

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 補足-025-2 改4
提出年月日	2020年7月15日

タービン建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 1-1 タービン建屋の地震応答解析モデルの変更点について

別紙 2 地震応答解析における耐震壁及び鉄骨部のせん断スケルトン曲線の設定

別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙 3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析

別紙 4 タービン建屋のねじれによる影響について

別紙 5 水平つなぎばねの諸元及び非線形性を考慮した解析

別紙 6 タービン建屋と T/G 架台の相対変位について

下線部：今回ご提示資料

別紙 6 タービン建屋と T/G 架台の相対変位について

目 次

1. 概要.....	1
2. 相対変位の確認.....	2
2.1 タービン建屋と T/G 架台のクリアランス.....	2
2.2 相対変位の確認.....	7
3. タービン建屋と T/G 架台の衝突による局部評価.....	9
3.1 モデル化の基本方針.....	9
3.2 解析モデル.....	11
3.3 入力の設定.....	17
3.4 評価方法.....	18
3.5 評価結果.....	19

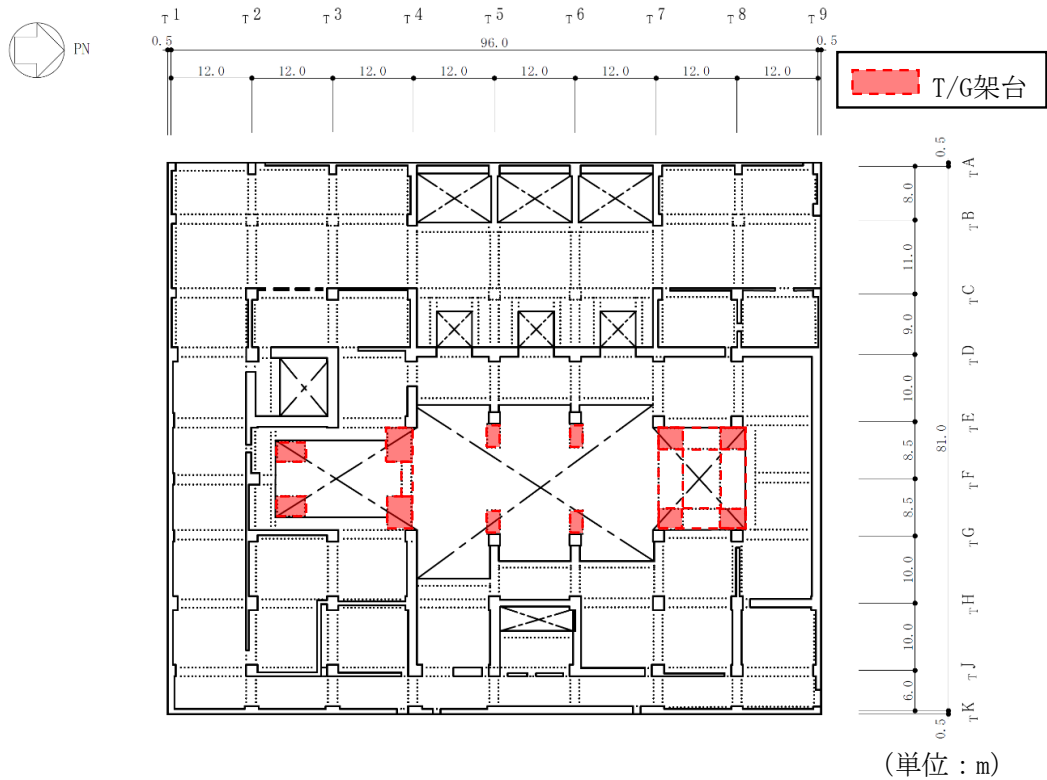
1. 概要

本資料は、V-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果のうち、タービン建屋と T/G 架台の相対変位に着目し、タービン建屋と T/G 架台の衝突の有無及びその影響を確認するものである。

2. 相対変位の確認

2.1 タービン建屋とT/G架台のクリアランス

タービン建屋の概略平面図を図 2-1 に，地震応答解析モデルの概念図を図 2-2 及び図 2-3 に，地震応答解析モデル（水平方向）を図 2-4 に示す。T/G 架台は図 2-2 及び図 2-3 に示すとおり，タービン建屋の中央に位置しており，周囲をタービン建屋の柱，はり及び床スラブに囲まれている。



注：東京湾平均海面（以下、「T.M.S.L.」という。）

図 2-1 タービン建屋の概略平面図（1F, T.M.S.L. 12.3m）(1/2)

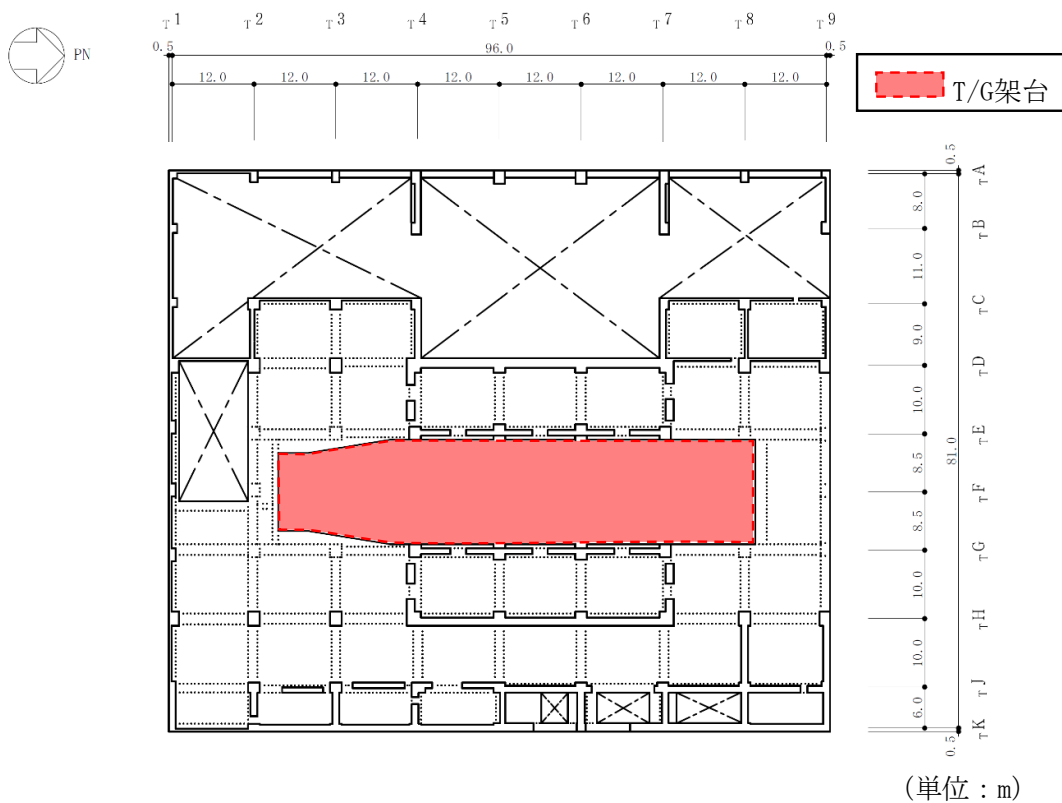


図 2-1 タービン建屋の概略平面図（2F, T.M.S.L. 20.4m）(2/2)

