

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-3-013-15 改1
提出年月日	2020年6月24日

V-3-別添 1-9-1 建屋の強度計算書

K7 ① V-3-別添 1-9-1 R0

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

V-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	7
2.4 適用規格	9
3. 強度評価方法	10
3.1 記号の定義	10
3.2 評価対象	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	12
3.5 評価方法	13
4. 評価条件	14
5. 強度評価結果	16

1. 概要

本資料は、V-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サービス建屋が、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するものである。

2. 基本方針

V-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

サービス建屋は、V-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、コントロール建屋に隣接する建屋である。サービス建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

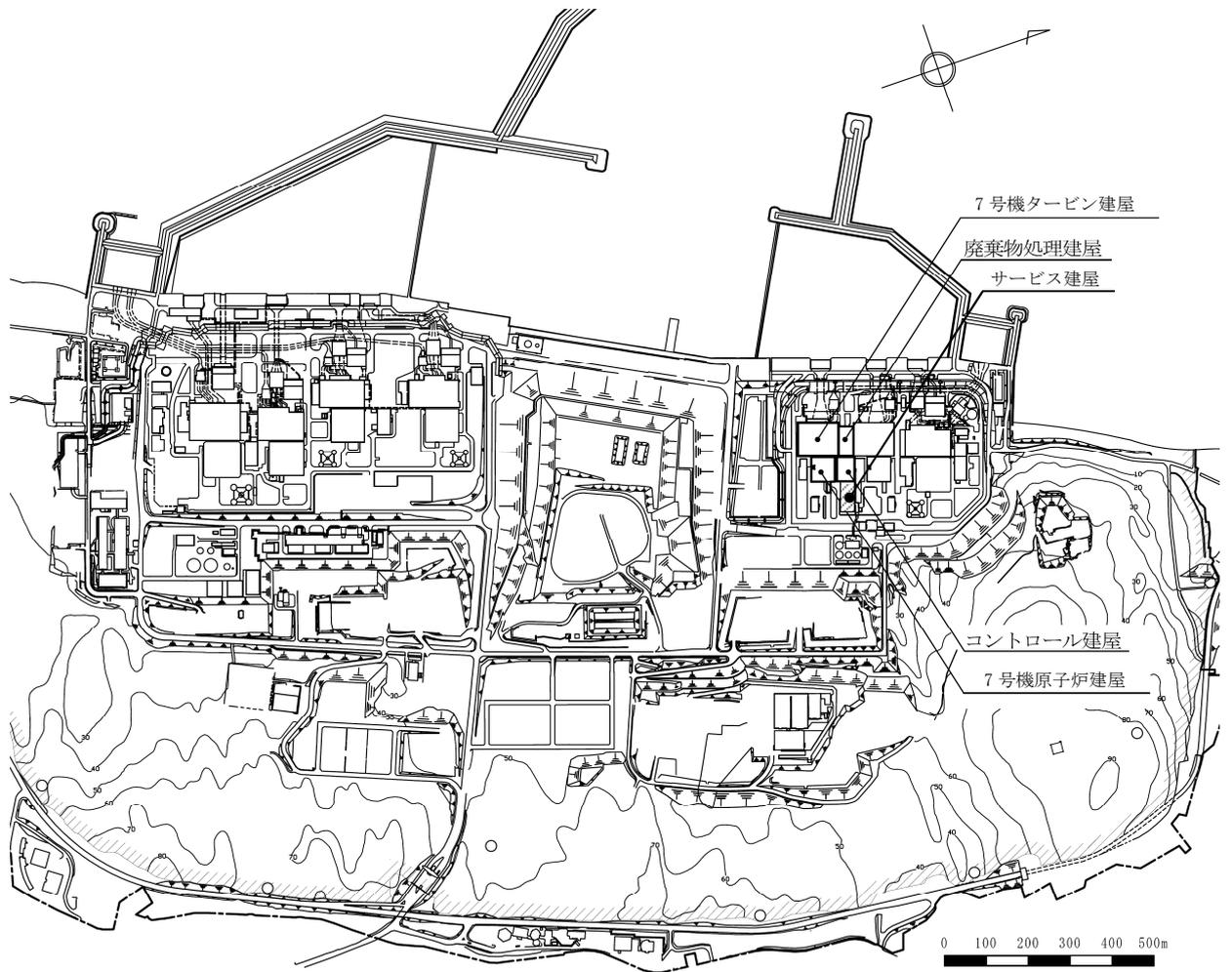
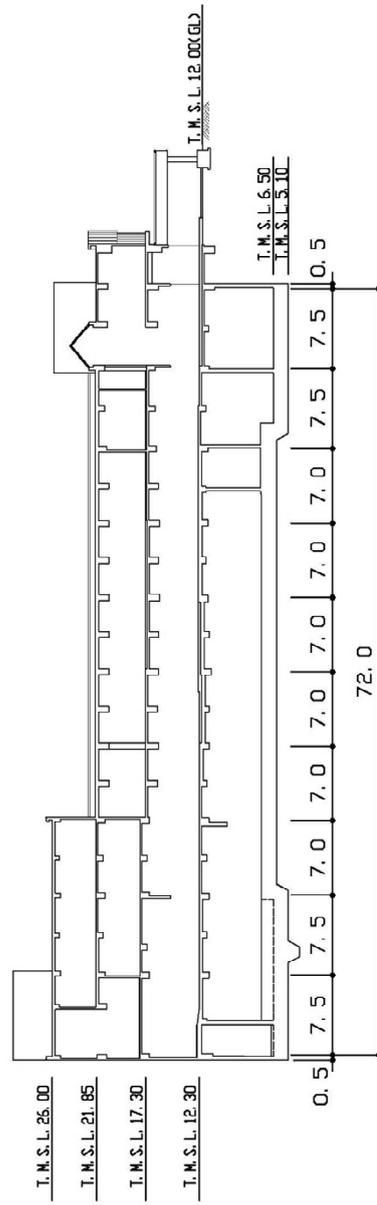


