7に示す。ただし、設計荷重による変形量の算定では、地盤と建屋の相互作用の影響は小さいと考えられることから、地盤ばねは考慮せず、1階床位置で固定と仮定する。

なお、「2.3 評価方針」にて記載したとおり、5号機タービン建屋は6号機タービン建屋の北側に位置するため、NS方向を検討対象とする。

設計荷重のうち、風圧力による荷重 W_w は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 W_p は、建屋の内部から外部に作用することから、建屋層全体の評価においては相殺されるが、保守的に風圧力による荷重 W_w の作用方向のみに作用するものとする。

設計飛来物による衝撃荷重 W_M は、建屋最上部質点に作用するものとする。

なお、5号機タービン建屋は、建屋を2軸（a軸、b軸）に分けた解析モデルを用いているため、軸ごとに衝撃荷重 W_M が作用した場合の検討を実施する。評価対象とするモデルは変形量の評価結果が厳しいb軸を代表とするものとする。

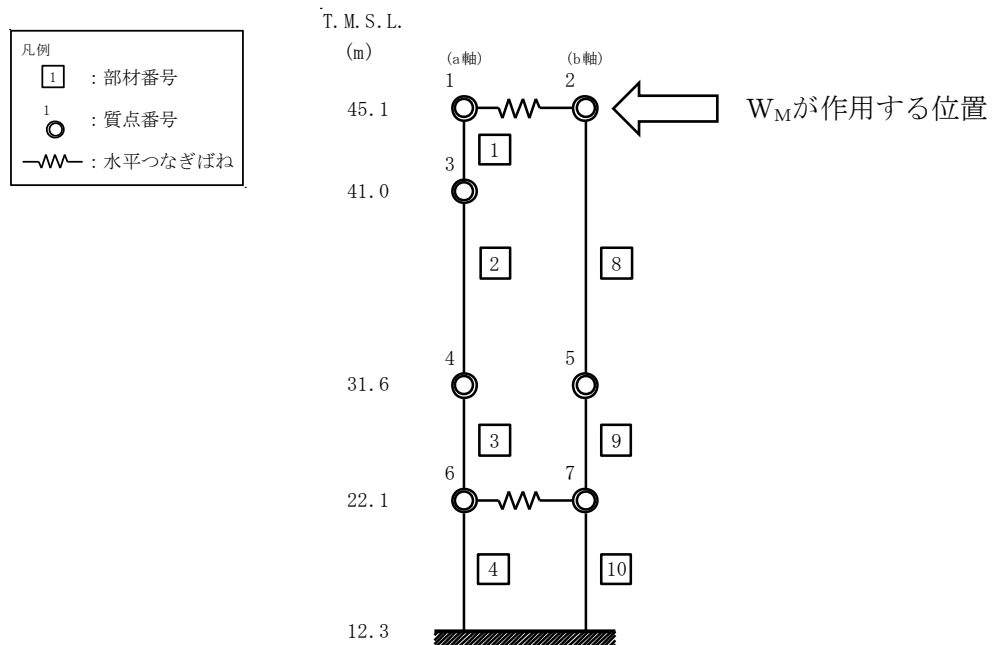


図3-1 5号機タービン建屋の解析モデル（NS方向）

表 3-5 5号機タービン建屋の解析モデル諸元 (NS 方向)

T. M. S. L. (m)	建屋	
	a 軸	b 軸
45.1	1	8
	3.04	2.58
	—	
41.0	2	—
	4.23	
	—	
31.6	3	9
	142.50	111.40
	—	—
22.1	4	10
	308.24	301.28
	—	—
12.3		

①コンクリート部*

コンクリート強度 F_c 31.3 (N/mm²)

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)

せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

②鉄骨部

ヤング係数 E 2.05×10^5 (N/mm²)

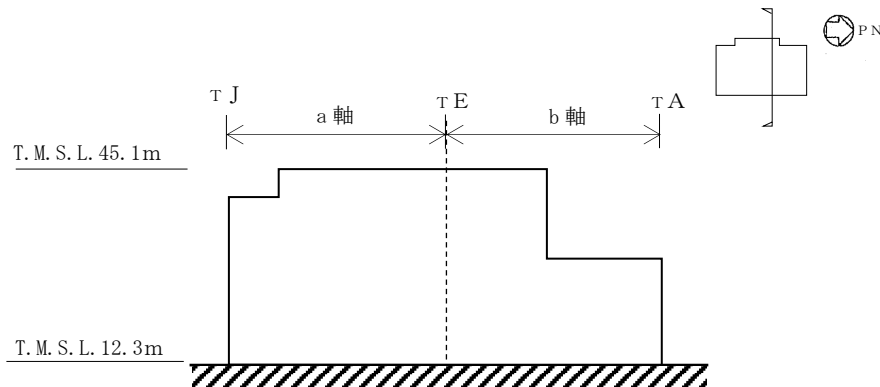
せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)