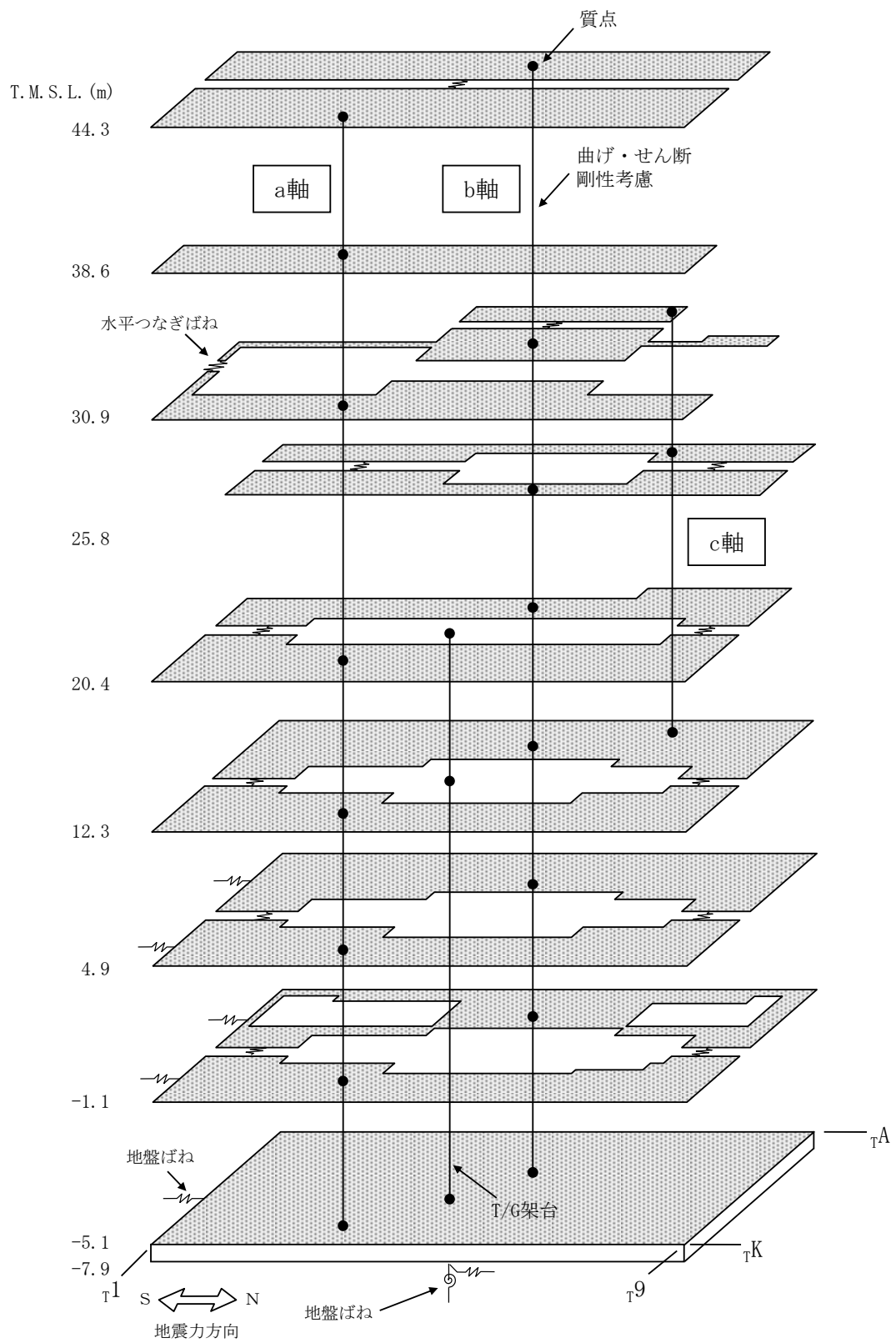


図 2-2 地震応答解析モデルの概念図 (NS 方向)

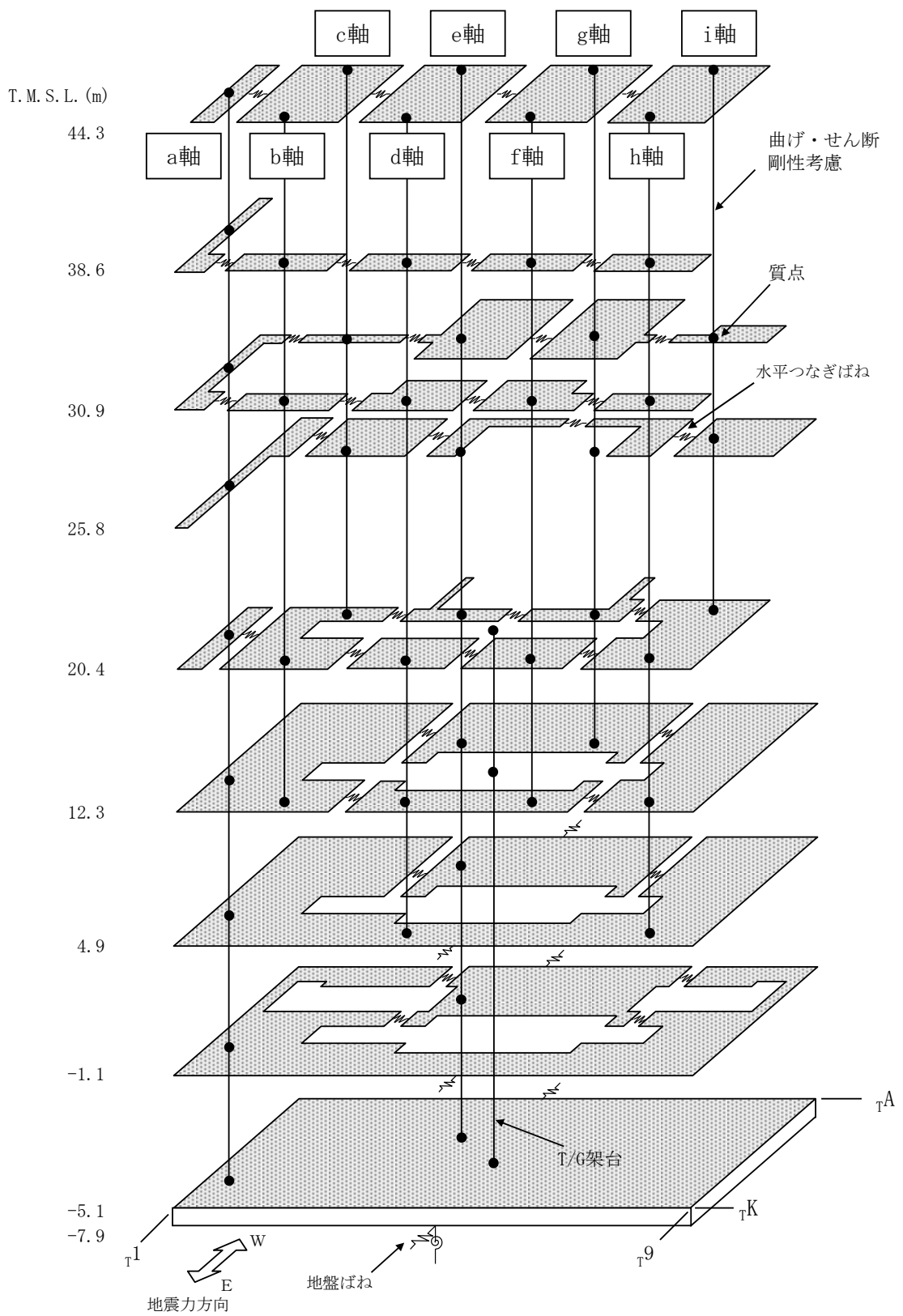


図 2-3 地震応答解析モデルの概念図 (EW 方向)