図 2-1 サービス建屋の設置位置

2.2 構造概要

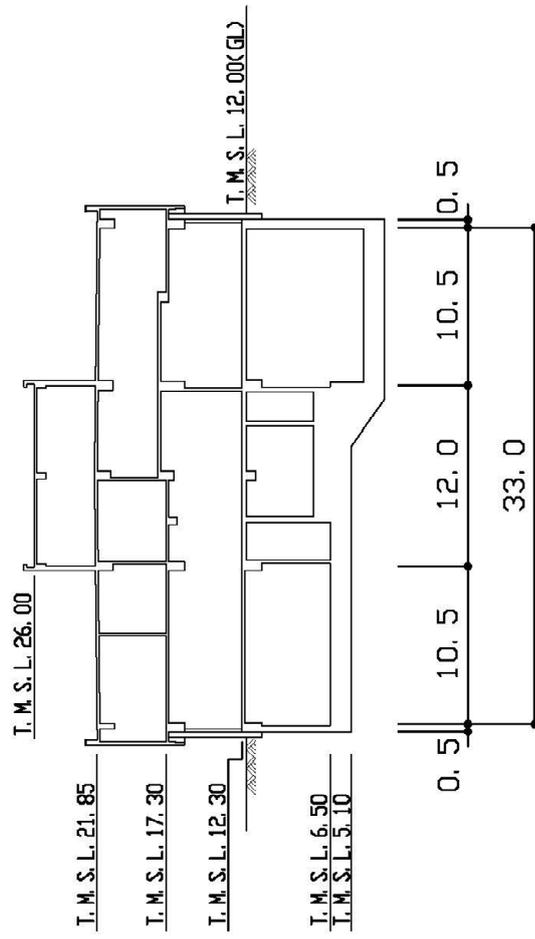
サービス建屋は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

サービス建屋は、地上3階（屋上機械室含む。）、地下1階建ての鉄筋コンクリート造の建物であり、隣接するコントロール建屋と構造的に分離している。サービス建屋の概略断面図を図2-2に、建屋配置図を図2-3に、図2-3に記載したコントロール建屋とサービス建屋のクリアランス部分の詳細を図2-4に示す。



(単位：m)

図 2-2 サービス建屋の東西方向断面図 (1/2)



(単位：m)

図 2-2 サービス建屋の南北方向断面図 (2/2)