ポアソン比 ν 0.30

減衰定数 h 2%

凡例 :

部材番号
せん断面積 (m ²)
断面二次モーメント (m ⁴)



注記* : コンクリート強度は実強度に基づくものとし、ヤング係数は実強度を用いて算出した値を用いる。

表 3-6 5号機タービン建屋鉄骨部の復元力特性 (NS 方向)

部材 番号	T. M. S. L. (m)	第1折点	
		Q_1 ($\times 10^4$ kN)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)
1	45.1~41.0	7.61	2.43
2	41.0~31.6	10.5	2.40
8	45.1~31.6	5.63	2.12

注： Q_1 及び γ_1 は第1折点のせん断力及びせん断ひずみを示す。

表 3-7 5号機タービン建屋耐震壁の復元力特性 (NS 方向)

部材 番号	T. M. S. L. (m)	第1折点		第2折点		終局点	
		Q_1 ($\times 10^4$ kN)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	Q_2 ($\times 10^4$ kN)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	Q_3 ($\times 10^4$ kN)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3	31.6~22.1	36.8	0.251	49.4	0.575	85.8	4.00
4	22.1~12.3	63.9	0.201	85.6	0.595	142	4.00
9	31.6~22.1	23.3	0.203	31.2	0.575	47.8	4.00
10	22.1~12.3	66.4	0.214	86.3	0.595	138	4.00

注： Q_1 及び γ_1 は第1折点のせん断力及びせん断ひずみを、 Q_2 及び γ_2 は第2折点のせん断力及びせん断ひずみを、 Q_3 及び γ_3 は終局点のせん断力及びせん断ひずみを示す。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を以下に示す。

5号機タービン建屋は、建屋の南側に6号機タービン建屋が隣接しているため、風圧力による荷重 W_w が北から南へ作用する場合の検討を実施する。ここで、気圧差荷重 W_p は、保守的に風圧力による荷重 W_w の作用方向のみに作用するものとして検討を実施する。

5号機タービン建屋に作用する風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の作用方向の模式図を図4-1に、5号機タービン建屋の風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の算出条件を表4-1に示す。

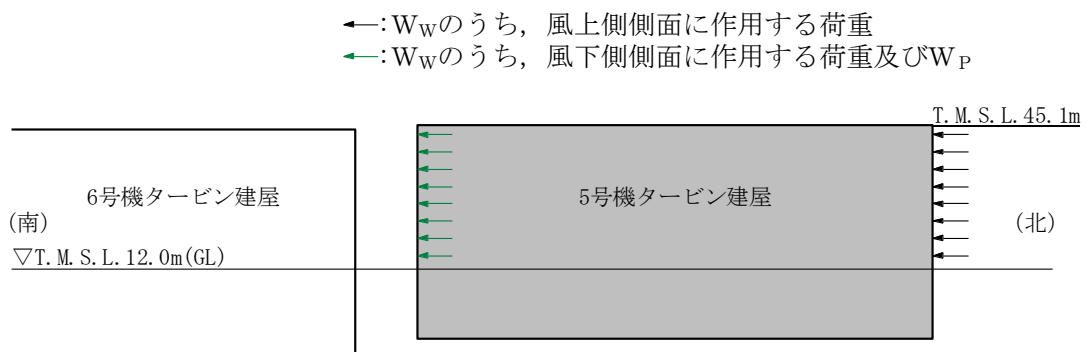


図4-1 風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の作用方向の模式図

表 4-1 風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の算出条件

T. M. S. L. (m)	位置	風力係数* ¹ C	受圧面積A* ² (m ²)
45.10~43.05	風上	0.8	a 軸 : 138.60
	風下	-0.4	b 軸 : 64.98
43.05~36.30	風上	0.8	a 軸 : 260.82
	風下	-0.4	b 軸 : 121.84
36.30~26.85	風上	0.8	a 軸 : 376.70
	風下	-0.4	b 軸 : 262.97
26.85~17.20	風上	0.8	a 軸 : 377.57
	風下	-0.4	b 軸 : 436.63
17.20~12.00	風上	0.8	a 軸 : 217.36
	風下	-0.4	b 軸 : 262.60

注記*1 : 壁面を屋外から押す方向を正の向きとする。

*2 : 2 軸 (a 軸, b 軸) ごとの, 5 号機タービン建屋の各層の高さ (T. M. S. L (m))
における見付面積とする。

5. 強度評価結果

5号機タービン建屋の変形量に関する評価結果を表5-1に示す。6号機タービン建屋と5号機タービン建屋のクリアランスと比較し、5号機タービン建屋の変形量が許容限界を超えないことを確認した。

表5-1 変形量の評価結果

変形量* (mm)	許容限界 (mm)
1.35	14500

注記*：複合荷重 W_{T1} と W_{T2} のうち、評価結果が厳しい W_{T2} の結果のみ記載した。