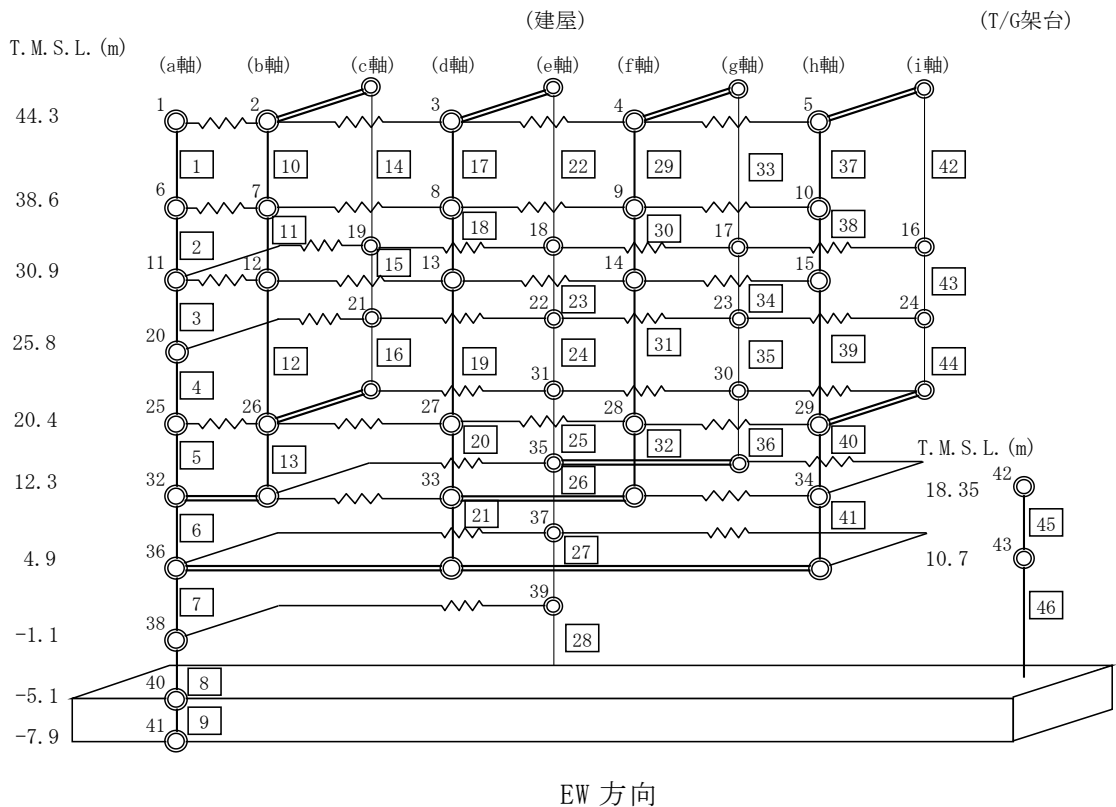
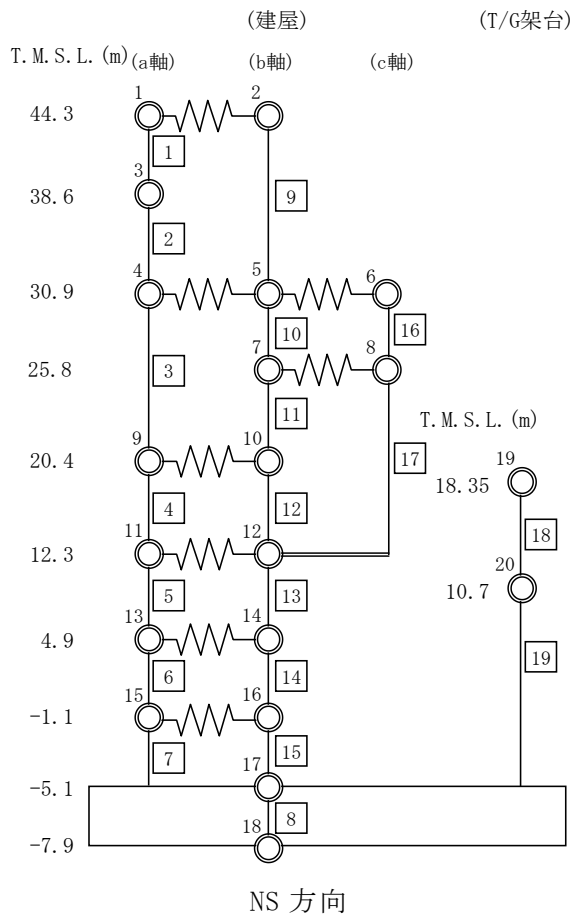


図 2-4 地震応答解析モデル (水平方向)

2.2 相対変位の確認

基準地震動 S_s-1～S_s-8 に基づく基本ケースの相対変位の結果を整理し、基本ケースの相対変位の結果より、最も相対変位が大きい地震動について、材料物性の不確かさを考慮した解析（ケース 2～5）（以下、「パラスタケース」という。）による相対変位の結果を整理する。

水平方向の地震応答解析結果に基づき、タービン建屋と T/G 架台の相対変位を確認する。NS 方向は T. M. S. L. 20.4m におけるタービン建屋質点（No. 9, 10）と T/G 架台質点（No. 19）の間及び T. M. S. L. 12.3m におけるタービン建屋質点（No. 11, 12）と T/G 架台質点（No. 20）の間、EW 方向は T. M. S. L. 20.4m におけるタービン建屋質点（No. 26, 27, 28, 29, 30, 31）と T/G 架台質点（No. 42）及び T. M. S. L. 12.3m におけるタービン建屋質点（No. 32, 33, 34, 35）と T/G 架台質点（No. 43）の間、それぞれの相対変位を求めた。表 2-1 に基本ケースにおけるタービン建屋と T/G 架台の相対変位を示す。

NS 方向では基準地震動 S_s-1～3 及び 8、EW 方向では基準地震動 S_s-1, 2 及び 3 を入力した場合、タービン建屋と T/G 架台の相対変位がクリアランスである 25mm 超えることを確認した。また、相対変位の大きい S_s-1 について、パラスタケース（S_s-1）におけるタービン建屋と T/G 架台の相対変位を表 2-2 に示す。最大相対変位は S_s-1 のケース 5 で 62mm 程度となっている。

表 2-1 基本ケースにおけるタービン建屋と T/G 架台の相対変位

(a)NS 方向

T. M. S. L	質点番号		相対変位 (mm)							
	建屋	T/G架台	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
20.4	9	19	<u>55.4</u>	<u>53.7</u>	<u>42.7</u>	21.6	20.8	22.5	21.8	<u>30.9</u>
	10		<u>56.2</u>	<u>54.3</u>	<u>43.2</u>	22.5	20.9	23.5	22.0	<u>32.8</u>
12.3	11	20	<u>45.9</u>	<u>44.5</u>	<u>35.1</u>	17.9	17.0	18.7	17.8	<u>26.3</u>
	12		<u>46.8</u>	<u>45.4</u>	<u>35.5</u>	18.5	17.1	19.4	18.0	<u>27.7</u>