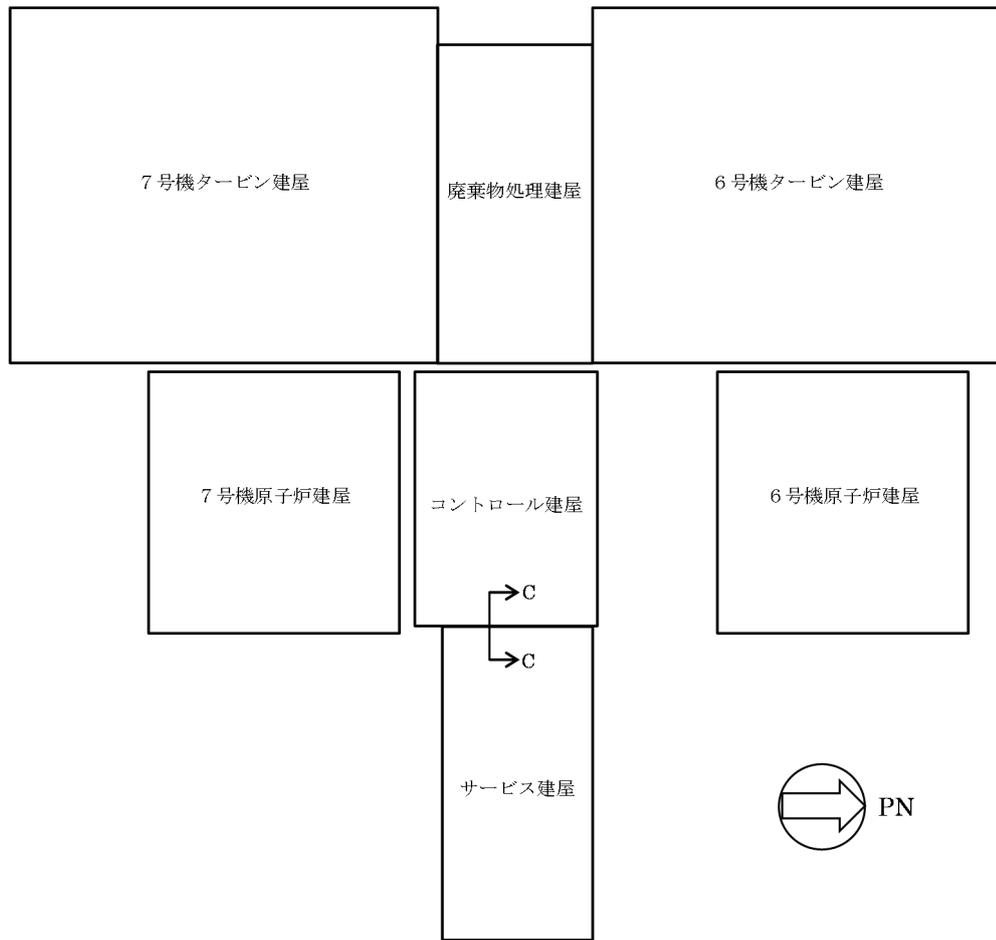


図2-3 建屋配置図

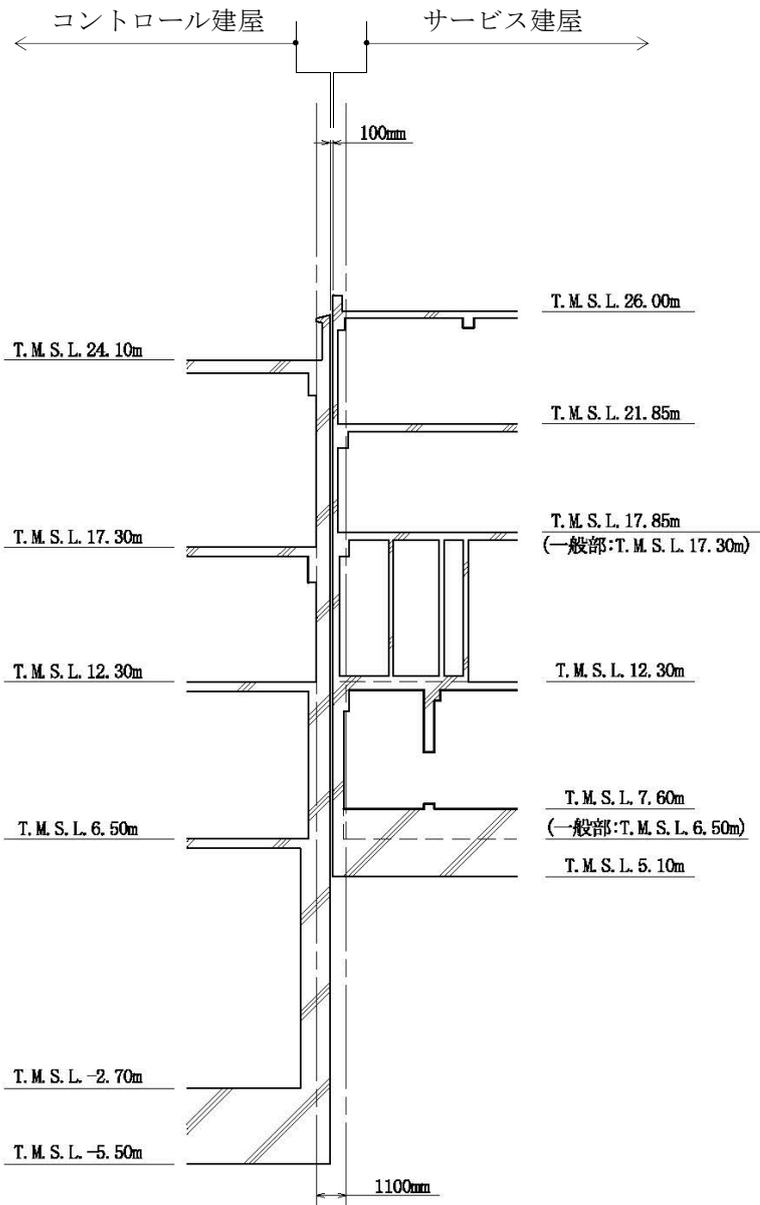


図 2-4 コントロール建屋とサービス建屋の
クリアランス (図 2-3 C-C断面) の詳細

2.3 評価方針

サービス建屋の強度評価は、V-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。

サービス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、サービス建屋が、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包するコントロール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。