(b)EW 方向

T. M. S. L	質点番号		相対変位 (mm)							
	建屋	T/G架台	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
20.4	26	42	<u>51.2</u>	<u>28.9</u>	<u>33.9</u>	20.7	20.7	20.6	22.5	22.6
	27		<u>48.7</u>	<u>28.8</u>	<u>32.2</u>	20.5	20.9	19.2	23.4	17.8
	28		<u>47.7</u>	<u>28.7</u>	<u>32.8</u>	20.4	22.2	19.1	24.3	18.2
	29		<u>51.1</u>	<u>28.9</u>	<u>33.9</u>	20.7	20.6	20.6	22.5	22.5
	30		<u>50.4</u>	<u>26.4</u>	<u>31.9</u>	21.9	20.0	21.9	21.9	17.9
	31		<u>49.7</u>	<u>26.1</u>	<u>32.0</u>	21.9	19.8	22.1	21.7	18.6
12.3	32	43	<u>46.3</u>	<u>26.1</u>	<u>30.6</u>	18.3	18.3	18.8	20.0	21.5
	33		<u>45.1</u>	<u>25.4</u>	<u>30.0</u>	18.2	18.2	18.0	19.8	20.3
	34		<u>45.6</u>	<u>25.8</u>	<u>30.4</u>	18.3	18.3	18.7	19.9	21.2
	35		<u>45.2</u>	<u>25.0</u>	<u>29.4</u>	19.0	18.5	19.4	19.9	20.0

注* : 下線部は相対変位が 25mm 以上となる箇所

表 2-2 パラスタケース (Ss-1) におけるタービン建屋と T/G 架台の相対変位

(a)NS 方向

T. M. S. L	質点番号		相対変位 (mm)				
	建屋	T/G架台	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
20.4	9	19	<u>55.4</u>	<u>52.1</u>	<u>57.2</u>	<u>48.6</u>	<u>60.9</u>
	10		<u>56.2</u>	<u>50.4</u>	<u>58.0</u>	<u>47.2</u>	<u>61.8</u>
12.3	11	20	<u>45.9</u>	<u>43.1</u>	<u>47.3</u>	<u>40.4</u>	<u>50.5</u>
	12		<u>46.8</u>	<u>43.4</u>	<u>48.6</u>	<u>40.8</u>	<u>51.8</u>

(b)EW 方向

T. M. S. L	質点番号		相対変位 (mm)				
	建屋	T/G架台	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
20.4	26	42	<u>51.2</u>	<u>50.1</u>	<u>42.9</u>	<u>49.5</u>	<u>49.4</u>
	27		<u>48.7</u>	<u>47.9</u>	<u>43.1</u>	<u>47.5</u>	<u>47.1</u>
	28		<u>47.7</u>	<u>49.8</u>	<u>44.1</u>	<u>47.1</u>	<u>48.3</u>
	29		<u>51.1</u>	<u>50.0</u>	<u>41.5</u>	<u>49.7</u>	<u>49.1</u>
	30		<u>50.4</u>	<u>49.3</u>	<u>39.2</u>	<u>47.8</u>	<u>47.3</u>
	31		<u>49.7</u>	<u>48.6</u>	<u>39.0</u>	<u>47.1</u>	<u>47.1</u>
12.3	32	43	<u>46.3</u>	<u>45.0</u>	<u>39.2</u>	<u>44.4</u>	<u>45.0</u>
	33		<u>45.1</u>	<u>43.9</u>	<u>37.5</u>	<u>43.4</u>	<u>43.8</u>
	34		<u>45.6</u>	<u>44.4</u>	<u>37.7</u>	<u>44.3</u>	<u>43.8</u>
	35		<u>45.2</u>	<u>43.8</u>	<u>37.0</u>	<u>42.7</u>	<u>43.5</u>

注* : 下線部は相対変位 25mm 以上となる箇所

3. タービン建屋とT/G架台の衝突による局部評価

3.1 モデル化の基本方針

モデル化範囲は建屋の主要構造部であるタービン建屋側の柱と T/G 架台が隣接する部分を対象とする。解析モデルに使用する FEM 要素はソリッド要素及びロッド要素とする。また、解析モデルの節点数は 54968、要素数は 62655 である。

モデル化部の平面図（1F, T. M. S. L. 12.3m）を図 3-1 に示す。モデル化対象部位の選定は、建屋の主要構造部である柱への衝突において衝突力が保守的となるように設定する。図 3-2 より、最も柱断面が大きい T/G 架台と EW 方向に接するタービン建屋の柱を選定箇所とした。

タービン建屋の柱と T/G 架台の躯体のクリアランスは 25mm であるが、取合い部では建屋側の柱を 32mm ふかしている。モデルでは保守的にふかし分は無視して柱と架台の距離が 25mm となるように近づけてモデル化する。

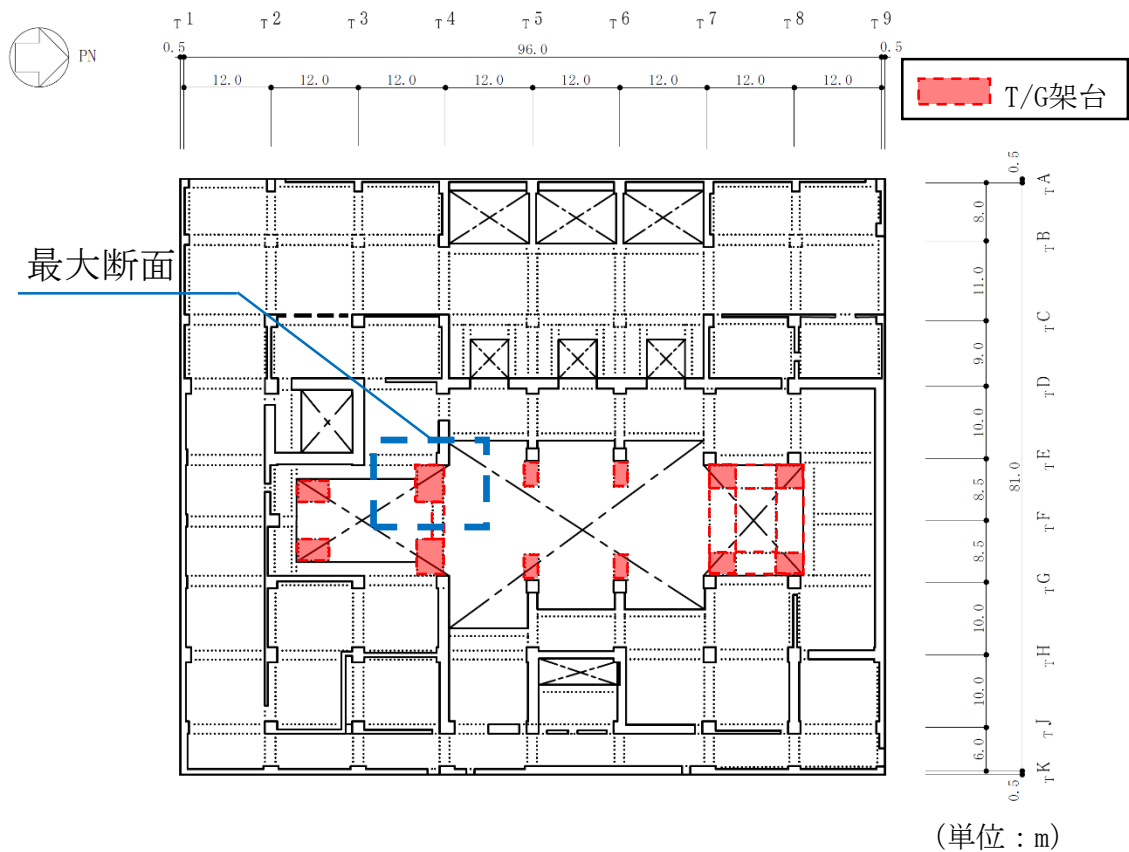


図 3-1 モデル化部の平面図（1F, T. M. S. L. 12.3m）

3.2 解析モデル

(1) コンクリート及び鉄筋

図 3-3 及び図 3-4 にモデル図及び配筋詳細を示す。コンクリートは弾塑性体とし、かぶりコンクリートおよびコアコンクリートの状態を把握することを目的に、建屋側柱はかぶり (50mm) T/G 架台はかぶり (130mm) の位置でメッシュ分割を行う。鉄筋は埋め込み鉄筋要素でモデル化し、コンクリートと鉄筋間の付着性状は完全付着とする。

T/G 架台は T. M. S. L. -5.1m ~ T. M. S. L. 12.3m までは同一断面であるが、T. M. S. L. 12.3m ~ T. M. S. L. 16.5m と上部になるにつれて断面が大きくなる。なお、建屋側の柱は T. M. S. L. 12.3m 以上では SRC 造となっているが、鉄骨はモデル化しない。

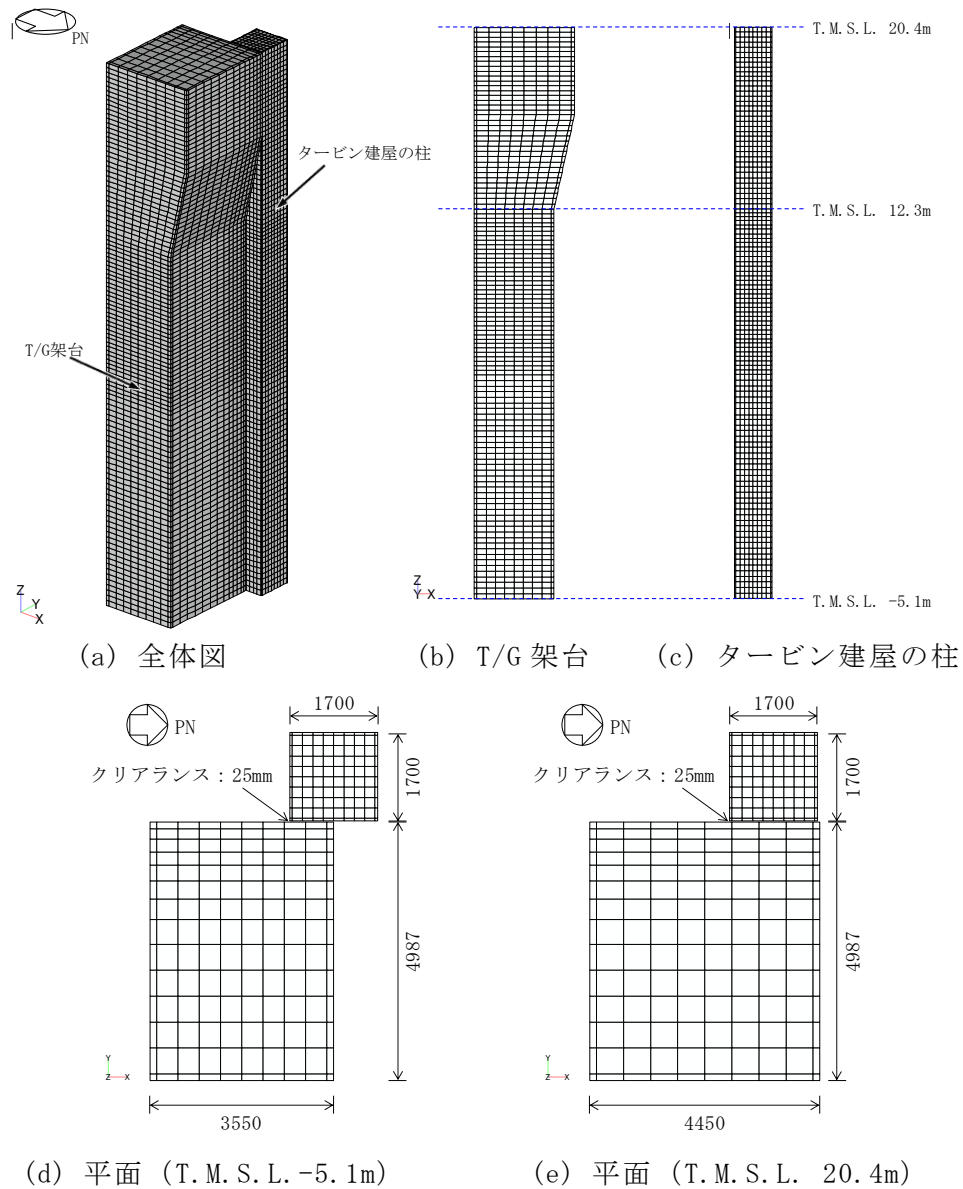
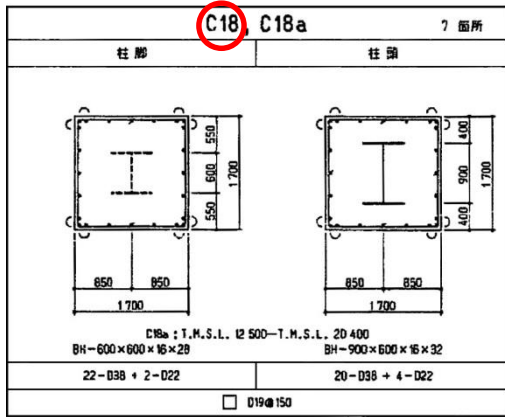
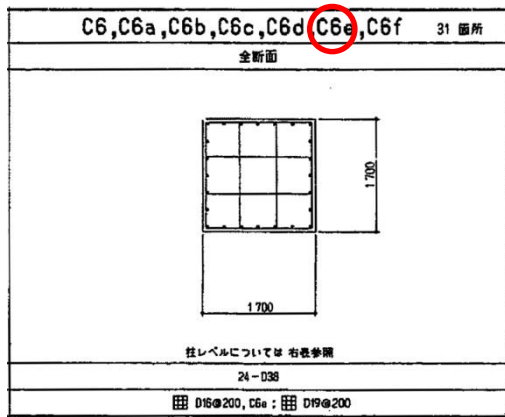