サービス建屋の構造強度評価については、設計荷重に対するサービス建屋の変形量を算定し、その変形量がサービス建屋とコントロール建屋のクリアランスを超えないことを確認する。

サービス建屋の波及的影響評価フローを図 2-5 に示す。

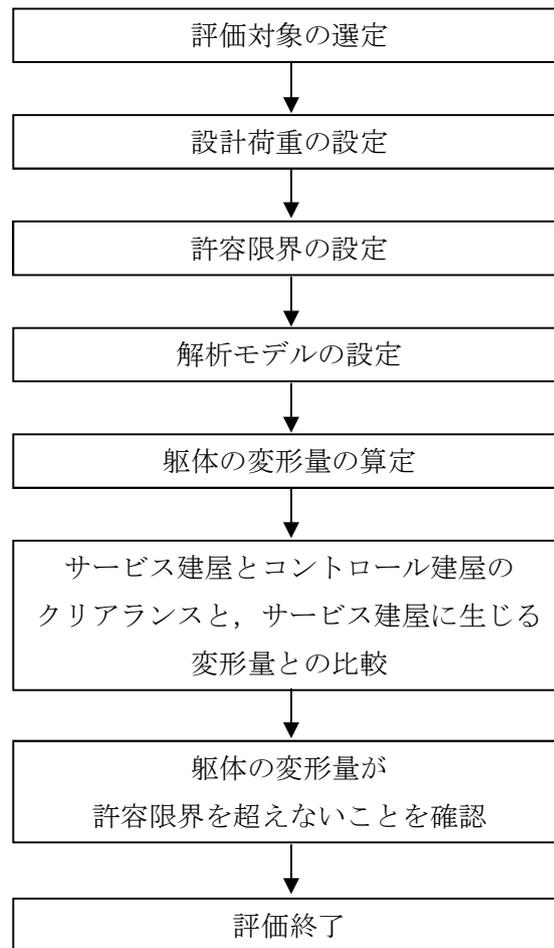


図 2-5 サービス建屋の波及的影響評価フロー

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)

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	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）
Δt	s	設計飛来物の被衝突体の接触時間
L ₁	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