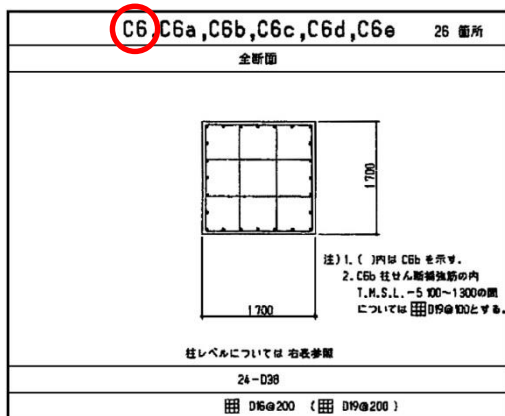
図 3-3 モデル図



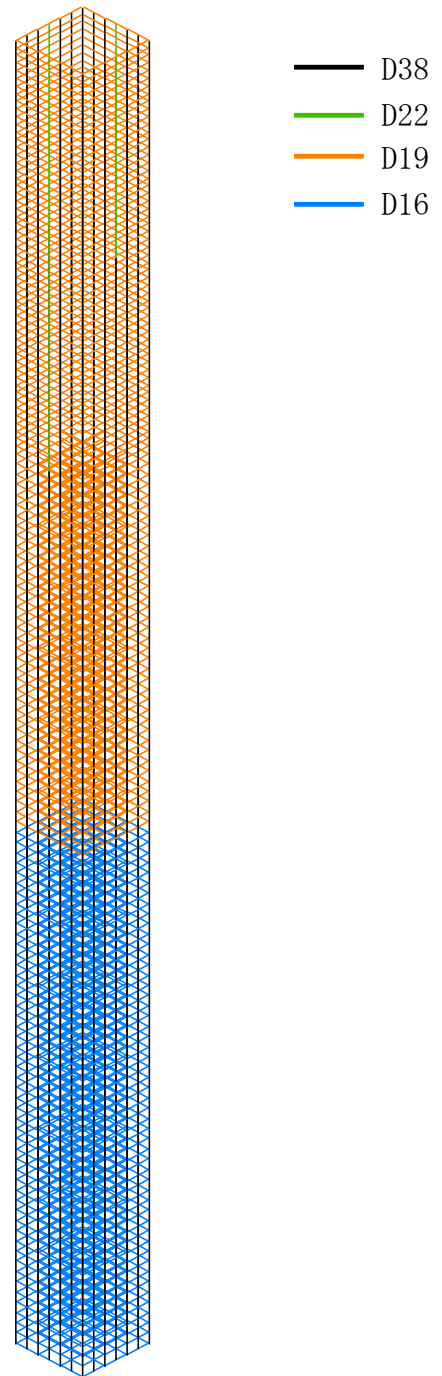
(a) T. M. S. L. 12.3m ~ 20.4m



(b) T. M. S. L. 4.9m ~ 12.3m



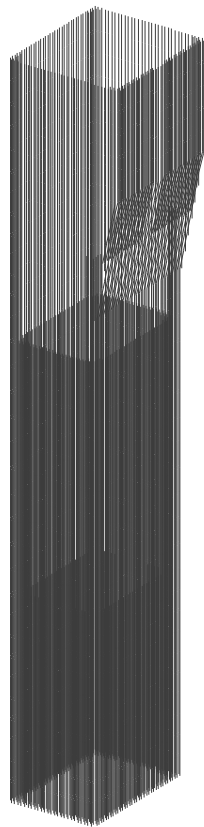
(c) T. M. S. L. -5.1m ~ 4.9m



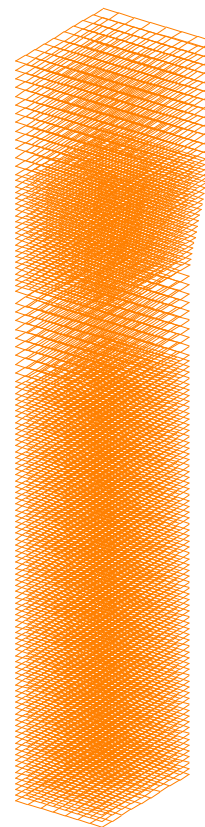
(d) 解析モデル

図 3-4(1) 配筋詳細 (建屋側柱)

符号	1C2		2C2	
柱頭				
主筋	306-D38		206-D38	
HOOP	10-D19@200	8-D19@200	10-D19@200	8-D19@200
柱脚				
主筋	374-D38		144-D38	
HOOP	10-D19@200	8-D19@200	10-D19@200	8-D19@200



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

— D38
— D19

図 3-4(2) 配筋詳細 (T/G 架台)

(2) 材料構成則

タービン建屋の材料物性値を表 3-1 に示す。コンクリート及び鉄筋の非線形特性を考慮した材料モデルを図 3-5 に示す。

コンクリートの圧縮側は、ひずみ硬化域を CEB-FIP Model code 1990 に基づき応力-ひずみ曲線を求め、面積が等価となるように 2 折れ線で置換した。ひずみ軟化域は終局ひずみ 6.5×10^{-3} とする直線で設定した。

コンクリートの引張側は、引張強度を鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説「許容応力度設計法」((社) 日本建築学会, 1999 改定) に基づき設定し、要素寸法の依存性を考慮してコンクリート標準示方書 設計編 ((社) 土木学会, 2017 制定) に示される引張軟化特性で設定した。

鉄筋の応力-ひずみ関係は、降伏強度到達後にひずみ 6.0×10^{-2} で引張強度を指向するバイリニア型で設定する。

なお、コンクリートの減衰は、剛性比例型減衰 (質点系モデルの地盤-建屋連成系 2 次 (T/G 架台 1 次) モードに相当する振動数 3.22Hz に対し、3%を設定) として評価する。

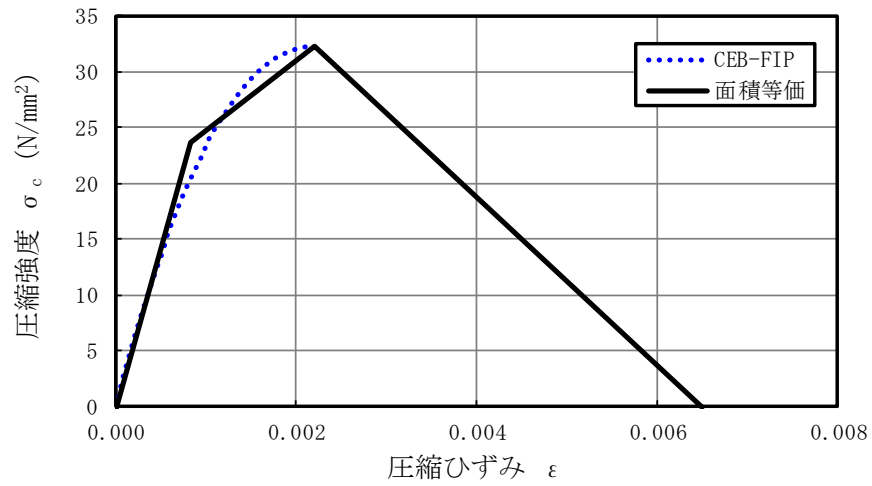
表 3-1 材料物性値

(a) コンクリート

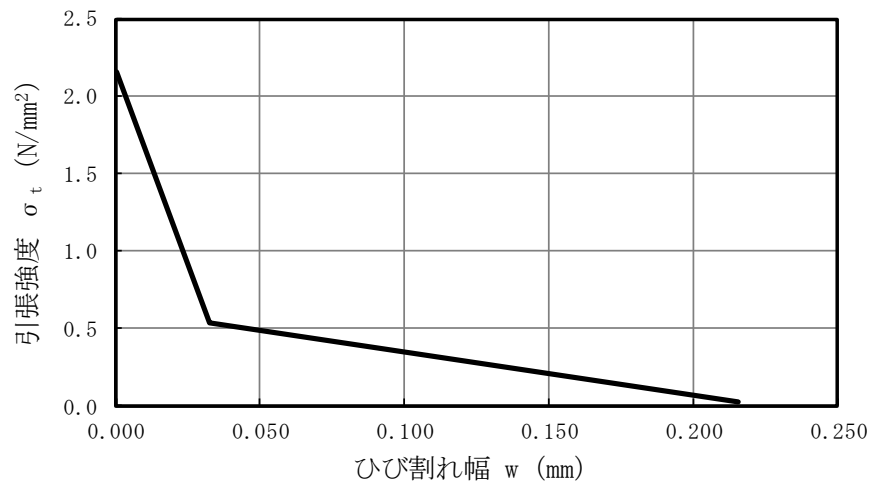
	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比	単位体積重量 kN/m ³
コンクリート	32.3	28800	0.2	24.0

(b) 鉄筋

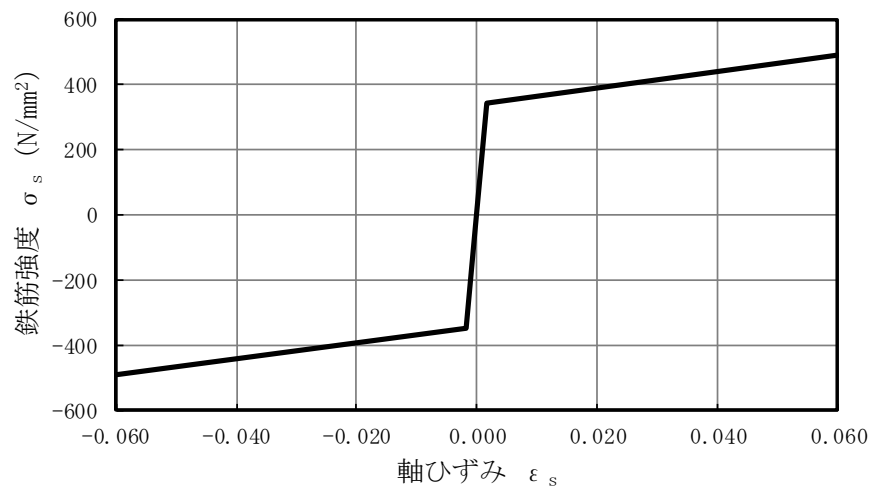
	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比 kN/m ³
鉄筋	345	490	205000	0.3



(a) 圧縮側コンクリート



(b) 引張側コンクリート



(c) 鉄筋

図 3-5 各種材料の材料モデル

(3) 境界条件

モデルの境界条件を図 3-6 に示す。T/G 架台および建屋の柱脚部（基礎上：T.M.S.L. -5.1m）は固定とする。また，建屋の柱についてはタービン建屋のフレームによる拘束状態を考慮するため，基準階レベル（地下 1 階：T.M.S.L. 4.9m，1 階：T.M.S.L. 12.3m，2 階：T.M.S.L. 20.4m，）で保守的にはりせいの領域において建屋側の衝突方向（Y 方向）を拘束する。また，建屋と T/G 架台の間でコンクリート同士の摩擦係数 0.5 を考慮する。

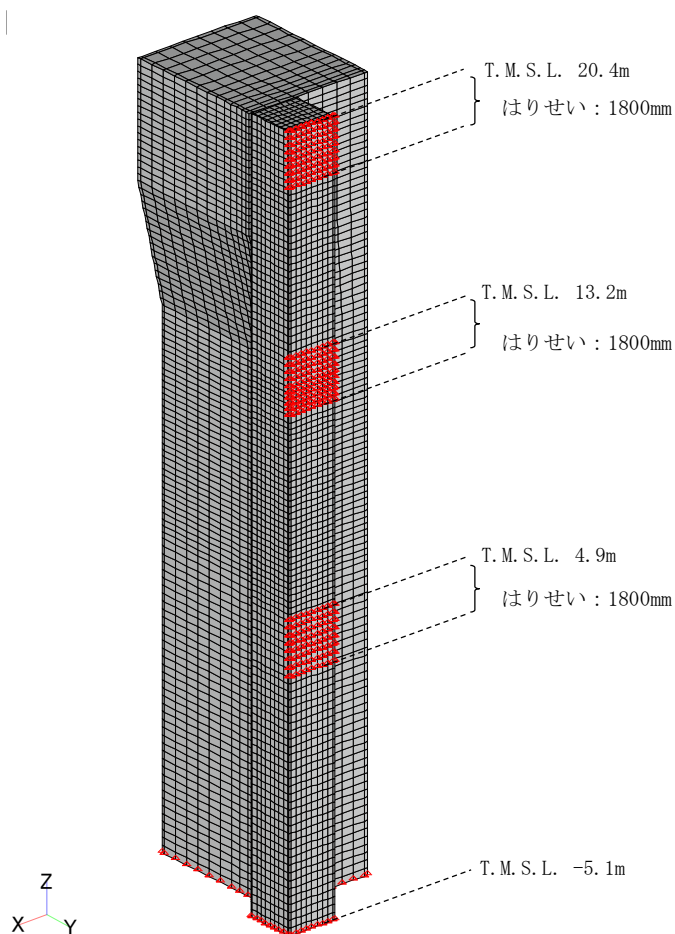


図 3-6 モデルの境界条件

3.3 入力の設定

T/G 架台の FEM に与える入力初速度を図 3-7 に赤線で示す。T/G 架台の質点 (T. M. S. L. 18.35m) とタービン建屋側の質点 (T. M. S. L. 20.4m) の相対変位によりクリアランスの 25mm を超える場合は衝突するものとする。その中で、衝突する瞬間の相対速度が最も大きくなる場合を FEM の入力初速度とする。表 3-2 に衝突時の最大相対速度を示す。T. M. S. L. 20.4m で 1.1m/s, T. M. S. L. -5.1m (基礎上端) で 0m/s となるような線形分布の初速度とする。

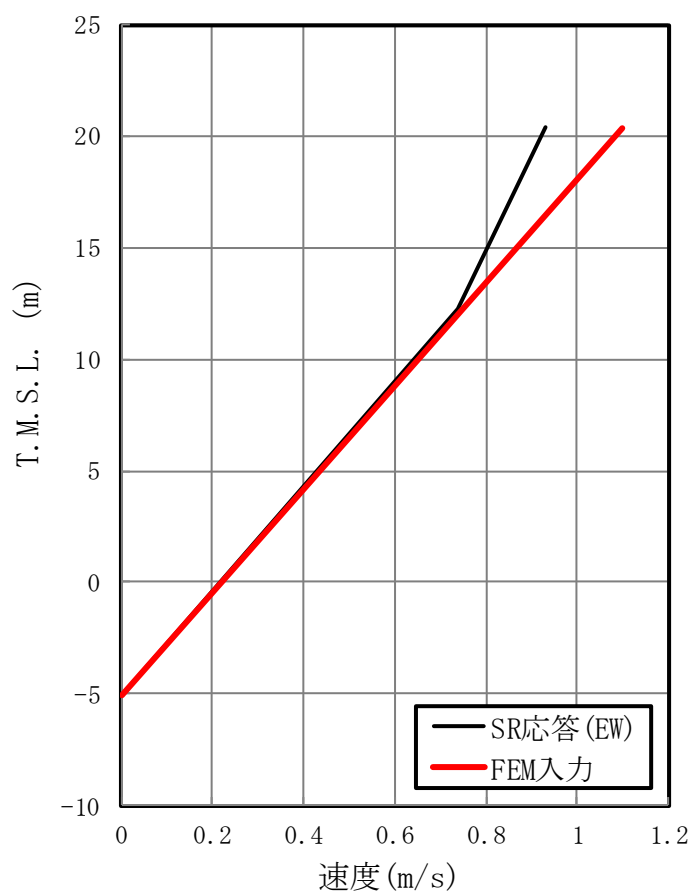


図 3-7 T/G 架台の FEM に与える入力初速度

表 3-2 衝突時の最大相対速度

方向	解析ケース	質点番号	相対速度 (m/s)
EW 方向	Ss-1 (ケース 2)	28-42	0.930

3.4 評価方法

評価はタービン建屋の柱に発生するひずみ量に着目する。許容ひずみはコンクリートのひずみで 6500μ ，鉄筋のひずみで 60000μ とする。

評価部位は以下に示す 4 箇所とし，発生ひずみを照査する。発生ひずみが許容値を満足していれば構造健全性に影響ないものとし，参考として，かぶりコンクリートについても評価を行う。