3.2 評価対象

サービス建屋の評価対象は、V-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、サービス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、V-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V-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 $W_M = 1100\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$W_M = m \cdot V / \Delta t = m \cdot V^2 / L_1$$

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、V-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」に記載したサービス建屋とコントロール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 サービス建屋の許容限界

許容限界	サービス建屋とコントロール建屋の クリアランス
	100mm

3.5 評価方法

サービス建屋の変形量は、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-変位関係（ $Q-\gamma$ 関係）より算定する。

サービス建屋の解析モデル図を図 3-1 に示す。解析モデルはV-2-11-2-1「サービス建屋の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。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、サービス建屋はコントロール建屋の東側に位置するため、EW方向を検討対象とし、保守的な評価とするためコントロール建屋の設計荷重による西側への変形は無いものとする。

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。

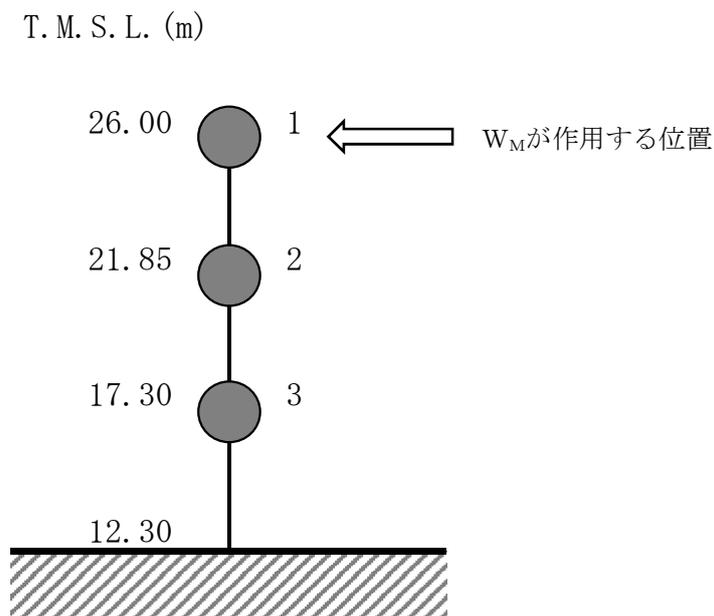


図 3-1 サービス建屋の解析モデル図

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。

サービス建屋は、建屋の西側にコントロール建屋が隣接しているため、風圧力による荷重 W_w が東から西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、東から西へ作用する場合の検討を実施する。

サービス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、サービス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。

また、サービス建屋の復元力特性諸元を表4-2に示す。

← : W_w のうち、風上側側面に作用する荷重
← : W_w のうち、風下側側面に作用する荷重及び W_P

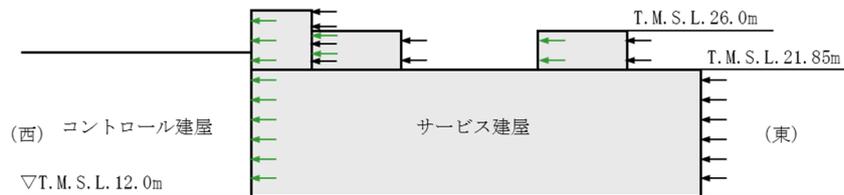


図4-1 風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_P の作用方向模式図

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 C^* (-)	受圧面積 A (m^2)
			東面
26.00~21.85	風上	0.8	205
	風下	-0.4	
21.85~17.30	風上	0.8	172
	風下	-0.4	
17.30~12.00	風上	0.8	197
	風下	-0.4	

注記 * : 風下側の係数は, 風上側と同じ向きを正とし,
受圧面積には T. M. S. L. 26.00m 以上の部分を含む

表 4-2 サービス建屋の復元力特性 (EW 方向)

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 ($\times 10^{-3}$)
26.00~21.85	1.25	0.247	3.10	3.16	3.28	20.0
21.85~17.30	5.55	0.195	13.2	2.56	13.9	20.0
17.30~12.30	8.68	0.172	19.2	1.91	20.5	20.0

5. 強度評価結果

サービス建屋の変形量に関する評価結果を表 5-1 に示す。サービス建屋とコントロール建屋のクリアランスと比較し、サービス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)
0.39	100

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。