<評価部位>

- ・鉄筋に囲まれるコアコンクリート
- ・主筋
- ・せん断補強筋
- ・かぶりコンクリート（参考）

3.5 評価結果

建屋側柱の評価結果を表3-3に示す。参考としてT/G架台の評価結果も併せて示す。また、コンクリートの最小主ひずみ分布（建屋側柱）及び鉄筋の軸ひずみ分布（建屋側柱）を図3-8及び図3-9に示す。各評価部位は許容値を満足しており、鉄筋については弾性の範囲に収まっている。以上より、T/G架台のタービン建屋側柱への衝突がタービン建屋の構造健全性に与える影響がないことを確認した。

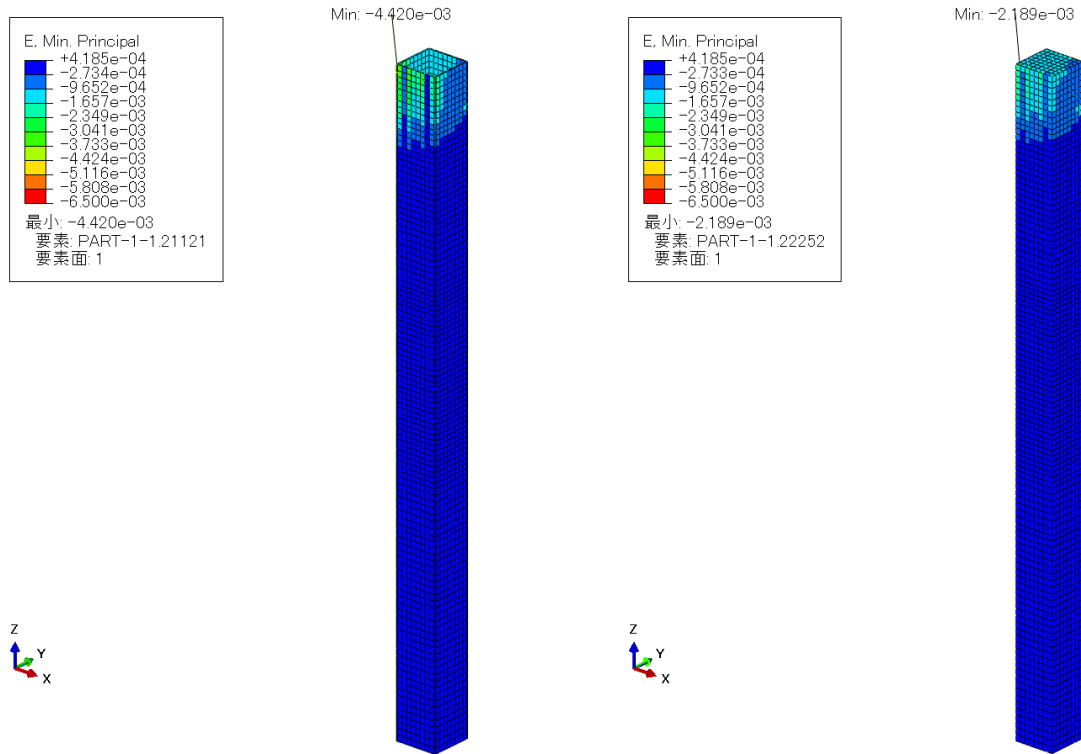
表3-3 評価結果

(a) 建屋側柱

評価部位	要素番号	発生ひずみ	許容限界	評価結果
コアコンクリート	22252	2189 μ	6500 μ	OK
主筋	40224	679 μ	60000 μ	OK
せん断補強筋	52725	825 μ	60000 μ	OK
かぶりコンクリート（参考）	21121	4421 μ	6500 μ	OK

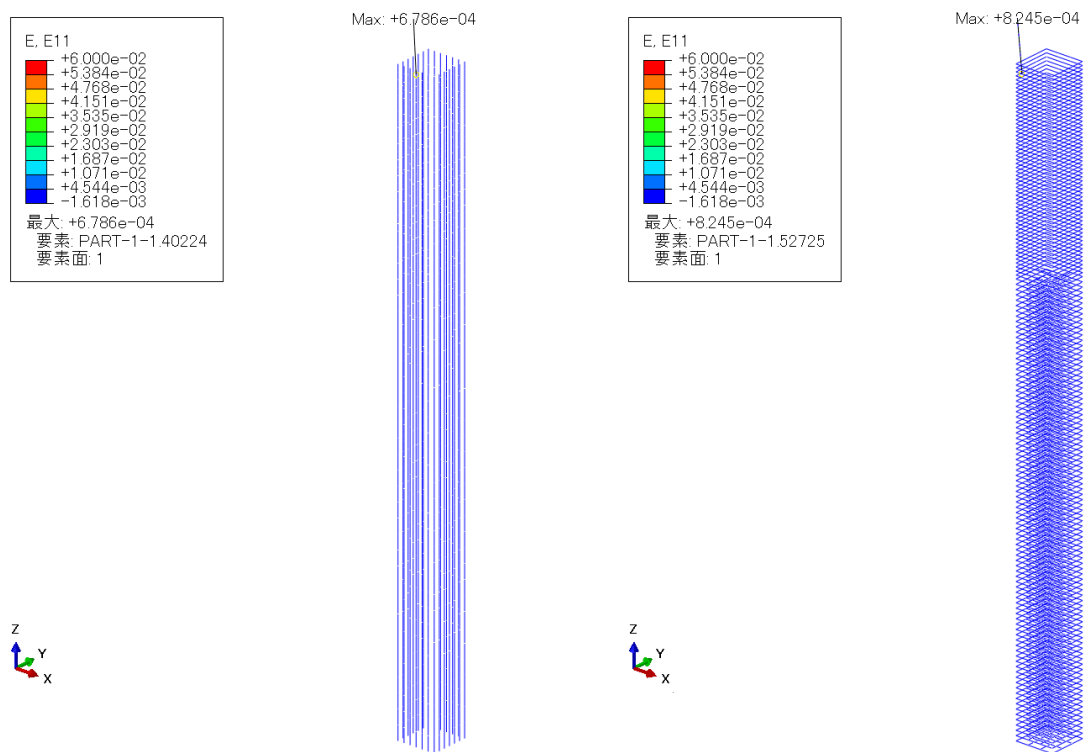
(b) T/G架台（参考）

評価部位	要素番号	発生ひずみ	許容限界	評価結果
コアコンクリート	14687	1388 μ	6500 μ	OK
主筋	67422	1028 μ	60000 μ	OK
せん断補強筋	86392	459 μ	60000 μ	OK
かぶりコンクリート（参考）	15817	1489 μ	6500 μ	OK



(a) かぶりコンクリート (b) コアコンクリート

図 3-8 コンクリートの最小主ひずみ分布 (建屋側柱)



(a) 主筋 (b) せん断補強筋

図 3-9 鉄筋の軸ひずみ分布 (建屋側柱)